مروری بر کودهای کندرهش از منظر زیست‌محیطی و اقتصاد و آینده آن در ایران و جهان

حسن صدیقی [۱]، کیوان شایسته [۲*]، مهسا ارجمند [۲]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی شیمی، دانشکده فنی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
۲- دانشیار، گروه مهندسی شیمی، دانشکده فنی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
۲- دانشجوی کارشناسی، گروه مهندسی شیمی، دانشکده فنی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
* ایمیل نویسنده مسئول: k.shayesteh@uma.ac.ir
(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۶/۹- تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۶/۳۱)

چکیده

کودهای کندرهش با ایجاد حائلی فیزیکی، مانع رهش سریع موادمغذی می‌شوند. این کودها به دو روش پوشش‌دار و ماتریسی تولید می‌شوند. کودهای کندرهش، می‌توانند تلفات ماده‌مغذی نظیر ازت را کاهش و سبب استفاده تدریجی متناسب با نیاز گیاه می‌شوند. این اتفاق سبب افزایش بهره‌وری و تاثیرگذاری موثرتر کود می‌شود. روند تولید کودها از جمله کودهای ازته در ایران و جهان هر ساله در حال افزایش است. همچنین می‌توان پیش‌بینی کرد که این روند در سال‌های آتی نیز تداوم داشته باشد. تحقیقات در خصوص کودهای کندرهش نشان می‌دهد که روند تولید و مصرف آن‌ها به‌طور فزاینده‌ای در دنیا در حال افزایش است. در ایران به‌دلیل وجود منابع وسیعی از نفت‌وگاز، گوگرد فراوانی در پالایشگاه‌ها تولید می‌شود؛ در نتیجه می‌توان در ایران کودهای کندرهش با پوشش گوگردی را نسبت به سایر کشورها، ارزان‌تر تولید کرد. هدف این مقاله بررسی اهمیت استفاده از کودهای کندرهش، مزایا، معایب و ارائه روش تولید آن است. همچنین در این مطالعه، میزان تولید کودهای کندرهش در دنیا مورد بررسی قرار می‌گیرد. این مقاله می‌تواند به سرمایه‌گذاران، تولیدکنندگان، محققان، کشاورزان و مصرف‌کنندگانی که به کودهای کندرهش و نقش آن‌ها در کشاورزی علاقه‌مند هستند، اطلاعات مفیدی ارائه دهد.

واژه‌های کلیدی: کود شیمیایی، کود کندرهش، کود کندرهش پوشش‌دار، کود کندرهش ماتریسی، آینده کود کندرهش

مقدمه

جمعیت کره‌زمین روز به روز در حال افزایش است و این امر موجب ازدیاد درخواست به موادغذایی شده است. برای تهیه غذای بیشتر، از کودها استفاده می‌شود که نیتروژن، فسفر و پتاسیم از ضروری‌ترین عناصر برای رشد گیاهان می‌باشند؛ اما نیتروژن یکی از چالش برانگیزترین موادمغذی است (Versino *et al.*, 2019; Xiaoyu *et al.*, 2013). معمولا بیشتر نیتروژنی که به‌عنوان کود در زمین‌های زراعی استفاده می‌شود، از طریق مسیرهای مختلف مانند انحلال در آب، اکسیداسیون‌و-احیا، تصعید، نیتریفیکاسیون و دی‌نیتریفیکاسیون به‌هدر می‌رود (Dimkpa *et al.*, 2020). این تلفات نه تنها عملکرد و کیفیت محصول را کاهش می‌دهد، بلکه باعث ایجاد مشکلات جدی برای محیط‌زیست و سلامت انسان‌ها می‌شود. هدررفت نیتروژن علاوه بر ضرر اقتصادی، سبب آلودگی هوا و آب، انتشار گازهای گلخانه‌ای، اتروفیکاسیون و بسیاری از بیماری‌ها نظیر سرطان می‌شود (Programme, 2020).

با توجه به انحلال بالای کود ازته در آب، جذب ازت (که به‌شکل نیترات و آمونیاک است) توسط ریشه گیاه صورت می‌گیرد. بخش زیادی از نیترات و آمونیاک نمی‌توانند در زمان کوتاه، جذب ریشه شوند؛ لذا به آب‌های سطحی و زیرزمینی وارد می‌شوند. همچنین در اراضی دیم مصرف بیش‌ازحد کودهای ازته سبب آلودگی محصولات به نیترات و نیتریت می‌شود. متاسفانه، مصرف غذا و آب‌شرب آلوده به نیترات و نیتریت در دراز مدت می‌تواند موجب بیماری‌هایی مانند انواع سرطان، مت‌هموگلوبینی، سکته قلبی، مشکلات ریوی و تنفسی و همچنین پیامدهای نامطلوب بارداری شود (Brender, 2020).

در این مقاله ابتدا به اهمیت استفاده از کودهای ازته، میزان تولید و مصرف آن در ایران و جهان اشاره می‌شود. سپس کودهای کندرهش معرفی و به اجمال روش‌های تولید کودهای کندرهش تشریح می‌گردد. در ادامه، اهمیت استفاده از کودهای کندرهش و معایب آن تشریح می‌شود. سپس رویکرد دنیا به کودهای کندرهش با آمار و ارقام بررسی می‌گردد. به‌عبارتی هدف اصلی این مقاله آن است که نشان دهد که تمایل به تولید و استفاده از کودهای کندرهش در دنیا چگونه است.

