پوهنتون پولی تخنیک کابل
مجله علم و تکنالوژی
جلد ۵۱ - شماره ٤
حوت- سال ١٤٠٢ - هـ.ش.
تاریخ دریافت اثر: ۱۴۰۲/۳/۲۱
تاریخ قبـــولی اثر: ۱۴۰۲/۹/۳۰
KPU-JST
P-ISSN: 2305 - 896X

مروری بر ساخت و کاربردهای هایدروژل

پوهنیار روزبه بارکزی[1*]

۱* استاد دیپارتمنت انجنیری کیمیاوی، پوهنتون پولی‌تخنیک کابل، ناحیه پنجم، کابل، افغانستان ایمیل آدرسایمیل آدرس:
rozbehbarakzai@gmail.com r.barakzai@kpu.edu.af

خلاصه

هایدروژل‌ها شبکه‌های پولی‌میری سه بعدی با اتصالات عرضی هستند که قابلیت جذب بسیار زیاد آب یا سیالات حیاتی را حتی تحت فشار دارند. این مرکبات بدون انحلال می‌توانند مقدار زیاد آب را جذب کنند. چنین شبکه پولی‌میری از طریق میکانیزم‌های اتصال عرضی کیمیاوی ازجمله پولی میرایزیشن نوری، تعاملات انزایمی و اتصال عرضی فزیکی مانند روش‌های وابسته به درجه حرارت، pH و اتصالات عرضی آیونی تشکیل می‌شود. توجه روز افزون به هایدروژل‌های فزیکی به دلیل راحتی نسبی پروسه و نبود شبکه ساز در سنتیز آن‌ها بیش‌تراست، درحال‌که انواع کیمیاوی آن به دلیل استحکام میخانیکی خوب مورد توجه هستند. هایدروژل فزیکی از طریق قوه ثانویه ضعیف و هایدروژل کیمیاوی از طریق قوه‌های کوولانسی تشکیل می‌شوند. پولی میرهای مختلف با منشا طبیعی و مصنوعی برای ساخت هایدروژل‌ها استفاده می‌شود، هایدروژل‌های طبیعی به دلیل تنوع، فراوانی، ارزانی، تجدیدپذیری، زهری نبودن و سازگاربودن با حیات نسبت به هایدروژل‌های سنتیزی بسیار جالب توجه هستند. هایدروژل‌ها به دلیل خواص منحصر به فرد در صنایع مختلف مانند غذایی، بسته بندی، دواسازی، زراعت، کاربردهای طیبی و بیو انجنیری و در ساخت دستگاه‌های الکترونیکی و نیز به عنوان جاذب برای حذف آلاینده‌ها در کاربردهای محیط زیست به کار گرفته شده اند. در مقاله حاضر، ساخت هایدروژل‌ها براساس ویژگی‌های مختلف، روش‌های ساخت و برخی از خواص و کاربردهای مهم آن‌ها در زمینه‌های مختلف بررسی شده است.

اصطلاحات: هایدروژل، اتصال عرضی، شبکه، پلیمرها،

[1*] مولف مسوول

۱.مقدمه

هایدروژل‌ها شبکه‌های پولی‌میری سه بعدی با ظرفیت جذب بسیار زیاد آب هستند. این ترکیبات بدون انحلال حتی تا بیش از ۱۰۰۰ برابر کتله پولی‌میر می‌توانند آب را جذب کنند. وجود هایدروژل‌ها به سال ۱۹۶۰ برمی‌گردد زمانی‌که Wichterle و Lim برای اولین بار استفاده از شبکه‌های آب دوست پلی (هایدروکسی ایتایل میتا اکریلیت)، PHEMA در لنز تماسی پیشنهاد دادند. در مقایسه با سایر مواد سنیتزی، هایدروژل‌ها از لحاظ سطح نرم و رابری، ساختار و خواص فزیکی- کیمیاوی به بافت های زنده شباهت بیش‌تری دارند. از آن زمان به بعد، تکنالوژی استفاده از هایدروژل‌ها در طب زیستی و دوا سازی توسعه یافت[۳-۱]. هایدروژل‌ها به روش کیمیاوی یا فزیکی شبکه‌ای می‌شوند. قابلیت جذب آب هایدروژل‌ها از گروپ‌های آب دوست در زنجیرهای پولیمر شامل گروپ‌های هایدروکسی (OH)، کاربکسیلی(COOH)، امینی(NH_2)، امایدی($CONH_2$) و سلفونی(SO_3H) ناشی می‌شود، درحالی‌که مقاومت آن‌ها در برابر منحل شدن از اتصالات عرضی بین زنجیرهای شبکه ناشی می‌شود[۳]. ساختار شبکه‌های پلیمری هایدروژل‌ها می‌تواند از طریق اتصال عرضی فزیکی، اتصال عرضی کیمیاوی و یا ترکیبی از هر دو نوع اتصال تشکیل شوند[۴]. ساختار کیمیاوی هایدروژل، مورفولوژی و تورم تعادلی آن بر خصوصیاتی از قبیل استحکام میخانیکی و انتقالات داخل و خارج سلولی تاثیرگذار است[۵]. هایدروژل‌ها را می‌توان از چند دیدگاه از جمله منبع اصلی هایدروژل (پولی میر طبیعی یا سنتیزی)، ساختار هایدروژل (شبکه هموپولی میر، شبکه کوپلیمر و شبکه درهم نفوذ)، روش اتصالات عرضی (فزیکی و کمییاوی)، چارج هایدروژل (آنیونی و کتیونی) و تخریب کننده حیات یا پایدارکننده حیات تقسیم کرد[۵, ۶]. مواد طبیعی و سنتیزی بسیاری به عنوان هایدروژل‌ها دسته بندی می‌شوند. در دو دهه گذشته، هایدروژل‌های سنتیزی به دلیل عمر کاربری طولانی، ظرفیت زیاد جذب آب و استحکام زیاد ژل به تدریج جایگزین هایدروژل‌های طبیعی شده اند. خوشبختانه، پولیمرهای سنتیزی معمولاً ساختار شناخته شده‌ای دارند که می‌توانند به منظور عامل دارشدن و تخریب کننده ماده زنده اصلاح شوند. هایدروژل‌های سنتیزی از تعامل ساده یک یا چند مونومیر به روش‌های کیمیاوی تهیه می‌شوند. هایدروژل‌ها به دلیل خواص منحصر به فرد در پنجاه سال گذشته بسیار مورد توجه قرار گرفته اند و در صنایع مختلف از جمله در کاربردهای محیط زیستی استفاده می‌شوند. هایدروژل‌ها به شکل‌های فزیکی متنوع شامل قطعه میکروذرات، نانوذرات، پوشش‌ها و ورقه ها فرمول بندی شده و برای محدوده گسترده‌ای از کاربردهای طبی و بیو انجنیری شامل بیو حسگرها، انجنیری بافت، طب ترمیمی[۱] جداسازی مالیکول‌های زنده یا حجرات به کارگرفته می‌شوند[۷, ۸]. در این مقاله مروری، در مورد انواع هایدروژل‌ها و میکانیزم تشکیل هایدروژل‌ها و کاربرد آن‌ها در زمینه‌های مختلف بررسی شده است.

