Archive of SID.ir

فصلنامهٔ آماد و فناوری دفاعی، سال هفتم، شمارهٔ ۲ (پیاپی ۲۲)، تابستان ۱۴۰۳

ارزیابی جنبه‌های استفاده از پلیمرها در کشاورزی پایدار

حمید الهدادی[۱]، حجت‌اله لطیف‌منش*[۲]، مصطفی نجات‌الهی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۷ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۰۱/۲۷

چکیده

کشاورزی یکی از مهم‌ترین بخش‌های اقتصاد جهانی است که غذا، خوراک، فیبر و سوخت را برای جمعیت جهان فراهم می‌کند. با افزایش جمعیت، تقاضا برای محصولات کشاورزی درحال افزایش است. جهت پاسخگویی به این تقاضا، نیاز به فناوری‌های نوظهور ضرورت دارد؛ زیرا عملکرد محصول را افزایش دهد، تلفات محصول را کاهش داده و اثرات زیست‌محیطی را به حداقل برساند. یکی از این فناوری‌ها، استفاده از پلیمرها در کشاورزی است. پلیمرها، مولکول‌های بزرگی هستند که از واحدهای تکرار شونده به نام مونومر تشکیل شده‌اند و خاصیت مکانیکی و شیمیایی گوناگونی دارند که به هدف کاربردهای چندگانه تولید می‌شوند. لذا مقاله حاضر دارای رویکرد توصیفی-تحلیلی است و از روش کتابخانه‌ای برای گردآوری اطلاعات و تجزیه وتحلیل داده‌ها جهت توصیف اثرات پلیمرها در فعالیت‌های کشاورزی براساس جنبه‌های محیط زیست استفاده شده است؛ به‌طوری‌که روابط اصلی و متقابل در استفاده از پلیمرها در کشاورزی را نشان می‌دهد. در این نوشتار حاضر برخی از جنبه‌های مهم کاربرد پلیمرها در کشاورزی را که از منظر زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی در کشاورزی پایدار مورد توجه هستند، ازجمله: اصلاح خاک، جلوگیری از فرسایش خاک، بهبود رشد گیاه، افزایش جوانه‌زنی، کنترل بیماری، تحول کنترل شده مواد شیمیایی در مزرعه، جذب بیولوژیکی پلیمری، بسته‌بندی محصولات کشاورزی و سیستم‌های تحویل نانو را مورد واکاوی قرار می‌دهد.

واژگان کلیدی: اگروپلیمر، تغییرات اقلیمی، راندمان مصرف آب، کشاورزی پایدار، محیط‌زیست.

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی دانشگاه یاسوج *hamid.alahdadii@gmail.com*.

۲. استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی دانشگاه یاسوج (نویسنده مسئول) *h.latifmanesh@yu.ac.ir*

۳. استادیار گروه مهندسی مکانیک دانشکده نفت و گاز گچساران دانشگاه یاسوج *nejatolahi@yu.ac.ir*.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

۱. مقدمه

تغییرات اقلیمی و افزایش درخواست جهانی برای آب به‌دلیل افزایش جمعیت، واقعیتی انکارناپذیر است؛ برای استفاده از آبِ محدود قابل‌دسترس بین بخش‌های شهری، صنعتی و کشاورزی رقابت وجود دارد. از طرفی تنش کم‌آبی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده رشد و بهره‌وری محصولات زراعی است. بیش از هفتاد درصد آب شیرین سراسر زمین، برای کشاورزی استفاده می‌شود. تا سال ۲۰۵۰م. برای تغذیه جمعیت جهانی بیش از نه میلیارد نفری، نیاز به افزایش پنجاه درصدی تولیدات کشاورزی (بانک جهانی[1]، ۲۰۲۰) و پانزده درصدی برداشت آب وجود دارد.

استفاده از آخرین دستاوردهای تکنولوژی برای افزایش بهره‌مندی از آب و مواد مغذی در طول زمان بسیار ضروری به نظر می‌رسد؛ به‌خصوص در نواحی خشک که با محدودیت دسترسی به آب مواجه هستند. پلیمرها کارکرد ویژه‌ای در بخش کشاورزی دارند، چراکه به‌عنوان مواد ساختاری با ایجاد میکرو اقلیم مفید برای رشد گیاهان و افزایش راندمان آب آبیاری استفاده می‌شوند، و در راستای کاهش اثرات خشکی بر گیاهان زراعی و باغی، با روش‌های مختلف و با هدف نگهداری ذخیره رطوبتی و افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک مورد استفاده قرار می‌گیرند. از جمله اقدامات مؤثر در این زمینه، کاربرد پلیمرهای سوپرجاذب است. پلیمرهای سوپر جاذب، سلول‌های آب‌دوستی هستند که پس از جذب آب در اثر خشک‌شدن تدریجی محیط، آب درون آنها به آرامی تخلیه شده و بدین ترتیب خاک برای مدت زمان طولانی‌تری مرطوب می‌ماند. جذب سریع آب و حفظ آن توسط سوپرجاذب‌ها، بازده جذب آب ناشی از بارندگی‌های پراکنده را بهبود می‌بخشد و این امر، کاهش نیاز به آبیاری را به همراه دارد (یوسفی‌فرد و همکاران،۱۳۹۰).

در دهه اخیر، هیدروژل‌ها به‌طور وسیعی جهت بهبود دسترسی به آب مورد نیاز گیاهان به‌کار می‌روند. استفاده از پلیمرهای هیدروژل، راهبردی مطلوب برای افزایش راندمان مصرف آب و کود است؛ به‌گونه‌ای که چندین برابر وزن خود، آب را جذب و ذخیره کرده

1 . World Bank

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

و به‌عنوان مخزنی برای عدم هدر روی آب و افزایش قدرت آبیاری عمل می‌کنند. این ماده قابلیت جذب آب به میزان حداقل ۲۰ برابر وزن خود را دارا است. البته مقدار جذب آب پلیمرها بسته به فرمولاسیون و میزان ناخالصی متفاوت می‌باشد (قوشچی، ۱۳۹٤). مزایای دیگر سوپرجاذب‌ها علاوه بر افزایش حفظ آب، شامل موارد زیر می‌باشد:

(۱) حفظ دسترسی به مواد غذایی برای مدت طولانی،

(۲) کاهش تعداد دفعات آبیاری،

(۳) دسترسی یکنواخت آب به گیاهان،

(٤) تقویت رشد ریشه،

(۵) کاهش شستشوی مواد غذایی در خاک،

(٦) بهبود کارایی مصرف کودهای شیمیایی،

(۷) افزایش تهویه خاک،

(۸) افزایش امکان کاشت گیاهان در مناطق بیابانی و سطوح شیب‌دار،

(۹) افزایش فعالیت ریزجانداران خاکزی،

(۱۰) تقویت تخلخل و افزایش پایداری خاک (خرمدل و همکاران، ۱۳۹۲).

در این مطالعه، ضمن ارائه تصویری جامع پیرامون انواع پلیمرهای مورد استفاده و اهداف کاربرد آنها در جنبه‌های متعدد کشاورزی، به بررسی کاربردهای کمتر شناخته‌شده و چشم‌اندازهای گوناگون این فناوری پرداخته می‌شود.

۲. روش‌شناسی تحقیق

این تحقیق از نوع توصیفی- تحلیلی است که درباره انواع، جایگاه، نقش و اثرات استفاده از پلیمرها در حوزه کشاورزی و تأثیر آنها در تخریب و یا تقویت محیط‌زیست می‌پردازد؛ به‌گونه‌ایی‌که نتایج آن می‌تواند در تدوین الگویی راهبردی جهت مدیریت حوزه کشاورزی در سطح داخلی و بین‌المللی مؤثر باشد.

جهت یافتن پاسخ سؤالات این پژوهش، از جمله انواع پلیمرهای مورد استفاده در کشاورزی بر اساس خواص، پلیمرهای مورد استفاده با هدف نگهداری آب در زمین‌های

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

کشاورزی، کاربردهای مختلف پلیمرها در کشاورزی و... از روش‌های کیفی نظیر تحقیق با رویکردی تفسیرگرا استفاده گردید و برای یافتن پاسخ مناسب در متن مقالات مرتبط از نرم‌افزار mendeley بهره گرفته‌شده است.

جهت تدوین ادبیات و چهارچوب نظری، از مطالعه اسنادی و کتابخانه‌ای تخصصی استفاده شده است. سپس جهت تجزیه‌وتحلیل داده‌های گردآوری شده، روش مقایسه تطبیقی و ذهنی مورد استفاده قرار گرفت و جمع‌بندی نتایج مورد نظر در این زمینه ارائه شد.

۳. تجزیه‌وتحلیل داده‌های کیفی و یافته‌های پژوهش

۳-۱. پلیمرهای رایج در کشاورزی؛ انواع، خواص و کاربردها

۳-۱-۱. پلیمرهای زیست تخریب‌پذیر

پلیمرهای زیست تخریب‌پذیر (واتنابه و همکاران[1]، ۲۰۰۹) ازجمله پلیمرهایی هستند که می‌توانند توسط ریزجانداران موجود در محیط زیست تجزیه شوند. «کاهش ضایعات و آلودگی در محیط زیست» از نتایج استفاده از آنها است. پلیمرهای زیست تخریب‌پذیر در کشاورزی برای کاربردهایی مانند مالچ کردن، فیلم، پوشش بذر و تثبیت خاک استفاده می‌شوند.

تجزیه مواد شیمیایی توسط موجودات زنده در محیط به‌عنوان تجزیه زیستی شناخته می‌شود، که در آن ترکیبات به اشکال معدنی تبدیل می‌شوند و از طریق چرخه‌های کربن، نیتروژن و گوگرد توسط فعالیت‌های ریزجانداران توزیع مجدد می‌شوند (واتنابه و همکاران، ۲۰۰۹). پلیمرهای مصنوعی که در مواد شیمیایی کشاورزی هوشمند یا سوپرجاذب استفاده می‌شوند، باعث ایجاد مقادیر زیادی زباله غیرقابل تجزیه زیستی و آلودگی خاک می‌شوند. مطالعاتی با اشاره به فرآیندهای تجزیه پلیمرها در خاک و محیط آبی منتشر شده است (شاه و همکاران[2]، ۲۰۰۸). بااین‌حال، گزارش‌های کمی در مورد

1 . Watanabe & et.al.
2 . Shah & et.al.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

تجزیه پلیمر از مواد شیمیایی کشاورزی محصور شده در یک ماتریس پلیمری ارائه شده است. به‌علاوه، برای یافتن پلیمری با کنترل رهاسازی طولانی و با نرخ بالای تجزیه زیستی در شرایط مزارع کشاورزی، مشکلاتی ذکر شده است (واتنابه و همکاران، ۲۰۰۹).

برخی گزارش‌ها، تجزیه زیستی پلیمر مورد استفاده در رهایش کنترل‌شده داروها را ارائه می‌دهند (ریتگر و پپاس[1]، ۱۹۸۷). مطالعات تجزیه زیستی بر روی پلیمرهای سوپرجاذب نیز انجام شده است (یی و همکاران[2]، ۲۰۰۴) یک ماده فوق‌جاذب تجزیه‌پذیر بر اساس پلیمر مبتنی بر سیلیکات اکریلیک تهیه کردند. آن‌ها یک فرآیند هیدرولیز از پیوندهای Si-O-C در محلول آبی پیشنهاد کردند که هیدروژل‌های هیبریدی را در عرض چند روز تجزیه می‌کند (استال و همکاران[3]، ۲۰۰۰). آن‌ها میزان تجزیه‌پذیری زیستی کوپلیمرهای سوپرجاذب ساخته شده از پلی‌آکریل آمید و پلی آکریلات خالص را در خاک مورد مطالعه قرار دادند. این گروه، درجه تجزیه‌پذیری زیستی را بر اساس کانی‌سازی پلیمرها تخمین زدند و CO2 آزاد شده توسط واکنش‌های تجزیه زیستی را اندازه گرفتند.

