Archive of SID

نشریه علمی
مدیریت نوآوری
سال هشتم، شماره ۱، بهار ۱۳۹۸
صفحه ۱۵۶-۱۳۳

مدیریت نوآوری

پیش‌بینی ضریب نفوذ نسل پنجم شبکه ارتباطی در ایران

زهرا کوشکی[۱]، رقیه جدا*[۲]، محمد دین‌دوست[۳]، غزاله محسنی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۹/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۲/۱۴

چکیده

هدف از این مقاله بررسی روش‌های متنوع تحلیلی ضریب نفوذ فناوری نسل پنجم شبکه ارتباطی و درنهایت محاسبه ضریب نفوذ نسل پنجم شبکه ارتباطی در ایران در سال اول راه‌اندازی بر اساس روش پرتو و در سال‌های بعد از راه‌اندازی با استفاده از روش گومپرتز است. میزان ضریب نفوذ فناوری نسل پنجم شبکه ارتباطی برای پیش‌بینی زمان و نحوه گذر به شبکه نسل پنجم شبکه ارتباطی مهم است. در این مقاله فرض بر آن است که راه‌اندازی نسل پنجم شبکه ارتباطی در سال ۲۰۲۰ اتفاق خواهد افتاد و نفوذ اولیه نسل پنجم شبکه ارتباطی به میزان نفوذ موج قبلی فناوری بیسیم تلفن همراه که «نسل چهارم شبکه ارتباطی» نامیده می‌شود، بستگی دارد. مشترکان تنها از نسل قبلی خود به یک نسل بعد مهاجرت خواهند کرد. محاسبه میزان ضریب نفوذ فناوری نسل پنجم شبکه ارتباطی در سال اول راه‌اندازی بر اساس روش پرتو به میزان ضریب نفوذ نسل چهارم شبکه ارتباطی در همان سال بستگی دارد. ضریب نفوذ فناوری نسل پنجم شبکه ارتباطی در ایران در اولین سال راه‌اندازی بر اساس روش پرتو حدود ۰/۹۵ درصد پیش‌بینی‌شده است. پیش‌بینی تعداد مشترکان منحصربه‌فرد نسل پنجم شبکه ارتباطی در سال‌های بعد از راه‌اندازی نیز با پیش‌بینی تعداد مشترکان منحصربه‌فرد فناوری نسل چهارم شبکه ارتباطی با استفاده از روش گومپرتز صورت گرفته است. با فرض راه‌اندازی نسل پنجم شبکه ارتباطی در سال ۲۰۲۰ در ایران، بهترین زمان جهت سرمایه‌گذاری گسترده اپراتور در حوزه نسل پنجم شبکه ارتباطی سال ۲۰۲۵ و بهترین زمان برای جایگزینی فناوری نسل پنجم شبکه ارتباطی بجای فناوری نسل چهارم شبکه ارتباطی در اپراتورهای ارتباطی و عدم سرمایه‌گذاری در حوزه نسل چهارم شبکه ارتباطی نیز سال ۲۰۲۹ پیش‌بینی‌شده است.

واژگان کلیدی: نسل پنجم شبکه ارتباطی، ضریب نفوذ، روش پرتو، روش گومپرتز.

۱- پژوهشگر، پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات، تهران، ایران.
۲*- عضو هیئت‌علمی پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات، تهران، ایران./ **نویسنده مسئول مکاتبات** **r.joda@itrc.ac.ir**
۳- پژوهشگر، پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات، تهران، ایران.
۴- کارشناس، سازمان تنظیم مقررات و ارتباطات رادیویی، تهران، ایران.

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

نسل اول فناوری تلفن همراه در اواخر دهه ۱۹۷۰ به عموم معرفی شد و در دهه‌های ۱۹۸۰ به‌شدت پیشرفت کرد. نسل دوم فناوری تلفن همراه ابتدا در اوایل دهه ۱۹۹۰ به کار گرفته شد. ویژگی اصلی سامانه‌های نسل دوم شبکه ارتباطی دیجیتالی کردن سیگنال صوتی بود. درنتیجه کیفیت تماس بهبود یافت، دستگاه‌های تلفن همراه قابل‌حمل‌تر شد و هزینه ارتباطات همراه به میزان قابل‌توجهی کاهش یافت. پس از توسعه فناوری نسل دوم شبکه ارتباطی، نسل سوم فناوری تلفن همراه برای اولین بار در سال ۲۰۰۱ در ژاپن مستقر شد و سپس در بسیاری از کشورهای توسعه‌یافته دیگر به کار گرفته شد. فناوری نسل سوم شبکه ارتباطی اجازه می‌دهد سرعت انتقال داده به ۲۱,۶ مگابایت بر ثانیه برسد که باعث می‌شود پهنای باند تلفن همراه و برنامه‌های کاربردی موبایل فراگیر شود (Charu & Gupta, 2015).

صنعت مخابرات در حال آماده‌سازی خود جهت گذار به نسل پنجم فناوری تلفن همراه نسل پنجم شبکه ارتباطی است. نسل پنجم فناوری ارتباطی شبکه‌های موبایل، انقلابی در صنعت فناوری اطلاعات و ارتباطات ایجاد خواهد نمود. پیش‌بینی می‌گردد در سال ۲۰۲۲، ۱۵ درصد جمعیت جهان تحت پوشش شبکه ارتباطی نسل پنجم قرار گیرند. به نظر می‌رسد تا سال ۲۰۲۲، تنها دو درصد از مشترکان خاورمیانه از خدمات نسل پنجم شبکه ارتباطی استقبال نمایند (The Mobile Economy: Middle East and North Africa, 2017).

هر بار که فناوری‌های تلفن همراه تکامل می‌یابند، آخرین نسل فناوری تا چند سال حضور نسل قبلی را به دلیل هزینه سنگین ارتقاء شبکه تحمل می‌نماید؛ اما هنگامی‌که فناوری جدید استقرار یافت، جایگزینی فناوری جدید به‌جای فناوری نسل قبل غیرقابل‌اجتناب خواهد بود، زیرا فناوری جدید نه‌تنها در ظرفیت شبکه، بلکه در امکانات قابل‌ارائه، از نسل قدیمی‌تر برتر است؛ بنابراین نیاز است که اپراتورهای ارتباطی شبکه تلفن همراه و رگولاتور زمان ورود فناوری جدید تلفن همراه به بازار و چگونگی توسعه آن را پیش‌بینی نمایند. همچنین لازم است که اپراتورهای ارتباطی شبکه تلفن همراه از درآمد حاصل از فناوری جدید و هزینه‌های استقرار آن به‌منظور اطمینان از سودآوری تخمین مناسبی داشته باشند. رگولاتور نیز لازم است که منابع صحیح طیف فرکانسی را در زمان مناسب در اختیار قرار دهد تا اطمینان حاصل شود که فناوری جدید مخابرات تلفن همراه برای اکثر شهروندان باقیمت‌های مناسب در دسترس است. مطالعات گذشته نشان می‌دهد که ارتباطات مخابراتی تلفن همراه تأثیر مثبت و قابل‌توجهی بر رشد اقتصادی دارد (Waverman, et al., 2005; Sridhar & Sridhar, 2007). اهمیت پیش‌بینی ضریب نفوذ نسل پنجم شبکه ارتباطی در سال‌های آتی برای اپراتورهای ارتباطی ضرورت دوچندان پیدا می‌کند تا با

www.SID.ir

Archive of SID

برنامه‌ریزی مناسب از فرصت‌های لازم جهت رشد این فناوری استفاده نمایند. با توجه به این ضرورت، در این مقاله سعی شده تا با بررسی روش‌های مختلف تحلیلی ضریب نفوذ فناوری نسل پنجم شبکه ارتباطی، وضعیت نفوذ نسل پنجم شبکه ارتباطی در ایران نیز پیش‌بینی گردد. باید خاطرنشان کرد که سرمایه‌گذاری در بخش فناوری اطلاعات و ارتباطات به این دلیل ضروری است که وجود این فناوری، عملکرد بازارها را بهبود می‌بخشد، زیرا این فناوری به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم همه مقولات بازار ازجمله تعیین نوع تولید، چگونگی تولید، میزان و محل فروش کالاها و خدمات را تحت تأثیر قرار می‌دهد. این‌ها مواردی است که فناوری اطلاعات و ارتباطات می‌تواند مستقیماً رشد اقتصادی کشورها را متأثر سازد. از طرفی اقتصاددانان توسعه بر این باورند که پایداری فقر در یک جامعه به خاطر دو شکاف «کالاها و ایده‌ها» است. شکاف کالاها به خاطر فقدان منابع فیزیکی در سطح جامعه ایجاد می‌شود؛ بنابراین زمانی که انباشت سرمایه در جامعه کم باشد یا زمینه‌های کافی در اختیار جامعه نباشد، شکاف کالا ایجاد می‌شود. شکاف ایده‌ها عموماً به خاطر فقدان دانش در جامعه به وجود می‌آید و فناوری اطلاعات و ارتباطات یک امیدواری قابل‌اطمینان را برای کاهش این شکاف نوید می‌دهد (Impacts of 5G on productivity and economic growth, 2018).

تاکنون درزمینه ضریب نفوذ فناوری نسل پنجم شبکه ارتباطی در ایران، پژوهشی صورت نگرفته است. با توجه به اهمیت این موضوع، در این مطالعه به بررسی ضریب نفوذ این فناوری در کشور پرداخته‌شده است. نوآوری این پژوهش در استفاده از روش گومپرتز برای پیش‌بینی ضریب نفوذ فناوری است که در سال ۲۰۲۰ در ایران راه‌اندازی خواهد شد.

