فصل اول- کنترل کیفیت مواد اولیه و محصول

فصل۱

کنترل کیفیت مواد اولیه و محصول

مقدمه

روند رو به افزایش استفاده از منابع هیدروکربنی در کنار عوامل دیگر نظیر ترش‌تر شدن منابع نفت و گاز جهان به دلیل برداشت‌های مستمر از آنها از یک سو و اعمال محدودیت‌ها و قوانین زیست محیطی سخت گیرانه در کاهش میزان گوگرد فرآورده‌های نفتی و گازی از سوی دیگر، سبب شده است تا تولید گوگرد در جهان با یک سیر تصاعدی همراه باشد. به تبع موارد فوق، چالشی که هم اکنون گریبانگیر کشورهای تولید کننده گوگرد از منابع نفت و گاز شده است حجم بالای تولید و مازاد عرضه این محصول می‌باشد. با بررسی روند عرضه و تقاضای گوگرد در جهان که حاکی از تولید ۳-۲ میلیون تن گوگرد مازاد در سال می‌باشد، بنظر می‌رسد که کشورهای عمده تولید کننده گوگرد باید بدنبال راهکارهای جدیدی برای مصرف انبوه آن باشند تا در آینده با مشکلات متعدد ایمنی و انبارداری مواجه نگردند.

شرکت ملی گاز ایران نیز بعنوان بزرگترین تولید کننده گوگرد در کشور، سالانه بخش قابل توجهی از گوگرد خود را به شکل خام روانه بازارهای بین المللی می‌کند. اگرچه در شرایط فعلی صادرات گوگرد بعنوان راهبردی کوتاه مدت می‌تواند پاسخگوی معضل گوگرد مازاد در سطح کشور باشد ولی ایجاد زمینه‌های جدید مصرف گوگرد مازاد صنایع نفت و گاز و تبدیل آن به محصولات با ارزش افزوده بالا، از اهمیت و ضرورت بیشتری برخوردار است. در این راستا بررسی های بازار انجام شده نشان می دهد که بخش کشاورزی، بدلیل ماهیت آهکی غالب خاک‌های زراعی ایران و قابلیت استفاده از گوگرد به عنوان عنصر غذایی و نیز عامل اصلاح کننده خاک، عمده ترین محل مصرف گوگرد بوده و پتانسیل عظیمی برای جذب گوگرد تولیدی، افزایش بهره‌وری زمین‌های کشاورزی در راستای کمک به کاهش واردات کود و قطع وابستگی، ارتقاء کیفیت محصولات زراعی و کاهش آلایندگی محیط را ایجاد می نماید.

اغلب اراضی زراعی ایران ، به دلیل آهکی بودن سنگ مادر، دارای pH بالای ۸ و قلیایی بوده و نیازمند اصلاح و کاهش pH می‌باشند. یکی از راه‌های اصلاح pH خاک با استفاده از فرمولاسیون‌های خاص گوگرد

کشاورزی با قابلیت پخش شدن در خاک و تبدیل به ذرات ریز با سطح تماس زیاد برای واکنش اکسایش و تولید سولفات در محل و به طور موضعی و نهایتاً اسیدی نمودن، می‌باشد. به این ترتیب جذب عناصر غذایی فسفر، آهن، منگنز، روی و دیگر عناصر تثبیت شده در این قبیل خاک‌ها مهیا گشته و علاوه بر صرفه جویی در مصرف کود، باعث افزایش حداقل ۳۰ درصدی عملکرد در برداشت محصولات کشاورزی می‌گردد. تبدیل گوگرد عنصری به فرمولاسیون قابل پخش، با استفاده از عوامل جاذب رطوبت و متورم شونده مانند خاک بنتونیت، امکانپذیر می‌باشد. به این ترتیب میتوان گوگرد را هم به عنوان ماده مغذی و نیز به عنوان اصلاح کننده خام مورد استفاده قرار داد.

در این ارتباط، پژوهشگاه صنعت نفت در قالب یکی از طرح‌های پژوهشی شرکت ملی گاز ایران با عنوان " توسعه فناوری تولید گوگرد کشاورزی و ارزیابی میدانی تأثیر آن بر اصلاح pH ، ساختار فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک‌های کشور"، مبادرت به تعریف پروژه پژوهشی با عنوان " بررسی میدانی تأثیر فرمولاسیون‌های ویژه گوگرد در اصلاح pH ، ساختار فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک‌های کشور" نموده و بعنوان "مجری سطع یک" و در تعامل با مؤسسه تحقیقات خاک و آب بعنوان "مجری سطح دو"، فعالیت‌های نظارتی بر ساخت فرمولاسیون در پالایشگاه گاز شهید هاشمی نژاد و نیز فعالیت‌های تحقیقاتی و ترویجی مربوط به کاربرد فرمولاسیون‌های گوگرد کشاورزی در سایت‌های مختلف را آغاز نمود. نتایج فعالیت‌های انجام گرفته در بخش‌های مختلف، در این گزارش ارائه خواهد گردید.

۱-۱- مواد غذایی مورد نیاز گیاهان

بطور کلی، عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان شامل سه گروه به شرح ذیل می‌باشند:

- **عناصر غذایی اصلی** که به مقدار زیاد مورد نیاز گیاه بوده و شامل هیدروژن، اکسیژن، کربن، ازت، فسفر و پتاسیم است.

- **عناصرغذایی ثانویه** که به مقدار کمتری توسط گیاه مصرف می‌گردد و شامل کلسیم، منیزیم و گوگرد می‌باشد.
- **عناصر کم مصرف یا ریزمغذی** که به مقدار کم توسط گیاه مصرف می‌شود و شامل بر، کلر، روی، مس، آهن، منگنز و مولیبدن است.

از بین این عناصر، کربن، هیدروژن و اکسیژن از راه آب و هوا تامین می‌گردند. بعضی از خاک‌ها بطور طبیعی حاوی بقیه عناصر هستند ولی در اغلب خاک‌ها، بخصوص در صورتیکه خاک منشأ آهکی و pH قلیایی داشته که باعث تثبیت و عدم فراهمی مواد مغذی برای گیاه گشته و یا در صورت کشت مستمر، کمبود این عناصر ظاهر می‌شود. با اینکه بعضی از این عناصر به طرق مختلف مانند فساد مواد آلی، بارندگی و تجزیه مواد شیمیایی به خاک اضافه می‌شوند ولی مقدار اضافه شده این عناصر درحدی نیست که نیاز گیاه را تأمین نماید. بررسی های انجام شده نشان می دهد که جهت حصول بهترین راندمان محصولات کشاورزی، تامین کلیه عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان، از طریق مصرف بهینه کودهای شیمیایی حاوی عناصر مغذی مختلف ضروری است. بعبارت دیگر کمبود عناصر غذایی مورد نیاز گیاه تاثیر منفی بر راندمان محصولات دارد.

۱-۱-۱- گوگرد بعنوان عنصر غذایی

گوگرد جزء عناصر ثانویه مورد نیاز گیاه می‌باشد. میزان گوگرد در گیاهان تقریبا برابر با مقدار فسفر و برابر ۰/۵-۲/۵ درصد است. گوگرد جزئی از اسیدهای آمینه گوگرددار گیاه، مثل سیستین[1] سیستئین[2] و میتیونین[3] بوده و این اسیدهای آمینه اجزاء اصلی سازنده پروتئین می‌باشند. تقریبا ۹۰٪ از گوگرد گیاهان در ساختمان اسیدهای آمینه بکار می‌روند. گوگرد در تهیه کوآنزیم A نیز بکار می‌رود. این ترکیب در اکسیداسیون و تهیه اسیدهای چرب، تهیه اسیدهای آمینه و اکسیداسیون مواد حدواسط چرخه اسید سیتریک دخالت دارد. همچنین گوگرد نقش مهمی در سنتز کلروفیل دارد.

[1] Cystine
[2] Cysteine
[3] Methionine

در دهه های اخیر افزایش آگاهی نسبت به کمبود گوگرد در خاک های کشاورزی جهان منجر به افزایش تمایل به مصرف کودهای شیمیایی حاوی گوگرد گشته است. بنابراین تحقیقات در زمینه تولید کودهای شیمیایی حاوی گوگرد و استفاده از آن ها در صنعت کشاورزی یک استراتژی مهم در افزایش کیفی و کمی محصولات کشاورزی و بازده اقتصادی است. انستیتو گوگرد که توسط ایالات متحده با هدف دستیابی، هماهنگ نمودن و ترویج کاربردهای گوگرد، تأسیس شده، در این راستا گام های بزرگی برداشته است بطوری که در حال حاضر تعداد قابل توجهی از گونه های کودهای گوگردی به صورت تجاری به خصوص در آمریکای شمالی قابل دسترس هستند.

به طور کلی کودهای گوگردی به دو دسته کلی تقسیم می شوند:

- کودهای گوگردی حاوی ترکیبات سولفاته
- کودهای حاوی گوگرد عنصری

گروه دوم جدیدتر بوده و در سال های اخیر به شدت مورد توجه قرار گرفته است و مصرف آنها در کشورهای توسعه یافته در حال افزایش می باشد و پیش بینی می شود این روند افزایشی در آینده همچنان ادامه داشته باشد. در راستای ترویج تولید و مصرف کودهای حاوی گوگرد عنصری، مصرف کودهای گرانوله گوگرد آلی و گوگرد کشاورزی آغاز گردیده است تا نقش آن ها در افزایش عملکرد هکتاری و بهبود کیفیت محصولات کشاورزی مشخص‌تر گردد. از مزایای گوگرد کشاورزی قابلیت فرموله نمودن آن‌ها همراه با عناصر ریزمغذی می‌باشد.

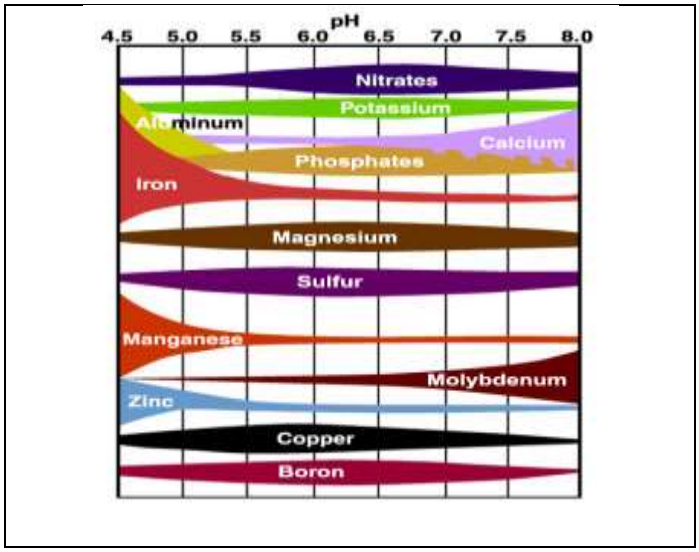
۲-۱-۱- تأثیر گوگرد بر اصلاح خاک

pH یا خاصیت اسیدی مهم‌ترین عامل در تأمین زمینه مناسب جهت جذب عناصر غذایی از خاک می‌باشد.

اثر pH خاک در عملکرد گیاهان زراعی از دو راه عمده انجام می‌گیرد:

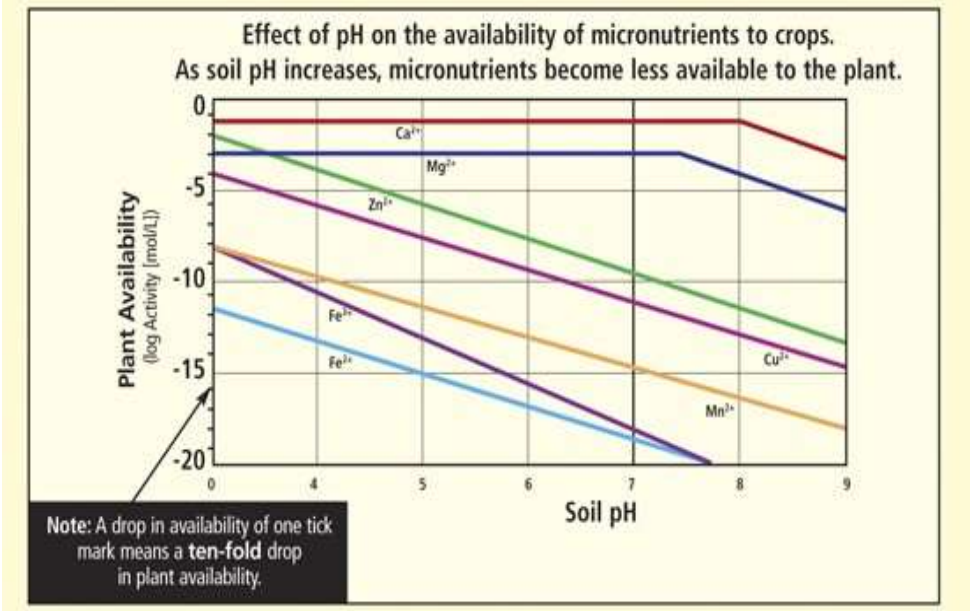
- اثر مستقیم pH بر میزان حلالیت عناصر ریز مغذی خاک
- اثر غیرمستقیم برفعالیت موجودات ذره‌بینی و جذب سطحی عناصر توسط ریشه

تغییر در پهنای هر منحنی در شکل۱-۱، نشاندهنده تغییر حلالیت عناصر مغذی گیاه با pH خاک می‌باشد.



