

پیش‌بینی تجارت جهانی محصولات پتروشیمی

و تعیین جایگاه ایران: رویکرد شبکه

سارا محمدی*، مجتبی الماسی**، کیومرث سهیلی***، صادق سلیمانی****

تاریخ پذیرش
۱۴۰۰/۱۰/۰۱

تاریخ دریافت
۱۴۰۰/۰۶/۱۳

چکیده:

صنعت پتروشیمی نقش مهمی در ایجاد ارزش افزوده در منابع نفت و گاز به ویژه برای ایران دارد. پیش‌بینی کشورهای صادرکننده یا واردکننده پتروشیمی به همراه نوع محصول تبادلی، کمک بزرگی به ذی‌نفعان این صنعت برای برنامه‌ریزی بهینه تجاری است. هدف این مطالعه، استفاده از روش‌های تحلیل شبکه برای اولین بار در پیش‌بینی تجارت محصولات پتروشیمی در سطح جهانی است. داده‌های مورد بررسی از وبسایت سازمان ملل در رابطه با تبادلات تجاری به ازای صادرات و واردات محصولات رایج صنعت پتروشیمی برای سال‌های ۲۰۱۷-۲۰۱۹ استخراج و پیش‌پردازش شدند. همچنین از روش‌های محاسباتی پیش‌بینی پیوند، برای پیش‌بینی ارتباطات سال‌های بعد هر کدام بر مبنای سال قبل، استفاده شد. ارزیابی به دو شیوه محاسباتی و مقایسه پیش‌بینی‌ها با نتایج موجود انجام شد. بهترین روش پیش‌بینی با بیش از ۹۰ درصد امتیاز سطح زیر منحنی، الحاق ترجیحی به دست آمد که بر اساس آن مقایسه با داده‌های واقعی نیز صورت گرفت. یافته‌های پژوهش، مستعدترین کشورها برای واردات را اسپانیا، اسلونی، استرالیا، نروژ و آرژانتین شناسایی کرد و خوش‌آهنگ‌ترین صادرات برای ایران را محصول استون به اسپانیا برآورد کرد. در نهایت روش‌های افزایش کارایی پیش‌بینی‌ها نیز بیان شد.

کلیدواژه‌ها: پتروشیمی، پیش‌بینی پیوند، تحلیل شبکه، تجارت.

طبقه‌بندی JEL: L78, F10, D85

* دانشجوی دکتری اقتصاد دانشکده اقتصاد و مدیریت کارآفرینی دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران،

mohamadi.sara@razi.ac.ir

** دانشیار گروه اقتصاد دانشکده اقتصاد و مدیریت کارآفرینی دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران (نویسنده مسئول)،

mojtbaalmasi@razi.ac.ir

*** دانشیار گروه اقتصاد دانشکده اقتصاد و مدیریت کارآفرینی دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

ksohaili@razi.ac.ir

**** استادیار گروه مهندسی کامپیوتر دانشکده مهندسی دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

S.Sulaimany@uok.ac.ir

۱. مقدمه

صنعت پتروشیمی با تبدیل هیدروکربن‌های موجود در نفت خام یا گاز به فرآورده‌های جدید، ارزش افزوده قابل توجهی برای منابع نفت و گاز کشور فراهم کرده است و با کسب جایگاه اول صادرات غیرنفتی، نقش مهمی در توسعه پایدار و شکوفایی اقتصادی ایفا می‌کند (اسمعیلی‌پور، ۱۳۹۶). گرچه از نظر حجم تولید، پتروشیمی حدود ۱۰ درصد از کل صنعت نفت را در جهان شامل می‌شود، اما از نظر ارزش محصول، سهم به مراتب بیشتری از کل ارزش صنعت نفت را به خود اختصاص داده است (کلوس^۱، ۲۰۱۶).

صنعت پتروشیمی از نظر دلاری ۳۱ درصد از ارزش کل محصولات صادراتی ایران را در سال ۱۳۹۷ تشکیل داده است. در این سال صادرات فرآورده‌های پتروشیمی به میزان ۳۳۶۳۹ هزار تن و به ارزش ۱۳۸۶۴ میلیون دلار بوده است (گمرک جمهوری اسلامی، ۱۳۹۸). این حجم قابل توجه محصولات پتروشیمی در صادرات ایران، نمایانگر روی آوردن دولت به عدم خام‌فروشی و افزایش ارزش افزوده حاصل از نفت خام است و در دوران تحریم نیز بخش پتروشیمی سهم قابل توجهی از نیاز ارزی کشور را تأمین کرده است. از خصوصیات دیگر این صنعت، تنوع محصولات آن و تأمین مواد اولیه هزاران کارگاه و کارخانه صنایع پایین دستی است که از نظر اشتغال‌زایی و کسب درآمدهای ارزی نقش بسیار اثر بخشی در اقتصاد کشور دارد. محصولات پتروشیمی دارای مصارف عمومی و صنعتی زیاد از قبیل پارچه (نایلون، دارکرون، پشم و پنبه مصنوعی) لوازم الکتریکی کودهای شیمیایی، حلال‌ها، مواد پاک کننده و غیره است. این محصولات را می‌توان به سه دسته اصلی بالادستی (مواد پایه‌ای)، میانی (خوراک واحدهای کوچک) و پایین‌دستی (محصولات نزدیک به بازار) تقسیم کرد (اسماعیلی، ۱۳۹۸). که لیست انواع صادراتی آن‌ها در وبسایت اتاق بازرگانی به آدرس https://www.tccim.ir/consultation_TariffCodes.aspx قابل دسترسی است.

این صنعت از دهه ۶۰ میلادی جهانی شده و سرمایه‌گذاری‌ها در رابطه با آن افزایش چشمگیری داشته است. تجارت جهانی آن نسبت به سایر محصولات، رشد بیشتری داشته است. به عنوان مثال، تولید جهانی پلاستیک، یکی از محصولات اصلی مبتنی بر پتروشیمی، از سال ۱۹۷۰، رشد ده برابری را نسبت به سایر مواد خام (مانند فلزات و سیمان) داشته است (آینده پتروشیمی، ۲۰۱۸).

سیاست‌گذاری‌های صادرات و واردات محصولات غیرنفتی، نیازمند شناخت بازارهای جهانی آن‌هاست. یافتن پیوندهای تجاری بالقوه میان کشورها، کمک بسیاری به راهبردهای بازیابی و بهینه‌سازی هزینه‌های آن‌ها می‌کند. بر این اساس، ضرورت این مطالعه در پیدا کردن بازار آتی هدف محصولات پتروشیمی، برای بررسی راه‌های نفوذ در آن و تنظیم صحیح استراتژی تولید و بازاریابی توسط سیاستگذاران اقتصادی کشور مبرهن است. بهره‌گیری از روشی قابل اعتماد برای پیش‌بینی صادرکنندگان و واردکنندگان بالقوه محصولات پتروشیمی به همراه تعیین نوع محصول تبادلی، فرصتی طلایی در اختیار سیاستگذاران صنعت پتروشیمی ایران قرار خواهد داد تا با برنامه‌ریزی صحیح، بیشینه بهره‌برداری را از تجارت پتروشیمی جهانی داشته باشند.

هدف پژوهش حاضر، به‌کارگیری پیش‌بینی پیوند برای تعیین محتمل‌ترین ارتباطات تجاری محصولات پتروشیمی، همراه با تعیین جایگاه ایران، است بدین منظور از پیش‌بینی پیوند در نوع خاصی از گراف، موسوم به گراف دوبخشی، بهره برده خواهد شد. این نوع از گراف تمایز موجودیت‌های متفاوت در در دوسوی شبکه‌های دوبخشی را صحیح‌تر مدل‌سازی می‌کند. در این پژوهش، مجموعه‌ای از کشورها از یک سو، با مجموعه‌ای از محصولات پتروشیمی از سوی دیگر در ارتباط هستند. حال این محصولات خود ممکن است صادراتی یا وارداتی باشند. لذا پیش‌بینی بر دو نوع شبکه دوبخشی کشور-محصول صادراتی و کشور-محصول وارداتی انجام خواهد شد (شکل ۲). همچنین نتایج به دو شیوه محاسباتی و آمار واقعی موجود سنجش خواهد شد. سپس

نسبت به پیش‌بینی داده‌های غیر موجود صادرات و واردات محصولات پتروشیمی و کشور مرتبط با آن‌ها برای سال ۲۰۲۰ میلادی (که تا زمان انجام این پژوهش در دسترس نبودند) اقدام و نتایج گزارش خواهد شد. دقت پیش‌بینی سال ۲۰۲۰ از نظر محاسباتی نیز مشخص می‌شود تا برآورد بهتری از میزان خوش‌آتیه بودن نتایج صورت گیرد و بدین ترتیب محتمل‌ترین ارتباطات جهانی صادرات و واردات بر اساس نوع محصول و کشور مرتبط در سال ۲۰۲۰ گزارش خواهد شد.

