پژوهش و فناوری محیط زیست، ۱۴۰۲،(۱۴)۸، ۱-۱۸

پژوهش و فناوری محیط زیست

وبگاه نشریه:www.journal.eri.acecr.ir

پژوهشکده محیط زیست

شاپا الکترونیکی: ۲۶۷۶-۳۰۶۰

مروری بر سوپرجاذب‌های مورد استفاده در بخش کشاورزی و بررسی سنتز دو نوع جاذب با استفاده از منابع بازیافتی برای صرفه جویی در منابع آب

سیده بهاره عظیمی[1*]

۱- عضو هیات علمی گروه پژوهشی ارزیابی و مخاطرات محیط زیست، پژوهشکده محیط زیست و توسعه پایدار، سازمان حفاظت محیط زیست، تهران، ایران

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مروری

تاریخ دریافت:
۱۴۰۲/۰۲/۲۵

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۲/۰۷/۰۵

دسترسی آنلاین:
۱۴۰۲/۰۸/۰۸

کلید واژه‌ها:
سوپرجاذب‌ها،
کشاورزی،
هیدروکسی اتیل سلولز،
بایوچار

چکیده

آب یکی از مشکلات جهان امروز و صرفه‌جویی در مصرف آن ضروری است. امروزه، بسیاری از نقاط کره زمین با شرایط خشکسالی مواجه هستند. هدف از پژوهش حاضر بررسی سوپرجاذب‌ها و کاربرد آن در استفاده بهینه از آب در حوزه کشاورزی بود. با پیشرفت علم و فناوری، کاربرد سوپرجاذب‌های پلیمری در حوزه کشاورزی توسعه یافته است. در این مقاله، سوپر جاذب‌ها و کاربرد آن‌ها در حوزه کشاورزی مورد بررسی قرار گرفته و برخی از سوپر جاذب‌های طبیعی و مصنوعی مورد استفاده در این حوزه مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. هیدروکسی اتیل سلولز به‌عنوان یک سوپرجاذب طبیعی، دارای ویژگی عالی یک سوپر جاذب همچون زیست تخریب‌پذیر بودن، غیرسمی، قابلیت جذب بالای آب است و یکی از مشتقات سلولز می‌باشد که در موارد آبگیری، تصفیه فاضلاب، غشاهای الکترولیتی، داروسازی، آفت‌کش‌ها، خاک جایگزین در کشاورزی کاربردهای فراوان دارد. همچنین، سوپرجاذب‌های مصنوعی حاصل از بازیافت زباله‌ها با ظرفیت جذب بسیار عالی می‌تواند در نگهداری آب در کشاورزی به کار رود. یک سوپرجاذب نگهدارنده آب برای استفاده در حوزه کشاورزی، باید ویژگی‌هایی از قبیل قابلیت حفظ آب در خاک، مقاومت به شوری، قابلیت استفاده مجدد، تجزیه‌پذیری و مقرون به صرفه بودن را داشته باشد. که همه این ویژگی‌ها در سوپر جاذب‌های معرفی شده وجود دارد.

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: azimib@rcesd.ac.ir

Journal of Environmental Research and Technology

journal homepage: www.journal.eri.acecr.ir

Environmental Research institute

Online ISSN: 3060-2676

A review of the super-absorbents used in agriculture and the study of the synthesis of two types of adsorbents using recycled sources to save water resources

Seyedeh Bahareh Azimi[*1]

1- Department of Environment, Research Group of Environmental Assessment and Risk, Research Center for Environment and Sustainable Development (RCESD), Tehran, Iran

Article Info

Article type:
Review Article

Article history:
Received: 15/05/2023
Accepted: 27/09/2023
Available online: 30/10/2023

Keywords:
Superabsorbent,
Agriculture,
Hydroxyethylcellulose,
Biochar

Abstract

Water is one of the problems of today's world and it is necessary to conserve it. Today many parts of the world are facing drought conditions. The purpose of the current research is to investigate super-absorbents and its application in the optimal use of water in the field of agriculture. With the progress of science and technology, the application of polymeric super-absorbents has been developed in the field of agriculture. In this article, super-absorbents and their application in the field of agriculture have been investigated and some natural and artificial super-absorbents used in this field have been discussed and investigated. Hydroxyethyl cellulose has excellent characteristics of a superabsorbent such as being biodegradable, non-toxic, high water absorption, and is one of the derivatives of cellulose, which is used in water extraction, wastewater treatment, electrolytic membranes, pharmaceuticals, and pesticides. Also, artificial super-absorbents obtained from waste recycling with excellent absorption capacity can be used in water-retaining in agriculture. A water-retaining superabsorbent for use in agriculture must have characteristics such as water-retention in the soil, resistance to salinity, reusability, degradability, and affordability. All these parameters are existing in the introduced super absorbents.

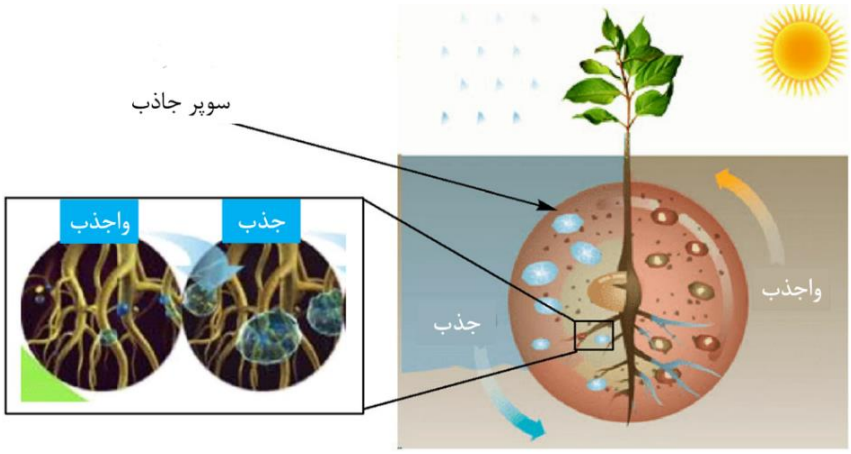
* Corresponding author E-mail address: azimib@rcesd.ac.ir

مقدمه

طبق محاسبات محققان، امروزه حدود دوسوم جمعیت جهان مشکل کم‌آبی دارند. بیشترین میزان کم‌آبی در آفریقا و خاورمیانه می‌باشد، جایی که رشد جمعیت بیشتر از هر جای دیگری است. آسیا ۶۰ درصد جمعیت دنیا را دارد در حالی که فقط ۳۶ درصد منابع آب شیرین دنیا را در اختیار دارد (Rijsberman, 2006). کمبود آب و خشکسالی باعث بیابان زایی شده است که توسعه پایدار کشاورزی و همچنین امنیت غذایی را نیز به چالش می‌کشد. بنابراین، ارتقای بهره‌وری از آب در کشاورزی از اهمیت بالایی برخوردار است. یکی از روش‌های موثر در این زمینه استفاده از سوپرجاذب‌های پلیمری می‌باشد (Wen et al, 2012). این سوپرجاذب‌های پلیمرهای ضمن برخورداری از سرعت و ظرفیت زیاد جذب آب، مشابه آب انبارهای مینیاتوری عمل کرده و در مواقع ضروری، ریشه به راحتی آب مورد نیاز خود را از طریق این مواد جذب می‌کند. مقدار آبی که در خاک ذخیره می‌شود، به ظرفیت آن بستگی دارد. سوپرجاذب‌ها ظرفیت نگهداری آب در خاک‌های سبک را افزایش داده و مشکل نفوذپذیری خاک‌های سنگین را نیز برطرف می‌کند. این سوپر جاذب‌ها، در کشاورزی و باغبانی، جنگل کاری، فضای سبز و نیز کنترل فرسایش خاک از جایگاه ویژه‌ای برخوردار هستند (Thombare et al, 2018, Souza et al. 2016, Guilherme et al. 2015). در شکل ۱ نحوه استفاده از سوپر جاذب‌ها نشان داده شده است.

شکل (۱) نحوه استفاده از سوپر جاذب‌ها (Lertsarawut et al. 2021)

سوپرجاذب‌های پلیمری به محض نیاز ریشه گیاه، آب را به سهولت در اختیار آن قرار می‌دهند. جذب سریع آب و حفظ آن، بازده جذب آب ناشی از بارندگی‌های پراکنده را بالا خواهد برد. مقدار این افزایش بستگی به شرایط فیزیکی خاک، آب و هوا و میزان سوپرجاذب‌های پلیمری در خاک، متفاوت است. با توجه به pH سوپرجاذب‌های پلیمری که بین ۷ تا ۷/۵ می‌باشد، اثر سوء بر خاک ندارد. علاوه بر نگهداری آب توسط سوپرجاذب‌های پلیمری، این ترکیبات به دلیل تغییر حجم مداوم میزان هوا را در خاک افزایش می‌دهد (souza et al. 2016, Thombare et al. 2018, Wei et al. 2016, Wen et al. 2012, Zhou et al. 2020). گروه‌های آبدوست در زنجیره سوپرجاذب‌ها به جذب آب تا صدهاو هزاران برابر جرم خود کمک می‌کنند. علاوه بر این، شبکه‌های سه‌بعدی با اتصالات شیمیایی یا فیزیکی، ظرفیت نگهداری آب قوی را حتی تحت فشارهای خاص تضمین می‌کنند (Guilherme et al. 2015). نحوه عملکرد سوپر جاذب‌ها در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل (۲) نحوه عملکرد سوپرجاذب‌ها Kaur ۲۰۲۱

سوپرجاذب‌ها بصورت پلیمرهای طبیعی و مصنوعی وجود دارند. سوپرجاذب‌های طبیعی، مانند سلولز، نشاسته و کیتوزان، تجزیه پذیر هستند، اما میزان جذب آب کمی دارند. سوپرجاذب‌های مبتنی بر پلیمرهای مصنوعی، مانند پلی اکریلیک اسید (PAA) و پلی آکریل آمید (PAM)، کم هزینه بوده، عمر طولانی و نرخ جذب آب بالا دارند اما عدم تخریب‌پذیری آن‌ها اثرات نامطلوبی بر روی محیط زیست دارد (Wei et al. 2016, Demitri et al. 2013). به منظور افزایش عملکرد سوپرجاذب‌ها، روش‌های مختلفی از جمله افزایش آب دوستی آنها و ساخت ساختارهای شبکه خاص، مانند شبکه پلیمری گسترش یافته، شبکه پلیمری نیمه توسعه یافته و شبکه کوپلیمری مورد بررسی قرار گرفته‌اند. علاوه بر بهبود راندمان مصرف آب در خاک، سوپرجاذب‌ها همچنین برای رهاسازی کنترل شده کودها نیزاستفاده می‌شوند (Tubert et al. 2018, Li et al. 2018, Joshi et al. 2020).