در این مقاله روش‌های پیش‌بینی فناوری شامل کیفی، سری زمانی و علی موردبررسی قرارگرفته است. سپس برای پیش‌بینی ضریب نفوذ فناوری نسل پنجم شبکه ارتباطی در ایران در سال ۲۰۲۰ از روش پرتو که مبتنی بر پیش‌بینی سری زمانی در فناوری‌های ارتباطی است، استفاده‌شده است. علاوه بر این، تعداد مشترکان منحصربه‌فرد نسل پنجم شبکه ارتباطی از سال ۲۰۲۰ به بعد نیز پیش‌بینی‌شده است. برای پیش‌بینی تعداد مشترکان منحصربه‌فرد نسل پنجم شبکه ارتباطی از سال ۲۰۲۰ به بعد ابتدا با استفاده از روش گومپرتز تعداد مشترکان منحصربه‌فرد نسل چهارم شبکه ارتباطی در سال‌های مختلف پیش‌بینی‌شده و سپس بر اساس روش پرتو تعداد مشترکان جدید نسل پنجم شبکه ارتباطی که در آن سال از فناوری نسل چهارم شبکه ارتباطی مهاجرت می‌نمایند، به دست می‌آید. با تحلیل منحنی S شکل گومپرتز نیز بهترین زمان برای مهاجرت از نسل چهارم شبکه ارتباطی به نسل پنجم شبکه ارتباطی یا به عبارتی

www.SID.ir

Archive of SID

بهترین زمان برای جایگزینی فناوری نسل پنجم شبکه ارتباطی به فناوری نسل چهارم شبکه ارتباطی در اپراتورهای ارتباطی و عدم سرمایه‌گذاری در حوزه 4G به دست می‌آید.

۲- مبانی نظری پژوهش

در دو دهه گذشته، مطالعات زیادی بر روی نفوذ فناوری‌های نوین، به لحاظ نظری یا تجربی انجام‌شده است. اغلب نظریه‌های نفوذ نوآوری برای اولین بار توسط راجرز (۱۹۹۵) مطرح‌شده است (Rogers, 1995). راجرز مطالعات قبلی راجع به نفوذ نوآوری در زمینه‌های مختلف را بررسی و ویژگی‌های فناوری‌های نوین، فرآیند تصمیم‌گیری در به‌کارگیری فناوری و الگوی کلی نفوذ سیستماتیک را بیان نمود. پس‌ازآن، مدل‌های متعددی برای تجزیه‌وتحلیل نفوذ فناوری‌های نوین مورداستفاده قرارگرفته‌اند. یک‌راه مفید برای بررسی پیش‌بینی‌های فناوری و طبقه‌بندی ابزارها این است که پنج دیدگاه درباره آینده اعم از تحلیل الگو، هدف‌گذاری، ضد پانچر، اضطراری و بصیرتی دنبال شود (Vanston & Hodges, 2004). با این پنج دیدگاه می‌توان به پیش‌بینی‌ها و تصمیمات خوب دست‌یافت. پیش‌بینی‌های اقتصادی عمدتاً بر اساس سه رویکرد اصلی زیر صورت می‌گیرد:

الف. روش‌های پیش‌بینی کیفی: این روش زمانی استفاده می‌گردد که داده‌های ما بسیار کم و ناچیز باشد. به‌عنوان‌مثال زمانی که یک فناوری برای اولین بار معرفی می‌گردد و هنوز نیازمند نوآوری و تحقیقات گسترده‌ای برای پیاده‌سازی آن است، از این روش استفاده می‌شود. در این روش بر اساس الگوهای ذهنی بشر و تصمیم‌گیری، اطلاعات کیفی به اطلاعاتی کمی تبدیل می‌گردد. ازجمله این روش‌ها می‌توان به روش دلفی، تحقیق بازار، پنل توافقی، چشم‌انداز پیش‌بینی و قیاس تاریخی اشاره نمود.

ب. روش‌های پیش‌بینی سری زمانی: چنانچه وابستگی خاصی بین داده‌ها در طول زمان وجود داشته باشد، می‌توان روند آینده پدیده‌ای را پیش‌بینی نمود. این روش مبتنی بر تکنیک‌های آماری است و زمانی از آن استفاده می‌گردد که داده‌های گذشته مربوط به فناوری و روند و روابط میان آنان به‌وضوح مشخص باشد. این روش کمک می‌نماید تا روند تغییرات و الگوهای تکراری مشخص گردد. ازجمله این روش‌ها می‌توان به میانگین متحرک، نمو هموار، باکس–جنکین، ایکس–۱۱ و روند ترویج اشاره نمود.

روش مطرح مورداستفاده در این مقاله، مبتنی بر پیش‌بینی سری زمانی در فناوری‌های ارتباطی، روش پرتو است که مبتنی بر روش روند نفوذ است.

ج. روش‌های پیش‌بینی علی: زمانی که داده‌های گذشته موجود باشد و تحلیل کافی بر رابطه میان فاکتورهای

www.SID.ir

Archive of SID

موردنظر و سایر فاکتورها وجود داشته باشد از این روش استفاده می‌گردد. پیچیدگی این روش زیاد بوده و بیانگر رابطه علی میان فاکتورهای مختلف با یکدیگر است. ازجمله این روش‌ها می‌توان به مدل رگرسیون، مدل اقتصادی، اقتصادسنجی، مدل ورودی–خروجی و چرخه عمر اشاره نمود.

از سوی دیگر تاکنون الگوهای متفاوتی در زمینه پیش‌بینی نفوذ و شناسایی عوامل مؤثر بر عرضه و تقاضای آن ارائه‌شده است (Vanston & Hodges, 2004):

الف. مدل‌های تجربی

در ابتدا یک مدل مفهومی، تئوری یا تجربی در نظر گرفته می‌شود. سپس مجموعه متغیرهای تأثیرگذار بر متغیر وابسته شناسایی‌شده و پس از انتخاب متغیرهایی تأثیرگذار و معنی‌دار بر اساس فرض‌های آماری و روش رگرسیونی نظیر پرتو، لاجیت، پرابیت، آنالیز فاکتور و همبستگی مورد تحلیل قرار می‌گیرند.

ب. مدل‌های نفوذ

مدل‌های نفوذ که بر پایه منحنی‌های S شکل ارائه‌شده است، در حوزه‌های مختلف مانند بحث‌های جمعیتی و پزشکی مولکولی مورداستفاده قرارگرفته است و همچنین در حوزه نوآوری و فناوری اولین بار توسط راجرز در سال ۱۹۸۱ به کار رفته است. به‌صورت کلی این منحنی‌ها به فرم معادلات دیفرانسیلی زیر نشان داده می‌شود:

$$n_t=f(n_t,B,N)$$

n_t متغیری است که تعداد نسبی جمعیتی را که نوآوری را پذیرفته‌اند در زمان t نشان می‌دهد. B مولفه احتمال پذیرش نوآوری (که اغلب سرعت نفوذ نام دارد) است، N مولفه‌ی است که اندازه جمعیتی را که ممکن است سرانجام نوآوری را بپذیرد، نشان می‌دهد (سقف یا حد نهایی نفوذ) و f تابعی است که شکل منحنی نفوذ را مشخص می‌نماید و معمولاً شامل معادلاتی مانند مدل گومپرتز، مدل لجستیک، مدل لجستیک لگاریتمی، مدل باس و مدل‌های توانی مانند نمایی منفی و ... است.

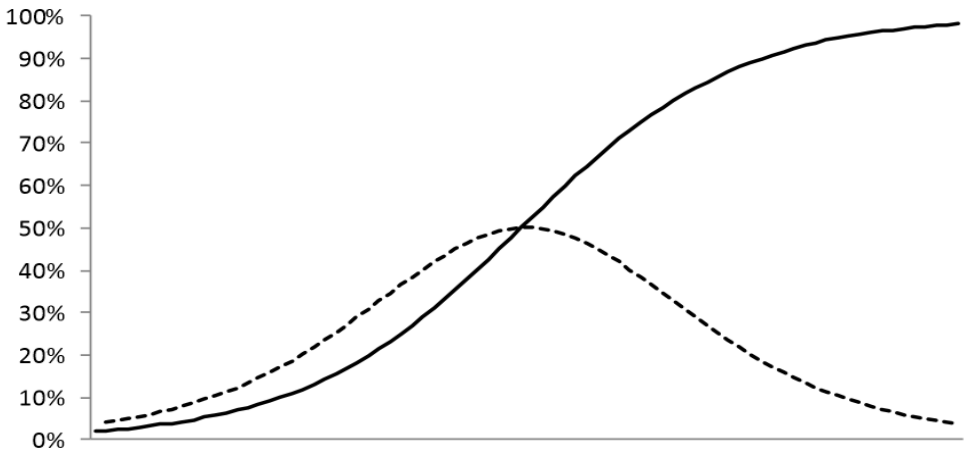
در مقاله میعاد و اسلام (۲۰۰۶) تعداد زیادی از مطالعات تجربی در خصوص نفوذ فناوری‌های نوین از سال ۱۹۷۰ تا ۲۰۰۵ بررسی‌شده است. حداقل هشت مدل مختلف پایه برای پیش‌بینی نفوذ فناوری‌های نوین پیشنهاد شد. مدل‌های ذکرشده شامل مدل باس، مدل لگاریتم نرمال تجمعی، مدل عادی تجمعی، مدل گومپرتز، مدل متقابل ورودی، مدل نمایی اصلاح‌شده، مدل Weibull و گروهی از مدل‌های لجستیک است. این گروه از مدل لجستیک عبارت‌اند از (FLOG) Flexible–Logistic، log–logistic، تبدیل توان معکوس (IPT)، نمایی، Box–Cox (ELOG)، لجستیک پاسخ‌دهنده غیرمستقیم و لجستیک محلی (Meade & Islam, 2006). در اغلب مطالعات نفوذ نسل جدید فناوری ارتباطات تلفن همراه، یک یا چند مدل از این مدل‌ها انتخاب می‌گردند

www.SID.ir

Archive of SID

تا با روند نفوذ واقعی تطبیق داده شوند.