گزارش شده است پلیمر زیستی پلی گلیکولیک اسید[4] (PGA) بهترین استحکام کششی و مدول الاستیسیته را دارد، اما درصد کشیدگی کمتری در هنگام شکست دارد (ستیاناریانا و همکاران[5]، ۲۰۰۹). پلیمرهایی که از پلی (بوتیلن آدیپات-کو-ترفتالات)[6]، پلی (بوتیلن سوکسینات/آدیپات)[7] و پلی (ای-کاپرولاکتون)[8] ساخته شده‌اند، زیست تخریب‌پذیر هستند؛ زیرا دارای زنجیره‌های کربنی مستعد تجزیه آنزیمی هستند (گنتارد و همکاران[9]،۲۰۱۸).

انتخاب ضایعات کشاورزی مناسب بر اساس معیارهای اولیه زیر است:

(۱) محتوای نشاسته،

(۲) سلولز، لیگنین و محتوای همی‌سلولز،

1. Ritger & Peppas
2. Ye, Zhao & Zhang
3. Stahl, Cameron, Haselbach & Aust
4. Poly (glycolic acid)
5. Satyanarayana, Arizaga & Wypych
6. Poly (butylene adipate-co-terephthalate)
7. Poly (butylene succinate/adipate)
8. Poly (e-caprolactone)
9. Gontard, Sonesson, Birkved, Majone, Bolzonella, Celli & Sebok

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

(۳) فراهمی زیستی و تأثیر بر زنجیره تأمین کشاورزی و امنیت غذایی،

(٤) پیچیدگی مسیرهای مصنوعی و خواص مواد مورد نظر،

(۵) امکان تجزیه زیستی (نونس و همکاران[1]، ۲۰۲۰)

داده‌های تجربی نشان می‌دهند تولید پلیمرهای زیستی شامل یک مبادله بین محتوای سلولز و سرعت تجزیه زیستی است. سلولز گیاهی سرعت تجزیه زیستی را محدود می‌کند اما مقاومت مکانیکی لایه‌های پلیمری را افزایش می‌دهد. پایداری پلاستیک‌های زیستی به مجموعه‌ای از عوامل و معیارها بستگی دارد که مهم‌ترین آن‌ها عبارتند به شرح زیر هستند:

(۱) در دسترس بودن مقادیر قابل دوام تجاری از مواد اولیه تجدیدپذیر و ضایعات کشاورزی،

(۲) مسیرهای تولید مقیاس‌پذیر و آسان،

(۳) هزینه و رقابت با پلیمرهای مصنوعی،

(٤) عمر مفید آنها و طول دوران تجزیه زیستی/پایان عمر.

به‌طور کلی، دو چالش ذاتی مرتبط با تولید پلیمرهای زیستی وجود دارد؛

اول) ظرفیت تولید پایین است و نمی‌تواند با تولید پلاستیک‌های تجدیدناپذیر که تولید آن ٤۰۰ میلیون تن برآورد شده است، برابری کند.

دوم) فناوری‌های فعلی محدود و ناکافی هستند، هیچ پلیمر ۱۰۰ درصد زیست تخریب‌پذیر با خواص مکانیکی بهینه وجود ندارد (وکس و همکاران[2]، ۲۰۱٦).

۲-۱-۳. پلیمرهای سوپرجاذب

پلیمرهای سوپرجاذب (یی و همکاران، ۲۰۰٤) می‌توانند مقادیر زیادی آب را جذب کرده و در خود نگه دارند؛ که آنها را برای کاربردهایی مانند حفظ آب در خاک و رهاسازی کنترل شده کودها و آفت‌کش‌ها مفید می‌سازد. پلیمرهای سوپرجاذب[3] (SAP) را می‌توان تحت‌عنوان پلیمرهای جاذب، ژل‌های جاذب آب، ژل‌های آب یا هیدروژل‌ها نیز معرفی

1. Nunes, Silva, Gerber, & Kalid
2. Vox, Viviana, Blanco & Scarascia
3. Super Absorbent Polymer

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

کرد که می‌توانند طبیعی مانند کیتوزان، آلژینات، کلاژن، دکستران، سلولز، کیتین یا مصنوعی مانند اسید اکریلیک، اسید متاکریلیک، پلی اتیلن گلیکول، وینیل استات، پلی وینیل الکل و اکریلات‌های مختلف باشند (احمد[1]، ۲۰۱۵). آن‌ها درشت مولکول‌هایی هستند که قابلیت تجمع بیش از حد آب تا ۱۰۰ برابر وزن خود را دارند. همچنین، SAPها اغلب برای بهبود ویژگی‌های بافت خاک استفاده می‌شوند. آن‌ها عمدتاً از مواد رطوبت‌سنجی مانند قند ساخته شده‌اند که در تماس با آب، به یک ژل شفاف تغییر می‌یابند (هیوترمان و همکاران[2]، ۲۰۰۹). لذا با توجه به نقش چشمگیر این پلیمرهای سوپرجاذب در افزایش کارایی مصرف آب، به‌طور گسترده‌ای در حال استفاده هستند (چانگ و همکاران[3]، ۲۰۲۰)

هیدروژل‌ها شبکه‌های پلیمری متقاطع هستند که می‌توانند مقادیر زیادی آب را جذب و در خود نگه دارند. آنها در کشاورزی برای کاربردهایی مانند حفظ آب خاک، پوشش بذر و به عنوان حامل کودها و آفت‌کش‌ها استفاده می‌شوند. هیدروژل، پلیمر سوپرجاذب به‌عنوان شبکه پلیمری سه‌بعدی با اتصالات عرضی مشخص می‌شود که اغلب از مونومرهای یونی شکل گرفته است و مهم‌ترین ویژگی آن قابلیت تورم در حضور مایعات آبی یا زیستی است (اُلاه و همکاران[4]، ۲۰۱۵).

توانایی نگهداری و تورم آب یک SAP را می‌توان با سازوکار چند مرحله‌ای بیان نمود. مرحله اول هیدراتاسیون گروه‌های آب‌دوست موجود در شبکه پلیمری در پیوندهای قوی با آب است. مرحله بعدی، اتصالات عرضی فیزیکی یا شیمیایی اثر نیروهای اسمزی را که منجر به رقیق‌شدن بی‌نهایت شبکه پلیمری می‌شود، به حداقل می‌رسانند و به همین دلیل، شبکه آب اضافی را در خود نگاه می‌دارد (اُلاه و همکاران، ۲۰۱۵).

SAPها اغلب بر مبنای منشأ، ماهیت اتصال عرضی و سازوکار پاسخگویی آن‌ها دسته‌بندی می‌شوند. بر اساس منشأ، SAP طبیعی، مصنوعی یا ترکیبی هستند. با توجه به ساختمان شبکه‌ای، یک SAP از نظر شیمیایی دارای پیوند متقابل است که پیوندهای

1. Ahmed
2. Huettermann, Orikiriza & Agaba
3. Chang, Lee, Tran, Lee, Kwon, Im & Cho
4. Ullah, Othman, Javed, Ahmad & Akil

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

کووالانسی بین شبکه‌های پلیمری ایجاد می‌کند و منجر به یک حالت دائمی می‌شود، یا اتصال متقابل فیزیکی که در آن شبکه‌های پلیمری از طریق نیروهای بین‌مولکولی مانند برهمکنش‌های یونی، پیوندهای هیدروژنی یا واندروالسی به هم متصل می‌شوند. یک SAP معمولی تحت محرک‌های محیطی، به‌عنوان‌مثال تغییرات در PH، دما یا میدان الکتریکی، تعادل تورم را تغییر نخواهد داد.

از سوی دیگر، هیدروژل‌های با توانمندی پاسخگویی به محرک‌های محیطی را هیدروژل هوشمند نام‌گذاری کردند (سامچنکو و همکاران[1]، ۲۰۱۱)، چراکه این مواد تعادل آماس خود را با شرایط محیطی تطبیق می‌دهند. کاربردهای مبتنی بر تورم یا تورم برگشت‌پذیر را می‌توان بر اساس پاسخ‌های شیمیایی، بیوشیمیایی یا فیزیکی مدوله کرد که به شرایط محیطی مانند هدایت یونی بالا، نفوذپذیری بالا و ظرفیت جذب بستگی دارد. شرایط گوناگونی وجود دارد که ممکن است از رشد و عملکرد محصولات ممانعت شود. برخی از آن‌ها عبارتند از:

(۱) توانایی نگهداشت کم‌آب،

(۲) سرعت تعرق بالا،

(۳) شستشوی رطوبت خاک،

(٤) حمله توسط عوامل بیماری‌زای گیاهی.

به همین دلیل استفاده از هیدروژل‌ها در حوزه کشاورزی دارای مزایای متعددی است که در جدول (۱) شرح داده شده است.

جدول شماره ۱. مزایای استفاده از هیدروژل‌ها در کشاورزی

ردیف	مزایا	منبع
۱	افزایش محتوای رطوبتی خاک	(حیات و علی[2]، ۲۰۰۴)
۲	افزایش نفوذپذیری خاک	(عبدالرحیم[3]، ۲۰۰۶)

1. Samchenko, Ulberg & Korotych
2. Hayat & Ali
3. Abd El-Rehim

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

۳	افزایش فواصل آبیاری و به‌حداقل‌رساندن فرسایش خاک و رواناب	(سوجکا و انتری[1]، ۲۰۰۰)
۴	افزایش راندمان مصرف آب	(کوپای و همکاران[2]، ۲۰۰۸)
۵	افزایش احتباس مواد مغذی در نتیجه انتشار املاح از ذرات پلیمر هیدروژل و تأخیر در انحلال کودها	(وانگ و وانگ[3]، ۲۰۰۹)
۶	بهبود حفظ آب در انواع مختلف خاک	(هان و همکاران[4]، ۲۰۱۰)
۷	بهبود عملکرد رشد محصول تحت شرایط آبیاری کاهش‌یافته	(کوپای و اسدکاظمی[5]، ۲۰۰۶)
۸	بهبود زهکشی خاک	(اختر و همکاران[6]، ۲۰۰۴)
۹	کاهش تمایل به فشردگی خاک	(اکوبیف و همکاران[7]، ۲۰۱۱)

۳-۱-۳. پلی‌آکریل آمید

«پلی‌آکریل آمید» یک پلیمر محلول در آب است (استال و همکاران، ۲۰۰۰) که برای تثبیت خاک و کنترل فرسایش استفاده می‌شود. این پلیمر می‌تواند ساختار خاک را بهبود بخشد، رواناب آب را کاهش دهد و نفوذ آب در خاک را افزایش دهد.

پلی آکریل آمید (PAM) نه تنها به‌عنوان یک اصلاح کننده ساختاری خاک، تشکیل خاکدانه‌ها را تقویت می‌کند و ساختار خاک را بهبود می‌بخشد، بلکه رواناب سطحی را کاهش داده و همچنین هدر روی مواد غذایی را تقلیل می‌دهد (گرین و همکاران[8]،۲۰۰٤؛ سپسکاه و بازرشن[9]، ۲۰۰٦). توانایی خاکدانه در جذب مواد مغذی را افزایش داده و این‌کار از طریق زیر انجام می‌شود:

(۱) ایجاد ساختار سنگدانه مصنوعی را بهبود می‌بخشد؛

1. Sojka & Entry
2. Koupai, Eslamian & Kazemi
3. Wang and Wang
4. Han, Yang, Luo, Ren, Zhang & Xu
5. Koupai & Asadkazemi
6. Akhter, Mahmood, Malik, Mardan, Ahmad & Iqbal
7. Ekebafe, Ogbeifun & Okieimen
8. Green, Stott, Graveel & Norton
9. Sepaskhah & Bazrafshan

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

(۲) باعث بهبود پایداری آب در ساختار خاکدانه‌ها می‌گردد،

(۳) در نهایت، این امر با مهار از دست دادن مواد مغذی توسط رواناب، بهبود نرخ بهره‌وری استفاده از کود را به همراه دارد (فلانگان و همکاران[1]، ۲۰۰۲؛ هیو و همکاران[2]، ۲۰۲۲)

٤-١-٣. بیوپلیمرها

«بیوپلیمرها» مواد پلیمری هستند که از منابع تجدیدپذیر مانند گیاهان، حیوانات و ریزجانداران تولید می‌شوند (ژانگ[3] و همکاران، ۲۰۲۲). پلیمرهای زیستی از واحدهای مونومری تشکیل شده‌اند که به صورت کووالانسی پیوند می‌خورند تا یک مجموعه بزرگ‌تر را تشکیل دهند. سه دسته اصلی از پلیمرهای زیستی وجود دارد که بسته به واحدهای مونومر مورد استفاده و ساختار بیوپلیمر تشکیل شده طبقه‌بندی می‌شوند:

(۱) پلی پپتیدها که پلیمرهای کوتاه اسیدهای آمینه هستند.

