

## روش های نوین استفاده از سلولز در صنایع غذایی

یاسمین بر جلی زاده

دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، واحد شهر قدس، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

شادی مهدیخانی

استادیار، گروه علوم و صنایع غذایی، واحد شهر قدس، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

نگین مهدیزاده نمینی

دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، واحد شهر قدس، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

### چکیده:

سلولز از منابع طبیعی و پسماندهای کشاورزی به دست می آید و به دلیل طبیعی و در دسترس بودن به عنوان یکی از پرمصرف ترین مواد در این صنعت شناخته می شود. سلولز دارای یک پلیمر کربوهیدرات زنجیره بلند است که از واحدهای تکراری گلوکز تشکیل شده است. کاربرد سلولز و دیگر مشتقات آن و نانوسلولز در تولید محصولات غذایی عبارتند از نانوسلولزهای گیاهی و باکتریایی که به عنوان تثبیت کننده ها و امولسیون کننده ها در فرآورده های گوشتی که باعث افزایش جذب آب و روغن و توانایی بهبود ویژگی های رئولوژیکی و به عنوان جایگزینی برای چربی و بهبود کیفیت می باشد. امولسیون های سلولزی مانند هیدروکسی پروپیل متیل سلولز و متیل سلولز به عنوان جایگزین چربی در بیسکویت ها که باعث کاهش چربی و حذف اسیدهای چرب مضر می شود و به نرمی خمیر کمک می کند. همچنین از سلولز اصلاح شده می توان جهت بهبود کیفیت خمیر نان با نشاسته مقاوم اشاره نمود که این افزودنی ها به بهبود کیفیت رئولوژیکی خمیر و افزایش پایداری آن در فرآیند پخت کمک می کند. یکی دیگر از کاربردهای سلولز توسعه پوشش های خوراکی سلولزی برای کاهش جذب روغن و جلوگیری از ایجاد مواد سرطان زا در غذاهای سرخ شده می باشد. نوع دیگری از سلولز، سلولز باکتریایی می باشد که یک بیوپلیمر است که توسط باکتری های استیک تولید می شود که می تواند کیفیت محصولات لبنی را از طریق تثبیت امولسیون ها، کاهش کالری و افزایش فیبر رژیمی، جایگزینی چربی بهبود بخشد. از کاربردهای دیگر سلولز و مشتقات آن می توان به حامل بودن ترکیبات آنتی باکتریال و آنتی اکسیدانی در بسته بندی مواد غذایی اشاره نمود که بر افزایش ماندگاری میوه ها، سبزیجات، گوشت و غیره و حفظ کیفیت و ایمنی و کاهش آلودگی ناشی از پلاستیک اشاره نمود. این مقاله مروری به بررسی کاربردهای سلولز و مشتقات آن و نانوسلولز در صنعت مواد غذایی و بسته بندی و بهبود کیفیت محصولات غذایی که به آن اشاره شد می پردازد.

