«مجله علمی علوم و فنون سازندگی»

سال اول، شماره ۱، پاییز ۱۳۹۹، صفحه ۵۱ الی ۶۴

علمی– تخصصی

نگاهی به صنعت فسفات در جهان و فرصت‌های ایران در توسعه زنجیره ارزش این ماده معدنی

مهدی داودپور[1]*

دکتری مهندسی شیمی دانشگاه تهران

(دریافت: ۱۳۹۹۰/۰۶/۱۵، پذیرش: ۱۳۹۹/۰۸/۲۸)

چکیده

زنجیره ارزش سنگ فسفات، اگرچه از حیث تعداد، کاربردهای زیادی را در بر می‌گیرد ولیکن از حیث حجم تولید توسط بازار کودهای شیمیایی هدایت می‌گردد. تقریباً ۹۰% سنگ فسفات تولیدی در جهان به مصرف تولید کودهای شیمیایی می‌رسد. مهم‌ترین و پرکاربردترین محصول نهایی در زنجیره ارزش فسفات کودهای آمونیوم فسفاتی هستند که از واکنش اسید فسفریک و آمونیاک در واحدهای پتروشیمی تولید می‌گردند. صنعت کودهای شیمیایی ترکیبی به طور مستقیم وابسته به توسعه یافتگی صنایع معدنی و پتروشیمی و دسترسی به مواد اولیه این صنایع می‌باشد. ایران با توسعه پتروشیمی‌های اوره و آمونیاک توانسته است با صادرات حدود ۰/۵ میلیارد دلاری، جایگاه نسبتاً مناسبی در بازار ۱۳ میلیارد دلاری اوره به‌عنوان مهم‌ترین کود نیتروژنه داشته باشد، با این حال توسعه نیافتگی صنعت فسفات در ایران سبب شده است سهمی از بازار ۲۵ میلیارد دلاری کودهای ترکیبی نداشته باشد. این درحالی است که بازار هند به‌عنوان بزرگ‌ترین وارد کننده کودهای شیمیایی ترکیبی در دسترس ایران می‌باشد. انرژی گازی ارزان قیمت، فراوانی گوگرد (به‌عنوان ماده اولیه تولید اسید سولفوریک) و تولید بالای آمونیاک در کشور، مزایای رقابتی ایران در تولید کودهای شیمیایی ترکیبی می‌باشند. تخمین‌ها حاکی از آن است که ایران برای خودکفایی در تولید اسید فسفریک و کودهای شیمیایی خود نیاز به ۵۰۰ هزار تن واردات سنگ فسفات بیش از مقدار کنونی داشته و در صورت حرکت برای تصاحب حداقل ۵٪ از سهم بازار کودهای شیمیایی کشور هند، نیاز به ۶۰۰ هزار تن سنگ فسفات دیگر نیز خواهد داشت.

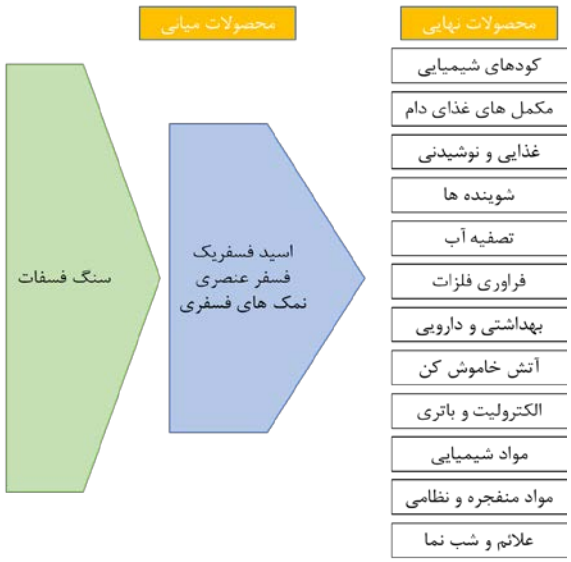
کلیدواژه ها: فسفات، سنگ فسفات، اسید فسفریک، کودهای شیمیایی، دی‌آمونیوم فسفات، بازار کود

۱. مقدمه

فسفات ترکیبی از اکسیژن و فسفر در شکل‌های PO4 و P2O5 می‌باشد که از سنگ‌های فسفاته استخراج می‌گردد. این سنگ‌ها که در معادن در امتداد رسوبات آهکی و رسی وجود دارند، اغلب به شکل‌های فلئورآپاتایت(Ca5(PO4)3F) و هیدروکسی آپاتایت (Ca5(PO4)3OH)به دست می‌آیند. تنها منبع استحصال فسفات همین سنگ‌های فسفاته می‌باشند و به همین علت فسفات جزء منابع تجدید ناپذیر، طبقه بندی می‌گردد. فسفات از جمله مواد مورد نیاز برای هر سلول زنده گیاهی و جانوری بوده و از این رو در کشاورزی، دامداری و صنایع غذایی کاربرد فراوان دارد. در حدود ۹۰ % فسفات تولید شده در جهان برای تولید کودهای کشاورزی استفاده می‌گردد، در حدود ۵% به مصرف تولید مکمل‌های غذایی دام می‌رسد و ۵ % باقیمانده در صنایع مختلف شیمیایی مورد استفاده قرار می‌گیرد[۱]. زنجیره ارزش فسفات اگرچه از حیث حجم مصرف، بیش‌تر معطوف به کودهای شیمیایی می‌باشد. با این حال محصولات و صنایع متنوعی را از جمله فرآوری سطحی فلزات، تصفیه آب، صنایع غذایی و دارویی، صنایع شویند، مواد شیمیایی، مواد منفجره و... را در بر می‌گیرد. شکل ۱ به اختصار زمینه‌های مختلف استفاده از فسفات را نشان می‌دهد. سنگ فسفات برای تبدیل به سایر محصولات، ابتدا باید طی فرآوری شیمیایی به اسید فسفریک، فسفر عنصری یا در برخی کاربردها به طور مستقیم به نمک‌های کلری و... تبدیل شود. در این بین، اسید فسفریک با سهم بالای ۸۰ درصدی را می‌توان مهم‌ترین ماده حد واسط در زنجیره فسفات نام برد و صنایع تکمیلی فسفات به طور مستقیم به میزان

[1] نویسنده پاسخگو: davoodpour_m@sepanir.com

تولید اسید فسفریک وابسته هستند. در این گزارش، ابتدا دور نمایی از صنعت فسفات و صنایع تکمیلی این صنعت با تمرکز بر اسید فسفریک و کودهای شیمیایی به ترتیب به‌عنوان پرکاربردترین ماده حد واسط این صنعت و پرکاربردترین مصرف فسفات در دنیا ارائه می‌گردد. و سپس حجم بازار این صنعت و فرصت‌های پیش روی کشور ایران برای ارزش آفرینی در این بازار مورد بررسی قرار می‌گیرند. در پایان راه کارهای موجود برای افزایش سهم ایران از این بازار به همراه پیشنهادهای مطالعه ارائه می‌گردند.



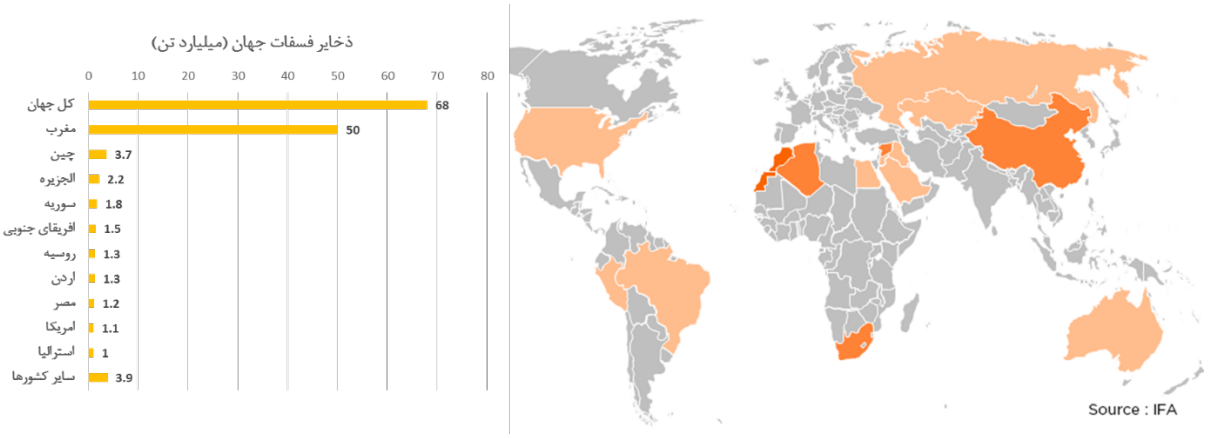
شکل(۱). محصولات میانی و نهایی شاخص در زنجیره ارزش سنگ فسفات (بر اساس اطلاعات برگرفته از [۱و۳])

۲. مبانی مطالعه

۲-۱. منابع فسفات در جهان

سنگ فسفات به تمام کانی‌هایی اطلاق می‌گردد که از میزان پایین تا میزان بالا (در حدود ۳۵ درصدی ماده مؤثر فسفات (P_2O_5)) در ساختار خود دارند. در طی فرآیند خالص سازی، غلظت فسفات در سنگ فسفات تا مقادیر ۲۷% تا ۴۰% افزایش می‌یابد و سنگ فسفات را به یک محصول قابل عرضه به بازار تبدیل می‌کند [۳]. سنگ فسفات منبع اصلی مواد شیمیایی حاوی فسفر بوده و برای تولید کودهای شیمیایی و سایر مواد شیمیایی پایه فسفر به کار می‌رود.