(۲) پلی نوکلئوتیدها (RNA و DNA) که پلیمرهای بلندی هستند که از مونومرهای نوکلئوتیدی تشکیل شده‌اند.

(۳) پلی ساکاریدها که اغلب دارای ساختار کربوهیدرات پلیمری با پیوند خطی هستند (شانکار و همکاران[4]، ۲۰۱٦٦؛ شانکار و ریم[5]، ۲۰۱٦)

نمونه‌های دیگر بیوپلیمرها عبارتند از؛ «لیگنین»، «ملانین» و «سوبرین». پلیمرهای زیستی را می‌توان بسته به منشأ بیوپلیمرها به سه گروه دیگر طبقه‌بندی کرد که شامل بیوپلیمرهای طبیعی استخراج شده از زیست‌توده (به‌عنوان مثال منابع کشاورزی)، بیوپلیمرهای مصنوعی حاصل از تولید یا تخمیر میکروبی، و بیوپلیمرهای مصنوعی به‌صورت سنتزی و شیمیایی است. نمونه‌هایی از بیوپلیمرهای مورد استفاده در کشاورزی شامل؛ «کیتوزان»، «سلولز» و «نشاسته» است. پلیمرهای زیستی در کشاورزی برای کاربردهایی مانند فیلم‌های مالچ‌پاشی

1. Flanagan, Chaudhari & Norton
2. Hu, Liu, Li, Cai, Lu & Guo
3. Zhang, Zhang, Li, An, Wan & Zhang
4. Shankar, Jaiswal & Rhim
5. Shankar & Rhim

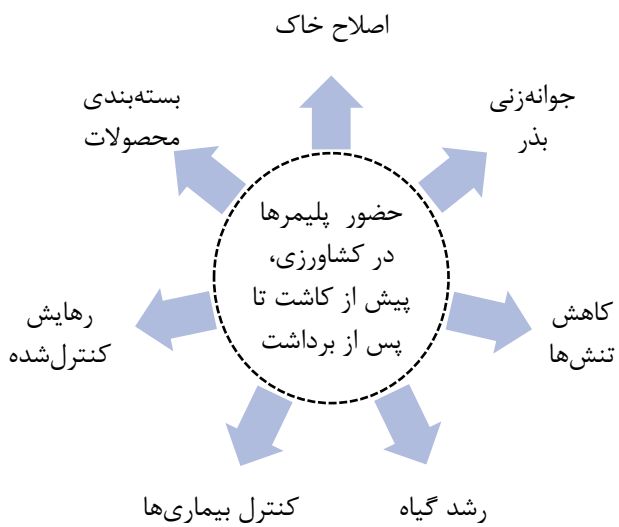
Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

زیست تخریب‌پذیر، پوشش‌های بذر و به‌عنوان حامل کودها و آفت‌کش‌ها استفاده می‌شوند. در نهایت، استفاده از پلیمرها در کشاورزی پتانسیل بهبود بهره‌وری محصول، کاهش اثرات زیست‌محیطی کشاورزی و افزایش پایداری را به همراه دارد.

۲-۳. کاربرد پلیمرها در کشاورزی

پلیمرها نقش‌های مختلفی در فعالیت‌های کشاورزی دارند که در شکل (۱) به تصویر کشیده شده است.



شکل شماره ۱. برخی کاربردهای پلیمرها در بخش کشاورزی (یافته‌های نگارندگان)

۱-۲-۳. اصلاح خاک

استفاده از عوامل بهینه کننده تهویه خاک به یک راهکار رایج تبدیل شده است. SAPها در زمره پلیمرهای کاربردی آب‌دوست سه‌بعدی و متقاطع گروه‌بندی می‌شوند (یانگ و همکاران[1]، ۲۰۱۵). ان پلیمرها موجب می‌گردند حجم اضافی آب در خاک را تا صد برابر

1. Yang, Han, Yang, Wang, Yang, Kuang, & Xiao

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

وزن خود انباشت کنند (دهکردی[1]، ۲۰۱۸). درنتیجه، فاصله بین کلوئیدهای خاک را افزایش و میزان نفوذپذیری و همچنین تهویه خاک را بهبود می‌بخشند. کاربرد هیدروژل‌ها مستقیماً بر میزان نفوذپذیری خاک، تراکم، ساختار، بافت، تبخیر و نرخ نفوذ آب تأثیر می‌گذارد (گیولرمی و همکاران[2]، ۲۰۱۵).

علاوه‌بر این استفاده از هیدروژل‌ها ممکن است به اشباع محتوای حجمی آب در خاک، باتوجه به مقدار مصرفی، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک منجر شود (سارکار و همکاران[3]، ۲۰۱۷). همچنین می‌تواند محتوای رطوبتی و میزان کلروفیل برگ را در نواحی خشک افزایش دهد (لاکسمی، و همکاران[4]، ۲۰۱۹).

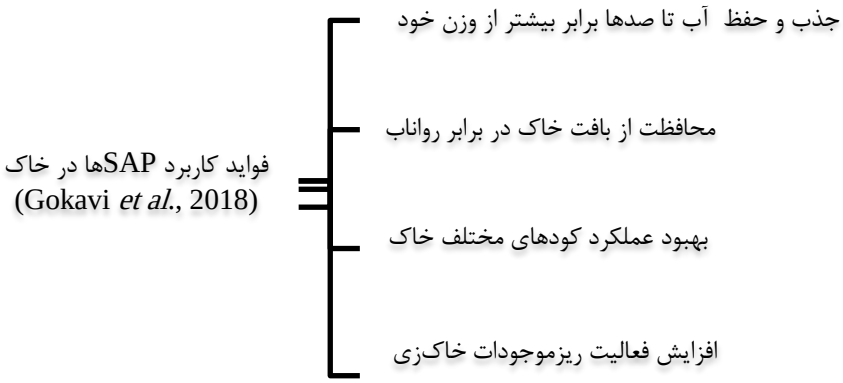
با درنظر گرفتن اهمیت رشد اولیه گیاهان در مرحله گیاهچه‌ای، خاک تکمیل‌شده با هیدروژل می‌تواند سبزشدن گیاهچه را بهبود بخشد و مدت‌زمان دسترسی به آب را طولانی‌تر کند (سارکار و همکاران، ۲۰۱۷) «عبدالله» در پژوهش خود مطرح نمود اصلاح خاک شنی با ۰/۳ درصد هیدروژل ریزدانه، هدایت هیدرولیکی اشباع را کاهش داده و ظرفیت آب را به نسبت هیدروژل دانه درشت افزایش داده است (عبدالله[5]، ۲۰۱۹).

اخیراً، از SAPها در صنعت کشاورزی به‌عنوان بخشی از افزودنی‌های خاک با هدف صرفه‌جویی در اتلاف آب و مواد مغذی در خاک و همچنین کاهش تأثیر منفی کم‌آبی استفاده می‌شود. شکل (۲) چندین مزیت استفاده از SAPها در خاک را نمایش داده است.

1. Dehkordi
2. Guilherme, Aouada, Fajardo, Martins, Paulino, Davi,... & Muniz
3. Sarkar, Basak, Sarkar & Mandal
4. Laxmi, Chanu, Rani, Rai, Prasad & Singh
5. Abdallah

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir



شکل شماره ۲. تاثیرگذاری پلیمرهای سوپرجاذب بر ساختار خاک (یافته‌های نگارندگان)

۲-۲-۳. رشد گیاه

کاربرد برخی پلیمرهای جاذب به‌واسطه بهبود قابلیت نگهداشت آب در خاک که رطوبت را برای مدت‌زمان بیشتری حفظ می‌کند، عملکرد مرکبات را به‌طور محسوسی افزایش داده، فعالیت میکروبی ریزوسفر خاک را بیشتر و درنهایت، از ریزش میوه‌ها ممانعت می‌کند (پاتانایک[1] و همکاران، ۲۰۱۵). به‌طور مشابه، پیو و همکارانش گزارش کردند استفاده از محلول پلیمری به هنگام کاشت می‌تواند مرگ‌ومیر گیاهان قهوه را کاهش دهد (پیو و همکاران[2]، ۲۰۱۳)

پوشش با پلیمرهای سوپرجاذب به‌طور بالقوه می‌تواند با افزایش دسترسی آب به بذرها، تحت شرایط خشک، رشد اولیه را بهبود بخشد؛ بنابراین، از تأخیر در سبز شدن جلوگیری می‌کند (ویلنبورگ و همکاران[3]، ۲۰۰۴). پژوهش‌های گوناگونی نشان داده است که استفاده از SAPs، به‌ویژه در سطح خاک (۰ تا ۲۰ سانتی‌متر)، تأثیر مثبت و معنی‌داری بر دمای خاک، افزایش نرخ فتوسنتزی و عملکرد محصولات زراعی برجای گذاشته است (انجی و همکاران[4]، ۲۰۱۳).

1. Pattanaaik, Singh, Wangchu, Debnath, Hazarika & Pandey
2. Pieve, Guimarães, Assis, Amato & Correa
3. Willenborg, Gulden, Johnson & Shirtliffe
4. Eneji, Islam, An & Amalu

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

با توجه به توضیحات فوق، باید اشاره کرد پلیمرها به‌طور گسترده در صنعت کشاورزی برای اهداف مختلف ازجمله بهبود رشد گیاهان استفاده می‌شود. پلیمرهای محرک رشد گیاه، پلیمرهای مصنوعی یا طبیعی هستند که با رهاسازی آهسته مواد مغذی و رطوبت، بهبود ساختار خاک، حفظ آب و محافظت از گیاهان در برابر عوامل استرس‌زای محیطی نیز رشد گیاه را افزایش می‌دهند. انواع پلیمرهای مورد استفاده در تقویت رشد گیاه مشتمل هستند بر:

الف) پلی‌آکریل آمید،

ب) پلی ساکاریدها مانند کیتوزان و آلژینات،

ج) پلیمرهای هیدروژل (اختر و همکاران، ٢٠٠٤).

اختر و همکارانش اظهار نمودند کاربرد هیدروژل‌ها با افزایش احتباس آب به‌ویژه در خاک‌های شنی، رشد گیاهان چندین گونه را افزایش می‌دهد (اختر و همکاران، ٢٠٠٤). در همین ارتباط، کانزن و همکارانش گزارش کردند کاربرد هیدروژل‌ها می‌تواند ارتفاع گیاه و زیست‌توده تازه نهال *M. scabrella* را در شرایط گلخانه ارتقا دهد (کانزن و همکاران[1]، ٢٠١٧).

در مطالعات فیلهو و همکارانش، مناسب‌ترین دوز هیدروژل را برای ایجاد نهال‌های *Enterolobium contortisilliquum* تحت دو سطح روشنایی ٥٠٪ و ١٠٠٪ و همچنین ١٠ دوز هیدروژل در محدوده ٠-٦ گرم در لیتر ارزیابی کردند. آن‌ها مشاهده کردند دو دوز آزمایش شده ٢ و ٣ گرم در لیتر به ترتیب بهترین رشد نهال‌ها را در زیر نور کامل آفتاب و همچنین محیط‌های سایه‌دار نشان دادند (فیلهو و همکاران[2]، ٢٠١٨).

٣-٢-٣. کاهش تنش خشکی

تنش خشکی به جهت کاهش محتوای آب خاک ممکن است عامل تولید رادیکال‌های فعال اکسیژن و پراکسیداسیون لیپیدی شود. همچنین می‌تواند منجر به برخی اثرات منفی بر

1. Konzen, Navroski, Friederichs, Ferrari, Pereira & Felippe
2. Filho, Gondim & Costa

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

ریخت‌شناسی گیاه شود؛ مانند رشد کوتاه‌مدت، کاهش سطح برگ و آسیب برگ. بنابراین، کاربرد هیدروژل‌ها می‌تواند رشد و عملکرد اقتصادی مطلوب را حتی در شرایط نامساعد فراهم کند (وی و دوریان[1]، ۲۰۱٤). در رابطه با فواید هیدروژل‌ها در علوم باغبانی، ذکر شده است افزودن آن‌ها می‌تواند ظرفیت نگهداشت آب را افزایش دهد و ذخیره آب خاک‌های متخلخل را بهبود بخشد که دوره پژمردگی را نیز به تأخیر می‌اندازد (برس و مک‌کالم[2]،۱۹۹۷).