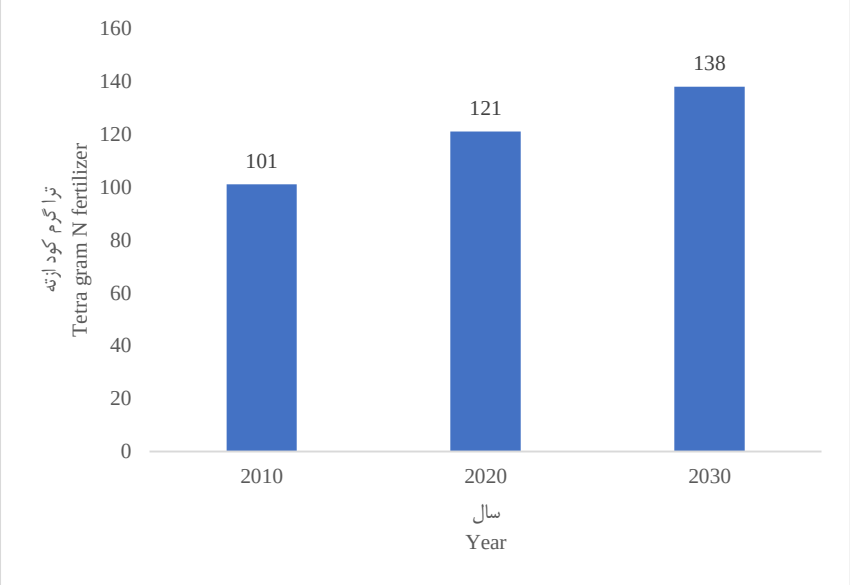
تولید و مصرف کودهای ازته

با اعلام سازمان غذا و کشاورزی ملل متحد در سال ۲۰۱۰، در دنیا حدود ۱۵۴۷ میلیون هکتار زمین قابل کشت وجود داشت که پیش‌بینی شد این رقم در بازه ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۰، ۱۸۰ میلیون هکتار در سطح جهان افزایش یابد. همچنین این سازمان تا سال ۲۰۳۰، افزایش سالانه ۲ درصدی نیاز جهان به کود را با متعادل‌سازی نسبت N:P:K، پیش‌بینی کرد. بنابراین میانگین نیاز سالانه به کودازته به رقم ۱۳۲ ترا گرم می‌رسد. در مقابل، انتظار می‌رود تقاضای جهانی برای کودهای فسفره و پتاسه با نرخ سالانه ۱/۹ درصد و ۳/۳ درصد، رشد کند. بنابراین اگر رشد، آرام در نظر گرفته شود، تقاضای کودازته در سال ۲۰۳۰، ۱۲٤ ترا گرم و اگر رشد سریع باشد، ۱۳۸ ترا گرم (۱۳۸ میلیون تن) خواهد بود. همچنین انتظار می‌رود سهم منطقه‌ای در رشد تقاضا برای کودازته به‌طور قابل‌توجهی تغییر کند و چین و هند تاثیرگذاری کمتری نسبت به‌سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۰ داشته باشند. چهار بازار

برتر برای کودازته همچنان چین، هند، ایالات‌متحده و اتحادیه اروپا هستند. همچنین غلات با ٤٦ درصد افزایش تقاضای جهانی برای کودازته، پیشروترین محصول و پس از آن میوه‌ها و سبزیجات با سهم ۲۰ درصدی قرار دارند (Heffer *et al.*, 2016). بنابراین، پیش‌بینی مصرف جهانی کودازته تا ۲۰۳۰، طبق شکل (۱) آمده است (Gil-Ortiz *et al.*, 2020). همچنین مطابق جدول (۱)، تولید ۹ ماهه آخر سال ۱٤۰۰ ایران و کارخانجات تولیدکننده کود اوره (مهم‌ترین کودازته) نشان داده شده است. لازم-به‌ذکر است که میزان تولید کوداوره در ایران بیش از نیاز داخل می‌باشد و بخش عمده آن صادر می‌شود.

شکل (۲)، میزان تولید کودهای‌ازته را در سال ۲۰۲۰ نشان می‌دهد. قاره آسیا بدلیل سطح زیرکشت بالا، بزرگ‌ترین مصرف‌کننده کود در جهان می‌باشد (Hannah Ritchie, 2022).

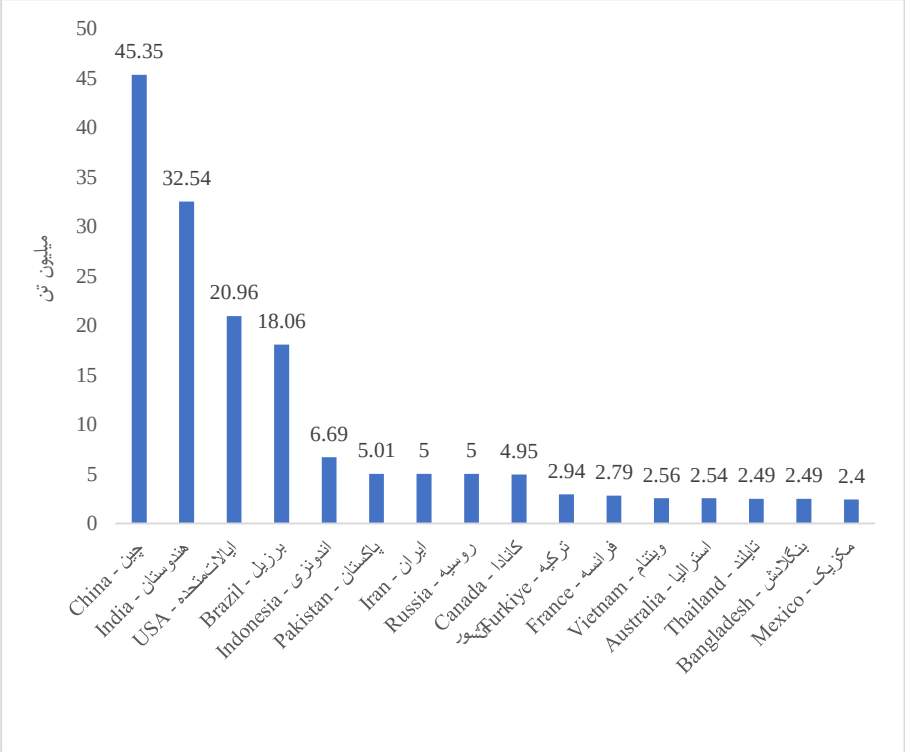
شکل (۳) و (٤) نیز به‌ترتیب میزان مصرف کودهای‌ازته در کشورهای مختلف در سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۲۲ را به ازای هر هکتار نشان می‌دهد. همان‌گونه که از روی رنگ پهنه‌بندی زمین‌های کشاورزی مشخص است، مصرف کودازته در جهان در حال افزایش است. هنچنین، شکل (۵) روند مصرف کودهای ازته، فسفاته و پتاسه در ایران را طبق گزارش وزارت جهاد کشاورزی نشان می‌دهد.



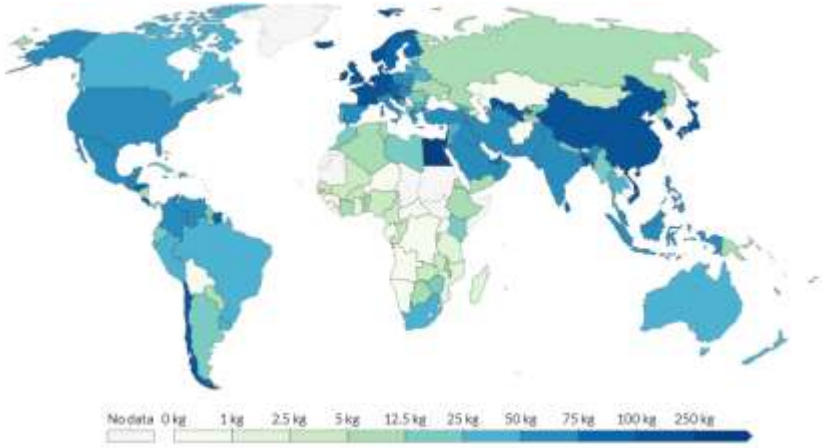
شکل ۱- پیش بینی مصرف جهانی کودازته تا سال ۲۰۳۰ (Heffer *et al.*, 2016)

جدول ۱- تولید اوره و شرکت‌های تولیدکننده ایرانی در ۹ ماهه آخر سال ۱٤۰۰ (تن) (Zafari, 2022)