اگرچه پراکندگی فسفات در پوسته زمین بالاست با این وجود مناطق محدودی دارای معادنی با مقادیر بالای فسفات می‌باشند که استخراج این ماده معدنی را اقتصادی کند. در شکل(۲) به‌طور پراکنده مناطق مهم استخراج فسفات به همراه ذخایر کشورهای غنی از حیث فسفات نشان داده شده است.



شکل(۲). سهم کشورها در ذخایر سنگ فسفات جهان [۱۰]

همان‌طور که در شکل(۲) مشاهده می‌گردد از مجموع ۶۸ میلیارد تن منابع کشف شده فسفات در جهان ۵۰ درصد آن تنها در کشور مغرب وجود دارد که اهمیت این کشور از حیث صنعت فسفات را نشان می‌دهد. کشورهای چین، الجزیره، سوریه، افریقای جنوبی و روسیه به ترتیب پنج کشور دارای منابع عظیم فسفات بعد از مغرب می‌باشند.

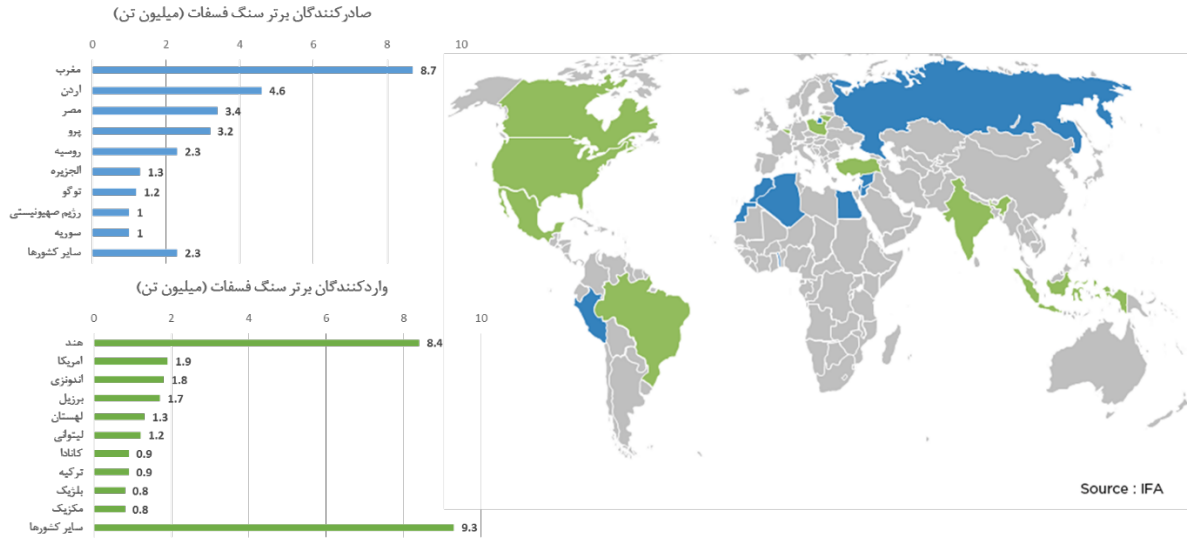
۲-۲. تولید فسفات

همان‌طور که گفته شد، معادن شاخص فسفات در جهان محدود بوده و از این رو تعداد کشورهای شاخص تولید کننده فسفات به زحمت از عدد ۱۵ فراتر می‌رود در حالی‌که در حدود ۱۵۰ کشور جهان مصرف کننده این ماده معدنی هستند [۴]. جدول ۱ نشان دهنده ۱۵ کشور برتر در زمینه تولید فسفات و حجم تولید آن‌ها در سال ۲۰۱۹ می‌باشد. میزان کل فسفات تولید شده در دنیا در سال ۲۰۱۸ بر طبق گزارش نشریه IHS برابر ۷۷/۲۷ میلیون تن (بر اساس P_2O_5) بوده است که پیش‌بینی می‌گردد تا سال ۲۰۲۳ با رشد سالانه ۳/۲ درصد به ۹۰ میلیون تن برسد [۲].

در شکل(۳) پراکندگی صادرات و واردات سنگ فسفات در جهان نمایش داده شده است. همان‌طور که انتظار می‌رود، صادرکنندگان بزرگ این محصول کشورهای دارای منابع عظیم فسفات می‌باشند در حالی‌که واردکنندگان فسفات خام کشورهایی با صنعت کشاورزی بزرگ نظیر هند، ایالات متحده، برزیل و اندونزی هستند. از آنجا که بزرگ‌ترین مصرف فسفات برای تولید کودهای شیمیایی و مکمل غذای دام می‌باشد، لذا مصرف بالای فسفات را می‌توان شاخصی برای توسعه یافتگی صنعت کشاورزی قلمداد کرد. از بین ده کشور برتر وارد کننده فسفات، هند به تنهایی در حدود ۳۰ درصد فسفات معاملاتی در سطح جهان را وارد می‌کند. نکته قابل توجه سهم ۳درصدی ترکیه از واردات فسفات جهان می‌باشد که نشان از برنامه‌ریزی این همسایه غربی در صنعت کشاورزی در راستای توسعه پایدار دارد

جدول (۱). ۱۵ کشور برتر تولید کننده سنگ فسفات در جهان [۱۳]

رتبه	کشور	تولید سال ۲۰۱۹ (میلیون تن)
۱	چین	۱۱۰
۲	مغرب	۳۶
۳	ایالات متحده	۲۳
۴	روسیه	۱۴
۵	اردن	۸
۶	عربستان سعودی	۶,۲
۷	ویتنام	۵,۵
۸	برزیل	۵,۳
۹	مصر	۵
۱۰	پرو	۳,۷
۱۱	رژیم صهیونیستی	۳,۵
۱۲	تونس	۳
۱۳	استرالیا	۲,۷
۱۴	سوریه	۲
۱۵	افریقای جنوبی	۱,۹

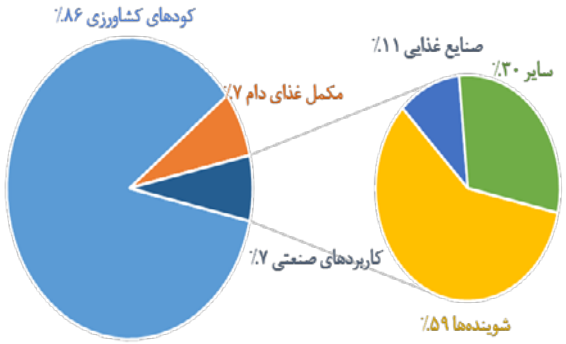


شکل(۳). سهم کشورها از صادرات و واردات سنگ فسفات به صورت خام [۱۰]

۲-۳. کاربردهای فسفات

فسفات‌ها در کاربردهای مستقیم نظیر کودهای جامد استفاده می‌گردند با این حال چنین کاربردهایی سهم ناچیزی از مصرف فسفات را تشکیل می‌دهد. برای استفاده‌های اصلی، سنگ فسفات در غلظت‌های بالاتری غنی سازی می‌گردد.

