

روبات‌ها و نقش آن‌ها در اقتصاد کلان

نویسندگان:

کلاوس پرتنر - دیوید بلوم

مترجم:

کریم امامی

فهرست مطالب

پیشگفتار ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.

فصل اول: مقدمه‌ای بر نقش اتوماسیون در اقتصاد. ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.

۱.۱ پیشرفت فناوری و پیامدهای اقتصادی آن. Error! Bookmark not defined.

۲.۱ پیامدهای اقتصادی اتوماسیون؛ آیا این بار متفاوت است؟ Error! Bookmark not defined.

۳.۱ تأثیرات اجتماعی اتوماسیون Error! Bookmark not defined.

۴.۱ رقابت در برابر ماشین یا رقابت همراه با ماشین. Error! Bookmark not defined.

۵.۱ خلاصه Error! Bookmark not defined.

فصل دوم: حقایق آشکار شده ۳۲

۱.۲ بکارگیری فناوری اتوماسیون ۳۲

۲.۲ پویایی رشد اقتصادی و رفاه ۳۶

۳.۲ پویایی‌های نیروی کار و بیکاری ۴۳

۴.۲ سیر تحولات نابرابری ۴۸

۵.۲ خلاصه ۵۷

فصل سوم: شواهد تجربی اثرات اقتصادی اتوماسیون ۶۰

۱.۳ مشاغل و وظایف مستعد اتوماسیون ۶۰

۲.۳ شواهد بین‌کشوری پیامدهای اقتصادی اتوماسیون ۷۲

۳.۳ خلاصه ۷۸

فصل چهارم: رشد اقتصادی و اتوماسیون ۸۰

۱.۴ مقدمات و تعاریف ۸۰

۱.۱.۴ نرخ رشد در زمان گسسته و زمان پیوسته ۸۰

۲.۱.۴ افراد و بنگاه‌های نماینده ۸۲

۳.۱.۴ تابع تولید کل ۸۲

۲.۴ مدل اولیه‌ی رشد اقتصادی سولو ۸۸

۳.۴ مدل رشد اقتصادی سولو با پیشرفت فناوری و رشد جمعیت ۹۵

۴.۴ مدل رشد اقتصادی سولو همراه با اتوماسیون ۱۰۴

۵.۴ درون‌زایی رشد همراه با اتوماسیون ۱۱۲

۶.۴ اتوماسیون و نابرابری دستمزد ۱۱۵

۷.۴	مبادله‌ی بین رشد و نابرابری	۱۱۹
۸.۴	خلاصه	۱۲۲
فصل پنجم: پس‌انداز درون‌زا و بسط مدل اولیه		
۱.۵	مقدمه	۱۲۵
۲.۵	رویه‌های گام به گام برای بهینه‌سازی ایستا و پویا	۱۲۶
۱.۲.۵	روش لاگرانژ	۱۲۶
۲.۲.۵	روش کاروش - کان - تاکر	۱۳۵
۳.۲.۵	بهینه‌سازی پویا در زمان گسسته با دو دوره‌ی زمانی	۱۳۷
۴.۲.۵	بهینه‌سازی پویا در زمان پیوسته	۱۴۰
۳.۵	پس‌انداز درون‌زا در مدل رمزی - کاس - کوپمانس	۱۴۴
۴.۵	اتوماسیون در مدل رمزی - کاس - کوپمانس	۱۵۲
۵.۵	پس‌انداز درون‌فزا در مدل OLG	۱۵۳
۶.۵	اتوماسیون در مدل OLG	۱۶۱
۷.۵	بحثی درباره بسط مدل	۱۶۵
۱.۷.۵	پیشرفت فناوری درون‌زا و اتوماسیون	۱۶۵
۲.۷.۵	بیکاری تکنولوژیکی	۱۶۷
۳.۷.۵	تجارت بین‌الملل، سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی و اتوماسیون	۱۷۰
۸.۵	خلاصه	۱۷۱
فصل ششم: اتوماسیون و چالش‌های تغییرات جمعیتی		
۱.۶	مقدمه	۱۷۵
۲.۶	تغییرات جمعیتی و پیامدهای اقتصادی آن	۱۸۰
۳.۶	چگونه روبات‌ها کمک می‌کنند	۱۸۵
۴.۶	پیش‌بینی استخدام روبات‌ها	۱۸۷
۵.۶	کانال معکوس: آیا روبات‌ها می‌توانند بر آمار نفوس تاثیر بگذارند؟	۱۹۰
۶.۶	خلاصه	۱۹۱
فصل هفتم: چالش‌های سیاستی		
۱.۷	چالش‌ها	۱۹۴
۲.۷	آموزش، استراتژی مقابله با اثرات منفی اتوماسیون	۱۹۶
۳.۷	سیاست‌های بازار کار	۱۹۸

۴.۷	وضع مالیات در عصر اتوماسیون.....	۲۰۰
۵.۷	تأمین اجتماعی در عصر اتوماسیون.....	۲۰۷
۶.۷	سیاستهای طرف تقاضا.....	۲۱۲
۷.۷	خلاصه.....	۲۱۳
فصل هشتم: نگاهی به آینده..... ۲۱۷		
۱.۸	جامعه‌ای بیکار، بدبخت و مرده از ناامیدی یا جامعه‌ای شاد با اوقات فراغت؟.....	۲۱۸
۲.۸	پیامدهای مکانی و منطقه‌ای: آینده‌ی شهرها.....	۲۲۱
۳.۸	نحوه‌ی مراقبت از یکدیگر.....	۲۲۳
۴.۸	معنای انسان بودن.....	۲۲۵
۵.۸	سخن آخر درمورد COVID-۱۹.....	۲۲۷
منابع.....		۲۳۰

پیش‌گفتار

مقالات زیادی در دو قرن اخیر به این نکته اشاره کرده‌اند که اتوماسیون و تکنولوژی بخشی از مشاغل طبقه متوسط را حذف کرده است. بهترین مثال مربوط به اوائل قرن نوزدهم است که تعدادی از کارگران صنایع نساجی انگلستان با شکستن ماشین‌آلات، بر علیه اتوماسیون اعتراض کردند. بعدها، در ۲۴ فوریه سال ۱۹۶۱ در مقاله‌ای از مجله تایم آمده است: "تعداد مشاغلی که در مقابل ماشین‌آلات از دست رفته، تنها بخشی از مشکلات است. آنچه اقتصاددانان را بیشتر نگران کرده این است که اتوماسیون مانع ایجاد شغل جدید در اقتصاد شده و تولیدات صنعتی بیشتر، با نیروی کار کمتر انجام می‌شود. بسیاری از مشاغل از دست رفته در کارخانه‌ها با مشاغل بخش خدمات جایگزین شده و اتوماسیون در حال حرکت به سمت مشاغل دفتری است. در گذشته، صنایع جدید افراد بیشتری را استخدام می‌کرد. اما این دستاورد در مورد بسیاری از صنایع جدید صادق نبوده و مشاغل کمتری برای کارگران غیرماهر و نیمه‌ماهر ایجاد می‌کند و لذا این طبقه از کارگران با اتوماسیون مشاغل‌شان را از دست می‌دهند."

نگرانی در مورد اتوماسیون و افراد بی‌شغل دهه‌ی ۱۹۵۰ و اوائل دهه‌ی ۱۹۶۰ به قدری زیاد بود که در سال ۱۹۶۴، پرزیدنت لیندون جانسون، « کمیسیون ملی بلو ریبون برای تکنولوژی، اتوماسیون و پیشرفت اقتصادی^۱ » را تشکیل داد تا مشکل افزایش سریع بهره‌وری و کاهش تقاضای نیروی کار در آن دوره را بررسی کند. این کمیسیون نهایتاً به این نتیجه می‌رسد که اتوماسیون تهدیدی برای اشتغال نیست و تغییر تکنولوژی همراه با شرایط اقتصادی جدید عامل مهم مکان‌گزینی صنایع و بی‌کاری افراد است. تقاضا برای کالاها و خدمات تعیین می‌کند چند نفر بی‌کار باشند؛ تا چه مدت بی‌کار بمانند و چقدر برای تازه‌واردان به بازار کار پیدا کردن شغل مشکل باشد. حقیقت این است که تکنولوژی، مشاغل^۲ را حذف می‌کند نه کار

^۱ Blue-Ribbon National Commission on Technology, Automation, and Economic Progress

^۲ jobs

را. با این حال، این کمیسیون واقعیت مخرب تکنولوژی را به حدی تصور کرد که بنا به گفته نشریه هرالد پوست در سال ۱۹۶۶ پیشنهاد می‌شود: یک درآمد حداقل تضمین شده برای هر خانوار، دولت به عنوان آخرین استخدام کننده‌ی بیکاران دائمی و مستمر، دو سال آموزش در مدرسه یا کالج و ... انجام شود".

این نگرانی‌ها اخیراً شدت گرفته. دو استاد دانشگاه MIT^۱ در کتاب خود که به شدت مورد بحث و گفتگو است، با نام «دومین عصر ماشین» تصویری نگران کننده‌ای از اثرات احتمالی اتوماسیون بر اشتغال ارائه می‌کنند. اثرات مخرب دیجیتالی کردن پرشتاب فعالیت‌ها بر اقتصاد از این واقعیت ناشی می‌شود که وقتی کامپیوترها قدرتمندتر می‌شوند، شرکت‌ها نیاز کمتری به کارگران خواهند داشت. پیشرفت تکنولوژی بسیاری از شاغلان را پشت سر گذاشته و همان‌گونه که نشان خواهیم داد، هرگز موقعیت کنونی برای کارگر بودن وجود نخواهد داشت. زیرا کامپیوترها، روبات‌ها و سایر تکنولوژی‌های دیجیتالی، توانایی و مهارت‌های انسانی را به‌طور شگفت‌آوری به دست می‌آورند.

واضح است که دو قرن اتوماسیون و پیشرفت تکنولوژی، نیروی کار انسانی را منسوخ نکرده. نسبت اشتغال به جمعیت در قرن بیستم افزایش یافته، آن‌هم در شرایطی که مشارکت زنان در بازار کار افزایش یافته. نرخ بی‌کاری بلندمدت افزایش قابل ملاحظه نداشته و به‌طور چرخه‌ای و ادواری نوسان می‌کند. اما کسانی که امروزه نگران اتوماسیون و اشتغال هستند خاطر نشان می‌کنند که تقابل میان اتوماسیون و اشتغال در گذشته متفاوت از آن چیزی است که در حال و آینده به وقوع می‌پیوندد و ظهور قدرت برتر محاسباتی، هوش مصنوعی و رباتیک، احتمال این‌که در آینده نیروی کار در مقیاس وسیع و گسترده اخراج شود را افزایش می‌دهد. هیچ قانون اقتصادی وجود ندارد که تضمین کند هر بزرگسالی با ذهن سالم و شخصیت خوب بتواند درآمدی داشته باشد. آینده هر چه می‌خواهد باشد، در زمان حاضر عصبانیت از اتوماسیون و روبات‌ها آشکار است.

^۱ Erik Brynjolfsson and Andrew McAfee, ۲۰۱۴

این کتاب نشان می‌دهد چگونه پیشرفت هوش مصنوعی و صنایع رباتیک در گذشته و آینده تفکر ما درباره‌ی مسیر احتمالی تغییر شغلی و رشد اشتغال را تغییر می‌دهد. استدلال می‌شود که تقابل میان کامپیوتر و انسان، به کامپیوترها امکان می‌دهد جانشین کار روزمره‌ی کارگران با کدنویسی‌های پیچیده‌ی، مهارت‌های حل مسئله، انطباق‌پذیری و با خلاقیت بیش‌تر و قوی‌تر شوند. مرزهای اتوماسیون به سرعت در حال پیشرفت است و چالش جانشینی ماشین‌ها به جای نیروی کار انسانی مستلزم انعطاف‌پذیری، قضاوت و عقل سلیم است. در بسیاری از موارد ماشین هم جانشین نیروی کار است هم مکمل آن. این کتاب در هشت فصل سعی می‌کند این مباحث را مورد بحث و بررسی قرار می‌دهد.

فصل اول چگونگی تأثیرات پیشرفت فناوری بر اقتصاد را بطور خلاصه مرور کرده، و بر اساس تجربیات گذشته، اثرات آتی اتوماسیون و هوش مصنوعی بر اقتصاد ارزیابی می‌شود. همچنین به پیامدهای اقتصادی و اجتماعی بکارگیری اتوماسیون همانند استفاده از روبات‌ها برای مراقبت از افراد مسن، استفاده از ماشین‌های خودران در حمل و نقل مسافری و کالاها، سلاح‌های خودکار و بالاخره روبات‌های جنسی اشاره خواهد شد. درحالی‌که گسترش کاربرد روبات‌ها در بخش‌های مختلف اقتصادی حیرت‌آور و هیجان‌انگیز است، ولی به بسیاری از چالش‌های حل نشده همانند سیستم‌های قضایی و حقوقی برای مقابله با ورود احتمالی روبات‌های جنسی و همچنین جنگ‌های پیشرفته با سلاح‌های خودکار و تصمیمات استراتژیک نظامی و مسئولیت جنگ‌های منطقه‌ای و بین‌المللی اشاره خواهد شد.

فصل دوم روند استفاده از روبات‌های صنعتی در کشورها را بررسی کرده و نشان می‌دهد کشورهایی که روبات‌های صنعتی را به‌طور قابل توجهی به کار می‌گیرند، همان کشورهای بزرگ صنعتی و برخی کشورهای کوچک و پیشرفته مانند سنگاپور و کره جنوبی می‌باشند. نگاهی اجمالی به سیر تحول درآمد سرانه در بلندمدت و رشد درآمد کشورهایی که در انقلاب صنعتی مشارکت داشته‌اند و همچنین مباحث مربوط به همگرایی درآمد سرانه، اشتغال، ساختار دستمزد و نابرابری که به اتوماسیون نسبت داده می‌شود نیز مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

تفاوت در پتانسیل اثرات فناوری اتوماسیون بر اقتصاد در **فصل سوم** مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. ناهمگنی وظایف شغلی و ویژگی‌هایی شغلی و همبستگی منفی آن‌ها با اتوماسیون مانند تحصیلات، مهارت‌های مدیریتی و نظارتی، تعاملات انسانی و همدلی، حقوق بالاتر و شغلی که مشمول بسیاری از کارهای غیرعادی و غیر تکراری است موضوعات این فصل است. تا آنجا که به اثرات کلان اقتصادی اتوماسیون مربوط می‌شود، تقریباً همه‌ی مطالعات به این نتیجه رسیده‌اند که با اتوماسیون بهره‌وری نیروی کار افزایش می‌یابد، اشتغال و دستمزد کارگران کم‌مهارت در کارخانه‌ها کاهش، و اشتغال و دستمزد کارگران با مهارت بالا بدون تغییر و حتی ممکن است افزایش یابد، مشاغل بخش خدمات افزایش می‌یابد و بالاخره سهم درآمدی نیروی کار کاهش خواهد یافت.

یافته‌های تجربی فوق به صورت نظری در **فصل چهارم** بررسی می‌شود. در این فصل مفاهیم و ابزارهای کلیدی مدل رشد سولو بدون پیشرفت فناوری و بدون رشد جمعیت در زمان گسسته و با استفاده از معادلات تفاضلی مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این فصل مدل رشد سولو در چارچوب زمان پیوسته و با استفاده از معادلات دیفرانسیل و با در نظر گرفتن رشد جمعیت و پیشرفت فناوری نیز مورد بررسی قرار خواهد گرفت. پیشرفت فناوری ما را قادر می‌سازد تا علاوه بر همگرایی، پویایی رشد بلندمدت را نیز توضیح دهیم. سپس اتوماسیون و به تعبیری روبات را به عنوان عامل تولید که جایگزین کامل نیروی کار است، به مدل اضافه خواهیم کرد. از آنجا که این عامل تولید مستقیماً با کارگران رقابت می‌کند، دستمزد نیروی کار را کاهش می‌دهد، و درآمد روبات‌ها به صاحبان سرمایه تعلق می‌گیرد و لذا اتوماسیون سهم درآمد نیروی کار را کاهش می‌دهد و کاهش سهم درآمد نیروی کار منجر به افزایش نابرابری درآمد می‌شود. دومین تأثیر قابل توجه اتوماسیون غلبه بر کاهش بهره‌وری نهایی نیروی کار است به گونه‌ای که امکان رشد اقتصادی پایدار بلندمدت حتی بدون وجود پیشرفت تکنولوژیک را فراهم می‌سازد. با معرفی دو نوع نیروی کار کم‌مهارت و ماهر، مدل اقتصادی تعمیم می‌یابد تا اثرات اتوماسیون نه تنها بر سهم نیروی کار بلکه بر نابرابری دستمزد نیز تجزیه و تحلیل شود. همچنین ملاحظه خواهد شد که اتوماسیون پاداش مهارت را افزایش، و به‌طور معمول دستمزد کارگران

کم‌مهارت را کاهش می‌دهد. پیامدهای دیگری همچون پتانسیل رشد دائمی حتی بدون پیشرفت فناوری و کاهش سهم درآمد کارگر نیز در این مدل وجود دارد. در این فصل اثر اتوماسیون بر تغییرات رفاه اجتماعی نیز مورد بررسی قرار خواهد گرفت. مباحث نظری این فصل نشان می‌دهد که اتوماسیون منجر به افزایش رشد می‌شود اما به قیمت افزایش نابرابری اقتصادی و میزان سودمندی اتوماسیون به ارزیابی جامعه از این نابرابری بستگی دارد. اگر نابرابری مهم نباشد اتوماسیون سودمند خواهد بود.

فصل پنجم راهنمایی آسان برای استفاده در بهینه‌سازی ایستا به روش لاگرانژ و روش کاروش-کان-تاکر، و دستورالعمل‌های گام به گام برای بهینه‌سازی پویا در زمان گسسته و در زمان پیوسته را فراهم می‌سازد. این روش‌ها برای دو مدل اقتصاد کلان پویای مدرن یعنی مدل رمزی-کاس-کوپمانس و مدل OLG مورد استفاده قرار می‌گیرند. این مدل‌ها، هسته‌ی تمام مدل‌های اقتصادی کلان را تشکیل می‌دهند و مسائل مرتبط با رشد اقتصادی بلندمدت و نوسانات چرخه‌های تجاری را تبیین می‌کنند. سپس چارچوب‌های بنیادی این مدل‌ها بسط داده شده و سرمایه اتوماسیون نیز بدان‌ها افزوده می‌شود تا پیامدهای اتوماسیون بر رشد اقتصادی و سهم درآمدی نیروی کار بر اساس آن‌ها تجزیه و تحلیل شود. در این فصل، سه موضوع دیگر مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد، پیامدهای اتوماسیون با پیشرفت تکنولوژیکی درون‌زا، بیکاری تکنولوژیک، و پیامدهای اتوماسیون با تجارت بین‌الملل و سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی.

در **فصل ششم** تغییرات جمعیتی یعنی کاهش باروری، افزایش امید به زندگی و افزایش گروه‌های مسن به عنوان محرک‌های اصلی تغییرات جمعیتی در سطح جهانی و در کشورهای مختلف در چند دهه‌ی گذشته بررسی خواهد شد. پیامدهای اقتصادی این تحولات، گسترده و متنوع است. در کوتاه‌مدت و میان‌مدت، کاهش باروری می‌تواند منافع جمعیتی را ایجاد کرده و اگر به‌طور عاقلانه سرمایه‌گذاری شود، اقتصاد را از فقر خارج کرده و در مسیر رشد بلندمدت پایدار قرار می‌دهد. افزایش امید به زندگی در همان زمان، سرمایه‌گذاری‌های آموزشی را تقویت کرده و بهره‌وری نیروی کار را بهبود می‌بخشد. با این حال، در درازمدت، کاهش باروری و

افزایش امید به زندگی منجر به پیر شدن جمعیت و پیامدهای متعدد شده که باعث نگرانی بسیاری از اقتصاددانان است. از آن جمله نیروی کار برای تولید کالاهای مورد نیاز با جمعیت کم‌تر کاهش یافته، و منابع تامین مالی صندوق‌های تامین اجتماعی تقلیل خواهد یافت. رشد بهره‌وری بخاطر کاهش کارایی کارگران مسن نسبت به کارگران جوان کاهش می‌یابد. زمانی که افراد ثروتمندتر می‌شوند، و گروه‌های مسن‌تر بازنشسته می‌شوند و دارایی‌های خود را مصرف می‌کنند، سرمایه‌گذاری کاهش می‌یابد. و بالاخره جوامع سالخورده نسبت به جوان‌ها مبتکر و ریسک‌پذیر نیستند. همه این‌ها اثرات منفی بر رشد اقتصادی دارد. در این فصل بحث می‌شود که چگونه اتوماسیون به کاهش اثرات اقتصادی منفی پیری جمعیت کمک می‌کند. ملاحظات نظری نشان می‌دهد که نرخ رشد پایین‌تر نیروی کار منجر به اتوماسیون بیشتر می‌شود. شواهد تجربی نشان می‌دهد که بخش بالاتر جمعیت بالای ۵۵ سال و رشد جمعیت کم‌تر، هر دو پذیرش روبات‌های صنعتی را رونق می‌بخشند.^۱ براساس برون‌یابی روندهای گذشته‌ی تولید روبات‌ها تا سال ۲۰۳۰، روبات‌ها جایگزین ۱۲ تا ۶۴ میلیون کارگر می‌شوند. علاوه بر این، فنآوری‌های مرتبط با اتوماسیون به مقابله با تنهایی، افسردگی، و جنون و دیوانگی می‌رود و ممکن است به کارکنان بخش مراقبت‌های پزشکی نیز کمک کنند، به رانندگان مسن و محتاج تحرک نیز کمک کنند؛ به تولید ایمپلنت با کیفیت، پروتزها، شنوایی، و دندان ارزان‌تر از امروز و ... نیز کمک می‌کنند.

فصل هفتم مروری است بر مهمترین اقدامات سیاستی برای مقابله با برخی تأثیرات منفی اقتصادی ناشی از اتوماسیون. در این خصوص، سرمایه‌گذاری آموزشی در سه زمینه بررسی می‌شود. بورسیه‌ها، معافیت از پرداخت شهریه‌ها و سرمایه‌گذاری بر اسکان دانشجویان و آموزش کودکان در خانواده‌های کم درآمد. سپس سرمایه‌گذاری در آموزش‌های مجدد شغلی و برنامه‌های جابجایی شغلی با تمرکز بر کارگرانی که به دلیل اتوماسیون بیکار شده یا جابجا می‌شوند. و بالاخره سرمایه‌گذاری در آموزش ابتدایی و متوسطه با هدف دوره‌های تحصیلی تکمیلی که بر مهارت‌های تفکر

^۱ Abelianky & Prettnr, ۲۰۱۷; Acemoglu & Restrepo, ۲۰۱۸

انتقادی و زمینه‌های نوین تمرکز کرده تا دانش‌آموزان را به‌طورکلی در مقابله با چالش‌های مادام‌العمر پیشرفت فنآوری و به‌طور ویژه چالش‌های اتوماسیون توانا سازد. استراتژی‌های دیگری همانند تقویت عناصر سیستم تأمین اجتماعی جهت ایجاد شبکه امن مناسب برای افرادی که با وجود اتوماسیون، دچار بیکاری مزمن می‌شوند نیز بررسی می‌شود. این عناصر عمدتاً شامل بیمه بیکاری و بیمه سلامت است. ضمناً جهت تأمین مالی هزینه‌های دولتی انواع مالیات بر نیروی کار و مالیات بر ثروت و زمین و ... نیز مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

و بالاخره **فصل هشتم** توسعه اقتصادی و اجتماعی را با توجه به گسترش اتوماسیون و پیشرفت هوش مصنوعی مورد بررسی قرار می‌دهد. نوع نگاه از بعد نظری و تجربی کم رنگ‌تر از فصول قبلی بوده و هدف آن ایجاد آگاهی نسبت به بحث‌های احتمالی آتی است نه توصیف آینده. بنابراین، بحث‌های این فصل بیش از آن که به پیش‌بینی شباهت داشته باشند به حدس و گمان اشاره دارد. دلیل اصلی این مباحث طرح سوالات مهمی است که جامعه برای آماده‌سازی و توانمندسازی آینده‌ی مطلوب در عصر اتوماسیون و هوش مصنوعی با آن مواجه است. برای تهیه سیستم‌های اقتصادی و حقوقی جهت مقابله با فنآوری، و فرهنگ در حال گسترش مرتبط با آن می‌بایست انتخاب‌های مناسبی داشت. توزیع مزایای اتوماسیون و دیجیتالی‌سازی و بهره‌مندی عام از آن جمله است. در غیر این‌صورت نابرابری درآمدی گسترش یافته و برخی از بخش‌های جامعه از مزایای آن، همانند بهبود شرایط اقتصادی و حذف بی‌ثباتی‌های اجتماعی و سیاسی، بهره‌ای نخواهند برد.

در ترجمه‌ی و تایپ برخی فصول این کتاب از دانشجویان دکتری ورودی سال ۱۳۹۹ دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات کمک گرفته شده است. لذا در اینجا لازم می‌بینم که از سرکار خانم حمیده زمانی امیر زکریا، شقایق طلایی کاکلکی، آیدا سماواتی، کتایون کشاورز، لیلا گرجی، صبا تاجدینی، گیسو مدنی، سیده ساناز حسینی، معصومه امینی، سوسن داراخانی، و آقایان عباس عبدالخانی، آیدین ابوطالبی است و سید صادق قاضی تشکر و قدردانی کنم. سپاس و قدردانی مخصوص اینجانب جهت مساعدت سرکار خانم کتایون کشاورز در بازخوانی، ویرایش

و تصحیح تمامی فصول کتاب و تسریع در اتمام آن که بسیار سودمند و ارزشمند بود
نیز از وظایف است. ضمناً تمامی کاستی‌های این کتاب بر عهده‌ی مترجم است.

زمستان ۱۴۰۰ شمسی

کریم امامی

فصل اول:

مقدمه‌ای بر نقش اتوماسیون در اقتصاد

۱.۱ پیشرفت فناوری و پیامدهای اقتصادی آن

از زمان انقلاب صنعتی تاکنون، پیشرفت سریع فناوری سطح رفاه اجتماعی و اقتصادی بسیاری از کشورها را افزایش داده است. در قرن هجدهم میلادی، امید به زندگی و یا متوسط عمر فرد حدود سی سال بود، و تقریباً بیشتر کودکان قبل از رسیدن به سن پنج سالگی فوت می‌کردند. متوسط سطح درآمد افراد جامعه به ندرت به حداقل امرار معاش می‌رسید، و نزدیک به نود درصد از افراد جامعه بی‌سواد بودند.^۱ دویست سال پس از آن، یعنی امروزه، امید به زندگی در جهان به بالای هفتاد سال رسیده، بیش از نود و پنج درصد از کودکان کمتر از پنج سال، از مرگ و میر نجات یافته، و متوسط درآمد واقعی افراد در مقیاس جهانی یازده برابر شده، و همچنین سطح بی‌سوادی افراد به زیر پانزده درصد کاهش یافته است. البته آمار فوق به صورت میانگین جهانی است و گرنه برخی کشورهای ثروتمند همانند استرالیا، کانادا، فرانسه، آلمان، ژاپن، بریتانیا و آمریکا به‌طور قابل ملاحظه‌ای در این دوره منافع بیشتری را کسب، و تحولات مهم‌تری را با پیشرفت فناوری تجربه کرده‌اند. باین‌که اثرات مثبت پیشرفت فناوری متناظر با رفاه و بهبود کیفیت زندگی است، ولی هنوز برخی از افراد بخاطر بیکاری، فقر و بینوایی، تحولات فضای کسب و کار و پیامدهای آن در میان اقشار مختلف جامعه اظهار نگرانی می‌کنند.^۲ این دل‌نگرانی‌ها،

^۱Maddison, ۲۰۱۰; Roser, ۲۰۱۸

^۲ Frey, ۲۰۱۹; Scott & Gratton, ۲۰۲۰; Geiger, Prettnner, & Schwarzer, ۲۰۱۸; Prettnner, Geiger, & Schwarzer, ۲۰۱۸

در کتاب آدم اسمیت در اوایل ۱۷۷۶ میلادی تحت عنوان "تحقیقی در ماهیت و دلایل ثروت ملل" متبلور است. درحالی‌که وی به تأثیرات پیشرفت فنآوری بر افزایش اشتغال خوشبین بود، ولی به افزایش تقسیم کاری که منجر به یکنواختی بیشتر شود و در نتیجه شرایط ناخوشایند و کسالت‌آوری را در فضای کسب و کار ایجاد کند، منتقد بود.

از منظر تاریخی، بیشترین مخالفت‌ها و مقاومت‌های پیشرفت فنآوری به لودیت‌ها، که جنبشی ضد فنآوری بودند منتسب است. اعتراضات گسترده و خشونت آمیز کارگران سال‌های ۱۸۱۱ تا ۱۸۱۶ انگلستان با ابداع ماشین‌های نساجی آغاز شد، و به تبع آن بهره‌وری نیروی کار بافته بیش از سه برابر افزایش یافت. جنبش ضد فنآوری لودیت‌ها ماشین‌های نساجی را ویران کرد، نیروی نظامی جهت سرکوب این جنبش دخالت کرد، و در واکنش به این شورش‌های فراگیر، دیوید ریکاردو در دیدگاه قبلی خود مبنی بر این‌که فنآوری برای همه سودمند است، تجدید نظر کرد. در سال ۱۸۲۱ میلادی، وی در چاپ سوم کتاب "اصول اقتصاد سیاسی و مالیات" فصل جدیدی را تحت عنوان "ماشین‌آلات" افزود که در آن اثرات تغییرات فنآوری بر بیکاری را مورد بررسی قرار می‌دهد. به زعم وی، با ابداع و نوآوری و پیشرفت فنآوری در گذر زمان، سرمایه‌داران بر روی ماشین‌آلات کاراندوز که از نظر آن‌ها مقرون به صرفه‌تر است سرمایه‌گذاری کرده، و به تبع استخدام کم‌تر نیروی کار در فرآیند تولید، بیکاری افزایش، و پرداخت دستمزد به نیروی کار نیز کاهش خواهد یافت. با کاهش سهم نیروی کار از تولید، درآمدهای حاصل از دستمزد کاهش یافته و عدم توانایی پرداخت حتی بهای غذا، رنج و محنت و گرسنگی کارگران را در پی خواهد داشت.

در مقابل ریکاردو، ویکسل در سال ۱۹۰۶ معتقد است که عرضه‌ی نیروی کار، بی‌کشش و دستمزدها با کشش است. به‌طوری‌که با پیشرفت فنآوری و کاهش دستمزدها از بیکاری نیروی کار جلوگیری می‌شود. دستمزدها فقط هنگامی بی‌کشش خواهند بود که در حداقل و در سطح امرار معاش باشند و امکان کاهش بیش‌تر آن مقدور نباشد. در این سطح از دستمزدها با پیشرفت فنآوری، بیکاری افزایش خواهد یافت. در این حالت ویکسل جهت جبران و گریز از بیکاری حاصل از

پیشرفت فنآوری، سیستمی را برای تامین اجتماعی پیشنهاد می‌کند که از محل سود صاحبان سرمایه و ماشین‌آلات جدید تامین مالی می‌شود.^۱ ویکسل این سوال را نیز مطرح می‌کند که آیا فنآوری‌های جدید در قرن ۱۹ همواره کاراندوز بوده و باعث افزایش تولید نهایی نیروی کار شده است؟ او انتظار داشت که ادعای فوق صحیح نباشد، زیرا در آن زمان پیشرفت ماشین‌آلات تا حدودی مکمل نیروی کار بود. همان‌طور که متعاقباً خواهیم دید، این استدلال نمی‌تواند بدون هیچ گونه قید و شرطی در حوزه پیشرفت فنآوری و دستگاه‌های خودکار و مدرن امروزی و روبات‌ها به کار گرفته شود.

به‌طور کلی تأثیرات اقتصادی تغییرات فنآوری، و به خصوص اتوماسیون و دستگاه‌های خودکار به مفروضات حاکم بر اقتصاد بستگی دارد. از دیدگاه نظری، اثرات پیشرفت فنآوری بر اشتغال، نابرابری، رشد اقتصادی و رفاه اقتصادی، به نوع پیشرفت فنآوری وابسته است. در نتیجه، بررسی‌های نظری همراه با تحلیل‌های تجربی، مخصوصاً برای سنجش تأثیرات اتوماسیون بر اقتصاد بسیار مهم می‌باشند.

اگر مطالعات تئوریک گذشته را دنبال نکنیم و دقیق به داده‌های تجربی اکتفا کنیم برخی از نگرانی‌ها در رابطه با تأثیرات اقتصادی پیشرفت فنآوری رفع خواهد شد. تا جایی اثرات فنآوری بر اشتغال مورد توجه است، باید اذعان داشت که امروزه نرخ بیکاری نسبتاً پایین است. در کشورهای صنعتی و پیشرفته، فقر و گرسنگی ریشه کن شده. پیامدهای منفی پیشرفت فنآوری بر اقتصاد به سه دلیل محقق نشد.

اول این‌که، پیشرفت فنآوری باعث افزایش سطح درآمد و کاهش قیمت نسبی کالاهایی شد که با فنآوری پیشرفته تولید شده، و در نتیجه تقاضای کل به حدی افزایش یافت که با وجود افزایش بهره‌وری نیروی کار، تقاضا برای نیروی کار نه تنها کاهش نیافت، بلکه افزایش هم یافت. به عنوان مثال ماشین‌آلات نساجی بهره‌وری نیروی کار بافته را تا سه برابر افزایش داد. اگر به سبب فنآوری دستمزدها افزایش و قیمت نسبی منسوجات کاهش و تقاضا پنج برابر شود، آنگاه در تعادل بلندمدت جدید، صنعت نساجی، حتی به کارگران بیشتری احتیاج خواهد داشت. البته، این

^۱ Hagemann, ۱۹۹۵; Humphrey, ۲۰۰۴

مکانیزم تنها زمانی موثر خواهد بود که نیروی کار بافنده به عنوان یک منبع ضروری در آن صنعت باقی بماند. به طور کلی، مکانیزم توصیف شده به فناوری‌هایی منتسب است که تا حدودی مکمل نیروی کار باشند. هر چند، در عصر اتوماسیون و استفاده از دستگاه‌های خودکار، روبات‌ها جانشین کامل انسان می‌شوند. زیرا تعریف دقیق اتوماسیون در فرایند تولید کالاها و خدمات، بر جانشینی کامل و تمام عیار سرمایه به جای نیروی کار دلالت دارد نه مکمل بودن آن.^۱

ساختار دگرگون شده‌ی اقتصاد صنعتی مدرن دومین دلیلی است که چرا تغییرات فناوری منجر به بیکاری گسترده نشد.^۲ دویست سال پیش، بیشتر مردم جهت تولید غذا در بخش کشاورزی شاغل بودند. امروزه، سهم اشتغال نیروی کار در بخش کشاورزی در کشورهای پیشرفته کم‌تر از پنج درصد است.^۳ پس این همه نیروی کار رها شده در بخش کشاورزی به کجا رفتند؟ مسلماً به خاطر پیشرفت فناوری، فرصت‌های شغلی جدیدی در بخش تولیدات کارخانه‌ای و همچنین بخش خدمات بوجود آمد. دو عامل زیر انتقال شاغلین از بخش کشاورزی و سپس بخش صنعت به بخش خدمات را توضیح می‌دهد.

اول تقاضای فزاینده برای خدمات که اغلب کالای لوکس محسوب می‌شوند و کشش درآمدی آن‌ها بیش از واحد است. در مقابل، کشش درآمدی محصولات کشاورزی، به خصوص بخش غذایی، کم‌تر از واحد است. با این ترجیحات ناهمگن، افزایش سطح درآمد مبین افزایش تقاضا در بخش خدمات، و سپس افزایش اشتغال در آن بخش است.

^۱ Merriam-Webster, ۲۰۱۷; Acemoglu & Restrepo, ۲۰۱۸b; Growiec, ۲۰۱۹;

He´mous &

Olsen, ۲۰۱۸; Prettner, ۲۰۱۹; and Prettner & Strulik, ۲۰۲۰

^۲ Vermeulen, Kesselhut, Pyka, & Saviotti, ۲۰۱۸; Vermeulen, Pyka, & Saviotti,

۲۰۲۰

^۳ Herrendorf, Rogerson, & Valentinyi, ۲۰۱۴

دوم پیشرفت فنآوری باعث افزایش بهره‌وری بخش کشاورزی و صنعت شده، و لذا بهره‌وری بیشتر، یعنی کارگران کم‌تر در آن بخش‌ها و هدایت آن‌ها به سمت بخش خدمات. بخشی که بهره‌وری آن متناظر با دو بخش دیگر افزایش نیافته است.^۱ بر این اساس کوون^۲ در سال ۲۰۱۳ معتقد است که تقاضا برای خدمات، همواره وجود داشته و برای افراد ثروتمند یا اشخاص متمول بیشتر است. دریافت خدمات بیشتر یعنی فرصت‌هایی که انسان‌ها حس بهتری داشته، حس خوب نسبت به دنیا، نسبت به خودشان و به چیزهایی که به دست آورده‌اند. دویست سال قبل بیشتر مردم با درآمدی نزدیک به سطح حداقل معیشت و با دستمزدی ناچیز، درآمد خود را تنها صرف تهیه غذا می‌کردند. درحالی‌که امروزه، به‌طور غیرقابل تصویری با تغییر ساختار نیروی کار مدرن، بیشتر افراد در بخش خدماتی مانند کمک پرستار، معلم پرورش‌گاه، مشاور تغذیه، کارشناس بازاریابی، آرایش‌گر، معلم یوگا و... فعالیت دارند که در گذشته با درآمد مردم در حد امرار معاش، تمایل و یا شاید قدرت تقاضا برای چنین خدماتی وجود نداشت.

سومین دلیل اصلی در مورد این که چرا با پیشرفت فنآوری، اشتغال کاهش نیافت این است که ساخت و نگهداری دستگاه‌ها و یا به تعبیری فنآوری‌های کارافزا که باعث صرفه‌جویی نیروی کار در فرایند تولید می‌شود به‌طور طبیعی نیاز به کارگران انسانی دارد. لذا به‌طور تاریخی، اثر تعدیل‌کننده‌ی محتمل برای کاهش فشار پیشرفت فنآوری بر سطح اشتغال این است که سازندگان ماشین‌آلات، کارگران بیشتری برای ساخت، نصب، راه‌اندازی و تعمیر تجهیزات استخدام کنند، که آن را معاهده‌ی تولید ماشین نامند. البته باید به این نکته توجه داشت که در فرایند اتوماسیون ممکن است تولیدات ماشین‌های خودکار و هوشمند توسط خود ماشین‌ها، روبات‌ها و پرینترهای سه بعدی و بدون دخالت انسان صورت پذیرد. در این صورت اثرات مثبت اشتغال مبتنی بر معاهده‌ی تولید ماشین از بین می‌رود.^۳

^۱ Autor & Dorn, ۲۰۱۳; Baumol & Bowen, ۱۹۶۶

^۲ Cowen (۲۰۱۳, p. ۲۳)

^۳ Hicks, ۱۹۷۳, and Lowe, ۱۹۷۶

۲.۱ پیامدهای اقتصادی اتوماسیون؛ آیا این بار متفاوت است؟

اتوماسیون به روش‌های متفاوتی صورت می‌گیرد. بیشتر اوقات، روبات‌ها و پرینترهای سه بعدی وظایف خاص و تکراری را به صورت کاملاً اتوماتیک انجام می‌دهند. اتوماسیون ممکن است الگوریتم‌هایی باشد که معاملات سهام را بدون دخالت انسان انجام دهد، سوابق پرونده‌ها را در دفاتر حقوقی جستجو کند، به کمک اشعه ایکس اسکن کند، اخبار کوتاه را پخش، و خودران‌ها را به پیش راند و اکنون سؤال اساسی این است که آیا پیشرفت فناوری نسبت به گذشته متفاوت است؟ آیا بکارگیری روبات‌ها، پرینترهای سه بعدی و الگوریتم‌های مبتنی بر یادگیری ماشین که کاملاً جایگزین و جانشین کارگران شده‌اند، مبین تعدیلات بیشتر نیروی کار انسانی در فرایند تولید می‌شوند و یا صرفاً نوعی ترفیع و یا ترقی فناوری‌های منسوخ شده هستند. پیشرفت‌های اخیر در ساخت دستگاه‌های تمام اتوماتیک برای انجام وظایفی خاص و تکراری، این نگرانی را دامن زده که ممکن است این پیشرفت‌ها تغییرات مشابه و اثرات تعدیلی در عصر انقلاب صنعتی را نداشته باشند. تعریف فعلی اتوماسیون مبین آن است که امروزه پیشرفت فناوری نه تنها باعث افزایش بهره‌وری کارگران نمی‌شود، بلکه ماشین‌آلات جدید و هوشمند کنونی جایگزین کامل نیروی کار در فرایند تولید کالاها و خدمات می‌شوند.^۱ به عنوان مثال، وقتی اتومبیل‌های خودران رواج پیدا کنند و راننده‌های تاکسی شغل خود را از دست دهند، افزایش تقاضا برای استفاده از تاکسی منجر به ایجاد فرصت‌های شغلی برای رانندگان تاکسی نخواهد شد. مکانیزم تعدیل افزایش تقاضای نیروی کار به تبع کاهش قیمت‌ها و افزایش درآمدها که قبلاً در مورد ماشین‌های بافندگی توضیح داده شد، دیگر تکرار نمی‌شود. بنابراین اثر تعدیلی افزایش تقاضا با اتوماسیون و ورود ماشین‌های خودکار از بین می‌رود. همزمان، به نظر می‌رسد بخش‌های جدیدی که ظهور کرده‌اند، کمتر از بخش‌های اقتصادی گذشته به نیروی کار نیاز داشته باشند. به عنوان مثال، کارخانه‌ی فولکس واگن که یک تولید کننده سنتی خودرو است، جهت تولید خودرو

^۱ Merriam-Webster, ۲۰۱۷; Prettnner, ۲۰۱۹; Prettnner & Strulik, ۲۰۱۷, ۲۰۲۰

در سال ۲۰۱۷ حدود ۶۵۰ هزار کارگر داشت و اندکی بیش از ۲۵۰ میلیارد دلار آمریکا درآمد کسب کرد. آلفابت یا شرکت مادر گوگل در همان سال، در حدود ۸۵ هزار کارمند داشت و درآمدی معادل ۱۱۰ میلیارد دلار آمریکا بدست آورد. فیس بوک در سال ۲۰۱۴ با حدود تنها ۵۰ کارمند در برنامه کاربردی What's app در حدود ۱۹ میلیارد دلار آمریکا بدست آورد. در نتیجه ممکن است با تولید روبات‌ها و ماشین‌های خودکار، به منابع نیروی انسانی کمتری نیاز باشد و به دلیل افزایش دستگاه‌های خودکار، مکانیزم تعدیل متناظر با آن‌ها نیز تضعیف شود.

فارغ از تاثیرات اتوماسیون بر اشتغال، تجزیه و تحلیل مقدماتی نشان می‌دهد که اتوماسیون نابرابری اجتماعی را گسترش می‌دهد. تغییرات تکنولوژیکی اخیر، اغلب به افراد خلاق اجازه می‌دهد که با سرویس‌دهی در بازارها سود هنگفتی کسب کنند، درحالی‌که بخش اعظم جمعیت کارگر، تقریباً هیچ منفعتی از درآمدهای متناظر با آن بدست نیاورند. این پدیده یا عارضه را اقتصاد سوپرستارها نامند.^۱ تغییر فناوری و جهانی شدن در بسیاری از قلمروها باعث شکوفایی بهترین‌ها شده و دسترسی به بازارهای بزرگتر را به سهولت امکان‌پذیر می‌سازد. نوازندگان قرن هیجدهم میلادی تنها مخاطبان محلی داشتند، ولی امروزه، ستارگان پاپ، و سینما، ورزشکاران و قهرمانان، سرآشپزهای تلویزیونی، نویسندگان، طراحان نرم افزار و یا حتی مدیر عاملان شرکت‌ها مخاطبین جهانی خود را دارند. پیشرفت فناوری در حوزه‌های اینترنت، پلتفرم‌ها و اشاعه و پخش به روش‌های مختلف همانند ذخیره سازهای DVD، سوپرستارها را قادر خواهد ساخت تا با تعداد بیشتری از هواداران و تقریباً با هزینه‌ی نهایی صفر در ارتباط باشند.^۲

دسترسی به این سطح وسیع از اطلاعات، به معنی رشد انفجاری رسانه‌های اجتماعی. به عنوان مثال، آهنگ‌سازی همانند ویوالد^۳ در گذشته می‌بایست هفته‌ها سفری دشوار و پر التهاب و استرس را تحمل می‌کرد تا در یک شهر و در مقابل صدها شنونده‌ی مشتاق نمایش خود را اجرا کند. ولی امروزه، بیش از ۳ میلیارد نفر

^۱ Frank & Cook, ۱۹۹۶; Manasse & Turrini, ۲۰۰۱; Rosen, ۱۹۸۱

^۲ Korinek & Ng, ۲۰۱۷

^۳ Vivaldi

از ساکنین کره‌ی زمین با دسترسی به اینترنت می‌توانند هر موزیک دلخواه از هر خواننده‌ی محبوبی را در فضای مجازی بلافاصله پس از انتخاب و فشردن تنها یک دکمه از گوشی موبایل خود خریداری کنند.

بجز اقتصاد سوپرستارها، دو عامل دیگر در ارتباط با گسترش نابرابری درآمد وجود دارد که با اتوماسیون در ارتباط نزدیک است. اول این که روبات‌ها و پرینترهای سه بعدی با احتمال بیشتری جایگزین کارگران کم‌مهارت نسبت به کارگران ماهر شده و به تبع آن شکاف دستمزد کارگران ماهر نسبت به کارگران بدون مهارت بیش‌تر می‌شود، که بدان پاداش یا مزایای مهارت گفته می‌شود. این پدیده ممکن است منجر به کاهش دستمزد واقعی کارگران با مهارت پایین در آمریکا شده باشد. لذا افزایش شکاف دستمزد بین این دو گروه یکی از نیروهای قاطع محرک افزایش نابرابری درآمد از ۱۹۷۰ به بعد می‌باشد.^۱ دوم این که، وقتی روبات‌ها و پرینترهای سه بعدی رقیب کارگران شوند، و صاحبان آن‌ها از این دستگاه‌ها درآمد کسب کنند، فشار ایجاد شده بر نیروی کار سهم آن‌ها را از درآمد حاصل از تولید کاهش می‌دهد. طی دهه‌های گذشته سهم نیروی کار از تولید در بسیاری از کشورها کاهش یافته،^۲ و تعداد روبات‌های صنعتی به دو میلیون واحد فعال در سال ۲۰۱۸ افزایش یافته است. پرتنر^۳ در سال ۲۰۱۹ با استفاده از داده‌های سال ۲۰۱۶ فدراسیون بین‌المللی روباتیک^۴ نشان می‌دهد که در حدود ۰.۷ درصد واحد از ۱۴ درصد کاهش سهم درآمدی نیروی کار گزارش شده از سال ۱۹۷۰ احتمالاً به خاطر افزایش روبات‌های صنعتی است. ادن و گگل^۵ در سال ۲۰۱۸ با استفاده از ذخایر تکنولوژی‌های اطلاعاتی و مخابراتی به عنوان متغیر نماینده‌ی اتوماسیون، تاثیرات بیش‌تری را در

^۱ Atkinson, ۲۰۱۵; Atkinson, Piketty, & Saez, ۲۰۱۱; Milanovic, ۲۰۱۶; Piketty, ۲۰۱۴; Piketty & Saez, ۲۰۰۳

^۲ Elsby, Hobijn, & Sahin, ۲۰۱۳; Karabarounis & Neiman, ۲۰۱۴

^۳ Prettner (۲۰۱۹)

^۴ International Federation of Robotics (۲۰۱۶)

^۵ Eden and Gaggl (۲۰۱۸)

این زمینه برآورد کردند و نیمی از کاهش سهم درآمد نیروی کار از تولید را به اتوماسیون نسبت دادند.

به‌طورکلی، انتظار می‌رود اتوماسیون سطح استاندارد زندگی را بهبود بخشد، ولی پیامدهای توزیعی مضر از جمله بیکاری تکنولوژیکی، افزایش پاداش مهارت، افزایش نابرابری دستمزد و تغییر در توزیع تبعی درآمد به سمت سرمایه دارد. در این کتاب انتظارات و نگرانی‌ها در خصوص اتوماسیون، هم به صورت نظری و هم تجربی تبیین خواهد شد.

۳.۱ اثرات اجتماعی اتوماسیون

بررسی پیامدهای صرفاً اقتصادی اتوماسیون، ما را از برخی اثرات اتوماسیون در حوزه اجتماعی غافل می‌سازد. در این بخش، مواردی که در آن اتوماسیون پتانسیل تحولات عمیق در زندگی روزمره را دارد مورد توجه قرار خواهیم داد. ژاپن اولین کشوری است که از روبات‌ها برای پرستاری و مراقب سالمندان استفاده کرد.^۱ این نوآوری چگونگی نگهداری و مراقبت از سالمندان را عمیقاً تغییر داد و برای کشورهای صنعتی که به سرعت در حال پیر شدن است، بسیار مهم خواهد بود. در ابتدا روبات‌ها توانستند در کنار پرستاران و در خانه‌ی سالمندان کار کنند و در بیمارستان‌ها کارهای فیزیکی مقتضی را همانند بلند و جابجا کردن بیماران، و یا فعالیت‌های روایتی مثل آموزش حرکات ورزشی و خواندن کتاب با صدای بلند را انجام دهند.^۲ به‌طور سنتی، سالمندان در خانه‌ها نگهداری می‌شدند، و زنان تقریباً تمام بار مسئولیت‌ها را به عهده می‌گرفتند. اما با افزایش درآمد و مشارکت زنان در بازار کار، تقاضا برای خدمات مربوط به نگهداری سالمندان در بیمارستان‌ها و خانه‌های سالمندان به شدت افزایش یافت. روبات‌ها رفته رفته جایگزین مناسب کمک‌های مراقبتی شدند و شیوه‌ی سپری کردن عمر سالمندان نیز تغییر کرد.

^۱ The Economist, ۲۰۱۷

^۲ The Economist, ۲۰۱۷; Moro, Lin, Nejat, & Mihailidis, ۲۰۱۹

روبات‌های پرستار سالمندان را در استحمام، رفتن به سرویس‌های بهداشتی، تهیه‌ی غذا و دادن دارو کمک کردند، و افراد مسن بدون این‌که بار سنگین مراقبت شخصی از آن‌ها همانند مراقبت‌های جسمانی، احساسی، روانی، اجتماعی و زمانی برگردن نزدیکان آن‌ها باشد، توانستند در محیط خانه‌ی خود بمانند و زندگی کنند. تغییرات فناوری حتی مراقبت از کودکان را با روشی مشابه تغییر داده، هرچند سپردن کودک به یک روبات پرستار ممکن است گاهی مشکلات روانی را نیز ایجاد کند.

در حوزه‌ی حمل و نقل، هر چند در بکارگیری ماشین‌های خودران نااطمینانی‌های زیادی وجود دارد، ولی رواج استفاده از این تکنولوژی، نشان دهنده‌ی تغییرات عمیق اجتماعی است. ماشین‌های خودران نه تنها دورنما و چشم‌انداز اقتصادی آموزشگاه‌های رانندگی، و رانندگان کامیون و تاکسی را تحت تاثیر قرار می‌دهند، بلکه بر ساختار شهرنشینی و طراحی شهرها نیز تاثیر خواهند گذاشت. اگر زمان رانندگی تا محل کار، برای کارهای سازنده‌تری مثل خوابیدن، بررسی ایمیل‌های کاری، تماشای فیلم یا خواندن کتاب و... صرف شود، هزینه‌های فرصت سفر بخاطر ناسازگاری، استرس و ناراحتی، به مراتب کمتر خواهد شد. در نتیجه، اسکان در جوار محیط کار، کمتر، پراکندگی جمعیت در شهر، بیشتر، و سکنا گزیدن در حاشیه‌ی شهرها افزایش خواهد یافت، و به تبع آن قیمت خانه‌ها و اجاره‌ی اماکن مسکونی تعدیل خواهد شد. سهولت استفاده از خودران‌ها، راحتی، آرامش و حرکت مستقیم به سوی مقصد باعث می‌شود تا مسافرین از ازدحام در وسایل حمل و نقل عمومی به دور باشند. این روش افرادی را که نمی‌توانند رانندگی کنند، مانند فاقدین گواهی نامه رانندگی به دلایل شرایط سنی و...، اشخاص مسن بدون اعتماد به نفس و یا کسانی که از نظر روحی و روانی و یا جسمی صدمه دیده‌اند و رانندگی برای آن‌ها ممنوع شده و... را تحت پوشش قرار دهد. این افراد براحتی می‌توانند به جای وسایل حمل و نقل عمومی پرازدحام از ماشین‌های خودران استفاده کنند. تغییرات تکنولوژیکی از یک طرف جاده‌ها را شلوغ کرده و از طرف دیگر، روش‌های مدیریتی خود کنترلی مثل ایجاد سیستم‌های عوارض بر ترافیک-وابسته در بزرگراه‌ها و همچنین دسترسی به ماشین‌های مشترک را تسهیل می‌کند. در حقیقت،

ماشین‌های شخصی در بیش از ۹۵ درصد مواقع بلا استفاده‌اند،^۱ که مبین تقاضای بالا برای استفاده از پارکینگ در شهرهاست. استفاده از ماشین‌های خودران مشترک، زمان پارک اتوموبیل‌ها و یا نیاز به مکان‌های اختصاصی پارک را کاهش می‌دهد. استفاده از این فناوری‌ها فشار قیمتی املاک مناطق شهری را کم می‌کند، اجبار و الزام اسکان در نزدیکی محیط کار و یا زندگی در داخل شهر را کاهش می‌دهد، و در نتیجه، فضای پارکینگ‌های درون شهری را برای توسعه‌ی مناطق مسکونی، ساختمان‌های اداری، مسیر دوچرخه سواری و پارک‌ها آزاد می‌سازد و به‌طور کلی ترافیک و تراکم شهری را کاهش می‌دهد. البته، در کنار این مزایا، نیروهای دیگری همانند رشد جمعیت، افزایش درآمد، نیاز به فضای کاری بزرگ‌تر و محدودیت‌های منطقه‌بندی باعث افزایش قیمت املاک می‌شوند.

برنامه‌های نرم‌افزاری ترجمه و تشخیص صدا مثال‌های دیگری از پتانسیل اتوماسیون یا هوش مصنوعی برای تغییرات ژرف و گسترده‌ی زندگی ما انسان‌هاست. اگر پیشرفت‌های شگرف و عظیم دهه‌ی قبل در برنامه‌های نرم‌افزاری ترجمه و نرم افزار تشخیص صدا راهنمای آیندگان باشد، آنگاه در ارتباطات بین‌المللی وابستگی کم‌تری به یادگیری زبان‌های خارجی و یا استخدام مترجم وجود دارد. به عنوان مثال، در اتحادیه اروپا بیست و چهار زبان رسمی وجود دارد، و تمامی ساکنین کشورهای این اتحادیه مجازند که به زبان‌های مرسوم آن منطقه دسترسی داشته باشند. به علاوه، شهروندان آن اتحادیه اجازه دارند که با کمیسیون اروپایی مکاتبه داشته و به زبان خودشان، پاسخ را دریافت کنند. بنابراین، کمیسیون اروپا کارفرمای بسیار بزرگی برای زبان‌شناسان و مترجمان است.^۲ امکان ترجمه‌ی همزمان با کمک الگوریتم‌ها، نیاز به مترجم را کاهش می‌دهد، ائتلاف بین‌المللی را بیشتر می‌کند، تجارت، سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی، و توریسم را افزایش می‌دهد و کار در خارج از کشور را تسهیل می‌کند. زیرا همان‌طور که می‌دانیم، مسئله‌ی چند زبانی یکی از مهم‌ترین موانع چنین فعالیت‌هایی است.

^۱ The Economist, ۲۰۱۸a, ۲۰۱۸b

^۲ http://ec.europa.eu/education/official-languages-eu-0_en

یکی از مباحث پیچیده اجتماعی در حوزه پیشرفت فناوری، موضوع روبات‌های جنسی است. بحث و جدل و گزارشات خبری گسترده‌ای در چند سال اخیر مبنی بر این‌که چگونه روبات‌های جنسی، صنعت فیلم‌های مستهجن و فحشا را تحت تاثیر قرار خواهد داد، وجود دارد. هرچند، روبات‌های جنسی فعل و انفعالات انسانی را از هر جهت تقلید می‌کنند، ولی چالش‌های قانونی و اخلاقی درباره‌ی آمیزش با روبات‌های جنسی هنوز درک نشده است.^۱ آیا خرید روبات‌های جنسی مشابه فحشاست، و از لحاظ حقوقی باید در برخی کشورها قانونی و در برخی دیگر منع و تحریم شود؟ آیا استفاده از روبات‌های جنسی باعث افزایش انزوای اجتماعی افراد خواهد شد؟ آیا روبات‌های جنسی نرخ ازدواج و به‌طور کلی صف‌آرایی و همچنین دوام و بقا و ماندگاری انجمن‌های جنسی را متاثر خواهد ساخت؟ چگونه ارتباط با روبات‌های جنسی نقش جنسیتی درک شده و واقعی افراد در جامعه را تغییر خواهد داد؟ وضعیت مالکیت روبات‌ها از منظر قانونی، مسیر بحث‌ها و محدودیت‌های قانونی، همانند جلوگیری روبات‌ها از رفتاری که منجر به جرم و بزه علیه انسان شود را میسر می‌سازد. به عنوان مثال، روبات‌های جنسی می‌توانند به‌گونه‌ای برنامه‌ریزی شوند که تجاوز جنسی کنند. بحث در مورد این‌که آیا این موضوع باید در همان مراحل اولیه متوقف شود یا خیر در مراحل ابتدایی است.^۲ حتی اگر راه حلی در این زمینه یافت شود، قانون‌گذاران چگونه می‌توانند مرزی بین روبات‌های جنسی و واقعیت مجازی ترسیم کنند؟

با وجود این‌که کلمه روبات مترادف با رفتار و خلق و خوی خشک و بی احساس است، ولی اتوماسیون گام‌های شگرف و عظیمی در زمینه‌ی مشاوره روانشناختی برداشته است. به عنوان مثال، برنامه‌هایی برای درمان اوتیسم و زوال عقل تدوین شده.^۳ متا آنالیز که روشی برای مقایسه نتایج مطالعات مختلف در زمینه اختلالات

^۱ Sharkey, van Wynsberghe, Robbins, & Hancock, ۲۰۱۷

^۲ Danaher, ۲۰۱۴; Sharkey et al., ۲۰۱۷; Sparrow, ۲۰۱۷

^۳ Vitelli, ۲۰۱۴

روانی است نشان می‌دهد که درمان بیماران روحی و روانی با روبات‌هایی که بدین منظور ساخته شده‌اند موثرتر از گروهی است که از این نوع درمان استفاده نکرده‌اند.^۱ از منظر دولت، روبات‌های نظامی چالشی برای جنگ‌های متعارف است. در صفوف روبات‌های نظامی، تصمیم بر کشتن افراد ممکن است به دست الگوریتم‌ها سپرده شود.^۲ برخی نگرانند که سلاح‌های مبتنی بر هوش مصنوعی خودکار آستانه‌ی ظهور جنگ را کاهش می‌دهند، ولی مسابقات تسلیحاتی را تشدید می‌کنند. به خصوص اگر این سلاح‌ها به دست افراد تروریست برسد، تهدیدی بسیار خطرناک و جدی برای جامعه‌ی جهانی خواهد بود. روزنامه‌ی گاردین در سال ۲۰۱۵ به نامه‌ای اشاره می‌کند که بیش از ۱۰۰۰ کارشناس خبره از جمله ایلان ماسک و استیفن هاوکی‌نگ امضا کرده‌اند. به باور آن‌ها نقطه پایان مسیر تکنولوژیکی روشن است؛ سلاح‌های خودگردان، کلاشینکف‌های آینده خواهند بود. حتی در مقیاس وسیع‌تر، استراتژی‌های مبتنی بر هوش مصنوعی که در قالب تصمیمات نظامی به کار می‌رود، اخیراً در آمریکا و چین بودجه قابل توجهی را به خود اختصاص داده،^۳ هر چند تصمیم‌گیری بر اساس هوش مصنوعی، ممکن است عکس‌العمل‌های شدیدتر و تهدیدات بالقوه مرگبارتر و مصیبت بارتری در مقایسه با تصمیمات انسانی داشته باشد. راه حل ساده‌ی این معضل، قرار دادن انسان در این حلقه بگونه‌ای است که تصمیم استراتژیک نهایی بر اساس قضاوت انسانی گرفته شود. انجام این کار نشان دهنده‌ی مزیت استراتژیکی جهت تصمیم‌گیری سریع‌تر است، و برخی از کشورها ممکن است از این مزیت استفاده کنند.

در کنار فنآوری‌های نظامی پرقدردت، اقتصادهای مدرن که برای فعالیت مطلوب خود نیاز به ارتباطات اینترنتی پایدار و شبکه‌های قابل اطمینان برق دارند، به شدت نسبت به قطع کامل برق، بلایای ناگهانی طبیعی، هک کردن و یا انتشار و شیوع ویروس‌های کامپیوتری آسیب پذیر می‌شوند. این روزها، با قطع برق طولانی مدت، ارتباط سیستم پرداخت الکترونیک مختل، فروش کالاها در سوپرمارکت‌ها ناممکن،

^۱ Costescu, Vanderborght, and David (۲۰۱۴)

^۲ Hellstrom, ۲۰۱۳

^۳ The Economist, ۲۰۱۹b

درهای ورود و خروج آسیب‌پذیر، فعالیت پمپ بنزین‌ها ناممکن و همچنین غذا در فریزرها و یخچال‌های فروشگاه‌های مواد غذایی فاسد خواهند شد. لذا چون اکثریت قریب به اتفاق مردم از نظر مواد غذایی خودکفا نیستند، از قطعی برق بشدت آسیب خواهند دید. با گسترش الکترونیکی فعالیت‌های اقتصادی، جوامع در برابر چنین فجایعی آسیب‌پذیرتر خواهند شد. زیرا حمله و یورش به یک فرد به منزله آسیب به کل جامعه می‌باشد. این موضوع چالشی برای سیاست‌مداران جهت طراحی سیستم‌های اضطراری برای مراقبت و تضمین فعالیت‌های جامعه در هنگام وقوع بلایای طبیعی و غیر مترقبه است.

۴.۱ رقابت در برابر ماشین یا رقابت همراه با ماشین

چگونه می‌توان با چالش‌های اقتصادی و اجتماعی اتوماسیون مقابله کرد؟ پاسخی که معمولاً برای آرامش و تسلی خاطر ارایه می‌شود، آمادگی انسان از طریق آموزش و یادگیری است. بدون تردید همه نسبت به آموزش نگاهی مثبت دارند زیرا اگر زمانی را صرف فراگیری مطالب جدید کنیم، آنگاه از عهده‌ی همه مشکلات برخوردار خواهیم آمد. هرچند در واکنش به چالش‌های پیش روی اتوماسیون، آموزش مولفه‌ای است حیاتی، ولی نمی‌تواند همه‌ی مشکلات موجود را حل کند. این‌که همه رانندگان کامیون که به سبب اتوماسیون از کار خود بیکار شدند یک فیزیکی‌دان و یا معلم یوگا شوند، فکری پوچ و عبث است. مهارت‌هایی وجود دارد که ماشین‌ها به‌طور ذاتی، به آسانی و به صورت کارآمد نمی‌توانند آن‌ها را فرا گیرند. همدردی، کارگروهی و توانایی تفسیر علائم و نشانه‌ها به صورت زبانی یا غیرزبانی برخی از این مهارت‌هاست. هرچند امروزه الگوریتم‌هایی در حال تدوین و توسعه است. هنگامی که روبات‌ها مسئولیت بسیاری از امور روزمره را بر دوش می‌کشند، آنگاه آموزش نیز ضرورت خواهد یافت. در نهایت، در عصر حاضر که وارد مراحل علم، فناوری، مهندسی و ریاضیات می‌شویم، به نظر می‌رسد، رشته‌های متناظر، فرصت‌های شغلی خوبی را برای انسان ایجاد می‌کنند. لذا سرمایه‌گذاری در این زمینه‌ها دفاع ارزشمندی در برابر چالش‌های پیش روی اتوماسیون است.

سیستم‌های تامین اجتماعی اغلب از مالیات بر حقوق و دستمزد تامین مالی می‌شوند. تا جایی که اهمیت نیروی انسانی در فرایند تولید به سبب اتوماسیون کاهش می‌یابد. برخی معتقدند که سیستم‌های تامین اجتماعی نیز در واکنش به این عارضه باید بازطراحی شوند. پیشنهاداتی در این خصوص برای چگونگی تامین مالی این صندوق‌ها از مالیات بر روبات‌ها و مالیات بر سرمایه، مالیات بر مصرف و مالیات دیجیتال یا مالیات بر دستگاه‌های دیجیتالی ارائه شده است.^۱ این پیشنهادات از آنجا قابل تامل است که روبات‌ها در آینده سهم بزرگی از درآمد را خواهند داشت، و لذا وضع مالیات بر روبات‌ها جهت جایگزینی مالیات بر حقوق و دستمزد از دست رفته‌ی کارگران بیکار شده منصفانه خواهد بود.

تحرك‌پذیری بسیار زیاد روبات و سرمایه نسبت به نیروی کار از دلایل بسیار مهم مخالفت با اخذ این گونه مالیات‌هاست، به‌طوری‌که روبات‌ها به آسانی می‌توانند به کشورهای دیگری که مالیات بر روبات وضع نمی‌کنند منتقل شوند.^۲ در مقابل، مخارج مصرفی، تحرك‌پذیر نیست و به آسانی به خارج از کشور منتقل نمی‌شود و لذا اخذ مالیات از کالاهای مصرفی امکان‌پذیر و کارآمد است. البته، در این زمینه مشکلاتی نیز وجود دارد. مالیات بر مصرف پس‌رو است، یعنی خانوارهای با سطح درآمد پایین‌تر، بخش بیشتری از درآمدشان صرف مالیات بر مصرف می‌شود، که اثر زیانباری بر نابرابری درآمدی خواهد داشت. هرچند برخی از ناظرین برای طراحی مالیات بر مصرف پیش‌رو راه‌هایی را پیشنهاد کرده‌اند.^۳

فارغ از روش‌های تامین مالی، اقدام سیاستی ضروری نسبت به بیکاری حاصل از فناوری، درآمد پایه‌ای بدون شرطی است که به صورت دستمزد جامع و فراگیر و بدون هیچ قید و شرطی به شهروندان پرداخت شود. از آن جا که پرداخت درآمد پایه‌ای بدون شرط جایگزین کامل سیستم سنتی تامین اجتماعی است، ولی چنین سیاستی ممکن است برای افرادی با بیماری مزمن و پرهزینه که نیاز به درآمدی

^۱ Delaney, ۲۰۱۷; Geiger et al., ۲۰۱۸; Guerreiro, Rebelo, & Teles, ۲۰۱۸

^۲ Gasteiger & Prettnner, ۲۰۲۰; Guerreiro et al., ۲۰۱

^۳ Frank, ۲۰۰۸; Geiger et al., ۲۰۱۸

بیشتر از درآمد پایه‌ای بدون شرط داشته باشند تا از سختی‌ها و مصایب زندگی نجات یابند، گرفتاری بیشتری ایجاد کند.

کوون^۱ در سال ۲۰۱۳ و براین جالفسون و مک کافی^۲ در سال ۲۰۱۶ معتقدند که در عصر ماشین‌های هوشمند، استراتژی موفق، باید هم جهت و همراه ماشین باشد نه در مقابل آن. در بازی شطرنج پیشرفته، هر بازیکن یا برنامه‌ی شطرنج از پیش تعیین شده را انتخاب می‌کند و کامپیوتر برطبق آن برنامه، ترجیحات مشابه را در مورد هر دو رقیب اجرا می‌کند، و یا در "برنامه شطرنج آزاد" تیم‌های انسانی می‌توانند در مقابل یکدیگر از انواع برنامه‌های مختلف در بازی‌هایشان کمک بگیرند. زمانی که بهترین بازیکنان انسانی در مقابل برنامه‌های استاندارد شطرنج می‌بازند، ترکیب و پیوندی از تیم انسانی با برنامه‌های شطرنج کمک می‌کند تا بهترین برنامه‌های مستقل شطرنج را شکست دهند. بنابراین، باوجود برنامه‌های شطرنج پر قدرت و پیچیده و با سرعت پردازش بالای امروزی، قدرت محاسبات ماشین‌ها و حس درونی بشری مکمل خوبی خواهند بود. بنابراین اگر مردم بخواهند در عصر ماشین‌های هوشمند موفق باشند، به تعاون با این مکمل‌ها نیاز خواهند داشت، و در زمینه‌هایی که ماشین‌ها جایگزین مناسب و خوبی برای انسان هستند، و از تلاش برای رقابت با آن‌ها باید خودداری و اجتناب کنند. به عنوان مثال، پزشکان ممکن است با یک روبات تشخیص بیماری مثل "واتسون" که تهدیدی است برای پزشکان مشغول به کار، همراه شوند. هر چند بیماران با داشتن پزشکی که با آن‌ها ارتباط برقرار کند و از آن‌ها مراقبت کند، بسیار منتفع خواهند شد. از این‌رو، فناوری‌های نوین و مهارت‌های انسانی یکدیگر را تکمیل می‌کنند، درحالی‌که این تعاون و همکاری روبات‌های صنعتی و کارگران خط مونتاژ مشاهده نمی‌شود.

ایده‌ی افراطی در زمینه‌ی رقابت با ماشین، تصور رو به رشد "تکمیل شدن انسان" است. در یک طرف این طیف، مکمل انسان می‌تواند عینک هوشمندی باشد که از اطراف فیلم برداری کرده و آن را در معرض دید همگان قرار می‌دهد، و یا یک

^۱ Cowen (۲۰۱۳)

^۲ Brynjolfsson and McAfee (۲۰۱۶)

پوشش محافظ خارجی باشد که اندام انسان را تقویت کرده و فعالیت‌های فیزیکی را آسان‌تر می‌سازد. همچنین ایمپلنت و یا کاشت ریزتراشه‌ها به جای کارت شناسایی از این گونه است.^۱ طیف دیگر مکمل انسانی رابط مستقیم مغزی است.^۲ وقتی مردم مایلند برای کاشت رابط‌های مغزی تحت عمل جراحی قرار گیرند، ابزارهایی مثل لنز چشمی، دستگاه تنظیم‌کننده‌ی ضربان قلب، لگن‌های مصنوعی نیز ممکن است درآینده به بازار عرضه شوند. درگذشته از رابط‌های مستقیم مغزی در آزمایشات بالینی به صورت موفقیت آمیزی استفاده شده که افراد فلج را قادر می‌ساخت تا از تبلت استفاده کنند.^۳

پیش‌بینی افراطی اثرات اتوماسیون و هوش مصنوعی بر اقتصاد، وقوع تکینگی است که اولین بار توسط رایمون کورزوئل^۴ در سال ۲۰۰۵ و با استعانت از مطالعات گذشته جان نیومن ارائه شد. بر طبق این نظریه، رشد نمایی فنآوری منجر به شرایطی می‌شود که در آن هوش مصنوعی (کامپیوتر) که به مراتب قدرتمندتر از هوش انسانی است، در فرایند تولید کالاها و خدمات جایگزین کامل انسان می‌شود. این شرایط را تکینگی نامند. در وضعیت تکینگی زندگی بشر به گونه‌ای تغییر خواهد کرد که ما در حال حاضر نمی‌توانیم آن را درک کنیم. بعد از آن زمان، هوش مصنوعی در سراسر جهان گسترش خواهد یافت و کنترل بشر را بدست خواهد گرفت.

۵.۱ خلاصه

در این فصل چگونگی تأثیرات پیشرفت فنآوری بر اقتصاد را بطور خلاصه مرور کرده تا بتوان بر اساس تجربیات گذشته اثرات آتی اتوماسیون و هوش مصنوعی بر اقتصاد را ارزیابی کنیم. در خصوص تأثیر پیشرفت فنآوری بر اشتغال، ملاحظه کردیم که

^۱ Ma, ۲۰۱۸; Young, ۲۰۱۷

^۲ Velleste, Perel, Spalding, Whitford, & Schwartz, ۲۰۰۸

^۳ Nuyujukian et al., ۲۰۱۸

^۴ Kurzweil's (۲۰۰۵)

مکانیزم‌های تعدیل‌کننده باعث می‌شود تا برخی از کارگرانی که به تبع پیشرفت فناوری از کار بیکار می‌شوند، در بخش‌های دیگر اقتصاد به کار گمارده شوند. هر چند، برخی از این اثرات تعدیلی، ممکن است مانند گذشته نباشد. زیرا در گذشته دستگاه‌ها هنوز به‌طور کامل خودکار نشده بودند.

در این فصل همچنین به پیامدهای اقتصادی و اجتماعی استفاده از اتوماسیون همانند استفاده از روبات‌ها برای مراقبت از افراد مسن، استفاده از ماشین‌های خودران در حمل و نقل مسافری و کالا، سلاح‌های خودکار و بالاخره روبات‌های جنسی اشاره شد. درحالی‌که گسترش کاربرد روبات‌ها در بخش‌های مختلف اقتصادی حیرت‌آور و هیجان‌انگیز است، ولی بسیاری از چالش‌های حل نشده هنوز باقی است. به‌عنوان مثال سیستم‌های قضایی و حقوقی برای مقابله با ورود احتمالی روبات‌های جنسی چگونه گسترش می‌یابند؟ و یا در عصر جنگ‌های پیشرفته با سلاح‌های خودکار، تصمیمات استراتژیک نظامی چگونه اتخاذ خواهد شد؟

در نهایت در مورد احتمال رقابت بشر با روبات‌ها در آینده بحث کردیم. پیشرفت چشمگیر فناوری بیانگر این است که رقابت با ماشین‌ها در بسیاری از زمینه‌ها با شکست مواجه شده و ممکن است ضروری نباشد. لذا استراتژی بهتر همراهی انسان با ماشین‌هاست. محدوده‌ای که در آن احتمال رقابت با ماشین وجود دارد به این بستگی دارد که انسان‌ها تا چه میزان از مزایای ماشین برخوردار خواهند شد. ارتباطات شخصی، همدردی و حس درونی مثالهایی در این خصوص است. مفهوم تکینگی در حال تحول و دگرگونی است. در این کتاب در خصوص شرایط و الزامات تحقق تکینگی بحث زیادی نشده، ولی پیامدهای اتوماسیون و هوش مصنوعی بر اقتصاد و نتایج اجتماعی آن مورد بررسی قرار گرفته است.

فصل دوم:

حقایق آشکار شده

۱.۲ بکارگیری فناوری اتوماسیون

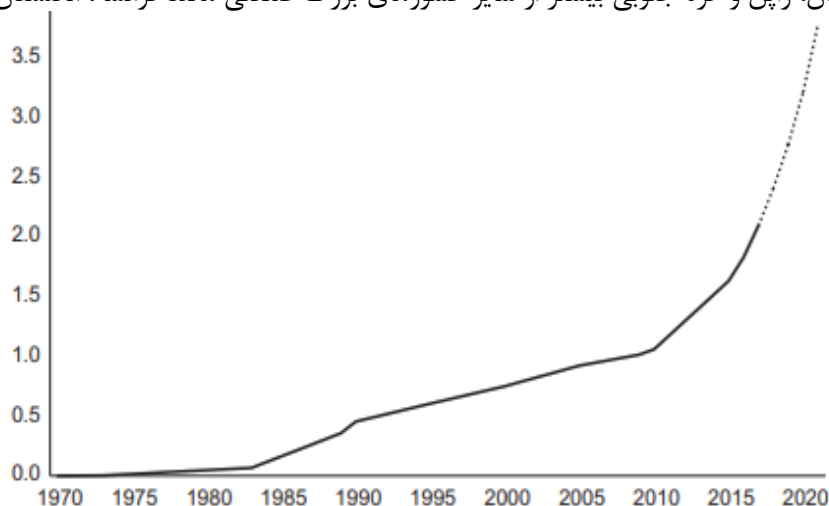
اتوماسیون پدیده‌ای است نسبتاً جدید. اولین بار ایده‌ی استفاده از روبات‌های صنعتی توسط جورج چارلز دوول در سال ۱۹۵۴ میلادی مطرح و بلافاصله پس از آن، روبات‌های صنعتی توسط دوول و جوزف انگلبرگر توسط شرکت یونیمیت ساخته و راه‌اندازی شد و در فرایند مونتاژ GM در سال ۱۹۶۱ مورد استفاده قرار گرفت.^۱ پس از آن، تا نیمه‌ی دوم دهه‌ی ۱۹۸۰ میلادی استقبال چندانی از روبات‌های صنعتی صورت نگرفت. این نکته در نمودار ۱.۲ با استفاده از داده‌های فدراسیون بین‌المللی روباتیک^۲ در سال‌های ۲۰۱۸-۲۰۱۶ نشان داده شده است. افزایش اولیه و قابل توجه تولید روبات‌های صنعتی در سال‌های ۲۰۰۷-۱۹۸۵ اتفاق افتاد. به دنبال رکود اقتصادی بزرگ، تعداد روبات‌های صنعتی به اوج خود رسید و در سال‌های اخیر با نرخ رشد سالانه‌ی ۱۵ درصدی و به‌طور قابل توجهی بالاتر از نرخ رشد تولید و جمعیت، افزایش یافته است. این بدان معناست که تراکم یا چگالی روبات، یا تعداد روبات به ازاء هر کارگر طی دهه‌ی گذشته به‌طور قابل توجهی در حال افزایش است. پیش‌بینی‌های فدراسیون بین‌المللی روباتیک در سال ۲۰۱۸ نشان می‌دهد که تعداد روبات‌های صنعتی تا سال ۲۰۲۱ به بیش از ۳.۵ میلیون واحد خواهد رسید.

بکارگیری روبات‌ها در کشورها، و در بخش‌ها و زیربخش‌های اقتصادی کاملاً متفاوت است. به عنوان مثال، درحالی‌که تعداد نسبتاً زیادی از روبات‌های صنعتی در تولید اتومبیل و دستگاه‌های الکتریکی و الکترونیکی استفاده می‌شوند، ولی استفاده‌ی روبات‌ها

۱. <https://web.archive.org/web/20110926213115/http://www.robothalloffame.org/unimate.html> and <https://www.robots.com/articles/industrial-robot-history>

۲. International Federation of Robotics (IFR), ۲۰۱۶, ۲۰۱۷a, ۲۰۱۸a

در صنایع غذایی ناچیز است.^۱ تعداد روبات‌های صنعتی در کشورهای پیشرفته مانند آلمان، ژاپن و کره جنوبی بیشتر از سایر کشورهای بزرگ صنعتی مانند فرانسه، انگلستان



نمودار ۱.۲: روبات‌های صنعتی در جهان به میلیون واحد، (۲۰۱۶، ۲۰۱۷a، ۲۰۱۸a) IFR. نقطه چین نشان دهنده پیش‌بینی‌ها و خط پیوسته مبین داده‌های واقعی است.

و ایالات متحده است. علت آن تا حدودی توسط در هرم سنی و جمعیت سالخورده توضیح داده می‌شود. در کشورهایی که جمعیت با سرعت بیشتری پیر می‌شود، تقاضا برای روبات‌های صنعتی جهت جایگزین کردن با کارگران بازنشسته بیشتر است،^۲ ضمن آن که بسیاری از کشورهای فقیر امکان استفاده از روبات صنعتی را ندارند.

جدول ۱.۲ براساس داده‌های (۲۰۱۸b) IFR، تعداد روبات‌های صنعتی به ازاء هزار کارگر در تولیدات کارخانه‌ای را در کشورهای پیشرفته نشان می‌دهد. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود تراکم روبات در آلمان ۶۳ درصد بیشتر از تراکم روبات در ایالات متحده است،^۳ در حالی که در کره جنوبی تراکم روبات دو برابر کشورهای آلمان و ژاپن بوده و در صدر قرار دارد. به‌طور مطلق چین بزرگترین بازار روبات‌های جهان را دارد، ولی طبق آمار ارائه شده در جدول ۲.۲، تراکم روبات در چین نسبت به سایر کشورها به میزان قابل توجه‌ای

۱. IFR, ۲۰۱۷a

۲. Abelianky & Prettnr, ۲۰۱۷; Acemoglu & Restrepo, ۲۰۱۸

۳. Dauth, Findeisen, Suedekum, & Woessner, ۲۰۱۷

کمتر است. زیرا تعداد زیاد کارکنان و کارگران، و دستمزد نسبتاً پایین در کشور چین باعث می‌شود انگیزه‌ی سرمایه‌گذاری در اتوماسیون کاهش یابد.^۱

جدول ۱.۲. تعداد روبات به ازاء هر ۱۰ هزار کارمند در تولید کارخانه‌ای سال ۲۰۱۶. بر اساس آمار (۲۰۱۸b) IFR	
کشور	روبات به ازای هر ۱۰ هزار کارمند در تولیدات کارخانه‌ای
کره جنوبی	۶۳۱
سنگاپور	۴۸۸
آلمان	۳۰۹
ژاپن	۳۰۳
سودان	۲۲۳
دانمارک	۲۱۱
ایالات متحده	۱۸۹
ایتالیا	۱۸۵
بلژیک	۱۸۴
تایوان	۱۷۷
اسپانیا	۱۶۰
هلند	۱۵۳
کانادا	۱۴۵
اتریش	۱۴۴
فنلاند	۱۳۸
اسلوونی	۱۳۷
اسلواکی	۱۳۵

۱. Abeliasky & Prettnr, ۲۰۱۷; Acemoglu & Restrepo, ۲۰۱۸

۱۳۲	فرانسه
۱۲۸	سوئیس
۱۰۱	جمهوری چک
۸۳	استرالیا
۷۱	انگلستان
۶۸	چین
۵۸	پرتغال
۵۷	مجارستان
۵۱	نروژ
۴۹	نیوزلند
۴۵	تایلند
۳۴	مالزی
۳۲	هلند
۳۱	مکزیک
۳۱	اسرائیل
۲۸	آفریقای جنوبی
۲۳	ترکیه
۱۸	آرژانتین
۱۷	یونان
۱۵	رومانی
۱۱	استونی
۱۰	برزیل
۶	کرواسی
۵	اندونزی
۳	روسیه

جدول ۲.۲ بزرگترین بازارها برای روبات در سال ۲۰۱۶، بر اساس IFR (۲۰۱۷b)	
کشور	روبات‌های صنعتی سالانه (به هزار)
چین	۸۷
کره جنوبی	۴۱.۴
ژاپن	۳۸.۶
آمریکا	۳۱.۴
آلمان	۲۰
تایوان	۷.۶
ایتالیا	۶.۵
مکزیک	۵.۹
فرانسه	۴.۲
اسپانیا	۳.۹
تایلند	۲.۶
هند	۲.۶
سنگاپور	۲.۶
کانادا	۲.۳
جمهوری چک	۲.۰

۲.۲ پویایی رشد اقتصادی و رفاه

در این بخش روندهای رشد درآمد جهانی مورد بررسی قرار می‌گیرد. قبل از انقلاب صنعتی، متوسط درآمد کشورها و همچنین متوسط درآمد جهانی در سطح معیشت قرار داشت.^۱ نمودار ۲.۲ رشد خیره‌کننده و سرسام‌آور اقتصاد را نشان می‌دهد، پدیده‌ای که در گذشته‌های دور بطئی، ولی با انقلاب صنعتی شدت گرفت. با تجزیه و تحلیل این روند به تفکیک مناطق، در نمودار ۳.۲ مشاهده می‌کنیم که اروپای غربی و شاخه‌های غربی، متشکل از استرالیا، کانادا، نیوزلند و ایالات متحده، رشد درآمد را زودتر تجربه کردند، درحالی‌که مناطقی مانند آفریقا، هنوز در حال تقلا و کوشش هستند. تفاوت در رشد اقتصادی بلندمدت مناطق تا حد زیادی علت اصلی نابرابری درآمد بین کشورها پس از انقلاب صنعتی است. در حدود سال ۱۰۰۰ میلادی، ثروتمندترین منطقه از نظر تولید ناخالص داخلی سرانه، به‌طور متوسط، ۱۰ درصد ثروتمندتر از فقیرترین منطقه بود. این تفاوت در سال ۱۸۲۰ سه برابر و در پایان قرن بیستم ۱۸ برابر شده است.^۲ اخیراً، نابرابری درآمدی بین کشورها اندکی کاهش یافته که عمدتاً به خاطر رشد سریع کشورهای چین و هند است که سطح درآمد آن‌ها هنوز زیر متوسط جهانی قرار دارد.^۳ البته، اگر این دو کشور از میانگین جهانی پیشی بگیرند، ادامه رشد سریع آن‌ها نابرابری درآمدی بین کشورها را تشدید می‌کند.

نیروی مالتوسی عامل رکود بلندمدت قبل از انقلاب صنعتی بود. یعنی اگر مردم در حداقل شرایط معیشتی زندگی کنند، توانایی فرزندآوری زیاد را ندارند. زیرا دندان و دهانی اضافی برای تغذیه، برای غذایی ثابت رقابت می‌کند. اگر تولیدات غذایی و درآمد متوسط به دلیل پیشرفت فناوری افزایش یابد، خانواده‌ها ترجیح می‌دهند نرخ باروری را بالاتر از نرخ جایگزینی افزایش دهند، رشد جمعیت افزایش یافته و بین درآمد بالاتر و باروری رابطه مثبت برقرار می‌شود. با این حال در بلندمدت، رشد جمعیت، منافع درآمدی را که در وهله اول پیشرفت فناوری به وجود آورده است را از بین می‌برد، و اقتصاد به یک تعادل جدید که در آن درآمد دوباره در سطح حداقل معیشت است، اما اندازه جمعیت و بنابراین، تراکم جمعیت بالاتر از ابتداست، همگرا می‌شود.^۴ پیشرفت فناوری باعث می‌شود که سرمایه‌گذاری در آموزش کودکان به‌طور فزاینده اهمیت پیدا کند. زیرا فناوری‌های جدید به‌طور طبیعی مکمل کارگران تحصیل کرده

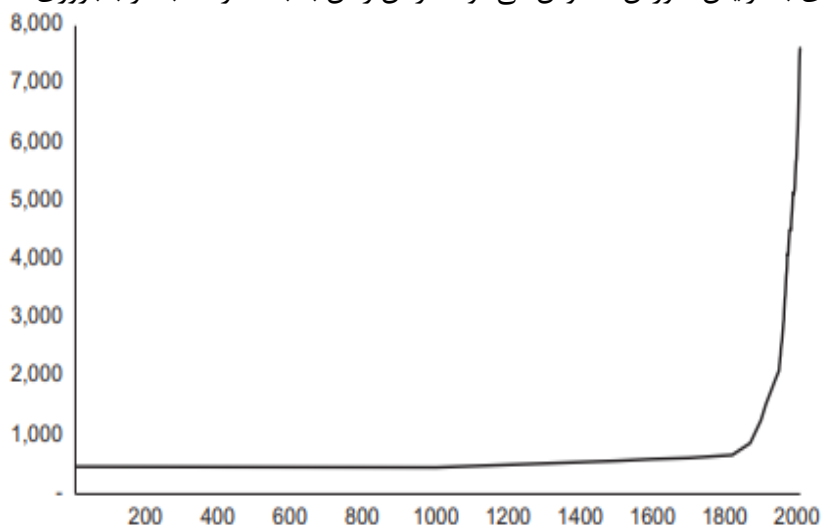
۱. Galor, ۲۰۱۱; Malthus, ۱۷۹۸

۲. Maddison, ۲۰۱۰

۳. Kufenko, Prettnner, & Geloso, ۲۰۲۰; Milanovic, ۲۰۱۶; Sala-iMartin, ۲۰۰۶

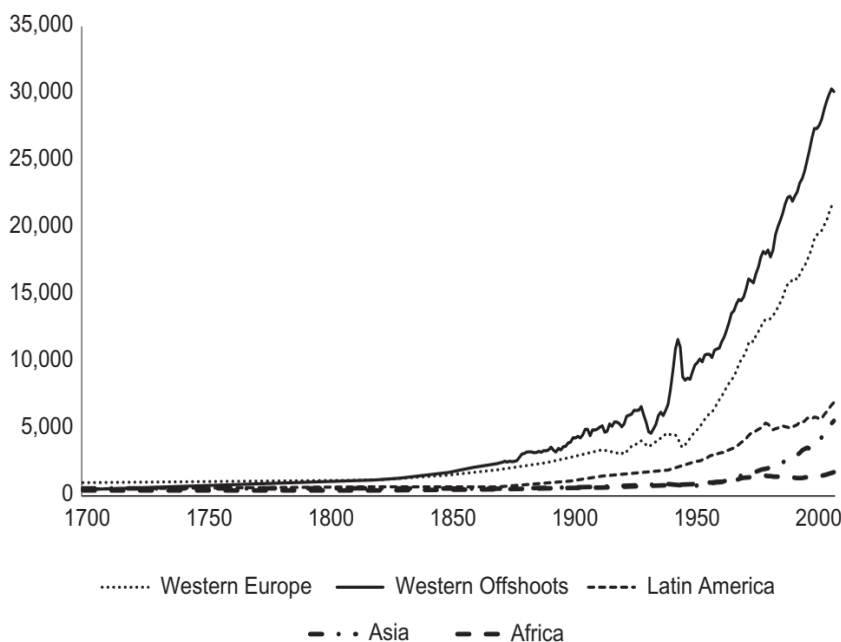
۴. Galor & Weil, ۲۰۰۰; Malthus, ۱۷۹۸

هستند، و بهبود سلامتی و طول عمر، انگیزه سرمایه‌گذاری در آموزش را افزایش می‌دهد. البته سرمایه‌گذاری در آموزش، هزینه‌بر است و این هزینه مبین یک بده بستان کمی و کیفی در فرآیند تصمیم‌گیری فرزندآوری است: سرمایه‌گذاری بیشتر در آموزش هر کودک، مستلزم کاهش تعداد فرزندان خانوارهاست. رابطه‌ی مثبت بین درآمد بالاتر و باروری با افزایش آموزش معکوس می‌شود.^۱ از آن زمان به بعد، درآمد بالاتر با باروری



نمودار ۲.۲: سطح درآمد سرانه جهانی از سال ۱ تا ۲۰۰۸ میلادی،
مدیسون (۲۰۱۰) به قیمت ثابت دلار ۱۹۹۰

۱. Becker & Lewis, ۱۹۷۳; Galor & Weil, ۲۰۰۰; Strulik, Prettnner, & Prskawetz, ۲۰۱۳



نمودار ۳.۲: سطح درآمد سرانه در مناطق مختلف از ۱۷۰۰ تا میلادی ۲۰۰۸،
 مدیسون (۲۰۱۰) به قیمت ثابت دلار ۱۹۹۰

رابطه‌ی منفی خواهد داشت. نیروهای مالتوسی که رکود اقتصادی را تقویت می‌کنند از بین می‌روند، و رشد پایدار اقتصادی در بلندمدت امکان پذیر می‌شود.^۱ در حالی که منابع تاریخی و اقتصادی، سازوکارهای انقلاب صنعتی را به خوبی توضیح می‌دهند، این کتاب بیشتر تأثیرات فناوری مدرن به ویژه اثرات اتوماسیون بر رشد اقتصادی و نابرابری را مورد بررسی قرار می‌دهد. از آنجا که اتوماسیون یک پدیده‌ی نسبتاً جدیدی است و کشورهای صنعتی را تحت تأثیر قرار داده، در این کتاب به مراحل رشد پایدار متکی بر پیشرفت فناوری پس از انقلاب صنعتی تمرکز می‌کنیم. علاوه بر این، از دیدگاه بین‌کشوری نگاه خود را به کشورهایی که از روبات صنعتی استفاده‌ی قابل توجهی کرده‌اند محدود می‌کنیم.