اگر تعداد تجمعی پذیرندگان فناوری نوین بر اساس زمان ترسیم گردد، نتیجه معمولاً منحنی S شکل خواهد بود. منحنی نفوذ S شکل به‌آرامی در مرحله اولیه افزایش می‌یابد، زمانی که تنها نوآوران و پذیرندگان اولیه وجود دارند. هنگامی‌که اکثریت اولیه به روند نفوذ وارد می‌شوند، نرخ پذیرش تا نیمی از پذیرندگان بالقوه در حال افزایش است. پس‌ازآن، تعداد افرادی که به پذیرش نوآوری رسیده‌اند، با نرخی کمتر افزایش می‌یابد تا همه افراد باقیمانده نوآوری را پذیرش نمایند. راجرز، ۲/۵٪ اول پذیرندگان را نوآوران، ۱۳/۵٪ بعدی را پذیرندگان اولیه، ۳۴٪ بعد را اکثریت اولیه معرفی نمود. پس از حداکثر نرخ رشد، ۳۴٪ بعدی را به‌عنوان اکثریت نهایی و ۱۶٪ آخر را به‌عنوان بازماندگان معرفی نمود (Rogers, 1995). با توجه به مطالعات راجرز، منحنی فرکانس نفوذ، منحنی زنگوله مانندی است که به‌طور متقارن در اطراف زمانی که بالاترین میزان نفوذ رخ‌داده است، توزیع‌شده است. منحنی‌های S شکل که ضریب نفوذ را اندازه‌گیری می‌کنند، به‌راحتی برای استخراج توزیع فروش اولیه فناوری جدید استفاده می‌شوند. فروش اولیه به‌عنوان کل فروش در بازه زمانی قبل از جایگزینی در نظر گرفته می‌شود. اوج میزان فروش اولیه در نقطه عطف منحنی ضریب نفوذ است. شکل (۱) منحنی S شکل توصیف‌شده توسط راجرز را نشان می‌دهد. این منحنی S شکل در بسیاری از مطالعات بعدی استفاده‌شده است. بیشتر مطالعات نشان می‌دهد که پذیرش فناوری‌های جدید در طول زمان منحنی S شکل را دنبال می‌کند. محققان پیشین، مدل‌های متعددی برای توصیف منحنی S شکل داده‌اند. به‌طورکلی، این مدل‌ها را می‌توان به دو نوع تقسیم کرد. اولین نوع مدل‌های اپیدمی است. این مدل‌ها بر این فرض استوار هستند که سرعت استفاده از فناوری از کمبود اطلاعات موجود درزمینه فناوری جدید و استفاده و



شکل (۱): منحنی پذیرش و نفوذ فناوری جدید (Rogers, 1995)

www.SID.ir

Archive of SID

عملکرد آن تأثیر می‌پذیرد (Geroski, 2000). به‌عبارت‌دیگر، مدل‌های اپیدمی فرض می‌کنند که فرآیند نفوذ صرفاً درنتیجه گسترش اطلاعات است. ازجمله نکات منفی این روش این است که خصوصیات شخصیتی و ویژگی‌های اقتصادی-اجتماعی افراد بالقوه در این مدل‌ها اندازه‌گیری نمی‌شوند. اغلب مدل‌های استفاده‌شده ازجمله مدل لجستیک، مدل گومپرتز و مدل باس، همه مدل‌های اپیدمی هستند. نوع دوم مدل‌های نفوذ، مدل پروبیت است. مدل پروبیت برای تجزیه‌وتحلیل تصمیم‌گیری‌های پذیرش فردی مورداستفاده قرار می‌گیرد و بر این فرض استوار است که افراد مختلف ممکن است بر اساس نیازها و توانایی‌های فردی خود، یک فناوری جدید را در زمان‌های مختلف اتخاذ کنند. به‌طور خاص، مدل پروبیت بر ویژگی‌های فردی تأکید دارد که بر احتمال پذیرش فناوری جدید تأثیر می‌گذارد. به‌طور خلاصه، مدل اپیدمی بیشتر در مطالعه نفوذ فناوری‌ها در یک نظام اجتماعی کاربرد دارد، درحالی‌که مدل پروبیت در مطالعه تصمیم‌گیری‌های فردی در پذیرش فناوری جدید مناسب‌تر است.

۳- پیشینه پژوهش

در بیست سال گذشته تأثیر و موفقیت پیش‌بینی‌ها در صنعت مخابرات و ارتباطات چشمگیر بوده است و ازجمله آن می‌توان به پیش‌بینی در زمینه سوئیچینگ دیجیتال، انتقال دیجیتال، انتقال فیبر، استفاده از شبکه نوری همزمان/سلسله مراتب دیجیتال همزمان (SDH[1]/SONET[2])، سرعت داده‌های نوری، فناوری تلفن همراه، رقابت سیار/ثابت، تقاضای اینترنت، دسترسی به پهنای باند (به‌عنوان‌مثال DSL[3] (خط مشترکین دیجیتال) و مودم‌های کابلی)، تقاضای پهنای باند، نسل سوم شبکه ارتباطی/نسل چهارم شبکه ارتباطی، VoIP[4] (صوت روی پروتکل اینترنت) اشاره نمود (Vanston & Hodges, 2004).

اولین بار مطالعات در زمینه نفوذ نسل جدید فناوری تلفن همراه در دهه ۱۹۹۰ آغاز شد. بیشتر مطالعات مربوط به نفوذ ارتباطات مخابراتی تلفن همراه در دو حوزه انتخاب یک مدل مناسب برای توصیف و پیش‌بینی نفوذ فناوری ارتباطی تلفن همراه در محدوده جغرافیایی خاص و تعیین عوامل تأثیرگذار در نفوذ، متمرکزشده است. مطالعات گسترده‌ای در زمینه توسعه ارتباطات تلفن همراه وجود دارد. اکثر این مطالعات، دیدگاه رایج نظریه نفوذ را درباره توسعه مخابرات تلفن همراه نیز پذیرفته‌اند (Michalakelis, et al., 2008; Chu, et al., 2009; Gupta & Jain, 2012). در بسیاری از این مطالعات، فرضیه نفوذ درباره ارتباطات تلفن همراه برای انتخاب بهترین مدل مناسب که متناسب بانفوذ واقعی باشد، موردبررسی قرارگرفته است. لجستیک گومپرتز و بس، مدل‌های متداولی است که برای این موضوع استفاده می‌گردد (Waverman, et al., 2005; Rouvinen, 2006)؛

www.SID.ir

Archive of SID

اما در حال حاضر، هیچ استدلال قوی یا معیاری برای انتخاب مناسب‌ترین مدل وجود ندارد؛ بنابراین، لازم است مدلی انتخاب گردد که بهترین مطابقت را با مدل واقعی داشته و متناسب باهدف محاسبه ضریب نفوذ نسل پنجم شبکه ارتباطی باشد.

میچالاکلیس و همکاران (۲۰۰۸)، ۸ مدل نفوذ فناوری با را استفاده از داده‌های مشترکان موبایل در یونان ارزیابی کرده‌اند. بهترین مدل منطبق در هر مرحله از نفوذ متفاوت بود. خانواده لجستیک، از جمله لجستیک خطی، باگس کگس، فلاگ و تونیک، توانایی بهترین انطباق را در کل دوره نمونه نشان دادند که با میانگین خطای درصد مطلق[۵] (MAPE) اندازه‌گیری شده است. مدل گومپرتز در مرحله اولیه دارای تطبیق مناسب نبود، اما بهترین تطبیق در مرحله صعود را دارد (Michalakelis, et al., 2008). چو و همکاران (۲۰۰۹) نشان دادند که مدل لجستیک مدل مناسبی برای مشترکان فناوری تلفن همراه در تایوان از سال ۱۹۸۹ تا ۲۰۰۷ است (Chu, et al., 2009). در مطالعه وو و چو (۲۰۱۰) انتخاب مدل وابسته به مرحله است. آن‌ها دریافتند که مدل گومپرتز قبل از صعود نفوذ از مدل‌های دیگر پیشی گرفته است و مدل لجستیک پس از خمیدگی بالاتر از کل بازه نفوذ بوده است (Wu & Chu, 2010). در مقاله گوپتا و جین (۲۰۱۲) بر سه مدل پرکاربر نفوذ، اعم از مدل لجستیک، مدل گومپرتز و مدل باس در مطالعات خود تمرکز شده است. توانایی تطبیق هر مدل با خطای متوسط مربع خطی[۶] (RMSE) محاسبه شد. مدل گومپرتز بهترین مشخصه را با داده‌های مشاهده‌شده ضریب نفوذ در هند از سال ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۸ نشان داد. بااین‌حال، میزان اشباع تخمینی تلفن همراه ۳۳۳٪ با مدل گومپرتز بود که نویسنده معتقد بود این میزان در هند غیرواقعی است. هنگامی‌که سطح اشباع در ۱۲۰٪ ثابت شد، مدل گومپرتز هنوز هم پایین‌ترین RMSE را نشان می‌داد که مجدد بیان می‌کرد که مدل گومپرتز بهترین مدل برای نفوذ فناوری تلفن همراه در هند است (Gupta & Jain, 2012). یاماکاوا و همکاران (۲۰۱۳) مدل نفوذ اشتراک‌های تلفن همراه در پرو را بررسی کرده‌اند. در این مقاله دو مدل رشد گومپرتز و لجستیک بررسی شد و به لحاظ تطابق و پیش‌بینی عملکرد با استفاده از روش‌های آماری RMSE، R2 و MAPE مقایسه شدند. نتایج تجربی نشان داد که مدل گومپرتز مناسب‌ترین مدل است (Yamakawa, et al., 2013).

کوواکس و همکاران (۲۰۱۱) یک چارچوب مدل‌سازی ریاضی برای رشد ترافیک پهنای باند موبایل پیشنهاد داده‌اند که در مطالعات تکمیلی شبکه تلفن همراه مورد استفاده قرار می‌گیرد. آن‌ها در این مقاله نشان دادند که یک مدل S–شکل بر پایه تابع گومپرتز می‌تواند به‌درستی پارامتر شده و انعطاف‌پذیری کافی برای پیش‌بینی سناریوهای مختلف رشد ترافیک فراهم آورد. آن‌ها استفاده از رویکرد مدل‌سازی

www.SID.ir

Archive of SID

ترافیک پیشنهادی را با موردمطالعه تکامل شبکه در تنظیمات عمومی سناریو گسترش شبکه شهری متراکم اروپا نشان داده‌اند. ازنظر ریاضی مدل پیش‌بینی پیشنهادی بر اساس دو عامل اصلی زیر است (Kovács, et al., 2011):

۱- رشد نفوذ فناوری (یا استفاده از آن) با تابع S-شکل گومپرتز مدل شده است.

۲- رشد ترافیک مشترک با تابع‌نمایی یا خطی مدل شده است.

خلاصه بررسی‌ها و مرور مطالعات انجام‌شده در جدول (۱) درج شده است. به‌این‌ترتیب در خصوص حوزه ارتباطات و تلفن همراه، مدل گومپرتز مناسب‌ترین مدل است.