**واژگان کلیدی:** سلولز، نانوسلولز، بهبود کیفیت مواد غذایی، بسته بندی مواد غذایی

## مقدمه:

سلولز یک پلیمر کربوهیدراتی است که جزء اصلی دیواره سلولی گیاهان محسوب می‌شود و به دلیل ساختار خاص خود، در حلال‌های مختلف حل نمی‌شود همچنین سلولز در آب نامحلول است اما می‌تواند آب را جذب کند و به عنوان افزودنی در غذاها به عنوان عامل ضد کلوخه شدن، امولسیفایر، غلیظ‌کننده و چسباننده عمل کند (Karlsson, ۲۰۰۶). سلولز باکتریایی (BC) یک نانوماده طبیعی است که توسط باکتری‌هایی مانند *Komagataeibacter* تولید می‌شود (Rajwade et al, ۲۰۱۵). سلولز باکتریایی شامل زنجیره‌های ۱،۴-β-گلوکان و سپس بلورینگی است (Reiniati et al, ۲۰۱۷). این ماده عاری از لیگنین و همی‌سلولزها می‌باشد (Huang et al, ۲۰۱۴) و دارای بلورینگی بالا و ظرفیت نگهداری آب زیاد است و می‌تواند تا صدها برابر وزن خود آب را نگه دارد (Meftahi et al, ۲۰۰۹) و به عنوان یک مکانیسم دفاعی برای باکتری‌ها و در محیط‌های غنی از کربن و نیتروژن تولید شود (Rajwade et al, ۲۰۱۵) و به دلیل خلوص و بازده بالا، در تحقیقات غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Ruka et al, ۲۰۱۲). نانوسلولز (NC) ماده‌ای نانوساختاری است که از منابع طبیعی مانند الیاف گیاهی و ضایعات کشاورزی به دست می‌آید، نانوسلولز که از سلولز طبیعی تشکیل شده و بیش از ۵۰٪ کربن گیاهان را شامل می‌شود (Klemm et al, ۲۰۰۵) به شکل‌های مختلفی مانند نانوالیاف سلولزی (CNF)، نانوکریستال‌های سلولزی (CNC) و نانوسلولز باکتریایی (BNC) وجود دارد (Lin and Dufresne, ۲۰۱۴). نانوالیاف سلولزی دارای ساختار نرم و بلند است، در حالی که نانوکریستال‌های سلولزی به صورت نانوذرات میله‌ای شکل با خواص مکانیکی عالی و قابلیت خودآرایی شناخته می‌شود. CNC به وسیله هیدرولیز اسیدی از الیاف بومی تولید می‌شوند (Vilarinho et al, ۲۰۱۷) و در صنایع مختلف، به خصوص در صنعت غذا، به بهبود کیفیت بافت و پایداری امولسیون‌ها کمک می‌کنند (Kalashnikova et al, ۲۰۱۱). نانوسلولز به عنوان افزودنی‌های غذایی در صنایع غذایی در حال رشد است و به عنوان تثبیت‌کننده، امولسیون‌کننده و غلیظ‌کننده استفاده می‌شود (Perumal et al, ۲۰۲۱). این ماده با خواص مکانیکی و حرارتی خوب، قابلیت تجزیه‌پذیری زیستی، و هزینه پایین عمر مفید محصولات غذایی را افزایش می‌دهد و می‌تواند مواد مغذی را کپسوله کند (Reque and Brandelli, ۲۰۲۱). صنعت غذا به سرعت در حال پیشرفت است و نیاز به تولید غذاهایی دارد که از نظر مقدار و کیفیت پاسخگوی مصرف‌کنندگان باشد. در این راستا، استفاده از افزودنی‌ها برای بهبود کیفیت محصولات ضروری است. Xie و همکارانش در سال ۲۰۱۲ بررسی کردند که بسته‌بندی مناسب می‌تواند کیفیت غذا را حفظ کرده و از رشد میکروارگانیسم‌ها و اکسیداسیون جلوگیری کند. با افزایش نگرانی‌های زیست‌محیطی، تقاضا برای مواد بسته‌بندی تجزیه‌پذیر و تجدیدپذیر، مانند اسید پلی‌لاکتیک و اسید پلی‌هیدروکسی بوتیریک افزایش یافته است (Xie et al, ۲۰۲۱). پلیمرهای طبیعی، به ویژه سلولز، در تولید فیلم‌های بسته‌بندی نقش کلیدی دارند و به دلیل زیست‌سازگاری و پایداری زیست‌محیطی، توجه زیادی را جلب کرده‌اند. سلولز و نانوسلولز به دلیل ویژگی‌های برجسته‌ای مانند زیست تخریب‌پذیری و مقاومت حرارتی، در صنعت بسته‌بندی مورد توجه هستند. این مواد قادرند فیلم‌های کامپوزیتی با پلیمرهای ضد باکتری تولید کنند و خواص آنتی‌اکسیدانی و آنتی‌باکتریالی را ارائه دهند (David et al, ۲۰۱۹). مشتقات سلولز، مانند استرها و اترها، نیز کاربردهای میکرو و نانو دارند و می‌توانند نیاز به بسته‌بندی پایدار را برآورده کنند (Dai et al, ۲۰۱۹). مطالعه سلولز اصلاح‌شده در محصولات گوشتی می‌تواند به بهبود کیفیت و ایمنی این محصولات کمک کند. گوشت حاوی پروتئین و مواد مغذی کمیاب است، که فساد ناشی از اکسیداسیون و میکروارگانیسم‌ها می‌تواند آن را تهدید کند که می‌توان با استفاده از بسته‌بندی‌های سلولزی به حفظ کیفیت آن و کاهش آلودگی‌های پلاستیکی کمک نمود (Khalil et al, ۲۰۱۶). سلولز به عنوان یک پلیمر مهم در کاهش چربی و بهبود خواص فیزیکی و شیمیایی محصولات گوشتی مطرح است (Rol et al, ۲۰۱۹) که جایگزینی چربی‌های حیوانی با روغن‌های گیاهی و افزودن پروتئین‌های گیاهی و آنتی‌اکسیدان‌ها به بهبود کیفیت و ماندگاری محصولات گوشتی کمک می‌کند. همچنین، افزایش فیبر در محصولات گوشتی می‌تواند به بهبود سلامت انسان و پیشگیری از بیماری‌ها کمک کند (Das et al, ۲۰۲۰). Balquinta و همکارانش در سال ۲۰۲۰ طی تحقیقاتی پی بردند که از نانوسلولز نیز می‌توان جهت بهبود بافت و ویژگی‌های محصولات گوشتی استفاده نمود این پیشرفت‌ها به بهبود کیفیت و ارزش تغذیه‌ای محصولات گوشتی کمک می‌کند و می‌تواند به سلامت عمومی نیز کمک نماید (Balquinta et al, ۲۰۲۰). بیسکویت‌ها به دلیل محتوای بالای چربی و قندشان کالری را

