

تهیه اسید فسفریک خوراکی از اسید فرایند تر (WPPA)

دکتر فریدون اشرفی* / دکتر محمود پایه قدر**

دکتر سیداحمد بابانژاد*** / محمد نوروزی****

چکیده

اسید فسفریک در صنایع غذایی و دارویی کاربردهای فراوانی دارد، اما اسید فسفریک تهیه شده به روش فرایند تر، که معمولترین روش تولید آن در جهان است ناخالصیهای زیادی دارد. به همین دلیل برای تولید اسید فسفریک خوراکی باید آن را خالص کرد (۱). خالص سازی اسید فسفریک خوراکی از یونهای سمی و فلزات سنگینتر اهمیت ویژه ای دارد. برای خالص سازی باید مراحل لخته سازی، شفاف سازی، رنگ بری، رسوب گیری با سولفات، صاف کردنهای پی در پی، استخراج با حلال و مبادله یون انجام شود (۲). در این پژوهش در لخته سازی از پلی اکریل اسیدها و رزینهای پلی اکریلونیتریل و برای شفاف سازی از روش برینش استفاده شد. برای رنگبری کربن فعال (۴) و برای رسوب دادن فلزات آرسنیک، آهن و آلومینیوم به ترتیب مس به صورت آرسنید مس و اسید استیک گلاسیال به کار رفت. حذف فلوئور با افزایش نمکهای سدیم و پتاسیم در محلول گرم و حذف سولفات به کمک نمک باریم انجام شد و در استخراج با حلال از حلال گزینشی، تری n بوتیل فسفات استفاده شد (۵).

* عضو هیئت علمی دانشگاه پیام نور، مرکز ساری
** عضو هیئت علمی دانشگاه پیام نور، مرکز ابرهر
*** عضو هیئت علمی دانشگاه پیام نور، مرکز ساری
**** مسئول آزمایشگاه دانشگاه پیام نور، مرکز ساری

کلید واژه

اسید فسفریک خوراکی، خالص سازی، روش برینش، کربن فعال، ارسنیک.

مقدمه

واحد در خطوط تولید کودهای شیمیایی فسفات ه شرکت ملی پتروشیمی مصرف می شود. اصولاً این واحد به منظور تهیه مواد اولیه کود شیمیایی ایجاد شده است. با اسید فسفریک تولید شده در این واحد سالانه ۲۵۰۰۰۰ تن کود فسفات ه در کشور تولید می شود، در حالی که سالانه در همین حدود نیز کود فسفات ه از خارج کشور وارد می شود.

به طور کلی در کشور سالانه ۲۵۰۰۰۰۰ تن انواع کود شیمیایی نیاز است که ۱۵۰۰۰۰۰ تن آن در انواع واحدهای پتروشیمی داخل کشور تولید و ۱۰۰۰۰۰۰ تن وارد می شود؛ لذا این ارقام نماینده این است که نیاز کشور به واحدهای دیگر تولید اسید فسفریک بالا است و می تواند جزء طرحهای انقلاب باشد.

با توجه به نیاز کشور در صنایع کشاورزی و وزارت جهاد کشاورزی، که توزیع انواع کودهای شیمیایی را به عهده دارند، شرکت پتروشیمی را برای ارائه اسید فسفریک به صورت آزاد تحت فشار قرار می دهند، ولی به هر صورت رقمی حدود ۱۰۰۰۰۰ تن اسید فسفریک برای استفاده در آبکارها، تهیه ترکیبات فسفات ه، واحدهای تولید دی کلسیم فسفات برای خوراک طیور و ... به بازار آزاد عرضه، که با سهمیه مشخص ارائه می شود. از آنجا که این مقدار، نیاز این صنایع را برآورده نمی کند، سالانه رقمی حدود ۳۵۰۰۰ تن اسید فسفریک وارد می شود که البته این رقم به عنوان اسید فسفریک صنعتی یا خوراکی است. از این مقدار رقمی در حدود ۵ الی ۱۰ هزار تن در صنایع خوراکی مصرف می شود. باید توجه داشت که بسیاری از مواد مصرفی در صنایع بهداشتی، آرایشی، خوراکی و همه از خارج تهیه می شوند که نشان دهنده نیاز بالا به اسید