در این پژوهش، هدف پیش‌بینی زمان مناسب جهت سرمایه‌گذاری گسترده اپراتورها در حوزه نسل پنجم شبکه ارتباطی و بهترین زمان جایگزینی فناوری نسل پنجم به‌جای نسل چهارم است. سپس به این سؤال پاسخ داده خواهد شد که آیا نسل پنجم شبکه ارتباطی تا سال ۲۰۳۰ در ایران تجاری‌سازی خواهد شد.

۴- الگوی مفهومی پژوهش

فناوری نسل پنجم شبکه ارتباطی موردبررسی، اشاره به سامانه‌های موردنیاز IMT-2020، بر اساس برنامه‌ریزی انجام‌شده توسط 3GPP Rel-15 در سال ۲۰۱۸ و عرضه تجاری آن در سال ۲۰۲۰ است. متدلوژی موردبررسی برای به دست آوردن ضریب نفوذ نسل پنجم شبکه ارتباطی در ایران بر اساس میزان تأثیرگذاری و تحولات صورت گرفته در نسل‌های قبلی و نسل جدید خواهد بود که مبتنی بر مولفه‌های زیر است (Bao, et al., 2017):

الف. زمان ورود فناوری نسل چهارم به کشور

ب. ضریب نفوذ نسل چهارم در کشور در مقایسه با منطقه و جهان

ج. تغییرات جمعیتی در جهان بر اساس آمار جهانی

د. ضریب نفوذ نسل‌های قبل بر اساس گزارش‌های سال‌های گذشته و پیش‌بینی آینده از ۲۰۲۰ تا ۲۰۴۰

ه. تاریخ احتمالی راه‌اندازی تجاری نسل پنجم شبکه ارتباطی در کشورهای جهان

فرضیات مطرح‌شده در محاسبه ضریب نفوذ فناوری نسل پنجم شبکه ارتباطی در ایران به شرح ذیل است که منطبق با فرض‌های مقاله کرندزل و گینزبورگ (۲۰۱۴) است (Krendzel & Ginzboorg, 2014).

فرض اول: زمان دقیق راه‌اندازی فناوری نسل پنجم شبکه ارتباطی قطعی نیست ولی در این مقاله فرض شده است که راه‌اندازی نسل پنجم شبکه ارتباطی در سال ۲۰۲۰ اتفاق خواهد افتاد.

www.SID.ir

www.SID.ir

جدول (۱): مطالعات انجام‌شده مرتبط با مدل نفوذ فناوری در حوزه تلفن همراه

مقاله بررسی‌شده	منابع داده‌ای	هدف	مهم‌ترین یافته‌ها	مدل‌های بررسی‌شده	مدل انتخاب‌شده
میچالاکلیس، واروتاس و اسفیکپولوس (۲۰۰۸)	برای ارزیابی فرایند نفوذ و توانایی مدل‌ها، داده‌های واقعی نفوذ تلفن همراه در یونان مورداستفاده قرارگرفته است.	بررسی نرخ نفوذ مشترکین تلفن همراه در یونان	مدل‌های S-شکل برای پیش‌بینی نفوذ تلفن همراه به‌اندازه کافی مناسب است.	هشت مدل باس، گومپرتز، فیشر-پرای و تعدادی از مدل‌های لجستیک	مدل گومپرتز در مرحله صعود بهترین تطبیق را دارد.
وو و چو (۲۰۱۰)	اکثر داده‌های این مقاله از پایگاه داده شاخص ICT/مخابرات جهانی ۲۰۰۷ که توسط اتحادیه بین‌المللی ارتباطات (ITU) منتشرشده، به‌دست‌آمده است. دیگر اطلاعات از کمیسیون ارتباطات ملی تایوان جمع‌آوری‌شده است.	تعیین این‌که آیا بهترین مدل برای طول عمر انتشار کامل استفاده می‌شود؟	مدل نفوذ مناسب برای تلفن همراه وابسته به مرحله است. تکمیل وابستگی مدل نفوذ مناسب با مطالعات مقطعی مشخص می‌شود.	گومپرتز، لجستیک، باس	مدل گومپرتز قبل از صعود نفوذ از مدل‌های دیگر پیشی گرفته است و مدل لجستیک پس از خمیدگی بالاتر از کل بازه نفوذ بوده است.
گوپتا و جین (۲۰۱۲)	داده‌ها از پایگاه داده ITU، گزارش‌های شاخص عملکرد TRAI و گزارش‌های سالانه جمع‌آوری شده‌اند.	بررسی نفوذ تلفن همراه در هند	رقابت و مداخله دولت، با مقرون‌به‌صرفه کردن فنّاوری، نقش مهمی در تسریع نرخ نفوذ تلفن همراه ایفا می‌کند	گومپرتز، لجستیک، باس	گومپرتز
یاماکاوا و همکاران (۲۰۱۳)	داده‌های موردنیاز متغیرها از منابع عمومی ازجمله وب‌سایت OSIP-TEL، INEI (اداره آمار ملی پرو)، آژانس‌های بین‌المللی و بانک جهانی جمع‌آوری‌شده‌اند.	بررسی نفوذ مشترکین تلفن همراه در پرو	تجزیه‌وتحلیل مؤلفه اصلی، عوامل تعیین‌کننده انتشار را تمرکز بازار، جمعیت، تعرفه‌های ارتباطی تنظیم‌شده و سرانه تولید ناخالص داخلی عنوان کردند.	گومپرتز، لجستیک	گومپرتز
کوواکس و همکاران (۲۰۱۱)	یک اپراتور شبکه تلفن همراه اروپایی	ارزیابی یک مدل کمی برای پیش‌بینی ترافیک پهنای باند تلفن همراه	ازنظر ریاضی مدل پیش‌بینی پیشنهادی بر اساس دو عامل اصلی است: رشد نفوذ فناوری (یا استفاده از آن) با تابع S-شکل گومپرتز مدل شده است. رشد ترافیک مشترک با تابع‌نمایی یا خطی مدل شده است.	توابع S-شکل	گومپرتز

Archive of SID

Archive of SID

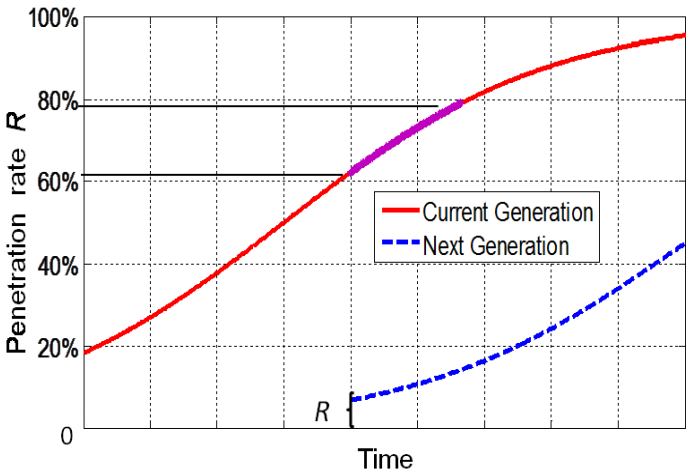
فرض دوم: در ابتدای پیاده‌سازی نسل پنجم شبکه ارتباطی مشترکان بالقوه، قشر مرفهی هستند که در حال استفاده از نسل چهارم شبکه ارتباطی هستند. همچنین زمانی که فناوری قبلی به شصت درصد تا هشتاد درصد حد نهایی کاربران خود می‌رسد، این زمان مناسب برای ورود فناوری نوین است. بازه بین شصت تا هشتاد درصد کاربران فناوری قدیم به‌عنوان قشر مرفه شناخته‌شده و مشتریان بالقوه فناوری جدید خواهند بود (شکل (۲)).

فرض سوم: مشترکان تنها از نسل قبلی خود به یک نسل بعد مهاجرت خواهند کرد.

به نظر می‌رسد کشورهای نظیر آمریکا، چین، ژاپن و کره‌جنوبی پیشتاز در راه‌اندازی نسل پنجم شبکه ارتباطی در آینده‌ای نزدیک خواهند بود. کشورهای دیگر نظیر انگلیس، فنلاند، فرانسه، آلمان، ایتالیا و سوئد برنامه راه‌اندازی تجاری نسل پنجم شبکه ارتباطی را در سال ۲۰۲۰ دارند و کشورهایی همچون هلند، لهستان و اسپانیا برنامه مشابهی جهت راه‌اندازی نسل پنجم شبکه ارتباطی در سال ۲۰۲۱ دارند. در سایر کشورهای دیگر راه‌اندازی شبکه نسل پنجم شبکه ارتباطی تا سال ۲۰۲۵ انجام خواهد شد (Bao, et al., 2017).

به‌احتمال‌زیاد بازار نسل پنجم شبکه ارتباطی خدمات پهن باند شدید موبایل (xMBB[۷]) را ارائه خواهد داد که از الگوی تکاملی مشابه در نسل چهارم شبکه ارتباطی و تحولات آن پیروی خواهد کرد. بقیه بازار نسل پنجم شبکه ارتباطی از اتصالات IoT تشکیل‌شده است. فرض بر سهم دستگاه‌های متصل با استفاده از شبکه‌های نسل پنجم شبکه ارتباطی است.

همان‌طور که جدول (۲) نشان داده‌شده است پیش‌بینی می‌گردد در سال ۲۰۲۵، ۱۳ درصد از گوشی‌های



شکل (۲): زمان مناسب برای جایگزینی فناوری جدید (Krendzel & Ginzboorg, 2014)

www.SID.ir

Archive of SID

جدول (۲): دستگاه‌های مختلف ارتباطی در فناوری نسل پنجم شبکه ارتباطی از سال ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۵ (Bao, et al., 2017)

سهم بازار نسل پنجم شبکه ارتباطی	۲۰۲۰	۲۰۲۱	۲۰۲۲	۲۰۲۳	۲۰۲۴	۲۰۲۵
گوشی‌های هوشمند	٪۰	٪۱	٪۳	٪۴	٪۸	٪۱۳
دستگاه‌های متصل	٪۰	٪۱	٪۳	٪۵	٪۱۰	٪۱۵
IoT	٪۰	٪۱	٪۵	٪۱۰	٪۱۵	٪۲۵

هوشمند، ۱۵ درصد از دستگاه‌های متصل و ۲۵ درصد از اینترنت اشیا، مشترک بالقوه شبکه نسل پنجم شبکه ارتباطی باشند (Bao, et al., 2017).