«توماسکووا» و همکارانش اثر تیمارهای هیدروژل در ترکیب با خاک‌اره، کود آلی، کمپوست و کاه گندم را بر بقا، رشد و صفات فیزیولوژیکی ۲۰ گونه درختی ارزیابی کردند و مشاهده کردند که تمامی تیمارها به طور قابل‌توجهی عملکرد را بهبود بخشیده است (توماسکووا و همکارانش[3]، ۲۰۲۰).

٤-۲-۳. جوانه‌زنی بذر

هیچ اثر جانبی بر جوانه‌زنی بذر ناشی از تیمار هیدروژل وجود ندارد (الشفی و همکاران[4]، ۲۰۲۰). در مطالعات (اسماعیل و همکاران[5]، ۲۰۱۳) آمده است هیدروژل سوپرجاذب، تشکیل شده از آکریل آمید و اسید اکریلیک روی نشاسته با استفاده از پلی‌اتیلن گلیکول (PEG) در مقایسه با بذرهای بدون هیدروژل، تأثیر مثبتی بر جوانه‌زنی بذر ذرت و رشد گیاهان جوان نشان داد (الشفی و همکاران، ۲۰۲۰).

علاوه‌بر این، گیاهان تیمار شده با هیدروژل اثر رضایت‌بخشی را برای وزن تازه، خشک برگ و ریشه نشان دادند. در مطالعات (الشفی و همکاران، ۲۰۲۰)، فعالیت زیستی هیدروژل مکمل شده با برخی از مواد طبیعی و یا ریز جانداران مضر را بر روی جوانه‌زنی بذر *Phaseolus vulgaris* مطالعه کرده‌اند و دریافتند که فرمولاسیون هیدروژل بر مبنای

1. Wei & Durian
2. Bearce & Mccollum
3. Tomaskova, Svatos, Macku, Vanicka, Resnerova, Cepl & Dohrenbusch
4. Elshafie, Nuzzaci, Logozzo, Gioia & Camele
5. Ismail, Irani, & Ahmad

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

اسانس پونه کوهی و باکتری *Burkholderia gladioli* بیشترین جوانه‌زنی بذر را نشان می‌دهد.

۵-۲-۳. پوشش‌دهی بذور

از پلیمرها در پوشش بذر جهت افزایش جوانه زنی برای بهبود کارایی و اثربخشی کاشت استفاده می شود. پوشش بذر با پلیمرها می‌تواند در برابر عوامل بیماری‌زا، آفات و تنش‌های محیطی محافظت کند و درعین‌حال، جوانه‌زنی بذر و رشد اولیه گیاه را نیز افزایش دهد. انواع پلیمرهای مورد استفاده در پوشش بذر و تقویت جوانه زنی شامل موارد زیر است:

الف. پلیمرهای هیدروژل؛

ب. پوشش‌های بیوپلیمری؛ پوشش‌های بیوپلیمری مانند کیتوزان و نشاسته، از منابع طبیعی به‌دست می‌آیند و در پوشش بذر برای محافظت در برابر عوامل بیماری‌زا، آفات و افزایش جوانه‌زنی بذر استفاده می‌شوند؛

پ. پلیمرهای مصنوعی: این پلیمرها مانند پلی‌اتیلن گلیکول (PEG) را می‌توان در پوشش بذر برای بهبود دسترسی به آب و کاهش تنش آبی در طول جوانه‌زنی استفاده کرد.

پوشش بذر اولین خط دفاعی برای مواجهه با عوامل مختلف اقلیمی و بیماری‌زای خارجی است که ممکن است سوخت‌وساز آن را در پاسخ به شرایط نامساعد محیطی تنظیم کند (رادشاک و بوریسجاک[1]، ۲۰۱٤). افزودن انواع مواد مغذی، میکروب‌ها و آفت‌کش‌های بیولوژیکی بر فرمولاسیون پوشش بذر در مقایسه با کاربردهای سنتی، دارای مزایای متعددی بدون هیچ‌گونه اثرات جانبی منفی بر محیط اطراف است (اشرف و فولاد[2]، ۲۰۰۵).

پوشش بذر هیدروژلی برای بهبود هوادهی بذر *Caragana korshinskii*، اثر قابل‌توجهی بر افزایش میزان جوانه‌زنی بذر و کاهش علائم خشکی در شرایط تنش داشته است (سو و همکاران[3]، ۲۰۱۷). در همین زمینه، «پاتک» و «آمبروز» اثر هیدروژل زیست

1. Radchuk & Borisjuk
2. Ashraf & Foolad
3. Su, Li, Xue & Wang

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

تخریب‌پذیری را بر رشد اولیه بذر ذرت مورد مطالعه قرار دادند (پاتک و آمبروز[1]، ۲۰۲۰) و دریافتند بذرهای پوشش داده شده، سرعت سبز شدن بالاتری نسبت به بذرهای بدون پوشش در منبع آبی با ظرفیت ۷۷ درصدی زراعی نشان می‌دهند. در جدول (۲) مزایای استفاده از پلیمرها در پوشش بذر شرح داده شده است.

«اسابل» و همکارانش، کپسوله‌کردن سودوموناس فلورسانس را با استفاده از کیتوزان و آلژینات سدیم به‌عنوان یک ماده حامل برای استانداردسازی مورد بررسی قرار دادند (اسابل و همکاران[2]، ۲۰۱۹). آن‌ها تفاوت‌های قابل‌توجهی را در برخی از پارامترهای بیومتریک بین گیاهان شاهد و گیاهان تیمار محصور شده مشاهده کردند. به‌ویژه، کشت محصور شده با موفقیت رشد و عملکرد گیاه، محتوای مواد مغذی خاک را بهبود بخشید.

جدول شماره ۲. مزایای استفاده از پلیمرها در پوشش بذر و افزایش جوانه زنی

بهبود جوانه‌زنی بذر	پلیمرها می‌توانند جوانه‌زنی بذر را با بهبود دسترسی به آب، محافظت در برابر آفات و عوامل بیماری‌زا، و ایجاد یک مانع فیزیکی برای محافظت در برابر تنش‌های محیطی افزایش دهند.
افزایش رشد اولیه گیاه	پلیمرها می‌توانند رشد اولیه گیاه را با فراهم‌کردن شرایط رهاسازی آهسته آب و مواد مغذی بهبود ببخشند، که می‌تواند به گیاهان جوان کمک کند تا خود را تثبیت کنند.
مقرون به صرفه بودن	استفاده از پلیمرها در پوشش بذر و تقویت جوانه‌زنی در مقایسه با سایر روش‌های تیمار بذر می‌تواند مقرون به صرفه باشد.
حفاظت از محیط زیست	پوشش بذر با استفاده از پلیمرها می‌تواند با کاهش استفاده از آفت‌کش‌ها و کودهای شیمیایی به حفاظت از محیط‌زیست کمک کند.

۶-۲-۳. کنترل بیماری‌ها

کنترل پاتوژن‌های گیاهی از مهم‌ترین ارکان ایمنی مواد غذایی، به‌ویژه حفاظت از دانه‌ها است. تیمار بذر با آفت‌کش‌ها عمدتاً به قارچ‌کش‌ها و حشره‌کش‌ها محدود می‌شود، اما برخی پیشرفت‌ها و مقررات دیگر استفاده از علف‌کش‌ها را ترویج می‌کند (گرین و

1. Pathak & Ambrose
2. Isabel, Devi, Balamurugan, Hemananthan & Kumar

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

بستمن[1]، ۲۰۰۷). گزارش شد دانه‌های پوشش داده شده با هیدروژل مکمل شده با اسانس پونه کوهی توانستند به‌طور قابل‌توجهی از بروز بیماری قارچی *Fusar-ium oxysporum*، *Rhizoctonia solani*، *Penicillium expansum* و *Aspergillus flavus* بر روی دانه‌های *Proteus vulgaris* جلوگیری کنند.

اسماعیل و همکارانش گزارش کردند در بهره‌گیری بسیاری از آفت‌کش‌ها به دلیل تبخیر، تجزیه و اثرات شستشو نمی‌توانند به‌طور کامل به هدف مورد نظر خود برسند. این مسائل می‌تواند منجر به یک مشکل جدی در آلودگی محیط‌زیست و سلامت گیاهان، حیوانات و انسان شود (اسماعیل و همکاران، ۲۰۱۳). بنابراین، استفاده از فرمول‌های ابتکاری با رهایش کنترل‌شده مبتنی بر هیدروژل‌ها می‌تواند این مشکلات را حل کند که در آن فرمول هیدروژل می‌تواند به آرامی ماده فعال آفت‌کش‌ها را مطابق با هدف تحویل دهد. همچنین می‌تواند شسته‌شدن، تخریب خاک، تبخیر آفت‌کش‌ها و سمیت احتمالی را نیز کاهش دهد (چویلارد و همکاران[2]، ۲۰۱۲). در همین راستا، (سینگ و همکاران[3]، ۲۰۰۸) نیز کارایی استفاده از برخی فرمول‌های هیدروژل با پرسولفات آمونیوم را برای کنترل آزادسازی قارچ‌کش تیرام از هیدروژل‌های تهیه‌شده بررسی کردند و این گروه از محققان مشاهده کردند با گذشت زمان افزایش می‌یابد. همچنین به این نتیجه رسیدند که افزایش غلظت پیوند متقابل در زمینه پلیمری منجر به کاهش انتشار قارچ‌کش می‌شود.

۷-۲-۳. تحویل کنترل‌شده مواد شیمیایی کشاورزی

نکته مهم در کشاورزی تأمین نیازهای غذایی گیاهان در زمان مناسب و مقدار مورد نیاز گیاه است؛ اما مواد مغذی اغلب در سطوح کافی برای رشد خوب گیاه در دسترس نیستند. توسعه استفاده ترکیبی از مواد پلیمری، جایگزینی برای رساندن مواد شیمیایی کشاورزی به خاک بوده است تا به‌طور مستقیم نیازهای غذایی گیاهان را بدون ایجاد آلودگی برآورده

1. Green & Beestman
2. Chevillard, Angellier-Coussy, Guillard, Gontard & Gastaldi
3. Singh, Sharma & Gupta

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

کند (پوچی و همکاران[1]، ۲۰۰۸). ترکیبی از مواد شیمیایی کشاورزی و پلیمرها را می‌توان به‌عنوان فرآیندهای فیزیکی یا شیمیایی طبقه‌بندی کرد. به‌عنوان‌مثال، کنترل سرعت انتشار نیز عاملی فیزیکی است درحالی‌که چگونگی تثبیت مواد شیمیایی در ماتریس پلیمری یک مکانیسم شیمیایی است. خواص بیولوژیکی، شیمیایی و برهمکنش‌های فیزیکوشیمیایی به انتخاب مستقیم بهترین سیستم برای آزادسازی عامل فعال کمک می‌کند (پوچی و همکاران، ۲۰۰۸).

علاوه بر این، مشخصات رهاسازی به دو دسته سیستم‌های رهایش آهسته و کنترل‌شده طبقه‌بندی می‌شود:

(۱) کود آهسته رهایش[2] (SRF) به مکانیزمی مربوط می‌شود که آزادسازی را به تأخیر می‌اندازد. در مقایسه با رهایش کنترل‌شده که به نوع مکانیسم آزادسازی ماده غذایی در محیط بستگی دارد (پریرا و همکاران[3]، ۲۰۱۵).

(۲) کود با رهایش کنترل‌شده[4] (CRF) دارای عوامل شناخته‌شده‌ای است که بر سرعت و الگوی رهاسازی تأثیر می‌گذارد. ازاین‌رو می‌توان آنها را کنترل کرد (ترنکل[5]، ۲۰۱۰)

از نظر شیمیایی، سه نوع ماده برای توسعه این فناوری استفاده می‌شود:

الف. پلیمرهای آلی،

ب. ترکیبات و پلیمرهای معدنی،

پ. مواد یا کامپوزیت‌های ترکیبی (پرز دِ لوکی و هرموشین[6]، ۲۰۱۳).