نوآوری‌های این پژوهش نسبت به سایر پژوهش‌های ارائه شده در زمینه استفاده از پیش‌بینی پیوند در حیطه‌های مختلف انرژی، به شرح زیر است:

- پرداختن به پیش‌بینی محاسباتی تجارت جهانی پتروشیمی برای اولین بار
 - مدل‌سازی شبکه تجارت پتروشیمی به صورت دوبخشی و استفاده از پیش‌بینی پیوند ویژه آن به منظور دستیابی به نتایج قوی‌تر و متنوع‌تر
 - پیش‌بینی مجزای کشور صادر کننده - محصول، کشور وارد کننده - محصول برای هر تعداد محصول پتروشیمی
 - بررسی جایگاه جهانی ایران در تجارت پتروشیمی و توصیه‌هایی در رابطه با بهبود آن
- ساختار مقاله در ادامه به صورت زیر خواهد بود. در بخش دوم، پس از آشنایی مختصر با گراف و پیش‌بینی پیوند، مروری بر پژوهش‌های پیش‌بینی پیوند در حیطه‌های مختلف انرژی و پژوهش‌های محاسباتی انجام شده در زمینه پتروشیمی در داخل کشور، انجام خواهد شد. سپس در بخش سوم علاوه بر تعیین نحوه مدل‌سازی ارتباطات کشور-محصول، روش محاسباتی انجام پژوهش نیز همراه با فرمول‌های مربوطه معرفی می‌شود. سپس به داده‌های مورد استفاده در پژوهش، نحوه جمع‌آوری و پالایش آن‌ها و شیوه‌های ارزیابی روش پیشنهادی، پرداخته می‌شود. در بخش چهارم، یافته‌های پژوهش ارائه و تحلیل می‌شود، آنگاه جایگاه ایران در حیطه پیش‌بینی ارتباطات تجاری پتروشیمی، همراه با محتمل‌ترین پیش‌بینی‌های مرتبط با آن بررسی می‌شود. در نهایت

در بخش آخر علاوه بر جمع‌بندی دستیافته‌ها، شیوه‌های توسعه این پژوهش نیز ذکر خواهد شد.

۲. ادبیات نظری و پیشینه پژوهش

با توجه به این که روش محاسباتی مورد استفاده در این پژوهش، بر مبنای پیش‌بینی پیوند است که خود زیربخشی از روش‌های تحلیل گراف به حساب می‌آید، لذا ابتدا مفاهیم پایه و کلیدی در این زمینه به اختصار بیان خواهد شد، سپس به پژوهش‌های انجام شده مشابه، می‌پردازیم. در علوم کامپیوتر، برای پردازش اطلاعات شبکه‌ای، از گراف استفاده می‌شود. یک گراف مشتمل است بر مجموعه‌ای از موجودیت‌ها به نام رئوس یا گره و ارتباطات بین آن‌ها که یال یا پیوند نامیده می‌شوند. شکل ۱ مثالی از یک گراف است که در قسمت الف شرح آن، به تعداد رئوس و یال‌ها اشاره شده است.

یال‌ها یا ارتباطات در گراف‌ها ممکن است بر حسب شبکه‌ای که مدل می‌کنند، ساده، وزن‌دار، جهت‌دار یا علامت‌دار باشند. گراف مورد نظر برای مدل‌سازی ارتباطات کشور-محصول در شبکه‌های صادرات و واردات در این پژوهش، نوع خاصی از آن به نام گراف دوبخشی^۱ است. در گراف دوبخشی، رئوس به دو بخش مجزا تقسیم می‌شوند و تنها ارتباطاتی مد نظر است که یک سر آن در بخش اول و سر آن در بخش دیگر باشد. مثال‌هایی از گراف دو بخشی در مدل‌سازی سامانه‌ها، فروشگاه‌های برخط از قبیل آمازون و دیجی‌کالا (که یک سر ارتباطات، کاربران و سردیگر محصولات هستند)، شبکه‌های دارو-عوارض^۲ در زیست‌شناسی و مؤلف-اثر در همکاری‌های علمی هستند (دامینلی^۳، ۲۰۱۵).

بدین ترتیب، هر ارتباط مورد نظر در این مقاله، حتماً یک سر آن محصول و سر

-
1. Bipartite
 2. Drug-Side Effect
 3. Daminelli

دیگر آن کشور است و ارتباط بین دو محصول یا بین دو کشور مدنظر ناست (شکل ۲). چرا که در اینجا هدف، پیش‌بینی ارتباط بین دو محصول نیست. یا اگر صرفاً به پیش‌بینی ارتباط دو کشور پرداخته شود، اما مشخص نشود که نوع ارتباط (صادرات یا واردات) چیست و محصول تبدالی چیست، پیش‌بینی مبهمی اتفاق افتاده است.

۲-۱. مروری بر پیش‌بینی پیوند

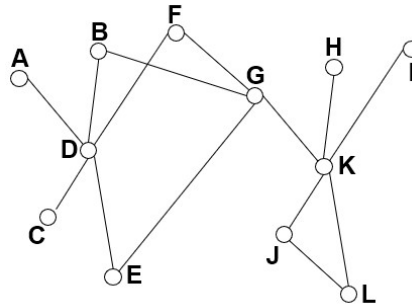
پیش‌بینی پیوند به یک روش تحلیل گراف گفته می‌شود که در سال ۲۰۰۷ برای پیش‌بینی ارتباطات محتمل آتی در شبکه‌های اجتماعی عرضه شد (لیبن-نوول^۱ و کلینبرگ^۲، ۲۰۰۷). در این روش محاسباتی عمدتاً از اطلاعات کنونی گراف، یعنی اطلاعات رؤس و یال‌ها برای پیش‌بینی محتمل‌ترین یال‌های تشکیل شونده در آینده، استفاده می‌شود. بدین ترتیب که کلیه ارتباطات ناموجود بین رؤس، بر مبنای یک معیار، امتیازدهی می‌شوند و پرامتیازترین یال‌های ناموجود، مستعدترین یال‌های تشکیل شونده در آینده را مشخص می‌کند. پیش‌بینی پیوند در حوزه‌های مختلف مانند شبکه‌های اجتماعی، زیستی، علمی، اقتصادی، و ... کاربرد داشته است و پیوسته به کاربردهای آن افزوده می‌شود (کومار^۳ و همکاران، ۲۰۲۰).

معیارهای رایج امتیازدهی به ارتباطات ناموجود در شبکه با کمک الگوریتم‌های پیش‌بینی پیوند، در کلی‌ترین دسته‌بندی به دو دسته با ناظر^۴ و بدون ناظر^۵ تقسیم می‌شوند. منظور از دسته با ناظر، روش‌های مبتنی بر یادگیری ماشینی است که بخشی از شبکه برای آموزش برنامه یادگیرنده مورد استفاده قرار می‌گیرد تا بر مبنای آن، بتواند درباره ارتباطات غیر موجود قضاوت کند و محتمل‌ترین‌ها را امتیازدهی و شناسایی کند.

-
1. Liben-Nowell
 2. Kleinberg
 3. Kumar
 4. Supervised
 5. Unsupervised

در حالی که روش‌های بدون ناظر، تنها از اطلاعات گره‌ها در شبکه و همسایگی‌های آنان برای امتیازدهی و یافتن یال‌های پیش‌بینی شده در آینده، استفاده می‌کنند. معمولاً زمانی که پیش‌بینی پیوند برای اولین بار به یک حیطة جدید اعمال می‌شود، از روش‌های بدون ناظر مبتنی بر همسایگی استفاده می‌شود، زیرا در عین اینکه سربار محاسباتی کم و پیچیدگی زمانی قابل قبول دارند، از دقت خوبی برخوردار هستند و در صورتی که نتایج آن‌ها مطلوب باشد، می‌توان در آینده روش‌های قوی‌تر و پیچیده‌تر را برای بهبود نتایج، مورد استفاده قرار داد (سلیمانی و همکاران، ۲۰۱۷).

به عنوان مثال، در روش‌های بدون ناظر مبتنی بر همسایگی، روش همسایگان مشترک^۱ (CN) به ازای هر دو رأس غیرمتصل، همسایگان مشترک آن‌ها را شمارش می‌کند و هر مورد که تعداد همسایه مشترک بیشتری داشته باشد، محتمل‌ترین یال برای تشکیل است. در حالی که روش اتصال ترجیحی، دو رأس غیر متصل که ضرب تعداد همسایگان آن‌ها (چه مشترک و چه غیر مشترک)، بیشینه شود را محتمل‌تر می‌داند. مثلاً در شکل ۱ بیشترین تعداد همسایه مشترک (۳)، برای رئوس G و D تعریف شده است در حالی که بیشترین ضرب درجات (۵×۵) برای دو رأس غیر متصل D و K اتفاق می‌افتد. اینکه کدامیک از روش‌ها بهتر هستند به دقت نهایی در پیش‌بینی تعداد مشخصی پیوند برخواهد گشت که شیوه‌های ارزیابی خود را دارد که در ادامه تشریح خواهد شد.