۵- روش پژوهش

این پژوهش بر مبنای هدف، توسعه‌ای- کاربردی است و بر مبنای روش تحقیق به کار گرفته‌شده رویکرد تحلیلی ریاضی دارد. بخشی از تحقیق که به‌رسم نمودار گومپرتز می‌پردازد، از نوع تحلیل رگرسیون و حداقل مربعات غیرخطی است.

ازآنجاکه فناوری نسل پنجم شبکه ارتباطی در سال ۲۰۲۰ در ایران راه‌اندازی خواهد شد، برای پیش‌بینی ضریب نفوذ این فناوری در سال اول راه‌اندازی از توزیع احتمالی پرتو که رابطه بین یک نسل از یک فناوری و نسل بعدی آن فناوری را بیان می‌کند، استفاده خواهد شد. چنانچه وابستگی خاصی بین داده‌ها در طول زمان وجود داشته باشد، می‌توان روند آینده پدیده‌ای را پیش‌بینی نمود. این روش مبتنی بر تکنیک‌های آماری است و زمانی از آن استفاده می‌گردد که داده‌های گذشته مربوط به فناوری و روند و روابط میان آنان به‌وضوح مشخص باشد (Vanston & Hodges, 2004). برای این مهم ابتدا ضریب نفوذ فناوری نسل چهارم شبکه ارتباطی با استفاده از مدل گومپرتز پیش‌بینی می‌شود، سپس با استفاده از توزیع احتمالی پرتو و ضرایب نفوذ فناوری نسل چهارم شبکه ارتباطی، ضرایب نفوذ فناوری نسل پنجم شبکه ارتباطی پیش‌بینی می‌گردد. در این بخش روش محاسبه ضریب نفوذ نسل پنجم شبکه ارتباطی بر اساس روش پرتو و گومپرتز بررسی می‌شوند.

در زیر توزیع احتمالی پرتو معرفی می‌گردد:

$$R(x)=Pr(X>x)= x^{-\alpha} \quad (x\geq 1)$$

R(x) نشان‌دهنده نسبت افرادی است که درآمدی بیشتر از x دارند و α به‌عنوان مولفه پرتو شناخته می‌شود.

www.SID.ir

Archive of SID

همچنین واراکین نشان داده است که نسبت خطی میان تولید ناخالص داخلی (GDP^۸) به ازای هر نفر و میزان اطلاعات تولیدشده توسط هر فرد در جامعه وجود دارد؛ بنابراین اثبات می‌شود که رابطه خطی میان ضریب نفوذ و تولید ناخالص داخلی به ازای هر نفر وجود دارد. نظریات واراکین موردقبول اتحادیه جهانی ارتباطات است. بر این اساس در مقاله کرندزل و گینزبورگ (۲۰۱۴) رابطه پیش‌بینی ضریب نفوذ نسل پنجم شبکه ارتباطی در سال موردنظر به‌صورت زیر نشان داده‌شده است (Krendzel & Ginzboorg, 2014):

$$R(k,\alpha)= (k\alpha/(\alpha-1))^{-\alpha}$$

$$k=T/\mu$$

$$\alpha \approx (0.5(2-\mu))/(1-\mu)$$

در این رابطه μ، ضریب نفوذ کاربران نسل چهارم شبکه ارتباطی در سال موردنظر و T، ضریبی است که معمولاً بین ۰/۶ تا ۰/۸ است. به علت استفاده از مولفه پرتو، محاسبه ضریب نفوذ نسل پنجم شبکه ارتباطی بر اساس این رابطه را روش پرتو می‌نامیم.

همان‌طور که در بخش پیشینه اشاره شد مدل مناسب برای ضریب نفوذ تلفن همراه، مدل گومپرتز است. به همین دلیل برای مدل کردن ضریب نفوذ نسل چهارم شبکه ارتباطی با توجه به داده‌هایی که موجود است از مدل گومپرتز استفاده شده است. مدل گومپرتز برای اولین بار توسط ریاضیدان بریتانیایی بنجامین گومپرتز جهت توصیف قانون مرگ‌ومیر جامعه انسانی (Gompertz, 1825) توسعه یافت. فرم اصلی مدل گومپرتز به‌صورت است. این رابطه نشان می‌دهد که تعداد افرادی که در سن زندگی می‌کنند، تابعی از است، اساس این رابطه بر این فرض برقرار است که قدرت انسان برای اجتناب از مرگ با افزایش سن او کاهش می‌یابد. از آغاز قرن بیستم، مدل گومپرتز به‌عنوان یک منحنی رشد برای پدیده‌های زیست‌شناختی و اقتصادی مورداستفاده قرارگرفته است (Winsor, 1932). برای این منظور، مدل به‌صورت زیر است:

$$N(t) = Ke^{-e^{-r(t-m)}}$$

$N(t)$ نشان‌دهنده تعداد تجمعی مشترکان در زمان است، K سطح اشباع نفوذ است و r و m، ثابت مثبت هستند (Winsor, 1932)؛ بنابراین برای هر مقدار غیرمنفی t، مقدار $N(t)$ همیشه مثبت است.

فرم دیفرانسیل اول معادله عبارت است از:

$$\frac{dN(t)}{dt} = Kre^{-r(t-m)}e^{-e^{-r(t-m)}} = rN(t)e^{-r(t-m)}$$

www.SID.ir

Archive of SID

واضح است که شیب مدل گومپرتز همیشه برای هر $t>0$ مثبت است و هنگامی‌که مقدار t به بی‌نهایت می‌رسد، به صفر می‌رسد. فرم معادله دیفرانسیل دوم به شرح زیر است:

$$\frac{d^2N(t)}{d^2(t)} = r^2N^2(t)e^{-r(t-m)}\left(e^{-r(t-m)}-1\right)$$

زمانی‌که t=m است، معادله دیفرانسیل مرتبه دوم مدل گومپرتز برابر صفر است. به‌عبارت‌دیگر، t=m نقطه عطف تابع مدل گومپرتز است؛ و هنگامی‌که m=t است، $N(t)=\frac{K}{e}=0.3679S$. این نشان می‌دهد که حداکثر سرعت رشد، هنگامی‌که تعداد تجمعی پذیرندگان فناوری جدید حدود ۳۷ درصد از پتانسیل بازار را به دست می‌آورد، برآورده می‌شود. این ویژگی مدل گومپرتز باعث می‌شود مدل مناسبی برای تخمین چرخه رشد باشد که نقطه عطف در مرحله اولیه آن ظاهر می‌شود. به‌منظور مقایسه الگوهای نفوذ، یک مدل تقریبی مدل گومپرتز با همان فرم مدل لجستیک به‌دست‌آمده است:

$$n(t) = ke^{-e^{-r(t-m)}}$$

$n(t)$ ضریب نفوذ نسل چهارم شبکه ارتباطی در زمان است و میزان ضریب نفوذ این فناوری در حد سطح اشباع است. همچنین رابطه گومپرتز به این صورت نیز بیان می‌گردد:

$$n(t) = ae^{-be^{-ct}}$$

۶- تجزیه‌وتحلیل یافته‌ها

برای مدل‌سازی و پیش‌بینی روند نفوذ سرویس‌های مختلف در سطح کشور، لازم بود تا اطلاعات موردنیاز در سطح کشورهای مختلف دنیا جمع‌آوری گردد تا در مدل‌سازی مورداستفاده قرار گیرد. به این منظور، این اطلاعات از بانک‌های اطلاعاتی معتبر و گزارش‌های مختلف مانند WDI، GSMA، TU و بانک اطلاعات سازمان فناوری اطلاعات تهیه و مطالعه گردید که به‌طور مفصل در جدول (۳) آورده شده است. GSMA داده‌های خود را از اپراتورها به تفکیک هر شهر دریافت و جمع‌آوری می‌نماید. ITU نیز اطلاعات خود را از رگولاتوری‌ها دریافت می‌کند.

فناوری نسل چهارم شبکه ارتباطی ایران در سه‌ماهه آخر سال ۱۳۹۳ راه‌اندازی شده است. اطلاعات مربوط به تعداد مشترکان نسل چهارم در سال ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ به شرح جدول (۴) است.

بر اساس گزارش GSMA (The Mobile Economy: Middle East and North Africa, 2016, 2017)، در سال ۲۰۱۵ ضریب نفوذ مشترکان منحصربه‌فرد ۷۷ درصد و ضریب نفوذ کل مشترکان چیزی در

www.SID.ir

Archive of SID

حدود ۱۴۶ درصد و در سال ۲۰۱۶ ضریب نفوذ مشترکان منحصربه‌فرد ۷۸ درصد و ضریب نفوذ کل مشترکان چیزی در حدود ۱۵۴ درصد است. بنابراین تعداد مشترکان منحصربه‌فرد به صورتی که در جدول (۵) نشان داده‌شده است خواهد بود.