شکل۱-۱- تاثیر pH خاک بر جذب عناصر مغذی

نظر به اینکه بخش عمده‌ای از ازت معدنی خاک، حاصل فعالیت موجودات زنده از راه تجزیه مواد آلی خاک است، لذا میزان ازت آزاد شده نیز تابع تاثیر pH خاک می‌باشد. از آن جایی که در محیط اسیدی بیشتر قارچ‌ها و در خاک دارای pH نزدیک به خنثی باکتری‌ها فعالند و در مجموع در تجزیه مواد آلی، فعالیت باکتری‌ها مؤثر است، لذا pH نزدیک به خنثی، مناسب‌ترین حالت برای تجزیه مواد آلی و آزاد نمودن ازت در مرحله اول و فسفر، گوگرد و بعضی عناصر ریزمغذی در مرحله دوم می‌باشد. بنابراین بهترین محدوده pH جهت رشد گیاهان حدود ۷-۶/۵ می‌باشد که در این pH امکان جذب تمامی عناصر مغذی اصلی و فرعی توسط گیاهان وجود دارد. با افزایش pH خاک و قلیایی شدن آن، عناصر غذایی در خاک تثبیت شده و جذب آن ها توسط گیاه کاهش می‌یابد. بنابراین راندمان مصرف کود کاهش یافته و کمبود این عناصر در خاک های قلیایی بوجود می‌آید. شکل ۱-۲ تاثیر pH خاک بر جذب کودهای ریزمغذی را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۲- تاثیر pH خاک و قلیایی شدن آن بر جذب کودهای ریزمغذی

استفاده از گوگرد در خاک، علاوه بر کاهش pH ، آثار سوء ناشی از زیادی سدیم و شوری خاک را نیز اصلاح می‌نماید. در خاک‌های شور و قلیایی پس از نصب زهکش‌ها و شروع آبیاری، حلالیت کلسیم موجود در کربنات کلسیم در حدی نیست که بتواند وارد آب گشته و جانشین سدیم جذب سطحی شده گردد و در نتیجه خاک را اصلاح نماید. در این شرایط با افزایش گوگرد بنتونیت به خاک، گوگرد موجود در آن در اثر فعالیت باکتری های تیوباسیلوس، به اسید سولفوریک تبدیل شده و در نهایت کلسیم کربنات موجود در خاک به کلسیم سولفات تبدیل می‌گردد. از طرف دیگر با توجه به حلالیت بیشتر کلسیم سولفات نسبت به کلسیم کربنات، کلسیم موجود در آب آبیاری افزایش یافته و کلسیم محلول جایگزین سدیم موجود در سطح رس ها شده و در نتیجه باعث اصلاح خاک می شوند. اندازه ذرات گوگرد بر سرعت تاثیر تیوباسیلوس‌ها بر گوگرد در خاک، بسیار موثر است. هر چه اندازه ذرات کوچکتر باشد، تیوباسیلوس‌ها سریع تر بر آنها تاثیر گذاشته و آنها را به اسید سولفوریک تبدیل می‌نمایند. از طرفی استفاده از گوگرد پودری در خاک به دلیل اثرات نامطلوب زیست محیطی، اثر تحریک کننده گوگرد بر پوست انسان و احتمال بروز آتش سوزی امکان‌پذیر نیست. از سوی دیگر به علت نامحلول بودن گوگرد در خاک و همچنین عدم امکان نفوذ آب در گوگرد دانه بندی شده معمولی، با آبیاری مزارع دانه‌های گوگرد از هم پاشیده نمی‌شوند در نتیجه به

علت اندازه بزرگ دانه‌های گوگرد، تیوباسیلوس‌ها تأثیری بر گوگرد دانه بندی شده معمولی نخواهند داشت. بنابراین در مصارف کشاورزی، جهت اصلاح pH خاک، گوگرد با کانی‌های کلوئیدی مثل بنتونیت و مونت-موریلوینیت مخلوط و سپس گرانوله می‌گردد. با آبیاری مزارع، بنتونیت موجود در گوگرد کشاورزی متورم شده و دانه‌های گوگرد به ذرات بسیار ریز از هم پاشیده می‌شود که می تواند تحت تاثیر باکتری های تیوباسیلوس، اکسید شده و باعث کاهش pH خاک گردد.

کلیه آب هایی که در آبیاری استفاده می‌شوند، دارای نمک بوده و این نمک با هر نوبت آبیاری به خاک افزوده شده و در آن جابجا می‌شود. تاثیر آب آبیاری بر خاک، بستگی به خواص فیزیکی و شیمیایی خاک، مقاومت کشت‌های مختلف به شوری، ویژگی های آب و هوایی منطقه و روش تناوب و مقدار آب آبیاری مصرفی دارد. کیفیت آب آبیاری توسط هدایت الکتریکی، میزان کل نمک‌های محلول موجود در آن[4](Ecw) ، ضریب جذبی سدیم (SAR[5]) و یون های سمی موجود در آن ارزیابی می‌شود.

یکی از موادی که عمدتاً جهت اصلاح آب مصرف می‌گردد، گوگرد می‌باشد. با تأثیر باکتری‌های تیو باسیلوس بر گوگرد عنصری موجود در کود، گوگرد به اسید سولفوریک تبدیل می‌شود. با انحلال اسید سولفوریک در آب آبیاری علاوه بر افزایش الکترولیت موجود در آب باعث خارج شدن یون های کربنات و بی کربنات نیز می‌گردد.

$$H_2SO_4 + Ca(HCO_3)_2 \longrightarrow CaSO_4 + .H_2O + 2CO_2$$

$$H_2SO_4 + CaCO_3 \longrightarrow CaSO_4 + H_2O + CO_2$$

---

[4] ECw یا EC:Electrical Conductivity(هدایت الکتریکی)

[5] SAR (Sodium Adsorption Ratio)

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{(Ca^{2+} + mg^{2+})}{2}}}$$

گرچه سدیم یک عنصر ضروری برای بسیاری از گیاهان می باشد اما غلظت بیش از حد آن در آب سبب سدیمی شدن آب شده که آب سدیمی موجب ایجاد خاک سدیک و تخریب ساختار خاک می گردد. ضریب جذب سدیم با توجه به غلظت سدیم و کلسیم و منیزیم محاسبه می شود. مقادیر کوچک SAR و فراوانی کلسیم و منیزیم نسبت به سدیم در آب، مناسب است. بنابراین عواملی که میزان SAR را در آب کاهش دهند، به اصلاح آب کمک می‌کنند. یک قانون عملی این است که اگر SAR بیشتر از ۱۰ برابر EC باشد، نفوذپذیری کم احتمالا اتفاق می افتد.

در نتیجه واکنش‌های مذکور کلسیم (کربنات کلسیم) به یک ترکیب محلول تر (ژیپسم) تبدیل شده و با افزایش کلسیم، SAR آب کاهش یافته و کیفیت آب اصلاح می‌شود (علایی،۱۳۹۰).

۲-۱- خاک بنتونیت

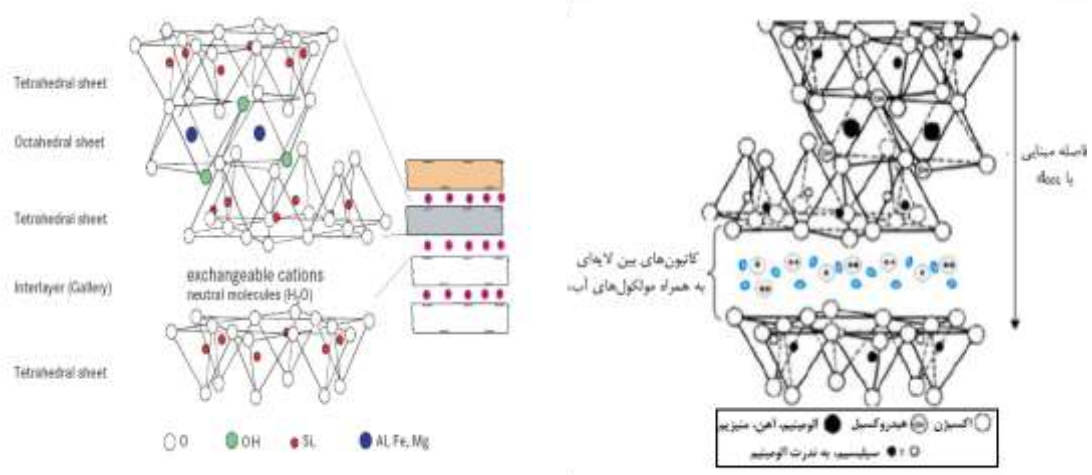
همانطور که اشاره شد، یکی از طرق افزودن گوگرد به خاک بعنوان اصلاح کننده خاک و نیز تأمین ماده مغذی گیاه، استفاده از گوگرد عنصری به صورت فرمولاسیونی با قابلیت پخش در خاک می‌باشد. برای این منظور لازم است که از مواد افزودنی خاصی در تهیه فرمولاسیون استفاده گردد که این قابلیت را ایجاد نموده، در خاک متلاشی شده و ذرات ریز را ایجاد نماید. یکی از مواد افزودنی طبیعی برای این منظور خاک بنتونیت که نوعی خاک رس است، می‌باشد. ملکول‌های رس به واسطه شرایط ساختمانی ویژه خود، طبیعتی کلوئیدی دارند. برخی از این خواص عبارتند از:

- رس‌ها در محیط‌های آبی به خوبی پراکنده و پخش می‌شوند.
- رس‌ها روی دانه‌های خود بارهای الکتریکی دارند و در اثر وجود همین بارهای الکتریکی است که می‌توانند تحت تأثیر نیروهای الکتریکی، حرکت کنند.
- رس‌ها قابلیت تبلور و آبدار شدن دارند.
- رس‌ها قابلیت تعویض یون و ظرفیت تعویض کاتیون دارند.
- کانی‌های رسی به سه گروه تقسیم می‌شوند:
- الف) گروه کائولین
- ب) گروه بنتونیت، رس‌های این گروه شامل کانی‌های مونت‌موریلونیت می‌باشند.
- ج) گروه میکا های متبور

بنتونیت نوعی خاک رس (سنگ آذرین هوازده) شامل لایه‌های ۲:۱ قابل تورم از گروه اسمکتیت است که جزء اصلی آن مونت‌مورینولیت بوده و شامل ۸۵ درصد خاک رس معدنی مونت‌موریلونیت $Si_8Al_4O_2(OH)_4.nH_2O$ می‌باشد.

کانی رسی عمده در بنتونیت، اسمکتیت است. در واقع نام اسمکتیت برای توصیف گروهی از کانی‌های دارای صفحات ۲:۱ قابل تورم فیلوسیلیکاتی و دارای بار دائمی به کار گرفته می‌شود. این کانی توانایی جاسازی و یا تعویض کاتیون‌های آلی و معدنی و ملکول‌های آب را دارد(Koch, 2008) و مونت‌موریلونیت یک

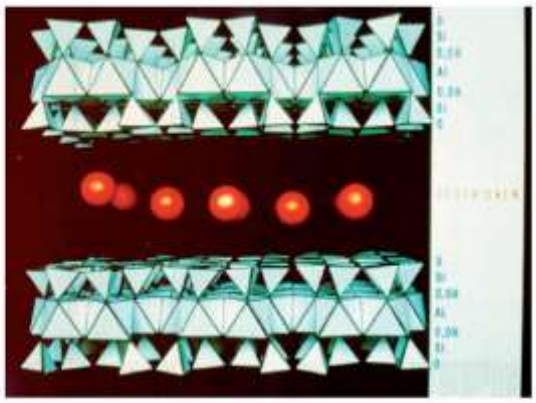
زیرگروه از این گروه است. خواص بنتونیت بر اساس ساختار اسمکتیت، و بخصوص مونت‌موریلونیت می‌باشد. واحدهای اصلی اسمکتیت از تک صفحه اکتاهدرال که بین دو صفحه تتراهدرال در حالیکه در اتم‌های اکسیژن رأس صفحات تتراهدرال مشترک می‌باشند، قرار گرفته است (شکل ۱-۳).



شکل ۱-۳- واحدهای اصلی در ساختار اسمکتیت (Koch, 2008)

بار لایه‌ها در نتیجه انجام استخلاف در ورقه‌های اکتاهدرال (مثلاً جانشینی گونه‌های با بار کم نظیر Mg^{2+} ، Fe^{2+} ، یا Mn^{2+} با Al^{3+}) یا در ورقه‌های تتراهدرال (زمانی‌که یون‌های Al^{3+} یا بعضاً Fe^{3+} با Si^{4+} جایگزین می‌گردند)، می‌باشد که بازاء هر استخلاف یک بار منفی ایجاد می‌گردد. بار منفی مذکور در سطح صفحات ورقه‌ای ۲:۱ توزیع می‌گردد در حالیکه لبه‌ها و گوشه‌ها، بسته به میزان اسیدیته محیط اطراف قادرند بار مثبت جزئی ایجاد نمایند. بار لایه‌های منفی با کاتیون‌های موجود در لایه میانی خنثی می‌گردد. در بنتونیت طبیعی این یون‌ها غالباً سدیم (بنتونیت ویومینگ[6]) یا کلسیم و منیزیم (معمولاً در بنتونیت‌های اروپا) می‌باشند. لایه میانی (فضای بین لایه‌های ۲:۱ هیدراته و قابل انبساط می‌باشد. بهمین دلیل به کانی‌های گروه اسمکتیت " رس‌های متورم شونده"[7] اطلاق می‌گردد.

[6] Wyoming
[7] Swelling



شکل۱-۴- مدل ساختمانی مونت‌موریلونیت (Koch, 2008)

تماس بنتونیت با مقادیر زیاد آب، مثلاً تهیه مخلوط آبکی (اسلاری)، باعث ورود ملکول‌های دو قطبی آب در فضای بین لایه‌ای و تجمع در اطراف کاتیون‌ها و افزایش پوسته هیدراته آن‌ها می‌گردد، در نتیجه فاصله ذرات اسمکتیت افزایش یافته و نوعی تورم داخل کریستالی صورت می‌گیرد (شکل ۱-۴). خواص ویژه مونت-موریلونیت در سه مورد زیر خلاصه شده است:

- ساختار صفحه‌ای بسیار کوچک، باریک و انعطاف پذیر با سطح زیاد
- دارا بودن ظرفیت تعویض کاتیون بدلیل وجود بار منفی در سلول اولیه
- توانایی جذب برگشت پذیر آب در فضای بین لایه‌ای(تورم داخل کریستالی)

۱-۲-۱- انواع بنتونیت و طبقه‌بندی آن‌ها

همان طور که اشاره گردید مونت‌موریلونیت به انواع سدیم‌دار و کلسیم‌دار تقسیم می‌شود و فراوان‌ترین عضو گروه اسمکتیت است که در بنتونیت وجود دارد. بررسی‌های مختلف نشان داده‌اند که ملکول مونت‌موریلونیت دارای انتهای کلسیم، سدیم، منیزیم و اکسیدهای بازی می‌باشد. وجود کاتیون‌های کلسیم و سدیم در روی سطح صفحات این ماده باعث شده که با نام‌های بنتونیت سدیمی و بنتونیت کلسیمی شناخته شده و به کار گرفته شوند. نوع سدیمی آن وقتی که در آب شیرین استفاده شود صفحاتش در اثر جذب آب به دور خود تا آنجا باد کرده و متورم می‌شوند که نیروهای مابین صفحه‌ای آنها سست شده و کوچکترین نیروی برشی می‌تواند صفحات را یکی یکی مانند ورق‌های کاغذ از دسته خود جدا کند. این پدیده،

پراکندگی[8]نام دارد. در نوع کلسیمی آن به دلیل وجود یون کلسیم، قدرت پیوند در سطح لایه‌ها بیشتر بوده و اجازه ورود آب کمتری به داخل بنتونیت می‌دهد در نتیجه میزان تورم و پراکندگی آن کمتر از نوع سدیمی می‌باشد.