اسید فسفریک یکی از محصولات عمده سنگ فسفات است که به‌صورت مستقیم یا در ترکیب با سایر مواد شیمیایی در صنایع مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد. اسید فسفریک با خلوص بالا در صنایع غذایی و نوشیدنی‌ها و صنایع دارویی مورد استفاده قرار می‌گیرد. فسفر عنصری (سفید یا قرمز) و برخی از مواد شیمیایی فسفری حاصل از سنگ فسفر در تولید سموم و آفت کش‌ها، کبریت و مواد محترقه، و کاربردهای نظامی نظیر نارنجک‌های دودزا، مرمی گلوله و بمب‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱]. اسید فسفریک در طیف وسیعی از صنایع شیمیایی مورد استفاده قرار می‌گیرد و لیکن کاربرد اصلی این ماده در تولید کودهای شیمیایی است. همچنین تخلیص بیش‌تر اسید فسفریک برای تولید سوپر اسید فسفریک، و درجه آزمایشگاهی و خوراکی این ماده انجام می‌گردد؛ اشاره شده در شکل(۴).



شکل (۴). سهم بخش‌های مختلف از میزان فسفات مصرفی در جهان [۱۴]

۲-۴. سایر کاربردها

۲-۴-۱. استفاده مستقیم سنگ فسفات به‌عنوان کود کشاورزی

سنگ فسفات آسیاب شده به طور مستقیم به‌عنوان کود قابل استفاده است، هرچند مشکلاتی نظیر حلالیت بسیار پایین‌تر از انواع کودهای فرآوری شده و باقیمانده بالای خاک فسفات در زمین را به همراه دارد. استفاده مستقیم از خاک فسفات بیش‌تر

مناسب کشورهایی با سطح تکنولوژی پایین و دسترسی بالا به منابع فسفات می‌باشد.

۲-۴-۲. نمک‌های فسفاتی

اسید فسفریک به‌عنوان ماده پایه تولید مواد شیمیایی فسفاتی برای تولید نمک‌های سدیم، پتاسیم، کلسیم، آلومینیوم و تعدادی دیگر از مواد شیمیایی استفاده می‌گردد. که بسیاری از آن‌ها برای افزودنی‌های صنایع غذایی، تولید مکمل‌های غذایی دام و صنایع داروسازی و آرایشی بهداشتی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۲-۴-۳. محصولات جانبی

مهم‌ترین محصولات جانبی فرآوری سنگ فسفات گیپسوم، فلوئور و اورانیوم می‌باشند که استخراج آن‌ها از بازمانده‌های فرآوری سنگ فسفات به طور اقتصادی صورت می‌گیرد. گیپسوم به‌عنوان ماده اولیه در صنایع سیمان و گچ به‌کار می‌رود. توجه به فلوئور بیش‌تر به‌دلیل مسایل زیست محیطی و لزوم حذف آن از گاز خروجی از واحد می‌باشد، فلوئور معمولاً در فرآوری به‌صورت اسید هیدرو فلوئوریک HF یا SiF_4 و یا نمک‌های آن‌ها حاصل می‌شود و در تولید مواد شیمیایی، و تصفیه آب به کار می‌رود. این در حالیست که مقادیر بالایی از فلوئور در کیک گیپسوم تجمیع می‌گردد و استخلاص آن مستلزم صرف انرژی و هزینه بالا بوده و معمولاً اقتصادی نمی‌باشد.

یکی از عناصری که غالباً در رسوبات سنگ فسفات یافت می‌شود، اورانیوم است که به طور میانگین در حدود ppm ۲۰۰-۵۰ (گرم در تن) گزارش می‌گردد، اگرچه برخی گزارش‌ها حاکی از وجود معادنی با مقادیر بیش‌تر اورانیوم نیز هستند. برآورد آژانس بین‌المللی انرژی اتمی از ذخایر اورانیوم موجود در سنگ فسفات در جهان ۱۳/۸ میلیون تن می‌باشد. به همین دلیل معادن فسفات در دنیا به طور معمول به‌صورت ذخایر اورانیوم نیز مورد نظر هستند و این مسئله از دوجنبه استخراج این ماده معدنی با ارزش و استراتژیک و لزوم کاهش سطح اورانیوم در فرآوری سنگ فسفات برای تولید کودهای کشاورزی حائز اهمیت است [۱].

ایلات متحده آمریکا از دهه ۱۹۵۰ استخراج اورانیوم از معادن فسفات را انجام می‌دهد. استخراج اورانیوم از سنگ فسفات، مستلزم تبدیل اولیه ماده معدنی به اسید فسفریک و سپس انجام یک مرحله اضافی استخراج با حلال می‌باشد که بر پیچیدگی فرآیند می‌افزاید. اگرچه در سال‌های اخیر افت بازار اورانیوم باعث شده است، استخراج اورانیوم از سنگ فسفات از چرخه رقابت پذیری خارج شود.

۳. بررسی تحلیلی زنجیره ارزش فسفات

۳-۱. اسید فسفریک

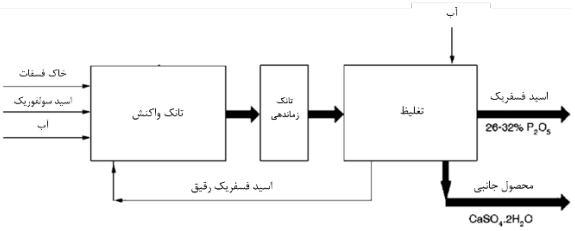
پرحجم‌ترین محصول سنگ فسفات، اسید فسفریک (H_3PO_4) می‌باشد. اسید فسفریک را می‌توان به طور تقریبی ماده اولیه تولید تمام محصولات فسفری دانست. در حدود ۸۰ درصد اسید فسفریک تولید شده در دنیا به مصرف صنعت تولید کودهای شیمیایی می‌رسد و در حدود ۶% آن برای تولید مکمل‌های غذایی حیوانات مصرف می‌گردد و مابقی آن در سایر صنایع مورد استفاده قرار می‌گیرد [۷]. بازار اصلی اسید فسفریک نیز همانند ماده اولیه سنگ فسفات، تولید کودهای شیمیایی می‌باشد. تولید جهانی اسید فسفریک ۶۱,۵ میلیون تن (بر مبنای P_2O_5) بوده که با رشد ۳,۸ درصدی تا سال ۲۰۲۳ به ۶۹ میلیون تن می‌رسد. حجم معاملات جهانی اسید فسفریک نیز ۵ میلیون تن در سال ۲۰۱۸ گزارش شده است [۷].

درحال حاضر تمام اسید فسفریک در دنیا از سنگ فسفات و از طریق دو روش تر و روش کوره یا دمایی (خشک) تولید می‌گردد. در روش تر سنگ فسفات با اسید سولفوریک غلیظ واکنش می‌دهد و تولید اسید فسفریک و باقیمانده جامد گیپسوم می‌گردد و در روش دمایی فسفر عنصری از سنگ فسفات در طی فرآوری دمایی آزاد شده و طی واکنش با هوا پنتوکسید فسفر (P_2O_5) تولید می‌کند، فسفات تولید، سپس جذب آب شده و تولید اسید فسفریک می‌کند.

روش تر به‌دلیل هزینه‌های سرمایه‌ای و عملیاتی کمتر و به خصوص به علت تولید اسید مطلوب برای صنعت کود شیمیایی، با تفاوت بالایی روش پرکاربردتر در تولید اسید فسفریک است. این درحالی است که برخی از ناخالصی‌های موجود در اسید فسفریک در این روش باید برای مصارف تخصصی‌تر حذف شوند که این امر از طریق فرآوری‌های جانبی صورت می‌گیرد. در حالی که روش کوره به‌دلیل امکان تولید اسید فسفریک با خلوص بالا و درجه غذایی نیز مورد توجه می‌باشد.