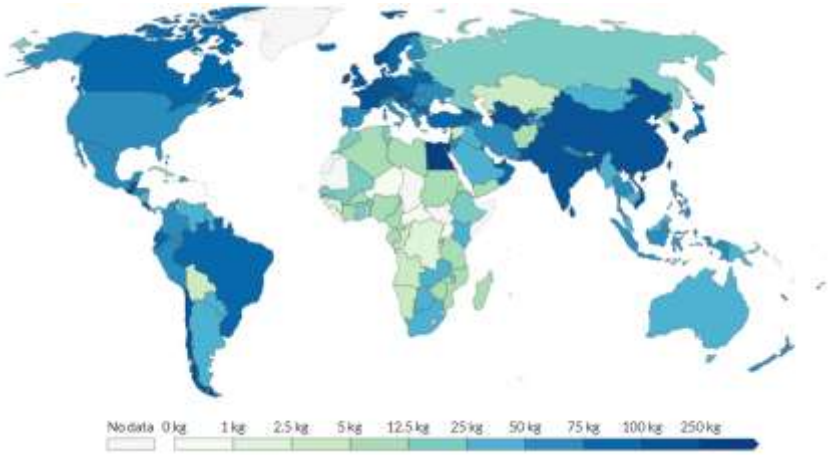
محصول	پردیس	خراسان	کرمانشاه	لردگان	شیراز	مجموع
تولید اوره	۲٤٥۲۸۷۱	٤٦۹۲۷۳	٥٥٦۷٥۳	۱۱۱۳۰۹	۱۱۸۸٤٤٤	٤۷۷۸٦٥۰



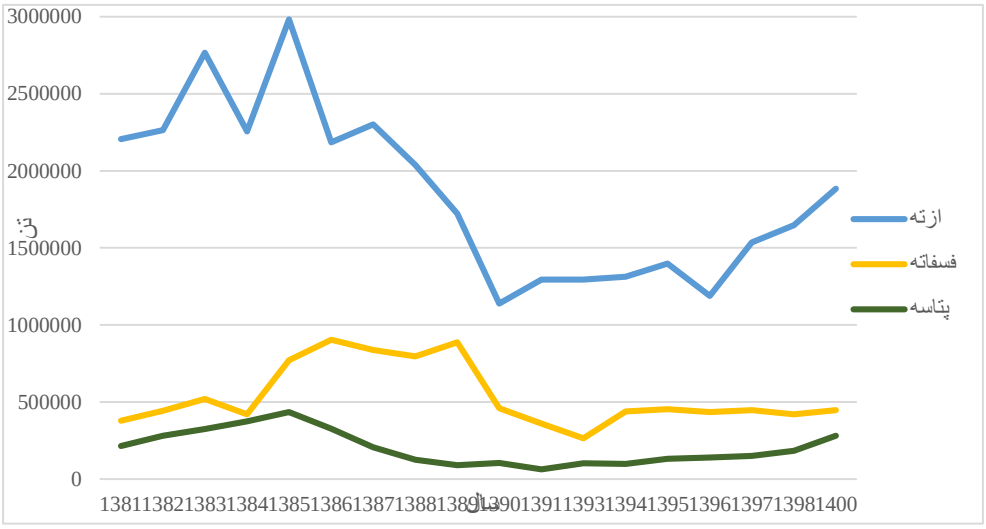
شکل ۲- میزان تولید کشورهای مختلف از کود ازته در سال ۲۰۲۰ (Statista, 2023)



شکل ۳- مصرف کود ازته در هر هکتار زمین زراعی در سال ۲۰۰۰ (Hannah Ritchie, 2022)



شکل ٤- مصرف کود ازته در هر هکتار زمین زراعی در سال ۲۰۲۲ (Hannah Ritchie, 2022)



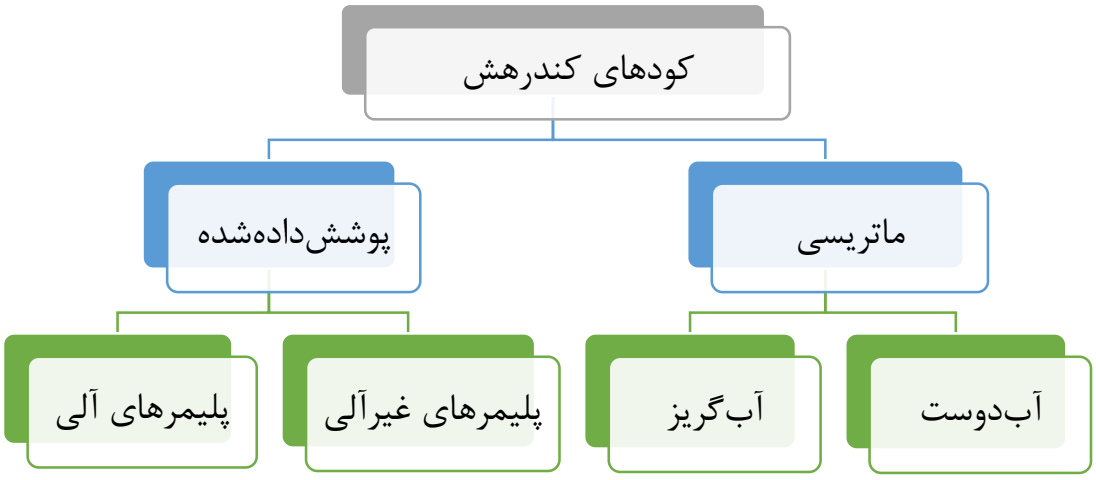
شکل ۵- روند مصرف کود در ایران (statistics, 1381-1400)

کودهای کندرهش

یکی از راه‌حل‌های امیدوارکننده جهت کاهش فواصل کوددهی، استفاده کم‌تر از کود، افزایش کیفیت محصول و کاهش خطرات زیست‌محیطی، استفاده از کودهای کندرهش است (Moradi *et al.*, 2022). کودهای کند-رهش به‌عنوان محصولات حاوی موادمغذی محلول در آب هستند که انتشار آن‌ها توسط پوشش اعمال‌شده روی کود کنترل می‌شود (Du *et al.*, 2006). کودهای آهسته-رهش به دو دسته کودهای پوشش‌دار یا ماتریسی طبقه-بندی می‌شوند. در شکل (٦)، طبقه‌بندی کودهای کند-رهش ارائه شده است (Lawrencia *et al.*, 2021). در کودهای پوشش‌دار، ماده‌مغذی توسط لایه‌ای از مواد پوشیده شده تا سرعت رهاسازی موادمغذی، کنترل شود (Dimkpa *et al.*, 2020). کودهای پوشش‌دار می‌توانند رهش طولانی و هماهنگ نیتروژن را فراهم کنند که با تقاضای گیاه مطابقت داشته باشد. در نتیجه تغذیه و بهره-وری محصول را افزایش می‌دهد و در عین حال تلفات نیتروژن را به حداقل می‌رساند.

کودهای کندرهش را می‌توان به روش ماتریسی نیز تولید کرد. این روش شامل پراکندگی کود در سراسر ماتریس پلیمر می‌شود که نتیجه آن رهش آهسته‌تر موادمغذی از طریق انحلال و سپس نفوذ به محیط می‌باشد.

به‌طور کلی، پلیمرهای مورد استفاده در سیستم کندرهش را می‌توان به دو دسته پلیمرهای‌آلی و غیرآلی، تقسیم-بندی کرد. سولفور، فسفوژیپس، بنتونیت در زمره پوشش‌های غیرآلی و پلیمرهایی مانند پلی‌اتیلن، پلی-یورتان، پلی‌اتر سولفون، پلی‌استایرن، رزین‌آلکیدی در زمره پلیمرهای آلی قرار دارند. همچنین پلیمرهای‌طبیعی هم در گروه پلیمرهای‌آلی قرار می‌گیرند. کیتوزان، سلولز، لیگنین، نشاسته، آلجینات و سیلیکون‌دی‌اکسید در گروه پوشش‌های طبیعی قرار دارند (Mumtaz *et al.*, 2019; Shi *et al.*, 2020).