شکل ۱- الف) مثالی از یک گراف ساده با ۱۲ رأس و ۱۴ یال (ب) که اگر مبنای پیش‌بینی پیوند در این گراف، شمارش همسایگان مشترک (CN) باشد، محتمل‌ترین یال پیش‌بینی شده، یال G-D خواهد بود ولی اگر مبنای پیش‌بینی پیوند در آن، بیشترین درجات باشد (PA)، یال D-K محتمل خواهد بود

منبع: یافته‌های پژوهش

فرمول امتیازدهی در روش‌های بدون ناظر مبتنی بر همسایگی به صورت خلاصه به شرح جدول ۱ است. $\Gamma(x)$ به معنی مجموعه همسایگان رأس x و $|\Gamma(x)|$ به شمارش همسایگان آن رأس اشاره دارد. به عنوان مثال برای رأس F در شکل ۱، D و G همسایگان آن هستند و در نتیجه تعداد همسایگان آن ۲ است.

جدول (۱). روش‌های امتیازدهی یال‌های ناموجود در پیش‌بینی پیوند

بدون ناظر مبتنی بر همسایگان با شرح ساده $\Gamma(x)$ به معنی مجموعه همسایگان

رأس x و $|\Gamma(x)|$ به معنی تعداد همسایگان رأس x

نام روش	اختصار	فرمول	شرح به زبان ساده
همسایگان مشترک	CN	$ \Gamma(x) \cap \Gamma(y) $	رئوس با همسایگان مشترک بیشتر، مستعد برقراری ارتباط هستند
تشابه جاکارد ^۱	JC	$\frac{ \Gamma(x) \cap \Gamma(y) }{ \Gamma(x) \cup \Gamma(y) }$	صرفاً تعداد همسایگان بیشتر ملاک برقراری پیوند نیست، بلکه باید نسبت آن‌ها به کل همسایه‌های دو رأس را نیز در نظر گرفت

1. Jaccard Coefficient

رئوسی که همسایگان مشترک غیرعمومی تر دارند، برای برقراری ارتباط، مستعدتر هستند.	$\sum_{z \in \Gamma(x) \cap \Gamma(y)} \frac{1}{\log \Gamma(z) }$	AA	آدامیک/آدار ^۱
دو راس غیر متصل دارای بیشترین تعداد همسایگان (مشترک و غیرمشترک) در شبکه، گزینه‌های برتر تشکیل ارتباط هستند	$ \Gamma(x) \times \Gamma(y) $	PA	الحاق ترجیحی ^۲

منبع: یافته‌های پژوهش

ارزیابی محاسباتی کارایی پیش‌بینی پیوند با سطح زیر منحنی یا AUC^3 که از رایج‌ترین روش‌های ارزیابی محاسباتی به شمار می‌آید انجام می‌شود. در این معیار، تعداد مشخصی (معمولاً ده درصد) از یال‌های موجود شبکه به صورت تصادفی حذف می‌شود و سپس یک یال ازین مجموعه حذف شده انتخاب می‌شود و یک یال نیز از مجموعه یال‌هایی که از ابتدا نیز موجود نبودند به صورت تصادفی انتخاب می‌شود و با هر یک از روش‌های جدول (۱) امتیازدهی می‌شوند و اگر امتیاز یال عمداً حذف شده نسبت به یال ناموجود از ابتدا بیشتر بود، پارامتر n' در فرمول ۱، یک واحد اضافه می‌شود و در صورتی که امتیازها برابر بودند، پارامتر n'' یک واحد اضافه می‌گردد. به ازای n بار انجام چنین آزمایشی، عدد سطح زیر منحنی به شرح فرمول زیر گزارش می‌شود. در واقع به زبان ساده، معیار سطح زیر منحنی که مقدار آن عمدتاً بین ۰.۵ تا ۱ است، بیانگر توان پیش‌بینی الگوریتم نسبت به حالت تصادفی است و هرچه عدد آن به ۱ نزدیکتر باشد، کارایی بیشتری را نشان می‌دهد (لوو و ژوو^۴، ۲۰۱۱).

$$AUC = \frac{n' + 0.5n''}{n} \quad (1)$$

لازم به ذکر است که برخی ویژگی‌های خاص شبکه از نظر علم تحلیل شبکه‌های پیچیده در عملکرد بهتر الگوریتم‌های پیش‌بینی پیوند اثرگذار هستند. به عنوان مثال دو

-
1. Adamic/Adar
 2. Preferential Attachment
 3. Area Under the receiver operating characteristic Curve
 4. Lü and Zhou

ویژگی مهم در شبکه‌ها، خصوصیت‌های مقیاس آزاد^۱ و جهان کوچک^۲ هستند. شبکه‌های مقیاس آزاد نوعی از شبکه هستند که تعداد زیادی رأس با درجه (ارتباطات) کم و تعداد کمی رأس با درجه زیاد را دارا هستند (باراباسی^۳، ۲۰۰۹؛ باراباسی و بنابیو^۴، ۲۰۰۳). به این ترتیب برخی از رئوس در چنین درجه‌هایی نقش هاب یا پرارتباط را ایفا می‌کنند. روش امتیازدهی الحاق ترجیحی به دلیل تکیه بر درجات رئوس، در چنین شبکه‌هایی نتایج بهتری حاصل می‌کند. از سوی دیگر، شبکه‌های جهان کوچک که نمونه بارز آن‌ها را می‌توان یک شبکه اجتماعی مانند فیس‌بوک در نظر گرفت، شبکه‌هایی هستند که ویژگی اصلی آن‌ها، تعامل سریع همسایگان هر رأس دلخواه است. بدین معنی که برای رسیدن از هر رأس به هر رأس دلخواه دیگر در شبکه، می‌توان با گذر از تعداد کمی (معمولاً کمتر از ۶ گام) به مقصد رسید (خوزانی و سلیمانی، ۲۰۲۰؛ وانگ و چن^۵، ۲۰۰۳). معمولاً روش آدامیک آدار در چنین شبکه‌هایی نتیجه بهتری را نسبت به سایر روش‌های مبتنی بر همسایگی به دست می‌دهد (گائو و همکاران^۶، ۲۰۱۵؛ لیو و همکاران^۷، ۲۰۱۳).

۲.۲. پیش‌بینی پیوند در حیطه انرژی

پیش‌بینی ارتباطات بالقوه تجاری و اقتصادی با استفاده از الگوریتم‌های مبتنی بر گراف و به ویژه پیش‌بینی پیوند، روشی نسبتاً جدید در پژوهش‌های اقتصادی است و تاکنون در حیطه‌های مختلف مرتبط با انرژی از قبیل نفت خام، گاز طبیعی، کربنات لیتیم و بوکسیت، انجام شده است که همگی این پژوهش‌ها از پیش‌بینی پیوند بدون ناظر مبتنی

-
1. Scale Free
 2. Small World
 3. Barabási
 4. Barabási and Bonabeau
 5. Wang and Chen
 6. Gao et al.
 7. Liu et al.

بر همسایگی استفاده کرده‌اند و در ادامه به هر یک اشاره خواهد شد.

فنگ و همکاران^۱ (۲۰۱۷) برای تجارت گاز مایع، ارتباطات بالقوه نوین تجاری را پیش‌بینی کردند. بر این اساس در پنج سال آینده هند، اسپانیا، هلند و سنگاپور با احتمال بالایی وارد کننده گاز مایع از آمریکا و انگلیس صادر کننده گاز مایع به ژاپن، فرانسه و کره جنوبی خواهد بود. گوان و همکاران^۲ (۲۰۱۶) روابط بالقوه تجاری برای نفت خام را تخمین زدند. آن‌ها از تعداد طرفین معمول تجارت برای هر جفت از کشورها برای یافتن پیوندهای بالقوه کمک گرفتند و بر این اساس روابط آینده را پیش‌بینی کردند.

دونگ^۳ (۲۰۱۹) پیوندهای بالقوه تجارت بین الملل در معاملات بوکسیت را پیش‌بینی کرده‌اند. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که در ۵ تا ۶ سال آینده آمریکا و دانمارک، چین و مجارستان، گینه، هلند، مجارستان و آمریکا، استرالیا و انگلیس به احتمال زیاد روابط تجاری تشکیل خواهند داد. جدیدترین پژوهش در رابطه با پیش‌بینی انرژی، به تجارت کربنات لیتیوم که ماده اصلی در تولید باتری‌های لیتیومی است، پرداخته است (ژانگ و همکاران^۴، ۲۰۲۱). یافته‌های این پژوهش حاکی از آن است که کشورهای آمریکا، دانمارک، ترکیه، ایتالیا، آفریقای جنوبی و هلند محتمل‌ترین کشورهای آتی در تبادل لیتیوم خواهند بود.

نکته مهم در مورد کلیه پژوهش‌های انجام شده در رابطه با استفاده از پیش‌بینی پیوند در حیطه انرژی آن است که همه آن‌ها از الگوریتم‌های پایه مبتنی بر همسایگی پیش‌بینی پیوند برای گراف‌های ساده استفاده کرده‌اند. نقطه ضعف این روش‌ها آن است که به دلیل استفاده از گراف ساده، صرفاً ارتباطات کشورها با هم مدل می‌شود و تنها یک محصول مد نظر است. در حالی که حالت مطلوب این پژوهش، در نظر گرفتن کلیه محصولات رایج پتروشیمی و تعیین کشور صادر یا وارد کننده آن‌ها به صورت مجزا

-
1. Feng et al.
 2. Guan et al.
 3. Dong
 4. Zhang et al.