افزایش می دهد. استفاده از هیدروکسی پروپیل متیل سلولز (HPMC) به عنوان امولسیون برای کاهش چربی بدون تأثیر منفی بر کیفیت بیسکویت ها موفقیت آمیز بوده است (Laguna et al, ۲۰۱۴). این امولسیون ها موجب حفظ حجم و احساس سیری می شوند و منجر به تولید بیسکویت های قابل قبول برای مصرف کنندگان می گردند. همچنین، Sanz و همکارانش در سال ۲۰۱۵ نشان داده اند که بافت و ویژگی های حرارتی بیسکویت ها تحت تأثیر نوع امولسیون ها و شرایط حرارتی قرار دارد، که به درک بهتری از عملکرد آن ها در جایگزینی چربی کمک می کند (Sanz et al, ۲۰۱۵). اگرچه هنوز استفاده گسترده ای از BC در صنایع لبنی صورت نگرفته، این ماده پتانسیل هایی مانند امولسیفایر و استفاده به عنوان حامل مواد پروبیوتیک / و یا آنزیم و فعال زیستی و جایگزین چربی دارد (Moghanjoughi et al, ۲۰۲۰). اما Manzi و Ritota در سال ۲۰۲۰ نشان داده اند که برای حفظ کیفیت و تنوع محصولات لبنی، افزودنی هایی مثل تثبیت کننده ها (به عنوان مثال، صمغ گوار، کربوکسی متیل سلولز)، امولسیفایرها (پلی سوربات ۸۰، لسیترین)، اصلاح کننده های رئولوژی (اینولین) و مواد نگهدارنده (سوربات، اسید لاکتیک، نایسین) به کار می روند، اما تولید زیاد ممکن است منجر به تولید ضایعات شود (Ritota & Manzi, ۲۰۲۰). تقاضای بالا برای غذاهای سرخ شده به خاطر طعم و بافت ترد آن هاست، اما مصرف مکرر این غذاها می تواند خطر بیماری های مزمن مانند دیابت، چاقی و سرطان را افزایش دهد (Brouwer, ۲۰۲۰). پوشش های خوراکی مانند هیدروکلئیدها (متیل سلولز، پروتئین ایزوله سویا و ...) به عنوان یک راهکار مؤثر برای کاهش جذب روغن در فرآیند سرخ کردن مطرح شده اند (Ananey-Obiri et al, ۲۰۱۸). Wang و همکارانش در سال ۲۰۲۲ نشان داده اند که این پوشش ها می توانند تشکیل ترکیبات مضر مانند آکریل آمید و آمین های هتروسیکلیک و هیدروکربن های آروماتیک چندحلقه ای را مهار کنند. همچنین، پوشش های سلولزی و کیتوسانی به کاهش این ترکیبات خطرناک و بهبود ویژگی های حسی غذاها کمک می کنند. این بررسی به جمع بندی تأثیرات پوشش های خوراکی بر کیفیت و ایمنی غذاهای سرخ شده و نقش نانوذرات در بهبود عملکرد پوشش ها می پردازد (Wang et al, ۲۰۲۲). Zannini و همکارانش در سال ۲۰۱۴ به بررسی تأثیر افزودن سلولزهای اصلاح شده بر کیفیت خمیر نان با نشاسته مقاوم پرداخته اند. این مطالعه بر روی هیدروکسی پروپیل متیل سلولز (HPMC) و کربوکسی متیل سلولز (CMC) به عنوان بهبوددهنده های رئولوژیکی خمیر نان و نیز تأثیر طول های مختلف فیبر سلولزی بر خواص رئولوژیکی خمیر گندم و کیفیت نان متمرکز شده است (Zannini et al, ۲۰۱۴). با توجه به افزایش تمایل صنایع نانوائی به غنی سازی محصولات با فیبرهای غذایی، استفاده از فیبر سلولزی به عنوان یک فیبر نامحلول می تواند بخشی از آرد را در فرمولاسیون نان جایگزین کند تحقیقات نشان می دهد که افزایش طول فیبر سلولزی ممکن است حجم نان را کاهش دهد و بافت آن را سفت تر کند همچنین این فیبر جذب آب را افزایش و پایداری و قابلیت کشش آن را کاهش می دهد به طور کلی هدف تحقیق ارزیابی تأثیر طول فیبر سازی بر رئولوژیکی خمیر و کیفیت نان است (Fuckerer et al, ۲۰۱۵).