شکل ٦- طبقه‌بندی کودهای رهش کنترل شده (Lawrencia *et al.*, 2021)

اهمیت کودهای پوشش‌دار

در دسته‌بندی سیستم‌های کندرهش، کودهای پوشش‌دار از اهمیت و کاربرد به‌مراتب بیشتری برخوردار هستند. بسیاری از مباحث که در ادامه مقاله ارائه شده است علاوه‌بر کودهای پوشش‌دار برای کودهای ماتریسی هم صادق است ولی به‌دلیل کاربرد بیشتر کودهای پوشش‌دار برای این دسته از کودهای کندرهش مطرح شده است.
کودهای پوشش‌دار می‌توانند موادمغذی را به‌صورت طولانی مدت و یکنواخت به گیاه دهند که موجب افزایش بازده و کیفیت محصول می‌شود. همچنین، کودهای پوشش‌دار می‌توانند هزینه‌ها، آلودگی‌های زیست‌محیطی و استفاده بیش‌ازحد از کود را کاهش دهند (Lam *et al.*, 2022; Lawrencia *et al.*, 2021) در ادامه، مزایا و معایب استفاده از این کودها مورد توجه قرار می‌گیرد.

مزایای استفاده از کودهای پوشش‌دار

کودهای پوشش‌دار منبع پایداری از موادمغذی را ارائه می‌دهند که ممکن است مزایای متعددی را به‌همراه داشته باشد؛ که می‌توان به کاهش تلفات موادمغذی، بهبود کارایی مصرف موادمغذی، کاهش وقوع پدیده اتروفیکاسیون، کاهش آلودگی آب، کاهش هزینه نیروی کار، رهش پایدار موادمغذی و کاهش آبشویی و تصعید اشاره کرد (Dimkpa *et al.*, 2023). کودهای پوشش‌دار از طریق تأمین موادمغذی کافی و متعادل برای گیاهان، می‌توانند به تسریع رشد گیاه و افزایش تولید محصول کمک کنند. همچنین، این کودها قادر به تنظیم pH خاک هستند. بنابراین، رشد گیاه و سلامت خاک بهبود پیدا می‌کنند (Dobermann *et al.*, 2022; Gruhn *et al.*, 2000). با تقویت ساختار خاک و حفظ آب، کودهای پوشش‌دار می‌توانند به کاهش فرسایش خاک هم کمک کنند. علاوه‌براین کودهای پوشش‌دار می‌توانند در مقابل شسته‌شدن موادمغذی در رواناب‌ها مقاومت به‌مراتب بیشتری از خود نشان دهند (Vejan *et al.*, 2021). همچنین با تغییر ضخامت و کیفیت پوشش مطابق با نیاز گیاهان، کودهای پوشش‌دار می‌توانند کنترل بهتری بر رهاسازی موادمغذی ارائه دهند (Shaviv *et al.*, 1993). این امر می‌تواند سبب تغذیه یکنواخت‌تر گیاه، توسعه بیشتر و افزایش عملکرد گیاه شود و در عین حال از کوددهی بیش از حد یا کم‌باروری گیاهان جلوگیری کند. بنابراین با توجه به مزایای ارائه‌شده، استفاده از کودهای پوشش‌دار از نظر اقتصادی مقرون‌به‌صرفه می‌باشد (Chandra *et al.*, 2019).

معایب استفاده از کودهای پوشش‌دار

از معایب این نوع کودها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد (ME Trenkel, 2021; Qi *et al.*, 2021; Shaviv, 2001):

قیمت: کودهای‌پوشش‌دار اغلب گران‌تر از کودهای بدون پوشش هستند؛ لذا تمایل قشر کشاورز و کم‌برخوردار برای استفاده از کودهای کندرهش کمتر است.

رهش کند: رشد و نمو گیاه در ابتدا ممکن است به‌دلیل رهش کند ماده‌مغذی توسط کودهای پوشش‌دار به تاخیر افتد. علاوه‌براین، استفاده از کودهای پوشش‌دار زمانی که گیاهان به سرعت در حال رشد هستند اثر کمتری دارد.

اثرات زیست‌محیطی: اگر کودهای پوشش‌دار به‌طور نامناسب یا بیش‌ازحد استفاده شوند، ممکن است آلودگی

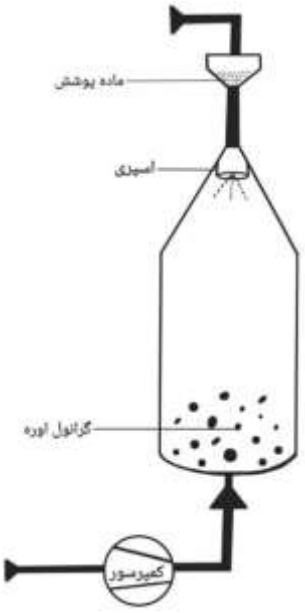
آب ایجاد شود. شکوفه‌های‌جلبکی که توسط موادمغذی اضافی ایجاد می‌شود، می‌تواند به آبزیان آسیب بزند و کیفیت‌آب را کاهش دهد.

مشکلات تولید: در حین تولید کود کندرهش، اطمینان از ضخامت نسبتا یکنواخت پوشش، استحکام کود و توزیع نسبتا یکنواخت ماده مغذی در سیستم ماتریسی نگرانی‌هایی را ایجاد می‌کند که نیاز به کنترل‌کیفیت جدی‌تر محصول الزامی است. استفاده از تکنیک‌ها و ابزارهای اضافی این مهم را تامین می‌کند که معمولا برای کودهای متداول ضروری نمی‌باشد.

تولید کودهای کندرهش به‌روش پوشش‌دار

کودها معمولا به‌روش‌های درام چرخشی، استفاده از دستگاه پن و بسترسیال، پوشش داده می‌شوند (Devassine *et al.*, 2002). هر سه روش در مقیاس‌صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرند هر چند که دارای نقاط ضعفی هم می‌باشند. در روش درام چرخشی فقط در صورت استفاده از مقادیر بیشتری از مواد می‌توان به ضخامت یکنواختی از لایه پوشش رسید. در فرایند استفاده از دستگاه پن، کود در داخل یک ظرف استوانه‌ای‌شکل به حرکت درآمده و پوشش به‌صورت محلول روی گرانول‌ها اسپری می‌شود. همچنین برای خشک‌کردن، از هوای گرم استفاده می‌شود (Dawn *et al.*, 2009). مطالعاتی با استفاده از گچ، اپوکسی و پلی‌یورتان به‌عنوان مواد پوششی با استفاده از این روش گزارش شده است. (Beig *et al.*, 2020; Sun *et al.*, 1999).