است. یعنی در عمل یک شبکه دو بخشی کشور-محصول داریم و مدل‌سازی صحیح برای دستیابی به پاسخ مسأله، گراف دوبخشی است.

۲-۳. پژوهش‌های محاسباتی مرتبط با پتروشیمی ایران

گرچه تاکنون در حیطه پیش‌بینی تجارت پتروشیمی در داخل کشور، پژوهشی صورت نگرفته، اما تجارت صنعت پتروشیمی ایران در حیطه‌های مختلف دیگر مورد پژوهش قرار گرفته است که در ادامه به صورت مختصر به جدیدترین آن‌ها پرداخته خواهد شد. عبدی و همکاران (۱۳۹۶) سی کشور هدف صادرات پتروشیمی ایران را بر اساس اولویت‌بندی به روش تاپسیس^۱، دسته‌بندی نمودند. ورهرامی و همکاران (۱۳۹۸) مقایسه اثر سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی بر صادرات محصولات منتخب صنعت پتروشیمی (اوره، پلی اتیلن، متانول، پروپان) مبتنی بر داده‌های مربوط به سال‌های ۱۳۷۶-۱۳۹۵ با روش معادلات رگرسیونی خاص انجام داده است. نتیجه تحقیق نشان می‌دهد که میزان سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی بر صادرات اثر مثبت داشته و اثر آن بر صادرات پلی اتیلن بیشتر از سه محصول دیگر است.

در پژوهشی توسط مرشدی و همکاران (۱۳۹۹) ارزیابی مزیت نسبی صادرات محصولات پتروشیمی با استفاده از هزینه فرصت منابع داخلی برای چهار کدکالایی انتخابی نشان می‌دهد که از سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۰ مزیت نسبی این کالاها کاهش داشته است، اما از ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۶ روند حرکتی مزیت نسبی، افزایشی بوده است.

اخیرا پژوهش شاه‌آبادی و همکاران (۱۳۹۹) مزیت رقابتی صنعت پتروشیمی در کشورهای منتخب منطقه را از نظر تأثیر جهانی شدن و توسعه فضای کارآفرینی بررسی می‌کند. رهیافت مورد استفاده این مقاله داده‌های تابلویی و روش گشتاورهای تعمیم یافته است.

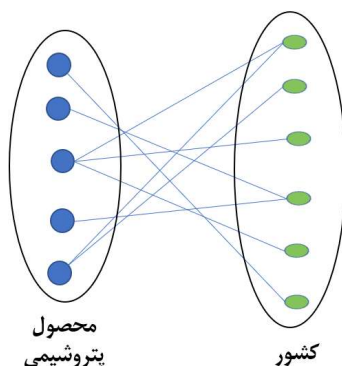
ثاقب (۲۰۲۱) با رویکرد پیچیدگی اقتصادی و فضای محصول، برای تعیین کالاهای با اولویت بالا برای صادرات، ۶۰ گروه کالایی پتروشیمی دارای اولویت تعیین شدند که در حال حاضر تنها در ۱۳ گروه کالایی از آنها، صنعت پتروشیمی ایران دارای اولویت است و نیاز به برنامه‌ریزی و سرمایه‌گذاری برای صادرات باقی گروه‌ها هست.

۳. داده‌ها و روش پژوهش

روش پژوهش مورد استفاده در این مقاله از نوع محاسباتی و بر پایه پیش‌بینی پیوند به عنوان زیر شاخه‌ای از تحلیل گراف است. کلیه محاسبات با زبان برنامه‌نویسی پایتون انجام شد. جمع‌آوری خودکار داده از وبسایت تبادلات تجاری سازمان ملل توسط کتابخانه سلنیوم^۱ و ایجاد شبکه دوبخشی و آمارهای اولیه با کتابخانه نتورک‌ایکس^۲ از زبان پایتون صورت گرفت. اما پیاده‌سازی پیش‌بینی پیوند دوبخشی مستقیماً توسط مؤلفین مقاله انجام شد. از آنجا که پیش‌بینی پیوند برای اولین بار در حیطه تجارت محصولات پتروشیمی مطرح شده است، همانند سایر پژوهش‌های مشابه در زمینه استفاده از پیش‌بینی پیوند در برخی حیطه‌های انرژی، از روش‌های رایج بدون ناظر مبتنی بر همسایگان گره‌ها استفاده شد که پیچیدگی زمانی قابل قبول در مقابل سربار محاسباتی کم دارند (مارتینز^۳، ۲۰۱۶). همچنین گراف مورد استفاده برای مدل‌سازی نیز از نوع دوبخشی لحاظ شد (شکل ۲)، که یک سوی آن کشورها و سوی دیگر محصولات صادراتی یا وارداتی پتروشیمی هستند. چنین گرافی دارای فرمول‌های پیش‌بینی پیوند سفارشی شده مبتنی بر مجاورت از نوع بدون ناظر، برای پوشش صحیح حالت دوبخشی است که در این مقاله از الگوی مورد استفاده در پژوهش بختیاری و همکاران (۲۰۲۰) بهره برده خواهد شد. این گراف همچنین بدون جهت و بدون وزن در

1. Selenium
2. NetworkX
3. Martínez

نظر گرفته شده است.



شکل (۲). نمونه‌ای از شمای کلی گراف دوبخشی مورد استفاده در این پژوهش که تنها ارتباطاتی برای پیش‌بینی مدنظر است که یک سر آن کشور و سر دیگر آن محصول باشد. کشور می‌تواند صادر کننده یا وارد کننده باشد، لذا دو نوع شبکه می‌تواند ایجاد و مورد بررسی قرار گیرد
منبع: یافته‌های پژوهش

داده‌ها از پایگاه داده برخط تبادلات تجاری ثبت شده توسط سازمان ملل^۱، به آدرس <https://comtrade.un.org> تهیه شده است که به صورت رایگان در دسترس است. همچنین لیست محصولات رایج تجارت بین‌المللی پتروشیمی از آمارهای خلاصه محصولات شیمی و پتروشیمی در آدرس <https://chemicals.nic.in/document-report/reports> و جستجو و بررسی‌های مؤلفین مقاله به دست آمده است. به منظور شناسایی یکتای محصولات تجاری پتروشیمی، از کد تعرفه کالا یا HS^۲ بهره برده شده است. بدین ترتیب تعداد کل محصولات مورد بررسی ۶۳ عدد تعیین شد. داده‌های مستخرج شده برای انجام محاسبات به شرح جدول (۲) است که برای ۶۳ کد تعرفه محصولات پتروشیمی در تجارت جهانی، در سال‌های ۲۰۱۷، ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹،

1. UN Comtrade
2. Harmonized System

تعداد کشورهای صادر و وارد کننده به همراه مجموع تعاملات آن‌ها (مجموع کل اقلام صادراتی)، ذکر شده است. تعداد کشورها به ازای ۶۳ کالای انتخابی یکسان نبود و برای برخی کالاها مانند پلیمرهای اتیلن^۱ یا سود سوزآور^۲، کشورهای متعددی در زمره صادر و واردکنندگان بودند.

جدول (۲). آمار کلی تعداد کشورها و مجموع اقلام صادرات و واردات ۶۳ محصول رایج

پتروشیمی در سطح جهانی در سال‌های ۲۰۱۷، ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹

سال	شبکه صادرات		شبکه واردات	
	تعداد کشور	تعداد کل ارتباطات	تعداد کشور	تعداد کل ارتباطات
۲۰۱۷	۱۳۷	۴۳۱۴	۱۵۵	۷۷۵۳
۲۰۱۸	۱۳۸	۴۳۰۹	۱۵۶	۷۷۷۳
۲۰۱۹	۱۲۱	۳۹۸۶	۱۳۰	۶۷۳۱

منبع: یافته‌های پژوهش

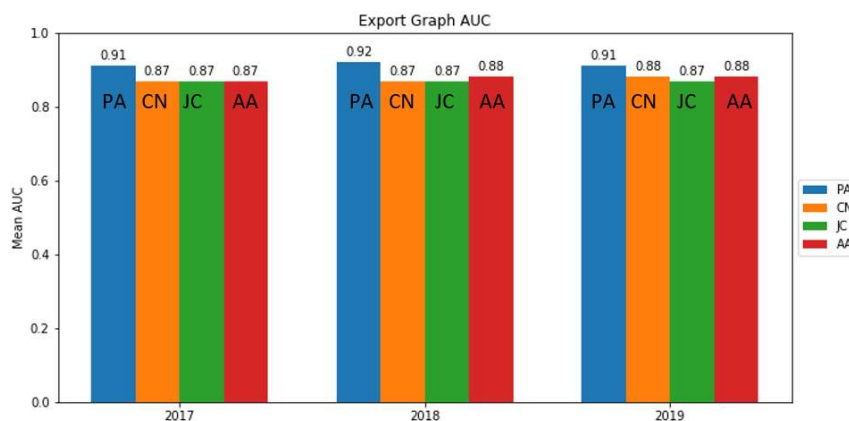
ارزیابی کارایی پیش‌بینی پیوند انجام شده در پژوهش کنونی به دو صورت شکل خواهد گرفت: ۱. ارزیابی از نظر محاسباتی (سطح زیر منحنی یا AUC) که در ادبیات نظری تشریح شد و ۲. ارزیابی از نظر تصدیق نتایج در دنیای واقعی. منظور از ارزیابی مصداقی عملکرد الگوریتم‌های پیش‌بینی پیوند، شمارش تعداد پیش‌بینی‌های صحیح انجام شده از روی هر سال با داشتن داده‌های سال بعد است. بدین معنی که با داشتن داده صادرات ۲۰۱۷، اقدام به پیش‌بینی ارتباطات ۲۰۱۸ خواهیم کرد و سپس درصد موارد واقعی که در ۲۰۱۸ شکل گرفته‌اند را گزارش خواهیم کرد. همین روش برای ارزیابی نتایج پیش‌بینی سال ۲۰۱۹ از روی سال ۲۰۱۸ نیز چه در شبکه صادرات و چه در شبکه واردات انجام خواهد شد. اما با توجه به عدم وجود داده سال ۲۰۲۰ در زمان نگارش این مقاله، امکان بررسی مصداقی این پیش‌بینی وجود ندارد و در واقع، یک

1. Ethylene Polymers
2. Caustic Soda

نوآوری این مقاله پیش‌بینی چنین داده غیر موجود از روی داده موجود سال قبل با روش پیش‌بینی پیوند است.