با توجه به روند روز افزون مشکلات ناشی از محدودیت‌های منابع آب و مشکلات مرتبط با امنیت غذایی از یک سو و طیف گسترده کاربرد مواد سوپرجاذب و قابلیت بهره‌گیری از این مواد در بهبود بهره‌وری آبی بخش کشاورزی، در این پژوهش ابعاد این موضوع مورد توجه قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

روش‌شناسی مدنظر به منظور انجام مطالعه حاضر، مبتنی بر روش تحقیق کیفی بوده و با بهره‌گیری از منابع علمی داخلی و بین المللی و اسناد مکتوب، سعی شد تا تحلیل محتوا صورت گیرد و ادبیات موضوع کلاس بندی و ابعاد آن مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. مولفه‌های مرتبط با موضوع شامل : مزایای استفاده از سوپرجاذب‌ها در کشاورزی، پارامترهای اساسی برای ارزیابی عملکرد سوپرجاذب‌ها، انواع سوپرجاذب‌های طبیعی، مصنوعی و ترکیبی می‌باشد. در آخر نیز روش تهیه یک سوپرجاذب طبیعی که به نوبه خود یکی از سوپرجاذب-های نوین در بخش کشاورزی می‌باشد و نیز تهیه سوپرجاذب از بازیافت زباله‌های پلاستیکی بررسی شده است.

یافته‌های پژوهش

➢ مزایای استفاده از سوپرجاذب‌ها در کشاورزی

بطور کلی مزایای استفاده از سوپرجاذب‌ها در بخش کشاورزی را در دسته‌های زیر می‌توان بیان نمود (Fernando et al. 2013, Lertsarawut et al. 2021, Ma and Wen 2018, Narayanan et al. 2018).

الف - صرفه جویی در مصرف آب (۵۰ تا ۷۰ درصد در مصرف آب صرفه جویی می‌شود)

ب - استفاده بهینه از کودها و سموم شیمیایی

ج - امکان کشت در مناطق خشک (بیابانی) و سطوح شیب دار

د- هوادهی بهتر خاک

ه - افزایش بازده محصول

و - حفظ و رساندن مواد مغذی به ریشه

ز - جلوگیری از متراکم شدن خاک

ح - افزایش نفوذ پذیری آب در خاک

ط - جلوگیری از فرسایش خاک

➢ ویژگی‌های یک سوپر جاذب مناسب

یک سوپر جاذب مناسب باید یکسری ویژگی‌های خاص خود را داشته باشد تا بتواند به عنوان یک سوپر جاذب در کشاورزی استفاده شود. در جدول زیر ویژگی‌های یک سوپر جاذب مناسب ارائه شده است (Zekry et al. 2020, Vundavalli et al. 2015, Kaur et al. 2021).

جدول (۱) ویژگی‌های سوپرجاذب

ردیف	پارامتر	نوع و مقدار
۱	ظاهر	آمورف
۲	سایز ذرات	۱۰۰-۲۰ مش (۴۲۰۰-۸۴۰ میکرون)، میکروگرانول
۳	pH	۷-۷/۵
۴	پایداری تا دمای ۵۰ درجه سانتی گراد	بله
۵	مقاومت در برابر اشعه UV	بله
۶	دمای کاری	۴۰-۵ درجه سانتی گراد
۷	حداقل عمر	۲ سال
۸	سایر ویژگی‌ها	• چندصد برابر وزن خود آب جذب کند • مواد مغذی را نیز بتواند در خود جذب کند • سرعت رشد و جوانه زنی گیاه را بهبود بخشد • زیست تخریب‌پذیری مناسب داشته باشد • قابلیت جذب مجدد آب داشته باشد • ارزان و غیر سمی باشد

➢ پارامترهای ارزیابی عملکرد سوپرجاذب‌ها

برای ارزیابی عملکرد سوپرجاذب‌ها دو پارامتر قابلیت جذب آب[1] و نگه‌داشت آب[2] مورد استفاده قرار می‌گیرد (Chang et al. 2021). به منظور ارزیابی میزان جذب آب توسط سوپرجاذب‌ها ابتدا نمونه‌های خشک وزن شده و سپس در یک شرایط فیزیکی و شیمیایی معین، در آب غوطه ور می‌شوند تا زمانی که متورم شوند. سپس نمونه‌های متورم شده از طریق توری فیلتر می‌شوند تا مایع اضافی خارج شود و مجددا وزن می‌شود. میزان جذب آب (Qeq) با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود (Fang et al. 2019) .

$$Qeq = (M-M_0)/M_0 \quad (۱)$$

[1]- Water absorbency
[2]- Water retention

M_0، وزن نمونه خشک و M وزن نمونه متورم می‌باشد.

همچنین، برای اندازه‌گیری پارامتر نگه‌داشت آب بوسیله‌ی سوپرجاذب‌ها، ابتدا نمونه‌های خشک وزن شده و در آب قرار گرفته تا متورم شوند. سپس نمونه‌های متورم اولیه که از طریق توری فیلتر شده‌اند، وزن شده و سپس خشک می‌شوند. سپس با گذشت زمان نمونه‌ها وزن شده و این روند تا زمانی که وزن تغییری نداشته باشد ادامه می‌یابد. خواص نگهداری آب با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود (Fang et al. 2019):

$$\text{Water retention (\%)} = (Wt - Wd)/(Wi - Wd) \times 100\% \quad (۲)$$

W_d وزن نمونه خشک و M_t وزن نمونه متورم است.

➢ انواع سوپرجاذب‌ها

همانطور که گفته شد، بطور کلی سوپرجاذب‌ها به دو دسته‌ی طبیعی و مصنوعی تقسیم می‌شوند. در مواردی نیز بر اساس نیاز این مواد بصورت ترکیبی استفاده می‌شود (Mechtcherine et al. 2021, Ma amd Wen 2020, Behera et al. 2020).

- **سوپرجاذب‌های طبیعی**

سوپرجاذب‌های طبیعی در طبیعت تولید شده و از منابع طبیعی تهیه می‌شوند. این جاذب‌ها از نظر تجزیه پذیری ذاتی، سازگاری با محیط زیست و تجدید پذیری، سودمند هستند (Xu et al. 2019). استخراج این سوپرجاذب‌ها هزینه بر بوده و این موضوع هزینه تهیه آنها را نسبت به برخی سوپرجاذب‌های مصنوعی بیشتر می‌کند (Behera et al. 2020, Chang et al. 2021, Jahan et al. 2019, Rajakumar, & Sankar 2016, Xu et al. 2019). برخی از پلیمرهای طبیعی در ادامه بررسی شده است.

یکی از سوپرجاذب‌های طبیعی سلولز می‌باشد. با توجه به تعداد زیاد گروه‌های هیدروکسیل در زنجیره، سلولز می‌تواند به راحتی برای نگهداری آب جهت کاربردهای کشاورزی مورد بهره برداری قرار گیرد (Rojas et al. 2016, Marliere et al. 2012). جذب آب در سلولز به دلیل ساختار کریستالی بسیار متراکم آن بسیار کم می‌باشد. از بین بردن ساختار کریستالی متراکم سلولز از طریق اصلاح شیمیایی مانند اتریفیکاسیون، استری شدن و سولفوناسیون گروه‌های هیدروکسیل، یک روش رایج برای افزایش جذب آب است (Wang et al. 2017).

نشاسته نیز به عنوان یک سوپرجاذب طبیعی به عنوان عامل نگهدارنده آب استفاده می‌شود. نشاسته از نظر آب دوستی، تجزیه پذیری و سازگاری با محیط زیست مناسب بوده، اما از نظر جذب آب و پایداری مکانیکی و تحمل نمک بسیار ضعیف است (Zhao et al. 2019, Meng, & Ye, 2017).

یکی دیگر از سوپرجاذب‌های طبیعی، کیتوزان یک پلی ساکارید زنجیره‌ای خطی است که از استیل زدایی کیتین به دست می‌آید که در اسکلت بیرونی سخت پوستان و دیواره سلولی قارچ‌ها فراوان است. طیف وسیعی از خواص ذاتی، مانند زیست سازگاری عالی، زیست تخریب پذیری و تکرارپذیری، کیتوزان را به ماده‌ای بسیار جذاب برای عوامل نگهدارنده آب تبدیل می‌کند. با این حال، کیتوزان جذب آب بسیار کمی دارد. بهره مندی از تعداد زیادی از گروه‌های آمینه و هیدروکسیل روی کیتوزان، فرصتی برای بهبود جذب آب کیتوزان از طریق اصلاح شیمیایی فراهم می‌کند (Anitha et al. 2014).