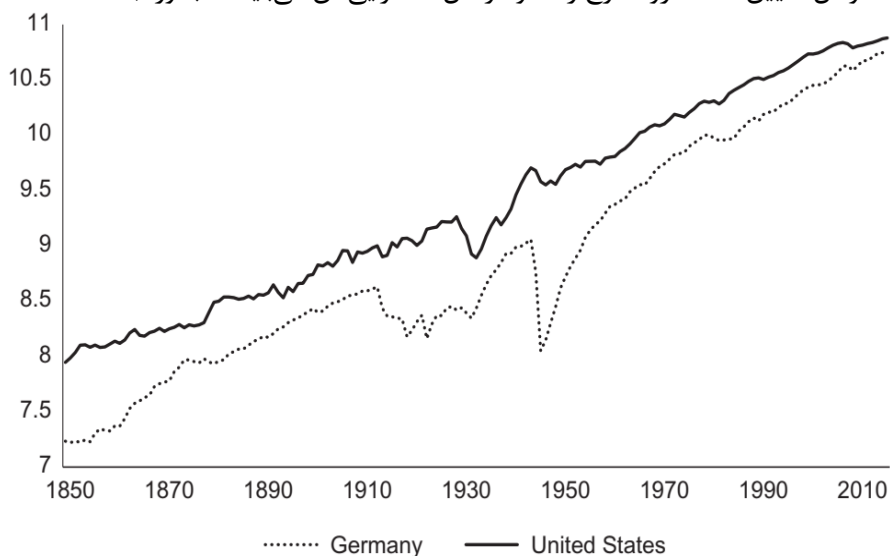
۱. برای تئوری رکود مالتوسی تا انقلاب صنعتی و رشد پایدار می‌توانید به این منابع مراجعه کنید Galor (۲۰۰۵, ۲۰۱۱), Galor and Weil (۲۰۰۰), Lagerlof (۲۰۰۶), and Strulik et al. (۲۰۱۳).

نمودار ۴.۲ نشان دهنده‌ی لگاریتم تولید ناخالص داخلی سرانه‌ی کشورهای آلمان و ایالات متحده از سال ۱۸۵۰ تا ۲۰۱۵ میلادی است. ایالات متحده و آلمان در حال حاضر به ترتیب بزرگ‌ترین و چهارمین کشور بزرگ صنعتی جهان هستند. در این دو کشور تعداد روبات‌های صنعتی فعال نسبتاً زیاد است، و به‌طور منطقی می‌توان انتظار داشت که دارای انباشتی از دانش پیشرفته‌ی فناوری باشند. این نمودار برخی حقایقی مبتنی بر مدل‌های نظری اقتصاد کلان را آشکار می‌سازد (نگاه کنید به فصل ۴ و فصل ۵).

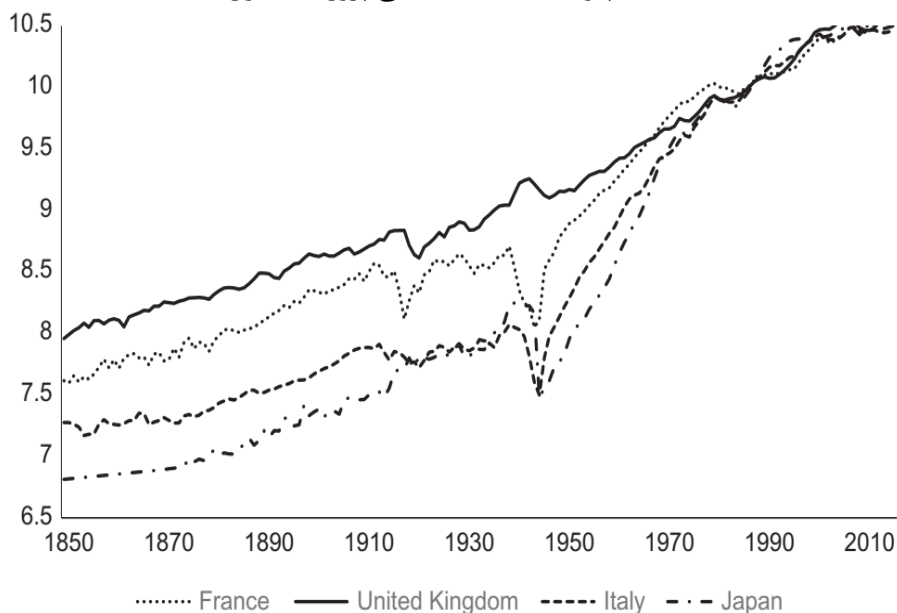
اول این‌که درآمد هر دو کشور طی یک و نیم قرن اخیر با نرخ‌های کاملاً مشابه و تقریباً ثابت ۲ درصد در حال رشد است. این نمودار، مبین روند رشد بلندمدت و نوسانات کوتاه مدت آن در این دو کشور است و نشان می‌دهد دانش، نرخ رشد اقتصادی را برای ایجاد رفاه بلندمدت چگونه توضیح می‌دهد.

دوم، انحراف شدیدی از روند بلندمدت رشد اقتصادی کشور آلمان در طی جنگ جهانی دوم و همگرایی سریع پس از جنگ مشاهده می‌شود. پس از جنگ جهانی دوم، هیچ کس تصور نمی‌کرد که آلمان به سرعت به سطح درآمد قبل از جنگ بازگردد. وجود نیروهای گرانشی قوی در روند رشد بلندمدت و بهبود سریع اقتصاد آلمان را معجزه اقتصادی می‌نامند.

سوم، شکاف بلندمدت بین کشورهای ایالات متحده و آلمان همواره وجود داشته و لذا عوامل تعیین کننده روند نرخ رشد و مراحل همگرایی آن می‌بایست بطور جداگانه



نمودار ۴.۲: لگاریتم تولید ناخالص داخلی حقیقی سرانه‌ی آلمان (خط نقطه چین) و ایالات متحده (خط پیوسته)، بانک اطلاعاتی پروژه مدیسون (۲۰۱۸).



نمودار ۵.۲: لگاریتم تولید ناخالص داخلی حقیقی سرانه برای فرانسه (خط نقطه چین)، انگلستان (خط ثابت)، ایتالیا (خط تیره) و ژاپن (خط تیره نقطه)، بانک اطلاعاتی پروژه مدیسون (۲۰۱۸).

توضیح داده شود.

در فصل چهارم با معرفی مدل رشد سولو و سوان در سال ۱۹۵۶، هر سه حقایق آشکار شده‌ی فوق از نظر کمی توضیح داده خواهد شد.^۱ از آنجا که این مدل در تجزیه و تحلیل رشد بلندمدت اقتصادی در گذشته بسیار موفق بوده، لذا برای تجزیه و تحلیل نظری اثرات اقتصاد کلان اتوماسیون نیز مورد استفاده قرار خواهد گرفت.

۱. از نظر کمی، مدل سولو در توضیح سرعت همگرایی و تفاوت در سطح درآمد میان کشورها مشکلاتی دارد که در این کتاب به آن توجه نمی‌شود. منابع بسیار خوب در این زمینه عبارتند از: Acemoglu (۲۰۰۹); Barro and Sala-i-Martin (۲۰۱۲); Caselli (۲۰۰۵); Mankiw, Romer, and Weil (۱۹۹۲); and Weil (۲۰۰۴).

هرچند بسیاری از نتایج تجربی و نظری تئوری رشد برای سایر کشورها نیز قابل تعمیم است ولی در این کتاب از داده‌های اقتصادی کشور ایالات متحده و آلمان استفاده کرده، زیرا مطالعات تجربی اثرات اتوماسیون بر اقتصاد در این دو کشور بیشتر در دسترس است.

نمودار ۵.۲ سطح درآمد فرانسه، ایتالیا، ژاپن و انگلستان را طی سالهای ۱۸۵۰ تا ۲۰۱۵ نشان می‌دهد. در این نمودار شاهد رشد مداوم تولید ناخالص داخلی سرانه بلندمدت در این کشورها هستیم. مشابه آلمان، پس از جنگ جهانی دوم کشورهای جنگ زده‌ی فرانسه، ایتالیا و ژاپن با کاهش شدید سطح درآمد خود و پس از آن با همگرایی سریع به سطح درآمد کشورهای ثروتمندتر باز گشتند،^۱ و در سال ۲۰۱۵ سطح درآمد هر چهار کشور تقریباً یکسان است.

درحالی‌که تولید ناخالص داخلی سرانه معیار ناقصی برای رفاه اقتصادی است،^۲ ولی با سایر شاخص‌های رفاه مانند سلامتی، امید به زندگی، تحصیلات و اوقات فراغت همبستگی شدیدی دارد. جین و لنو^۳ در سال ۲۰۱۶، شاخص رفاه جامعی را معرفی کردند که شامل اثرات مصرف، اوقات فراغت، مرگ و میر و نابرابری مبتنی بر تابع رفاه اجتماعی است. آن‌ها نشان می‌دهند درحالی‌که تولید ناخالص داخلی سرانه کشورها ممکن است رفاه اقتصادی را نشان ندهد، ولی همبستگی بین این دو شاخص ۹۸ درصد است. بلوم، فان و دیگران^۴ در سال ۲۰۲۰، شاخص جدیدی را پیشنهاد می‌کنند که حاصل تولید ناخالص داخلی سرانه تعدیل شده بر حسب برابری قدرت خرید (PPP)^۵، امید به زندگی و معکوس ضریب جینی است. این شاخص نابرابری تعدیل شده‌ی درآمد با سلامتی است و رفاه بین‌کشوری را از بعد سلامتی و نابرابری بهتر برآورد کرده و امکان مقایسه دقیق‌تر را فراهم می‌سازد. کشورهای که بر اساس این شاخص رتبه‌بندی شده‌اند و کشورهایی که بر اساس تولید ناخالص داخلی سرانه یا شاخص توسعه‌ی انسانی

۱. Barro, ۱۹۹۱, ۱۹۹۷; Islam, ۱۹۹۵; Sala-i-Martin, ۱۹۹۷; Sala-i-Martin, Doppelhofer, & Miller, ۲۰۰۴

۲. Bloom, Fan, et al., ۲۰۲۰; Fan, Bloom, Ogbuonji, Prettnner, & Yamey, ۲۰۱۸; Stiglitz, Sen, & Fitoussi, ۲۰۰۸

۳. Jones and Klenow (۲۰۱۴)

۴. Bloom, Fan, et al. (۲۰۲۰)

۵. دلیل تعدیل قدرت خرید بین کشورها این است که برای خرید کالاها و خدمات کمتر در اقتصادی با سطح قیمت بالا مانند سوئیس در مقایسه با اقتصادی با سطح قیمت پایین مانند نپال، مقدار مشخصی پول می‌تواند استفاده شود.

رتبه‌بندی شده‌اند همبستگی زیادی دارند. بالاخره، استیونسون و ولفرز^۱ در سال ۲۰۰۸ نشان می‌دهند که شادی و خوشی به شدت با تولید ناخالص داخلی سرانه در بین کشورها و در طی زمان مرتبط است. با توجه به همبستگی‌های نشان داده شده، از تولید ناخالص داخلی سرانه به عنوان شاخص رفاه برای اهداف اصلی این کتاب استفاده شده است.

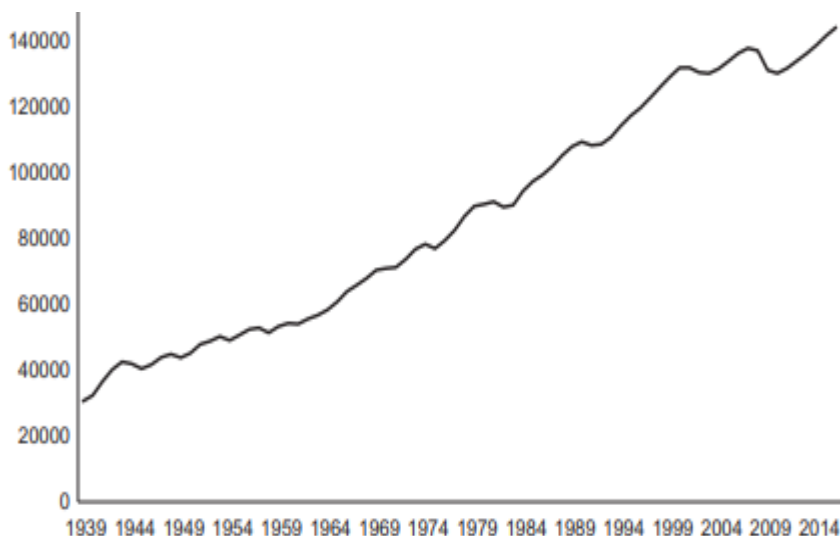
۳.۲ پویایی‌های نیروی کار و بیکاری

نمودار ۶.۲ سطح شاغلین ایالات متحده در بخش غیرکشاورزی از سال ۱۹۳۹ تا ۲۰۱۶ میلادی را نشان می‌دهد. صرف نظر از سرعت پیشرفت فناوری در این بازه‌ی زمانی که بهره‌وری نیروی کار را به میزان قابل توجهی افزایش داده، و با وجود گسترش روبات‌های صنعتی از دهه‌ی ۱۹۷۰، اشتغال از حدود ۳۰ میلیون نفر در سال ۱۹۳۹ به حدود ۱۴۵ میلیون نفر در سال ۲۰۱۶ و بطور مداوم و پیوسته افزایش یافته و تقریباً پنج برابر شده است. حتی پس از ترکیدن حباب‌های دات کام در اوایل ۲۰۰۰ و حباب مسکن در اواسط ۲۰۰۰ میلادی تعداد شاغلین کاهش نیافته، هر چند سرعت ایجاد شغل کاهش یافته است.

درحالی‌که اعداد و ارقام فوق مبین آن است که ترس از بیکاری فناوری به تبع اتوماسیون بی‌مورد است، نمودار ۷.۲ میانگین ساعات کار سالانه‌ی شاغلین را در ایالات متحده نشان می‌دهد. در این نمودار میانگین ساعات کار سالانه‌ی شاغلین از حدود ۱۹۸۴ ساعت در سال ۱۹۵۰ به ۱۷۶۵ ساعت در سال ۲۰۱۶ و بیش از ۱۱ درصد کاهش یافته است. بنابراین، تمرکز تنها بر سطح اشتغال ممکن است جهت قضاوت در خصوص تأثیرات پیشرفت فناوری بر اشتغال گمراه کننده باشد. به‌طور کلی، هدف از پیشرفت فناوری، تسهیل کار و در نتیجه کاهش هزینه هر واحد تولید با فرض ثابت بودن کیفیت تولید است. روند کاهش نفر-ساعت ممکن است نشان دهد که اتوماسیون میزان کار مورد نیاز را کاهش داده، و یا حداقل، سرعت رشد نیروی کار بیشتر از ساعات

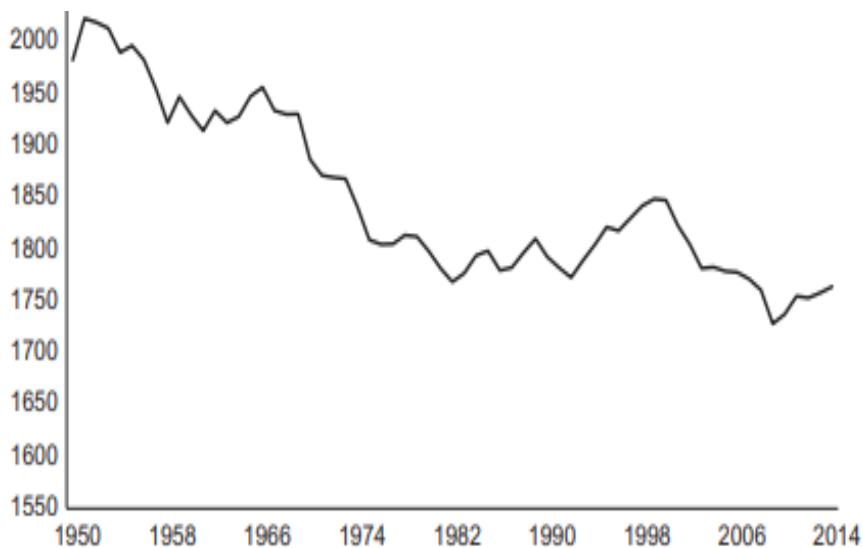
۱. Stevenson and Wolfers (۲۰۰۸)

کار بوده است. شاید در ایالات متحده، اتوماسیون تأثیر متفاوتی در روندهای شغلی داشته باشد و بیشتر از این که به بیکاری دامن بزند موجب کم کاری شود.^۱ برای نشان دادن میزان کل کار، حاصل ضرب شاغلین در میانگین ساعات کار را محاسبه کرده و نتایج را در نمودار ۸.۲ نشان می‌دهیم. همان‌طور که انتظار می‌رود، به دلیل کاهش ساعات کار هر فرد، کار اندازه‌گیری شده بر اساس نفر-ساعت در سال، بسیار کمتر از سطح اشتغال افزایش یافته است. در سال ۲۰۱۴ تعداد نفر-ساعت کار شده برابر با ۲۴۵ میلیون نفر-ساعت در سال است که در بالاترین حد خود قرار دارد. صرف نظر از افزایش کلی حجم کار، این واقعیت که کل نفر-ساعت کار در سال ۲۰۰۷ تقریباً ۲۴۵ میلیون نفر-ساعت در سال ولی تولید ناخالص داخلی و جمعیت در سال ۲۰۱۴ به مراتب بیشتر از سال ۲۰۰۷ است، نشان می‌دهد که فناوری به‌طور معنی‌داری بر نیروی کار تأثیر می‌گذارد.

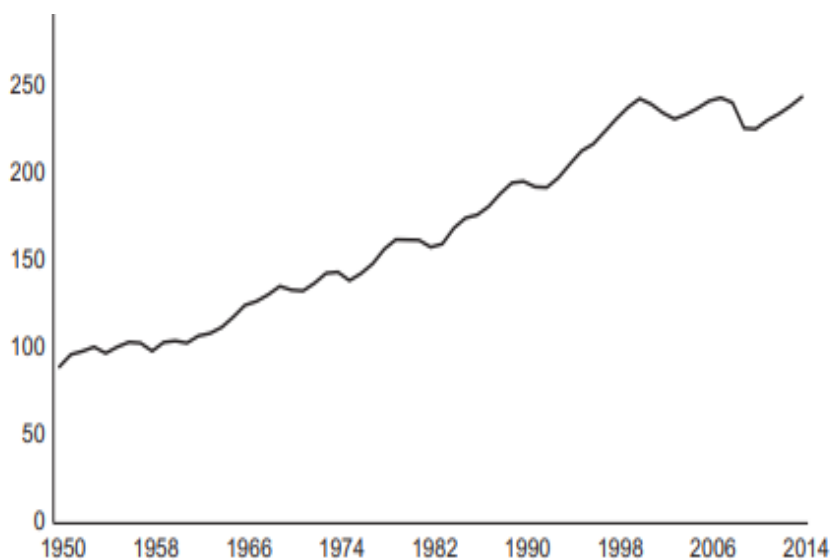


۱. البته دلایل دیگری غیر از تغییر فناوری نیز ممکن است در توضیح روند نزولی نقش خاصی داشته باشد، به عنوان مثال: ترجیحات خانوار برای اوقات فراغت بیشتر، افزایش مشارکت نیروی کار گروه‌هایی که به جای اشتغال کامل، کار نیمه وقت را دنبال می‌کنند، و تغییرات در نهادهای بازار کار و مقررات.

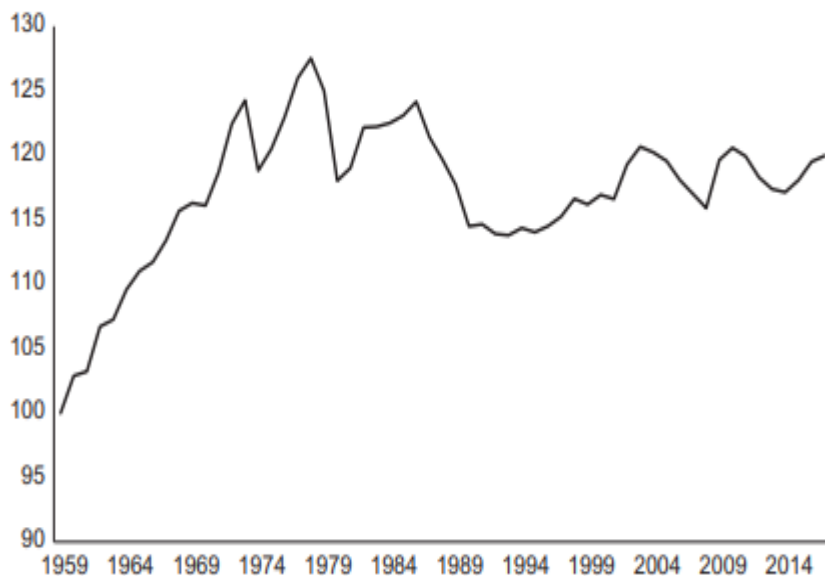
نمودار ۶.۲: سطح اشتغال در ایالات متحده در بخش غیرکشاورزی (هزار نفر).
آمار اشتغال بانک مرکزی فدرال سنت لوئیس (۲۰۱۸)



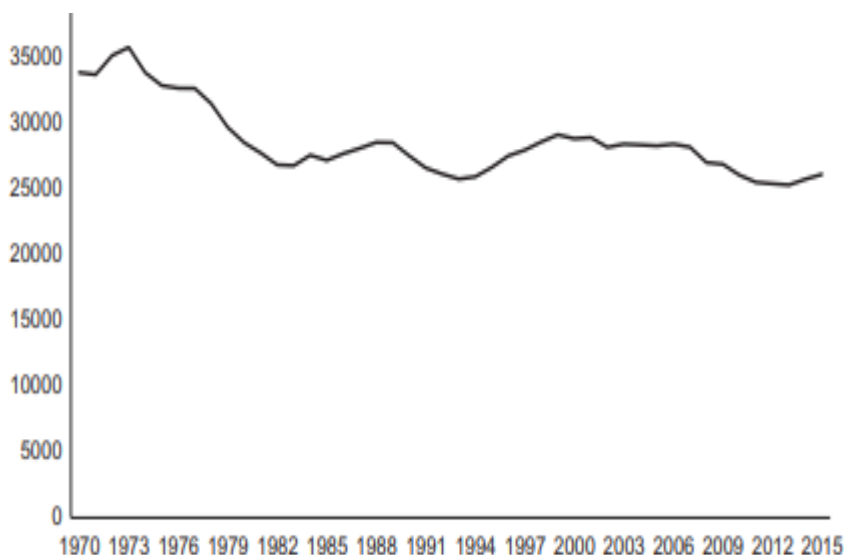
نمودار ۷.۲: متوسط ساعات کار سالانه افراد شاغل در ایالات متحده،
آمار بانک فدرال رزرو سنت لوئیس (۲۰۱۸)



نمودار ۸.۲: حجم کار به عنوان حاصل ضرب تعداد کارمندان غیر کشاورز در متوسط ساعات کار آن‌ها (میلیون فرد - ساعت). آمار کار بانک مرکزی فدرال سنت لوئیس (۲۰۱۸)



نمودار ۹.۲: شاخص میانگین دستمزد واقعی ساعتی کارگران تولید و کارمندان غیرسرپرستی تولید در ایالات متحده، آمار بانک فدرال رزرو سنت لوئیس (۲۰۱۸)
(۱۹۵۹ = ۱۰۰).



نمودار ۱۰.۲: درآمد واقعی افراد فاقد مدرک لیسانس در ایالات متحده،
آمار دفتر سرشماری ایالات متحده (۲۰۱۷).

سطح اشتغال تنها بخشی از تصویر بزرگتری است که منعکس کننده ی واکنش بازار کار به تغییرات فناوری است. برای تکمیل این بحث دانستن این که دستمزد و درآمد در طول زمان چگونه تغییر می کنند نیز ضروری است. در نمودار ۹.۲ با تغییر تحلیل از سطح اشتغال به دستمزد، شاخص میانگین دستمزد واقعی ساعتی کارگران تولیدات کارخانه ای و کارمندان غیرسرپرست در ایالات متحده نشان داده شده است. از سال ۱۹۵۹ تا ۱۹۷۹ میلادی دستمزدهای واقعی ساعتی ۲۵ درصد افزایش، اما پس از آن، اندکی کاهش یافته است. همچنین افزایش کلی دستمزدهای واقعی ساعتی از سال ۱۹۵۹ تا ۲۰۱۷ به ۲۰ درصد می باشد. این واقعیت که اشتغال در پاسخ به سرعت سریع اتوماسیون کاهش نیافته، ممکن است به دلیل افزایش نسبتاً کم حقوق از دهه ی ۱۹۹۰ باشد. بنابراین، ممکن است سطح بالاتر اشتغال با تقبل دستمزد پایین تر و یا کاهش ساعات کار در هفته، انجام شده باشد.^۱ زیرا بیشتر شاغلین تولیدات کارخانه ای و غیرسرپرستی، کارگران کم مهارت هستند. هنگامی که بر درآمد کل کارگران کم مهارت تمرکز کنیم نتایج مشابهی بدست می آید. نمودار ۱۰.۲ میانه ی درآمد واقعی سالانه ی

۱. Lordan & Neumark, ۲۰۱۸

کارکنان فاقد مدرک لیسانس در ایالات متحده از سال ۱۹۷۰ تا ۲۰۱۵ را نشان می‌دهد. با وجود افزایش کلی تولید ناخالص داخلی سرانه، درآمد کارگران کم‌مهارت از حدود ۳۴۰۰۰ دلار آمریکا در سال ۱۹۷۰ به حدود ۲۶۰۰۰ دلار آمریکا در سال ۲۰۱۵ یعنی تقریباً ۲۳ درصد کاهش یافته است. در همان زمان، درآمد افراد با تحصیلات بالا اوج گرفته و حق بیمه در حال افزایش است.^۱ بنابراین، از نظر دستمزد، داده‌ها مغایرتی با این ایده که کارگران کم‌مهارت از اتوماسیون رنج می‌برند، ندارد، اگرچه رشد کند و حتی کاهش دستمزدهای واقعی که در نمودارهای ۹.۲ و ۱۰.۲ نشان داده شده، می‌توانند متاثر از جهانی‌سازی و فشارهای رو به پایین بر دستمزد کارگران کم‌مهارت و سایر نیروهایی که بعداً در این فصل با جزئیات بیشتری مورد بحث قرار خواهند گرفت باشند. در مجموع، درآمد کمتر کارگران کم‌مهارت و افزایش درآمد کارگران ماهر، از عوامل اصلی افزایش نابرابری است. موضوعی که در ادامه به آن خواهیم پرداخت.

۴.۲ سیر تحولات نابرابری

پیکتی در سال ۲۰۱۴ با انتشار کتاب سرمایه در قرن بیست و یکم تجزیه و تحلیل نابرابری را احیا کرد و توجه بسیاری از سیاست‌گذاران را به سمت نابرابری جلب نمود. کتاب ۸۰۰ صفحه‌ای وی با داده‌های سری‌های زمانی و نکات فنی و فرمول‌های ریاضی در خصوص نابرابری پر فروش‌ترین کتاب و اهمیت نابرابری را در مباحث عمومی برجسته کرد. پس از انتشار کتاب وی، مجله معتبر بین‌المللی ساینس شماره‌ی ویژه‌ای درباره نابرابری منتشر کرد و ژورنال چشم‌اندازهای اقتصادی، نشستی را با موضوع "ثروت و نابرابری" اختصاص داد. علاوه بر این، بسیاری از کتاب‌های موفق و محبوب تجاری در زمینه نابرابری در سال‌های اخیر چاپ و منتشر شده است.^۲

توماس پیکتی و همکارانش سال‌ها قبل از آن که مبحث نابرابری در خط مقدم گفتمان عامه قرار گیرد، تحلیل نابرابری را آغاز کردند.^۳ پیش از مشارکت آن‌ها، این تصور که نابرابری ابتدا افزایش و سپس در روند توسعه اقتصادی کاهش می‌یابد، رایج بود.

۱. Acemoglu & Autor, ۲۰۱۲; Goldin & Katz, ۲۰۰۸

۲. Atkinson (۲۰۱۵), Bourguignon (۲۰۱۵), Milanovic (۲۰۱۶), and Scheidl (۲۰۱۷)

۳. Piketty, ۲۰۰۳; Piketty & Saez, ۲۰۰۳

این رابطه که به منحنی کوزنتس^۱ معروف است، تا دهه‌ی ۱۹۶۰ و ۱۹۷۰ میلادی در اکثر کشورهای پیشرفته مشاهده می‌شد و نمونه‌ی بارز آن افزایش نابرابری قبل از رکود بزرگ و کاهش نابرابری پس از آن بود. منحنی کوزنتس نه تنها در طول زمان بلکه در بین کشورها نیز قابل مشاهده بود. در این منحنی رابطه‌ی نابرابری و توسعه تا سطحی از درآمد، مثبت و بالاتر از آن منفی است.^۲ با این وجود، در دهه‌ی ۱۹۷۰، نابرابری در اکثر کشورها دوباره افزایش یافت^۳ و دفاع از منحنی کوزنتس را بی‌اعتبار نمود. میلانوویچ^۴ در سال ۲۰۱۶ به امواج کوزنتس اشاره می‌کند که در آن نوسانات سطح نابرابری در بلندمدت مورد بررسی قرار می‌گیرد. به دلیل نیروهای خوش خیمی که برای مقابله با عدم تعادل طراحی شده‌اند، مانند سیاست‌های عمومی که موجب برابری می‌شوند، یا به دلیل نیروهای نابهنجار مانند تأثیر جانبی جنگ بر اقتصاد که به افراد ثروتمندتر نسبت به افراد فقیر ضربه بیشتری وارد می‌کند، برخی از نویسندگان، مانند شیدل^۵ در سال ۲۰۱۷ استدلال می‌کنند که فقط جنگ‌ها و سایر حوادث فاجعه بار می‌تواند نابرابری را کاهش دهند، و لذا نابرابری دائماً در حال افزایش و کاهش و نوسان است.

نمودارهای ۱۱.۲ و ۱۲.۲ تغییرات نابرابری در طی زمان را به وسیله‌ی سهم کل درآمد کسب شده توسط ۱ درصد بالای درآمدی (نمودار ۱۱.۲)، و ۱۰ درصد بالای درآمدی (نمودار ۱۲.۲) در ایالات متحده و آلمان نشان می‌دهند. هرچند سهم درآمدی بالا، معیار مناسبی برای سنجش نابرابری نیست، زیرا نابرابری را در تمام قسمت‌های توزیع درآمدی نشان نمی‌دهد، اما نابرابری را در قسمت بالای توزیع درآمدی به خوبی برآورد می‌کند. ضمناً این شاخص‌ها با سایر معیارهای نابرابری، مانند ضریب جینی به شدت همبسته‌اند.^۶

۱. Kuznets, ۱۹۵۵

۲. Galor & Moav, ۲۰۰۴; Galor & Zeira, ۱۹۹۳; Greenwood & Jovanovic, ۱۹۹۰; Perotti, ۱۹۹۶

۳. Atkinson, Piketty, & Saez, ۲۰۱۱; Bo'nke, Corneo, & Lu'then, ۲۰۱۵; Piketty & Saez, ۲۰۰۳

۴. Milanovic (۲۰۱۶)

۵. Scheidl (۲۰۱۷)

۶. ضریب جینی یکی از معیارهای ارزیابی نابرابری است. ضریب جینی ۱ است (یا ۱۰۰٪) اگر یک نفر کل درآمد را بدست آورد (یا تمام دارایی را در اختیار داشته باشد) و ۰ است اگر همه افراد درآمد یکسانی داشته باشند (یا ثروت یکسانی داشته باشند). برای مزایا و معایب اندازه گیری‌های مختلف نابرابری، به (Cowell ۲۰۱۱) مراجعه کنید.

همان‌طور که ملاحظه می‌شود، در ایالات متحده با توجه به سهم بالای درآمدی، نابرابری تا زمان رکود بزرگ در سال ۱۹۲۹ افزایش یافته و سهم ۱۰ درصد بالایی از کل درآمد، از ۴۰ درصد در سال ۱۹۱۰ به تقریباً ۵۰ درصد در ۱۹۲۹ رسیده است. در حالی که سهم ۱ درصد بالای درآمدی از حدود ۱۷.۵ درصد به ۲۴ درصد کل درآمد در سال ۱۹۲۹ افزایش یافته است. در دهه‌ی ۱۹۷۰ میلادی سهم ۱۰ درصد بالای درآمدی به محدوده ۳۲ درصد تا ۳۴ درصد و سهم ۱ درصد بالای درآمدی به زیر ۹ درصد کاهش می‌یابد، و از آن به بعد، سهم‌های درآمدی بالا در ایالات متحده به‌طور قابل توجهی در حال افزایش است. در آلمان، سیر تحولات نابرابری تا حدودی متفاوت است. در این کشور کاهش سهم‌های ۱ درصد و ۱۰ درصد بالای درآمدی، قبل از رکود بزرگ و تقریباً در زمان جنگ جهانی اول آغاز شد. آلمان، برخلاف ایالات متحده، نزدیک به جبهه جنگ بود و به طرق مختلف، مستقیماً از جنگ رنج می‌برد. این کشور با مشکلات جدی اقتصادی مانند تورم بیش از حد سال‌های ۱۹۱۸-۱۹۲۳ و نیاز به جبران خسارت ناشی از جنگ همراه بود که به شدت ثروتمندان جامعه را تحت تأثیر قرار می‌داد. زیرا ثروتمندان دارایی بیشتری داشته که به‌طور مستقیم در جنگ تخریب و یا آسیب دید و بخشی از ارزش خود را به دلیل تورم بالا، همراه با سرکوب مالی از دست دادند.^۱ همچنین ثروتمندان برای تأمین هزینه‌های دولت، از جمله غرامت‌ها، تحت تأثیر مالیات‌های شدید پیشرو قرار گرفتند.

تفاوت دیگر کشور آلمان در مقایسه با ایالات متحده این است که افزایش نابرابری از دهه ۱۹۷۰ در آلمان کمتر بوده است. از دلایل بالقوه‌ی این امر می‌توان به اتحادیه‌های کارگری قوی، توزیع مجدد بیشتر از طریق سیستم‌های مالیاتی و پرداخت‌های انتقالی، و سیستم آموزشی دولتی در کشور آلمان اشاره کرد. با این حال، میزان اثرگذاری هر یک از این نیروها در ایجاد نابرابری بین دو کشور متفاوت است.^۲

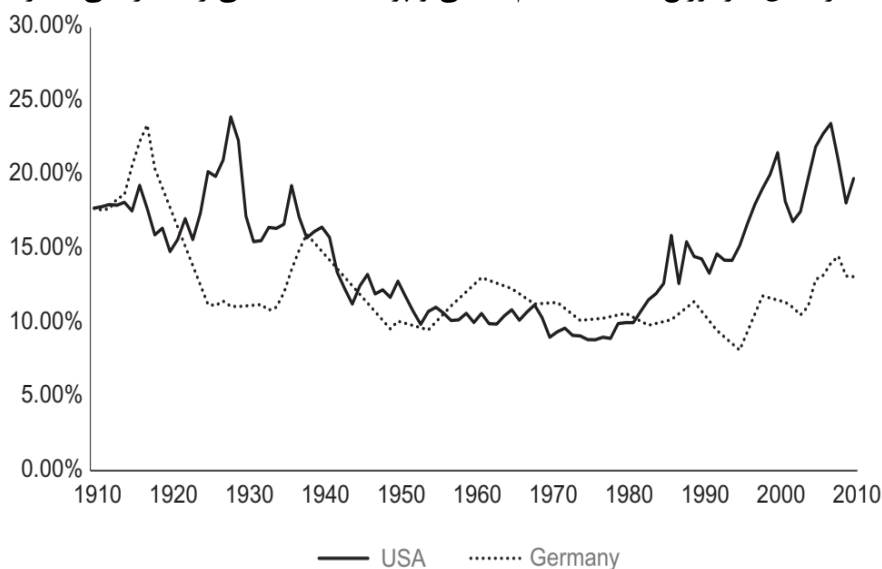
برخلاف درآمدها، توزیع درآمدهای پس از مالیات و پرداخت‌های انتقالی مناسب‌تر است، زیرا سیستم‌های مالیاتی معمولاً پیشرو هستند و توزیع مجدد از طریق سیستم تأمین اجتماعی به گونه‌ای طراحی شده که به سود افراد کم درآمدتر باشد، و در بسیاری از کشورها سیستم مالیات و پرداخت‌های انتقالی به‌طور قابل توجهی نابرابری کلی را از نظر ضریب جینی کاهش می‌دهد.

۱. به عنوان مثال: <https://www.investopedia.com/terms/f/financial-repression.asp>

ببینید. قابل دسترسی است در ۱۳ اکتبر ۲۰۱۹

۲. Battisti, Felbermayr, & Lehwald, ۲۰۱۶; Fratzscher, ۲۰۱۸

در آلمان، اثر توزیع مجدد سیستم مالیاتی و پرداخت‌های انتقالی زیاد، درحالی‌که در



نمودار ۱۱.۲: سهم درآمدی ۱ درصد بالای درآمدی در ایالات متحده و آلمان.

Piketty (۲۰۱۴) و Garbini, Alvaredo و Piketty (۲۰۱۷)

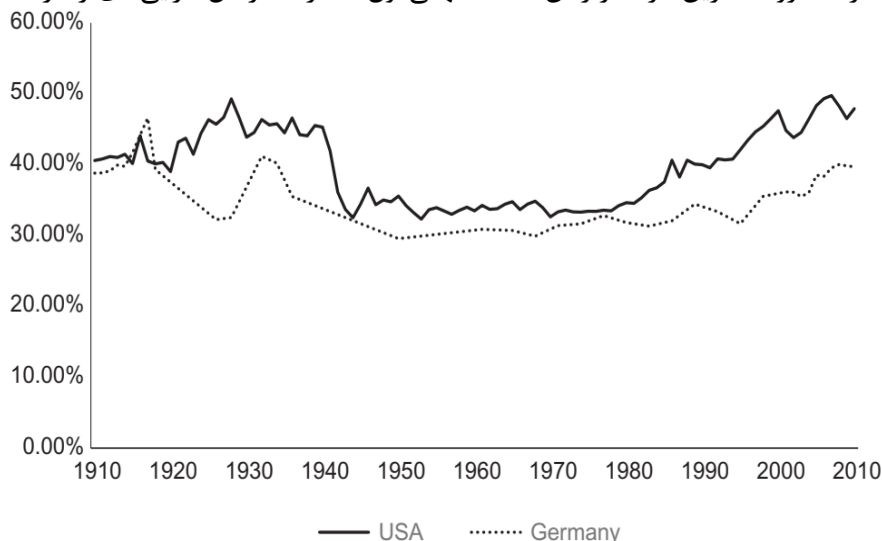
ایالات متحده نسبتاً کم است.^۱ بر حسب برآورد اسمیدینگ در سال ۲۰۰۵ کاهش ضریب جینی بین درآمدهای ناخالص بازار و درآمدهای قابل تصرف برای سال ۲۰۰۰ به دلیل مالیات و پرداخت‌های انتقالی در آلمان بالغ بر ۴۲ درصد، اما در ایالات متحده تنها ۱۸ درصد بوده است. اثر اصلی توزیع مجدد در آلمان به خاطر سیستم تأمین اجتماعی است که نیمی از کاهش ضریب جینی بین درآمد ناخالص بازار و درآمد خالص قابل تصرف را به عهده دارد.^۲

نمودارهای ۱۳.۲ و ۱۴.۲ سیر تحولات نابرابری ثروت در ایالات متحده و اروپا را از سال ۱۹۱۰ تا ۲۰۱۰ میلادی نشان می‌دهند. متأسفانه، جزییات سری زمانی‌های بلندمدت آلمان در دسترس نیست و لذا به جای آن داده‌های اروپا را مورد بررسی قرار می‌دهیم.

۱. Battisti et al., ۲۰۱۶; Brandolini & Smeeding, ۲۰۰۶, ۲۰۱۱; Fratzscher, ۲۰۱۸; Smeeding, ۲۰۰۵

۲. Bach, Grabka, & Tomasch, ۲۰۱۵

دو نمودار فوق نشان می‌دهد که ثروت بسیار نابرابرتر از دستمزد توزیع می‌شود.^۱ در اروپا ۱ درصد ثروتمندترین افراد در زمان جنگ جهانی اول ۶۴ درصد از کل دارایی‌های را در

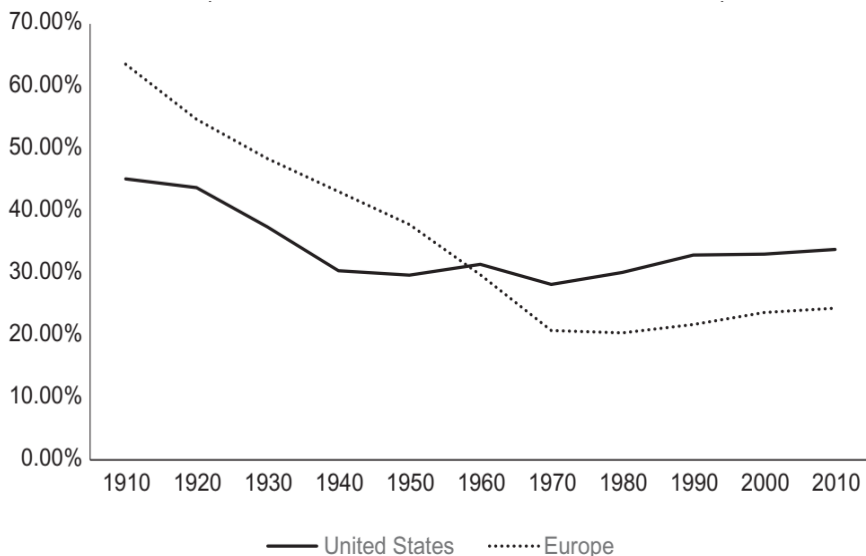


نمودار ۱۲.۲: سهم درآمدی ۱۰ درصد درآمدی در ایالات متحده و آلمان،
(۲۰۱۴) Piketty و Alvaredo و همکاران. (۲۰۱۷)

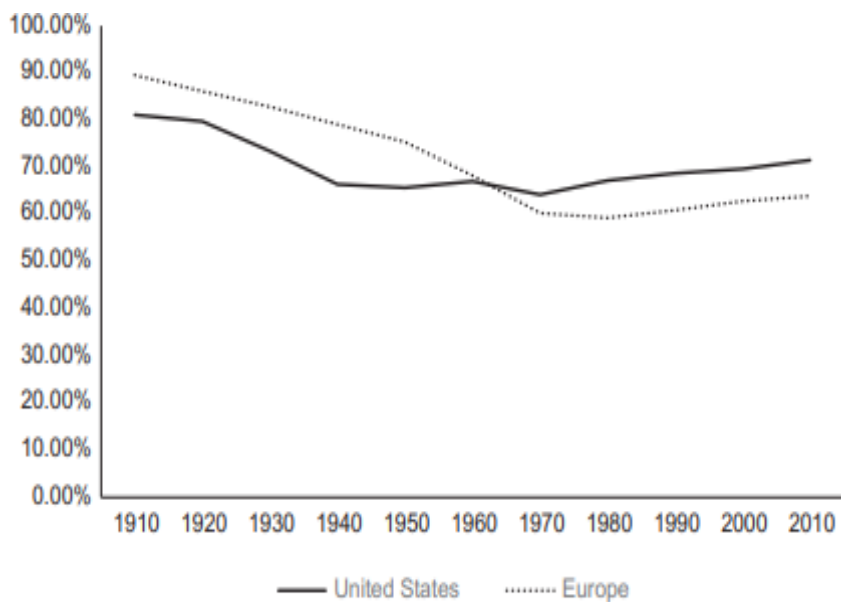
اختیار داشتند، درحالی‌که در ایالات متحده این میزان ۴۵ درصد بود. همچنین در اروپا ۱۰ درصد ثروتمندترین افراد جامعه در سال ۱۹۱۰ نزدیک به ۹۰ درصد دارایی را در اختیار داشتند، درحالی‌که در ایالات متحده کمی بیش از ۸۱ درصد که نشان می‌دهد توزیع ثروت در ایالات متحده متعادل‌تر از اروپا در آن زمان بوده است. در ایالات متحده و اروپا، سهم ثروت افراد ثروتمند در طول جنگ‌های جهانی اول و دوم و دوره رکود بزرگ کاهش چشمگیری یافته، کاهش سهم ثروت در اروپا در این دوران چشمگیر بوده و باعث شد در سال ۲۰۱۰ توزیع ثروت در ایالات متحده آمریکا نابرابرتر از اروپا شود. نابرابری ثروت در دهه‌ی ۱۹۷۰ در ایالات متحده و اروپا به پایین‌ترین سطح خود رسید، یعنی سهم ۱ درصد برتر در ایالات متحده به ۳۰ درصد و در اروپا به ۲۰ درصد کاهش یافت، و ۱۰ درصد برتر به دامنه ۶۵ تا ۷۰ درصد در ایالات متحده، و ۵۵ تا ۶۰ درصد در اروپا کاهش و پس از آن سهم گروه برتر ثروت در اروپا و ایالات متحده اندکی افزایش

۱. Cowell, ۲۰۱۱; Piketty, ۲۰۱۴

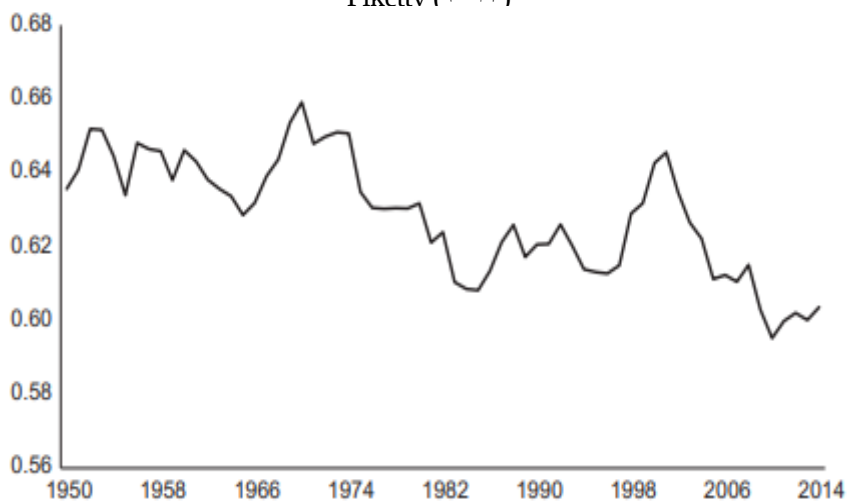
یافته است. کاهش شدید نابرابری ثروت قبل از دهه‌ی ۱۹۶۰ عمدتاً به این دلیل است که بخش ثروتمندتر جامعه به‌طور نامتناسبی از تخریب دارایی‌ها در طول جنگ و از مالیات‌های نسبتاً بالای ثروت، همراه با سرکوب مالی رنج می‌بردند تا بدهی دولت را پس از جنگ تامین مالی کنند.



نمودار ۱۳.۲: سهم ثروت ۱ درصد ثروتمندترین افراد در ایالات متحده و اروپا،
Piketty (۲۰۱۴)



نمودار ۱۴.۲: سهم ثروت ۱۰ درصد ثروتمندترین افراد در ایالات متحده و اروپا،
Piketty (۲۰۱۴)



نمودار ۱۵.۲: سهم درآمد کار از کل تولید ناخالص داخلی برای ایالات متحده
آمار درآمد بانک مرکزی فدرال سنت لوئیس (۲۰۱۸)،

سرانجام، نمودار ۱۵.۲ نکته‌ی مهم دیگری را نشان می‌دهد.^۱ در این نمودار سهم درآمد نیروی کار از کل تولید ناخالص داخلی ایالات متحده از سال ۱۹۵۰ تا ۲۰۱۴ نشان داده شده است. سهم درآمد نیروی کار تقریباً بین ۶۷ - ۶۵ درصد در دهه‌های قبل از ۱۹۷۰ ثابت بوده و سهم ثابت درآمد نیروی کار به عنوان یکی از "حقایق آشکار شده‌ی کالدور" شناخته می‌شود که برای هر مدل رشد اقتصادی که هدف آن تبیین پویایی‌های تولید کل کشورهای ثروتمند در قرن ۲۰ است، باید مورد توجه قرار گیرد.^۲ از دهه ۱۹۷۰ به بعد سهم درآمدی نیروی کار روند نزولی داشته و در سال ۲۰۱۴ به حدود ۶۰ درصد کاهش یافته است.^۳ کاهش سهم نیروی کار از کل درآمد، پیامدهایی در توزیع درآمد کل دارد، زیرا حقوق و دستمزد به‌طور مساوی‌تر از ثروت توزیع می‌شود، به‌طوری‌که افزایش سهم کل درآمد که به سرمایه تعلق می‌گیرد نابرابری درآمد را به‌طور مکانیکی افزایش می‌دهد.^۴

در مکتوبات اقتصادی توضیحات زیادی در مورد سیر تحول مشاهده شده نابرابری ارائه شده. برای مثال:

- جهانی شدن، منجر به کاهش دستمزد کارگران کم‌مهارت می‌شود، زیرا کالاهایی که آن‌ها تولید می‌کنند با هزینه کمتر در خارج از کشور قابل تولید است. در همین زمان، جهانی شدن درآمد کارگران با مهارت بالا را افزایش می‌دهد زیرا تقاضا برای کالاهایی که آن‌ها تولید می‌کنند با کاهش تعرفه‌ها و سهمیه‌ها افزایش می‌یابد.^۵
- عوامل جمعیتی، مانند روند همسریابی مناسب (افراد) که شریک زندگی را با ویژگی‌های مشابه، از جمله صفات اجتماعی - جمعیتی انتخاب می‌کنند) و گرایش به سمت خانوارهای مجرد، درآمدهای خانوار بالاتر را در سطح بالا نگه داشته درحالی‌که همزمان تعداد خانوارهای فقیرتر متشکل از والدین تنها افزایش می‌یابد.^۶ همچنین

۱. توزیع درآمد عملکردی به توزیع درآمد بین عوامل تولید مانند سرمایه، نیروی کار و زمین اشاره دارد، درحالی‌که توزیع درآمد شخصی به توزیع درآمد بین افراد اشاره دارد. (برای مثال، (Cowell, ۲۰۱۱) را ببینید)

۲. Acemoglu, ۲۰۰۹; Barro & Sala-i-Martin, ۲۰۰۴; Kaldor, ۱۹۵۷

۳. Elsby, Hobijn, & Sahin, ۲۰۱۳; Karabarbounis & Neiman, ۲۰۱۴

۴. Krusell & Smith, ۲۰۱۵; Piketty, ۲۰۱۴; Piketty & Zucman, ۲۰۱۴

۵. Bloom, & Freeman ۱۹۹۰, ۱۹۹۱; and Blackburn & Bloom, ۱۹۹۵; Autor, Dorn, & Hanson, ۲۰۱۶

۶. Blackburn & Bloom, ۱۹۹۵; Burkhauser, Larrimore, & Kosali, ۲۰۱۲; Greenwood, Guner, Korcharkov, & Santos, ۲۰۱۴; Kufenko, Geloso, & Prettnner, ۲۰۱۸

نرخ زاد و ولد پایین و افزایش امید به زندگی، منجر به تمرکز ثروت موروثی می‌شود.^۱

به‌طور کلی، تغییرات تکنولوژیکی مهارت محور، بازدهی کارگران ماهر را بیش از بازدهی نیروی کار کم‌مهارت افزایش می‌دهد، و باعث افزایش پاداش مهارت و عریض کردن شکاف دستمزد بین این دو گروه می‌شود.^۲ کاهش اعضا در اتحادیه‌های کارگری و قدرت چانه‌زنی در مورد دستمزد، کارگران کم‌مهارت را بیشتر از کارگران ماهر تحت تأثیر قرار می‌دهد. علاوه بر این، کاهش قدرت چانه‌زنی اتحادیه‌ها مبین آن است که سهم کمتری از درآمد شرکت‌ها به کارگران پرداخت شده و سهم سود سرمایه افزایش یابد که به نفع صاحبان ثروت شرکت‌هاست، هرچند ممکن است بخشی از سودهای اضافه به عنوان پاداش به مدیران تعلق گیرد که قبلاً دستمزدهای نسبتاً بالاتری نیز دریافت می‌کردند.^۳ کاهش ارزش واقعی حداقل دستمزد اسمی از طریق تورم، کاهش دستمزد کارگران کم درآمد را تشدید می‌کند. اقتصاد سوپرستارها منجر به تمرکز مجدد درآمد سطوح بالای درآمدی می‌شود.^۴ انباشت سرمایه‌ی انسانی متفاوت در کودکان خانوار ثروتمند و خانوار فقیر منجر به انباشت ثروت موروثی از یکطرف، و آشکارسازی فقر در نسل‌های دیگر می‌شود.^۵ کاهش نرخ‌های مالیات بر درآمد نهایی بالا، از سال ۱۹۸۰ به ویژه در انگلستان و ایالات متحده باعث ایجاد سیستم مالیاتی کم‌تر پیش‌رو شده است. چنین کاهش‌هایی نه تنها باعث افزایش نابرابری درآمد قابل تصرف می‌شود بلکه نابرابری درآمد ناخالص را تشدید می‌کند. دلیل این امر این است که انگیزه‌های چانه‌زنی برای حقوق بالاتر و با نرخ‌های مالیات بر درآمد نهایی پایین‌تر افزایش می‌یابد و اعطای پاداش‌های کلان به مدیران تنها در صورتی منطقی می‌شود که بر پاداش‌ها نرخ‌های بالای مالیات اعمال نشود.^۶

این کتاب بر نقش اتوماسیون بر تغییرات نابرابری تأکید دارد. در این زمینه، جالب است بدانیم که اتوماسیون با بکارگیری روبات‌های صنعتی در دهه ۱۹۶۰ عملی شد و اولین افزایش قابل توجه در تعداد روبات‌های صنعتی در فرایند تولید در دهه ۱۹۸۰ اتفاق

۱. Alvaredo et al., ۲۰۱۷

۲. Acemoglu & Autor, ۲۰۱۲; Goldin & Katz, ۲۰۰۸

۳. Piketty, ۲۰۱۴

۴. Frank & Cook, ۱۹۹۶; Manasse & Turrini, ۲۰۰۱; Rosen, ۱۹۸۱

۵. Chetty, Hendren, Kline, Saez, & Turner, ۲۰۱۴; Corak, ۲۰۱۳; Galor & Moav, ۲۰۰۴; Galor & Zeira, ۱۹۹۳; Prettner & Schaefer, ۲۰۲۰

۶. Piketty, ۲۰۱۴; Piketty, Saez, & Stantcheva, ۲۰۱۴

افتاد. تاریخ‌های فوق در دوره‌ای قرار گرفته‌اند که نابرابری در ایالات متحده و آلمان در کمترین میزان خود بود. از آن زمان به بعد تعداد روبات‌های صنعتی مورد استفاده و همچنین نابرابری افزایش یافته و حدس زده می‌شود که این دو ممکن است با هم مرتبط باشند. البته این بدان معنا نیست که عوامل دیگری که قبلاً معرفی شد، اهمیتی ندارند. برعکس، همه این جنبه‌ها نقشی اساسی در سیر تحول نابرابری داشته و حتی ممکن است یکدیگر را تقویت کنند.

۵.۲ خلاصه

در این فصل روند تعداد روبات‌های صنعتی مورد استفاده در کشورها بررسی شد. روبات‌های صنعتی در دهه ۱۹۹۰ به‌طور قابل توجهی افزایش یافته و بعد از رکود بزرگ در اواخر سال ۲۰۰۰، مجدداً افزایش یافتند. کشورهایی که روبات‌های صنعتی در آن‌ها به‌طور قابل توجهی به کار گرفته شده، همان کشورهای بزرگ صنعتی به انضمام برخی کشورهای کوچک و پیشرفته مانند سنگاپور و کره جنوبی می‌باشند.

این فصل همچنین نگاهی اجمالی به سیر تحول درآمد سرانه در بلندمدت دارد. رشد درآمد برای کشورهایی که در انقلاب صنعتی مشارکت داشته‌اند، محقق شده است. این کشورها در طول ۱۵۰ سال گذشته رشد نسبتاً پایدار درازمدت را عمدتاً به دلیل پیشرفت فناوری تجربه کرده‌اند. آن دسته از کشورهای ثروتمند امروزی که در سال ۱۸۵۰ فقیرتر بودند، طی ۱۵۰ سال بعد موفق به رشد سریع‌تر شدند که منجر به همگرایی در سطح زندگی است. علاوه بر این، جنگ‌های بزرگ روند بلندمدت رشد اقتصادی را در کوتاه‌مدت کاهش داده، اما نیروهای همگرایی قوی، بسیاری از اقتصاد کشورها را به سمت روند بلندمدت هدایت نموده است.

تا آنجا که به ارقام اشتغال مربوط می‌شود، ترس از این که اتوماسیون ممکن است منجر به بیکاری گسترده شود تاکنون اغراق آمیز بوده. افراد زیادی در سال ۲۰۱۸ در سراسر جهان استخدام شده‌اند. کشورهای ثروتمندی که با سرعت بیشتری روبات‌ها را به کار گرفته‌اند از آن جمله‌اند. با این وجود، هنگام بررسی حجم کلی کار (اشتغال ضرب در متوسط ساعات کار به ازاء هر نفر)، کاهش روند صعودی پس از رکود بزرگ به وضوح مشهود است. علاوه بر این، واقعیت عدم کاهش اشتغال ممکن است به دلیل افزایش کند و آهسته‌ی دستمزدها باشد، که ممکن است مبین تعدیلات ناشی از اتوماسیون در بازار

کار از طریق کانال دستمزد باشد. به‌طور خاص، مشاهده کردیم حقوق واقعی کارگران کم‌مهارت از دهه ۱۹۷۰ تاکنون کاهش چشمگیری یافته است.

با توجه به سیر تحول نابرابری، عمدتاً روندهای زیر را مشاهده کردیم: کاهش نابرابری پس از جنگ جهانی دوم تا حدود دهه ۱۹۷۰ و به دنبال آن افزایش و ادامه نابرابری. سقوط نابرابری به ویژه در رابطه با نابرابری ثروت، عمدتاً به این دلیل بود که بخش‌های ثروتمندتر جامعه، از تخریب دارایی‌ها در طول جنگ‌های جهانی اول و دوم و مالیات‌های زیاد پس از آن، بیشتر رنج می‌بردند. از آنجا که این کاهش در نابرابری دارایی متضمن افت مشابهی در نابرابری درآمد سرمایه است، به‌طور مکانیکی نابرابری درآمد کلی کاهش می‌یابد. در مقابل، کاهش سهم درآمد نیروی کار که از دهه ۱۹۷۰ مشاهده شده، به افزایش نابرابری درآمد کمک می‌کند، زیرا توزیع دستمزد نسبت به درآمد و سرمایه هموارتر است.

این کتاب عمدتاً مربوط به بخش‌هایی از رشد درآمد، تغییر در اشتغال و ساختار دستمزد و پویایی نابرابری است که به اتوماسیون نسبت داده می‌شود. در فصل‌های بعدی و قبل از مباحث نظری، ابتدا در مورد یافته‌های تجربی اثرات اقتصاد کلان اتوماسیون بحث خواهیم کرد، سپس به بررسی آنچه سیاست‌گذاران می‌توانند برای کاهش پیامدهای منفی اتوماسیون بدون کاهش اثرات مثبت آن انجام دهند، خواهیم پرداخت. سرانجام، تلاش خواهیم کرد تا مسیرهای احتمالی آینده اقتصاد کلان در عصر اتوماسیون را مرور کنیم.

فصل سوم:

شواهد تجربی اثرات اقتصادی اتوماسیون

۱.۳ مشاغل و وظایف مستعد اتوماسیون

یکی از نگرانی‌های اصلی اتوماسیون تأثیرات آن بر اشتغال است. تراکم روبات‌ها از برتری نیروی کار انسانی در فرایند تولید کالاها و خدمات می‌کاهد، و به دلیل منسوخ شدن مشاغل، بیکاری به میزان قابل توجهی افزایش می‌یابد. مقاله فری و آزبورن^۱ در سال ۲۰۱۳ و ۲۰۱۷ اولین هشدار است و نشان می‌دهد طی دو دهه‌ی آتی، ۴۷ درصد از مشاغل ایالات متحده مستعد اتوماسیون هستند. این دو محقق، بر اساس طبقه‌بندی فرآیند گاوسی که ابتدا توسط راسموسن و ویلیامز^۲ در سال ۲۰۰۶ و راسموسن و نیکیش^۳ در سال ۲۰۱۰ ارائه شد، مشاغلی که با احتمال ۷۰ درصد (یا بیشتر) مستعد اتوماتیک شدن باشند را مشاغل بسیار حساس به اتوماسیون طبقه‌بندی می‌کنند که مبتنی بر الگوریتم یادگیری ماشین جهت دسته‌بندی مشاغل مختلف و پتانسیل آن‌ها برای اتوماسیون است. برای آموزش الگوریتم، فری و آزبورن زیرمجموعه‌ای از ۷۰ شغل را به کار گرفته که خود آن‌ها یا گروهی از متخصصان، آن‌ها را بر اساس ارزیابی ذهنی طبقه‌بندی می‌کنند. از زمان انتشار مقاله‌ی آن‌ها، نگرانی‌ها در خصوص بیکاری در عصر اتوماسیون و هوش مصنوعی بسیار زیاد شده است.^۴

با استفاده از همان روش طبقه‌بندی، احتمال اتوماسیون بسیاری از مشاغل در دیگر کشورها نیز بررسی شده. به عنوان مثال، برزسکی و بورک^۵ در سال ۲۰۱۵ به این نتیجه رسیدند که ۵۹ درصد از مشاغل آلمان در معرض اتوماسیون قرار دارند، و بر اساس

-
۱. Frey and Osborne (۲۰۱۳, ۲۰۱۷)
 ۲. Rasmussen and Williams (۲۰۰۶)
 ۳. Rasmussen and Nickisch (۲۰۱۰)
 ۴. LeVine, ۲۰۱۷; Sawhney, ۲۰۱۸
 ۵. Brzeski and Burk (۲۰۱۵)

مطالعات پاژارینن و رووینن^۱ در سال ۲۰۱۴ و پاژارینن، رووینن و ایکلند^۲ در سال ۲۰۱۵ یک سوم مشاغل در کشورهای فنلاند و نروژ در معرض تهدیدات اتوماسیون قرار دارند. در ادبیات اقتصادی، روش محاسبه‌ی این اعداد تکان دهنده و حیرت انگیز، قابل بحث و مجادله است. به زعم آتور^۳ در سال ۲۰۱۵، بسیاری از مطالعات حدود فعالیت-هایی که قرار هست اتوماسیون شوند را بیش از حد برآورد کرده، و اثرات مکمل و افزایش بهره‌وری اتوماسیون را دست کم گرفته‌اند. زیرا برخی واکنش‌های بازار نسبت به اتوماسیون ممکن است بیکاری پیش‌بینی شده‌ی نیروی انسانی را جبران کند. در مطالعه‌ی مشابه فری و آربورن، تحقیقات آرنتز، گرگوری و زیران^۴ در سال ۲۰۱۶ و ۲۰۱۷ بر تکالیف فردی مشاغل مختلف و توانایی بالقوه‌ی اتوماسیون تاکید می‌شود. فرضیه‌ی آن‌ها این است که وظایف بر حسب محل کار و با همان حرفه تغییر کرده و وظایف حرفه‌ها با پیشرفت فناوری نیز تغییر خواهد کرد.^۵ به عنوان مثال، کارگران در حرفه و مشاغلی که بسیار مستعد اتوماسیون هستند ممکن است وظایفی دیگری، مانند مشاغل مرتبط با تعامل انسان و یا حل مسائل را انجام دهند که روبات‌ها به سهولت قادر به انجام آن‌ها نیستند. درحالی‌که فری و آربورن احتمال شغل مستعد اتوماسیون را بدون در نظر گرفتن تغییرات وظایف در محل‌های مختلف کاری در همان حرفه بررسی می‌کنند، آرنتز و همکاران خطر اتوماسیون مشاغل خبره-مبنا را به وظایف شغلی افراد مرتبط می‌کنند.

با در نظر گرفتن تفاوت وظایف در بین مشاغل، خطر بیکاری حاصل از اتوماسیون به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد. در سناریوی اخیر آرنتز و همکاران دریافتند که در حدود ۹ درصد از مشاغل موجود در ایالات متحده در معرض خطر بالای اتوماسیون قرار دارند. آن‌ها همچنین به روشی مشابه، خطرات اتوماسیون را برای ۲۰ کشور سازمان همکاری اقتصادی و توسعه (OECD) محاسبه می‌کنند (جدول ۱.۳). بر اساس یافته‌های آن‌ها کمترین سهم از کارگرانی که در معرض خطر بالای جانشینی با فناوری-های اتوماسیون قرار دارند به استونی و کره جنوبی (۶درصد)، و بیشترین سهم به اتریش، آلمان و اسپانیا (۱۲درصد) تعلق دارد. این محاسبات برای آلمان که بطور قابل توجهی

۱. Pajarinen and Rouvinen (۲۰۱۴)

۲. Pajarinen, Rouvinen, and Ekeland (۲۰۱۵)

۳. Autor (۲۰۱۵)

۴. Arntz, Gregory, and Zierahn (۲۰۱۶, ۲۰۱۷)

۵. Autor & Handel, ۲۰۱۳; Spitz-Oener, ۲۰۰۶

کمتر از برآوردهای فری و آزیورن است، تا حد زیادی با یافته‌های دنگلر و متس^۱ در سال ۲۰۱۵ مطابقت داشته، و پیش‌بینی‌ها برای اتریش تا حد زیادی با یافته‌های پندر و همکاران^۲ در سال ۲۰۱۶ و ناگل و همکاران^۳ در سال ۲۰۱۷ منطبق است. میانگین خطر اتوماسیون در ۲۱ کشور OECD توسط آرنتز و همکاران در سال ۲۰۱۶ برابر با ۹ درصد است که معادل با ارقام برآورد شده برای آمریکاست. در این مطالعه حتی بالاترین ریسک اتوماسیون که مربوط به کشورهای اتریش، آلمان و اسپانیا است تنها یک چهارم مقداری است که فری و آزیورن برای ایالات متحده برآورد کرده‌اند. بر حسب متوسط خطر اتوماتیک شدن در بین تمام مشاغل، کشورهای جمهوری چک و جمهوری اسلواکی با ۴۴ درصد، بالاترین مقادیر ریسک را دارند، درحالی‌که فنلاند و کره جنوبی با ۳۵ درصد کمترین مقدار ریسک را به خود اختصاص می‌دهند. به‌طور کلی، هرچه سهم افرادی که در معرض خطر بالای اتوماسیون هستند بیشتر باشد، متوسط خطر اتوماسیون در تمام مشاغل کشور نیز بیشتر خواهد شد.

مطالعات اخیر در خصوص کشورهای OECD نشان می‌دهد در ۳۲ کشور، ۱۴ درصد مشاغل بسیار مستعد اتوماسیون هستند.^۴ همان‌طور که ملاحظه می‌شود این برآورد بالاتر از میانگین ۹ درصد آرنتز و همکاران، و بسیار کمتر از ۴۷ درصد فری و آزیورن می‌باشد. نتایج موسسه‌ی جهانی مک کینزی^۵ در سال ۲۰۱۷ تا حدودی بین نتایج بدست آمده توسط آرنتز و همکاران و ندلکوسکا و کوینتینی از یک طرف، و فری و آزیورن از سوی دیگر قرار دارد. بر اساس مطالعات این موسسه حداقل ۷۰ درصد فعالیت‌های شغلی مربوط به ۲۶ درصد مشاغل در معرض اتوماسیون هستند. موسسه‌ی جهانی مک کینزی دریافت که در سطح جهانی ۵۰ درصد مشاغل می‌توانند با استفاده از فناوری‌های موجود، اتوماسیون‌سازی شوند. با توجه به اختلافات زیاد در برآورد پتانسیل اتوماسیون‌سازی در بازار نیروی کار، پیش‌بینی این‌که کدام شغل بیشتر در معرض خطر است، موضوع بسیار مهمی است.

۱. Dengler and Matthes (۲۰۱۵)

۲. Peneder, Bock-Schappelwein, Firgo, Fritz, and Streicher (۲۰۱۶)

۳. Nagl, Titelbach, and Valkanova (۲۰۱۷)

۴. Nedelkoska and Quintini (۲۰۱۸)

۵. McKinsey Global Institute (۲۰۱۷)

جدول ۳.۱ میانگین خطر اتوماسیون در تمام مشاغل کشور و سهم کارگران در معرض خطر بالای اتوماسیون ۲۱ کشور OECD. بر اساس مطالعات آرنتز و همکاران (۲۰۱۶)

کشور	سهم کارگران در معرض خطر بالای اتوماسیون (%)	میانگین خطر اتوماتیک شدن در تمام مشاغل کشور (%)
اتریش	۱۲	۴۳
آلمان	۱۲	۴۳
اسپانیا	۱۲	۳۸
جمهوری اسلواکی	۱۱	۴۴
جمهوری چک	۱۰	۴۴
ایتالیا	۱۰	۴۳
هلند	۱۰	۴۰
انگلستان	۱۰	۳۹
نروژ	۱۰	۳۷
کانادا	۹	۳۹
دانمارک	۹	۳۸
فرانسه	۹	۳۸
ایالات متحده	۹	۳۸
ایرلند	۸	۳۶
لهستان	۷	۴۰
بلژیک	۷	۳۸
ژاپن	۷	۳۷
سوئد	۷	۳۶
فنلاند	۷	۳۵
استونی	۶	۳۶
کره جنوبی	۶	۳۵

علیرغم برآوردهای فوق، توافق کلی در این زمینه وجود دارد که وظایف عادی و تکراری و نسبتاً یکنواخت و خسته‌کننده به راحتی با روبات‌ها جایگزین می‌شوند، درحالی‌که وظایف غیرعادی و وظایفی که شامل تعاملات و همدلی انسانی است، به سختی توسط ماشین‌های خودکار و هوشمند جایگزین خواهند شد. علاوه بر این، نتایج فری و آزبورن و همچنین آرنتز و همکاران نشان می‌دهد کارگران با تحصیلات عالی نسبت به کارگران با سطح تحصیلات پایین با خطر بسیار کمتر اتوماسیون مواجه بوده، در عین حال، مشاغل کم درآمد آسیب‌پذیری بیشتری نسبت به مشاغل با درآمد بالاتر دارند. البته، با توجه به آخرین یافته‌ها رابطه‌ی تبعی معکوس نیز ممکن است وجود داشته باشد. احتمال افزایش اتوماسیون در شغلی خاص، مبین افزایش رقابت روبات‌ها با نیروی کار و کاهش دستمزدهاست. این نتیجه ممکن است در صورت عدم وجود رقابت روبات با انسان صورت گیرد و فقط به عنوان تهدیدی در روند چانه‌زنی کارگران برای بازداشتن آن‌ها از درخواست افزایش حقوق استفاده باشد.^۱

مطالعه‌ی لردن و نئومارک^۲ در سال ۲۰۱۸ که در این زمینه انجام شد بسیار آموزنده است. آن‌ها محدوده افزایش حداقل دستمزدی که بر اشتغال‌زایی کارگران در معرض اتوماسیون تاثیر می‌گذارد را تجزیه و تحلیل کرده و با استفاده از داده‌های ایالات متحده از سال ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۵ نشان می‌دهند که افزایش حداقل دستمزد، سهم اتوماسیون کارگران با مهارت کم را کاهش می‌دهد، و اثرات آن بر کارگران مسن در بخش تولیدات کارخانه‌ای قوی است.^۳ در نتیجه رشد اتوماسیون به تبع افزایش دستمزدها باعث می‌شود که کارگران برای جلوگیری از خطر جایگزینی روبات‌ها از افزایش دستمزدها استقبال نکنند. این مطالعه نشان می‌دهد که حتی اگر جایگزینی واقعی توسط روبات‌ها اتفاق نیفتد، اتوماسیون توانایی سرکوب کردن رشد دستمزد کارگران کم‌مهارت را دارد. برای نشان دادن تأثیرات محتمل اتوماسیون بر انواع کار، جداول ۲.۳ الی ۶.۳ مشاغل مختلف و آسیب‌پذیری آن‌ها را نشان می‌دهند. این جداول براساس مطالعات فری و آزبورن در سال ۲۰۱۷ و ندلکوسکا و کوپنتینی در سال ۲۰۱۸ تهیه شده و نتایج آن‌ها با توجه به استعداد مشاغل نسبت به اتوماسیون، متفاوت است. با این حال در نظر گرفتن هر دو نتیجه با هم ممکن است تصویر کامل‌تری از اثرات اتوماسیون بر مشاغل ارائه دهد.

۱. Arnoud, ۲۰۱۸

۲. Lordan and Neumark (۲۰۱۸)

۳. Chu, Cozzi, Furukawa, & Liao, ۲۰۱۹

جدول ۲.۳ و ۳.۳ نشان دهنده‌ی ۲۵ شغل با کمترین و بیشترین حساسیت به اتوماسیون در ایالات متحده است. این جداول حاوی تعداد شاغلین ماه مه ۲۰۱۷ بر اساس اطلاعات اداره‌ی کار ایالات متحده در سال ۲۰۱۸ است و نشان می‌دهند که مشاغل مرتبط با کارهای عادی و تکراری، بیشتر در معرض جایگزینی با فناوری اتوماسیون قرار دارند، درحالی‌که مشاغل همراه با تعاملات انسانی نسبت به اتوماسیون کمتر حساس می‌باشند و به‌طور خاص، مشاغل مرتبط با مهارت‌های مدیریتی به سختی اتوماسیون پذیرند.

جدول ۴.۳ بر اساس مطالعات ندلکوسکا و کوئینتینی^۱ در سال ۲۰۱۸ میانگین احتمال اتوماسیون مشاغل، و جداول ۵.۳ و ۶.۳ میانگین احتمال اتوماسیون توسط صنعت را نشان می‌دهند، که به ۲۰ مورد بیشترین (جدول ۵.۳) و ۲۰ مورد کمترین (جدول ۶.۳) صنایع مستعد تقسیم شده است. برآوردهای موجود در این جداول نیز مبین آن است که سطح تحصیلات، مهارت‌های مدیریتی و میزان تعاملات انسانی نقش مهمی در کاهش خطر اتوماسیون مشاغل دارد.

بخش فوق، مروری بر پتانسیل جایگزینی وظایف و مشاغل مختلف است. هرچند، آمادگی و استعداد پذیرش اتوماسیون مطالب زیادی در مورد اثرات اقتصادی واقعی اتوماسیون به ما نمی‌گوید، و ممکن است به دلایل زیر پیش‌بینی‌های شوم و ترسناک در خصوص پیامدهای اقتصادی اتوماسیون اتفاق نیافتد.

- تمامی مشاغل مستعد اتوماسیون از ماشین‌های خودکار استفاده نمی‌کنند. زیرا هزینه‌های ثابت نصب روبات و هزینه‌های عملیاتی آن ممکن است به قدری بالا باشد که روبات‌ها، جانشین قوی برای مشاغل با پایین‌ترین سطح دستمزد نباشند.
- سازوکار و مکانیزم‌های تعدیلی، مانند تقاضای بیشتر به خاطر افزایش بهره‌وری در پی اتوماسیون، یا تغییرات ساختاری از تولید به خدمات، ممکن است فرصت‌های شغلی و مشاغل جدید غیرقابل تصویری را ایجاد کند.

۱. Nedelkoska and Quintini (۲۰۱۸)

جدول ۲.۳ بیست و پنج شغل با حداقل استعداد اتوماسیون، و سطوح اشتغال مربوطه در ماه مه ۲۰۱۷ در ایالات متحده (فری و آزیورن در سال ۲۰۱۷)

اشتغال	احتمال اتوماسیون %	استخدام
درمانگران تفریحی	۰.۲۸	۱۸۴۹۰
ناظران خط اول مکانیک، نصب و تعمیرکاران	۰.۳۰	۴۶۰۳۷۰
مدیران مدیریت اضطراری	۰.۳۰	۹۵۶۰
بهداشت‌روان، سوء مصرف مواد و مددکاران اجتماعی	۰.۳۱	۱۱۲۰۴۰
متخصصان شنوایی سنجی	۰.۳۳	۱۲۰۲۰
کاردرمانگرها	۰.۳۵	۱۲۶۰۵۰
متخصصین ارتز و پروتزها	۰.۳۵	۷۸۴۰
مددکاران اجتماعی بهداشت و درمان	۰.۳۵	۱۶۷۷۳۰
جراحان فک و صورت	۰.۳۶	۴۸۰۰
ناظران خط اول کارگران آتش نشانی و پیشگیری	۰.۳۶	۵۸۶۹۰
متخصصان تغذیه	۰.۳۹	۶۲۹۸۰
مدیران اسکان	۰.۳۹	۳۶۶۱۰
طراحان رقص	۰.۴۰	۵۳۱۰
مهندسين فروش	۰.۴۱	۷۰۸۲۰
پزشکان و جراحان	۰.۴۲	۳۵۵۴۶۰
هماهنگ کننده‌های آموزشی	۰.۴۲	۱۵۷۴۹۰
روانشناسان	۰.۴۳	۱۲۸۸۰
ناظران خط اول پلیس و کارآگاهان	۰.۴۴	۱۰۴۸۶۰
دندانپزشکان، عمومی	۰.۴۴	۱۱۰۴۰۰
معلمان مدارس ابتدایی، به جز مدارس استثنایی	۰.۴۴	۱۴۰۹۱۴۰
دانشمندان پزشکی، به جز متخصصان اپیدمیولوژی	۰.۴۵	۱۱۱۶۹۰
مدیران آموزش و پرورش (ابتدایی و متوسطه)	۰.۴۶	۲۵۰۲۸۰
پدیاتریست‌ها	۰.۴۶	۹۶۷۰

روانشناسان بالینی، مشاوره و مدارس	۰.۴۷	۱۰۸۰۶۰
مشاوران بهداشت روان	۰.۴۸	۱۳۹۸۲۰

جدول ۳.۳ بیست و پنج شغل با بیشترین استعداد اتوماسیون، و سطوح اشتغال مربوطه در ماه مه ۲۰۱۷ در ایالات متحده (براساس مطالعات فری و آزیورن در سال ۲۰۱۷)

اشتغال	احتمال اتوماسیون (%)	استخدام
بازاریاب‌های تلفنی	۹۹	۱۸۹۶۷۰
بازرسان عنوان، مجردان و جستجوگران	۹۹	۵۳۰۴۰
فاضلاب (با دست)	۹۹	۶۱۹۰
تکنسین‌های ریاضی	۹۹	۵۱۰
کارمندان بیمه	۹۹	۸۹۹۱۰
تعمیرکاران ساعت	۹۹	۲۱۳۰
نمایندگی‌های باربری و حمل و نقل	۹۹	۸۹۹۲۰
تهیه کنندگان مالیات	۹۹	۶۸۷۲۰
کارگران عکاسی و اپراتورهای ماشین پردازش	۹۹	۲۲۴۵۰
متصدیان حساب‌های جدید	۹۹	۴۱۶۸۰
تکنسین‌های کتابخانه	۹۹	۹۰۰۳۰
کلیدهای ورود اطلاعات	۹۹	۱۸۰۱۰۰
تعدیل‌کننده‌ها و تنظیم‌کننده‌های دستگاه زمان‌بندی	۹۸	۶۸۰
ادعاهای بیمه و کارمندان پردازش بیمه نامه	۹۸	۲۷۷۱۳۰
کارمندان کارگزاری	۹۸	۵۸۹۳۰
کارمند سفارش	۹۸	۱۶۹۱۲۰
افسران وام	۹۸	۳۰۷۲۴۰
ارزیاب بیمه، خسارت خودکار	۹۸	۱۶۱۵۰
داوران و سایر مسئولان ورزشی	۹۸	۱۸۶۱۰
گوینده‌ها	۹۸	۴۹۱۱۵۰

۸۶۲۰	۹۸	اچرها و منبت کاران
۶۷۱۷۸۰	۹۸	متصدیان حمل و نقل، دریافت و ترافیک
۳۹۲۹۱۰	۹۸	بسته‌بندی و اپراتورها پر کردن
۷۰۵۱۰	۹۸	کارمندان تدارکات
۱۷۸۲۰	۹۸	اپراتور دستگاه فرز و برنامه ریزی (فلز و پلاستیک)

جدول ۴.۳ میانگین احتمال اتوماسیون توسط شغل،
بر اساس مطالعات ندلکوسکا و کوینتینی در سال ۲۰۱۸

میانگین احتمال اتوماسیون (%)	اشتغال
۶۴	دستیاران تهیه غذا
۵۹	پاک کننده‌ها و یاوران
۵۹	کارگران معدن، ساخت و ساز، تولید، حمل و نقل
۵۹	جمع کننده‌ها
۵۸	رانندگان و اپراتورهای کارخانه‌های تلفن همراه
۵۸	کارگران و سایر کارگران ابتدایی
۵۷	کارگران کشاورزی، جنگلداری و شیلات
۵۷	اپراتورهای ثابت کارخانه و ماشین‌آلات
۵۶	پردازش مواد غذایی، کار با چوب، کارگران پوشاک
۵۵	کارگران ماهر جنگلداری، ماهیگیری بازار محور
۵۵	کارگران ماهر کشاورزی متمرکز در بازار
۵۴	کارگران خدمات شخصی
۵۳	کارگران فلز، ماشین‌آلات و مشاغل مرتبط
۵۳	سردفتران عمومی و صفحه کلید
۵۳	کارگران صنایع دستی و چاپ
۵۲	کارگران ساختمان و مشاغل مرتبط
۵۲	کارگران فروش

۵۲	کارگران برق و الکترونیک
۵۰	متصدیان ضبط شمارشی و مواد
۴۹	متصدیان خدمات مشتری
۴۸	سایر کارگران پشتیبانی روحانیت
۴۵	متخصصان مرتبط با سلامتی
۴۴	تکنسین‌های اطلاعات و ارتباطات
۴۴	کارگران خدمات حفاظتی
۴۳	متخصصان مرتبط با تجارت و مدیریت
۴۲	کارگران مراقبت شخصی
۴۱	متخصصان علوم و مهندسی
۴۱	متخصصان فناوری اطلاعات و ارتباطات (ICT)
۴۱	متخصصین بازرگانی و اداری
۴۰	علوم، متخصصان مرتبط با مهندسی
۳۹	متخصصان حقوقی، اجتماعی، فرهنگی مرتبط
۳۸	متخصصان حقوقی، اجتماعی و فرهنگی
۳۵	متخصصین سلامت
۳۴	مهمان نوازی، خرده فروشی، سایر مدیران خدمات
۳۲	مدیران اداری و بازرگانی
۳۰	مدیران ارشد، مقامات ارشد، قانون گذاران
۳۰	تولید، مدیران خدمات تخصصی
۲۸	آموزش حرفه‌ای‌ها

جدول ۵.۳ میانگین احتمال اتوماسیون توسط صنایع برای ۲۰ صنعتی که بیشترین احتمال اتوماسیون را دارند. بر طبق مطالعات ندلکوسکا و کوینتینی در سال ۲۰۱۸

اشتغال	میانگین احتمال اتوماسیون (%)
کشاورزی، شکار	۵۷
تولید پوشاک	۵۶
فعالیت‌های پستی و پیک	۵۶
فعالیت‌های خدمات غذایی و آشامیدنی	۵۵
ماهگیری و آبی‌پروری	۵۵
استخراج معادن و سنگ معدن‌های دیگر	۵۴
حمل و نقل زمینی و حمل و نقل از طریق خطوط لوله	۵۴
تولید چوب	۵۴
تولید محصولات غذایی	۵۴
خدمات ساختمان‌ها و منظره	۵۳
چاپ و تکثیر رسانه ضبط شده	۵۳
تولید منسوجات	۵۳
جمع‌آوری، تصفیه زباله	۵۳
تولید سایر محصولات معدنی غیر فلزی	۵۲
تولید کاغذ	۵۲
تولید محصولات دخانهات	۵۲
جنگلداری و قطع درختان	۵۱
ساخت وسایل نقلیه موتوری، تریلر و نیمه تریلر	۵۱
تولید تجهیزات الکتریکی	۵۱

جدول ۶.۳ میانگین احتمال اتوماسیون توسط صنایع برای ۲۰ صنعتی که کمترین احتمال اتوماسیون را دارند. بر طبق مطالعات ندلکوسکا و کوئینتینی در سال ۲۰۱۸

اشغال	میانگین احتمال اتوماسیون (%)
مراقبت‌های مسکونی	۴۳
استخراج نفت خام و گاز طبیعی	۴۳
مشاور املاک	۴۳
فعالیت‌های استخدامی	۴۳
مهندسی و معماری، تست فنی	۴۳
مدیریت و دفاع عمومی، امنیت اجتماعی	۴۲
فعالیت‌های خدمات پشتیبانی معدن	۴۲
حمل و نقل هوایی	۴۲
تبلیغات و تحقیقات بازار	۴۲
مخابرات	۴۲
سلامتی انسان	۴۲
حقوقی و حسابداری	۴۱
برنامه نویسی کامپیوتر، مشاوره	۴۱
آژانس مسافرتی، مجریان تور	۴۱
فعالیت‌های خدمات اطلاع رسانی	۴۰
فعالیت‌های برنامه نویسی و پخش	۴۰
کارهای اجتماعی بدون اسکان	۴۰
اصلاح، مدیریت پسماند دیگر	۳۸
دفاتر مرکزی، مشاوره مدیریت	۳۴
تحصیلات	۳۳

و بالاخره سیاست‌های اقتصادی این توانایی را دارند که تأثیرات فناوری را کاملاً تغییر دهند. در این خصوص در فصل ۷ اقدامات مختلف سیاستی، مانند برنامه‌های بازآموزی کارگران جایگزین شده به وسیله‌ی روبات، مالیات بر روبات، و برنامه‌های سرمایه‌گذاری عمومی مورد بحث قرار می‌گیرد.