۴. یافته‌های پژوهش

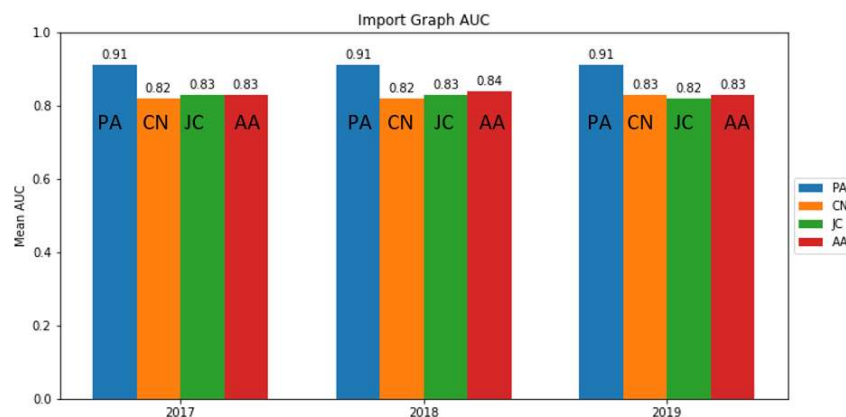
پس از اجرای روش‌های امتیازدهی پیش‌بینی پیوند همسایگان مشترک، تشابه جاکارد، آدامیک/آدار و الحاق ترجیحی به ازای هر یک از شبکه‌های صادرات و واردات در سال‌های ۲۰۱۷، ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹، ابتدا قوی‌ترین روش، دارای بیشترین مقدار سطح زیر منحنی، را از طریق محاسباتی یافتیم و سپس به ازای آن، نسبت به یافتن تعداد مصداق‌های واقعی محقق شده، در ۱۰۰ مورد پیش‌بینی برتر انجام شده، اقدام شد. بر این اساس شکل ۳ حاوی مقدار معیار ارزیابی سطح زیر منحنی به ازای اجرای هر یک از روش‌های پیش‌بینی پیوند اشاره شده در شبکه صادرات و شکل ۴ به ازای همین موارد در شبکه واردات جهانی پتروشیمی است.



شکل (۳). مقادیر معیار ارزیابی سطح زیر منحنی در پیش‌بینی پیوند بین کشورهای صادر

کننده و محصولات پتروشیمی در سطح جهانی در سال‌های ۲۰۱۷، ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹

منبع: یافته‌های پژوهش

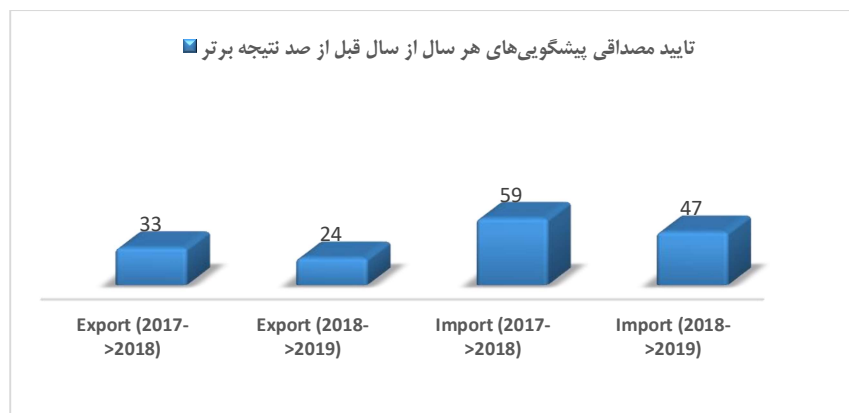


شکل (۴). مقادیر معیار ارزیابی سطح زیر منحنی در پیش‌بینی پیوند بین کشورهای وارد کننده و محصولات پتروشیمی در سطح جهانی در سال‌های ۲۰۱۷، ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹

منبع: یافته‌های پژوهش

واضح است که روش امتیازدهی الحاق ترجیحی در همه موارد صادرات و واردات، بهترین عملکرد را از خود نشان داده است. بدین ترتیب، تصمیم به مقایسه نتایج عملی پیش‌بینی الگوریتم الحاق ترجیحی به ازای هر یک از شبکه‌های صادرات و واردات در سال‌های ۲۰۱۷ تا ۲۰۱۹ گرفته شد. صحت‌سنجی پیش‌بینی‌ها در هر سال برای سال بعد به ازای صد نتیجه برتر صورت گرفت (شکل ۵).

نتایج پیش‌بینی صادرات و واردات در عمل نشان می‌دهد که از صد پیش‌بینی انجام شده برای صادرات محصولات پتروشیمی در سطح جهانی بر مبنای داده‌های سال ۲۰۱۷، ۳۳ مورد در سال ۲۰۱۸ محقق شده است و این آمار برای سال ۲۰۱۹ به ازای داده‌های سال ۲۰۱۸، نزدیک به یک چهارم کل پیش‌بینی‌هاست. همچنین وضعیت پیش‌بینی درباره واردات بهتر است و آمارهای محقق شده در دنیای واقعی تجارت واردات محصولات پتروشیمی بر اساس داده‌های سال ۲۰۱۷، در سال ۲۰۱۸، ۵۹ مورد و برای سال ۲۰۱۹ نسبت به سال ۲۰۱۸، نزدیک به نصف است.



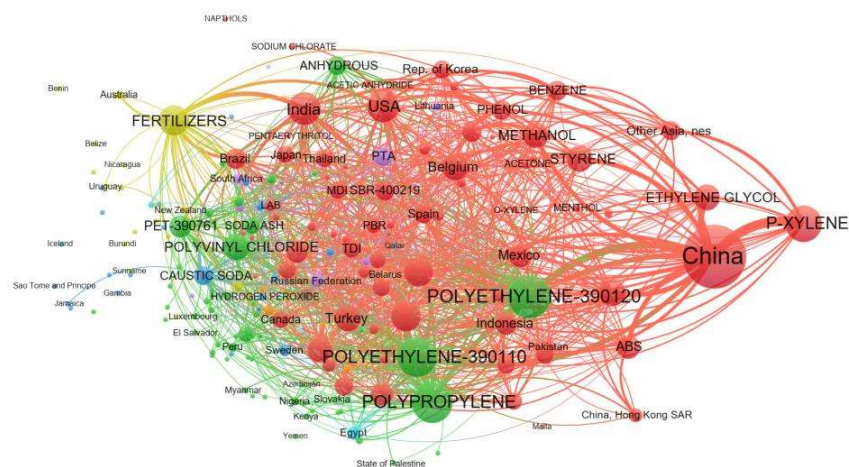
شکل (۵). تعداد نتایج محقق شده از صد پیش‌بینی صادرات و واردات سال ۲۰۱۸ بر مبنای داده سال ۲۰۱۷ و سال ۲۰۱۹ بر اساس داده سال ۲۰۱۸ توسط الگوریتم‌های پیش‌بینی پیوند

منبع: یافته‌های پژوهش

دلایل مختلفی در تشریح میزان تحقق پیش‌بینی‌ها وجود دارد که ناشی از شناخت الگوریتم‌ها و تجربیات و تحلیل‌های پیشین در زمینه پیش‌بینی پیوند است. اولین دلیل عدم وجود دقت کامل به دلیل عدم دسترسی به کل داده واقعی در عمل است. تعدادی از کشورها از جمله ایران، به دلایلی مانند تحریم یا عدم روند اداری دقیق، ممکن است آمار صحیح و به هنگامی ارائه ندهند و این خود سبب وجود خطا در داده و کاهش قدرت پیش‌بینی شود.