- **سوپرجاذب‌های مصنوعی**

این دسته شامل سوپرجاذب‌هایی هستند که از پلیمرهای مصنوعی مانند پلی آکریل آمید پلی اکریلیک اسید و ... ساخته شده‌اند. خواص جذب آب و حفظ آب، برتری آن‌ها نسبت به پلیمرهای طبیعی می‌باشد. پلیمرهای مصنوعی سال‌های زیادی پایدار بوده و در خاک تجزیه نمی‌شود و باعث آلودگی جدی خاک می‌شود. بنابراین، ترکیب سوپرجاذب‌های مصنوعی با پلیمرهای طبیعی می‌تواند رابطه متناقض جذب

و حفظ آب و زیست تخریب پذیری را متعادل کند (Elshafie, & Camele 2021, Prakash et al. 2021). برخی از سوپرجاذب‌های مصنوعی بطور خلاصه در ادامه بررسی شده است.

پلیمرهای پلی اکریلیک اسید و پلی آکریلات سدیم، پرمصرف‌ترین عوامل نگهداری آب هستند. با این وجود، اثربخشی آنها به دلیل مقاومت کم نمک، استحکام مکانیکی ضعیف و عدم تجزیه پذیری مختل می‌شود. افزودن خاک رس مانند کائولن، مونت موریلونیت و بنتونیت در افزایش جذب آب و افزایش عملکرد مکانیکی سوپرجاذب‌ها تاثیرگذار است (Zhang et al. 2017) .پلی آکریل آمید[3] جذب آب مشابه پلی اکریلک اسید دارد اما تحمل کم نمک و خواص مکانیکی ضعیف به شدت کاربرد آن را کمتر می‌کند.

رایج‌ترین سوپرجاذب در بازار کوپلیمر اکریلیک اسید و آکریل آمید است. این جاذب به عنوان یک جاذب آب در دسترس با ظرفیت نگهداری آب زیاد به طور گسترده در صنایع از جمله کشاورزی، پزشکی و بهداشت استفاده شده است (Li et al. 2017).

پلی وینیل الکل[4] یک پلیمر هیدروفیل مصنوعی با ظرفیت نگهداری آب متوسط است که می‌تواند با کمک آنزیم‌های باکتریایی تجزیه شود. به عنوان مثال تبخیر آب در خاکی که با محلول آبی ۳۰ درصد پلی وینیل الکل اسپری شد در مقایسه با آب بدون سوپر جاذب، ۱۳ درصد کمتر است (Song et al. 2019).

- **سایر دسته بندی سوپرجاذب‌ها**

یک دسته بندی دیگری که برای سوپر جاذب‌ها استفاده می‌شود، سوپر جاذب‌ها را به دو دسته محلول در آب و نامحلول در آب تقسیم بندی می‌کند. جاذب‌های نامحلول در آب به هنگام جذب آب یک ژل را تشکیل می‌دهند که توانایی جذب آب تا ۱۰۰۰ برابر جرم خود را دارند. جاذب‌های محلول در آب نیز که کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرند توانایی ذخیره کمتر آب از جاذب‌های محلول در آب را خواهند داشت (Bai et al. 2013).

هیدروژل‌ها به عنوان یک جاذب پلیمری، از بهترین سوپر جاذب‌های مورد استفاده در صنعت کشاورزی هستند. این نوع از جاذب‌های پلیمری علاوه بر اتصال زنجیره ای خطی با یکدیگر اتصال عرضی نیز برقرار می‌کنند و یک شبکه تقریباً سه بعدی را تشکیل می‌دهند. این ساختار سه بعدی نیز در حالت جذب و واجذب آب، حفظ می‌شود. هنگام برخورد آب با این شبکه، شبکه هیدروژل مانند اسمز معکوس عمل کرده و آب را به داخل هدایت می‌کند و در داخل شبکه خود ذخیره می‌کند. بنابراین هیدروژل‌ها در دسته پلیمرهای نامحلول در آب قرار می‌گیرند. شکل ۳ ظاهر یک هیدروژل را نشان می‌دهد. هیدروژل‌ها شامل سه گروه اصلی، کوپلیمرهای پیوند نشاسته، پلی آکریلات‌ها و کوپلیمرهای آکریل آمید-اکریلات می‌باشند (Prakash et al. 2021).

شکل (۳) شکل ظاهری هیدروژل (Prakash et al. 2021).

اتصال عرضی معمولاً توسط گروه‌هایی ایجاد می‌شود که دارای گروه‌های آب دوست زیادی باشد که در این صورت ظرفیت جذب آب بیشتر میشود. برای این اتصال معمولاً توسط سیتریک اسید، سدیم بورات، بوریک اسید، گلیوکسال، گلوتار آلدئید و غیره استفاده می‌شود. پیوند عرضی باعث افزایش خاصیت ارتجاعی، افزایش استحکام و افزایش مقاومت در برابر شرایط مختلف می‌شود (Prakash et al. 2021).

1- Polyacrylamide
2- Polyvinyl alcohol

➢ عوامل اثر گذار بر روی عملکرد جاذب‌ها

در ادامه عوامل موثر بر عملکرد جاذب‌ها که با کنترل آن می‌توان میزان جذب آب در جاذب‌ها را افزایش داد بررسی شده است.

- **نوع جاذب**

نوع ماده جاذبی که استفاده می‌شود به طور قابل توجهی بر روی میزان جذب اثر دارد به طور مثال از بین مواد جاذب، جاذب‌های هیدروژل مقدار قابل توجهی آب را به خود جذب می‌کنند. در میان هیدروژل‌ها نیز هیدروژلی که دارای ساختار شبکه ای از زنجیره‌های پلیمری باشد میزان جذب آب بالایی دارد. این ساختار به صورت زنجیره‌های پلیمری در کنار هم نمیباشد بلکه به صورت شبکه ای یکپارچه از پلیمرها را تشکیل میدهد(Huang et al. 2019).

- **اندازه ذرات جاذب**

اندازه ذرات تأثیر قابل توجهی بر روی میزان جذب آب و میزان تبادل هوا در ریشه خواهد داشت. اگر از ذرات درشت جاذب استفاده شود میزان جذب آب کاهش ولی تبادل هوا در ریشه افزایش می‌یابد. اگر از ذرات پودری استفاده شود میزان و زمان جذب افزایش ولی تبادل هوا در ریشه کاهش می‌یابد که به نوبه خود می‌تواند سبب کاهش رشد گیاه شود. بنابراین میزان مورد تایید و مناسب در منابع مختلف اندازه ذرات جذب ۴-۲ میلی متر گزارش شده است (Reddy et al. 2013).

- **اندازه ذرات خاک**

یوز و هکاران با مطالعه ارتباط بین میزان جذب آب و اندازه ذرات خاک رس متوجه شدند که با افزایش اندازه ذرات خاک رس میزان آب جذب شده افزایش میابد ولی مدت حفظ آب جذب شده کاهش میابد و هنگامی که از ذرات کوچکتر خاک رس استفاده شود میزان آب جذب شده کاهش ولی مدت حفظ آب افزایش میابد. با مطالعات بیشتر مشخص شده است که بهتر است خاک مورد استفاده شامل هردو ذرات کوچک و بزرگ باشد تا میزان جذب و حفظ آب به حداکثر مقدار خود برسد .(Uz et al ۲۰۰۸).

- **غلظت یون‌ها در آب**

جانسون و همکاران گزارش کرده‌اند که میزان جذب و حفظ آب با افزایش غلظت یون‌های حل شده در آب کاهش می‌یابد به همین منظور اختر و همکاران با تحقیق بر روی سرعت و میزان جذب آب بر روی یک جاذب به نتایج جالبی دست پیدا کردند. آنها دریافتند که با افزایش غلظت یون‌های موجود در آب، سرعت و میزان جذب کاهش می‌یابد. همچنین آنها با آزمایش سه نوع آب شامل آب مقطر، آب لوله کشی شده و آب شور گزارش کردند که زمان جذب حداکثر آب به ترتیب برابر ۴، ۷ و ۱۲ ساعت و همچنین حداکثر آب جذب شده در یک ساعت به ترتیب برابر ۵۰۵، ۲۱۲ و ۱۴۲ گرم بر گرم جاذب بوده است (Akhter et al. 2004, Johnson et al. 1984).

- **غلظت جاذب در خاک**

با وجود این که با افزایش غلظت جاذب در خاک میزان جذب آب افزایش می‌یابد ولی محققان گزارش کرده‌اند که افزایش غلظت جاذب‌ها در خاک ممکن است گیاه مورد نظر را دچار بیماری‌های مختلف کرده و سرعت رشد گیاه و بازدهی محصول را کاهش دهد. به نظر میرسد که افزایش غلظت جاذب در خاک مانع از تبادل هوا با ریشه می‌شود که این مشکلات به وجود می‌آید (Wallace et al. 1986).

- **دمای کاری**

یکی از پارامترهای موثر در جذب آب دما می‌باشد. مطالعات نشان داده که جذب آب معمولاً تا دمای ۵۰ درجه سانتی گراد افزایش و بعد از آن کمی کاهش یافته و از ۹۰ درجه سانتی گراد با کاهش شدیدی روبه رو خواهد بود (Bhat et al. 2009).

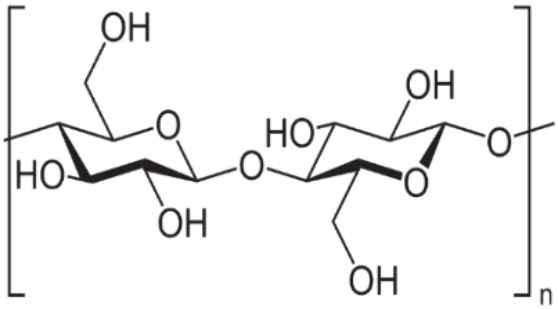
- **پیشنهادهای کاربردی**

در این بخش با مطالعه در منابع دو نوع سوپر جاذب طبیعی و مصنوعی مناسب با شرایط آب و هوایی و کشاورزی ایران معرفی شده است و سعی شده که اقتصادی ترین سوپر جاذب موجود، با استفاده از مواد بازیافتی ارائه شود.