اسید فسفریک و نمکهای آن در تهیه تعداد زیادی از مواد، که در زندگی روزمره با آنها سر و کار داریم، به کار می رود. بیشترین مقدار اسید فسفریک تولید جهان (۸۵٪) در صنایع کود شیمیایی فسفات ه مصرف می شود و ۱۵٪ باقیمانده که معمولاً با فرایند حرارتی تولید می شود، در سایر موارد مصرف می شود. از جمله این موارد تولید نمکهای فسفات ه، عمل آوری فلزات، نسوزها، پودرهای آشپزی، کاتالیزورها، نوشابه های کربنات دار، مواد پاک کننده، روغنهای خوراکی و دارویی را می توان نام برد

به طور کلی از مقدار فسفر تولید شده در جهان مقدار ۴۵٪ در صنایع پاک کننده و بهداشتی، ۱۵٪ در غذاها و نوشابه ها و ۱۰٪ در عمل آوری فلزات استفاده و بقیه در صنایع کود شیمیایی مصرف می شود. فسفر دوازدهمین عنصر از نظر فراوانی در پوسته زمین است و به طور عمده در سنگهای رسوبی و کمتر در سنگهای آذرین وجود دارد. عمده ترین منبع تولید فسفر و ترکیبات فسفردار، از جمله اسید فسفریک سنگ معدن فسفات است، که به صورت آپاتیت و فلوئوروآپاتیت یافت می شود.

در کشور ما تنها واحد تولیدکننده اسید فسفریک شرکت پتروشیمی رازی است که با دو برابر ظرفیت اسمی خود (حدود ۹۰ هزار تن در سال) در حال تولید است. این واحد در سال ۱۳۴۷ راه اندازی شده و در بندر امام خمینی قرار دارد. کلیه تولیدات این

می شود که در این طرح به آن مبادرت ورزیده ایم.

الف) شفاف سازی

اولین مرحله برای تهیه اسید فسفریک خوراکی جداسازی مواد جامد (لجن) از آن است. تعداد این مواد جامد از ۷ تا ۱۵٪ وزنی تغییر می کند. در یک روش (۸ و ۹) با گرم کردن تا دمای معین و سپس خنک کردن و سانتریفوژ کردن آن، اسید شفاف به دست آمد. در روش دیگر (۱۲، ۱۱ و ۱۰) با استفاده از روش برینش عمل شفاف سازی صورت می پذیرد. این عمل با استفاده از مواد شفاف کننده مناسب انجام می شود. در هر دمای مناسب می توان فرایند برینش را انجام داد. موادی که در این روش استفاده می شوند لخته سازی هایی مانند پلی اکریل آمیدها بانام تجارتي SEPARAN و GUAR و رزینهای پلی اکریلونیتریل هیدرولیز شده یا نمکهای پتاسیم و سدیم اند. در روش بسیار جدید (۲۱) این عمل با افزودن آهک به اسید فسفریک فرایندتر برای رسوب دادن یونهای سولفات و فلوئور و صاف کردن غشایی انجام می شود و اسید بسیار شفاف به دست می آید. مواد لخته ساز افزوده شده به شکل محلول آبی با غلظتهای ۰/۵ تا ۲٪ یونی هستند. یعنی به مقدار ۰/۰۱۴ تا ۰/۲۷۶۸ کیلوگرم برای هر تن محلول به کار می روند. پس از فرایند برینش، مواد شفاف ساز نوع آمین و مواد لخته کننده افزوده می شود و سپس این مخلوط سانتریفوژ می شود. پژوهشهای انجام شده در زمینه مواد شفاف ساز نشان دادند که بهترین گستره دمایی برای این فرایند بین ۴۹ تا ۱۲۱ درجه سلسیوس است. در برخی از مقاله ها (۱۴ و ۱۳) به استفاده از سیلیکوفلوریدهایی مانند H_2SiF_6 ، $(NH_4)_2 SiF_6$ ، $Li_2 SiF_6$ ، $Zn SiF_6$ ، $Cu SiF_6$ ، $Na_2 SiF_6$ ، $Ag_2 SiF_6$ ، $K_2 SiF_6$ به صورت تکی یا مخلوط برای شفاف سازی اشاره شده است. در این مورد معمولاً ترکیبی اهمیت دارد که به راحتی در بازار تهیه شود و

فسفریک صنعتی، خوراکی و حتی کود شیمیایی در کشور است.