در روش بسترسیال، با استفاده از جریان هوا و پاشش ماده موردنظر مانند گوگرد مذاب و یا پلیمرهای‌زیستی، کود پوشش‌دار تولید می‌شود (Wang *et al.*, 2020; Yuan *et al.*, 2022). انتقال‌حرارت و جرم بالا، مصرف انرژی پایین، ضخامت پوشش یکنواخت و هزینه عملیاتی پایین، از مزایای استفاده از روش بسترسیال است. استفاده از روش بسترسیال معایبی نیز دارد که می‌توان به زمان اقامت بالا و تجهیزات گران‌قیمت اشاره کرد. همچنین، برای گرانول‌های با اندازه بزرگ‌تر، این روش عملکرد پایین‌تری خواهد داشت (Nickerson *et al.*, 2014; Teunou *et al.*, 2002). شکل (۷)، شماتیکی از روش بسترسیال جهت پوشش‌دار کردن گرانول‌های اوره را نشان می‌دهد.



شکل ۷- روش بسترسیال جهت پوشش‌دار کردن کود اوره (Beig *et al.*, 2020)

در فرایند استفاده از دستگاه پن و در شرایط عملیاتی عادی، کنترل رطوبت‌نسبی امری غیر ممکن است. همچنین کودهای پوشش‌دار تولیدی به‌کمک دستگاه پن، دارای ناهمواری در سطح خود هستند. برخلاف این روش، کودهای پوشش‌دار به‌روش بسترسیال دارای ضخامت یکنواخت و کیفیت پوشش خوبی می‌باشند (Naz *et al.*, 2016).

عظیم و همکاران (Azeem *et al.*, 2016)، کود اوره پوشش‌دار را با استفاده از نشاسته اصلاح‌شده با پلی‌وینیل الکل و به‌روش بسترسیال تولید کردند. آن‌ها دریافتند که با افزایش ضخامت‌پوشش، رهش کاهش می‌یابد. بیگ و همکاران (Beig, *et al.*, 2020) کود اوره را با استفاده از گوگرد و به‌طریق بسترسیال پوشش دادند. آن‌ها دریافتند که استحکام گرانول‌ها تا ۳ برابر نسبت به اوره بدون-پوشش افزایش یافته است.

تولید کودهای کندرهش به‌روش ماتریسی

کودهای کندرهش را می‌توان به‌روش ماتریسی نیز تولید کرد. در این روش کودهای معمولی را در سرتاسر ماتریس به‌طور یکنواخت توزیع می‌کنند. سپس در حین استفاده، ابتدا رهش موادمغذی در ماتریس اتفاق و سپس ماده مغذی به‌صورت محلول در آب به محیط منتقل می-شود (Al-Rawajfeh *et al.*, 2021). در تحقیقی، شایسته و صادقی (Shayesteh & Sadeghi, 2017) اوره را در ماتریس لیگنین‌سولفونات استیله‌شده جاسازی و فرایند رهش را مطالعه کردند. ابتدا اوره و لیگنین‌سولفونات استیله‌شده را درون یک ظرف شیشه‌ای همزن‌دار قرار دادند. سپس جهت گرم‌کردن و به شکل خمیری در-آوردن مواد، آن را درون حمامی از پارافین قرار دادند. بعد از اختلاط کامل مواداولیه، این مواد به داخل قالب-هایی منتقل و فرایند شکل‌دهی اتفاق افتاد. زمان قالب-گیری و شیب کاهش دمای قالب‌گیری از فاکتورهای

موثر در استحکام کامپوزیت به‌شمار می‌رود. سپس به مطالعه رهش ازت در آب پرداختند. مطابق شکل (۸)، شماتیک فرایند تولید کود به‌روش ماتریسی نشان داده شده است. کاوسینا و همکاران (Kaavessina *et al.*, 2021) در سیستم ماتریسی، کود اوره کندرهش با استفاده از پلی‌اسید لاکتیک تولید کردند. آن‌ها دریافتند که پلی-اسید لاکتیک با وزن مولکولی بالاتر به‌دلیل کاهش نفوذپذیری، رهش اوره را کاهش می‌دهد. شایسته و همکاران (Shayesteh *et al.* 2022) در تحقیقی کامپوزیت اوره–لیگنین‌سولفونات استیله‌شده را تولید کردند. آن‌ها با مدل‌سازی ریاضی فرایند رهش، اثر تلاطم محیط در میزان رهش را مطالعه کردند.

شکل ۸- روش ساخت پلت (ترکیب اوره با لیگنین‌سولفونات استیله شده) (Mohammadzadeh, 2020)

نی و همکاران (Ni *et al.*, 2009)، ابتدا کود اوره را در ماتریس پلی‌نیتروژن‌وینیل پیرولیدون و آلژینات جاسازی کردند. آن‌ها دریافتند که رهش کود در خاک کمتر از ۷۵ درصد پس از ۳۰ روز بود. جین و همکاران (Jin *et al.*, 2013) با استفاده از نشاسته ذرت و هیدروژل پلی-آکریلیک اسید کوآکریل آمید، کود نیتروژن و فسفر تولید کردند. آن‌ها دریافتند که در طول یک ماه، ۶۰ درصد نیتروژن رها می‌شود. لوم و همکاران (Lum *et al.*, 2016) کوداوره را در ماتریس پلیمر نشاسته/پلی‌وینیل الکل و در محیط اسیدبوریک، جاسازی کردند. آن‌ها دریافتند که با افزایش غلظت اسیدبوریک و طولانی‌شدن زمان واکنش در دمای بالا، استحکام مکانیکی ماتریس افزایش و نسبت تورم آن کاهش می‌یابد. یانگ و همکاران (Yang *et al.*, 2021). کود اوره کندرهش با استفاده از موادآلی و معدنی در سیستم ماتریسی تولید کردند. آن‌ها نتیجه‌گرفتند که استفاده از این کود برای تولید برنج بسیار مناسب است و میزان هدررفت نیتروژن کمتری در کنار سودآوری بیشتر، حاصل می‌شود.

مواد و روش‌ها

جهت بررسی مقالات مختلف در مورد میزان تولید کودهای ازته در ایران و جهان و همچنین کودهای کند رهش، پایگاه‌های اطلاعاتی Google scholar، SID ،ACS ،Scopus ،ResearchGate ،ScienceDirect و سیویلیکا با کلیدواژه‌های Chemical fertilizer, Slow-release fertilizer, Coated slow-release fertilizer, Matrix slow-release fertilizer, Future of slow-release fertilizer، میزان تولید کودهای ازته کندرهش در ایران و جهان جستجو شد. متون استفاده شده در این

تحقیق شامل مقالات گوناگون، کتاب، صفحات وب، پایان‌نامه‌ها و گزارشات سازمانی می‌شود. در این‌کار، بیشتر از آخرین مقالات علمی‌پژوهشی منتشرشده، استفاده شد.

نتایج و بحث

پیش‌بینی می‌شود که بازار جهانی کودهای پوشش‌دار بین سال‌های ۲۰۲۳ تا ۲۰۲۸، به نرخ رشد سالانه مرکب ۷/۲ درصد افزایش یابد. پیش‌بینی می‌شود که گردش مالی صنعت تولید کود در سال ۲۰۲۸ به ۵/۹ میلیارد دلار برسد. بنابراین آسیا، اقیانوسیه، آمریکای شمالی و اروپا به‌ترتیب سهم بیشتری از کودهای پوشش‌دار خواهند داشت (Department, 2023). شرکت‌های یار در نروژ، ماده‌مغذی در کانادا، گروه تولیدی ICL، گروه تولیدی هایفا و گروه مهندسی اکولوژیکی کینگتای چین در زمره بزرگ‌ترین شرکت‌های تولیدکننده کودهای کندرهش پوشش‌دار در جهان می‌باشند. در جدول (۲)، میزان تولید تعدادی از این شرکت‌ها آمده است. از رایج‌ترین کودهای پوشش‌دار می‌توان به اوره پوشش‌داده‌شده با گوگرد، اوره پوشش‌داده‌شده با پلیمر و اوره پوشش‌داده-شده با گوگرد و پلیمر اشاره کرد. میزان تولید کودهای کندرهش‌تر وابسته به نوع پوشش، ضخامت پوشش و کیفیت دانه‌های کود می‌باشد (Garcia *et al.*, 1998).