یک راه طبقه‌بندی بنتونیت بر مبنای تورم آنها به هنگام افزودن آب به آن است. بنتونیت استخراج شده از معادن مختلف ویژگی‌های متفاوت فیزیکی و شیمیایی داشته و در نتیجه کاربردهای آن متفاوت است. میزان مونت‌مورینولیت و کانی‌های همراه آن و هم چنین نوع بنتونیت بر روی این ویژگی‌ها تأثیر زیادی دارد. با آزاد شدن بنتونیت در آب، پوسته‌های نسبتاً بزرگ سدیم بنتونیت به ذرات کلوئیدی تبدیل شده و انرژی الکتریکی ذخیره شده در شبکه بلوری را آزاد می‌کنند و در حدود ۱۵ تا ۳۰ برابر حجم اولیه متورم می‌شوند.خاصیت جذب یونها و مولکولها توسط بنتونیت بسیار بالا است. نوع کلسیم دار سریع‌تر آب جذب می‌کند ولی نوع سدیم دار ظرفیت بیشتری دارد.

بنتونیتی که یون غالب آن سدیم است، هنگامی که به آن آب افزوده می‌شود خاصیت تورم زیادی را نشان می‌دهد و توده‌های ژل مانندی را پدید می‌آورد. بنتونیتی که یون مبادله شونده غالب در آن یون کلسیم باشد دارای خاصیت تورمی بسیار کمتری نسبت به نوع سدیم‌دار است و هنگام افزوده شدن آب به صورت توده‌های دانه‌دانه در آب درمی‌آیند. بنتونیت‌های حد واسط سدیم- کلسیم‌دار تورم متوسط دارند. از همین رو واژه نیمه‌بنتونیت[9] در صنعت برای نوع کم‌تورم و دارای تورم میانه به کار می‌رود. متداولترین رس تجارتی که در صنعت استفاده می‌شود سدیم بنتونیت است. این کانی با انبساط ساختمان شبکه، آب جذب می‌کند. این آبگیری با دو مکانیزم صورت می‌گیرد:

- آب گیری بین لایه‌ها(اسمزی): قرار گرفتن رس در معرض بخار آب موجب نفوذ آب در بین لایه‌ها و انبساط آن‌ها می‌شود. هر چه غلظت یون‌های سدیم و کلر در آب کمتر باشد، میزان آبی که می‌تواند به درون ساختمان شبکه رسی وارد شود بیشتر است.
- آبگیری اطراف لایه‌ها(بلورین): در اطراف ذرات رس یک لایه آبی وجود دارد. ابری از یون‌های Na^+ همراه با مولکول‌های آب به وسیله پیوند هیدروژنی به صفحات پیوسته و به وسیله یون‌های اکسیژن موجود در سطح صفحه با شبکه پیوند دارد.

[8] dispersion
[9] Sub Bentonite

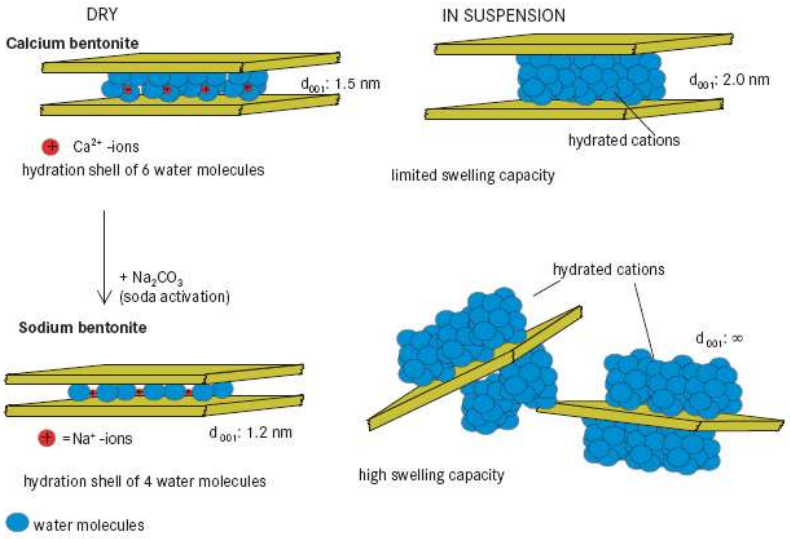
هنگامی که صفحات بنتونیت در آب قرار گیرند و متبلور شوند یون‌های سدیم از روی آن‌ها جدا شده و به جای خود بار منفی به جا می‌گذارند و به این ترتیب صفحات مجاور هم که اینک بار منفی شدیدتری نسبت به قبل از تبلور پیدا کرده‌اند یکدیگر را دفع می‌کنند. نیروهای برشی (مانند همزدن و یا تکان دادن محلول) نیز به دفع صفحات از یکدیگر کمک کرده و باعث پراکندگی آن‌ها می‌شود. درجه پراکندگی صفحات بنتونیت در آب به عواملی مانند مقدار الکترولیت در آب، زمان، درجه حرارت و کاتیون‌های قابل تعویض روی صفحات رس بستگی دارد.در مورد بنتونیت‌های کلسیمی، نیروهای پیوندی الکتریکی بین کاتیون‌های کلسیم (۲+) و سطح ذرات با بار منفی به اندازه کافی برای تشکیل ساختار شبه کریستالی متشکل از ۱۵-۲۰ صفحه دو ورقه‌ای قوی می‌باشد. بنابراین شرایط فضایی برای جذب ملکول‌های آب اضافی محدود می‌گردد. بنتونیت‌های کلسیمی می‌تواند ۲۰۰-۱۵۰٪ وزن خود آب جذب نماید. رفتار بنتونیت سدیمی متفاوت می‌باشد. از آنجا که نیروهای پیوندی الکتریکی بین کاتیون‌های سدیم (۱+) و سطح ذرات با بار منفی در مقایسه با کلسیم دو بار مثبت بسیار ضعیف‌تر می‌باشد، ملکول‌های آب اضافی بطور کامل وارد فضای بین لایه‌ای شده و اطراف یون‌های سدیم با لایه هیدراتاسیون بزرگتر را احاطه می‌نمایند. فاصله بین صفحات افزایش زیادی یافته و به این ترتیب دسته (شبکه) کریستالی مونت‌موریلونیت به صورت ۲۰-۱۵ صفحه تنها پاشیده می‌شود(شکل ۱-۵). هر صفحه ۲:۱ در حالت دهیدراته، به‌تنهایی ضخامتی معادل ۱ نانومتردارا می‌باشد. و ابعاد طولی و عرضی آن حدود ۸۰۰-۵۰۰ نانومتر می‌باشد. اختلاف بین رفتار تورمی بنتونیت‌های مختلف توسط شاخص " اندیس تورم"[1] نمایش داده می‌شود(Koch, 2008) .

ظرفیت جذب آب توسط مونت‌موریلونیت و در لایه‌های داخلی آن، برای کاربردهای مختلف، در مرکز توجه قراردارد.در کل، کانی‌های رسی محدودیت‌هایی از لحاظ سایز کوچک صفحات و نیز رفتار تجمعی آن‌ها دارا می‌باشند، و لذا تعیین الگوی تورمی آن‌ها صرفاً از طریق روش‌های آزمایشگاهی مشکل می‌باشد (Liu Tao, 2010).

اگرچه مطالعات شبیه سازی در زمینه پایداری و خواص تورمی رس‌های اشباع شده با کاتیون‌های سدیم انجام شده ولی تاکنون چنین مطالعاتی برای تعیین تأثیر یون‌های یک و دو ظرفیتی بر رفتار تورمی مونت‌موریلونیت‌های پتاسیمی، سدیمی و کلسیمی و در محیط آبی، انجام نگرفته است. بنظر میرسد بمنظور

[1] Swelling Index

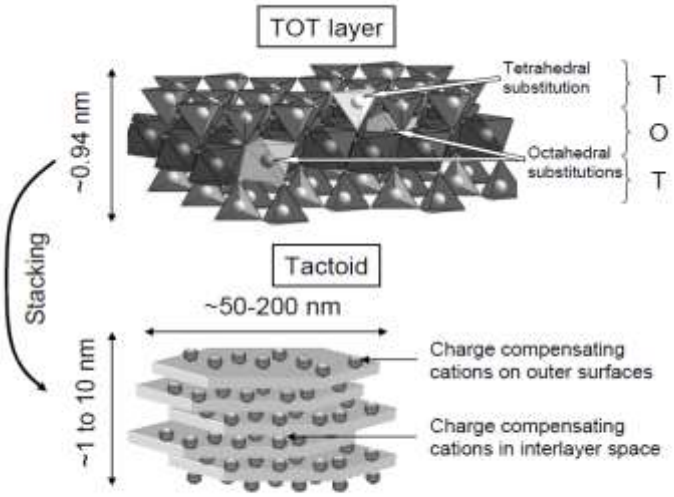
تشخیص ساختار ملکولی و تعیین دینامیک کانی‌های رسی برای ایجاد تصور از ابعاد اتمی، شبیه سازی‌های ملکولی راه حل مناسب و ایده‌آلی باشد.



شکل۱-۵- تعویض یون و رفتار تورمی بنتونیت‌های کلسیمی و سدیمی

در حالت عادی "رس" دارای ساختار همگن لایه‌ای نبوده و بهتر است به صورت ساختاری نامنظم متشکل از دسته‌ای از ورقه‌های انباشته شده ، که "تاکتوئید"[1]نامیده می‌شوند، در نظر گرفته شود. هر "تاکتوئید" معمولاً از ۵ تا ۲۰ صفحه تشکیل شده است(شکل ۱-۶). این اصطلاح برای توصیف رفتار تراکمی و تشکیل ژل در محلول‌های کلوئیدی مورد استفاده قرار گرفت(Segad, 2010).

[1] Tactoid [1]



شکل۱-۶- ساختار لایه‌ای تترا- اکتا- تترا گونال (TOT) و تاکتوئید در مونت‌موریلونیت

۲-۲-۱- فواید کاربرد بنتونیت در کشاورزی

در کنار کاربردهای متنوع بنتونیت در صنایع مختلف، این کانی بطور مشخص در زمینه کشاورزی به عنوان پرکننده[۱۲] مدیریت تغذیه گیاهان از طریق جذب عناصر غذایی و کند رها سازی آن‌ها، مدیریت آلاینده های محیطی از جمله جذب سموم و عناصر کمیاب سمی از محیط و تهیه فرمولاسیون‌های کودی و شکل دهی به آن‌ها، ایفای نقش می‌نماید. در ذیل، به پاره‌ای از موارد مصرف این کانی رسی در کشاورزی اشاره گردیده است:

- بنتونیت باعث صرفه‌جوئی در مصرف آب شده و در مناطق خشک و کم‌آب میزان آبیاری را کاهش می‌دهد (به دلیل ظرفیت جذب و نگهداری بالای آب توسط آن).
- بنتونیت به دلیل قابلیت تبادل کاتیونی[۳] فوق‌العاده، باعث صرفه‌جوئی در مصرف کودهای شیمیایی شده و بازدهی کود را بالا می‌برد.
- بنتونیت از آلودگی آبهای زیرزمینی و سطحی که در اثر استفاده از کودهای شیمیایی به وجود می‌آید، کاسته و به بهداشت محیط کمک می‌کند.

[1] Filler [2]
[1] Cation Exchange Capacity (CEC)

- بنتونیت نه تنها خود در از بین بردن پاره‌ای از آفت‌های نباتی مؤثر است بلکه به عنوان حامل[۱۴] سموم بکار می‌رود.
- بنتونیت با محبوس کردن مواد ازته و آزادسازی تدریجی آن به هنگام نیاز، از سوزش ریشه گیاه جلوگیری می‌کند.
- از بنتونیت در انبار کردن غلات برای جذب رطوبت و از بین بردن آفات انباری در سیلوها به ویژه در مناطق مرطوب، به منظور جلوگیری از کپک زدن استفاده می‌شود.
- بنتونیت با جذب عناصر فلزی سنگین و مواد رادیواکتیو از ورود این مواد به گیاه و در نتیجه وارد شدن به چرخه غذایی انسان جلوگیری می‌نماید.
- بنتونیت بهره‌وری کودهای حیوانی را افزایش داده و از بوی نامطبوع آن می‌کاهد.
- بنتونیت به لحاظ ایجاد بستر مناسب، مورد استفاده فراوانی در کشت‌های گلخانه‌ای و چمن دارد.
- از بنتونیت در تهیه گوگرد بنتونیتی استفاده می‌گردد.

۱-۲-۲-۱- گوگرد بنتونیتی (گوگرد کشاورزی)

گوگرد بنتونیتی، کود گرانوله‌ای حاوی بنتونیت (خاک متورم شونده) است که می تواند خیلی سریع گرانول های کود را متلاشی و به شکل ذرات ریز پراکنده نماید. این کود، علاوه بر تأمین گوگرد مورد نیاز گیاه، به عنوان اصلاح کننده خاک‌های قلیایی مصرف می‌شود.

مزایای استفاده از فرمولاسیون کودی گوگرد بنتونیتی شامل موارد زیر می‌باشد:

- درصد عنصر مغذی در فرمولاسیون بسیار بالا است و این امر باعث کاهش هزینه حمل و نقل می‌شود.
- با توجه به نامحلول بودن گوگرد عنصری، این کود در مقابل شسته شدن و فرو شویی[۱۵]مقاوم بوده و به محیط اطراف آسیب نمی‌رساند.
- ذرات بسیار ریز حاصل از تماس گرانول‌های گوگرد بنتونیتی با رطوبت، سریعاً به سولفات تبدیل شده و علاوه بر اصلاح اسیدیته خاک، نیاز گیاه به این عنصر مغذی را تأمین می نماید.
- میزان مصرف نیتروژن و همچنین میزان جذب فسفات و عناصر ریز مغذی را افزایش می‌دهد.

---

[1] Carrier
[1] Leaching
[4]
[5]

- با افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی، میزان فروشویی ازت از خاک به آب‌های زیر زمینی کاهش می‌یابد، که در واقع نوعی مدیریت مصرف کود در راستای کاهش آلایندگی نیترات در آب‌های زیرزمینی و زهاب‌های کشاورزی می‌باشد.
- استفاده از فرمولاسیون گوگرد بنتونیتی به شکل پاستیل، مشکلات مربوط به پخش پودر گوگرد را ندارد.