معمولترین روش تولید اسید فسفریک خوراکی در جهان روش فرایند تر است، اما چون اسید فسفریک تولید شده با فرایند تر، که منشأ آن سنگ معدن فسفات بوده، بسیار ناخالص است، باید خالص. لذا مسئله اساسی در صنعت، خالص سازی اسید فسفریک تولید شده می باشد. برای خالص سازی اسید فسفریک فرایند تر در صنعت به روش زیر عمل می شود.

خالص سازی اسید فسفریک فرایند تر

اسید فسفریک تولید شده در فرایند تر، که معمولترین روش تولید آن در جهان است، بسیار ناخالص بوده و منشأ آن سنگ فسفات معدن می باشد. سنگ معدن فسفات برای تولید اسید فسفریک خوراکی اهمیت ویژه ای دارد. غلظت بالا و دمای پایین باعث می شود که تبلور اسید فرایند تر (WPPA) مشکل باشد، لذا برای خالص سازی این اسید می توان روشهای گوناگونی به کار برد. یکی از این روشها، که معمولاً استفاده می شود و در این مقاله بررسی می شود، شامل مراحل لخته سازی، شفاف سازی، رنگبری با زغال، رسوب گیری با سولفات، صاف کردنهای پی در پی، استخراج حلال و مبادله یون برای تولید اسید فسفریک خالص است. حذف فلوئور با گرم کردن در شرایط ویژه در اتوکلاو، رسوب دادن به شکل فلوئور و سیلیکات، تبخیر به شکل سیلیکون تترافلوئورید، رسوب دادن به شکل فلوئورید کلسیم و روشهای گوناگون دیگر صورت می گیرد؛ اما اخیراً در روش بسیار جدیدی از روش صاف کردن و اولترافیلتراسیون غشایی برای خالص سازی استفاده

باقی نماندن بوی آن پس از استخراج نیز توجه کرد.

ج) اولترافیلتراسیون غشایی

در این روش اسیدی را که صاف شده و شفاف است تحت فشار مناسب از غشاء ویژه عبور می‌دهند تا یونهای فلزی آن به حد ناچیز برسد.

د) روشهای فیزیکی- شیمیایی

پس از انجام مراحل بالا هنوز برخی از ناخالصیها، که بیش از حد مجاز برای اسیدهای خوراکی اند در اسید به دست آمده وجود دارد. برای حذف این ناخالصیها، که آرسنیک، سرب، کادمیوم، فلئور و سولفات مهمترین آنها هستند، روشهای فیزیکی- شیمیایی به کار می‌رود. در بعضی از مقاله‌ها (۶) به کاربرد این روشها قبل از استخراج با حلال اشاره شده است. در این روشها با ایجاد شرایط فیزیکی ویژه از نظر گرما، فشار و یا افزودن مواد شیمیایی ویژه می‌توان ناخالصیها را حذف کرد.

ه) حذف سرب (Pb) و آرسنیک (As)

حذف سرب و آرسنیک با عبور گاز H_2S به‌طور مستقیم از درون محلول اسید یا اضافه کردن H_2S انجام و موجب رسوب هر دو عنصر مذکور می‌شود. سپس اسید استیک اضافی با تقطیر حذف می‌گردد.

و) حذف فلئور (F)

یون فلئور در اسید فسفریک خوراکی باید بسیار اندک باشد، به همین دلیل حذف آن اهمیت ویژه‌ای دارد. در یک روش (۱۷ و ۷) این حذف، با افزودن پودر سیلیس کلوئیدی به میزان $0/3$ تا $1/2$ وزنی نسبت به اسید انجام می‌شود. لجن به‌دست آمده تا نقطه جوش گرم و غلظت اسید با افزودن آب تا حدود $2 \pm$ ٪ ثابت نگه داشته می‌شود. محلول حاصل پس از نیم‌ساعت جوشاندن صاف می‌شود. در روش دیگر (۷ و ۶) با عبور دادن بخار آب

بهترین نتیجه را دهد. در برخی دیگر از مقاله‌های جدیدتر (۸) قبل از افزودن مواد شفاف‌ساز افزودن آهک برای حذف یون سولفات و فلئور در نظر گرفته شده است. در روشی بسیار جدید در صاف کردن با غشاء ویژه که در این تحقیق مورد استفاده است، درصد اسید بازیابی شده بسیار بیشتر از روشهای قبلی است و تا ۹۵٪ اسید تغذیه بازیابی می‌شود.