در روش تر شکل(۵) سنگ فسفات آسیاب شده با اسید سولفوریک غلیظ واکنش داده می‌شود. در واحد فراورش شیمیایی در نتیجه واکنش سنگ فسفات و اسید سولفوریک محصول جانبی سولفات کلسیم (گیپسوم) تولید می‌گردد. این ماده که به آن سولفات کلسیم مصنوعی یا فسفاتی گفته می‌شود، تفاوتی با

گیپسوم طبیعی نداشته و درتولید گچ مورد استفاده قرار می‌گیرد. در معادن فسفاتی نظیر فلوریدا که درصد قابل توجهی اورانیوم وجود دارد، گیپسوم تولیدی خواص رادیو اکتیوی داشته و قبل از استحصال اورانیوم قابل استفاده نمی‌باشد؛ اشاره شده در شکل(۵)



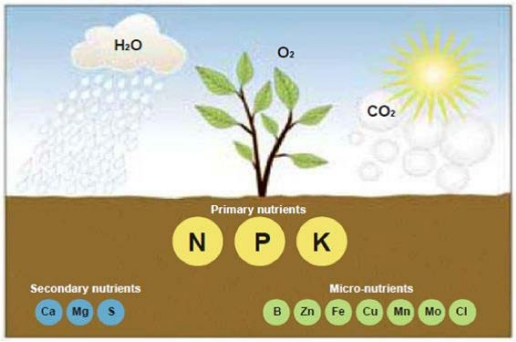
شکل (۵). شمای کلی فرایند تولید اسید فسفریک از سنگ فسفات و اسید سولفوریک به روش تر

به طور کلی حدود ۳ تن اسید سولفوریک ۱۰۰ %برای تولید هر تن P2O5 به‌صورت اسید فسفریک ۲۵-۳۰ درصد نیاز است. تفاوت میزان مصرف اسید سولفوریک بستگی به نسبت کلسیم به فسفات در سنگ دارد. گوگرد عنصری رایج‌ترین ماده برای تولید اسید سولفوریک است، برای تولید اسید سولفوریک، اغلب گوگرد مذاب در مجتمع‌های بزرگ اسید سولفوریک سوزانده می‌شود تا اسید سولفوریک ۹۸ درصد تولید می‌گردد. در جریان تولید اسید سولفوریک دما و بخار بالایی تولید می‌گردد که برای تغلیظ و تبدیل اسید فسفریک اولیه به درجه خلوص تجاری (۵۲-۵۴ درصد) مورد استفاده قرار می‌گیرد. در مناطقی که اسید سولفوریک در محل مجتمع اسید فسفریک تولید نمی‌گردد و به آن محل منتقل می‌شود، نبود این گرما و بخار تولید شده، سبب تأثیرپذیری بالای اقتصاد فرآیند می‌شود [۷].

۳-۲.کودهای شیمیایی

تقریباً ۹۰% سنگ فسفات تولیدی و همچنین ۸۰% اسید فسفریک تولیدی در جهان به مصرف تولید کودهای شیمیایی می‌رسد. کودهای شیمیایی با استفاده از سنگ فسفات، اسید فسفریک، آمونیاک، اسید سولفوریک و تعدادی دیگر از مواد معدنی نظیر پتاسیم و کلسیم در واحدهای پتروشیمی تولید می‌گردند.

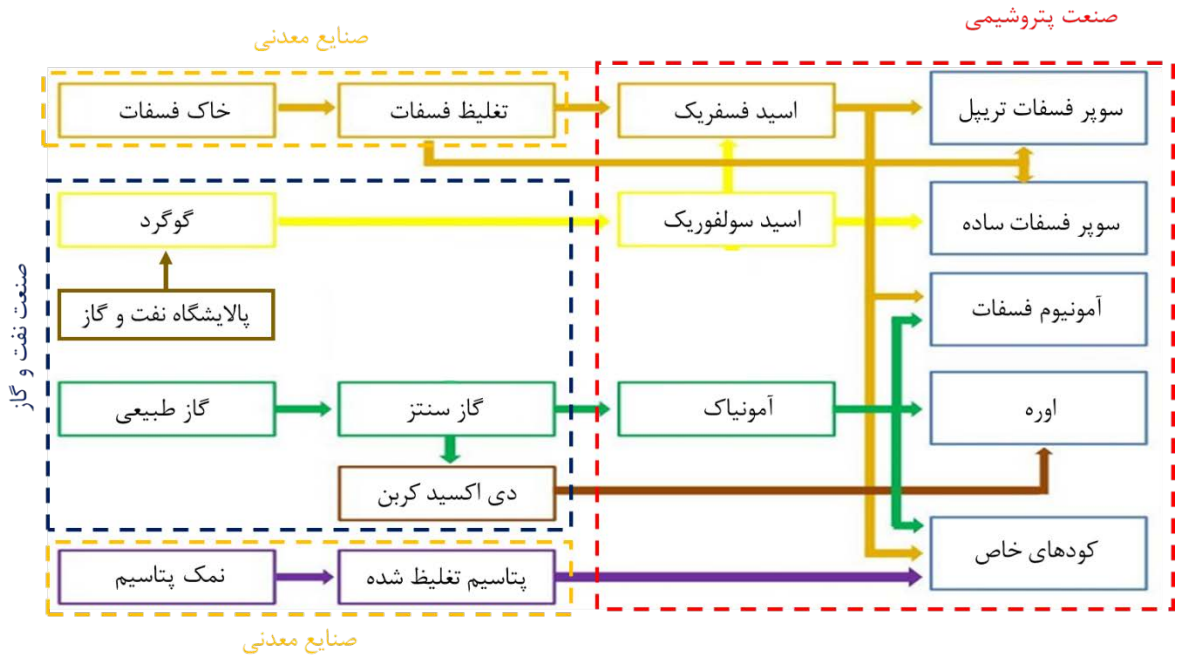
در یک دسته‌بندی کلی، کودهای شیمیایی را از حیث ماده مؤثری که به گیاه می‌رسانند در دسته نیتروژنی (N)، فسفاتی (P)، و پتاسیمی (K) به‌عنوان مغذی‌های اصلی طبقه‌بندی می‌کنند شکل (۶).



شکل (۶). نمای ترسیمی از مغذی‌های اولیه (نیتروژن، فسفر، پتاسیم)، ثانویه (کلسیم، منیزیم، گوگرد) و ریز مغذی‌های مورد نیاز برای رشد گیاهان

صنعت تولید کودهای شیمیایی یک صنعت بین رشته‌ای در صنایع پتروشیمیایی و معدنی می‌باشد و امروزه دارای جایگاه بسیار ویژه‌ای در گسترش کشاورزی است. در شکل ۷ مسیرهای تولید چهار دسته پرمصرف‌ترین کودهای شیمیایی در جهان [۸]. به ترتیب: ۱- کودهای اوره، ۲- کودهای ترکیبی آمونیوم فسفاتی (NP) نظیر دی‌آمونیوم فسفات (DAP) و مونوآمونیوم فسفات (MAP)و ۳- کودهای سوپر فسفات تریپل (TSP) و سوپر فسفات ساده (SSP) و ۴- کودهای ترکیبی نیتروژن - فسفر- پتاسیم (NPK) قابل مشاهده است. مواد معدنی فسفر و پتاسیم با استخراج از معدن و فرآوری سنگ معدن به هدف غنی‌سازی عنصر مورد نظر در سنگ تأمین می‌گردند. اوره و آمونیاک در واحدهای پتروشیمی گازی با استفاده از گاز طبیعی تولید می‌شوند. این دو خود به‌عنوان کودهای نیتروژنی به طور مستقیم قابل استفاده هستند و از سویی ماده اولیه تولید کودهای NP و NPK نیز می‌باشند. اسید فسفریک به‌عنوان حد واسط تولید کودهای فسفاتی و ترکیبی در واحد پتروشیمی از واکنش سنگ فسفات و اسید سولفوریک غلیظ تولید می‌گردد. اسید فسفریک در واکنش مستقیم با سنگ فسفات تولید سوپر فسفات تریپل می‌کند. همچنین از واکنش این اسید با آمونیاک در واحدهای پتروشیمی کودهای دی‌آمونیوم فسفات و مونوآمونیوم فسفات تولید می‌گردند. به روشی مشابه با اضافه شدن پیشساز پتاسیمی، کودهای NPK نیز تولید می‌گردند. اسید سولفوریک مورد نیاز برای تولید اسید فسفریک یا کود سوپر فسفات ساده از منابع مختلفی تولید می‌گردد ولی به صرفه‌ترین آن‌ها گوگرد تولید شده در پالایشگاه‌های نفت و گاز می‌باشد.

همان‌طور که عنوان شد، صنعت تولید کودهای شیمیایی مستلزم نگاه تلفیقی در رشته صنایع نفت و گاز، پتروشمی و صنایع معدنی می‌باشد. این رشته صنعت در سال ۲۰۱۸ ارزش معاملاتی در حدود ۶۵ میلیارد دلار در دنیا داشته است [۹] و نیازمند تمرکز و توجه بیش‌تری در کشور به‌دلیل برخورداری از اکثر حلقه های زنجیره توسعه آن می‌باشد.