چین حدود ۳۶ درصد کود پوشش‌دار جهان را با استفاده از گوگرد تولید می‌کند. ۲۵ درصد کودهای کندرهش در هندوستان با استفاده از ژیپس، ۱۵ درصد در برزیل با بنتونیت، ۱۰ درصد در روسیه با کمک تالک و ۱۴ درصد مابقی را دیگر کشورها تولید می‌کنند. چند شرکت ایرانی هم در زمینه کود اوره با پوشش گوگردی فعالیت دارند. شرکت بازرگانی آموت ایرانیان، شرکت زیست‌فناور سبز، شرکت سلف‌شیمی، شرکت کودشیمیایی اوره لردگان و پتروشیمی سرخس در این زمینه فعالیت دارند. با توجه به مزایای بسیار کودهای کندرهش و فراوانی و ارزان‌بودن گوگرد در ایران، انتظار می‌رود سرمایه‌گذاری جدی‌تری در این خصوص انجام شود.

جدول ۲- میزان تولید کودهای کندرهش پوشش‌دار در شرکت‌های بزرگ دنیا (بر واحد میلیون تن) (Yadav, 2023)

سال	شرکت یارا	شرکت ماده مغذی	شرکت موسایک	دیگر شرکت‌ها
۲۰۱۵	۱	۰/۵	۰/۲۵	۰/۲۵
۲۰۱۶	۱/۵	۰/۷۵	۰/۳۵	۰/۳۵
۲۰۱۷	۲	۱	۰/۵	۰/۵
۲۰۱۸	۲/۵	۱/۲۵	۰/۶۵	۰/۶۵
۲۰۱۹	۳	۱/۵	۰/۷۵	۰/۷۵
۲۰۲۰	۳/۵	۱/۷۵	۰/۸۵	۰/۸۵
۲۰۲۱	۴	۲	۱	۱
۲۰۲۰	۴/۵	۲/۲۵	۱/۱۵	۱/۱۵

آینده بازار کود کندرهش در ایران

سرمایه‌گذاری در تولید کودهای کندرهش به تقاضای بازار، در دسترس‌بودن مواداولیه، هزینه تولید و مقررات زیست‌محیطی بستگی دارد. به‌نظر می‌رسد که با افزایش آگاهی کشاورزان در مورد مزایای کودهای کندرهش، نظیر صرفه‌جویی در هزینه، افزایش سلامت خاک و محصول و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌تواند سبب افزایش تقاضا شود. همچنین جهت معرفی بیشتر کودهای کندرهش باید اهمیت این کود توسط محققین، بیشتر تشریح گردد.

در ایران به‌دلیل منابع سرشار نفت‌وگاز، گوگرد زیادی در پالایشگاه‌های نفت‌وگاز تولید می‌شود. این بدان معنی است که تولید کودهای کندرهش گوگردی در ایران می‌تواند بسیار ارزان‌تر از سایر نقاط دنیا باشد. بنابراین انگیزه صادرات هم می‌تواند در تولید بیشتر این محصول در ایران اهمیت داشته باشد. همچنین استفاده از بیوپلیمری مانند لیگنین می‌تواند در تولید کودهای کندرهش بسیار مفید باشد. لیگنین ماده‌ای طبیعی است که از لیکورسیاه، پساب کارخانجات چوب‌وکاغذ به‌دست می‌آید و در صورت رهاسازی آن به محیط‌زیست، بسیار مخرب است. بنابراین استحصال آن از پساب هم سبب کاهش آلایندگی محیط‌زیست می‌شود و هم به‌عنوان یک محصول جانبی برای کارخانجات چوب‌وکاغذ صرفه اقتصادی نیز خواهد داشت. تحقیقات نشان می‌دهد که لیگنین توانایی بیشتری نسبت به پوشش گوگردی در تولید کودهای کندرهش با زمان رهش طولانی‌تر را دارا می‌باشد (Mohammadzadeh, 2020; Sadeghi, 2016; Sadeghi *et al.*, 2017).

پیش‌بینی می‌شود در فاصله زمانی ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۵، نرخ رشد سالانه مرکب ایران در بخش محصولات کشاورزی به عدد ۳/۸ درصد برسد. همچنین دولت از توسعه این بخش حمایت می‌کند تا تقاضای موادغذایی داخل کشور و حتی بخش صادرات نیز تامین شود. بنابراین دولت در نظر دارد تا سال ۲۰۲۷ سطح زیرکشت گلخانه‌ای را بسیار گسترش دهد (Intelligence, 2023). این سیاست می‌تواند موجب افزایش استفاده از کودها خصوصا کودهای کندرهش شود. همانگونه که در بالا اشاره شد تولید کود خصوصا کود ازته در جهان در حال افزایش است. همچنین روند تولید کودهای کندرهش نیز با شتابی دو چندان در دنیا در حال افزایش می‌باشد؛ لذا بنظر می‌رسد که در ایران هم‌جهت با دنیا روند تولید کودهای کندرهش افزایشی باشد.

نتیجه‌گیری

کودهای کندرهش به دو روش پوشش‌دار و ماتریسی تولید می‌شوند. کود ازته کندرهش می‌تواند عملکرد محصول را بهبود بخشد و سبب کاهش آلودگی زیست‌محیطی شود. در کود ازته کندرهش، ازت در محیط آبی به آرامی آزاد می‌شود که به‌دلیل رهش کند ازت، خطر آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی به نیترات و نیتریت کاهش می‌یابد. همچنین از آلودگی محصولات کشاورزی به نیترات و نیتریت می‌کاهد. یکی از روش‌های تولید کود پوشش‌دار، روش بسترسیال است که با استفاده از جریان هوا و پاشش گوگرد مذاب، پلیمر یا بایوپلیمر، کود موردنظر تهیه می‌شود. روش ماتریسی نیز روشی دیگر برای تولید کود کندرهش است که ماده‌مؤثره به‌صورت یکنواخت در ماتریس پلیمر رهاسازی می‌شود.