همچنین دقت الگوریتم‌های پیش‌بینی پیوند مبتنی بر اطلاعات همسایگان، به اطلاعات موجود یا به بیان دقیق‌تر، تراکم ارتباطات در شبکه وابستگی دارند. به عبارت دیگر، هرچه اطلاعات از همسایگان و ارتباطات در شبکه بیشتر باشد، دقت نتایج پیش‌بینی پیوند نیز بالاتر خواهد رفت. تعداد ارتباطات موجود در شبکه‌های مورد بررسی نسبت به تعداد کل ارتباطات ممکن، در شبکه‌های صادرات، نزدیک به ۵۰ درصد و در شبکه‌های واردات نزدیک ۸۰ درصد است. بدین ترتیب، نتیجه محاسبات در شبکه‌های واردات بهتر بوده است.

با توجه به غالب بودن کارایی روش الحاق ترجیحی، شواهد حاکی از دارا بودن ماهیت مقیاس آزاد در شبکه‌های صادرات و واردات محصولات پتروشیمی در سطح جهانی است و البته مطالعات متعددی نیز خاصیت مقیاس آزاد برای شبکه‌های تجارت جهانی را تایید می‌کنند (باسکاران^۱ و برووک^۲، ۲۰۰۵؛ لیو و همکاران، ۲۰۲۱). اگر نمای کلی از شبکه با حضور تمامی کالاها و کشورها را به تصویر بکشیم، علیرغم تراکم گره‌ها، حضور گره‌های هاب مانند کشورهای چین، آمریکا و هند یا محصولاتی مانند پلی‌اتیلن به وضوح مشخص است. به عنوان مثال، شکل ۶، به ازای کشورها و محصولات وارداتی در سال ۲۰۱۹ ترسیم شده است.



شکل (۶). تصویری از شبکه جهانی واردات پتروشیمی در سال ۲۰۱۹ مشتمل بر کشورها و محصولات

منبع: یافته‌های پژوهش

در نهایت لازم به ذکر است که برخی پیش‌بینی‌ها ممکن است بلافاصله در سال بعد محقق نشوند و دو یا سه سال بعد به وقوع بپیوندند. بنابراین با لحاظ کردن آن‌ها

1. Baskaran
2. Brück

می‌توان به درصد بیشتری از تحقق دست یافت که ما با رویکرد بدبینانه فقط پنجره یک سال آتی را در نظر گرفتیم که آستانه کمینه تحقق‌ها را بتوانیم با اطمینان بیشتری پیشنهاد دهیم.

برای درک بیشتر و استفاده احتمالی از یافته‌های پژوهش و به منظور اختصار، ده پیش‌بینی برتر صادرات و واردات سال ۲۰۲۰، که در زمان انجام این پژوهش، هنوز داده‌های آن در وبسایت جهانی تبادلات تجاری ثبت شده توسط سازمان ملل ثبت نشده است، به شرح جدول ۳ آمده است و بر اساس شرح بیان شده، انتظار می‌رود که تحقق دستکم یک چهارم برای صادرات و نصف برای واردات را در پی داشته باشد.

جدول (۳). ده پیش‌بینی برتر صادرات و واردات جهانی محصولات پتروشیمی همراه با کشور مربوطه برای سال ۲۰۲۰ از روی داده‌های سال ۲۰۱۹

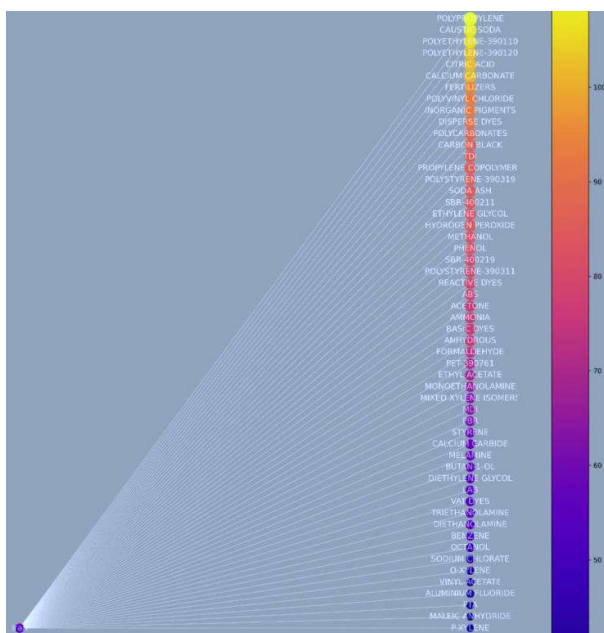
پیش‌بینی‌های برتر صادرات پس از ۲۰۱۹		پیش‌بینی‌های برتر واردات پس از ۲۰۱۹	
کشور	کد محصول	کشور	کد محصول
استرالیا	۳۹۰۱۱۰	اسپانیا	۲۹۱۴۱۱
استرالیا	۳۹۰۱۲۰	اسلوونی	۲۹۰۵۱۱
لهستان	۳۹۰۷۶۹	اسلوونی	۲۹۱۲۱۱
انگلستان	۳۹۰۷۶۹	استرالیا	۲۸۴۷
کانادا	۲۹۱۱۸۴	آرژانتین	۲۸۱۴۱۰
اتریش	۲۹۱۱۸۴	استرالیا	۲۹۰۵۱۱
اسلوونی	۲۹۰۵۱۱	نروژ	۳۱۰۲۱۰
انگلستان	۲۸۳۶۲۰	فنلاند	۲۸۱۴۱۰
آلمان	۳۹۰۷۴۰	نروژ	۲۹۰۵۱۱
اسلوونی	۲۸۴۷	قبرس	۲۸۴۹۱۰

منبع: یافته‌های پژوهش

۴-۱. بررسی جایگاه ایران

گرچه در سال‌های اخیر، بخش‌هایی از صنعت پتروشیمی ایران، تحت تحریم بوده است، اما آمارهای مربوط به سال‌های ۲۰۱۷ و ۲۰۱۸ در وبسایت جهانی تبادلات تجاری ثبت

شده توسط سازمان ملل وجود داشت و تا تاریخ تهیه این پژوهش، آماری برای سال ۲۰۱۹ تجارت پتروشیمی ایران ثبت نشده بود. به عنوان مثال، تعداد اقلام صادراتی ثبت شده برای ایران در وبسایت مذکور در سال ۲۰۱۸، ۵۴ مورد است که محصول پلی‌اتیلن با کد تعرفه برابر با ۳۹۰۱۱۰، توسط ۱۰۵ کشور دیگر در همان سال صادر شده است در حالی که زایلن‌پی با کد تعرفه معادل با ۲۹۰۲۴۳، تنها توسط ۳۵ کشور رقیب، در همان سال صادر شده است (شکل ۷).



شکل (۷). محصولات صادراتی پتروشیمی ایران به همراه تعداد رقبای جهانی (طیف رنگی سمت راست) در سال ۲۰۱۸. رنگ روشن‌تر نشان‌دهنده محصولات با تعداد صادرکننده بیشتر است.

منبع: یافته‌های پژوهش

کل پیش‌بینی‌های انجام شده برای صادرات سال ۲۰۱۸ ایران از روی داده‌های سال قبل به ۱۴ عدد می‌رسد که در عمل ۳ مورد از آن در ۱۰۰ پیش‌بینی برتر جهانی جای

دارند. همچنین پیش‌بینی‌های سال ۲۰۱۹ ایران، از روی داده‌های سال قبل به ۹ عدد می‌رسد که عملاً سه مورد آن در ۱۰۰ پیش‌بینی برتر جهانی قرار گرفته‌اند. این بدان معنی است که ایران در محاسبات جهانی محتمل‌ترین ارتباطات تجاری پتروشیمی، برمبنای داده‌های سازمان ملل، جایگاه قوی ندارد. این موضوع عمدتاً به فقدان وجود داده‌های ثبت شده مرتبط با ایران برمی‌گردد. محصولات پت-۳۹۰۷۶۹، منتول^۲، مک^۳، پنتریتریتول^۴، استیک انیدرید^۵، استالدهید^۶ و متیل بروماید^۷ در هر دو سال جزو گزینه‌های پیشنهادی برای صادرات هستند و می‌توانند مورد بررسی دقیق‌تر و پتانسیل‌سنجی قرار گیرند (جدول ۴). مطالعات پیشین، تنها حاکی از حضور پنتریتریتول در سبد صادرات پتروشیمی ایران در سال‌های قبل هستند (ثاقب، ۱۳۹۹).