۳-۱- وضعیت گوگرد کشاورزی در جهان

تا گذشته نه چندان دور، تولید گوگرد بنتونیتی محدود به آمریکای شمالی می‌شد. در سال ۱۹۹۷ کارخانه چند میلیون دلاری تولید گوگرد بنتونیتی توسط شرکت سندویک در عربستان سعودی به بهره برداری رسید و در نتیجه جغرافیای تولید کود گوگرد بنتونیتی تغییر یافت. ظرفیت تولید این کارخانه ۵۰ هزار تن در سال می‌باشد و گوگرد مورد نیاز آن به صورت مذاب از فاصله ۱۳۰ کیلومتری با کامیون به کارخانه حمل می‌شود. محصول این شرکت با دو نوع بسته بندی ۲۵ و ۱۰۰ کیلوگرمی به بازار عرضه می‌گردد. یک شرکت انگلیسی به نام J&S Technical Services Ltd. علاوه بر ارائه تکنولوژی، عمده‌ترین توزیع کننده محصول این کارخانه به نام Brimstone 90 در اسکاندیناوی، هند، استرالیا، جنوب شرقی آسیا، شمال آمریکا، شمال آفریقا و قسمت‌هایی از آفریقای مرکزی می‌باشد.

کودهای حاوی گوگرد عنصری در حال حاضر در اقیانوسیه، آمریکای شمالی، اروپای غربی و غرب آسیا تولید می‌شود. کشورهای پیشرو در زمینه تکنولوژی تولید کودهای حاوی گوگرد عنصری، نیوزلند، استرالیا، ایالات متحده و کانادا می‌باشند. مهم ترین تولید کنندگان گوگرد بنتونیتی در جهان به شرح زیر می‌باشند:

- Calgary-based Agrimax Corporation
- Montana Sulphur and Chemical Company
- Taurus Technology Inc.
- Al-Rumaih Compound
- Peaceful valley Farm Supply's company

در ایالت کالیفرنیای آمریکا از گوگرد برای اصلاح اراضی در سطح وسیعی استفاده می‌شود. امروزه در اروپا گوگرد را به اشکال کودی و خالص برای رفع نیاز گیاهان مصرف می‌کنند. در کشورهای هندوستان، پاکستان و بنگلادش از گوگرد به عنوان اصلاح کننده خاک و نیز تأمین نیاز گوگردی گیاهان استفاده می‌کنند. لیست شرکت‌های تولید کننده گوگرد بنتونیتی در پیوست شماره۱ آورده شده است.

۱-۴- بخش تجربی

در این قسمت نتایج بدست آمده مربوط به آزمایشات تکمیلی و بهینه سازی نوع بنتونیت مورد استفاده در تهیه فرمولاسیون‌های گوگرد بنتونیتی، ارائه می‌گردد. اصولاً بنتونیت بر مبنای پارامترهایی مانند تورم پذیری، میزان رطوبت، سایز ذرات برای تهیه فرمولاسیون‌های مذکور انتخاب و مورد استفاده قرار می‌گیرد. با توجه به نتایج بدست آمده از پروژه‌های قبل در راستای تهیه فرمولاسیون‌های گوگرد کشاورزی و بررسی‌های میدانی این فرمولاسیون‌ها در خاک‌های زراعی کشور توسط مؤسسه خاک و آب ، نیاز به تولید محصول گوگرد بنتونیتی در پالایشگاه‌های گاز مجهز به تجهیزات دانه‌بندی گوگرد نظیر خانگیران و ایلام، می‌باشد. به این منظور پس از بازدید از پلنت‌های مربوطه در پالایشگاه‌های مذکور، پالایشگاه گاز شهید هاشمی نژاد در خانگیران برای تولید گوگرد بنتونیتی در نظر گرفته شد.

۱-۴-۱- مشخصات و ویژگی‌های بنتونیت

برآورد اولیه بمنظور انتخاب خاک مناسب برای تهیه فرمولاسیون گوگرد بنتونیتی با استفاده از روش‌های استاندارد کنترل کیفیت بنتونیت انجام می‌گیرد. تعدادی از روش‌های مورد استفاده، در جدول ۱-۱ معرفی شده اند. روش‌ها در پیوست۲ آورده شده‌اند.

جدول ۱-۱- آزمایشات استاندارد بنتونیت

مشخصه	واحد	روش
شاخص تورم	2 gr / ml	ASTM D 5890-06
ظرفیت جذب آب	Wt.%	ASTM E 946-92
ظرفیت تعویض کاتیون	Cmol / kg	ASTM D 7503-10
شاخص متیلن بلو (محتوی مونت‌موریلونیت)	Cm^3	ASTM C 837-09
محتوی رطوبت	Wt.%	ASTM D 2216
ترکیب کانی شناسی	---	XRD
ترکیب شیمیایی	Wt.%	XRF

۲-۴-۱-انجام بررسی‌های اولیه در پالایشگاه خانگیران

تست‌های اولیه برای تعیین تأثیر استفاده از گوگرد واحدهای مختلف بازیابی گوگرد همراه با نمونه‌های خاک بنتونیت سدیمی کارخانه‌های باریت فلات واقع در سلفچگان و زرین خاک قائن واقع در استان خراسان در آزمایشگاه این پالایشگاه انجام گرفت. بطور کیفی مشاهده شد که فروپاشی تمامی نمونه‌های تهیه شده با انواع گوگرد و خاک بنتونیت مورد استفاده، مناسب بوده و با زمان‌های ارائه شده در کاتالوگ شرکت سندویک مشابهت نشان می‌داد و همچنین کیفیت گوگرد مورد استفاده تأثیر قابل توجهی بر فروپاشی محصول گوگرد بنتونیتی تهیه شده ندارد. داده‌های کمی در جدول ۱-۲ آورده شده است. لذا، بنظر می‌رسد که بتوان از خاک‌های فوق در فرآیند تهیه گوگرد بنتونیتی استفاده نمود.

آزمایش بر روی نمونه‌های تولید شده در پلنت خانگیران که مدتی در انبار بطور باز و بدون بسته‌بندی، نگهداری شده بودند نشان داد که نمونه‌ها در حضور رطوبت قادر به تورم و باز شدن نبوده و عملکرد مناسبی از خود نشان ندادند. با توجه به اظهارات بهره‌بردار که این نمونه‌ها بلافاصله پس از تولید فروپاشی خوبی از خود نشان داده‌اند و نیز با توجه با تجربیات موجود در پژوهشگاه صنعت نفت، به نظر می‌رسید که شرایط نگهداری نامناسب و رطوبت محیط عامل کاهش شدید کیفیت محصول گوگرد کشاورزی تولید شده باشد. به منظور بررسی علت این موضوع، از خاک بنتونیت استفاده شده در واحد دانه‌بندی نمونه‌برداری شده و تست تورم‌پذیری انجام گرفت که نمونه دارای تورم‌پذیری مناسبی در حدود ۲۰-۲۲ بود. خاک مذکور سرعت جذب آب بالایی نیز از خود نشان داد. علاوه بر این، برای تعیین میزان بنتونیت موجود در فرمولاسیون تهیه شده از نمونه تست "محتوی خاکستر"[۶][1]گرفته شد و میزان خاک بنتونیت موجود در فرمولاسیون برابر با ۹/۱۵٪ بدست آمد. در نهایت برای مطالعه این موضوع آزمایشی ترتیب داده شده و مقداری از نمونه محصول تولیدی واحد دانه‌بندی که فروپاشی مناسب نداشت انتخاب شده و ذوب مجدد و دانه‌بندی گردید. پس از دانه‌بندی مجدد، تست فروپاشی انجام شد که نمونه‌های ذوب مجدد بصورت کامل فروپاشیده شدند که نشان دهنده تأثیر بسیار زیاد شرایط نگهداری و رطوبت محیط بر محصولات گوگرد بنتونیتی تهیه شده است. بنابر این توصیه می‌شود تمامی فرمولاسیون‌های گوگرد بنتونیتی تهیه شده، در حداقل زمان پس از تولید در کیسه‌های دو جداره ضد آب بسته‌بندی شوند.

[1] Ash Content [6]

به‌منظور برآورد شرایط واحد دانه‌بندی خانگیران برای تولید گوگرد کشاورزی مورد نیاز مؤسسه خاک و آب، بازدید کاملی با حضور بهره‌برداران واحد دانه‌بندی و کارشناسان پژوهشگاه صنعت نفت از واحد دانه‌بندی انجام شد (شکل ۱-۷). لازم به ذکر است که در طول چند سال گذشته این واحد، رشد بسیار خوبی داشته و از لحاظ امکانات و روند تولید به میزان قابل توجهی پیشرفت نموده است. شرایط واحد دانه-بندی برای تولید ۵۰۰ تن گوگرد بنتونیتی مورد نیاز موسسه خاک و آب، مورد بررسی قرار گرفت. تمامی اجزاء واحد مذکور آمادگی کامل برای تولید داشتند و فقط با توجه به اظهارات بهره‌بردار دو مشکل عمده یعنی " عدم وجود قطعه Metering Bar" دستگاه‌های روتوفورمر و نیز نیاز به "سرند " برای جداسازی محصولات غیر استاندارد از لحاظ اندازه و شکل پاستیل، برای افزایش کیفیت دانه‌بندی محصول گوگرد بنتونیتی تولیدی بر سر راه تولید قرار داشت که پس از تأمین قطعات و آغاز تولید محصول گوگرد بنتونیتی در واحد دانه‌بندی، در بازدید مرحله دوم از پالایشگاه با توجه به ضیق وقت و از دست دادن زمان کوددهی برای کشت پائیزه، مبادرت به تست کنترل کیفی نمونه تولیدی جدید گشته و با توجه به توان نسبتاً مناسب تورم و باز شدن نمونه‌ها، مبادرت به تهیه مقدار ده تن از فرمولاسیون تولیدی و ارسال آن به مؤسسه تحقیقات خاک و آب، بمنظور توزیع در استان‌های مختلف، گردید.

شکل ۱-۷- واحد دانه‌بندی پالایشگاه گاز خانگیران و گوگرد بنتونیتی تولیدی

نتایج مربوط به خاک‌های مورداستفاده در تولید این فرمولاسیون و کیفیت محصول در جدول ۲-۱ آورده شده است. نتایج حاکی از این است که در دسته بندی محصولات، فرمولاسیون تهیه شده از بنتونیت باریت فلات، با فروپاشی ۹/۷ درصد در ۳۰۰ ثانیه، بهترین عملکرد را داشته است و پس از آن نمونه‌های تهیه شده در خانگیران، کد۳ زرین قائن و کد۱ زرین قائن بترتیب با درصد فروپاشی ۷/۴۵، ۵/۱۵ و ۴/۵۵ قرار می‌گیرند.

جدول۱-۲- مشخصات بنتونیت و فرمولاسیون‌های گوگرد بنتونیتی

شماره	نام کارخانه	CEC[1]	اندیس تورم	رطوبت (٪)	سایز ذرات (٪) (عبور کرده از مش)			Ca (٪)	Na (٪)	Mg (٪)	K (٪)	فروپاشی فرمولاسیون(٪)		Ash (%)
					۶۰	۲۰۰	۳۲۵					در ۶۰ ثانیه	در ۳۰۰ ثانیه	
۱	باریت فلات	۷۸	۱۸/۲	۶/۶	۱۰۰	۹۵/۷	۷۸/۳	۲	۱/۴۴	۰/۸۶	۰/۳	۵	۹/۷	۱۰
۲	زرین قائن- کد۱	۵۵/۵	۲۳	۱/۷۲	"	"	"	۰/۳۵	۱/۵۶	۰/۲۶	۰/۱۳	۳/۴	۴/۵۵	۱۰
۳	زرین قائن - کد۳	-	۲۴	۵/۱	"	"	"	۱/۴۱	۱/۲۸	۰/۴۸	۰/۱۶	۳/۵	۵/۱۵	۱۰
۴	نمونه خانگیران	۵۷/۶	۱۶/۷	۲	"	"	"	۰/۵۲	۱/۳۷	۰/۲۷	۰/۱۶	۴/۳	۷/۴۵	۹

علاوه بر این، به منظور بررسی تغییر رنگ محصول تولیدی خانگیران آزمایشاتی با زمان ۲۴ ساعت و با گوگردهای پالایشگاه خانگیران و پالایشگاه تهران برای تولید فرمولاسیون گوگرد بنتونیتی در آزمایشگاه پژوهشگاه، ترتیب داده شد. نتایج نشان داد که در نمونه‌های تهیه شده با گوگرد پالایشگاه تهران با گذشت زمان تغییر رنگ خاصی ایجاد نمی‌گردد در حالیکه نمونه گوگرد بنتونیتی از گوگرد پالایشگاه خانگیران بعد از گذشت چند ساعت از زرد به سبز تغییر رنگ میدهد، شکل ۱-۸، که همانطور که بررسی‌های کارشناسی قبل نشان داده، این امر به حضور ترکیبات آلی خاص و در حد مقادیر بسیار ناچیز در گوگرد خانگیران و زمان اقامت مخلوط در رآکتور (معمولاً بعد از ۳ ساعت) مربوط می‌گردد.

[1] CEC (Cation Exchange Capacity) (ظرفیت تبادل یون)

منبع گوگرد	پس از یک ساعت	پس ازدوساعت	پس ازسه ساعت	پس ازهفت ساعت	پس ازشانزده ساعت
پالایشگاه خانگیران					
پالایشگاه تهران					

شکل۱-۸- بررسی تغییر رنگ در فرمولاسیون‌های گوگرد بنتونیتی تهیه شده

۳-۴-۱- تهیه نمونه استاندارد گوگرد بنتونیتی "تایگر" (نمایندگی آفریقای جنوبی)

بمنظور انجام تست بر روی نمونه خارجی و مقایسه عملکرد آن با نمونه تولید داخل که یکی از فعالیت‌های مورد نظر در پروژه می‌باشد، اقدام به شناسایی شرکت‌های بازرگانی نموده و پس از انتخاب شرکت مورد نظر، نمونه‌های آزمایشی از نمایندگی شرکت تایگر در کشور آفریقای جنوبی تهیه گردید تا از لحاظ کیفیت مورد تست قرار گرفته و در صورت لزوم، به‌عنوان استاندارد و مبنای مقایسه، مورد مصرف قرار گیرد.(جدول۱-۳ و شکل ۱-۹)

جدول۱-۳- مشخصات نمونه گوگرد بنتونیتی شرکت تایگر

نمونه	Ash (%)	Disintegration	
		۶۰ ثانیه	۳۰۰ ثانیه
گوگرد بنتونیتی تایگر	۱۰/۰۴	۴/۴۵	۹/۷
گوگرد بنتونیتی خانگیران (آماده توزیع در مزارع)	۹	۴/۳	۷/۴۵

با توجه به نتایج مندرج در جدول۱-۳ و همچنین با در نظر گرفتن تصویر شماره ۱-۹ ، از رفتار محصول تولیدی پالایشگاه در حضور آب که حاکی از باز شدن محصول می‌باشد، این فرمولاسیون جهت استفاده در

تست مناسب تشخیص داده شد و مقدار ۱۰ تن از آن در مهرماه ۱۳۹۲ در ۷ استان‌معرفی شده توسط مؤسسه تحقیقات خاک و آب بمنظور اجرا پروژه پژوهشی، شامل خوزستان، تهران، قزوین، خراسان، فارس، مازندران و آذربایجان شرقی، توزیع گردید.