## یافته ها

### ۱. جداسازی سلولز

جداسازی سلولز از طریق فرآیندهای زیر انجام می گردد.

#### ۱.۱ فرآیند مکانیکی

نانو فیبریل های سلولزی (CNF) مواد ژلمانندی هستند که از الیاف چوبی با استفاده از درمان مکانیکی و حرارتی تولید می شوند، بدون اینکه پیش درمانی روی ماده اولیه انجام شود. فرآیند فیبریلاسیون به انرژی زیادی (۷۰۰-۱۴۰۰ مگاژول در کیلوگرم) نیاز دارد و با چند بار عبور تعلیق پالپ از دستگاه هموژنایزر فشار بالا (HPH) انجام می گیرد.

### ۱.۱.۱. هموژنایزر فشار بالا

دستگاه HPH با عبور دادن محلول های مختلط از شکاف باریکی تحت فشار بالا (بین ۱۰۰ تا ۲۰۰۰ مگاپاسکال)، به امولسیون کردن مخلوط های غذایی، لبنی و محصولات آرایشی می پردازد. فرایند فیبریلاسیون در تعلیق فیبر سلولزی به دلیل تغییرات فشار، ایجاد حباب های میکروگاز، نیروی اصطکاکی و جریان های تلاطم انجام می شود. درجه فیبریلاسیون نانو سلولز به تعداد چرخه های عبور محلول از دستگاه بستگی دارد و این روش می تواند نانو سلولز فیبریل شده را بدون نیاز به پیش درمانی تولید کند (Wang and Sain, ۲۰۰۷).

### ۲.۱.۱ آسیاب

فرآیند جداسازی سلولز با آسیاب کردن شامل عبور محلول تعلیقی ۲٪ سلولز از شکاف باریکی بین دو دیسک مقاوم است. این دیسک ها معمولاً از سنگ های خاص یا کاربید سیلیکون ساخته می شوند و فیبریلاسیون به دلیل تماس بین دیسک ها و الیاف ایجاد می شود. درجه فیبریلاسیون با تنظیم عرض شکاف و چرخه تعلیق قابل کنترل است. یکی از مزایای این روش نسبت به دستگاه HPH، احتمال کمتر انسداد به دلیل قابلیت تنظیم آسان عرض شکاف است (Iwamoto et al, ۲۰۰۷).