پلیمرهایی که اغلب برای محصور کردن مواد شیمیایی کشاورزی استفاده می‌شوند ژل‌های مبتنی بر آکریل‌آمید هستند. سایر پلیمرها عبارتند از:

- لاستیک طبیعی،

1. Puoci, Iemma, Spizzirri, Cirillo, Curcio & Picci
2. Slow-release fertilizer
3. Pereira, Giroto, Bortolin, Yamamoto, Marconcini, Bernardi & Ribeiro
4. Controlled-release fertilizer
5. Trenkel
6. Pérez de Luque & Hermosín

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

- پلی‌اتیلن[1] (PE)
- کوپلیمرهای استرهای VC- اکریلیک اسید[2]،
- کوپلیمرهای سیکلوپنتادین[3] با گلیسریل استر یک اسیدچرب غیراشباع،
- پلی‌ساکاریدها،
- مواد مبتنی بر سلولز (پوچی و همکاران، ۲۰۰۸).

مطالعات اولیه گزارش داده‌اند ساخت مواد رهایش کنترل شده منحصراً با پلیمرهای مصنوعی ساخته شده است. از سوی دیگر، مطالعات جدیدتر به کاربرد پلیمرهای زیست تخریب‌پذیر[4] (PBs) و کامپوزیت‌های آن‌ها به‌عنوان موادی برای رهایش کنترل‌شده مواد شیمیایی کشاورزی در خاک مربوط می‌شود. انتشار کنترل‌شده دارای مزایا و معایبی است[5] که شرح آن در جدول (۲) آمده است.

جدول شماره ۲. مزایا و معایب انتشار کنترل‌شده

مزایا (ملاج و دارایو[6]، ۲۰۱۴)	معایب (عزیم و همکاران[7]، ۲۰۱۴؛ ملاج و دارایو، ۲۰۱۴)
کاهش دفعات کاربرد کود در خاک	تغییر دادن اسیدیته خاک
سهولت بیشتر استفاده از کودها	هزینه بالا در مقایسه با مواد شیمیایی کشاورزی
کاهش آسیب ریشه با غلظت زیاد نمک	باقی‌مانده‌های ناخواسته مواد مصنوعی در بافت زمین
تأمین مواد مغذی منظم و مداوم برای گیاهان	عدم رهاسازی در طول دوره‌های تقاضای بالای محصول
کاهش اتلاف مواد مغذی در اثر شستشو و	آزادسازی زودهنگام و سریع مواد مغذی (اثر

1. Poly Ethylene
2. copolymers of VC-acrylic acid esters
3. copolymers of cyclopentadiene
4. Biodegradable polymers
5. Se: Melaj and Daraio, 2014; Azeem & *et. al.*, 2014; Melaj & Daraio, 2014
6. Melaj and Daraio
7. Azeem, KuShaari, Man, Basit & Thanh

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

تبخیر	ترکیدگی) می‌تواند به گیاه آسیب برساند
کمک به کاهش آلودگی محیط زیستی توسط NO_3	
بهبود سلامت اکولوژیکی در فعالیت‌های کشاورزی (آلودگی کمتر آب‌های زیرزمینی و سطحی)	

۸-۲-۳. فیلم‌های پلیمری برای پوشش خاک

فیلم‌های پلیمری به‌طور گسترده در کشاورزی کاربرد دارند. پلیمرهای پرکاربرد برای این موارد؛ «پلی‌اتیلن با چگالی کم»[1] (LDPE)، «پلی‌اتیلن خطی با چگالی کم»[2] (LLDPE) و «کوپلیمر اتیلن–وینیل استات»[3] (EVA) هستند.

اهمیت این فیلم‌ها در حفاظت از کشاورزی و ایجاد یک ریزاقلیم است که به‌شدت عملکرد گیاهان را بهبود می‌بخشد. مشکل اصلی این فیلم‌ها عمر نسبتاً کوتاه آن‌ها و در نتیجه ضرورت مکرر حذف از زمین است. در پایان عمر مفید، تمام این فیلم‌ها باید جمع‌آوری شوند تا از انتشار در زمین و اثرات منفی زیست‌محیطی جلوگیری شود (بریاسولیس و همکاران[4]، ۲۰۱۳).

بازیافت این فیلم‌ها به دلیل مجموعه‌ای متفاوت برای ترکیب مشابه، نسبتاً ساده است. بااین‌حال، خواص مواد بازیافتی برای اکسیداسیون نوری در طول استفاده از آن‌ها نسبتاً ضعیف است. بازیافت برای فیلم‌های مالچ پیچیده‌تر است، زیرا ضخامت بسیار کم آن‌ها (۱۵ تا ۵۰ میکرون) حاکی از مشکلات زیادی در طول شستشو و تکه‌تکه‌شدن آن‌ها است. بنابراین، برای تولید این فیلم‌ها، استفاده از پلیمرهای زیست تخریب‌پذیر و کمپوست‌پذیر می‌تواند فرصت خوبی باشد (سیوک و همکاران[5]، ۲۰۱۹). مطالعات مختلفی بر روی

1. Low Density Poly Ethylene
2. Linear Low-Density Poly Ethylene
3. Poly (Ethylene-Vinyl Acetate)
4. Briassoulis, Babou, Hiskakis, Scarascia, Picuno, Guarde & Dejean
5. Siwek, Domagała-Świątkiewicz, Bucki & Puchalski

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

پلیمرهای زیست تخریب‌پذیر تجاری برای تأیید عملکرد آن‌ها در مالچ‌پاشی یا لوله‌های آبیاری انجام شده است (برودهیگن و همکاران[1]، ۲۰۱۵).

تجزیه مواد پلاستیکی، سنتی و زیست تخریب‌پذیر شامل فرآیندهای مختلفی است که توسط یک یا چند عامل محیطی (مانند: گرما، نور و ریزجانداران) یا مواد شیمیایی ترویج می‌شود. فرایند تجزیه تغییرات ساختاری برگشت‌ناپذیری را ایجاد می‌کند که عمدتاً نامطلوب یا در برخی موارد ضروری هستند؛ مانند فرآیندهای تجزیه زیستی، یا بیشتر برای تعیین ساختار پلیمر ایجاد می‌شوند، مانند مطالعات «کروماتوگرافی گازی پیرولیز/ طیف سنجی جرمی»[2] (Py-GC/MS) (ریزارلی و همکاران[3]، ۲۰۱٦)، تجزیه‌پذیری نمونه‌های فیلم پلی وینیل الکل[4] (روسو و همکاران[5]، ۲۰۰٤)، کوپلی استرها[6] (وو و همکاران[7]، ۲۰۱۵) و پلی استر آمید[8] (ریزارلی و همکاران[9]، ۲۰۱۵) در خاک تحت شرایط کنترل‌شده بررسی شده است.

باید در نظر داشت که تجزیه زیستی از نظر شماتیک یک فرآیند سه مرحله‌ای است:

- در مرحله اول، زنجیره‌های ماکرومولکولی به مونومرها و الیگومرها تبدیل می‌شوند.
- در مرحله دوم، مونومرها و الیگومرها به‌عنوان زیست‌توده گرفته می‌شوند.
- در مرحله سوم، تنفس زیست‌توده در آنجا O2 را مصرف می‌کند و CO2 و H2O (در شرایط هوازی) تولید می‌کند. اندازه‌گیری مصرف مواد پلاستیکی اجازه نمی‌دهد تا مشخص شود آیا فرآیند واقعاً تکمیل شده است یا مثلاً از

1. Brodhagen, Peyron, Miles & Inglis
2. Pyrolysis-Gas Chromatography-Mass Spectrometry
3. Rizzarelli, Rapisarda, Perna, Mirabella, La Carta, Puglisi & Valenti
4. Poly (vinyl alcohol)
5. Russo, Giuliani, Immirzi, Malinconico & Romano
6. copolyesters
7. Wu, Wen, Zhou, Zhou, Yu, Cui,... & Cao
8. Poly (ester amide)
9. Rizzarelli, Cirica, Pastorelli, Puglisi & Valenti

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

پلیمریزاسیون جلوگیری کرده است. در نتیجه، تمام روش‌های استاندارد شده برای تعیین تجزیه زیستی بر روی اندازه‌گیری تنفس متمرکز شده‌اند.

۹-۲-۳. کنترل فرسایش خاک

پلیمرها معمولاً در کاربردهای کنترل فرسایش برای کاهش سرعت و میزان فرسایش ذرات خاک توسط باد، آب یا سایر عوامل محیطی استفاده می‌شوند. فرسایش می‌تواند اثرات منفی قابل توجهی بر محیط‌زیست ازجمله: آلودگی آب، از دست دادن خاک و تخریب زیستگاه داشته باشد. انواع پلیمرهای مورد استفاده در کنترل فرسایش به شرح زیر هستند:

الف) پلی آکریل آمید

PAM یا پلی آکریل آمید یک پلیمر محلول در آب است که معمولاً در کاربردهای کنترل فرسایش استفاده می‌شود. با افزایش پایداری خاک، کاهش پوسته‌شدن خاک و افزایش حفظ آب خاک، کنترل فرسایش را بهبود می‌بخشد (گرین و همکاران،۲۰۰٤؛ سپسکاه و بازرشن، ۲۰۰٦).

ب) پلیمرهای زیستی

پلیمرهای زیستی مانند صمغ گوار و صمغ زانتان از منابع طبیعی مشتق شده و به دلیل زیست تخریب‌پذیری و اثرات زیست‌محیطی کم به‌طور فزاینده‌ای در کاربردهای کنترل فرسایش مورد استفاده قرار می گیرند (چانگ و همکاران، ۲۰۲۰).

ج) پلیمرهای مصنوعی

از پلیمرهای مصنوعی مانند پلی وینیل الکل و پلی اتیلن اکسید در کاربردهای کنترل فرسایش استفاده می شود (الماجد و همکاران[1]، ۲۰۲۲).

۱۰-۲-۳. حذف آلاینده‌های سمی از آب و خاک

اجرای کشاورزی فشرده منجر به تکنیک‌هایی شده است که با استفاده گسترده از مواد شیمیایی، تنها برای افزایش سود و بهره‌وری ترکیب می‌شوند. با توجه به این واقعیت، روزانه مقدار زیادی از آلاینده‌های سمی آلی و معدنی در خاک، رودخانه‌ها و آب‌های

1. Almajed, Lemboye & Moghal

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

زیرزمینی رسوب می‌کنند. چنین مشکلاتی همراه با یون‌های فلزی تهدید کننده هستند؛ زیرا این یون‌ها تجمعی هستند و به‌طور طبیعی در محیط تجزیه نمی‌شوند. از این‌رو، سمیت آنها می‌تواند آسیب‌های محیط زیستی شدیدی را به همراه داشته باشد که برای انسان، حیوانات، حشرات و... از طریق مصرف آب و یا غذای آلوده مضر باشد (شمینگ و همکاران[1]، ۲۰۱۳).

یکی از روش‌های بازیابی مناطق آلوده، جذب بیولوژیکی پلیمری است: جذب زیستی یک ویژگی بیولوژیکی از بیومس میکروبی است که برای اتصال فلزات سنگین حتی از محلول‌های بسیار رقیق به‌کار گرفته شده است (رانگابشیم و همکاران[2]، ۲۰۱٤). یون‌های فلزی به دلیل میل ترکیبی شیمیایی با گروه عاملی خاص، بر روی سطح مواد پلیمری جذب می‌شوند (دمیرباس[3]، ۲۰۰۸).

پلی‌ساکاریدها مانند سلولز، کیتین، کیتوزان و اگزوبیوپلیمرها گروهی از پلیمرها هستند که به دلیل یونیزاسیون اسید کربوکسیلیک، الکل، آمین و گروه‌های عاملی آمیدی برای پیوند یونی، معمولاً جهت جذب فلز استفاده می‌شوند (وان نگاه و همکاران[4]، ۲۰۱۱). علاوه‌بر این، فیبر طبیعی استخراج شده از باگاس نیشکر، فیبر نارگیل سبز و الیاف بامبو نیز به‌عنوان جاذب زیستی استفاده شده است. مزیت اصلی این مواد این است که عموماً بقایای صنعتی و یا کشاورزی، کم هزینه و به راحتی قابل بازیابی هستند. چنین الیاف خام عمدتاً از سلولز و همی‌سلولز تشکیل شده‌اند و دارای گروه‌های اسیدی هستند که مسئول جذب یون‌های فلزی هستند (پیتول-فیلهو[5]، ۲۰۱۱).