۱. مواد اولیه ساخت هایدروژل

مواد اولیه اصلی برای تهیه هایدروژل‌ها شامل مونومیرهای سنتزی یا طبیعی یا پولی میرها هستند. هایدروژل‌ها معمولاً از مونومیرهای قطبی تهیه می‌شوند که به برخی از این مونومیرهای سنتیزی می‌توان اشاره کرد HEMA (هایدروکسی

[۱] Medicine Regenerative

ایتایل میتا اکریلیت) HEEMA (هایدروکسی ایتوکسی ایتایل میتااکریلات)،MEMA (میتوکسی ایتایل متا اکریلات) و EG (اتیلین گلایکول). از پولی میرهای طبیعی می‌توان کیتوسان، آلژینات، فیبرین، کولاکژن، ژلاتین، هیارونیک اسید و دکستران را نام برد. از عوامل شبکه‌ای کننده می‌توان به اپی کلروهایدرین (ECH)، متیلن بیس آکریل امایd (MBA) و دای وینیل سلفون (DVS) متوان اشاره کرد. در برخی از روش‌های تهیه هایدروژل‌ها، نیاز به آغازگر است که معمولاً از ترکیباتی مانند امونیم پرسلفیت و پتاشیم پر اکساید دای سلفیت استفاده می‌شود[۹].

۱-میکانیزم تشکیل و روش‌های ساخت هایدروژل

پولی‌میرهای طبیعی مواد کاربوهایدریتی هستند که به دلیل در دسترس بودن، حضور گروپ‌های فعال قابل تغییر، سازگاری با ماده زنده و دیگر خصوصیات، به طور گسترده برای ساخت هایدروژل‌های فزیکی و کیمیاوی مورد استفاده قرار گرفته اند[۱۰]. هایدروژل‌ها را می‌توان با انتخاب نوع مونومیر یا پولی‌میر و نوع تعامل تشکیل هایدروژل برای کاربردی خاص طراحی نمود. هایدروژل‌ها با دو روش اتصال عرضی کیمیاوی و اتصال عرضی فزیکی تشکیل می‌شوند[۱۱]. روش‌های پولی‌میر شدن متفاوتی برای تهیه هایدروژل‌ها به کار گرفته می‌شوند که شامل پولی‌میر شدن رادیکالی آزاد محلولی، تعلیقی، تعلیقی معکوس، ایمولشنی، تابشی یا نور پولی‌میر شدن و انتقال زنجیر محصولات به دست آمده از این روش‌ها به شکل ذرات کوچک، پودر، الیاف، غشا، میکرودانه‌ها و حتی مانند مایعات تغییرشکل یافته هستند.

۱-۱- اتصال عرضی کیمیاوی

هایدروژل‌های تشکیل یافته به وسیله اتصال عرضی کیمیاوی به دلیل استحکام میخانیکی خوب که دارند، مورد توجه قرار گرفته اند[۱۲]. هایدروژل‌های با قابلیت برقراری اتصال عرضی کیمیاوی، نوعی از هایدروژل‌ها هستند که توانایی تبدیل از حالت مایع به جامد، از طریق برقراری رابطه اشتراکی را دارا می‌باشند. از این روش در سیستم‌های هایدروژلی در محل تشکیل شده نیز استفاده می‌شود. در این روش از تعاملات مختلف مانند پولی‌میرایزیشن نوری و تعاملات انزایمی برای تشکیل هایدروژل استفاده می‌شود[۱۳].