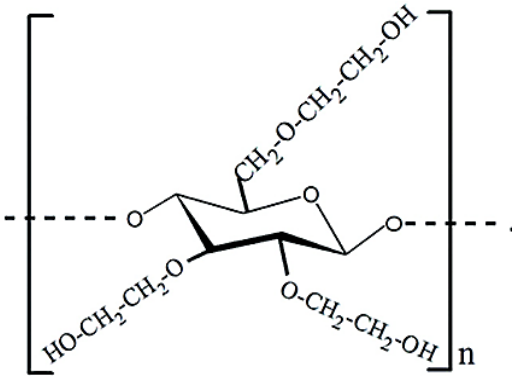
- **هیدروژل هیدروکسی اتیل سلولز اتصال عرضی داده شده با استیک اسید**

هیدروکسی اتیل سلولز یکی از مشتقات سلولز می‌باشد که در موارد آبگیری از ذغال سنگ، لوازم آرایشی، پدهای جاذب، تصفیه فاضلاب، غشاهای الکترولیتی، داروسازی، رنگ-رزی، پوشک نوزاد، آفت کش‌ها، خاک جایگزین در کشاورزی و غیره کاربردهای فراوان دارد. هیدروکسی اتیل سلولز یک جاذب ارزان، پودر بی رنگ تا متمایل به زرد، بی بو، بی مزه، زیست سازگار، زیست تخریب پذیر، انحلال در آب گرم و سرد، از نظر حرارتی پایدار، غیر سمی می‌باشد (Liu et al. 2015). این جاذب را می‌توان در دسته جاذب‌های هیدروژل قرار داد. اکثر هیدروژل‌های موجود به صورت مصنوعی و بر پایه آکریلات هستند که به دلیل تجزیه ناپذیر و زیست ناسازگار بودن سبب آسیب به محیط زیست می‌شوند. پس استفاده از یک هیدروژل طبیعی بسیار سودمند خواهد بود. همانطور که قبلا نیز اشاره شد از جمله ویژگی‌های یک سوپر جاذب عبارتند از: زیست تخریب پذیر بودن، غیر سمی بودن، قابلیت جذب بالای آب و غیره می‌باشد که همگی این ویژگی‌ها در هیدروکسی اتیل سلولز (HEC) یافت می‌شوند (Demitri et al. 2008, DiLoreto et al. 2019, Huang et al. 2019, Ngaowthong 2019, Fekete et al. 2017).

یک واحد مولکولی در سلولز دارای سه گروه هیدروکسیل می‌باشد که اگر گروه هیدروکسیل در سلولز با گروه (CH_2CH_2OH) جایگزین شود، هیدروکسی اتیل سلولز به دست می‌آید. این جایگزینی باعث می‌شود که هیدروکسی اتیل سلولز توانایی انحلال در آب را به دست بیاورد. در شکل ۴ واحدهای مولکولی سلولز و در شکل ۵ واحدهای مولکولی هیدروکسی اتیل سلولز نشان داده شده است. در مقیاس صنعتی هیدروکسی اتیل سلولز از طریق عبور گاز اتیلن (C_2H_2) از محلول سلولز قلیایی واکنش پذیر حاصل می‌شود و یا با واکنش اتیل کلراید با محلول قلیایی سلولز میتوان هیدروکسی اتیل سلولز را به دست آورد (Adair et al. 2017).



شکل (۴) واحد مولکولی سلولز (Adair et al. 2017).



شکل (۵) واحد مولکولی هیدروکسی اتیل سلولز ((Adair et al. 2017).

پلیمریزاسون هیدروکسی اتیل سلولز از طریق پلیمریزاسیون پیوندی صورت می‌گیرد. پلیمریزاسون از طریق پیوند عرضی یک خاصیت عالی می‌باشد به این دلیل که بدون اثر بر روی حجم، زنجیره طولانی و متراکم را برقرار می‌کند که سبب ایجاد یک شبکه سه‌بعدی می‌شود.

در یک مطالعه توسط داس و همکاران، هیدروژل‌های کربوکسی متیل سلولزو هیدروکسی اتیل سلولز که توسط سیتریک اسید اتصال عرضی شده، سنتز شده است. در این کار گزارش شده است که با استفاده از دو درصد اتصال دهنده عرضی حدود ۶۰۰ درصد تورم توسط آب بدست آمده است (Das et al. 2021). در شکل ۶ مکانیزم کلی واکنش نشان داده شده است. ابتدا هیدروکسی اتیل سلولز و نمک سدیم کربوکسی متیل سلولز به نسبت ۳ به ۱ در آب حل می‌شود و سپس به اندازه ۳ درصد وزنی اسید سیتریک به محلول افزوده می‌شود. سپس به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۷۵ درجه سانتی گراد در راکتور اتوکلاو واکنش انجام می‌شود. بعد اتمام واکنش هیدروژل پلیمری تشکیل شده و بعد از شست و شو با آب مقطر می‌توان از آن به عنوان سوپر جاذب استفاده کرد (Das et al. 2021).

استفاده از سیتریک اسید به عنوان اتصال دهنده عرضی در تهیه هیدروژل کربوکسی متیل سلولز در پژوهش‌های متعددی گزارش شده است. مالی و همکاران از این روش برای تهیه هیدروژل کربوکسی متیل سلولز برای دارورسانی استفاده کرده‌اند (Mali et al. 2018). همچنین سنتز هیدروژل کربوکسی متیل سلولز توسط اتصال دهنده عرضی سیتریک اسید توسط قورپاد و همکاران در سال ۲۰۱۹ و ۲۰۱۸ نیز گزارش شده است (Ghorpade et al. 2018 and 2019). در کار دیگری که توسط کنافی و همکاران در سال ۲۰۱۸ به چاپ رسیده، از سیتریک اسید برای اتصال عرضی هیدروژل کامپوزیت کربوکسی متیل سلولز با پلی اتیلن اکساید استفاده شده است. برای سنتز این هیدروژل نسبت‌های متفاوتی از کربوکسی متیل سلولز با پلی اتیل اکساید در آب مقطر در دمای $^{\circ}C$ ۴۰ حل شده و سپس مقادیر متفاوتی از اسید سیتریک به محلول اضافه شده است. سپس به مدت دو روز در دمای محیط خشک شده و در ادامه در دمای $^{\circ}C$ ۹۰-۶۰ فرآیند پخت پلیمر هیدروژل انجام شده است (Kanafi et al. 2018).

سرکار و همکارانش نیز سنتز هیدروژل کامپوزیت هیدروکسی متیل سلولز با بنتونیت را توسط اتصال دهنده عرضی اسیدسیتریک گزارش کرده‌اند. این هیدروژل برای رهایش کنترل شده حشره کش در کشاورزی سنتز شده است. در این کار برای سنتز هیدروژل ابتدا مقدار مشخصی از کربوکسی متیل سلولز و اسید سیتریک به همراه بنتونیت در آب مقطر مخلوط شده تا محلول همگن بدست آید. سپس با استفاده از استون آب گیری شده و در دمای $^{\circ}C$ ۱۱۰ خشک شده است. نتایج نشان داده که رهایش حشره کش در این هیدروژل به pH محیط وابسته است (Sarkar et al. 2017).

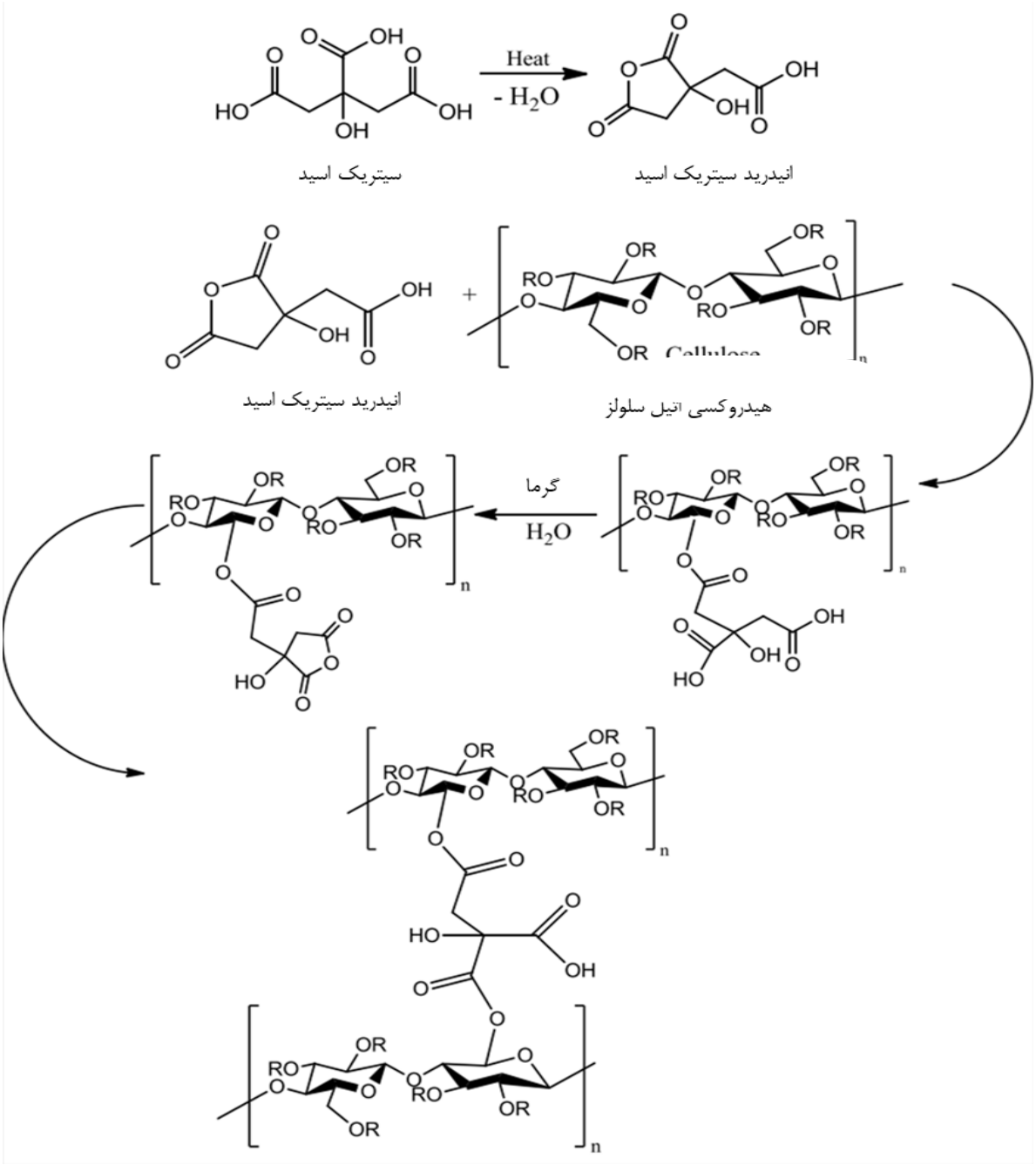
برخی از یون‌ها نیز به عنوان اتصال دهنده عرضی کربوکسی متیل سلولز مورد استفاده قرار می‌گیرند. در کاری که توسط چنگ و همکارانش گزارش شده است، از یون فریک برای اتصال عرضی اولیه و از پلی اکریل آمید برای اتصال ثانویه استفاده شده است. شماتیک فرآیند مورد نظر در شکل ۷ نشان داده شده است. هیدروژل بدست آمده از این روش خواص خوبی داشته و رسانای الکتریسیته می‌باشد (Cheng et al. 2019).