«پال» و «پائول» استفاده از لایه‌های اگزوپلیمری را برای فرآیند اصلاح آب آلوده آزمایش کردند (پال و پائول[6]، ۲۰۰۸). اگزوپلیمرها مواد خارج سلولی هستند که از

1. Zhiming, Zhanbin, Ke & Entong
2. Rangabhashiyam, Anu, Giri Nandagopal & Selvaraju
3. Demirbas
4. Wan Ngah, Teong & Hanafiah
5. Pitol-Filho
6. Pal & Paul

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

ریزجانداران به شکل بیوفیلم منشأ می‌گیرند و قادر به جذب یون‌های فلزی از طریق فعل و انفعالات الکترواستاتیکی هستند. نتایج آن‌ها نشان داد که فلزات روی، مس، کروم، کادمیوم، کبالت و نیکل به بهترین نحو جذب شدند. در بین موادی که به‌عنوان جاذب زیستی استفاده می‌شوند، سلولز متداول‌ترین ماده جداکننده یون فلزی است؛ زیرا به دلیل وجود گروه‌های هیدروکسیل سطحی فراوان می‌توانند با داشتن گروه‌های قطبی یا یونیزاسیون بیشتر برای تبادل یونی جهت آلودگی‌زدایی آب، عامل‌دار شوند.

۱۱-۲-۳. بسته‌بندی محصولات

توری‌ها برای بسته‌بندی میوه‌ها و سبزیجات معمولاً از فیلم‌های پلی‌اتیلن با چگالی بالا[1] (HDPE) یا ترکیبی از پلی اتیلن‌ها[2] (Pes) ساخته می‌شوند که به برش‌های کوچک بریده‌شده و سپس به صورت سرد کشیده می‌شوند. تا به امروز، تولید فیلم‌های پلیمری بر پلی اولفین‌ها، متکی است و ویژگی‌های مکانیکی اصلی، سفتی و ازدیاد طول در هنگام شکست است. علاوه‌بر این، یک ویژگی اساسی جوش‌پذیری است که تنها با استفاده از *HDPE* نمی‌توان به آن دست یافت. این مشکل با مخلوط‌کردن آن با پلی‌اتیلن با چگالی کم[3] (LDPE) یا متالوسن[4] (M-PE) برطرف می‌شود که پردازش را بسیار آسان‌تر می‌کند.

از طرف دیگر، استفاده زیاد از پلاستیک در صنعت بسته‌بندی نگرانی‌های محیط زیستی را افزایش داده است. بنابراین، علاقه به استفاده از پلیمرهای زیست تخریب‌پذیر برای جایگزینی پلیمرهای معمولی افزایش یافته است (زولو و لانس[5]، ۲۰۰۹).

پلی اسید لاکتیک[6] (PLA) یک پلیمر ترموپلاستیک، زیست تخریب‌پذیر و زیست سازگار است که می‌تواند از منابع تجدیدپذیر تولید شود. *PLA* به داشتن چقرمگی (توانایی یک ماده در جذب انرژی و تغییر شکل خمیری قبل از وقوع شکست) کم در دمای اتاق و

1. High-Density Poly Ethylene
2. Poly Ethylenes
3. Low-Density Poly Ethylene
4. Metallocene- Poly Ethylene
5. Zullo and lannace
6. Poly (Lactic Acid)

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

مقاومت ذوب پایین در مقایسه با پلیمرهای معمولی شناخته شده است (التری و همکاران[1]، ۲۰۱٤).

کوپلیمریزاسیون، افزودن نرم‌کننده‌ها و اختلاط با پلیمرهای دیگر، برخی از راه‌های اصلی برای دستیابی به بهبود خواص *PLA* هستند (ژائو و همکاران[2]، ۲۰۱۰) پلیمرهایی مانند: پلی بوتیلن-سوکسینات-کوآدیپات[3] (PBSA) (لی و لی[4]، ۲۰۰۵)، پلی بوتیلن سوکسینات[5] (PBS) (باتیا و همکاران[6]، ۲۰۰۷)، پلی بوتیل آکریلات[7] (PBA) (منگ و همکاران[8]، ۲۰۱۲) و پلی بوتیلن-آدیپات-کو-ترفتالات[9] (PBAT) (مثوراج و همکاران[10]، ۲۰۱٤) به منظور بهبود خواص مکانیکی *PLA*، عمدتاً برای افزایش چقرمگی آن مورد مطالعه قرار گرفته است. با وجود این مسائل، هزینه تولید کاربرد در مقیاس بزرگ نیز آن‌ها را محدود می‌کند. برای غلبه بر این مشکل، می‌توان مخلوط‌های زیست تخریب‌پذیر را با تقویت‌کننده‌های کم‌هزینه مانند الیاف طبیعی و مواد معدنی متداول آماده کرد، در نتیجه هزینه نهایی را کاهش داده و بر خواص ماتریس تأثیر مثبت می‌گذارد (ایمسینسوگان و همکاران[11]، ۲۰۱۳).

۱۲-۲-۳. سیستم‌های تحویل نانو

نانومواد مبتنی بر بیوپلیمرهای مشتق‌شده از طبیعت به دلیل کاربردهای بالقوه خود در هر دو بخش غذا و کشاورزی به دلیل خواص مفید و همچنین توانایی پایدار با به حداقل رساندن اثرات محیط زیستی توجه ویژه‌ای را به خود جلب می‌کنند. محدودیت فعلی که

1. Al-Itry, Lamnawar & Maazouz
2. Zhao, Liu, Wu & Ren
3. Poly (Butylene-Succinate-co-Adipate)
4. Lee and Lee
5. Poly (Butylene Succinate)
6. Bhatia, Gupta, Bhattacharya & Choi
7. Poly (Butyl Acrylate)
8. Meng, Deng, Liu, Wu, & Yang
9. Poly (Butylene-Adipate-co-Terephthalate)
10. Muthuraj, Misra & Mohanty
11. Teamsinsungvon, Ruksakulpiwat & Jarukumjorn

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

نانومواد معدنی مانند TiO2، ZnO، SiO2 و نانومواد آلی مانند نانوساختارهای کربنی با آن مواجه می‌شوند، فقدان اطلاعات قوی در مورد سمیت آن‌ها است (هی و همکاران[1]، ۲۰۱۹). این امر، همراه با فقدان مقررات و قانون‌گذاری مناسب، اکنون تمرکز را به نانوذرات پلیمری مشتق شده از طبیعت به دلیل خواص سمی زیست سازگار آن‌ها معطوف کرده است.

کشاورزی مدرن به‌دنبال جایگزین‌هایی برای استفاده از مواد شیمیایی کشاورزی از طریق فناوری نانو سبز با نانومواد تجدیدپذیر برای اجرای کشاورزی دقیق است که هدف آن افزایش بهره‌وری پایدار با حداقل منابع است (فراستو و همکاران[2]، ۲۰۱۶). دو زمینه اصلی که نانوتکنولوژی می‌تواند به فرهنگ کشاورزی کمک کند؛ «بهبود عملکرد محصول» و «افزایش کارایی استفاده از منابع» عمدتاً از طریق کاهش اتلاف بیش از حد است. کودهای مورد استفاده در حال حاضر کمتر از ۵۰ درصد راندمان مصرف دارند و تنها ۴۵ درصد فسفر و ۳۰ تا ۴۰ درصد نیتروژن از کودهای مصرفی جذب می‌شود (سو و همکاران[3]، ۲۰۱۹).

نانو ذرات پلیمری مشتق‌شده از طبیعت می‌توانند در کاربردهای مختلفی از جمله نانو علف‌کش‌ها، نانو آشکارسازها و نانو کودها برای حل چالش‌های متعارف کشاورزی از جمله آلودگی‌های محیطی و نگرانی‌های مربوط به سلامت انسان مورد استفاده قرار گیرند. به‌عنوان مثال، نانوحامل‌ها برای حمل و تحویل آفت‌کش‌ها در نمایه‌ای کنترل‌شده‌تر و آهسته‌تر برای دستیابی به «کشاورزی دقیق» استفاده می‌شوند که فقط تولیدات محصول را بدون تأثیر بر آب و خاک هدف قرار می‌دهد (دوهان و همکاران[4]، ۲۰۱۷). همچنین یک مطالعه میدانی با استفاده از نانو کود مبتنی بر هیدروکسی آپاتیت[5] (HA) در مزارع برنج انجام شد و افزایش عملکرد را در مقایسه با کود اوره معمولی نشان داد؛ به‌گونه‌ای که تنها

1. He, Fu, Aker & Hwang
2. Fraceto, Grillo, de Medeiros, Scognamiglio, Rea & Bartolucci
3. Su, Ashworth, Kim, Adeleye, Rolshausen, Roper, White & Jassby
4. Duhan, Kumar, Kumar, Kaur, Nehra & Duhan
5. Hydroxy Apatite

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

۵۰ درصد از کود مورد استفاده در تیمار مرسوم را استفاده کرد (کوتگودا و همکاران[1]، ۲۰۱۷).

مطالعات گزارش شده نشان دهنده مزایای برتر نانو فرمولاسیون‌ها در به‌حداقل رساندن غلظت‌ها و مقادیر علف‌کش یا آفت‌کش مورد نیاز با ارائه یک سیستم تحویل هدفمندتر و دقیق‌تر با کاهش اثرات نامطلوب محیط زیستی است. عملکردهای نانو مواد، خواص آن‌ها، فعل و انفعالات فیزیولوژیکی (فارماکوکینتیک[2] و فارماکودینامیک[3])، سمیت و برهمکنش با سایر مواد یا مواد شیمیایی در محیط‌های مختلف، قبل از تجاری‌سازی برای استفاده در بازار، ملاحظات مهمی هستند که باید مورد بررسی قرار گیرند.

٤. نتیجه‌گیری

در طول تاریخ همواره کشاورزی منبع غذا، سوخت و فیبر مورد نیاز برای بشر بوده است. فرصت‌ها از طریق رویدادها و روندهای خارج از مزرعه و انتقال آنها به مزرعه به‌وجود آمده‌اند و بر الگوهای تولید محصولات کشاورزی و استفاده از امکانات تأثیر گذاشته است. تحقیقات متعددی بهبود عملکرد گیاهان مختلف را از طریق بهبود شرایط محیطی محصولات کشاورزی نشان می‌دهند. از روش‌های مورد استفاده در کشاورزی جدید جهت حصول نتیجه مطلوب در تولید محصولات و بهبود شرایط محیطی، استفاده از پلیمرها می‌باشد. پلیمرها از منظر رفتار خود، ازجمله؛ تأمین آب و مواد غذایی، بهبود شرایط خاک برای رشد گیاه، جلوگیری از اثرات نامطلوب پاتوژنها، ایجاد محیط مناسب برای گیاه از طریق پوشش بذر و... شرایط مناسبی را برای کاهش برخی از تنش‌های محیطی، افزایش رشد و تولید محصولات کشاورزی ایجاد کرده‌اند.

1.Kottegoda, Sandaruwan, Priyadarshana, Siriwardhana, Rathnayake, Berugoda Arachchige, Kumarasinghe, dahanayake, Karunaratne & Amaratunga
2. Pharmacokinetics
3. Pharmacodynamics

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

از طرفی دیگر، استفاده گسترده از آنها منجر به ایجاد نگرانی‌هایی در مورد آلودگی خاک و آب شده است؛ به‌طوری‌که در کشاورزی و سیستم‌های تصفیه آب می‌تواند اثرات مضری بر محیط‌زیست و سلامت انسان داشته باشد.