۲.۳ شواهد کشوری پیامدهای اقتصادی اتوماسیون

مطالعات تجربی تأثیرات اتوماسیون بر اشتغال بیشتر بر گزارش‌های سالانه‌ی فدراسیون بین‌المللی روباتیک (IFR)^۱ در سال ۲۰۱۸ متکی است که از سال ۱۹۹۳ اطلاعات دقیقی در مورد تعداد روبات‌های صنعتی فعال در تقریباً ۶۰ کشور جهان ارائه می‌کند. با استفاده از داده‌های IFR، گریتز و مایکل^۲ در سال ۲۰۱۵ و ۲۰۱۸ اثرات اتوماسیون در ۱۷ کشور و برای ۱۴ صنعت تجزیه و تحلیل کرده‌اند. آن‌ها نتیجه گرفتند که استفاده از روبات‌ها در سال‌های ۱۹۹۳ الی ۲۰۰۷ رشد بهره‌وری را در کشورهای مورد مطالعه ۱۵ درصد افزایش داده است. بر اساس برآورد گریتز و مایکل درحالی‌که روبات‌ها باعث کاهش حجم کار مشاغل با مهارت پایین و متوسط شده، ولی تأثیر مثبتی بر متوسط دستمزد کارگران این سطوح داشته است. این یافته‌ها با جایگزینی مستقیم کارگران کم‌مهارت صنایع تولیدات کارخانه‌ای با روبات‌ها، همراه با حضور همزمان سازوکارهای تعدیلی همانند تقاضای کل بالاتر و تغییرات ساختاری که با فرض ثابت بودن سایر شرایط باعث افزایش تعداد اشتغال کل می‌شود، سازگار است.^۳

عجم اوغلو و رسترپو^۴ در سال ۲۰۱۷ و ۲۰۲۰ و با استفاده از داده‌های IFR نشان داده‌اند که بکارگیری روبات‌های صنعتی در ایالات متحده در مقایسه با سایر کشورهای بزرگ صنعتی همانند آلمان و ژاپن نسبتاً کند بوده است. بر اساس مطالعات این دو که در آن اثرات علیتی روبات بر دستمزد و اشتغال به تفکیک بخش‌ها و مناطق مورد توجه قرار گرفته، تقریباً در همه‌ی فعالیت‌ها به استثنای چند مورد خاص مانند مدیریت، تراکم بیشتر روبات اثر علیتی منفی بر اشتغال و دستمزد دارد. حتی در میان گروه‌های شغلی

۱. International Federation of Robotics (IFR, ۲۰۱۸)

۲. Graetz and Michaels (۲۰۱۵, ۲۰۱۸)

۳. Arntz et al. (۲۰۱۷); Frey and Osborne (۲۰۱۷); Nedelkoska and Quintini (۲۰۱۸)

۴. Acemoglu and Restrepo (۲۰۱۷, ۲۰۲۰)

که تحت تأثیر اثرات منفی اتوماسیون قرار دارند، تراکم بیشتر روبات‌ها تأثیرات متفاوتی بر کارگران و به طرق مختلف دارد. کارهای عادی معمولاً در برابر اتوماسیون آسیب پذیرند درحالی که سطح تحصیلات بالاتر خطر اثرات منفی را کاهش می‌دهد. برای افرادی با مدرک کالج و دانشگاهی تأثیرات منفی شغلی اندک بوده، درحالی که برای افراد با تحصیلات عالی بی‌معنی است. عجم اوغلو و رستریو هیچ اثر مثبتی بر اشتغال کارگران با تحصیلات عالی پیدا نکردند. بر اساس برآورد آن‌ها تعداد مشاغل حذف شده توسط روبات‌های صنعتی از ۳۶۰۰۰۰ تا ۶۷۰۰۰۰ است، و یک روبات صنعتی جایگزین حدود شش کارگر در بخش تولیدات کارخانه‌ای می‌شود. این نتایج نیز با جایگزینی مستقیم کارگران کم‌مهارت تولیدات کارخانه‌ای توسط روبات‌ها مطابقت دارد.^۱ همچنین به نظر می‌رسد در ایالات متحده مکانیسم‌های تعدیلی مشاغل اضافی ایجاد شده در تولید روبات‌ها، کارهای جدیدی که در سایر بخش‌ها ایجاد می‌شوند و تغییرات ساختاری که باعث افزایش اشتغال در خدمات می‌شود کافی نیست. شایان ذکر است که عجم اوغلو و رستریو دریافتند که بر خلاف تأثیرات سرمایه‌گذاری در روبات‌های صنعتی، سرمایه‌گذاری در دیگر کالاهای سرمایه‌ای (حتی رایانه) با تقاضای کار و ایجاد شغل رابطه مثبت دارد.

داوت و همکاران^۲ در سال ۲۰۱۷ روش عجم اوغلو و رستریو در مورد کشور آلمان که تراکم روبات در آن به مراتب بیشتر از ایالات متحده است را مورد استفاده قرار داده و نشان دادند که افزایش تراکم روبات، همانند نتایج بدست آمده در ایالات متحده آمریکا، هم به جهت کاهش دستمزد و هم اشتغال تأثیر منفی بر کارگران بخش تولیدات کارخانه‌ای دارد. با این حال، اثر منفی بر اشتغال تولیدات کارخانه‌ای در آلمان نسبت به ایالات متحده کمتر است، و در کشور آلمان یک روبات جایگزین تنها دو شاغل در تولیدات کارخانه‌ای می‌شود. علاوه بر این، داوت و همکاران نشان می‌دهند که روبات‌ها به‌طور مستقیم جایگزین کارگران در کشور آلمان نمی‌شوند و کارگران معمولاً تا زمان بازنشستگی به کارهای دیگری ادامه می‌دهند. یکی از دلایل اصلی اثرات کمتر اتوماسیون در آلمان، موسسات انعطاف‌پذیر در بازار کار می‌باشد که توسط اتحادیه‌ها با تمایل به پذیرش مزدی کمتر بدنبال کسب امنیت شغلی می‌باشند.^۳ در نتیجه، اثرات

۱. Arntz et al., ۲۰۱۷; Frey & Osborne, ۲۰۱۷; Nedelkoska & Quintini, ۲۰۱۸

۲. Dauth, Findeisen, Suedekum, and Woessner (۲۰۱۷)

۳. Dustmann, Fitzenberger, Schoenberg, & Spitz-Oener, ۲۰۱۴

تعدیلی بازار کار ممکن است به جای کاهش در شغل، دستمزدها را کاهش دهد. علاوه بر این، بازار کار آلمان شامل بسیاری از مهندسان ماهر است که شغل آن‌ها ممکن است کمتر در معرض جایگزینی ماشین و اتوماسیون قرار گیرد. بر خلاف یافته‌های عجم اوغلو و رستریو که نشان می‌دهند کارگران ماهر تمایلی به استفاده از روبات ندارند، داوت و همکاران در کشور آلمان به نتایجی معکوس می‌رسند. به‌طور خاص، کارگران ماهر با مدارک دانشگاهی افزایش دستمزد را نه تنها در مدیریت بلکه در مشاغل فنی و علمی مربوط به اتوماسیون درخواست می‌کنند. بر اساس برآورد داوت و همکاران افزایش تراکم روبات بین سال‌های ۱۹۹۴ و ۲۰۱۴ باعث کاهش حدود ۲۵۰۰۰ شغل در بخش تولیدات کارخانه‌ای کشور آلمان شده، ولی به‌خاطر ایجاد فرصت‌های شغلی در بخش خدمات و جبران کاهش شغل در تولیدات کارخانه‌ای افزایش متناظر بیکاری محقق نشده است.

تا آنجا که به سازوکارهای تعدیلی یافتن شغل توسط کارگران در مشاغل دیگر مربوط می‌شود، عجم اوغلو و رستریو معتقدند که این فرآیند مستلزم زمان است. دلیل اصلی این تاخیر زمانی از آنجاست که مهم‌ترین بخش سازوکار تعدیلی، ایجاد وظایف جدید و یا تعدیل از طریق نوآوری در محصول است که مستلزم کسب آموزش‌های لازم و اغلب، هزینه‌های قابل توجه است. با توجه به دیگر مکانیزم‌های تعدیلی اتوماسیون، داوت و همکاران به صراحت به این واقعیت اشاره دارند که شدت کار در فرایند تولید روبات کم است. بنابراین، هیچ تعدیل جامعی از منظر تولید روبات در آلمان مشاهده نمی‌شود. با این وجود، شواهد تجربی نشان می‌دهد که بخش خدمات، فرصت‌های شغلی بسیاری برای کارگران بیکار فراهم می‌کند، و سازوکار تعدیلی تغییرات ساختاری در آلمان بسیار قوی است.

گریگوری، سالومونز و زیره^۱ در سال ۲۰۱۶ چارچوبی مبتنی بر وظیفه برای تقاضای کار منطقه‌ای در ۲۷ کشور اتحادیه اروپا از سال ۱۹۹۹ تا ۲۰۱۰ را بررسی کردند. برآورد ساختاری آن‌ها بر چارچوب مبتنی بر وظایف آتور و دورن^۲ در سال ۲۰۱۳، و گوس، منینگ و سالومونز^۳ در سال ۲۰۱۴ استوار است. تولید خدمات تجاری به نیروی کار و سرمایه نیازمند بوده، درحالی‌که تولید خدمات غیرتجاری فقط به نیروی کار نیاز دارد.

۱. Gregory, Salomons, and Zierahn (۲۰۱۶)

۲. Autor and Dorn (۲۰۱۳)

۳. Goos, Manning, and Salomons (۲۰۱۴)

گریگوری و همکاران کانال‌هایی که اتوماسیون بر تقاضای نیروی کار تأثیر می‌گذارد را متمایز کرده و نشان می‌دهند که به‌طور کلی، تقاضای کار در سطح کلی به دلیل جایگزینی ماشین با فعالیت‌های معمولی و تکراری افزایش یافته است و این شکل از پیشرفت فنآوری تقریباً ۱۱.۶ میلیون شغل در سراسر اروپا ایجاد کرده که به‌طور کامل برابر با نیمی از رشد اشتغال ۲۳ میلیون نفر در همان کشورها در دوره زمانی مشابه است. آن‌ها نشان می‌دهند که این افزایش تقاضا برای نیروی کار از آنجا ناشی شده که از یک طرف تغییرات فنی که جایگزین مشاغل عادی و تکراری است، به‌طور مستقیم تقاضای نیروی کار را به میزان ۹.۶ میلیون شغل کاهش داده، ولی از طرف دیگر با افزایش تقاضای کار اضافی در بخش غیرتجاری به میزان تقریباً ۲۱ میلیون شغل، اثرات مستقیم جایگزینی اتوماسیون را جبران کرده است. بنابراین، تقاضای کار اضافی بخش غیرقابل فروش، اثرات جایگزینی مستقیم نیروی کار فنآوری‌های جدید را بیش از حد جبران کرده است. نتایج فوق با یافته‌های اخیر کوردس و پرتنر^۱ در سال ۲۰۱۹ و گیمارا اس و مازدا گیل^۲ در سال ۲۰۱۹ در خصوص ایجاد و حذف مشاغل در چارچوب‌های مدل جستجو و انطباق بازار کار سازگار است.

مطالعات تجربی آتور و سالومونز^۳ در سال ۲۰۱۷ و ۲۰۱۸ برای ۱۸ کشور OECD از دهه ۱۹۷۰ یافته‌ها فوق را تأیید می‌کند. آن‌ها نشان می‌دهند که استفاده از روبات در تولیدات کارخانه‌ای باعث افزایش بهره‌وری و کاهش اشتغال می‌شود. در عین حال، اثرات تعدیلی کل تا حدی است که فرصت‌های شغلی جدید در سایر بخش‌ها، منجر به افزایش اشتغال کل می‌شود. این نتیجه مشابه اثر هزینه‌ای باومول است که بر اساس آن بهره‌وری در بخش خدمات به همان میزان بخش تولیدات کارخانه‌ای افزایش نمی‌یابد و منجر به تغییر سهم اشتغال کلی به سمت خدمات می‌شود.^۴

فارغ از سازوکار و مکانیزم‌های تعدیلی که تضمین می‌کند کارگرانی که در اثر اتوماسیون شغل خود را از دست داده‌اند در بلندمدت بیکار نشوند، بحث مهم دیگری نیز در مورد اثرات مخرب اتوماسیون در کوتاه‌مدت و میان‌مدت وجود دارد. همان‌طور که قبلاً ذکر شد، ممکن است هزینه‌ی مشاغلی که می‌توانند از نظر فنی توسط روبات‌های گران قیمت جایگزین شوند توجیه نشود. علاوه بر این، ساخت و تهیه روبات‌ها برای

۱. Cords & Prettnner, ۲۰۱۹

۲. Guimaraes & Mazeda Gil, ۲۰۱۹

۳. Autor and Salomons (۲۰۱۷, ۲۰۱۸)

۴. Baumol & Bowen, ۱۹۶۶

جایگزینی کارگران زمان‌بر است. بر اساس مطالعات تجربی عجم اوغلو و رستریو مینی بر این‌که یک روبات صنعتی جایگزین حدود شش کارگر می‌شود، و بر اساس برآورد داده‌های IFR در سال ۲۰۱۸، بلوم، مک کنا و پرتنر^۱ در سال‌های ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹، و ابلیانسکی، الگور، بلوم و پرتنر^۲ در سال ۲۰۲۰ تقریباً تا سال ۲۰۳۰ بین ۳۸ تا ۶۴ میلیون کارگر در سراسر جهان توسط روبات‌های صنعتی جایگزین می‌شوند. هرچند برآوردهای فوق‌کم‌تر از جایگزینی فنی است که توسط فری و آزبورن، برزسکی و بورک، و آرنتز و همکاران ارایه شده است. براساس برون‌یابی‌های بلوم و همکاران، ابلیانسکی و همکاران و همچنین نتایج بدست آمده توسط داوت و همکاران برای کشور آلمان، مبنی بر این‌که یک روبات صنعتی فقط دو کارگر را جایگزین می‌کند، کاهش مستقیم تقاضا برای نیروی کار به دلیل اتوماسیون تا سال ۲۰۳۰ میلادی تقریباً بین ۱۲ تا ۲۰ میلیون نفر در سراسر جهان برآورد می‌شود. در این برآوردها هیچ‌گونه اثرات تعدیلی که باعث تنزل برآورد اثر کاهشی بیشتر شغل می‌شود در نظر گرفته نمی‌شود. با این حال، IFR در سال ۲۰۱۸ کلیه‌ی ماشین‌های قادر به تولید خودکار مانند دستگاه‌های شخصی کوچک‌تر و روبات‌های بخش خدمات را ردیابی نمی‌کند. بنابراین، از این منظر، نتایج بلوم و همکاران و ابلیانسکی و همکاران ممکن است از دست دادن واقعی مشاغل ناشی از اتوماسیون را کم‌تر از حد برآورد کرده باشند.

ادن و گاگل^۳ در سال ۲۰۱۸ نشان می‌دهند که استفاده از فنآوری اطلاعات و ارتباطات می‌تواند حدود نیمی از کاهش سهم درآمد نیروی کار از دهه ۱۹۵۰ را توضیح دهد. درحالی‌که بر اساس تفسیری دیگر از اتوماسیون، این نتیجه از نظر کیفی با نتایج پرتنر در سال ۲۰۱۹ مطابقت دارد، که صراحتاً مکانیزمی را نشان می‌دهد که در آن اتوماسیون سهم درآمدی نیروی کار را در یک مدل رشد اقتصادی ساده که در فصل ۴ بررسی می‌شود کاهش می‌دهد. پرتنر با کالیبراسیون مدل، بر نقش روبات‌های صنعتی و نه فنآوری‌های اطلاعات و ارتباطات متمرکز می‌شود. وی دریافت که تنها کاهش ۱۴ درصد از درآمد کارگران در ایالات متحده از دهه ۱۹۷۰ توسط روبات‌های صنعتی قابل توضیح است. نتایج ادن و گاگل همچنین با تخصیص مجدد درآمد کار از کارگرانی که به راحتی توسط فنآوری اطلاعات و ارتباطات در کارهای عادی و تکراری جایگزین

۱. Bloom, McKenna, and Prettner (۲۰۱۸, ۲۰۱۹)

۲. Abelianky, Algur, Bloom, and Prettner (۲۰۲۰)

۳. Eden and Gaggl (۲۰۱۸)

می‌شوند، به کسانی که مکمل این فناوری‌ها هستند، سازگار است. به‌طور کلی، آن دو نشان می‌دهند که کاهش قیمت فناوری‌های اطلاعات و ارتباطات منجر به رشد ۴ درصدی رفاه کل بر حسب میزان مصرف که برای جبران خسارت به خانواده‌ی نماینده برای باقی ماندن در مقابل سناریوی عدم کاهش قیمت داده می‌شود ضروری است. کاهش قیمت در این برآورد مربوط به گروهی است که در سال ۱۹۸۰ متولد شده است. دکانیو^۱ در سال ۲۰۱۶ بر پیامدهای کشتش جانشینی بین نیروی کار انسانی و کار رباتیک متمرکز می‌شود. بر اساس کشتش جانشینی ثابت (CES) در تابع تولید با نیروی کار انسانی، سرمایه و نیروی کار رباتیک، وی نشان می‌دهد که با کشتش جانشینی بالا بین انسان و روبات، با استفاده از روبات، دستمزد کاهش می‌یابد، درحالی‌که با کشتش جانشینی کم بین این دو نهاده‌ی تولید، نتایج معکوس می‌شود. با کالیبراسیون تابع تولید و داده‌های بهره‌وری ایالات متحده، وی نشان می‌دهد که سطح آستانه مربوط به کشتش جانشینی ۱.۹ است. بنابراین، با توجه به نتایج سایر محققان، کشتش جانشینی واقعی بین کارگران کم‌مهارت و فناوری‌های اتوماسیون مسلماً زیاد و بالاتر از این آستانه، درحالی‌که کشتش جایگزینی بین کارگران ماهر و فناوری‌های اتوماسیون کم‌تر از این آستانه است.

بالاخره، در سطح شرکت، جاگر، مول و لِرچ^۲ در سال ۲۰۱۶ یک نظرسنجی را که به‌طور منظم در بین ۳۰۰۰ شرکت از هفت کشور اروپایی اتریش، فرانسه، آلمان، هلند، اسپانیا، سوئد و سوئیس بین سال‌های ۲۰۰۱ و ۲۰۱۲ انجام داده تجزیه و تحلیل می‌کنند. نتایج مطالعات آن‌ها نشان می‌دهد بهره‌وری نیروی کار شرکت‌هایی که از روبات استفاده می‌کنند بیشتر است، و این نتایج با مطالعات تجربی پیشین سازگار است. با این حال، جاگر و همکاران اثرات مثبت و منفی ناشی از اتوماسیون را در میان شرکت‌های مورد بررسی نیافتند. به‌طور کلی، مطالعات فوق به اثرات اتوماسیون بر اشتغال به شرح زیر اشاره دارد:

- اثرات مثبت بهره‌وری نیروی کار.
- اثرات منفی اشتغال و دستمزد بر کارگران کم‌مهارت در تولیدات کارخانه‌ای، ولی اثرات ناچیز و یا حتی مثبت اشتغال و دستمزد بر کارگران ماهر
- ایجاد فرصت‌های شغلی در بخش خدمات

۱. DeCanio (۲۰۱۶)

۲. Ja'ger, Moll, and Lerch (۲۰۱۶)

- و بالاخره کاهش سهم درآمدی نیروی کار.

در فصل بعدی، بسیاری از این یافته‌های فوق را با مدل‌های رشد اقتصادی که با اتوماسیون بسط و گسترش یافته تبیین خواهیم کرد.

۳.۳ خلاصه

این فصل نشان می‌دهد که پتانسیل اثرات فناوری اتوماسیون بر اقتصاد بسیار متفاوت است. تأثیرات اتوماسیون بر مشاغل در طی دو دهه‌ی اخیر، از حدود ۶ درصد مشاغل حساس به اتوماسیون در برخی از کشورها مانند استونی، تا ۵۹ درصد مشاغل حساس به اتوماسیون در برخی دیگر مانند آلمان در حال تغییر است. دلیل اصلی اختلافات بزرگ، روش شناختی است. مطالعاتی که ناهمگنی وظایف را در همان شغل به حساب نمی‌آورند، نتیجه می‌گیرند که مشاغل بیشتری مستعد اتوماسیون هستند. در ضمن ویژگی‌های زیر با استعداد یک شغل به اتوماسیون همبستگی منفی دارند: (۱) شغلی که به سطح تحصیلات بالاتر نیاز دارد، (۲) شغلی که به مهارت‌های مدیریتی و نظارتی نیاز دارد، (۳) شغلی که مستلزم تعاملات انسانی و همدلی است، (۴) شغلی که با حقوق بالاتر همراه است و (۵) شغلی که مشمول بسیاری از کارهای غیرعادی و غیر تکراری است.

در مجموع، استعداد یک شغل به اتوماسیون لزوماً نشان نمی‌دهد که در نهایت آن شغل خودکار خواهد شد. دلیل این امر آن است که ملاحظات منافع-هزینه ممکن است به این نتیجه برسد که به کارگیری نیروی انسانی برای کاری خاص و در زمینه‌ی خاص ارزان‌تر از روبات‌ها باشد. علاوه بر این، تا آنجا که به اثرات کل بازار کار مربوط می‌شود، مکانیزم‌های تعدیلی مانند تقاضای کل بیشتر به دلیل افزایش بهره‌وری در اثر اتوماسیون یا تغییرات ساختاری در اقتصاد و یافتن شغل در بخش خدمات بجای بخش تولیدات کارخانه‌ای وجود دارد. این اثرات تعدیلی باید هنگام ارزیابی اثرات کلی اتوماسیون در بازار کار در نظر گرفته شوند. شواهد تجربی برای اروپا و به ویژه آلمان نشان می‌دهد که این مکانیزم‌های تعدیلی کاملاً قوی است و همین مکانیزم علت افزایش اشتغال کل در عصر اتوماسیون است. علاوه بر این، همانطور که فصل ۷ نشان می‌دهد، سیاست‌های اقتصادی، مانند برنامه‌های بازآموزی برای کارگران بی‌کار، مالیات بر روبات‌ها، و برنامه-

های سرمایه‌گذاری عمومی برخی از پتانسیل‌ها را دارد تا تأثیر مستقیم منفی تغییرات فناوری بر تقاضای کار را کاهش دهد.

تا آنجا که به اثرات کلان اقتصادی اتوماسیون مربوط می‌شود، تقریباً همه مطالعات به این نتیجه رسیده‌اند که (۱) اثرات مثبت بهره‌وری نیروی کار وجود دارد؛ (۲) اثرات منفی بر اشتغال و دستمزد کارگران کم‌مهارت در کارخانه‌ها، و اثرات ناچیز یا حتی مثبت بر اشتغال و دستمزد کارگران با مهارت بالا مشاهده شده است؛ (۳) شغل در بخش خدمات ایجاد می‌شود و (۴) سهم درآمد نیروی کار کاهش می‌یابد. این یافته‌های تجربی نکاتی است که قصد داریم از منظر نظری در فصول بعدی آن را بررسی کنیم.

فصل چهارم: رشد اقتصادی و اتوماسیون

۱.۴ مقدمات و تعاریف

۱.۱.۴ نرخ رشد در زمان گسسته و زمان پیوسته

در این بخش مباحث تئوری‌های رشد را مورد بررسی قرار می‌دهیم و برای جزئیات بیشتر به کتاب‌های درسی عجم اوغلو^۱ و بارو و سالا مارتین^۲ مراجعه کنید. در بخش اول این فصل، ابزارهای لازم برای تحلیل رشد اقتصادی بلندمدت معرفی می‌شوند. اگر متغیرهای مورد نظر در زمان گسسته اندازه‌گیری شوند، علامت t را در زیرنویس، و اگر متغیر مربوطه در زمان پیوسته اندازه‌گیری شوند، علامت t را داخل پرانتز می‌نویسیم. علاوه بر این، از حروف بزرگ برای سطح متغیرها و حروف کوچک برای متغیرهای سرانه استفاده خواهیم کرد.

فرض کنید Y تولید ناخالص داخلی یا GDP ، و N اندازه‌ی جمعیت باشد، آنگاه $y \equiv Y / N$ تولید سرانه خواهد بود. با نشان دادن g_x به عنوان نرخ رشد متغیر x ، نرخ رشد تولید ناخالص داخلی سرانه در زمان گسسته برابر خواهد بود با

$$g_y = \frac{y_t - y_{t-1}}{y_{t-1}} = \frac{y_t}{y_{t-1}} - 1 \quad (1.4)$$

و در زمان پیوسته برابر است با

$$g_y \equiv \frac{\dot{y}(t)}{y(t)} = \frac{d \log[y(t)]}{dt} \quad (2.4)$$

۱. Acemoglu (۲۰۰۹)

۲. Barro and Sala-i-Martin (۲۰۰۳)

علامت دات بر روی متغیر مبین مشتق آن متغیر نسبت به زمان است. از آنجا که مشتق یک متغیر نسبت به زمان همان تغییرات لحظه‌ای متغیر است، لذا نرخ رشد آن متغیر برابر خواهد بود با

$$g_X \equiv \frac{\dot{x}(t)}{x(t)} \quad \text{که مشابه نرخ رشد همان متغیر در زمان گسسته خواهد بود.}$$

عبارت دوم رابطه‌ی (۲.۴) نشان می‌دهد که مشتق لگاریتم یک متغیر نسبت به زمان t برابر است با نرخ رشد آن متغیر. توجه داشته باشید که مشتق یک متغیر نسبت به زمان فقط در صورتی که زمان پیوسته باشد وجود دارد. در غیر این صورت تابع مربوطه ناپیوسته و از این رو غیرقابل مشتق است. در تحلیل‌های زیر، علامت زمان را حذف می‌کنیم و لذا تفاوتی در مباحث زمان گسسته و زمان پیوسته وجود نخواهد داشت.

اندازه نیروی کار را با L نشان می‌دهیم و فرض می‌کنیم کل جمعیت شاغل هستند. در این صورت تولید ناخالص داخلی سرانه معادل تولید ناخالص داخلی به ازاء هر نیروی کار خواهد بود. دلیل این فرض آن است که مدل‌های رشد اقتصادی نوسانات کوتاه‌مدت نرخ بیکاری را در نظر نگرفته و بین کارگران و بازنشستگان، و یا زنان و مردان با نرخ مشارکت متفاوت تمایزی قائل نمی‌شوند.

به قول آلبرت انیشتین همه چیز باید به ساده‌ترین شکل ممکن تبیین شود، اما نه ساده‌تر. مدل اقتصادی و یا نقشه‌ی یک شهر یعنی ساده‌سازی. نقشه شهری با مقیاس ۱:۱ برای کمک به یافتن یک مکان مشخص هر چند واقع‌بینانه است، اما کاملاً بی‌فایده خواهد بود. بنابراین، نقشه‌ی شهر مستلزم خلاصه‌سازی و حذف مواردی مانند درخت‌هاست که لزوماً در یافتن مکانی مشخص بکار نمی‌روند، درحالی‌که ثبت خیابان‌ها که برای یافتن موقعیت مکانی مفید است لازم می‌باشد. هنگام ترسیم این نقشه‌ها، سوال اصلی که همیشه وجود دارد این‌که آیا ساده‌سازی برای هدف مورد نظر قابل توجیه است؟

در فصل بعد بیکاران و بازنشستگان از جمعیت منفک شده و لذا اندازه جمعیت و نیروی کار برابر نیستند. تفکیک جمعیت مستلزم مدل‌های پیچیده‌تری است و برای تحلیل تأثیرات اتوماسیون بر اشتغال مناسب خواهند بود. باین‌حال، در این فصل جنبه‌هایی از مباحث رشد و توزیع درآمد مورد توجه است که در آن جزئیات تفکیک جمعیتی ضروری نیست.

اگر فرض کنیم که تولید کل Y با نرخ g_Y و جمعیت N با نرخ $g_N = n$ رشد می‌کند، نرخ رشد تولید ناخالص داخلی سرانه در زمان گسسته از رابطه (۱.۴) برابر خواهد بود با:

$$g_y = \frac{Y_t / N_t}{Y_{t-1} / N_{t-1}} - 1 = \frac{Y_t / Y_{t-1}}{N_t / N_{t-1}} - 1 = \frac{1 + g_Y}{1 + n} - 1$$

و از رابطه (۲.۴) در زمان پیوسته برابر خواهد بود با:

$$g_y = \frac{d \log [y(t)]}{dt} = \frac{d \log [Y(t) / N(t)]}{dt} = \frac{d \{ \log [Y(t)] - \log [N(t)] \}}{dt} \\ = \frac{\dot{Y}(t)}{Y(t)} - \frac{\dot{N}(t)}{N(t)} = g_Y - n$$

۲.۱.۴ افراد و بنگاه‌های نماینده

افراد و بنگاه‌ها تا حدودی با یکدیگر متفاوتند، ولی برای مدل‌سازی اقتصادی فرض همگنی افراد یا خانوار و همچنین بنگاه‌ها ضروری است. فرض می‌شود در اقتصاد یک کارگزار نمونه و یا خانوار نمونه با طول عمر بی‌نهایت وجود دارد که در مورد مصرف بهینه‌ی خود در طی زمان تصمیم می‌گیرد. همچنین فرض می‌شود در بخش تولید، یک بنگاه نمونه وجود دارد که بدنبال حداکثر کردن سود خود می‌باشد. در این صورت متغیرهای سرانه و متغیرهای کل اقتصاد بر هم منطبق هستند. در اکثر مدل‌های توصیف شده در این کتاب، فرض کارگزاران نمونه در بخش خانوار و بنگاه برای ساده سازی بسیار مفید است و نتایج مدل نظری را بی‌اعتبار نمی‌کند.

هنگام تجزیه و تحلیل تأثیرات پیشرفت فناوری بر رشد اقتصادی بلندمدت، ناهمگنی کارگزار نمونه معمولاً قابل اغماض است. در مقابل، هنگام تحلیل پیامدهای تغییرات جمعیتی یا نابرابری، معمولاً فرض همگنی کارگزار نمونه ضروری است. به عنوان مثال، در مدل‌های نسل‌های همپوش، ناهمگنی در افراد بر حسب سن، ثروت و مصرف وجود دارد، و لذا این مدل‌ها اغلب برای تحلیل مسائل جمعیتی و توزیعی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۳.۱.۴ تابع تولید کل

تابع تولید کل چگونگی ترکیب عوامل تولید در یک اقتصاد را برای تولید کل Y توصیف می‌کند. عوامل تولید عبارتند از موجودی سرمایه فیزیکی K که شامل سالن‌های تولید، ماشین‌آلات، ابزارها، خطوط مونتاژ، ساختمان‌های اداری و غیره است. نیروی کار برابر با L و فنآوری A دانشی است که به وسیله آن عوامل موجودی سرمایه و نیروی کار برای تولید کل ترکیب می‌شوند. عامل فنآوری یا بهره‌وری A از دو بخش تشکیل شده است: (۱) وضعیت فنآوری یک اقتصاد، که تعیین کننده محل و شکل مرز امکانات تولید است و (۲) کارایی اقتصاد، از طریق ساختار بازار، سازمان و نهادهای آن و غیره. این عامل تعیین می‌کند که آیا اقتصاد در مرز امکانات تولید قرار دارد یا کارآمد است، یا زیر مرز امکانات تولید قرار دارد و ناکارآمد است. به‌طور ضمنی تابع تولید به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$Y = F(K, L, A) \quad (۳.۴)$$

که در آن $F(.)$ شکل تابعی است که در آن ورودی‌ها به خروجی تبدیل می‌شوند. تولید معمولاً به عنوان یک کالای واحد که خانوار مایل به خرید و مصرف آن می‌باشند در نظر گرفته می‌شود. فرض این‌که تنها یک کالای نهایی GDP یا Y در اقتصاد تولید می‌شود، به ما امکان می‌دهد قیمت آن کالا را به واحد نرمالایز کنیم. درحالی‌که رابطه (۳.۴) هیچ فروشی را بر تابع تولید تحمیل نمی‌کند، تابع استاندارد مورد استفاده در متون اقتصادی یعنی تابع تولید نئوکلاسیک را در نظر می‌گیریم که دارای ویژگی‌های زیر است:

۱. تابع تولید نئوکلاسیک بر حسب عوامل تولید یعنی موجودی سرمایه و کار همگن از درجه‌ی یک است. به عبارت دیگر، در این تابع بازگشت ثابت مقیاس با توجه به موجودی سرمایه و نیروی کار وجود دارد. لذا اگر هر دو عامل تولید $\lambda > 1$ برابر شوند آنگاه تولید کل نیز λ برابر خواهد شد. به عبارتی

$$F(\lambda K, \lambda L, A) = \lambda Y \quad (۴.۴)$$

فرض کنید بنگاهی در یک مرکز تولیدی با تعداد مشخصی از کارگران و ماشین‌آلات کالایی را تولید می‌کند. چنانچه آن بنگاه همان تأسیسات را با همان مقدار از کارگران در محلی دیگر احداث کند، آنگاه تولیدات او دو برابر خواهد شد که به معنی بازگشت ثابت به مقیاس است.

۲. در تابع تولید نئوکلاسیک، تولید نهایی مثبت ولی کاهنده نسبت به عوامل موجودی سرمایه و نیروی کار است. اگر یکی از نهاده‌های تولید (سرمایه یا نیروی کار) افزایش یابد، درحالی‌که دیگری ثابت باشد، تولید افزایش خواهد یافت، ولی میزان افزایش تولید در سطوح بالاتر آن نهاده مرتباً در حال کاهش خواهد بود. به عبارتی

$$F_K(K, L, A) > 0, F_L(K, L, A) > 0 \quad (۵.۴)$$

$$F_{KK}(K, L, A) < 0, F_{LL}(K, L, A) < 0 \quad (۶.۴)$$

که در آن F_x مشتق جزئی اول و F_{xx} مشتق جزئی دوم $F(\cdot)$ نسبت به متغیر x می‌باشد. این عبارات حاکی از این است که تابع تولید کاملاً مقعر است، یعنی دارای شیب تندتر برای سطوح پایین‌تر و شیب کندتر برای سطوح بالاتر از نهاده‌ی تولید می‌باشد. به تعبیری اگر بنگاه فقط یک عامل تولید، مثلاً نیروی کار را افزایش دهد، آنگاه تولید بیشتر خواهد شد، زیرا به عنوان مثال، بنگاه می‌تواند با اضافه شیفت کارگر محصولات خود را افزایش دهد. باین حال، تولید بیشتر با موجودی سرمایه ثابت و به کارگیری فقط کارگران اضافی به‌طور فزاینده‌ای دشوار می‌شود زیرا فقط تعداد محدود شیفت‌کاری در روز امکان‌پذیر است و بهره‌وری نیروی کار با افزایش زمان کار ممکن است کاهش یابد. لذا تولید اضافه با کارگر اضافه و با فرض ثابت بودن سایر شرایط کاهش خواهد یافت. ۱. تابع تولید نئوکلاسیک شروط اینادا را برآورده خواهد کرد. یعنی

$$\lim_{K \rightarrow 0} F_K(K, L, A) = \infty, \lim_{K \rightarrow \infty} F_K(K, L, A) = 0 \quad (۷.۴)$$

$$\lim_{L \rightarrow 0} F_L(K, L, A) = \infty, \lim_{L \rightarrow \infty} F_L(K, L, A) = 0 \quad (۸.۴)$$

این شرایط حاکی از آن است که اولین واحدهای موجودی سرمایه و نیروی کار بی‌نهایت مولد هستند، درحالی‌که اگر یک عامل تولید بسیار زیاد شوند و عامل دیگر ثابت بماند، تولید نهایی آن نهاده به سمت صفر میل خواهد کرد. اگر یک بنگاه فقط از ماشین‌آلات جهت تولید استفاده کند هیچ چیزی قابل تولید نیست. اولین کارگری که بنگاه اقتصادی استخدام می‌کند کار با ماشین‌آلات را شروع کرده و تولید مثبت می‌شود و تولید نهایی اولین واحد نیروی کار بی‌نهایت و شیب تابع تولید بسیار زیاد است. از آنجا که تولید اضافی با استخدام کارگران بیشتر کاهش می‌یابد، و گاهی اوقات محیط کار آنقدر شلوغ

می‌شود که با کارگران اضافی تولید اضافه نمی‌شود و تابع تولید افقی و شیب آن برابر صفر خواهد شد.

شواهد تجربی نشان می‌دهد که این مفروضات غیرواقعی نیستند و چنین توابع تولیدی تقریب بسیاری مناسبی از فرایندهای تولید می‌باشند. بسیاری از مدل‌های اقتصاد کلان فرم خاص تابع تولید کاب-داگلاس زیر را در نظر می‌گیرند که مفروضات تابع تولید نئوکلاسیک در آن برقرار است.

$$Y = K^{\alpha}(AL)^{1-\alpha} \quad (9.4)$$

که در آن $\alpha \in (0,1)$ کشش تولید نسبت به سرمایه است، و نیروی کار در عامل بهره‌وری ضرب شده است. در این فرمول، پیشرفت تکنولوژیکی که بهره‌وری را افزایش می‌دهد را کارافزا یا اصطلاحاً هارود-خنثی نامند. معمولاً فرض می‌شود پیشرفت فناوری به صورت کارافزا است زیرا امکان استخراج مسیر رشد متعادل که در طی آن نرخ رشد تولید سرانه، مصرف سرانه، سرمایه‌گذاری سرانه و غیره ثابت است فراهم می‌شود.^۱ این خاصیت مدل نظری منطبق بر حقایق آشکار شده و یا شواهد تجربی است زیرا تغییرات تولید ناخالص داخلی سرانه‌ی بلندمدت در کشورهای ثروتمند طی قرن گذشته به‌طور چشمگیری ثابت بوده است.

انواع دیگر پیشرفت فناوری که در ادبیات اقتصادی ذکر می‌شود و معمولاً هنگام مدل‌سازی رشد اقتصادی بلندمدت از آن‌ها استفاده نمی‌شود عبارتند از پیشرفت فناوری سرمایه‌افزا و یا سولو-خنثی، که در آن تابع تولید عبارت است از $Y = (AK)^{\alpha}L^{1-\alpha}$ ، و پیشرفت فناوری هیکس-خنثی که در آن تابع تولید برابر است با $Y = A(K^{\alpha}L^{1-\alpha})$. پیشرفت فناوری هیکس-خنثی معمولاً در متون حسابداری رشد اقتصادی جهت محاسبه‌ی سهم نهاده‌های تولید از رشد تولید

در بحث زیر، توجه خود را به تابع تولید کاب-داگلاس با فناوری کارافزا محدود کرده و نشان می‌دهیم که این تابع تولید ویژگی‌های تابع تولید نئوکلاسیک را برآورده خواهد کرد. برای مقادیر مثبت A ، K و L داریم:

۱. عوامل تولید موجودی سرمایه K و نیروی کار L را در λ ضرب می‌کنیم به‌طوری

که

$$(\lambda K)^{\alpha} (\lambda AL)^{1-\alpha} = \lambda^{\alpha} \lambda^{1-\alpha} K^{\alpha} (AL)^{1-\alpha} = \lambda K^{\alpha} (AL)^{1-\alpha} = \lambda Y$$

در نتیجه، تابع تولید کاب-داگلاس با پیشرفت فناوری کارافزا همگن از درجه‌ی یک است و دارای بازده ثابت به مقیاس می‌باشد.

۲. برای تجزیه و تحلیل ویژگی تولید نهایی کاهنده، مشتقات جزئی تابع تولید نسبت به نهاده‌های تولید و با توجه به این که پارامتر $\alpha \in (0,1)$ است را محاسبه کرده و علامت‌های آن‌ها را مورد ارزیابی قرار دهیم.

$$F_K(K, L, A) = \alpha \left(\frac{AL}{K}\right)^{1-\alpha} > .$$

$$F_L(K, L, A) = (1 - \alpha) A^{1-\alpha} \left(\frac{K}{L}\right)^{\alpha} > .$$

$$F_{KK}(K, L, A) = \alpha(\alpha - 1) K^{\alpha-2} (AL)^{1-\alpha} < .$$

$$F_{LL}(K, L, A) = -(1 - \alpha)\alpha K^{\alpha} A^{1-\alpha} (L)^{-\alpha-1} < .$$

در نتیجه، تابع تولید کاب-داگلاس با پیشرفت فناوری کارافزا ویژگی‌های تولید نهایی مثبت اما کاهنده‌ی را داراست.

۳. برای تجزیه و تحلیل این که آیا شرط اینادا برآورده می‌شود یا خیر، داریم:

$$\lim_{K \rightarrow \infty} F_K(K, L, A) = \lim_{K \rightarrow \infty} \alpha \left(\frac{AL}{K}\right)^{1-\alpha} = \infty$$

$$\lim_{K \rightarrow \infty} F_L(K, L, A) = \lim_{K \rightarrow \infty} (1 - \alpha) A^{1-\alpha} \left(\frac{K}{L}\right)^{\alpha} = \infty$$

$$\lim_{L \rightarrow \infty} F_K(K, L, A) = \lim_{L \rightarrow \infty} \alpha \left(\frac{AL}{K}\right)^{1-\alpha} = .$$

$$\lim_{L \rightarrow \infty} F_L(K, L, A) = \lim_{L \rightarrow \infty} (1 - \alpha) A^{1-\alpha} \left(\frac{K}{L}\right)^{\alpha} = .$$

این بدان معنی است که هر چهار شرط اینادا برآورده شده است. در کل، تابع تولید کاب-داگلاس (۹.۴) ویژگی‌های تابع تولید نئوکلاسیک را برآورده می‌کند.

مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای مطالعه‌ی بیشتر در خصوص پیشرفت فناوری هیکس-خشی، به کتاب‌های عجم اغلو (۲۰۰۹) و بارو و سالا مارتین (۲۰۰۳) مراجعه کنید.

در مرحله بعد پاداش و دستمزد عوامل تولید که بنگاه‌ها تحت شرایط رقابت کامل پرداخت می‌کنند را بدست می‌آوریم. در ادبیات اقتصادی فرض می‌شود بنگاه‌ها سرمایه فیزیکی را مالک سرمایه اجاره می‌کند و نرخ اجاره‌ی سرمایه را به خانوارها در هر حظه از زمان پرداخت می‌کند. این فرض مفید است زیرا از بهینه‌سازی ایستا استفاده می‌کند. با تصریح تابع تولید کاب-داگلاس، مشکل حداکثر سود بنگاه نمونه عبارت است از

$$\max_{K,L} \pi = K^{\alpha} (AL)^{1-\alpha} - wL - RK \quad (10.4)$$

که در آن π سود بنگاه، w نرخ دستمزد و R نرخ اجاره‌ی سرمایه می‌باشد و متغیرهایی که می‌بایست مقادیر بهینه‌ی آن توسط بنگاه بدست آیند عبارتند از سرمایه K و نیروی کار L . اولین عبارت در سمت راست نمایانگر کل تولید یا درآمد بنگاه، و عبارت دوم نشان دهنده‌ی دستمزد پرداختی به نیروی کار و عبارت سوم هزینه‌های اجاره‌ی سرمایه را نشان می‌دهد. با حل مسئله‌ی حداکثرسازی سود بنگاه بر حسب موجودی سرمایه و نیروی کار، معکوس توابع تقاضا برای موجودی سرمایه و نیروی کار بدست می‌آید. این توابع، تقاضای بنگاه برای عوامل سرمایه و نیروی کار بر حسب قیمت عوامل است و از این رو معکوس توابع تقاضا می‌باشند. توابع تقاضای معکوس بیانگر این است که بنگاه‌ها سرمایه‌ی اضافی و نیروی کار اضافی را تا جایی بکار می‌گیرند که هزینه‌های اضافی استفاده‌ی بیشتر از عامل تولید خاص بیشتر از درآمد اضافی آن عامل نباشد. زیرا از آن مرحله به بعد، به کارگیری بیشتر عامل تولید باعث کاهش سود بنگاه می‌شود. در نتیجه، در تعادل رقابتی، به عوامل تولید به میزان ارزش تولید نهایی آن‌ها پرداخت خواهد شد، بگونه‌ای که

$$R = \frac{\partial Y}{\partial K} = \alpha \left(\frac{AL}{K}\right)^{1-\alpha} \quad (۱۱.۴)$$

$$w = \frac{\partial Y}{\partial L} = (1 - \alpha) \left(\frac{K}{L}\right)^{\alpha} A^{1-\alpha} \quad (۱۲.۴)$$

همان طور که ملاحظه می‌شود نرخ اجاره‌ی سرمایه R با افزایش اشتغال نیروی کار L افزایش می‌یابد و با بکارگیری بیشتر سرمایه‌ی K کاهش خواهد یافت. درحالی‌که عکس این موضوع برای نرخ دستمزد w صادق است. علاوه بر این، موجودی سرمایه با نرخ استهلاک δ کاهش می‌یابد. بنابراین، نرخ بهره‌ی کسب شده توسط فرد نماینده برابر است با نرخ اجاره‌ی سرمایه منهای نرخ استهلاک. و یا $r = R - \delta$. به‌طور شهودی، شکاف بین نرخ اجاره‌ی سرمایه که بنگاه‌ها پرداخت می‌کنند و نرخ بهره‌ی واقعی که خانوار نماینده دریافت می‌کند با نرخ استهلاک سرمایه افزایش می‌یابد.

اکنون نشان می‌دهیم که سهم درآمدی نیروی کار با تابع تولید کاب داگلاس و رقابت کامل همیشه ثابت است. تحت شرایط رقابت کامل، رابطه (۱۲.۴) به نرخ دستمزد اشاره دارد به‌طوری‌که کل دستمزد در اقتصاد برابر است با

$$w \cdot L = (1 - \alpha)(K)^{\alpha}(AL)^{1-\alpha}$$

از این رو، سهم نیروی کار از کل درآمد Y برابر است

$$\frac{w \cdot L}{Y} = \frac{(1-\alpha)(K)^\alpha (AL)^{1-\alpha}}{K^\alpha (AL)^{1-\alpha}} = 1 - \alpha \quad (13.4)$$

بدیهی است که این سهم به هیچ یک از متغیرهای K ، L و A وابسته نیست و همواره ثابت است.

لذا در مدل رشد استاندارد سولو و تابع تولید کاب-داگلاس، سهم عامل تولید نیروی کار از کل درآمد همیشه ثابت و برابر با $1-\alpha$ است. این نتیجه مدت‌ها به عنوان مزیت مدل نظری در نظر گرفته می‌شد زیرا با حقایق آشکار شده کالدور در سال ۱۹۵۷ سازگار بود. در واقع، سهم نیروی کار از تولید در ایالات متحده آمریکا در طی قرن بیستم تا اواخر دهه ۱۹۷۰ میلادی همواره ثابت بوده، و در حدود دو سوم کل درآمد به سهم نیروی کارگر و یک سوم مابقی به سهم عامل سرمایه اختصاص داشت. بر این اساس، برآوردها نشان می‌دهد که $\alpha = \frac{1}{3}$ تقریب بلندمدت مناسبی برای ایالات متحده‌ی آمریکا است.^۱ هرچند، در فصل ۲ نشان داده شده است که سهم درآمد کارگران ایالات متحده از دهه‌ی ۱۹۸۰ در حال کاهش است. بعداً، وقتی مدل سولو را با اتوماسیون بسط داده و مشاهده خواهیم کرد که مدل سولو اتوماسیون افزوده می‌تواند این افت سهم و ثابت بودن سهم درآمد نیروی کار تا دهه‌ی ۱۹۷۰ را به خوبی توضیح دهد.

۲.۴ مدل اولیه‌ی رشد اقتصادی سولو

برای توضیح حقایق آشکار شده‌ی فصل ۲، ساده‌ترین نسخه‌ی مدل رشد اقتصادی سولو را بدون رشد جمعیت و پیشرفت فناوری در نظر می‌گیریم. این مدل، برای اولین بار در سال ۱۹۵۶ معرفی شد و سعی در پاسخ به این سوال را داشت که دلیل رشد اقتصادی کشورها در طی زمان چیست. از آنجا که رشد اقتصادی همزمان با افزایش موجودی سرمایه مانند سالن‌های تولید، ماشین‌آلات، خطوط مونتاژ، ساختمان‌های اداری و غیره همراه است، لذا بنابر حدس و گمان، انباشت سرمایه می‌توانست دلیل اصلی رونق اقتصادی باشد. همان‌طور که خواهیم دید، مدل اولیه‌ی سولو بدون پیشرفت فناوری می‌تواند همگرایی و اختلاف درآمد بین کشوری را توضیح دهد، اما رشد پایدار بلندمدت را تبیین نمی‌کند. متعاقباً، مدل اولیه را تعمیم داده تا در آن رشد جمعیت و تغییرات

۱. Acemoglu, ۲۰۰۹; Jones, ۱۹۹۵

تکنولوژیکی نیز امکان پذیر شود، و با اعمال فرض پیشرفت تکنولوژی، در مسیر رشد متوازن، تولید سرانه با نرخ رشد پیشرفت فناوری افزایش یافته، و لذا این مدل توانست مسیر همگرایی، اختلاف درآمد بین کشوری و رشد بلندمدت پایدار را به خوبی توضیح دهد. در انتها، اتوماسیون را به مدل نظری افزوده تا امکان تبیین پدیده‌های قابل مشاهده‌ی تجربی که مدل اولیه‌ی سولو نمی‌توانست آن را توصیف کند را فراهم شود.

رابطه (۱۴.۴) تغییرات سرمایه را در طی زمان نشان می‌دهد، که در آن موجودی سرمایه در زمان $t + 1$ یا K_{t+1} متاثر است از موجودی سرمایه‌ای در زمان t یا K_t ، سرمایه‌گذاری ناخالص I_t و استهلاک سرمایه با نرخ δ . این معادله‌ی تفاضلی عبارت است از

$$K_{t+1} = K_t + I_t - \delta K_t = (1 - \delta)K_t + I_t \quad (14.4)$$

که در آن $(1 - \delta)K_t$ بخشی از موجودی سرمایه‌ی مورد استفاده در زمان $t + 1$ است که استهلاک از آن کم شده. اگر سرمایه‌گذاری‌های ناخالص جدید I_t بیش‌تر از استهلاک سرمایه δK_t باشد، موجودی سرمایه افزایش خواهد یافت و $K_{t+1} > K_t$ خواهد بود، و بالعکس.

از طرفی تولید ناخالص داخلی یک کشور، یعنی ارزش کل کالاها و خدمات تولید شده در یک کشور در بازه‌ی زمانی مشخص t ، برای موارد متعددی مورد استفاده است. در اتحاد حساب‌های ملی داریم $Y_t = C_t + I_t + G_t + NX_t$ ، که در آن Y_t تولید کل، C_t مصرف کل، I_t سرمایه‌گذاری ناخالص، G_t مخارج دولت و NX_t خالص صادراتی می‌باشد و برابر است با $IM_t - X_t$ که در آن IM_t ارزش واردات و X_t ارزش صادرات است. از آنجا که مدل اقتصادی می‌بایست فاقد پیچیدگی‌های غیرضروری باشد، در نسخه‌ی اولیه‌ی مدل سولو دولت نقشی نداشته و اقتصاد بسته است، لذا $G_t = NX_t = 0$. بنابراین، اتحاد حساب‌های ملی عبارت است از

$$Y_t = C_t + I_t \quad (15.4)$$

از اتحاد فوق داریم $I_t = Y_t - C_t$ و با جایگزینی تابع تولید (۹.۴) به جای Y_t ، از رابطه‌ی (۱۴.۴) خواهیم داشت:

$$K_{t+1} = K_t^\alpha L^{1-\alpha} + (1 - \delta)K_t - C_t \quad (16.4)$$

هنگام جایگزینی تابع تولید در رابطه‌ی سرمایه‌گذاری، فرض می‌کنیم که نیروی کار ثابت است و موجودی فنآوری را به واحد نرمالایز می‌کنیم. بعلاوه، می‌دانیم در یک اقتصاد بسته و بدون دولت، پس‌انداز کل S_t برابر است با سرمایه‌گذاری کل، یا $S_t = I_t$. با فرض این‌که افراد کسری از درآمد خود یعنی s که برون‌زاست را پس‌انداز می‌کنند، خواهیم داشت:

$$S_t = sY_t = K_t^\alpha L^{1-\alpha} - C_t = sK_t^\alpha L^{1-\alpha} \quad (17.4)$$

$$C_t = (1-s)Y_t = (1-s)K_t^\alpha L^{1-\alpha} \quad (18.4)$$

با استفاده از رابطه‌ی (17.4) در (16.4) معادله‌ی اساسی مدل سولو بدون پیشرفت تکنولوژیکی و بدون رشد جمعیت به شرح زیر بدست خواهد آمد:

$$K_{t+1} = sK_t^\alpha L^{1-\alpha} + (1-\delta)K_t \quad (19.4)$$

در رابطه‌ی فوق سرمایه‌گذاری کل یا $sK_t^\alpha L^{1-\alpha}$ بخشی از درآمد کل است که مصرف نمی‌شود. بوضوح با افزایش نرخ پس‌انداز s و درآمد کل Y_t ، سرمایه‌گذاری ناخالص کل نیز افزایش خواهد یافت. عبارت دوم در سمت راست، موجودی سرمایه‌ی قابل استفاده در زمان t است. اگر سرمایه‌گذاری ناخالص بیشتر از استهلاک باشد، موجودی سرمایه افزایش یافته و $K_{t+1} > K_t$ خواهد شد. رابطه‌ی (19.4) نشان می‌دهد که دستیابی به سرمایه‌گذاری ناخالص بالاتر با موجودی سرمایه‌ی بزرگتر بسیار دشوار است، زیرا تولید نهایی سرمایه با افزایش موجودی سرمایه کاهش می‌یابد، یعنی توان سرمایه‌فیزیکی در تابع تولید کوچکتر از یک است درحالی‌که استهلاک با نرخ δ با افزایش موجودی سرمایه بصورت خطی افزایش می‌یابد. بنابراین، با افزایش سرمایه، تولید اضافی که سرمایه‌ی ایجاد می‌کند کاهش یافته و از این رو، سرمایه ناخالص آتی اضافی که متناظر افزایش تولید است کاهش می‌یابد، درحالی‌که استهلاک سرمایه به‌طور خطی با افزایش موجودی سرمایه افزایش خواهد یافت.

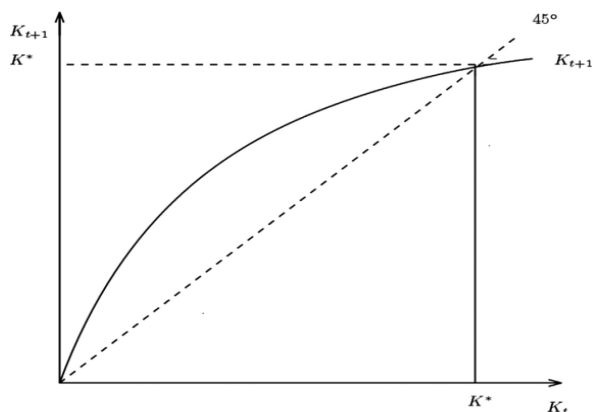
فرض اساسی مدل سولو بدون پیشرفت تکنولوژیکی این است که در وضعیت یکنواخت و یا تعادل بلندمدت، موجودی سرمایه ثابت است یعنی $K_{t+1} = K_t = K^*$. در این وضعیت موجودی سرمایه رشد نمی‌کند و در نتیجه، تولید ثابت خواهد بود. زیرا در تابع تولید با فرض، $L_t \equiv L$ و $A_t \equiv 1$ داریم:

$$Y_t = K_t^\alpha L^{1-\alpha}$$

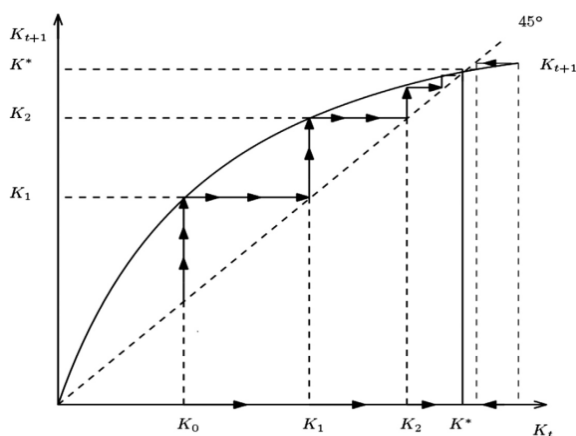
در این مدل تنها متغیری که اجازه رشد دارد همان K_t است. در مسیر انتقال به سمت تعادل بلندمدت و وضعیت یکنواخت، موجودی سرمایه بر طبق رابطه‌ی (۱۹.۴) رشد می‌کند، اما با نرخ کاهنده. بنابراین، اقتصاد به‌طور مجانبی، به وضعیت یکنواخت رسیده و نهایتاً رشد اقتصادی متوقف می‌شود. پاسخ روشن به ساده‌ترین فرمول مدل سولو در خصوص این سوال که آیا انباشت سرمایه فیزیکی به تنهایی می‌تواند رشد اقتصادی بلندمدت را توضیح دهد، خیر می‌باشد.

سولو نشان می‌دهد که عامل اصلی رشد اقتصادی بلندمدت باید چیزی غیر از انباشت سرمایه فیزیکی باشد و لذا نقش اصلی پیشرفت فناوری را برجسته می‌کند. لذا رشد پایدار تولید ناخالص داخلی سرانه مستلزم پیشرفت و بهبود مستمر فناوری و بنابراین رشد در بهره‌وری A است. همان‌طور که بعداً خواهیم دید، اتوماسیون رابطه‌ی توصیف شده را کاملاً تغییر داده، زیرا بر طبق تعریف، اتوماسیون نوع جدیدی از سرمایه است که جایگزین کامل نیروی کار می‌شود، و لذا نیروی کار از طریق جایگزینی روبات‌ها به یک عامل تولید انباشته شدن تبدیل می‌شود. بنابراین، بازدهی کاهنده‌ی سرمایه‌ی فیزیکی در روند تولید برطرف خواهد شد. با این حال، قبل از ورود به این بحث، ما ابتدا استدلال‌های ارائه شده را با یک تصویر گرافیکی از پویایی مدل ساده‌ی سولو و سپس تجزیه و تحلیل مدل رشد وی با رشد جمعیت و پیشرفت فناوری ارائه می‌دهیم.

نمودار ۱.۴ و ۲.۴ پویایی مدل رشد سولو را بدون پیشرفت تکنولوژیکی و رشد جمعیت نشان می‌دهد. در این نمودار سرمایه‌ی فیزیکی در زمان $t+1$ در محور عمودی به عنوان تابعی از موجودی سرمایه در زمان t است، رابطه‌ی (۱۹.۴). نمودار ۱.۴ رابطه‌ی (۱۹.۴) را همراه با خط ۴۵ درجه نشان می‌دهد. از آنجا که در وضعیت یکنواخت موجودی سرمایه ثابت و $K_{t+1} = K_t$ است لذا تعادل بلندمدت بر روی خط ۴۵ درجه قرار دارد. از آنجا که تابع تولید کاب-داگلاس منطبق بر تابع تولید نئوکلاسیک است، لذا این تابع اکیداً مقعر بوده و شیب اولیه‌ی آن بسیار تندتر از خط ۴۵ درجه خواهد بود. شروط اینادایم این اطمینان را می‌دهد پس از آن که موجودی سرمایه از سطح معینی عبور کرد، شیب تابع تولید از خط ۴۵ درجه مسطح‌تر شود. در نتیجه از رابطه‌ی (۱۹.۴) متغیر $K_t + 1$ فقط یکبار برای موجودی سرمایه‌ی مثبت $K_t + 1 > 0$ خط ۴۵ درجه را قطع می‌کند. این محل تقاطع وضعیت یکنواخت و بلندمدتی است که اقتصاد به سمت آن همگرا می‌شود.



نمودار ۱.۴ حالت پایدار مدل سولو زمان گسسته، بدون پیشرفت فناوری و بدون رشد جمعیت.



نمودار ۲.۴ دینامیک مدل سولو با زمان گسسته، بدون پیشرفت فناوری و بدون رشد جمعیت.

اکنون می‌توان پویایی اقتصاد را در خارج از وضعیت یکنواخت تحلیل کرد. اگر موجودی سرمایه در اقتصاد بنا به دلایلی کوچکتر از موجودی سرمایه در وضعیت یکنواخت یا K^* باشد، آنگاه از رابطه‌ی (۱۹.۴) می‌دانیم که موجودی سرمایه در دوره بعدی بیشتر از سطح فعلی خواهد بود ($K_{t+1} > K_t$) به‌طوری‌که سرمایه فیزیکی با گذشت زمان انباشته شده و رشد می‌کند. با توجه به تابع تولید (۹.۴)، و با افزایش K تولید نیز افزایش خواهد

یافت و از سمت چپ به سطح ثابت تولید سرانه‌ی با K^* همگرا می‌شود. هرچه موجودی سرمایه کم‌تر از موجودی سرمایه در وضعیت یکنواخت باشد، اقتصاد سریع‌تر رشد کرده تا به وضعیت یکنواخت نزدیک‌تر شود. پویایی مدل رشد سولو می‌تواند معجزات رشد کشورها را پس کاهش موجودی سرمایه‌ی آن‌ها به دلیل جنگ، زلزله و حوادث طبیعی به خوبی توضیح دهد. کشورهای فرانسه، آلمان و ژاپن از دهه‌ی ۱۹۵۰ تا ۱۹۷۰ میلادی نمونه‌های عینی در توصیف چنین مراحل انتقال پس از جنگ جهانی دوم می‌باشند. در این کشورها، موجودی سرمایه در طی جنگ از بین رفت. با این وجود، رشد اقتصادی بعدی آن‌ها بسیار بالا بود و تا چندین دهه ادامه یافت و از سایر کشورهای صنعتی با موجودی سرمایه کم‌تر پیشی گرفت.

نمودار ۲.۴ پویایی مربوط به رشد اقتصادی را نشان می‌دهد. اگر موجودی سرمایه در اقتصاد در زمان $t=0$ برابر با K_0 باشد، آنگاه موجودی سرمایه در زمان $t=1$ در محور عمودی به K_1 افزایش می‌یابد. در دوره‌ی زمانی بعد یعنی $t=1$ موجودی سرمایه در محور افقی برابر با K_1 است و با توجه به سطح تولید و سرمایه‌گذاری در محور عمودی موجودی سرمایه به K_2 خواهد رسید. به دلیل ویژگی تابع تولید افزایش موجودی سرمایه در این دوره کم‌تر از افزایش موجودی سرمایه در دوره‌ی قبل است. و به همین ترتیب در اقتصاد انباشت سرمایه صورت می‌گیرد تا این‌که به وضعیت یکنواخت در بلندمدت همگرا شود. و بالعکس اگر بنا به دلایلی موجودی سرمایه‌ی اولیه بزرگ‌تر از K^* باشد، بر اساس رابطه‌ی (۱۹.۴) موجودی سرمایه در دوره بعد کاهش می‌یابد یعنی $K_{t+1} < K_t$. با توجه به تابع تولید (۹.۴)، می‌دانیم که اقتصاد به تبع K کوچک‌تر شده، و از بالا به سطح پایدار تولید سرانه‌ی مرتبط با K^* همگرا می‌شود. سوال اصلی اینجاست که چگونه در اقتصاد K_t بزرگ‌تر از مقادیر تعادلی بلندمدت K^* می‌شود؟ یکی از مثال‌های شاخص، کشور روسیه است که پس از فروپاشی اتحاد جماهیر شوروی در دوران کمونیسم، مصرف در آن کشور سرکوب شده و میزان پس‌انداز و سرمایه‌گذاری به‌طور تصنعی بالا بود. پس از فروپاشی اتحاد جماهیر شوروی، نرخ پس‌انداز به حدی سقوط کرد که موجودی سرمایه کاهش یافت و به تبع آن اقتصاد منقبض شد.

همان‌طور که ملاحظه می‌شود مقادیر مختلف پارامتر مدل، مقادیر متغیرها را در وضعیت یکنواخت تحت تاثیر قرار می‌دهد. این بدان معناست که در کشورهای با مقادیر مختلف نرخ پس‌انداز و نرخ استهلاک، موجودی سرمایه و به تبع آن تولید ناخالص داخلی سرانه بلندمدت متفاوت خواهند بود. بنابراین، مدل سولو در شکل اولیه‌ی خود

می‌تواند تفاوت سطح درآمد سرانه‌ی بین کشوری را بر حسب تفاوت در مقادیر پارامترهای ساختاری s و δ آن کشورها توضیح دهد. منکیو، رومر و ویل^۱ در سال ۱۹۹۲ نشان می‌دهند اگر چه مدل سولو تفاوت بین سطح درآمد سرانه‌ی بین کشوری را تا حدی توضیح می‌دهد، اما تفاوت‌های تجربی مشاهده شده در مقادیر

اکنون موجودی سرمایه در بلندمدت محاسبه شده و نشان داده می‌شود که چگونه مقادیر تعادلی موجودی سرمایه در بلندمدت به برخی از پارامترهای مدل وابسته می‌شود. برای محاسبه موجودی سرمایه در وضعیت یکنواخت، مقادیر $K_{t+1} = K_t = K^*$ را در رابطه‌ی $K_{t+1} = sK_t^\alpha L^{1-\alpha} + (1-\delta)K_t$ قرار داده و سپس K^* را محاسبه می‌کنیم. لذا

$$K^* = s(K^*)^\alpha L^{1-\alpha} + (1-\delta)K^*$$

$$\delta K^* = s(K^*)^\alpha L^{1-\alpha}$$

$$\delta(K^*)^{1-\alpha} = sL^{1-\alpha}$$

$$K^* = L \left(\frac{s}{\delta} \right)^{\frac{1}{1-\alpha}}$$

همان‌طور که ملاحظه می‌شود موجودی سرمایه بلندمدت با افزایش نرخ پس‌انداز (s) افزایش و با افزایش نرخ استهلاک (δ) کاهش می‌یابد، به تعبیری $\partial K^* / \partial s > 0$ و $\partial K^* / \partial \delta < 0$ است. زیرا با افزایش نرخ استهلاک، مقدار بیشتری از موجودی سرمایه در هر دوره فرسوده می‌شود، به‌طوری‌که موجودی سرمایه در وضعیت یکنواخت که در آن سرمایه‌گذاری ناخالص برابر استهلاک می‌شود کاهش می‌یابد. در این سطح از K ، تولید نهایی سرمایه بیشتر است، به‌طوری‌که استهلاک بالاتر می‌تواند پایدار باشد. همچنین اگر نرخ پس‌انداز بیشتر باشد، مردم درآمد کل خود را بیشتر پس‌انداز می‌کنند، سرمایه‌گذاری ناخالص بیشتر شده و با نرخ استهلاک داده شده می‌توان در سطح بالاتری از موجودی سرمایه در وضعیت یکنواخت که در آن تولید نهایی سرمایه کم‌تر است پایدار بود.

پارامترهای s و δ نمی‌تواند اختلافات زیاد سطوح درآمد سرانه کشورها را تبیین کند. بنابراین، منکیو و همکاران مدل رشد سولو را با سرمایه انسانی بسط و گسترش داده و به

۱. Mankiw, Romer, and Weil (۱۹۹۲)

این واقعیت اشاره کردند که سطح تحصیلات نیروی کار در کشورها نیز ممکن است متفاوت باشد و با توجه به نسخه بسط داده شده‌ی مدل رشد با سرمایه انسانی تفاوت-های سطوح درآمد سرانه‌ی بین کشوری را بهتر توضیح دادند. دالگارد و استرولیک^۱ در سال ۲۰۱۳ نشان می‌دهند که تفاوت در زمان باروری در کشورها نیز قدرت توضیح‌دهی مدل رشد سولو را برای توضیح تفاوت سطح درآمد سرانه‌ی بین کشورها افزایش می‌دهد.

مدل رشد سولو در شکل اولیه‌ی خود دارای ویژگی‌های بسیار مناسبی است. ساده و شهودی است، توصیف معقولی از رشد اقتصادی میان‌مدت ارائه می‌دهد، و معجزات اقتصادی در فرانسه، آلمان و ژاپن پس از جنگ جهانی دوم، یا منقبض شدن اقتصاد روسیه در اوایل دهه‌ی ۱۹۹۰ میلادی را به خوبی توضیح می‌دهد. با این حال تبیین رشد اقتصادی بلندمدت دارای نقطه ضعف جدی است. بر اساس این مدل در تعادل بلندمدت رشدی اقتصادی برابر با صفر است. بنابراین با توجه به استانداردهای لازم برای یک مدل اقتصادی منطقی، ساده‌سازی‌ها مدل نظری بسیار افراطی است. با فرض عدم پیشرفت فنی، مدل اقتصادی فاقد ویژگی‌هایی است که بتواند رشد اقتصادی بلندمدت را به توضیح دهد. در بخش ۳.۴ اجازه می‌دهیم تا پیشرفت فناوری وجود داشته تا به تبع آن مدل اقتصادی بتواند نرخ رشد اقتصادی بلندمدت را توضیح دهد. در این صورت نرخ رشد می‌تواند برابر صفر نباشد تا نسخه‌ی واقعی‌تری جهت تبیین داده‌های تجربی ارائه شود.

۳.۴ مدل رشد اقتصادی سولو با پیشرفت فناوری و رشد جمعیت

فرض کنید که جمعیت با نرخ رشد n و فناوری را با نرخ رشد g_A افزایش یابند. از آنجا که تجزیه و تحلیل مدل سولو با رشد جمعیت و پیشرفت فناوری در زمان گسسته نسبتاً دشوار است، مدل فوق با توجه به داده‌های اقتصادی در زمان پیوسته و استفاده از معادلات دیفرانسیل ارایه می‌شود. اگر رشد فناوری و رشد جمعیت برابر باشند با

$$\frac{\dot{A}(t)}{A(t)} = g_A > 0, \frac{\dot{L}(t)}{L(t)} = n > 0 \quad (20.4)$$

۱. Dalgaard and Strulik (۲۰۱۳)

آن‌گاه راه حل‌های خاص معادلات دیفرانسیل $A(t)$ و $L(t)$ بر حسب مقادیر اولیه $A(0)$ و $L(0)$ برابر خواهند بود با:

$$A(t) = A(0)e^{g_A t}, L(t) = L(0)e^{n t} \quad (21.4)$$

این راه حل‌های خاص مقدار متغیر مربوطه (در این مورد فناوری A یا نیروی کار L) را در هر لحظه از زمان نشان می‌دهند. با توجه به روابط (21.4) روند متغیرهای سطح نیروی کار و فناوری از مقادیر اولیه $A(0)$ و $L(0)$ آغاز شده و با توجه به نرخ رشد متناظر در t سال بعد بدست می‌آیند. اگر مقادیر اولیه داده شده نباشد، آنگاه حل کلی معادلات دیفرانسیل را بدست می‌آوریم، که به تمام مسیرهای احتمالی مربوط به قوانین حرکت در روابط (20.4) اشاره دارد. با این حال، معادلات دیفرانسیل ارائه شده در (20.4) بی‌نهایت راه حل، یعنی برای هر مقدار اولیه یک راه حل دارند و تحمیل مقدار اولیه‌ی خاص امکان یک راه منحصر به فرد از بین بی‌نهایت راه حل‌های کلی را فراهم می‌کند.^۱ همچنین فرض می‌شود که افراد کسری ثابتی از درآمد خود را پس‌انداز می‌کنند، به این ترتیب انباشت سرمایه‌ی کل برابر است با

$$\dot{K}(t) = sK(t)^{\alpha}[A(t)L(t)]^{1-\alpha} - \delta K(t) \quad (22.4)$$

توجه داشته باشید که برخلاف مدل زمان گسسته، سمت راست رابطه‌ی فوق حاوی موجودی سرمایه‌ای دوره‌ی قبل نیست. زیرا $\dot{K}(t)$ تغییر در موجودی در طول زمان است و برابر است با $\dot{K}(t) = \lim_{\Delta \rightarrow 0} (K_t - K_{t-\Delta})$ و فرمول زمان گسسته آن حالت خاصی است که Δ به عنوان کمترین مقدار ممکن برابر با ۱ می‌باشد، یعنی $K_t - K_{t-1}$. در زمان پیوسته، Δ می‌تواند مقدار دلخواه کوچکی باشد و به سمت صفر میل کند. اکنون متغیرها را بر حسب نیروی کار موثر $A \cdot L$ تعریف می‌کنیم. اندازه‌گیری بر حسب نیروی کار موثر این امکان را می‌دهد تا با افزایش بهره‌وری نیروی کار A با توجه به تعداد معینی از کارگران، تولید افزایش یابد. برای این منظور، همه متغیرها را بر $(A \cdot L)$ تقسیم کرده و متغیرهای موجودی سرمایه به ازاء نیروی کار موثر را با $\hat{K}(t)$ ، تولید به ازاء نیروی کار موثر را با $\hat{Y}(t)$ ، و مصرف به ازاء نیروی کار موثر را با $\hat{C}(t)$ ، تعریف می‌کنیم. لذا

۱. Gandolfo (۲۰۱۰) and Sydsaeter Hammond, Seierstad, & Strom, (۲۰۰۸)

$$\hat{k}(t) = \frac{K(t)}{A(t)L(t)}, \hat{y}(t) = \frac{Y(t)}{A(t)L(t)}, \hat{c}(t) = \frac{C(t)}{A(t)L(t)} \quad (23.4)$$

با فرض تابع تولید کاب-داگلاس کارافزا، تولید به ازاء نیروی کار موثر برابر خواهد شد با

$$\hat{y}(t) = \frac{K(t)^\alpha [A(t)L(t)]^{1-\alpha}}{A(t)L(t)} = \left[\frac{K(t)}{A(t)L(t)} \right]^\alpha = \hat{k}(t)^\alpha \quad (24.4)$$

برای تبیین پویایی موجودی سرمایه به ازاء نیروی کار مؤثر از رابطه‌ی (۲۳.۴) نسبت به زمان دیفرانسیل کلی می‌گیریم. از آن جا که هر سه متغیر $K(t)$, $L(t)$ و $A(t)$ در رابطه‌ی فوق به زمان بستگی دارند، لذا خواهیم داشت

$$\begin{aligned} \dot{\hat{k}}(t) &= \frac{\dot{K}(t)A(t)L(t) - K(t)[\dot{A}(t)L(t) + A(t)\dot{L}(t)]}{[A(t)L(t)]^2} \\ &= \frac{\dot{K}(t)}{A(t)L(t)} - \frac{K(t)}{A(t)L(t)} \left[\frac{\dot{A}(t)}{A(t)} + \frac{\dot{L}(t)}{L(t)} \right] \\ &= \frac{\dot{K}(t)}{A(t)L(t)} - \hat{k}(t)[g_A + n] \end{aligned}$$

و با جایگزینی سرمایه‌ی کل از رابطه‌ی (۲۲.۴) خواهیم داشت

$$\begin{aligned} \dot{\hat{k}}(t) &= \frac{sK(t)^\alpha [A(t)L(t)]^{1-\alpha} - \delta K(t)}{A(t)L(t)} - \hat{k}(t)(g_A + n) \\ &= s\hat{k}(t)^\alpha - \hat{k}(t)(n + g_A + \delta) \end{aligned} \quad (25.4)$$

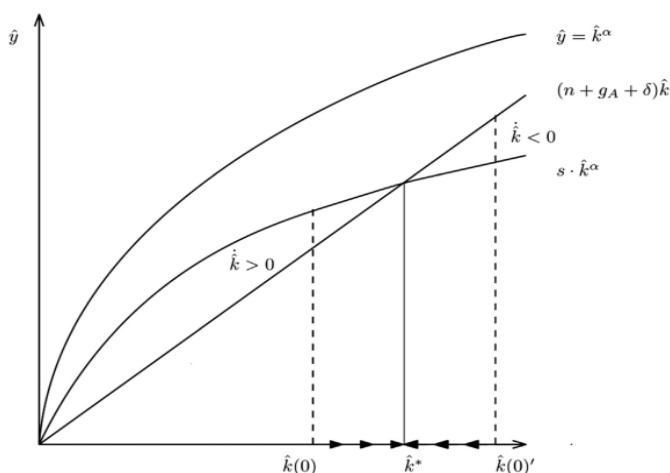
رابطه‌ی فوق معادله‌ی اصلی مدل رشد سولو با پیشرفت فناوری و رشد جمعیت است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود اولین عبارت در سمت راست، سرمایه‌گذاری ناخالص بر حسب نیروی کار مؤثر، و عبارت دوم بر استهلاك سرمایه با نرخ δ و کاهش سرمایه مؤثر (با سرعت $g_A + n$) یا استهلاك سرمایه به ازاء نیروی کار مؤثر اشاره دارد. کاهش سرمایه‌ی مؤثر به این دلیل است که پیشرفت فناوری و رشد جمعیت سریع‌تر هر دو به معنی رشد سریع‌تر مخرج کسر $\hat{k} = K/(AL)$ می‌باشند. در نتیجه، تجهیز هر شخص با همان سرمایه به ازاء هر واحد نیروی کار مؤثر مستلزم رشد سریع‌تر صورت کسر یعنی K است. اکنون با توجه به این‌که متغیرهای مدل اقتصادی بر حسب $\hat{k}$ و $\hat{y}$ بازنویسی شده وضعیت یکنواخت بلندمدت را می‌توان بدست آورد. بنابر فرض در وضعیت یکنواخت $\dot{\hat{k}}(t) = 0$ به‌طوری‌که رابطه (۲۵.۴) دلالت دارد بر

$$s(\hat{k}^*)^\alpha = \hat{k}^*(n + g_A + \delta),$$

$$(\hat{k}^*)^{\alpha-1} = \frac{n + g_A + \delta}{s}$$

$$\hat{k}^* = \left(\frac{s}{n + g_A + \delta} \right)^{\frac{1}{1-\alpha}} \quad (26.4)$$

همان طور که این عبارت نشان می‌دهد، افزایش نرخ پس‌انداز s باعث افزایش موجودی سرمایه به ازاء نیروی کار مؤثر در وضعیت یکنواخت یا بلندمدت شده، درحالی‌که افزایش n ، g_A و δ باعث کاهش موجودی سرمایه به ازاء نیروی کار مؤثر در وضعیت یکنواخت می‌شود. آنچه که با بخش قبلی متفاوت است این است که پیشرفت فناوری و رشد جمعیت (n و g_A) نیز موجودی سرمایه را کاهش می‌دهند.



نمودار ۳.۴ پویایی مدل زمان پیوسته رشد سولو با پیشرفت تکنولوژیکی رشد جمعیت

نمودار ۳.۴ پویایی مدل سولو زمان پیوسته با پیشرفت فناوری با نرخ g_A و رشد جمعیت با نرخ n را نشان می‌دهد. تفاوت اساسی با مورد قبل این است که در اینجا محور عمودی تولید به ازاء نیروی کار مؤثر $\hat{y} = \hat{k}^\alpha$ و سرمایه‌گذاری ناخالص به ازاء نیروی کار مؤثر $s \cdot \hat{y} = s \cdot \hat{k}^\alpha$ تابعی از موجودی سرمایه به ازاء نیروی کار مؤثر $\hat{k}$ در محور افقی در نظر گرفته شده. و در وضعیت یکنواخت داریم $\dot{\hat{k}} = 0$ رابطه‌ی (۲۵.۴) نشان می‌دهد که در وضعیت یکنواخت و بلندمدت $s \cdot \hat{k}^\alpha = (n + g_A + \delta)\hat{k}$ به‌طوری‌که سرمایه‌گذاری ناخالص به ازاء نیروی کار مؤثر برابر استهلاک سرمایه به ازاء نیروی کار مؤثر است. بنابراین، در وضعیت یکنواخت مدل بر روی خط $(n + g_A +$

$\hat{k}$ قرار دارد که از مبدا مختصات می‌گذرد. در مقابل، در مدل زمان گسسته وضعیت یکنواخت بر روی خط ۴۵ درجه قرار دارد بنابراین خط استهلاك سرمایه به ازاء نیروی کار مؤثر با شیب $(n + g_A + \delta)$ در نمودار ۳.۴ رسم می‌شود. پیکان‌ها نشان دهنده حرکت تدریجی اقتصاد در طی زمان است. اگر در اقتصاد موجودی سرمایه به ازاء نیروی کار مؤثر $\hat{k}(0)$ کم‌تر از موجودی سرمایه در وضعیت یکنواخت باشد، آنگاه استهلاك سرمایه به ازاء نیروی کار مؤثر که توسط $(n + g_A + \delta)\hat{k}$ اندازه‌گیری می‌شود کم‌تر از سرمایه‌گذاری ناخالص $s \cdot \hat{k}^\alpha$ خواهد بود. بنابراین، سرمایه به ازاء نیروی کار مؤثر انباشته می‌شود و $\hat{k} > 0$ خواهد شد. در مقابل، اگر اقتصاد با یک موجودی سرمایه به ازاء نیروی کار مؤثر $\hat{k}(0)$ شروع شود که بالاتر از موجودی سرمایه در وضعیت یکنواخت است، آنگاه استهلاك سرمایه به ازاء نیروی کار مؤثر یعنی $(n + g_A + \delta)\hat{k}$ بالاتر از سرمایه‌گذاری ناخالص $s \cdot \hat{k}^\alpha$ خواهد بود و بنابراین، سرمایه به ازاء نیروی کار مؤثر کاهش می‌یابد، یعنی $\hat{k} < 0$. اکنون نرخ‌های رشد متغیرها را در وضعیت یکنواخت و خارج از آن را بدست می‌آوریم. روابط بین متغیرها به ازاء نیروی کار مؤثر و متغیرهای سرانه عبارتند از :

$$\begin{aligned}k(t) &= A(t)\hat{k}(t), \\y(t) &= A(t)\hat{y}(t) = A(t)\hat{k}(t)^\alpha, \\c(t) &= A(t)(1 - s)\hat{y}(t) = A(t)(1 - s)\hat{k}(t)^\alpha\end{aligned}$$

علاوه بر این، بین متغیرهای به ازاء نیروی کار مؤثر و سطح متغیرهای متناظر روابط زیر وجود دارد:

$$\begin{aligned}K(t) &= A(t)L(t)\hat{k}(t) & (۲۷.۴) \\Y(t) &= A(t)L(t)\hat{y}(t) = A(t)L(t)\hat{k}(t)^\alpha & (۲۸.۴) \\C(t) &= A(t)L(t)(1 - s)\hat{y}(t) = A(t)L(t)(1 - s)\hat{k}(t)^\alpha & (۲۹.۴)\end{aligned}$$

از این معادلات، نتیجه می‌گیریم که در وضعیت یکنواخت که متغیرها به ازاء نیروی کار مؤثر اندازه‌گیری می‌شوند، متغیرهای سرانه با نرخ پیشرفت فناوری (g_A)، و متغیرها در سطح با نرخ $(g_A + n)$ رشد خواهند کرد.

اکنون تجزیه و تحلیل خود را در وضعیت یکنواخت و پویایی‌های کوتاه‌مدت تکمیل می‌کنیم. اگر موجودی سرمایه به ازاء نیروی کار مؤثر در اقتصاد کم‌تر از موجودی سرمایه به

ازاء نیروی کار مؤثر در وضعیت یکنواخت باشد، یعنی $\hat{k}(0)$ در شکل ۳.۴، آنگاه $\hat{k}$ با رشد مثبت ولی نزولی در مسیر وضعیت یکنواخت بلندمدت قرار خواهد گرفت. در نتیجه، در طی این مرحله انتقال به وضعیت یکنواخت، تولید ناخالص داخلی سرانه سریع‌تر از نرخ رشد پیشرفت فنآوری g_A ، افزایش خواهد یافت و این نرخ از بالا همگرا خواهد شد. این مبحث تئوریک دقیقاً همان چیزی است که کشور آلمان پس از جنگ جهانی دوم تا دهه‌ی ۱۹۷۰ میلادی آن را تجربه کرد.

اگر سرمایه به ازاء نیروی کار مؤثر در وضعیت یکنواخت باشد، نرخ رشد تولید ناخالص داخلی سرانه و تولید ناخالص داخلی کل چیست؟ همان‌طور که در ابتدای فصل نشان داده شد، هنگام بحث در مورد محاسبه نرخ رشد $y(t)$ در زمان پیوسته، می‌توان با گرفتن لگاریتم، نرخ رشد آن را محاسبه کرد. لذا

$$\log[y(t)] = \log[A(t)] + \alpha \log[\hat{k}(t)] \quad (۳۰.۴)$$

و سپس با دیفرانسیل رابطه‌ی فوق نسبت به زمان نرخ رشد متغیر بدست خواهد آمد. بنابراین

$$g_y = \frac{d\log[y(t)]}{dt} = \frac{\dot{A}(t)}{A(t)} + \alpha \frac{\dot{\hat{k}}(t)}{\hat{k}(t)} = g_A + \alpha \cdot g_{\hat{k}} \quad (۳۱.۴)$$

در وضعیت یکنواخت، نرخ رشد موجودی سرمایه به ازاء نیروی کار مؤثر $\hat{k}(t)$ برابر با صفر است. در نتیجه، رابطه (۳۱.۴) نشان می‌دهد که تولید سرانه با سرعت پیشرفت فنآوری g_A رشد می‌کند. به همین ترتیب، نرخ رشد موجودی سرمایه‌ی سرانه $k(t)$ و مصرف سرانه $c(t)$ قابل محاسبه است. لذا برای بدست آوردن رشد تولید کل، $Y(t)$ ، مجدداً لگاریتم می‌گیریم. لذا

$$\log[Y(t)] = \log[A(t)] + \log[L(t)] + \alpha \log[\hat{k}(t)] \quad (۳۲.۴)$$

و از رابطه‌ی فوق نسبت به زمان دیفرانسیل گرفته تا رشد متغیر تولید کل را بدست آوریم. بنابراین

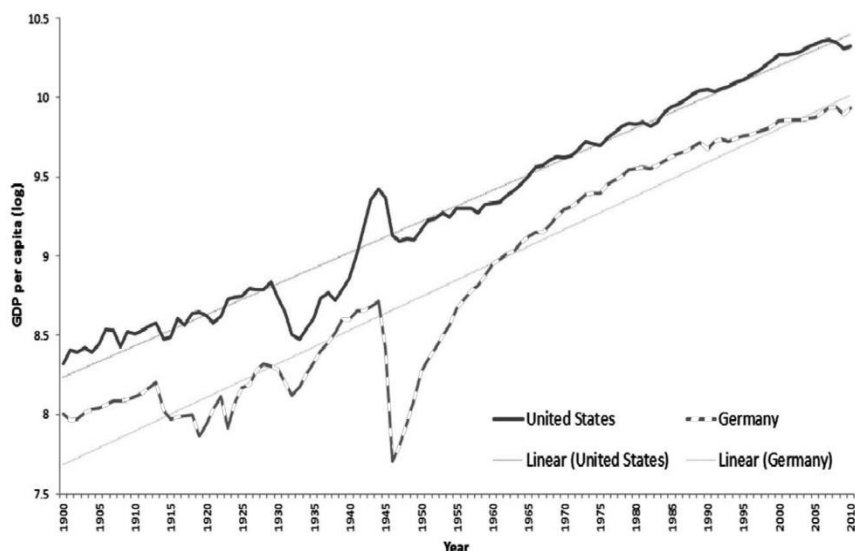
$$g_y = \frac{d \log[Y(t)]}{dt} = \frac{\dot{A}(t)}{A(t)} + \frac{\dot{L}(t)}{L(t)} + \alpha \frac{\dot{\hat{k}}(t)}{\hat{k}(t)} = g_A + n + \alpha \cdot g_K \quad (33.4)$$

در وضعیت یکنواخت، بنابر فرض نرخ رشد $\hat{k}(t)$ برابر با صفر است. در نتیجه رابطه (33.4) نشان می‌دهد که رشد تولید کل برابر است با نرخ رشد فنآوری به علاوه نرخ رشد جمعیت یعنی $(g_A + n)$. به همین ترتیب، نرخ رشد سرمایه‌ی کل $K(t)$ و مصرف کل $C(t)$ نیز برابر خواهد بود با $(g_A + n)$.