برای سنتز کربوکسی متیل سلولز از اتصال دهنده‌های عرضی مختلفی مانند پلی ساکاریدها، استفاده از تشعشعات فرابنفش و یون‌های فلزی استفاده شده که در مقاله مروری که توسط ژانگ و همکاران به چاپ رسیده، مورد بررسی قرار گرفته است (Zhang et al. 2022).

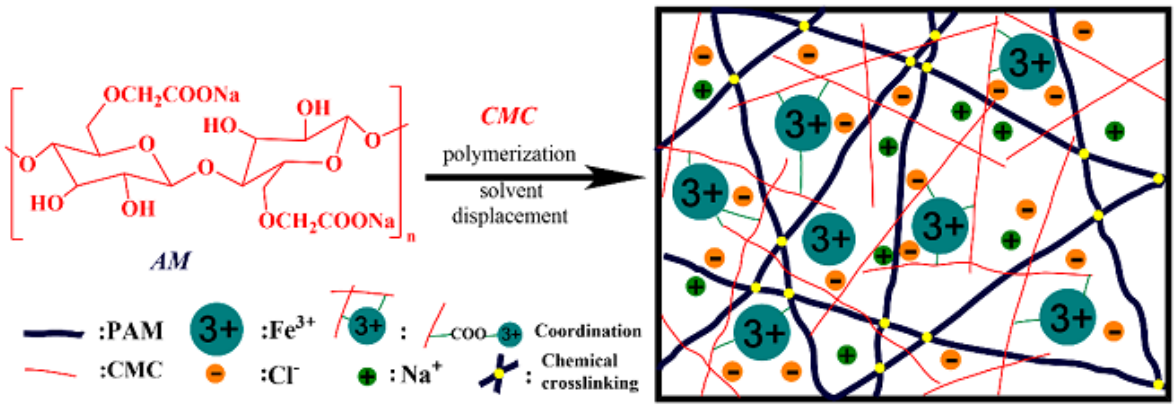
استخراج سلولز را می‌توان به راحتی از زباله‌های کاغذی نیز انجام داد. لوکاست و همکاران (Lacoste et al. 2019). با بازیافت سلولز از زباله‌های کاغذی موفق به تهیه هیدروژل هیدروکسی متیل سلولز اتصال عرضی داده شده با سیتریک اسید شدند. اگرچه میزان جذب این جاذب کمتر از هیدروژل هیدروکسی متیل سلولز می‌باشد ولی در عین حال این محققین موفق به بازیافت سلولز جهت سنتز هیدروژل شدند که در ادامه بازیافت سلولز به طور کامل شرح داده شده است. جهت استخراج سلولز لازم است که ابتدا ۱۰۰ گرم از زباله‌های کاغذی به خوبی خرد شوند و سپس در ۲۵۰ میلی لیتر محلول ٪wt۲۰ سدیم هیدروکسید (NaOH) غوطه ور شوند و به مدت ۱ ساعت در دمای اتاق هم زده شود. در مرحله بعدی لازم است که ۱ گرم هیدروژن پراکسید (H2O2)، ۲ گرم سدیم سلیکات (NaSiO3) و ۲ گرم سدیم

هیدروکسید افزوده شود و محلول به مدت دو ساعت در همان دما هم زده شود. در مرحله آخر لازم است که خمیر به دست آمده را با آب مقطر شست و شو داده و به مدت ۲۴ ساعت در هوای آزاد خشک شود (Lacoste et al. 2019).

بایوچار نیز برای اصلاح خاک با هدف نگه‌داشت آب مورد استفاده قرار گرفته است. در کاری که توسط الیزافان و همکارانش گزارش شده، از چهار نوع بایوچار تهیه شده از منابع گیاهی مختلف برای اصلاح خاک شنی استفاده شده و مقدار نگه‌داشت آب مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج این مطالعه نشان داد که استفاده از بایوچار نگه‌داشت آب را بیشتر می‌کند، اما میزان تغییر به نوع گیاه استفاده شده برای تهیه بایوچار و همچنین مقدار بایوچار مصرفی بستگی دارد (Ndede et al. 2022).



شکل (۶) مکانیزم سنتز پلی هیدروکسی اتیل سلولز (Das et al. 2021)



شکل (۷) شماتیک هیدروژل کربوکسی متیل سلولز با اتصال عرضی یون فریک و پلی اکریل آمید (Cheng et al. 2019)

- **استفاده از زباله‌های پلاستیکی برای تهیه سوپر جاذب**

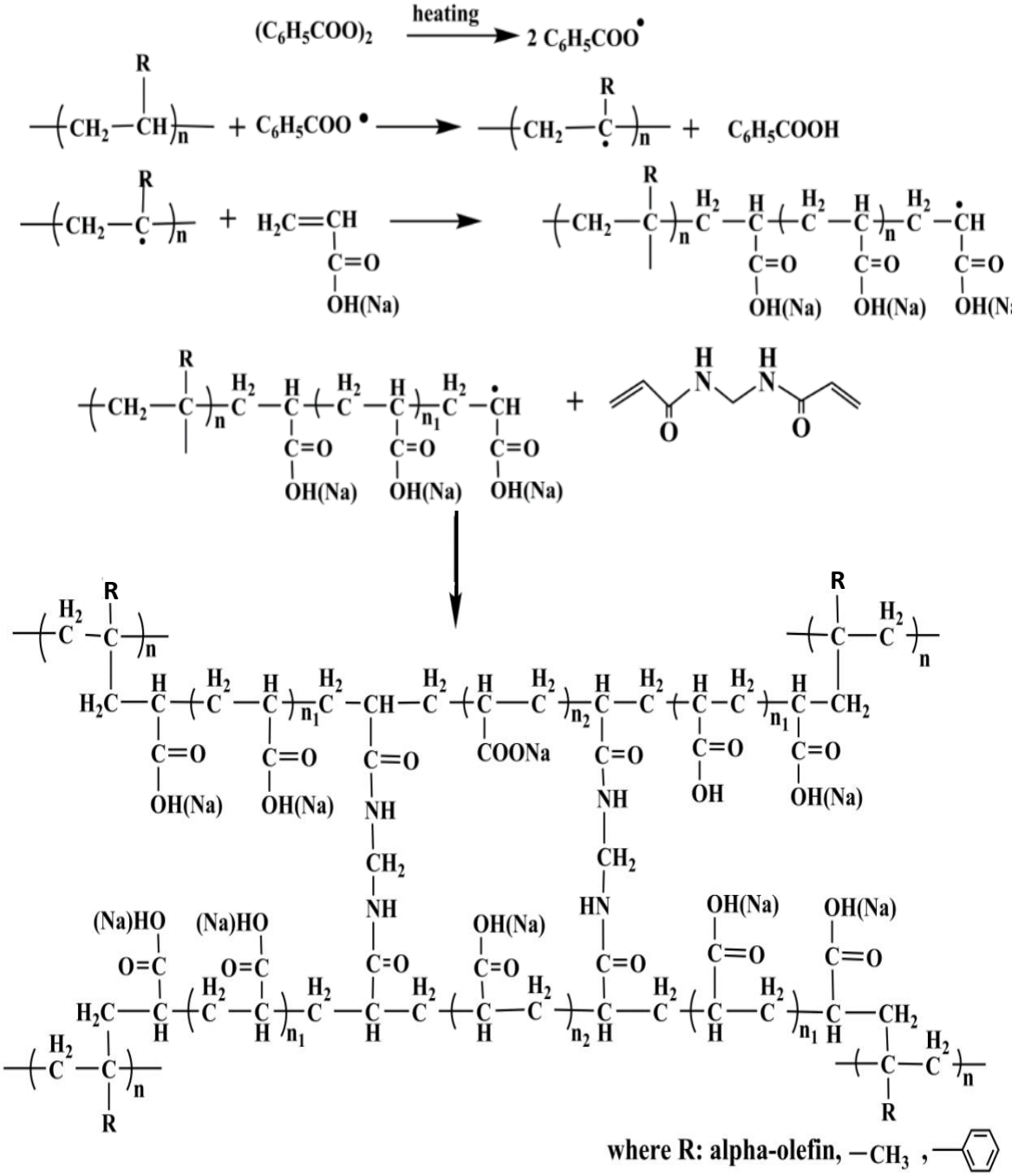
یکی از اصلی ترین معایب جاذب‌های طبیعی عمر پایین آنها است که در بعضی شرایط استفاده از آنها را محدود می‌کند بنابراین لازم است که یک جاذب مصنوعی نیز پیشنهاد شود. در این پیشنهاد از زباله‌های پلاستیکی جهت سنتز سوپر جاذب‌ها استفاده شده است که خود نوعی کمک به سلامت محیط زیست است .(Adrados et al. 2012)

برای تهیه سوپر جاذب از زباله‌های پلاستیکی، ژانگ و همکاران در سال ۲۰۱۸ از ۴ نوع زباله پلاستیکی که در جدول زیر ارائه شده است استفاده کردند.