در حال حاضر از روش ماتریسی جهت تولید کود کند-رهش کمتر استقبال شده است. آمارهای جهانی نشان می‌دهد که تولید کودهای کندرهش در جهان در حال افزایش است. ایران دارای منابع وسیعی از نفت‌وگاز است؛ لذا در پالایشگاه‌های نفت‌وگاز، گوگرد زیادی تولید می‌شود. این بدان معنی است که تولید کودهای کندرهش گوگردی در ایران می‌تواند ارزان‌تر از بسیاری از کشورها باشد. همچنین به‌دلیل وجود کارخانجات متعدد چوب‌وکاغذ در ایران، می‌توان در آینده نسبت به لیگنین به‌عنوان یک بایوپلیمر مناسب جهت تولید کود کندرهش استفاده کرد. نتایج نشان می‌دهد که لیگنین توانایی بیشتری در تولید کودهای کندرهش با زمان رهش طولانی‌تر را دارا می‌باشد. هدف اصلی این مقاله معرفی کودهای کندرهش و معرفی این محصول به سرمایه‌گذران و تصمیم‌گیران این عرصه می‌باشد. به‌نظر می‌رسد که در بخش تولید در ایران مشکلی از نقطه‌نظر مواداولیه و فرایندتولید وجود نداشته باشد؛ اما آگاهی کشاورزان از مزایای کودهای کندرهش و عزم سرمایه-گذاران و صنعت‌گران می‌تواند دلیل اصلی در توسعه این محصول مهم باشد تا تحولی اساسی در صنعت کودهای کندرهش در ایران اتفاق افتد.

REFERENCES

Al-Rawajfeh, A. E., Alrbaihat, M. R., & AlShamaileh, E. M. 2021. Characteristics and types of slow-and controlled-release fertilizers. In *Controlled Release Fertilizers for Sustainable Agriculture* (pp. 57-78). Elsevier.

Azeem, B., KuShaari, K., & Man, Z. 2016. Effect of coating thickness on release characteristics of controlled release urea produced in fluidized bed using waterborne starch biopolymer as coating material. *Procedia engineering*, 148, 282-289.

Beig, B., Niazi, M. B. K., Jahan, Z., Hussain, A., Zia, M. H., & Mehran, M. T. 2020. Coating materials for slow release of nitrogen from urea fertilizer: A review. *Journal of plant nutrition*, 43(10), 1510-1533.

Brender, J. D. 2020. Human health effects of exposure to nitrate, nitrite, and nitrogen dioxide. *Just enough nitrogen: Perspectives on how to get there for regions with too much and too little nitrogen*, 283-294.

Chandra, M. S., Lal, M., Naresh, R., Yadav, S., Kumar, R., Kumar, R., Chand, S. W., Varsha, N., Chandan, P., & Lavanya, N. 2019. Role of polymer coated fertilizers (PCFS) an advance technology for improving nutrient use efficiency and crop productivity: A review. *International Journal of Chemical Studies*, 7(6), 2667-2679.

Dawn, Z., Liew, C. V., & Heng, P. W. 2009. Layered growth with bottom-spray granulation for spray deposition of drug. *International Journal of Pharmaceutics*, 377(1-2), 16-24.

Department, S. R. 2023. *Fertilizer industry in the UK - statistics & facts*. Retrieved 2023 Apr, 14 from https://www.statista.com/topics/4588/agricultural-fertilizer-market-in-the-uk/#topicOverview

Devassine, M., Henry, F., Guerin, P., & Briand, X. 2002. Coating of fertilizers by degradable polymers. *International Journal of Pharmaceutics*, 242(1-2), 399-404.

Dimkpa, C., Adzawla, W., Pandey, R., Atakora, W. K., Kouame, A. K., Jemo, M., & Bindraban, P. S. 2023. Fertilizers for food and nutrition security in sub-Saharan Africa: an overview of soil health implications. *Frontiers in Soil Science*, 3, 13.

Dimkpa, C. O., Fugice, J., Singh, U., & Lewis, T. D. 2020. Development of fertilizers for enhanced nitrogen use efficiency–Trends and perspectives. *Science of the Total Environment*, 731, 139113.

Dobermann, A., Bruulsema, T., Cakmak, I., Gerard, B., Majumdar, K., McLaughlin, M., Reidsma, P., Vanlauwe, B., Wollenberg, L., & Zhang, F. 2022. Responsible plant nutrition: A new paradigm to support food system transformation. *Global Food Security*, 33, 100636.

Du, C.-w., Zhou, J.-m., & Shaviv, A. 2006. Release characteristics of nutrients from polymer-coated compound controlled release fertilizers. *Journal of Polymers and the Environment*, 14(3), 223-230.

Garcia, C., Garcia, L., Vallejo, A., Cartagena, M., & Diez, J. 1998. Forecasting by laboratory tests of nitrogen leached and absorbed in soil□plant system with urea□based controlled□release

fertilizers coated with lignin. *Communications in soil science and plant analysis*, 29(15-16), 2479-2491.

Gil-Ortiz, R., Naranjo, M. Á., Ruiz-Navarro, A., Caballero-Molada, M., Atares, S., García, C., & Vicente, O. 2020. New eco-friendly polymeric-coated urea fertilizers enhanced crop yield in wheat. *Agronomy*, 10(3), 438.

Gruhn, P., Goletti, F., & Yudelman, M. 2000. *Integrated nutrient management, soil fertility, and sustainable agriculture: current issues and future challenges*. Intl Food Policy Res Inst

Hannah Ritchie, M. R. a. P. R. 2022. *Fertilizers*. https://ourworldindata.org/fertilizers

Heffer, P., & Prud'homme, M. 2016. Global nitrogen fertilizer demand and supply: Trend, current level and outlook. International Nitrogen Initiative Conference. Melbourne, Australia,

Intelligence, M. 2023. *IRAN AGRICULTURAL SECTOR ANALYSIS - GROWTH, TRENDS, COVID-19 IMPACT, AND FORECASTS (2023 - 2028)*. https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/iran-agricultural-sector-analysis

Jin, S., Wang, Y., He, J., Yang, Y., Yu, X., & Yue, G. 2013. Preparation and properties of a degradable interpenetrating polymer networks based on starch with water retention, amelioration of soil, and slow release of nitrogen and phosphorus fertilizer. *Journal of Applied Polymer Science*, 128(1), 407-415.

K Shayesteh, N. S. 2017. The potential application modified lignin sulfonate matrix to controlled-release urea and predict the release profile. *Separation Science and Engineering Journal*, 9(1), 1-9.

Kaavessina, M., Distantina, S., & Shohih, E. N. 2021. A slow-release fertilizer of urea prepared via melt blending with degradable poly (lactic acid): formulation and release mechanisms. *Polymers*, 13(11), 1856.

Lam, S. K., Wille, U., Hu, H.-W., Caruso, F., Mumford, K., Liang, X., Pan, B., Malcolm, B., Roessner, U., & Suter, H. 2022. Next-generation enhanced-efficiency fertilizers for sustained food security. *Nature Food*, 3(8), 575-580.

Lawrencia, D., Wong, S. K., Low, D. Y. S., Goh, B. H., Goh, J. K., Ruktanonchai, U. R., Soottitantawat, A., Lee, L. H., & Tang, S. Y. 2021. Controlled release fertilizers: A review on coating materials and mechanism of release. *Plants*, 10(2), 238.

Lum, Y.-H., Shaaban, A., Mohamad, N., Dimin, F., & Yatim, N. M. 2016. Boric acid modified starch polyvinyl alcohol matrix for slow release fertilizer. *e-Polymers*, 16(2), 151-158.