شکل (۷). جایگاه صنایع معدنی، نفت و گاز و پتروشیمی در زنجیره ارزش تولید کودهای شیمیایی

۳-۲-۱. کودهای سوپرفسفات

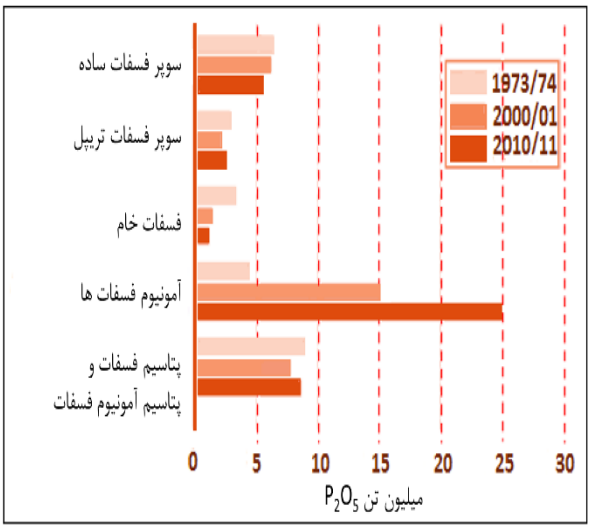
ساده‌ترین کود شیمیایی از دسته کودهای فسفاتی سوپر فسفات ساده می‌باشد و از واکنش سنگ فسفات با اسید سولفوریک غلیظ حاصل می‌گردد. کودهای سوپر فسفات ساده با فرمول شیمیایی کلی $6CaSO4 + 3Ca(H2PO4)2$ در حدود ۱۶ تا ۲۰ درصد فسفات $(P2O5)$ دارند. بخشی از محصولات تولید شده در جریان واکنش به‌صورت نا محلول در آب باقی می‌مانند و همچنین سولفات کلسیم تولید شده به‌عنوان سربار در ساختار کود موجود است و سبب تغییر الگوی خاک می‌گردد. به همین دلیل این کودها می‌توانند باعث آسیب‌هایی به محیط زیست گردند و مصرف آن‌ها در طی سال‌های گذشته بسیار محدود شده است.

کود سوپرفسفات تریپل مانند سوپر فسفات ساده حاصل از واکنش سنگ فسفات با اسید قوی می‌باشد، با این تفاوت که اسید به کار رفته در این مورد بجای اسید سولفوریک اسید فسفریک بوده و سنگ فسفات نیز اغلب به‌صورت پودر آسیاب شده وارد واکنش می‌گردد. سوپرفسفات تریپل با فرمول شیمیایی $Ca(H2PO4)2$ در حدود ۴۵درصد تا ۴۸درصد فسفات در ساختار خود دارد و از انحلال بالایی در آب بر خوردار است. سوپر فسفات تریپل به دو صورت گرانوله و پودری تولید می‌گردد که نوع گرانول آن به‌دلیل سهولت ذخیره سازی و رهش کنترل شده تر ماده شیمیایی در خاک بیش‌تر مورد توجه است [۱].

۳-۲-۲. کودهای آمونیوم فسفاتی

کودهای آمونیوم فسفاتی در کنار اوره پر کاربردترین کودهای شیمیایی هستند. کودهای آمونیوم فسفاتی حاصل از واکنش اسید فسفریک با آمونیاک بوده و به دو دسته مونوآمونیوم فسفات $(NH4H2PO4)$ و دی‌آمونیوم فسفات $((NH4)2HPO4)$ تقسیم می‌گردند که نوع دوم بسیار پرکاربردتر بوده و محصول اصلی کل زنجیره ارزش فسفات محسوب می‌گردد. دی‌آمونیوم فسفات در حدود ۱۸درصد نیتروژن و ۴۶درصد فسفات برای

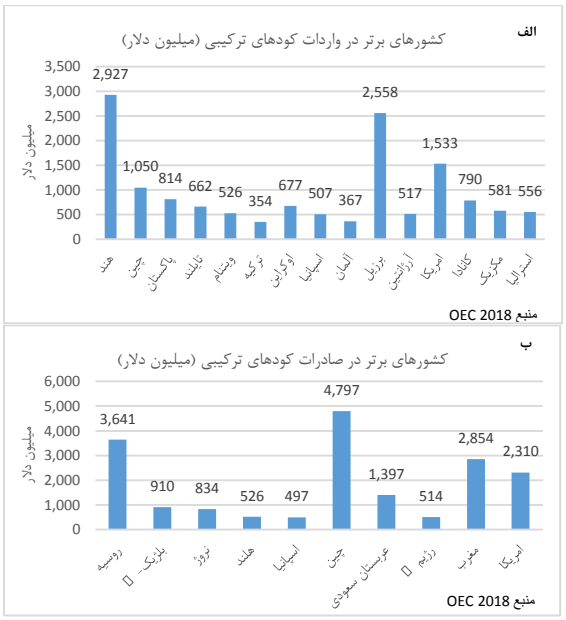
تغذیه خاک در ساختار خود دارد و به طور مستقیم یا برای تولید کودهای ترکیبی دیگر به کار می‌رود. تولید کودهای آمونیوم فسفاتی به‌دلیل ماهیت پیچیده‌تر واکنش آن‌ها، در واحدهای پتروشیمی صورت می‌گیرد [۱۰].



شکل (۸). نسبت و روند تغییر الگوی مصرف انواع کودهای فسفاتی [۱۰]

در شکل (۸) میزان مصرف و روند تغییر مصرف انواع کودهای شیمیایی تولید شده از فسفات در طی ۴ دهه گذشته قابل مقایسه است. با توجه به شکل مصرف کودهای شیمیایی ترکیبی آمونیوم فسفاتی، رشد قابل توجهی را تجربه کرده است و در حدود ۷۰درصد بازار کودهای شیمیایی را به خود اختصاص داده است. در سال ۲۰۱۶ به میزان ۴۴ میلیون تن از انواع کودهای فسفری تولید شده است، مهم‌ترین نوع کود فسفری، دی‌آمونیوم فسفات (DAP) است که میزان تولید آن در سال ۲۰۱۶ برابر ۳۳/۶ میلیون تن بوده است [۱۱]. با توجه به اینکه تولیدکنندگان کودهای فسفری از تولیدکنندگان بزرگ فسفر دنیا نیز هستند، ممکن است به نظر بیاید که حاشیه سود این کشورها در تولید کودهای فسفری بیش‌تر است، اما مناطقی مانند روسیه و غرب آسیا به‌دلیل دسترسی به گاز و انرژی ارزان حاشیه سود بهتری در تولید DAP دارند [۱۲].

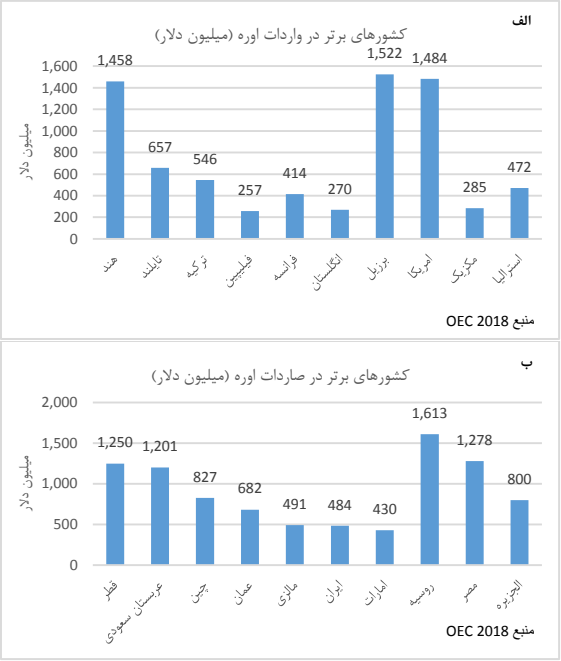
سهم کشورهای برتر در واردات و صادرات کودهای شیمیایی ترکیبی در سال ۲۰۱۸ در شکل(۹) نشان داده شده است. کودهای ترکیبی بازاری در حدود ۲۵ میلیارد دلار در جهان دارند که از این بین هند، برزیل، آمریکا، چین و پاکستان به ترتیب ۵ وارد کننده بزرگ کودهای شیمیایی می‌باشند [۹]. از طرفی صادر کنندگان بزرگ کودهای ترکیبی شیمیایی عبارت‌اند از چین، روسیه، مغرب، آمریکا و عربستان سعودی.