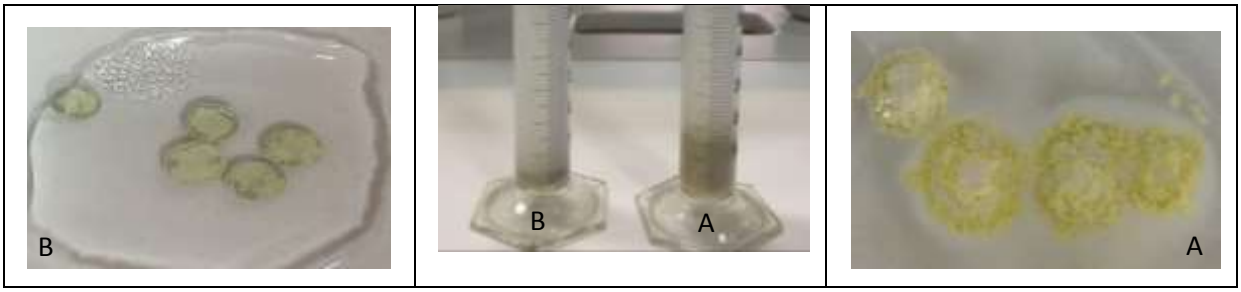
نمونه	۲۰ دقیقه	۶۰ دقیقه	۱۵۰ دقیقه
تایگر			
تولید خانگیران (برای تست)			

شکل۱-۹- مقایسه فروپاشی نمونه خارجی با نمونه تولیدی خانگیران

در مرحله بعد و پس از کسب نتایج اولیه از آزمایشات میدانی و تعیین تأثیر مثبت بکارگیری فرمولاسیون در کمیت محصول، بمنظور ترویج مصرف گوگرد بنتونیتی به توزیع ۳۹۰ تن گوگرد بنتونیتی در ۱۵ استان کشور(تهران، سمنان، قم، قزوین، مازندران، گلستان، اردبیل، خراسان جنوبی، فارس، کرمان، خوزستان، خراسان رضوی، البرز، کرمانشاه و آذربایجان غربی) که توسط مؤسسه تحقیقات خاک و آب تعیین شده بودند، مبادرت گردید. گوگرد کشاورزی مصرفی طرح ترویج، با مساعدت و همکاری مدیریت محترم پژوهش و فناوری شرکت ملی ایران به طور رایگان در اختیار مزارع نمونه قرار گرفت. نتایج حاصل به طور مشروح در گزارش مربوط به مؤسسه تحقیقات خاک و آب ارائه می‌گردد.

۱-۵- نتایج آزمایشات کنترل کیفیت خاک‌های بنتونیت و فرمولاسیون حاصل

در ادامه، بمنظور تعیین خاک مناسب برای استفاده در تولید فرمولاسیون، ۷۹ نمونه خاک از شرکت‌های مختلف تولید کننده تهیه و بمنظور تعیین مشخصات فیزیکوشیمیایی مطابق با استانداردهای موجود، جدول ۱-۱، آزمایش گردید. پس از برآورد اولیه از کیفیت ،۲۳ نمونه خاک در تهیه فرمولاسیون بکار گرفته شد (جدول ۱-۵). دو نمونه بنتونیت با مشخصاتی که ذیلاً توضیح داده شده است، به عنوان مرجع در نظر گرفته شدند. یک نمونه فرآوری شده از بنتونیت که دارای اندیس تورم بالا (۳۰) و پخش در آب مناسب بوده (شکل ۱-۱۰، نمونه A)، و نمونه دیگر که حداقل تورم خاک و در نتیجه حداقل پاشیدگی نمونه (شکل ۱-۱۰، نمونه B) در حضور آب را دارا می‌باشد (شکل ۱-۱۰) . سایر مشخصات خاک که ممکن است بتواند در پیش بینی نوع رفتار فرمولاسیون در خاک و در حضور رطوبت مؤثر واقع گردد، شاخص‌های نسبت کاتیون-های کلسیم به سدیم (به منظور تعیین کلسیمی یا سدیمی بودن بنتونیت)، ظرفیت تعویض کاتیون ، جذب متیلن بلو[1](MBI)، اندیس تورم و جذب آب می‌باشند و برای تعیین رفتار فرمولاسیون تهیه شده در خاک، میزان پاشیدگی با روش (IFDC[2]S-124) در زمان‌های ۶۰ و ۳۰۰ ثانیه تعیین شد و از آن جا که اندازه ذرات تولید شده در خاک در عملکرد نهایی فرمولاسیون بمنظور اصلاح pH، افزایش جذب عناصر غذایی و بهبود کمی و کیفی محصول زراعی تأثیر دارد. لذا، اندازه ذرات تولیدی از خاک‌های مختلف با دستگاه اندازه گیری سایز ذرات (HORIBA LA-300) در دو زمان(۲/۵ ساعت به توصیه شرکت سندویک و ۲۴ ساعت به توصیه شرکت Keg river)، اندازه گیری گردید. شکل ۱-۱۰ و جدول ۱-۴ مقایسه خواص دو نمونه شاخص از بنتونیت و رفتار فرمولاسیون حاصل از آن‌ها را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۱۰- مقایسه اندیس تورم در دو نمونه شاخص خاک بنتونیت و رفتار پخش شوندگی آن در آب

[1] Methylen Blue Index (MBI)[8]
[1] International Fertilizer Development Center[9]

جدول ۱-۴- نتایج تجزیه X-ray دو نمونه شاخص از بنتونیت و ویژگی‌های اندازه گیری شده آن‌ها

روش آزمایش / نام نمونه	XRF(EDAX) Mass % نیمه کمی	XRD
نمونهA	O = 56.06 Na = 2.99 Mg = 2.61 Al = 8.39 Si = 24.39 P = 0.22 S = 0.24 Cl = 1.21 K = 0.32 Ca = 0.96 Ti = 0.40 Fe = 2.21	1 = Montmorillonite 2 = SiO2 (Quartz) 3 = Feldspars 4 = NaCl (Halite)

اندیس تورم	جذب رطوبت	MBI	CEC	Ca/Na
۳۰	۵۶۸	۹۷	۹۴	۰/۳۲

روش آزمایش / نام نمونه	XRF(EDAX) Mass % نیمه کمی	XRD
نمونهB	O = 58.62 Na = 0.19 Mg = 0.70 Al = 7.23 Si = 29.24 S = 0.42 K = 1.29 Ca = 0.27 Ti = 0.34 Fe = 1.70	1 = Montmorillonite 2 = Sepiolite 3 = Illite 4 = SiO2 (Quartz) 5 = CaMg (CO 3) 2 (Dolomite) 6 = CaCO3 (Calcite) 7 = Feldspars

اندیس تورم	جذب رطوبت	MBI	CEC	Ca/Na
۴	۸۱/۶	۱۷	۴۵	۱/۴۲

جدول ۱-۵- ارزیابی مشخصات فیزیکو شیمیایی نمونه های مختلف خاک بنتونیت

شماره	Ca/Na (Bonding)	Sum Bonding	CEC	MBI	SI	M%[20]	جذب رطوبت (٪)	DisIn. [21] (60)	DisIn.(300)	Particle size (%) ۲/۵ (ساعت)	Particle size (%) ۲۴ (ساعت)	Mode (µm) ۲/۵ (ساعت)	Mode (µm) ۲۴ (ساعت)
۱	۱/۷۲۹	۸۸/۵۸۸	۶۱/۸۷۵	۴۷/۵	۱۵/۴	۲/۶	۲۵۰/۶	---	---				
۲	۲/۴۳۷	۱۱۱/۲۷۶	۷۱/۹۶۴	۴۵	۱۶/۵	۳/۵	۴۳۲/۹	---	---				
۳	۰/۶۳۸	۹۶/۳۳۹	۱۰۱/۷۸۶	۹۵	۳۲/۶	۸	۶۰۳	---	---				
۴	۲۱/۶۲۹	۱۱۰/۳۸۵	۵۳/۰۳۶	۲۴	۵/۲	۶/۵	۱۴۴/۱	۰/۸۲	۲/۳۸				
۵	۰/۵۶	۳۵/۷۸۱	۶۰/۳۵۷	۵۵	۱۹	۴	۴۷۵	۳	۱۳/۳	<µ۱۷۵ (۱۰۰)	<µ۱۵۲ (۱۰۰)	۳۶/۷	۴۱/۸
۶	۴/۹	۱۰۹/۱۰۱	۶۸/۹۸۲	۳۲	۶/۴	۶/۴	۱۸/۴۴	۱۲/۹	۲۰/۸	<µ۲۲۹ (۱۰۰)	<µ۲۲۹ (۱۰۰)	۶۲/۸	۶۲/۸
۷	۴/۳۳۵	۸۱/۲۹۶	۵۶/۶۱	۳۵	۸/۵	۶/۵	۱۳۶/۸	---	۶/۵	---	---	---	---
۸	۱/۹۶۸	۹۱/۱۲۶	۷۳/۳۹	۵۹	۱۰/۷	۷	۱۸۹/۶	۲/۱	۹/۸	<µ۱۷۵ (۱۰۰)	<µ۱۵۲ (۱۰۰)	۴۱/۹۵	۴۸
۹	۰/۳۱۵	۵۸/۴۶۷	۹۴/۱۱	۹۷	۳۰	۱۰	۵۶۸	۷/۲	۲۴/۹	<µ۲۰۰ (۱۰۰)	<µ۶/۸۸ (۱۰۰)	۶۳	۳۲/۱
۱۰	۱۰/۳۲۱	۸/۱۵۶	۴۵	۱۷	۴/۱۳	۳/۳۷	۸۱/۶	---	---	---	---	---	---
۱۱	۲/۳۳۸	۱۰۶/۴۹۳	۸۲/۵	۶۰	۲۲	۸/۱	۳۹۹	۲/۱	۶/۹	<µ۲۰۰ (۱۰۰)	<µ۱۷۵ (۱۰۰)	۵۵	۴۸/۳
۱۲	۱/۳۷	۹۷/۸۲۷	۷۴/۳	۶۲	۳۰	۳/۵۵	۵۲۸	۱/۶۷	۴/۱۵	<µ۱۷۵ (۱۰۰)	<µ۲۰۰ (۱۰۰)	۳۲	۵۵

[2] Moisture (درصد رطوبت) [0]

[2] Disintegration (پاشیدگی در دو زمان ۶۰ و ۳۰۰ ثانیه)

جدول ۱-۵- (ادامه)

شماره	Ca/Na (Bonding)	Sum Bonding	CEC	MBI	SI	M%	جذب رطوبت (/.)	DisIn. (60)	DisIn.(300)	Particle size (%) ۲/۵ (ساعت)	Particle size (%) ۲۴ (ساعت)	Particle size Mode (µm) ۲/۵ (ساعت)	Particle size Mode (µm) ۲۴ (ساعت)
۱۳	۱/۲۰	۷۸/۰۹۸	۸۳/۷۴۵	۶۷	۲۸/۱۲	۱۱/۱	۴۹۴	---	---				
۱۴	۰/۸۴۳	۶۰/۰۵۴	۷۶/۸۷۰	۴۰	۱۱/۸۴	۷/۱۷	۴۶۲	۲/۸۷	۶/۵۸				
۱۵	۱/۳۹۰	۷۷/۴۱۱	۶۷/۱۸۹	۵۹	۲۵/۷۲	۶/۷	۳۹۷	۱/۵۷	۳				
۱۶	۲/۱۰۳	۹۵/۱۶۴	۶۰	۵۱	۲۲/۲	۵/۴	۳۰۴/۴	۱/۷۲	۳/۳۶				
۱۷	۱/۵۸۶	۱۰۳/۲۱	۸۰/۶۲۵	۶۳/۵	۲۱/۳	۸/۵	۳۰۲/۳	۲/۶۱	۴/۷				
۱۸	۱/۴۲۶	۱۳۸/۵۲۵	۸۵/۶۴۳	۴۰	۲۷	۱۱/۱	۴۷۶	۳/۹۳	۵/۱۵				
۱۹	۰/۳۵۴	۹۱/۱۲۶	۶۵/۳۵۷	۳۶/۵	۶/۶	۹	۱۴۵/۴	۱/۰۵	۱/۴۱				
۲۰	۷/۷۱۱	۱۰۴/۲۳۵	۶۳/۰۳۶	۲۵	۵	۶	۱۲۹/۷	۰/۲۸	۰/۸				
۲۱	۴/۶۹۹	۱۰۱/۳۷۰	۶۷/۲۱۴	۴۵	۸/۱	۷/۱	۱۵۹	۰/۶	۱/۴				
۲۲	۱/۷۵۳	۹۷/۴۸۲	۶۹/۴۲۸	۶۰	۱۹/۷	۶	۱۷۷	۱/۹۳	۴/۳				
۲۳	۰/۹۶۱	۹۹/۹۸۹	۷۱/۹۲۸	۶۳	۲۳/۷	۷/۱	۴۲۹	۳/۹	۷/۳۱				
۲۴ (Tiger90)	---	---	---	---	---	----	---	۲/۱	۵/۳	<µ۲۰۰ (۱۰۰)	<µ۱۵۲ (۱۰۰)	۴۱/۸۵	۳۶/۶۶

۱-۵-۱- نتیجه گیری

با توجه به نتایج جدول ۱-۴ و شکل ۱-۱۱ بنظر می‌رسد که بموازات افزایش اندیس تورم و جذب رطوبت، میزان ظرفیت تعویض کاتیون و اندیس متیلن بلو و نهایتاً میزان پخش شوندگی محصول نیز افزایش یافته و نوعی همبستگی مثبت بین این شاخص‌ها و در مقابل رابطه معکوس با نسبت کاتیون‌های کلسیم به سدیم وجود دارد. اما مشاهدات مربوط به ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی سایر نمونه‌ها (جدول۱-۴) نشان می‌دهد که این ارتباط در تمام موارد صادق نمی‌باشد. به عنوان مثال می‌توان به رفتار فرمول تهیه شده از خاک نمونه ۶ (شکل ۱-۱۱ ، جدول ۱-۶) با اندیس تورم نسبتاً کم، جذب رطوبت پایین و بالا بودن نسبت کلسیم به سدیم (کلسیمی بودن بنتونیت)، در مقایسه با خاک ۵ با مشخصات ایده‌آل برای استفاده در تهیه فرمولاسیون (شکل ۱-۱۲ ، جدول ۱-۷) اشاره نمود که بر خلاف انتظارمحصولی با قابلیت فروپاشی بالا (در مقایسه با سایر نمونه‌ها) و با اندازه ذرات کمتر از ۲۰۰ میکرون به دست آمده است. نمونه شماره ۲۴، محصول تولیدی شرکت تایگر می‌باشد که از آفریقای جنوبی تهیه شد. این نمونه، به عنوان شاهد در نظر گرفته شده است.