در بسیاری از مقاله‌ها (۱۷ و ۱۸) استفاده از کربن فعال برای شفاف‌سازی اسید فسفریک پیشنهاد شده است. به‌طور معمول برای این منظور هر نوع کربن فعال موجود در بازار را می‌توان به‌کار برد. از این کربن فعال قبل از استفاده به‌عنوان شفاف‌ساز، با یک اسید معدنی قوی مانند اسید سولفوریک، اسید نیتریک و یا اسید کلریدریک استفاده می‌شود. در این مورد معمولاً اسیدها با ۱۰٪ وزنی بالاتر به‌کار می‌روند. در این روش به‌طور معمول از $0/4535$ تا $1/3608$ کیلوگرم کربن فعال عمل‌آوری شده با اسید معدنی برای هر تن اسید فرایند تر استفاده می‌شوند. بازه دمایی مناسب در این روش بین $79/5$ تا 121 درجه سلسیوس قرار دارد. استفاده از خاکهای رس متورم مانند آتاپولزیت، بتونیت نیز برای شفاف‌سازی پیشنهاد شده است (۳).

ب) استخراج با حلال

در این روش اسید با جریان برگشتی توسط حلال مناسب استخراج می‌شود. سپس حلال غنی از H_2PO_4 با اسید فسفریک خالص شستشوی برگشتی می‌شود. حلالهای مناسب در این روش در مقاله‌های مختلف (۵ و ۴) به ترتیب سیکلوپنتانول، n- بوتانول، ۲- هیدروکسی اتیل، n- هگزیل اتر، تری -n- بوتیل فسفات‌اند. حلال تری -n- بوتیل فسفات به دلیل گزینشی بودن و حلالیت کم در آب بسیار پیشنهاد شده است. در انتخاب حلالها باید به

کمتر از ۰/۲۵٪ وزنی کاهش یابد. در این عمل مقداری فلوئور نیز رسوب می‌کند. این مخلوط را صاف می‌کنیم تا مواد معلق زیر آن حذف شوند. سپس این اسید تحت یک سیستم فشار معین اولترا فیلتراسیون می‌شود تا مواد معلق بسیار ریز با صاف شدن غشایی حذف شوند. در این روش ۹۵٪ اسید تغذیه بازیابی می‌شود. پس از انجام این مرحله اسید به‌دست آمده با استفاده از پمپهای سانتریفوژ یا تغییر مکان مثبت تحت فشار قرار گرفته و به کمک غشای ویژه صاف می‌شود. در این مرحله بیش از ۹۹٪ ناخالصیهای فلزی آن حذف می‌شود. کیفیت یک نمونه اسید تولید شده به این روش در جدول ۱ آمده است. اسید تغذیه با ۳۰ تا ۴۲٪ وزنی P_2O_5 را نیز می‌توان به کار برد

جدول ۱. مشخصات اسید فسفریک تولیدشده با روش فرایند تر

ترکیب	اسید تغذیه	اسید تولید شده
P_2O_5	wt% ۴۳/۵	wt% ۵۴/۵
F	wt% ۱/۵	ppm < ۵۰
Al	wt% ۰/۴۴	ppm < ۳۰
Fe	wt% ۰/۳۳	ppm < ۲۰
Mg	wt% ۰/۵۷	ppm < ۵۰
Cr	ppm ۴۵۰	ppm < ۳
Ca	ppm ۲۵۰	ppm < ۱۰
V_2O_5	ppm ۱۵۰۰	ppm < ۲۵
Cd	ppm ۱۲۵	ppm < ۵

فوق گرم، از درون اسید فرایند تر شفاف آن را فلوئورزدایی کردند. در این روش بخار با سرعت در دمای معین وارد اسید شد تا آن را به جوش آورد. مقدار فلوئور در این محلول پس از مدت زمان معین جوشیدن کاهش یافت. بازه دمایی مناسب برای این عمل ۱۵۰ تا ۱۶۰ درجه سلسیوس است. حذف فلوئور با افزودن نمکهای سدیم و پتاسیم مانند NaCl و تولید Na_7SiF_6 نیز انجام می‌شود. افزودن آهک نیز به منظور رسوب دادن CaF_2 برای حذف فلوئور به کار می‌رود.