پلیمرهای زیست تخریب‌پذیر کاربردهای زیادی در صنایع مختلف دارند و نسبت به پلیمرهای سنتی، دوست‌دار محیط زیست هستند. به‌دلیل سازگاری با محیط زیست ممکن است آنها به یک ابزار مهم در کاهش زباله‌های پلاستیکی و ارتقای پایداری در کشاورزی تبدیل شوند.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

منابع

الف- فارسی

- خرمدل، سرور؛ قشم، رحمت‌الله؛ امین‌غفوری، افسانه؛ و اسماعیل‌پور، بهروز (۱۳۹۲). «ارزیابی اثر بافت خاک و سطوح پلیمر سوپرجاذب بر خصوصیات زراعی و عملکرد زعفران»، ***فصلنامه پژوهش‌های زعفران***، ۱ (۲)، ۱۲۰-۱۳۵.
- قوشچی فرشاد (۱۳۹٤). «بررسی امکان کاهش خسارت ناشی از تنش قطع آبیاری بر ویژگی‌های فیزیولوژیک و کیفیت ذرت دانه‌ای با کاربرد پلیمر سوپر جاذب»، ***فصلنامه فیزیولوژی گیاهان زراعی***، ۷ (۲۷)، ۸۵-۹٤.
- یوسفی‌فرد، یداله؛ عصاره، علی؛ و منوچهر، کلهر (۱۳۹۰). «تاثیر استفاده از سوپر جاذب بر عملکرد و اجزا عملکرد ذرت دانه‌ای سینگل کراس ۷۰٤ در شرایط آب‌وهوایی لرستان»، ***فصلنامه علوم و مهندسی آب***، ۱ (۳)، ۷-۱٦.

ب- انگلیسی

- Abd El-Rehim, H. A. (2006). “Characterization and possible agricultural application of polyacrylamide/sodium alginate crosslinked hydrogels prepared by ionizing radiation”, ***Journal of Applied Polymer Science***, 101 (6), 3572-3580.
- Abdallah, A. M. (2019). “The effect of hydrogel particle size on water retention properties and availability under water stress”, ***International soil and water conservation research***, 7 (3), 275-285.
- Ahmed, Enas M. (2015). “Hydrogel: Preparation, Characterization, and Applications: A Review”, ***Journal of Advanced Research***, 6 (2), 105–21.
- Akhter, J., Mahmood, K., Malik, K. A., Mardan, A., Ahmad, M., & Iqbal, M. M. (2004). “Effects of hydrogel amendment on water storage of sandy loam and loam soils and seedling growth of barley, wheat and chickpea”, ***Plant Soil and Environment***, 50 (10), 463-469.
- Al-Itry, R., Lamnawar, K., & Maazouz, A. (2014). “Reactive extrusion of PLA, PBAT with a multi-functional epoxide: Physico-chemical and rheological properties”, ***European Polymer Journal***, (58), 90-102.
- Almajed, A., Lemboye, K., & Moghal, A. A. B. (2022). “A Critical Review on the Feasibility of Synthetic Polymers Inclusion in Enhancing the Geotechnical Behavior of Soils”, ***Polymers***, 14 (22), 5004; https://doi.org/10.3390/polym14225004.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

- Ashraf, M., & Foolad, M. R. (2005). "Pre-sowing seed treatment-A shotgun approach to improve germination, plant growth, and crop yield under saline and non-saline conditions", ***Advances in agronomy***, (88), 223-271.
- Azeem, B., KuShaari, K., Man, Z. B., Basit, A., & Thanh, T. H. (2014). "Review on materials & methods to produce controlled release coated urea fertilizer", ***Journal of controlled release***, (181), 11-21.
- Bearce, B. C., & McCollum, R. W. (1977). "A comparison of peat-lite and noncomposted hardwood-bark mixes for use in pot and bedding-plant production and the effects of a new hydrogel soil amendment on their performance", ***Florists' Review***, 21-23: 66, At: https://scholar.google.com/scholar_lookup?hl=en&volume=.
- Bhatia, A., Gupta, R., Bhattacharya, S., & Choi, H. (2007). "Compatibility of biodegradable poly (lactic acid) (PLA) and poly (butylene succinate) (PBS) blends for packaging application", ***Korea-Australia rheology journal***, 19 (3), 125-131.
- Briassoulis, D., Babou, E., Hiskakis, M., Scarascia, G., Picuno, P., Guarde, D., & Dejean, C. (2013). "Review, mapping and analysis of the agricultural plastic waste generation and consolidation in Europe", ***Waste Management & Research***, 31 (12), 1262-1278.
- Brodhagen, M., Peyron, M., Miles, C., & Inglis, D. A. (2015). "Biodegradable plastic agricultural mulches and key features of microbial degradation", ***Applied Microbiology and Biotechnology***, (99), 1039-1056.
- Chang L, Xu L, Liu Y, Qiu D. (2021). "Superabsorbent polymers used for agricultural water retention", ***Polym Test***, (94), 107021, At: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0142941820322509?via%3Dihub.
- Chang, I., Lee, M., Tran, A. T. P., Lee, S., Kwon, Y.-M., Im, J., & Cho, G.-C. (2020). "Review on biopolymer-based soil treatment (BPST) technology in geotechnical engineering practices", ***Transportation Geotechnics***, (24), 100385.
- Chevillard, A., Angellier-Coussy, H., Guillard, V., Gontard, N., & Gastaldi, E. (2012). "Controlling pesticide release via structuring agropolymer and nanoclays based materials", ***Journal of hazardous materials***, (205), 32-39.
- Dehkordi, D. (2018). "Effect of superabsorbent polymer on soil and plants on steep surfaces", ***Water and Environment Journal***, 32 (2), 158-163.
- Demirbas, A. (2008). "Heavy metal adsorption onto agro-based waste materials: a review", ***Journal of hazardous materials***, 157 (2-3), 220-229.
- Duhan, J. S., Kumar, R., Kumar, N., Kaur, P., Nehra, K., & Duhan, S. (2017). "Nanotechnology: The new perspective in precision agriculture", ***Biotechnology Reports***, (15), 11-23.
- Ekebafe LO, Ogbeifun DE, Okieimen FE. (2011). "Polymer applications in agriculture", ***Biokemistri***, 23 (2), 81–89.
- Elshafie, H. S., Nuzzaci, M., Logozzo, G., Gioia, T., & Camele, I. (2020). "Biological investigations of hydrogel formulations based bioactive natural

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

agents against some common phytopathogens of Phaseolus vulgaris L. and seed germination", ***Journal of Biological Research***, 93 (2), 114-122.

- Eneji, A. E., Islam, R., An, P., & Amalu, U. C. (2013). Nitrate retention and physiological adjustment of maize to soil amendment with superabsorbent polymers. Journal of Cleaner Production, 52, 474-480.
- Filho, R. A., Gondim, F. A., & Costa, M. C. G. (2018). "Seedling growth of tree species under doses of hydrogel and two levels of luminosity", ***Revista Árvore***, (42), e420112.
- Flanagan, D.C., Chaudhari, K., Norton, L.D. (2002). "Polyacrylamide soil amendment effects on runoff and sediment yield on steep slopes: part I. Simulated rainfall conditions", ***Transactions of the American Society of Agricultural and Biological Engineers***, 45 (5), 1327–1337.
- Fraceto, L. F., Grillo, R., de Medeiros, G. A., Scognamiglio, V., Rea, G., & Bartolucci, C. (2016). "Nanotechnology in agriculture: which innovation potential does it have?", ***Frontiers in Environmental Science***, (4) 20, https://doi.org/10.3389/fenvs.2016.00020.
- Gokavi, N., Mote, K., Mukharib, D. S., Manjunath, A. N., & Raghuramulu, Y. (2018). "Performance of hydrogel on seed germination and growth of young coffee seedlings in nursery", ***Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry***, 7 (3), 1364-1366.
- Gontard, N., Sonesson, U., Birkved, M., Majone, M., Bolzonella, D., Celli, A., ... & Sebok, A. (2018). "A research challenge vision regarding management of agricultural waste in a circular bio-based economy", ***Critical reviews in environmental science and technology***, 48 (6), 614-654.
- Green, J. M., & Beestman, G. B. (2007). "Recently patented and commercialized formulation and adjuvant technology", ***Crop Protection***, 26 (3), 320-327.
- Green, V.S., Stott, D.E., Graveel, J.G., Norton, L.D., (2004). "Stability analysis of soil aggregates treated with anionic polyacrylamides of different molecular formulations", ***Soil Science***, (169), 573–581
- Guilherme, M. R., Aouada, F. A., Fajardo, A. R., Martins, A. F., Paulino, A. T., Davi, M. F., ... & Muniz, E. C. (2015). "Superabsorbent hydrogels based on polysaccharides for application in agriculture as soil conditioner and nutrient carrier: A review", ***European Polymer Journal***, (72), 365-385.
- Han, Y. G., Yang, P. L., Luo, Y. P., Ren, S. M., Zhang, L. X., & Xu, L. (2010). "Porosity change model for watered super absorbent polymer-treated soil", ***Environmental Earth Sciences***, (61), 1197-1205.
- Hayat, R. A. (2004). "Water absorption by synthetic polymer (Aquasorb) and its effect on soilproperties and tomato yield", ***International Journal of Agriculture and Biology (Pakistan)***, 6 (6), At: https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=en&user=KqEDek4AAAAJ&citation_for_view=KqEDek4AAAAJ:QIV2ME.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

- He, X., Fu, P., Aker, W. G., & Hwang, H. M. (2018). "Toxicity of engineered nanomaterials mediated by nano–bio–eco interactions", ***Journal of Environmental Science and Health***, Part C, 36 (1), 21-42.
- Hu, X., Liu, L.Y., Li, S.J., Cai, Q.G., Lu, Y.L., Guo, J.R. (2012). "Development of soil crusts under simulated rainfall and crust formation on a Loess soil as influenced by polyacrylamide", ***Pedosphere***, 22 (3), 415–424.
- Huettermann, A., Orikiriza, L. J., & Agaba, H. (2009). "Application of superabsorbent polymers for improving the ecological chemistry of degraded or polluted lands", ***CLEAN–Soil, Air, Water***, 37 (7), 517-526.
- Isabel, J.B.; Devi, P.R.; Balamurugan, A.; Hemananthan, E.; Kumar, V.S.; Suriya, S.B. (2019). "Encapsulation of Pseudomonas Fluorescens for a Slow Release Biofertilizer". ***ICAMIB-2019***; Sathyabama University: Chennai & India.
- Ismail, H., Irani, M., & Ahmad, Z. (2013). "Starch-based hydrogels: present status and applications", ***International Journal of Polymeric Materials and Polymeric Biomaterials***, 62 (7), 411-420.
- Konzen, E. R., Navroski, M. C., Friederichs, G., Ferrari, L. H., Pereira, M. D. O., & Felippe, D. (2017). "The use of hydrogel combined with appropriate substrate and fertilizer improve quality and growth performance of Mimosa scabrella Benth", ***seedlings. Cerne***, 23 (4), 473-482.
- Kottegoda, N., Sandaruwan, C., Priyadarshana, G., Siriwardhana, A., Rathnayake, U.A., Berugoda Arachchige, D.M., Kumarasinghe, A.R., dahanayake, D., Karunaratne, V., and Amaratunga, G.A.J. (2017). "Urea-hydroxyapatite nanohybrids for slow release of nitrogen", ***ACS Nano***, (11), 1214–1221.
- Koupai, J. A., Eslamian, S. S., & Kazemi, J. A. (2008). "Enhancing the available water content in unsaturated soil zone using hydrogel, to improve plant growth indices", ***Ecohydrology & Hydrobiology***, 8 (1), 67-75.
- Laxmi, S., Chanu, P. H., Rani, P., Rai, S., Prasad, S. K., & Singh, R. K. (2019). "Effect of hydrogel on soil moisture stress", ***Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry***, 8 (5S), 316-320.
- Lee, S. M., & Lee, J. W. (2005). "Characterization and processing of biodegradable polymer blends of poly (lactic acid) with poly (butylene succinate adipate)", ***Korea-Australia Rheology Journal***, 17 (2), 71-77.
- Melaj, M. A., & Daraio, M. E. (2014). "HPMC layered tablets modified with chitosan and xanthan as matrices for controlled- release fertilizers", ***Journal of Applied Polymer Science***, 131 (19), 40839.
- Meng, B., Deng, J., Liu, Q., Wu, Z., & Yang, W. (2012). "Transparent and ductile poly (lactic acid)/poly (butyl acrylate) (PBA) blends: structure and properties", ***European Polymer Journal***, 48 (1), 127-135.
- Muthuraj, R., Misra, M., & Mohanty, A. K. (2014). "Biodegradable Poly (butylene succinate) and Poly (butylene adipate-co-terephthalate) Blends:

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

Reactive Extrusion and Performance Evaluation". ***Journal of Polymers and the Environment***, (22), 336-349.