جدول (۴). محتمل‌ترین پیش‌بینی‌های محصولات صادراتی ایران براساس داده‌های وبسایت

جهانی تبادلات تجاری ثبت شده توسط سازمان ملل

پیش‌بینی صادرات جهانی پتروشیمی ایران			
پیش‌بینی سال ۲۰۱۸ از روی داده ۲۰۱۷		پیش‌بینی سال ۲۰۱۹ از روی داده ۲۰۱۸	
رتبه	محصول	رتبه	محصول
پیش‌بینی		پیش‌بینی	
۱۵	پت-۳۹۰۷۶۹	۴۰	استون
۲۸	منتول	۵۴	پت-۳۹۰۷۶۹
۶۸	مک	۶۱	منتول
۵۲۰	پنتریتریتول	۱۲۲	مک
۵۲۱	اکسی کلور مس	۲۱۹	بوتان-۱-ال
۵۶۱	ناپتول	۴۶۶	سدیم کلرات
۵۶۲	استالدهید	۴۶۷	اکسی کلور مس
۷۵۷	استیک انیدرید	۵۴۱	اورتو زایلین

1. PET-390769
2. Menthol
3. MEK
4. Pentaerythritol
5. Acetic Anhydride
6. Acetaldehyde
7. Methyl Bromide

۳۰۱۹	متیل برماید	۶۱۵	آلومینیوم فلورید
		۷۴۱	ناپتول
		۷۴۲	پنتریتریتول
		۸۰۴	استیک انیدرید
		۹۱۷	استالدهید
		۲۱۸۴	متیل برماید

منبع: یافته‌های پژوهش

به همین ترتیب لیست پیش‌بینی واردات جهانی محصولات پتروشیمی ایران نیز آن‌طور که انتظار می‌رود از لیست پیش‌بینی صادرات کوچکتر است، زیرا که ایران عمدتاً در رابطه با پتروشیمی، نقش صادر کننده را ایفا می‌کند. پیش‌بینی‌های کلیدی حیطه واردات نیز محدود به دو مورد برای سال ۲۰۱۸ و چهار مورد برای سال ۲۰۱۹ است که در ۱۰۰ پیش‌بینی جهانی واردات قرار می‌گیرند و تنها محصول آنهیدروس^۱ برای هر دو سال تکرار شده است (جدول ۵) و طبعاً به دلیل تمرکز پژوهش‌های پیشین بر صادرات ایران، در هیچ پژوهشی یافت نشد.

جدول (۵). محتمل‌ترین پیش‌بینی‌های محصولات پتروشیمی وارداتی ایران براساس داده‌های وبسایت جهانی تبادلات تجاری ثبت شده توسط سازمان ملل

پیش‌بینی واردات جهانی پتروشیمی ایران			
پیش‌بینی سال ۲۰۱۸ از روی داده ۲۰۱۷		پیش‌بینی سال ۲۰۱۹ از روی داده ۲۰۱۸	
رتبه	محصول	رتبه	محصول
۱۰	آنهیدروس	۱۱	آنهیدروس
۸۸	استیک انیدرید	۱۲	کلسیم کاربید
۳۸۳	اکسی کلور مس	۲۷	دی‌اتیلن گلیکول
۵۵۸	پارا زایلین	۶۱	اورتو زایلین
۱۶۶۹	متیل برماید	۲۵۳	استیک انیدرید
		۴۸۵	پارا زایلین

منبع: یافته‌های پژوهش

1. Anhydrous

محتمل‌ترین پیشنهاد برای صادرات پتروشیمی ایران در سال آتی، بر اساس جدول ۴ که پیش‌بینی‌های صادرات ایران، و جدول ۳ که پیش‌بینی کشورها و محصولات برتر وارداتی در سطح جهان پس از سال ۲۰۱۹ را نشان می‌دهد بدین شرح است: ایران مستعد صادر کردن محصول استون با کد ۲۹۱۴۱۱ به کشور اسپانیا در آینده است. چنین پیش‌بینی البته تحت تاثیر صحت ثبت صادرات ایران و واردات اسپانیا، تغییرات بازار جهانی به واسطه همه‌گیری کرونا و محدودیت اسپانیا به دلیل تحریم‌های مرتبط با صنعت پتروشیمی ایران است. در عین حال مطالعات پیشین، صادرات ایران به اسپانیا را در یافته‌های خود ثبت کرده‌اند (عبدی و همکاران، ۱۳۹۶). همچنین اسپانیا یکی از شرکای تجاری مهم ایران محسوب می‌شود که در سال ۲۰۱۸، ایران دومین کشور صادر کننده به اسپانیا بعد از عربستان سعودی در خاورمیانه بوده است (معاونت دیپلماسی اقتصادی وزارت امور خارجه، ۱۳۹۸). اما تحریم‌ها و تشدید آن‌ها به صنعت پتروشیمی، اثر منفی بر صادرات ایران به اسپانیا داشته است (ورهرامی و همکاران، ۱۳۹۷).

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در این پژوهش داده‌های تجارت جهانی پتروشیمی در سال‌های ۲۰۱۷-۲۰۱۹ با الگوسازی خاصی از شبکه به نام گراف، مدل شد و از یک روش محاسباتی مبتنی بر تحلیل شبکه، به نام پیش‌بینی پیوند، برای یافتن ارتباطات آتی کشور-محصول در دو زمینه صادرات و واردات استفاده شد و همین پیش‌بینی‌ها در مقیاس کوچک‌تر برای ایران، بررسی گردید. همچنین اثبات کیفیت نتایج به دو روش محاسباتی و تطبیق با داده‌های موجود انجام شد.

دسترسی آسان و ارزان به مواد اولیه مورد نیاز پتروشیمی، بازار بزرگ داخلی و نیروی کار ماهر، از نقاط قوت ایران در حوزه پتروشیمی است، در حالی که تحریم‌های طولانی مدت، جاماندن از رقبای منطقه‌ای در سرمایه‌گذاری‌های مشترک و کمبود

دسترسی به فناوری‌های خارجی، از نقاط ضعف ایران در حوزه پتروشیمی است (راهکارهای فیچ^۱، ۲۰۲۰). لذا اطلاع از صادرکنندگان یا وارد کنندگان آتی در این زمینه می‌تواند کمک شایانی به سیاستگذاری تجاری آینده‌نگر به ویژه برای ایران باشد. زیرا با شناخت مشتریان و رقبای احتمالی، با تنظیم صحیح ارتباطات بین‌المللی، می‌توان گام‌های مؤثری در زمینه سودآوری بیشتر برداشت. این امر همچنین می‌تواند ریسک وابستگی را برای مشتریان وارد کننده محصولات خاص صنعت پتروشیمی نیز کاهش دهد و به یافتن مراجع جایگزین برای واردات کمک کند. مؤید دیگر بر بهره‌گیری از امکانات محاسباتی پیشگویی و تایید یافته‌های این پژوهش آن است که ثاقب (۱۳۹۹) یکی از مشکلات تجارت پتروشیمی ایران را عدم توجه به متنوع‌سازی و صرفاً تمرکز بر تعداد اندکی محصول می‌داند. در حالی که پیش‌بینی‌های صادرات ایران در این پژوهش، اغلب (جز یک مورد) به محصولات مختلف مطرح نشده اشاره می‌کنند. تشدید تحریم‌ها سبب کاهش صادرات بخشی از محصولات پتروشیمی به اروپا شد (ورهرامی و همکاران، ۱۳۹۷). با فراگیر شدن بیماری کرونا، کاهش رشد تقاضا برای محصولات پتروشیمی، تمام کشورهای صادر کننده از جمله ایران را تحت تأثیر قرار داد. تقاضا برای همه محصولات پتروشیمی، کاهش مشابه نداشت، بلکه مواد مصرفی در صنعت خودرو و ساخت و ساز، درخواست کمتر داشتند در حالی که تقاضا در حوزه مواد مصرفی بسته‌بندی (به ویژه در صنایع غذایی، بهداشتی و پزشکی) یا محصولات پلی‌اتیلنی، همچنان قوی بود (اتاق بازرگانی صنایع و معادن تهران، ۱۴۰۰). لحاظ کردن این نکته نیز برای بررسی و سیاستگذاری بهتر برای دوران پسا کرونا، خالی از اهمیت نیست.

یک ابهام در نتایج پیش‌بینی پیوند این پژوهش شاید این باشد که چرا کشورهایی مانند آمریکا و چین در نتایج ظاهر نمی‌شوند حال آنکه نقش مهمی در صادرات و واردات محصولات پتروشیمی در سطح جهانی ایفا می‌کنند. پاسخ آن است که بر اساس

بررسی انجام شده در داده‌های مستخرج شده، این دو کشور تقریباً به اکثر کشورهای دیگر هم صادرات و هم واردات دارند و لذا در عمل، از نظر محاسباتی جایی برای پیش‌بینی آن‌ها باقی نمی‌ماند.

برای بهبود محاسباتی نتایج می‌توان از الگوریتم‌های پیشرفته و قوی‌تر، مانند روش‌های مبتنی بر مسیر^۱، یا روش‌های با ناظر مبتنی بر یادگیری ماشین که جزئیات بیشتری از شبکه را در محاسبات خود لحاظ می‌کنند، استفاده نمود، هرچند که پیچیدگی محاسباتی و زمان اجرای بیشتری با خود به همراه دارند.

یک توسعه آتی برای این پژوهش می‌تواند پیش‌بینی ارتباطات صادرات و وارداتی باشد که در آینده حذف خواهند شد و اطلاع ارزشمندی باشد برای کشورهای همکار آن‌ها در جهت جبران روابط در حال تضعیف یا حذف. الگوریتم‌های پیش‌بینی پیوند منفی نیز به تازگی مورد بررسی بیشتر قرار گرفته‌اند و کارایی آن‌ها نیز مورد آزمون قرار گرفته است. منظور از پیش‌بینی پیوند منفی، یافتن ارتباطات محتمل برای حذف یا محو از شبکه در آینده است (سلیمانی و همکاران، ۲۰۱۸). همچنین می‌توان با روش‌های محاسباتی به دنبال پیش‌بینی میزان صادرات یا واردات محصولات پتروشیمی، علاوه بر تعیین کشور و محصول وارد یا صادرکننده بود که در این صورت باید مدل‌سازی شبکه را از گراف بدون وزن دوبخشی به گراف وزن‌دار دوبخشی تغییر داد و فرمول‌های پیشگویی پیوند وزن‌دار خاص شبکه دوبخشی را عرضه و پیاده‌سازی نمود. علاوه بر آن برای افزایش دقت پیش‌بینی می‌توان شبکه مجزای کشورها را بر حسب کشورهای شریک تجاری کشورهای اظهارکننده، تشکیل داد و از اطلاعات اضافی ایجاد شده برای پوشش داده‌های از قلم افتاده بهره برد.