ز) حذف سایر ناخالصیها

کادمیوم (Cd) و مس (Cu) با عبور گاز H_2S به همراه آرسنیک رسوب داده می‌شوند و با صاف کردن حذف می‌شوند. در یک روش (۷) با افزایش بیست گرم محلول Na_2S ۶۰٪، به دو لیتر H_3PO_4 غلیظ، مقدار کادمیوم (Cd) از ۳۴ ppm به ۱/۵ ppm و مقدار مس (Cu) از ۳۰ ppm به ۱ ppm کاهش یافت.

مواد و روشها

از آنجا که تولید و مصرف اسید فسفریک خوراکی اهمیت ویژه‌ای دارد، ما در این طرح روش مناسبی را به نام «خالص سازی اسید فسفریک به‌دست آمده از فرایند تر» برای تولید اسید فسفریک خوراکی در ایران به شرح زیر بررسی می‌کنیم:

فرایند خالص سازی اسید فسفریک به روش غشایی

در این فرایند جدید و منحصر به فرد اسید فسفریک فرایند تر بر اساس استفاده از غشاء ویژه خالص سازی می‌شود و نیازی به استخراج با حلال نیست (۲۱ و ۱۹).

اسید تغذیه در این روش ۳۰ تا ۴۰٪ P_2O_5 دارد (می‌توان از اسید غلیظ تر نیز استفاده کرد). این اسید با منبع کلسیم مناسب (مثل آهک) واکنش داده می‌شود، به طوری که سرانجام مقدار سولفات آن به

پس از صاف کردن مخلوط حاصل با استفاده از زغال فعال، عمل شفاف‌سازی اجرا شد. راندمان بازیابی در این روش ۵۰٪ اسید تغذیه بود. عمل استخراج با استفاده از n - بوتانول صورت گرفت.

برای حذف آرسنیک، تیواستامید اضافه شد. با حرارت دادن، مقدار اضافی H₂S را خارج کرده و مخلوط را صاف کردیم. روش حذف آلومینیوم با استفاده از K₂CO₃ و گرم کردن محلول در بازه دمایی ۷۰-۹۰ درجه سلسیوس بود. با افزودن تیواستامید برای حذف آرسنیک مقدار آهن نیز کاهش بسیار یافت. سپس برای حذف آهن از HCl و حلال دی اتیل اتر یا n - بوتانول استفاده شد. برای حذف فلئور نیز از روش افزودن آهک و صاف کردن استفاده شد که نتایج مطلوبی در این زمینه به دست آمد. در یک روش دیگر (۲۱) از سنگ معدن اسفوردی کنسانتره تهیه شد که دارای ۳۹/۵٪ P₂O₅ و ۱/۵ درصد آهن بود. به این کنسانتره اسید فسفریک ۲۰٪ اضافه شد و پس از جوشاندن و افزودن بوتانول و جداسازی فازها و انجام عملیات افزودن آب و بوتانول و جداسازی، مقدار آهن به کمتر از ۵۰ ppm کاهش یافت.

بحث و نتیجه

تهیه اسید فسفریک خوراکی از اسید تغذیه پتروشیمی رازی و یا سنگ معدن فسفات اسفوردی امکان‌پذیر است. روشهای متعددی در این زمینه پیشنهاد شده که به نظر می‌رسد روش T.V.A بهترین روش است که در متن این مقاله شرح داده شد. با در نظر گرفتن عملیات انجام شده در این پژوهش نمونه‌ای از اسید فسفریک خوراکی با ترکیب ذکر شده در جدول (۴) به دست آمد.