شکل ۱-۱۱- رفتار نمونه ۶ در آب

جدول ۱-۶- رفتار نمونه ۶ در آب (تورم پائین)

نمونه	SI	جذب آب	Dis .300	Particle Size		ملاحظات
				0-200µ	<200 µ	
۶	۶/۴	۱۸/۴۴	۲۰/۸	۹۹/۶	۰/۱	نمونه نرم در آب

شکل ۱-۱۲- رفتار نمونه ۵ در آب

جدول ۱-۷- رفتار نمونه ۵ در آب (تورم بالا)

نمونه	SI	جذب آب	Dis .300	Particle Size		ملاحظات
				0-200µ	<200 µ	
۵	۱۹	۴۷۵	۱۳/۳	<µ۱۷۵ (٪۱۰۰)	۰	

با توجه به نتایج فوق و مشاهده رفتارهای غیر منطبق با پیش بینی‌ها، بنظر می‌رسد که بجز پارامترهای فیزیکوشیمیایی که تاکنون در زمینه تولید فرمولاسیون گوگرد کشاورزی مورد بررسی قرار گرفته‌اند، عوامل دیگری نیز دخیل می‌باشند، که نیاز به بررسی‌های دقیق‌تر از تغییرات صورت گرفته در ساختار داخلی فرمولاسیون‌ها در هنگام تهیه و نیز در شرایط انبارش دارد. نظر به ضرورت دارا بودن کیفیت مناسب برای محصول دانه بندی شده گوگرد کشاورزی و نقش آن در عملکرد مناسب فرمولاسیون در هنگام استفاده در مزارع، اهمیت ادامه بررسی‌ها بمنظور تولید محصولات با کیفیت و قابل انطباق با استانداردهای موجود، کمک شایانی در پذیرش آن در بازارهای جهانی و صادرات محصول می‌نماید.

۱-۶- بررسی تاثیر افزایش مواد افزودنی بر پارامترهای موثر در طراحی و تولید فرمولاسیون گوگرد کشاورزی

یکی از اهداف مورد نظر در طرح گوگرد طراحی، ساخت و راه‌اندازی واحد نیمه صنعتی تولید گوگرد بنتونیتی با ظرفیت اسمی ۱۰۰ کیلوگرم در ساعت می‌باشد. از مهمترین بخش‌های این فرآیند، می‌توان به مخازن همزندار آن اشاره کرد که بوسیله آنها، تولید مخلوط‌هایی با فرمولاسیون‌های مختلف از افزودن موادی مثل بنتونیت عامل‌دار، اکسیدهای آهن ، روی و منگنز به گوگرد مذاب، صورت می‌گیرد. چنانچه بتوان اطلاعاتی در این زمینه بدست آورد می‌توان از نتایج آن در فرآیندهای تولید صنعتی استفاده نمود. لذا، این فعالیت با هدف تعیین تأثیر افزایش مواد افزودنی بر پارامترهای مؤثر در طراحی و تولید فرمولاسیون گوگرد کشاورزی تعریف و در قالب یک پایان نامه دانشجویی مورد بررسی قرار گرفت.

به طور کلی تحقیقات صورت گرفته در این پایان‌نامه، به دو بخش کلی تحقیقات آزمایشگاهی و تحقیقات نرم‌افزاری تقسیم می‌شوند. هدف کلی انجام این پروژه، بررسی پارامترهای موثر در طراحی و تولید فرمولاسیون‌های گوگرد بنتونیتی بوده است. از مهمترین پارامترهای موثر در امر تولید این محصول، تغییرات ویسکوزیته گوگرد مذاب به ازای اضافه‌شدن افزودنی‌هایی مثل بنتونیت عامل‌دار، اکسید آهن، روی و منگنز می‌باشد، که با توجه به مطالعات صورت گرفته مشخص شد که هیچ گونه اطلاعاتی در این زمینه در اختیار نبوده است.

در این تحقیق سعی شده است که تغییرات ویسکوزیته مخلوط گوگرد مذاب و افزودنی‌های بکار گرفته شده (که تاثیر زیادی در هیدرودینامیک سیال داخل مخزن و توان مصرفی خواهد داشت)، با استفاده از تجهیزات آزمایشگاهی و در غلظت‌ها و دماهای مختلف مورد بررسی قرارگیرد.

از جمله نوآوری‌های این پایان‌نامه می‌توان به شبیه‌سازی مخازن اختلاط همزن‌دار در شرایط دوفازی اشاره کرد که با استفاده از آن، پیش‌بینی رفتار مخلوط بنتونیت و گوگرد مذاب و شناسایی پارامترهای

مهم در تولید فرمولاسیون گوگرد کشاورزی در شرایط مختلف عملیاتی، انجام شده است. (عابدینی، ۱۳۹۳)

۱-۶-۱- گوگرد بنتونیتی غنی شده با عناصر ریزمغذی

همانطور که قبلاًاشاره گردید (بخش ۱-۲)، عناصر مغذی که به مقدار اندک، ولی ضروری، برای رشد گیاه مورد نیاز می‌باشند ، عناصر ریزمغذی[۲۲]نامیده می‌شوند. این گروه از عناصر شامل منگنز، بور، مس، آهن، کلر، کبالت، مولیبدن و روی هستند. باید توجه داشت در صورتی که از این عناصر بیش از حد مورد نیاز گیاه در خاک استفاده شود، به گیاه صدمه وارد می‌شود. براساس تحقیقات صورت گرفته، علاوه بر تاثیر بر رشد کیفی و کمی گیاهان، این عناصر، در فرآیندهای متابولیکی گیاهان شرکت داشته و در جذب عناصر مغذی دیگر مؤثر می‌باشند.

در صورتی که عناصر ریزمغذی به صورت ترکیبات محلول در آب مصرف شوند، مقدار قابل توجهی از این ترکیبات قبل از جذب شدن توسط گیاه، از طریق آب شویی از خاک شسته شده و به هدر می‌روند. این موضوع آلودگی آب‌های زیرزمینی، رودخانه‌ها و اقیانوس‌ها را به دنبال خواهد داشت و تأثیرات منفی خود را بر محیط زیست اعمال می‌کند. عناصر ریزمغذی باید در ناحیه‌ای از خاک جاسازی شوند که گیاه به آن‌ها دسترسی داشته و بتواند آن‌ها را جذب کند. تجربه نشان می‌دهد که بیش از نیمی از عناصر ریز مغذی که در خاک به کار می‌روند به هدر رفته و این مسئله از نظر اقتصادی، کشاورزی و زیست محیطی از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد.

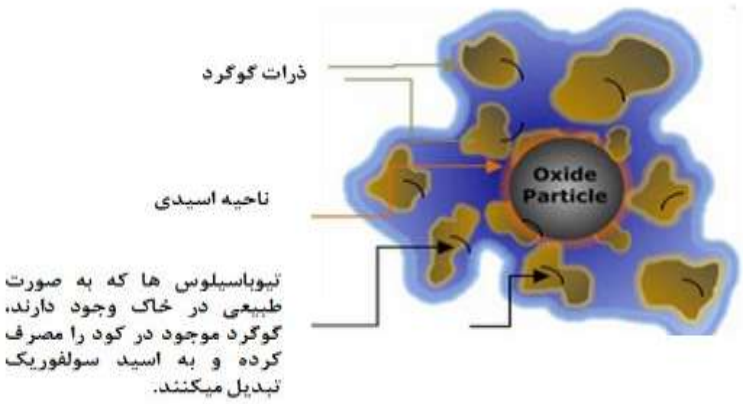
عوامل مختلفی بر دسترسی گیاهان به عناصر غذایی، تأثیر دارند. یکی از مهمترین این عوامل، pH خاک می‌باشد. هرچه pH خاک کمتر باشد، میزان دسترسی گیاه به این عناصر نیز بیشتر خواهد بود.

یکی از بزرگترین محدودیت‌های استفاده از کودهای ریزمغذی، درصد بالای عناصر می‌باشد، که کشاورزان را در توزیع مناسب این نوع کودها در سطح زمین‌های زیرکشت، با مشکل مواجه کرده است.

[22] micronutrient

با ترکیب گوگرد بنتونیتی با عناصر ریز مغذی، می‌توان فرمولاسیون‌های مختلف به همراه درصدهای پایین از این عناصر را تولید و به بازار فروش عرضه کرد. گوگرد بنتونیتی غنی‌شده با عناصر ریزمغذی (کودهای ریزمغذی تولیدکننده اسید)، فرمولاسیون جدیدی می‌باشند که با ایجاد منطقه اسیدی در اطراف اکسیدهای فلزی موجود در کود، آن را به فرم سولفات محلول درآورده که این امر باعث کاهش هدررفت بوسیله آبشویی و تسریع جذب آنها بوسیله گیاه می‌شود.

پس از اضافه شدن دانه‌های کود گوگرد بنتونیتی غنی‌شده، به خاک، این دانه‌ها رطوبت خاک را جذب نموده و به ذرات ریز گوگرد با اندازه چند میکرون تا چند دهم میلیمتر شکسته می‌شوند. با حمله باکتری-های تیوباسیلوس به این ذرات ، گوگرد به سولفات و در نهایت به اسید سولفوریک تبدیل می‌شود. شکل۱-۱۳، این فرآیند را به خوبی نمایش می‌دهد.



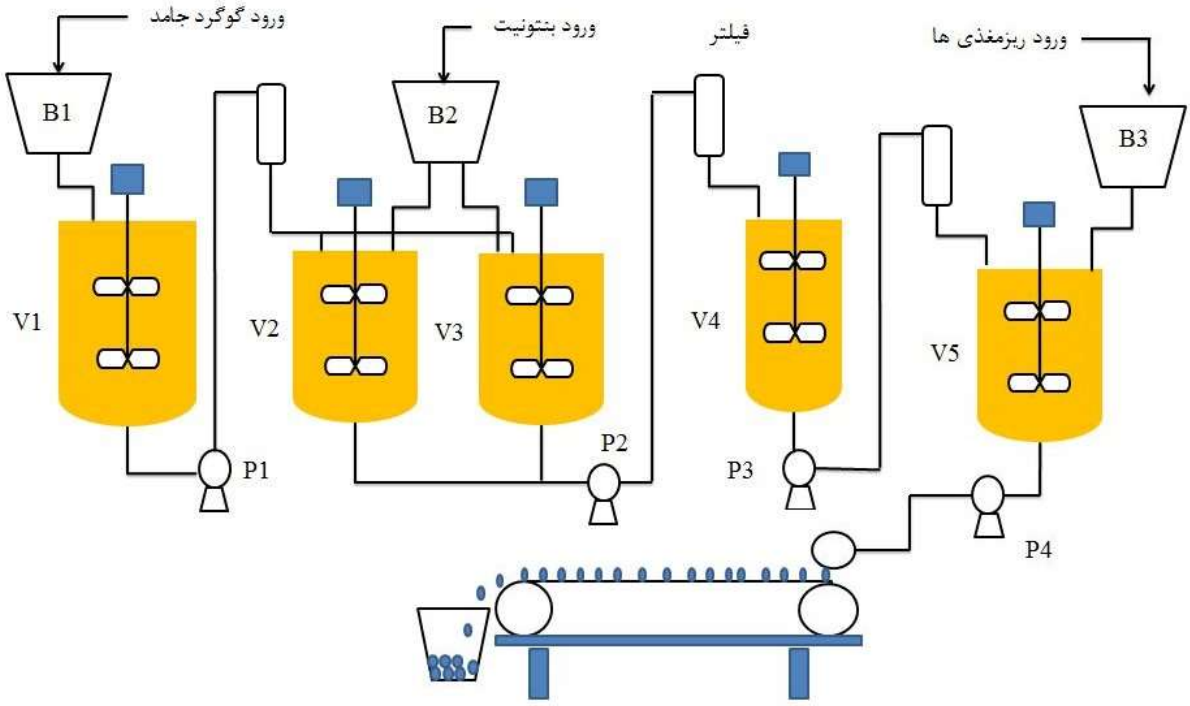
شکل۱-۱۳- رفتار کود گوگرد بنتونیتی در حضور رطوبت خاک

۲-۶-۱-بخش‌های مختلف فرآیند نیمه صنعتی تولید کود گوگرد بنتونیتی

یکی از بخش‌های اصلی این پایان‌نامه، شبیه‌سازی مخزن اختلاط بنتونیت در گوگرد مذاب می‌باشد. جهت بررسی اهمیت این موضوع و آشنایی بیشتر با فرآیند تولید گوگرد بنتونیتی، در این بخش به توضیح مختصر در رابطه با این فرآیند پرداخته میشود.

در شکل ۱-۱۴، شماتیک کلی این فرآیند نشان داده شده است. ابتدا گوگرد جامد به مخزن V_1 که یک مخزن دوجداره است، وارد می‌شود. به واسطه جریان بخار داغ در جداره این مخزن، گرانول‌های گوگرد جامد، ذوب می‌شوند. البته باید توجه داشت که در اینجا با توجه به عدم دسترسی به گوگرد مذاب، نیاز به مخزن V_1، می‌باشد، اما در صورت قرارگیری این واحد در ادامه واحدهای بازیافت گوگرد،[۲۳]می‌توان گوگرد مذاب تولیدی در این واحدها را به واحد تولید گوگرد بنتونیتی تزریق کرد.

پس از تکمیل فرآیند ذوب شدن گوگرد در مخزنV_1، گوگرد مذاب به وسیله پمپ P_1 ، پس از عبور از فیلترها و جداسازی ذرات زائد، به مخازن V_2 و V_3 که یکی از مهمترین بخش‌های این فرآیند می‌باشند، فرستاده می‌شود. در این مرحله مقدار مورد نیاز از بنتونیت جهت تولید فرمولاسیون‌های مختلف(تولید ترکیب بنتونیت و گوگرد با درصدهای وزنی متفاوت)، به مخازن V_2 و V_3 اضافه می‌شود.



شکل ۱-۱۴- شماتیک کلی واحد نیمه‌صنعتی تولید گوگرد بنتونیتی

[23] Sulfur Recovery Units(SRU)

این عملیات به صورت نیمه پیوسته[24]صورت می‌گیرد، و یک وقفه زمانی جهت وارد شدن گوگرد مذاب به داخل مخزن و اضافه شدن بنتونیت به آن و در نهایت تخلیه مخلوط، ایجاد می‌شود، لذا از دو مخزن استفاده شده است، به صورتیکه وقتی مخزن V_2 در حال بارگیری و تولید مخلوط همگن است، مخزن V_3 در حال تخلیه مخلوط همگن تولید شده به قسمت‌های بعدی فرآیند می‌باشد، لذا وظایف این دو مخزن به صورت دوره‌ای جابجا می‌شود .