۱-۱-۱- پولی میرایزیشن نوری

پولی میرایزیشن نوری یکی از روش‌های اتصال عرضی کیمیاوی در تشکیل هایدروژ ل‌ها می‌باشد که دارای مزایایی از جمله انرژی کم و عدم نیاز به محلل برای انجام تعامل می‌باشد. در این روش از پولی‌میرهای آبدوست که دارای مالیکول‌های حساس به نور اند، استفاده می‌شود. به هنگام در معرض قرار دادن محلول پولی‌میری به وسیله تاباندن اشعه UV یا نور مرئی، آغازگر نوری تجزیه و رادیکال‌های آزاد تشکیل و پروسه پولی میرایزیشن انجام می‌شود[۱۳]. این روش یکی از موثرترین روش‌هایی است که مونومیر از طریق آغازگر نوری به پولی‌میر تبدیل می‌شود. [۱۴].

۱-۱-۲- پولی میرایزیشن انزایمی

تعاملات انزایمی در حضور انزایم موجود در محیط بیولوژیکی انجام می‌شود به همین دلیل، این روش توجهات زیادی را برای کاربردهای حجروی به خود جلب کرده است. برای ایجاد اتصال عرضی از طریق تعاملات انزایمی نیاز به شرایط

مطلوب برای انجام تعامل از جمله pH طبیعی، محیط بیولوژیکی و درجه حرارت مطلوب می‌باشد روشی عالی را برای تهیه ژل‌های برپایه پولی اتیلن گلایگول (PEG) با استفاده از انزایم پیشنهاد شده است. گروپ‌های گلوتامینیل را با پولی اتیلن گلایگول تتراهایدروکسی رادیکالیزه شود. افزودن ترانس گلوتامین‌ها به محلول‌های آبی و به تشکیل شبکه‌ای شدن پلی اتلین گلایکول منجر می‌شود. [۱۲, ۱۵, ۱۶]. اتصال فزیکی هایدروژل‌های تشکیل یافته از طریق اتصال فزیکی را می‌توان به وسیله تغییر در قوه‌های درون مولکولی مانند برقراری رابطه هایدروجنی، عکس‌العمل آب گریزی و قوه آیونی الکتروستاتیکی بدست آورد. به دلیل جلوگیری از افزایش احتمال زهری بودن اتصال دهنده عرضی در روش کیمیاوی، این روش آماده سازی هایدروژل‌ها را با پروسه‌های ساده و بی خطر امکان پذیر می‌سازد. روش‌های اتصال عرضی فزیکی شامل روش‌های آیونی، روش‌های وابسته به درجه حرارت و روش‌های وابسته بهpH برای اتصال عرضی می‌باشند[۱۷].

۳-۱-۱- روش وابسته به درجه حرارت

درجه حرارت پارامتر مهمی در تشکیل هایدروژل‌ها به روش اتصال عرضی فزیکی می‌باشد. هایدروژل‌های حساس به درجه حرارت، در درجات پایین به حالت مایع و در درجه حرارت بدن به حالت ژل در می‌آیند[۱۸]. پولیمرهای منحل در آب، دارای خاصیت ژل شدن تحت تغییرات درجه حرارت هستند که از این هایدروژل‌ها، برای کاربردهای انجنیری بافت استفاده شده است. این هایدروژل‌ها نیازی به هیچ گونه تحریک کننده کیمیاوی برای تشکیل خود نیاز ندارند. نقطه ژل شدن آن‌ها می‌تواند در درجه حرارت نزدیک به درجه حرارت طبیعی بدن تنظیم شود، بنابراین می‌توانند به شکل مایع تزریق و در داخل بدن به شکل جامد تبدیل شوند از هر دو نوع پولی‌میرهای طبیعی و مصنوعی در این روش استفاده می‌شوند[۱۹].

۴-۱-۱- روش وابسته به pH

ویژه‌گی pH یک پارامتر قابل توجه محیطی می‌باشد که می‌تواند به عنوان عامل تحریک کننده هایدروژل‌ها مورد استفاده قرار گیرد. هایدروژل‌های حساس به pH به صورت دینامیکی توانایی متورم شدن و انقباض را با توجه به pH متوسط محیط اطراف خود دارا می‌باشند. یک ویژه‌گی معمول هایدروژل‌های حساس به pH حضور گروپ‌های اسیدی جانبی می‌باشد که می‌تواند در pH مشخص آیونی شود. هایدروژل‌های حساس به pH به دلیل دارا بودن توانایی تحریک شدن و پاسخ دادن به تغییرات محیطی، به طور گسترده در کاربردهای طبی نظیر سیستم‌های کنترول شده رهایش دوا و دریچه‌های قلبی مورد استفاده قرار گرفته اند. برای درک تشکیل هایدروژل‌های حساس به pH باید تغییرات درجه حرارت نیز در نظر گرفته شود[۱۳].

۵-۱-۱- اتصال عرضی آیونی

از جمله روش‌های فزیکی اتصال عرضی، تعامل اتصال عرضی آیونی بدون تشکیل رابطه کوولانسی بین زنجیرهای پولی‌میرها می‌باشد که در این روش از عامل اتصال عرضی ایونی برای تشکیل ژل استفاده می شود[۱۰, ۱۹]. از این روش برای دستیابی به سختی بالا برای هایدروژل‌ها استفاده می‌گردد[۲۰]. پولی‌میرهای طبیعی که توانایی بر قراری

اتصـــال عرضـــی به روش آیونی را دارد می‌توان به کیتوســـان اشـــاره نمود که از آن در کاربرد های نظیر آزاد شدن دوا استفاده شده است [۴].