جدول (۲) نوع مواد مورد استفاده در تهیه سوپر جاذب بازیافتی (Zhang et al. 2018).

ردیف	نام	درصد استفاده	زباله
۱	پلی پروپیلن (PP)	۳۵	ظروف غذا یکبار مصرف
۲	پلی اتیلن چگالی بالا (HDPE)	۱۵	کیسه‌های خرید
۳	پلی اتیلن چگال پایین (LDPE)	۴۰	بطری‌های پلاستیکی
۴	پلی‌استایرن (PS)	۱۰	ظروف یکبار مصرف

به منظور تهیه سوپر جاذب از زباله پلاستیکی، ابتدا این مواد را به خوبی خرد کرده و مخلوط شده و ۱ گرم از آنها را جهت سنتز جاذب برداشته و درون یک سیستم رفلاکس ریخته و به آن ۱۰ میلی لیتر دی متیل بنزن افزوده میشود و تحت سیستم رفلاکس در دمای ۱۱۵ درجه سانتی گراد هم زده می‌شود تا پلاستیک‌ها به خوبی حل شوند. بعد از یکنواخت شدن محلول به آن حدود ۰/۳ گرم سوربیتان مونو استئارات (امولسیفایر اسپن ۶۰) افزوده میشود. پس از ۱۰ دقیقه در همان شرایط مقدار ۰/۶ گرم بنزوئیل پراکسید در ۵ میلی لیتر دی متیل بنزن حل شده و به سیستم افزوده می‌شود. سیستم تا دمای ۹۵ درجه سانتی گراد (دمای واکنش) سرد میشود. در مرحله بعد مقدار ۱/۱ گرم آکریلیک اسید و ۰/۲۵ گرم بنزوئیل پراکسید قطره قطره به سیستم افزوده میشود و به مدت ۳ ساعت تحت همان شرایط قبلی واکنش داده تا محصول سنتز شود. محصول به دست آمده را چندین بار با اتانول و آب مقطر شست و شو داده و در نهایت خشک می‌شود. در شکل ۸ مکانیزم سنتز شرح داده شده است (Zhang et al. 2018).



شکل (۸) مکانیزم سنتز هیدروژل ساخته شده از مواد بازیافتی (Zhang et al. 2018).

طبق آزمایشات صورت گرفته توسط ژانگ و همکاران این جاذب تونایی جذب آب بیش از ۳۰۰ برابری جرم خود را دارد و تا ده مرتبه بازیافت و استفاده مجدد ظرفیت جذب این جاذب کاهش محسوسی ندارد.

ژانگ در کار دیگری که در سال ۲۰۱۸ به چاپ رسانده نیز از بازیافت زباله پلی اتیلن و اصلاح آن توسط آکریلیک اسید و دی متیل دی آلیل آمونیوم کلراید یک سوپر جاذبی سنتز کرده که ظرفیت جذب حدود g/g ۲۸۶ برای آب مقطردارد (Zhang et al. 2017).

لیو و همکاران در سال ۲۰۰۷، با اصلاح زباله فوم پلی استیرن یک سوپر جاذب کامپوزیتی تهیه کردند. به این منظور مقدار مشخصی از مونتموریلونیت را در آب مقطر دیسپرس کرده و بعد افزودن مقدار مشخصی از سدیم کربنات و هم زدن مناسب محلول را خشک نموده و اصلاح کننده کامپوزیت را تهیه نمودند. در ادامه مقدار مشخصی از فوم پلی استیرن در مخلوط چند حلال حل کرده و سپس مقدار

مشخصی از آزوبیس ایزو بوتیرو نیتریل را به محلول اضافه کرده و با استفاده از سدیم هیدروکساید محلول را خنثی نمودند. در ادامه مقدار مشخصی از مونتموریلونیت آماده شده در مرحله اول را به محلول اضافه کرده و محلول را تا دمای ۴۵ °C گرم نموده و سپس متیلن بیس آکریلامید، آمونیوم پرسولفات و سدمی سولفات به محیط اضافه می‌شود. سپس تا زمان ژل شدن محلول هم زده شده و پس از آن در دمای ۱۱۰ °C خشک می‌شود. سوپر جاذب تهیه شده به این روش ظرفیت جذب حدود ۱۱۸۰ g/g دارد (Liu et al. 2007).

یو و همکاران در سال ۲۰۲۲، با استفاده از زباله‌های پلاستیکی یک سوپر جاذب با ظرفیت جذب بالا تهیه کردند. در این کار از زباله-های مختلف پلاستیکی استفاده شده و یک سوپر جاذب منعطف با ساختار متخلخل و ظرفیت جذب بالا سنتز شده است. در این کار با فرآیند رادیکالی برخی سوپر جاذب‌ها و پلی اولفین‌ها را به ساختار زباله پلاستیکی اتصال داده که در نتیجه جاذب خاصیت آبدوستی پیدا کرده است. بررسی‌های تکمیلی نشان داد که در این بستر پلیمری شرایط رشد میکروارگانیسم‌ها نیز فراهم است. سوپر جاذب تهیه شده به این روش ظرفیت جذب حدود ۱۱۸۸ g/g را دارد. بنابراین این سوپر جاذب یک روش مناسب برای بازیافت و استفاده مجدد از زباله پلاستیکی می‌باشد (Yue et al. 2022).

بحث و نتیجه‌گیری

در این مقاله سوپر جاذب‌ها و کاربرد آن‌ها در حوزه کشاورزی مورد بررسی قرار گرفته و برخی از سوپر جاذب‌های طبیعی و مصنوعی مورد استفاده دز این حوزه بحث و بررسی شده است. مشکل کمبود منابع آبی روز به روز تشدید یافته و لزوم استفاده از تکنولوژی‌های روز در این حوزه ضرورت می‌یابد. توزیع نامتقارن زمانی و مکانی بارندگی در مناطق مختلف ایران یکی از مشکلات اصلی در زمینه بهره‌وری آبی محصولات کشاورزی بویژه بخش دیم می‌باشد. سوپرجاذب‌های پلیمری با قابلیت حفظ آب می‌تواند راهکاری اثربخش در ذخیره آب در زمان‌های وقوع بارندگی و استفاده در زمانی که گیاه به آب نیاز دارد باشد. یک سوپرجاذب نگهدارنده آب با چشم انداز کاربرد گسترده در حوزه کشاورزی، نه تنها باید حفظ آب در خاک را تقویت کند، بلکه باید پارامترهای مقاومت شوری-قلیایی، قابلیت استفاده مجدد، تجزیه پذیری و هزینه تهیه سوپر جاذب نیز در حد مطلوب باشد. تقریباً همه سوپرجاذب‌ها در محلول نمکی نسبت به آب مقطر به میزان قابل توجهی جذب آب پائین‌تری دارند. بنابراین با تنزل کیفیت آب میزان اثربخشی این مواد نیز کاهش می‌یابد و اگر برای مدت طولانی در محلول نمک قرار گرفته باشند، ساختار شبکه سه بعدی آنها راحت تر از بین می‌رود و محصول تخریب ممکن است در برابر رشد محصولات زراعی مقاومت کند. علاوه بر این، اکثر سوپر جاذب‌ها، جذب آب کمتری را در شرایط تحت فشار نشان می‌دهند.

سوپر جاذب‌های نگهدارنده آب مبتنی بر پلیمرهای طبیعی و سوپر جاذب‌های نگهدارنده آب مبتنی بر پلیمرهای مصنوعی مزایا و معایب خاص خود را دارند. استفاده از پلیمرهای طبیعی مانند سلولز، نشاسته و کیتوزان دارای مزیت آشکار تجزیه پذیری بوده و سازگار با محیط زیست می‌باشند. در مقابل سوپر جاب‌های مصنوعی، مانند پلی اکریلیک اسید و پلی آکریل آمید، کم هزینه بوده، عمر طولانی و میزان جذب آب بالا را نشان داده، در محیط پایدار بوده و ناسازگار با محیط زیست می‌باشد. در برخی از مطالعات پلیمرهای طبیعی و مصنوعی را برای دستیابی به عملکرد جامع ترکیب کرده‌اند. کوپلیمرها نیز گروه دیگری از جاذب‌ها هستند که با هدف افزایش خاصیت جذب آب مهندسی شده‌اند. در برخی از کارهای انجام شده پلیمرهای طبیعی و مصنوعی به گونه‌ای اصلاح شده اند که گروه‌های عاملی آبدوست وارد ساختار شده و ظرفیت جذب آب افزایش یابد. بنابراین با مقایسه سوپرجاذب‌های طبیعی و مصنوعی میتوان نتیجه گرفت که با توجه به اینکه هر یک از این سوپرجاذب‌ها مزایا و معایب خود را دارند، انتخاب و استفاده از آنها می‌تواند بصورت منطقه‌ای متفاوت باشد. به عنوان مثال اگر در منطقه خشک باشیم شاید یک سوپر جاذب مصنوعی که ظرفیت جذب بالایی دارد توجیه داشته باشد. یا اگر در منطقه‌ای دستیابی به منابع سنتز سوپر جاذب‌های مصنوعی هزینه بر باشد استفاده از سوپر جاذب‌های طبیعی توجیه دارد. اما بطور کلی با نگاه زیست محیطی سوپر جاذب‌های طبیعی به دلیل سازگاری با محیط زیست و ارزان تر بودن بیشتر توصیه می‌شود.