جدول ۴: مشخصات اسید فسفریک خوراکی از اسید تغذیه پتروشیمی رازی

P ₂ O ₅	As	فلزات سنگین	F	Fe
۵۴/۳٪	۱ ppm	۵ ppm	۵ ppm	۵ ppm

برای تولید اسید فسفریک خوراکی با استفاده از

پژوهشهای آزمایشگاهی

اسید فسفریک فرایند تر پتروشیمی رازی، که در این پژوهش به کار رفته است، مشخصات تجزیه‌ای به شرح جدول ۲ دارد (برحسب درصد وزنی):

جدول ۲: مشخصات اسید فسفریک فرایند تر پتروشیمی رازی

مواد جامد	OS ₂	F	MgO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅
۲-۴	۰/۸-۱/۶	۰/۵-۰/۶	۰/۸۷	۱/۷۳	۴۸-۵۴	

ویژگیهای اسید فسفریک خوراکی مطابق با استاندارد صنایع غذایی آمریکا نیز در جدول ۳ آمده است (بر حسب درصد وزنی):

جدول ۳: مشخصات اسید فسفریک خوراکی مطابق استاندارد

صنایع غذایی آمریکا

H ₂ PO ₄	حداقل ۸۵
فسفات کلیایی	حداکثر ۰/۲
آرسنیک	حداکثر ۰/۰۰۰۱
فلزات سنگین (بر حسب ppb)	حداکثر ۰/۰۰۰۱
Fe	حداکثر ۰/۰۰۰۳
NO ₃ ⁻	حداکثر ۰/۰۰۰۵
SO ₄ ^{-۲}	حداکثر ۰/۰۰۰۳
مواد احیاءکننده (بر حسب تیوسولفات ۰/۰۱ نرمال)	در حدود ۰/۱ میلی لیتر
اسیدهای فرار (بر حسب استیک اسید)	حداکثر ۰/۰۰۱
رنگ (A.P.H.A)	۲۰
چگالی (۲۵° / ۱۵° / ۵° C)	۱/۳۸۶ g.cm ^{-۳}

برای شفاف‌سازی از لخته‌ساز نوع پلی‌اکریل آمید سفید رنگ استفاده شد. محلول لخته‌ساز به کار رفته از حل کردن ۲ گرم لخته‌ساز در مقدار لازم الکل اتیلیک و رسانیدن حجم آن با آب به ۱۰۰ میلی لیتر به دست آمد. این محلول به همراه اسید بوریک استفاده شد و

در مرحله بعدی به این اسید شفاف کمی پودر نرم سیلیس (۲۰۰ مش) برای حذف فلوئور افزوده شد. پس از یک ساعت این اسید از ستونی محتوی ژئولیت با دانه بندی ۰/۵ میلی متر عبور داده شد و نتایج آنالیز بسیار موفق بود. با توجه به پرس کردن اسید در ستونها، بازیابی اسید تا ۷۰٪ اسید اولیه بوده و چنانچه به روش صنعتی عمل شود شاید این درصد بازهم بالاتر رود. نتایج آنالیز نشان می دهد که به طور کلی بیش از ۹۹٪ ناخالصیهای فلزی آن حذف می گردد. کیفیت نمونه اسیدی از اسید اشاره شده در مقاله مورد استفاده و اسید پتروشیمی رازی در جدول ۵ تنظیم شده است. جالب است بدانیم که در این روش نیز چنانچه اسید کمی رقیق شود (تا حد ۳۰٪ P_2O_5) فیلتر پرس و خالص سازی ساده تر انجام شده و همان نتایج مطلوب به دست می آید که بعد از آن باید این اسید را تا ۷۵٪ H_2PO_4 تغلیظ نمود.

روش غشای ویژه از اسید پتروشیمی رازی به روش زیر عمل کردیم. در این روش ابتدا اسید فسفریک دارای لجن (اسید خام) از صافی شنی و پنبه ای عبور داده شد و نسبتاً عاری از لجن گردید. به این اسید به نسبت استوکیومتری CaO افزوده شد تا SO_4 و فلوئور حذف گردد. پس از دو ساعت این اسید از ستونی که در قسمت بالا و پایین دارای ژئولیت با دانه بندی ۰/۵ میلی متر بود و در قسمت میانی آن زغال فعال گرانول قرار داشت فیلتر پرس گردید، نتیجه اسید بسیار شفاف بود، اما رنگبری آن چندان خوب نبود. برای رنگبری به آن کمی زغال افزوده و سپس از صافی بنتونیت (دانه بندی ۰/۵ میلی تر) با فشار عبور داده شد و اسید شفاف به دست آمد. مقداری از این اسید برای آنالیز کنار گذاشته شد. در یک مرحله به عنوان نمونه در آزمایش از تفاله چای به جای کربن فعال استفاده شد که نتایج مطلوبتری در شفافیت به دست آمد.