۲-کاربردهای هایدروژل

هایدروژل‌ها به دلیل خواص و قابلیت‌های منحصر به فرد در صنایع مختلف از جمله غذایی، بسته بندی، دواسازی، زراعت و به عنوان جاذب برای حذف آلاینده‌ها در کاربردهای محیط زیستی و صنایع آرایشی استفاده می‌شوند. در ادامه، به برخی از کاربردهای هایدروژل‌ها به طور مختصر اشاره شده است.

۲-۱- کاربرد های هایدروژل در طب حیاتی

هایدروژل‌ها به دلیل سازگاری با حیات و جذب مقدار زیادی آب در زمینه‌های طب حیاتی به طور موفقیت آمیزی استفاده شده اند. هایدروژل‌ها رفتار اعضای بدن انسان را در پاسخ به تغییر شرایط محیطی مانند درجه حرارت، pH، انزایم و میدان الکتریکی تقلید می‌کنند که موجب استفاده از این ترکیبات در کاشتنی ها[۱] اندام‌های مصنوعی، گیره های رباتی[۲] دستگاه های تشخیصی برای ماهیچه های مصنوعی و بسیاری از کاربردهای دیگر شده است. هایدروژل‌ها در سوند ادراری استفاده می‌شوند تا با جلوگیری از جمع شدن باکتری بر سطح، سطحی نرم و لغزنده را برای بهبود سازگاری حیاتی آن فراهم کنند[۲۱]. مین هه کیم و همکارانش موفق به ساخت هایدروژل متایل سلولز حاوی ذرات اکساید نقره به عنوان زخم پوش سوختگی شدند. آن‌ها از موش‌های صحرایی چهار هفته‌ای اسپراگ برای این آزمایش استفاده کردند. ارزیابی درو نتن هایدروژل‌ها بر روی موش‌های صحرایی تحت شرایط کنترول شده درجه حرارت، رطوبت و روشنایی انجام شد[۲۲].

۳-۱- کاربردهای هایدروژل بحیث ناقل ادویه

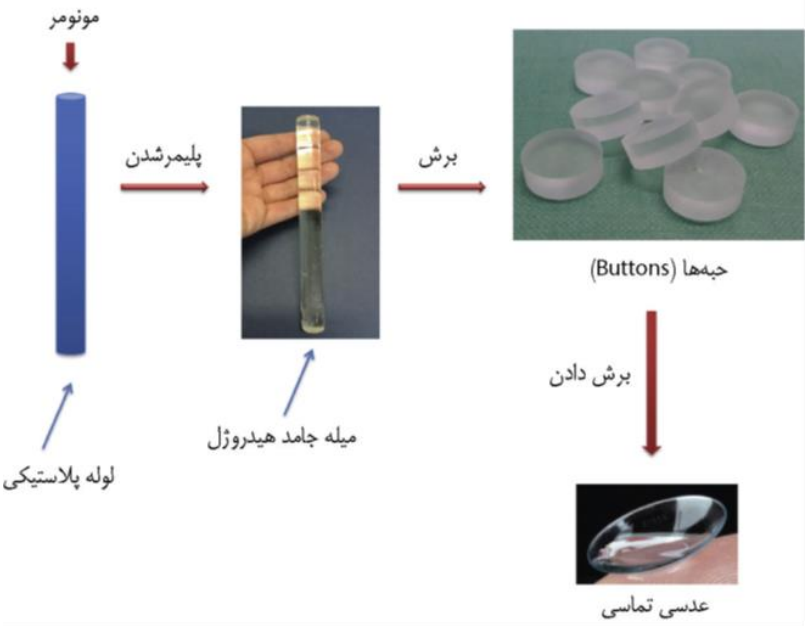
امروزه ابزارهای انتقال ادویه برپایه هایدروژل‌ها گستره عمده‌ای از زمینه‌های تحقیقی را شامل شده است. هدف از طراحی و کاربرد سیستم‌های ناقل ادویه، کاهش دفعات مصرف دوا، افزایش اثربخشی و کاهش عوارض جانبی ناشی از مصرف آن هاست. ماهیت نرم و آب دوستی هایدروژل‌ها، این ترکیبات را به طور خاص به عنوان سیستم‌های ناقل ادویه نوین مناسب کرده است. وجود منافذ در هایدروژل‌های پولی‌میری شبکه‌ای شده موجب قرارگرفتن راحت دوا در این سیستم‌ها می‌شود که به شکل قطعه، میکروذرات، نانوذرات، پوشش یا ورقه برای ادویه های آب دوست و آب گریز استفاده می‌شوند[۸, ۲۳]. عبداللهی و همکاران موفق به ساخت هایدروژل بارگذاری شده با ادویه فلوکسامین به روش فراصوت دهی شدند که این هایدروژل آزاد شدن کنترول شده دوا را در محیط شبیه سازی شده بدن نشان داده است. آن‌ها معتقدند ساز و کار آزاد شدن دوا از هایدروژل به عوامل مختلفی از جمله ترکیب هایدروژل، ساختار هندسی آن، روش تهیه، نوع دارو و شرایط محیطی در مدت زمان آزاد شدن بستگی دارد که عاملpH از مهمترین این عوامل است[۲۴].

---

۱ Implants
۲ Robotic Grippers

۴-۱- کاربرد هایدروژل در لنز های تماسی

استفاده از هایدروژل‌ها به سال ۱۹۶۰ بر می‌گردد، زمانی‌که ویچترل و لیم استفاده از شبکه‌های آبدوست پلی (۲-هایدروکسی ایتایل متاکریلیت) را به عنوان مواد لنز نرم معرفی کردند. این مواد از دهه ۱۹۶۰ برای کاربردهایی مانند لنزهای تماسی و لنزهای داخل چشمی به دلیل عدم عکس‌العمل بدن نسبت به جسم خارجی و نفوذپذیری بالای اکسیجن استفاده شده اند[۲۵]. در حال حاضر در سراسر جهان، تخمین زده شده که تقریبا ۱۰۰ میلیون نفر از لنزهای تماسی استفاده می‌کنند و این تعداد در حال افزایش است. اگر چه استفاده اصلی از لنزهای تماسی برای تصحیح مشکلات آمتروپیایی(ناهنجاری شکست نوردرچشم که به تارشدن دید منجر می‌شود.) است، همچنین می‌توان از آن‌ها به عنوان وسیله درمانی برای آزاد شدن دواهای چشم بهره برد[۲۶]. لنزهای تماسی برحسب انعطاف پذیری به دو نوع سخت و نرم دسته بندی می‌شوند. عدسیه های تماسی سخت به طور عمده بر پایه مواد آب گریز نظیر پلی متایل متاکریلات(PMMA)[۱] یا پلی هگزا-فلوئوروایزوپروپیل متاکریلات(HFIM)[۲] هستند، در حالی‌که عدسیه های نرم بر پایه هایدروژل‌ها ساخته می‌شوند. عدسیه های نرم به روش‌های مختلف از جمله ریخته‌گری چرخشی[۳]، ریخته‌گری قالبی[۴] و تراش-برش[۵]تولید می‌شوند[۲۷].



شکل (۱) طرح از برش وتراش لنز تماسی[۲۷]

۱ polymetylmetaacrylate
۲ Hxafluoro-iso-propylmethaacrylate
۳ Spin-Cas ting
٤ Mold-Cas ting
٥ Lathe-Cutting

۵-۱- کاربرد هایدروژل در تکنالوژی جداسازی

امروزه به دلیل دور ریختن مقادیر زیاد و متنوع از رنگ‌های استفاده شده در پلاستیک، کاغذ، لوازم آرایشی و بهداشتی و صنایع نساجی به محیط که اغلب تخریب کننده حیات، سمی و سرطان زا هستند که مسبب آلودگی آب مشکلات زیست محیطی می‌شود. معمولاً طریقه های متداول نظیر لخته سازی، ته نشینی کیمیاوی جداسازی غشایی برای حذف این رنگ‌ها از پساب‌های صنعتی به کار گرفته می‌شوند که همیشه کارآمد نیستند. از این رو، گرفته می‌شوند که همیشه کارآمد نیستند. از این رو، جذب، روشی مؤثر و مقرون به صرفه برای حذف این رنگ دانه‌ها با ویژه‌گی های مانند انعطاف پذیری در انتخاب رنگ دانه‌ها با ویژه‌گی های مانند انعطاف پذیری در انتخاب جاذب مناسب و بهره برداری و تهیه پساب مناسب برای جاذب مناسب برای استفاده مجدد در نظر گرفته می‌شود؛ که هایدروژل‌ها مناسب اند[۲۱]. انواع مختلف جاذب های هایدروژلی بر اساس منابع تجدیدپذیر در مراجع گزارش شده اند[۲۸].

۶-۱- کاربرد هایدروژل در زراعت

کاربرد هایدروژل های برپایه سلولوز را با سه فرمول بندی مختلف، شامل شبکه‌ای شدن با کاربودای ایماید، به عنوان حامل برای آزاد شدن پایدار و کنترول شده آب و به عنوان مواد مغذی در مناطق خشک و بیابانی بررسی کردند. مزیت اصلی این است که هایدروژل‌ها آزاد شدن آب ذخیره شده را به محض خشک شدن خاک کنترول کرده و رطوبت خاک را طی زمان نسبتاً طولانی حفظ می‌کنند. افزون بر این، وجود هایدروژل، تخلخل خاک را افزایش می‌دهد و آکسیجن رسانی بهتری را برای ریشه‌های گیاه فراهم می‌کند[۲۹]. در دهه های گذشته، تلاش‌های بسیاری در زمینه توسعه کودهای آزاد و کنترول شده مانند یوریا و نایتریت انجام شده است تا همزمان کارایی را بهبود بخشد و اثرات بر محیط زیستی را کاهش دهد. در مقایسه با استفاده معمولی، سیستم‌های رهاسازی آهسته باعث آزاد شدن مواد مغذی در مطابقت با چرخه عمر نباتات، کاهش فرکانس کاربرد و جلوگیری از اثرات منفی مصرف بیش از حد می‌شوند[۳۰].

۷-۱- کاربرد هایدروژل در صنایع آرایشی

توسعه مداوم مواد تشکیل دهنده جدید برای تولید لوازم آرایشی و محصولات مراقبت شخصی از مهم‌ترین زمینه‌های پژوهشی در این صنعت است. بازار صنعت آرایشی از لحاظ ابعاد و عرضه محصول در حال افزایش است. از دلایل این رفتار، مسیر طولانی دریافت تأییدیه لازم برای وسایل طبی، روش‌های طبی، ادویه یا زیست مولکول هاست تا اجازه فروش آن‌ها در بازار داده شود. مهم‌ترین عامل مورد ارزیابی برای تأیید کاربرد محصول در صنایع آرایشی و بهداشتی شاخص تحریک اولیه است. به دست آوردن این شاخص برای پوست و چشم ساده است. در واقع، برای هر سطح یک اثر معین مطابقت داده می‌شود. با توجه به این‌که اکثر هایدروژل‌های مصرفی در این زمینه برای کشت حجرات و سایر کاربردهای طب حیاتی استفاده می‌شوند، جای تعجب نیست که شاخص تحریک آن‌ها کمترین مقدار باشد، بنابراین شرکت‌ها، با سرمایه گذاری نسبتاً کوچک، قادر به راه اندازی خط تولید هستند. محصولات جدید آرایشی بر مبنای

هایدروژل‌ها، با نام ماسک های زیبایی هستند که معمولاً با کلاکژن مهندسی(پروتین تغیر یافته) شده، هیالورونیک اسید و پلی وینیل پیرولیدون پیکوژل[۱]ساخته می‌شوند[۳۱].

۸-۱- کاربرد هایدروژل در استخراج نفت

امروزه، نفت و گاز به عنوان حیاتی ترین منابع سوختی بشر به شمار می‌آیند. با توجه به محدودیت منابع و نیز مشکلات اکتشاف، تولید و بهره وری منابع هایدروکاربنی، توسعه تکنالوژی های جدید برای ازدیاد برداشت نفت (EOR[۲]) بسیار ضروری است. از مشکلات اساسی که در حفاری های پیشرفته در نتیجه سیلاب زنی آب[۳] در طولانی مدت رخ می‌دهد، تولید آب اضافی است. این پدیده معمولاً به افزایش مشکلات محیط زیست و در نهایت به بسته شدن چاه های منجر می‌شود که هنوز دارای حجم قابل توجهی هایدروکاربن هستند. برای کاهش تولید آب اضافی و افزایش تولید هایدرکاربن‌ها، تکنولوژی‌ها و راهکارهای مختلف به کار گرفته می‌شوند. از راهکار های مؤثر می‌توان به تزریق هایدروژل‌ها به ویژه هایدروژل‌های نانوکامپوزیتی برپایه پولی‌میرهای طبیعی مانند نشایسته، کاربوکسی متیل سلولوز و زانتان و پولی میرهای سنتیزی آکریل امایدی اشاره کرد که موجب اصلاح یا مسدودکردن مسیرهایی با نفوذپذیری آب زیاد می‌شوند. هایدروژل‌های آکریل امایدی به دلیل سقلت زیاد و مقرون به صرفه بودن در زمینه ازدیاد برداشت نفت بسیار مورد توجه قرار گرفته اند[۳۲].

۹-۱- کاربرد هایدروژل در صنعت بسته بندی مواد غذایی

در حال حاضر، چند گروپ تحقیقی و نیز شرکت های صنعتی در سراسر جهان در حال گسترش راه حل های جدید بسته بندی دوست دار محیط زیست به منظور بهره وری از مزایای محیط زیستی بیو پولی‌میرها در کاربردهای از جمله بسته بندی مواد غذایی هستند. بیو پولی‌میرها به طور مستقیم از بیو مواد مانند پروتین‌ها، پلی سکرایدها و لیپیدها استخراج می‌شوند. همچنین، برخی از هایدروژل‌ها با سنتیز کیمیاوی مانند پولی لاکتیک اسید(تولید شده که در توسعه ساختارهای جدید برای گسترش کاربردهای بسته بندی غذایی از بیو پولی‌میرها استفاده می‌شوند، اما به دلیل گرانی، استحکام کم و مقاومت ضعیف در برابر آب از مواد طبی عقب افتاده است[۲۱].

۱۰-۱- کاربرد هایدروژل در بیوتکنالوژی

هایدروژل‌ها به عنوان غشاهای ماتریکس فوری در حسگرها(سنسورها) با سختی، کشسانی(خاصیت ایلاستیکی) و ضریب شکست مدنظر به کار گرفته شده اند. هایدروژل‌های هوشمند برای تغلیظ محلول‌های آبی رقیق درشت مالیکولی شامل پروتئین‌ها و آنزایم‌ها بدون اخلال در فعالیت انزایم با تنظیم درجه حرارت یا pH محیط مربوط به اندازه و بار خالص استفاده شده اند. هایدروژل‌های هوشمند در محلول‌ها با سازوکار تورم و جمع شدگی برگشت پذیر در پاسخ به تغییری کوچک در شرایط محیطی، همچنین در دستگاه های تصفیه به کار گرفته می‌شوند. با تغییر رفتار تورم، هایدروژل‌ها

---

۱ Pecogel
۲ Enhaced Oil Recovery
۳ Water Flooding

برای کنترول تعملات بسترها[1] با انزایم های تثبیت شده گزارش شده اند. مشاهده شد، تبدیل استروئید در ژل‌های بسیار آب گریز به دلیل جداسازی زیاد استروئیدهای غیرمنحل در آب، بیش‌تر است[۲۱].

۱۰-نتیجه گیری

شبکه‌های هایدروژلی شامل وسعت زیاد از پلیمرهای طبیعی و سنتزی هستند که با داشتن انواع مختلف از رابطه های فزیکی و کیمیاوی و قابلیت جذب در شبکه متخلخل، به عنوان مواد امید بخش در زمینه‌های مختلف مورد توجه قرارگرفته اند. در دهه های گذشته، پیشرفت های قابل توجه در زمینه هایدروژل‌ها به عنوان بیو مواد کاربردی انجام شده است. چنانچه طبق دیتابیس اسکوپوس، حدود ۶۸۹۳۰ مقاله منتشر شده که امروزه در آن‌ها کلمه هایدروژل در عنوان، کلمات کلیدی و چکیده این مقالت درج شده است. هایدروژل‌ها به طور گسترده نقش مهم در تولید محصولات لنزهای تماسی، محصولات صحی و زخم پوش‌ها ایفا می‌کنند. اما، تولید هایدروژل‌های تجارتی در بعضی زمینه‌ها مانند آزاد شدن دوا[2] همچنان محدود است. ابزارها و توسعه های زیاد از کاربرد های هایدروژل به شکل لابروتواری صورت گرفته که براساس هایدروژل‌ها طراحی و مطالعه شده و در بعضی موارد حتی ثبت اختراع شده اند، اما تعداد کمی از آن‌ها به بازار رسیده اند. توسعه بیشتری برای تولید هایدروژل‌های تجارتی درمورد این مطالعات انتظار می‌رود، اما هزینه های زیاد تولید، علت اصلی محدودیت برای تجارتی شدن بیشتر آن هاست. پیشرفت های اخیر در زمینه علوم و تکنالوژی پولی‌میر به توسعه انواع مختلف هایدروژل‌ها منجر شده است. اما با وجود تمام خواص مفید هایدروژل‌ها، هنوز چالش های زیادی برای غلبه به منظور صنعتی شدن درزمینه های زیاد وجود دارد. آینده تحقیق در این زمینه‌ها امید بخش است که هر محقق را وا می‌دارد که در مورد آن تجسس کند.

۱۱- پیشنهادات

۱- هایدروژل‌ها مرکبات بسیار عالی بوده و می‌تواند بحیث بستر دوا ها استفاده گردد.
۲- هایدروژل‌ها نسبت به داشتن سطح بسیار زیاد یک بستر بسیار عالی برای کتلست ها می‌تواند مورد استفاده قرار گیرند.

۱ Subs trates
۲ Drug release

ماخذ

[١] O. Wichterle and D. Lim, "Hydrophilic gels for biological use," *Nature*, vol. ١٨٥, pp. ١١٧-١١٨, ١٩٦٠.

[٢] S. P. Nagam, A. N. Jyothi, J. Poojitha, S. Aruna, and R. Nadendla, "A comprehensive review on hydrogels," *Int. J. Curr. Pharm. Res*, vol. ٨, pp. ١٩-٢٣, ٢٠١٦.

[٣] V. Morkhande, R. Pentewar, S. Gapat, S. Sayyad, B. D. Amol, B. Sachin, *et al.*, "A review on hydrogel," *Indo Am. J. Pharm. Res*, vol. ٦, pp. ٤٦٧٨-٨٨, ٢٠١٦.

[٤] M. S. Riederer, B. D. Requist, K. A. Payne, J. D. Way, and M. D. Krebs, "Injectable and microporous scaffold of densely-packed, growth factor-encapsulating chitosan microgels," *Carbohydrate polymers*, vol. ١٥٢, pp. ٧٩٢-٨٠١, ٢٠١٦.

[٥] Q. V. Nguyen, J. H. Park, and D. S. Lee, "Injectable polymeric hydrogels for the delivery of therapeutic agents: A review," *European Polymer Journal*, vol. ٧٢, pp. ٦٠٢-٦١٩, ٢٠١٥.

[٦] A. S. Hoffman, "Hydrogels for biomedical applications," *Advanced drug delivery reviews*, vol. ٦٤, pp. ١٨-٢٣, ٢٠١٢.

[٧] F. Ganji and F. E. VASHEGHANI, "Hydrogels in controlled drug delivery systems," ٢٠٠٩.

[٨] M. M. ZOHOURIAN and K. Kabiri, "Superabsorbent polymer materials: a review," ٢٠٠٨.

[٩] W. A. Laftah, S. Hashim, and A. N. Ibrahim, "Polymer hydrogels: A review," *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, vol. ٥٠, pp. ١٤٧٥-١٤٨٦, ٢٠١١.

[١٠] A. P. Mathew, S. Uthaman, K.-H. Cho, C.-S. Cho, and I.-K. Park, "Injectable hydrogels for delivering biotherapeutic molecules," *International journal of biological macromolecules*, vol. ١١٠, pp. ١٧-٢٩, ٢٠١٨.

[١١] K. Wang and Z. Han, "Injectable hydrogels for ophthalmic applications," *Journal of Controlled Release*, vol. ٢٦٨, pp. ٢١٢-٢٢٤, ٢٠١٧.

[١٢] M. F. Akhtar, M. Hanif, and N. M. Ranjha, "Methods of synthesis of hydrogels… A review," *Saudi Pharmaceutical Journal*, vol. ٢٤, pp. ٥٥٤-٥٥٩, ٢٠١٦.

[١٣] J. C. Kurnia, E. Birgersson, and A. S. Mujumdar, "Analysis of a model for pH-sensitive hydrogels," *Polymer*, vol. ٥٣, pp. ٦١٣-٦٢٢, ٢٠١٢.

[١٤] X. Qin, F. Zhao, Y. Liu, and S. Feng, "Frontal photopolymerization synthesis of multilayer hydrogels with high mechanical strength," *European polymer journal*, vol. ٤٧, pp. ١٩٠٣-١٩١١, ٢٠١١.

[١٥] J. A. Hunt, R. Chen, T. van Veen, and N. Bryan, "Hydrogels for tissue engineering and regenerative medicine," *Journal of Materials Chemistry B*, vol. ٢, pp. ٥٣١٩-٥٣٣٨.٢٠١٤ ,

[١٦] J. Cappello, J. Crissman, M. Dorman, M. Mikolajczak, G. Textor, M. Marquet, *et al.*, "Genetic engineering of structural protein polymers," *Biotechnology progress*, vol. ٦, pp. ١٩٨-٢٠٢, ١٩٩٠.

[١٧] O. Guaresti, C. García–Astrain, R. Aguirresarobe ,A. Eceiza, and N. Gabilondo, "Synthesis of stimuli–responsive chitosan–based hydrogels by Diels–Alder cross–linkingclick reaction as potential carriers for drug administration," *Carbohydrate polymers,* vol. ١٨٣, pp. ٢٧٨-٢٨٦, ٢٠١٨.

[١٨] L. Wei, J. Chen, S .Zhao, J. Ding, and X. Chen, "Thermo-sensitive polypeptide hydrogel for locally sequential delivery of two-pronged antitumor drugs," *Acta biomaterialia*, vol. ٥٨, pp. ٤٤-٥٣, ٢٠١٧.

[۱۹] J. D. Kretlow, L. Klouda, and A. G. Mikos, "Injectable matrices and scaffolds for drug delivery in tissue engineering," *Advanced drug delivery reviews*, vol. ٥٩, pp. ٢٦٣-٢٧٣, ٢٠٠٧.

[۲۰] R. Bai, Q. Yang, J. Tang, X. P. Morelle, J. Vlassak, and Z. Suo, "Fatigue fracture of tough hydrogels," *Extreme Mechanics Letters*, vol. ١٥, pp. ٩١-٩٦, ٢٠١٧.

[۲۱] F. Ullah, M. B. H. Othman, F. Javed, Z. Ahmad, and H. M. Akil, "Classification, processing and application of hydrogels: A review," *Materials Science and Engineering: C,* vol. ٥٧, pp. ٤١٤-٤٣٣, ٢٠١٥.

[۲۲] M. H. Kim, H. Park, H. C. Nam ,S. R. Park, J.-Y. Jung, and W. H. Park, "Injectable methylcellulose hydrogel containing silver oxide nanoparticles for burn wound healing," *Carbohydrate polymers*, vol. ١٨١, pp. ٥٧٩-٥٨٦, ٢٠١٨.

[۲۳] S. Khoee and M. Kardani, "Hydrogels as controlled drug delivery carriers," *Polymerization, Quarterly*, vol. ٢, pp. ١٦-٢٧, ٢٠١٣.

[۲٤] ع. پینوندی, ابراهیمی, رجبعلی, و امیری, "بررسی بارگذاری و رهایش داروی فلووکسامین در هیدروژل ساخته شده با فراصوت دهی," مجله علوم و تکنولوژی پلیمر, ٢٠١٥, ٢٢٥-٢٣٢, pp. ٢٨, vol.

[۲٥] J .Yang, Y. S. Zhang, K. Yue, and A. Khademhosseini, "Cell-laden hydrogels for osteochondral and cartilage tissue engineering," *Acta biomaterialia*, vol. ٥٧, pp. ١-٢٥, ٢٠١٧.

[۲٦] L. Xinming, C. Yingde, A. W. Lloyd, S. V. Mikhalovsky, S. R. Sandeman, C. A. Howel, *et al.*, "Polymeric hydrogels for novel contact lens-based ophthalmic drug delivery systems: A review," *Contact Lens and Anterior Eye*, vol. ٣١, pp. ٥٧-٦٤, ٢٠٠٨.

[۲۷] E. Caló and V. V. Khutoryanskiy, "Biomedical applications of hydrogels: A review of patents and commercial products," *European polymer journal*, vol. ٦٥, pp. ٢٥٢-٢٦٧, ٢٠١٥.

[۲۸] H. Ghasemzadeh and S. Shidrang, "Methyl violet dye absorption from aqueous solutions by nanomagnetic hydrogels based on κ-carrageenan and acrylic acid," *Iran. J .Polym. Sci. Technol.(Persian)*, vol. ٢٩, pp. ٣٦٥-٣٧٦, ٢٠١٦.

[۲۹] P. C. Parvathy and A. N. Jyothi, "Rheological and thermal properties of saponified cassava starch-g-poly (acrylamide) superabsorbent polymers varying in grafting parameters and absorbency," *Journal of Applied Polymer Science*, vol. ١٣١, ٢٠١٤.

[۳۰] D. Drew, "Materials for Sustained and Controlled Release of Nutrients and Molecules To Support Plant Growth," ٢٠١٢.

[۳۱] N. Chirani, L. Yahia, L. Gritsch, F. L. Motta, S. Chirani, and S. Farè, "History and applications of hydrogels," *Journal of biomedical sciences*, vol. ٤, pp. ١-٢٣, ٢٠١٥.

[۳۲] P. Tongwa, R. Nygaard, and B. Bai, "Evaluation of a nanocomposite hydrogel for water shut-off in enhanced oil recovery applications: design, synthesis, and characterization," *Journal of Applied Polymer Science*, vol. ١٢٨, pp. ٧٨٧-٧٩٤, ٢٠١٣

بیوگرافی مولف



محترم پوهنیار روزبه بارکزی متولد ســال ۱۳۶۸بوده موصــوف در رشــته انجنیری کیمیاوی، تکنالوژی پولی‌میرها و نانوتکنالوژی ما ستری خویش را از ک شور ایران اخذ نموده ا ست وی عضــو کمیته تحقیقات علمی پوهنتون پولی‌تخنیک کابل و آمردیپارتمنت انجنیری کیمیاوی این پوهنتون می‌باشــد ســاحه مورد علاقه تحقیق موصــوف انجنیری کیمیاوی تکنالوژی پولی‌میرها و نانوتکنالوژی می‌باشد.