ME Trenkel, T. 2021. *Slow-and Controlled-Release and Stabilized Fertilizers: An Option for Enhancing Nutrient Use Effiiency in Agriculture*. International Fertilizer Industry Association (IFA)

Mohammadzadeh, Q. 2020. Application of urea coated with modified ligninsulfonate in animal feed formulation as a slow-release non-protein nitrogen source *University of Mohaghegh Ardabili*. Ardabil. (In Persian)

Moradi, S., Shayesteh, K., & Lotfiman, S. 2022. The Modelling of the Urea Fertilizer Dissolution Process in Finite/Infinite Volumes of Water. *Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering*, 41(4), 1348-1359.

Moradi, S., Shayesteh, K., & Mohammadzadeh, Q. 2022. Production of Urea/Acetylated-lignin Sulfonate Matrix as SRFs and an Investigation on the Effect of Hydrodynamic Conditions on Release Rate Using the Biot Number. *Recent Innovations in Chemical Engineering (Formerly Recent Patents on Chemical Engineering)*, 15(1), 31-46.

Mumtaz, I., Majeed, Z., Ajab, Z., Ahmad, B., Khurshid, K., & Mubashir, M. 2019. Optimized tuning of rosin adduct with maleic anhydride for smart applications in controlled and targeted delivery of urea for higher plant's uptake and growth efficiency. *Industrial Crops and Products*, 133, 395-408.

Naz, M. Y., & Sulaiman, S. A. 2016. Slow release coating remedy for nitrogen loss from conventional urea: a review. *Journal of controlled release*, 225, 109-120.

Ni, B., Liu, M., & Lü, S. 2009. Multifunctional slow-release urea fertilizer from ethylcellulose and superabsorbent coated formulations. *Chemical Engineering Journal*, 155(3), 892-898.

Nickerson, M., Yan, C., Cloutier, S., & Zhang, W. 2014. Protection and masking of omega-3 and-6 oils via microencapsulation. In *Microencapsulation in the food industry* (pp. 485-500). Elsevier.

Programme, U. N. E. 2020. *Fertilizers: challenges and solutions*. Retrieved 2020 Nov, 09 from https://www.unep.org/news-and-stories/story/fertilizers-challenges-and-solutions

Qi, Z., Dong, Y., He, M., Wang, M., Li, Y., & Dai, X. 2021. Coated, stabilized enhanced-efficiency nitrogen fertilizers: preparation and effects on maize growth and nitrogen utilization. *Frontiers in Plant Science*, 12, 3144.

Sadeghi, N. 2016. Laboratory study of nitrogen release from lignin sulfonate coating urea fertilizer *University of Mohaghegh Ardabili*. Ardabil. (In Persian)

Sadeghi, N., Shayesteh, K., & Lotfiman, S. 2017. Effect of modified lignin sulfonate on controlled-release urea in soil. *Journal of Polymers and the Environment*, 25, 792-799.

Shaviv, A. 2001. Advances in controlled-release fertilizers.

Shaviv, A., & Mikkelsen, R. 1993. Controlled-release fertilizers to increase efficiency of nutrient use and minimize environmental degradation-A review. *Fertilizer research*, 35, 1-12.

Shi, W., Ju, Y., Bian, R., Li, L., Joseph, S., Mitchell, D. R., Munroe, P., Taherymoosavi, S., & Pan, G. 2020. Biochar bound urea boosts plant growth and reduces nitrogen leaching. *Science of the Total Environment*, 701, 134424.

Statista. 2023. *Global consumption of fertilizers 2020, by country*. Retrieved 2023 May, 22 from https://www.statista.com/statistics/1287852/global-consumption-fertilizer-by-country/

statistics, A. 1381-1400. *Agricultural statistics*. Retrieved from https://eg.maj.ir/page-amar/FA/65/form/pId3353

Sun, Y.-M., Huang, W.-F., & Chang, C.-C. 1999. Spray-coated and solution-cast ethylcellulose pseudolatex membranes. *Journal of membrane science*, 157(2), 159-170.

Teunou, E., & Poncelet, D. 2002. Batch and continuous fluid bed coating–review and state of the art. *Journal of food engineering*, 53(4), 325-340.

Vejan, P., Khadiran, T., Abdullah, R., & Ahmad, N. 2021. Controlled release fertilizer: A review on developments, applications and potential in agriculture. *Journal of controlled release*, 339, 321-334.

Versino, F., Urriza, M., & García, M. A. 2019. Eco-compatible cassava starch films for fertilizer controlled-release. *International Journal of Biological Macromolecules*, 134, 302-307.

Wang, Y., Guo, H., Wang, X., Ma, Z., Li, X., Li, R., Li, Q., Wang, R., & Jia, X. 2020. Spout fluidized bed assisted preparation of poly (tannic acid)-coated urea fertilizer. *ACS omega*, 5(2), 1127-1133.

Xiaoyu, N., Yuejin, W., Zhengyan, W., Lin, W., Guannan, Q., & Lixiang, Y. 2013. A novel slow-release urea fertiliser: Physical and chemical analysis of its structure and study of its release mechanism. *Biosystems engineering*, 115(3), 274-282.

Yadav, N. 2023. *Controlled Release Fertilizer Market*. Retrieved 2023 Apr, 20 from https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/controlled-release-fertilizers-market-136099624.html

Yang, Y., Binmei, L., Xiaoyu, N., Liangzhi, T., Lixiang, Y., Ye, Y., Mengxi, F., Zhong, W., & Yuejin, W. 2021. Rice productivity and profitability with slow-release urea containing organic-inorganic matrix materials. *Pedosphere*, 31(4), 511-520.

Yuan, S., Cheng, L., & Tan, Z. 2022. Characteristics and preparation of oil-coated fertilizers: A review. *Journal of controlled release*.

Zafari, E. 2022. The bright shade of the three-urea-based stock market. Retrieved March 17, 2022 *from https://donya-e-eqtesad.com/*

Sustainable Agricultural Science Research /Vol. 3/No. 2/Summer 2023/P: 51-68

https://www.sarj.iauk.ac.ir

A Review of Slow-release Fertilizers from the Perspective of the Environment and Economy, and its Future in Iran and the World

Hasan Seddighi[1], keyvan Shayesteh[2], Mahsa Arjmand[3]

[1]Master's student, Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran

[2]Associate Professor, Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran

[3]Bachelor student, Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran

[*]Corresponding Author's Email: k.shayesteh@uma.ac.ir

(Received: August. 31, 2023 – Accepted: July. 22, 2023)

Abstract

Slow-release fertilizers prevent the rapid release of nutrients by creating a barrier. These fertilizers are produced in two ways: coated and matrix. Slow-release fertilizers can reduce nutrient loss and cause more use of plant needs. This will increase the efficiency and effectiveness of fertilizer. The process of producing fertilizers, including nitrogen fertilizers, is growing yearly in Iran and the world. This trend can also be predicted to continue in the coming years. Research on slow-release fertilizers shows that their production and consumption are increasing globally. Many sulfur is produced in refineries in Iran due to significant oil and gas sources. As a result, slow-release fertilizers can be made cheaper in Iran by creating sulfur coating compared to other countries. This article aims to examine the use of slow-release fertilizers, their advantages and disadvantages, and to present their production method. Also, this study investigates the rate of production of slow-release fertilizers in the world. This article can provide helpful information to investors, producers, farmers, and consumers interested in slow-release fertilizers and their role in agriculture.

Keywords: Chemical fertilizer, Slow-release fertilizer, Coated slow-release fertilizer, Matrix slow-release fertilizer, Future of slow-release fertilizer