در نمودار 4.4، که لگاریتم تولید ناخالص داخلی سرانه را در کشورهای ایالات متحده آمریکا و آلمان از سال ۱۹۰۰ تا ۲۰۱۰ نشان می‌دهد، این نمودار به ما امکان می‌دهد دو حقیقت آشکار شده‌ی مهم تئوریک را توضیح دهیم. پیشرفت فنآوری در نرخ متعارف g_A روند نرخ رشد بلندمدت ثابت تولید ناخالص داخلی سرانه را توضیح می‌دهد که به‌طور قابل توجهی برای ایالات متحده و آلمان مشابه است. علاوه بر این، مدل تئوریک فرایند همگرایی کشور آلمان پس از جنگ جهانی دوم یعنی سال‌های از ۱۹۴۵ تا پایان دهه ۱۹۷۰ ("معجزه اقتصادی") را از طریق پویایی خارج از وضعیت یکنواخت که در آن موجودی سرمایه به ازاء نیروی کار مؤثر در اقتصاد کم‌تر از وضعیت یکنواخت $\hat{k}$ است را توضیح می‌دهد. در این حالت، مدل اقتصادی نشان می‌دهد که تولید ناخالص داخلی سرانه سریع‌تر از پیشرفت فنآوری برای مدت زمان طولانی رشد خواهد کرد. با این وجود، نرخ رشد تولید ناخالص داخلی سرانه در نهایت کاهش یافته و از بالا به نرخ رشد بلندمدت g_A همگرا می‌شود. این توضیح همان‌طور که در نمودار 4.4 نشان داده شده است، رفتار اقتصاد آلمان را به خوبی توصیف می‌کند.

با استدلالی مشابه می‌توان اقتصاد رو به زوال روسیه را پس از فروپاشی اتحاد جماهیر شوروی توضیح داد. اگر موجودی سرمایه به ازاء نیروی کار مؤثر بیشتر از مقادیر

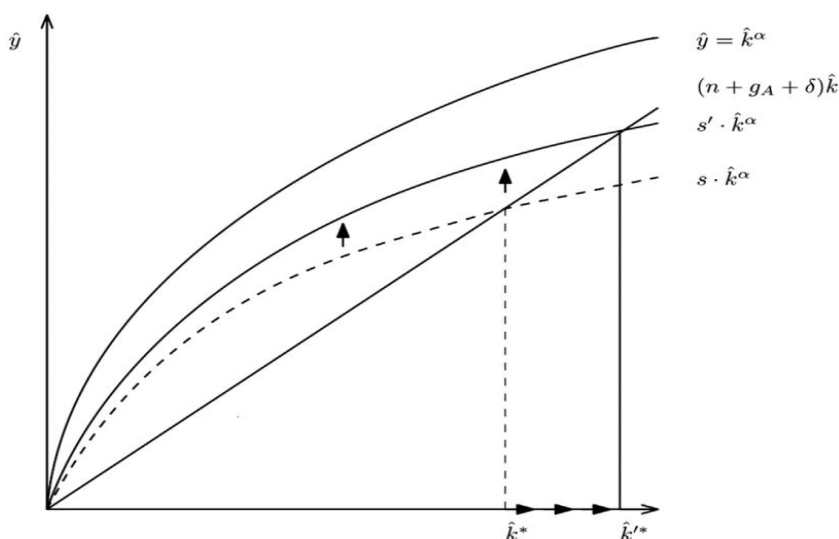
تعادلی در وضعیت یکنواخت باشد، مثلاً $\hat{k}(0)'$ در نمودار ۳.۴، متغیر $\hat{k}$ در مسیر انتقال به سمت وضعیت یکنواخت کاهش یافته و به مقادیر تعادلی بلندمدت همگرا خواهد شد. اکنون به کمک مدل رشد سولو، تجزیه و تحلیل ایستایی مقایسه‌ای را در نمودار ۵.۴ ارائه خواهیم کرد. ابتدا فرض کنید اقتصاد با موجودی سرمایه به ازاء نیروی کار مؤثر $\hat{k}^*$ در وضعیت یکنواخت قرار داشته و سرمایه‌گذاری ناخالص از منحنی $s \cdot \hat{k}^\alpha$ بدست می‌آید. اگر نرخ پس‌انداز از s به s' افزایش یابد، منحنی سرمایه‌گذاری ناخالص در همان سطح از موجودی سرمایه‌ی قبل به سمت بالا و $s' \cdot \hat{k}^\alpha$ منتقل خواهد شد. از آنجا که در سطح $\hat{k}^*$ و نرخ پس‌انداز جدید $(n + g_A + \delta)\hat{k} > s' \cdot \hat{k}^\alpha$ است، لذا نرخ رشد موجودی سرمایه به ازاء نیروی کار مؤثر مثبت بوده و $\hat{k}$ با نرخ کاهنده مرتباً افزایش می‌یابد، تا این که در وضعیت یکنواخت جدید $\hat{k}^* > \hat{k}'$ خواهد شد. از آنجا که تولید به ازاء نیروی کار مؤثر برابر است با $\hat{y} = \hat{k}^\alpha$ ، لذا با افزایش نرخ پس‌انداز تولید به ازاء نیروی کار مؤثر نیز افزایش می‌یابد. در مسیر انتقال به وضعیت یکنواخت جدید، موجودی سرمایه به ازاء نیروی کار مؤثر افزایش یافته و از پایین به سطح جدید وضعیت یکنواخت همگرا می‌شود. توجه داشته باشید که این رفتار دقیقاً همان چیزی است که می‌توان از طریق وضعیت یکنواخت موجودی سرمایه به ازاء نیروی کار مؤثر در رابطه (۲۶.۴) استنباط کرد.



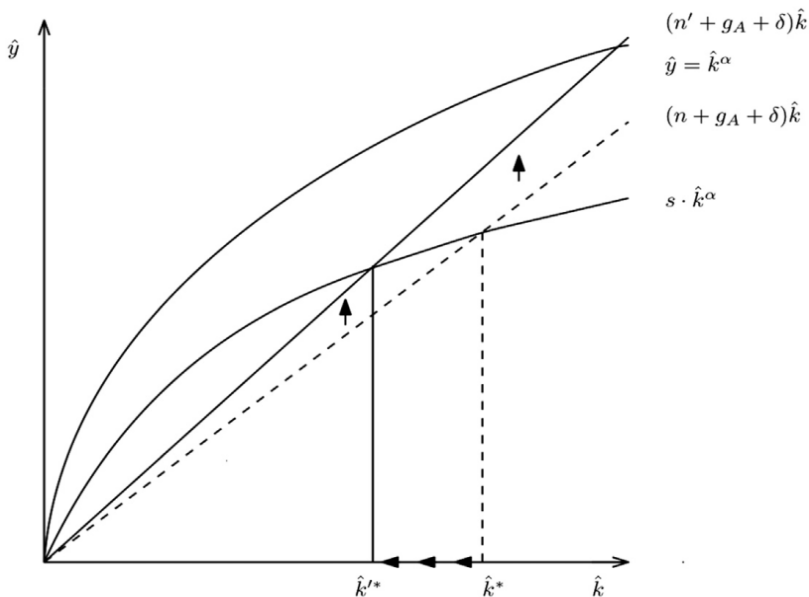
نمودار ۴.۴ لگاریتم تولید ناخالص داخلی سرانه ایالات متحده آمریکا (خط پیوسته) و آلمان (خط چین). خطوط نقطه چین باریک روند بلندمدت را نشان می‌دهد. داده‌ها از:

Bolt and J. van Zanden, The Maddison Project: collaborative research on historical national accounts, The Economic History Review, ۶۷(۳)(۲۰۱۴)

بالاخره، افزایش نرخ رشد جمعیت از n به n' به این معنی است که صورت کسر تمام متغیرهایی که بر حسب نیروی کار مؤثر تعریف شده‌اند، سریع‌تر رشد کند. مجدداً، فرض کنید اقتصاد با موجودی سرمایه به ازاء نیروی کار مؤثر $\hat{k}^*$ در وضعیت یکنواخت است. در این حالت استهلاک به ازاء نیروی کار مؤثر با خط نقطه چین $(n + g_A + \delta)\hat{k}$ نشان داده شده است. اگر نرخ رشد جمعیت از n به n' افزایش یابد، آنگاه خط استهلاک به ازاء نیروی کار مؤثر در جهت خلاف عقربه‌های ساعت به خط پیوسته‌ی $(n' + g_A + \delta)\hat{k}$ منتقل می‌شود. در این صورت موجودی جدید سرمایه به ازاء نیروی کار مؤثر در وضعیت یکنواخت کاهش یافته، $\hat{k}'^* < \hat{k}^*$ ، و چون تولید به ازاء نیروی کار مؤثر تابع موجودی سرمایه به ازاء نیروی کار مؤثر است لذا خواهیم داشت $\hat{y}'^* < \hat{y}^*$. این نکته بیان تئوریک همان چیزی است که می‌توان از طریق وضعیت یکنواخت موجودی سرمایه به ازاء نیروی کار مؤثر در رابطه (۲۶.۴) استنباط کنیم.



نمودار ۵.۴ اثرات افزایش نرخ پس‌انداز با پیشرفت فنآوری و رشد جمعیت.



نمودار ۴.۴ اثرات افزایش نرخ رشد جمعیت با پیشرفت فناوری و رشد جمعیت.

۴.۴ مدل رشد اقتصادی سولو همراه با اتوماسیون

اکنون که خصوصیات اصلی مدل سولو را در زمان گسسته و پیوسته بررسی کردیم، در ادامه با بسط مدل اولیه به ارزیابی اثرات اتوماسیون خواهیم پرداخت. برای این کار به مقاله‌ی پرتنر^۱ در سال ۲۰۱۶ و ۲۰۱۹ ارجاع می‌دهیم.

اقتصادی را با سه عامل تولید نیروی کار انسانی L ، سرمایه فیزیکی سنتی K مانند ماشین‌آلات، خطوط مونتاژ، سالن‌های تولید و... و همچنین سرمایه‌ی اتوماسیون P یا روبات‌های صنعتی، چاپگرهای سه بعدی، الگوریتم‌های مبتنی بر فراگیری ماشین که وظایف انسان‌ها را انجام می‌دهند در نظر بگیرید. نماد P از آن جا ناشی می‌شود که این عامل تولید اساساً نوع کار "قابل برنامه ریزی" را پوشش می‌دهد. علاوه بر این، استفاده از حرف R برای "روبات" با توجه به این که در ادبیات اقتصادی از R برای نرخ اجاره‌ی

۱. Prettner (۲۰۱۶, ۲۰۱۹)

سرمایه استفاده می‌شود مورد استفاده قرار نگرفته است. در اینجا سرمایه‌ی سنتی و سرمایه‌ی اتوماسیون انباشته و با نرخ δ مستهلک می‌شوند. هر چند سرمایه‌ی اتوماسیون ممکن است سریع‌تر از سرمایه‌ی فیزیکی سنتی مستهلک شود ولی نتایج تغییر نخواهد کرد. نیروی کار و سرمایه‌ی فیزیکی سنتی جایگزین‌های ناقصی هستند، درحالی‌که سرمایه اتوماسیون جایگزین کامل نیروی کار است. فرض جایگزینی کامل از تعریف دقیق اتوماسیون به عنوان جایگزینی کامل نیروی کار ناشی می‌شود.^۱ البته، از آن جا که روبات‌ها به

تعمیر و نگهداری نیاز دارند لذا این جایگزینی غالباً کامل نیست. با این حال، نتایج اصلی با بسط کشش جانشینی ثابت در تابع تولید و کشش جانشینی بالای بین روبات‌ها و کارگران انسانی قابل اعتبار است.^۲

در این قسمت با تفکیک سرمایه‌ی فیزیکی سنتی و سرمایه‌ی اتوماسیون در تابع تولید، فرض می‌کنیم که این دو عامل از طریق پس‌انداز مستقیماً به عوامل سرمایه تبدیل می‌شوند. برای سهولت همچنین مواردی زیر را در نظر نمی‌گیریم.

- پیشرفت فناوری در تولید روبات،
- تغییر قیمت نسبی سرمایه اتوماسیون در مقابل سرمایه‌ی سنتی غیر اتوماسیون،
- ریسک متفاوت سرمایه‌گذاری در اشکال سرمایه،
- برگشت ناپذیری تصمیمات سرمایه‌گذاری،
- تمایز بین صاحبان سرمایه و کارگران،
- و این‌که بازگشت سرمایه‌گذاری در عوامل مختلف تولید مورد استفاده ممکن است متفاوت باشد، زیرا صاحبان عوامل تولید مربوطه ممکن است تمایل متفاوتی به نسبت پس‌انداز/سرمایه‌گذاری داشته باشد.^۳

با بسط تابع تولید کاب-داگلاس و معرفی سرمایه‌ی اتوماسیون به عنوان جایگزین کامل نیروی کار خواهیم داشت

$$Y(t) = K(t)^\alpha [L(t) + P(t)]^{1-\alpha} \quad (3.4.4)$$

۱. MerriamWebster, ۲۰۱۷

۲. Lankisch, Prettnner, & Prskawetz, ۲۰۱۹; Steigum, ۲۰۱۱

۳. برای منابعی که شامل برخی از این جنبه‌ها با اتوماسیون و بدون آن هستند، مراجعه شود به Antony and Klarl (۲۰۱۹), Benzell, Kotlikoff, LaGarda, and Sachs (۲۰۱۵), Foley, Michl, and Tavani (۲۰۱۹), Sachs, Benzell, and LaGarda (۲۰۱۵), and Sachs and Kotlikoff (۲۰۱۲)

که در آن با فرض عدم وجود پیشرفت فناوری $A(t) \equiv 1$ است. دلیل نرمالایز کردن این است که یکی از نتایج اصلی یعنی پتانسیل رشد اقتصادی دائمی که به دلیل اتوماسیون ایجاد می‌شود با تفکیک از منبع دوم رشد بلندمدت یعنی پیشرفت فناوری به بهترین شکل نشان داده شود. از تابع تولید کاب-داگلاس با اتوماسیون، تولید سرانه برابر خواهد بود با

$$y(t) = \frac{Y(t)}{L(t)} = [1 + p(t)]^{1-\alpha} k(t)^\alpha \quad (35.4)$$

نرخ دستمزد و نرخ اجاره سرمایه که از رابطه‌ی (34.4) استخراج می‌شوند برابر است با تولید نهایی نیروی کار و تولید نهایی سرمایه‌ی فیزیکی سنتی که از مشتق تابع تولید نسبت به متغیر مورد نظر بدست می‌آیند. بنابراین

$$w(t) = (1 - \alpha) \left[\frac{K(t)}{L(t) + P(t)} \right]^\alpha, \\ r(t) = R(t) - \delta = \alpha \left[\frac{L(t) + P(t)}{K(t)} \right]^{1-\alpha} - \delta \quad (36.4)$$

از آن‌جا که نیروی کار و سرمایه‌ی اتوماسیون جایگزین کامل هستند، لذا پاداش سرمایه‌ی اتوماسیون P برابر است با نرخ دستمزد پس از استهلاک، $w(t) - \delta$. همان‌طور که رابطه‌ی (36.4) نشان می‌دهد، نرخ دستمزد با افزایش تعداد کارگران و تعداد روبات‌ها کاهش، درحالی‌که با افزایش موجودی سرمایه‌ی فیزیکی سنتی افزایش می‌یابد. عکس این موضوع در مورد نرخ اجاره سرمایه صادق است. دلیل تأثیر منفی اتوماسیون بر نرخ دستمزد، جایگزینی کامل بین سرمایه‌ی اتوماسیون و نیروی کار است، به‌گونه‌ای که روبات‌ها و کارگران در رقابت مستقیم هستند.

همچنین فرض می‌شود که اقتصاد بسته است و دولت وجود ندارد، به‌طوری‌که پس‌انداز در هر لحظه برابر است با سرمایه‌گذاری ناخالص، $I(t) = S(t) = sY(t)$. برخلاف مدل استاندارد سولو، دو نوع سرمایه وجود دارد: سرمایه‌ی سنتی و سرمایه‌ی اتوماسیون. برای سهولت، فرض می‌کنیم که افراد سهمی ثابت و برونزای s_K از پس‌انداز کل را در سرمایه‌ی سنتی و مابقی $1 - s_K$ را در سرمایه‌ی اتوماسیون سرمایه‌گذاری

می‌کنند. بعداً، ما نشان خواهیم داد که درون‌زا بودن s_K هیچ یک از نتایج مدل را تغییر نمی‌دهد.^۱ معادلات انباشت دو نوع سرمایه سنتی و اتوماسیون عبارت است از

$$\begin{aligned}\dot{K}(t) &= s_K I(t) - \delta K(t), \\ \dot{P}(t) &= (1 - s_K)I(t) - \delta P(t)\end{aligned}\quad (37.4)$$

با استفاده از تابع تولید (34.4)، تغییرات سرمایه‌ی فیزیکی را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$\dot{K}(t) = s_K s [L(t) + P(t)]^{1-\alpha} K(t)^\alpha - \delta K(t) \quad (38.4)$$

با استفاده از رابطه‌ی (37.4)، همراه با تابع تولید (34.4)، رابطه‌ی تغییرات سرمایه اتوماسیون بدست خواهد آمد و برابر است با:

$$\dot{P}(t) = (1 - s_K)s [L(t) + P(t)]^{1-\alpha} K(t)^\alpha - \delta P(t) \quad (39.4)$$

و به همین ترتیب معادلات انباشت سرمایه‌ی فیزیکی سنتی و سرمایه‌ی اتوماسیون سرانه عبارتند از

$$\frac{\dot{K}(t)}{L(t)} = s_K s [1 + p(t)]^{1-\alpha} k(t)^\alpha - \delta k(t) \quad (40.4)$$

$$\frac{\dot{P}(t)}{L(t)} = (1 - s_K)s [1 + p(t)]^{1-\alpha} k(t)^\alpha - \delta k(t) \quad (41.4)$$

پویایی‌های $k(t)$ و $p(t)$ را با استفاده از مشتقات عبارات فوق نسبت به زمان می‌توان بدست آورد.

$$\begin{aligned}\dot{k}(t) &= \frac{d[K(t)/L(t)]}{dt} = \frac{\dot{K}(t)}{L(t)} - \frac{K(t)}{L(t)^2} \dot{L}(t) \\ &= \frac{\dot{K}(t)}{L(t)} - k(t) \frac{\dot{L}(t)}{L(t)} = \frac{\dot{K}(t)}{L(t)} - nk(t) \\ \dot{p}(t) &= \frac{d[P(t)/L(t)]}{dt} = \frac{\dot{P}(t)}{L(t)} - \frac{P(t)}{L(t)^2} \dot{L}(t)\end{aligned}\quad (42.4)$$

۱. Geiger, Prettnner, & Schwarzer, ۲۰۱۸; Lankisch et al., ۲۰۱۹

$$= \frac{\dot{p}(t)}{L(t)} - p(t) \frac{\dot{L}(t)}{L(t)} = \frac{\dot{p}(t)}{L(t)} - np(t) \quad (43.4)$$

جایگزینی معادلات (40.4) و (41.4) در معادلات (42.4) و (43.4) و تقسیم نتایج بر $k(t)$ و $p(t)$ ، نرخ رشد سرمایه فیزیکی سنتی سرانه و سرمایه اتوماسیون سرانه به شرح زیر بدست می‌آید:

$$g_k = \frac{\dot{k}(t)}{k(t)} = s_K s \left[\frac{1+p(t)}{k(t)} \right]^{1-\alpha} - \delta - n \quad (44.4)$$

$$g_p = \frac{\dot{p}(t)}{p(t)} = (1 - s_K) s \left[\frac{1+p(t)}{p(t)} \right]^{1-\alpha} \left[\frac{k(t)}{p(t)} \right]^\alpha - \delta - n \quad (45.4)$$

در مسیر رشد متوازن، نرخ رشد g_p و g_k باید طبق تعریف ثابت باشند. با استفاده از روش جونز^۱ در سال ۱۹۹۵ برای دستیابی به مسیر رشد متوازن بر اساس مدل‌های رشد مبتنی بر تحقیق و توسعه، نرخ رشد نرخ رشد g_k و g_p را محاسبه می‌کنیم و آن را برابر با صفر قرار می‌دهیم، زیرا این بدان معنی است که نرخ رشد g_k و g_p ثابت هستند. برای این کار، معادلات (44.4) و (45.4) را بازنویسی کرده و لگاریتم می‌گیریم. به گونه‌ای که

$$\log(g_k + \delta + n) = \log(s_K) + \log(s) + (1 - \alpha) \log[1 + p(t)] - (1 - \alpha) \log[k(t)] \quad (46.4)$$

$$\Rightarrow g_{(g_k+\delta+n)} = (1 - \alpha) \frac{\dot{p}(t)}{1+p(t)} - (1 - \alpha) g_k \quad (47.4)$$

$$\log(g_p + \delta + n) = \log(1 - s_K) + \log(s) + (1 - \alpha) \log[1 + p(t)] - (1 - \alpha) \log[p(t)] + \alpha \log[k(t)] - \alpha \log[p(t)] \quad (48.4)$$

$$\Rightarrow g_{(g_p+\delta+n)} = (1 - \alpha) \frac{\dot{p}(t)}{1+p(t)} - (1 - \alpha) g_p + \alpha g_k - \alpha g_p \quad (49.4)$$

در تعادل بلندمدت، $p(t)$ بزرگ است، بنابراین می‌توانیم از تقریب $\frac{\dot{p}(t)}{1+p(t)} \approx g_p$ استفاده کرد. معادلات (47.4) و (49.4) مبین آن است که اقتصاد با $g_k \equiv g_p \approx g_p$ به نرخ رشد بلندمدت همگرا می‌شود. توجه داشته باشید که برای $p(t)$ بزرگ و $k(t)$ بزرگ، روابط زیر برقرار است

$$\left[\frac{1+p(t)}{p(t)} \right]^{1-\alpha} \approx 1, \quad \frac{p(t)}{k(t)} \approx \frac{1+p(t)}{k(t)} := \xi$$

با استفاده از تقریب‌های فوق می‌توان معادلات (۴۴.۴) و (۴۵.۴) را به شرح زیر بازنویسی کرد:

$$g = s_K s \xi^{1-\alpha} - \delta - n \quad (۵۰.۴)$$

$$g = (1 - s_K) s \left(\frac{1}{\xi} \right)^\alpha - \delta - n \quad (۵۱.۴)$$

دو متغیر درون‌زای ناشناخته g و ξ را می‌توان در این دو رابطه حل کرد. با برابر کردن قرار دادن سمت راست معادلات (۵۰.۴) و (۵۱.۴) خواهیم داشت

$$(1 - s_K) s \left(\frac{1}{\xi} \right)^\alpha = s_K s \xi^{1-\alpha} \Leftrightarrow \frac{1-s_K}{s_K} = \xi \quad (۵۲.۴)$$

سرانجام، با جایگزینی (۵۲.۴) در (۵۰.۴) نرخ رشد بلندمدت که در امتداد مسیر رشد متوازن همگراست، بدست می‌آید. در مسیر رشد متوازن، تولید ناخالص داخلی سرانه و موجودی سرمایه‌ی سنتی سرانه و سرمایه‌ی اتوماسیون با نرخ ثابت یکسان و متعارف زیر رشد خواهند کرد

$$g = s \cdot s_K^\alpha (1 - s_K)^{1-\alpha} - \delta - n \quad (۵۳.۴)$$

اگر اولین عبارت در سمت راست به دلیل بالا بودن نرخ پس‌انداز به اندازه کافی بزرگ باشد، نرخ رشد مثبت خواهد بود و رشد اقتصادی بلندمدت را خواهیم داشت که صرفاً به دلیل انباشت اشکال مختلف سرمایه است. توضیح شهودی این که چرا در این شرایط نرخ رشد بلندمدت مثبت می‌شود این است که در صورت وجود سرمایه‌ی اتوماسیون و جایگزینی کامل آن با نیروی کار، اساساً نیروی کار به یک عامل تولید انباشت‌پذیر تبدیل می‌شود. در نتیجه، بازدهی نزولی نسبت به موجودی سرمایه که در مدل رشد اولیه‌ی سولو همگرایی را تضمین می‌کرد، اکنون با سرمایه‌ی اتوماسیون دیگر برقرار نخواهد بود.

قضیه ۱.۴: اگر در مدل رشد سولو سرمایه‌ی اتوماسیون جایگزین کامل نیروی کار شود، آنگاه:

- پتانسیل رشد اقتصادی دائمی که صرفاً ناشی از انباشت هر دو نوع سرمایه فیزیکی سنتی و اتوماسیون است وجود دارد.
- و اگر رشد بلندمدت دائمی باشد، در این صورت نرخ رشد بلندمدت با نرخ رشد جمعیت و نرخ استهلاک سرمایه کاهش می‌یابد و با نرخ پس‌انداز افزایش خواهد یافت.

نتیجه اول نه تنها با مدل استاندارد سولو بلکه با متون رشد اقتصادی نئوکلاسیک کاس (۱۹۶۵)، دیاموند (۱۹۶۵)، کوپمنز (۱۹۶۵) و رمزی (۱۹۲۸) در تضاد است.^۱ زیرا رشد بلندمدت دائمی صرفاً با انباشت سرمایه اتوماسیون امکان‌پذیر است. توجه به این نکته مهم است که اتوماسیون سمت تولید اقتصاد را شبیه سمت تولید در مدل رشد AK خواهد کرد.^۲ این بدان معنی است که رابطه‌ی تولید با سرمایه‌ی فیزیکی خطی است و لذا انباشت سرمایه فیزیکی به تنهایی منجر به رشد اقتصادی دائمی می‌شود. با این حال، تابع تولید به تابع تولید AK تبدیل می‌شود، نه به این دلیل که تولید نهایی سرمایه بخاطر اثرات خارجی یادگیری با انجام کار کاهنده نیست، بلکه به این دلیل که از سرمایه‌ی اتوماسیون می‌توان به جای نیروی کار در فرآیند تولید استفاده کرد. بنابراین، اقتصاد می‌تواند مقدار زیادی تولید کند بدون نیاز به نیروی کار.^۳ این نتیجه همچنین در مقاله‌ی استیگام^۴ در سال ۲۰۱۱ در خصوص فناوری روبات در یک مدل رشد بهینه‌ی رمزی کاس-کوپمنز که در آن خانوارها نرخ پس‌انداز s را به‌طور بهینه انتخاب می‌کنند نیز مورد بررسی قرار گرفت. در فصل ۵ این مدل با جزئیات بیشتری مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

قسمت دوم قضیه ۱.۴ به دلیل عدم کاهش تولید نهایی سرمایه‌ی کل، یعنی سرمایه فیزیکی سنتی به علاوه‌ی سرمایه‌ی اتوماسیون است. در نتیجه، متغیرهایی که نرخ انباشت کلی سرمایه فیزیکی را کاهش می‌دهند، مانند نرخ استهلاک سرمایه یا ترقیق سرمایه به دلیل رشد جمعیت، همچنین نرخ رشد اقتصادی بلندمدت را کاهش می‌دهند. در مقابل تأثیر مثبت رشد جمعیت در رشد اقتصادی بلندمدت در ادبیات رشد نیمه-

۱. Cass (۱۹۶۵), Diamond (۱۹۶۵), Koopmans (۱۹۶۵), and Ramsey (۱۹۲۸),

۲. Rebelo, ۱۹۹۱; Romer, ۱۹۸۶

۳. Antony & Klarl, ۲۰۱۹; Geiger et al., ۲۰۱۸; Lankisch et al., ۲۰۱۹

۴. Steigum (۲۰۱۱)

درون‌زاست،^۱ این نتیجه با شواهد تجربی برای کشورهای صنعتی طی چند دهه گذشته سازگار است.^۲

اکنون توجه خود را به دومین نتیجه اصلی مدل رشد همراه با اتوماسیون یعنی توزیع درآمد معطوف می‌کنیم. در مدل استاندارد سولو، سهم عامل تولید نیروی کار از کل درآمد برابر است با $1-\alpha$. بنابراین، سهم نیروی کار بدون توجه به مقادیر سایر متغیرهای موجود در مدل، همواره ثابت است. همان‌طور که قبلاً اشاره شد، مدت‌هاست این نتیجه از مزایای مدل سولو در نظر گرفته می‌شود زیرا با حقایق آشکار شده اقتصاد توسعه که کالدور در سال ۱۹۵۷ از نیمه اول قرن بیستم مشاهده کرد، سازگار است. در واقع، تا دهه‌ی ۱۹۷۰، سهم درآمدی نیروی کار با وجود تمام تغییرات تکنولوژیکی و ساختاری که در این دوره اتفاق افتاد، به طرز چشمگیری ثابت ماند. ولی طی چند دهه‌ی گذشته، سهم نیروی کار در ایالات متحده و بسیاری از کشورها در حال کاهش است،^۳ به‌گونه‌ای که تحولات اخیر را نمی‌توان با مدل استاندارد سولو توضیح داد. اکنون نشان می‌دهیم که مدل سولو با اتوماسیون قادر است تا کاهش سهم نیروی کار بلندمدت در اقتصاد را توضیح دهد. با استفاده از نرخ دستمزد رابطه‌ی (۳۶.۴)، کل درآمد نیروی کار را می‌توان به شرح زیر محاسبه کرد:

$$w(t)L(t) = (1 - \alpha) \left[\frac{K(t)}{L(t)+P(t)} \right]^\alpha L(t) \quad (۵۴.۴)$$

در نتیجه، سهم درآمدی نیروی کار برابر خواهد شد با

$$\frac{w(t)L(t)}{Y(t)} = (1 - \alpha) \frac{L(t)}{L(t)+P(t)} \quad (۵۵.۴)$$

همان‌طور که ملاحظه می‌شود انباشت سرمایه‌ی اتوماسیون سهم درآمدی نیروی کار را کاهش می‌دهد.

قضیه‌ی ۲.۴: اگر سرمایه‌ی اتوماسیون را در مدل استاندارد سولو لحاظ کنیم، افزایش موجودی سرمایه‌ی اتوماسیون باعث کاهش سهم درآمدی نیروی کار می‌شود.

۱. Jones, ۱۹۹۵; Kortum, ۱۹۹۷; Segerstrom, ۱۹۹۸

۲. Ahtuv, ۲۰۰۱; Bloom & Freeman, ۱۹۸۸; Brander & Dowrick, ۱۹۹۴; Kelley & Schmidt, ۱۹۹۵; Li & Zhang, ۲۰۰۷; Herzer, Strulik, & Vollmer, ۲۰۱۲

۳. Elsby, Hobijn, & Sahin, ۲۰۱۳; Karabarbounis & Neiman, ۲۰۱۴; Piketty, ۲۰۱۴

درک این قضیه به شرح زیر است. روبات با نیروی کار رقابت می‌کند و بنابراین، بکارگیری آن دستمزدها را کاهش می‌دهد. در همان زمان، درآمدی که توسط اتوماسیون ایجاد می‌شود به سمت صاحبان سرمایه هدایت خواهد شد. این امر منجر به توزیع مجدد درآمد به سمت عامل تولید سرمایه (شامل سرمایه‌ی اتوماسیون) می‌شود. به راحتی، در این مدل می‌توان سهم ثابت درآمد نیروی کار را که قبل از ظهور سرمایه‌ی اتوماسیون اشاره شد توضیح داد. در این حالت، کافی است موجودی اتوماسیون در رابطه (55.4) برابر صفر باشد، $(P = 0)$ ، تا تمام نتایج مدل اولیه‌ی سولو بدست آید. انجام این کار یعنی تجزیه و تحلیل نسخه اولیه‌ی مدل سولو بدون پیشرفت فناوری و بدون رشد جمعیت که قبلاً بحث شد.

در این جا توجه به این نکته ضروری است که تفاوت اساسی در مدل استاندارد سولو همراه با مهاجرت، به جای مدل سولو همراه با اتوماسیون وجود دارد. در مورد مهاجرت، کارگران خارجی عامل تولید اضافی است که جایگزین کامل نیروی کار داخلی خواهد شد. با این حال، مهاجرت تعداد ساکنان یک اقتصاد را افزایش می‌دهد و از این رو، مخرج تولید ناخالص داخلی سرانه و موجودی سرمایه سرانه را افزایش می‌دهد. بنابراین، مهاجرت نمی‌تواند بر تولید نهایی عامل تولید سرمایه در مدل سولو غلبه کند به گونه‌ای که رشد دائمی در مدل سولو همراه با مهاجرت غیرممکن خواهد شد.

۵.۴ درون‌زایی رشد همراه با اتوماسیون

به منظور گسترش مدل سولو به روشی ساده، فرض سرمایه‌گذاران عقلایی که به‌طور درون‌زا تصمیم می‌گیرند چه مقدار از پس‌انداز خود را در سرمایه فیزیکی سنتی و چه مقدار در سرمایه‌ی اتوماسیون برای سرمایه‌گذاری کنند را کنار می‌گذاریم. فرض می‌کنیم تا زمانی که یکی از این دو نوع سرمایه‌گذاری نرخ بازده بالاتری داشته باشد، سرمایه‌گذاران عقلایی در نوع دیگر سرمایه‌گذاری نمی‌کنند. بنابراین، سرمایه‌گذاری فقط به سمت سرمایه‌ی با نرخ بازده بالاتر سرازیر می‌شود، و نهایتاً تساوی نرخ بازده بلندمدت بین دو دارایی مختلف تضمین می‌شود. به عبارت دیگر، در تعادل بلند مدت، فرصت‌های آربیتراژ بین هر دو نوع سرمایه‌گذاری از بین می‌رود. از این رو برای سرمایه‌گذاران عقلایی، فقط یک سطح بهینه از سهم سرمایه‌گذاری در سرمایه فیزیکی وجود دارد، سطحی که در آن شرط عدم آربیتراژ بین بازده دو نوع سرمایه‌گذاری برآورده شود. در این بخش، استدلال عدم وجود آربیتراژ را در نظر می‌گیریم و بدین ترتیب

بخشی از سرمایه‌گذاری در سرمایه فیزیکی سنتی یعنی s_K را درون‌زا می‌کنیم. به یاد آورید که پاداش عوامل در مدل سولو با اتوماسیون برابر است با :

$$w(t) = (1 - \alpha) \left[\frac{K(t)}{L(t) + P(t)} \right]^\alpha,$$

$$r(t) = R(t) - \delta = \alpha \left[\frac{L(t) + P(t)}{K(t)} \right]^{1-\alpha} - \delta \quad (56.4)$$

و پاداش سرمایه‌ی اتوماسیون برابر است با $w(t) - \delta$. بنابراین، راه حل داخلی که در آن سرمایه‌گذاری در هر دو نوع سرمایه مثبت است، مستلزم $w(t) = R(t)$ است. با استفاده از این نکته و دو عبارت رابطه‌ی (56.4)، می‌توان موجودی سرمایه‌ی اتوماسیون را به عنوان تابعی از سرمایه‌ی فیزیکی سنتی حل کرد. به این ترتیب

$$P(t) = \left(\frac{1-\alpha}{\alpha} \right) K(t) - L(t) \quad (57.4)$$

توجه داشته باشید که با فرض ثابت بودن سایر شرایط، سرمایه‌ی اتوماسیون با سرمایه‌ی فیزیکی سنتی افزایش می‌یابد که از نقطه نظر شهودی منطقی است. اگر ماشین‌آلات و خطوط مونتاژ بیشتری در اقتصاد وجود داشته باشد، استفاده از روبات‌های صنعتی بیشتر متناظر است با نرخ بازگشت سرمایه‌ی اتوماسیون بالاتر، به‌طوری‌که افزایش $K(t)$ مبین افزایش $P(t)$ است. در مقابل، اگر کارگران بیشتری در اقتصاد وجود داشته باشند، موجودی سرمایه‌ی اتوماسیون با فرض ثابت بودن سایر شرایط کاهش می‌یابد. مجدداً این نکته نیز شهودی است: در اقتصادی که نیروی کار آن فراوان باشد، انگیزه‌ی تولید با روبات کمتر است.

با جایگزاری رابطه‌ی (57.4) در تابع تولید (34.4)، تولید کل تابعی از موجودی سرمایه فیزیکی سنتی خواهد شد. لذا

$$Y(t) = \left(\frac{1-\alpha}{\alpha} \right)^{1-\alpha} K(t) \quad (58.4)$$

بوضوح تابع تولید فوق ساختار مدل AK را دارد که در آن رشد اقتصادی بلندمدت صرفاً به خاطر انباشت سرمایه فیزیکی ایجاد می‌شود.^۱ با این حال، ساختار تابع تولید AK اقتصاد همراه با اتوماسیون، منوط به اثرات سرریز یادگیری حین انجام کار نیست. در عوض، این تابع به روشی مستقیم از موجودی سرمایه‌ی اتوماسیون بدست می‌آید که در

۱. Rebelo, ۱۹۹۱; Romer, ۱۹۸۶

آن نیروی کار را به یک عامل تولید انباشته تبدیل می‌کند و در نتیجه، بر کاهش بهره‌وری نهایی سرمایه فیزیکی سنتی غلبه می‌کند. با تقسیم روابط (۵۷.۴) و (۵۸.۴) بر اندازه جمعیت/نیروی کار $L(t)$ ، متغیرهای سرانه را بدست می‌آوریم. لذا

$$p(t) = \left(\frac{1-\alpha}{\alpha}\right) k(t) - 1 \quad (۵۹.۴)$$

$$y(t) = \left(\frac{1-\alpha}{\alpha}\right)^{1-\alpha} k(t) \quad (۶۰.۴)$$

و با دیفرانسیل از روابط فوق نسبت به زمان خواهیم داشت

$$\dot{p}(t) = \left(\frac{1-\alpha}{\alpha}\right) \dot{k}(t) \quad (۶۱.۴)$$

$$\dot{y}(t) = \left(\frac{1-\alpha}{\alpha}\right)^{1-\alpha} \dot{k}(t) \quad (۶۲.۴)$$

انباشت هر دو نوع سرمایه در سطح کل را می‌توان با جمع معادلات تجمعی فردی برای هر دو نوع سرمایه بدست آورد، به‌طوری‌که

$$\dot{K}(t) + \dot{P}(t) = sY(t) - \delta[K(t) + P(t)] \quad (۶۳.۴)$$

و با تقسیم این رابطه بر اندازه‌ی جمعیت خواهیم داشت

$$\frac{\dot{K}(t)}{L(t)} + \frac{\dot{P}(t)}{L(t)} = sy(t) - \delta[k(t) + p(t)] \quad (۶۴.۴)$$

توجه داشته باشید که معادلات (۴۲.۴) و (۴۳.۴) با درون‌زا بودن s_k تغییر نمی‌کنند به‌طوری‌که می‌توان از این عبارات برای جایگزینی $\dot{K}(t)/L(t)$ و $\dot{P}(t)/L(t)$ در رابطه (۶۴.۴) برای رسیدن به معادله‌ی انباشت هر دو نوع سرمایه سرانه استفاده کرد. بنابر این خواهیم داشت:

$$\dot{k}(t) + \dot{p}(t) = sy(t) - (n + \delta)[k(t) + p(t)] \quad (۶۵.۴)$$

در آخر، از معادلات (۵۹.۴)، (۶۰.۴) و (۶۱.۴) برای جانشینی $\dot{p}(t)$ و $y(t)$ در رابطه (۶۵.۴) جهت به دست آوردن رابطه‌ی زیر استفاده می‌کنیم

$$\begin{aligned} \dot{k}(t) + \left(\frac{1-\alpha}{\alpha}\right) \dot{k}(t) = \\ s \left(\frac{1-\alpha}{\alpha}\right)^{1-\alpha} k(t) - (n + \delta) \left[k(t) + \left(\frac{1-\alpha}{\alpha}\right) k(t) - 1 \right] \end{aligned} \quad (۶۶.۴)$$

با تقسیم عبارت فوق بر موجودی سرمایه سنتی سرانه و بازنویسی مجدد آن خواهیم داشت

$$\frac{\dot{k}(t)}{k(t)} \left[1 + \left(\frac{1-\alpha}{\alpha} \right) \right] = s \left(\frac{1-\alpha}{\alpha} \right)^{1-\alpha} k(t) - (n + \delta) \left[1 + \left(\frac{1-\alpha}{\alpha} \right) - \frac{1}{k(t)} \right] \quad (67.4)$$

با موجودی سرمایه فیزیکی سرانه، عبارت $k(t/1)$ به صورت مجانبی کاهش می‌یابد. ضمناً توجه داشته باشید که

$$\left[1 + \left(\frac{1-\alpha}{\alpha} \right) \right] = \frac{1}{\alpha}$$

با تقسیم رابطه (67.4) بر عبارت فوق خواهیم داشت

$$\frac{\dot{k}(t)}{k(t)} = s \left(\frac{1-\alpha}{\alpha} \right)^{1-\alpha} \alpha - (n + \delta) \quad (68.4)$$

از معادلات (59.4) و (60.4)، سرانجام نتیجه می‌شود که موجودی سرمایه فیزیکی سرانه، موجودی سرمایه‌ی اتوماسیون سرانه و تولید سرانه همگی با نرخ یکسان رشد خواهند کرد،

$$g_k = g_p = g_y = s \cdot \alpha^\alpha (1 - \alpha)^{1-\alpha} - n - \delta \quad (69.4)$$

این نتیجه نشان می‌دهد که نرخ رشد اقتصاد در مسیر رشد متوازن، بسیار مشابه بخش 4.4 است که در آن سهم سرمایه‌گذاری سرمایه فیزیکی سنتی s_K برون‌زاست، با این تفاوت که سهم بهینه در رابطه (69.4) برابر است با $s_K = \alpha$.

مجدداً این پتانسیل وجود دارد که نرخ رشد اقتصاد در بلندمدت مثبت باشد (یعنی وقتی نرخ پس‌انداز بالا باشد)، به‌طوری‌که رشد دائمی و بدون پیشرفت فناوری امکان‌پذیر باشد. علاوه بر این، بررسی رابطه‌ی (69.4) نشان می‌دهد که نرخ پس‌انداز s ، نرخ رشد جمعیت n و نرخ استهلاک δ همان تأثیری را در رشد بلندمدت دارند که در بخش 4.4 مورد بررسی قرار گرفت. سرانجام، با انباشت سرمایه‌ی اتوماسیون، سهم نیروی کار کاهش می‌یابد.

6.4 اتوماسیون و نابرابری دستمزد

تاکنون دو اثر مهم اتوماسیون بر اقتصاد کلان را بررسی کردیم. اول این که اتوماسیون حتی در صورت عدم پیشرفت تکنولوژی، توانایی ایجاد رشد دائمی فراهم می‌سازد، و دوم اتوماسیون مبین کاهش سهم درآمد نیروی کار از تولید است. باین حال، در چارچوب مدل ساده نمی‌توان اثرات اتوماسیون را بر نابرابری دستمزد که یکی از مولفه‌های اصلی نابرابری درآمد است، تجزیه و تحلیل کرد. برای پرداختن به این مسئله، باید ناهمگنی عامل نیروی کار را با معرفی دو نوع نیروی کار کم‌مهارت و ماهر در مدل در نظر گرفت. برای این منظور، از مطالعات لانکیش^۱ و همکاران در سال ۲۰۱۹ پیروی می‌کنیم و تابع تولیدی را در نظر می‌گیریم که امکان وجود دو نوع نیروی کار را فراهم می‌کند. بنابراین

$$Y = [(1 - \beta)L_s^\gamma + \beta(P + L_u)]^{\frac{1-\alpha}{\gamma}} K^\alpha \quad (70.4)$$

که در آن L_s تعداد کارگران ماهر، L_u تعداد کارگران کم‌مهارت، $\beta \in (0, 1)$ وزن کارگران کم‌مهارت در فرایند تولید و $\gamma \in (-\infty, 1)$ مبین کشش جانشینی دو نوع نیروی کار است. اگر $\gamma = 1$ باشد نیروی کار کم‌مهارت و ماهر جایگزین کامل و اگر $\gamma \rightarrow -\infty$ میل کند نیروی کار کم‌مهارت و ماهر مکمل‌های کامل هستند. دامنه‌ی واقع‌گرایانه این پارامتر که در تحلیل زیر نیز از آن استفاده می‌کنیم $\gamma \in (0, 1)$ است که در آن فرض می‌شود نیروی کار کم‌مهارت و ماهر جایگزین ناقص هستند.^۲

در فرایند تولید، فرض می‌شود اتوماسیون جایگزین کامل نیروی کم‌مهارت L_u و جایگزین ناقص نیروی کار ماهر L_s است. درجه‌ی جایگزین‌پذیری بین اتوماسیون و نیروی کار ماهر برابر با درجه‌ی جایگزین‌پذیری بین نیروی کار کم‌مهارت و ماهر است که توسط ضریب γ تعیین می‌شود. این فرض به لحاظ شهودی منطقی است زیرا سرمایه‌ی اتوماسیون می‌تواند وظایف کارگران کم‌مهارت را در مدل انجام دهد. اگر نیروی کار با مهارت کم، به نوبه خود، بتواند وظایف نیروی کارماهر (البته به‌طور ناقص) را انجام دهند، در این صورت سرمایه‌ی اتوماسیون نیز باید در این کارها به‌طور مشابه مولد باشد. برای بدست آوردن حقوق نیروی کار ماهر (w_s) و حقوق نیروی کار کم‌مهارت (w_u) از تابع تولید (70.4) نسبت به دو نوع نیروی کار مشتق می‌گیریم. لذا

۱. Lankisch et al. (۲۰۱۹)

۲. Acemoglu, ۲۰۰۲, ۲۰۰۹; Autor, ۲۰۰۲

$$w_s = \frac{\partial Y}{\partial L_s} = (1 - \alpha) \frac{Y}{L_s^{1-\gamma}} \frac{1-\beta}{(1-\beta)L_s^\gamma + \beta(P+L_u)^\gamma} \quad (71.4)$$

$$w_u = \frac{\partial Y}{\partial L_u} = (1 - \alpha) \frac{Y}{(P+L_u)^{1-\gamma}} \frac{\beta}{(1-\beta)L_s^\gamma + \beta(P+L_u)^\gamma} \quad (72.4)$$

ضمناً حق پاداش مهارت از نسبت دستمزد نیروی کار ماهر به دستمزد نیروی کار کم-مهارت بدست می‌آید و برابر است با

$$\frac{w_s}{w_u} = \frac{1-\beta}{\beta} \left(\frac{P+L_u}{L_s} \right)^{1-\gamma} \quad (73.4)$$

تا زمانی که $\gamma < 1$ و جایگزینی ناقص بین دو نوع مهارت برقرار باشد، انباشت سرمایه‌ی اتوماسیون (افزایش P) باعث افزایش حق پاداش مهارت شده، و در نتیجه، نابرابری دستمزد افزایش می‌یابد. این سومین نتیجه اصلی در اقتصاد کلان است که به تبع بکارگیری روبات در فرایند تولید بدست می‌آید.

قضیه ۳.۴: اگر اتوماسیون را در مدل سولو با نیروی کار ماهر و کم‌مهارت و جایگزینی ناقص بین آن دو نوع نیروی کار بسط دهیم، آنگاه افزایش موجودی سرمایه‌ی اتوماسیون حق پاداش مهارت و به تبع آن نابرابری دستمزد را افزایش می‌دهد. این نتیجه از آنجا ناشی می‌شود که کارگران کم‌مهارت بیشتر از کارگران ماهر در معرض اتوماسیون هستند. در نتیجه، اتوماسیون دستمزد کارگران کم‌مهارت را به میزان بیشتری کاهش می‌دهد. اکنون با استخراج اثر اتوماسیون بر سطح دستمزد کارگران کم‌مهارت و ماهر، این امر را به صراحت نشان می‌دهیم. اثر افزایش موجودی سرمایه‌ی اتوماسیون بر دستمزد کارگران کم‌مهارت از رابطه‌ی زیر بدست می‌آید

$$\frac{\partial w_u}{\partial P} = \frac{(1-\alpha)\beta Y}{(P+L_u)^{2-\gamma}} \frac{\{((1-\alpha-\gamma)\beta(P+L_u)^\gamma - ((1-\gamma)[(1-\beta)L_s^\gamma + \beta(P+L_u)^\gamma])\}}{[(1-\beta)L_s^\gamma + \beta(P+L_u)^\gamma]^\gamma} \quad (74.4)$$

صورت و مخرج عبارت اول از سمت راست کسر فوق همواره مثبت است. ولی از آن‌جاکه در صورت کسر عبارت دوم از سمت راست داریم

$$(1 - \alpha - \gamma)\beta(P + L_u)^\gamma < (1 - \gamma)\beta(P + L_u)^\gamma$$

و مخرج کسر عبارت دوم سمت راست همواره مثبت است، بنابراین مشتق (۷۴.۴) منفی است و لذا با انباشت سرمایه‌ی اتوماسیون دستمزد کارگران کم‌مهارت کاهش می‌یابد.

قضیه ۴.۴: اگر در مدل رشد سولو همراه با اتوماسیون، نیروی کار ماهر و کم‌مهارت جایگزین ناقص باشند، و فرض کنیم سرمایه‌ی اتوماسیون و نیروی کار کم‌مهارت جایگزین کامل باشند، آنگاه افزایش موجودی سرمایه‌ی اتوماسیون دستمزد کارگران کم‌مهارت را کاهش می‌دهد.

در واقع، این تئوری کاهش دستمزد کارگران کم‌مهارت در ایالات متحده از دهه‌ی ۱۹۷۰ میلادی، علی‌رغم رشد مثبت بهره‌وری کل را به خوبی توضیح می‌دهد (نگاه کنید به فصل ۲). همچنین اثر افزایش موجودی سرمایه‌ی اتوماسیون بر دستمزد کارگران با مهارت بالا را به شرح زیر می‌توان محاسبه کرد:

$$\frac{\partial w_u}{\partial P} = (1 - \alpha)Y \frac{(1 - \beta)\beta L_s^\gamma}{L_s(P + L_u)^{1-\gamma}} \frac{1 - \alpha - \gamma}{[(1 - \beta)L_s^\gamma + \beta(P + L_u)^\gamma]^\gamma}$$

$$= \begin{cases} \geq 0 & \text{for } 1 - \alpha \geq \gamma \\ < 0 & \text{for } 1 - \alpha < \gamma \end{cases} \quad (75.4)$$

علامت این مشتق مبهم است و به قابلیت جایگزینی نیروی کار بستگی دارد. اگر γ زیاد باشد، به گونه‌ای که جایگزینی بین دو نوع نیروی کار آسان باشد، افزایش موجودی روبات‌ها باعث کاهش حقوق کارگران ماهر می‌شود. در مقابل، اگر، قابلیت جایگزینی بین نیروی کار کم‌مهارت و ماهر کم باشد، اتوماسیون باعث افزایش حقوق کارگران ماهر می‌شود.

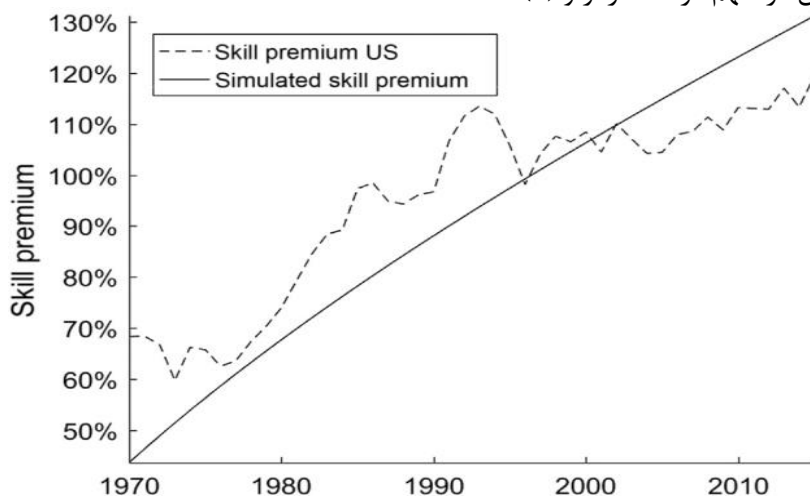
این نتیجه نشان می‌دهد اگرچه اتوماسیون بر کارگران کم‌مهارت تأثیر منفی می‌گذارد، اما اثر اتوماسیون بر کارگران ماهر مبهم است. به‌طور خاص، اثر اتوماسیون بر کارگران ماهر به دشواری جایگزینی کارگران کم‌مهارت با کارگران ماهر و در نتیجه، به کارگیری روبات‌ها برای وظایفی که کارگران ماهر انجام می‌دهند بستگی دارد. در مجموع، این نتیجه نشان می‌دهد که کارگران ماهر از تأثیرات پیشرفت اتوماسیون در امان نیستند، حتی اگر توسط روبات‌ها کاملاً جایگزین نشوند.

با توجه به تغییرات بلندمدت نابرابری دستمزد از منظر حق پاداش مهارت، لانکیش و همکاران در سال ۲۰۱۹ پویایی مدل را برای مقادیر پارامترهای $\delta = 0.009$ ، $s = 0.21$ ، $\alpha = 0.33$ ، $\beta = 0.5$ و $\gamma = 0.7$ و سهم نیروی ماهر از کل نیروی کار ۲۳٪ شبیه‌سازی کردند. این پارامترها یا از داده‌های بانک جهانی (۲۰۱۹) برای ایالات متحده به عنوان میانگین بلندمدت در نظر گرفته شده و مشابه مقادیر استاندارد اعمال شده در

ادبیات اقتصادی همانند گروسمن و همکاران^۱ در سال ۲۰۱۳ است. نمودار ۷.۴ سیر تغییرات حق پاداش مهارت را بر اساس داده‌های اداره سرشماری ایالات متحده (۲۰۱۷) نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود اگرچه در مدل درون‌زایی مهارت در نظر گرفته نمی‌شود، اما حق پاداش مهارت در داده‌ها به خوبی نشان داده شده است.

۷.۴ مبادله‌ی بین رشد و نابرابری

تاکنون در این فصل دو اثر مهم اتوماسیون در اقتصاد نشان داده شده است. از یک طرف، رشد اقتصادی حاصل از اتوماسیون، توانایی بالابردن سطح زندگی و بهزیستی مادی را دارد. از سوی دیگر، اتوماسیون نابرابری را از طریق دو کانال افزایش دهد: (۱) کاهش در سهم درآمد کارگر و (۲)



نمودار ۷.۴ تغییرات حق پاداش مهارت در مدل لانکیش و همکاران (۲۰۱۹) در مقابل حق پاداش مهارت بر اساس داده‌های اداره سرشماری ایالات متحده (۲۰۱۷) برای ایالات متحده.

۱. Grossmann, Steger, & Trimborn (۲۰۱۳)

رشد حق پاداش مهارت تا زمانی که اتوماسیون بر افراد کم‌مهارت تأثیر بگذارد. بنابراین، درحالی‌که حداقل برخی به دلیل اتوماسیون از وضعیت بهتری برخوردار می‌شوند،^۱ بعید به نظر می‌رسد که اتوماسیون منجر به بهبود پارتو شود، در نتیجه این که منافع اجتماعی اتوماسیون چیست به این بستگی دارد که (۱) چقدر از نابرابری می‌کاهد و (۲) چقدر تمایل دارد و یا قادر است منافع اتوماسیون را بکار گیرد تا ضرر و زیان خسارت دیده‌ها را جبران کند.

اولین مورد اغلب در چارچوب تابع رفاه اجتماعی مورد بحث قرار می‌گیرد. تحت شرایط خاصی که جزئیات آن در کاول^۲ در سال ۲۰۱۱ ذکر شده است، سطح مطلوبیت فردی u_i (.) که ممکن است به ویژگی‌های اقتصادی، مثلاً مصرف فرد یا درآمد فرد بستگی داشته باشد را می‌توان برای همه افراد تجمیع کرد تا سطح رفاه اجتماعی بدست آید.^۳ با مشخص کردن رفاه اجتماعی با W و سهم فرد i در رفاه اجتماعی توسط $w(u_i)$ ، خواهیم داشت

$$W = \sum_{i=1}^N w(u_i) \quad (۷۶.۴)$$

بسته به شکل تابع $w(.)$ که نشان دهنده‌ی ترجیحات جامعه است، نابرابری در u می‌تواند اثرات کم و بیش شدیدی بر رفاه کل داشته باشد. از نظر شکل تبعی $w(.)$ ، بسیاری از موارد را می‌توان با کمک توابع به اصطلاح ایزوالاستیک به خوبی توصیف کرد. این توابع در فصل ۵ با جزئیات بیشتری مورد بحث قرار خواهند گرفت و فرم تبعی آن عبارت است از:

$$w(x_i) = \frac{u_i^{1-\varepsilon}-1}{1-\varepsilon} \quad (۷۷.۴)$$

که در آن پارامتر ε میزان انزجار جامعه از نابرابری را اندازه‌گیری می‌کند. اگر ε برابر صفر باشد، تابع خطی است و شیب آن برابر است با یک و ما در شرایط منفعت طلبانه قرار داریم که در آن نابرابری در سطح مطلوبیت فردی u_i به هیچ عنوان برای رفاه اجتماعی کل اهمیتی ندارد. در این حالت، رفاه کل، از مجموع سطوح مطلوبیت فردی بدست

۱. Acemoglu & Restrepo, ۲۰۱۸; Berg et al., ۲۰۱۸; Prettnner & Strulik, ۲۰۲۰

۲. Cowell (۲۰۱۱)

۳. Adler, ۲۰۱۹

می‌آید که هر شخص بدون توجه به سطح مطلوبیت خود، وزن یکسانی از آن را دریافت می‌کند. بطوری که

$$W = \sum_{i=1}^N u_i \quad (78.4)$$

این که نابرابری برای رفاه کل بی‌اهمیت است با در نظر گرفتن انتقال u از یک فرد با سطح پایین u به یک فرد دیگر با سطح بالای u مشهود است. چنین انتقالی بر رفاه کل تأثیر نمی‌گذارد اگرچه نابرابری را افزایش می‌دهد.

اکنون افزایش در انزجار از نابرابری ε را در رابطه‌ی (77.4) در نظر بگیرید. هرچه ε بیشتر باشد، نابرابری در رفاه اجتماعی اهمیت بیشتری دارد، زیرا تابع $w(\cdot)$ مقعر است. بنابراین، تأثیر افزایش مطلوبیت فردی u_i بر رفاه کل برای فردی که قبلاً سطح مطلوبیت u_i بالایی دارد نسبت به فردی با سطح پایین‌تر u_i کوچک‌تر می‌شود. در این حالت، توزیع مجدد مطلوبیت از یک فرد با سطح کم مطلوبیت به فردی دیگر با سطح مطلوبیت بالا (همانطور که قبلاً توضیح داده شد) باعث کاهش رفاه اجتماعی می‌شود.

مورد مهمی که توسط تابع ایزوالاستیک فوق‌الذکر تبیین نمی‌شود، تابع رفاه اجتماعی راولسیان است، که در آن مطلوبیت کمترین فرد ثروتمند تنها عامل رفاه کل است. در این حالت، رفاه اجتماعی عبارت است از

$$W = \min_i u_i \quad (79.4)$$

به گونه‌ای که تنها پایین‌ترین سطح u_i مقدار رفاه اجتماعی W را تعیین می‌کند. در این حالت، اگر تقریباً همه افراد در جامعه سطح بالایی از u_i را داشته باشند، اما یک نفر z دارای سطح پایین u_z باشد، آنگاه رفاه کل برابر مطلوبیت فرد z خواهد بود. افزایش در u_i در بین کسانی که قبلاً سطح بالایی از u_i دارند تا زمانی که سطح u_z تحت تأثیر قرار نگیرد، برای رفاه کل به هیچ عنوان اهمیتی ندارد. با این حال، توزیع مجدد u به شخص z باعث افزایش رفاه کل می‌شود. توجه داشته باشید که توزیع مجدد در بین سایر افراد $i \neq z$ که پایین‌ترین سطح u را ندارند، حتی اگر به‌طور بالقوه می‌توانند نابرابری را کاهش دهند، بر رفاه تأثیری نخواهد داشت.

این بحث به وضوح نشان می‌دهد جوامعی که در آن‌ها انزجار از نابرابری ε زیاد است، یا جوامعی که تابع رفاه اجتماعی راولسیان دارند، احتمالاً در مورد اتوماسیون بدبین هستند، در حالی که جوامعی که انزجار از نابرابری در آن‌ها نسبتاً کم است، به احتمال زیاد به اتوماسیون علاقه دارند. بنابراین، اگر جامعه به یک تابع رفاه اجتماعی از نوع

سودمندگرا بخاطر رشد اقتصادی بالاتر و دستاوردهای کارگران با مهارت بالا و صاحبان سرمایه پایبند باشد، اتوماسیون احتمالاً مفید خواهد بود. با این حال، اتوماسیون می‌تواند در جامعه‌ای با سطح بالاتر از ε یا جامعه‌ای که به تابع رفاه اجتماعی راولسیان پایبند است مضر خواهد باشد. زیرا کارگران کم‌مهارت و افراد فقیر ممکن است به دلیل اتوماسیون متحمل ضرر و زیان مطلق شوند. البته، در واقعیت جوامع با این شرایط حدی کمتر یافت می‌شوند. از آنجا که اتوماسیون احتمالاً برنده و بازنده خواهد داشت، بهبود پارتو را نمی‌توان انتظار داشت. بنابراین، این مباحث، استفاده از معیار دیگری را برای ارزیابی اثرات مفید اتوماسیون از نظر کلی پیشنهاد می‌کند: معیار کارایی کالدور-هیکس.^۱ بر طبق این معیار، اگر برندگان این تغییر بتوانند به‌طور کامل بازنده‌های این تغییر را جبران کنند، و هنوز در شرایط بهتری نسبت به قبل قرار داشته باشند، تغییر خاص در معیار کالدور-هیکس کارا بوجود خواهد آمد. توجه داشته باشید که این معیار نیازی به جبران خسارت بازندگان ندارد.

در فصل ۷ سیاست‌هایی که به‌طور بالقوه می‌توانند برای جبران خسارات بازندگان اتوماسیون استفاده شوند، مورد بحث قرار خواهد گرفت. با این حال، در اینجا متذکر می‌شویم که ارزیابی ترجیحات خانوارها و انزجار از نابرابری در جوامع بسیار دشوار است، و لذا از ارائه هرگونه اظهار نظر در مورد بهینه بودن سیاست‌های مختلف خودداری می‌شود.

۸.۴ خلاصه

در این فصل مفاهیم و ابزارهای کلیدی مدل رشد اقتصادی از جمله محاسبه نرخ رشد، کارگزار نمونه و تابع تولید را معرفی کردیم. این مفاهیم پایه‌ای برای بحث در مورد مدل استاندارد سولو بدون پیشرفت فناوری و بدون رشد جمعیت در زمان گسسته و با استفاده از معادلات تفاضلی مورد بررسی قرار می‌دهد. این مدل ساده این امکان را فراهم می‌سازد تا بینش اولیه در خصوص نیروهای محرک رشد اقتصادی در میان‌مدت و بلندمدت حاصل شود. پویایی سیستم را با استفاده از نمودار تجزیه و تحلیل کرده و

۱. Hicks, ۱۹۳۹; Kaldor, ۱۹۳۹; Scitovsky, ۱۹۴۱

نشان داده شد که این مدل می‌تواند همگرایی و "معجزات رشد" در فرانسه، آلمان و ژاپن پس از جنگ جهانی دوم را به‌طور نسبی توضیح دهد، درحالی‌که این مدل قادر به توضیح پویای‌های رشد اقتصادی بلندمدت نیست.

در این فصل مدل رشد سولو در چارچوب زمان پیوسته و با استفاده از معادلات دیفرانسیل و با در نظر گرفتن رشد جمعیت و پیشرفت فناوری نیز مورد بررسی قرار گرفت. معرفی پیشرفت فناوری این مدل را قادر ساخت تا علاوه بر همگرایی، پویایی رشد بلندمدت را نیز توضیح دهد. دلیل اینکه کشورهایی مانند آلمان و ایالات متحده در طولانی مدت رشد می‌کنند این است که پیشرفت فناوری منجر به افزایش مداوم بهره‌وری می‌شود. پویایی انتقال که توسط مدل با استفاده از نمودارهای فاز امکان پذیر هست را نیز مورد تجزیه و تحلیل قرار دادیم.

سپس اتوماسیون را به عنوان عامل تولیدی که جایگزین کامل نیروی کار است، اما سرمایه‌ی فیزیکی است، یعنی ربات، به مدل اضافه کردیم. از آنجا که این عامل تولید مستقیماً با کارگران رقابت می‌کند، دستمزدها را کاهش می‌دهد. علاوه بر این، درآمدی که این عامل تولید کسب می‌کند به صاحبان سرمایه تعلق می‌گیرد. لذا اتوماسیون سهم درآمد نیروی کار را کاهش می‌دهد. از آنجا که درآمد کار به‌طور مساوی نسبت به درآمد سرمایه توزیع می‌شود، کاهش سهم درآمد کار منجر به افزایش نابرابری درآمد می‌شود. دومین تأثیر قابل توجه اتوماسیون این است که بر کاهش بهره‌وری نهایی نیروی کار غلبه می‌کند به گونه‌ای که امکان رشد اقتصادی پایدار بلندمدت حتی بدون وجود پیشرفت تکنولوژیک را فراهم می‌سازد.

در مدل رشد با اتوماسیون فرض می‌شود که تصمیم در مورد سرمایه‌گذاری در سرمایه‌ی فیزیکی سنتی در مقابل سرمایه‌گذاری در سرمایه‌ی اتوماسیون برون‌زا است. گرچه این فرض مدل سولو سازگار است، اما سرمایه‌گذاران عقلایی ممکن است چنین نرخ سرمایه‌گذاری برونی را انتخاب نکنند. بخش ۵.۴ نشان می‌دهد که در صورت درون‌زای سرمایه‌گذاری در سرمایه‌ی اتوماسیون و سرمایه‌ی فیزیکی سنتی، تمام نتایج مهم معتبر باقی خواهد ماند.

بخش ۶.۴ با معرفی دو نوع نیروی کار کم‌مهارت و ماهر، مدل اقتصادی تعمیم داده می‌شود. این مفروضات اجازه می‌دهد تا اثرات اتوماسیون را نه تنها بر سهم نیروی کار بلکه بر نابرابری دستمزد نیز تجزیه و تحلیل کنیم. همچنین ملاحظه شد که اتوماسیون پاداش مهارت را افزایش می‌دهد و به‌طور معمول دستمزد کارگران کم‌مهارت را کاهش می‌دهد. پیامدهای این مدل با تحولات دستمزد کارگران با مهارت بالا و کارگران با

مهارت کم از دهه ۱۹۷۰ میلادی در ایالات متحده سازگار است. پیامدهای دیگری همچون پتانسیل رشد دائمی حتی بدون پیشرفت فناوری و کاهش سهم درآمد کارگر نیز در این مدل وجود دارد.

سرانجام، اثر اتوماسیون بر تغییرات رفاه اجتماعی مورد بررسی قرار گرفت. مباحث نظری این فصل نشان می‌دهد که اتوماسیون منجر به افزایش رشد می‌شود اما به قیمت افزایش نابرابری. میزان سودمندی اتوماسیون به ارزیابی جامعه از نابرابری بستگی دارد. اگر نابرابری اصلاً مهم نباشد (در مورد تابع رفاه اجتماعی سودمندگرا)، به نظر می‌رسد اتوماسیون سودمند خواهد بود. در مقابل، در تابع رفاه اجتماعی رالسیان، رفاه اقتصادی کمترین افراد، رفاه اجتماعی را تعیین می‌کند به گونه‌ای که احتمالاً اتوماسیون مضر به نظر می‌رسد. به‌طور کلی، ارزیابی میزان واقعی انزجار از نابرابری جامعه بسیار دشوار است، به گونه‌ای که قضاوت‌های هنجاری را نمی‌توان به راحتی انجام داد. با این حال، فصل ۷ سیاست‌هایی را توصیف می‌کند که به‌طور بالقوه می‌تواند زیان دهندگان اتوماسیون را جبران کند و در مورد مزایا و معایب این سیاست‌ها بحث می‌کند.

فصل پنجم:

پس انداز درون‌زا و بسط مدل اولیه

۱.۵ مقدمه

در این فصل، مدل اقتصادی اولیه که در فصل چهارم مورد بررسی قرار گرفت را بسط می‌دهیم. سپس ابزارهای تحلیل اقتصادی مدل‌های پویا، مانند راه حل مسائل بهینه‌یابی ایستا با استفاده از قیود برابری و نابرابری، و راه حل مسائل بهینه‌یابی پویای زمان گسسته و پیوسته را معرفی خواهیم کرد. این ابزارها معرفی می‌شوند تا امکان کاربرد آسان و صریح آن در مسائل عملی اقتصاد فراهم گردد. پس از معرفی ابزارهای مقدماتی، دو مدل اقتصادی که ستون فقرات اقتصاد کلان پویای مدرن را تشکیل می‌دهند، یعنی مدل رشد نئوکلاسیک رمزی-کاس-کوپمنس^۱ و مدل نسل‌های هم پوش متعارف (OLG)^۲ دایموند و ساموئلسون^۳ معرفی می‌شوند. این مدل‌ها تا اندازه زیادی در تجزیه و تحلیل‌های موارد زیر استفاده می‌شوند:

- چرخه‌ی تجاری واقعی و مدل کینزین جدید که در بطن خود مدل رمزی-کاس-کوپمنس را در بر دارند،^۴
- علل رشد اقتصادی بلندمدت و سیاست‌های بالقوه به منظور توسعه اقتصادی،^۵
- و اثرات سیاست‌های مالی شامل آن‌هایی که به سیستم‌های تأمین اجتماعی و پایداری صندوق‌های بازنشستگی مربوط می‌شوند.^۶

۱. Cass, ۱۹۶۵; Koopmans, ۱۹۶۵; Ramsey, ۱۹۲۸

۲. Canonical overlapping generations

۳. Diamond, ۱۹۶۵; Samuelson, ۱۹۵۸

۴. Gal'1 ۲۰۱۵; Heijdra, ۲۰۱۷; Romer, ۲۰۱۱

۵. Acemoglu, ۲۰۰۹; Galor, ۲۰۱۱; Heijdra, ۲۰۱۷

۶. Auerbach & Kotlikoff, ۱۹۸۷; de la Croix & Michel, ۲۰۰۲; Heijdra, ۲۰۱۷

پس از ارائه چارچوب مدل بسط یافته‌ی اولیه، پیامدهای اتوماسیون را در چارچوب مدل اقتصادی بررسی خواهیم کرد. در این زمینه، به این نتیجه خواهیم رسید که گرچه بر اساس مدل‌های رمزی-کاس-کوپمن و مدل OLG پاسخ تمامی پرسش‌های مورد نظر تقریباً مشابه است، اما پیامدهای اتوماسیون در این دو مدل، بسیار متفاوت خواهد بود. در مدل رمزی-کاس-کوپمنس، حتی در شرایط فقدان پیشرفت‌های تکنولوژیکی، اتوماسیون باعث رشد اقتصادی بلندمدت می‌شود (رجوع به فصل ۴)، اما اتوماسیون در مدل OLG متعارف منجر به رشد بلندمدت نمی‌شود. نتایج بدست آمده از دو مدل فوق از آن جهت است که پس‌انداز/ سرمایه‌گذاری‌ها در چارچوب مدل اول، از درآمد کل یعنی درآمد حاصل از سرمایه و درآمد حاصل از کار به دست می‌آید، درحالی‌که در مدل دوم پس‌انداز/ سرمایه‌گذاری‌ها منحصراً از درآمد کار حاصل می‌شود. در مدل OLG متعارف، کارگزاران نمونه از سنین جوانی، برای دوران بازنشستگی و سال خوردگی خود که هیچ سرمایه‌ای ندارند پس‌انداز می‌کنند، ولی در عصر اتوماسیون روبات‌ها با کارگران در بازار کار رقابت کرده، مزدهای کارگران جوان، و به تبع آن پس‌اندازهایشان را کاهش داده، و لذا اتوماسیون مانع سرمایه‌گذاری و انباشت سرمایه می‌شود. در نتیجه، دور باطل فشار بر کاهش دستمزدها که تنها منبع تأمین مالی سرمایه‌گذاری برای ماشین‌آلات خودکار است ایجاد می‌شود. این امر تا آنجا پیش خواهد رفت که بر اساس مدل OLG متعارف، اتوماسیون باعث رکود اقتصادی بلندمدت در اقتصاد می‌شود.

۲.۵ رویه‌های گام به گام برای بهینه‌سازی ایستا و پویا

پیش از تجزیه و تحلیل و بررسی نقش اتوماسیون در اقتصاد به کمک مدل‌های رشد نئوکلاسیک و OLG، دستورالعمل‌ها و رویه‌های گام به گام برای بهینه‌یابی ایستا با وجود قیود برابری در بخش ۱.۲.۵، بهینه‌یابی ایستا با قیود نابرابری و قیود غیر منفی برخی از متغیرهای منتخب در بخش ۲.۲.۵، بهینه‌یابی پویای گسسته با دو دوره‌ی زمانی در بخش ۳.۲.۵، و بهینه‌یابی پویای زمان پیوسته در بخش ۴.۲.۵ ارائه می‌شوند.

۱.۲.۵ روش لاگرانژ

فرض کنید تابع هدف $U(\cdot)$ یا تابع مطلوبیت فرد یا خانوار را می‌خواهیم حداکثر کنیم. در ساده‌ترین حالت، مطلوبیت خانوار به دو متغیر x_1 و x_2 و یا سطوح مصرف کالای ۱ و کالای ۲ وابسته است. فرض کنید که با افزایش مصرف دو کالای ۱ و ۲، مطلوبیت خانوار

نیز افزایش یابد. به عبارتی مشتقات جزئی تابع $U(x_1, x_2)$ نسبت به دو متغیر x_1 و x_2 یا مطلوبیت‌های نهایی x_1 و x_2 مثبت باشند. به تعبیری اگر مصرف هر یک از دو کالا با فرض ثابت بودن کالای دیگر به اندازه‌ی بسیار اندک افزایش یابد، آنگاه مطلوبیت خانوار نیز افزایش خواهد یافت. لذا

$$U_{x_1}(x_1, x_2) \equiv \frac{\partial U(x_1, x_2)}{\partial x_1} > 0$$

$$U_{x_2}(x_1, x_2) \equiv \frac{\partial U(x_1, x_2)}{\partial x_2} > 0$$

که در آن، مشتق جزئی تابع $U(x_1, x_2)$ نسبت به کالای نام برابر است با U_{x_i} . همچنین فرض می‌شود که با افزایش مصرف کالای نام، مطلوبیت نهایی حاصل از آن کالا نیز کاهش می‌یابد. به تعبیری مشتقات جزئی دوم تابع مطلوبیت نسبت به دو کالای ۱ و ۲ منفی است. و یا

$$U_{x_1 x_1}(x_1, x_2) \equiv \frac{\partial^2 U(x_1, x_2)}{\partial x_1^2} < 0$$

$$U_{x_2 x_2}(x_1, x_2) \equiv \frac{\partial^2 U(x_1, x_2)}{\partial x_2^2} < 0$$

فروض فوق برای بقا خانوار ضروری است و به این معناست که فرد گرسنه با نوشیدن اولین لیوان آب مطلوبیتی بدست خواهد آورد که بیشتر از مطلوبیت دومین لیوان آب است. این فرض برای مصرف بسیاری از کالاها صادق است، هر چند ممکن است بر اساس مشاهدات مطلوبیت نهایی برخی کالاها مانند بطری پنجم شراب منفی شود، و یا مطلوبیت نهایی دومین نخ سیگار نسبت به اولین نخ افزایش پیدا کند.

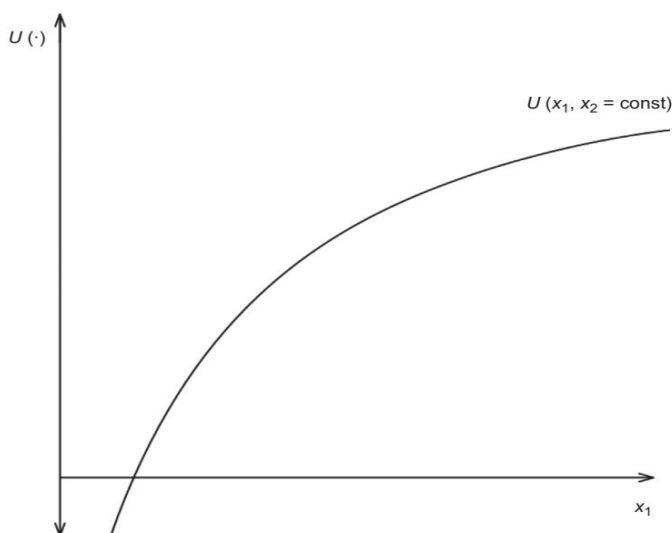
فروض فوق مبین آن است که تابع مطلوبیت $U(x_1, x_2)$ نسبت به دو متغیر x_1 و x_2 اکیداً مقعر است. از نظر نموداری، با فرض ثابت بودن x_2 ، و با افزایش مصرف x_1 مطلوبیت حاصل از مصرف افزایش می‌یابد اما با شیب کاهنده. همچنین فرض شده مطلوبیت خانوار از مصرف سطوح بسیار کم x_1 منفی است که در توابع مطلوبیت لگاریتمی این گونه است. نمودار ۱.۵.

برای تضمین مقادیر بهینه در مدل اقتصادی همچنین فرض می‌شود که شرایط اینادا در تابع مطلوبیت برقرار است. لذا

$$\lim_{x_1 \rightarrow 0} U_{x_1}(x_1, x_2) = \infty, \quad \lim_{x_1 \rightarrow \infty} U_{x_1}(x_1, x_2) = 0,$$

$$\lim_{x_2 \rightarrow 0} U_{x_2}(x_1, x_2) = \infty, \quad \lim_{x_2 \rightarrow \infty} U_{x_2}(x_1, x_2) = 0,$$

این شروط، جواب‌های گوشه‌ای را غیر ممکن می‌سازد. یعنی اگر درآمد مثبت باشد و مطلوبیت نهایی حاصل از عدم مصرف کالایی خاص به بی‌نهایت میل کند، آنگاه، عدم مصرف از آن کالا بهینه نخواهد بود.



نمودار ۱.۵ تابع مطلوبیت اکیداً مقعر

از آن جا که تابع مطلوبیت نسبت به هر دو کالای x_1 و x_2 غیرنزولی است، لذا خانواری که بدنبال حداکثر کردن مطلوبیت خود است، می‌بایست بی‌نهایت از آن دو کالا را مصرف می‌کرد. اما واقعیات تجربی قیودی دیگری را بر خانوار تحمیل می‌کنند؛ برای مثال، مصرف کالاها هزینه‌بر است و بودجه خانوار اجازه نمی‌دهد که مقادیر بی‌نهایت از کالاها خریداری و مصرف شوند. بر اساس نشانه‌های دیکسیت^۱ در سال ۱۹۹۰، قیود مدل‌های اقتصادی در قالب کلی عبارت است از $G(x_1, x_2) = I$ ، که در آن I به صورت برون‌زا و با توجه به بودجه/درآمد خانوار است که می‌تواند صرف خرید کالاهای ۱ و ۲ شود. معمولاً فرض می‌شود که قیمت‌ها نیز برون‌زا هستند و قید بودجه خانوار نیز خطی است، لذا

$$p_1 x_1 + p_2 x_2 = I$$

۱. Dixit (۱۹۹۰)

هر چند در دنیای واقع، ممکن است قیمت‌ها با افزایش مقادیر مصرف کاهش یابند به‌طوری‌که قید بودجه خانوار مقعر شود، و یا ممکن است قیمت‌ها با مقدار مصرف شده افزایش یابند، مثلاً اگر تولید کالاهای مصرفی مستلزم منابع کمیاب باشد، آنگاه قید بودجه‌ی خانوار محدب خواهد شد. برای سادگی، از موارد فوق چشم‌پوشی می‌شود و فقط وضعیت استاندارد که در آن قید بودجه خانوار خطی است مورد بررسی قرار می‌گیرد. بر اساس تابع مطلوبیت و قید بودجه خانوار اگر مصرف‌کننده کالای ۱ را بیشتر خریداری کند، آنگاه برای خرید کالای ۲ پول کمتری خواهد داشت. بنابراین، مصرف‌کننده تلاش می‌کند بودجه خود را به نحوی بین مصرف هر دو کالا تخصیص دهد که حداکثر مطلوبیت ممکن را با توجه به قید بودجه‌ی خود بدست آورد. در این نقطه است که مطلوبیت اضافه از اندک افزایش مصرف کالای ۱ دقیقاً با زیان همراه با کاهش مطلوبیت مصرف کالای ۲ جبران می‌شود. این امر ضروری است، زیرا قید بودجه در انتخاب مصرف هر یک از دو کالا، و انتخاب گزینه‌های جدید از مصارف کالاها باید محقق شود. به بیان دیگر، در تخصیص بهینه، هر دلار خرج شده باید مطلوبیت اضافه یکسانی را فارغ از مصرف کالای ۱ و یا ۲ ایجاد کند. در غیر این صورت، باز تخصیص بودجه به مصارف کالاها می‌تواند مطلوبیت کل را افزایش داده و لذا تخصیص قبلی را بهینه کند.

در تجزیه و تحلیل‌های پیش رو، روش لاگرانژ را برای بدست آوردن مقادیر بهینه مورد استفاده قرار می‌دهیم. ما این روش را در قالب دستورالعمل و رویه‌های گام به گام برای کسب مقادیر بهینه‌ی مصرف کالاها ارائه خواهیم کرد. قابل توجه این‌که، گرچه روش‌های حل مسائل بهینه‌یابی متفاوت است، ولی جواب‌های ریاضی آن‌ها معمولاً یکسان است. برای بسیاری از مسائل اقتصادی، دستورالعمل‌های گام به گام ارائه شده در این فصل کفایت می‌کند و مقادیر بهینه به سهولت بدست می‌آیند.^۱

در مورد مسئله حداکثرسازی تابع مطلوبیت خانوار $U(x_1, x_2)$ بر حسب قید بودجه‌ی $G(x_1, x_2) = I$ دستورالعمل‌های گام به گام به شرح زیر می‌باشد:

۱. تابع لاگرانژ $L(x_1, x_2, \lambda)$ را تعریف می‌کنیم،

$$L(x_1, x_2, \lambda) = U(x_1, x_2) + \lambda [I - G(x_1, x_2)]$$

۱. Dixit (۱۹۹۰), Le'onard and van Long (۱۹۹۲), Sundaram (۱۹۹۶), Sydsaeter, Hammond, and Strom (۲۰۱۲), Sydsaeter, Hammond, Seierstad, and Strom (۲۰۰۸)

که در آن، λ ضریب لاگرانژ است که در مقدار بهینه، معادل مطلوبیت اضافی حاصل از تخفیف نهایی قید بودجه است. بر طبق تفسیر شهودی قبلی، مطلوبیت اضافه λ برای کالاهای x_1 و x_2 در هر تخصیص بهینه‌ای باید یکسان باشد (رجوع شود به گام ۲).

از آنجا که تابع مطلوبیت $U(x_1, x_2)$ اکیداً مقعر است، و در آن شروط اینادا تضمین می‌شود، اگر فرض می‌کنیم $G(x_1, x_2) = I$ خطی ست، لاگرانژین $L(x_1, x_2, \lambda)$ نسبت به x_1 و x_2 اکیداً مقعر خواهد بود. به عبارت دیگر، تفریق جمله‌ی خطی $[\lambda G(x_1, x_2)]$ از جمله‌ی اکیداً مقعر، اکیداً مقعر بودن را حفظ می‌کند. بنابراین، لاگرانژ $L(x_1, x_2, \lambda)$ متناظر برای سطوح مصرفی کم x_1 و x_2 افزایش خواهد داشت، درحالی‌که برای سطوح بالای مصرفی x_1 و x_2 کاهش خواهد یافت. زیرا مطلوبیت نهایی مصرف کالاهای ۱ و ۲ با افزایش مصرف کالاهای x_1 و x_2 کاهش خواهند یافت، درحالی‌که جمله کسر شده $G(x_1, x_2)$ خطی است. بنابراین، لاگرانژین متضمن یک ماکزیمم منحصر به فرد خواهد بود. همان طور که در نمودار ۲.۵ نشان داده شده است، در نقطه‌ای $L(x_1, x_2 = \text{const}, \lambda)$ ، بالاترین مقدار ممکن در $x_1 = \bar{x}$ به دست می‌آید.

۲. شروط مرتبه اول (FOC)^۱ جهت بهینه یابی عبارتند از

$$\frac{\partial L(x_1, x_2, \lambda)}{\partial x_1} = 0 \quad (۱.۵)$$

$$\frac{\partial L(x_1, x_2, \lambda)}{\partial x_2} = 0 \quad (۲.۵)$$

$$\frac{\partial L(x_1, x_2, \lambda)}{\partial \lambda} = 0 \quad (۳.۵)$$

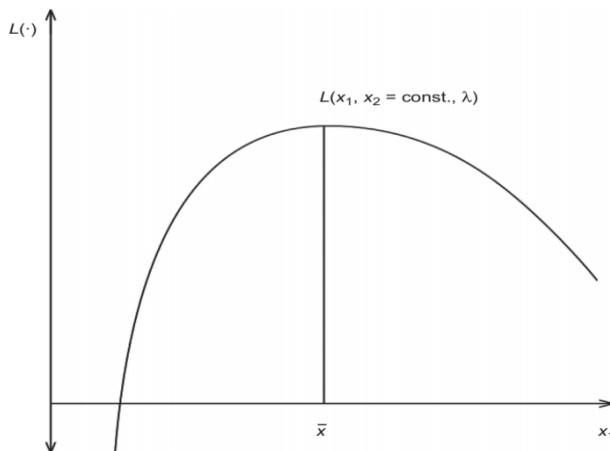
در نمودار ۲.۵ مقدار بهینه جایی است که تابع $L(x_1, x_2, \lambda)$ حداکثر و شیب آن برابر صفر

۱. First Order Conditions

باشد. در آن جا مشتقات جزئی لاگرانژین با توجه به متغیرهای متناظر برابر صفر خواهد بود. در مورد مسئله‌ی فوق سه معادله بر حسب سه متغیر مجهول x_1 و x_2 و λ خواهیم داشت.

۳. سیستم معادلات شرایط مرتبه اول را نسبت به مجهولات x_1 و x_2 و λ حل می‌کنیم. در مورد لاگرانژین اکیداً مقعر، مقادیر ماکزیمم تنها در یک نقطه به دست می‌آید. خوشبختانه، بسیاری از مسایل کاربردی اقتصاد همراه با لاگرانژین اکیداً مقعر است. اما اگر لاگرانژین اکیداً مقعر نباشد و یا ویژگی هندسی آن مجهول باشد، لازم است تا گام چهارم برداشته شود.

۴. در این مرحله، لازم است تا جواب‌های به دست آمده بررسی شوند و نشان داده شود که تابع مورد نظر در مقادیر بهینه‌ی بدست آمده ماکزیمم است یا مینیمم و یا نه ماکزیمم است و نه مینیمم. این فرآیند معادل بررسی معین بودن ماتریس مشتقات جزئی دوم لاگرانژین یا ماتریس مرزی هشین^۱ است. اگر ماتریس مرزی هشین در نقطه داوطلب، معین مثبت^۲ باشد، آنگاه لاگرانژین مقعر موضعی^۳ است، و جواب متناظر مینیمم موضعی است. اگر ماتریس مرزی هشین، در نقطه



نمودار ۲.۵ تابع لاگرانژ اکیداً مقعر که مقدار حداکثر آن در نقطه‌ی $x_1 = \bar{x}$ منحصر به فرد است.

۱. bordered Hessian matrix

۲. Positive definite

۳. Locally convex

داوطلب منفی معین باشد، لاگرانژین در نقطه داوطلب مقعر موضعی است، و جواب متناظر ماکزیم موضعی خواهد بود. اگر هشین مرزی در نقطه نامزد نامعین باشد، جواب متناظر نه ماکزیم است و نه مینیمم. در مثال ساده‌ی دو متغیر مجهول و یک قید بودجه، بررسی معین بودن ماتریس هشین مرزی معادل محاسبه‌ی دترمینان آن است. اگر دترمینان مثبت باشد، هشین مرزی منفی معین است، و نقطه داوطلب ماکزیم است. اگر دترمینان منفی باشد، هشین مرزی مثبت معین است، و نقطه نامزد مینیم است. هر چند، اگر تعداد متغیرهای مجهول بیش از دو عدد، و به تبع آن محدودیت‌ها بیش از یک باشد، آنگاه بررسی معین بودن هشین مرزی سخت و دشوارتر خواهد بود. به منظور تعیین آن که نقطه داوطلب که به عنوان ماکزیم یا مینیم موضعی شناسایی شده، در واقع ماکزیم یا مینیم سراسری است یا خیر، تمامی جواب‌های داوطلب و جواب‌های در مرز قلمرو را در تابع هدف جایگذاری کرده تا بررسی شود که کدام جواب‌ها بالاترین و کمترین مقدار بدست خواهند آورد. نتایج بدست آمده ماکزیم سراسری و یا مینیم سراسری خواهند بود.

مثال ۱

مثال فرض کنید فردی فقط دو کالا را مصرف می‌کند و تابع مطلوبیت او برابر است با:

$$U(c_1, c_2) = \alpha \ln(c_1) + \beta \ln(c_2)$$

که در آن c_1 و c_2 سطوح مصرف کالاهای ۱ و ۲، و α وزن مطلوبیت کالای ۱ و β وزن مطلوبیت کالای ۲ باشد. همچنین قید بودجه خطی است و عبارت است از

$$p_1 c_1 + p_2 c_2 = I$$

۱. تابع لاگرانژین را تشکیل دهید

$$L(c_1, c_2, \lambda) = \alpha \ln(c_1) + \beta \ln(c_2) + \lambda (I - p_1 c_1 + p_2 c_2)$$

۲. شروط مرتبه اول را محاسبه کنید

$$\frac{\partial L(c_1, c_2, \lambda)}{\partial c_1} = \frac{\alpha}{c_1} - \lambda p_1 = 0 \quad (۴.۵)$$

$$\frac{\partial L(c_1, c_2, \lambda)}{\partial c_2} = \frac{\beta}{c_2} - \lambda p_2 = 0 \quad (۵.۵)$$

$$\frac{\partial L(c_1, c_2, \lambda)}{\partial \lambda} = I - p_1 c_1 - p_2 c_2 = 0 \quad (۶.۵)$$

۳. سیستم معادلات با سه مجهول c_1 ، c_2 و λ را حل کنید. یک روش ممکن، تفکیک دو متغیر c_1 و c_2 از معادلات (۴.۵) و (۵.۵)، و جایگذاری آن‌ها در معادله (۶.۵) می‌باشد. در چنین صورتی مقدار بهینه‌ی ضریب لاگرانژ بدست خواهد آمد و برابر است با

$$\lambda = \frac{\alpha + \beta}{I}$$

همان طور که مشاهده می‌شود ضریب لاگرانژ بهینه با افزایش درآمد I کاهش می‌یابد، زیرا مطلوبیت نهایی هر دو کالا با تخفیف نهایی قید بودجه کاهش می‌یابد. به علاوه، ضریب لاگرانژ با وزن‌های مطلوبیت α و β افزایش می‌یابد، زیرا اگر آن اوزان افزایش یابند، مطلوبیت با افزایش نهایی بیشتر مصرف، افزایش خواهد یافت. سپس، با جایگذاری λ در شروط مرتبه اول نسبت به c_1 و c_2 ، توابع تقاضای مارشالی^۱ برای دو کالای مصرفی به دست خواهد آمد. یعنی

$$c_1 = \frac{\alpha I}{(\alpha + \beta) p_1},$$

$$c_2 = \frac{\beta I}{(\alpha + \beta) p_2},$$

در این دو رابطه، با افزایش درآمد تقاضای برای هر دو کالا افزایش خواهد یافت. زیرا با کسب درآمد بیشتر، خانوار توانایی مصرف بیشتری را دارد. همچنین تقاضای هر دو کالا با افزایش قیمت متناظر همان کالا کاهش می‌یابد، زیرا اگر قیمت کالا افزایش یابد آنگاه، توانایی فرد جهت مصرف آن کالا کاهش خواهد یافت. اگر علاقه‌ی فرد به

۱. Marshallian demand functions

مصرف کالایی بیشتر شود (وزن مطلوبیت آن افزایش یابد)، در صورت ثابت بودن سایر شرایط، وی به خرید بیشتر از آن کالا و خرید کمتر کالای دیگر اقدام می‌نماید. کاهش مصرف کالای دیگر الزامی است، زیرا در ابتدا قید بودجه‌ی خانوار برقرار است. افزایش مصرف کالایی که وزن مطلوبیت آن افزایش یابد، تنها در صورتی ممکن است که مصرف کالای دیگر کاهش یابد. در مقادیر بهینه‌ی جدید، ریال خرج شده نهایی برای هر یک از دو کالا باید مطلوبیت اضافه مشابهی را ایجاد کند که این امر فارغ از میزان مخارج کالای ۱ و یا کالای ۲ است.

لاگرانژین اکیداً مقعر فوق تضمین کننده‌ی مقادیر بهینه و ماکزیمم سراسری منحصر به فرد خواهد بود. این نتیجه می‌تواند به صورت نموداری و با ترسیم لاگرانژین مصرف یک کالا و ثابت نگه داشتن مصرف کالای دیگر نشان داده شود. با توجه به این که تابع مطلوبیت نسبت به هر دو متغیر اکیداً مقعر است و قید بودجه خانوار خطی است نتایج فوق تایید می‌شود. همان گونه که قبلاً متذکر شدیم، تفریق تابع خطی از تابع اکیداً مقعر مجدداً به تابع اکیداً مقعر منتهی می‌شود.

روش لاگرانژ براحتی برای مسایلی با بیش از دو متغیر و بیش از یک محدودیت قابل تعمیم است. البته باید توجه داشت که تعداد محدودیت‌ها نباید بیشتر از تعداد متغیرهای مجهول باشد که معمولاً در مسائل اقتصادی نیز همین گونه است. در این صورت تابع مطلوبیت عبارت است از

$$U(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

و سیستم قیود بودجه را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$G^j(x_1, x_2, \dots, x_n) = I_j \quad \text{for} \quad j = 1, 2, \dots, m$$

در این مورد، دستورالعمل‌های گام به گام به ترتیب زیر خواهند بود:

۱. ایجاد تابع لاگرانژین:

$$L(x_1, x_2, \dots, x_n, \lambda_1, \dots, \lambda_m)$$

$$= U(x_1, x_2, \dots, x_n) + \sum_{j=1}^m \lambda_j [I_j - G^j(x_1, x_2, \dots, x_n)]$$

۲. محاسبهٔ شروط مرتبه اول برای بهینه یابی متغیرهای مجهول که عبارتند از

$$\frac{\partial L(x_1, x_2, \dots, x_n, \lambda_1, \dots, \lambda_m)}{\partial x_i} = 0 \quad \text{for } i = 1, 2, \dots, n \quad (۷.۵)$$

$$\frac{\partial L(x_1, x_2, \dots, x_n, \lambda_1, \dots, \lambda_m)}{\partial \lambda_j} = 0 \quad \text{for } j = 1, 2, \dots, m \quad (۸.۵)$$

۳. حل سیستم معادلات شروط مرتبه اول برای $n+m$ مجهول $x_1, x_2, \dots, x_n$ و $\lambda_1, \dots, \lambda_m$.

۴. مرحله چهارم زمانی مورد نیاز است که لاگرانژین اکیداً مقعر نباشد و یا ویژگی‌های هندسی لاگرانژین مجهول باشد. در این مرحله باید بررسی شود که آیا جواب‌های داوطلب ماکزیمم موضعی، مینیمم موضعی و یا نه ماکزیمم و نه مینیمم موضعی هستند. مجدداً، باید معین بودن ماتریس مرزی هشین را بررسی کنیم. در مورد n متغیر مجهول و m قید، این امر مستلزم بررسی علامت دترمینان‌های آخرین $n-m$ ماتریس‌های فرعی است. لذا

اگر دترمینان‌های ماتریس‌های فرعی از نظر علامت با آخرین دترمینان ماتریس فرعی بطور متناوب تغییر کند، ماتریس مرزی هشین منفی معین خواهد بود، لاگرانژین به‌طور موضعی مقعر است، و نقطه نامزد ماکزیمم موضعی است.

اگر دترمینان‌های ماتریس‌های فرعی دارای علامت یکسان باشند، بالتبع ماتریس مرزی هشین مثبت معین است، لاگرانژین به‌طور موضعی محدب است، و نقطه نامزد مینیمم موضعی می‌باشد.

در تمام موارد دیگر، ماتریس مرزی هشین نامعین است، و نقطه نامزد نه ماکزیمم موضعی و نه مینیمم موضعی است.

به منظور تعیین این‌که آیا مقادیر نامزد که به عنوان ماکزیمم یا مینیمم موضعی شناسایی شده‌اند، ماکزیمم یا مینیمم سراسری نیز هستند یا خیر، باید تمامی جواب‌های نامزد و جواب‌های در مرز محدوده را در تابع هدف جایگذاری کرده و بررسی شود که کدام جواب ماکزیمم یا مینیمم سراسری و کلی است.

۲.۲.۵ روش کاروش - کان - تاکر

روش لاگرانژ را می‌توان به قیود غیرمنفی متغیرهای مورد نظر و قیود نابرابری تعمیم داد. برای مثال، در مورد کالاهای مصرفی c_i ، شرط $c_i \geq 0$ معقول است، زیرا مصرف

هیچ کالایی نمی تواند منفی باشد. به علاوه، فرد نیاز ندارد تمام بودجه/درآمد خود را یکباره خرج کند. بنابراین قید بودجه و سایر قیود بالقوه را می توان در قالب مجموعه نابرابری های زیر نوشت

$$G^j(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq I_j \quad \text{for } j = 1, 2, \dots, m$$

در خصوص قید بودجه، این بدان معناست که فرد نمی تواند بیشتر از درآمد موجود خرج کند، اما کمتر از آن بلا مانع است. در این مورد فرایند دستورالعمل و گام به گام به ترتیب ذیل تغییر می کند که آن را روش کاروش-کان-تاکر نامند.^۱ تشکیل تابع لاگرانژین:

$$L(x_1, x_2, \dots, x_n, \lambda_1, \dots, \lambda_m)$$

$$= F(x_1, x_2, \dots, x_n) + \sum_{j=1}^m \lambda_j [I_j - G^j(x_1, x_2, \dots, x_n)]$$

۲. محاسبه شروط مرتبه اول برای بهینه یابی که عبارتند از

$$\frac{\partial L(x_1, x_2, \dots, x_n, \lambda_1, \dots, \lambda_m)}{\partial x_i} \leq 0, \quad x_i \geq 0 \quad \text{for } i = 1, 2, \dots, n \quad (9.5)$$

$$\frac{\partial L(x_1, x_2, \dots, x_n, \lambda_1, \dots, \lambda_m)}{\partial \lambda_j} \geq 0, \quad \lambda_j \geq 0 \quad \text{for } j = 1, 2, \dots, m \quad (10.5)$$

یعنی اگر یکی از دو شروط فوق برای هر i و j با نابرابری اکید برقرار باشد، دیگری باید با برابری اکید برقرار باشد. بنابراین، حداکثر یکی از دو شرط برای هر i و j می تواند زائد باشد (و به وسیله نابرابری اکید برآورده شود)، درحالی که دیگری لازم است با برابری اکید برآورد شود.

۳. به عنوان نتیجه گام ۲، بسیاری ترکیبات ممکن برابری ها و نابرابری ها در سیستم معادلات شروط مرتبه اول وجود دارند که همگی نیازمند راه حل و تجزیه و تحلیل هستند. به طور کلی، گام ۲ فراهم کننده 2^{m+n} سیستم های مختلف از $m+n$ معادله در $m+n$ مجهول است که تماماً به جواب نامزد مسئله بهینه سازی ختم می شوند. واضح است که مسئله راه حل یابی تمام آن ها کاری بسیار دشوار برای n ها و m های بالا است. اما خوشبختانه، در عمل دارای میان برهایی هستند که می توانند به وسیله آرگومان های اقتصادی پیشین غیرمحمتمل پنداشته شوند. برای مثال، اگر تمام کالاهای مطلوبیت نهایی مثبت داشته باشند، خرج نکردن پول معنایی نخواهد داشت، به طوری که قید بودجه با برابری اکید در نظر گرفته خواهد شد.

۴. این گام تنها زمانی مورد نیاز است که لاگرانژین اکیداً مقعر نباشد، یا ویژگی‌های هندسی لاگرانژین نامشخص باشند. در این جا لازم است تا بررسی کنیم که آیا نقاط نامزد برای جواب، ماکزیمم‌های موضعی و یا مینیمم‌های موضعی هستند؛ و یا این که ماکزیمم یا مینیمم مسئله بهینه‌سازی نمی‌باشند. این رویه همچون مورد مطرح شده در بخش ۱.۲.۵ است که برای روش لاگرانژ با n متغیر منتخب و m قید تشریح شد.

۳.۲.۵ بهینه‌سازی پویا در زمان گسسته با دو دوره‌ی زمانی

با روش استاندارد لاگرانژ، می‌توان جواب مسائل بهینه‌سازی پویا^۱ را به دست آورد که بعداً در همین فصل و هنگام بحث درباره مدل نسل‌های هم پوش مورد استفاده خواهد بود. در این جا فرض می‌شود که متغیر منتخب در دوره‌های مختلف متفاوت است، مثلاً، مصرف در زمان t عبارت از c_t است، و مصرف در زمان $t+1$ عبارت از c_{t+1} و الی آخر. به این ترتیب می‌توان دستورالعمل گام به گام برای روش لاگرانژ با n متغیر منتخب و m قید را مورد استفاده قرار داد. برای مسائل پیشرفته‌تر با بسیاری دوره‌های زمانی که در آن تعاملات استراتژیک میان عاملین اقتصادی رخ می‌دهد یا آینده نامشخص است، روش‌های پیچیده‌تر برنامه‌ریزی پویا ضروری است.^۲ مثال^۳، روش لاگرانژ را در مورد مسئله بهینه‌سازی با دو دوره به کار می‌برد که در آن، داریم $n=2$ و $m=1$ است.

مثال ۲

فرض کنید افراد در دوره‌ی زمانی t و $t+1$ زندگی می‌کنند، و دستمزد آن‌ها به ترتیب برابر با w_t و w_{t+1} باشد. تابع مطلوبیت افراد ایزلاستیک^۳ نسبت به مصرف در دو دوره زمانی است و به قرار ذیل می‌باشد

$$U(c_t, c_{t+1}) = \frac{c_t^{1-\theta} - 1}{1-\theta} + \beta \frac{c_{t+1}^{1-\theta} - 1}{1-\theta}$$

در این فرمول، $\beta \in (0,1)$ عامل تنزیل است و برآورد می‌کند که هر فرد چه میزان وزن را به مصرف آتی خود اختصاص می‌دهد، به عبارت دیگر، بی‌تابی وسیله‌ی این پارامتر

۱. Dynamic Optimization

۲. Dixit (۱۹۹۰), Le'onard and van Long (۱۹۹۲), Sorger (۲۰۱۵), Stokey, Lucas, and Prescott (۱۹۸۹), and Sydsaeter et al. (۲۰۰۸),

۳. Isoelastic

سنجیده می‌شود. عامل تنزیل به وسیله نرخ تنزیل ρ از طریق رابطه $\beta = 1/(1+\rho)$ تعیین می‌شود. پارامتر θ ریسک‌گریزی فرد و یا تقعر تابع مطلوبیت را نشان خواهد داد و معکوس آن یا $1/\theta$ کشش جانشینی بین‌زمانی^۱ است که تمایل فرد به فاصله گرفتن از مصرفی و حصول درآمد بهره بالاتر را نشان می‌دهد. انتخاب فرد عبارت از آن است که چه میزان از درآمد خود را در دوره نخست زندگی پس‌انداز کند تا در دوره دوم مصرف و مطلوبیت دو دوره‌ی بیشتری را داشته باشد. پس‌اندازهای منتقل شده از دوره اول به دوره دوم، درآمد نرخ بهره r از دارایی مالی است و فرض می‌کنیم که دوره‌ی اول فرد بدون دارایی مالی است.

۱. قید بودجه‌ای که فرد را می‌نویسیم.

۲. مصرف بهینه‌ی فرد^۲ در دوره‌های t و $t+1$ را استخراج کرده، و نتیجه را برای مشخص کردن قاعده رشد مصرف بهینه فرد مورد استفاده قرار می‌دهیم.

راه حل

پس‌انداز برابر با S_t است، و فرض می‌شود افراد زندگی خود را بدون دارایی^۳ شروع می‌کنند، لذا:

$$C_t + S_t = W_t$$

در دوره اول مصرف و پس‌انداز برابر با درآمد حاصل از دستمزد است. به خاطر داشته باشید که پس‌انداز می‌تواند منفی نیز باشد، در این صورت افراد بدهکار می‌شوند. در دوره دوم داریم

$$C_{t+1} = W_{t+1} + (1+r)S_t$$

به‌طوری‌که مصرف در دوره‌ی دوم برابر است با درآمد دستمزد دوره‌ی دوم به علاوه پس‌انداز دوره‌ی قبل و بهره‌ی حاصل از آن. با جایگزینی $S_t = W_t - C_t$ از دوره‌ی اول و جایگذاری آن در دوره‌ی دوم خواهیم داشت

$$C_{t+1} = W_{t+1} + (1+r)(W_t - C_t)$$

با بازنویسی رابطه‌ی فوق و آرایش مصرف در طرف چپ رابطه، قید بودجه‌ی دو دوره‌ای را خواهیم داشت.

۱. Elasticity of intertemporal substitution

۲ Optimal individual consumption

۳ Asset

$$C_t + \frac{C_{t+1}}{1+r} = W_t + \frac{W_{t+1}}{1+r}$$

سمت چپ این رابطه شامل کل هزینه‌های تنزیل شده مصرفی دو دوره یا مادام‌العمر است، در حالی که سمت راست درآمد تنزیل شده‌ی مادام‌العمر می‌باشد. با استفاده از این معادله به عنوان قید، می‌توان مسئله بهینه‌سازی پویای ساده را به وسیله دستورالعمل گام به گام راه حل یابی بررسی نمود:

۱. لاگرانژین عبارت است از

$$L = \frac{C_t^{1-\theta} - 1}{1-\theta} + \beta \frac{C_{t+1}^{1-\theta} - 1}{1-\theta} + \lambda \left(W_t + \frac{W_{t+1}}{1+r} - C_t + \frac{C_{t+1}}{1+r} \right)$$

۲. FOCها عبارتند از

$$L_{C_t} = C_t^{-\theta} - \lambda = 0$$

$$L_{C_{t+1}} = \beta C_{t+1}^{-\theta} - \frac{\lambda}{1+r} = 0$$

$$L_{\lambda} = W_t + \frac{W_{t+1}}{1+r} - C_t + \frac{C_{t+1}}{1+r} = 0$$

۳. با استفاده از $C_t^{-\theta} = \lambda$ که از FOC نخست بدست می‌آید، و با جایگذاری در FOC دوم و فرمول‌بندی مجدد، معادله مصرف یا معادله‌ی مصرف اولیه بدست خواهد آمد،

$$\frac{C_{t+1}}{C_t} = [(1+r)\beta]^{1/\theta} \quad (11.5)$$

سمت چپ این معادله عبارت است از رشد مصرف بهینه، در حالی که سمت راست تابع نرخ بهره، عامل تنزیل، و ریسک‌گریزی افراد است. لذا مصرف بهینه به مرور زمان رشد می‌کند اگر طرف راست معادله بزرگتر از یک باشد و یا نرخ بهره در مقایسه با عامل تنزیل بزرگ و حاصلضرب $(1+r)\beta > 1$ باشد. در این مورد، بازار مالی می‌تواند بی‌تابی فرد را به وسیله پرداخت کافی نرخ بهره، بیشتر از ترغیب افراد به پس‌انداز جبران کند. پس‌انداز به نوبه خود، بمثابة رشد مثبت مصرف یا $C_{t+1}/C_t > 1$ است. به خاطر داشته باشید که مصرف (پس‌انداز) افزایش می‌یابد اگر نرخ بهره r افزایش یابد، خانوارها شکیاتر باشند یا p کمتر و β بیشتر باشد، خانوارها کمتر ریسک‌گریز باشند یا θ کمتر باشد. اگر خانوارها کمتر ریسک‌گریز باشند، کشش جانشینی بین زمانی بالاتر است، و آن‌ها تمایل بیشتری دارند که مصرف خود را به مرور زمان تغییر دهند تا از این رهگذر از نرخ بهره بالاتر بهره ببرند.

۴.۲.۵ بهینه‌سازی پویا در زمان پیوسته

سرانجام، دستورالعمل گام به گام برای بهینه‌سازی پویا در زمان پیوسته را ارائه کرده تا مسئله بهینه‌سازیِ مدل استاندارد رشد نئوکلاسیکِ رمزی-کاس-کوپمانس مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گیرد. اکنون ساده‌ترین مدل اقتصادی را در نظر گرفته که در آن دو متغیر وجود دارد که عبارتند از: متغیر کنترل (متغیری که فرد می‌تواند انتخاب کند) و متغیر حالت (متغیری که پیشاپیش به وسیله تصمیمات گذشته فرد تعیین می‌شود، و می‌تواند به تبع متغیر کنترل تغییر کند. به علاوه، فرض می‌کنیم که تابع هدف تنها منوط به متغیر کنترل است، و این که تمام توابع بر حسب تقعر/تحدب خوش‌رفتار هستند، به‌طوری که لازم نیست شروط مرتبه دوم SOC-ها بررسی شوند. اگر فرض کنیم زمان t پیوسته است و افراد مطلوبیت مادام‌العمر خود را حداکثر می‌کنند، آنگاه خواهیم داشت

$$U[c(t)] = \int_0^{\infty} u[c(t)] e^{-\rho t} dt$$

که در آن، مطلوبیت خانوار منوط به متغیر کنترل مصرف در هر لحظه از زمان یا $c(t)$ است. مطلوبیت در طول عمر فرد بدست می‌آید و در اکثر موارد، مطلوبیت از زمان صفر تا بی‌نهایت تجمیع می‌شود تا مسئله بهینه‌یابی به نحوی چشمگیر ساده‌تر شود. زیرا فرض می‌شود که تابع مطلوبیت متعلق به یک فرد با آینده‌نگری کامل نسبت به نسل‌های آتی است. جمله $e^{-\rho t}$ عامل تنزیل زمان پیوسته است، و تضمین می‌کند که وزن مطلوبیت آتی، با نرخ شکیبایی (ρ) کاهش پیدا می‌کند.

قید مسئله‌ی بهینه‌یابی، یک معادله‌ی پویا (معادله‌ی دیفرانسیلی) است که تغییرات موجودی دارایی مالی را به کل درآمد و هزینه‌های مصرفی خانوار مربوط می‌کند. لذا

$$\dot{a}(t) = G[a(t), c(t)]$$

که در آن، $a(t)$ موجودی دارایی مالی فرد یا متغیر حالت می‌باشد. برخلاف بهینه‌سازی ایستا که هدف، سطح مصرف بهینه است، در اینجا هدف مسیر مصرف بهینه خواهد بود که تابعی از زمان می‌باشد. لذا دستورالعمل گام به گام حل مسئله‌ی بهینه‌سازی به قرار ذیل است:

۱. ارزش فعلی همیلتونی زیر را تعریف می‌کنیم

$$H[c(t), a(t), \lambda(t)] = U[c(t)] e^{-\rho t} + \lambda G[a(t), c(t)]$$

در این رابطه $\lambda(t)$ عبارت از متغیر حالت است که اساساً دارای تفسیری مشابه با ضریب لاگرانژ در روش لاگرانژ است، با این تفاوت که متغیر حالت در هر لحظه تغییر می‌کند. به‌طور شهودی، می‌توان این گونه تصور کرد که این متغیر، مجموعه مسائل بهینه‌سازی ایستا را- هر یک در یک لحظه از زمان- حل می‌کند، و این مسائل به مرور زمان با استفاده از متغیر حالت $a(t)$ و متغیر $\lambda(t)$ به هم پیوند می‌خورند.

۲. FOC-ها را برای ماکزیمم داخلی بر حسب $c(t)$ ، $a(t)$ و $\lambda(t)$ بدست می‌آوریم. لذا

$$\begin{aligned}\frac{\partial H[c(t), a(t), \lambda(t)]}{\partial c(t)} &= 0 \\ \frac{\partial H[c(t), a(t), \lambda(t)]}{\partial a(t)} &= -\dot{\lambda}(t) \\ \frac{\partial H[c(t), a(t), \lambda(t)]}{\partial \lambda(t)} &= \dot{a}(t)\end{aligned}$$

برای اولین FOCها با افزایش مصرف، مطلوبیت امروز افزایش اما مطلوبیت آینده کاهش می‌یابد، چون پس‌انداز کاهش یافته و توانایی کمتری برای مصرف آتی وجود خواهد داشت. اگر FOCهای اول برآورده شوند، آنگاه دو اثر با توجه به ثابت بودن متغیر $\lambda(t)$ یکدیگر را خنثی می‌کنند. در این حالت، تخصیص مجدد مصرف در طی زمان، مطلوبیت مادام‌العمر را که برای مقادیر بهینه ضروری است نمی‌تواند افزایش دهد. FOCهای دوم در بهینه‌سازی ایستا وجود ندارد زیرا این FOC مربوط به تغییرات متغیر گذار در طی زمان است. در حالت پس‌انداز خالص مثبت (دارایی‌های در حال رشد) و تابع مطلوبیت اکیداً مقعر، مطلوبیت اضافه استخراج شده از تخفیف نهایی قید بودجه کاهش پیدا می‌کند. برای مسیر پس‌انداز بهینه، این کاهش باید دقیقاً با مطلوبیت اضافه منطبق شود تا بهینه‌ساز فردی از درآمد دارایی اضافه خلاص شود. سرانجام آنکه FOC سوم، قید بودجه پویا است که برای مسیر جواب صدق می‌کند.

۳. FOCها که سیستم معادلات دیفرانسیل می‌باشد را بر حسب متغیر حالت و متغیر گذار $a(t)$ و $\lambda(t)$ یا بر حسب متغیرهای حالت و کنترل $a(t)$ و $c(t)$ حل می‌کنیم.

مثال ۳

فرض کنید که خانوار نمونه با حیات ابدی در پی حداکثر کردن مطلوبیت خویش

است و دارای تابع مطلوبیت ایزوالاستیک بر حسب مصرف می‌باشد. به‌طوری‌که

$$U[c(t)] = \int_0^{\infty} \frac{c(t)^{1-\theta} - 1}{1-\theta} e^{-\rho t} dt \quad (12.5)$$

که در آن ρ نرخ تنزیل و پارامتر θ ریسک‌گریزی و معکوس آن یعنی $1/\theta$ کشش جانشینی بین دوره‌ای است. فرض کنید که سرمایه فیزیکی $k(t)$ تنها وسیله‌ی پس‌انداز است، به‌طوری‌که قید بودجه پویا برابر است با

$$\dot{k}(t) = r(t)k(t) + w(t) - c(t)$$

که در آن $\dot{k}(t)$ تغییر در موجودی سرمایه است. موجودی سرمایه با افزایش درآمد کل شامل درآمد سرمایه $r(t)k(t)$ و درآمد دستمزد $w(t)$ افزایش می‌یابد و با افزایش هزینه‌های مصرفی کل $c(t)$ کاهش خواهد یافت. اگر درآمد کل بیشتر از هزینه‌های مصرف کل باشد، تغییر در سرمایه $\dot{k}(t)$ مثبت خواهد بود، به‌طوری‌که سرمایه انباشته شده و فرد پس‌انداز می‌کند. در مقابل، اگر درآمد کل کمتر از هزینه مصرف کل باشد، تغییر در سرمایه $\dot{k}(t)$ منفی خواهد بود، به‌طوری‌که موجودی سرمایه کاهش می‌یابد، و فرد پس‌انداز خود را کاهش می‌دهد

راه حل

۱. ابتدا، ارزش فعلی همیلتونی را تشکیل می‌دهیم:

$$H[c(t), a(t), \lambda(t)] = \int_0^{\infty} \frac{c(t)^{1-\theta} - 1}{1-\theta} e^{-\rho t} + \lambda(t) [r(t)k(t) + w(t) - c(t)]$$

۲. FOCهای لازم را بدست می‌آوریم

$$\frac{\partial H[c(t), a(t), \lambda(t)]}{\partial c(t)} = 0 \Rightarrow c(t)^{-\theta} e^{-\rho t} = \lambda(t)$$

$$\frac{\partial H[c(t), a(t), \lambda(t)]}{\partial a(t)} = -\dot{\lambda}(t) \Rightarrow \dot{\lambda}(t) = \lambda(t)r(t)$$

$$\frac{\partial H[c(t), a(t), \lambda(t)]}{\partial \lambda(t)} = \dot{K}(t) \Rightarrow \dot{K}(t) = r(t)K(t) + w(t) - C(t)$$

۲. FOCهای دوم و سوم مبین سیستمی از دو معادله‌ی دیفرانسیل با دو مجهول $K(t)$ و $\lambda(t)$ است. اولین FOC را مورد استفاده قرار می‌دهیم تا جواب در فضای کنترل-حالت استخراج گردد. برای این منظور، با لگاریتم نخستین FOC داریم

$$\log[\lambda(t)] = -\theta \log[C(t)] - \rho t$$

و با توجه به مشتق آن نسبت به زمان داریم

$$\frac{\dot{\lambda}(t)}{\lambda(t)} = -\theta \frac{\dot{C}(t)}{C(t)} - \rho \quad (۱۳.۵)$$

و از FOC دوم داریم

$$\frac{\dot{\lambda}(t)}{\lambda(t)} = -r(t) \quad (۱۴.۵)$$

با جایگذاری (۱۴.۵) در (۱۳.۵)، خواهیم داشت

$$\frac{\dot{C}(t)}{C(t)} = \frac{r(t) - \rho}{\theta} \quad (۱۵.۵)$$

که همان معادله‌ی مصرف اوایلر در زمان پیوسته است و تعبیر آن با معادله (۱۱.۵) یکسان است، طرف چپ معادله نرخ رشد مصرف در وضعیت بهینه است، و طرف راست نشان دهنده تابعی از نرخ بهره و نرخ تنزیل بی‌تابی، و ریسک‌گریزی افراد می‌باشد. مصرف بهینه اینک در طی زمان در صورتی رشد می‌کند که طرف راست معادله مصرف اوایلر بزرگتر از صفر باشد و یا نرخ بهره بزرگتر از نرخ تنزیل باشد، به‌طوری‌که $r(t) > \rho$. در این مورد، بازار مالی می‌تواند بی‌تابی فرد را به وسیله پرداخت نرخ بهره‌ای جبران کند که به اندازه کافی زیاد هست تا ایشان را به پس‌انداز ترغیب کند. پس‌انداز به نوبه خود معادل رشد مصرف مثبت یعنی $\frac{\dot{C}(t)}{C(t)} > 0$ خواهد بود. رشد مصرف (پس‌انداز) افزایش می‌یابد اگر، نرخ بهره $I(t)$ بالاتر می‌باشد، خانوارها شکیباتر باشد (یعنی ρ کم‌تر باشد)، خانوارها کمتر ریسک-گریز باشند (یعنی θ کم‌تر باشد). اگر خانوارها کمتر ریسک-گریز باشند، تمایل بیشتری خواهند داشت که مصرف را در طی زمان تغییر دهند تا از نرخ بهره بالاتر استفاده‌ی بیش‌تر برند.

جالب این‌که گرچه تکنیک‌های ریاضی پویایی زمان گسسته و پیوسته به نحوی چشمگیر متفاوت هستند، ولی معنی و کاربردهای معادله مصرف اوایلر فارغ از آنکه مسئله در قالب کدام ساختار زمانی ارائه شود مشابه است. معادله‌ی انباشت سرمایه به همراه معادله مصرف اوایلر تشکیل دهنده سیستمی از دو معادله دیفرانسیل با دو متغیر $C(t)$ و $k(t)$ خواهد بود که می‌توانند جواب عمومی و جواب خاص را ارائه دهند. جواب عمومی بینهایت مسیری است که قوانین حرکت ارائه شده توسط سیستم را تضمین می‌کنند، درحالی‌که جواب خاص، یک مسیر ویژه از جواب‌های عمومی است که با دو

شرط اضافه تضمین می‌شوند.^۱ معذک، استخراج جواب‌ها خاص بسیار مشکل است و اغلب به واسطه‌ی غیر خطی بودن سیستم معادلات دیفرانسیل غیرممکن می‌باشد. بنابراین، سیستم‌های معادلات دیفرانسیل اغلب به صورت عددی تجزیه و تحلیل خواهند شد.^۲ روش جایگزین برای مشخص کردن مسیرهای جواب سیستم معادلات دیفرانسیل دو متغیره، استفاده از نمودار فاز است که در مدل رمزی-کاس-کوپمانس در بخش بعد مورد بحث قرار خواهد گرفت.

۳.۵ پس‌انداز درون‌زا در مدل رمزی-کاس-کوپمانس

در چارچوب مبتنی بر مدل سولو که در فصل چهارم ارائه شد فرض می‌شود که افراد کسر ثابت s از درآمد خود را پس‌انداز می‌کنند. چون s پارامتر موجود در مدل اقتصادی است، لذا خانوارها نمی‌توانند آن را انتخاب کنند، هرچند در واقعیت، انتخاب بهینه‌ی مصرف-پس‌انداز یکی از مهمترین تصمیمات اقتصادی خانوار است. از این رو، مقوله انتخاب مصرف-پس‌انداز یکی از جنبه‌های رفتاری با اهمیت خانوارها در سطح اقتصاد خرد است، و تعیین‌کننده پویایی اقتصادی کلان می‌باشد. زیرا پس‌اندازها تعیین‌کننده موجودی سرمایه‌ی جامعه، و در واقع رشد اقتصادی بلندمدت ناشی از تحقیق و توسعه درون‌زا ($R\&D$)، و بسیاری مشوق‌های سرمایه‌گذاری در فناوری‌های جدید هستند. بنابراین، رفتار مصرف-پس‌انداز فرد به صورت درون‌زا در حیطه‌ی مدل تعادل عمومی رشد به نحوی مناسب‌تر توضیح داده می‌شود.

به‌طور کلی دو تلاش برای درون‌زا کردن نرخ پس‌انداز در پژوهش‌های اقتصاد کلان صورت گرفته، و هر دو تلاش تکیه‌گاه اصلی اقتصاد کلان پویای مدرن می‌باشند. اولی، مدل رمزی-کاس-کوپمانس یا مدل رشد نئوکلاسیک است که در آن، کارگزار نمونه با حیات ابدی در هر لحظه از زمان تصمیم می‌گیرد که چه میزان از درآمد خود را مصرف و یا پس‌انداز کند.^۳ دومی چارچوب مدل‌های نسل‌های هم‌پوش یا OLG است که در فرمول‌بندی متعارف، افراد در دو دوره‌ی زمانی زندگی می‌کنند، و درآمد خود را به شکل دستمزد در دوره اول به دست آورده، و پس‌انداز را برای بازنشستگی خود در دوره دوم مصرف می‌کنند.^۴ در این بخش مدل رمزی-کاس-کوپمانس ارائه و سپس با اتوماسیون

۱. Gandolfo (۲۰۱۰) or Sydsaeter et al. (۲۰۰۸).

۲. Trimborn, Koch, and Steger (۲۰۰۸) and Trimborn (۲۰۱۳).

۳. Cass, ۱۹۶۵; Koopmans, ۱۹۶۵; Ramsey, ۱۹۲۸

۴. Diamond, ۱۹۶۵; Samuelson, ۱۹۵۸

بسط داده خواهد شد. در بخش‌های بعدی نیز مدل OLG و مدل OLG با اتوماسیون تجزیه و تحلیل خواهند شد.

برای سهولت، اندیس زمان از تجزیه و تحلیل مدل رمزی-کاس-کوپمانس حذف میشود. مثال ۳ به‌طور کامل، طرف مصرف مدل را شرح می‌دهد. از آنجا، ما می‌دانیم که در مورد کارگزار نمونه با یک تابع مطلوبیت ایزلاستیک، معادله مصرف اوایلر را می‌توان چنین نوشت

$$\frac{\dot{c}}{c} = \frac{r - \rho}{\theta} \quad (۱۶.۵)$$

به همراه معادله‌ی انباشت سرمایه،

$$\dot{k} = rk + w - c \quad (۱۷.۵)$$

که معادله دوم در مدل رمزی-کاس-کوپمانس است، و با معادله مصرف اوایلر تشکیل دهنده سیستمی با دو معادله دیفرانسیل و مجهولات c و k را تشکیل می‌دهد که رفتار خانوار در اقتصاد را تشریح می‌کند. برای تجزیه و تحلیل اقتصاد کلان در تعادل عمومی، لازم است تا نرخ بهره در تعادل یعنی r و نرخ دستمزد در تعادل یعنی w را نیز تعیین کنیم. این دو متغیر درونزا هستند و به وسیله‌ی اثرات متقابل خانوارها و بنگاه‌ها تعیین می‌شوند. برای بدست آوردن مقادیر تعادل عمومی، لازم است رفتار بنگاه را نیز در اقتصاد مشخص کنیم.

به خاطر داشته باشید که در تابع تولید کاب-داگلاس با فناوری نرمالایز شده به واحد خواهیم داشت

$$Y = K^{\alpha} L^{1-\alpha}$$

که در آن Y تولید کل، K موجودی سرمایه کل و L نیروی کار، و α کشش تولید با توجه به موجودی سرمایه می‌باشد. در شرایط رقابت کامل و فرض آنکه نرخ استهلاک سرمایه برابر δ است، دستمزد و پاداش عوامل تولید برابر است با تولید نهایی هر عامل. لذا

$$w = \frac{\partial Y}{\partial L} = (1-\alpha) L^{-\alpha} K^{\alpha} = (1-\alpha) k^{\alpha}$$

$$r = \frac{\partial Y}{\partial K} - \delta = \alpha L^{1-\alpha} K^{\alpha-1} - \delta = \alpha k^{\alpha-1} - \delta$$

با جایگذاری عبارات r و w در سیستم معادلات دیفرانسیل (۱۶.۵) و (۱۷.۵)، خواهیم داشت

$$\dot{c} = \left(\frac{\alpha k^{\alpha-1} - \delta - \rho}{\theta} \right) c \quad (18.5)$$

$$\dot{k} = (\alpha k^{\alpha-1} - \delta) k + (1 - \alpha) k^{\alpha} - c = k^{\alpha} - \delta k - c \quad (19.5)$$

سیستم معادلات دیفرانسیل فوق بر حسب دو متغیر مصرف (c) و سرمایه (k) روابط متقابل خانوار و بنگاه را نشان داده و اقتصاد کلان را با توجه به مفروضات آن تبیین می‌کند.

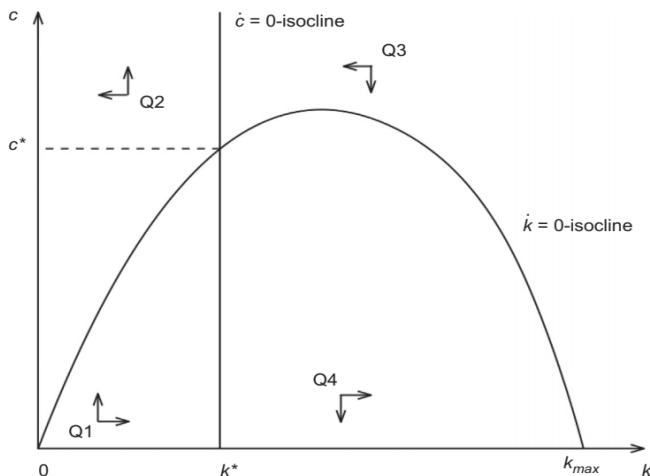
در این جا می‌توان پویایی سیستم را با دو معادله‌ی دیفرانسیل (18.5) و (19.5) به وسیله نمودار فاز در فضای c-k (فضای کنترل-حالت) تجزیه و تحلیل نمود. تصویر ۳.۵ نشان دهنده‌ی گام نخست در ایجاد نمودار فازی است که در آن، موجودی سرمایه بر روی محور افقی و مصرف بر روی محور عمودی است. برای استخراج تعادل اقتصاد در وضعیت پایدار که در آن، مصرف و سرمایه تغییر نمی‌کنند، طرف‌های چپ معادلات دیفرانسیل (18.5) و (19.5) را معادل با صفر قرار می‌دهیم. لذا داریم

$$0 = \left(\frac{\alpha k^{\alpha-1} - \delta - \rho}{\theta} \right) c \Rightarrow \alpha k^{\alpha-1} = \delta + \rho \quad (20.5)$$

$$0 = k^{\alpha} - \delta k - c \Rightarrow c = k^{\alpha} - \delta k \quad (21.5)$$

این معادلات نمایان گر خطوط هم‌شیب یا منحنی‌های تراز^۱ ترکیبات c و k هستند که در آن‌ها، متغیر متناظر علیرغم زمان دستخوش تغییر نمی‌شود. در نمودار ۳.۵، $\dot{c} = 0$ خط هم‌شیب ترکیبات c و k است که در آن، معادله (18.5) برابر صفر است و مصرف تغییر نمی‌کند. و به همین صورت $\dot{k} = 0$ خطوط هم‌شیب ترکیبات c و k است که در آن، معادله (19.5) برابر صفر است و موجودی سرمایه تغییر نمی‌کند. در وجه مشترک دو خط هم‌شیب، هر دو معادله دیفرانسیل برابر صفر هستند و بالتبع، مصرف و سرمایه تغییر نمی‌کنند و اقتصاد در وضعیت ثبات قرار دارد. ما مقادیر مصرف و سرمایه را به ترتیب با $c = c^*$ و $k = k^*$ نشان می‌دهیم.

۱. Isoclines or level curves



نمودار ۳.۵- نمودار فازی مدل رمزی- کاس- کوپمانس.

اکنون باید مشخص کنیم که اگر اقتصاد در خارج از وضعیت یکنواخت بلندمدت قرار گرفته باشد چگونه به وضعیت با ثبات بلندمدت باز خواهد گشت. برای این مقصود، دو خط هم‌شیب در نمودار ۳.۵، فضای $c-k$ را به چهار ربع $Q1 - Q4$ تقسیم می‌کنند که در آن، پویایی‌های c و k تبیین می‌شوند.

ربع $Q1$: مصرف در جایی پایین‌تر از سطح خط هم‌شیب $\dot{k} = 0$ قرار دارد، به‌طوری‌که معادله (۱۹.۵) مثبت است، و چون درآمد بالاتر از هزینه‌های مصرفی است لذا خانوار نمونه پس‌انداز می‌کند. بنابراین، همان‌طور که به وسیله پیکان نشان داده شده، نوک آن به طرف راست است و سرمایه در این ربع افزایش می‌یابد. در عین حال، سرمایه در جایی پایین‌تر از سطح خط هم‌شیب $\dot{c} = 0$ قرار دارد، به‌طوری‌که معادله (۱۸.۵) مثبت است، توجه داشته باشید که نمای k در معادله (۵.۱۸) منفی است. بنابراین، همان‌طور که به وسیله پیکان نشان داده شده نوک آن رو به بالاست، مصرف در این ربع افزایش پیدا می‌کند، زیرا نرخ بهره بالا ترغیب‌کننده خانوار نمونه جهت از دست دادن بخشی از مصرف امروز برای توانایی جهت مصرف بیشتر در آینده است.

ربع $Q2$: مصرف در جایی بالاتر از سطح خط هم‌شیب $\dot{k} = 0$ قرار دارد، به‌طوری‌که معادله (۱۹.۵) منفی است، زیرا درآمد پایین‌تر از هزینه‌های مصرفی است، و بالتبع خانوار نمونه از پس‌انداز خودداری می‌کند. بنابراین، سرمایه در این ربع کاهش پیدا می‌کند، و این وضعیت توسط پیکانی که نوک آن به طرف چپ می‌باشد نشان داده شده است. در عین حال، سرمایه در جایی پایین‌تر از سطح خط هم‌شیب $\dot{c} = 0$ قرار دارد،

به‌طوری‌که معادله (۱۸.۵) مثبت است. بنابراین، مصرف در این ربع بیشتر افزایش پیدا می‌کند، و این وضعیت به وسیله پیکانی نشان داده شده که نوک آن به سمت بالاست. مجدداً، نرخ بهره‌ی بالا و در حال افزایش ترغیب گر خانوار نمونه به از دست دادن بخشی از مصرف امروز برای مصرف بیشتر در آینده است. در این مورد، سطح مصرف به قدری بالا است که سرمایه کاهش یافته، و در جایی بالاخره به صفر می‌رسد. بالتبع، مسیر مصرف منتخب در بلندمدت امکان‌پذیر نیست؛ و تنها در صورتی می‌تواند حفظ شود که استقراض بیش از پیش و بازپرداخت پول استقراضی به وسیله بدهی حتی بالاتر صورت پذیرد. و چنانکه متعاقباً بحث خواهد شد، در بازارهای مالی میسر نیست.

ربع ۳: Q^3 : مصرف در جایی بالاتر از سطح خط هم‌شیب $\dot{k} = 0$ قرار دارد، به‌طوری‌که معادله (۱۹.۵) منفی است، زیرا درآمد پایین‌تر از هزینه‌های مصرف است، و بالتبع خانوار نمونه از پس‌انداز صرف‌نظر می‌کند. بنابراین، سرمایه در این ربع کاهش پیدا می‌کند، و این امر به وسیله نوک پیکان به طرف چپ نشان داده شده است. در عین حال، سرمایه در جایی بالاتر از سطح خط هم‌شیب $\dot{c} = 0$ قرار دارد، به‌طوری‌که معادله (۱۸.۵) منفی است. بنابراین، مصرف نیز در این ربع کاهش پیدا می‌کند، و این امر توسط نوک رو به پایین پیکان در تصویر نشان داده است. در این ناحیه نرخ بهره بسیار کم است، به‌طوری‌که افراد ترجیح می‌دهند امروز بیشتر مصرف کنند، و پس‌انداز کاهش می‌یابد. و لذا مصرف در آینده نیز کاهش خواهد یافت که با مسیر نزولی مصرف را نشان داده می‌شود.

ربع ۴: Q^4 : مصرف در جایی پایین‌تر از سطح خط هم‌شیب $\dot{k} = 0$ قرار دارد، به‌طوری‌که معادله (۱۹.۵) مثبت است، چون درآمد بالاتر از هزینه‌های مصرف می‌باشد، و بالتبع خانوار نمونه پس‌انداز می‌کند. بنابراین، سرمایه در این ربع افزایش پیدا می‌کند، و نوک پیکان به طرف راست نیز بیانگر این امر است. در عین حال، سرمایه در جایی بالاتر از سطح خط هم‌شیب $\dot{c} = 0$ قرار دارد، به‌طوری‌که معادله (۱۸.۵) منفی است. لذا مصرف در این ربع کاهش یافته و نوک پیکان در تصویر که رو به پایین است بیانگر همین امر می‌باشد. مجدداً، دلیل کاهش مصرف آن است که نرخ بهره بسیار کم است، و افراد ترجیح می‌دهند مصرف امروز خود را افزایش داده و مصرف آتی را کاهش دهند و این امر بیانگر مسیر مصرف نزولی است. معذک، در مقابل ربع ۳، سطح مصرف به قدری پایین است که سهم سرمایه همچنان صعود خواهد کرد، و این امر سبب کاهش بیشتر نرخ بهره می‌گردد. در این ربع، خانوار نمونه به شرایطی نزدیک می‌شود که در آن، وی می‌تواند همه درآمد خود را پس‌انداز کرده، و هیچ مصرفی نداشته باشد. واضح است که

چنین مسیری از چشم‌انداز فرد نمی‌تواند بهینه باشد. مسیر ربع‌های Q^2 و Q^4 جهت رفتار بهینه‌ی کارگزار نمونه غیر ممکن است.

برای هر ترکیب مقادیر c و k در نقطه اولیه، اقتصاد یک مسیر جواب در سیستم معادلات (۱۸.۵) - (۱۹.۵) را دنبال خواهد کرد. زیرا می‌توان با بینهایت ترکیبات c و k آغاز نمود و بینهایت مسیرهای جواب عمومی را بدست آورد. اما سیستم معادلات دیفرانسیل (۱۹.۵) - (۱۸.۵) باید دو شرط را برآورده کند. این دو شرط انتخاب ترکیب اولیه منحصر به فرد از دو متغیر c و k است که به یک و تنها یک جواب خاص ختم می‌شود و تنها مسیر جواب عملی است.

نخستین مورد از این دو شرط، شرط اولیه نسبت به موجودی سرمایه است. موجودی سرمایه اولیه را با $k(0)$ نشان می‌دهیم، و نمودار ۴.۵ نشان دهنده‌ی پویایی محتمل $k(0)$ برای سطوح متفاوت اولیه مصرف $c(0)$ می‌باشد. همه مسیرهای جواب عملی برای این شرط اولیه باید در خط چین عمودی در سطح $k(0)$ موجودی سرمایه آغاز شوند. اگر خانوار نمونه سطح مصرف اولیه $c(0)_1$ را انتخاب کند، مصرف به قدری زیاد است که موجودی سرمایه در اقتصاد کاهش می‌یابد. و در طی زمان، اقتصاد به محور عمودی همگرا شده که در آن، موجودی سرمایه صفر می‌شود، و اقتصاد متوقف می‌گردد. پویایی مشابه برای سطح مصرف اولیه اندکی پایین‌تر $c(0)_2$ صدق می‌کند که در آن، موجودی سرمایه ابتدا رشد می‌کند تا جایی که مسیر جواب از خط هم‌شیب $k=0$ عبور می‌کند. پس از این نقطه، مصرف مجدداً به نحوی ناپایدار بالاست، به‌طوری‌که موجودی سرمایه کاهش پیدا می‌کند، و اقتصاد در راستای محور عمودی با موجودی سرمایه صفر همگرا می‌شود. مشخص است که این مسیرهای جواب نمی‌توانند بهینه باشند، زیرا افراد برای مصرفی که حتی بالاتر است تقلا می‌کنند، درحالی‌که هیچ منبعی برای تولید آن باقی نمانده است. حال فرض کنید که کارگزار نمونه، سطح مصرف اولیه کمتر $c(0)_3$ یا $c(0)_4$ را انتخاب می‌نماید. در هر دو مورد، کارگزار نمونه مقادیر زیادی پس‌انداز کرده، و موجودی سرمایه به سرعت افزایش پیدا می‌کند. معذک، پس‌انداز اضافه به اندازه‌ای است که در بلندمدت تمام درآمد استفاده شود تا سطح بالای موجودی سرمایه حفظ شود، و هیچ درآمدی برای مصرف باقی نماند. واضح است که این مسیرها نیز نمی‌توانند بهینه باشند.

دقیقاً یک سطح مصرف اولیه $c(0)_5$ ، اقتصاد را بر روی مسیر جواب منحنی خط چین قرار می‌دهد که دقیقاً در راستای وضعیت یکنواخت و بلندمدت است. این مسیر جواب خاص، موسوم به مسیر زینی شکل است، و تنها مسیر جواب است که با رفتار بهینه‌ی عاملین منطقی سازگار می‌باشد. تمام مسیرهای جواب با مصرف اولیه بالاتر،

"شرط عدم وجود بازی پانزی" را نقض می کنند؛ به این معنی که عاملین، مصرف خود را با بدهی حتی بالاتر افزایش می دهند. درحالی که در بازارهای مالی امکان استقراض جهت مصرف بالاتر برای همیشه ممکن نیست و بدهکاران نمی توانند پیوسته بدهی خود را افزایش دهند تا تعهدات خود را با حصول وام های بیشتر تأمین مالی کنند. در مقابل، تمام مسیرهای جواب با سطوح مصرف اولیه کم تر از $c(0)_5$ به پس انداز اضافه ختم می شوند، که آن نیز از منظر عامل منطقی بهینه نیست. شرطی که به طور همزمان، بازی های پانزی و پس انداز اضافه را نفی می کند، موسوم به شرط تراگردی^۱ است و عبارت است از

$$\lim_{t \rightarrow \infty} k(t) e^{-\int_0^t [\alpha k(\tau)^{\alpha-1} - \delta] d\tau} = 0$$

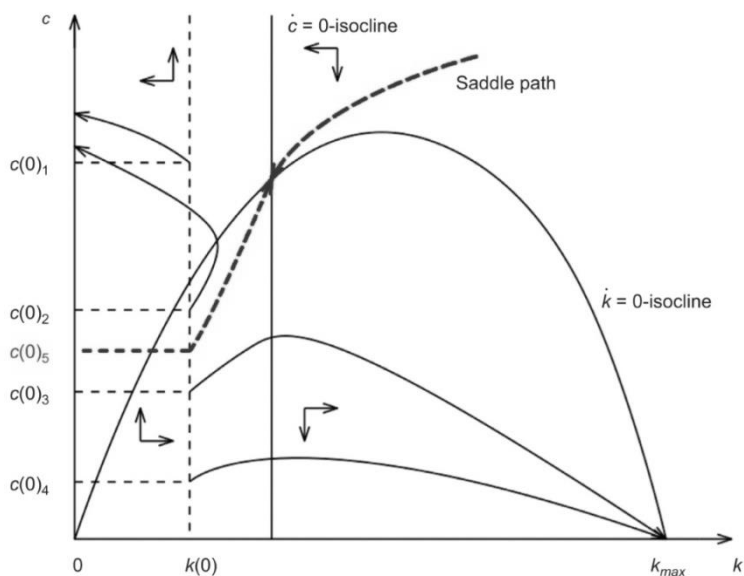
این معادله مبین آن است که ارزش فعلی دارایی ها باید به طور مجانبی به صفر همگرا شود، و این شرط در سیستم معادلات دیفرانسیل ترکیب عملی از مقادیر اولیه $c(0)_5$ و $k(0)$ را تعیین می کند، به طوری که اقتصاد در مسیر زینی شکل در راستای وضعیت یکنواخت بلندمدت حرکت می کند.

در زمان $t = \infty$ که کارگزار نمونه از دنیا می رود، واضح است که تملک موجودی سرمایه $k(t)$ بهینه نخواهد بود، زیرا در این مورد، فرد می تواند مطلوبیت مادام العمر خود را با پس انداز کمتر و مصرف بیشتر قبل از آن زمان افزایش دهد. ضمناً بازارهای مالی به افراد اجازه نمی دهند تا در وضعیت بدهکار از دنیا بروند. در غیر این صورت، بخش مالی ورشکست خواهد شد. بنابراین، تنها جوابی که با بهینه سازی عاملین اقتصادی سازگار است، وجود شرط تراگردی و مسیر زینی در اقتصاد است.

اگرچه جواب مدل فوق در مقایسه با جواب مدل استاندارد سولو تا حدودی دشوارتر است، ولی نتایج حاصل مشابه هستند. اقتصادی که مدل رمزی-کاس-کوپمانس را تشریح می کند، به نحوی مشابه با جواب وضعیت یکنواخت سولو است که در آن موجودی سرمایه و محصول ناخالص داخلی (GDP) سرانه، در شرایط عدم وجود پیشرفت تکنولوژیک ثابت است. این جواب همان مقادیر متغیر در وضعیت یکنواخت است که آن را با c^* و k^* نشان می دهند که در آن، دو خط هم شیب همدیگر را قطع می کنند و به مسیر زینی ختم می شوند. همانند مدل سولو، همگرایی به وضعیت یکنواخت (در طول مسیر زینی شکل) وجود دارد، و این همگرایی با نرخ رشد اقتصادی

۱. Transversality condition

بالا و موجودی سرمایه‌ای که خیلی پایین‌تر از سطح وضعیت یکنواخت است آغاز می‌شود. در خلال فرآیند همگرایی، موجودی سرمایه‌ی سرانه افزایش، و نرخ بهره کاهش می‌یابد تا آنکه معادله $r - \rho = \alpha k^{\alpha-1} - \delta - \rho = 0$ در وضعیت یکنواخت برقرار شود. در این نقطه، رشد مصرف بر اساس فرمول اوایلر (۱۶.۵) متوقف می‌شود. این ویژگی از آن رو حائز اهمیت است که در مبحث اتوماسیون و رشد اقتصادی نشان داده خواهد شد که نیروهای منتهی به همگرایی نرخ بهره در وضعیت یکنواخت، ممکن است در شرایط وجود اتوماسیون وجود نداشته باشند.



نمودار ۴.۵ - گام دوم در ایجاد نمودار فاز در مدل رمزی - کاس - کوپمناس.

در کل، هر چه اقتصاد به جواب وضعیت یکنواخت خود نزدیک‌تر شود، نرخ رشد بیشتر سرمایه (و بالتبع، نرخ رشد GDP) کندتر می‌شود. لذا جنبه‌هایی از مدل سولو مانند معجزه اقتصادی در آلمان پس از جنگ جهانی دوم و افت اقتصادی پس از فروپاشی اتحاد شوروی، به وسیله‌ی مدل رمزی - کاس - کوپمناس و نرخ پس‌انداز درونزا نیز توضیح داده می‌شوند.

۴.۵ اتوماسیون در مدل رمزی-کاس-کوپمانس

استیگام^۱ در سال ۲۰۱۱، سرمایه‌ی اتوماسیون را با فرض تابع تولید نئوکلیسیک به مدل رمزی-کاس-کوپمانس افزود. به‌طوری‌که

$$Y = AK^\alpha \left[v(\varepsilon P)^\mu + (1-v)L^\mu \right]^{\frac{1-\alpha}{\mu}}$$

که در آن Y تولید کل، K سرمایه فیزیکی سنتی، P سرمایه اتوماسیون، و L نیروی کار، و A پارامتر بهره‌وری و ε پارامتر بهره‌وری سرمایه‌ی اتوماسیون است. v و $(1-v)$ اوزان تولید، μ کشش جانشینی کارگران با روبات‌ها، و α کشش تولید با توجه به موجودی سرمایه‌ی سنتی است. با نرمالایز کردن وزن تولید v به $v \equiv \beta/(1-\alpha)$ و با $0 < \beta < 1-\alpha$ و فرض جانشین‌پذیری کامل روبات‌ها با کارگران خواهیم داشت

$$Y = AK^\alpha \left[\frac{\beta \varepsilon P}{1-\alpha} + \left(1 - \frac{\beta}{1-\alpha} \right) L \right]^{1-\alpha}$$

با مشتق این عبارت نسبت به K و P ، نرخ بازدهی سرمایه‌ی فیزیکی سنتی و سرمایه‌ی اتوماسیون بدست خواهد آمد. لذا خواهیم داشت

$$r_K = A\alpha K^{\alpha-1} \left[\frac{\beta \varepsilon P}{1-\alpha} + \left(1 - \frac{\beta}{1-\alpha} \right) L \right]^{1-\alpha}$$

$$r_P = \beta \varepsilon A K^\alpha \left[\frac{\beta \varepsilon P}{1-\alpha} + \left(1 - \frac{\beta}{1-\alpha} \right) L \right]^{-\alpha}$$

چون مدل نشانگر سرمایه‌گذاران منطقی و دو نوع سرمایه کاملاً جانشین است، بازده آن‌ها به سرمایه‌گذاری در هر یک باید برابر باشد، یعنی $r_K = r_P$ ، و لذا موجودی سرمایه‌ی اتوماسیون یا روبات‌های P برابر خواهد شد با

$$P = K \left(\frac{1-\alpha}{\alpha} \right) - \frac{L(1-\alpha-\beta)}{\beta \varepsilon}$$

با جایگذاری آن در عبارات r_K و r_P و فرض آنکه دو دارایی با نرخ δ مستهلک می‌شوند، استیگام نرخ بهره مشترک سرمایه فیزیکی سنتی و سرمایه اتوماسیون را بدست می‌آورد که برابر است با

$$r = A\alpha^\alpha (\varepsilon \beta)^{1-\alpha} - \delta$$

۱. Steigum (۲۰۱۱)

چون تمام متغیرهای طرف راست عبارت فوق، پارامترهای ثابت هستند، نرخ بهره با رشد اقتصادی دیگر به سطح وضعیت یکنواخت همگرا نمی‌شود. زیرا موجودی سرمایه اتوماسیون با موجودی سرمایه فیزیکی سنتی در طی مسیر حل اقتصاد رشد و مانع بازده‌های نزولی سرمایه فیزیکی خواهد شد. به عنوان پیامد نرخ بهره ثابت، سه نتیجه محتمل است:

- اگر $r < \rho$ باشد، مصرف به مرور زمان کاهش می‌یابد، خانوارها به اندازه‌ی کافی پس‌انداز/ سرمایه‌گذاری نمی‌کنند و رشد اقتصادی بلندمدت تضمین نمی‌شود.
- اگر $r = \rho$ باشد، نرخ رشد صفر است.
- سرانجام اگر $r > \rho$ باشد، رشد اقتصادی دائمی است و در معادله‌ی مصرف اوایلر (۱۶.۵) نیز می‌توان ملاحظه نمود.

استیگام نشان می‌دهد که در مدل رشد نئوکلاسیک رشد اقتصادی بلندمدت حتی بدون حضور پیشرفت تکنولوژیک نیز میسر است. به علاوه، سهم درآمد کار با پیشرفت اتوماسیون کاهش پیدا می‌کند. زیرا مادامی که جانشینی میان سرمایه اتوماسیون و نیروی کار بالا و یا کامل باشد، تابع تولید دارای ساختاری مشابه با تابع تولید در مدل سولو با اتوماسیون خواهد شد. بنابراین، هر دو نتیجه‌ی اصلی اتوماسیون در مدل سولو، در مدل با نرخ پس‌انداز درون‌زای رمزی-کاس-کوپمانس بدست می‌آید. شایان ذکر است که استیگام سطوح مختلف مهارت را در مدل معرفی نمی‌کند و نابرابری دستمزد در مقاله‌ی او مورد بررسی قرار نگرفته است.

۵.۵ پس‌انداز درون‌زا در مدل OLG

یکی دیگر از مدل‌های اقتصاد کلان پویای مدرن، مدل نسل‌های هم پوش یا OLG است که ابتدا توسط دایموند (۱۹۶۵) و ساموئلسون (۱۹۵۸) معرفی شده است.^۱ در این بخش مدل متعارف دایموند را تشریح می‌کنیم. این مدل از نظر تحلیلی ساده، جواب‌های آن قابل حصول و براحتی بسط آن برای تحلیل نتایج اتوماسیون در بخش ۶.۵ میسر است.

۱. Diamond (۱۹۶۵) and Samuelson (۱۹۵۸)

در مقابل مدل رشد نئوکلاسیک رمزی- کاس- کوپمانس، فرض می‌شود که زمان گسسته و $t = 1, 2, \dots, \infty$ و خانوار نمونه برای دو دوره‌ی مشخص یا دو نسل زندگی می‌کند. هر نسل متناظر با ۲۰-۳۰ سال است که منوط به کاربردهای مدل و کالیبراسیون بالقوه نسبت به داده‌های واقعی دارد. در دوره نخست زندگی، افراد کار می‌کنند و دستمزد دریافت می‌کنند، درحالی‌که در دوره دوم زندگی، بازنشسته شده و از درآمد حاصل از دستمزد دوره‌ی گذشته و یا پس‌اندازهای گذشته‌ی خود امرار معاش می‌کنند. دارایی و یا ثروت هر نسل متفاوت است به‌طوری‌که در مدل OLG افراد جوان فاقد دارایی باید برای دوران بازنشستگی از درآمد حاصل از کار خود پس‌انداز کنند. در مقابل، افراد سالخورده برخوردار از دارایی‌هایی هستند و آن را در زمان جوانی پس‌انداز کرده‌اند. افراد بازنشسته کار نمی‌کنند، و هیچ درآمدی به تبع کار دریافت نمی‌کنند.

تصویر ۵.۵ خلاصه‌ای از ساختار جمعیتی مدل را نشان می‌دهد. دوره‌های زمانی یا نسل‌ها بر روی محور افقی ترسیم شده، جایی که فرد در زمان t متولد می‌شود و تا زمان $t+1$ جوان است. در آغاز دوره $t+1$ ، این فرد پیر و بازنشسته می‌شود. سرانجام، در پایان دوره $t+1$ فرد به‌طور قطع فوت می‌کند. در هر دوره، نسل جوان تازه متولد شده، و جایگزین در گروه می‌شوند که در دوره پیشین جوان بودند. محور عمودی به ساختار جمعیت در اقتصاد در هر مقطع زمانی خاص اشاره دارد. در هر یک از این مقاطع زمانی، دو نسل در قید حیات هستند: جوان و پیر. هر نسل برای مصرف کل، دارایی‌های کل و غیره، باید این ساختار را حفظ کند. به خاطر داشته باشید که این امر بیانگر تفاوت مدل مبتنی بر کارگزار نمونه در بخش‌های پیشین است که در آن، یک عامل می‌توانست به عنوان نماینده‌ی اقتصاد تلقی شود.

مدل OLG متعارف را می‌توان براحتی به توضیح بیش از دو نسل تعمیم داد. معذلک، مدل‌هایی با بیش از سه نسل معمولاً نمی‌توانند به صورت تحلیلی مورد استفاده قرار گیرند. مدل‌های در مقیاس بزرگ که در آن حداکثر ۱۰۰ نسل، و هر نسل به ۱ سال اشاره کند را مدل‌های OLG محاسبه‌پذیر نامند. این مدل‌ها اغلب در خصوص بررسی پایداری نظام‌های تأمین اجتماعی و صندوق‌های بازنشستگی مورد استفاده قرار می‌گیرند.^۱ در مدل OLG متعارف، تابع مطلوبیت افرادی که در زمان t به دنیا می‌آیند، به قرار ذیل است

$$U_t(c_{1,t}, c_{2,t+1}) = U(c_{1,t}) + \beta u(c_{2,t+1})$$

۱. Auerbach & Kotlikoff, ۱۹۸۷; Krueger & Ludwig, ۲۰۰۷

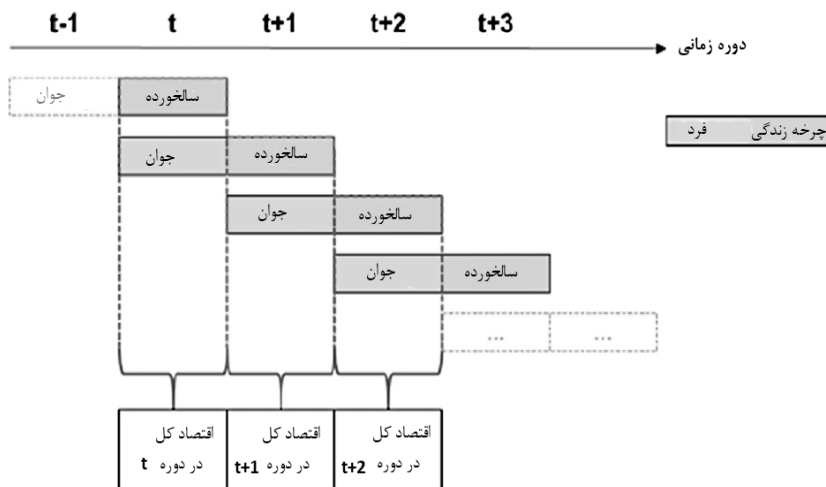
تابع مطلوبیت دارای همان ساختاری تابع مطلوبیت در مثال ۲ است، با این تفاوت که ما دو اندیس برای متغیرهای منتخب به کار می‌بریم. اندیس اول نشانگر مرحله‌ای از دوره‌ی زندگی فرد است که در آن قرار دارد (۱ به مرحله‌ی زمان کار، و ۲ به مرحله بازنشستگی)، و اندیس دوم نشانگر تعداد دوره‌های زمانی. اندیس اول برای تمایز مصرف در زمان جوانی و سالخوردگی است.

اگر تابع مطلوبیت فوق‌الذکر ایزوالاستیک همانند مثال ۲ باشد آنگاه حلِ مدل از نظر تحلیلی دشوار می‌شود. مثال سودمند که اغلب مطرح می‌شود تابع مطلوبیت لگاریتمی و عبارت است از

$$U(c_{1,t}, c_{2,t+1}) = \log(c_{1,t}) + \beta \log(c_{2,t+1}) \quad (22.5)$$

تابع مطلوبیت لگاریتمی، موردِ خاصی از تابع مطلوبیّت ایزوالاستیک است که در آن $\theta=1$ است. مزیت تابع مطلوبیت لگاریتمی آن است که اثرات جانمایی و درآمدی یکدیگر را خنثی می‌کنند.

اثر درآمدی مبین آن است که نرخ بهره‌ی بالاتر یعنی درآمد سرمایه‌ای بالاتر که به افراد اجازه می‌دهد تا مصرف را در دوره‌ی اول افزایش و به عبارتی دیگر، کمتر پس‌انداز کنند. درحالی که، اثر



تصویر ۵.۵ ساختار مدل OLG متعارف.

جانشینی به این حقیقت اشاره می‌کند که نرخ بهره بالاتر به معنای بازده بالاتر پس‌انداز است، و افراد بیشتر پس‌انداز می‌کنند. اگر قدر مطلق هر دو این اثرات یکسان باشند، آنگاه یکدیگر را خنثی خواهند کرد و بالتبع، توابع تقاضای منتج به مراتب ساده‌تر خواهند بود. قید بودجه از مثال ۲، تا حدودی تغییر می‌کند به نحوی که (۱) فرد در دوره‌ی دوم زندگی خود بازنشسته شده، و بالتبع درآمدی از کار در دوره‌ی $t+1$ به دست نمی‌آورد، و (۲) از آن جا که چارچوب مدل مورد بررسی تعادل عمومی است لذا نرخ بهره در مدل OLG به صورت درونزا تعیین می‌شود و متغیری خواهد بود که در طی زمان تغییر خواهد کرد. لذا قید بودجه عبارت خواهد بود از

$$c_{1,t} + \frac{c_{2,t+1}}{1+r_{t+1}} = w_t \quad (23.5)$$

مجدداً، طرف چپ فرمول فوق شامل کل هزینه‌های مصرفی مادام‌العمر تنزیل شده است؛ درحالی‌که طرف راست درآمد مادام‌العمر است که همان درآمد دستمزد در دوره اول زندگی است.

مسئله‌ی حداکثرسازی (۲۲.۵) را با توجه به قید بودجه‌ی (۲۳.۵) به روش لاگرانژ حل می‌کنیم که پیشتر توضیح داده شد؛ بنابراین،
۱. تابع لاگرانژین مسئله حداکثرسازی را ایجاد کرده:

$$L = \log(c_{1,t}) + \beta \log(c_{2,t+1}) + \left(w_t - \lambda c_{1,t} - \frac{c_{2,t+1}}{1+r_{t+1}} \right) \quad (24.5)$$

۲. FOCها را محاسبه می‌کنیم:

$$L_{c_{1,t}} = \frac{1}{c_{1,t}} - \lambda = 0 \Rightarrow \frac{1}{c_{1,t}} = \lambda$$

$$L_{c_{2,t}} = \frac{\beta}{c_{2,t+1}} - \frac{\lambda}{1+r_{t+1}} = 0 \Rightarrow \frac{\beta(1+r_{t+1})}{c_{2,t+1}} = \lambda$$

$$L_{\lambda} = w_t - c_{1,t} - \frac{c_{2,t+1}}{1+r_{t+1}} = 0 \Rightarrow c_{1,t} - \frac{c_{2,t+1}}{1+r_{t+1}} = w_t$$

به خاطر داشته باشید که سومین FOC مجدداً قید بودجه را بیان می‌کند. سیستم معادلات با سه مجهول $c_{1,t}$ و $c_{2,t+1}$ و λ را می‌توان براحتی با استفاده از جبر ماتریس‌ها حل کرد.

۳. با ترکیب FOC‌های اول و دوم معادله‌ی مصرف اوایلر بدست خواهد آمد. لذا

$$\frac{c_{2,t+1}}{c_{1,t}} = \beta(1+r_{t+1})$$

در این معادله رشد مصرف (پس‌انداز) با شکیبایی افراد (β) و با نرخ بهره r_{t+1} افزایش می‌یابد. کشش جانشینی بین‌زمانی در اینجا وجود ندارد، زیرا تابع مطلوبیت لگاریتمی است. با استفاده از قید بودجه (۲۳.۵)، می‌توان مصرف و پس‌انداز در دوره t را به‌طور صریح محاسبه کرد. با ذکر آنکه از قید بودجه داریم

$$c_{2,t+1} = (w_t - c_{1,t})(1+r_{t+1})$$

و با جایگزینی آن در معادله مصرف اوایلر، داریم

$$\frac{(w_t - c_{1,t})(1+r_{t+1})}{w_t} = \beta(1+r_{t+1}) \Rightarrow c_{1,t} = \frac{w_t}{1+\beta}$$

بنابراین، مصرف در دوره نخست عمر فرد عبارت است از کسری از درآمد کار که با افزایش β کاهش می‌یابد. به این معنی که اگر افراد شکیباتر باشد، یا β بالاتر باشد، در دوره‌ی نخست زندگی خود کمتر مصرف خواهد کرد، و پس‌انداز بیشتری خواهد داشت که به او امکان خواهد داد که در دوره دوم حیات خود مصرف بیشتری داشته باشد. اما به خاطر داشته باشید که نرخ بهره در مشتق‌گیری حذف می‌شود که کار را بسیار ساده می‌کند. این که نرخ بهره حذف می‌شود، بخاطر تابع مطلوبیت لگاریتمی است که تضمین می‌کند اثرات درآمدی و جانشینی دقیقاً یکدیگر را خنثی می‌کنند.

از رابطه‌ی پس‌انداز $s_t = w_t - c_{1,t}$ داریم

$$s_t = w_t - \frac{w_t}{1+\beta} = \frac{\beta}{1+\beta} w_t$$

با مشتق s_t نسبت به β نتیجه می‌گیریم که

$$\frac{\partial s_t}{\partial \beta} = \frac{1}{(1+\beta)^2} w_t > 0$$

لذا پس‌انداز با افزایش عامل تنزیل افزایش پیدا می‌کند، زیرا افراد با شکیبایی بیشتر، مصرف بیشتر را از دوره نخست به دوره دوم زندگی خود منتقل می‌کنند، و در دوره اول بیشتر پس‌انداز خواهند کرد.

۴. از آن جا که تابع مطلوبیت اکیداً مقعر و قید بودجه خطی ست، لاگرانژین در متغیرهای منتخب اکیداً مقعر خواهد بود، به طوری که جواب نامزد را می توان به وسیله FOC هایی به دست آورد که در واقع نمایشگر ماکزیمم منحصر به فرد هستند، و نیازی نیست که SOC ها را بررسی کنیم.

در مدل OLG متعارف، جمعیت بانرخ رشد n افزایش می یابد و به تبع آن اندازه گروه که معادل اندازه نیروی کار است عبارت خواهد بود از

$$L_t = (1+n)L_{t-1} \Rightarrow L_t = (1+n)^t N_0 \quad (25.5)$$

بنابراین، اندازه گروه و اندازه جمعیت در هر لحظه از زمان t را می توان در صورتی که اندازه اولیه گروه L_0 را بدانیم محاسبه کرد.

رفتار خانوار را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادیم. جهت حل تعادل عمومی لازم است رفتار بنگاه نیز مورد بررسی قرار گیرد. نرخ دستمزد استخراج شده، و جایگزین عبارت پس انداز می گردد تا معادله ی انباشت سرمایه در تعادل به دست آید. برای این منظور، مجدداً تابع تولید کاب- داگلاس را مورد استفاده قرار داده و عامل فناوری را به یک نرمالایز می کنیم، به طوری که

$$Y_t = K_t^\alpha L_t^{1-\alpha}$$

که در آن Y_t تولید کل در زمان t ، K_t موجودی سرمایه کل در زمان t ، L_t نیروی کار در زمان t ، و α کشش تولید نسبت به موجودی سرمایه می باشد. با استفاده از این تابع تولید، نرخ دستمزد یا تولید (ارزش) نهایی کار برابر است با

$$w_t = \frac{\partial Y_t}{\partial L_t} = (1-\alpha) K_t^\alpha L_t^{-\alpha} = (1-\alpha) k_t^\alpha \quad (26.5)$$

و در آن، k_t برابر است با موجودی سرمایه به ازاء هر کارگر در زمان t . حال، معادله انباشت سرمایه را استخراج نموده، و فرض می شود که سرمایه ی فیزیکی به طور کامل طی دوره نخست مستهلک می شود، به طوری که داریم $\delta = 1$. در این مورد، سرمایه کل در زمان $t+1$ به وسیله $K_{t+1} = s_t L_t$ داده شده است. با تقسیم K_{t+1} بر اندازه ی نیروی کار در زمان $t+1$ ، یا L_{t+1} ، موجودی سرمایه به ازاء هر کارگر به قرار ذیل به دست می آید:

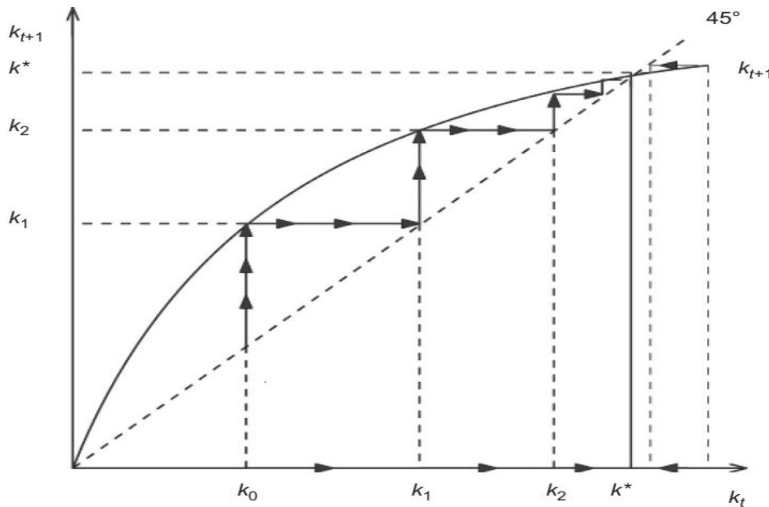
$$k_{t+1} = \frac{s_t}{1+n} = \frac{\beta}{(1+\beta)(1+n)} w_t$$

و با جایگزاری دستمزد از معادله (۲۶.۵) خواهیم داشت

$$k_{t+1} = \frac{\beta(1-\alpha)}{(1+\beta)(1+n)} k_t^\alpha \quad (27.5)$$

معادله‌ی دیفرانسیل فوق معادله‌ی بنیادیِ مدل متعارف OLG است، و تحلیل پویایی بر حسب سرمایه به ازاء نیروی کار را میسر می‌کند. این معادله همانند مدل سولو مقعر است (نمودار ۶.۵) و پویایی آن بسیار شبیه به مدل سولو بدون پیشرفت تکنولوژیک و بدون رشد جمعیت در زمان گسسته است و تفاوت عمده در رشد جمعیت غیر صفر می‌باشد. به‌طوری‌که پویایی سرمایه به ازاء هر نیروی کار به جای موجودی سرمایه کل در نمودار ۶.۵ مورد بررسی قرار می‌گیرد. گرچه نرخ پس‌انداز درون‌زاست و افراد نرخ پس‌انداز بهینه را در مدل متعارف OLG انتخاب می‌کنند، اما این امر تحلیل نموداری را متأثر نمی‌کند.

مجدداً پیکان‌ها در این نمودار، پویایی اقتصاد را نشان می‌دهند. اگر اقتصاد با موجودی سرمایه به ازاء نیروی کار k_0 شروع به فعالیت کند، همانطور که در فصل چهارم توضیح داده شد اقتصاد از پایین با جواب وضعیت یکنواخت k^* همگرا می‌شود. و به همین صورت اگر اقتصاد با موجودی سرمایه به ازاء هر نیروی کار بسیار بالا شروع کند، همگرایی به وضعیت یکنواخت از بالا صورت می‌پذیرد، و اقتصاد منقبض می‌شود. به‌طور کلی، این پویایی را مجدداً می‌توان به وسیله معجزه اقتصادی در آلمان پس از جنگ جهانی دوم و افول اقتصاد روسیه پس از فروپاشی اتحاد شوروی توضیح داد. اکنون می‌توان جواب وضعیت یکنواخت و یا مقادیر تعادلی بلندمدت متغیرها را بدست آورد.



تصویر ۵.۶- پویایی مدل متعارف OLG بدون پیشرفت تکنولوژیک.

با فرض تعادل ایستا خواهیم داشت $k_{t+1} = k_t = k^*$ و آن را در معادله‌ی (۲۷.۵) جایگزین کرده به‌طوری‌که

$$k^* = \left[\frac{\beta(1-\alpha)}{(1+\beta)(1+n)} \right]^{\frac{1}{1-\alpha}} \quad (۲۸.۵)$$

و تولید به ازاء هر نیروی کار نیز در وضعیت یکنواخت و یا تعادل بلندمدت برابر است با $y^* = k^{*\alpha}$

همانند مدل سولو با تابع تولید کاب-داگلاس و بدون پیشرفت تکنولوژی، افزایش موجودی سرمایه به ازاء نیروی کار k_t باعث افزایش تولید به ازاء نیروی کار y_t خواهد شد و بالعکس.

با کمک معادله (۲۸.۵)، ما می‌توان نتایج زیر را در وضعیت یکنواخت استخراج کرد:

- اگر نرخ رشد جمعیت n افزایش یابد، موجودی سرمایه به ازاء نیروی کار، تولید به ازاء نیروی کار، مصرف به ازاء نیروی کار، و دستمزد هر کارگر کاهش خواهد داشت.
- اگر افراد شکیباتر شوند (β کاهش پیدا کند)، سرمایه به ازاء نیروی کار، تولید به ازاء نیروی کار، مصرف به ازاء نیروی کار، و دستمزد هر کارگر افزایش خواهد داشت.
- به خاطر داشته باشید که $\delta=1$ و $\theta=1$ به نحوی است که نه استهلاک و نه ضریب ریسک-گریزی نسبی در k^* ظاهر نمی‌شوند.

به‌طور کلی، پویایی انتقال و پیامدهای وضعیت یکنواخت در مدل OLG به نحوی چشمگیر مشابه با مدل‌های سولو و رمزی-کاس-کوپمنس می‌باشد. بنابراین، نتایج این مدل‌ها در تجزیه و تحلیل اثرات اقدامات سیاستی و تلاش برای آشکار نمودن نیروهای محرک نهفته در پس رشد اقتصادی بلندمدت مشابه است. اما وقتی مدل OLG با اتوماسیون را مورد بحث و بررسی قرار می‌دهیم، از یک سو پیامدهای اتوماسیون کاملاً و به نحوی چشمگیر میان مدل سولو و مدل رمزی-کاس-کوپمنس، و از سوی دیگر از مدل متعارف OLG متفاوت خواهد بود در بخش بعد به این موضوع خواهیم پرداخت.

۶.۵ اتوماسیون در مدل OLG

جهت بررسی اثر اتوماسیون در مدل OLG، مطالعات گس‌تایگر و پرتنر در سال ۲۰۲۰ را مطرح نظر قرار داده، و اقتصادی مشابه با آنچه در بخش ۵.۵ مطرح شد را در نظر گرفته، با این تفاوت که تابع تولید شامل سرمایه اتوماسیون P_t نیز می‌باشد. لذا خواهیم داشت

$$Y_t = K_t^\alpha (L_t + P_t)^{1-\alpha} \quad (۲۹.۵)$$

کارگزار نمونه با تابع مطلوبیت لگاریتمی (۲۲.۵) و قید بودجه (۲۳.۵) رو به رو است. همچنین نرخ رشد جمعیت برابر n است. بنابراین، مسئله بهینه‌سازی فردی تغییر نمی‌کند، به‌طوری‌که ما می‌توانیم رفتار مصرف-پس‌انداز را به وسیله معادله‌ی استاندارد مصرف اوایلر مشخص کنیم:

$$\frac{c_{2,t+1}}{c_{1,t}} = \beta(1+r_{t+1}) \quad (۳۰.۵)$$

مصرف و پس‌انداز را نیز همانند قبل به دست می‌آوریم:

$$c_{1,t} = \frac{1}{1+\beta} w_t, \quad s_t = \frac{\beta}{1+\beta} w_t \quad (۳۱.۵)$$

وقتی پس‌اندازها سرمایه‌گذاری می‌شوند؛ خانوار می‌تواند سرمایه فیزیکی سنتی یا سرمایه اتوماسیون را خریداری کند.^۱

درحالی‌که مصرف مشابه با مدل متعارف OLG است، سرمایه اتوماسیون جانشین کامل نیروی کار است و در طرف تولید اقتصاد آن را وارد می‌کنیم. تحت شرایط رقابت

۱. Geiger, Prettnr, and Schwarzer (۲۰۱۸), Lankisch, Prettnr, and Prskawetz (۲۰۱۹), and Steigum (۲۰۱۱).

کامل در بازار کالاها و عوامل تولید، هر سه عامل تولید معادل تولید (ارزش) نهایی خود را کسب می کنند، به طوری که داریم

$$w_t = R_t^P = (1-\alpha) \left(\frac{K_t}{L_t + P_t} \right)^\alpha \quad (32.5)$$

$$R_t^K = \alpha \left(\frac{L_t + P_t}{K_t} \right)^{1-\alpha} \quad (33.5)$$

همان طور که ملاحظه می شود بدلیل جانشینی کامل بین نیروی کار و سرمایه ی اتوماسیون بین نرخ دستمزد و نرخ بازده سرمایه اتوماسیون R_t^P تمایزی قائل نشده ولی بین نرخ بازده سرمایه اتوماسیون R_t^P و نرخ بازده سرمایه فیزیکی سنتی R_t^K تمایز قائل می شویم. در روابط فوق مشاهده می شود که با افزایش سرمایه ی اتوماسیون نرخ بازده سرمایه فیزیکی سنتی افزایش یافته و دستمزدهای کارگران کاهش می یابد که به واسطه ی رقابت مستقیم با روبات ها و چاپگرهای سه بعدی است.

با بررسی معادلات (32.5) و (33.5) خواهیم داشت

$$\lim_{P_t \rightarrow 0} R_t^P = (1-\alpha) \left(\frac{K_t}{L_t} \right)^\alpha, \quad \lim_{K_t \rightarrow 0} R_t^K = \infty \quad (34.5)$$

به طوری که شروط اینادا در مورد سرمایه اتوماسیون نقض می شود. به عبارتی دیگر، اگر هر دو موجودی سرمایه کم باشند آنگاه سرمایه گذاران منطقی ترجیح می دهند در سرمایه ی سنتی سرمایه گذاری کنند، چون بازده آن بمراتب بیش تر از بازده سرمایه ی اتوماسیون است. اگر موجودی سرمایه فیزیکی سنتی به قدر کافی بزرگ باشد، تعادل درونی در بازار سرمایه رخ می دهد که به موجب آن، سرمایه گذاران منطقی خواهان سرمایه گذاری در هر دو نوع سرمایه خواهند بود. این تعادل درونی بازار سرمایه با رابطه ی عدم وجود آربیتراژ همراه است که در آن $R_t^K = R_t^P$. در غیر این صورت، سرمایه گذاران منطقی تنها خواهان سرمایه گذاری در یک نوع سرمایه خواهند بود که بازده بالاتری برای سرمایه گذاری دارد. از شرط عدم آربیتراژ رابطه میان K_t و P_t از فصل چهارم مجدداً بدست خواهد آمد. یعنی

$$P_t = \left(\frac{1-\alpha}{\alpha} \right) K_t - L_t \quad (35.5)$$

با در نظر گرفتن امکان جواب های گوشه ای که در آن، افراد در سرمایه اتوماسیون سرمایه گذاری نمی کنند، موجودی سرمایه ی اتوماسیون را می توان به صورت زیر نوشت:

$$P_t = \max \left\{ \left(\frac{1-\alpha}{\alpha} \right) K_t - L_t, 0 \right\} \quad (36.5)$$

اگر $P_t = 0$ باشد تابع تولید همان تابع تولید متعارف مدل OLG خواهد بود که در آن، موجودی سرمایه به ازاء هر کارگر در وضعیت یکنواخت و درآمد به ازاء هر کارگر در وضعیت یکنواخت ثابت خواهند بود.

برای حل مدل در وضعیت یکنواخت با تعادل داخلی بازار سرمایه، رابطه‌ی عدم آربیتراژ (۳۵.۵) را در تابع تولید (۲۹.۵) جایگزین می‌کنیم تا فرمول زیر به دست آید

$$Y_t = \left(\frac{1-\alpha}{\alpha} \right)^{1-\alpha} K_t \quad (۳۷.۵)$$

که مجدداً مشابه با تابع تولید از نوع AK است که در آن $A = [(1-\alpha)/\alpha]^{1-\alpha}$ همانند فصل چهارم است. بنابراین، احتمال رشد اقتصادی بلندمدت در مدل OLG با اتوماسیون و بدون پیشرفت تکنولوژیک وجود دارد، زیرا تولید نهایی سرمایه که عامل همگرایی با سمت تعادل در وضعیت یکنواخت و عدم وجود رشد است کاهنده نیست.

در نتیجه، در هر دو مدل رشد نئوکلاسیک کارگزار نمونه با اتوماسیون، و مدل رشد سولو با اتوماسیون، احتمال رشد بلندمدت ناشی از اتوماسیون وجود دارد، زیرا اتوماسیون، تابع تولید کل را به تابع تولید مدل AK تبدیل می‌کند.^۱

هرچند در مورد مدل OLG، این حقیقت که تابع تولید کل نشان دهنده‌ی ساختار مدل AK است، برای حفظ رشد بلندمدت اقتصاد کافی نیست. با فرض آنکه دو نوع سرمایه در طول دوره حیات یک نسل به‌طور کامل مستهلک می‌شوند، به‌طوری‌که موجودی کل هر دو نوع سرمایه در زمان $t+1$ به وسیله سرمایه‌گذاری کل در دوره t تعیین می‌شود، نتیجه می‌گیریم

$$K_{t+1} + P_{t+1} = s_t L_t = \frac{\beta(1-\alpha)}{1+\beta} \left(\frac{K_t}{L_t + P_t} \right) L_t \quad (۳۸.۵)$$

و با تقسیم معادله (۳۸.۵) بر L_{t+1} و جایگزین کردن آن در شرط عدم وجود آربیتراژ (۳۵.۵)، خواهیم داشت

$$k_t = \alpha + \alpha \frac{\beta}{1+\beta} \left(\frac{1-\alpha}{1+n_t} \right) \left(\frac{\alpha}{1-\alpha} \right)^\alpha \quad (۳۹.۵)$$

واضح است که پویایی انتقالی وجود ندارد، زیرا طرف راست فرمول به زمان t وابسته نیست. چون طرف راست این معادله تنها منوط به پارامترهای ثابت است، نسبت

۱. Lankisch et al., ۲۰۱۹; Prettnner, ۲۰۱۹; Steigum, ۲۰۱۱

سرمایه به ازاء نیروی کار نمی تواند رشد کند. بنابراین، سرمایه به ازاء نیروی کار در اقتصاد از $k_{t+1} = k_t = k^*$ بدست می آید. نتیجه آن که تولید به ازاء نیروی کار راكد شده و هیچ پتانسیلی برای رشد اقتصادی بلندمدت وجود نخواهد داشت.^۱

گزاره ۱.۵ :

در مدل متعارف OLG با اتوماسیون،

- سمت تولید در اقتصاد دارای ساختاری همانند مدل رشد AK است؛ و
- علی رغم نکته‌ی قبل، اقتصاد دستخوش رکود می شود و بالتبع، پتانسیلی برای رشد اقتصادی بلندمدت موجود نخواهد داشت.

نتایجی که در گزاره ۱.۵ خلاصه شده، در تضادی چشمگیر با مدل رشد نئوکلاسیک با اتوماسیون، و با کارگزار نمونه، و مدل های رشد سولو با اتوماسیون می باشد.^۲ زیرا

- در هر دو مدل رشد سولو و مدل رمزی-کاس-کوپمانس، افراد تمام درآمد خود (درآمد سرمایه‌ای به علاوه درآمد حاصل از نیروی کار دستمزد) را پس انداز/ سرمایه گذاری می کنند، درحالی که در مدل OLG، کارگزار نمونه فقط درآمد حاصل از کار یا دستمزد را پس انداز یا سرمایه گذاری می کند.

- در مدل متعارف OLG افراد در نسل اول فاقد دارایی هستند. هرچند سرمایه اتوماسیون فشاری رو به پایین به درآمدهای کار وارد می کند، و به تبع آن تنها منبع سرمایه گذاری در مدل را کاهش می دهند. این دور باطل در میان سرمایه گذاری، اتوماسیون، و دستمزدهای نزولی، مانع می شود که اقتصاد رشد کند، حتی وقتی طرف تولید اقتصاد دارای ساختار AK باشد. این نتیجه برای مدل OLG متعارف توضیح می دهد که چرا مدل های اتوماسیون که متکی بر ساختار OLG هستند^۳ نتایج به مراتب بدبینانه تر با توجه به اثرات اتوماسیون بر رشد اقتصادی در مقایسه با مدل سولو و مدل رشد نئوکلاسیک کارگزار نمونه دارند.

۱. Gasteiger & Prettnner, ۲۰۲۰

۲. Lankisch et al., ۲۰۱۹; Prettnner, ۲۰۱۹; Steigum, ۲۰۱۱

۳. Benzell, Kotlikoff, LaGarda, & Sachs, ۲۰۱۵; Sachs & Kotlikoff, ۲۰۱۲; Sachs, Benzell, & LaGarda, ۲۰۱۵

۷.۵ بحثی درباره بسط مدل

۱.۷.۵ پیشرفت فناوری درون‌زا و اتوماسیون

مدل‌هایی که تاکنون توضیح داده شد، نقش پیشرفت فناوری ناشی از R&D در رشد اقتصادی بلندمدت را در نظر نگرفته‌اند. با این حال می‌دانیم که حداقل رومر^۱ در سال ۱۹۹۰ و بسیاری از پژوهش‌ها پس از آن در نظریه‌ی رشد درون‌زا، نیمه درون‌زا، شومپیتری، و تئوری رشد یکپارچه که پیشرفت فناوری مهمترین محرک رشد اقتصادی بلندمدت است سهم بسزایی داشته‌اند. تمرکز بر مدل‌های رشد سولو، مدل رمزی-کاس-کوپمانس و مدل دایموند با هدف فراهم کردن مقدمه‌ای بر اثرات بالقوه اتوماسیون توجیه می‌شود. در این بخش، نظری اجمالی به این مسئله خواهیم داشت که اثرات احتمالی اتوماسیون با پیشرفت فناوری درون‌زا چگونه است. برای این منظور، به اختصار نتیجه آثار پژوهش اخیر عجم‌آغلو و رسترو، هموس و اولسن، و پرتنر و استرولیک^۲ را مورد بحث قرار می‌دهیم که در آن‌ها روابط متقابل میان اتوماسیون و نوآوری‌ها مبتنی بر R&D، و همچنین اثرات نوآوری و اتوماسیون نسبت به نابرابری و رشد اقتصادی تجزیه و تحلیل می‌شود. این سه تحقیق، از بعد نظری متفاوتند، ولی اکثر نتایج آن‌ها به نحوی چشمگیر مشابه می‌باشند.

مطالعات عجم‌آغلو و رسترو، و هموس و اولسن مبتنی بر چارچوب کارگزار نمونه بدون آموزش درون‌زاست، درحالی که پرتنر و استرولیک ساختار اقتصادی OLG را در نظر می‌گیرند که در آن، کارگران جوان سرمایه‌گذاری می‌کنند تا مهارت‌های خویش، مثلاً آموزش عالی درون‌زا را ارتقاء بخشند این نکته بازتاب مسابقه بین آموزش و فناوری است.^۳ در سمت بنگاه، عجم‌آغلو و رسترو بر زمینه‌هایی با انواع وظایف کاری تمرکز می‌کنند، درحالی که هموس و اولسن^۴ در سال ۲۰۱۸ تمرکز خود را بر انواع کالاهای واسطه‌ای ناهمگن معطوف می‌نمایند که برای تولید کالاهای نهایی مورد استفاده قرار می‌گیرند. به جز مواردی خاص، وظایف و کالاهای خدمات مختلف به وسیله‌ی نیروی کار یا روبات‌هایی انجام شده و یا تولید می‌شوند. روبات‌ها جایگزین کامل کارگرانی فاقد مهارت هستند. در گام نخست، بخش R&D خالق وظایف و کالاهای تازه‌ای است که

۱. Romer (۱۹۹۰)

۲. Acemoglu and Restrepo (۲۰۱۸)، He´mous and Olsen (۲۰۱۸)، and Prettnner and Strulik (۲۰۲۰)

۳. Acemoglu & Autor, ۲۰۱۲; Goldin & Katz, ۲۰۰۹

۴. He´mous and Olsen (۲۰۱۸)

ابتداً غیرمکانیزه بوده‌اند. در گام دوم، بنگاه‌ها می‌توانند سرمایه‌گذاری در خودکارسازی تولید را انتخاب کنند. در این زمینه، کارگران برخوردار از مهارت‌های کمتر، از نوآوری‌های تازه منتفع شده زیرا این نوآوری‌ها می‌تواند دامنه‌ای از وظایف غیرخودکار را افزایش دهند. اتوماسیون به خودی خود حتی می‌تواند برای کارگران ماهر نیز مفید باشد. زیرا سهم فزاینده وظایف مکانیزه می‌تواند به مشوق‌های بالاتری برای نوآوری ختم شده، و به تبع آن وظایف تازه‌ای را معرفی کند که ابتداً مکانیزه نبوده‌اند. در مقابل، پریتنر و استرولیک فرض می‌کنند که فنآوری‌های اتوماسیون (ثبت اختراع برای ماشین‌های کاراندوز) مستقیماً با نوآوری‌های تازه ایجاد می‌شوند. مان و پوتمان^۱ در سال ۲۰۱۷ نشان می‌دهند سهم ثبت اختراع مرتبط با اتوماسیون از ۲۵٪ در سال ۱۹۷۶ به ۶۷٪ در سال ۲۰۱۴ افزایش یافته است.

درحالی‌که چارچوب‌های مطرح شده توسط عجم‌اغلو و رستریو، هموس و اولسن نسبت به اثرات اتوماسیون بر کارگران کم‌مهارت، کمی خوشبینانه‌تر است، ولی نتایج کلی این سه مقاله به نحوی چشم‌گیر مشابه هستند. به‌طور اجمال، اتوماسیون باعث رشد اقتصادی سریع‌تر، نابرابری بالاتر در دستمزدها، و کاهش در سهم درآمدی نیروی کار است.^۲

چو و همکاران^۳ در سال ۲۰۱۸ مدل رشد مبتنی بر R&D شومپتری با اتوماسیون افزوده، و میزان اثرگذاری سوبسیدهای R&D و سوبسیدهای اتوماسیون بر رشد اقتصادی و رفاه را به صورت کمی برآورد کرده‌اند. چنان که می‌توان حدس زد، یارانه‌های R&D سبب افزایش نوآوری و کاهش در اتوماسیون می‌شوند، درحالی‌که عکس آن برای سوبسیدهای اتوماسیون صدق می‌کند. به‌طور کلی، اثر این دو نوع سوبسید بر رشد اقتصادی به صورت U معکوس می‌باشد. آن‌ها با کالیبراسیون این مدل با توجه به داده‌های ایالات متحده نشان می‌دهند که اثر سوبسیدهای R&D بسیار بزرگ هستند، درحالی‌که سوبسیدهای اتوماسیون بر رشد اقتصادی تاثیر بسیار کم‌تری دارند.

نکته‌ی جالبی که تمامی این پژوهش‌ها در نظر نمی‌گیرند آن است که فنآوری‌های هوشمند جدید، خود R&D را سرعت خواهند بخشید. ونتورینی^۴ در سال ۲۰۱۹ نشان می‌دهد که فنآوری‌های تازه مانند یادگیری عمیق می‌توانند به نحوی عالی، کارایی تولید

۱. Mann and Pu'ttmann's (۲۰۱۷)

۲. Berg, Buffie, & Zanna, ۲۰۱۸

۳. Chu, Cozzi, Furukawa, and Liao (۲۰۱۸)

۴. Venturini (۲۰۱۹)

ناشی از R&D را در بلندمدت ارتقاء بخشند.^۱ به کارگیری این یافته‌ها در مدل‌های رشد مبتنی بر R&D، یقیناً مسیری نویدبخش به سمت تحقیقات بیشتر است، و می‌تواند تا آن اندازه تحلیل را میسر دارد که پیش‌بینی‌هایی نظیر تکینگی که در فصل اول مورد بحث قرار داده شد را از جنبه نظری محتمل گرداند.

۲.۷.۵ بیکاری تکنولوژیکی

یکی از نگرانی‌های ظهور فنآوری‌های جدید، و بالاخص پیشرفت سریع اتوماسیون، نیاز کمتر به کارگران برای تولید کالاها و خدمات و احتمالاً بیکاری گسترده است که اقتصاد بدان دچار می‌شود.^۲ در مباحث قبل بسیاری از مسیرها و مکانیزم‌های تعدیل تعادل عمومی را که به وسیله آن‌ها پیشرفت فنآوری و اتوماسیون منجر به افزایش بیکاری تکنولوژیکی مشهود،^۳ یا کاهش در ساعات کار به ۱۵ ساعت کار در هفته تا سال ۲۰۳۰ نمی‌شود را مورد بررسی قرار دادیم. در این بخش، کانال‌های دیگری مورد بحث قرار داده می‌شوند که به وسیله آن‌ها، بیکاری ناشی از پیشرفت فنآوری می‌تواند بر مبنای مدل‌های بازار کار با اتوماسیون بروز نماید.

به‌طور کلی، مطالعات اندکی پیرامون امکان بیکاری تکنولوژیک در مدل‌های رشد انجام شده است. زیرا در چارچوب‌های مدل رشد سولو، یا رمزی-کاس-کوپمانس، و یا دایموند، عرضه نیروی کار بی‌کشش است، به‌طوری‌که کارگران مایلند تمام زمان کاری موجود خویش را در هر نرخ دستمزدی به بازار کار عرضه کنند. البته این امر در واقعیت صدق نمی‌کند، و عرضه‌ی کار با کشش می‌تواند به بیکاری ارادی منجر شود، زیرا دستمزدهای نزولی عمدتاً مربوط به کارگران با مهارت‌های کمتر، می‌تواند افراد با عدم مطلوبیت بالاتر نسبت به کار را به رها کردن مشاغل خود ترغیب نمایند. بنابراین، بخش چشمگیر اثر اتوماسیون می‌تواند بر اساس تعدیلات در اشتغال به تبع تعدیلات در دستمزدها صورت پذیرد.

در مدل پرتنر و استرولیک^۴ در سال ۲۰۱۷، این نکته به نحوی ساده تبیین شده است. به زعم آن‌ها منافع تأمین اجتماعی اساساً به کارگرانی با دستمزدهای کمتر که بدان

۱. Pratt, ۲۰۱۵

۲. Arntz, Gregory, & Zierahn, ۲۰۱۷; Bloom, McKenna, & Prettnner, ۲۰۱۸, ۲۰۱۹; Ford, ۲۰۱۵; Frey & Osborne, ۲۰۱۷; The Economist, ۲۰۱۴

۳. Hansen, ۱۹۳۱

۴. Prettnner and Strulik (۲۰۱۷)

محتاج‌تر هستند پرداخت می‌شود، ضمن این‌که این گروه به نحوی نامتناسب به واسطه‌ی اتوماسیون بیکار می‌شوند. اگر تأمین اجتماعی از محل مالیات‌های درآمد کارگران ماهر که دستمزدهای آن‌ها با اتوماسیون افزایش داشته نیز تأمین مالی شود، آنگاه، منابع موجود برای تأمین اجتماعی به همان اندازه‌ی دستمزدهای کارگران کم‌مهارت کاهش نخواهد یافت. بنابراین، گزینه خارجی برای کارگران کم‌مهارت به مرور زمان جذاب‌تر خواهد شد، به‌طوری‌که درمی‌یابند دریافت حداقل دستمزد از محل کار برای آن‌ها مطلوب نیست. لذا کارگران رو به رشد کم‌مهارت ترغیب می‌شوند تا مشاغل خود را رها کرده، و از رهگذر منافع تأمین اجتماعی در عوض درآمد به شکل دستمزد امرار معاش کنند. گرچه این مکانیزم می‌تواند بیکاری ارادی را افزایش دهد، اما دغدغه این امر کمتر از بیکاری غیرارادی است.

تجزیه و تحلیل این‌که بیکاری غیرارادی تا چه اندازه می‌تواند با اتوماسیون افزایش یابد مستلزم مدلی است که به وضوح نشان دهد در شرایط غیرشفاف بودن بازارهای کار، نرخ دستمزد در تعادل بالاتر از ارزش تولید نهایی کار قرار دارد. برای روش‌های مدل سازی ارزش اضافه دستمزد توأم با بیکاری غیرارادی می‌توان به مدل اصطکاک‌های جستجو در بازارهای کار که تبلیغات و پُر کردن فرصت‌های شغلی خالی را برای بنگاه‌ها گران می‌کند،^۱ یا دستمزدهای کارا که بالاتر از حداقل دستمزد برای ترغیب کارگران به حداکثر تلاش خود،^۲ اشاره کرد. پرتنر و استرولیک در سال ۲۰۲۰ در بسط مدل خویش، بیکاری تعادلی را مطابق با نظریه دستمزد منصفانه‌ی اکرلوف و یلین^۳ معرفی می‌کنند. بر این اساس چون دستمزد کارگران ماهر با رشد ناشی از نوآوری افزایش می‌یابد، و دستمزد کارگران کمتر ماهر کاهش می‌یابد و یا بدون تغییر باقی می‌ماند، کارگران کمتر ماهر دستمزدهای خود را در مقایسه با کارگران ماهر غیرمنصفانه تلقی کرده و متقاضی دستمزدهای بالاتر از دستمزدهای تسویه‌ی بازار می‌شوند، که به بیکاری در تعادل ختم می‌شود. همچنان که اتوماسیون پیشرفت می‌کند، شکاف بین نرخ دستمزد تسویه‌کننده‌ی بازار و دستمزد تعادلی افزایش پیدا کرده و در وضعیت یکنواخت به بیکاری تکنولوژیک منجر خواهد شد.

۱. Mortensen & Pissarides, ۱۹۹۴; Pissarides, ۲۰۰۰

۲. Akerlof & Yellen, ۱۹۹۰; Shapiro & Stiglitz, ۱۹۸۴

۳. Akerlof and Yellen (۱۹۹۰)

مدل پرتنر و استرولیک دارای نیروی متقابلی نیز هست. به عبارت دیگر، افراد دارای مهارت‌های کمتر، برخوردار از استراتژی ثانویه، مثلاً ارتقاء مهارت‌های خویش، برای گریز از دستمزدهای رکودی هستند.^۱ اگر افراد بیشتری مهارت‌های خود را ارتقاء بخشند، مجموعه کارگران کم‌مهارت کاهش یافته، فشار کاهش دستمزدها، و بیکاری کارگران کمتر ماهر تقلیل خواهد یافت. پرتنر و استرولیک (۲۰۲۰) با کالیراسون مدل خود نشان می‌دهند که بیکاری کارگران کمتر ماهر حتی می‌تواند برای مدت مدیدی کاهش پیدا کند زیرا ارتقاء مهارت‌ها می‌تواند اثرات اتوماسیون را تحت شرایط پارامترهای منطقی بیشتر جبران کند. این مکانیزم ارتقاء بخشی مهارت با این حقایق آشکار شده سازگار است که سهم کارگران تحصیلکرده دانشگاهی در خلال چند دهه‌ی گذشته افزایش داشته، و به تبع آن شاهد بیکاری تکنولوژیک فزاینده به واسطه اتوماسیون نبوده‌ایم.

کوردز و پریتنر در سال ۲۰۱۹ و گوماریس و مزدا گیل در سال ۲۰۱۹،^۲ تحلیل خود از بیکاری ناشی از اتوماسیون را در مدل جستجو و تطبیق مورتنسن و پیساردیز^۳ ارائه می‌کنند. کوردز و پریتنر در مطالعه‌ی خود دریافتند که کارگران کمتر ماهر آسانتر از کارگران بیشتر ماهر به وسیله روبات‌ها جایگزین می‌شوند. کوردز و پریتنر نرخ‌های بیکاری تعادلی دو بازار کارگران کمتر ماهر و ماهر را استخراج نموده، و نشان می‌دهند که اتوماسیون سبب انقباض بازار کار در بازار کارگران کمتر ماهر و انبساط بازار کارگران بیشتر ماهر می‌شود. در نتیجه، با اتوماسیون بیکاری کارگران کمتر ماهر افزایش، و بیکاری کارگران بیشتر ماهر کاهش خواهد یافت. با کالیراسیون مدل و با استفاده از داده‌های کشور آلمان، مؤلفین درمی‌یابند که اثر اتوماسیون در کارگران بیشتر ماهر قوی‌تر است، به‌طوری‌که کل بیکاری به واسطه اتوماسیون کاهش پیدا می‌کند. زیرا افزایش در ایجاد بنگاه به واسطه دسترس‌پذیری روبات‌ها می‌تواند بخشی از افزایش در بیکاری کارگران کمتر ماهر را جبران کند. به علاوه، کاهش در بیکاری کارگران ماهر به واسطه ایجاد بنگاه در بخش کارگران ماهر، باقیمانده افزایش در بیکاری کارگران کمتر ماهر را بیش از پیش جبران می‌کند. نتیجه کلی صعود اشتغال و کاهش بیکاری به واسطه اتوماسیون، با یافته‌های تجربی آتور و سالمونز، و گرگوری، سالمونز، و زیران که

۱. Acemoglu & Autor, ۲۰۱۲; Goldin & Katz, ۲۰۰۹

۲. Cords and Prettner (۲۰۱۹) and Guimaraes and Mazedra Gil (۲۰۱۹)

۳. Mortensen and Pissarides (۱۹۹۴)

به واسطه اتوماسیون در کشورهای عضو سازمان همکاری و توسعه اقتصادی، مشاغلی را پدید آورده‌اند که بیشتر از مشاغل از دست رفته است سازگار است.^۱ درحالی‌که گویماریس و مزدا گیل^۲ خلاصه‌وار از تفاوت‌های مهارتی میان کارگران مختلف سخن به میان می‌آورند، نتیجه به دست آمده توسط آن‌ها با کالیراسیون بازار کار در ایالات متحده به نتیجه‌گیری مشابه ختم می‌شود. به علاوه، گویماریس و مزدا گیل نشان می‌دهند که سهم درآمدی نیروی کار به واسطه اتوماسیون کاهش پیدا می‌کند.

روی هم رفته، نتایج مطالعات کوردز و پرتنر، و گویماریس و مزدا گیل بخشی از پازلی را پوشش می‌دهد که چرا بیکاری تکنولوژیکی فزاینده رخ نداده است.

۳.۷.۵ تجارت بین‌الملل، سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی و اتوماسیون به عنوان بسط نهایی، اثرات محتمل اتوماسیون بر تجارت بین‌الملل و سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی (FDI)^۳ را مورد بررسی قرار می‌دهیم. در این زمینه، جهانی‌سازی به روند تولید خارجی در کشور با دستمزد کم‌تر در دهه‌های اخیر اشاره دارد. کاهش هزینه‌های حمل و نقل، تولید کالاها را به کشورهای فقیرتر منتقل می‌کند. در این صورت صدور کالاهای ساخته شده به مصرف‌کنندگان در کشورهای ثروتمندتر، سودآوری بیشتری برای بنگاه‌های تولیدکننده دارد. این امر به بنگاه‌ها امکان داده تا از دستمزدها و هزینه‌های تولید کم‌تر کشورهای فقیر منتفع شوند. هر چند در تازه‌ترین گزارش‌ها، برخی بنگاه‌ها به کشورهای ثروتمند بازگشته‌اند.^۴ زیرا افزایش دستمزدها در کشورهای کم درآمد یا با درآمد متوسط، بالخص چین، باعث شده مزیت تولید در آن کشورها را از میان ببرد. ضمن آن که اتوماسیون تولید بخشی از کالاها که مستلزم نیروی کار کم‌مهارت و ارزان بود را در کشور مبدأ میسر ساخته است.^۵

۱. Autor and Salomons (۲۰۱۷، ۲۰۱۸) and Gregory, Salomons, and Zierahn (۲۰۱۶)

۲. Guimaraes and Mazeda Gil (۲۰۱۹)

۳. Foreign direct investment

۴. Carbonero, Ernst, & Weber, ۲۰۱۸; Chu, Cozzi, & Furukawa, ۲۰۱۳; Krenz, Prettnner, & Strulik, ۲۰۱۸; Tate, ۲۰۱۴; The Economist, ۲۰۱۳

۵. Krenz et al., ۲۰۱۸

به منظور درک این تأثیر، ابلیانسکی و مارتینز-زارزوس و پرتنر^۱ در سال ۲۰۲۰ فناوری چاپ سه بعدی را به مدل تجارت و FDI- که توسط هلیمن و ملیتز و یلپ^۲ پیشنهاد شده، معرفی کردند، که بسط مدل ملیتز در سال ۲۰۰۳ می‌باشد.^۳ طرح‌های کلی تولید به وسیله‌ی چاپگر سه بعدی را می‌توان فوراً به آن سوی دنیا ارسال نمود. سرمایه‌ی فیزیکی در قالب چاپگر سه بعدی می‌تواند شیء متناظر را هر زمان که درخواست شد (البته در کشور مبدأ)، چاپ کند. این شکل تولید بالخص برای محصولاتی که اغلب سفارشی است سودمند می‌باشند و مستلزم نیروی کار متخصص است. فناوری چاپ سه بعدی بیانگر آن است که بنگاه‌های کاربر آن، کمتر از همیشه به عرضه کار در مکان‌هایی که تولید می‌کنند متکی خواهند بود، و تهدید بالقوه استراتژی رشد ناشی از صادرات در کشورهای فقیرتر که به FDI کشورهای ثروتمندتر متکی بودند کمتر می‌شود. درحالی که ابلیانسکی و دیگران تصدیق می‌کنند که این فناوری آنقدر پیشرفت نکرده که پیامدهای مقیاس کلان آن تحقق یابد.

به‌طور کلی، ظهور فناوری‌های اتوماسیون می‌تواند دستمزد در کشورهای ثروتمند را کاهش دهد. کرنز و همکاران^۴ مدل تولید با کارگران مهارت کم و ماهر را پیشنهاد می‌کنند که در آن، روبات‌ها در ابتدا چندان مولد نیستند. در این مرحله برخی بنگاه‌ها که با هزینه‌های نازل تجارت مواجهند، از تولید در آن سوی مرزها و در کشورهای با دستمزدهای کم منتفع می‌شوند. اما با افزایش بهره‌وری روبات‌ها، مشوق‌های سرمایه‌گذاری در خارج کاهش می‌یابد. همچنان که بنگاه‌ها شروع به بازگشت به کشورهایی با دستمزد بالا می‌کنند، بخش تولید با کارگران ماهر منتفع شده، درحالی که روبات‌ها جایگزین کارگران کم‌مهارت می‌شوند.

۸.۵ خلاصه

این فصل ابتدا راهنمایی آسان برای استفاده در بهینه‌سازی ایستا به روش لاگرانژ برای مسائل بهینه‌سازی با قیود برابری، و روش کاروش-کان- تاکر برای مسائل بهینه‌سازی با

۱. Abelianky, Martinez-Zarzoso, and Prettner (۲۰۲۰)

۲. Helpman, Melitz, and Yeaple (۲۰۰۴)

۳. Melitz (۲۰۰۳)

۴. Krenz et al. (۲۰۱۸)

قیود نابرابری و غیرمنفی نسبت به متغیرها را فراهم می‌کند. به علاوه، دستورالعمل‌های گام به گام برای بهینه‌سازی پویا در زمان گسسته به روش لاگرانژ در مورد دو دوره زمانی، و در زمان پیوسته به روش نظریه‌ی کنترل بهینه را فراهم می‌سازد. این روش‌ها برای دو مدل اقتصاد کلان پویای مدرن یعنی مدل رمزی-کاس-کوپمانس و مدل OLG مورد استفاده قرار می‌گیرند. این مدل‌ها، هسته تمام مدل‌های اقتصادی کلان حال حاضر را تشکیل می‌دهند تا پرسش‌های مرتبط با رشد اقتصادی بلندمدت و نوسانات چرخه‌های تجاری تجزیه و تحلیل گردند.

چارچوب‌های بنیادی این مدل‌ها بسط داده شد و سرمایه اتوماسیون نیز بدان افزوده شد تا پیامدهای اتوماسیون بر رشد اقتصادی و سهم درآمدی نیروی کار بر اساس آن‌ها تحلیل شود. ملاحظه شد که برخی از پیامدهای اصلی ارائه شده در فصل چهارم در این مفروضات نیز بدست می‌آیند. مثلاً، مدل رشد نئوکلاسیک با اتوماسیون و مدل OLG با اتوماسیون مبین تابع تولید AK می‌باشد. به علاوه، یکی از تفاوت‌های مهم مدل رمزی-کاس-کوپمانس با اتوماسیون را از مدل OLG با اتوماسیون ملاحظه کردیم. جالب آنکه اکثر نتایج این دو مدل بدون اتوماسیون مشابه هستند، اما نتایج آن‌ها با توجه به اتوماسیون متفاوت می‌باشند. درحالی‌که مدل رمزی-کاس-کوپمانس با اتوماسیون بیانگر آن است که رشد اقتصادی بلندمدت با پیشرفت فناوری، مشابه مدل رشد سولو با اتوماسیون است، ولی مدل متعارف OLG این احتمال را نفی می‌کند. علت آن است که افراد در مدل رمزی-کاس-کوپمانس از محل کل درآمدهای خویش پس‌انداز/سرمایه‌گذاری می‌کنند؛ در صورتی که در مدل OLG، از محل درآمد دستمزد در دوره‌ی نخست زندگی خود پس‌انداز می‌کنند. گرچه کل درآمد کل با پیشرفت اتوماسیون دلیل درآمد رو به رشد سرمایه، افزایش می‌یابد، ولی درآمد دستمزد کاهش خواهد یافت. این بدان معناست که در مدل OLG، اتوماسیون تنها منبع پس‌انداز/سرمایه‌گذاری را کاهش می‌دهد، و بالتبع، رشد ناشی از اتوماسیون را متوقف می‌سازد.

سرانجام آنکه در این فصل، سه موضوع دیگر مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد: (۱) پیامدهای اتوماسیون با پیشرفت تکنولوژیکی درونزا، (۲) بیکاری تکنولوژیک، و (۳) پیامدهای اتوماسیون با تجارت بین‌الملل و FDI. درخصوص مدل‌های اتوماسیون با پیشرفت فناوری درونزا، ملاحظه می‌شود که اتوماسیون، رشد اقتصادی را ارتقاء می‌بخشد، سهم درآمدی نیروی کار را کاهش می‌دهد، و دارای پتانسیل افزایش نابرابری دستمزد و نابرابری درآمد است. هر چند مدل‌های اتوماسیون با پیشرفت تکنولوژیک

درون‌زا با تحلیلی غنی‌تر امکان می‌دهند که سرمایه‌گذاری‌های R&D درون‌زا و بخش‌های متفاوت نوآوری در نظر گرفته شوند.

انواع روش‌ها برای معرفی بیکاری تکنولوژیک در مدل‌های اولیه وجود دارد. برای مثال، بیکاری ارادی می‌تواند پیامد رکود یا کاهش دستمزدها در ارتباط با منافع تأمین اجتماعی ثابت و یا حتی فزاینده باشد. بیکاری غیرارادی می‌تواند از اصطکاک جستجو یا از ملاحظات دستمزد کارا منتج شود. جالب آنکه در هر دو مورد بیکاری غیرارادی، اصطکاک‌های جستجو و تطبیق، و ملاحظات دستمزد کارا، کالیبراسیون مدل نشان می‌دهند که اتوماسیون می‌تواند منجر به کاهش بیکاری برای پارامترهای منطقی و دوره‌های زمانی طولانی باشد. این نتیجه مبین آن است که چرا با اتوماسیون، بیکاری افزایش نیافته است.

سرانجام پیامدهای اتوماسیون و چاپ سه بعدی تجارت بین‌الملل و FDI را بررسی کرده‌ایم. با ظهور چاپگر سه بعدی تولید کالاهای سفارشی بدون نیاز به کارگران کم‌مهارت ممکن می‌شود. بنابراین، محصولات بیشتری در داخل تولید شده، و تولید داخلی در آینده جانشین تجارت خواهد شد. اتوماسیون، تولید در کشورهای ثروتمند را ارزانتر کرده، و در عین حال، دستمزدها در بسیاری از کشورهای فقیرتر افزایش یافته، لذا نیروهای فوق استراتژی رشد صادرات-محور را توضیح داده که بسیاری از کشورها با درآمد کم در طی دهه‌های گذشته از آن پیروی کرده‌اند.

فصل ششم:

اتوماسیون و چالش‌های تغییرات جمعیتی

۱.۶ مقدمه

در چند دهه‌ی گذشته نرخ باروری کل، نه تنها در کشورهای با درآمد بالا بلکه در سطح جهانی نیز کاهش یافته است.^۱ نرخ باروری کل یا TFR^۲ عبارت است از میانگین تعداد فرزندان^۳ی که یک زن در طول دوران باروری خود (معمولاً از ۱۵ تا ۴۹ سال) به دنیا می‌آورد. در نمودار ۱.۶ نرخ باروری کل در سال‌های ۱۹۶۰ تا ۲۰۱۵ نشان داده شده که در آن خط پیوسته نرخ باروری جهان و خط نقطه چین نرخ باروری کشورهای سازمان همکاری اقتصادی و توسعه (OECD) را به عنوان نمونه‌ای از کشورهای با درآمد بالا نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در سطح جهانی نرخ باروری کل از ۵ فرزند در سال ۱۹۶۰ به ۲.۴۵ فرزند در سال ۲۰۱۵، و در کشورهای OECD این نرخ از ۳.۲۳ فرزند به ۱.۷۴ فرزند در دوره زمانی مشابه کاهش یافته است. بنابراین، در کشورهای OECD، امروزه نرخ باروری کل کمتر از نرخ جایگزینی^۳ بلندمدت ۲.۱ نفر است. این نرخ مبین جمعیت ثابت در بلندمدت با توجه به عدم مهاجرت خالص در منطقه می‌باشد.^۴

نرخ جایگزینی در کشورهای با درآمد بالا که نرخ مرگ و میر در آن‌ها پایین است، نزدیک به ۲.۰ می‌باشد. اما به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای در کشورهایی با نرخ مرگ و میر بالاتر، برای مثال در هند، نرخ جایگزینی بیشتر از ۲ می‌باشد. درک این نکته مهم است که حتی در مناطقی که مهاجرت به آن صورت نمی‌گیرد، گاهی اوقات نرخ باروری کل کمتر از نرخ جایگزینی است، ولی نرخ رشد جمعیت مثبت است. این نکته ریشه در

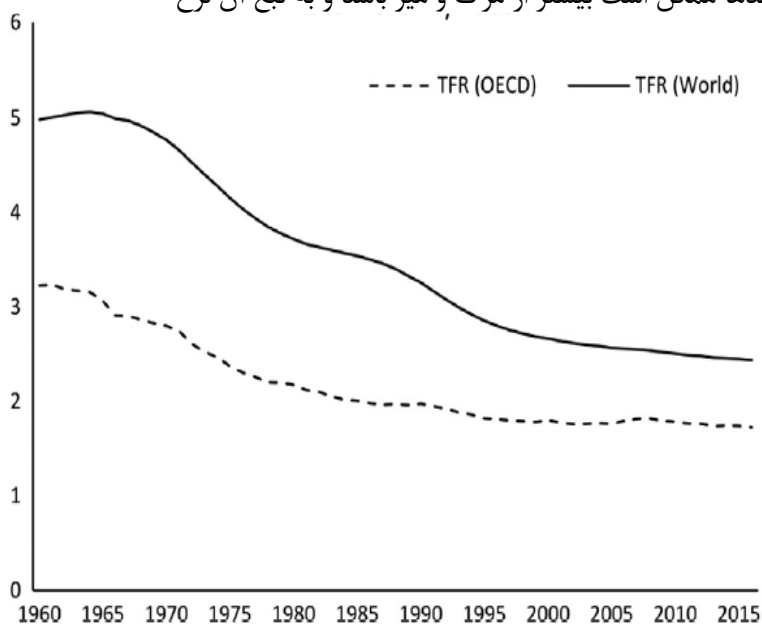
۱. Bloom, ۲۰۱۱, ۲۰۲۰

۲. Total Fertility Rate

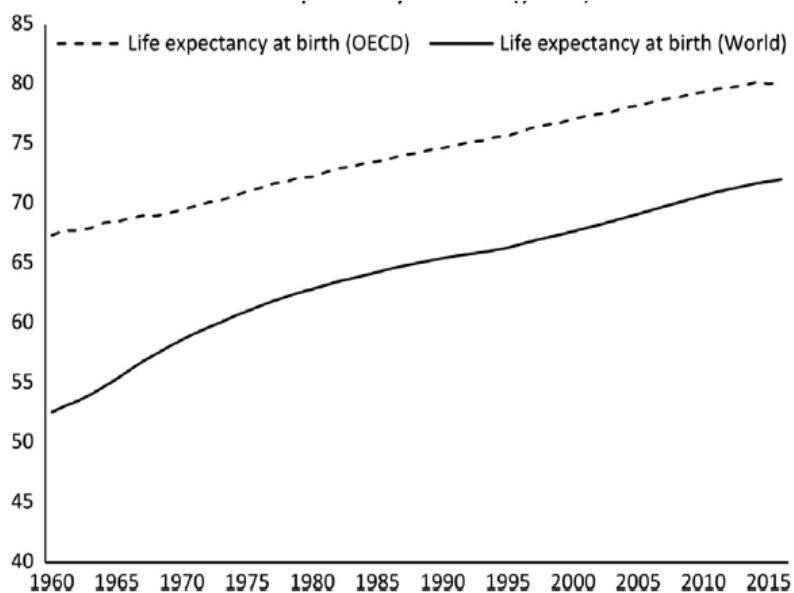
۳. در نرخ جایگزینی، جمعیت گذشته بخاطر مرگ و میر با جمعیت جدید به دلیل زاد و ولد جبران شده و لذا جمعیت ثابت است.

۴. Preston, Heuveline, & Guillot, ۲۰۰۱

ساختار جمعیتی و هرم سنی دارد. مثلاً اگر بسیاری از زنان جامعه در سن باروری اولیه باشند، تولدها ممکن است بیشتر از مرگ و میر باشد و به تبع آن نرخ



نمودار ۱.۶ نرخ باروری در جهان. داده‌های بانک جهانی ۲۰۱۹



نمودار ۲.۶ امید به زندگی در بدو تولد، بانک جهانی ۲۰۱۹

نمودار ۲.۶ روند امید به زندگی در بدو تولد را از سال ۱۹۶۰ تا ۲۰۱۵ نشان می‌دهد. میانگین امید به زندگی در جهان از ۵۳ سال در سال ۱۹۶۰ به ۷۲ سال در سال ۲۰۱۵ افزایش یافته، رشد جمعیت مثبت شود. درحالی‌که در طی زمان این رابطه معکوس می‌شود و نهایتاً ساختار سنی جمعیت همگرا می‌شود و در طول مسیر به سمت توزیع سنی، رشد جمعیت تثبیت می‌شود. درحالی‌که در کشورهای OECD میانگین امید به زندگی از ۶۷ سال آغاز شده و به ۸۰ سال در همان بازه‌ی زمانی افزایش یافته است. افزایش امید به زندگی در کشورهای با درآمد پایین عمدتاً به دلیل کاهش مرگ و میر کودکان، و در کشورهای با درآمد بالا به دلیل کاهش مرگ و میر در سنین بالاتر بوده است.^۱ بر اساس دو نمودار فوق مشاهده می‌شود درحالی‌که نرخ باروری به میزان قابل توجهی کاهش یافته، امید به زندگی در بدو تولد افزایش یافته است.

جدول ۱.۶ تغییر در شاخص‌های جمعیتی نرخ باروری کل و امید به زندگی در بدو تولد را برای کشورهای گروه هفت به انضمام چین و روسیه از سال ۱۹۶۰ تا ۲۰۱۵ نشان می‌دهد. بدون استثنا، در این کشورها در سال ۱۹۶۰ نرخ باروری کل بیش از نرخ جایگزینی بلندمدت بوده، اما تا سال ۲۰۱۵ به زیر نرخ جایگزینی بلندمدت کاهش یافته است. تنها کشوری که در سال ۲۰۱۵ نرخ باروری کل آن تقریباً برابر با نرخ جایگزینی است، کشور فرانسه می‌باشد، و در تمام کشورهای دیگر، نرخ باروری کل کمتر از نرخ جایگزینی است. در دوره‌ی مورد بررسی کمترین افزایش امید به زندگی در بدو تولد در کشور روسیه ۵ سال می‌باشد. در بسیاری از کشورها افزایش امید به زندگی در حدود ۱۰ سال، درحالی‌که در ژاپن و چین به ترتیب برابر با ۱۶ و ۳۲ سال می‌باشد.

این‌که چگونه افزایش امید به زندگی بر ساختار سنی جمعیت تاثیر می‌گذارد، به گروه سنی و مرگ و میر در آن گروه وابسته است. اگر مرگ و میر کودکان کاهش یابد، آنگاه کودکان تا سنین بالاتری زندگی خواهند کرد. اگر کودک به حیات خود ادامه دهد، امید به زنده ماندن افزایش یافته، و در مقابل تاثیر نسبتاً کمی در کاهش مرگ و میر در سنین بالاتر دارد. بنابراین کاهش مرگ و میر کودکان امید به زندگی کلی را بطور نامتناسب افزایش می‌دهد.

۱. Deaton, ۲۰۱۳

کاهش مرگ و میر در سن کار، مثلاً به خاطر بهبود درمان بیماری‌های قلبی و عروقی، اثر کوچک‌تری بر ساختار سنی جمعیت دارد. زیرا منافع آن عمدتاً نصیب افراد میان سن جمعیت می‌شود. و در نهایت، کاهش مرگ و میر در سنین پیری، مثلاً به علت بهبود درمان سرطان، میانگین سن جمعیت را افزایش خواهد داد زیرا تعداد افرادی که مسن‌تر از میانگین سنی قرار دارند بیشتر خواهند شد. برای بحث و بررسی در خصوص جنبه‌های مختلف و دقیق تاثیر تغییرات مرگ و میر بر

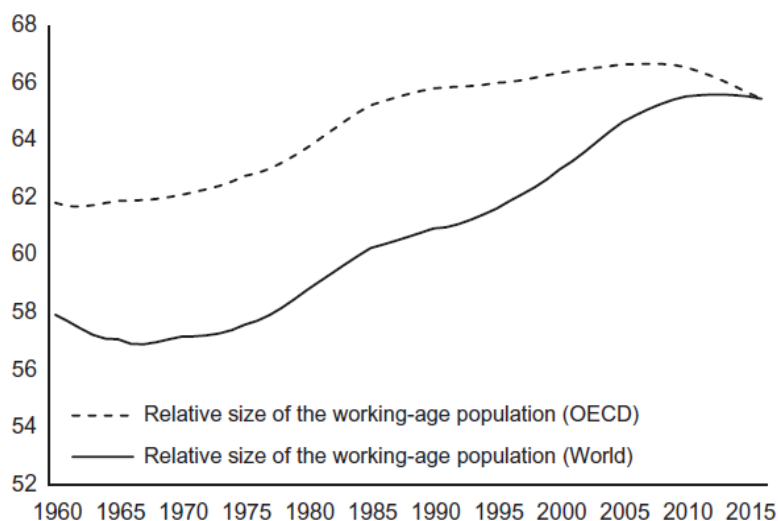
جدول ۱.۶ تغییر در شاخص‌های جمعیتی

Country	TFR		Life expectancy at birth	
	1960	2015	1960	2015
Canada	3.81	1.60	71	82
China	5.75	1.62	44	76
France	2.85	1.96	70	82
Germany	2.37	1.50	69	81
Italy	2.37	1.35	69	83
Japan	2.00	1.45	68	84
Russia	2.52	1.75	66	71
United Kingdom	2.69	1.80	71	81
United States	3.65	1.84	70	79

ساختار جمعیتی یک جامعه به پرستون و همکاران^۱ در سال ۲۰۰۱ مراجعه کنید. تغییرات نرخ باروری و مرگ و میر، مهم‌ترین عامل در ساختار سنی جمعیت است، و به‌طور مشترک تعیین‌کننده‌ی اندازه‌ی نسبی جمعیت فعال ۶۴-۱۵ سال در مقابل جمعیت غیر فعال زیر ۱۵ سال و مسن‌تر از ۶۵ سال می‌باشد. عامل مهمی که بر اندازه‌ی نسبی جمعیت فعال تاثیر می‌گذارد ساختار سنی قبلی است. این ساختار نشان می‌دهد چند زن بارور در جمعیت نماینده وجود دارد، که به نوبه خود تعداد زاد و ولد در هر سال و در نتیجه تغییرات در نسبت جمعیت زیر ۱۵ سال را تعیین می‌کند. مهاجرت کارگران نیز تغییرات ساختار سنی را تحت تاثیر قرار می‌دهد.

۱. Preston et al. (۲۰۰۱)

برای تجزیه و تحلیل جمعیت مسن، کاهش باروری، افزایش طول عمر و تغییرات در اندازه‌ی نسبی گروه‌ها که به نسل‌های مسن‌تر می‌رسند به سادهرسانان و بلوم^۱ در سال ۲۰۱۸ مراجعه کنید.



نمودار ۳.۶ اثر ترکیبی تغییرات جمعیتی در اندازه نسبی جمعیت فعال

نمودار ۳.۶ اثر ترکیبی تغییرات جمعیتی در اندازه نسبی جمعیت فعال را در جهان و کشورهای OECD از سال ۱۹۶۰ تا ۲۰۱۵ نشان می‌دهد. کاهش اندک نسبت جمعیت فعال در جهان در دهه ۱۹۶۰ به دلیل کاهش مرگ و میر نوزادان و کودکان کشورهای فقیرتر آغاز شده که وقفه‌ای در کاهش باروری ایجاد کرد. این کاهش جزئی، با افزایش مداوم از دهه‌ی ۷۰ به دلیل کاهش باروری و کاهش مرگ و میر ناشی از جمعیت فعال شروع شد. افزایش در دهه‌ی ۱۹۹۰ زمانی که گروه‌های کوچک‌تر به تدریج وارد سن کار شدند فروکش کرد و این روند در سال ۲۰۱۱ معکوس شد.

کشورهای OECD با کسر بزرگ‌تری از جمعیت فعال در دهه‌ی ۱۹۶۰ که عمدتاً به خاطر پایین‌تر بودن نرخ باروری و مرگ و میر کودکان در گذشته شروع شد، به گونه‌ای

۱. Sudharsanan and Bloom (۲۰۱۸)

که اندازه‌ی نسبی نیروی کار در آن‌ها نسبت به کشورهای با درآمد پایین بزرگ‌تر بود. نسبت جمعیت فعال در کشورهای OECD تا ابتدای قرن بیست و یکم بخاطر کاهش نرخ باروری و مرگ و میر جمعیت فعال بیشتر افزایش یافت ولی این افزایش در دهه‌ی ۱۹۸۰ به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافت. در آن زمان، شکاف جمعیت فعال جهان و کشورهای OECD کوچک شد. بالاخره در سال ۲۰۰۸، اندازه‌ی نسبی جمعیت فعال در کشورهای OECD سقوط کرد. این کاهش با سرعت بیشتری نسبت به سقوط جمعیت فعال دنیا که در سال ۲۰۱۱ آغاز شد اتفاق افتاد. در نتیجه فاصله بین جهان و کشورهای OECD از بین رفت.

از آنجا که امروزه مهاجرت بین سیاره‌ای مساله‌ی جمعیت‌شناسان نیست، مهاجرت نمی‌تواند بر ساختار سنی جهان تاثیر بگذارد. با این حال، مهاجرت درونی و بیرونی تنها می‌تواند بر ساختار سنی کشورها تاثیر گذار باشد. به‌طور کلی، تعداد مهاجران در سرتاسر جهان نسبتاً کم است. سازمان ملل متحد در سال ۲۰۱۹ در حدود ۳.۴ درصد از جمعیت جهان را به عنوان مهاجران بین‌المللی طبقه‌بندی می‌کند. به‌گونه‌ای که تاثیر مهاجرت بر ساختار سنی کشورهای بزرگ و یا گروه‌های کشوری، نسبت به پویایی مرگ و میر ناشی از باروری کاهش می‌یابد. استثناها برای این تصویر کلی، کشورهای کوچکی مثل امارات متحده عربی است که به شدت بر کارگران خارجی تکیه می‌کند، جایی که مهاجران ۸۸٪ کل جمعیت آن کشور را تشکیل می‌دهند.^۱

۲.۶ تغییرات جمعیتی و پیامدهای اقتصادی آن

پیامدهای اقتصادی این تحولات جمعیتی چیست؟ کاهش باروری مبین کاهش رشد جمعیت و کودکان کم‌تر برای مراقبت در خانواده‌ها و جوامع بشری است. در سطح خانواده، کودک کمتر یعنی دسترسی به منابع بیشتر برای هر عضو خانواده، که به تبع آن بخش عمده‌ای از این منابع در آموزش و بهداشت و سلامت هر کودک سرمایه‌گذاری می‌شود.^۲ تعدد کودکان با سطح تحصیلات پایین، و وضعیت سلامت ضعیف و نامناسب،

۱. United Nations, ۲۰۱۹b

۲. Bloom, Kuhn, & Prettnner, ۲۰۲۰; Li & Zhang, ۲۰۰۷

به سمت داشتن تعداد کمتری از کودکان اما با تحصیلات و سلامت بهتر به بده بستان کمیت-کیفیت مرتبط است.^۱ به طور معمول، جایگزین کردنِ فرزند با کیفیت به کمیت فرزند، اثرات مثبتی بر رشد اقتصادی بلندمدت در اقتصاد کلان از طریق انباشت سرمایه-ی انسانی و در نتیجه رشد بهره‌وری دارد.^۲

در سطح اقتصاد، کاهش باروری، نسبت وابستگی (نسبت کل جمعیت به نیروی کار) را کاهش می‌دهد، و با توجه به کاهش نسبت وابستگی، تولید ناخالص داخلی سرانه به طور بالقوه افزایش می‌یابد. زیرا تولید ناخالص داخلی سرانه عبارت است از Y_t / N_t که در آن N_t اندازه‌ی جمعیت است. تولید ناخالص داخلی سرانه را می‌توان به شکل زیر بازنویسی کرد:

$$\frac{Y_t}{N_t} = \frac{Y_t}{L_t} \cdot \frac{L_t}{N_t}$$

که در آن L_t برابر است با تعداد شاغلین و فرض بر این است که اقتصاد در سطح اشتغال کامل قرار دارد. در این رابطه Y_t / L_t یعنی تولید ناخالص داخلی با اِزاء هر نیروی کار، و L_t / N_t برابر است با نسبت شاغلین به کل جمعیت (معکوس نسبت وابستگی). اگر تولید ناخالص داخلی با اِزاء هر نیروی کار ثابت بماند، ولی L_t / N_t افزایش یابد و به تبع آن نسبت وابستگی کوچک شود، آنگاه تولید ناخالص داخلی سرانه افزایش خواهد یافت.

با کاهش نسبت وابستگی، منابع دولتی بیشتری از محل مالیات تامین شده‌اند، در دسترس قرار می‌گیرند. این منابع اضافی را می‌توان در بسیاری از حوزه‌ها مانند آموزش، بهداشت، زیرساخت‌ها و یا تحقیق و توسعه و... هزینه کرد.^۳ اگر این سرمایه‌گذاری‌ها به طور خردمندانه انجام شود، منافع جمعیتی حاصل از رشد اقتصادی بیشتر خواهد شد، همان‌طور که در اقتصادهای شرق آسیا به انضمام چین، و در ایرلند مشاهده شد.^۴

۱. Becker & Lewis, ۱۹۷۳; Becker & Tomes, ۱۹۷۶; Becker, ۱۹۹۳; Galor, ۲۰۰۵, ۲۰۱۱; Galor & Weil, ۲۰۰۰

۲. Baldanzi, Bucci, & Prettnner, ۲۰۱۹; Galor & Weil, ۲۰۰۰; Lee & Mason, ۲۰۱۰; Prettnner, Bloom, & Strulik, ۲۰۱۳; Strulik, Prettnner, & Prskawetz, ۲۰۱۳; Prettnner, & Strulik, ۲۰۱۶, ۲۰۱۷a, ۲۰۱۷b, ۲۰۱۸

۳. Bloom, Khoury, Kufenko, & Prettnner, ۲۰۱۹; Prettnner & Werner, ۲۰۱۶; Prettnner, ۲۰۱۴

۴. Bloom & Canning, ۲۰۰۳; Bloom & Finlay, ۲۰۰۹; Bloom & Williamson, ۱۹۹۸; Bloom, Canning, & Sevilla, ۲۰۰۳; Bloom, Kuhn, & Prettnner, ۲۰۱۷

تغییرات رفتاری خانوارها مانند افزایش در مشارکت نیروی کار زنان هنگامی که باروری کاهش می‌یابد، یا افزایش پس‌انداز هنگامی که امید به زندگی افزایش می‌یابد، منافع جمعیتی را تقویت می‌کند،^۱ و منافع جمعیتی مبین رشد اقتصادی سریع است. با این حال، هیچ تضمینی وجود ندارد که منافع جمعیتی با فساد بالا، نهادهای توسعه نیافته، مدیریت اقتصاد کلان ضعیف، یا مداخله در بازارهای نیروی کار و سرمایه، و سیاست‌های ضد بهره‌وری تحقق یابد.^۲

پس از بحث در مورد پیامدهای اقتصادی کاهش باروری، اکنون بر روی تاثیر کاهش مرگ و میر و افزایش امید به زندگی تمرکز می‌کنیم. در اینجا، اثرات به شدت به گروه سنی که مرگ و میر در آن‌ها رخ می‌دهد وابسته است.

اگر مرگ و میر کودکان کاهش یابد، به عنوان مثال در شروع مرحله‌ی گذار نفوس،^۳ نرخ باروری کل نیز به دلیل کاهش باروری احتیاطی به نسبت بیشتری کاهش می‌یابد.^۴ اگر کاهش در نرخ باروری کل به اندازه کافی قوی باشد، آنگاه کاهش اولیه مرگ و میر کودکان با کاهش نرخ تولید مثل (تعداد دختران زنده مانده به ازاء هر زن) همراه خواهد بود. این امر به نوبه‌ی خود، دلالت بر عقب افتادن رشد جمعیت و اثرات مثبت اقتصادی متناظر دارد.

اگر مرگ و میر در سن کار، مثلاً به دلیل کاهش در بیماری‌های قلبی و عروقی کاهش یابد، نسبت وابستگی کاهش، و بهره‌وری نیروی کار از طریق کاهش در میزان شیوع بیماری افزایش می‌یابد. هر دو این تغییرات اثرات مثبتی بر رشد اقتصادی دارند.^۵ اگر مرگ و میر افراد مسن و بازنشسته کاهش یابد، اثرات مثبت کاهش مرگ و میر در رشد اقتصادی محو و با افزایش نسبت وابستگی، شوک منفی بر رشد اقتصادی وارد می‌شود.^۶

۱. Bloom, Canning, Fink, & Finlay, ۲۰۰۹; Bloom, Canning, Mansfield, & Moore, ۲۰۰۷

۲. Acemoglu & Robinson, ۲۰۱۲; Acemoglu, Johnson, & Robinson, ۲۰۰۱, ۲۰۰۲, ۲۰۰۵, ۲۰۰۸; Acemoglu et al., ۲۰۰۱; et al., ۲۰۱۷

۳. Cervellati & Sunde, ۲۰۰۵, ۲۰۱۱; Reher, ۲۰۰۴

۴. Doepke, ۲۰۰۵; KalemliOzcan, ۲۰۰۳

۵. Bloom et al., ۲۰۰۳; Bloom, Chen et al., ۲۰۱۸; Suhrcke & Urban, ۲۰۱۰

۶. Bloom, Khoury, Algr, & Sevilla, ۲۰۲۰; Bloom, Kuhn, & Prettnr, ۲۰۱۹

جهت بررسی اثرات اقتصادی سلامت بر حسب مرگ و میر و شیوع مرض، نگاه کنید به

فارغ از اثرات مستقیم کاهش مرگ و میر بر اندازه‌ی نیروی کار و بهره‌وری آن، اثر غیر مستقیم مهم دیگری به نام سازوکار بن-پوراث وجود دارد.^۱ اگر افراد از یک زندگی طولانی‌تر لذت برند، انگیزه‌های سرمایه‌گذاری در آموزش افزایش خواهد یافت. از آن-جاکه سرمایه‌گذاری‌های آموزشی در اوایل زندگی بهره‌وری نیروی کار را افزایش می‌دهد، بعدها در سنین کار نرخ رشد اقتصادی نیز افزایش خواهد یافت. این اثر زمانی تقویت می‌شود که امید به زندگی افراد در سنین کار نیز افزایش یابد. در این زمینه، نه فقط امید به زندگی، بلکه امید به زندگی سالم و همراه با تندرستی که تعیین کننده‌ی زمانی است که فرد در بازار کار فعال باقی می‌ماند اهمیت دارد.^۲

با این حال، حتی اگر باروری و مرگ و میر پایین منجر به افزایش رشد اقتصادی شود، پیامد بلندمدت آن، افزایش کارگران مسن‌تر و بازنشستگان نسبت به کل جمعیت، یعنی افزایش نسبت وابستگی است. بنابراین اقتصاددانان و سیاستمداران نگران تاثیراتی هستند که احتمالاً در بسیاری از کشورهای پر درآمد وجود دارد. زیرا

(۱) کارگران کم‌تر و کم‌تری مشغول به تولید کالاهایی می‌شوند که توسط جمعیت وابسته بزرگ‌تر مصرف می‌شود،^۳

(۲) صندوق‌های بازنشستگی و سیستم‌های تامین اجتماعی ممکن است وجوه کافی نداشته و برای چالش‌های جمعیتی پیش رو آماده نباشند،^۴

(۳) تولید به ازاء نیروی کار ممکن است کاهش یابد زیرا کارگران مسن ممکن است به اندازه‌ی کارگران جوان مولد نباشند،^۵

(۴) سرمایه‌گذاری کاهش یابد زمانی که اعضای گروه‌های مسن‌تر بازنشسته شوند و دارایی‌های خود را صرف کنند،^۶ و بالاخره

Bloom and Canning (۲۰۰۰), Shastry and Weil (۲۰۰۳), Weil (۲۰۰۷, ۲۰۱۴), Kuhn and Prettnner (۲۰۱۴), and Bloom, Canning, Kotschy, Prettnner, and Schu'nemann (۲۰۱۸), Bloom, Kuhn et al. (۲۰۱۹)

۱. Ben-Porath, ۱۹۶۷

۲. Cervellati & Sunde, ۲۰۱۳; Hazan, ۲۰۰۹; Strulik & Werner, ۲۰۱۶

۳. Gertler, ۱۹۹۹; Gruescu, ۲۰۰۷; The Economist, ۲۰۰۹

۴. Bloom et al., ۲۰۰۷; Bloom, Canning, & Fink, ۲۰۱۰; Bloom, Canning, & Moore, ۲۰۱۴; Gruber & Wise, ۱۹۹۸; Heijdra & Romp, ۲۰۰۹; Prettnner & Canning, ۲۰۱۴

۵. Bloom & Sousa-Poza, ۲۰۱۳; Bo'rsch-Supan & Weiss, ۲۰۱۶; Green & Riddell, ۲۰۱۳

۶. Mankiw & Weil, ۱۹۸۹; Schich, ۲۰۰۸

۵) جوامع مسن‌تر ممکن است ریسک‌پذیر نباشند که به تبع آن پیشرفت فناوری و تاسیس شرکت کاهش می‌یابد.^۱

در پاسخ به این نگرانی‌ها، بسیاری از اقتصاددانان مدعی هستند که واکنش رفتاری به کاهش باروری و افزایش امید به زندگی و سیاست‌های اقتصادی متفکرانه می‌تواند برخی از اثرات اقتصادی منفی تغییرات جمعیتی را تخفیف دهد.^۲ قبلاً خانواده‌های با فرزندان کم‌تر را که بیشتر در آموزش و بهداشت سرمایه‌گذاری می‌کنند و متوسط سرمایه‌ی انسانی را افزایش می‌دهند را مورد بررسی قرار دادیم.^۳ این اثر با افزایش امید به زندگی در پیوند با مکانیزم بن - پوراث تقویت می‌شود، که به این معنی است که سرمایه‌گذاری آموزشی ارزشمندتر می‌شود.^۴ این اثرات با سرمایه‌گذاری دولتی در سلامت و آموزش به خاطر سود تقسیمی نفوس بزرگ‌تر خواهد شد.^۵ فارغ از این مباحث، زمانی که امید به زندگی سالم افزایش می‌یابد، افراد تمایل دارند که دیرتر بازنشسته شده و دولت‌ها سن بازنشستگی را افزایش می‌دهند، به گونه‌ای که اثر منفی پیری از طریق نسبت وابستگی قدری جبران می‌شود.^۶ به علاوه، عرضه‌ی نیروی کار والدین با کاهش باروری افزایش می‌یابد، زیرا زمان کم‌تری برای مراقبت از کودک نیاز است.^۷ در نهایت، افراد اگر بیشتر عمر کنند ممکن است بیشتر پس‌انداز و سرمایه‌گذاری کنند، که باعث افزایش موجودی سرمایه‌ی فیزیکی در اقتصاد و احتمالاً افزایش محرک‌های لازم برای سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه خواهد شد.^۸

۱. Baldanzi, Prettnner, & Tscheuschner, ۲۰۱۹; Borghans & ter Weel, ۲۰۰۲; Canton, de Groot, & Hahuis, ۲۰۰۲; Gehringer & Prettnner, ۲۰۱۹; Irmen & Litina, ۲۰۱۶ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ & Sunde, ۲۰۱۹

۲. Bloom, ۲۰۱۹

۳. Prettnner et al., ۲۰۱۳; Strulik et al., ۲۰۱۳

۴. Ben-Porath, ۱۹۶۷; Cervellati & Sunde, ۲۰۰۵, ۲۰۱۳; Strulik & Werner, ۲۰۱۶

۵. Bloom, Khoury, Kufenko, et al., ۲۰۱۹; Prettnner, ۲۰۱۴

۶. Bloom et al., ۲۰۰۷; Prettnner & Canning, ۲۰۱۴

۷. Ashraf, Weil, & Wilde, ۲۰۱۳; Bloom et al., ۲۰۰۹; Bloom, Kuhn et al., ۲۰۲۰; Bloom, McKenna, & Prettnner, ۲۰۱۸, ۲۰۱۹

۸. Baldanzi, Prettnner, et al., ۲۰۱۹; Gehringer & Prettnner, ۲۰۱۹; Heijdra & Mierau, ۲۰۱۱; Heijdra & Romp, ۲۰۰۸, ۲۰۰۹; Prettnner & Trimborn, ۲۰۱۷; Prettnner, ۲۰۱۳

خلاصه این که اثرات اقتصادی بالقوه‌ی تغییرات جمعیتی و بررسی متونی که این اثرات را تجزیه و تحلیل می‌کنند، این سوال را به ذهن متبادر می‌کند که آیا اتوماسیون می‌تواند برخی از نگرانی‌های مطرح‌شده از سوی تغییرات جمعیتی را رفع کند؟^۱

۳.۶ چگونه روبات‌ها کمک می‌کنند

به وضوح یکی از نگرانی‌های چالش‌های جمعیتی کنونی در کشورهای OECD این است که کارگران کم‌تری جهت تولید کالاهای مصرفی در یک اقتصاد در دسترس‌اند. یعنی نسبت وابستگی افزایش یافته است. همزمان، و همان‌طور که در فصل‌های قبل مشاهده کردیم، بسیاری از مردم نگران این هستند که اتوماسیون منجر به افزایش بیکاری تکنولوژیکی شود. از بین بردن این نگرانی‌های ضد و نقیض و متضاد مشکل است. لذا در بخش بعد، مسیری را ترسیم می‌کنیم که در آن تغییرات جمعیتی اتوماسیون را تهییج کرده و شواهد تجربی این که آیا اتوماسیون روندهای جمعیتی را دنبال می‌کند و تا حد قابل توجهی، پدیده‌ی ناشی از شرایط اقتصادی/جمعیتی را به جای توسعه‌ی فنی جامع، مستقل و معین شده را تبیین می‌کند، مورد بررسی قرار می‌دهیم. مجدداً همانند فصول ۴ و ۵ تابع تولید کاب داگلاس زیر را در نظر می‌گیریم:

$$Y_t = K_t^\alpha (L_t + P_t)^{1-\alpha}$$

که در آن Y_t مبین تولید کل، K_t موجودی سرمایه فیزیکی سنتی، L_t نیروی کار و P_t موجودی سرمایه‌ی اتوماسیون است، و $\alpha \in (0,1)$ کشش تولید با توجه به سرمایه‌ی فیزیکی سنتی است. با فرض رقابت کامل، ارزش تولید نهایی عوامل تولید نیروی کار، موجودی سرمایه اتوماسیون و موجودی سرمایه‌ی فیزیکی سنتی به ترتیب برابر است با نرخ دستمزد، نرخ بازدهی سرمایه‌ی اتوماسیون و نرخ بازدهی سرمایه فیزیکی سنتی. لذا

$$w_t = (1-\alpha) \left(\frac{K_t}{L_t + P_t} \right)^\alpha \quad (۱.۶)$$

$$R_{t+1}^{automation} = (1-\alpha) \left(\frac{K_t}{L_t + P_t} \right)^\alpha \quad (۲.۶)$$

۱. Abelianky & Prettnr, ۲۰۱۷; Abelianky, Algur, Bloom, & Prettnr, ۲۰۲۰; Acemoglu & Restrepo, ۲۰۱۷b, ۲۰۱۸; Leitner & Stehrer, ۲۰۱۹; The Economist, ۲۰۱۹

$$R_{t+1}^{transd} = \alpha \left(\frac{L_t + P_t}{K_t} \right)^{1-\alpha} \quad (3.6)$$

لذا با فرض ثابت بودن سایر شرایط، رشد سریع‌تر عرضه‌ی نیروی کار منجر به کاهش نرخ دستمزد و نرخ بازدهی سرمایه‌ی اتوماسیون، و افزایش نرخ بازدهی سرمایه‌ی فیزیکی سنتی می‌شود.^۱ بنابراین، انتظار می‌رود انگیزه‌های بیشتری در سرمایه‌گذاری اتوماسیون در کشورهایی که نیروی کار به کندی رشد می‌کند و یا حتی کاهش می‌یابد، وجود داشته باشد. از آنجا که یکی از مهم‌ترین محرک‌های اصلی ازدیاد نیروی کار، رشد جمعیت است، که به نوبه‌ی خود به باروری وابسته است، لذا کشورهایی که باروری در آن‌ها کم و جمعیت مسن‌تر است، می‌بایست افزایش سریع‌تر تراکم روبات را تجربه کنند. این دقیقاً همان چیزی است که در نگاه اول از داده‌ها مشاهده می‌شود. و همچنین مطالعات تجربی در رابطه بین اتوماسیون و تغییرات جمعیتی، که یا برحسب رشد جمعیت و یا افزایش در نسبت وابستگی سن پیری است، مشاهده می‌شود.^۲

نمودار ۴.۶ نقشه‌ی جهانی چگالی روبات را نشان می‌دهد. کشورهای با رنگ سبز تیره مبین چگالی روبات بالاتر، درحالی‌که کشورهای با رنگ سبز روشن دارای تراکم روبات کم‌تر هستند. رنگ سفید نشان دهنده‌ی آن است که هیچ داده‌ای در پایگاه اطلاعاتی فدراسیون بین‌المللی روباتیک در خصوص تعداد روبات‌های آن کشور در دسترس نیست. تراکم روبات در کشورهایی که به سرعت در حال پیر شدن هستند، مانند آلمان، ایتالیا، ژاپن و کره جنوبی بیش‌تر از کشور فرانسه است که در آن نرخ باروری نسبتاً بالاست، و همچنین بیش‌تر از کشورهای عضو توافقنامه تجارت آزاد آمریکای شمالی است که مهاجرت به داخل و باروری بالاتری نسبت به آلمان، ایتالیا، ژاپن و کره جنوبی دارند، و بیش‌تر از انگلستان است که عمدتاً مهاجرت به داخل از اروپای شرقی در آن زیاد است. توجه شود که فدراسیون بین‌المللی روباتیک داده‌ها را به‌طور مشترک جمع‌آوری می‌کند به گونه‌ای که نمی‌توان داده‌های تفکیکی برای کانادا، مکزیک و ایالات متحده را فراهم کرد.

عجم اوغلو و رستریپو^۳ در سال ۲۰۱۸ سالخوردگی را جمعیت بالای ۵۶ سال (در مقایسه با افراد ۵۵-۲۱ سال) تعریف می‌کنند و نشان می‌دهند که افزایش ۱۰ درصدی

۱. Abeliasky & Prettnr, ۲۰۱۷

۲. Abeliasky & Prettnr, ۲۰۱۷; Acemoglu & Restrepo, ۲۰۱۷b, ۲۰۱۸

۳. Acemoglu and Restrepo (۲۰۱۸)

در متغیر سالخوردگی منجر به افزودن ۰.۹ روبات‌های صنعتی در هر ۱۰۰۰ کارگر می‌شود. این نتیجه با تراکم روبات‌ها بین سال‌های ۲۰۱۴-۱۹۹۳ که سه برابر شده مقایسه می‌شود. با توجه به پیر شدن مشاهده شده بر حسب شاخص، عجم اوغلو و رستریو نشان می‌دهند که ۴۰-۶۵ درصد از روبات‌های صنعتی



شکل ۶.۴ نقشه چگالی روبات‌ها، فدراسیون بین المللی روباتیک ۲۰۱۸

بکار گرفته شده توسط جمعیت مسن توضیح داده می‌شود. این نتایج از نظر کیفی منطبق بر نتایج آبلینسکی و پرتنر^۱ در سال ۲۰۱۷ می‌باشد، که نشان دادند کاهش ۱ درصدی رشد جمعیت منجر به افزایش نرخ رشد تراکم روبات تا ۲ درصد می‌شود. هر دوی این مطالعات چندین عامل مهم دیگر به کارگیری اتوماسیون، به ویژه درآمد بر حسب تولید ناخالص داخلی سرانه و سرمایه‌گذاری را مورد توجه قرار می‌دهند. نتایج این مطالعات نشان می‌دهند که سالخوردگی جمعیت باعث ایجاد انگیزه برای اتوماسیون و به موجب آن شرایطی برای مقابله با یکی از اثرات منفی آن، یعنی کمبود نیروی کار می‌شود. با توجه به این که اتوماسیون (تا حدودی بخشی) پاسخ درون‌زا به کمبود نیروی کار مبتنی بر آمار جمعیتی است، می‌توان به توضیح این مساله کمک کرد که چرا، تاکنون، ما نه کاهش اشتغال در مواجهه با اتوماسیون و نه کمبود نیروی کار در مواجهه با پیری را مشاهده کرده‌ایم.

۱. Abelianky and Prettnr (۲۰۱۷)

فارغ از این ملاحظات، روبات‌ها می‌توانند نگرانی‌های مربوط به پیری و کاهش برخی از مشکلات جمعیت سالخورده را نیز تخفیف دهند. برای مثال، اندام‌های روباتیک ممکن است به نیروی کار مسن کمک کند تا با کاهش قوای فیزیکی که با افزایش سن شروع می‌شود مقابله کند. اندام‌های روباتیک ممکن است به دستیاران و پرستاران جهت حرکت بیماران کمک کنند و در نتیجه، شرایط کاری را برای مشاغل مختلف در بخش بهداشت بهبود بخشند. روبات‌های پزشکی که در حال حاضر در تشخیص بیماری‌ها و غربالگری اشعه ایکس استفاده می‌شوند، در مواجهه با افزایش پیش‌بینی‌شده بیماری‌های مربوط به پیری مانند سرطان، بسیار موثراند.^۱ چاپ سه‌بعدی جهت کاشت اندام‌ها، پروتزها و اعضای مصنوعی، سمعک‌ها، دندان‌های تعویضی، و دیگر محصولات پزشکی که توسط سالخوردگان به وفور تقاضا شده، باعث کاهش قیمت و بهبود کیفیت این محصولات شده است. ماشین‌های خودران برای کسانی که احساس اعتماد به نفس برای رانندگی با اتومبیل خود را نداشته یک نعمت است. حتی تنهایی در سن پیری را می‌توان تا حدودی با روبات جبران کرد. در نهایت، حسگرهای پوشیدنی جهت کمک به اجرای برنامه‌های دارویی، نظارت بر تغییرات در راه رفتن، و درخواست کمک به هنگام افتادن یک فرد و بسیاری از نمونه‌های دیگر به کار گرفته شده‌اند.^۲

۴.۶ پیش‌بینی استخدام روبات‌ها

پتانسیل اتوماسیون برای جایگزینی کارگران چقدر است؟ همان‌طور که در بخش‌های قبل توضیح داده شد، تاثیرات بالقوه‌ی اتوماسیون در استخدام افراد، از نظر عملی بودن انجام وظایف توسط روبات‌ها تخمین زده شده است. درحالی‌که برآوردهای اولیه متفاوت است، ولی تعداد مشاغلی و وظایفی که مستعد اتوماسیون می‌باشند بالا است.^۳ با این حال، تصمیم برای جایگزینی کارگران با روبات‌ها به ملاحظات اقتصادی هر مورد خاص وابسته است. جایگزینی نیروی کار ارزان بادوام با یک روبات بی‌دوام گران قیمت ممکن

۱. Bloom et al., ۲۰۱۱; Bloom Cafiero-Fonseca, et al., ۲۰۱۴, ۲۰۱۸b; Chen, Kuhn, Prettnner, & Bloom, ۲۰۱۸

۲. Abelianky, Martinez-Zarzoso, & Prettnner, ۲۰۲۰; Financial Times, ۲۰۱۹; Ford, ۲۰۱۵; The Economist, ۲۰۱۶, ۲۰۱۹

۳. Arntz, Gregory, & Zierahn, ۲۰۱۷; Frey & Osborne, ۲۰۱۷; McKinsey Global Institute, ۲۰۱۷; Nedelkoska & Quintini, ۲۰۱۸

است اقتصادی نباشد. بعلاوه به علاوه تولید روبات مستلزم زمان و منابع است، و تولید تمامی روبات‌های لازم برای جایگزینی ۴۷ درصد نیروی کار که فری و اسبورن در سال ۲۰۱۷ برآورد کرده‌اند، در آینده‌ای نزدیک عملی نخواهد بود. همچنین تولید و به‌کارگیری ارتش بزرگ روبات‌ها مستلزم منابع مادی و برق مورد نیاز است.

با در نظر گرفتن مسائل اقتصادی، آگورا، و همکاران^۱ در سال ۲۰۲۰ پیش‌بینی خود از تعداد مشاغلی که روبات‌ها می‌توانند با توجه به پتانسیل عرضه‌ی روبات بکار گرفته شوند را ارائه می‌دهند. آن‌ها سناریو پایه و مبنا را محاسبه کرده، روند جاری نرخ رشد روبات‌ها (مشاهده شده از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۷) را تا سال ۲۰۳۰ برون‌یابی می‌کنند. به علاوه، آن‌ها اجازه اتخاذ سناریوی پذیرش بسیار پایین روبات که در آن نرخ رشد موجودی روبات‌ها تا ۵۰ درصد کاهش می‌یابد، و یک سناریو پذیرش بالای روبات که در آن نرخ رشد موجودی روبات‌ها تا ۵۰ درصد افزایش می‌یابد را می‌دهند، و هر دو را با سناریوی مبنا مقایسه می‌کنند. در مقابل، بلوم و همکاران^۲ در سال ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹ تا حدودی "پیش‌بینی‌های جسورانه" فدراسیون بین‌المللی روباتیک (۲۰۱۸) از نرخ رشد ۱۴ درصدی موجودی روبات‌های صنعتی تا سال ۲۰۳۰ را برون‌یابی می‌کنند. در گام بعدی، بلوم، مک کنا و همکاران، و آبلینسکی و الگورا و همکاران جایگزینی کارگران تولیدات کارخانه‌ای توسط روبات‌های صنعتی را که توسط عجم اوغلو و رستریو برای آمریکا و داو و همکاران برای آلمان را برآورد کرده بودند را مورد استفاده قرار داده و نشان می‌دهند که در سال ۲۰۳۰ چه تعداد از کارگران توسط روبات‌های صنعتی جایگزین می‌شوند. از آنجا که عجم اوغلو و رستریو به این نتیجه رسیدند که تعداد نسبتاً بالای ۶.۲ کارگر در آمریکا توسط یک روبات جایگزین می‌شود، و بر اساس مطالعات داو و همکاران تنها دو کارگر توسط یک روبات صنعتی در آلمان جایگزین می‌شود، لذا این روش، طیف وسیعی از برآوردهای معقول بین یک سناریوی جایگزین بالا و یک سناریوی جایگزین پایین را ارائه می‌دهد.

با استفاده از این روش، بلوم، و همکاران، و آبلینسکی و همکاران دریافتند که در سناریوی جایگزینی بالای عجم اوغلو و رستریو، تا سال ۲۰۳۰ در سراسر جهان بین ۳۸ تا ۶۴ میلیون شغل توسط روبات‌ها جایگزین می‌شود. با استفاده از سناریوی جایگزینی کم و بر اساس برآوردهای داو و همکاران، و آبلینسکی و همکاران، تنها ۱۲ میلیون

۱. Abelianky, Algur, et al. (۲۰۲۰)

۲. Bloom, McKenna et al. (۲۰۱۸, ۲۰۱۹)

کارگر می‌تواند توسط روبات‌ها تا سال ۲۰۳۰ جایگزین شوند، درحالی‌که نتایج بلوم، مک‌کنا و همکاران تعداد کارگران جایگزین شده را ۲۰ میلیون نفر برآورد می‌کنند. صرف نظر از روش‌شناسی مورد نظر برای پیش‌بینی موجودی روبات‌ها یا انتخاب سناریوهای جایگزینی، این نتایج به‌طور قابل‌توجهی کم‌تر از آن چیزی است که تکنولوژیکی جایگزینی امکان‌پذیر می‌سازد.^۱ حتی در پایان برآوردهای مبتنی بر امکان‌سنجی فنی، روبات‌ها در ۱۰ تا ۲۰ سال آینده جایگزین حدود ۳۰۰ میلیون کارگر در سراسر جهان خواهند شد که تقریباً برابر با ۹۰ درصد از جمعیت آمریکا یا مجموع جمعیت‌های استرالیا، فرانسه، آلمان و ژاپن در سال ۲۰۱۹ است.

۵.۶ کانال معکوس: آیا روبات‌ها می‌توانند بر آمارنفوس تاثیر بگذارند؟

تغییرات جمعیتی بر مشوق‌های سرمایه‌گذاری در اتوماسیون تاثیر می‌گذارد. نیروی کار با دستمزد بالا تولیدکنندگان را تحریک می‌کند تا به دنبال راه‌هایی برای جایگزینی کارگران با روبات‌ها، پرینترهای ۳ بعدی، و غیره باشند. در این قسمت به‌طور مختصر برخی کانال‌های علی معکوس بالقوه به وسیله‌ی فناوری‌های اتوماسیون که تصمیمات باروری را تحت تاثیر قرار می‌دهد، مورد بررسی قرار خواهد داد.

اگر قرار باشد روبات‌های جنسی به‌طور گسترده مورد استفاده قرار گیرند و در دسترس بودن آن‌ها تاثیری منفی بر ازدواج و شرکای زندگی داشته باشد، این یک کانال محتمل بر تاثیر منفی مستقیم اتوماسیون بر باروری است. به علاوه، همان‌طور که قبلاً ملاحظه کردیم، اتوماسیون به احتمال زیاد دستمزد کارگران (به‌خصوص کم‌مهارت) را کاهش خواهد داد و در نتیجه بر تصمیمات باروری آن‌ها از طریق کانال‌های استاندارد شناخته شده‌ی اقتصاد خانواده تاثیر خواهد گذاشت. به عنوان مثال، به زعم گری بکر در سال ۱۹۵۶ ورودی زمان والدین یکی از هزینه‌های حیاتی باروری است. اگر دستمزدها کاهش یابد، هزینه‌ی فرصت کودکان کاهش می‌یابد، که می‌تواند منجر به افزایش نرخ باروری شود. با این حال، اگر دستمزدها بطور نسبی پایین باشند، خانواده‌ها ممکن است قادر به تامین مالی کودکان نباشند، به‌طوری‌که اتوماسیون باروری را در چنین وضعیتی

۱. Arntz et al., ۲۰۱۷; Frey & Osborne, ۲۰۱۷; McKinsey Global Institute, ۲۰۱۷; Nedelkoska & Quintini, ۲۰۱۸

کاهش دهد.^۱ علاوه بر این، فناوری‌های جدید نشان می‌دهند که والدین می‌خواهند بیشتر در آموزش کودکان خود سرمایه‌گذاری کنند تا به آن‌ها کمک کند از بیکاری تکنولوژیکی یا رشد دستمزد آهسته و کند مبرا باشند. این افزایش در سرمایه‌گذاری آموزشی مبین کیفیت کودکان بجای کمیت آن‌ها در مدل‌های استاندارد است که در آن آموزش و باروری درون‌زا می‌باشند.^۲ این سازوکارها ممکن است نرخ باروری را کاهش دهند.

علاوه بر اثرات تقریباً مستقیم و یا اثراتی که در ادبیات اقتصاد خانواده شناخته شده است، اثرات کمتر مستقیمی نیز ممکن است وجود داشته باشد. به عنوان مثال، در کشورهایی که سیستم‌های تامین اجتماعی به خوبی توسعه نیافته و کودکان توسط والدین مراقبت می‌شوند، روبات‌ها می‌توانند تقاضای برای کودکان را کاهش دهند.^۳ علاوه، در کشورهای فقیرتر کودکان کار بخشی از درآمد خانوار را تامین می‌کنند.^۴ اگر اتوماسیون فراگیر شود برای خانوار این موارد از اهمیت کم‌تری برخوردار خواهد شد بگونه‌ای که پرداختی به کودک کار کم‌تر و به تبع آن کم ارزش‌تر می‌شود. بطور خلاصه، استدلال‌های فوق نشان می‌دهند که در مواجهه با اتوماسیون باروری کاهش می‌یابد، اما بنا به دلایلی ممکن است که باروری افزایش هم یابد.

۶.۶ خلاصه

این فصل مروری بر تغییرات جمعیتی یعنی کاهش باروری، افزایش امید به زندگی و افزایش گروه‌های مسن به عنوان محرک‌های اصلی تغییرات جمعیتی در سطح جهانی و در کشورهای مختلف را در چند دهه‌ی گذشته نشان می‌دهد. پیامدهای اقتصادی این تحولات، گسترده و متنوع است. در کوتاه‌مدت و میان‌مدت، کاهش در باروری می‌تواند منافع جمعیتی را ایجاد کند که اگر به‌طور عاقلانه جمع‌آوری و سرمایه‌گذاری شود، اقتصاد را از فقر خارج و بر روی مسیر رشد بلندمدت پایدار قرار می‌دهد. افزایش امید به

۱. Galor, ۲۰۰۵, ۲۰۱۱

۲. Becker, ۱۹۶۰; Galor & Weil, ۲۰۰۰; Prettnner & Strulik, ۲۰۱۶, ۲۰۱۸

۳. Willis, ۱۹۸۰

۴. Edmonds, ۲۰۱۶

زندگی در همان زمان، سرمایه‌گذاری‌های آموزشی را تقویت کرده و بهره‌وری نیروی کار را بهبود می‌بخشد.

با این حال، در درازمدت، کاهش باروری و افزایش امید به زندگی منجر به پیر شدن جمعیت با پیامدهای بالقوه متعدد شده که باعث نگرانی بسیاری از اقتصاددانان می‌شود. از جمله نیروی کار کم‌تری برای تولید کالاهای مورد نیاز جمعیت وابسته‌ی بیشتر وجود دارد. وجوه کم‌تری برای تامین مالی صندوق‌های تامین اجتماعی در دسترس است. رشد بهره‌وری بخاطر این که کارگران مسن‌تر مولدتر از کارگران جوان نیستند کاهش می‌یابد. زمانی که افراد ثروتمندتر می‌شوند و گروه‌های مسن‌تر بازنشسته می‌شوند و دارایی‌های خود را مصرف می‌کنند سرمایه‌گذاری کاهش می‌یابد. و بالاخره جوامع سالخورده نسبت به جوان‌ها مبتکر و ریسک پذیر نیستند. همه این‌ها می‌تواند اثرات منفی بر رشد اقتصادی داشته باشد.

با این حال، تغییرات رفتاری افراد در جوامع سالخورده که اثرات اقتصادی پیری جمعیت را تخفیف می‌دهد ممکن است محقق شود. خانوارهای با کودکان کم‌تر در آموزش و سلامت هر فرزند بیش‌تر سرمایه‌گذاری کرده و لذا متوسط بهره‌وری سرمایه‌ی انسانی افزایش می‌یابد. امید به زندگی شامل سرمایه‌گذاری بیشتر در آموزش از طریق مکانیسم بن - پورا افزایش می‌یابد. عرضه‌ی نیروی کار والدین با کاهش باروری به علت کاهش زمان مورد نیاز جهت مراقبت از کودکان افزایش می‌یابد. و بالاخره پس‌انداز و سرمایه‌گذاری بیش‌تر افراد در صورتی که بیشتر عمر کنند، موجودی سرمایه‌ی فیزیکی را افزایش داده و همچنین می‌تواند انگیزه‌هایی برای سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه را فراهم سازد. به نظر می‌رسد این مکانیزم‌ها تاثیرات منفی بالقوه را بر رشد اقتصادی حاصل از تغییرات جمعیتی را در جهت مخالف تعدیل می‌کند.^۱

در نهایت، ما این امکان را مورد بحث قرار دادیم که اتوماسیون می‌تواند به کاهش اثرات اقتصادی منفی پیری جمعیت کمک کند. ملاحظات نظری ساده نشان می‌دهد که نرخ رشد پایین‌تر (یا منفی) نیروی کار منجر به اتوماسیون بیشتر می‌شود. شواهد تجربی نشان می‌دهد که بخش بالاتر جمعیت بالای ۵۵ سال و رشد جمعیت کم‌تر، هر دو پذیرش روبات‌های صنعتی را رونق می‌بخشند.^۲ روی هم رفته، محاسبات براساس برون-یابی روندهای گذشته‌ی تولیدات روبات نشان می‌دهد که تا سال ۲۰۳۰، روبات‌ها

۱. Acemoglu and Restrepo, ۲۰۱۷b

۲. Abelianky & Prettnr, ۲۰۱۷; Acemoglu & Restrepo, ۲۰۱۸

می‌توانند جایگزین ۱۲ تا ۶۴ میلیون کارگر شوند. علاوه بر این، فناوری‌های مرتبط با اتوماسیون ممکن است به مقابله با تنهایی، افسردگی، و جنون و دیوانگی کمک کنند. آن‌ها ممکن است به کارکنان بخش مراقبت‌های پزشکی نیز کمک کنند، به رانندگان مسن و محتاج تحرک نیز کمک کنند؛ ممکن است به تولید ایمپلنت پزشکی با کیفیت بالا، پروتزها، کمک‌های شنوایی، و دندان که حتی ارزان‌تر از امروز هستند نیز کمک کنند.

.

فصل هفتم:

چالش‌های سیاستی

۱.۷. چالش‌ها

همان‌طور که در فصول قبل به‌طور تجربی و نظری بررسی شد، قابلیت جایگزینی کامل روبات‌ها، پرینترهای سه بعدی، و هوش مصنوعی در فرایند تولید کالاها و خدمات با نیروی انسانی، تغییرات اقتصادی شگرفی را ایجاد خواهد کرد. به‌طور کلی، اتوماسیون نه تنها موجب افزایش بهره‌وری نیروی کار، بلکه جایگزین سودمند و مناسبی برای نیروی کار نیز محسوب می‌شود. اتوماسیون موقعیت نیروی کار با مهارت کمتر و افرادی که مسئول انجام وظایف تکراری هستند را تهدید می‌کند. اگر نیروی کاری که روبات‌ها جایگزین آنان شده‌اند، در دیگر بخش‌های اقتصاد شغلی برای خود دست و پا کنند، دستمزد آن‌ها کاهش خواهد یافت، و ممکن است منجر به نابرابری دستمزدها شود. درعین حال اگر درآمدی که این روبات‌ها خلق می‌کنند به سمت صاحبان سرمایه سوق پیدا کند، سهم نیروی کار از تولید کاهش، و نابرابری درآمدی مجدداً افزایش خواهد یافت. کاهش سهم نیروی کار از تولید، به نوبه‌ی خود، منجر به پرداخت حقوق بازنشستگی در سیستم‌های تأمین اجتماعی از محل حق بیمه‌های فعلی^۱ (PAYG) تأمین مالی شده و لذا، تأمین مالی مخارج دولتی و اخذ مالیات بر درآمد را با مشکل روبرو می‌سازد. در نهایت، حتی اگر تمام مکانیسم‌های تعدیلی به گونه‌ای عمل کنند که افراد از پیشرفت‌های فناوری حاصل از اتوماسیون سود برند (که به هیچ عنوان قطعی نیست)، بازهم ممکن است مشکلات جدی همانند از دست دادن شغل در برخی حرفه‌ها و پیشه‌های خاص و یا کاهش رشد دستمزد نیروی کاری که روبات‌ها جایگزین‌های آن‌ها شده‌اند، در طول مسیر گذار و انتقال اتفاق بیافتد. سیاست‌گذاران می‌توانند این

سیستمی است که بر اساس آن کلیه ی هزینه‌های پرداخت حقوق بازنشستگی در هر Pay-as-you-go ۱. سال از محل درآمد جاری حق بیمه‌های وصولی در همان سال پرداخت می‌شود و از وام و استقراض استفاده نمی‌شود.

مشکلات را مورد توجه قرار داده و به افراد در مسیر گذار و انتقال کمک کنند. در این فصل مزایا و معایب سیاست‌های بالقوه‌ی مالیاتی، کمک‌های مالی و سوبسیدی، مقررات سرمایه‌گذاری در آموزش، و بالاخره، تعدیل سیستم‌های تأمین اجتماعی مورد ارزیابی و بررسی قرار خواهند گرفت. مضار و منافع برخی از سیاست‌ها و شواهد آن ارائه خواهد شد. هدف ما در این جا، تشریح سیاست‌های معقول و متعادل و تبیین و تشریح کانال‌های بالقوه‌ای است که بوسیله‌ی آن سیاست‌گذاران می‌توانند مشکلات دوران گذار به سمت و سوی اتوماسیون و هوش مصنوعی را تعدیل نمایند.

به‌طور خلاصه، اثر مثبت اتوماسیون افزایش کارایی است و اثرات منفی آن غالباً به‌طور ذاتی توزیع می‌شود. سیاست‌های اقتصادی ممکن است تنها به بخشی از پیامدهای منفی اشاره کنند. به عنوان مثال، از دست دادن شغل، اغلب اثرات اجتماعی و روانی منفی دارد که به تبع آن، نیروی کاری که شغل خود را از دست داده و برای ادامه‌ی حیات و بقا به کمک‌های مالی و پرداخت‌های انتقالی وابسته می‌شود، هویت و عزت نفس خود را نیز از دست می‌دهد. این اثرات منجر به کاهش رفاه شده، و بوسیله‌ی توابع رفاه اجتماعی در فصل ۴ مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است.

در فصل چهارم به این نکته نیز اشاره شد که تخمین تنفر و انزجار از نابرابری اجتماعی دشوار است، و بنابراین، طبق تمامی دلایل عملی، اندازه‌گیری سیاست بهینه‌ی قابل اطمینان ناممکن است. در حالت ایده‌آل، مالیات‌ها و پرداخت‌های انتقالی که تخصیص‌ها را مختل نمی‌کنند باید با اثرات توزیعی نامطلوب ناشی از اتوماسیون مقابله کنند. این حقیقت که تقریباً تمامی مالیات‌ها و پرداخت‌های انتقالی در برخی موارد اختلال‌زا هستند، و این که بسط و گسترش اتوماسیون روش سنتی وضع مالیات بر عامل تولید نیروی کار را حتی سخت‌تر می‌سازد، اشاره به این مسأله دارد که این اظهارات انتزاعی و کلی در عمل چندان مفید نیستند. بنابراین، فصل پیش رو اقدامات سیاستی بهم پیوسته‌ای را مورد توجه قرار می‌دهد که ممکن است اثرات منفی اتوماسیون مزایای آن را تحت شعاع قرار دهد. در این بحث و بررسی، مزایا و معایب سیاست‌های مورد نظر، بخصوص از منظر اندازه‌گیری اثرات این سیاست‌ها بر کارایی و نابرابری مورد توجه قرار خواهند گرفت. بعلاوه، این نکته که آیا اجرای این سیاست‌ها از چشم‌انداز عملی قابل اجرا هست یا خیر نیز مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. هدف ارائه بینش در مورد برخی از استراتژی‌های منسجمی است که سیاست‌گذاران ممکن است برای حل چالش‌های اقتصادی اتوماسیون و کمک به اطلاع رسانی مباحث عمومی مربوطه اتخاذ کنند. برخی

از اقدامات اتخاذ شده در متون مختلف علمی و یا توسط سیاست‌گذاران یا رهبران کسب و کار پیشنهاد شده‌اند.^۱

۲.۷ آموزش، استراتژی مقابله با اثرات منفی اتوماسیون

آموزش، اغلب بعنوان یک اقدام مهم عملی در جهت مقابله با اثرات منفی اتوماسیون مطرح شده است. البته، از منظر بخش خصوصی، برای نیروی کاری که قادر به کسب مهارت‌های بالاتر بوده و مشکلات و محدودیت مالی ندارد، به روزرسانی مهارت، واکنش مناسبی در مواجهه با اتوماسیون وظایف با سطح مهارتی پایین خواهد بود.^۲ هزینه‌های قابل توجه آموزش (به خصوص مدارک دانشگاهی و مدارج عالی) معضل مالی جدی برای برخی افراد می‌باشد. در بسیاری از کشورها، هزینه‌های مستقیم آموزش و شهریه‌ها بسیار بالا و در حال افزایش است؛ برای مثال در انگلستان و ایالات متحده، شهریه‌های دانشگاهی با نرخی بسیار فراتر از نرخ‌های تورم در بیست سال گذشته افزایش یافته است.^۳ هزینه‌های مسکن در شهرهای دانشگاهی به مراتب بالاتر از هزینه‌های مسکن در شهرهای فاقد مؤسسات آموزش عالی است.^۴ بالاخره، هزینه‌های فرصت آموزش و دستمزد از دست رفته تأثیر بیشتری بر کودکان با والدین کم درآمد نسبت به کودکان با والدین با سطح درآمدی بالا دارد. بنابراین، به‌عنوان یک سیاست اصلاحی، سرمایه‌گذاری‌های دولتی در آموزش که در درجه‌ی اول به نفع افراد فقیر و کم درآمد باشد، همانند حذف و لغو مستمری و شهریه‌ی دانشگاهی خانوارهای کم درآمد دارای فرزند، و دانشجویان واجد شرایط استفاده از مسکن دولتی، اغلب پیشنهاد می‌شود. چنین سیاست‌هایی، نابرابری را کاهش و اثرات مثبت جانبی کارایی را افزایش می‌دهد، زیرا

- کاهش کارایی زمانی اتفاق می‌افتد که افراد با استعداد به دلیل محدودیت مالی

نمی‌توانند آموزش لازم را کسب کنند،^۵

۱. برای مثال به مطالعات Corneo, ۲۰۱۸; Delaney, ۲۰۱۷; Frank, ۲۰۰۸; Geiger, Prettnner, ۲۰۱۷; & Schwarzer, ۲۰۱۸; Guerreiro Rebeli, & Teles, ۲۰۱۸; Korinek & Stiglitz, ۲۰۱۸; Prettnner, Geiger, & Schwarzer, ۲۰۱۸ مراجعه کنید.

۲. Prrtner & Strulik, ۲۰۲۰

۳. Bureau of Labor Statistics, ۲۰۱۶; The Economist, ۲۰۱۷

۴. Egner & Grabietz, ۲۰۱۸

۵. Galor & Moav, ۲۰۰۴; Galor & Zeira, ۱۹۹۳

- سطح آموزش نیروی کار یک عامل مهم و تعیین کننده در پتانسیل رشد بلندمدت یک اقتصاد است،^۱
- آموزش فردی به دلیل اثرات سرریز، می تواند منافع اجتماعی مثبتی را در بر داشته باشد،^۲
- و بالاخره آموزش، نابرابری درآمدی را کاهش می دهد.^۳

اثر بخشی اتوماسیون مستلزم اولویت بندی سرمایه گذاری در ایجاد مهارت هایی است در آینده مکمل اتوماسیون باشند. چنین مهارت هایی احتمالاً شامل وظایف غیرمعمول و تکراری در ارتباط با علم، فناوری، مهندسی، ارتباطات درون فردی، انتقال فکر و تلقین، تدریس، مدیریت، تفکر انتقادی و مهارت های کامپیوتری است. بنابراین، این روزها سرمایه گذاری در قلمرو آموزش علوم، مهندسی (به خصوص با توجه به فناوری های پیشرفته)، توسعه نرم افزار، مدیریت و تدریس، و در زمینه های آموزش متوسطه همانند مراقبت از کودکان، مراقبت از سالمندان و پرستاری منطقی خواهد بود.

سرمایه گذاری در آموزش مجدد افرادی که شغل هایشان را بواسطه اتوماسیون از دست داده اند، به تسهیل در تغییر شغل جدید و ورود به بازار نیروی کار کمک کرده و به طور کلی، برنامه های آموزش مجدد در جلوگیری از بیکاری ساختاری نامتناسب موثر بوده و کارایی بازار کار را بهبود می بخشد. البته، آموزش مجدد هر نیروی کار، یک فرد بیکار را به یک فیزیکیان کوانتوم و یا یک دستیار مراقبت از سالمندان تبدیل نمی کند، زیرا این مشاغل نیاز به مهارت های بسیار ویژه نسبت به وظایف یک روبات دارند. به بیان دیگر، بکارگیری مجموعه مهارت های کاملاً جدید و ضروری، اغلب گام بسیار بزرگی است و انطباق هر یک از شاغلین با مجموعه ای درستی از مهارت های جدید جهت اشتغال نیز مشکل خواهد بود. بنابراین، آموزش مجدد باید بعنوان تنها جزء یک استراتژی به روز رسانی موفق مهارت در نظر گرفته شود.

بعنوان جزء دیگری از استراتژی کلی آموزش برای مقابله با اتوماسیون، آماده سازی دانشجویان جوان برای انعطاف پذیری لازم در بازار کار مدرن باید در اولویت باشد. اشتغال با ثبات و تحمل مسیرهای شغلی به طور فزاینده ای در حال کاهش هستند. تغییر

۱. Bucci, ۲۰۰۸; Cohen & Soto, ۲۰۰۷; de la Fuente & Domenech, ۲۰۰۶; Hanushek & Woessmann, ۲۰۱۲, ۲۰۱۵; Lutz, Cuaresma, & Sanderson, ۲۰۰۸; Romer, ۱۹۹۰; Strulik, Prettnner, & Prskawetz, ۲۰۱۳

۲. Battu, Belfield, & Sloane, ۲۰۰۳; Lucas, ۱۹۸۸

۳. Acemoglu & Autor, ۲۰۱۲; Goldin & Katz, ۲۰۰۹; Prettnner & Schaefer, ۲۰۲۰; Strulik et al., ۲۰۱۳

کارفرمایان، مشاغل، و حتی فرصت‌های شغلی به‌طور فزاینده‌ای مرسوم شده، و اتوماسیون و هوش مصنوعی به تنهایی این فرایند را تسریع خواهند کرد. بنابراین، آماده-سازی نسل بعدی نیروی کار برای وظیفه‌ی یادگیری مادام‌العمر بسیار حیاتی و مهم است. در این زمینه، تجدید نظر و اصلاح دوره‌های تحصیلی در مدارس ابتدایی و متوسطه جهت اولویت‌بندی موضوعاتی که هم در عصر اتوماسیون مورد تقاضا هستند (مانند علوم کامپیوتر، فناوری اطلاعات، علوم طبیعی) یا انعطاف‌پذیری در یادگیری را افزایش می‌دهند (مانند به کارگیری مهارت‌های خواندن و نوشتن در اسرع وقت و توسعه مهارت‌های تفکر انتقادی که توانایی در فراگیری شیوه‌های یادگیری را تقویت می‌کنند) ممکن است مفید باشند. در عصر اطلاعات، به خاطر سپاری انبوه اطلاعات، با ارجاع آسان به آن‌ها منسوخ شده، درحالی‌که آگاهی و چگونگی دسترسی به محل اطلاعات دقیق و پردازش و ارزیابی منتقدانه‌ی آن، بیشتر مورد نیاز است.

به‌طور خلاصه، هرچند، بعید به نظر می‌رسد که سیاست‌های آموزشی تمام اثرات منفی اتوماسیون را کاهش دهد، ولی سرمایه‌گذاری آموزشی، رکن اساسی سیاست کارآمد در عصر اتوماسیون به شمار می‌رود. همچنین آموزش مجدد هر فردی که شغلش را از دست داده به سهولت امکان‌پذیر نمی‌باشد. بنابراین برای توجه جامع به اثرات منفی اتوماسیون، اقدامات سیاستی دیگری نیز مورد نیاز است.

۳.۷ سیاست‌های بازار کار

از آنجا که اتوماسیون باعث کاهش تقاضای کل نیروی کار می‌شود (همان‌طور که مشاهده شد، این موضوع بحث‌انگیز و جدال‌آمیز است)، پیشنهادی که مکرراً مطرح می‌شود یک اقدام سیاستی برای کاهش ساعات کار قانونی در طول هفته است تا مشاغل موجود در میان افراد متعدد و بیشتری توزیع گردد. این اقدام می‌تواند از وضعیتی که در آن برخی افراد مجبور به تحمل بار بیکاری کامل ناشی از اتوماسیون و فرایند گذار به استفاده از فناوری‌های جدید هستند جلوگیری نماید. بعلاوه، بر اساس شواهد تجربی کلوت و ساورمن^۱ در سال ۲۰۱۷ حتی اگر ساعات کار کارگران نسبتاً پایین باشد،

۱. Collewet and Sauermann, ۲۰۱۷

کاهش ساعات کار کارگران در مراکز تماس (بیشتر نیمه وقت)، به دلیل کاهش خستگی و کوفتگی ناشی از کار، منجر به افزایش بهره‌وری آن‌ها خواهد شد.

با این حال، کاهش ساعات کار بدون کاهش حقوق متناظر با آن، مبین هزینه‌ی بالاتر هر واحد نیروی کار است. این مسأله به نوبه‌ی خود، موجب تسریع در فرایند مسیر انتقال و گذار به تولید خودکار و اتوماسیون خواهد شد و بنابراین پیامدهای منفی میان-مدت و بلندمدت تقاضای نیروی کار را تشدید خواهد کرد.^۱ بعلاوه، مقررات الزام‌آور قانونی در مورد ساعات کار مصوب، لزوماً با ترجیحات هر یک از کارگران متناظر نیست. کورنثو^۲ در سال ۱۹۹۵ نشان می‌دهد که کاهش زمان کاری مصوب در واقع نابرابری بر حسب رفاه فردی را بالا می‌برد. زیرا اوقات فراغت می‌تواند بطور ذهنی یک کالای نرمال باشد که تقاضای آن با درآمد بیشتر، افزایش می‌یابد. بنابراین، افراد پردرآمد از کاهش ساعات کاری بیشتر سود خواهند برد.

بنابراین قانون الزام‌آور کاهش ساعات کار بعنوان یک سیاست در پاسخ به معضلات اتوماسیون، احتمالاً در بهترین حالت بی‌فایده، و ممکن است در بدترین حالت اثرات مضر و زیان باری در اشتغال و نابرابری درآمد داشته باشد. از انقلاب صنعتی روند آرام و تدریجی کاهش ساعات کاری هر کارگر محقق شده، به گونه‌ای که بخشی از افزایش بهره‌وری ناشی از تغییرات فناوری، نه به صورت دستمزد بالاتر بلکه در اوقات فراغت بیشتر تحقق یافته است. بنابراین، کاهش تدریجی ساعات کار در طی زمان، همراه با دستمزدهایی که کم‌تر از رشد بهره‌وری به علت اتوماسیون، افزایش می‌یابند، می‌تواند یک استراتژی عملی و سودمند برای پیگیری جلسات چانه‌زنی کاری در آینده بین کارگران و بنگاه‌ها باشد.

تطبیق‌های پرهزینه‌ی اتوماسیون می‌تواند منجر به افزایش کارایی فرایند جستجو و- انطباق جهت کاهش بیکاری اصطکاکی شود. کردز و پرتنر^۳ در سال ۲۰۱۹ نشان دادند که اتوماسیون باعث بیکاری اصطکاکی بالاتر برای کارگران کم‌مهارت، و بیکاری اصطکاکی کمتر برای کارگران با مهارت بالا می‌شود. افزایش کارایی فناوری جستجو می‌تواند اثرات منفی بر کارگران کم‌مهارت را کاهش دهد. یک نمونه واقعی و منسجم عبارت است از سیاست اصلاحات هارتس ۳ در آلمان که با ایجاد «اداره فدرال کارگری»

۱. Lordan and Neumark, ۲۰۰۱۸; Loardan, ۲۰۱۹.

۲. Corneo, ۱۹۹۵.

۳. Cords & Prettnr, ۲۰۱۹.

مراکز شغلی را مجدداً سازماندهی کرد. این سیاست منجر به افزایش تعداد کارمندان مراکز شغلی برای تطبیق بیکاران در جستجوی شغل با کارفرمایان با فرصت‌های شغلی جدید شد. با اعمال این سیاست، تعداد اشخاص بیکار به ازای هر مشاور- و بنابراین زمان‌های انتظار برای اشتغال مجدد- به‌طور قابل توجه کاهش یافت. این تغییر به‌طور محتمل همراه با افزایش تعداد و کیفیت انطباق‌های شغلی بود، و بنابراین، اجرای اصلاحات هارتس در نیمهٔ دهه‌ی ۲۰۰۰ به کاهش قابل توجه بیکاری در آلمان کمک کرد.

۴.۷ وضع مالیات در عصر اتوماسیون

اکثر تحقیقات انجام شده در حوزه‌ی اثرات اتوماسیون بر اقتصاد کلان به این نکته اشاره می‌کنند که اتوماسیون باعث کاهش اهمیت عامل نیروی کار در مقایسه با عامل سرمایه در فرایند تولید کالاها و خدمات می‌شود. این اثر نشان می‌دهد که مالیات بر درآمد نیروی کار، که به همراه مالیات بر مصرف از مهمترین منابع تأمین مالی هزینه‌های دولت است، در پی اتوماسیون در حال فرسایش و کاهش است. سؤالی که اکنون به ذهن متبادر می‌شود این است که چگونه می‌توان سیستم مالیاتی را به گونه‌ای باز طراحی کرد که با توجه به تغییرات فناوری پیش رو برای آینده مناسب باشد؟ یک پیشنهاد سیاستی استاندارد برای توجه به نگرانی‌ها در خصوص کاهش سهم درآمدی نیروی کار عبارت است از افزایش مالیات بر سرمایه و یا مالیات بر درآمد حاصل از سرمایه.

پیشنهادهای معین و مشخص به پایه‌ی مالیاتی، ارزش معافیت‌های مالیاتی و زمان-بندی جمع‌آوری مالیات وابسته است. برای مثال، به زعم پیکتی در سال ۲۰۱۴ مالیات بر ثروت، باید از ارزش کل دارایی فرد (به‌طور بالقوه بعد از احتساب معافیت‌های مالیاتی) و یا کسری از ثروت شخص در طی سال اخذ شود.^۱ مالیات بر سود سرمایه، باید بر سودهای حاصل از خرید یک دارایی با قیمت کمتر و فروش آن با قیمتی بالاتر اخذ شود. همچنین مالیات بر ارث بر اساس ارزش کل ارثیه‌ها یا هدایا به یک شخص یا وارثان و یا دیگر دریافت‌کنندگان (مجدداً، بعد از محاسبه‌ی معافیت‌های مالیاتی) اخذ و پرداخت آن بعد از قانونی شدن ارثیه یا هدایا لازم الاجرا است.

۱. مالیات بر ثروت ممکن است افزایشی، مسطح و یا کاهشی باشد.

مشکل حیاتی و رایج این نوع مالیات‌ها، همانند مالیات بر درآمد نیروی کار، این است که برخی از انواع دارایی‌ها قابل منقول و به راحتی برای فرار مالیاتی قابل انتقال به خارج از کشور می‌باشند. بنابراین، اعمال مالیات بر ثروت تنها توسط یک کشور بی‌نتیجه خواهد بود و لذا اجرای صحیح آن مستلزم استراتژی هماهنگ بین‌المللی است. با این حال پیکتی در سال ۲۰۱۴ تأکید می‌کند که الزام کشورهای پیشرفته برای همکاری در این موارد تقریباً غیرممکن است.

البته زمانی که صحبت از مالیات بر ارث می‌شود، تحرک و انتقال پایه‌ی مالیاتی از یک کشور به کشوری دیگر تا حدودی ناممکن است، ولی با این حال این موضوع محتمل بوده و ممکن است برخی افراد ثروتمند را وادار و اغوا به انتقال ثروت به دیگر قلمرو قدرت و حوزه‌های قضایی کند که در آن جا یا مالیات کمتر است و یا اصلاً وجود ندارد.

فارغ از سیاست اولیه‌ی مرسوم، یک اقدام نوین در مقابل اثرات اقتصادی اتوماسیون عبارت از مالیات مستقیم بر ارزش روبات‌های نصب شده. دلایل متقن این نوع مالیات به‌طور خلاصه به شرح زیر است: کارگران و کارمندان مالیات و هزینه‌های تأمین اجتماعی را پرداخت می‌کنند، ولی روبات‌هایی که جایگزین نیروی کار شده (جدا از مالیات‌هایی که مالکان روبات‌ها بر اساس سودهای حاصل از روبات‌ها پرداخت می‌کنند) نه مالیات پرداخت می‌کنند و نه سهم سیستم تأمین اجتماعی را می‌پردازند. بنابراین برای ایجاد شرایط برابر بین کارگران و روبات‌ها و وسعت بخشیدن به پایه‌ی مالیاتی، برخی معتقدند که مالیات بر روبات‌ها لازم است. به زعم بیل گیتس بنیانگذار مایکروسافت «اخذ مالیات از روبات‌ها قطعاً روشی بهتر برای بکارگیری روبات نسبت به منع استفاده از آن می‌باشد».^۱ گیتس همچنین روش‌هایی را برای جبران مالیات بر درآمد از دست رفته پیشنهاد می‌کند، «بخشی از مالیات بر درآمد نیروی کار از دست رفته را می‌توان از سودهایی اخذ کرد که از قبل کارایی پیشرفت فناوری کاراندوز بدست می‌آید. بخشی را نیز می‌توان مستقیماً از مالیات بر برخی روبات‌ها بدست آورد». در واقع، برخی دولت‌ها و همچنین پارلمان اروپا در حال بررسی چگونگی اخذ مالیات از روبات‌ها هستند.^۲

۱. Delaney, ۲۰۱۷

۲. برای مثال به ۲۰۱۷, Prodhon; ۲۰۱۷, Barden, Tirone, & Groendahl مراجعه شود.

جهت بررسی اثرات مالیات بر روبات در ادبیات مدل‌های رشد نئوکلاسیک مبتنی بر اتوماسیون، می‌توان به گاستایگر و پرتنر در سال ۲۰۲۰ و جورپرو و همکاران در سال ۲۰۱۸ مراجعه کرد.^۱ این مطالعات نشان می‌دهند که قضیه کارایی تولید که بیان می‌کند بهترین تخصیص احتمالی در غیاب عدم اخلال مالیاتی، مالیات بر سرمایه را در بر نمی‌گیرد.^۲ ممکن است قابل استفاده برای روبات‌ها نباشد. گاستایگر و پرتنر در سال ۲۰۲۰ و جورپرو و همکاران در سال ۲۰۱۸ برخی کانال‌های ارتباطی را شرح می‌دهند که بوسیله‌ی آن مالیات بر روبات می‌تواند منجر به درآمد ایستا و پویا و مزایای رفاهی شود. در مطالعات گاستایگر و پرتنر در سال ۲۰۲۰ که مبتنی بر مدل‌های نسل‌های هم-پوش است، روبات‌ها حقوق کارگران را کاهش می‌دهند. ساختار مدل‌های نسل‌های هم-پوش اشاره به این مسئله دارد که درآمد حاصل از دستمزد یا پس‌انداز می‌شود و یا سرمایه‌گذاری. هرچند، اتوماسیون، توانایی کارگران برای پس‌انداز و سرمایه‌گذاری را کاهش داده و بنابراین مانع انباشت سرمایه می‌شود. از طرفی، با وجود این که انباشت سرمایه یکی از مهمترین منابع رشد درآمد میان‌مدت در مدل رشد نئوکلاسیک است، اما اتوماسیون در برخی جهات بذر مرگ احتمالی خود را در این بستر می‌کارد. مالیات بر اتوماسیون در این زمینه سرمایه‌گذاری را از سرمایه‌ی اتوماسیون به سمت سرمایه‌ی فیزیکی سنتی به شکل دستگاه‌ها، خطوط مونتاژ، ساختمان‌های اداری و غیره سوق می‌دهد. مکمل بودن سرمایه‌ی فیزیکی سنتی با نیروی کار در فرایند تولید، این اطمینان را می‌دهد که دستمزدها با مالیات بر روبات در وضعیت یکنواخت و یا تعادل بلندمدت (و در طول انتقال به سمت این تعادل) افزایش خواهند یافت. این نتایج برای نرخ‌های مالیاتی پایین و متوسط بر روبات صدق می‌کند، ولی، از یک نقطه به بعد، اثرات منفی مالیات بیشتر بر روبات‌ها بر انباشت سرمایه‌ی کل غالب خواهد شد.

در مقابل این نتایج، برخی محققان به این نتیجه رسیده‌اند که اخذ مالیات از روبات‌ها، انگیزه سرمایه‌گذاری بر اتوماسیون را در مدل‌هایی که در آن تحقیق و توسعه (R&D) و اتوماسیون دورن‌زا هستند را کاهش می‌دهد. در چنین محیطی، مالیات بر روبات ممکن است مانع رشد بهره‌وری شود، نکته‌ای که پرتنر و استرولیک در سال ۲۰۲۰ به آن اشاره می‌کنند. این دو، مدل رشد مبتنی بر R&D را در راستای مطالعات رومر در سال ۱۹۹۰ و جونز در سال ۱۹۹۵ و بکارگیری اتوماسیون و آموزش درون‌زا

۱. Gosteiger and Prettner, ۲۰۲۰; Guerreiro et al, ۲۰۱۸.

۲. Diamond & Mirrlees, ۱۹۷۱a, ۱۹۷۱b.

مورد استفاده قرار می‌دهند. پرتنر و استرولیک در سال ۲۰۲۰ تأثیرات دو مسیر مالیات بر درآمد نیروی کار و مالیات بر ارزش یک روبات جدید بعد از نصب را مطالعه کرده تا اثرات منفی اتوماسیون را مورد توجه قرار دهند. در هر دو مورد، عواید مالیات به کارگران کم‌مهارت در اقتصاد توزیع مجدد شده است. شبیه‌سازی‌ها نشان می‌دهند که مالیات بر روبات، رشد و نابرابری را بیش از مالیات بر درآمد حاصل از کار کاهش می‌دهد، زیرا مالیات بر روبات انگیزه سرمایه‌گذاری در R&D را کاهش داده، و بنابراین، منجر به کاهش رشد بهره‌وری می‌شود. به‌طور کلی، در مقایسه با نتایج فوق‌الذکر در یک اقتصاد مبتنی بر مدل‌های نسل‌های هم‌پوش بدون رشد مبتنی بر R&D مالیات بر روبات حتی برای نرخ‌های پایین اشاره به یک بده بستان برابری-کارایی همانند بسیاری از دیگر مالیات‌ها دارد. از دیدگاه کارایی مطلق، نرخ صفر مالیات بر روبات رشد اقتصادی را در محیطی به حداکثر خواهد رساند که در آن R&D درون‌زا است.

علاوه‌براین، از چشم‌انداز عملی، مالیات بر روبات دارای مشکلات امکان‌سنجی است. نه تنها بازاری برای دستمزد روبات وجود ندارد، بلکه شیوه وضع مالیات بر این دستمزد نیز تعیین نشده است. به‌طوری‌که تاکنون مالیات بر ارزش روبات‌ها تنها گزینه عملی بوده است. حتی اگر این مشکل حل شود، روبات‌ها بخشی از سرمایه فیزیکی بوده و عامل تولیدی است که بشدت قابل انتقال و متحرک می‌باشند. این مسأله نشان می‌دهد اگر یک کشور به‌طور مستقل مالیات بر روبات را وضع کند، بنگاه‌ها می‌توانند به راحتی تولید خود را به کشور دیگری که این مالیات را وضع نکرده منتقل کنند، و لذا در مورد مالیات بر روبات یک «مسابقه تا پایان کار» اتفاق می‌افتد. برای مثال در یک تلاشی برای اجتناب از مالیات هنگفت بر روبات کشور مبدأ، بنگاه‌ها اقدام به تولید کالاهای ارزانتر در یک کشور بیگانه با مالیات صفر یا ناچیز بر روبات کرده و کالاهایی که با کمک روبات‌ها تولید شده را به کشور خود صادر می‌کنند. تأثیرات منفی توزیع مجدد اتوماسیون در این مورد از بین نمی‌رود، بلکه علاوه بر آن تولید به خارج از کشور منتقل می‌شود. بنابراین، مالیات بر روبات با مشکلاتی مشابه مالیات بر ثروت پیشنهادی توسط پیکتی در سال ۲۰۱۴ که قبلاً مورد بررسی قرار گرفت روبرو است. مالیات بر روبات زمانی حداکثر اثربخشی را داراست که در تمامی کشورها به‌طور همزمان تصویب و اعمال شود، ولی باید توجه داشت که مشکلات همکاری سیاسی و اقتصادی بین‌المللی نیز به خوبی آشکار و هویدا است.

مباحث فوق نشان می‌دهد که پتانسیل وضع مالیات بر روبات و یا سرمایه‌ی مولد به دلیل قابلیت تحرک و انتقال آن پایین است، درحالی‌که وضع مالیات بر نیروی کار در

نتیجه اتوماسیون به نهایت خود رسیده است. دیگر منبع مالیاتی با پتانسیل بالا برای افزایش درآمدهای مالیاتی دولت، مالیات بر مصرف یا مالیات بر ارزش افزوده (VAT^۱) می باشد. با این حال VAT مالیات پس رو^۲ است زیرا افراد با درآمدهای پایین بخش بزرگتری از درآمد خود را مصرف کرده، و بنابراین، سهم بیشتری از درآمد خود را بعنوان VAT پرداخت می کنند. از این رو، اعمال VAT بجای مالیات بر درآمد پیش رو^۳ منجر به افزایش نابرابری درآمدی قابل تصرف می شود. لذا، روش هایی جهت اصلاح VAT پیشنهاد می شود. برای مثال، فرانک^۴ در سال ۲۰۰۸ پیشنهاد می کند که پس اندازها به جای مخارج مالیات پذیر، باید در انتهای سال به اداره مالیات گزارش شوند تا تفاوت بین درآمد و پس اندازها، در سال مالی بعنوان مأخذی برای مالیات بر مصرف تصاعدی (نرخه) که VAT با هزینه های مصرفی افزایش خواهد یافت) استفاده شود. مزیت های چنین سیستمی عبارت از این خواهد بود که مالیات بر مصرف تصاعدی (۱) انگیزه های کار و پس انداز را کاهش نمی دهد (به ترتیب همانند مالیات بر درآمد و مالیات بر سرمایه)، (۲) نابرابری را بر اساس نرخ های مالیاتی تصاعدی کاهش می دهد و (۳) منجر به کاهش در فرار مالیاتی می شود زیرا پس اندازها بار مالیاتی در کشور مبدأ را در صورت گزارش آنها کاهش می دهند. این مسأله در تضاد با وضعیت کنونی است که در آن کانال بندی پس-اندازها به پناهگاه مالیاتی، بار مالیاتی را کاهش می دهد.

درحالی که ممکن است ساختار بندی مجدد سیستم مالیات بر مصرف پیش رو در عمل مشکل باشد، برخی عناصر مالیات بر مصرف پیش رو از قبل وجود داشته و به راحتی قابل تقویت هستند. برای مثال، می توان نرخ بالاتر VAT را بر کالاهایی که افراد با درآمد بالا یا گروه ثروتمندان و غنی مصرف می کنند اعمال کرد. در این خصوص اتحادیه اروپا نرخ های متعدد VAT را برای کالاهای مختلف در نظر گرفته و غذا، نوشیدنی، کتاب و دارو اغلب واجد شرایط نرخ کمتر VAT در برخی از کشورهای عضو اتحادیه اروپا می باشند. با پذیرش سیستمی هوشمندانه از نرخ های مالیاتی کاهش یافته، عنصر تصاعدی مالیات بر مصرف مشخص تر خواهد شد. مثال دیگر، نرخ مالیات بالاتر بر خودروهای گران تر با آلایندهی بیشتر است، که در برخی کشورها استفاده شده و غالباً بر افراد دارای اولویت و استطاعت برای خرید این نوع خودروها موثر می باشد. در مورد

۱. Value-added tax

۲. Regressive tax

۳. Progressive tax

۴. Frank, ۲۰۰۸

مالیات‌های بالاتر بر خودروهای آلاینده‌تر، حتی تشویق خرید خودروهای سازگارتر با محیط زیست نیز اثر مطلوب خواهد داشت.

نوع دیگر مالیات که در میان اقتصاددانان رایج و محبوب است، مالیات بر ارزش زمین است،^۱ زیرا عرضه‌ی زمین تقریباً ثابت است به‌طوری‌که اولاً انحرافات مالیاتی در آن تقریباً وجود نداشته و دوماً مالیات به راحتی قابل انتقال به مستاجرین نیست، زیرا تقاضا برای توسعه، باکشتش‌تر از عرضه‌ی زمین است. در این مورد، یک تحلیل از شمول مالیاتی پیشنهاد می‌کند که زمین‌داران به‌طور مؤثر بار مالیاتی بیشتری را متحمل می‌شوند. به عنوان پیامد این خصوصیات مالیاتی، مالیات بر ارزش زمین انحراف کمتری نسبت به مالیات‌های دیگر داشته، و پیش‌رو است زیرا افراد غنی مالک زمین بیشتری نسبت به افراد فقیر هستند. بعنوان یک اثر جانبی مطلوب، مالیات بر ارزش زمین را می‌توان به عنوان گلوگاه اجاره‌هایی استفاده کرد که به دلیل افزایش ارزش دارایی‌ها به زمین‌داران تعلق می‌گیرد (به دلیل طبقه‌بندی مجدد زمین و یا به خاطر مقررات و یا بهبود زیرساخت‌های دولتی ارزش زمین آن‌ها را بالا می‌برد). در مقایسه با مالیات‌های بر مایملک، مالیات بر ارزش زمین مانع توسعه زمین نمی‌شود زیرا بر ارزش ساختمان‌های احداثی موجود در زمین مالیات بسته نمی‌شود. بعلاوه، برای فرار مالیاتی زمین قابل انتقال به خارج از کشور نیست، بطوری‌که «برهان قابلیت انتقال و تحرک پذیری بالا» در مقابل این شکل از مالیات بر ثروت به کار نمی‌رود.

بر اساس اطلاعات اکونومیست در سال ۲۰۱۸، ارزش کل زمین در ایالات متحده ۱۶۰ درصد تولید ناخالص داخلی (GDP) در سال ۲۰۰۹ برآورد شده است. با این حال، مالیات بر مایملک در میان رأی‌دهندگان نامتداول است. برای مثال، در کالیفرنیا بنابر تصمیم رای دهندگان، ممانعت از مالیات بر بیش از ۱٪ از ارزش ملک (که به لایحه شماره ۱۳ معروف است) در سال ۱۹۷۸ تصویب شده و در ۴۰ سال گذشته همواره مورد حمایت رای دهندگان بوده است.

گزینه‌ی دیگر برای اصلاح سیستم مالیاتی افزایش مالیات‌های پیگویی است (بامول ۱۹۷۲؛ پیگو ۱۹۲۰). هدف از این مالیات‌ها افزایش قیمت فعالیت‌هایی در بازار است که پیامدهای خارجی منفی در اقتصاد دارند. در نتیجه، اثر انحرافی این مالیات در جهت درونی‌سازی پیامدهای خارجی منفی بوده و بنابراین اقتصاد را به سمت تخصیص کارآمد نزدیک‌تر می‌سازد. یک نمونه از مالیات پیگویی، مالیات زیست محیطی بر انتشار گاز

۱. برای مثال به George, ۱۸۷۸; The Economist, ۲۰۱۸ مراجعه شود.

دی‌اکسید کربن (CO_2) است. زیرا با انتشار CO_2 شرکت‌های آلاینده بر تأثیر ثانویه آن و هشدارهای جهانی توجهی نداشته، و لذا مالیات بر انتشار CO_2 می‌تواند هزینه‌ها را به سمت افراد و شرکت‌هایی که مولد آلودگی هستند سوق دهد و به نوبه‌ی خود تولیدات مضر را کاهش می‌دهد. برخی نویسندگان معتقدند اگر درآمد این گونه مالیات‌ها برای دیگر فعالیت‌های مطلوب و کاهش دیگر مالیات‌ها استفاده شود، آنگاه مالیات‌های پیگویی فرصت‌هایی را برای «سود مضاعف» فراهم خواهند کرد. برای مثال، درآمدهای مالیاتی حاصل از انتشار CO_2 را می‌توان برای کاهش مالیات‌های بر درآمد نیروی کار استفاده کرده و بنابراین استفاده از نیروی انسانی در مقابل استفاده از روبات را جذاب‌تر سازد.^۱ از آنجا که ثروتمندان معمولاً مسئول آلودگی بیشتر می‌باشند (به پاراگراف زیر مراجعه کنید)، مالیات‌های زیست محیطی احتمالاً پیش‌رو است.

هرچند، در واقعیت، فعالیت‌های آلاینده اغلب به جای آن که مالیات دهند، کمک هزینه دریافت می‌کنند.^۲ برای مثال، کمک یارانه‌های سوخت‌های فسیلی در ایران، اندونزی و بسیاری از کشورها به‌طور حتم فعالیت‌های آلاینده را تشویق می‌کند (اکونومیست ۲۰۱۳). برای توجیه یارانه‌های سوخت فسیلی، مدافعین معتقدند که افراد فقیر با امکان استفاده از سوخت‌های فسیلی از خودرو شخصی استفاده و خانه‌های خود را گرم می‌کنند. اگرچه، افراد با درآمدهای بالاتر بیشتر رانندگی می‌کنند، مالک ماشین‌های بزرگتر و متعدد هستند، و در خانه‌های بزرگتری زندگی می‌کنند که مستلزم انرژی بیشتر برای گرمایش است، لذا منافع استفاده‌ی یارانه‌ی افراد کم درآمدتر نسبت به افراد با درآمد بالاتر به مراتب کم‌تر است (اکونومیست ۲۰۱۵). بعلاوه این که مقدار یارانه‌ها در دنیا بسیار بالا است (بر اساس گزارش IEA در سال ۲۰۱۶، حدود ۵۰۰ میلیارد دلار آمریکا در سال ۲۰۱۴)، این وجوه را می‌توان به روش‌های مختلف و بسیار سودمندتر برای گروه‌های کم درآمد جهت‌دهی مجدد کرد. بنابراین لغو یا کاهش یارانه‌های سوخت فسیلی، در افزایش کارایی، کاهش نابرابری و حفاظت از محیط زیست بسیار موثر است.

موارد دیگری از مالیات پیگویی که اصطلاحاً بدان مالیات بر خطا و تقصیر گویند عبارتند از مالیات بر تنباکو، الکل، نوشیدنی‌های غیرالکلی و محصولات شور و شیرین. هدف از این مالیات‌ها کاهش مصرف کالاهای ناسالم است، یا حداقل منع افراد از رفتارهایی است که هم از نظر شخصی و هم اجتماعی بی‌تدبیری یا نامطلوب تلقی می‌-

۱. برای مباحث سودسهام مضاعف به Bovenberg & de Mooij, ۱۹۹۴; Fullerton & Metcalf, ۱۹۹۷ مراجعه کنید.

۲. International Energy Agency, ۲۰۱۶; The Economist, ۲۰۱۵.

شوند. با اینحال به علت این که افراد فقیر تمایل به صرفِ بخش بیشتری از درآمد خود روی تنباکو و الکل دارند، این مالیات‌ها عموماً پس‌رو است.

در انتها، کمیسیون اروپا در اصلاح وضع مالیات شرکتی در عصر دیجیتال، عملی مبتکرانه بکار برده است.^۱ مشکل سیستم فعلی مالیات شرکتی آن است که این سیستم بر اساس حضور فیزیکی یک بنگاه در یک کشور خاص و سود خالص ثبت شده توسط آن بنگاه استوار است. هرچند، در حال حاضر بیشتر شرکت‌های دیجیتالی بزرگ درآمدهای هنگفتی از محل‌هایی کسب می‌کنند که در آن جا حضور فیزیکی ندارند. علاوه بر این، شرکت‌های چندملیتی اغلب با انتقال سود خود به قلمروهایی با مالیات پایین‌تر، از میزان بار مالیاتی شرکت‌های بزرگ خود می‌کاهند (قیمت‌گذاری انتقالی). برای وضع مالیات عادلانه بر شرکت‌های دیجیتالی، اهداف کمیسیون اروپا وضع مالیات بر این کسب و کارها بر اساس تعامل معنادار آن‌ها با کاربران در یک کشور است، نه بر اساس حضور فیزیکی شرکت. با این حال، راه‌حل بلندمدت مستلزم هماهنگی بین‌المللی، زمان برای اجرا، و زمان برای رفع بیشتر مشکلات قانونی است. بنابراین کمیسیون اروپا یک راه‌حل موقتی پیشنهاد می‌کند که با آن شرکت‌های دیجیتالی بزرگ کسر مشخصی از درآمد ایجاد شده در یک کشور را پرداخت خواهند کرد (مانند درآمد فروش تبلیغات و استفاده از اطلاعات فراهم شده توسط کاربر و فعالیت‌های واسطه دیجیتال). کمیسیون اروپا تصمیم به اجرای این مالیات موقتی بر شرکت‌ها با درآمدهای جهانی سالانه با بیش از ۷۵۰ میلیون یورو داشته، که از آن حداقل ۵۰ میلیون یورو باید به اتحادیه اروپا تعلق گیرد. این آستانه اطمینان می‌دهد که شرکت‌های فناوری نوپا و کوچک‌تر معاف از مالیات باشند. درحالی که بر اساس برآورد کمیسیون اروپا این مالیات می‌تواند سالانه درآمدی حدود ۵ میلیارد یورو خلق کند. در زمان تألیف این کتاب (می ۲۰۲۰) اکثریت کشورها برای اجرای چنین مالیاتی در مجلس اروپا دور از دسترس بوده‌اند.

۵.۷ تأمین اجتماعی در عصر اتوماسیون

از آنجا که پیشرفت مورد انتظارِ اتوماسیون، برخی کارگران را بیکار می‌کند و هر کسی که به خاطر اتوماسیون شغل خود را از دست می‌دهد را نمی‌توان آموزش مجدد داد،

۱. European Commission, ۲۰۱۸a, ۲۰۱۸b

نوسازی سیستم تأمین اجتماعی جهت پاسخگویی به چالش‌های پیش رو ضرورت دارد. تقویت بیمه‌ی بیکاری کارگران جایگزین شده توسط روبات که قادر به یافتن شغل جدید نمی‌باشند و برای مدتی طولانی بیکار می‌مانند، بسیار سودمند است، و بی‌ثباتی‌های اجتماعی، اقتصادی و سیاسی احتمالی ناشی از اتوماسیون را کاهش خواهد داد. بعلاوه، تحکیم سیستم‌های بیمه‌ی سلامت و جهانی‌سازی آن‌ها علی‌رغم اشتغال یا بیکاری افراد توصیه می‌شود. این استراتژی‌ها دارای پتانسیلی برای موارد زیر است:

(۱) بهبود قابل توجه وضعیت سلامت و بهداشت افراد محروم،

(۲) کاهش بالقوه‌ی هزینه‌های سلامت مرتبط با تله‌های فقر^۱

(۳) ایجاد تأثیرات کلی مثبت اقتصادی به دلیل وضعیت بهتر بهداشت و سلامت

مردم.^۲

استدلال دیگر برای کمک به کسانی که بیشترین زیان را از تغییرات فناوری می‌بینند، پدیده‌ی «مرگ و میر ناشی از یأس و ناامیدی» در این اواخر می‌باشد.^۳ بر این اساس، افرادی که با سختی‌های اقتصادی روبرو هستند در معرض اعتیاد به الکل، مصرف مواد مخدر و خودکشی می‌باشند. با توجه به این نرخ مرگ و میر در ایالات متحده، و بر اساس سوابق تاریخی، در اتحاد جماهیر شوروی سابق هنگام گذار به اقتصاد مبتنی بر بازار در دهه‌ی ۱۹۹۰ افزایش یافته است. اختلالات و در هم گسیختگی آن زمان، تأثیر قابل توجهی بر نیروهای کار مردان فعال گذاشته و منجر به اضطراب و تشویش شدید و افزایش مصرف الکل شد.^۴ تقویت و استحکام آندسته عناصر سیستم تأمین اجتماعی که به این گروه محروم یاری می‌رسانند، بار مالی پیش‌روی بیشتر افراد را سبک می‌کند. بنابراین، تضمین یک سیستم بیمه‌ی بیکاری مناسب و دسترسی به سیستم مراقبت بهداشت جهانی مستقل از وضعیت شغلی، نه تنها دارای پتانسیل کاهش نابرابری است، بلکه به‌طور بالقوه ناخوشی، شیوع امراض و مرگ و میر را نیز در مقیاسی وسیع کاهش می‌دهد.

۱. Blom, Khoury, & Subbaraman, ۲۰۱۸.

۲. Aghion, Howitt, & Murtin, ۲۰۱۱; Bloom & Canning, ۲۰۰۰; Bloom, Canning, & Fink, ۲۰۱۴; Bloom, Canning, Kotschy, Prettnner, & Schuñemann, ۲۰۱۹; Cervellati & Sunde, ۲۰۱۱; Lorentzen, McMillan, & Wacziarg, ۲۰۰۸; Shastri & Weil, ۲۰۰۳; Weil, ۲۰۰۷

۳. Case & Deaton, ۲۰۱۵

۴. Bennett, Bloom, & Ivanov, ۱۹۹۸

در خصوص اصلاح سیستم‌های تأمین اجتماعی، برخی استدلال می‌کنند که باید در عصر اتوماسیون یک درآمد پایه‌ی بدون شرط جهانی جایگزین سیستم تأمین اجتماعی سنتی شود. معمولاً چنین سیستمی به عنوان یک جایگزین جامع برای سیستم تأمین اجتماعی سنتی تصور می‌شود، به طوری که به دلیل عدم ضرورت تأیید صلاحیت، هزینه‌های اداری کاهش چشمگیری خواهند داشت. مخالفان درآمد پایه‌ی بدون شرط معمولاً استدلال می‌کنند که این اقدام هزینه‌های گزافی داشته و تصمیمات در مورد عرضه‌ی کار را به وضوح تحریف می‌کند. جدا از این دو برهان مخالف، یک درآمد پایه‌ی بدون شرط برای افرادی که به بیش از این وجوه پایه برای بقا نیاز داشته باشند مشکل ایجاد خواهد کرد. برای مثال این موقعیت برای افراد نیازمند به مراقبت‌های بلندمدت، بیماران مزمن و افرادی صدق می‌کند که تصادفی شدید داشته که منجر به معلولیت آن‌ها شده است. در پی حذف تمام مزایا و منافع هدف گذاری شده برای گروه‌هایی که تحت نظر سیستم تأمین اجتماعی سنتی هستند، ممکن است این گروه دیگر سطح مناسبی از مزایا برای بقا را دریافت نکنند. این سناریو در تضاد کامل با ایده‌ی اصلی شبکه‌ی امنیت اجتماعی است، یعنی، کمک به افرادی در جامعه که بیشتر از همه محتاج کمک هستند. علاوه بر این، در رابطه با درآمد پایه‌ی بدون قید و به طور کلی تر در رابطه با بیمه‌ی بیکاری، جنبه مهم دیگری که اغلب از آن غفلت می‌شود عبارت است از این که کارمندان اساساً از شغل خود از نظر انگیزه‌ی ذاتی، عزت نفس و تعامل اجتماعی بهره می‌برند. برای مثال، زندگی بیشتر افراد از طریق شغل‌شان معنا گرفته، از مشاغل خود بعنوان ابزار اصلی معاشرت استفاده کرده و حتی معشوقه‌ی خود را در محل کار می‌یابند. در این حالت از دست دادن شغل به دلیل اتوماسیون نه تنها همراه با زیان مالی خواهد بود بلکه زیان بیشتری از منظر رفاه ذهنی نیز حاصل می‌شود. حتی با جایگزینی کامل درآمد از دست رفته، چنین وضعیتی از بعد اجتماعی می‌تواند تأثیرات مخربی داشته و از منظر اعتماد به نفس، افراد را از این ویژگی که جزء مهمی از سلامت فردی است، محروم سازد. در این رابطه، ارائه‌ی کمک‌های مالی به برخی از مشاغل، احتمالاً مفیدتر از یک درآمد پایه‌ی بدون قید یا مزیت‌های بیکاری بهبودیافته خواهد بود.^۱ برخی از عناصر چنین سوبسیدها و کمک‌های مالی به شکل معافیت مالیات بر درآمد کسب شده (EIT)^۲ در ایالات متحده وجود دارد، که اساساً یک مالیات بر درآمد منفی برای کارگران

۱. Korinek & Stiglitz, ۲۰۱۷, p. ۳۳

۲. earned-income tax credit

با درآمد پایین است. حذف معافیت مالیات بر درآمد کسب شده ممکن است برای برخی مشاغل که از طریق این سیستم، سوبسید و کمک مالی دریافت می‌کنند معقول نباشد. با توجه به کاهش سهم درآمد نیروی کار، یک گزینهٔ سیاستی برای کاهش تأثیرات توزیعی منفی متناظر با اتوماسیون تضمین این مسأله است که بخش بزرگتری از جمعیت قادر به تقسیم عایدات ناشی از درآمد سرمایه باشند. یکی از احتمالات، عبارت از کمک مالی مالکین خصوصی سهام با هدف افزایش انگیزه جهت پس‌انداز و توسعهٔ مالکیت سرمایه است. در این زمینه، بیشتر افراد از افزایش مزایای ناشی از اتوماسیون بهره خواهند برد. با این حال، خانوارهای کم درآمد اغلب در پرداخت نیازهای معیشتی مشکل دارند، به‌طوری‌که افزایش پس‌انداز برای این گروه حتی با کسب یارانه‌های قابل توجه غیرممکن است. به‌طور کلی، نرخ پس‌انداز همبستگی مثبت با درآمد و ثروت دارد به‌طوری‌که خانوارهای با درآمد بالا و ثروتمند از کمک‌های مالی پس‌انداز خود بهره‌ی زیادی می‌برند. بنابراین، حمایت دولت از انباشت سرمایه‌ی صاحبان سهام بعنوان راه‌حلی برای مشکلات توزیعی ناشی از اتوماسیون کم‌تر مورد توجه قرار می‌گیرد.

گزینه‌ی دیگری که اغلب توصیه می‌شود این است که بخشی از درآمد نیروی کار به صورت سهام از طرف بنگاه‌هایی که برای آن کار می‌کنند، پرداخت شود. با این‌که این رویکرد می‌تواند انباشت بیشتر سرمایه را توسط افراد تضمین کند، کارمندان بنگاه‌های غیرانتفاعی، کارمندان دولتی و کسانی که در حال حاضر بخشی از نیروی کار نیستند را از این برنامه‌ها مجزا خواهد ساخت. بعلاوه، تقسیم مالکیت شرکت برای بنگاه‌های کوچک‌تر که در معاملات سهام فهرست نشده‌اند و یا برای بنگاه‌های خانوادگی مشکل آفرین می‌شود. با توجه به این طرح، حتی برای کارمندان شرکت‌های اقتصادی بزرگ مشکلاتی اتفاق خواهد افتاد. برای مثال، مالکیت سهام شرکت توسط کارمند آن شرکت منجر به خوشه‌بندی خطرات می‌شود و به تبع آن ورشکستگی شرکت نه تنها باعث از دست رفتن کار می‌شود، بلکه بخش قابل توجهی از ثروت فعلی فرد و وجوه بازنشستگی او را نابود می‌کند. در نهایت، از دیدگاه عملی، پرداخت حقوق به صورت سهام به مثابه اجبار به پس‌انداز بوده و بنابراین می‌تواند انواع دیگری از پس‌اندازهای شخصی را کاهش دهد و هدف اصلی چنین ابتکار عملی را تضعیف کند.

کورنئو در سال ۲۰۱۸ یک ایدهٔ جالب را به‌طور کلی و نه لزوماً در رابطه با اتوماسیون برای مقابله با این مشکلات پیشنهاد می‌کند. او استدلال می‌کند که دولت با انتشار اوراق بدهی و سرمایه‌گذاری آن در بازارهای سهام بین‌المللی می‌تواند یک صندوق سرمایه راه‌اندازی کند. با تفاوت بین هزینه‌های تأمین مالی دولت و بازگشت سرمایه از

سرمایه‌گذاری در بازار سهام، این صندوق می‌تواند یک «سود سهام اجتماعی» به تمام شهروندان پرداخت کند. کورنئو در سال ۲۰۱۸ تخمین می‌زند که اندازه بهینه چنین صندوقی حدود ۵۰-۳۰٪ از GDP در آلمان است و می‌تواند حدود ۱,۰۰۰ یورو به هر شخص در سال پرداخت کند. بعلاوه این که توزیع مجدد به شهروندان یک مبلغ سرجمع است، چنین طرحی نابرابری را کاهش خواهد داد. بخصوص زمان‌هایی که دولت قادر است با نرخ بهره‌ی بسیار پایین‌تر از نرخ بازگشت سرمایه در بازار سهام قرض کند، راه-اندازی چنین صندوقی حتی بهبود پارتو از نظر کارایی ایجاد خواهد کرد. توان این صندوق در پرداخت آنقدر زیاد است که باعث کاهش تمام تأثیرات توزیعی منفی اتوماسیون می‌شود. هر چند در مقایسه با یک درآمد پایه‌ی بدون قید، وجوه دولتی نامزد و جایگزین سیستم تأمین اجتماعی نیست، و پرداخت‌هایی که قادر به تأمین مالی است مکمل درآمد نیروی کار است نه جایگزین آن.

عامل تعیین‌کننده موفقیت این ایده، تعداد کشورهایی است که چنین صندوق سرمایه‌ای را راه‌اندازی می‌کنند. اگر این طرح بسط و توسعه یابد، تفاوت بین هزینه‌های تأمین مالی دولت‌ها و نرخ بازگشت در بازار سرمایه به قدری محدود خواهد شد که درآمد ایجاد شده به‌طور قابل توجهی کم می‌شود. زیرا ارزش بازارهای سهام بیشتر، بازدهی انتظاری آتی کمتر شده و بدهی دولتی افزایش خواهد یافت. بنابراین فشار فزاینده‌ای بر نرخ‌های بهره مورد تقاضای سرمایه‌گذاران از اوراق قرضه دولتی وارد خواهد شد.

گزینه‌های احتمالی دیگر عبارت از استفاده از صندوق سرمایه برای تأمین مالی پروژه‌های زیربنایی هدفمند همراه با بازدهی بالا، و یا تهیه وجوه برای بنگاه‌های نوآور در کشور مبدأ می‌باشد. پروژه‌های زیربنایی عموماً نیاز به یک سرمایه‌گذاری چشمگیر اولیه داشته، ولی پس از آن دارای بازده اثباتی خواهند بود که در یک افق زمانی طولانی مدت قابل توزیع مجدد است. برای مثال، این پروژه‌های زیربنایی می‌توانند شامل بزرگراه‌های با عوارضی، تونل‌ها، یا پل‌ها، با عواید توزیع شده به صورت یکجا در کل چرخه عمر پروژه زیربنایی باشند. همچنین پروژه‌ها احتمالاً بندرگاه‌ها و فرودگاه‌ها با مالکیت شخصی را نیز که به شرکت‌های خصوصی اجاره داده می‌شوند در بر خواهد گرفت. درآمد حاصل از این اجاره می‌تواند، مجدداً، قابل استفاده برای تأمین مالی پرداخت‌ها به شهروندان باشد. گزینه‌های دیگر شامل نیروگاه‌های برق-آبی، جزر و مدی، بادی یا خورشیدی باشد که همگی نیاز به سرمایه‌گذاری اولیه بالایی دارند. برقی که این

نیروگاه‌ها در طول دهه‌ها تولید می‌کنند قابل استفاده برای تأمین مالی پرداخت‌های یکجا است. در نهایت، نیروگاه‌های تلمبه‌ای ذخیره‌ای یک گزینه جذاب هستند زیرا با استفاده از برق ارزان در طول شب برای پمپاژ آب به حوضچه‌های ذخیره در ارتفاع بالا و آزاد کردن آب به ژنراتورهای برق برای تولید برق در طول روز یا در طول اوج تقاضا برای برق بسیار سودآور هستند. علاوه بر این، سرمایه‌گذاری روی زیرساخت داخلی به رفع شکاف در تأمین مالی مورد نیاز در پروژه‌های زیربنایی جدید کمک کرده و زیرساخت‌های منسوخ را نوسازی می‌کند.^۱

۶.۷ سیاست‌های طرف تقاضا

با توجه به ملاحظات نظری و تجربی فصول قبل، اتوماسیون احتمالاً منجر به بهره‌وری بالاتر و نابرابری بیشتر در بلندمدت می‌شود. بعلاوه، در طی تطبیق به سمت مقادیر تعادلی بلندمدت، به دلیل بیکاری ناشی از فناوری و رشد بطنی حقوق کارگران کم‌مهارت، مشکلات قابل توجهی ایجاد خواهد شد. هر چند، مکانیسم‌های تطبیق درون‌زای بحث شده در فوق که جهت جبران تأثیرات معکوس اتوماسیون بر تقاضای نیروی کار برای مستهلک شدن هزینه‌های انتقال، به‌طور نامحسوسی نامعلوم است. همچنین مشخص نیست که آیا سیاست‌گذاران مایلند و یا قادرند استراتژی‌هایی را دنبال کنند که بتواند بخش وسیع‌تری از جمعیت را برای کسب منافع اتوماسیون پشتیبانی کند. تدبیر مناسب سیاست‌های دولتی در این زمینه آسان نیست زیرا (۱) شناسایی افرادی که از اتوماسیون بهره یا زیان برده‌اند دشوار است، (۲) آگاهی از میزان نیاز فردی یا جمعی برای جبران ضرر زیان‌دیدگان دشوار است، و (۳) سیاست‌های توزیعی مجدد، اغلب در جهت مخالف با آن افرادی است که تأثیر منفی از این سیاست‌ها می‌گیرند. اگر مکانیسم‌های تطبیق در کوتاه‌مدت یا میان‌مدت در جهت کاهش تأثیرات منفی اتوماسیون کم و یا غیرکافی بوده، سیاست‌های سنتی طرف تقاضای غیرتبعیضانه مانند سیاست پولی انبساطی و سیاست مالی انبساطی را می‌توان برای بهبود یک انتقال ملایم‌تر به کار برد. بعنوان یک اثر جانبی، این سیاست‌ها ممکن است در کاهش تقابل فناوری‌های جدید برای بهره‌مندی همه مفید باشند. در حالت استثنایی، این تقابل حتی پیشرفت فناوری را تا حدی سرکوب می‌کند^۲ که مزیت رقابتی بین‌المللی یک کشور را تضعیف می‌کند.

۱. American Society of Civil Engineers, ۲۰۱۶

۲. Frey, ۲۰۱۹; Schwarzer, ۲۰۱۴

همزمان، از آنجا که اتوماسیون احتمالاً منجر به نرخ رشد بالقوه بالاتری می‌شود، سیاست‌های سمت تقاضا، مانند سیاست مالی انبساطی فضای بیشتری برای مانور دارد. تکمیل فرایندهای تطبیق مبتنی بر اتوماسیون در سمت عرضه به وسیله سیاست‌های طرف تقاضای متناظر، عملی و محسوس است. با این حال، اجرای این نوع سیاست‌ها به شیوه‌ای معتبر دشوار است. برای مثال، سیاست پولی انبساطی بانک فدرال رزرو ایالات متحده^۱ بعد از ترکیدن حباب دات کام بود که مسیر را برای وام‌های بی پروا و بحران وام‌های رهنی هموار کرد.^۲ بعلاوه، سیاست مالی انبساطی اغلب به نفع گروه‌های مهم سیاسی یا گروه‌هایی با توان لابی‌گری قوی مانند کشاورزان یا معدنچیان زغال سنگ پیش می‌رود، و ممکن است در جهت کمک به افرادی که نیاز بیشتری به حمایت دارند اثربخشی این سیاست‌ها کاهش یابد.

۷.۷ خلاصه

این فصل مروری است بر مهمترین اقدامات سیاستی برای مقابله با برخی تأثیرات منفی اقتصادی ناشی از اتوماسیون و بخصوص، بر اقدامات سیاستی زیر تأکید می‌شود: (۱) آیا این سیاست‌ها پتانسیل بهبود کارایی اقتصادی را دارند، (۲) آیا دارای پتانسیل کاهش نابرابری حقوق/درآمد می‌باشند، و (۳) آیا اجرای آن‌ها واقع بینانه است.

در این خصوص، سرمایه‌گذاری آموزشی در سه زمینه نویدبخش است. ابتدا بورسیه‌ها، معافیت از پرداخت شهریه‌ها و سرمایه‌گذاری بر اسکان دانشجویان یا آموزش کودکان در خانوارهای کم درآمد. این سیاست‌ها با آموزش کودکان با استعداد، کودکانی که در غیر این صورت فرصتی برای کسب آموزش عالی با کیفیت نخواهند داشت، دارای پتانسیل افزایش کارایی است. همزمان، این سیاست با ایجاد مزیت برای خانوار با ثروت کمتر، نابرابری را کاهش می‌دهد. دومین استراتژی نوید بخش آموزش، عبارت است از سرمایه‌گذاری در آموزش مجدد شغلی و برنامه‌های جابجایی شغلی با تمرکز روی کارگرانی که به دلیل اتوماسیون بیکار شده یا جابجا می‌شوند. با فرض ثابت بودن سایر شرایط، با اجرای این سیاست، بیکاری همراه با عدم تطابق مهارت‌های کارگر و نیازهای شغلی کارفرما کاهش یافته، و بعلاوه این که افراد با تحصیلات پایین نسبت به اتوماسیون

۱. U.S. Federal Reserve Bank

۲. Rajan, ۲۰۱۰

حساس می‌باشند، این سیاست به کاهش نابرابری نیز کمک می‌کند. سومین استراتژی نوید بخش آموزش عبارت از سرمایه‌گذاری در آموزش ابتدایی و متوسطه با هدف دوره-های تحصیلی تکمیلی بوده که روی مهارت‌های تفکر انتقادی و زمینه‌های نوین مطالعه تمرکز کرده تا دانش‌آموزان را به‌طور کلی در مقابله با چالش‌های مادام‌العمر پیشرفت فناوری و به‌طور ویژه چالش‌های اتوماسیون توانا سازد.

اگرچه سرمایه‌گذاری‌های آموزشی یک پاسخ سیاستی امیدبخش به تأثیرات سوء و منفی اتوماسیون می‌باشد، ولی آموزش قادر به رفع تمامی مشکلات مربوطه نیست. برخی افراد شغل خود را از دست داده و آموزش مجددشان دشوار یا غیرممکن خواهد بود. بنابراین، استراتژی‌های دیگری همانند تقویت عناصر سیستم تأمین اجتماعی لازم است تا یک شبکه امن مناسب را برای افرادی فراهم کند که با وجود اتوماسیون، دچار بیکاری مزمن می‌شوند. این عناصر عمدتاً شامل بیمه بیکاری و بیمه سلامت هستند. یک درآمد پایه‌ی بدون قید که جایگزین سیستم تأمین اجتماعی شود به نظر استراتژی مناسبی نیست، زیرا برای کسانی که به سختی آسیب دیده‌اند بدون فراهم‌سازی ادوات مورد نیاز برای بقاء، منفعتی نخواهد داشت. با این حال، ایده‌های بسیار مرتبط امیدبخش‌تر هستند. این طرح‌ها از یک صندوق تأمین مالی دولتی که سود سهام اجتماعی (بدون لغو تأمین اجتماعی) پرداخت می‌کند تا یک مالیات بر درآمد منفی که به کارگران با مشاغل کم سوبسید پرداخت می‌کند، طبقه‌بندی می‌شوند.

تا زمانی که تأمین مالی هزینه‌های دولتی مدنظر باشد، مالیات بر نیروی کار و مالیات بر ثروت محدود به ظرفیت آن‌ها برای مقابله با اتوماسیون خواهد بود. مالیات بر نیروی کار تا آنجایی محدود می‌شود که نیروی کار با اتوماسیون جایگزین شده باشد، و مالیات بر ثروت به دلیل قابلیت انتقال بین‌المللی سرمایه محدود خواهد شد. مالیات‌های بالقوه‌ی دیگری که در عصر اتوماسیون برای تأمین مالی بخش عمده‌ای از هزینه‌های دولتی قابل استفاده هستند عبارتند از مالیات بر زمین و مالیات بر مصرف. با این حال، بعلاوه این‌که مالیات بر مصرف به صورت پس‌رو است، تکیه بر آن مشکل افزایش نابرابری به دلیل اتوماسیون را بدتر می‌کند. این مشکل را می‌توان با تقویت عناصر تصاعدی در مالیات بر مصرف رفع کرد. اگرچه، دستیابی به تغییر کامل به سمت مالیات بر مصرف تصاعدی در طی یک دوره بر اساس طراحی آن، عملاً دشوار به نظر می‌رسد.

تعدیلاتی از سیستم فعلی با برخی اقدامات سیاستی استاندارد ضروری است. این اقدامات در برگیرنده وضع مالیات مانند مالیات بر درآمد پیش‌روتر، تأمین اجتماعی همانند تقویت عناصری مانند بیمه بیکاری و بیمه سلامت، و سیاست‌های طرف تقاضا

برای مقابله با افزایش‌های موقتی در بیکاری غیرداوطلبانه همانند سیاست‌های مالی و پولی انبساطی هستند. جدول ۱-۷ معیارهای سیاستی متفاوت بررسی شده در این فصل را بر اساس تأثیرات آن‌ها بر کارایی و نابرابری و امکان تحقق این اقدامات ارزیابی می‌کند.

جدول ۱.۷ استراتژی‌های سیاستی و اثرات آن‌ها

قابلیت تحقق	کارایی / نابرابری	استراتژی
+	-	موجب، معافیت از پرداخت شهریه، و کمک‌های مالی جهت اسکان دانشجویان با کودکان با استعداد در خانوارهای کم درآمد
+	-	سرمایه‌گذاری روی برنامه‌های آموزش مجدد
~	~	کاهش زمان‌های کاری قانونی بدون کاهش حقوق و دستمزد
+	~	بازسازی مقاطع تحصیلی با هدف تقویت یادگیری و اهداف مادام‌العمر که اتوماسیون را تکمیل می‌کنند
-	~	مرسوم کردن یک درآمد پایه جهانی به جای سیستم تأمین اجتماعی
+	-	توسعه معافیت مالیات بر درآمد کسب شده
~	-	فراهم‌سازی مشاغل دولتی برای افراد با بیکاری طولانی مدت
+	+	کمک‌های مالی برای پس‌انداز از نظر مالکیت سهام
~	-	کمک‌های مالی برای پس‌انداز از نظر مالکیت سهام (سنگش استطاعت مالی)
-	-	مرسوم کردن یک صندوق سرمایه دولتی که سود سهام اجتماعی پرداخت می‌کند
-	-	افزایش مالیات بر زمین و در عوض کاهش مالیات‌های تحریف‌کننده دیگر
+	+	افزایش مالیات بر اشتباه و تقصیر و در عوض کاهش مالیات‌های تحریف‌کننده دیگر
~	-	افزایش مالیات‌های زیست محیطی و در عوض کاهش مالیات‌ها

			های تحریف کننده دیگر
-	-	+	لغو/کاهش یارانه‌های سوختی و در عوض کاهش مالیات‌های تحریف کننده دیگر
~	-	+	مرسوم کردن مالیات بر اساس حضور دیجیتالی شرکت‌ها و در عوض کاهش مالیات‌های تحریف کننده دیگر
-	-	+	مرسوم کردن مالیات بر مصرف تصاعدی و در عوض کاهش مالیات‌های تحریف کننده دیگر
+	-	+	تقویت عناصر پیشروی مالیات بر مصرف
نکته: علامت «+» نشاندهنده تأثیر مثبت یا قابلیت تحقق آن سیاست است، علامت «-» نشاندهنده تأثیر منفی یا عدم عملی شدن آن سیاست است، و علامت «~» نشاندهنده این است که ارزیابی آن تأثیر/قابلیت تحقق نامشخص یا دشوار است.			

فصل هشتم:

نگاهی به آینده

پیامدهای اقتصادی و اجتماعی بلندمدت اتوماسیون همراه با مبحثی پیرامون COVID-۱۹

این فصل توسعه اقتصادی و اجتماعی را با توجه به گسترش اتوماسیون و پیشرفت هوش مصنوعی (AI) مورد بررسی قرار می‌دهد. نوع نگاه از بعد نظری و تجربی کم رنگ‌تر از فصول قبلی بوده و هدف عمدتاً ایجاد آگاهی نسبت به بحث‌های احتمالی آتی است نه توصیف تصور از آینده. بنابراین، بحث‌های زیر بیش از آن که به پیش‌بینی شباهت داشته باشند به حدس و گمان اشاره دارند.

دلیل اصلی مباحث این فصل طرح سوالات مهمی است که جامعه برای آماده‌سازی و توانمندسازی آینده مطلوب در عصر اتوماسیون و هوش مصنوعی با آن مواجهه است. خبر خوب این است که بسیاری از تحولات بالقوه در خصوص سناریوهای مبتنی بر فنآوری به انتخاب و پاسخ به سیاست‌ها بستگی دارند. البته، حتی اگر بشود از نتایج مصیبت بار برخی حوادث همانند جنگ‌های خانمان سوز، بیماری‌های همه گیر، شرایط آب و هوایی نامناسب، و سایر حوادث کم احتمال اما با تأثیر زیاد ممانعت کرد، ولی بعید است که بتوان پیشرفت فنآوری را معکوس کرد.^۱ بنابراین، برای تهیه سیستم‌های اقتصادی و حقوقی جهت مقابله با فنآوری، و فرهنگ در حال گسترش مرتبط با آن می‌بایست انتخاب‌های مناسبی داشت. توزیع مزایای اتوماسیون و دیجیتالی سازی و بهره‌مندی عام از آن جمله است. در غیر این‌صورت نابرابری درآمدی گسترش یافته و برخی از بخش‌های جامعه از مزایای آن، همانند بهبود شرایط اقتصادی و حذف بی‌ثباتی‌های اجتماعی و سیاسی، بهره‌ای نخواهند برد. علاوه بر تحولات اقتصادی، تغییرات اساسی و چشمگیرتری در پیش رو است. تعاملات روزمره با روبات‌های شخصی می‌تواند جامعه را همان‌طور که در حال حاضر مشاهده می‌شوند، تغییر دهد. این تغییرات از برنامه‌های استاندارد بیشتری که قبلاً استفاده کرده‌ایم مانند دستیارهای

۱. Taleb, ۲۰۰۷

دیجیتال شخصی، الگوریتم‌هایی که به قضات و افسران آزمایشی کمک می‌کنند تا تصمیمات خود را بگیرند و مشاوران رباتیک تشکیل شده‌اند. در گام بعدی قیمت گذاری شخصی اقلام مختلف بر اساس تجزیه و تحلیل داده‌های بزرگ، به امتیاز اعتبار اجتماعی و استقرار روبات‌ها در حوزه‌های مراقبت از سالخوردگان و روابط متقابل جنسی، و در آخر به رابط‌های انسان و ماشین بستگی دارند.

۱.۸ جامعه‌ای بیکار، بدبخت و ناامیدی یا جامعه‌ای شاد با اوقات فراغت؟

عدم توجه به مسائل مربوط به افزایش نابرابری حاصل از اتوماسیون، پیامدهای اقتصادی و اجتماعی منفی دارد. شواهد نشان می‌دهد که نابرابری در بسیاری از کشورهای جهان افزایش یافته و پیشرفت فناوری نقش عمده‌ای در توضیح این شکاف را دارد.^۱ افزایش نابرابری، به نوبه خود، باعث کاهش تحرک درآمد بین نسلی می‌شود، پدیده‌ای که به عنوان منحنی گتسبی بزرگ^۲ شناخته می‌شود.^۳ اگر این روند ادامه یابد، به عنوان مثال، افراد کم درآمد نتوانند در تحصیلات خود یا فرزندانشان سرمایه‌گذاری کنند، یا خانوارهای کم درآمد به بیمه جهت درمان هزینه‌های فاجعه بار بیماری دسترسی نداشته نباشند، آنگاه تله‌های فقر بوجود می‌آید که فرار از آن‌ها دشوار است.^۴ همان‌طور که می‌دانیم تحصیلات مناسب و تندرستی و سلامتی، از عوامل اصلی رشد اقتصادی است و حلقه‌ای بازخوردی بین نابرابری درآمد و عدم توسعه‌ی اقتصادی وجود دارد.^۵ با این حال، برخی از تأثیرات نابرابری بالا و تحرک پایین اجتماعی مسلماً نگران کننده‌تر از تبعات منفی آن بر رشد اقتصادی است. به عنوان مثال، مشکلات اقتصادی بخش‌های خاصی از جمعیت می‌تواند به پدیده "مرده از ناامیدی" کمک کند.^۶ کیس و

۱. Acemoglu, ۲۰۰۲; Atkinson, ۲۰۱۵; Atkinson, Piketty, & Saez, ۲۰۱۱; Autor & Dorn, ۲۰۱۳; Chetty, Hendren, Kline, Saez, & Turner, ۲۰۱۴; OECD Organisation for Economic Co-operation & Development, ۲۰۱۱; Piketty, ۲۰۱۴)

۲. Great Gatsby Curve

۳. Chetty et al., ۲۰۱۴; Corak, ۲۰۱۳

۴. Galor & Zeira, ۱۹۹۳; Prettnner & Schaefer, ۲۰۲۰; Prettnner & Strulik, ۲۰۲۰

۵. Eggertsson, Mehrotra, & Robbins, ۲۰۱۹; Galor & Zeira, ۱۹۹۳; OECD, ۲۰۱۵; Summers, ۲۰۱۴

۶. The Common wealth Fund, ۲۰۱۹

دیتون^۱ در سال ۲۰۱۵ نشان می‌دهند که میزان مرگ و میر در میان مردان سفیدپوست و میان سال آمریکایی طی دو دهه‌ی گذشته افزایش یافته، و این نرخ افزایشی عمدتاً به دلیل خودکشی، استفاده‌ی بیش از حد از الکل و اعتیاد به مواد مخدر است. این مشکل در حال حاضر به قدری جدی است که علی‌رغم کاهش میزان مرگ و میر سایر گروه‌های جمعیتی، میانگین امید به زندگی هنگام تولد در ایالات متحده را کاهش داده، مشکلی که اکنون به سایر کشورها نیز گسترش یافته است.^۲ در ایالات متحده اختلاف فاحش بین سلامتی افراد کم درآمد و پر درآمد به بهترین شکل با تفاوت در احتمال رسیدن یک فرد ۵۰ ساله به ۸۵ سالگی نشان داده می‌شود. بر اساس پیش‌بینی‌های آکادمی‌های ملی علوم، مهندسی و پزشکی در سال ۲۰۱۵، این احتمال برای کمترین چندانک درآمدی ۲۹ درصد و برای بالاترین چندانک درآمدی ۷۲ درصد است که مبین شکاف امید به زندگی به میزان ۱۳ سال بین این دو گروه می‌باشد.^۳ مرده از ناامیدی ممکن است یکی از پدیده‌های تشریح‌کننده افزایش نابرابری مربوط به سلامت در بین گروه‌های مختلف اقتصادی اجتماعی باشد.

افزایش نابرابری نه تنها منجر به این می‌شود که افرادی با درآمد بالاتر نسبت به افراد کم درآمدتر کالاهای مادی بیشتری مصرف کنند، بلکه نفوذ سیاسی آن‌ها را نیز افزایش می‌دهد. پیچ و همکاران^۴ در سال ۲۰۱۳ و گیلنز و پیچ^۵ در سال ۲۰۱۴ ترجیحات رای دهندگان ایالات متحده را بر اساس گروه درآمدی و نتایج مربوط به تصویب قوانین را تجزیه و تحلیل کرده‌اند. آن‌ها دریافتند که تصویب قوانین با ترجیحات ۱۰ درصد جمعیت با درآمد بالا همبستگی مثبت داشته، زیرا کمک مالی و یا تعاملات با نمایندگان احزاب سیاسی افراد منتخب و پردرآمد بیشتر از افراد کم درآمد است. بنابراین، به وضوح نابرابری بالا همراه است با نفوذ سیاسی منتخبین، دام فقر، کاهش تحرک اجتماعی و ناامیدی گسترده در بین فقرا. این قطب‌بندی را می‌توان در فرایند سیاسی بازتولید کرد، بطوری‌که خطر نارضایتی توده‌ها در رأی‌های خشونت بار به نفع نامزدهایی با دیدگاه‌های نامتعارف، یا به نفع اقداماتی همانند ادعای بازگرداندن قدرت ملی برگزیت BREXIT، به‌طور فزاینده‌ای ناکارآمد شود. با این حال، چنین اقدامات افراطی اغلب به نفع خود

۱. Case and Deaton (۲۰۱۵)

۲. The Economist, ۲۰۱۹c

۳. Kufenko, Prettnner, & Sousa-Poza, ۲۰۱۹

۴. Page, Bartels, and Seawright (۲۰۱۳)

۵. Gilens and Page (۲۰۱۴)

محرومان نیست. فورد در سال ۲۰۱۵ حتی یک سناریوی دیگری را ترسیم می‌کند که در آن ثروتمندان از روبات‌ها و هوش مصنوعی برای سرکوب و در صف قرار دادن فقرا استفاده کرده و از مشارکت آن‌ها در دستاوردهای حاصل از رونق اقتصادی جلوگیری می‌کنند.

خوشبختانه احتمال دیگری وجود دارد. کینز^۱ در سال ۱۹۳۰ معتقد بود که پیشرفت فناوری رفاه مادی مردم را افزایش داده، انتخاب‌های گوناگون و متعدد و صرف وقت بیشتر برای انجام کارهای دیگر را برای مردم فراهم کرده، و به‌طور خلاصه برای همگان مفید خواهد بود.

چگونه می‌توان اطمینان حاصل کرد که با فواید اتوماسیون و دیجیتالی شدن، آینده‌ای روشن و تابناک در انتظار ما باشد؟ در فصل ۷ اقدامات بالقوه‌ی سیاستی که می‌توانند ما را به این سمت سوق دهند مورد بحث قرار گرفت، اگرچه، حداقل بسیاری از آن ایده‌ها بحث برانگیز هستند. برخی اقدامات سیاستی وجود دارد که ممکن است بسیاری از اقتصاددانان و سیاست‌گذاران در آن اتفاق نظر داشته باشند. اولین و مهمترین آن‌ها پیشنهاد سرمایه‌گذاری گسترده در آموزش به‌طور کلی، و به‌طور خاص آموزش با کیفیت برای گروه‌های محروم جامعه است (به عنوان مثال بورسیه‌های آموزشی افراد لایق و شایسته، معافیت از شهریه، مسکن دانشجویی و...).^۲ تسریع در اصلاح و نوسازی برنامه‌های درسی برای اطمینان از این که نسل‌های آینده مهارت‌های سخت و نرم مورد نیاز برای سازگاری با محیط‌های تکنولوژیکی را دارند نیز مهم است. آموزش با کیفیت بالا اولین و ارزشمندترین مرحله برای افزایش سهم جمعیتی است که از اتوماسیون بهره‌مند می‌شوند، اگرچه دیدیم که آموزش همه چالش‌های بالقوه را حل نخواهد کرد.

به عنوان دومین اقدام مکمل، حمایت اجتماعی و اطمینان در جهت عدم شکست گروهی که در مسابقه با اتوماسیون قرار دارند مهم است. البته، طراحی سیاست‌هایی که به کاهش نابرابری کمک می‌کنند و در عین حال، مانعی برای توسعه‌ی اقتصادی نباشد نیز دشوار است.^۳ ابداع روش‌های غیر تحریفی تأمین مالی اجتماعی و توزیع مجدد ثروت که به نفع افراد محروم است اما بر گزینه‌های پیشین آن‌ها تأثیر نگذارد از اهمیت زیادی برخوردار است. برخی از روش‌های ابتکاری انجام این کار مانند سیستم مالیاتی مبتنی بر

۱. Keynes (۱۹۳۰a, ۱۹۳۰b)

۲. Cohen, Bloom, & Malin, ۲۰۰۶

۳. Prettner & Strulik, ۲۰۲۰

فعالیت‌های مضر یا مالیات بیشتر برای گروه‌ها و بخش‌هایی که دارای پایه مالیاتی بی‌کشش هستند را قبلاً مورد بحث قرار داده‌ایم.

اقدامات متفاوت سوم، همانند اطمینان به سهمیم بودن کارمندان از درآمدهای آتی شرکت‌های سودآور در عصر اتوماسیون و دیجیتال سازی است. این اقدامات به افراد کم درآمد جامعه کمک می‌کند تا از اتوماسیون بهره‌مند شوند. به‌طور کلی، امیدواریم که بتوان در فراهم آوردن بستری برای بحث و گفتگو در این زمینه سهمیم باشیم. با این حال، چنین مشورت‌هایی ضروری است. در ادامه، درباره‌ی برخی تغییرات اجتماعی بحث خواهیم کرد که ممکن است در پی اتوماسیون رخ دهد. به خاطر داشته باشید که تغییرات نهادی که معمولاً تکاملی است نیز بسیار مهم می‌باشند. هرچند انطباق تغییرات نهادی با تغییرات فناوری که اغلب انقلابی است به سهولت صورت نمی‌گیرد.

۲.۸ پیامدهای مکانی و منطقه‌ای: آینده‌ی شهرها

تغییرات اساسی اجتماعی و اقتصادی از طریق پیشرفت در اتومبیل‌های خودران و کارخانه‌های کاملاً خودکار، و از طرفی دیگر با استفاده از مکان‌های غیرقابل استفاده بی‌اهمیت بوجود می‌آیند. قبلاً عواقب اقتصادی بالقوه‌ی بیکاری میلیون‌ها راننده‌ی تاکسی و کامیون که با الگوریتم‌ها جایگزین می‌شوند را توضیح دادیم. با این حال، خودران‌ها ممکن است نحوه زندگی و طراحی شهرهای را تغییر دهند. اگر زمان رانندگی مورد نیاز برای رفت و آمد به محل کار را می‌توان به موارد دیگری مانند خوابیدن، آماده شدن برای جلسات، خواندن و پاسخ به ایمیل یا حتی به تماشای فیلم اختصاص داد، هزینه‌های فرصت رفت و آمد به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد. به تبع کاهش هزینه‌های فرصت، الگوی شهرنشینی به گونه‌ای تغییر می‌کند که مناطق زندگی از مراکز شهر به مناطقی دورتر با مناظر زیباتر، آلودگی کمتر، سر و صدای کمتر، ریزگردهای کمتر و... منتقل می‌شوند. در این حالت، شهرها ممکن است به‌طور کلی به مناطق تجاری و مراکز تفریحی افرادی که به دلیل مسایل شغلی و کاری و یا به دلایل اجتماعی با یکدیگر در ارتباط هستند تبدیل شود. سهولت استفاده از خودران‌ها و چشم‌انداز عدم مالکیت وسایل نقلیه‌ی همواره در دسترس ارزان، آن‌ها را به‌طور بالقوه جایگزین حمل و نقل عمومی کرده، و علی‌رغم افزایش ترافیک به دلیل پراکندگی شهری، مبین کاهش اثرات منفی زیست محیطی و ازدحام جمعیت خواهد شد. با این حال، پیشرفت فناوری نیز ممکن است راه حلی برای این مشکلات ارائه دهد. مدیریت بهتر حمل و نقل

خصوصی با استفاده از سیستم‌های عوارضی مبتنی بر تراکم جاده‌ها (زیرا موقعیت مکانی هر وسیله نقلیه‌ی را می‌توان با دقت ردیابی کرد) و با ایجاد انگیزه برای به اشتراک‌گذاری خودروها که ممکن است نه تنها بیش از یک یا دو نفر را حمل کنند بلکه بسته‌هایی را نیز منتقل کنند (به عنوان مثال، با دسترسی به ماشین‌های مشترک به خطوط اولویت دار) محقق شده، و با فرض ثابت بودن سایر شرایط باعث کاهش میزان ترافیک می‌شود. سرعت یکنواخت اتومبیل‌های خودران در مقایسه با وضعیت فعلی که رانندگان تمایل به رانندگی با سرعت‌های متغیر دارند نیز به‌طور قابل توجهی جریان ترافیک را روان‌تر می‌سازد. همچنین، تعداد تصادفات ممکن است با استفاده از خودران‌ها کاهش یافته که به تبع آن نه تنها تعداد کشته‌ها و جراحات در جاده‌ها،^۱ بلکه گره‌های ترافیکی را نیز کاهش دهد که منجر به افزایش سرعت متوسط وسایل نقلیه خواهد شد.

علاوه بر این، حالت جدیدی از حمل و نقل را می‌توان مابین استفاده از سیستم‌های حمل و نقل عمومی و یا اتومبیل‌های شخصی تصور کرد که در آن اتوبوس‌های کوچک خودران مکان‌های محبوب و پرازدحام را با هزینه‌ای اندک به هم متصل کنند، و یا ممکن است برای حمل و نقل افراد بین مکان‌هایی که گاهی اوقات بر حسب تقاضا، همانند وقایع ورزشی، کنسرت و...، جهش ترافیکی دارند به کار روند. این نوع حمل و نقل به مراتب راحت‌تر از حمل و نقل عمومی و همچنین سازگار با محیط زیست و ایمن‌تر است و گره‌های ترافیکی کمتری نسبت به استفاده از ماشین شخصی ایجاد می‌کند.

تا آن‌جا که به تأثیرات زیست محیطی افزایش ترافیک مربوط می‌شود، فنآوری می‌تواند کاهش موتورهای احتراقی به نفع اتومبیل‌های برقی، و تغییر در روش تولید و توزیع برق را تسهیل کند. به این ترتیب، ترافیک آنقدر کارآمد و روان می‌شود که با وجود افزایش بالقوه‌ی ترافیک کل، از تأثیرات زیست محیطی حمل و نقل کاسته شود. همچنین، نیاز به تولید اتومبیل کاهش می‌یابد زیرا در حال حاضر، بیش از ۹۵ درصد مواقع از اتومبیل‌های شخصی استفاده نمی‌شود.^۲ بنابراین استفاده از اتومبیل‌های خودران مشترک می‌تواند به دلیل استفاده کارآمدتر از اتومبیل‌های موجود، تعداد خودروهای مورد نیاز را کاهش دهد. کاهش نیاز به تولید خودرو، به نوبه خود، دارای پیامدهای مثبت زیست محیطی خواهد بود. سرانجام، نیاز به پارکینگ‌های مشخص و

۱. Chen, Kuhn, Prettnner, & Bloom, ۲۰۱۹

۲. Fortune, ۲۰۱۶; NRMA, ۲۰۱۷

آسفالت شده کاهش می‌یابد و پارکینگ‌های خصوصی ممکن است برای پارک‌های عمومی و یا مناطق تفریحی مورد استفاده قرار گیرند.

حتی به‌طور بنیادی و در افق زمانی طولانی‌تر، تأثیرات شبکه‌ای شهرها و جذابیت اقتصادی آن‌ها از نظر مقیاس اقتصادی می‌تواند تغییر کند، زیرا (۱) کار در خانه ادامه می‌یابد، (۲) تولید کالاها در مکان‌های ارزان‌تر (به عنوان مثال، با استفاده از چاپ‌های سه بعدی و یا کارخانه‌های کاملاً خودکار) به جای تعداد زیاد کارگران آموزش دیده در دسترس صورت می‌گیرد، و (۳) انتقال کالاها از مکان‌های مختلف به مشتریانی که دور از هم زندگی می‌کنند (به عنوان مثال، استفاده از روبات‌ها و هواپیماهای بدون سرنشین) محقق می‌شود. اگر به این ترتیب عوامل خارجی شبکه کاهش یابد، مزایای شهرنشینی به شدت کاهش خواهد یافت و شهرنشینی می‌تواند معکوس می‌شود.

درحالی‌که بسیاری از نیروهای فوق‌الذکر شهرنشینی را معکوس کرده و قیمت زمین و املاک را در شهرها کاهش داده، نیروهای اصلی هنوز در جهت مخالف حرکت می‌کنند. به عنوان مثال، (۱) زندگی در شهرها یک قالب اجتماعی دارد و برخی افراد ترجیح می‌دهند در کنار بارها، غذاخوری‌ها، رستوران‌ها، تئاترها و... زندگی کنند و از گزینه‌های بیشتری برای کالاها و خدماتی که می‌توانند پول خود را برای آن خرج کنند استفاده کنند. (۲) در بسیاری از کشورها و مناطق که رشد جمعیت در آن مثبت است، تقاضا برای مسکن و زیرساخت‌ها افزایش می‌یابد. (۳) درآمد در حال افزایش است، که امکان خرید خانه‌های دوم و یا آپارتمان و یا خانه‌های بزرگ‌تر را افزایش می‌دهد. (۴) نیاز به مکان برای برخی از فعالیت‌ها مثل فضای مطب برای پزشکان و روان‌درمان‌گران، بخش فروش فروشگاه‌های لوکس که معمولاً در مراکز شهرها، تئاترها و پارک‌های تفریحی واقع شده‌اند ممکن است به طرز چشمگیری افزایش یابد. (۵) محدودیت‌های منطقه‌ای ممکن است از توسعه‌ی مسکونی جلوگیری کرده و عرضه‌ی مسکن را محدود کند، و به افزایش ارزش املاک و قیمت زمین کمک کند. و (۶) ایجاد پارک‌های عمومی و مناطق تفریحی که قبلاً ذکر شد نیز ممکن است به فضای اضافی نیاز داشته باشد.