تعداد کل مشترکان منحصربه‌فرد نسل چهارم شبکه ارتباطی در ایران در سال ۲۰۱۵ در حدود ۱۰۶۲۹۱ نفر، در سال ۲۰۱۶ در حدود ۹۶۶۸۱۸ نفر و در سال ۲۰۲۰ بر اساس بخش قبل، ۱۱۸۵۹۹۴۶ نفر است و بر اساس پیش‌بینی صندوق بین‌المللی پول جمعیت ایران در سال ۲۰۲۰، ۸۳۴۰۳۲۸۰ نفر است. تا این لحظه هیچ داده دیگری در خصوص پیش‌بینی و ظرفیت کل بازار نسل چهارم شبکه ارتباطی در ایران بعد از سال ۲۰۲۰ یافت نشده است. حال با منطبق نمودن این نقاط بر نمودار گومپرتز، با استفاده از رگرسیون و حداقل مربعات غیرخطی (NLS[9]) ضرایب به دست خواهد آمد. اگر مقدار t را در رابطه گومپرتز به

جدول (۳): داده‌های مورداستفاده از منابع اطلاعاتی معتبر

منابع اطلاعاتی	داده‌ها
سازمان فناوری اطلاعات ایران	تعداد مشترکین نسل سوم و نسل چهارم اپراتورهای تلفن همراه کشور در سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶
بانک جهانی WDI	جمعیت ایران در سال ۲۰۲۰
GSMA	ضریب نفوذ مشترکین در سال ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶ میزان سهم نسل چهارم از مشترکین کل در سال ۲۰۲۰
5GPPP	مشترکین نسل پنجم اتحادیه اروپا از سال ۲۰۲۰ الی ۲۰۲۵

جدول (۴) تقریب تعداد کل مشترکان اپراتورهای تلفن همراه به تفکیک فناوری تا پایان سال میلادی ۲۰۱۵

سال	تعداد مشترکان نسل سوم	تعداد مشترکان نسل چهارم
تا آخر سال ۲۰۱۵	۱۵۷۱۱۸۱۳	۲۰۱۵۳۹
تا آخر سال ۲۰۱۶	۲۵۲۶۱۷۷۵	۱۹۰۸۸۴۴

جدول (۵): تقریب تعداد کل مشترکان منحصربه‌فرد اپراتورهای تلفن همراه به تفکیک فناوری تا پایان سال میلادی ۲۰۱۵

سال	تعداد مشترکان منحصربه‌فرد نسل سوم	تعداد مشترکان منحصربه‌فرد نسل چهارم
تا آخر سال ۲۰۱۵	۸۲۸۶۳۶۸	۱۰۶۲۹۱
تا آخر سال ۲۰۱۶	۱۲۷۹۴۹۲۵	۹۶۶۸۱۸

www.SID.ir

Archive of SID

بی‌نهایت میل دهید، ضریب نفوذ با حد اشباع برابر خواهد شد. معمولاً متوسط عمر هر فناوری ارتباطی ۲۰ سال است (The Mobile Economy, 2017). به‌عنوان‌مثال، AT&T یکی از بزرگ‌ترین اپراتورهای تلفن همراه آمریکا در ابتدای سال ۲۰۱۷ سرویس‌دهی خود را به مشترکان نسل دوم فناوری تلفن همراه قطع نمود. از سوی دیگر به نظر می‌رسد، فناوری نسل چهارم شبکه ارتباطی ایران در سال ۲۰۴۰، به حالت اشباع و حد نهایی خود برسد. بر اساس محاسبات انجام‌شده، مقدار نهایی به چیزی در حدود ۸۵ میلیون نفر خواهد رسید؛ بنابراین ضرایب مدل گومپرتز عبارت‌اند از:

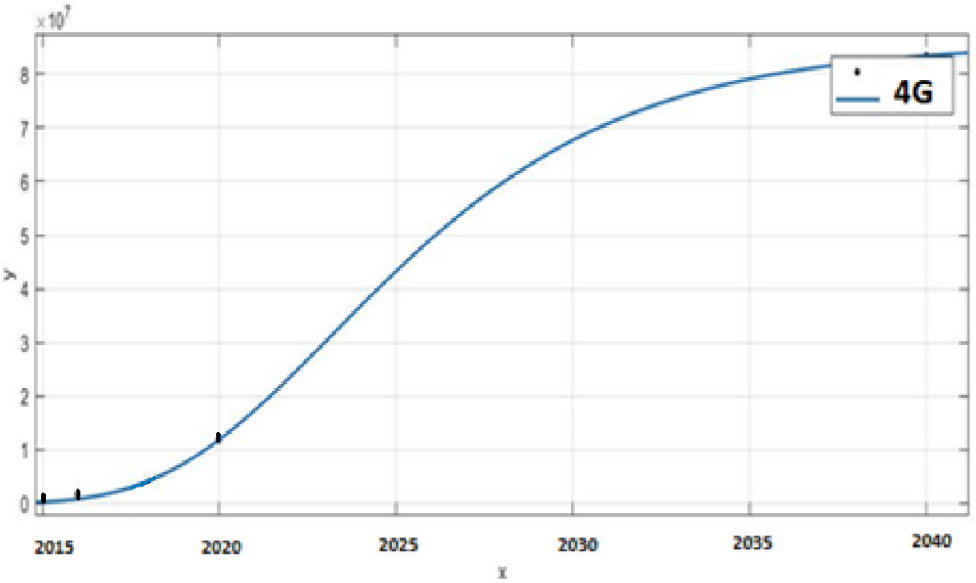
$$b = 5.705$$

$$c = 0.2117$$

یعنی:

$$n(t) = 85830000e^{-5.705e^{-0.2117t}}$$

به‌این‌ترتیب، با مدل گومپرتز، رشد مشترکین نسل چهارم شبکه ارتباطی در ایران به صورتی که در شکل (۳) نشان داده‌شده است ترسیم می‌گردد.



شکل (۳): پیش‌بینی رشد مشترکان نسل چهارم شبکه ارتباطی در ایران بر اساس مدل گومپرتز (برحسب نفر) از سال ۲۰۱۵

www.SID.ir

Archive of SID

بر اساس روش پرتو برای محاسبه ضریب نفوذ نسل پنجم شبکه ارتباطی لازم است مولفه‌های T و μ محاسبه شود که μ ضریب نفوذ نسل چهارم شبکه ارتباطی است. ازآنجاکه در سال ۲۰۲۰، ضریب نفوذ مشترکان در ایران ۰/۷۹ (The Mobile Economy: Middle East and North Africa, 2016) و تعداد کل جمعیت ۸۳۴۰۳۲۸۰ نفر است، تعداد مشترکان منحصربه‌فرد نسل چهارم شبکه ارتباطی در ایران در سال ۲۰۲۰، ۱۱۸۵۹۹۴۶ نفر خواهد بود. از طرفی تعداد کل مشترکان منحصربه‌فرد نسل چهارم شبکه ارتباطی در ایران در سال ۲۰۲۰ بر اساس بخش قبل، ۱۱۸۵۹۹۴۶ و بر اساس پیش‌بینی صندوق بین‌المللی پول، جمعیت ایران در سال ۲۰۲۰، ۸۳۴۰۳۲۸۰ نفر است. بنابراین خواهیم داشت:

$\mu = .18 * .79 = .1422$

$T = 0.8$

و درنتیجه با کمک روش پرتو، ضریب نفوذ نسل پنجم شبکه ارتباطی در ایران در انتهای سال ۲۰۲۰، قابل‌محاسبه خواهد بود. تعداد مشترکین نسل پنجم شبکه ارتباطی به‌صورت جدول (۶) برای سال‌های مختلف محاسبه می‌شود.

جدول (۶): پیش‌بینی مشترکان منحصربه‌فرد نسل پنجم شبکه ارتباطی در ایران از سال ۲۰۲۱ برحسب میلیون نفر

سال	۲۰۲۱	۲۰۲۲	۲۰۲۳	۲۰۲۴	۲۰۲۵	۲۰۲۶	۲۰۲۷	۲۰۲۸	۲۰۲۹	۲۰۳۰	۲۰۳۱
تعداد مشترکان کل نسل پنجم شبکه ارتباطی در ایران	۰/۸	۲/۲	۴/۵	۷/۶	۱۱/۶	۱۶/۱	۲۱	۲۶	۳۱	۳۶	۴۰

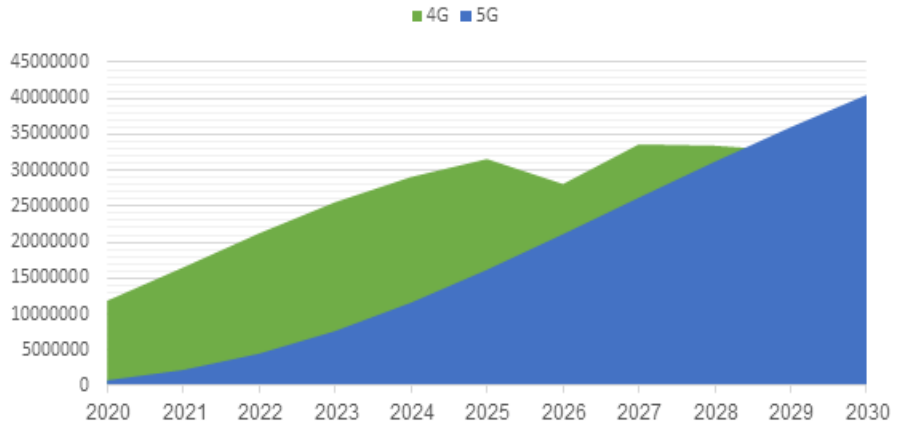
با کم نمودن تعداد کاربران نسل پنجم شبکه ارتباطی سال گذشته از تعداد کاربران نسل چهارم شبکه ارتباطی و به دست آوردن نرخ مهاجرت، شکل (۴) حاصل می‌گردد. شکل(۴) نشان‌دهنده تعداد مشترکان منحصربه‌فرد فناوری نسل چهارم شبکه ارتباطی و نسل پنجم شبکه ارتباطی از سال ۲۰۲۰ به‌صورت توأم است.

براساس شکل (۴)، نمودار پیش‌بینی تعداد مشترکان منحصربه‌فرد نسل چهارم شبکه ارتباطی و نسل پنجم شبکه ارتباطی در ایران تا سال ۲۰۳۰ هنوز دارای منحنی S شکل است که با نمودار انتشار فناوری راجرز مطابقت دارد. روند رشد تعداد مشترکان منحصربه‌فرد نسل پنجم شبکه ارتباطی در ۵ سال اول مشابه روند رشد تعداد مشترکان منحصربه‌فرد نسل چهارم شبکه ارتباطی در مدت‌زمان مشابه در آغاز شروع این فناوری است.