منابع

- Adair, A., Kaesaman, A., & Klinpituksa, P. (2017). Superabsorbent materials derived from hydroxyethyl cellulose and bentonite: Preparation, characterization and swelling capacities. *Polymer Testing*, *64*, 321-329.
- Adrados, A., De Marco, I., Caballero, B. M., López, A., Laresgoiti, M. F., & Torres, A. (2012). Pyrolysis of plastic packaging waste: A comparison of plastic residuals from material recovery facilities with simulated plastic waste. *Waste Management*, *32*(5), 826-832.
- Ai, F., Yin, X., Hu, R., Ma, H., & Liu, W. (2021). Research into the super-absorbent polymers on agricultural water. *Agricultural Water Management*, *245*, 106513.
- Akhter, J., Mahmood, K., Malik, K., Mardan, A., Ahmad, M., & Iqbal, 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.
- Anitha, A., Sowmya, S., Kumar, P. S., Deepthi, S., Chennazhi, K., Ehrlich, H., Tsurkan, M., & Jayakumar, R. (2014). Chitin and chitosan in selected biomedical applications. *Progress in Polymer Science*, *39*(9), 1644-1667.
- Bai, W., Song, J., & Zhang, H. (2013). Repeated water absorbency of super-absorbent polymers in agricultural field applications: a simulation study. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B–Soil & Plant Science*, *63*(5), 433-441.
- Behera, S., & Mahanwar, P. A. (2020). Superabsorbent polymers in agriculture and other applications: A review. *Polymer-Plastics Technology and Materials*, *59*(4), 341-356.
- Bhat, N., Suleiman, M., Al-Menaie, H., Al-Ali, E., Al-Mulla, L., Christopher, A., Lekha, V., Ali, S., & George, P. (2009). Polyacrylamide polymer and salinity effects on water requirement of Conocarpus lancifolius and selected properties of sandy loam soil. *European Journal of Scientific Research*, *25*(4), 549-558.
- Chang, L., Xu, L., Liu, Y., & Qiu, D. (2021). Superabsorbent polymers used for agricultural water retention. *Polymer Testing*, *94*, 107021.
- Cheng, Y., Ren, X., Gao, G., & Duan, L. (2019). High strength, anti-freezing and strain sensing carboxymethyl cellulose-based organohydrogel. *Carbohydrate polymers*, 223, 115051.
- Das, D., Prakash, P., Rout, P. K., & Bhaladhare, S. (2021). Synthesis and Characterization of Superabsorbent Cellulose-Based Hydrogel for Agriculture Application. *Starch-Stärke*, *73*(1-2), 1900284.
- Demitri, C., Del Sole, R., Scalera, F., Sannino, A., Vasapollo, G., Maffezzoli, A., Ambrosio, L., & Nicolais, L. (2008). Novel superabsorbent cellulose-based hydrogels crosslinked with citric acid. *Journal of Applied Polymer Science*, *110*(4), 2453-2460.
- Demitri, C., Scalera, F., Madaghiele, M., Sannino, A., & Maffezzoli, A. (2013). Potential of cellulose-based superabsorbent hydrogels as water reservoir in agriculture. *International Journal of Polymer Science*, *2013*.
- DiLoreto, E., Haque, E., Berman, A., Moon, R. J., & Kalaitzidou, K. (2019). Freeze dried cellulose nanocrystal reinforced unsaturated polyester composites: challenges and potential. *Cellulose*, *26*(7), 4391-4403.
- Du, L., Xu, B., Dong, S., Yang, H., & Wu, Y. (2005). Preparation, microstructure and tribological properties of nano-Al2O3/Ni brush plated composite coatings. *Surface and Coatings Technology*, *192*(2-3), 311-316.
- Elshafie, H. S., & Camele, I. (2021). Applications of absorbent polymers for sustainable plant protection and crop Yield. *Sustainability*, *13*(6), 3253.
- Fang, S., Wang, G., Xing, R., Chen, X., Liu, S., Qin, Y., & Li, P. (2019). Synthesis of superabsorbent polymers based on chitosan derivative graft acrylic acid-co-acrylamide and its property testing. *International journal of biological macromolecules*, *132*, 575-584.
- Fekete, T., Borsa, J., Takács, E., & Wojnárovits, L. (2017). Synthesis and characterization of superabsorbent hydrogels based on hydroxyethylcellulose and acrylic acid. *Carbohydrate polymers*, *166*, 300-308.
- Fernando, T., Aruggoda, A., Disanayaka, C., & Kulatunge, S. (2013). Effect of super water absorbent polymer and watering capacity on growth of tomato (Lycopersicon esculentum mill).
- Garcia, I., Fransaer, J., & Celis, J.-P. (2001). Electrodeposition and sliding wear resistance of nickel composite coatings containing micron and submicron SiC particles. *Surface and Coatings Technology*, *148*(2-3), 171-178.

- Grula, M., & Huang, M.-L. (1981). Interactions of Polyacrylamides With Certain Soil Pseudomonads. *Developments in Industrial Microbiology[DEV. IND. MICROBIOL.]. 1981*.
- Guilherme, M. R., Aouada, F. A., Fajardo, A. R., Martins, A. F., Paulino, A. T., Davi, M. F., Rubira, A. 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.
- Ghorpade, V. S., Dias, R. J., Mali, K. K., & Mulla, S. I. (2019). Citric acid crosslinked carboxymethylcellulose-polyvinyl alcohol hydrogel films for extended release of water soluble basic drugs. Journal of Drug Delivery Science and Technology, 52, 421-430.
- Ghorpade, V. S., Yadav, A. V., Dias, R. J., Mali, K. K., Pargaonkar, S. S., Shinde, P. V., & Dhane, N. S. (2018). Citric acid crosslinked carboxymethylcellulose-poly (ethylene glycol) hydrogel films for delivery of poorly soluble drugs. International journal of biological macromolecules, 118, 783-791.
- Huang, S., Wu, L., Li, T., Xu, D., Lin, X., & Wu, C. (2019). Facile preparation of biomass lignin-based hydroxyethyl cellulose super-absorbent hydrogel for dye pollutant removal. *International journal of biological macromolecules*, *137*, 939-947.
- Jahan, M., Nassiri Mahallati, M., & Amiri, M. B. (2019). The effect of humic acid and water super absorbent polymer application on sesame in an ecological cropping system: a new employment of structural equation modeling in agriculture. *Chemical and biological technologies in agriculture*, *6*(1), 1-15.
- Johnson, M. S. (1984). Effect of soluble salts on water absorption by gel-forming soil conditioners. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *35*(10), 1063-1066.
- Kanafi, N. M., Rahman, N. A., & Rosdi, N. H. (2019). Citric acid cross-linking of highly porous carboxymethyl cellulose/poly (ethylene oxide) composite hydrogel films for controlled release applications. *Materials Today: Proceedings*, 7, 721-731.
- Kabir, S., Sikdar, P. P., Haque, B., Bhuiyan, M., Ali, A., & Islam, M. (2018). Cellulose-based hydrogel materials: Chemistry, properties and their prospective applications. *Progress in biomaterials*, *7*(3), 153-174.
- Kaur, R., Sharma, R., & Chahal, G. K. (2021). Synthesis of lignin-based hydrogels and their applications in agriculture: A review. *Chemical Papers*, *75*(9), 4465-4478.
- Lacoste, C., Lopez-Cuesta, J.-M., & Bergeret, A. (2019). Development of a biobased superabsorbent polymer from recycled cellulose for diapers applications. *European Polymer Journal*, *116*, 38-44.
- Lee, H.-J., Lee, H.-S., Seo, J., Kang, Y.-H., Kim, W., & Kang, T. H.-K. (2019). State-of-the-art of cellulose nanocrystals and optimal method for their dispersion for construction-related applications. *Applied Sciences*, *9*(3), 426.
- Lertsarawut, P., Rattanawongwiboon, T., Tangthong, T., Laksee, S., Kwamman, T., Phuttharak, B., Romruensukharom, P., Suwanmala, P., & Hemvichian, K. (2021). Starch-Based Super Water Absorbent: A Promising and Sustainable Way to Increase Survival Rate of Trees Planted in Arid Areas. *Polymers*, *13*(8), 1314.
- Li, H., Sui, L., & Niu, Y. (2018). Preparation and Properties of a Double-Coated Slow-Release Urea Fertilizer with Poly (propylene carbonate), a Sodium Polyacrylate Hydroscopicity Resin and Sodium Alginate. *ChemistrySelect*, *3*(26), 7643-7647.
- Li, L., Chen, M., Zhou, X., Lu, L., Li, Y., Gong, C., & Cheng, X. (2017). A case of water absorption and water/fertilizer retention performance of super absorbent polymer modified sulphoaluminate cementitious materials. *Construction and Building Materials*, *150*, 538-546.
- Li, L., Zhou, X., Li, Y., Gong, C., Lu, L., Fu, X., & Tao, W. (2017). Water absorption and water/fertilizer retention performance of vermiculite modified sulphoaluminate cementitious materials. *Construction and Building Materials*, *137*, 224-233.
- Liu, Y., Chen, Y., Zhao, Y., Tong, Z., & Chen, S. (2015). Superabsorbent Sponge and membrane prepared by polyelectrolyte complexation of Carboxymethyl cellulose/hydroxyethyl cellulose-Al3+. *Bioresources*, *10*(4), 6479-6495.
- Liu, P. S., Li, L., Zhou, N. L., Zhang, J., Wei, S. H., & Shen, J. (2007). Waste polystyrene foam-graft-acrylic acid/montmorillonite superabsorbent nanocomposite. Journal of applied polymer science, 104(4), 2341-2349.
- Ma, J., & Wang, T. (2018). Preparation and characterization of water-absorbing polyurethane foam composites with microsized sodium polyacrylate particles. *Journal of Applied Polymer Science*, *135*(39), 46702.