۳.۸ نحوه‌ی مراقبت از یکدیگر

اما فراتر از این تغییرات، انتظار می‌رود تغییرات اساسی دیگری و تصمیمات متناظر برای مقابله با آن نیز وجود داشته باشد. چگونه روبات‌ها نحوه‌ی تعامل با یکدیگر و همچنین مراقبت از یکدیگر را تغییر می‌دهند؟ کشور ژاپن در خصوص پذیرش روبات‌های پرستار

و مسائل مراقبتی پیشرو است^۱ و می‌تواند به عنوان یک الگو در نظر گرفته شود. روبات‌هایی که حتی جایگزین بهتری برای کمک به مراقبت از افراد مسن می‌شوند، می‌توانند در نحوه‌ی گذراندن سال‌های آخر زندگی ما تحولاتی شگرف و انقلابی ایجاد کنند. به جای ایجاد نهادهای مراقبتی دور از خانه یا تقبل اعضای نزدیک خانواده برای بار مسئولیت مراقبت از سالمندان، روبات‌های پرستار می‌توانند در استحمام و استفاده از سرویس‌های بهداشتی، آماده‌سازی غذا، توزیع دارو و ترویج پایبندی به پروتکل‌های دارویی کمک کنند. علاوه بر این، به نظر می‌رسد که روبات‌ها به کاهش احساس تنهایی در سنین

پیری و حتی در مبارزه با بیماری‌هایی مانند زوال عقل نیز کمک کنند.^۲ با وجود روبات‌های جنسی، انقلابی در صنعت پورنوگرافی ایجاد شده و تصور تن فروشی بسیار آسان خواهد شد. با این حال، روبات‌های جنسی ممکن است ماهیت تعاملات انسان را به کلی تغییر دهند. چالش‌های قانونی و اخلاقی تعامل با روبات‌های جنسی مستلزم شناخت و فهم و درک بیشتری است.^۳ آیا روبات‌های جنسی در برخی کشورها یا ایالت‌ها ممنوع و در برخی دیگر مجاز خواهند بود؟ استفاده از روبات‌های جنسی چگونه در بهزیستی روانشناسی و تنهایی تأثیر می‌گذارد؟ چگونه روبات‌های جنسی نقش‌های واقعی جنسیتی را در جامعه تغییر می‌دهند؟ علی‌رغم این مسایل، تکامل سیستم حقوقی در خصوص این که آیا روبات‌ها دارایی هستند و یا بیشتر مانند نهادهای مستقل مستحق حمایت، ضروری است. به عنوان مثال، بحث در مورد ممنوعیت برنامه ریزی جنسی توسط روبات‌ها که تجاوز جنسی را شبیه‌سازی می‌کند، در حال انجام است.^۴

در خود سیستم قضایی، الگوریتم‌ها در تصمیم‌گیری قضات و افسران کار آموز کمک می‌کنند. گرچه با نگاه اول ممکن است تصمیمات گرفته شده توسط الگوریتم‌ها منصفانه‌تر از تصمیماتی باشد که توسط انسان گرفته شود، زیرا روبات‌ها فاقد تعصب و پیش‌داوری هستند، اما الگوریتم‌های برنامه‌ریزی شده معمولاً دارای تعصبات نژادی و جنسیتی هستند و به سختی قابل ردیابی است.^۵ علاوه بر این، مرزبندی به کارگیری

۱. Moro, Lin, Nejat, & Mihailidis, ۲۰۱۹; The Economist, ۲۰۱۷

۲. Costescu, Vanderborght, & David, ۲۰۱۴; Vitelli, ۲۰۱۴

۳. Sharkey, van Wynsberghe, Robbins, & Hancock, ۲۰۱۷

۴. Danaher, ۲۰۱۴; Sharkey et al., ۲۰۱۷; Sparrow, ۲۰۱۷

۵. O'Neil, ۲۰۱۶

۲۰۱۲ نشان می‌دهند انسان‌هایی که برای حل مسایل بسیار دشوار تلاش می‌کنند، پس از تحریک عضله‌ی گیجگاهی قدامی که بخشی از مغز است و برای دانش اشیاء، افراد، کلمات و واقعیت‌ها مهم است، بهتر می‌توانند مسائل را حل کنند. به زعم نویسندگان، هیچ یک از شرکت کنندگان در آزمایش قبل از درمان، نتوانسته‌اند به اصطلاح مسئله نه نقطه (اتصال ۹ نقطه در سه ردیف با استفاده از چهار خط بدون بالا بردن قلم) را حل کنند، درحالی‌که پس از ۱۰ دقیقه تحریک لوب گیجگاهی، ۴۰ درصد از شرکت کنندگان موفق به حل مسئله شدند.

درحالی‌که برخی از وسایل فیزیکی برای تقویت انسان، مانند عینک‌های آفتابی هوشمند که از محیط اطراف فیلم گرفته و آن‌ها را در معرض استفاده قرار می‌دهند، یا اندام‌های بیرونی که باعث تقویت اعضای بدن می‌شوند و کار بدنی را راحت‌تر می‌کنند یا اجازه می‌دهند فلج‌ها راه بروند، این روزها کاملاً رایج و مرسوم است، ولی این سوال که معنای انسان بودن با امکان اجرای مهندسی ژنتیک، کاشت‌های عصبی و رابط‌های ماشین و مغز تا حدی مبهم‌تر و تارتر شده است.^۲ به‌طور کلی، افراطی‌ترین پیش‌بینی مربوط به تعامل بین انسان و هوش مصنوعی، پیش‌بینی "تکینگی" است که توسط آینده پژوه ریموند کرزویل^۳ انجام شده است. بر اساس این پیش‌بینی، هوش ماشین و هوش انسانی در نقطه‌ای ادغام می‌شوند و بی‌نهایت قدرتمندتر از هوش امروزی خواهند بود. اگر زمانی این اتفاق بیفتد، زندگی انسان به گونه‌ای متحول خواهد شد که درک آن در حال حاضر دشوار است.

اکنون اغلب تحولات در مراحل ابتدایی است و ارزیابی اثرات بالقوه آن‌ها از سال ۲۰۲۰ بسیار دشوار است. با این وجود، به‌طور کلی، شواهد و روندها نشان می‌دهد که افزایش عملکرد مغز انسان - گاهی اوقات با کمی تلاش - و در نتیجه، رقابت طولانی مدت با ماشین از نظر پزشکی امکان‌پذیر است. علاوه بر این، تحولات در زمینه ابزارهای CRISPR/ Cas (که با استفاده از آن می‌توان ژن‌ها را در مکان‌های مشخص شده در ژنوم سلول حذف یا اضافه کرد) مهندسی ژنتیک را به عنوان شکل دیگری از تقویت انسان، عملی می‌کند. تصور این که مردم تمایل به استفاده از این روش‌ها یا دستگاه‌ها و یا تجهیزات الحاقی انسانی را دارند آسان است، و رواج ارتقا انسان با

۱. Chi and Snyder (۲۰۱۲)

۲. Li, Walker, Nie, & Zhang, ۲۰۱۹; Ma, ۲۰۱۸; The Economist, ۲۰۱۹a; Velleste, Perel, Spalding, Whitford, & Schwartz, ۲۰۰۸; Young, ۲۰۱۷

۳. Raymond Kurzweil (۲۰۰۵)

روش‌های بحث برانگیز، فقط یک مسئله‌ی زمانی است. سوالات اخلاقی و حقوقی در خصوص این‌که آیا در ورزش باید از تجهیزات الحاقی انسانی استفاده کرد و یا مانند دوپینگ با آن رفتار کرد، خوراکی است برای مباحث اخلاقی برای فیلسوفان و قانونگذاران. این‌که چگونه جامعه در این حوزه درگیر می‌شود، به قوانین و مقرراتی بستگی دارد که دولت‌ها و شهروندان برای کنار آمدن با فناوری‌های جدید و چالش‌های بالقوه‌ی آن مواجه می‌شوند و قانون‌گذاران تصویب می‌کنند. این‌که تمدن بشری هنجار جدید جامعه‌ی خودکار را چگونه می‌پذیرد، بیشتر به انتخاب‌های ما و پاسخ‌هایی که خواهیم داد بستگی خواهد داشت. بنابراین بهتر است که درگیر یک روند جدی و فراگیر گفتمان اجتماعی در این موارد بشویم.

۵.۸ سخن آخر در مورد COVID-۱۹

این کتاب در سال ۲۰۱۹ و اوایل سال ۲۰۲۰، پیش از آن‌که بیماری همه‌گیر COVID-۱۹ جهان را فرا گرفته و جان صدها هزار نفر را بگیرد، میلیون‌ها نفر را آلوده کرده و تحرک و تعاملات اجتماعی و اقتصادی را به‌طور قابل توجهی محدود کند، نوشته و نهایی شده است.

بیماری همه‌گیر COVID-۱۹ (و در چشم اندازی واقع‌گرایانه سایر عوامل بیماری‌زای خطرناک

که در آینده در کمین ما هستند) بسیاری از پیام‌های کلیدی این کتاب را تأیید و برخی دیگر را نیز مورد توجه قرار می‌دهد. در تأیید این نکته، اشاره به چهار نکته ضروری است.

اول این‌که اتوماسیون، رباتیک، فناوری‌های مدرن اطلاعات و ارتباطات و هوش مصنوعی ادامه‌ی بسیاری از فعالیت‌های اقتصادی و همچنین ادامه‌ی کار کارگران را ممکن، و فاصله‌گذاری اجتماعی بسیاری افراد را به‌طور موثر مقدور ساخته است. به‌طور کلی، افراد تحصیل کرده، ماهر و با درآمد بالاتر در موقعیت بهتری قرار دارند تا از این فرصت‌ها استفاده کنند. به همین ترتیب، اتوماسیون و فناوری‌های مرتبط، باعث می‌شود تا شوک COVID-۱۹ نابرابری اجتماعی و اقتصادی را بیشتر کند. تأثیر نامتجانس سرایت COVID-۱۹ بر اقلیت‌های نژادی و قومی محروم، آن‌هایی که دسترسی ضعیفی به تغذیه و خدمات بهداشتی دارند، کسانی که به حمل و نقل عمومی متکی هستند و وضعیت اقتصادی نسبتاً ناخوشایند دارند را بیشتر می‌کند.

دوم، همه‌گیری COVID-۱۹ احتمالاً توسعه و اجرای فناوری‌های اتوماسیون، روباتیک و هوش مصنوعی را تسریع می‌بخشد. این شتاب دهنده انگیزه‌های بیشتری را برای جایگزینی سرمایه بجای نیروی کار فراهم کرده، انگیزه‌های مرتبط با این واقعیت بر این فرض مبتنی است که ماشین‌آلات در برابر عوامل بیماری‌زا مصون هستند. هرچند روبات‌ها در برابر بیماری‌های دیجیتال یا کرم‌ها و ویروس‌ها، بدافزارها و باگ افزارها الکترونیکی آسیب‌پذیر هستند. علاوه بر این، کار در خانه، که فناوری‌های هوشمند آن را تسهیل می‌کند، به احتمال زیاد به ویژگی بارز فعالیت اقتصادی تبدیل می‌شود.

سوم، فناوری‌های هوشمند در ایجاد فاصله‌گذاری اجتماعی، نظارت و مراقبت از ناخوشی و مرض و ردیابی تماس دارای ارزش فوق العاده‌ای هستند. در واقع، برنامه‌ها قبلاً در کشورهای مختلف برای طبقه‌بندی متقابل علائم عفونت COVID-۱۹ (اقدامات خود گزارش شده و اقدامات مستقیم) با مجموعه‌ای مداوم از مختصات سیستم اطلاعات جغرافیایی تلفن‌های هوشمند برای نظارت بر الگوهای حرکت و تعامل طراحی و اجرا شده‌اند. چنین برنامه‌هایی می‌توانند دردسر، ناخشنودی و هزینه آزمایش گسترده COVID-۱۹ را به حداقل رسانده و به سیاست‌گذاران اجازه دهند تا سیاست‌های مختلف اجتماعی و اقتصادی مناسب را در مورد جلوگیری از پیشرفت COVID-۱۹ و سایر عوامل بیماری‌زای خطرناک تهیه کند. فناوری‌های هوشمند همچنین تشخیص و مشاوره‌های بهداشتی بدون تماس را تسهیل می‌کنند. با این حال، آن‌ها توسط پوشش شبکه‌ای، و امکان دسترسی به دستگاه‌ها و تمایل و توانایی تعامل با برنامه محدود می‌شوند.

چهارم، اختلالات زنجیره تامین، تجارت و مسافرت‌های ناشی از بیماری همه‌گیر COVID-۱۹ احتمالاً ادغام اقتصادهای ملی و شاید محلی را تضعیف کرده و ارزش سیستم‌های اقتصادی خودگردان و متکی به خود را، احتمالاً با جبران تکانه به نفع بالا بردن نابرابری اجتماعی و اقتصادی افزایش می‌دهد. کاهش فرصت‌های بهره‌گیری از کارایی در تقسیم کار بین‌المللی، هزینه‌های تولید و قیمت‌ها را افزایش می‌دهد، سرعت رشد اقتصادی را کند می‌کند و انگیزه‌های توسعه فناوری‌های جدید را تغییر می‌دهد.

نتیجه نهایی این است که COVID-۱۹ آینده‌ی اتوماسیون را با فرصت‌ها و چالش‌های زیادی روبرو خواهد ساخت. این موارد با درک این واقعیت که بشریت با احتمال شیوع و اپیدمی‌های بزرگ دیگری روبرو است، اهمیت پیدا می‌کند. با هر ترکیبی از وضعیت‌های دفاعی و تهاجمی اقتصادی که توسط بخش‌های خصوصی و

دولتی اتخاذ شده، اطمینان داریم که فناوری‌های هوشمند به‌طور فزاینده‌ای در آینده نقش مهمی بازی خواهد کرد.

- Abeliasky, A., & Prettner, K. (۲۰۱۷). Automation and demographic change. Hohenheim Discussion Papers in Business, Economics, and Social Sciences ۰۵-۲۰۱۷.
- Abeliasky, A., Algur, E., Bloom, D.E., & Prettner, K. (۲۰۲۰). The future of work: meeting the global challenge of demographic change and automation. *International Labour Review* (forthcoming).
- Abeliasky A. L., Martinez-Zarzoso, I., & Prettner K. (۲۰۲۰). ۳D printing, international trade, and FDI. *Economic Modelling* ۸۵(C), ۲۸۸۳۰۶.
- Acemoglu, D. (۱۹۹۸). Why do new technologies complement skills? Directed technical change and wage inequality. *Quarterly Journal of Economics*, ۱۱۳(۴), ۱۰۵۵۱۰۹۰.
- Acemoglu, D. (۲۰۰۲). Directed technical change. *The Review of Economic Studies*, ۶۹(۴), ۷۸۱۸۰۹.
- Acemoglu, D. (۲۰۰۹). Introduction to modern economic growth. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Acemoglu, D., Johnson, S., & Robinson, J. A. (۲۰۰۱). The colonial origins of comparative development: An empirical investigation. *American Economic Review*, ۹۱(۵), ۱۳۶۹۱۴۰۱.
- Acemoglu, D., Johnson, S., & Robinson, J. (۲۰۰۲). Reversal of fortune: Geography and institutions in the making of the modern world income distribution. *The Quarterly Journal of Economics*, ۱۱۷(۴), ۱۲۳۱۱۲۹۴.
- Acemoglu, D., Johnson, S., & Robinson, J. A. (۲۰۰۵a). Institutions as a fundamental cause of long-run growth. In P. Aghion, & S. Durlauf (Eds.), *Handbook of economic growth* (pp. ۳۸۶۴۷۲). Amsterdam: Elsevier, chapter ۶.
- Acemoglu, D., Johnson, S., & Robinson, J. (۲۰۰۵b). The rise of Europe: Atlantic trade, institutional change, and economic growth. *American Economic Review*, ۹۵(۳), ۵۴۶۵۷۹.
- Acemoglu, D., & Autor, D. (۲۰۱۱). Skills, tasks and technologies: Implications for employment and earnings. In O. C. Ashenfelter, & D. Card (Eds.), *Handbook of labor economics* (Vol. ۴, pp. ۱۰۴۳۱۱۷۱). Amsterdam: Elsevier.
- Acemoglu, D., & Robinson, J. A. (۲۰۱۲). Why nations fail: The origins of power, prosperity, and poverty. London: Profile Books.
- Acemoglu, D., & Autor, D. (۲۰۱۲). What does human capital do? A review of Goldin and Katz's the race between education and technology. *Journal of Economic Literature*, ۵۰(۲), ۴۲۶۴۶۳.

- Acemoglu, D., & Restrepo, P. (2017). Robots and jobs: Evidence from US labor markets. NBER Working Paper No. 22785, National Bureau of Economic Research, Cambridge, MA.
- Acemoglu, D., & Restrepo, P. (2018a). Low-skill and high-skill automation. *Journal of Human Capital*, 12(2), 204232.
- Acemoglu, D., & Restrepo, P. (2018b). The race between man and machine: Implications of technology for growth, factor shares, and employment. *American Economic Review*, 108(6), 14881542.
- Acemoglu, D., & Restrepo, P. (2020). Robots and jobs: Evidence from US labor markets. *Journal of Political Economy*. (forthcoming).
- Adams, J. D. (1990). Fundamental stocks of knowledge and productivity growth. *Journal of Political Economy*, 98(4), 772702.
- Adler, M. D. (2019). Measuring social welfare: an introduction. Oxford, UK: Oxford University Press.
- Aghion, P., & Howitt, P. (2008). *The economics of growth*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Aghion, P., & Howitt, P. (1992). A model of growth through creative destruction. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 60(2), 323351.
- Aghion, P., & Howitt, P. (1999). *Endogenous economic growth*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Aghion, P., & Howitt, P. (2009). *The economics of growth*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Aghion, P., Howitt, P., & Murtin, F. (2011). The relationship between health and growth: When Lucas meets Nelson-Phelps. *Review of Economics and Institutions*, 2(1), 124.
- Ahituv, A. (2011). Be fruitful or multiply: On the interplay between fertility and economic development. *Journal of Population Economics*, 14(1), 5171.
- Akerlof, G., & Yellen, J. (1990). The fair wage-effort hypothesis and unemployment. *Quarterly Journal of Economics*, 105(2), 255283.
- Alvaredo, F., Garbini, B., & Piketty, T. (2017). On the share of inheritance in aggregate wealth: Europe and the USA, 1900-2010. *Economica*, 84(34), 239260.
- Antony, J., & Klarl, T. (2019). The implications of automation for economic growth whe investment decisions are irreversible. *Economics Letters* (forthcoming).
- Arntz, M., Gregory, T., & Zierahn, U. (2017). Revisiting the risk of automation. *Economics Letters*, 159(C), 157160.
- Arnoud, A. (2018). Automation threat and wage bargaining. Available from [https:// antoinearnoud.github.io/files/jmp.pdf](https://antoinearnoud.github.io/files/jmp.pdf). Accessed 02.02.19.
- Arntz, M., Gregory, T., & Zierahn, U. (2018). The risk of automation for jobs in OECD countries. A comparative analysis. *OECD Social*,

Employment and Migration Working Papers, No. 189, OECD Publishing, Paris.

- Ashraf, Q., Weil, D., & Wilde, J. (2013). The effect of fertility reduction on economic growth. *Population and Development Review*, 39(1), 97-130.
- Atkinson, A. (2015). *Inequality: What can be done*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Atkinson, A., Piketty, T., & Saez, E. (2011). Top incomes in the long run of history. *Journal of Economic Literature*, 49(1), 371.
- Auerbach, A. J., & Kotlikoff, L. J. (1987). *Dynamic fiscal policy*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Autor, D. (2002). Skill biased technical change and rising inequality: What is the evidence? What are the alternatives?
- Autor, D. (2013). The “task approach” to labor markets: An overview. *Journal for Labour Market Research*, 46(3), 185-199.
- Autor, D. H. (2014). Skills, education, and the rise of earnings inequality among the “other 99 percent”. *Science*, 1433851, (6186)344
- Autor, D. (2015). Why are there still so many jobs? The history and future of workplace automation. *The Journal of Economic Perspectives*, 29(3), 330.
- Autor, D. H., Dorn, D., & Hanson, G. H. (2016). The China shock: Learning from labor-market adjustment to large changes in trade. *Annual Review of Economics*, 1, 205-240.
- Autor, D., & Salomons, A. (2017). Robocalypse now—Does productivity growth threaten employment? In *European Central Bank Conference Proceedings*.
- Autor, D., & Salomons, A. (2018). Is automation labor-displacing? Productivity growth, employment, and the labor share. In *BPEA Conference Drafts*.
- Autor, D. H., & Dorn, D. (2013). The growth of low-skill service jobs and the polarization of the US labor market. *American Economic Review*, 103(5), 1552-1567.
- Autor, D., & Handel, M. (2013). Putting tasks to the test: Human capital, job tasks, and wages. *Journal of Labor Economists*, 31(S1), S49-S96.
- Avent, R. (2016). *The wealth of humans: Work, power, and status in the twenty-first century*. New York: St. Martin’s Press.
- Bach, S., Grabka, M., & Tomasch, E. (2015). Tax and transfer system: Considerable redistribution mainly via social insurance. *DIW Economic Bulletin*, 1.

- Baldanzi, A., Bucci, A., & Prettnner, K. (2019). Children's health, human capital accumulation, and R&D-based economic growth. *Macroeconomic Dynamics*. forthcoming).
- Baldanzi, A., Prettnner, K., & Tschuschner, P. (2019). Longevity-induced vertical innovation and the tradeoff between life and growth. *Journal of Population Economics*, 32(4), 1293.
- Baldwin, R. (2017). *The great convergence. Information technology and the new globalisation*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Barden, A., Tirone, J., & Groendahl, B. (2017). Austria's Kern targets robots' rise to blunt populist surge. February 24th 2017.
- Barro, R. J. (1991). Economic growth in a cross section of countries. *The Quarterly Journal of Economics*, 106(2), 507-533.
- Barro, R. J. (1997). *Determinants of economic growth: A cross-country empirical study*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Battisti, M., Felbermayr, G., & Lehwald, S. (2016). Inequality in Germany: Myths, facts, and policy implications Ifo Working Paper No. 217. Institute for Economic Research, Munich.
- Battu, H., Belfield, C., & Sloane, P. (2003). Human capital spillovers within the workplace: Evidence for Great Britain. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 65(4), 575-594.
- Baudin, T. (2010). A role for cultural transmission in fertility transitions. *Macroeconomic Dynamics*, 14(4), 444-481.
- Baumol, W., & Bowen, W. (1966). *Performing arts—the economic dilemma: A study of problems common to theater, opera, music and dance*. New York: Twentieth Century Fund.
- Baumol, W. (1972). On taxation and the control of externalities. *American Economic Review*, 62(3), 307-322.
- Bavelier, D., Levi, D., Li, R., Dan, Y., & Hensch, T. (2010). Removing brakes on adult brain plasticity: From molecular to behavioral interventions. *Journal of Neuroscience*, 30(45), 15964-15971.
- Becker, G. S. (1960). An economic analysis of fertility. In G. B. Roberts (Ed.), *Demographic and economic change in developed countries*. Cambridge, MA: National Bureau of Economic Research.
- Becker, G. S. (1964). A theory of the allocation of time. *The Economic Journal*, 74(299), 493-517. Becker, G. S. (1993). *A treatise on the family*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Becker, G. S., & Lewis, H. G. (1973). On the interaction between the quantity and quality of children. *Journal of Political Economy*, 81(2), 279-288.
- Becker, G. S., & Tomes, N. (1976). Child endowments and the quantity and quality of children. *The Journal of Political Economy*, 84(4), 1431-1442.

- Becker, S., & Woessmann, L. (2009). Was Weber wrong? A human capital theory of protestant economic history. *The Quarterly Journal of Economics*, 124(2), 531-596.
- Ben-Porath, Y. (1967). The production of human capital and the life cycle of earnings. *Journal of Political Economy*, 75(4), 352-365.
- Bennett, N. G., Bloom, D. E., & Ivanov, S. F. (1998). Demographic implications of the Russian mortality crisis. *World Development*, 26(11), 1921-1937.
- Benzell, S. G., Kotlikoff, L. J., LaGarda, G., & Sachs, J. D. (2015). Robots are us: Some economics of human replacement. Cambridge, MA: National Bureau of Economic Research, NBER Working Paper 20941.
- Berg, A., Buffie, E. F., & Zanna, L.-F. (2018). Should we fear the robot revolution? (The correct answer is yes). *Journal of Monetary Economics*, 97, 1171-1188, August 2018.
- Bhattacharya, J., & Chakraborty, S. (2012). Fertility choice under child mortality and social norms. *Economics Letters*, 115(3), 338-341.
- Blackburn, M., Bloom, D. E., & Freeman, R. B. (1990). The declining economic position of less skilled American men. In: Gary Burtless (Ed.), *A Future of Lousy Jobs?* (pp. 216-237). The Brookings Institution, Washington, D.C.
- Blackburn, M., Bloom, D. E., & Freeman, R. B. (1991). An era of falling earnings and rising inequality? *Brookings Review* 9(1, winter) 1990/91, 38-43.
- Blackburn, M., & Bloom, D. E. (1995). Changes in the structure of family income inequality in the United States and other industrialized nations during the 1980's, *Research in Labor Economics*, vol. 14 (pp. 141-170). North-Holland, Amsterdam, 1995.
- Blanchard, O. (2016). *Macroeconomics* (7th ed.). London: Pearson.
- Bloom, D. E. (2011). 7 Billion and counting. *Science*, 333(6042), 562-569.
- Bloom, D. E. (2020). Population. *Finance & Development*, 29.
- Bloom, D., & Williamson, J. (1998). Demographic transitions and economic miracles in emerging Asia. *World Bank Economic Review*, 12(3), 419-456.
- Bloom, D. E., & Freeman, R. B. (1988). Economic development and the timing and components of population growth. *Journal of Policy Modelling*, 10(1), 57-81.
- Bloom, D. E., & Canning, D. (2000). The health and wealth of nations. *Science* (New York, N.Y.), 287(5426), 1207-1209.
- Bloom, D. E., & Canning, D. (2001). Demographic change and economic growth: The role of cumulative causality. In N. Birdsall, A. C. Kelley, & S. Sinding (Eds.), *Population does matter: Demography, growth, and poverty in the developing world*. New York, NY: Oxford University Press.

- Bloom, D., & Canning, D. (୨୦୦୪). Contraception and the Celtic tiger. *Economic and Social Review*, ୪୧(୩), ୨୨୧-୨୪୨.
- Bloom, D. E., Canning, D., & Sevilla, J. (୨୦୦୪). The demographic dividend: A new perspective on the economic consequences of population change. *Population Matters*. A RAND Program of Policy-Relevant Research Communication, Santa Monica, CA.
- Bloom, D. E., & Sevilla, J. (୨୦୦୪). Should there be a general subsidy for higher education in developing countries? *Journal of Higher Education in Africa*, ୨(୧), ୧୩୨-୧୫୦.
- Bloom, D. E., Canning, D., Mansfield, R. K., & Moore, M. (୨୦୦୪). Demographic change, social security systems, and savings. *Journal of Monetary Economics*, ୫୧(୧), ୧୨୧-୧୪୧.
- Bloom, D. E., Canning, D., & Fink, G. (୨୦୦୫). Urbanization and the wealth of nations. *Science* ୩୧୧(୫୮୧୪), ୪୪୨-୪୪୫.
- Bloom, D., & Finlay, J. (୨୦୦୬). Demographic change and economic growth in Asia. *Asian Economic Policy Review*, ୧(୧), ୧୫୧୪.
- Bloom, D. E., Canning, D., Fink, G., & Finlay, J. (୨୦୦୬). Fertility, female labor force participation, and the demographic dividend. *Journal of Economic Growth*, ୧୧(୨), ୧୧୧-୧୨୧.
- Bloom, D. E., Canning, D., & Fink, G. (୨୦୦୭). Implications of population ageing for economic growth. *Oxford Review of Economic Policy*, ୨୧(୧), ୫୫୧-୫୬୧.
- Bloom, D. E., Cafiero, E. T., Jane-Llopis, E., Abrahams-Gessel, S., Bloom, L. R., Fathima, S., & Weinstein, C. (୨୦୦୮). The global economic burden of non-communicable diseases. Geneva: World Economic Forum.
- Bloom, D., & Sousa-Poza, A. (୨୦୦୮). Aging and productivity: Introduction. *Labour Economics*, ୨୨(June ୨୦୦୮), ୧୧.
- Bloom, D. E., Cafiero-Fonseca, E. T., McGovern, M. E., Prettnner, K., Stanciole, A., Weiss, J., & Rosenberg, L. (୨୦୦୯). The macroeconomic impact of non-communicable diseases in China and India: Estimates, projections, and comparisons. *The Journal of the Economics of Ageing*, ୧(December ୨୦୦୯), ୧୦୦-୧୧୧.
- Bloom, D. E., Canning, D., & Fink, G. (୨୦୦୯). Disease and development revisited. *The Journal of Political Economy*, ୧୧୧(୧), ୧୩୫୫-୧୩୬୬.
- Bloom, D. E., Canning, D., & Moore, M. (୨୦୦୯). Optimal retirement with increasing longevity. *Scandinavian Journal of Economics*, ୧୧୧(୩), ୫୩୫-୫୪୫.
- Bloom, D. E., Kuhn, M., & Prettnner, K. (୨୦୧୦). Africa's prospects for enjoying a demographic dividend. *Journal of Demographic Economics*, ୫୩(୧), ୧୩୨-୧୪୧.
- Bloom, D. E., Khoury, A., & Subbaraman, R. (୨୦୧୦). The promise and peril of universal health care. *Science*, ୩୧୧(୧୧୦୧), ୧୫.
- Bloom, D., McKenna, M., & Prettnner, K. (୨୦୧୦). Demography, unemployment, automation, and digitalization: Implications for the

creation of (decent) jobs, 2010-2030. NBER Working Paper 24835, National Bureau of Economic Research, Cambridge, MA.

- Bloom, D., Chen, S., Kuhn, M., McGovern, M., Oxley, L., & Prettnner, K. (2018). The economic burden of chronic diseases: Estimates and projections for China, Japan, and South Korea. *The Journal of the Economics of Ageing*. (forthcoming).
- Bloom, D., Canning, D., Kotschy, R., Prettnner, K., & Schuñemann, J. (2018). Health and economic growth: Reconciling the micro and macro evidence. IZA Discussion Paper No. 11940, Institute of Labor Economics, Bonn.
- Bloom, D. E., Khoury, A., Kufenko, V., & Prettnner, K. (2019). Spurring economic growth through human development: Research results and guidance for policymakers PGDA Working Paper 182, 2020. Program on the Global Demography of Aging, Harvard University.
- Bloom, D., Kuhn, M., & Prettnner, K. (2019). Health and economic growth. *Oxford Encyclopedia of Economics and Finance*. Oxford, UK: Oxford University Press.
- Bloom, D. E. (Ed.) (2019). *Live long and prosper? The economics of ageing populations*, London: CEPR Press.
- Bloom, D. E., McKenna, M., & Prettnner, K. (2019). Global employment and decent jobs, 2010-2030: The forces of demography and automation. *International Social Security Review*, 92(3), 437-48.
- Bloom, D. E., Khoury, A., Algur, E., & Sevilla, J. P. (2020). Valuing Productive Non-market Activities of Older Adults in Europe and the US. *De Economist*, 168, 153-181.
- Bloom, D. E., Fan, V. Y., Kufenko, V., Ogbuaji, O., Prettnner, K., & Yamey, G. (2020). Going beyond GDP with a parsimonious indicator: - inequality-adjusted healthy lifetime income. IZA Discussion Papers 12963, 0000000000 00 000000 0000000000 (000).
- Bloom, D. E., Kuhn, M., & Prettnner, K. (2020). The contribution of female health to economic development, *The Economic Journal* (forthcoming).
- Bolt, J., & van Zanden, J. (2014). The Maddison Project: Collaborative research on historical national accounts. *The Economic History Review*, 67(3), 627-651.
- Bönke, T., Corneo, G., & Lüthen, H. (2015). Lifetime earnings inequality in Germany. *Journal of Labor Economics*, 33(1), 111-128.
- Borghans, L., & ter Weel, B. (2002). Do older workers have more trouble using a computer than younger workers? *The Economics of Skills Obsolescence*, 21(September 2002), 1391-143.
- Börsch-Supan, A., & Weiss, M. (2017). Productivity and age: Evidence from work teams at the assembly line. *Journal of the Economics of Ageing*, 9(April 2017), 30-42.

- Bourguignon, F. (2015). The globalization of inequality. Princeton, NJ: Princeton University Press. Brandolini, A., & Smeeding, T. (2007). Patterns of economic inequality in Western democracies: Some facts on levels and trends. *PS: Political Science and Politics*, 29(1), 2126.
- Brander, J. A., & Dowrick, S. (1994). The role of fertility and population in economic growth. *Journal of Population Economics*, 7(1), 125.
- Brussevich, M., Dabla-Norris, E., Kamunge, C., Karnane, P., Khalid, S., & Kochhar, K. (2018). Gender, technology, and the future of work. IMF Staff Discussion Note 18/07, International Monetary Fund, Washington, DC.
- Brandolini, A., & Smeeding, T. (2011). Income inequality in richer and OECD countries. In W. Nolan, B. Selverda, & T. Smeeding (Eds.), *The Oxford handbook of economic inequality*. Oxford, UK: Oxford University Press.
- Brynjolfsson, E., & McAfee, A. (2017). *The second machine age: Work, progress, and prosperity in a time of brilliant technologies*. New York: Norton & Company.
- Brzeski, C., & Burk, I. (2015). Die Roboter kommen. ING DiBa Economic Research, April 30, 2015.
- Bucci, A. (2008). Population growth in a model of economic growth with human capital accumulation and horizontal R&D. *Journal of Macroeconomics*, 30(3), 1124-1147.
- Burkhauser, R., Larrimore, J., & Kosali, S. (2012). A second opinion on the economic health of the American middle class. *National Tax Journal*, 65(1), 735.
- Bureau of Labor Statistics. (2017). College tuition and fees increase 8 percent since January 2007.
- Canton, E., de Groot, H., & Hahuis, R. (2002). Vested interests, population ageing and technology adoption. *European Journal of Political Economy*, 18(4), 631-652.
- Carbonero, F., Ernst, E., & Weber, E. (2018). Robots worldwide: The impact of automation on employment and trade. ILO Research Department Working Paper No. 37, International Labour Organisation, Geneva.
- Carrillo-Tudela, C., Launov, A., & Robin, J.-M. (2018). The fall in German unemployment: A flow analysis. IZA Discussion Paper No. 11442, Institute of Labor Economics (IZA), Bonn.
- Caselli, F. (2005). Accounting for cross-country income differences. In: P. Aghion, & S. Durlauf (Eds.), *Handbook of economic growth* (Vol. 1, pp. 699-741). Amsterdam: Elsevier.
- Cass, D. (1965). Optimum growth in an aggregative model of capital accumulation. *The Review of Economic Studies*, 32(3), 233-240.

- Cervellati, M., & Sunde, U. (2005). Human capital formation, life expectancy, and the process of development. *American Economic Review*, 95(5), 1653-1672.
- Cervellati, M., & Sunde, U. (2011). Life expectancy and economic growth: The role of the demographic transition. *Journal of Economic Growth*, 16(2), 99-123.
- Cervellati, M., & Sunde, U. (2013). Life expectancy, schooling, and lifetime labor supply: Theory and evidence revisited. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 81(5), 2055-2086.
- Chen, S., Kuhn, M., Prettnner, K., & Bloom, D. (2018). The macroeconomic burden of noncommunicable diseases in the United States: Estimates and projections. *PLoS One*, 13(11), e0206702.
- Chen, S., Kuhn, M., Prettnner, K., & Bloom, D. (2019). The global macroeconomic burden of road injuries: Estimates and projections for 199 countries. *The Lancet Planetary Health*, 3(9), e390-e398.
- Chetty, R., Hendren, N., Kline, P., Saez, E., & Turner, N. (2014). Is the United States still a land of opportunity? Recent trends in intergenerational mobility. *American Economic Review*, 104(5), 1411-1451.
- Chi, R., & Snyder, A. (2012). Brain stimulation enables the solution of an inherently difficult problem. *Neuroscience Letters*, 515(2), 121-124.
- Chu, A. C., Cozzi, G., & Furukawa, Y. (2013). A simple theory of offshoring and reshoring. University of St. Gallen, School of Economics and Political Science, Department of Economics, Working Paper 2013-09. St. Gallen, Switzerland.
- Chu, A. C., Cozzi, G., Furukawa, Y., & Liao, C.-H. (2018). Should the government subsidize innovation or automation? University Library of Munich, MPRA Paper 88276, Munich, Germany.
- Chu, A.C., Cozzi, G., Furukawa, Y., & Liao, C.-H. (2019). Effects of minimum wage on automation and innovation in a schumpeterian economy. MPRA Paper 95824, University Library of Munich, Germany.
- Cohen, J. E., Bloom, D. E., & Malin, M. (Eds.), (2006). *Educating all children: A global agenda*. Cambridge, MA: American Academy of Arts and Sciences/MIT Press
- Coffman, B., Clark, V., & Parasuraman, R. (2014). Battery powered thought: Enhancement of attention, learning, and memory in healthy adults using transcranial direct current stimulation. *NeuroImage*, 85(3), 895-908.
- Corak, M. (2013). Income inequality, equality of opportunity, and intergenerational mobility. *Journal of Economic Perspectives*, 27(3), 79-102.
- Costescu, C., Vanderborght, B., & David, D. (2014). The effects of robot-enhanced psychotherapy: A meta-analysis. *Review of General Psychology*, 18(2), 127-136.

- Cowell, F. E. (2011). *Measuring inequality*. Oxford, UK: Oxford University Press.
- Cowen, T. (2013). *Average is over: Powering America beyond the age of the great stagnation*. New York: Dutton.
- Cohen, D., & Soto, M. (2007). Growth and human capital: Good data, good results. *Journal of Economic Growth*, 12(1), 51-76.
- Collewet, M., & Sauermann, J. (2017). Working hours and productivity. IZA Discussion Paper No. 10722, Institute of Labor Economics (IZA),
- Connolly, M., & Peretto, P. (2003). Industry and the family: Two engines of growth. *Journal of Economic Growth*, 8(1), 115-148.
- Cords, D., & Pretzner, K. (2019). Technological unemployment revisited: Automation in a search and matching framework. GLO Discussion Paper Series 308. Essen, Germany: Global Labor Organization (GLO).
- Corneo, G. (1995). Distributional implications of a shorter working week: An unpleasant note. *Journal of Economics*, 92(1), 253-1.
- Corneo, G. (2018). Ein Staatsfonds, der eine soziale Dividende finanziert. *Perspektiven der Wirtschaftspolitik*, 19(2), 941-9.
- Dalgaard, C., & Kreiner, C. (2001). Is declining productivity inevitable? *Journal of Economic Growth*, 6(3), 187-203.
- Dalgaard, C.-J. L., & Strulik, H. (2013). The history augmented Solow model. *European Economic Review*, 63(1), 134-149.
- Danaher, J. (2014). Robotic rape and robotic child sexual abuse: Should they be criminalised? *Criminal Law and Philosophy*, 11(1), 71-95.
- Dauth, W., Findeisen, S., Suedekum, J., & Woessner, N. (2017). German robots—The impact of industrial robots on workers CEPR Discussion Paper 12306. Centre for Economic Policy Research, London.
- Deaton, A. (2013). *The great escape: Health, wealth, and the origins of inequality*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- de la Fuente, A., & Domenech, R. (2006). Human capital in growth regressions: How much difference does data quality make? *Journal of the European Economic Association*, 4(1), 136.
- DeCanio, S. (2016). Robots and humans—complements or substitutes? *Journal of Macroeconomics*, 49, 280-291.
- de la Fuente, A., & Domenech, R. (2006). Human capital in growth regressions: How much difference does data quality make? *Journal of the European Economic Association*, 4(1), 136.
- Delaney, K. J. (2017). Droid duties: The robot that takes your job should pay taxes, says Bill Gates
- Dengler, K., & Matthes, B. (2015). Folgen der Digitalisierung für die Arbeitswelt. Substituierbarkeitspotentiale von Berufen in Deutschland. IAB Forschungsbericht 11/2015. Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung, Nürnberg.
- Diamond, P. A. (1965). National debt in a neoclassical growth model. *American Economic Review*, 55(5), 1126-1150.

- Diamond, P., & Mirrlees, J. (1971a). Optimal taxation and public production I: Production efficiency. *American Economic Review*, 61(1), 81-94.
- Diamond, P., & Mirrlees, J. (1971b). Optimal taxation and public production II Tax rules. *American Economic Review*, 61(1), 96-104.
- Diebolt, C., & Perrin, F. (2012a). From stagnation to sustained growth: The role of female empowerment. *American Economic Review*, 102(3), 545-559.
- Diebolt, C. & Perrin, F. (2012b). From stagnation to sustained growth: The role of female empowerment AFC Working Paper 4. Association Française de Cliométrie, Restinclières, France.
- Dinopoulos, E., & Thompson, P. (1998). Schumpeterian growth without scale effects. *Journal of Economic Growth*, 3(4), 313-335.
- Dixit, A. (1990). *Optimization in economic theory* (2nd ed.). Oxford, UK: Oxford University Press.
- Doepke, M. (2004). Accounting for fertility decline during the transition to growth. *Journal of Economic Growth*, 9(3), 247-283.
- Doepke, M. (2005). Child mortality and fertility decline: Does the Barro-Becker model fit the facts? *Journal of Population Economics*, 18(2), 337-366.
- Dorfman, R. (1969). An economic interpretation of optimal control theory. *American Economic Review*, 59(2), 817-831.
- Dustmann, C., Fitzenberger, B., Schoenberg, U., & Spitz-Oener, A. (2014). From sick man of Europe to economic superstar: Germany's resurgent economy. *Journal of Economic Perspectives*, 28(1), 167-188.
- Eden, M., & Gaggli, P. (2018). On the welfare implications of automation. *Review of Economic Dynamics*, 29(July), 1543.
- Edmonds, E. V. (2016). Economic growth and child labor in low income economies. GLM/LIC Synthesis Paper No. 3, Growth and Labour Markets in Low Income Countries Programme.
- Egner, B., & Grabietz, K. J. (2018). In search of determinants for quoted housing rents: Empirical evidence from major German cities. *Urban Research & Practice*, 11(4), 460-477.
- European Commission. (2018a). Fair taxation of the digital economy
- Eggertsson, G., Mehrotra, N., & Robbins, J. (2019). A model of secular stagnation: Theory and quantitative evaluation. *American Economic Journal: Macroeconomics*, 11(1), 148.
- Elsby, M. W. L., Hobijn, B., & Sahin, A. (2013). The decline of the U.S. labor share. *Brookings Papers on Economic Activity*, Fall 2013, 163.
- European Commission. (2018b). Proposal for a council directive laying down rules relating to the corporate taxation of a significant digital presence.
- Fan, V. Y., Bloom, D. E., Ogbuonji, O., Prettnner, K., & Yamey, G. (2018). Valuing health as development: Going beyond gross domestic product.

The BMJ, ٣٦٣, k٤٣٧١. Federal Reserve Bank of St. Louis. ٢٠١٨. Economic data.

- Feenstra, R., & Jensen, J. (٢٠١٢). Evaluating estimates of materials offshoring from US manufacturing. *Economics Letters*, ١١٧(١), ١٧٠-١٧٣.
- Financial Times. (٢٠١٩). Robots/ageing Japan: I, carebot.
- Ford, M. (٢٠١٥). *Rise of the robots: Technology and the threat of a jobless future*. New York: Basic Books.
- Frank, R. (٢٠٠٨). Progressive consumption tax. *Democracy: A Journal of Ideas*, Spring ٢٠٠٨ (٨).
- Frank, R., & Cook, P. (١٩٩٤). *The winner-take-all society: Why the few at the top get so much more than the rest of us*. London: Penguin Books.
- Franko, B. (٢٠١٧). The gun that is in almost ١٠٠ countries: Why the AK-٤٧ dominates. *The National Interest*.
- Frank, R., & Cook, P. (١٩٩٤). *The winner-take-all society: Why the few at the top get so much more than the rest of us*. London: Penguin Books.
- Fratzscher, M. (٢٠١٨). *The Germany illusion. Between economic euphoria and despair*. Oxford, UK: Oxford University Press.
- Frey, C. B. (٢٠١٩). *The technology trap: Capital, labor, and power in the age of automation*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Foley, D., Michl, T. R., & Tavani, D. (٢٠١٩). *Economic growth and distribution* (٢nd ed.). Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Ford, M. (٢٠١٥). *Rise of the robots: Technology and the threat of a jobless future*. New York: Basic Books.
- Ford, M. (٢٠١٥). *Rise of the robots: Technology and the threat of a jobless future*. New York: Basic Books.
- Fortune. (٢٠١٤). Today's cars are parked ٩٥% of the time. Available from <https://fortune.com> ٢٠١٦/٠٣/١٣/cars-parked-٩٥-percent-of-time/. Accessed ٢٥.١١.٢٠١٩.
- Frank, R. (٢٠٠٨). Progressive consumption tax. *Democracy: A Journal of Ideas*, ٨, Retrieved from.
- Frey, C. B., & Osborne, M. A. (٢٠١٣). The future of employment: How susceptible are jobs to computerisation?
- Frey, C. B., & Osborne, M. A. (٢٠١٧). The future of employment: How susceptible are jobs to computerisation? *Technological Forecasting and Social Change*, ١١٤(C), ٢٥٤٢٨٠.
- Frey, C. B. (٢٠١٩). *The technology trap: Capital, labor, and power in the age of automation*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Funke, M., & Strulik, H. (٢٠٠٠). On endogenous growth with physical capital, human capital and product variety. *European Economic Review*, ٤٤(٣), ٤٩١٥١٥.
- Fullerton, D., & Metcalf, G. (١٩٩٧). Environmental taxes and the double-dividend hypothesis: Did you really expect something for nothing?

Cambridge, MA: NBER Working Paper No. 9199, National Bureau of Economic Research.

- Galor, J. (2005). Monetary policy, inflation, and the business cycle: An introduction to the new Keynesian framework and its applications (2nd ed.). Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Galor, O. (2005). From stagnation to growth: Unified growth theory. In P. Aghion, & S. Durlauf (Eds.), *Handbook of Economic Growth* (Vol. 1, pp. 1712-173). Amsterdam: Elsevier, Chapter 4.
- Galor, O. (2011). *Unified growth theory*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Galor, O., & Zeira, J. (1993). Income distribution and macroeconomics. *The Review of Economic Studies*, 60(1), 35-52.
- Galor, O., & Weil, D. N. (1996). The gender gap, fertility, and growth. *The American Economic Review*, 86(3), 374-394.
- Galor, O., & Weil, D. (2000). Population, technology, and growth: From Malthusian stagnation to the demographic transition and beyond. *The American Economic Review*, 90(4), 806-828.
- Galor, O., & Moav, O. (2004). From physical to human capital accumulation: Inequality and the process of development. *The Review of Economic Studies*, 71(4), 1001-1022.
- Gandolfo, G. (2010). *Economic dynamics*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Gasteiger, E., & Prettnner, K. (2020). A note on automation, stagnation, and the implications of a robot tax. *Macroeconomic Dynamics*. (forthcoming).
- Geiger, N., Prettnner, K., & Schwarzer, J. (2018). Die Auswirkungen der Automatisierung, auf Wachstum, Beschäftigung und Ungleichheit, *Perspektiven der Wirtschaftspolitik*, 19(2), 59-77.
- Gehring, A., & Prettnner, K. (2019). Longevity and technological change. *Macroeconomic Dynamics*, 23(4), 1471-1503.
- Geiger, N., Prettnner, K., & Schwarzer, J. (2018). Die Auswirkungen der Automatisierung, auf Wachstum, Beschäftigung und Ungleichheit. *Perspektiven der Wirtschaftspolitik*, 19(2), 59-77.
- George, H. (1878). *Progress and poverty: An inquiry into the cause of industrial depressions and of increase of want with increase of wealth: the remedy*. New York, NY: Appleton and Company.
- Gersbach, H., & Schneider, M. T. (2005). On the global supply of basic research. *Journal of Monetary Economics*, 52(C), 1231-1247.
- Gersbach, H., Sorger, G., & Amon, C. (2018). Hierarchical growth: Basic and applied research. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 90, 434-459.
- Gertler, M. (1999). Government debt and social security in a life-cycle economy. *Carnegie-Rochester Conference Series on Public Policy*, 50(June 1999), 611-10.

- Giannelli, G. C., Jaenichen, U., & Rothe, T. (2016). The evolution of job stability and wages after the implementation of the Hartz reforms. *Journal for Labour Market Research*, 49(3), 269-294.
- Gilens, M., & Page, B. (2014). Testing theories of American politics: Elites, interest groups, and average citizens. *Perspectives on Politics*, 12(3), 564-581.
- Goldin, C., & Katz, L. (2008). The race between education and technology: The evolution of U. S. wage differentials, 1890-2000. NBER Working Paper 12984, National Bureau of Economic Research, Cambridge, MA.
- Goldin, C., & Katz, L. (2009). The race between education and technology. Boston: Harvard University Press.
- Goos, M., Manning, A., & Salomons, A. (2014). Explaining job polarization: Routine-biased technological change and offshoring. *American Economic Review*, 104(8), 2509-2526.
- Gordon, R. (2016). Rise and fall of American growth: The U.S. standard of living since the Civil War. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Graetz, G., & Michaels, G. (2015). Robots at work. CEPR Discussion Paper 10477. Centre for Economic Policy Research, London.
- Graetz, G., & Michaels, G. (2018). Robots at work. *Rev Econ Stat*, 100(5), 753-768.
- Green, D., & Riddell, W. (2013). Ageing and literacy skills: Evidence from Canada, Norway and the United States. *Labour Economics*, 22(June 2013), 1629.
- Greenwood, J., Guner, N., Korcharkov, G., & Santos, X. (2014). Marry your like: Assortative mating and income inequality. *American Economic Review*, 104(5), 3483-53.
- Greenwood, J., & Jovanovic, B. (1990). Financial development, growth and the distribution of income. *Journal of Political Economy*, 98(5), 1076-1107.
- Gregory, G., Salomons, A., & Zierahn, U. (2016). Racing with or against the machine? Evidence from Europe. ZEW Discussion Paper No. 16-053. Leibniz Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung, Mannheim.
- Grossman, G. M., & Helpman, E. (1991). Quality ladders in the theory of economic growth. *Review of Economic Studies*, 58(1), 43-61.
- Grossman, G., & Rossi-Hansberg, E. (2008). Trading tasks: A simple theory of offshoring. *American Economic Review*, 98(5), 1978-1997.
- Grossmann, V., Steger, T. M., & Trimborn, T. (2013). Dynamically optimal R&D subsidization. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 37(3), 516-534.
- Growiec, J. (2019). The hardware-software model: A new conceptual framework of production, R&D, and growth with AI. Working Paper

۲۰۱۹-۰۴۲, Warsaw School of Economics, Collegium of Economic Analysis.

- Gruber, J., & Wise, D. (1998). Social security and retirement: An international comparison. *American Economic Review*, 88(2), 1581-93.
- Graeber, D. (2018). *Bullshit jobs: A theory*. New York: Simon & Schuster
- Gruescu, S. (2007). *Population ageing and economic growth*. Heidelberg: Physica-Verlag.
- Guerreiro, J., Rebelo, S., & Teles, P. (2018). Should robots be taxed? NBER Working Paper 23809, National Bureau of Economic Research, Cambridge, MA.
- Guimaraes, L., & Mazeda Gil, P. (2019). Explaining the labor share: Automation vs labor market institutions. *Economics Working Papers* 19-01, Universidade Nova de Lisboa, Instituto de Economia, Universidade Nova de Lisboa, 00.
- Hagemann, H. (1995). Technological unemployment. In P. Arestis, & M. Marshall (Eds.), *The political economy of full employment* (pp. 365-3). Cheltenham, UK: Edward Elgar.
- Hansen, A. (1931). Institutional frictions and technological unemployment. *Quarterly Journal of Economics*
- Hansen, G. D., & Prescott, E. C. (2002). Malthus to Solow. *American Economic Review*, 92(4), 1205-1217.
- Hanushek, E. A., & Woessmann, L. (2012). Do better schools lead to more growth? Cognitive skills, economic outcomes, and causation. *Journal of Economic Growth*, 17(4), 267-291.
- Hanushek, E. A., & Woessmann, L. (2015). *The knowledge capital of nations: Education and the economics of growth*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Hazan, M. (2009). Longevity and lifetime labor supply: Evidence and implications. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 77(4), 1291-1313.
- Heijdra, B., & Romp, W. (2008). A life-cycle overlapping-generations model of the small open economy. *Oxford Economic Papers*, 70(1), 111-121.
- Heijdra, B. J., & Romp, W. E. (2009). Retirement, pensions, and ageing. *Journal of Public Economics*, 93(34), 586-604.
- Heijdra, B. J., & Mierau, J. O. (2011). The individual life cycle and economic growth: An essay on demographic macroeconomics. *Economist (Leiden)*, 159(1), 63-87.
- Heijdra, B. J. (2017). *Foundations of modern macroeconomics* (3rd ed.). Oxford, UK: Oxford University Press.
- Hellstroöm, T. (2013). On the moral responsibility of military robots. *Ethics and Information Technology*, 15(2), 99-107.

- Helpman, E., Melitz, M. J., & Yeaple, S. R. (2004). Exports vs. FDI with heterogeneous firms. *American Economic Review*, 94(1), 300-316.
- He´mous, D., & Olsen, M. (2018). The rise of the machines: Automation, horizontal innovation and income inequality.
- Herrendorf, B., Rogerson, R., & Valentinyi, A. (2014). Growth and structural transformation. In P. Aghion, & S. Durlauf (Eds.), *Handbook of economic growth* (Vol. 2B, pp. 855-941). Amsterdam: Elsevier.
- Herzer, D., Strulik, H., & Vollmer, S. (2012). The long-run determinants of fertility: One century of demographic change 1900-1999. *Journal of Economic Growth*, 17(4), 357-385.
- Hicks, J. (1939). The foundations of welfare economics. *Economic Journal*, 49(199), 696-712.
- Hicks, J. (1973). *Capital and time*. Oxford, UK: Clarendon Press.
- Howitt, P. (1999). Steady endogenous growth with population and R&D inputs growing. *Journal of Political Economy*, 107(4), 715-730.
- Humphrey, T. (2004). Ricardo versus Wicksell on job losses and technological change. *Federal Reserve Bank of Richmond Economic Quarterly*, 90(4), 524.
- International Federation of Robotics (IFR). 2016. Executive summary world robotics 2016 industrial robots.
- IEA (International Energy Agency). (2016). *World energy outlook 2016*. Energy snapshots
- International Federation of Robotics (IFR). 2017a. Executive summary world robotics 2017 industrial robots. *Industrial_Robots.pdf*. Accessed 01.08.18. 44 Automation and its Macroeconomic Consequences International Federation of Robotics (IFR). 2017b. IFR press release September 27th 2017.
- International Federation of Robotics (IFR). 2018a. Executive summary world robotics 2018 industrial robots.
- International Federation of Robotics (IFR). 2018b. IFR press release, February 7th 2018.
- Irmen, A. & Litina, A. (2016). Population aging and inventive activity. CESifo Working Paper No. 5841, Center for Economic Studies, Munich.
- Islam, N. (1995). Growth empirics: A panel data approach. *The Quarterly Journal of Economics*, 110(4), 1127-1150.
- Jaeger, A., Moll, C., & Lerch, C. (2016). Analysis of the impact of robotic systems on employment in the European Union—Update. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- Jones, C. I. (1995). R&D-based models of economic growth. *Journal of Political Economy*, 103(4), 759-783.
- Jones, C. I. (2001). Was an industrial revolution inevitable? *Economic growth over the very long run*. *Advances in Macroeconomics*, 1(2), 143.
- Jones, C. I. (2002). Sources of U.S. economic growth in a world of ideas. *American Economic Review*, 92(1), 220-239.

- Jones, C. I. (2005). The shape of production functions and the direction of technical change. *Quarterly Journal of Economics*, 120(2), 517-549.
- Jones, C. I. (2015). The facts of economic growth. NBER Working Paper 21142, National Bureau of Economic Research, Cambridge, MA.
- Jones, C. I., & Williams, J. C. (1998). Measuring the social return to R&D. *The Quarterly Journal of Economics*, 113(4), 1191-1235.
- Jones, C. I., & Williams, J. C. (2000). Too much of a good thing? The economics of investment in R&D. *Journal of Economic Growth*, 5(1), 65-85.
- Jones, C. I., & Scrimgeour, D. (2008). A new proof of Uzawa's steady-state growth theorem. *The Review of Economics and Statistics*, 90(1), 180-182.
- Jones, C. I., & Vollrath, D. (2009). *Introduction to economic growth* (3rd ed.). New York: W. W. Norton & Company.
- Jones, C., & Klenow, P. (2016). Beyond GDP? Welfare across countries and time. *American Economic Review*, 106(9), 2426-2457.
- Kaldor, N. (1939). Welfare propositions in economics and interpersonal comparisons of utility. *Economic Journal*, 49(195), 549-552.
- Kaldor, N. (1957). A model of economic growth. *The Economic Journal*, 67(268), 591-624.
- Karabarbounis, L., & Neiman, B. (2014). The global decline of the labor share. *The Quarterly Journal of Economics*, 129(1), 611-3.
- Kalemli-Ozcan, S. (2003). A stochastic model of mortality, fertility, and human capital investment. *Journal of Development Economics*, 70(1), 103-118.
- Kaplan, J. (2015). *Humans need not apply: A guide to wealth and work in the age of artificial intelligence*. New Haven, CT: Yale University Press.
- Karabarbounis, L., & Neiman, B. (2014). The global decline of the labor share. *The Quarterly Journal of Economics*, 129(1), 611-3.
- Karush, W. (1939). Minima of functions of several variables with inequalities as side constraints Unpublished master thesis, University of Chicago
- Kelley, A. C., & Schmidt, R. M. (1995). Aggregate population and economic growth correlations: The role of the components of demographic change. *Demography*, 32(4), 543-555.
- Keynes, J. (1930a). Economic possibilities for our grandchildren. *The Nation and Athenaeum*, 98(2), 363-7.
- Keynes, J. (1930b). Economic possibilities for our grandchildren. *The Nation and Athenaeum*, 98(3), 99-101.
- Koçgel, T., & Prskawetz, A. (2001). Agricultural productivity growth and escape from the Malthusian trap. *Journal of Economic Growth*, 6(4), 337-357.

- Koopmans, T. C. (1965). On the concept of optimal economic growth. In J. Johansen (Ed.), *The Econometric Approach to Development Planning*. Amsterdam: North Holland.
- Korinek, A., & Ng, D. (2017). The macroeconomics of superstars. Mimeo. Washington, DC: International Monetary Fund.
- Kortum, S. (1997). Research, patenting and technological change. *Econometrica*, 65(6), 1389-1419.
- Krenz, A., Prettnner, K., & Strulik, H. (2018). Robots, reshoring, and the lot of low-skilled workers. CEPR Discussion Paper 1251, Center for European, Governance and Economic Development Research, University of Göttingen, Germany.
- Krueger, A. B., & Lindahl, M. (2001). Education for growth: Why and for whom? *Journal of Economic Literature*, 39(4), 1101-1136.
- Krueger, D., & Ludwig, A. (2007). On the consequences of demographic change for rates of returns on capital, and the distribution of wealth and welfare. *Journal of Monetary Economics*, 54(1), 49-87.
- Krusell, P., Ohanian, L., Rios-Rull, J.-V., & Violante, G. (2000). Capital-skill complementarity and inequality: A macroeconomic analysis. *Econometrica*, 68(5), 1029-1053.
- Krusell, P., & Smith, A. (2015). Is Piketty's "second law of capitalism" fundamental? *Journal of Political Economy*, 123(4), 925-948.
- Kufenko, V., Geloso, V., & Prettnner, K. (2018). Does size matter? Implications of household size for economic growth and convergence. *Scottish Journal of Political Economy*, 65(4), 437-443.
- Kufenko, V., Prettnner, K., & Sousa-Poza, A. (2019). The economics of ageing and inequality Introduction to the special issue. *The Journal of the Economics of Ageing*, 14, 114.
- Kufenko, V., Prettnner, K., & Geloso, V. 2020. Divergence, convergence, and the history-augmented Solow model. *Structural Change and Economic Dynamics* 53, 2020, 627-6.
- Kuhn, H., & Tucker, A. (1951). Nonlinear programming. *Proceedings of the Second Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability* (pp. 481-492). Berkeley, CA: University of California Press
- Kuhn, M., & Prettnner, K. (2016). Growth and welfare effects of health care in knowledge based economies. *Journal of Health Economics*, 56(March 2016), 100-119.
- Kuhn, M. & Prettnner, K. (2020). Automation in times of climate change. Mimeo.
- Kurzweil, R. (2005). *The singularity is near: When humans transcend biology*. London: Penguin Books.
- Kuznets, S. (1955). Economic growth and income inequality. *The American Economic Review*, 45(1), 128.
- Kurzweil, R. (2005). *The singularity is near: When humans transcend biology*. London: Penguin Books.

- Labaj, M., & Dujava, D. (2019). Economic growth and convergence during the transition to production using automation capital. Department of Economic Policy, Faculty of National Economy, University of Economics in Bratislava, Department of Economic Policy Working
- Lagerlöf, N.-P. (2003). Gender equality and long-run growth. *Journal of Economic Growth*, 8(4), 403-426.
- Lagerlöf, N.-P. (2006). The GalorWeil model revisited: A quantitative exercise. *Review of Economic Dynamics*, 9(1), 116-142.
- Landes, D. (1998). *The wealth and poverty of nations: Why some are so rich and some so poor*. New York: WW Norton & Co.
- Lankisch, C., Prettner, K., & Prskawetz, A. (2019). How can robots affect wage inequality? *Economic Modelling*, 81, 1611-1619.
- Lee, R., & Mason, A. (2010). Fertility, human capital, and economic growth over the demographic transition. *European Journal of Population*, 26(2), 159-182.
- Leitner, S. & Stehrer, R. (2019). The automatisisation challenge meets the demographic challenge: In need of higher productivity growth. Fellowship Initiative Discussion Paper 114, European Commission, Brussels.
- Leonard, D., & van Long, N. (1992). *Optimal control theory and static optimization in economics*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- LeVine, S. (2017). Expert doubles down: Robots still threaten 47% of U.S. jobs.
- Li, H., & Zhang, J. (2007). Do high birth rates hamper economic growth? *Review of Economics and Statistics*, 89(1), 110-117.
- Li, J.-R., Walker, S., Nie, J.-B., & Zhang, J.-G. (2019). Experiments that led to the first geneedited babies: The ethical failings and the urgent need for better governance. *Journal of Zhejiang University*, 20(1), 32-38.
- Lordan, G., & Neumark, D. (2018). People versus machines: The impact of minimum wages on automatable jobs. *Labour Economics*, 52(C), 40-53.
- Lordan, G. (2019). People versus machines in the UK: Minimum wages, labor reallocation and automatable jobs., IZA Discussion Paper No. 12716, Institute of Labor Economics (IZA), Bonn.
- Lorentzen, P., McMillan, J., & Wacziarg, R. (2008). Death and development. *Journal of Economic Growth*, 13(2), 81-124.
- Lowe, A. (1976). *The path of economic growth*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Luber, B., & Lisanby, S. (2014). Enhancement of human cognitive performance using transcranial magnetic stimulation (TMS). *NeuroImage*, 88(3), 961-970.
- Lucas, R. E. (1988). On the mechanics of economic development. *Journal of Monetary Economics*, 22(1), 3-42.

- Lutz, W., Cuaresma, J. C., & Sanderson, W. (2008). The demography of educational attainment and economic growth. *Science*, 319(5866), 10471-48.
- Ma, A. (2018). Thousands of people in Sweden are embedding microchips under their skin to replace ID cards. *The Business Insider*, May 2018.
- Maddison, A. (2010). Statistics on world population, GDP and per capita GDP, 1200 AD.
- Mahlberg, B., Freund, I., Crespo-Cuaresma, J., & Prskawetz, A. (2013). Ageing, productivity and wages in Austria. *Labour Economics*, 22(June 2013), 515.
- Manasse, P., & Turrini, A. (2001). Trade, wages, and superstars. *Journal of International Economics*, 54(1), 97117.
- Maddison Project Database. 2018. Maddison historical statistics 2018 version
- Malthus, T. R. (1798). *An essay on the principle of population*. London: St. Paul's Church-Yard.
- Mankiw, N. G. (2015). *Macroeconomics* (9th ed.). New York: Worth Publishers.
- Mankiw, G. N., & Weil, D. N. (1999). The baby-boom, the baby-bust and the housing market. *Regional Science and Urban Economics*, 19(2), 235258.
- Mankiw, N. G., Romer, D., & Weil, D. N. (1992). A contribution to the empirics of economic growth. *Quarterly Journal of Economics*, 107(2), 407437.
- Mann, K., & Pu'ttmann, L. (2017). Benign effects of automation: New evidence from patent texts. Discussion Paper, Bonn University, Germany.
- Martin, H.-P., & Schumann, H. (1996). *The global trap*. Berlin: Rowohlt Verlag
- McConnell, M., & Sunde, U. (2019). Ageing into risk aversion? Implications of population ageing for the willingness to take risks. In D. E. Bloom (Ed.), *Live long and prosper? The economics of ageing populations*. London: CEPR Press. Available from. Available from <https://voxeu.org/content/live-long-and-prosper-economics-ageing-populations>, Accessed 31.12.2019.
- McKinsey Global Institute. (2017). Jobs lost, jobs gained: Workforce transitions in a time of automation.
- Melitz, M. (2003). The impact of trade on intra-industry reallocations and aggregate industry productivity. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 71(4), 14951725.
- Merriam-Webster. (2017). Automation. Available from <https://www.merriam-webster.com/dictionary/automation>. Accessed 03.03.19.

- Milanovic, B. (2016). *Global inequality. A new approach for the age of globalization*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Mokyr, J. (2002). *The gifts of Athena*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Mokyr, J. (2005). Long-term economic growth and the history of technology. In P. Aghion, & S. Durlauf (Eds.), *Handbook of economic growth* (Vol. 1B, pp. 1114-1180). Amsterdam: Elsevier.
- Mokyr, J. (2018). *Culture of growth: The origins of the modern economy*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Moro, C., Lin, S., Nejat, G., & Mihailidis, A. (2019). Social robots and seniors: A comparative study on the influence of dynamic social features on human-robot interaction. *International Journal of Social Robotics*, 11(1), 524.
- Morris, I. (2010). *Why the west rules for now: The patterns of history, and what they reveal about the future*. New York: Farrar Straus & Giroux.
- Mortensen, D. T., & Pissarides, C. A. (1994). Job creation and job destruction in the theory of unemployment. *The Review of Economic Studies*, 61(3), 397-415.
- Nagl, W., Titelbach, G., & Valkanova, K. (2017). Digitalisierung der arbeit: Substituierbarkeit von berufen im zuge der automatisierung durch industrie 4.0. IHS Projektbericht, Institut für Höhere Studien, Wien. Available from <http://irihs.ihs.ac.at/2231/1/201800.pdf>. Accessed 10.07.2018.
- Naghavi, A., & Ottaviano, G. (2009). Offshoring and product innovation. *Economic Theory*, 38(3), 517-532.
- National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (2015). *The growing gap in life expectancy by income: Implications for federal programs and policy responses*. Washington, DC: National Academies Press.
- Nedelkoska, L., & Quintini, G. (2018). *Automation, skill use and training*. OECD Social, Employment and Migration Working Paper No. 202. Paris.
- Nelson, J., McKinley, R., Golob, E., Warm, J., & Parasuraman, R. (2014). Enhancing vigilance in operators with prefrontal cortex transcranial direct current stimulation (tDCS). *NeuroImage*, 85(3), 911-919.
- Norberg, J. (2016). *Progress: Ten reasons to look forward to the future*. London: Oneworld Publications.
- Nordhaus, W. (1996). Do real-output and real-wage measures capture reality? The history lighting suggests not. In T. F. Bresnahan, & R. J. Gordon (Eds.), *The economics of new goods* (pp. 277-). University of Chicago Press.

- Nordhaus, W. (୨୦୦୪). Two centuries of productivity growth in computing. *The Journal of Economic History*, ୬୪(୧), ୧୨୮-୧୬୧.
- Nordhaus, W. (୨୦୧୫). Are we approaching an economic singularity? Information technology and the future of economic growth. NBER Working Paper No. ୨୧୫୪୪, National Bureau of Economic Research, Cambridge, MA.
- NRMA (National Roads and Motorists' Association). (୨୦୧୪). The future of car ownership.
- Nuyujukian, P., Albites Sanabria, J., Saab, J., Pandarinath, C., Jarosiewicz, B., Blabe, C. H., et al. (୨୦୧୮). Cortical control of a tablet computer by people with paralysis. *PLoS One*, ୧୩(୧୧), e୦୨୦୪୫୫୫.
- OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development). (୨୦୧୧). Divided we stand Why inequality keeps rising. OECD Publishing, Paris.
- OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development). (୨୦୧୫). In it together: Why less inequality benefits all. OECD Publishing, Paris.
- O'Neil, C. (୨୦୧୫). Weapons of math destruction: How big data increases inequality and threatens democracy. New York: Crown Publishing Group.
- Ottaviano, G., Peri, G., & Wright, G. (୨୦୧୨). Immigration, offshoring, and American jobs. *American Economic Review*, ୧୦୨(୫), ୧୧୨୫-୧୧୫୧.
- Page, B., Bartels, L., & Seawright, J. (୨୦୧୨). Democracy and the policy preferences of wealthy Americans. *Perspectives on Politics*, ୧୧(୧), ୫୧-୬୩.
- Pajarinen, M., & Rouvinen, P. (୨୦୧୪). Computerization threatens one third of Finnish employment. Muistio Brief, ETLA, The Research Institute of the Finnish Economy.
- Pajarinen, M., Rouvinen, P., & Ekeland, A. (୨୦୧୫). Computerization threatens one-third of Finnish and Norwegian employment. Muistio Brief, ETLA, The Research Institute of the Finnish Economy..
- Peneder, M., Bock-Schappelwein, J., Firgo, M., Fritz, O., & Streicher, G. (୨୦୧୫). Österreich im Wandel der Digitalisierung. Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung, Wien
- Perotti, R. (୧୯୯୫). Growth, income distribution, and democracy: What the data say. *Journal of Economic Growth*, ୧(୨), ୧୫୧-୧୮୪.
- Peretto, P. F. (୧୯୯୮). Technological change and population growth. *Journal of Economic Growth*, ୩(୪), ୨୮୩-୩୧୧.
- Peretto, P. F., & Saeter, J. J. (୨୦୧୩). Factor-eliminating technical change. *Journal of Monetary Economics*, ୫୦(୪), ୫୫୧-୫୭୩.
- Pigou, A. (୧୯୨୦). The economics of welfare. London: Macmillan.
- Piketty, T. (୨୦୦୩). Income inequality in France, ୧୯୦୧-୧୯୯୮. *Journal of Political Economy*, ୧୧୧(୫), ୧୦୦୫-୧୦୫୨.
- Piketty, T. (୨୦୧୪). Capital in the twenty-first century. Cambridge, MA: The Belknap Press of Harvard University Press.

- Piketty, T., & Saez, E. (2003). Income inequality in the United States 1913-1998. *Brookings Papers on Economic Activity*, 1(1), 1-41.
- Piketty, T., & Zucman, G. (2014). Capital is back: Wealth-income ratios in rich countries 1700-2010. *The Quarterly Journal of Economics*, 129(3), 1255-1310.
- Piketty, T., Saez, E., & Stantcheva, S. (2014). Optimal taxation of top labor incomes: A tale of three elasticities. *American Economic Journal: Economic Policy*, 6(1), 230-271.
- Pissarides, C. A. (2000). *Equilibrium unemployment theory* (2nd ed.). Cambridge, MA: MIT Press.
- Pontryagin, L., Boltyanskii, V., Gamkrelidze, R., & Mishchenko, E. (1962). *The mathematical theory of optimal processes*. Hoboken, NJ: John Wiley.
- Pratt, G. A. (2015). Is a Cambrian explosion coming for robotics? *Journal of Economic Perspectives*, 29(3), 51-60.
- Preston, S. H., Heuveline, P., & Guillot, M. (2001). *Demography. Measuring and modeling population processes*. Hoboken, NJ: Blackwell Publishing.
- Prettnner, K. (2013). Population aging and endogenous economic growth. *Journal of Population Economics*, 26(2), 811-834.
- Prettnner, K. (2014). The non-monotonous impact of population growth on economic prosperity. *Economics Letters*, 124(1), 93-95.
- Prettnner, K. (2016). The implications of automation for economic growth and the labor share of income. *Hohenheim Discussion Papers in Business, Economics and Social Sciences. Discussion Paper* 18-2016.
- Prettnner, K., Bloom, D. E., & Strulik, H. (2013). Declining fertility and economic well-being: Do education and health ride to the rescue? *Labour Economics*, 22(June 2013), 70-79.
- Prettnner, K., & Canning, D. (2014). Increasing life expectancy and optimal retirement in general equilibrium. *Economic Theory*, 56(1), 191-217.
- Prettnner, K., & Strulik, H. (2016). Technology, trade, and growth: The role of education. *Macroeconomic Dynamics*, 20(5), 1381-1394.
- Prettnner, K., & Werner, K. (2016). Why it pays off to pay us well: The impact of basic research on economic growth and welfare. *Research Policy*, 45(5), 1075-1090.
- Prettnner, K., & Strulik, H. (2017a). Gender equity and the escape from poverty. *Oxford Economic Papers*, 79(1), 55-74.
- Prettnner, K., & Strulik, H. (2017b). It's a sin—contraceptive use, religious beliefs, and long-run economic development. *Review of Development Economics*, 21(3), 543-566.
- Prettnner, K. & Strulik, H. (2017). The lost race against the machine: Automation, education, and inequality in an R&D-based growth model.

Hohenheim Discussion Papers in Business, Economics, and Social Sciences 08-2017.

- Prettnner, K., & Trimborn, T. (2017). Demographic change and R&D-based economic growth. *Economica*, 84(336), 677-701.
- Prettnner, K., & Strulik, H. (2018). Trade and productivity: The family connection redux. *Journal of Macroeconomics*, 66(June 2018), 276-291.
- Prettnner, K., Geiger, N., & Schwarzer, J. (2018). Die wirtschaftlichen Folgen der Automatisierung. In C. Spiel, & R. Neck (Eds.), *Automatisierung: Wechselwirkung mit Kunst, Wissenschaft und Gesellschaft*. Vienna, Austria. Verlag: Böhlau.
- Prettnner, K. (2019). A note on the implications of automation for economic growth and the labor share. *Macroeconomic Dynamics*, 19(2), 1294-1301.
- Prettnner, K., & Strulik, H. (2020). Innovation, automation, and inequality: Policy challenges in the race against the machine. *Journal of Monetary Economics*. (forthcoming).
- Prettnner, K. & Schaefer, A. (2020). The U-shape of income inequality over the 21st century: the role of education, *The Scandinavian Journal of Economics* (forthcoming).
- Prodhon, G. (2017). European parliament calls for robot law, rejects robot tax
- Rajan, R. (2010). *Fault lines: How hidden fractures still threaten the world economy*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Ramsey, F. P. (1928). A mathematical theory of saving. *The Economic Journal*, 38(152), 305-329.
- Rasmussen, C., & Nickisch, H. (2010). Gaussian processes for machine learning (GPML) toolbox. *Journal of Machine Learning Research*, 11, 3011-3015.
- Rasmussen, C., & Williams, C. (2006). *Gaussian processes for machine learning*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Rebelo, S. (1991). Long-run policy analysis and long-run growth. *Journal of Political Economy*, 99(3), 500-521.
- Reher, D. S. (2004). The demographic transition revisited as a global process. *Population, Space and Place*, 10(1), 19-41.
- Ricardo, D. (1821). *On the principles of political economy and taxation* (7rd ed.). London: John Murray.
- Rodriguez-Clare, A. (2010). Offshoring in a Ricardian world. *American Economic Journal: Macroeconomics*, 2(2), 227-258
- Romer, P. (1986). Increasing returns and long-run growth. *Journal of Political Economy*, 94(5), 1002-1037.
- Romer, P. (1990). Endogenous technological change. *Journal of Political Economy*, 98(5), 701-723.
- Romer, D. (2011). *Advanced macroeconomics*. New York: McGraw-Hill.

- Rosen, S. (1981). The economics of superstars. *American Economic Review*, 71(5), 845-857.
- Roser, M. (2018). Our world in data. Available from <https://ourworldindata.org/>. Accessed 12,12,19.
- Ross, A. J. (2016). *The industries of the future*. New York: Simon Schuster.
- Samuelson, P. (1988). Mathematical vindication of Ricardo on machinery. *The Journal of Political Economy*, 96(2), 274-282.
- Sala-i-Martin, X. (1997). I just ran two million regressions. *American Economic Review*, 87(2), 178-183.
- Sala-i-Martin, X. (2006). The world distribution of income: Falling poverty and... convergence, period. *The Quarterly Journal of Economics*, 121(2), 351-397.
- Sala-i-Martin, X., Doppelhofer, G., & Miller, R. (2004). Determinants of long-term growth: A Bayesian averaging of classical estimates (BACE) approach. *American Economic Review*, 94(4), 813-835.
- San Francisco Chronicle. (2018). Proposition 13 is no longer off-limits in California. Retrieved from <https://www.sfchronicle.com/politics/article/Proposition-13-is-no-longer-off-limits-in-13492400.php>. Accessed 25,11,2019.
- Sachs, J. D., Benzell, S. G., & LaGarda, G. (2015). Robots: Curse or blessing? A basic framework. Cambridge, MA: National Bureau of Economic Research, NBER Working Paper 21091.
- Sachs, J. D., & Kotlikoff, L. J. (2012). Smart machines and long-term misery. Cambridge, MA: National Bureau of Economic Research, NBER Working Paper 18629.
- Sale, A., Berardi, N., & Maffei, L. (2014). Environment and brain plasticity: Towards an endogenous pharmacotherapy. *Physiological Reviews*, 94(1), 189-234.
- Samuelson, P. A. (1958). An exact consumption-loan model of interest with or without the social contrivance of money. *Journal of Political Economy*, 66(2), 467-482.
- Sawhney, M. (2018). As robots threaten more jobs, human skills will save us.
- Scheidl, W. (2017). *The great leveler: Violence and the history of inequality from the stone age to the twenty-first century*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Schich, S. (2008). Revisiting the asset-meltdown hypothesis. *OECD Journal: Financial Market Trends*, 2008(2), 29-222.
- Schwarzer, J. (2014). Growth as an objective of economic policy in the early 1960s: The role of aggregate demand. *Cahiers d'Economie Politique/Papers in Political Economy*, 97(2), 155-206.
- Scott, A. J., & Gratton, L. (2020). *The new long life*. London: Bloomsbury Publishing.

- Scitovsky, T. (1941). A note on welfare propositions in economics. *Review of Economic Studies*, 9(1), 77-88.
- Segerström, P. S. (1998). Endogenous growth without scale effects. *American Economic Review*, 88(5), 1290-1310.
- Shapiro, C., & Stiglitz, J. (1984). Equilibrium unemployment as a worker discipline device. *American Economic Review*, 74(3), 433-444.
- Sharkey, N., van Wynsberghe, A., Robbins, S., & Hancock, E. (2017). Our sexual future with robots: A foundation for responsible robotics consultation report.
- Shastri, G. K., & Weil, D. N. (2003). How much of cross-country income variation is explained by health? *Journal of the European Economic Association*, 1(2/3), 387-396.
- Skirbekk, V. (2008). Age and productivity capacity: Descriptions, causes and policy. *Ageing Horizons*, 8, 412.
- Smeeding, T. (2005). Public policy, economic inequality, and poverty: The United States in comparative perspective. *Social Science Quarterly*, 86(5), 955-983.
- Smith, A. (1776). An inquiry into the nature and causes of the wealth of nations. Cadell: London: W. Strahan and T.
- Solow, R. M. (1956). A contribution to the theory of economic growth. *The Quarterly Journal of Economics*, 70(1), 65-94.
- Sorger, G. (2015). Dynamic economic analysis. Deterministic models in discrete time.. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Sparrow, R. (2017). Robots, rape, and representation. *International Journal of Social Robotics*, 9(4), 464-477.
- Spitz-Oener, A. (2006). Technical change, job tasks, and rising educational demands: Looking outside the wage structure. *Journal of Labor Economics*, 24(2), 235-270. U.S. Bureau of Labor Statistics. (2018). Occupational employment and wages
- Steigum, E. (2011). Robotics and growth. In H. Beladi, & E. K. Choi (Eds.), *Frontiers of economics and globalization: Economic growth and development* (pp. 43-65). Bingley, UK: Emerald Group, Chapter 21.
- Stevenson, B. & Wolfers, J. (2008, Spring). Economic growth and subjective well-being: Reassessing the Easterlin paradox. *Brookings Papers on Economic Activity*, 1102.
- Stiglitz, J., Sen, A., & Fitoussi, J. P. (2008). Report by the Commission on the Measurement of Economic Performance and Social Progress.
- Stokey, N., Lucas, R., & Prescott, E. (1989). Recursive methods in economic dynamics. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Strulik, H. (2005). The role of human capital and population growth in R&D-based models of economic growth. *Review of International Economics*, 13(1), 129-145.

- Strulik, H., & Weisdorf, J. (2008). Population, food, and knowledge: A simple unified growth theory. *Journal of Economic Growth*, 13(3), 195-216. doi:10.1007/s10552-008-9111-1.
- Strulik, H., Prettnner, K., & Prskawetz, A. (2013). The past and future of knowledge-based growth. *Journal of Economic Growth*, 18(4), 411-437.
- Strulik, H., & Werner, K. (2016). 50 is the new 30—Long-run trends of schooling and retirement explained by human aging. *Journal of Economic Growth*, 21(2), 165-187.
- Suhrcke, M., & Urban, D. (2010). Are cardiovascular diseases bad for economic growth? *Health Economics*, 19(12), 1478-1496.
- Sudharsanan, N., & Bloom, D. E. (2018). The demography of aging in low- and middle-income countries: Chronological versus functional perspectives. In M. K. Majumdar, & M. D. Hayward (Eds.), *Future directions for the demography of aging. Proceedings of a workshop*. Washington, DC: National Academies Press.
- Summers, L. (2014). US economic prospects: Secular stagnation, hysteresis, and the zero lower bound. *Business Economics*, 49(2), 65-73.
- Sundaram, R. (1996). *A first course in optimization theory*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Sydsaeter, K., Hammond, P., Seierstad, A., & Strom, A. (2008). *Further mathematics for economic analysis* (2nd ed.). Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Sydsaeter, K., Hammond, P., & Strom, A. (2012). *Essential mathematics for economic analysis* (4th ed.). Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Taleb, N. N. (2007). *The black swan: The impact of the highly improbable*. New York: Random House Books.
- Tamura, R. (2002). Human capital and the switch from agriculture to industry. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 26(2), 207-242.
- Tate, W. (2014). Offshoring and reshoring: U.S. insights and research challenges. *Journal of Purchasing & Supply Management*, 20(1), 66-81.
- The Economist. (2009, June 27). A special report on ageing populations.
- The Economist. (2013). Reshoring manufacturing: Coming home. January 19, 2013.
- The Economist. (2013). Fuel subsidies in Indonesia: unpriming the pump. June 22, 2013.
- The Economist. (2014). Immigrants from the future. A special report on robots. March 22, 2014.
- The Economist. (2015). The Economist explains: The global addiction to energy subsidies. July 27, 2015.
- The Economist. (2016, April 30). 3D printing is coming of age as a manufacturing technique. A Printed Smile.
- The Economist. (2017). Fees high, foes fume: Two decades since their debut, tuition fees still spark arguments. July 8, 2017.

- The Economist (2017). Machine caring: Japan is embracing nursing-care robots. November 23.
- The Economist. (2018). On firmer ground: The time may be right for land-value taxes. August⁹,
- The Economist. (2018). Reinventing wheels. Special report on autonomous driving. March 1,
- The Economist. (2018). Selling rides, not cars. Self-driving cars will require new business models. March 2018.
- The Economist. (2019, February 14). An ageing world needs more resourceful robots.
- The Economist (2019). Brain-machine interfaces. Elon Musk wants to link brains directly to machines. July 18, 2019.
- The Economist (2019). Keeping tabs. China's "social credit" scheme involves cajolery and sanctions. March 28, 2019.
- The Economist (2019). The economics of death. Deaths of despair, once an American phenomenon, now haunt Britain. May 16, 2019.
- The Economist. (2019). Battle algorithm. Artificial intelligence is changing every aspect of war. September 9, 2019.
- The Economist. (2019). Urban aviation. Flying taxis are taking off to whisk people around cities. September 12, 2019.
- The Guardian. (2015). Musk, Wozniak and Hawking urge ban on warfare AI and autonomous weapons. July 27, 2015.
- Trimborn, T. (2013). Solution of continuous-time dynamic models with inequality constraints. *Economics Letters*, 119(3), 299-301.
- Trimborn, T., Koch, K.-J., & Steger, T. M. (2008). Multidimensional transitional dynamics: A simple numerical procedure. *Macroeconomic Dynamics*, 12(3), 303-319.
- Tullock, G. (1977). Excess benefit. *Water Resources Research*, 13(2), 643-644.
- The Commonwealth Fund (2019). 2019 Scorecard on state health system performance.
- United States Census Bureau. (2017). Historical income tables
- Uzawa, H. (1961). Neutral inventions and the stability of growth equilibrium. *Review of Economic Studies*, 28(2), 117-124.
- Velleste, M., Perel, S., Spalding, M., Whitford, A., & Schwartz, A. (2008). Cortical control of a prosthetic arm for self-feeding. *Nature*, 455, 106-110. (June 2008).
- Venturini, F. (2019). Intelligent technologies and productivity spillovers: Evidence from the Fourth Industrial Revolution. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/324819823_Intelligent_technologies_and_productivity_spillovers_Evidence_from_the_Fourth_Industrial_Revolution. Accessed 18,12,19.

- Vermeulen, B., Kesselhut, J., Pyka, A., & Saviotti, P. P. (2018). The impact of automation on employment: Just the usual structural change? *Sustainability*, 10(5), 122.
- Vermeulen, B., Pyka, A., & Saviotti, P. P. (2020). Structural change perspective on the labour economic impact of robotics: Future scenarios. In K. F. Zimmermann (Ed.), *Handbook of labor, human resources and population economics*. Berlin/Heidelberg, Germany: Springer. (forthcoming).
- Vitelli, R. (2014). The rise of the robot therapist. *Psychology Today*, November 19, 2014.
- Weil, D. N. (2007). Accounting for the effect of health on economic growth. *The Quarterly Journal of Economics*, 122(3), 1265-1306.
- Weil, D. N. (2012). *Economic growth* (3rd ed.). London: Taylor & Francis.
- Weil, D. N. (2014). Health and economic growth. In P. Aghion, & S. Durlauf (Eds.), *Handbook of economic growth* (Vol. 2B, pp. 623-682). Amsterdam: Elsevier, chapter 3.
- Wicksell, K. (1907). *Lectures on political economy*. London: Routledge & Kegan Paul.
- Willis, R. J. (1980). The old-age security hypothesis of population growth. In T. K. Burch (Ed.), *Demographic behaviour. Interdisciplinary perspectives on decision making*. Boulder, CO: Westview Press.
- Wootton, D. (2015). *The invention of science: A new history of the scientific revolution*. New York: Harper.
- Willis, R. J. (1980). The old-age security hypothesis of population growth. In T. K. Burch (Ed.), *Demographic behaviour. Interdisciplinary perspectives on decision making*. Boulder, CO: Westview Press.
- Woessmann, L. (2012). Do better schools lead to more growth? Cognitive skills, economic outcomes, and causation. *Journal of Economic Growth*, 17(4), 267-321.
- World Bank. (2019). *World development indicators* 1990-2019. Washington, DC: World Bank
- Wright, G. (2014). Revisiting the employment impact of offshoring. *European Economic Review*, 77(February 2014), 63-83.
- Yang, D. T., Zhang, J., & Zhou, S. (2011). *Why are saving rates so high in China?* Cambridge, MA: National Bureau of Economic Research, NBER Working Paper No. 16771.
- Young, A. (1998). Growth without scale effects. *Journal of Political Economy*, 106(5), 4163.
- Young, L. (2017). A spectrum of human augmentation. *Strategic Business Insights*, April 2017
- Zhou, Y., Bloom, D. E., & Tyers, R. (2019). Implications of automation for global migration. In Paper presented at the 11th International

Symposium on Human Capital and Labor Markets in Beijing, December
۱۳۱۴, ۲۰۱۹.