### ۳.۱.۱ اولتراسونیک

یک فرآیند مکانیکی است که از انرژی اولتراسونیک برای تبدیل انرژی صوتی به انرژی فیزیکی و شیمیایی استفاده می کند. این درمان با روش های مکانیکی معمولی متفاوت است و حباب های میکرو در مایع اولتراسونیک ایجاد می شوند که به جدا شدن لایه های الیاف کمک می کند. این فرآیند شامل کاویتاسیون و ایجاد نقاط داغ است که می تواند پیوندهای هیدروژنی در الیاف را بشکند. پس از سفید کردن پالپ، الیاف چوب صنوبر تحت تاثیر اولتراسونیکاسیون به فیبریل شده شدن بیشتری می رسند و نانو فیبریل های سلولزی با قطر ۵-۲۰ نانومتر تولید می شوند (Chen et al, ۲۰۱۱).

### ۲.۱ فرآیند بیولوژیکی و آنزیمی

تجاری سازی نانو سلولز به دلیل نیاز بالای انرژی برای جداسازی سلولز محدود شده است، که مقدار آن هنوز حدود ۷۰ مگاوات ساعت در ۱ تن است. با استفاده از آنزیم ها یا مواد شیمیایی، این انرژی به حدود ۲ مگاوات ساعت در ۱ تن کاهش می یابد. آنزیم سلولاز که توسط قارچ ها تولید می شود، می تواند در این فرآیند استفاده شود و به سه نوع تقسیم می شود: اندوگلوکاناز (تجزیه فاز سلولز آمورف)، اگزوگلوکاناز (تجزیه تدریجی فازهای کریستالی و آمورف به دی ساکارید) و  $\beta$ -گلوکوزیداز (هیدرولیز دی ساکاریدها به گلوکز). تولید نانو فیبریل های سلولزی (CNF) با آنزیم های اندوگلوکاناز معرفی شده و طی هیدرولیز، درجه پلیمریزاسیون سلولز کاهش و کریستالینگی آن افزایش می یابد. استفاده همزمان از هر سه نوع آنزیم نسبت به استفاده از اندوگلوکاناز به تنهایی، نتایج بهتری نداشته است (Paakko et al, ۲۰۰۷).

### ۳.۱ فرآیند شیمیایی

تیمارهای شیمیایی می توانند خواص سطحی سلولز را تغییر دهند و بر ویژگی های نانوفیبریل های سلولز (CNF) و نانو کریستال های سلولز (CNC) تأثیر بگذارند، در حالی که تیمارهای مکانیکی و آنزیمی این تغییرات را ایجاد نمی کنند. این فرآیندهای شیمیایی به کاهش انرژی و افزایش بازده نانو سلولز کمک می کنند.

### ۱.۳.۱ هیدرولیز اسیدی

در روش هیدرولیز اسیدی تجزیه سلولز در شرایط اسیدی و دماهای بالا پس از تجزیه فاز آمورف متوقف می گردد و تنها فاز کریستالی باقی می ماند. نوع اسید بر خواص تولید نانو کریستال های سلولز (CNC) تأثیر دارد استفاده از  $H_2SO_4$  غلیظ منجر به ایجاد فاز کریستالی با

گروه‌های سولفات منفی می‌شود، در حالی که HCl CNC بدون بار ایجاد می‌کند. گروه‌های سولفات سبب بهبود پراکندگی CNC در آب می‌شوند، اما باعث کاهش مقاومت حرارتی سلولز می‌گردند (Liimatainen et al, ۲۰۱۳).