جدول ۵. کیفیت اسید مورد نظر و اسید پتروشیمی رازی

ترکیب	اسید تغذیه (درصد وزنی)	اسید تولید شده	اسید پتروشیمی (درصد وزنی)	اسید آزمایشگاهی (بعد از فیلتر شدن دوم)
P_2O_5	۴۳/۵	۵۴/۵٪	۴۸-۵۴	۵۳-۵۴/۵٪
F	۱/۵	<۱۵۰ mg/Kg	۰/۸ - ۱/۶	۱۳ mg/Kg
Al	۰/۴۴	<۳۰ mg/Kg	۰/۴۶	۵ mg/Kg
Fe	۰/۳۳	<۲۰ mg/Kg	۱/۲۱	۱۰ mg/Kg
Mg	۰/۵۷	<۵۰ mg/Kg	۰/۳۰ - ۰/۳۶	<۵ mg/Kg
Cr	۰/۰۴۵	<۳ mg/Kg	-	-
Ca	۰/۰۲۵	<۱۰ mg/Kg	-	-
V_2O_5	۰/۱۵	<۲۵ mg/Kg	-	-
Cd	۰/۰۱۲۵	<۵ mg/Kg	-	-
OS_4	-	-	۲-۴	۱۵۰ mg/Kg
مواد جامد	-	-	۵-۷	-
As	-	-	-	۲ mg/Kg
فلزات سنگین (AsPb)	-	-	-	۱۰ mg/Kg

منابع

12. ____, (1994), No. 8B, «Purification of Wet Process Phosphoric Acid»;
13. ____, (1994), No 8, «Purification of Wet Process Phosphoric Acid to Food Grade»;
14. ____, (1994), No. 52, «Phosphoric Acid from Phosphorus»;
15. ____, (1994). No. 8, «Wet Process Acid Concentration»;
16. ____, No. 52, (1995), «Phosphoric Acid by Steam Oxidation of Phosphorus»;
17. ____, (1994). No. 8, «Wet Process Acid Concentration»;
- (1995), No. 52, «Electric Furnace Production of Phosphorus»;
18. U.S. Patent, 2885568, (1996), «Production of Food Grade Phosphoric Acid»;
19. Waterose Paper: «Industrial Production of Phosphoric Acid», (2001), Online;
20. «Wet Process Phosphoric Acid, Purification, Simplest, Membrane Purification», <http://WWW.kemworks.com>, (2001);
21. Whitiow. J. E, & Pogo de Fernandez. M. E. and Travino. F. Jr. (2001), «Wet Phosphoric Acid Purification using $Sc\ CO_2$ », *F.I.T. Conferece*, (171c), Online. ■
1. شیروانی، منصور (دی ماه ۱۳۶۴)، «تولید فسفر و اسید فسفریک به روش حرارتی»، نشریه شیمی و مهندسی ایران؛
2. میرشکرایی، سیداحمد، (۱۳۷۴) *اصول صنایع شیمیایی*، انتشارات دانشگاه پیام نور؛
3. Allgood. H. Y. and Lancaster. F.E. (1995) *A High Temperature Super Phosphoric Acid*;
4. «Extraction of Iron (III) from Concentrated Phosphoric Acid» (August 1964), *Anal. Chem*, Vol. 36, No. 9, 1876-1877;
5. Higgins. C.E. (1962) , «Interaction Between Trl butyl phosphate», *J; Inorg, Nucl. Chem.* 24, 416-427;
6. Othmer, Kirk, (1981), «Encyclopedia of Chemical Technology», Vol. 17, 426-490;
7. ____, (1985), «Wet Process Phosphoric Acid», 235-281;
8. Scott. W.C., (1961), «Wet Process Phosphoric Acid Pllot Plant Production», *Indent, Chem.* 53, 713-716;
9. Stanford Research institue, (1994), No: 7, «Fuel Furnace Production of Phosphorus»;
10. ____, 1994, No: 8A, «Purification of Wet Process Phosphoric Acid»;
11. ____, (1994), No. 8C, «Phosphoric Acid Purification»;