شکل (۹). کشورهای برتر در واردات (الف) و صادرات (ب) انواع کودهای ترکیبی شیمیایی به ارزش معاملاتی کل ۲۴,۶ میلیارد دلار [۹]

در این بین کشور ما ایران با برخورداری از زنجیره‌های نفت و گاز و پتروشیمی و تولید بالای آمونیاک به‌عنوان یکی از مواد اولیه تولید کودهای شیمیایی ترکیبی نتوانسته است سهمی از این بازار جهانی به خود اختصاص دهد. ایران در سال ۲۰۱۶ با تولید ۳/۶میلیون تن آمونیاک و صادرات ۷۰۰ هزارتن در رده دهم تولید کنندگان این ماده و در رده هفتم صادرکنندگان آن قرار داشته است [۳]. ایران در سال ۲۰۱۸ با صادرات ۲۴۶ میلیون دلار آمونیاک ۳,۲ درصد از کل صادرات این ماده را به خود اختصاص داده و در رده هفتم صادر کنندگان باقی مانده است. رشد مناسب پتروشیمی‌های اوره و آمونیاک در کشور باعث شده است کشور در زمینه تولید و صادرات این دو محصول جایگاه قابل قبولی در جهان داشته باشد. اوره که خود به تنهایی به‌عنوان کود نیتروژنه در جهان خرید و فروش می‌گردد، در سال ۲۰۱۸ بازاری ۱۳ میلیارد دلاری داشته است که از این میان ایران با ۴۸۴ میلیون دلار صادرات جایگاه نهم را داشته است شکل(۱۰) [۹]. نکته قابل توجه تشابه الگوی کشورهای وارد کننده اوره شکل(۱۰الف) و وارد کننده کودهای ترکیبی شکل (۹ الف) می‌باشد، این کشورها که بازار اصلی کودهای شیمیایی هستند در هر دو مورد حجم

بالایی از بازار را به خود اختصاص داده‌اند. با این وجود الگوی کشورهای صادر کننده اوره، شکل(۱۰ ب) و کودهای شیمیایی ترکیبی شکل (۹ ب) کاملا متفاوت است، کشورهای برتر صادر کننده اوره غالباً کشورهایی با منابع نفتی و گازی و صنایع پتروشیمی و دسترسی به سوخت ارزان نظیر روسیه، مصر، قطر و ایران هستند، حال آنکه نبود برخی حلقه‌های صنایع تکمیلی کودهای شیمیایی شکل(۷) سبب شده است برخی از این کشورها نظیر ایران در رشته صنعت کود شیمیایی ترکیبی حضور نداشته باشند. کشور ایران دارای ظرفیت تولید بیش از ۳ میلیون تن انواع کودهای شیمیایی در سال است اما ۲۰درصد تقاضای داخلی کودهای شیمیایی را از خارج تأمین می‌کند. این مسئله به‌دلیل تمرکز تولید مجتمع‌های پتروشیمی بر کودهای نیتروژنی است. صنعت تولید کود دارای پیچیدگی‌های فناورانه نیست و نیازی به سرمایه‌گذاری‌های عظیم ندارد [۸].

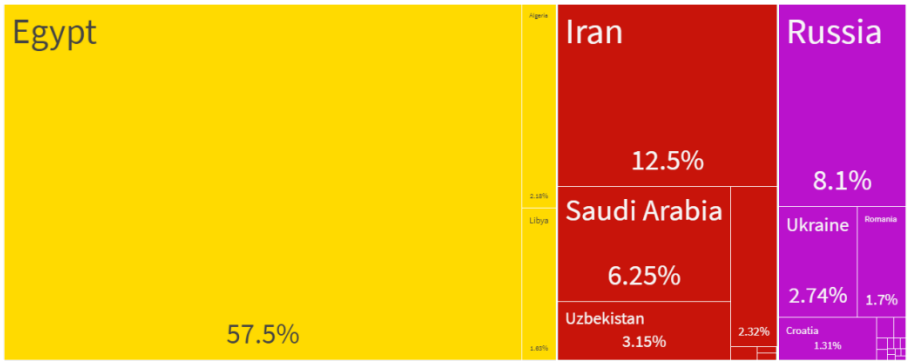


شکل (۱۰). کشورهای برتر در واردات (الف) و صادرات (ب) اوره به ارزش معاملاتی کل ۱۲,۹ میلیارد دلار [۹]

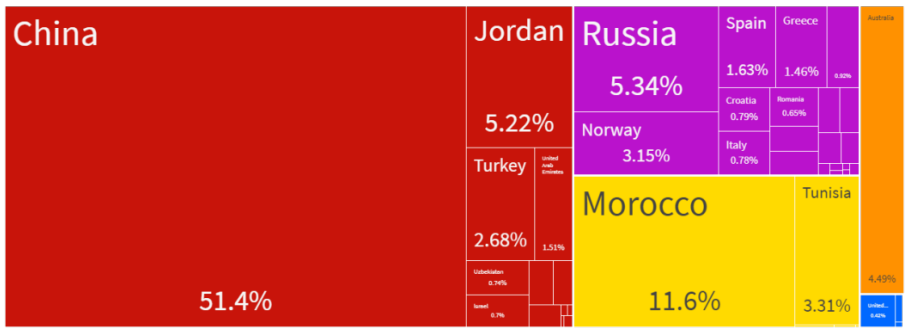
در شکل(۱۱) مبادی وارداتی کشورهای همسایه ایران در دو محصول اوره و کودهای شیمیایی ترکیبی با هم مقایسه شده اند. کشورهای همسایه ایران در مجموع به ارزش ۶۱۸ میلیون دلار واردات اوره داشته اند که از این بین ۱۲,۵ درصد سهم ایران بوده است شکل (۱۱ الف).

این سهم نسبتا مناسب به علت توسعه یافتگی پتروشیمی‌های اوره و آمونیاک در کشور و نزدیکی به کشورهای همسایه می‌باشد. با این وجود ایران سهمی از بازار کودهای شیمیایی کشورهای همسایه خود به ارزش ۱,۳۲ میلیارد دلار ندارد شکل (۱۱ب). مقایسه انجام شده نشان می‌دهد در صورت سرمایه گذاری در تولید کودهای شیمیایی کشور می‌تواند سهم قابل توجهی از بازار همسایگان خود را داشته باشد.

الف



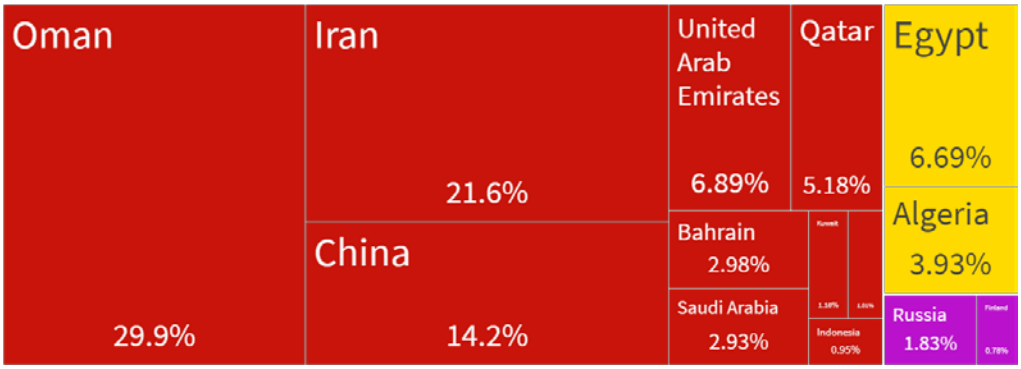
ب



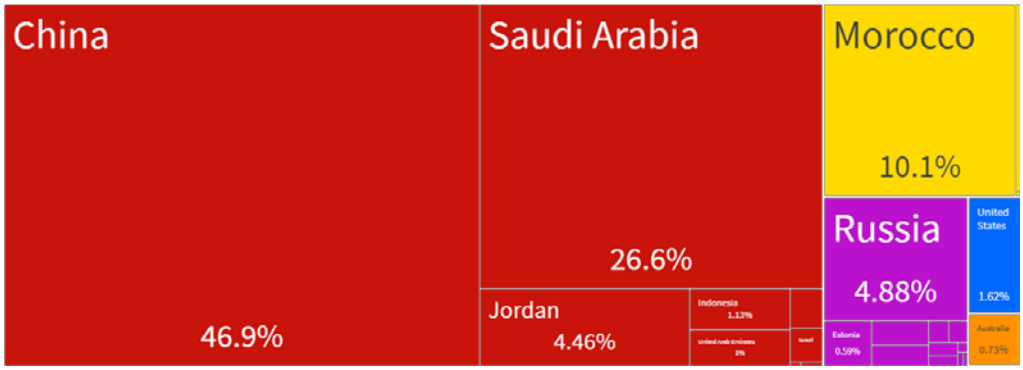
شکل (۱۱). سهم کشورها در صادرات به کشورهای همسایه ایران الف) اوره به ارزش ۶۱۸ میلیون دلار و ب) کودهای ترکیبی به ارزش ۱,۳۲ میلیارد دلار [۹]

مقایسه مشابهی که در مورد کشور هند به عنوان یکی از بزرگترین کشورهای مصرف کنندگان کود کشاورزی در دنیا انجام شده است شکل(۱۲) نیز موید همین مطلب است. ایران ۲۱,۶ درصد از بازار ۱,۵ میلیارد دلاری اوره هند را در اختیار دارد و سهمی از بازار ۳ میلیارد دلاری کودهای شیمیایی ترکیبی این کشور ندارد.