از آنجایی که بنتونیت قابلیت جذب و نگهداری رطوبت را در خود دارد، همواره حاوی مقداری رطوبت می‌باشد(۲ تا ۸ درصد وزنی)، از طرفی به دلیل بالاتر بودن دمای ذوب گوگرد (۱۲۰°C) نسبت به دمای جوش آب، پس از تماس بنتونیت با گوگرد مذاب، رطوبت موجود در آن تبخیر می‌شود، که اگر نرخ اضافه شدن بنتونیت به داخل مخزن زیاد باشد، موجب ایجاد فوم یا کف در بالای سطح سیال(گوگرد مذاب)، خواهد شد. لذا اضافه شدن آن به گوگرد مذاب باید همراه با یک سری ملاحظات صورت گیرد. در شکل ۱-۱۵، این پدیده نشان داده شده است.

ب الف

شکل ۱-۱۵- الف) تصویرگوگرد مذاب در داخل مخزن اختلاط. ب) ایجاد فوم به دلیل ورود نامناسب بنتونیت به مخزن

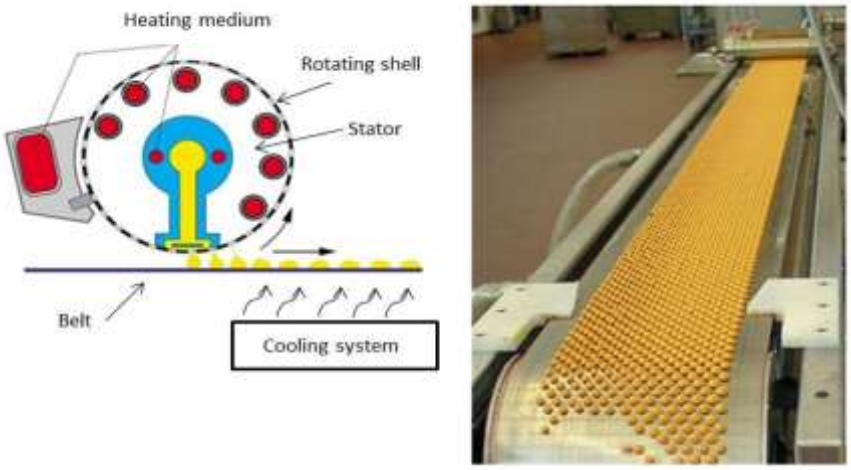
[24] Semi-batch

پس از اتمام فرآیند اضافه شدن بنتونیت به گوگرد مذاب، مخلوط تولید شده به وسیله پمپ P_2 به مخزن V_4 وارد می‌شود. این مخزن به عنوان مخزن کمکی برای تکمیل فرآیند اختلاط بنتونیت در گوگرد مذاب تعبیه شده است، که نسبت ارتفاع به قطر آن نسبت به مخازن V_2 و V_3 بیشتر می‌باشد. وظیفه اصلی مخزنV_4 تزریق مداوم و بدون وقفه محصول به بخش‌های بعدی فرآیند می‌باشد. سپس مخلوط نهایی وارد مخزن V_5 (مشابه با مخازن V_2 و V_3) می‌شود. در این مخزن هریک از مواد ریزمغذی مثل اکسید آهن، روی و منگنز به طور جداگانه و به مقدار مورد نیاز به مخلوط بنتونیت و گوگرد اضافه می‌شوند. بعد از تکمیل اختلاط مواد ریزمغذی با مخلوط بنتونیت و گوگرد مذاب، محصول نهایی به سیستم دانه‌بندی ارسال می‌شود.

نکته قابل توجه در این فرآیند، دو جداره بودن تمام شیرها و اتصالات و جریان بخار داغ برای جلوگیری از انجماد گوگرد و گرفتگی مسیر جریان، می‌باشد، لذا عایق بندی اتصالات و وجود فشار بخار کافی جهت تامین حرارت مورد نیاز در این فرآیند، امری ضروری و تعیین کننده می‌باشد.

آخرین بخش از این فرآیند، سیستم دانه‌بندی یا تولید پاستیل[25] با هدف تولید دانه‌های جامد، از مخلوط همگن تولید شده در مراحل قبلی فرآیند، می‌باشد. این عملیات با استفاده از دستگاه رتوفرم[26]صورت می-گیرد. مدل‌های مختلفی از این دستگاه وجود دارد که بر اساس ظرفیت واحد تولیدی، ویژگی‌های فیزیکی سیال فرآیندی(مثل دانسیته و ویسکوزیته) می‌توان از مدل‌های مختلف آن استفاده کرد. اصول کلی عملکرد این نوع از دستگاه در شکل۱-۱۶، مشاهده می‌شود. مذاب از قسمت مرکزی وارد قسمت ثابت دستگاه می‌شود، با چرخش پوسته متحرک، منافذ موجود روی پوسته در مقابل نازل خروج مذاب، قرار گرفته و باعث جاری شدن مذاب و انتقال آن روی نوار نقاله خواهدشد. تماس قطره‌های مذاب با هوای محیط و سطح خنک نوار نقاله، تولید دانه‌های جامد را به دنبال خواهد داشت.

[25] Pastillation system
[26] Rotoform



شکل۱-۱۶- سیستم دانه بندی (پاسیتل‌سازی) به همراه دستگاه رتوفرم

استفاده از سیستم خنک‌کننده جهت تامین سرمایش مورد نیاز برای انجماد دانه‌ها، ضروری می‌باشد. در صورت اختلال در سیستم سرمایشی، دمای سطح نوار نقاله با گذشت زمان افزایش یافته، و عملکرد سیستم با مشکل مواجه می‌شود.

از پارامترهای موثر در عملکرد رتوفرم می‌توان به سرعت چرخش پوسته متحرک، شدت جریان مذاب ورودی و حرارت ورودی به رتوفرم (که به طور مستقیم روی ویسکوزیته مذاب تاثیر خواهد داشت)، اشاره کرد. با توجه به فرمولاسیون تولید شده و به تبع آن ویسکوزیته مذاب، می‌توان با تنظیم پارامترهای فوق به عملکرد سیستم دانه‌بندی بهبود بخشید.

با توجه به توضیحات داده شده در مورد فرآیند تولید کود گوگرد بنتونیتی، تولید یک مخلوط همگن از گوگرد مذاب و افزودنی‌های مورد نیاز مثل بنتونیت، اکسید آهن، روی و منگنز، مهمترین بخش این فرآیند محسوب می‌شود.

۳-۶-۱- فعالیت‌های آزمایشگاهی

ویسکوزیته سیالات به عنوان یک پارامتر مهم در طراحی فرآیندهای مختلف در مقیاس آزمایشگاهی و صنعتی، مورد توجه می‌باشد. مهندسان فرآیند از این ویژگی، به عنوان یکی از شاخصه‌های کنترل کیفیت

استفاده می‌کنند. مهندسان طراح نیز با در اختیار داشتن اطلاعات دقیق‌تری از ویسکوزیته و با تعیین اعداد بی بعد مهمی مثل رینولدز و پراندل، می‌توانند به طراحی بهتر و بهینه‌تری از واحد فرآیندی دست‌پیدا-کنند. همچنین در تعیین توان مصرفی فرآیندهایی مثل اختلاط، اتمیزاسیون[27] (تولید قطرات مایع)، تزریق، ذخیره و انتقال سیالات، تعیین ویسکوزیته از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد.

در فرآیند تولید گوگرد بنتونیتی، تولید سوسپانسیون همگن از بنتونیت و گوگرد مذاب مد نظر می‌باشد. ویسکوزیته مخلوط مورد نظر، تاثیر مهمی روی میزان توان مصرفی مخزن اختلاط و پروفایل غلظت بنتونیت در داخل مخزن، خواهد داشت. همچنین به دلیل تغییرات ویسکوزیته گوگرد مذاب با دما نیاز می-باشد تا نحوه تغییرات ویسکوزیته به دلیل اضافه شدن بنتونیت و تغییرات آن با دما، در محدوده کاری فرآیند مورد آزمایش و تحقیق واقع شود.

یکی از اهداف مهم انجام این پایان‌نامه بررسی تاثیر افزایش مواد ریزمغذی مثل اکسیدهای آهن، روی و منگنز بر ویسکوزیته مخلوط بنتونیت و گوگرد مذاب می‌باشد. همانطور که در معرفی فرآیند تولید کود گوگرد بنتونیتی اشاره شد، پس از تولید مخلوط همگن از بنتونیت و گوگرد مذاب، سوسپانسیون تولید شده پس از عبور از فیلترها وارد مخزن نهایی شده که در این مخزن مواد ریز مغذی با درصدهای دلخواه، به این مخلوط اضافه شده و پس از آن، این مخلوط به سیستم دانه‌بندی فرستاده می‌شود. در نتیجه بررسی تغییرات ویسکوزیته در این بخش از فرآیند نیز، از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد.

۱-۳-۶-۱- مواد مصرفی

- **گوگرد**

در این تحقیق از گوگرد تولیدی واحد بازیافت گوگرد پالایشگاه تهران استفاده شده است. این گوگرد به شکل گرانول ، با خلوص ۹۹/۸٪ و دانسیته gr/cm3 ۱/۸ بوده و میزان رطوبت آن نیز با توجه به شرایط آزمایشگاه حدود ۱٪ اندازه‌گیری شده است.

[27] atomization

- **بنتونیت**

همانطور که اشاره شد، انواع مختلفی از بنتونیت، از لحاظ خاصیت متورم شوندگی و میزان رطوبت، موجود می‌باشد. بنتونیت استفاده شده در این تحقیق، از شرکت‌های تولیدی استان خراسان جنوبی تهیه شده و دارای شاخص تورم ۱۷ و رطوبت ۸٪ می‌باشد.

- **اکسید های فلزی**

با استفاده از اکسیدهای فلزی در ساختار کود گوگرد بنتونیتی می‌توان نیاز گیاه به عناصر ریزمغذی را برطرف کرد، چراکه با تبدیل اکسید فلزی به نمک سولفات این عناصر در اختیار گیاه قرار می گیرند. مشخصات اکسیدهای فلزی مصرف شده در این تحقیق، در جدول۱-۸ ارائه شده است.

جدول۱-۸- خواص فیزیکی اکسیدهای آهن، روی و منگنز

قطر متوسط ذرات(میکرومتر)	درصد رطوبت	دانسیته ذرات	ماده
۳۵	۱	۵/۲۰	اکسید منگنز
۱۰	۱	۵/۰۲	اکسید آهن
۴	۱	۵/۶۰	اکسید روی

۲-۳-۶-۱- تجهیزات آزمایشگاهی

- **دستگاه ویسکومتر**

برای اندازه‌گیری ویسکوزیته، از دستگاه ویسکومتر لرزشی استفاده شده است که به طور همزمان دما و ویسکوزیته را اندازه‌گیری می‌کند. تعیین ویسکوزیته، بر اساس لرزش ردیاب[۲۸](که در داخل سیال قرار می‌گیرد) صورت می‌گیرد. به عبارت دیگر با ایجاد یک فرکانس خاص، انرژی تلف شده در برخورد حسگر

[28] Probe

دستگاه با سیال مجاور آن محاسبه شده و با یک رابطه غیر خطی، تبدیل به عدد ویسکوزیته می شود. در شکل۱-۱۷، ابعاد به همراه تصویر دستگاه ویسکومتر نشان داده شده‌است.

شکل۱-۱۷- تصویر دستگاه ویسکومتر لرزشی

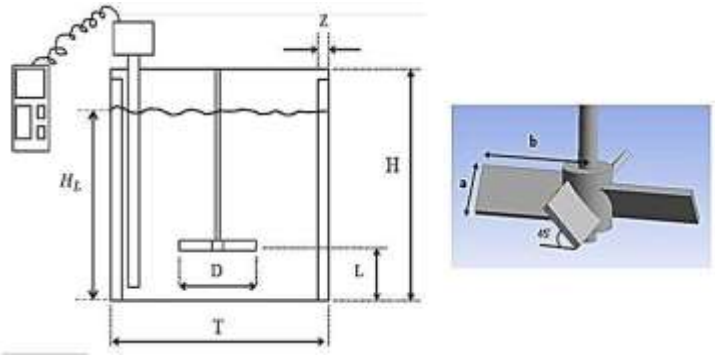
- **مخزن شیشه‌ای دو جداره**

به منظور تولید مخلوط همگن چه از نظر دما و چه از نظر غلظت ذرات جامد معلق در سوسپانسیون، از یک مخزن شیشه‌ای دوجداره استفاده گردید. ارتفاع مخزن به گونه‌ای در نظر گرفته شده که سطح مذاب داخل آن برای اندازه‌گیری ویسکوزیته و دما مناسب باشد. بقیه ابعاد مخزن بر اساس الگوهای طراحی و نسبت‌های مهندسی محاسبه شده است.

به طور کلی طراحی و ساخت این مخزن بر اساس اهداف زیر صورت گرفته است:

۱. تولید سوسپانسیون همگن به منظور اندازه‌گیری ویسکوزیته
۲. بررسی اعتبارسنجی شبیه‌سازی انجام شده با استفاده از نمونه‌برداری از داخل مخزن

جهت تولید سوسپانسیون همگن، همزن از نوع PBT[۲۹] ، پیشنهاد می‌شود. این همزن باعث تولید جریان محوری در داخل مخزن شده و توان مصرفی آن به نسبت انواع دیگر کمتر می‌باشد، که تصویر آن به همراه مشخصات هندسی مخزن و نحوه قرارگیری ویسکومتر در داخل سیستم، در شکل ۱-۱۸ نمایش داده شده است.



شکل۱-۱۸- شمای کلی مخزن اختلاط به همراه ویسکومتردیجیتال

- **همزن مکانیکی**

نیروی مورد نیاز برای چرخش همزن در مخزن اختلاط با استفاده از موتور الکتریکی تامین شده است. سرعت چرخش این موتور بر اساس دو حالت قابل تنظیم می‌باشد که سرعتهای بین rpm ۲۰ تا ۱۲۰۰ rpm را تامین می‌کند. **دستگاه گردش روغن حرارتی**

این سیستم مجهز به کنترل دمای خودکار بوده و در صورتیکه یک دمای مشخص توسط کاربر انتخاب شود، تامین حرارت مورد نیاز صورت می‌گیرد.