منابع:

- Abdi, S., Basiri, A., Soleimani, Y., & Peighami, A. (2018). The Critique

- and Review of the Export of Petrochemical Products in the Framework of the Thirteenth Chapter of the General Policies of the Resistance Economy. *Critical Research Journal of Humanities Texts and Programs*, 17(9), 157-184 (In Persian).
- Bakhtiari, S., Sulaimany, S., Talebi, M., & Kalhor, K. (2020). Computational Prediction of Probable Single Nucleotide Polymorphism-Cancer Relationships. *Cancer Informatics*, 19. <https://doi.org/10.1177/1176935120942216>
 - Barabási, A.-L. (2009). Scale-free networks: a decade and beyond. *Science*, 325(5939), 412–413.
 - Baskaran, T., & Brück, T. (2005). *Scale-free networks in international trade*. DIW Discussion Papers.
 - Clews, R. (2016). *Project finance for the international petroleum industry*. Academic Press.
 - Daminelli, S., Thomas, J. M., Durán, C., & Cannistraci, C. V. (2015). Common neighbours and the local-community-paradigm for topological link prediction in bipartite networks. *New Journal of Physics*, 17(11), 113037.
 - Dong, Z. (2019). Who will trade bauxite with whom? Finding potential links through link prediction. *Resources Policy*, 63, 101417.
 - Esmaeeli, M. (2019). *Petroleum and Petrochemical Industry Investigation In Iran*. https://www.middleeastbank.ir/uploads/refineries_and_petrochemicals_98-08.pdf (In Persian).
 - Esamaelipour, E., & Garshasbi, A. (2016). Challenge Identification and Development Methods Presentation in Exchange Financial Operation View. *Business Investigations*, 14(80), 14–30 (In Persian).
 - Feng, S., Li, H., Qi, Y., Guan, Q., & Wen, S. (2017). Who will build new trade relations? Finding potential relations in international liquefied natural gas trade. *Energy*, 141, 1226–1238.
 - Fitch Solution. (2020). *Iran Petrochemical Report. Q1 2021*. <http://mccima.ir/wp-content/uploads/2021/04/گزارش-پتروشیمی-ایران.pdf> (In Persian)
 - Gao, F., Musial, K., Cooper, C., & Tsoka, S. (2015). Link prediction methods and their accuracy for different social networks and network metrics. *Scientific Programming*, 31, 3-17.
 - Guan, Q., An, H., Gao, X., Huang, S., & Li, H. (2016). Estimating potential trade links in the international crude oil trade: A link prediction approach. *Energy*, 102, 406–415.
 - Iran Ministry of Foreign Affairs. (2019). *Latest Iran and Spain Trade Relationship* (In Persian)
 - *IRICA Annual Report*. (2018). https://irica.gov.ir/file_manager/1396005/1396005.htm (In Persian).
 - Khouzani, M. K., & Sulaimany, S. (2020). Identification of the effects of

- the existing network properties on the performance of current community detection methods. *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*. <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2020.04.007> (In Press).
- Kumar, A., Singh, S. S., Singh, K., & Biswas, B. (2020). Link Prediction Techniques, Applications, and Performance: A Survey. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 553, 124289.
 - Liben-Nowell, D., & Kleinberg, J. (2007). The link-prediction problem for social networks. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 58(7), 1019–1031.
 - Liu, H., Hu, Z., Haddadi, H., & Tian, H. (2013). Hidden link prediction based on node centrality and weak ties. *EPL (Europhysics Letters)*, 101(1), 18004.
 - Liu, L., Shen, M., & Tan, C. (2021). Scale free is not rare in international trade networks. *Scientific Reports*, 11(1), 1–8.
 - Lü, L., & Zhou, T. (2011). Link prediction in complex networks: A survey. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 390(6), 1150–1170.
 - Martínez, V., Berzal, F., & Cubero, J. C. (2016). A survey of link prediction in complex networks. *ACM Computing Surveys*, 49(4), 1-33.
 - Morshedi, S., Nonnejad, M., Ebrahimi, M., & Haghighat, A. (2020). Assess the comparative advantage of exporting chemical and petrochemical products using the opportunity cost of domestic resources. *New Economy and Trad*, 15(2), 141–179 (In Persian).
 - Sagheb, H. (2021). Identifying the Sources of Chemical Export Diversification: Application of Economic complexity and product space. *Quarterly Journal of Industrial Economic Researches*, 4(12), 35–56 (In Persian).
 - Shahabadi, A., Khoshtinat, B., & Piry, M. A. (2020). The Effect of Globalization and Development of Entrepreneurial Space on Competitive Advantage of Petrochemical Industry in Selected Countries. *Quarterly Journal of Industrial Economic Researches*, 4(11), 11–24 (In Persian).
 - Sulaimany, S., Khansari, M., & Masoudi-Nejad, A. (2018). Link prediction potentials for biological networks. *International Journal of Data Mining and Bioinformatics*, 20(2), 24.
 - Sulaimany, S., Khansari, M., Zarrineh, P., Daianu, M., Jahanshad, N., Thompson, P. M., & Masoudi-Nejad, A. (2017). Predicting brain network changes in Alzheimer's disease with link prediction algorithms. *Molecular BioSystems*, 13(4), 725–735.
 - TCCIM Economic Research Department. (2021). *Covid-19 effects on Worldwide Petrochemical Industry*. <https://tccim.ir/Images/Docs/1423.pdf> (In Persian).
 - *The Future of Petrochemicals – Analysis - IEA*. (n.d.). Retrieved March 26, 2021, from <https://www.iea.org/reports/the-future-of-petrochemicals>

- Varahrami, V., Arabmazar, A., & Hamzeh, F. (2020). Assessing the Effect of Foreign Direct Investment on Export of Selective Petrochemical Products (Urea, Polyethylene, Methanol and Propane). *Quarterly Energy Economics Review*, 15(63), 99-139 (In Persian).
- Varahrami, V., Dargahi, H., & Beyranvand, F. (2018). The Impacts of Privatization on Petrochemical Exports (the Case of Polyethylene). *Journal of Economics and Modeling*, 9(2), 101–124 (In Persian).
- Wang, X. F., & Chen, G. (2003). Complex networks: small-world, scale-free and beyond. *IEEE Circuits and Systems Magazine*, 3(1), 6–20.
- Zhang, Y., Dong, Z., Liu, S., Jiang, P., Zhang, C., & Ding, C. (2021). Forecast of International Trade of Lithium Carbonate Products in Importing Countries and Small-Scale Exporting Countries. *Sustainability*, 13(3), 12-51.

Prediction of Global Petrochemical Product Trade and Determining the Position of Iran: The Network Approach

Sara Mohammadi*
Mojtaba Almasi (Ph.D)**
Kiomars Soheili (Ph.D)**
Sadegh Sulaimany (Ph.D)****

Received:
04/09/2021

Accepted:
22/12/2021

Abstract

Petrochemical industry has important role in creating value added for gas and oil resources, especially for Iran. Predicting import and export countries plus the trade product type, is a great aid for the industry stakeholders for optimal trade planning. Besides, computational methods of social networks, has been used in several applications and different areas. The aim of this paper is using network analysis methods for the first time for global petrochemical product's trade. Data extracted and preprocessed from UN website of commercial trade, for popular petrochemical products from 2017 to 2019. Also, link prediction methods utilized for predicting next year trade relations, each year based on the previous one. Evaluation was done using two methods; computational approach, and validating the results with available data. The best performance method with more than 90% percent of AUC, was Preferential Attachment, and comparing the results with real data performed accordingly. Based on findings, the most promising countries for import was Spain, Slovenia, Australia, Norway and Argentina, and most feasible relation for Iran is exporting ACETONE to Spain. Finally, the methods to increase the performance of the predictions were proposed.

Keywords: *Petrochemical, Link Prediction, Network Analysis, Trade.*

JEL Classification: *D85, F10, L78.*

* Ph.D. Candidate in Economics, Faculty of Social Sciences and Education, Razi University, Kermanshah, Iran, Email: mohamadi.sara@razi.ac.ir

** Associate Professor of Economics, Faculty of Social Sciences and Education, Razi University, Kermanshah, Iran, (Corresponding Author), Email: mojtabaalmasi@razi.ac.ir

*** Associate Professor of Economics, Faculty of Social Sciences and Education, Razi University, Kermanshah, Iran, Email: ksohaili@razi.ac.ir

**** Assistant Professor of Computer Sciences, Faculty of Engineering, University of Kurdistan, Sananadaj, Iran, Email: S.Sulaimany@uok.ac.ir