- Ma, X., & Wen, G. (2020). Development history and synthesis of super-absorbent polymers: a review. *Journal of Polymer Research*, *27*(6), 1-12.
- Mali, K., Dhawale, S., Dias, R., Dhane, N., & Ghorpade, V. (2018). Citric acid crosslinked carboxymethyl cellulose-based composite hydrogel films for drug delivery. *Indian Journal of Pharmaceutical Sciences*, *80*(4), 657-667.
- Marliere, C., Mabrouk, E., Lamblet, M., & Coussot, P. (2012). How water retention in porous media with cellulose ethers works. *Cement and Concrete Research*, *42*(11), 1501-1512.
- Mechtcherine, V., Wyrzykowski, M., Schröfl, C., Snoeck, D., Lura, P., De Belie, N., Mignon, A., Van Vlierberghe, S., Klemm, A. J., & Almeida, F. C. (2021). Application of super absorbent polymers (SAP) in concrete construction—update of RILEM state-of-the-art report. *Materials and Structures*, *54*(2), 1-20.
- Meng, Y., & Ye, L. (2017). Synthesis and swelling property of superabsorbent starch grafted with acrylic acid/2-acrylamido-2-methyl-1-propanesulfonic acid. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *97*(11), 3831-3840.
- Musa, A., Ahmad, M. B., Hussein, M. Z., & Izham, S. M. (2017). Acid hydrolysis-mediated preparation of nanocrystalline cellulose from rice straw. *International Journal of Nanomaterials, Nanotechnology and Nanomedicine*, *3*(2), 051-056.
- Narayanan, A., Kartik, R., Sangeetha, E., & Dhamodharan, R. (2018). Super water absorbing polymeric gel from chitosan, citric acid and urea: Synthesis and mechanism of water absorption. *Carbohydrate polymers*, *191*, 152-160.
- Ndede, E. O., Kurebito, S., Idowu, O., Tokunari, T., & Jindo, K. (2022). The potential of biochar to enhance the water retention properties of sandy agricultural soils. Agronomy, 12(2), 311.
- Ngaowthong, C., Borůvka, M., Běhálek, L., Lenfeld, P., Švec, M., Dangtungee, R., Siengchin, S., Rangappa, S. M., & Parameswaranpillai, J. (2019). Recycling of sisal fiber reinforced polypropylene and polylactic acid composites: Thermo-mechanical properties, morphology, and water absorption behavior. *Waste Management*, *97*, 71-81.
- Prakash, V., Kavitha, J., & Maheshwari, P. (2021). Moisture conservation practice by using hydrogel in agriculture: A review. *Plant Archives*, *21*(1), 526-528.
- Qin, X., Lu, A., & Zhang, L. (2013). Gelation behavior of cellulose in NaOH/urea aqueous system via cross-linking. *Cellulose*, *20*(4), 1669-1677.
- Rajakumar, R., & Sankar, J. (2016). Hydrogel: Novel soil conditioner and safer delivery vehicle for fertilizers and agrochemicals–A review. *Int. J. Appl. Pure Sci. Agric*, *2*(9), 163-172.
- Ravishankar, K., & Dhamodharan, R. (2020). Advances in chitosan-based hydrogels: Evolution from covalently crosslinked systems to ionotropically crosslinked superabsorbents. *Reactive and Functional Polymers*, *149*, 104517.
- Reddy, K. S., Sharma, K., Reddy, A., Indoria, A., Srinivas, K., Reddy, K., Srinivas, B., & Venkateswarlu, B. (2013). Use of polymers for alleviating moisture stress and improving water use efficiency in different crops in rainfed areas. *International journal of Bio-resource and Stress Management*, *4*(2s), 334-338.
- Rijsberman, F.R. (2006), Water scarcity: fact or fiction?, Agric. Water Manage., 80, 5-22.
- Rojas, O. J. (2016). *Cellulose chemistry and properties: fibers, nanocelluloses and advanced materials* (Vol. 271). Springer.
- Sarkar, D. J., & Singh, A. (2017). Base triggered release of insecticide from bentonite reinforced citric acid crosslinked carboxymethyl cellulose hydrogel composites. *Carbohydrate polymers*, 156, 303-311.
- Song, J., Zhao, H., Zhao, G., Xiang, Y., & Liu, Y. (2019). Novel semi-IPN nanocomposites with functions of both nutrient slow-release and water retention. 1. Microscopic structure, water absorbency, and degradation performance. *Journal of agricultural and food chemistry*, *67*(27), 7587-7597.
- Souza, A. J. J., Guimarães, R. J., Dominghetti, A. W., Scalco, M. S., & Rezende, T. T. (2016). Water-retaining polymer and seedling type when planting irrigated coffee. *Revista Ciência Agronômica*, *47*, 334-343.
- Suresh, R., Prasher, S. O., Patel, R. M., Qi, Z., Elsayed, E., Schwinghamer, T., & Ehsan, A. M. (2018). Super absorbent polymer and irrigation regime effects on growth and water use efficiency of container-grown cherry tomatoes. *Transactions of the ASABE*, *61*(2), 523-531.

- Thombare, N., Mishra, S., Siddiqui, M., Jha, U., Singh, D., & Mahajan, G. R. (2018). Design and development of guar gum based novel, superabsorbent and moisture retaining hydrogels for agricultural applications. *Carbohydrate polymers*, *185*, 169-178.
- Träger, A., Carlmark, A., & Wågberg, L. (2018). Interpenetrated networks of nanocellulose and polyacrylamide with excellent mechanical and absorptive properties. *Macromolecular Materials and Engineering*, *303*(5), 1700594.
- Tubert, E., Vitali, V. A., Alvarez, M. S., Tubert, F., Baroli, I., & Amodeo, G. (2018). Synthesis and evaluation of a superabsorbent-fertilizer composite for maximizing the nutrient and water use efficiency in forestry plantations. *Journal of environmental management*, *210*, 239-254.
- Uz, B. Y., Erşahin, S., Demiray, E., & Ertaş, A. (2008). Analyzing the soil texture effect on promoting water holding capacity by polyacrylamide.
- Vundavalli, R., Vundavalli, S., Nakka, M., & Rao, D. S. (2015). Biodegradable nano-hydrogels in agricultural farming-alternative source for water resources. *Procedia Materials Science*, *10*, 548-554.
- Wallace, A., & Wallace, G. A. (1986). Effect of polymeric soil conditioners on emergence of tomato seedlings. *Soil Science*, *141*(5), 321-323.
- Wang, Z., Ning, A., Xie, P., Gao, G., Xie, L., Li, X., & Song, A. (2017). Synthesis and swelling behaviors of carboxymethyl cellulose-based superabsorbent resin hybridized with graphene oxide. *Carbohydrate polymers*, *157*, 48-56.
- Wei, J., Yang, H., Cao, H., & Tan, T. (2016). Using polyaspartic acid hydro-gel as water retaining agent and its effect on plants under drought stress. *Saudi Journal of Biological Sciences*, *23*(5), 654-659.
- Wen, P., Wu, Z., He, Y., Ye, B.-C., Han, Y., Wang, J., & Guan, X. (2016). Microwave-assisted synthesis of a semi-interpenetrating polymer network slow-release nitrogen fertilizer with water absorbency from cotton stalks. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, *4*(12), 6572-6579.
- Wen, X.-x., ZHANG, D.-q., LIAO, Y.-c., JIA, Z.-k., & JI, S.-q. (2012). Effects of water-collecting and-retaining techniques on photosynthetic rates, yield, and water use efficiency of millet grown in a semiarid region. *Journal of Integrative Agriculture*, *11*(7), 1119-1128.
- Xiang, Y., Ru, X., Shi, J., Song, J., Zhao, H., Liu, Y., Guo, D., & Lu, X. (2017). Preparation and properties of a novel semi-IPN slow-release fertilizer with the function of water retention. *Journal of agricultural and food chemistry*, *65*(50), 10851-10858.
- Xu, L., Wang, C., Cui, Y., Li, A., Qiao, Y., & Qiu, D. (2019). Conjoined-network rendered stiff and tough hydrogels from biogenic molecules. *Science advances*, *5*(2), eaau3442.
- Yue, X. H., Zhang, F. S., Wu, L., Zhang, C. C., & Qian, P. (2022). Upcycling of blending waste plastics as flexible growing substrate with superabsorbing property. Chemical Engineering Journal, 435, 134622.
- Zekry, M., Nassar, I., Salim, H., & Abdallah, A. (2020). The Potential of super absorbent polymers from diaper wastes to enhance water retention properties of the soil. *Soil & Environment*, *39*(1).
- Zhang, H., Luan, Q., Huang, Q., Tang, H., Huang, F., Li, W., Wan, C., Liu, C., Xu, J., & Guo, P. (2017). A facile and efficient strategy for the fabrication of porous linseed gum/cellulose superabsorbent hydrogels for water conservation. *Carbohydrate polymers*, *157*, 1830-1836.
- Zhang, J.-P., & Zhang, F.-S. (2018). A new approach for blending waste plastics processing: Superabsorbent resin synthesis. *Journal of Cleaner Production*, *197*, 501-510.
- Zhao, H., Song, J., Zhao, G., Xiang, Y., & Liu, Y. (2019). Novel semi-IPN nanocomposites with functions of both nutrient slow-release and water retention. 2. Effects on soil fertility and tomato quality. *Journal of agricultural and food chemistry*, *67*(27), 7598-7608.
- Zhou, X., Zhang, P., Zhao, F., & Yu, G. (2020). Super moisture absorbent gels for sustainable agriculture via atmospheric water irrigation. *ACS Materials Letters*, *2*(11), 1419-1422.
- Zhang, W., Liu, Y., Xuan, Y., & Zhang, S. (2022). Synthesis and applications of carboxymethyl cellulose hydrogels. *Gels*, 8(9), 529.
- Zhang, J. P., & Zhang, F. S. (2018). Recycling waste polyethylene film for amphoteric superabsorbent resin synthesis. Chemical Engineering Journal, 331, 169-176.