به نظر می‌رسد حداکثر تعداد کاربران منحصربه‌فرد فناوری نسل چهارم شبکه ارتباطی چیزی در حدود

www.SID.ir

Archive of SID



شکل (۴): پیش‌بینی تعداد مشترکان منحصربه‌فرد نسل چهارم شبکه ارتباطی و نسل پنجم شبکه ارتباطی در ایران تا سال ۲۰۳۰

۳۴ میلیون نفر در سال ۲۰۲۷ باشد و از آن زمان به بعد تعداد مشترکان نسل چهارم شبکه ارتباطی کاهش خواهد یافت. بیشترین میزان رشد منحنی S شکل فناوری نسل پنجم شبکه ارتباطی در نقطه عطف منحنی اتفاق خواهد افتاد. نقطه عطف زمانی است که منحنی S شکل به ۳۷ درصد مقدار نهایی خود رسیده باشد. این امر در حدود سال ۲۰۲۵ به وقوع خواهد پیوست؛ بنابراین، سال ۲۰۲۵ به نظر می‌رسد، بهترین زمان جهت سرمایه‌گذاری گسترده اپراتور در حوزه نسل پنجم شبکه ارتباطی است. در این سال رقابت بین اپراتورهای ارتباطی تلفن همراه به بالاترین سطح خود خواهد رسید. همچنین پیش‌بینی می‌گردد در اواسط سال ۲۰۲۸ تعداد مشترکان منحصربه‌فرد فناوری نسل چهارم شبکه ارتباطی و نسل پنجم شبکه ارتباطی برابر گردد. از سال ۲۰۲۸ تعداد مشترکان منحصربه‌فرد نسل پنجم شبکه ارتباطی از فناوری نسل چهارم شبکه ارتباطی بیشتر خواهد شد؛ بنابراین، سال ۲۰۲۹ بهترین زمان برای جایگزینی فناوری نسل پنجم شبکه ارتباطی به فناوری نسل چهارم شبکه ارتباطی در اپراتورهای ارتباطی و عدم سرمایه‌گذاری در حوزه نسل چهارم شبکه ارتباطی است. در این زمان هزینه‌های شبکه نسل چهارم شبکه ارتباطی باید به کمترین میزان در حد نیاز کاربران فعلی کاهش یابد. این موضوع بدون در نظر گرفتن میزان عرضه و تقاضا در بازار تحلیل‌شده است.

دلیل کاهش مقطعی تعداد مشترکان منحصربه‌فرد فناوری نسل چهارم شبکه ارتباطی در حدود سال ۲۰۲۶ این است که تعداد مشترکان مهاجرت نموده از فناوری نسل چهارم شبکه ارتباطی به نسل پنجم شبکه ارتباطی در این زمان بیشتر از تعداد مشترکان منحصربه‌فرد فناوری نسل چهارم شبکه ارتباطی در این

www.SID.ir

Archive of SID

زمان بوده است. به نظر می‌رسد این زمان، زمان مناسب برای تبلیغات گسترده تجاری برای افزایش تعداد مشترکان نسل چهارم شبکه ارتباطی است.

با تطبیق داده‌های در دسترس و پیش‌بینی‌های GSMA در خصوص تعداد مشترکان نسل چهارم بر منحنی S شکل گومپرتز حد نهایی تعداد مشترکان منحصربه‌فرد نسل چهارم شبکه ارتباطی تا سال ۲۰۴۰ که باعلاقه خود یا تحت تأثیر سیستم اجتماعی به استفاده از این فناوری روی می‌آورند، به ۸۵ میلیون نفر خواهد رسید.

به نظر می‌رسد که در زمان عرضه استاندارد نسل پنجم شبکه ارتباطی در سال ۲۰۲۰ اپراتورها علاقه چندانی به استقرار سراسری این فناوری به‌صورت گسترده در کشور نداشته باشند و تنها به استقرار و پیاده‌سازی چند سایت نمونه با کاربرد اهداف تبلیغاتی بسنده نمایند. به‌مرور این روند توسعه گسترش می‌یابد، احتمالاً سال ۲۰۲۵، شروع گسترده عرضه تجاری فناوری نسل پنجم توسط اپراتورهای همراه در کشور باشد. در این زمان بیشترین میزان سرمایه‌گذاری اپراتور در فناوری نسل پنجم تلفن همراه به وقوع خواهد پیوست. این روند ادامه خواهد داشت تا زمانی که در سال ۲۰۲۹ به این نتیجه خواهند رسید که فناوری نسل پنجم را به‌طور کامل جایگزین فناوری نسل چهارم نمایند و از سرمایه‌گذاری در حوزه نسل چهارم خودداری نمایند.

به‌منظور اعتبارسنجی، از داده‌ها و نمودارهای گزارش منتشرشده از سوی 5GPPP در سال ۲۰۱۷ و گزارش GSMA در بخش اعتبارسنجی پژوهش استفاده‌شده است. روند رشد مشترکین نسل چهارم و پنجم شبکه ارتباطی به‌دست‌آمده در این پژوهش مشابه روند موارد موردنظر در مراجع مذکور است. این حاکی از آن است که مدل انتخابی گومپرتز برای پیش‌بینی مشترکین نسل چهارم و استفاده از آن درروش پرتو برای محاسبه ضریب نفوذ نسل پنجم شبکه ارتباطی در ایران مناسب است.

بر اساس گزارش منتشرشده از سوی 5GPPP در سال ۲۰۱۷ (Bao, et al., 2017) تعداد کل مشترکان اتحادیه اروپا به‌صورت جدول (۷) است.

به نظر می‌رسد که نتایج به‌دست‌آمده مشابه نتایج به‌دست‌آمده همین روند، در فناوری نسل چهارم شبکه ارتباطی است. به‌عنوان‌مثال در مدت‌زمان مشابه بر اساس گزارش (The Mobile Economy: Europe, 2015)، رشد مشترکان فناوری نسل چهارم شبکه ارتباطی اتحادیه اروپا مطابق با شکل (۵) بوده است.

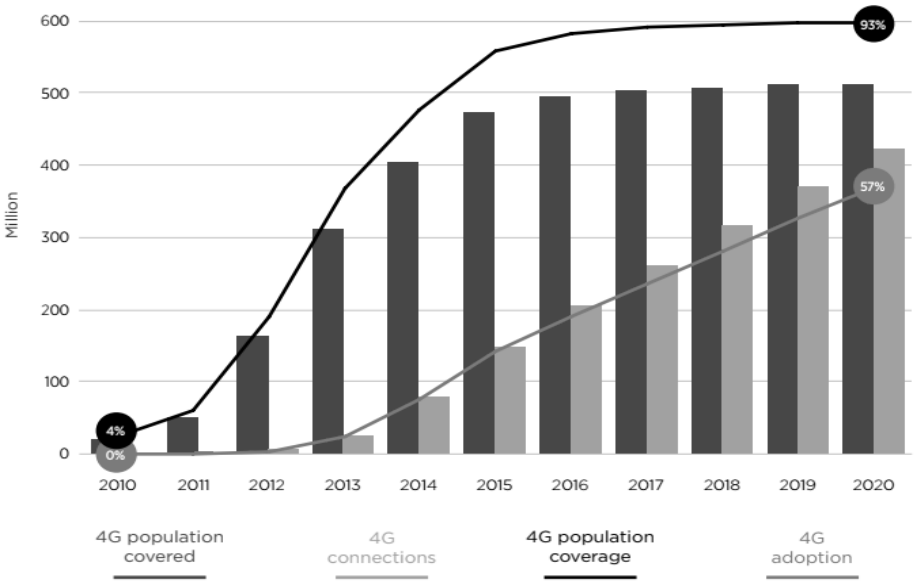
این در حالی است که ایران در سال ۲۰۱۶، تقریباً همان درصدی از مشترکان اروپا، مشترک نسل چهارم شبکه ارتباطی داشته است که در سال ۲۰۲۵ برای فناوری نسل پنجم شبکه ارتباطی پیش‌بینی می‌گردد.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول (۷): پیش‌بینی مشترکان منحصربه‌فرد نسل پنجم شبکه ارتباطی برحسب میلیون نفر در کشورهای مختلف اروپایی تا سال ۲۰۲۵ (Bao, et al., 2017)

تعداد مشترکان کل	۲۰۲۰	۲۰۲۱	۲۰۲۲	۲۰۲۳	۲۰۲۴	۲۰۲۵
جهان	۰/۰۶۷	۴۴	۲۳۷	۴۶۴	۹۴۲	۱۶۷۷
اتحادیه اروپا	۰/۰۰۲	۶	۳۱	۵۸	۱۰۸	۱۸۲
فنلاند	۰/۰۰۰۰	۰/۱	۰/۴	۰/۷	۱/۴	۲/۳
فرانسه	۰/۰۰۰۲	۰/۷	۳/۸	۶/۹	۱۳/۱	۲۲/۱
آلمان	۰/۰۰۰۲	۰/۹	۴/۷	۸/۵	۱۵/۹	۲۶/۴
ایتالیا	۰/۰۰۰۲	۰/۸	۴/۳	۷/۸	۱۴/۹	۲۵/۱
هلند	۰/۰۰۰۱	۰/۲	۱/۱	۲/۰	۳/۷	۶/۲
لهستان	–	۰/۵	۲/۶	۴/۷	۸/۸	۱۴/۷
اسپانیا	–	۰/۵	۲/۶	۴/۸	۹/۲	۱۵/۶
سوئد	۰/۰۰۰۰	۰/۱	۰/۷	۱/۳	۲/۴	۴/۱
انگلستان	۰/۰۰۰۲	۰/۷	۳/۹	۱/۷	۱۳/۴	۲۲/۵
سایر کشورهای اروپایی	۰/۰۰۰۴	۱/۴	۷/۴	۱۳/۶	۲۵/۷	۴۳/۲



شکل (۵): روند رشد مشترکان نسل چهارم شبکه ارتباطی اتحادیه اروپا (The Mobile Economy: Europe, 2015)

www.SID.ir

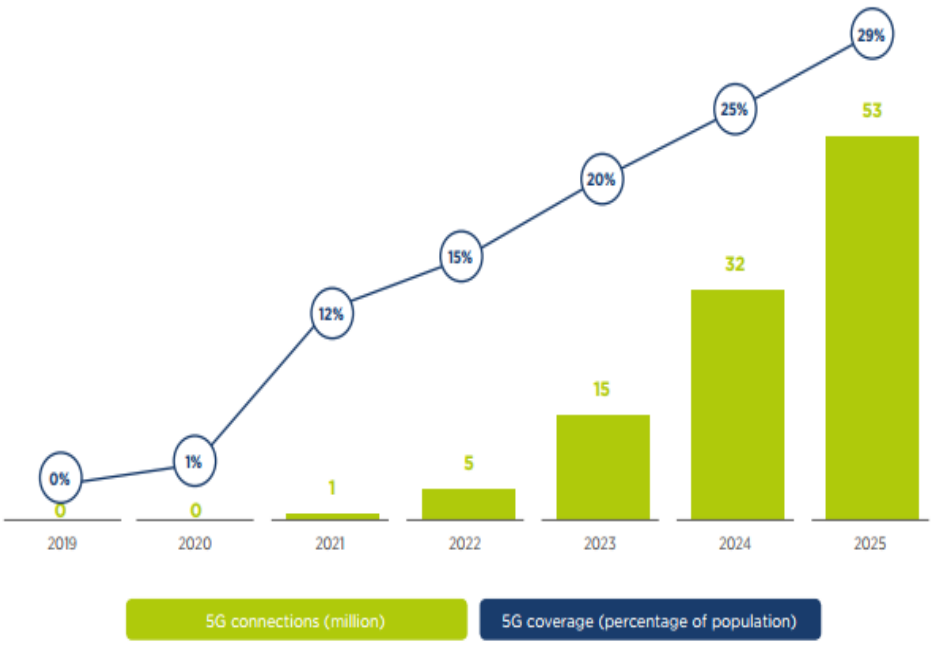
Archive of SID

همچنین بر اساس گزارش (The Mobile Economy: Middle East and North Africa, 2017)، تغییرات فناوری نسل پنجم شبکه ارتباطی در منطقه خاورمیانه و آفریقای شمالی به‌صورت شکل(۶) است.

با توجه به سهم ۲۰ درصدی ایران در منطقه خاورمیانه بر اساس گزارش (The Mobile Economy: Middle East and North Africa, 2017)، نتایج پیش‌بینی‌شده تا حدودی منطبق خواهد بود. دلیل این موضوع آن است که کشورهای حوزه همکاری خلیج‌فارس در استقرار فناوری نسل پنجم شبکه ارتباطی پیشتاز هستند.

۷- جمع‌بندی

در این مقاله روش‌های متنوع تحلیلی که موردنیاز بررسی ضریب نفوذ فناوری نسل پنجم شبکه ارتباطی است به کار گرفته‌شده است. ضریب نفوذ نسل پنجم شبکه ارتباطی در سال ۲۰۲۰ بر اساس روش پرتو برابر ۰/۹۵ درصد پیش‌بینی شد. همچنین با تطبیق داده‌های در دسترس وضعیت موجود فناوری نسل چهارم منتشرشده از سوی سازمان تنظیم مقررات و ارتباطات رادیویی و پیش‌بینی‌های GSMA در خصوص تعداد مشترکان نسل چهارم، بر منحنی S شکل گومپرتز حد نهایی تعداد مشترکان منحصربه‌فرد



شکل (۶): پیش‌بینی روند رشد فناوری نسل پنجم شبکه ارتباطی در منطقه MENA بر اساس تعداد ارتباطات و پوشش‌دهی (The Mobile Economy: Middle East and North Africa, 2017)

www.SID.ir

Archive of SID

نسل چهارم شبکه ارتباطی تا سال ۲۰۴۰ که باعلاقه خود یا تحت تأثیر سیستم اجتماعی به استفاده از این فناوری روی می‌آورند، به ۸۵ میلیون نفر خواهد رسید.

به نظر می‌رسد که در زمان عرضه استاندارد نسل پنجم شبکه ارتباطی در سال ۲۰۲۰ اپراتورها علاقه چندانی به استقرار سراسری این فناوری به‌صورت گسترده در کشور نداشته باشند و تنها به استقرار و پیاده‌سازی چند سایت نمونه با کاربرد اهداف تبلیغاتی بسنده نمایند. محاسبات انجام‌شده نشان می‌دهد که روند رشد تعداد مشترکان منحصربه‌فرد نسل پنجم شبکه ارتباطی در ۵ سال اول مشابه روند رشد تعداد مشترکان منحصربه‌فرد نسل چهارم شبکه ارتباطی در مدت‌زمان مشابه است و البته به‌مرور این روند توسعه گسترش می‌یابد، به نظر می‌رسد سال ۲۰۲۵، شروع گسترده عرضه تجاری فناوری نسل پنجم توسط اپراتورهای همراه در کشور باشد. چراکه، بیشترین میزان رشد منحنی S شکل فناوری نسل پنجم شبکه ارتباطی در نقطه عطف منحنی اتفاق خواهد افتاد. نقطه عطف زمانی است که منحنی S شکل به ۳۷ درصد مقدار نهایی خود رسیده باشد. این امر در حدود سال ۲۰۲۵ به وقوع خواهد پیوست؛ بنابراین، سال ۲۰۲۵ به نظر می‌رسد، بهترین زمان جهت سرمایه‌گذاری گسترده اپراتور در حوزه نسل پنجم شبکه ارتباطی است. انتظار داریم تا در این زمان بیشترین میزان سرمایه‌گذاری اپراتور در فناوری نسل پنجم تلفن همراه به وقوع خواهد پیوست. این روند ادامه خواهد داشت تا زمانی که در سال ۲۰۲۹ به این نتیجه خواهند رسید که فناوری نسل پنجم را به‌طور کامل جایگزین فناوری نسل چهارم نمایند و از سرمایه‌گذاری در حوزه نسل چهارم خودداری نمایند. این تحلیل به‌صورت کلی و بدون در نظر گرفتن میزان پذیرش بازار اعم از عرضه و تقاضا صورت گرفته است.

از جمله محدودیت‌های این پژوهش، می‌توان به عدم دسترسی به داده‌های کافی اشاره نمود. علاوه بر این با توجه به تحریم‌های موجود، دسترسی به خبرگان این حوزه در خارج از کشور امکان‌پذیر نبود. بااین‌وجود با خبرگان داخل ایران مشورت گردیده و از نقطه نظرات کارشناسان این حوزه در این مقاله استفاده شده است.

پیشنهاد می‌گردد در مطالعات بعدی با توجه به اطلاعات بیشتری که در چند سال آینده از فناوری نسل پنجم شبکه ارتباطی به دست خواهد آمد، دوباره این پژوهش انجام پذیرد. همچنین در مقاله، نتایج به‌دست‌آمده تنها بر اساس مشترکان گوشی‌های هوشمند تحت فناوری نسل پنجم شبکه ارتباطی به‌دست‌آمده است و محاسبه ضریب نفوذ دستگاه‌های متصل و اینترنت اشیاء مبتنی بر فناوری نسل پنجم شبکه ارتباطی نیازمند تحقیق دیگری است. همچنین پیشنهاد می‌گردد در مطالعات بعدی به

www.SID.ir

Archive of SID

تحلیل وضعیت بازار از پذیرش نسل پنجم شبکه ارتباطی پرداخته شود زیرا پیش‌بینی تعداد مشترکین، دستگاه‌های متصل و اینترنت اشیاء، مقدمه‌ای بر مطالعه ظرفیت بازار است.

۸- مراجع

Refrences

Bao, Y. et al. 2017, 'Quantitative techno-economic feasibility assessment', *Mobile and wireless communications Enablers for the Twenty-twenty Information Society*-II.

Charu & Gupta, R. 2015, 'A Comparative Study of Various Generations in Mobile Technology', *International Journal of Engineering Trends and Technology* (IJETT), 28(7), pp. 328–332.

Chu, W.-L. et al. 2009, 'Diffusion of mobile telephony: An empirical study in Taiwan', *Telecommunications Policy*, 33(9), pp. 506–520.

Geroski, P. A. 2000, 'Models of technology diffusion', *Research Policy*, 29(4–5), pp. 603–625.

Gompertz, B. 1825, 'On the Nature of the Function Expressive of the Law of Human Mortality, and on a New Mode of Determining the Value of Life Contingencies', *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, Volume(115), pp. 513–583.

Gupta, R. & Jain, K. 2012, 'Diffusion of mobile telephony in India: An empirical study', *Technological Forecasting and Social Change*, 79(4), pp. 709–715.

'Impacts of 5G on productivity and economic growth' 2018, Australian Government, Department of Communications and the Arts, *Bureau of Communications and Arts Research*.

Kovács, I. Z. et al. 2011, 'Mobile Broadband Traffic Forecast Modeling for Network Evolution Studies', *IEEE*.

Krendzel, A. & Ginzboorg, P. 2014, 'Expected Penetration Rate of 5G Mobile Users by 2020: A Case Study', MOBILITY 2014: *The Fourth International Conference on Mobile Services, Resources, and Users Expected*, pp. 78–81.

Meade, N. & Islam, T. 2006, 'Modelling and forecasting the diffusion of innovation - A 25-year review', *International Journal of Forecasting*, 22(3), pp. 519–545.

Michalakelis, C., Varoutas, D. & Sphicopoulos, T. 2008, 'Diffusion models of mobile telephony in Greece', *Telecommunications Policy*, 32(3–4), pp. 234–245.

Rogers, E. M. 1995, Diffusion of Innovations, *The Free Press, New York*.

Rouvinen, P. 2006, 'Diffusion of digital mobile telephony: Are developing countries different?', *Telecommunications Policy*, 30(1), pp. 46–63.

Sridhar, K. S. & Sridhar, V. 2007, 'Telecommunications INfrastructure and Economic Growth: Evidence from Developing Countries', *Applied Econometrics and International Development*, 7(2), pp. 37–61.

The Mobile Economy: Europe 2015, *GSMA Intelligence*.

www.SID.ir

Archive of SID

The Mobile Economy: Middle East and North Africa 2016, *GSMA Intelligence*.

The Mobile Economy: Middle East and North Africa 2017, *GSMA Intelligence*.

The Mobile Economy 2017, *GSMA Intelligence*.

Vanston, L. K. & Hodges, R. L. 2004, 'Technology forecasting for telecommunications', Telecommunications Forecasting, *telektronikk*, pp. 32–43.

Waverman, L., Meschi, M. & Fuss, M. 2005, 'The impact of telecoms on economioc growth in developing Countries', *London Business School and LECG*.

WINSOR, C. P. 1932, 'The Gompertz Curve as a Growth Curve', *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 18(1), pp. 1–8.

Wu, F.-S. & Chu, W.-L. 2010, 'Diffusion models of mobile telephony', *Journal of Business Research*, 63(5), pp. 497–501.

Yamakawa, P. et al. 2013, 'the diffusion of mobile telephones: An empirical analysis for Peru', *Telecommunications Policy*, 37(6–7), pp. 594–606.

1. Synchronous digital hierarchy
2. Synchronous optical networking
3. Digital subscriber line
4. Voice over Internet Protocol
5. Mean absolute percentage error
6. RMSE (Root Mean Square Error)
7. Extreme Mobile BroadBand
8. Gross domestic product
9. Non-linear least squares

www.SID.ir