[29] Pitched Blade Turbine

- **دستگاه نمونه برداری از مخلوط بنتونیت و گوگرد مذاب**

یکی از ابزارهای پرکاربرد در زمینه نمونه‌برداری مستقیم، از داخل فاز مایع استفاده از سرنگ‌های مخصوص می‌باشد. اما به دلایل زیر استفاده از این ابزار، برای نمونه برداری از داخل گوگرد مذاب مناسب نمی‌باشد:

۱. چون محفظه سرنگ در فضای بیرون قرار دارد، و دمای آن با دمای محیط برابر است، به محض ورود مخلوط بنتونیت و گوگرد مذاب، این مخلوط در محفظه سرنگ منجمد می‌شود، و کاربر را برای تخلیه مجدد با مشکل مواجه می‌کند.
۲. از طرفی به دلیل نازک بودن ورودی سرنگ، ممکن است بین ذرات جامد بنتونیت و گوگرد مذاب، تمایز ایجاد شود که این موضوع باعث بروز خطا در نمونه‌برداری خواهد شد.
۳. به دلیل طولانی بودن مسیر حرکت مخلوط بنتونیت و گوگرد مذاب برای ورود به محفظه سرنگ، مقداری از ذرات جامد بر روی دیواره مسیر و همچنین دیواره محفظه سرنگ باقی می‌مانند که این موضوع نیز خطای اندازه‌گیری را به همراه خواهد داشت.

پس از بررسی‌های صورت گرفته و عدم دستیابی به یک نمونه‌بردار مناسب برای مخلوط دوفازی در این پروژه، طراحی یک دستگاه نمونه‌گیری فلزی انجام گرفت. ساخت این دستگاه که تصویر آن در شکل ۱۹-۱ مشاهده می‌شود، در بخش خدمات فنی و مهندسی پژوهشگاه صنعت نفت انجام شده است.

شکل۱-۱۹- تصویر دستگاه نمونه‌گیری از مخلوط دوفازی بنتونیت و گوگرد مذاب

از مهمترین شاخصه‌های این سیستم می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد:

۱. محفظه نمونه برداری در داخل مذاب قرار می‌گیرد. این امر سبب می‌شود تا با داغ شدن محفظه، پس از ورود نمونه به داخل آن و خارج کردن دستگاه از داخل مخزن ، به راحتی بتوان نمونه را تخلیه کرد.
۲. حجم محفظه تا حد امکان کوچک در نظر گرفته شده است (حدود ۵ سی سی) تا هم مقدار مورد نیاز نمونه برای آنالیزهای بعدی تامین شود و هم حجم محفظه کمترین تاثیر را روی هیدرودینامیک داخل مخزن داشته باشد (حجم سیال داخل مخزن ۳۰۰۰ سی سی است).
۳. برداشت نمونه به راحتی و با غلبه بر نیروی فنر و حرکت دو اهرم دستگاه صورت می‌گیرد.
۴. به دلیل نوع طراحی صورت گرفته و فشار وارده از طرف فنر دستگاه به درپوش محفظه، پس از قرارگیری آن در داخل مذاب هیچ گونه ماده‌ای وارد محفظه نشده تا زمانی حرکت اهرم توسط کاربر باعث ورود نمونه به داخل محفظه شود.

۵. با بالا رفتن بازوی متحرک درپوش محفظه باز شده و هیچ تمایزی بین ذرات جامد و گوگرد مذاب ایجاد نشده و نمونه از همان نقطه وارد محفظه می‌شود.

۵-۸-۱- شبیه سازی نرم افزاری مخازن همزن‌دار

هدف از این فعالیت این است تا با شبیه‌سازی مخازن همزن‌دار فرآیند تولید گوگرد بنتونیتی در شرایط مختلف، پارامترهای مهم و تاثیرگذار در این تجهیزات شناسایی شده و شرایط عملکردی مناسب برای هرکدام از آن‌ها پیش‌بینی شود. در ابتدا توضیح مختصری از دینامیک سیالات محاسباتی ارائه خواهد شد، سپس با مروری بر منابع، مدل‌های ریاضی مناسب جهت پیش‌بینی رفتار هیدرودینامیکی و سیال دوفازی سیستم انتخاب شده و در نهایت نتایج شبیه‌سازی‌های صورت گرفته بررسی خواهد شد.

۶-۸-۱- نتایج و بحث

همانطور که اشاره گردید فعالیت‌های این قسمت از تحقیق در دو بخش انجام گرفته است. در بخش اول، به بررسی آزمایشگاهی رفتار اختلاط گوگرد مذاب و افزودنی‌های اشاره شده پرداخته شده است. نتایج بدست آمده از فعالیت‌های این بخش را می‌توان در موارد ذیل خلاصه کرد:

- به دلیل وجود رطوبت در ساختار بنتونیت، وارد شدن سریع آن به گوگرد مذاب (به سبب مکش ایجاد شده بوسیله همزن)، موجب ایجاد فوم در سطح فوقانی سیال می‌شود، که این امر ایجاد اختلال در توزیع یکنواخت ذرات جامد و تولید قطعات جامد گوگرد به واسطه عدم چرخش مناسب سیال، را به همراه خواهد داشت. اما در صورت وارد شدن بنتونیت با نرخ پایین و دادن فرصت کافی برای معلق ماندن آن در سطح سیال و تبخیر رطوبت موجود در آن، این مشکلات برطرف خواهد شد. زمان مناسب برای تولید مخلوط ۱۰ درصد وزنی بنتونیت در سرعت ۳۵۰ rpm همزن ، حدود ۱۱۰ دقیقه می‌باشد.
- با تولید مخلوط ۱۰ درصد وزنی بنتونیت در گوگرد مذاب، ویسکوزیته مخلوط در دمای $۱۲۵^{o}C$ از ۱۰ cP به ۱۴ cP افزایش می‌یابد. در دماهای ۱۲۵، ۱۳۰ و ۱۳۵ درجه سانتی‌گراد تغییرات مشابهی از ویسکوزیته، مشاهده می‌شود.

- با تولید مخلوط ۵ درصد وزنی از ریزمغذی‌ها، ویسکوزیته مخلوط بنتونیت و گوگرد مذاب در دمای $۱۲۵^{o}C$ از ۱۴cP به ۱۹cP برای اکسید منگنز، ۲۴cP برای اکسید آهن و ۳۴cP برای اکسید روی، افزایش می یابد. این تغییرات به صورت غیرخطی بوده و از رابطه انیشتین تبعیت نمی‌کند. افزایش ویسکوزیته برای مخلوط تولید شده از ریزمغذی‌ها متناسب با اندازه متوسط ذرات آنها بوده است، به گونه‌ای که با کاهش اندازه ذرات، افزایش بیشتر ویسکوزیته مشاهده شده است.
- افزایش ویسکوزیته در مخلوط حاوی ۵ درصد وزنی اکسید روی در دمای ۱۲۵℃، به حدی است که به شدت پروفایل سرعت سیال داخل مخزن را تحت تاثیر قرار می‌دهد. به طوریکه سطح بالای سیال به صورت ساکن در خواهد آمد. در نتیجه به علت عدم چرخش مناسب سیال در مخزن، دمای قسمت فوقانی کاهش یافته و باعث افزایش چندین برابری ویسکوزیته می‌شود. درصورتی که سرعت همزن در مخزن آزمایشگاهی از ۲۵۰ rpm به۳۵۰ rpm افزایش یابد، دمای مخزن در همان دما ثابت مانده و افزایش ویسکوزیته فقط به خاطر حضور اکسید روی و بنتونیت اتفاق می‌افتد و نه به خاطر افت دما.
- در سرعت۱۰۰ rpm همزن در مخزن آزمایشگاهی، ته‌نشینی ذرات بنتونیت اتفاق می‌افتد، که این موضوع با استفاده از نمونه‌برداری از این مخزن، نشان داده شد. با افزایش سرعت همزن تا ۲۵۰ rpm توزیع یکنواخت ذرات بوجود می‌آید. لذا می‌توان نتیجه گرفت که مخلوط بنتونیت و گوگرد مذاب از لحاظ تعلیق ذرات جامد پایدار نبوده و در یک سرعت همزن مشخص یکنواختی مخلوط صورت می‌گیرد و در سرعت‌های پایین‌تر از آن توزیع ذرات به سمت غیریکنواختی پیش خواهد رفت.

در بخش دوم ، با استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی، سعی شد تا شبیه‌سازی مخازن همزن‌دار آزمایشگاهی و نیمه صنعتی تولید گوگرد بنتونیتی با دقت بالایی انجام شود. نتایج بدست آمده از این بخش به صورت زیر خلاصه می‌شود:

- با مقایسه نتایج بدست آمده از نمونه‌برداری آزمایشگاهی و شبیه‌سازی نرم‌افزاری، برای مخلوط ۱۰درصد وزنی بنتونیت وگوگرد مذاب در سرعت همزن ۱۰۰ rpm و ۲۵۰ rpm ، این نتیجه

بدست آمد که با استفاده از مدل آشفتگی $RNG\ k-\varepsilon$ و مدل دوفازی اولرین به همراه مدل درگ شیلر- نایومن می‌توان پیش‌بینی دقیقی از رفتار ذرات جامد بنتونیت در فاز گوگرد مذاب، به عمل آورد و توزیع ذرات بنتونیت را در نقاط مختلف مخزن اختلاط، محاسبه کرد.

- با استفاده از شبیه‌سازی‌های مختلف برای مخازن همزن‌دار واحد نیمه‌صنعتی در حالت تک‌فازی و دوفازی، و استفاده از نتایج بدست آمده از بخش اندازه‌گیری ویسکوزیته، حداقل سرعت‌های لازم برای تولید سوسپانسیون‌های کامل(معلق نگه‌داشتن کلیه ذرات) و یکنواخت(توزیع یکنواخت ذرات)، بدست آمد. به عنوان مثال، برای تولید مخلوط ۱۰ درصد وزنی بنتونیت – گوگرد مذاب در دمای ۱۲۵درجه سانتی‌گراد، در صورتی که ارتفاع گوگرد مذاب در داخل مخزن V_2 برابر ۷۰ سانتی‌متر باشد، برای تولید سوسپانسیون کامل، سرعت ۵۷ rpm و برای تولید سوسپانسیون همگن سرعت ۷۰ rpm مورد نیاز می‌باشد.
- با افزایش ارتفاع سیال داخل مخزن، برای رسیدن به یک تلاطم ثابت در سطح فوقانی، افزایش سرعت همزن ضروری است. برای مخزن V_2 به ازای افزایش ۱۰ سانتی‌متری ارتفاع سیال، افزایش ۱۰ rpm سرعت همزن پیشنهاد می‌شود.
- برای مخزن V_4 به دلیل افزایش ارتفاع سیال تا ۹۰ سانتی‌متر و تغییر هندسه آن نسبت به مخازن V_2 وV_3 ، حداقل سرعت لازم برای توزیع یکنواخت ذرات جامد بنتونیت، ۱۲۰ rpm پیشنهاد می‌شود.
- در مخزن V_5 به دلیل اضافه شدن ریزمغذی‌ها به مخلوط بنتونیت و گوگرد مذاب، بررسی تاثیر ویسکوزیته بر پروفایل سرعت و یکنواختی توزیع ذرات، از اهمیت بیشتری برخوردار می‌باشد. چراکه به دلیل کمتر بودن اندازه متوسط این ذرات نسبت به بنتونیت، افزایش ویسکوزیته بیشتر بوده و تاثیر آن بر پروفایل سرعت بیشتر می‌باشد. به گونه‌ای که برای تولید مخلوط ۵ درصد وزنی اکسید روی، افزایش سرعت همزن به میزان ۲۰ rpm نسبت به مخزن V_2 امری لازم و ضروری می‌باشد. در صورتیکه در مخزن آزمایشگاهی افزایش سرعت ۱۰۰ rpm مورد نیاز است.

به طور خلاصه، در فرآیند تولید گوگرد بنتونیتی در واقع تولید سوسپانسیون همگن از بنتونیت و گوگرد مذاب مد نظر می‌باشد. ویسکوزیته مخلوط مورد نظر، تاثیر مهمی روی میزان توان مصرفی مخزن اختلاط و پروفایل غلظت بنتونیت در داخل مخزن، خواهد داشت. همچنین به دلیل تغییرات ویسکوزیته گوگرد مذاب با دما نیاز می‌باشد تا نحوه تغییرات ویسکوزیته به دلیل اضافه شدن بنتونیت و تغییرات آن با دما، در محدوده کاری فرآیند مورد آزمایش و تحقیق واقع شود.

یکی از اهداف مهم انجام این پایان‌نامه بررسی تأثیر افزایش مواد ریزمغذی مثل اکسیدهای آهن، روی و منگنز بر ویسکوزیته مخلوط بنتونیت و گوگرد مذاب می‌باشد. همانطور که در معرفی فرآیند تولید کود گوگرد بنتونیتی اشاره شد، پس از تولید مخلوط همگن از بنتونیت و گوگرد مذاب، سوسپانسیون تولید شده پس از عبور از فیلترها وارد مخزن نهایی شده که در این مخزن مواد ریز مغذی با درصدهای دلخواه، به این مخلوط اضافه شده و پس از آن، این مخلوط به سیستم دانه‌بندی فرستاده می‌شود. در نتیجه بررسی تغییرات ویسکوزیته در این بخش از فرآیند نیز، از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد.

مراجع فصل یک

۱- طهمورسی، م. صرافی، ا. صادق حسینی، س.م. ۱۳۸۹. " ارزیابی نمونه‌های بنتونیت استان کرمان". نشریه شیمی و مهندسی شیمی ایران. دوره ۲۹، شماره ۲، تابستان ۱۳۸۹.

۲- علایی، ا. ، روزبهانی، ا.، رهبر شمس کار، ک. ۱۳۹۰. " بهینه‌سازی فرآیند تولید گوگرد کشاورزی در سیستم دانه بندی پالایشگاه گاز خانگیران، ارزیابی میدانی محصول و تهیه مستندات فنی واحد نیمه صنعتی". پژوهشگاه صنعت نفت

3- Koch, Dietrich. “ European Bentonites as Alternative to MX-80”. 2008. Science & Technology Series, No. 334. 23-30.(2008).

4- Segad, M., Jonsson, B., Akesson, T., Cabane, B. (2010). “ Ca/Na Montmorillonite: Structure, Forces and Swelling Properties”. Langmuir, 26(8),5782-5790.(2010).

5- Tao, L., Xiao-Feng, T., Yu,.Z. (2010). " Swelling of K^+, Na^+ and Ca^{2+} montmorillonites and hydration of interlayer cations: a molecular dunamics simulation". Chin. Phys. B. Vol. 19, No. 10. 109101(1-7) (2010).

۶- عابدینی، ح.، ۱۳۹۳" بررسی تاثیر افزایش مواد افزودنی بر پارامترهای موثر در طراحی و تولید فرمولاسیون گوگرد کشاورزی"، رساله کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شریف