الف



ب



شکل (۱۲). سهم کشورها در واردات هند الف) اوره به ارزش ۱,۴۶ میلیارد دلار و ب)کودهای ترکیبی به ارزش ۲,۹۳ میلیارد دلار [۹]

کشور هند همچنین بزرگ‌ترین وارد کننده اسید فسفریک جهان نیز می‌باشد. هند به تنهایی ۳۵٪ کل واردات اسید فسفریک در دنیا را به خود اختصاص داده است. ارزش واردات اسید فسفریک هند در سال ۲۰۱۸ در حدود ۱,۵ میلیارد دلار برآورد شده است [۹]. به نظر می‌رسد صرفا با تکیه بر بازار کشورهای منطقه و هند در صنایع تکمیلی فسفات می‌توان سودآوری خوبی را برای ایران تصور کرد، چراکه ایران از لحاظ تولید آمونیاک، دسترسی به سوخت ارزان و تولید بالای گوگرد به عنوان محصول جانبی پالایشگاه جایگاه مناسبی برای توسعه زنجیره ارزش فسفات دارد. با این وجود دسترسی به منبع سنگ فسفات همواره سدی بر توسعه این رشته صنعت در کشور بوده است.

۳-۳. صنعت فسفات کشور

عامل اصلی عدم توسعه یافتگی صنعت فسفات و به تبع آن اسید فسفریک و کودهای شیمیایی در کشور را می‌توان عدم برخورداری از معادن مرغوب فسفات دانست. طبق برآوردها و تخمین‌های صورت گرفته، ایران دارای معادن کوچک فسفات در عیار متوسط ۸ تا ۱۰ درصد می‌باشد [۱۳]. حجم پایین ذخایر موجود و عیار آن نشان‌دهنده این موضوع است که کشور از لحاظ منابع فسفاتی دارای وضعیت مطلوبی نمی‌باشد.

معدن اسفوردی در بافق یزد را می‌توان شاخص‌ترین معدن کشف شده ایران با ۱۶/۵میلیون تن سنگ فسفات در عیار ۱۳/۹ درصد دانست [۱۴].

بر اساس برآوردهای خبرگان این صنعت، نیاز کشور سالانه حداقل ۱ میلیون تن خاک فسفات و ۴۵۰ هزار تن اسید فسفریک صنعتی (۵۰درصد) می‌باشد. هم اکنون بخش زیادی از خاک فسفات مورد نیاز کشور که به مصرف تولید اسید فسفریک می‌رسد از طریق واردات تأمین می‌گردد. مجتمع‌های تولید اسید فسفریک در کشور مجتمع پتروشیمی رازی با ظرفیت تولید ۱۵۰ هزارتن در سال و مجتمع‌های دیگر با ظرفیت ۱۰۰ هزار تن می باشند، به این ترتیب در حدود ۲۰۰ هزار تن از نیاز اسید فسفریک کشور بر اساس درجه صنعتی (خلوص ۵۰درصد) از طریق واردات تأمین می‌گردد.

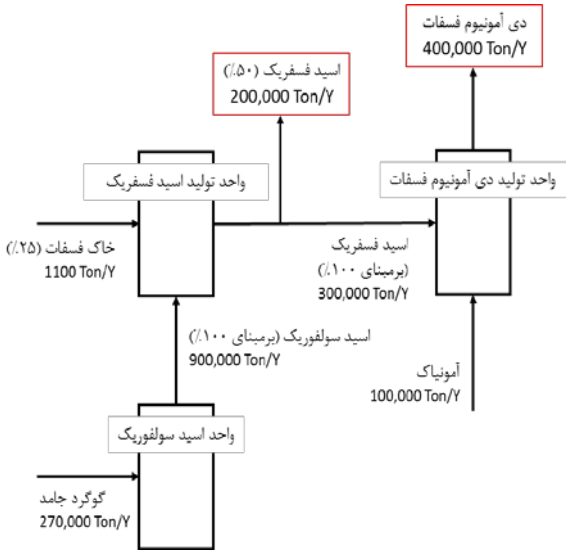
در این بین سیاست گذاری‌های غلط نیز باعث دشوارتر شدن رشد صنایع تکمیلی کودهای شیمیایی در ایران شده است. همان‌طور که گفته شد، برخورداری از انرژی ارزان و منابع اسید سولفوریک و آمونیاک زمینه رشد خوبی برای صنایع تکمیلی کود شیمیایی فراهم آورده است، با این وجود واردات محصول نهایی و تخصیص ارز دولتی به آن توانسته است، آسیب زیادی به مجتمع های تولیدی وارد کند. به نظر می‌رسد، دستیابی به منابع مطمئن

و عیار بالای سنگ فسفات می‌تواند از یک سو مشکل ماده اولیه این صنعت را برطرف کند و از سوی دیگر زمینه را برای اجرای سیاست‌های درست در زمینه تولید در این حوزه فراهم کند. در جدول(۲) مقادیر مواد اولیه برای تولید محصولات شاخص در زنجیره ارزش فسفات (دی‌آمونیوم فسفات و اسید فسفریک) نشان داده شده است. برای تولید ۲۰۰ هزارتن اسید فسفریک ۵۰درصد در حدود ۷۲ هزارتن فسفات معادل حدودا ۳۰۰ هزارتن سنگ فسفات با عیار متوسط ۲۵درصد و ۲۲۰ هزارتن اسید سولفوریک مورد نیاز است. از آنجا که در کشور مازاد گوگرد در پالایشگاه‌های نفت و گاز وجود دارد. لذا در مورد تولید اسید فسفریک صرفاً تأمین سنگ فسفات عامل محدود کننده است اشاره شده در جدول(۲).

جدول (۲). میزان مواد اولیه مورد نیاز برای تولید محصولات شاخص زنجیره ارزش فسفات [۴ و محاسبات تحقیق]

محصول	ماده اولیه (تن مورد نیاز / تن محصول)
دی‌آمونیوم فسفات (DAP)	۰,۲۶ تن آمونیاک
	۰,۷۴ تن اسید فسفریک (بر مبنای ٪۱۰۰ H_3PO_4)
	۰,۵۳ تن فسفات (P_2O_5)
	۲,۱ تن خاک فسفات با عیار ٪۲۵
اسید فسفریک (بر مبنای ٪۱۰۰ H_3PO_4)	۰,۷۲ تن فسفات (P_2O_5)
	۲,۹ تن خاک فسفات با عیار ٪۲۵
اسید فسفریک (بر مبنای P_2O_5)	۳ تن اسید سولفوریک
اسید سولفوریک	۰,۳ تن گوگرد جامد