- Nunes, L. A., Silva, M. L., Gerber, J. Z., & Kalid, R. D. A. (2020). "Waste green coconut shells: Diagnosis of the disposal and applications for use in other products", ***Journal of Cleaner Production***, (255), 120169.
- Pal, A., & Paul, A. K. (2008). "Microbial extracellular polymeric substances: central elements in heavy metal bioremediation", ***Indian Journal of Microbiology***, 48 (1), 49-64. PMid:23100700. http://dx.doi.org/10.1007/s12088-008-0006-5.
- Pathak, V., & Ambrose, R. K. (2020). "Starch-based biodegradable hydrogel as seed coating for corn to improve early growth under water shortage", ***Journal of Applied Polymer Science***, 137 (14), 48523.
- Pattanaaik, S. K., Singh, B., Wangchu, L., Debnath, P., Hazarika, B. N., & Pandey, A. K. (2015). "Effect of hydrogel on water and nutrient management of Citrus limon", ***Int. J. Agric. Innov. Res***, (3), 1656-1659.
- Pereira, E. I., Giroto, A. S., Bortolin, A., Yamamoto, C. F., Marconcini, J. M., de Campos Bernardi, A. C., & Ribeiro, C. (2015). "Perspectives in nanocomposites for the slow and controlled-release of agrochemicals: fertilizers and pesticides". (pp. 241-265). In M. Rai, C. Ribeiro, L. Mattoso, & N. Duran (Eds.), ***Nanotechnologies in food and agriculture***. Minneapolis: Springer.
- Pérez de Luque, A., & Hermosín, M. C. (2013). "Nanotechnology and its use in agriculture". (pp. 383-398). In D.Bagchi (Ed.), ***Bio-nanotechnology: a revolution in food, biomedical and health sciences***. Oxford: Blackwell Publishing Ltd.
- Pieve, L. M., Guimarães, R. J., Assis, G. A., Amato, G. A. S., & Correa, J. M. (2013). "Use of water retention polymers during implementation of coffee plantations", ***Coffee Science***, 8 (3), 314-323.
- Pitol-Filho, L. (2011). "Aplicações sustentáveis de biomassa: novas perspectivas", ***Revista da UNIFEBE***, 1 (9), 100-109. Retrieved in 25 September 2016, from http://periodicos. unifebe.edu.br/index.php/revistael etronicadaunifebe/article/ view/64/53.
- Puoci, F., Iemma, F., Spizzirri, U. G., Cirillo, G., Curcio, M., & Picci, N. (2008). "Polymer in agriculture: a review", ***American Journal of Agricultural and Biological Sciences***, 3 (1), 299-314.
- Radchuk, V.; Borisjuk, L. (2014). "Physical, metabolic and developmental functions of the seed coat", ***Front. Plant Sci***, (5), 510.
- Rangabhashiyam, S., Anu, N., Giri Nandagopal, M. S., & Selvaraju, N. (2014). "Relevance of isotherm models in biosorption of pollutants by agricultural byproducts", ***Journal of Environmental Chemical Engineering***, 2 (1), 398-414.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

- Ritger, P. L., & Peppas, N. A. (1987). "A simple equation for description of solute release I. Fickian and non-fickian release from non-swellable devices in the form of slabs, spheres, cylinders or discs", ***Journal of controlled release***, 5 (1), 23-36.
- Rizzarelli, P., Cirica, M., Pastorelli, G., Puglisi, C., & Valenti, G. (2015). "Aliphatic poly (ester amide) s from sebacic acid and aminoalcohols of different chain length: Synthesis, characterization and soil burial degradation", ***Polymer Degradation and Stability***, (121), 90-99.
- Rizzarelli, P., Rapisarda, M., Perna, S., Mirabella, E. F., La Carta, S., Puglisi, C., & Valenti, G. (2016). "Determination of polyethylene in biodegradable polymer blends and in compostable carrier bags by Py-GC/MS and TGA", ***Journal of Analytical and Applied Pyrolysis***, (117), 72-81.
- Russo R., A. Giuliani, B. Immirzi, M. Malinconico and G. Romano, (2004). "Alginate/polyvinylalcohol blends for agricultural applications: Structureproperties correlation, mechanical properties and greenhouse effect evaluation", ***Macromol. Symp***, (218), 241-250
- Samchenko, Y., Ulberg, Z., & Korotych, O. (2011). "Multipurpose smart hydrogel systems". ***Advances in Colloid and Interface Science***, 168 (1-2), 247-262, PMid:21782148.
- Sarkar, B.; Basak, B.B.; Sarkar, S.; Mandal, S. (2017). ***Adaptive Soil Management: From Theory to Practices***. Springer: Berlin, Germany.
- Satyanarayana, K. G., Arizaga, G. G., & Wypych, F. (2009). "Biodegradable composites based on lignocellulosic fibers—An overview", ***Progress in polymer science***, 34 (9), 982-1021.
- Sepaskhah, A.R., Bazrafshan-JaHromi, A.R.. (2006). "Controlling runoff and erosion in sloping land with polyscrylamide under a rainfall simulator", ***Journal of Biosystems Engineering***, 93 (4), 469–474.
- Shah, A. A., Hasan, F., Hameed, A., & Ahmed, S. (2008). "Biological degradation of plastics: a comprehensive review", ***Biotechnology Advances***, 26 (3), 246-265. PMid:18337047.
- Shankar, Shiv, and Jong-Whan Rhim. (2016). "Polymer Nanocomposites for Food Packaging Applications". (pp.29–55). ***Functional and Physical Properties of Polymer Nanocomposites***, John Wiley & Sons, Ltd.
- Singh, B., Sharma, D. K., & Gupta, A. (2008). "In vitro release dynamics of thiram fungicide from starch and poly (methacrylic acid)-based hydrogels", ***Journal of hazardous materials***, 154 (1-3), 278-286.
- Siwek, P., Domagała-Świątkiewicz, I., Bucki, P., & Puchalski, M. (2019). "Biodegradable agroplastics in 21st century horticulture", ***Polimery***, 64 (7-8), 480-486.
- Sojka, R. E., & Entry, J. A. (2000). "Influence of polyacrylamide application to soil on movement of microorganisms in runoff water", ***Environmental pollution***, 108 (3), 405-412.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

- Stahl, J. D., Cameron, M. D., Haselbach, J., & Aust, S. D. (2000). "Biodegradation of superabsorbent polymers in soil". ***Environmental Science and Pollution Research International***, 7 (2), 83-88. PMid:19009427.
- Su, L. Q., Li, J. G., Xue, H., & Wang, X. F. (2017). "Super absorbent polymer seed coatings promote seed germination and seedling growth of Caragana korshinskii in drought", ***Journal of Zhejiang University***, Science. B, 18 (8), 696.
- Su, Y., Ashworth, V., Kim, C., Adeleye, A.S., Rolshausen, P., Roper, C., White, J., and Jassby, D. (2019). "Delivery, uptake, fate, and transport of engineered nanoparticles in plants: a critical review and data analysis", ***Environmental Science: Nano***, 8 (6), 2311–2331.
- Teamsinsungvon, A., Ruksakulpiwat, Y., & Jarukumjorn, K. (2013). "Preparation and characterization of poly (lactic acid)/poly (butylene adipate-co-terepthalate) blends and their composite", ***Polymer-Plastics Technology and Engineering***, 52 (13), 1362-1367.
- Tomášková, I., Svatoš, M., Macků, J., Vanická, H., Resnerová, K., Čepl, J., ...& Dohrenbusch, A. (2020). "Effect of different soil treatments with hydrogel on the performance of drought-sensitive and tolerant tree species in a semi-arid region", ***Forests***, 11 (2), 211.
- Trenkel, M. E. (1997). ***Controlled-release and stabilized fertilizers in agriculture***. (Vol. 11). Paris: International Fertilizer Industry Association.
- Trenkel, M. E. (2010). ***Slow- and controlled-release and stabilized fertilizers: an option for enhancing nutrient use efficiency in agriculture***. Paris: IFA.
- Ullah, F., Othman, M. B., Javed, F., Ahmad, Z., & Md Akil, H. (2015). "Classification, processing and application of hydrogels: a review". ***Materials Science and Engineering C***, (57), 414-433. PMid:26354282.
- Vox, G.; Viviana, R.; Blanco, I.; Scarascia, G. (2016). "Mapping of agriculture plastic waste", ***Agriculture and Agricultural Science Procedia***, (8), 583–591. https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2016.02.080.
- Wan Ngah, W. S., Teong, L. C., & Hanafiah, M. A. K. M. (2011). "Adsorption of dyes and heavy metal ions by chitosan composites: a review", ***Carbohydrate Polymers***, 83 (4), 1446- 1456.
- Wang W, Wang A. (2009). "Synthesis, swelling behaviors, and slow-release characteristics of a guar gum-g-poly (sodium acrylate)/sodium humate superabsorbent". ***Journal of Applied Polymer Science***, 112 (4), 2102– 2111.
- Watanabe, T., Ohtake, Y., Asabe, H., Murakami, N., & Furukawa, M. (2009). "Biodegradability and degrading microbes of low-density polyethylene", ***Journal of Applied Polymer Science***, 111 (1), 551-559.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

- Wei, Y., & Durian, D. J. (2014). "Rain water transport and storage in a model sandy soil with hydrogel particle additives", ***The European Physical Journal***, 37 (97), 1-11, https://doi.org/10.1140/epje/i2014-14097-x.
- Willenborg, C. J., Gulden, R. H., Johnson, E. N., & Shirtliffe, S. J. (2004). "Germination characteristics of polymer-coated canola (Brassica napus L.) seeds subjected to moisture stress at different temperatures", ***Agronomy journal***, 96 (3), 786-791.
- World Bank (2020). ***Agriculture and food. Overview 2020***. At: https://www.worldbank.org/en/topic/ agriculture/overview#1. Accessed 15 April 2020.
- Wu, H., Wen, B., Zhou, H., Zhou, J., Yu, Z., Cui, L., ... & Cao, F. (2015). "Synthesis and degradability of copolyesters of 2, 5-furandicarboxylic acid, lactic acid, and ethylene glycol", ***Polymer Degradation and Stability***, 121, 100-104, https://www.infona.pl/resource/bwmeta1.element.elsevier.
- Yang, L., Han, Y., Yang, P., Wang, C., Yang, S., Kuang, S., ... & Xiao, C. (2015). "Effects of superabsorbent polymers on infiltration and evaporation of soil moisture under point source drip irrigation", ***Irrigation and Drainage***, 64 (2), 275-282.
- Ye, H., Zhao, J. Q., & Zhang, Y. H. (2004). "Novel degradable superabsorbent materials of silicate/acrylic-based polymer hybrids", ***Journal of Applied Polymer Science***, 91(2), 936-940.
- Zhang, M., Zhang, F., Li, C., An, H., Wan, T., & Zhang, P. (2022). "Application of Chitosan and Its Derivative Polymers in Clinical Medicine and Agriculture", ***Polymers***, 14 (5), 958, At: https://doi.org/10.3390/polym14050958
- Zhao, P., Liu, W., Wu, Q., & Ren, J. (2010). "Preparation, mechanical, and thermal properties of biodegradable polyesters/poly (lactic acid) blends", ***Journal of Nanomaterials***, 1-6, 287082, doi:10.1155/2010/287082.
- Zhiming, Z., Zhanbin, H., Ke, T., & Entong, L. (2013). "The leaching research of environmental materials on Pb and Cd contaminated soil", (pp. 491-494). In" ***2013 the International Conference on Remote Sensing, Environment and Transportation Engineering (RSETE 2013)***, August, Atlantis Press.
- Zullo, R., & Iannace, S. (2009). "The effects of different starch sources and plasticizers on film blowing of thermoplastic starch: Correlation among process, elongational properties and macromolecular structure", ***Carbohydrate Polymers***, 77 (2), 376-383.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir