

تولید آزمایشگاهی کود پوشش دار آهسته رهش، با استفاده از مواد زیست تخریب پذیر در یک بستر سیال

یوسف خان محمدی، سلمان موحدی راد*⁺

دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه علم و صنعت، صندوق پستی ۱۶۷۶۵ - ۱۶۳، تهران، ایران

چکیده: در استفاده از کودهای شیمیایی نیتروژن دار به دلیل بالا بودن سرعت حل شوندگی در آب، بخش چشمگیری از نیتروژن به بخش های زیرین خاک نفوذ می کند و از دسترس گیاه خارج می شود. برای جلوگیری از این هدر رفت روش های گوناگونی مورد استفاده قرار گرفته است که یکی از پرکاربردترین روش ها استفاده از پوشش برای کاهش سرعت حل شوندگی در آب است. در این پژوهش از دو ماده صمغ زانتان و پودر آلژینات قالب سازی به عنوان پوشش استفاده شد و تأثیر پوشش های اعمال شد بر نرخ آزادسازی اوره مورد بررسی قرار گرفت. عمل پوشش دهی با استفاده از بستر سیال انجام شد. با استفاده از این مواد پوشش های یک و دو لایه ساخته شد. بهترین نتیجه از پوشش دو لایه از صمغ زانتان و آلژینات به دست آمد. نتیجه های به دست آمده از بررسی درصد اوره آزاد شده به کل اوره موجود در نمونه های ساخته شده نشان می دهد که پوشش ایجاد شده باعث افزایش زمان انحلال کود به بیش از ۱۲ روز می شود.

واژه های کلیدی: کود پوشش دار؛ بستر سیال؛ آلژینات؛ صمغ زانتان؛ اوره.

KEYWORDS: Coated fertilizer; Fluidized bed; Alginate; Xanthan gum, Urea.

مقدمه

راندمان مصرف را بهبود بخشد و حافظ محیط زیست باشد، نیاز است [۳]. عامل هایی چون شستشو توسط آب، باکتری ها و تبخیر باعث هدر رفتن اوره در خاک می شود [۲]. بهترین راه برای جلوگیری از این هدر رفت استفاده از کودهای آهسته رهش می باشد. کودهای آهسته رهش با دو روش فیزیکی و شیمیایی تولید می شوند، در روش فیزیکی کودهای ازته با یک ترکیب مقاوم در برابر آب به صورت فیزیکی پوشش داده می شوند. پوشش محافظ از جنس مواد نامحلول در آب، نیمه تراوا و یا نفوذ ناپذیر با منفذهای کم است. این مواد نفوذ آب را کنترل می کنند و در نتیجه نرخ انحلال را کاهش می دهند [۴]. امروزه توجه به کود شیمیایی ازته ی پوشش داده شده به منظور کاهش میزان انتشار اوره

گیاهان برای رشد افزون بر کربن، هیدروژن و آب به ۱۴ ماده مغذی دیگر نیاز دارند. برای جبران کمبود گیاه، این مواد مغذی در قالب کود به خاک افزوده می شود. وجود ازت برای تولید پروتئین و افزایش کیفیت فراورده نیاز است. اوره به دلیل داشتن نیتروژن بالا (۴۷٪) و ویژگی های ذخیره سازی خوب، نقش یک منبع مکمل مهم نیتروژن را بر عهده دارد [۱]. به دلیل آن که نیتروژن، به سرعت خاک را ترک می کند، حدود ۳۰ تا ۵۰ درصد ازت اتلاف می شود. این دور ریز تنها از نظر اقتصادی به صرفه نمی باشد، بلکه به محیط زیست آسیب جدی وارد می کند [۲]. از سویی با افزایش جمعیت جهان مصرف کود نیز در حال افزایش است. بنابراین توسعه نوع جدیدی از کود که می تواند با حفظ تولید فراورده،

⁺E-mail: movahedirad@iust.ac.ir

*عهده دار مکاتبات

با اسپری از بالا انجام گرفته است، افزون بر افزایش زمان انحلال اوره، آب را نیز ذخیره می‌کنند. کودهای پوشش دار تولید شده با این مواد در مناطق کم آب می‌تواند بسیار کاربردی باشد. با این حال این مواد گران و غیر زیست تخریب پذیرند [۱۸ - ۱۴]. برای رفع اثرهای غیرزیست تخریب پذیری برخی از پوشش‌های پلیمری و برای جبران هزینه‌های عملیاتی بالا، توسعه ترکیب‌های زیستی به عنوان پوشش برای کنترل انتشار اوره، پلیمرهای طبیعی به ویژه، نشاسته مورد توجه قرار گرفته است [۷]. سوهرمان^(۳) [۱۹] با مخلوط کردن نشاسته با محلول اکریلیک اسید و پلی اتیلن گلیکول در بستر سیال کود پوشش داری با این مواد ساخته است. نتیجه‌ها نشان می‌دهد که با افزایش دمای هوای ورودی میزان انحلال نیز افزایش می‌یابد. لیگنین^(۴) یک ترکیب ماکرومولکولی ارزان و طبیعی و ماده‌ی زائد صنایع کاغذ است. لیگنین زیست تخریب پذیر، آمورف، و در مقایسه با پلیمرهای دیگر یک پلیمر زیستی به نسبت آبگریز است [۲۰]. لیگنین به شکل ماتریسی برای کاهش نرخ انحلال کود اوره مورد استفاده قرار گرفته است [۲۱]. یونگ^(۵) [۲۲] با توجه به قابلیت انبساط و زیست تخریب پذیری آرد کونجاک^(۶)، کود اوره آهسته رهشی با استفاده از بستر سیال با اسپری از پایین تهیه و تأثیر آن را بر پارامترهای گوناگون مورد مطالعه قرار داده است. در طول ۸ هفته اول، تنها آزادسازی ۲۰٪ دیده شده است که پس از آن به ۷۰-۸۰٪ افزایش یافته است و با افزایش ضخامت پوشش نرخ آزادسازی اوره کاهش می‌یابد.

در کار حاضر در انتخاب مواد مورد استفاده برای پوشش افزون بر در نظر گرفتن ویژگی‌های فیزیکی، قیمت و زیست تخریب پذیری نیز مورد توجه بوده است. پوشش دهی در بستر سیال انجام گرفته و برخی از پارامترهای تأثیر گذار بر روی کیفیت پوشش و در نتیجه نرخ انحلال کود اوره پوشش داده شده مورد بررسی قرار گرفته است. در ادامه به مواد استفاده شده، روش کار و نتیجه‌های به دست آمده پرداخته می‌شود.

بخش تجربی مواد آزمایشگاهی

کود استفاده شده در این کار تولید شرکت پتروشیمی کرمانشاه می‌باشد که از گرانول‌های با قطر دو الی چهار میلی متر با درصد غبار

افزایش یافته است [۵]. انواع گوناگونی از کود اوره‌ی پوشش داده شده با فرایندهای متفاوت به منظور تولید کودهای پوشش‌دار و کودهای آهسته رهش با ویژگی‌های مناسب توسعه یافته است [۵]. به طور عمده فرایندهای تولید کودهای آهسته رهش پوشش داده شده بر پایه استفاده از سینی چرخان و بستر سیال استوار است [۶]. محلولی از مواد پوششی بر روی گرانول‌های کود اسپری می‌شود و با هوادهی (به طور معمول هوای گرم) گرانول‌های پوشش داده شده خشک می‌شوند. کود پوشش‌دار باعث صرفه جویی در مقدار کود مصرفی و هزینه‌های کارگری می‌شود، از هدررفت مواد مغذی، انتشار گازهای خطرناک، تحریک‌های پوستی و مشکل‌های تنفس جلوگیری می‌کند. از سوی دیگر، این نوع کودها گران هستند، برخی از مواد پوشش مورد استفاده در کودهای پوشش‌دار غیر زیست تخریب پذیر و برای خاک سمی می‌باشد. در بیش‌تر موردها، نرخ آزادسازی مواد مغذی کود نیز نامشخص است و نیاز به تجهیزات ذخیره سازی مناسب (برای جلوگیری از اعمال فشار و احتمال ایجاد شکست در پوشش) دارد [۷]. منظور از نرخ آزادسازی، درصد اوره‌ی آزاد شده به کل اوره‌ی موجود در نمونه‌های ساخته شده می‌باشد. تسائی^(۱) [۸] با استفاده از یک بستر سیال فواره‌ای با اسپری از پایین، کود اوره را با گوگرد مذاب پوشش داده است که کود تولید شده در آزمایش انحلال هفت روزه در آب مقطر، ۳۰ درصد از اوره‌ی خود را آزاد کرده است. در کود اوره‌ی پوشش داده شده با گوگرد سرعت انحلال تابعی از دمای هوای ورودی بوده و نرخ جریان هوا بی تأثیر است [۹]. ایجاد لایه‌ی ثانویه‌ی پلیمری بر روی پوشش گوگردی باعث افزایش زمان انحلال اوره‌ی کود می‌شود [۱۰]. پوشش پلی اورتان با ضخامت ۱۰-۱۵ میکرومتر در ده روز اول انحلال کم‌تر از ۱۰ درصد، سی روز ۷۰-۸۰ درصد و انتشار کامل پس از ۴۰-۵۰ روز در خاک تر با دمای ۲۵ از خود نشان داده است [۱۱]. پتچساک و همکاران^(۲) [۱۲]، از پلیمر لاکتیک اسید - کو - اتیلن ترفتالات به عنوان پوشش برای گرانول اوره استفاده کرده‌اند، که نتیجه‌های بررسی نشان می‌دهد میزان انتشار تابعی از ضخامت پوشش می‌باشد [۱۳]. سوپر جاذب‌های آب مواد پلیمری هستند که می‌توانند بیش‌تر از ۲۰۰ برابر جرم خود آب را جذب کنند. کود پوشش‌دار تولید شده با این مواد، که با استفاده از بستر سیال

(۱) Tsai

(۲) A. Petchsuk et al.

(۳) Suherman

(۴) Lignin

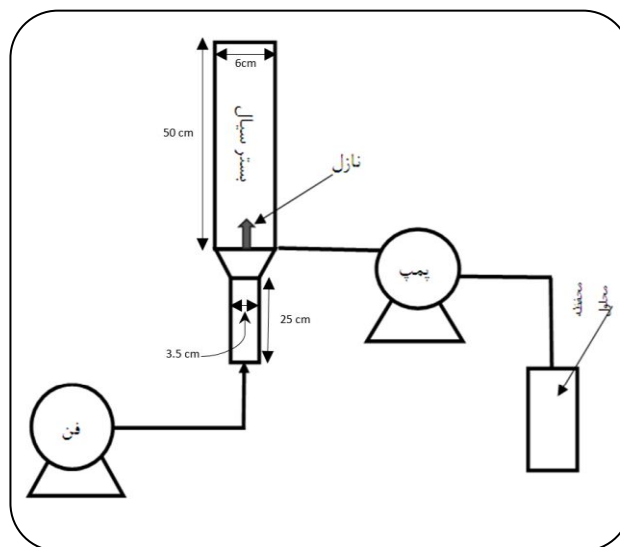
(۵) Wang Yong

(۶) Konjac

مدت زمان کوتاهی وارد استوانه‌ی پایینی شده و دوباره با فشار

هوای ورودی به استوانه‌ی بالایی منتقل می‌شود. برای انجام پوشش‌دهی با صمغ زانتان، ابتدا محلول دو گرم بر لیتر از این ماده را در آب ۶۰ درجه‌ی سلسیوس تهیه کرده و حجم یک لیتر از محلول را به محفظه‌ی محلول منتقل می‌شود. ۳۰ گرم گرانول کود را داخل بستر سیال ریخته شده و فن هوای گرم را روشن می‌شود تا بستر و گرانول‌های معلق در آن گرم شده و با دمای هوای ورودی به تعادل دمایی برسد. سپس، پمپ روشن می‌شود تا محلول بر روی گرانول‌ها اسپری شود. محلول صمغ زانتان بر روی گرانول‌ها می‌نشیند و توسط هوای گرم ورودی خشک می‌شود. با ادامه عمل پاشش تمام سطح گرانول‌ها را لایه‌ای از صمغ زانتان می‌پوشاند. این فرایند در دمای ۶۴ درجه سلسیوس، شدت جریان محلول ۵۲ میلی لیتر بر دقیقه و دبی هوای گرم ۰٫۷۳ متر مکعب بر دقیقه انجام گرفت. این فرایند در زمانی حدود ۲۰ دقیقه انجام می‌گیرد. پس از پایان محلول پمپ خاموش می‌شود ولی هوادهی ادامه دارد تا لایه‌ی ایجاد شده خشک شود. برای بررسی نرخ آزادسازی کود پوشش‌دار ساخته شده، مقدار ۲۰ گرم از فراورده در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر درون ظرف در بسته قرار داده شد و در فاصله‌های زمانی گوناگون، پس از هم زدن آرام مایع درون ظرف ۲ میلی‌لیتر از آب درون ظرف را برداشته و دو میلی‌لیتر آب مقطر جایگزین شد [۱۵]. در کار حاضر برای آنالیز مقدار اوره‌ی آزاد شده از روش اسپکتروفتومتری استفاده شده است.

برای بررسی تأثیر دمای هوای ورودی به بستر بر روی نرخ انحلال اوره یا پوشش زانتان در سه دمای ۳۶، ۶۴ و ۹۵ درجه‌ی سلسیوس عمل پوشش‌دهی با صمغ زانتان انجام گرفت. جدول ۱ نشان دهنده شرایط پوشش‌دهی با سه دمای گوناگون برای پوشش با صمغ زانتان می‌باشد. به دلیل آن که محلول آلژینات به سرعت سفت شده و به حالت لخته در می‌آید، بنابراین نمی‌توان این ماده را به صورت محلول بر روی گرانول‌ها پوشش داد از این رو این ماده به صورت پودری به درون بستر تزریق شده و هم‌زمان آب مقطر به درون بستر اسپری می‌شود و پودر آلژینات را در خود حل نموده و به گرانول‌ها می‌چسباند. برای پوشش دادن با پودر آلژینات به ازای سی گرم کود، پنج گرم پودر آلژینات در دمای ۳۶ درجه‌ی سلسیوس استفاده شده است. برای بررسی تأثیر ضخامت پوشش بر روی نرخ انحلال نمونه‌هایی با ۷٫۵ گرم



شکل ۱- شمایی از سامانه‌ی آزمایشگاهی.

۰٫۴ الی ۰٫۴ وزنی در انجام این آزمایش استفاده شده است. مواد استفاده شده برای پوشش شامل صمغ زانتان^(۱) خوراکی و پودر آلژینات^(۲) قالب‌سازی می‌باشد.

روش آزمایش

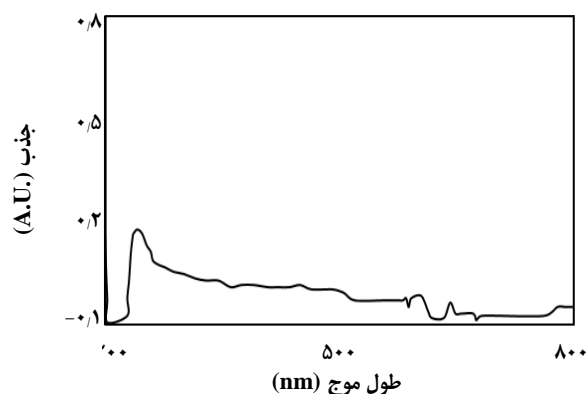
در این کار برای انجام عمل پوشش‌دهی از بسترسیال پاششی استفاده شده است. شکل ۱ شمایی از این سامانه را نشان می‌دهد. بستر سیال از دو استوانه‌ی هم‌مرکز تشکیل شده است که قطر استوانه‌ی زیرین ۳٫۵ سانتی متر و ارتفاع آن ۲۵ سانتی متر، قطر استوانه‌ی بالایی ۶ سانتی متر و ارتفاع آن ۵۰ سانتی متر و از جنس PVC می‌باشد. نازل پاششی تک سیاله با قطر دهانه‌ی ۰٫۲ میلی‌متر مابین دو استوانه (بخشی که استوانه‌ها با تبدیل به هم متصل شده‌اند) تعبیه شده است. هوای گرم از پایین وارد شده و گرانول‌های کود را حمل می‌کند و در استوانه بالایی به صورت پراکنده و سیالی در می‌آورد. محلول مورد نظر با استفاده از پمپ به نازل با قطر دهانه‌ی خروجی ۰٫۲ میلی‌متر، منتقل شده و از طریق آن به درون بستر اسپری می‌شود. قطره‌های ریز محلول به گرانول‌های کود می‌چسبد و هوای گرم ورودی آن را خشک می‌کند با ادامه این فرایند لایه‌ای از ماده‌ی استفاده شده گرانول کود را احاطه می‌کند. عمل پوشش‌دهی فقط در استوانه‌ی بالایی انجام می‌گیرد. طی عمل پوشش‌دهی گرانول‌های در حال چرخش

و ۱۰ گرم آلزینات به ازای ۳۰ گرم کود ساخته و مورد بررسی قرار گرفتند. با توجه به ویژگی‌های لایه‌ی تشکیل شده توسط این دو ماده،

جدول ۱- شرایط عملیاتی پوشش دهی با سه دمای گوناگون بررسی تأثیر دما بر روی پوشش با صمغ زانتان.

ردیف	مقدار کود (گرم)	مقدار محلول دو گرم بر لیتر (لیتر)	شدت جریان هوای ورودی (متر مکعب بر دقیقه)	دمای هوای ورودی (سلسیوس)	شدت جریان محلول ورودی (میلی لیتر بر دقیقه)
۱	۳۰	۱	۰٫۷۳	۳۶	۵۲
۲	۳۰	۱	۰٫۷۳	۶۴	۵۲
۳	۳۰	۱	۰٫۷۳	۹۵	۵۲

شکل ۳- اوره پوشش دهی شده با آلزینات الف - بزرگ‌نمایی ۱۰ برابر و ب - ریخت شناسی سطح با بزرگ‌نمایی ۱۰۰ برابر. پوشش دو لایه ای از این مواد (لایه زیرین صمغ زانتان و لایه‌ی خارجی از آلزینات) ساخته و میزان آزادسازی اوره‌ی کود ساخته شده مورد بررسی قرار گرفته است.

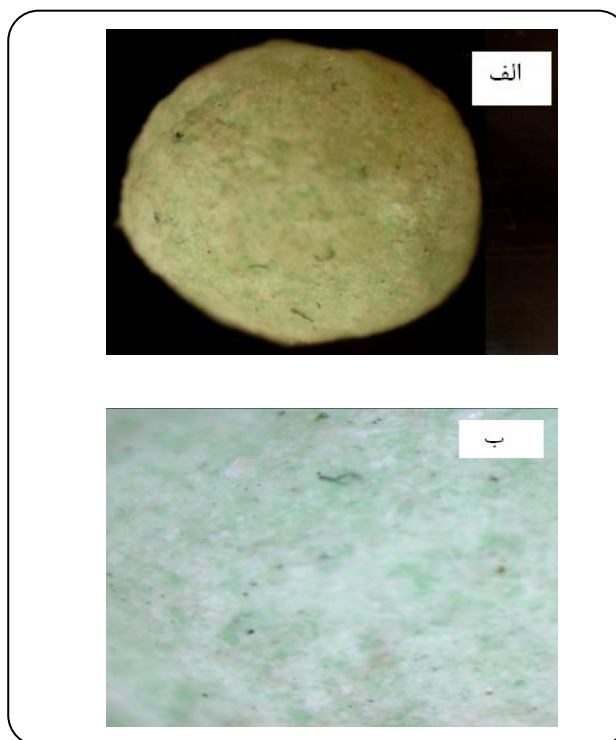


شکل ۲- نمودار به دست آمده از آنالیز نمونه‌ی کود پوشش داده شده با زانتان در روز سوم.

نتیجه‌ها و بحث

در این بخش به ارزیابی نتیجه‌ها و منحنی‌های به دست آمده از کار و مقایسه‌ی نرخ آزادسازی اوره با الگوی نیاز گیاهان به مواد مغذی می‌پردازیم. شکل ۲ نمودار به دست آمده از آنالیز نمونه گرفته شده از کود پوشش داده شده با آلزینات در روز سوم را نشان می‌دهد. طول موج بیشینه جذب اوره ۲۵۱ نانومتر می‌باشد. شکل ۳ کود پوشش‌دار ساخته شده با پودر آلزینات را با دو بزرگ‌نمایی گوناگون (الف: بزرگ‌نمایی ۱۰ برابر و ب: بزرگ‌نمایی ۱۰۰ برابر) نشان می‌دهد. شکل نشان‌دهنده‌ی آن است که پوشش ایجاد شده یک دست بوده و تمام سطح گرانول با لایه‌ای از آلزینات پوشش داده شده است. برای نشان دادن ضخامت لایه‌ها تصویری از سطح مقطع پوشش دو لایه‌ی صمغ زانتان و آلزینات در شکل ۴ آورده شده است. همان‌گونه که شکل ۴ نشان می‌دهد لایه‌ی تشکیل شده از صمغ زانتان دارای تخلخل بسیار بالایی است. از سوی دیگر انحلال پذیری صمغ زانتان در آب بالا می‌باشد. پس می‌توان گفت وجود لایه‌ی آلزیناتی بر روی آن ضروری است.

صمغ زانتان آب را جذب کرده و به صورت ژله در می‌آید. ژله‌ی ایجاد شده اوره‌ی موجود در کود را در خود حبس می‌کند و به آرامی آن را به محیط بیرون منتقل می‌کند. شکل ۵ نمودار آزادسازی اوره را نشان می‌دهد. اوره‌ی موجود در این کود پس از



به دلیل تخلخل بالاتر پوشش ایجاد شده در دمای بالا باشد. با افزایش دما قطره‌های محلول زمان لازم برای تشکیل لایه همگن

شکل ۶ - نمودار تغییر میزان آزادسازی یک روزه روز (سوم به چهارم) اوره بر حسب تغییر دمای هوای ورودی به بستر سیال در پوشش‌دهی با صمغ زانتان.

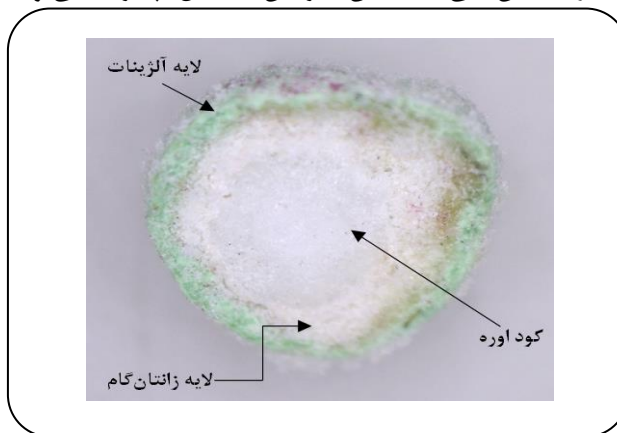
و یک دست را پیدا نمی‌کنند و لایه‌ای با تخلخل بالا ایجاد می‌کنند. شکل ۶ افزایش نرخ انحلال یک روزه‌ی کود پوشش داده شده با صمغ زانتان را با افزایش دما نشان می‌دهد. لایه‌ی آلژینات ایجاد شده پس از خشک شدن انحلال بسیار کمی در آب دارد و این ویژگی برای ماده‌ی پوششی بسیار مناسب است. با این حال زمان انحلال مواد مغذی کود با این پوشش کم بوده و این ماده به تنهایی پوشش مناسبی برای کود نمی‌باشد. دلیل این امر تخلخل به نسبت بالای پوشش ایجاد شده با این ماده است. آب از طریق روزنه‌های موجود در لایه به داخل نفوذ می‌کند و اوره را در خود حل می‌کند. گرادیان غلظت اوره‌ی ایجاد شده در درون و بیرون گرانول باعث می‌شود که اوره‌ی حل شده به محیط بیرون منتقل شود. شکل ۷ نمودار به دست آمده از نتیجه‌های انحلال اوره‌ی پوشش داده شده با پودر آلژینات را نشان می‌دهد.

با افزایش ضخامت پوشش آلژیناتی نرخ انحلال به مقدار جزئی کاهش می‌یابد. این کاهش جزئی به دلیل بالا بودن تخلخل لایه‌ی آلژیناتی می‌باشد. شکل ۸ تغییرهای نرخ انحلال پذیری اوره‌ی پوشش داده شده با پودر آلژینات را با افزایش ضخامت لایه نشان می‌دهد.

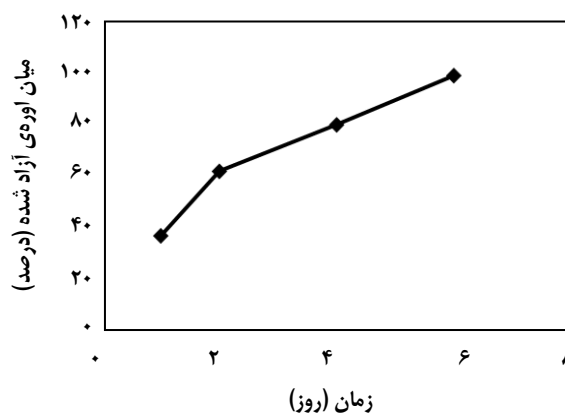
شکل ۹ نتیجه‌های به دست آمده از آزادسازی اوره در کود پوشش داده شده با دولایه‌ی زانتان و آلژینات را نشان می‌دهد. پس از ۱۲ روز میزان انحلال اوره به ۹۵ درصد رسیده است. در پوشش دولایه، آب از لایه خارجی نفوذ کرده و صمغ زانتان را در خود حل می‌کند و آن را به حالت ژله‌ای در می‌آورد.

برای مقایسه و درک بهتر این موضوع نمودار جذب مواد مغذی توسط گیاه که بهترین حالت استفاده از کود شیمیایی را نشان می‌دهد در شکل ۱۰ ارایه شده است. نتیجه‌های به دست آمده از آزاد سازی اوره در کود دو لایه‌ی ساخته شده نشان می‌دهد که به جای استفاده‌ی چند باره از کود معمولی می‌توان از این کود در بازه‌ی زمانی مشخص فقط یک بار استفاده کرد تا نیتروژن مورد نیاز را به آرامی و در بازه‌ی زمانی طولانی‌تر در اختیار گیاه قرار دهد. از آن جایی که دوره‌ی رشد انواع گوناگون گیاهان

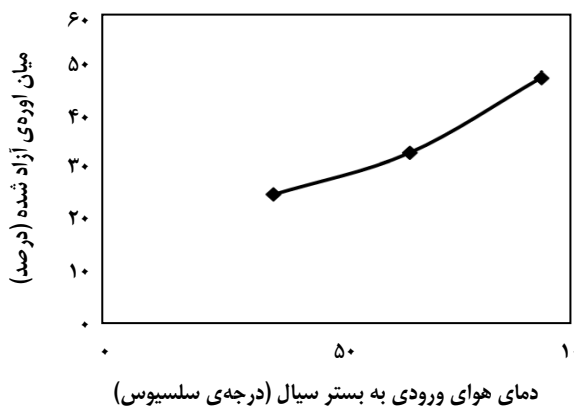
۶ روز به صورت کامل در آب حل شده است. با افزایش دمای هوای ورودی به بستر سیال نرخ انحلال افزایش و در نتیجه زمان انتشار کاهش می‌یابد این افزایش انحلال پذیری می‌تواند



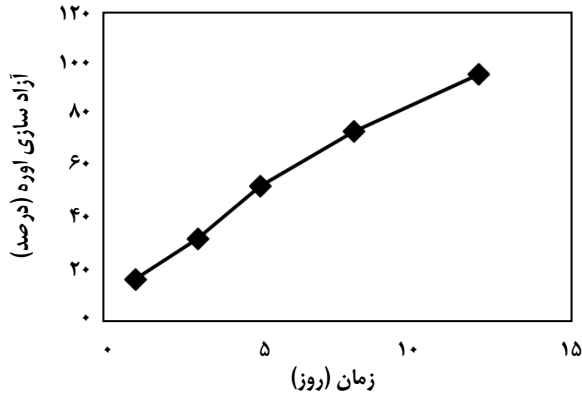
شکل ۴- تصویر کود اوره‌ی دو لایه پوشش داده شده با صمغ زانتان و آلژینات برش خورده.



شکل ۵ - نمودار آزاد سازی اوره در گرانول پوشش داده شده با صمغ زانتان در ۶۴ درجه‌ی سلسیوس.

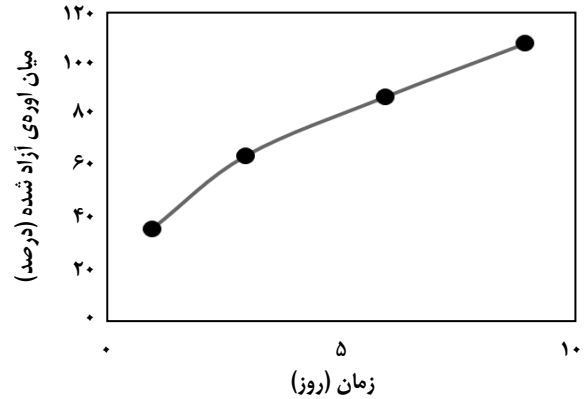


ساخته شده در این کار حدود ۳ برابر کود معمولی است که در مقایسه با کودهای پوشش‌دار پلیمری کمتر ولی در مقایسه با کود پوشش‌دار گوگردی بالاتر می‌باشد.

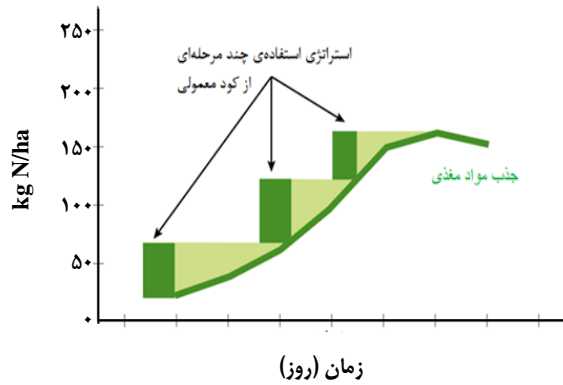


شکل ۹- نمودار آزادسازی اوره با پوشش دو لایه‌ی صمغ زانتان و آلژینات.

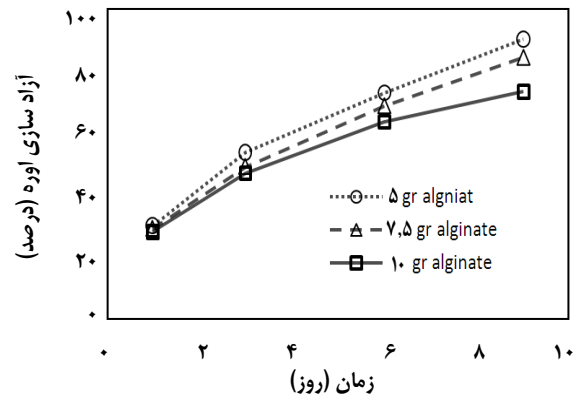
متفاوت است، زمان انحلال کود مناسب هر گیاه نیز متفاوت خواهد بود. کود پوشش‌دار ساخته شده در این کار برای گیاهان با دوره رشد کوتاه مناسب می‌باشد. هزینه‌ی تمام شده کود پوشش‌دار



شکل ۷- نمودار آزادسازی اوره در کود پوشش داده شده با پودر آلژینات.



شکل ۱۰- الگوی جذب مواد مغذی توسط گیاه و استفاده چند مرحله‌ای از کودهای معمولی [۴].



شکل ۸ - نمودار آزادسازی اوره با سه ضخامت گوناگون از پوشش آلژینات.

از خود نشان داده است. با افزایش ضخامت پوشش میزان آزادسازی اوره کاهش می‌یابد، اما این کاهش چشمگیر نمی‌باشد. در کود پوشش داده شده با لایه‌ی دوم از جنس آلژینات پس از ۱۲ روز، ۹۵ درصد از اوره‌ی خود را آزاد می‌کند. نرخ آزاد سازی اوره در کود تولید شده با نمودار نیاز گیاه به مواد غذایی هم خوانی دارد.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۴/۳۱ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۷/۲۴

نتیجه‌گیری

نتیجه‌های به دست آمده از آزمایش نشان می‌دهد کود پوشش داده شده با صمغ زانتان با دمای هوای ورودی ۳۶ درجه‌ی سلسیوس در روز ششم به صورت کامل در آب حل می‌شود. با افزایش دمای هوای ورودی به دلیل خشک شدن تند قطره‌های محلول و ایجاد سطح ناهموارتر، سرعت انحلال در آب مقطر افزایش می‌یابد. کود پوشش داده شده با آلژینات در روز نهم انحلال ۹۰ درصدی

مراجع

- [1] Thanh H. Trinh, KuZilati KuShaari, Abdul Basit, [Modeling the Release of Nitrogen from Controlled-Release Fertilizer with Imperfect Coating in Soils and Water](#), *Ind. Eng. Chem. Res.* **54**: 6724–6733 (2015).
- [۲] کورش اخلاقی، "فرمولاسیون و ساخت سیلنت مناسب جهت استفاده در فرایند تولید کود اوره با پوشش گوگردی"، *اولین کنفرانس پتروشیمی ایران*، (۱۳۸۷).
- [3] Yue-chao Yang, Min Zhang, Yuncong Li, Xiao-hui Fan, and Yu-qing Geng, [Improving the Quality of Polymer-Coated Urea with Recycled Plastic, Proper Additives, and Large Tablet](#), *J. Agric. Food Chem.* **60**: 11229–11237 (2012).
- [4] Trenkel M.E., "Slow- and Controlled-Release and Stabilized Fertilizers: An Option for Enhancing Nutrient Use Efficiency in Agriculture", International Fertilizer Industry Association (IFA), Paris, France, 17-22 (2010)
- [5] Eghbali Babadi F., Yunus R., Abdul Rashid S., Mhod Salleh M.A., Ali S., [New Coating Formulation for the Slow Release of Urea Using a Mixture of Gypsum and Dolomitic Limestone](#), *Partiuology*, **34**: 62-67 (2014).
- [6] Rui Lan, Yonghui Liu, Guanda Wang, Tingjie Wang, Chengyou Kan, Yong Jin, [Experimental Modeling of Polymer Latex Spray Coating for Producing Controlled-Release Urea](#), *Particuology*, **9**: 510–516 (2011).
- [7] Azeem B., KuShaari K, Zakaria B. Man, Abdul Basit, Trinh H. Thanh, [Review on Materials & Methods to Produce Controlled Release Coated Urea Fertilizer](#), *Journal of Controlled Release*. **181**: 11–21 (2014).
- [8] Tsai B.S., "Continuous Spouted Bed Process for Sulphur-Coating Urea", University of British Colombia, Canada, (1986).
- [9] Ayub G., Rocha S., Perrucci A., [Analysis of the Surface Quality of Sulphur-Coated Ureaparticles in a Two-Dimensional Spouted Bed](#), *Braz. J. Chem. Eng.*, **18**(1): 13–22 (2001).
- [10] Li Q., Wu S., Ru T., Wang L., Xing G., Wang J., [Synthesis and Performance of Polyurethane Coated Urea as Slow/Controlled Release Fertilizer](#), *J. Wuhan Univ. Technol. Mater. Sci. Ed.*, **27**(1): 126–129 (2012).
- [11] Guo M., Liu, Zhang, Wu L., [Preparation and Properties of a Slow-Release membrane-Encapsulated Urea Fertilizer with Superabsorbent and Moisture Preservation](#), *Ind. Eng. Chem. Res.*, **44**(12): 4206–4211 (2005).
- [12] Liang R., Liu M., Wu L., [Controlled Release NPK Compound Fertilizer with the Function of Water Retention](#), *React. Funct. Polym.*, **67**(9): 769–779 (2007).
- [13] Liang R., Liu M., [Preparation and Properties of a Double-Coated Slow-Release and Water-Retention Urea Fertilizer](#), *J. Agric. Food Chem.*, **54**: (4) 1392–1398 (2006).
- [14] Ni B., Liu M., Lü Sh., Xie L., Wang Y., , [Environmentally Friendly Slow-Release Nitrogen Fertilizer](#), *J. Agric. Food Chem.*, **59**(18): 10169–10175 (2011).

- [15] Tao S., Liu J., Jin K., Qiu X., Zhang Y., Ren X., Hu Sh., [Preparation and Characterization of Triple Polymer-Coated Controlled-release Urea with Water-Retention Property and Enhanced Durability](#), *J. Appl. Polym. Sci.* **120**(4): 2103–2111 (2011).
- [16] Ito R., Golman B., Shinohara K., [Design of Multi-Layer Coated Particles with Sigmoidal Release Pattern](#), *Chem. Eng. Sci.* **60**(20): 5415–5424 (2005).
- [17] Suherman, [Producing Slow Release Urea by Coating with Starch/Acrylic Acid in Fluid Bed Spraying](#), *Int. J. Eng. Technol. IJET-IJENS.* **11**(06): 4 (2011).
- [18] Riyajan S.-A., Sasithornsonti Y., Phinyocheep P., [Green Natural Rubber-g-Modified Starch for Controlling Urea Release](#), *Carbohydr. Polym.*, **89**(1): 251–258 (2012).
- [19] Mulder W.J, Gosselink R.J.A, Vingerhoeds M.H., Harmsen P.F.H., Eastham D., [Lignin Based Controlled Release Coatings](#), *Ind. Crop. Prod.*, **34**(1): 915-920 (2011).