در مورد واردات کود شیمیایی در ایران آمار ضد و نقیضی وجود دارد. با این حال بر طبق آمار مندرج در پایگاه OEC ایران در سال ۲۰۱۸ کود شیمیایی دی‌آمونیوم فسفات به ارزش ۴۲ میلیون دلار وارد کرده است [۹]. بر طبق آمار مندرج در پایگاه indexmundi میانگین قیمت این ماده شیمیایی در همان سال در حدود ۳۷۵ دلار به ازای هر تن بوده است. بنابراین واردات دی آمونیوم فسفات ایران در حدود ۱۰۰ هزار تن برآورد می‌گردد. این رقم با مقدار گزارش‌شده در سایت اتاق بازرگانی تهران (۹۰ هزارتن) نیز همخوانی دارد [۱۵]. با توجه به جدول(۲) در جهت خودکفایی در تولید این ماده نیاز به ۲۰۰ هزار تن خاک فسفات (۲۵ درصد) و ۲۶ هزار تن آمونیاک وجود دارد. کشور هند در نزدیکی ایران بزرگ‌ترین وارد کننده دی‌آمونیوم فسفات در جهان می‌باشد. طبق آمار مندرج در پایگاه تخصصی trademap در سال ۲۰۱۸ در حدود ۱۷ میلیون تن دی‌آمونیوم فسفات به ارزش تقریبی ۷ میلیارد دلار در جهان معامله شده است که از این مقدار واردات هند به تنهایی ۶ میلیون تن معادل ۲ میلیارد دلار بوده است [۱۶]. همان‌طور که در شکل (۱۲) نمایش داده شده است که ایران ۲۲درصد از بازار اوره این کشور را در اختیار دارد به همین جهت هدفگذاری برای تصاحب ۵درصد از بازار دی آمونیوم فسفات این کشور کاملا معقول به نظر می‌رسد. برای نیل به این هدف ایران باید ۳۰۰ هزارتن دی‌آمونیوم فسفات مازاد تولید کند که خود نیازمند ۶۰۰ هزار تن خاک فسفات (عیار ۲۵درصد) می‌باشد. بنابراین در جهت خودکفایی در صنعت اسید فسفریک و کود شیمیایی و استفاده بهینه از شرایط صنعت پتروشیمی در ایران در جهت درآمد زایی از صنایع تکمیلی فسفات به حدود ۱ میلیون تن خاک فسفات با خلوص ۲۵درصد (در حدود ۲۵۰ هزارتن بر مبنای P2O5) نیاز است. به این ترتیب می‌توان در جهت توسعه پایدار کشاورزی، امنیت تأمین کودهای شیمیایی و استفاده از بازار بالفعل و در دسترس در کشورهای همسایه حرکت نمود. در شکل(۱۳) الگوی فرآیندی یک پارک شیمیایی بر مبنای استفاده از گوگرد و خاک فسفات برای تولید محصولات با ارزش اسید فسفریک و دی‌آمونیوم فسفات با احجام ذکر شده نشان داده شده است.



شکل (۱۳). الگوی فرایندی پارک فسفاتی-گوگردی برای تولید کود شیمیایی دی‌آمونیوم فسفات

۳-۴. معادن فسفات سوریه

سوریه از نظر زمین شناختی در منطقه‌ای واقع شده است که معادن فسفات با حجم بالا تمرکز دارند. حجم ذخایر سنگ فسفات سوریه در حدود ۱۸۰۰ میلیون تن برآورد شده است و سوریه بعد از مغرب، چین و الجزایر چهارمین کشور دارای ذخائر سنگ فسفات می‌باشد. تمرکز معادن سنگ فسفات سوریه در ریف جنوب شرقی حمص در منطقه الصوانه و خنیفیس و وادی

العوابد قرار گرفته است. کشف سنگ فسفات در سوریه به دهه ۱۹۳۰ توسط فرانسوی‌ها باز می‌گردد. سپس در دهه ۱۹۶۰شوروی متولی اصلی استحصال سنگ فسفات در سوریه بوده است.

در سال ۱۹۷۰ شرکت ملی فسفات و معادن سوریه تشکیل و متولی بهره‌برداری از معادن فسفات سوریه شد. سوریه قبل از آغاز جنگ و حضور داعش، پیشرفت قابل توجهی در زمینه تولید فسفات داشت به طوری که در سال ۲۰۱۱ صادرات فسفات سوریه به ۲/۳ میلیون تن رسید و این کشور در رده پنجم کشورهای تولید کننده فسفات قرار گرفت. در سال ۲۰۰۸ درآمد سوریه از فسفات بیش از ۲ میلیارد پوند سوری بوده است [۱۷]. با این وجود بعد از جنگ داعش و حتی پس از شکست داعش صنعت فسفات سوریه افول چشمگیری داشته است و در برهه‌ای تولید فسفات این کشور به صفر رسید. و هم اکنون نیز سوریه با تولید ۲ میلیون تن در سال در بین ۱۰ کشور برتر تولید کننده فسفات قرار ندارد. عمده بهره‌برداری سوریه از معادن خنیفیس می‌باشد که در ۶۰ کیلومتری جنوب شرقی پالمیرا قرار گرفته‌اند و یکی از مهم‌ترین معادن فسفات سوریه محسوب می‌شود. معادن الشرقیه (الصوانه) در ۴۵ کیلومتری جنوب غربی پالمیرا از دیگر معادن مهم فسفات سوریه هستند. سنگ فسفات سوریه در خنیفیس حاوی پنتوکسید فسفر(P_2O_5) با درصد خلوص حدود ۲۸ درصد تا ۳۴ درصد می‌باشد که درصد بسیار قابل قبولی جهت استحصال فسفات می‌باشد [۱۸ و۱۷].

۴. نتیجه‌گیری

- پتانسیل بالای توسعه زنجیره ارزش فسفات و کودهای شیمیایی با توجه به رشد قابل قبول پتروشیمی‌های اوره و آمونیاک و دسترسی به منبع انرژی ارزان در کشور
- توسعه زنجیره ارزش فسفات مستلزم نگاه تلفیقی در صنایع معدنی و پتروشیمی می‌باشد
- علی رغم توسعه نسبی صنایع پتروشیمی در کشور، صنایع شیمیایی به‌دلیل عدم تکمیل حلقه‌های زنجیره فناوری، رشد چندانی نداشته است که از جمله این موارد می‌توان صنعت فسفات را نام برد.
- کشور ایران اگرچه دارای منابع کشف شده‌ای از سنگ فسفات می‌باشد ولیکن حجم و مرغوبیت این ذخایر چندان بالا برآورد نمی‌گردد.
- کشور ایران در جهت خودکفایی در صنایع اسید فسفریک و کودهای شیمیایی نیاز به واردات حدود ۵۰۰ هزارتن خاک فسفات بیش از مقدار کنونی دارد.
- ایران در جهت تصاحب سهم ۵ درصدی از بازار بزرگ دی آمونیوم فسفات در کشور هند نیاز به واردات ۶۰۰ هزار تن خاک فسفات دیگر دارد.
- در صورت نگاه صادراتی به زنجیره تکمیلی فسفات در ایران، کشور هند به تنهایی می‌تواند مقصد صادراتی تمام محصول تولید شده باشد.
- تجمع گوگرد تولیدی در پالایشگاه‌ها و اسید سولفوریک مازاد در کشور، فرصتی مناسب برای افزایش تولید اسید فسفریک به‌عنوان ماده شیمیایی ارزشمند و حد واسط تولید کودهای شیمیایی ترکیبی می‌باشد.
- تجمیع واحدهای تولید کود شیمیایی در واحدهای پتروشیمی تولید اوره و آمونیاک راهکار کاهش هزینه‌های تولید می‌باشد.
- بازار بزرگ و رو به رشد کودهای شیمیایی در آسیا، آمریکای لاتین و شرق آسیا موقعیت مناسبی برای توسعه تجارت در این زمینه فراهم آورده است.
- توجه ویژه به بازاریابی بین‌المللی و دیپلماسی تجاری در توسعه زنجیره ارزش فسفات از ملزومات توسعه این رشته صنعت می‌باشد، چرا که نیاز بازار داخلی پاسخگوی حجم بالای تولید این محصولات نمی‌باشد.
- توسعه کشاورزی در کشور و دیپلماسی کشاورزی در کشورهای منطقه مانند هند، پاکستان، ترکیه و... با توجه به حجم مصرف کودهای کشاورزی در این کشورها می‌تواند راهبرد کشور در حرکت برای جهش تولید در رشته صنعت کودهای شیمیایی ترکیبی باشد.

۵. مراجع

1. Toama, Z. Hijran, “World phosphate industry,” Iraqi Bulletin of Geology and Mining, vol. 7, pp. 5-23, 2017.
2. HIS Markit, “phosphate rock: Chemical Economics Handbook,” 2019.
3. “International fertilizer association (IFA),” https://www.fertilizer.org/
4. Cooper, James, et al., “The future distribution and production of global phosphate rock reserves,” Resources, Conservation and Recycling, vol. 57, pp. 78-86, 2011.
5. www.statista.com
6. www.aguiaresources.com.au
7. HIS Markit, “phosphoric Acid: Chemical Economics Handbook,” 2018.

۸. نگاهی به ساختار بازار رشته صنعت کودهای شیمیایی، مرکز مطالعات زنجیره ارزش، ۱۳۹۷.

9. www.OEC.world
10. HIS Markit, “Ammonium phosphates: Chemical Economics Handbook,” 2019.
11. www.phosagro.com

۱۲. بررسی بازار کودهای فسفری در کشورهای مختلف دنیا، مرکز مطالعات زنجیره ارزش، ۱۳۹۷.

13. https://www.iribnews.ir/00AHE6
14. mehrnews.com/xd5fg
15. www.tccim.ir
16. www.trademap.org
17. www.enabbaladi.net
18. M. Safi, M. Bhagawanth Rao, and K. Rao, “High grade phosphate from syrian phosphate at eastern mines,” pp. 230-235, 2006.