#### ۲.۳.۱. کربوکسی متیلاسیون

فرآیند کربوکسی متیلاسیون بار منفی به سلولز وارد می‌کند و پس از همگن‌سازی، فراصوت و سانتیفیوژ، الیاف نانوسلولز (CNF) با قطر ۵-۱۵ نانومتر و طول حداکثر ۱ میکرومتر تولید می‌شود. این فرآیند به جایگزینی گروه‌های هیدروکسیل با کربوکسی متیل نیز می‌پردازد تا از تجمع CNF در هنگام خشک کردن جلوگیری کند و هزینه‌های ذخیره‌سازی و حمل و نقل را کاهش دهد. CNF تولیدی از این روش دارای ابعاد کوچکتر و یکنواخت‌تری نسبت به CNF حاصل از فرآیندهای آنزیمی است (Aulin et al, ۲۰۰۹).

#### ۳.۳.۱ اکسیداسیون TEMPO

روش اکسیداسیون TEMPO یکی از رایج‌ترین شیوه‌ها برای استخراج سلولز است و شامل استفاده از کاتالیزور ۲،۲،۶،۶-تترا متیل پپیریدین-۱-اکسیل (TEMPO) به همراه هیپوکلریت سدیم به عنوان عامل اکسیدکننده است. این فرآیند به طور خاص گروه‌های هیدروکسیل در موقعیت C<sup>۶</sup> آنیدروگلوکز را به اسید کربوکسیلیک تبدیل می‌کند، بدون اینکه ابعاد و بلورینگی سلولز تغییر کند. TEMPO-CNF تولید شده دارای بار منفی و پتانسیل زتا حدود ۷۵ میلی ولت است. لازم به ذکر است که در صورت غلظت بالای اکسیدان یا طولانی شدن واکنش، ممکن است تغییرات ناخواسته‌ای رخ دهد. شرایط معمول این واکنش شامل استفاده از سیستم TEMPO/NaOCl/NaBr در pH 10.5 و دمای اتاق است (Masruchin et al, ۲۰۱۵).

#### ۴.۳.۱ اکسیداسیون پریدات-کلریت

فرآیند اکسیداسیون پریدات-کلریت به جای حمله انتخابی به گروه‌های C6-OH، گروه‌های هیدروکسیل C<sup>۲</sup> و C<sup>۳</sup> را اصلاح می‌کند. در این فرآیند، با استفاده از پریدات سدیم، گروه‌های هیدروکسیل به گروه‌های آلدئیدی تبدیل شده و سپس با کلریت سدیم به گروه‌های کربوکسیل تبدیل می‌شوند. همچنین، لازم به ذکر است که با رسیدن به حداکثر محتوای کربوکسیل، می‌توان نانو فیبرهای سلولزی (CNF) را بدون نیاز به عملیات مکانیکی تولید کرد، چرا که وجود دو گروه کربوکسیل در هر واحد آنهیدروگلوکز، نیروهای دافعه‌ای بین زنجیره‌های سلولزی ایجاد می‌کند (Tejado et al, ۲۰۱۲).

#### ۲. منبع سلولزی

سلولز، فراوان‌ترین پلیمر طبیعی با زنجیره بلند، سالیانه حدود ۷.۵ میلیون تن در طبیعت توزیع می‌شود و عمدتاً در گیاهان، باکتری‌ها و جلبک‌ها یافت می‌شود (Wu et al, ۲۰۱۸).

سلولز یک هموپلیمر است که از واحدهای  $\beta$ -D-glucopyranose تشکیل شده و توسط پیوندهای (۱،۴)-گلیکوزیدی به هم متصل می‌شود و معمولاً در الیاف پنبه و چوب با ترکیبات دیگری مانند لیگنین و همی سلولز همزیستی دارد. سلولز را می‌توان از منابع طبیعی مختلفی نظیر ضایعات کشاورزی، چوب، و الیاف طبیعی به دست آورد. پژوهش‌ها نشان داده‌اند که می‌توان سلولز را از موادی مانند پوست آجیل، ساقه موز، باگاس نیشکر، پنبه، و ضایعات کشاورزی و صنعتی استخراج کرد. استفاده از این ضایعات به عنوان بسترهای کم‌هزینه برای تولید سلولز نانوکامپوزیت (NC) رویکردی جالب است که کاربردهای زیادی را امکان‌پذیر می‌سازد (Perumal et al, ۲۰۲۲).

مقدار سلولز در منابع مختلف به عوامل متعددی مانند سن گیاه و شرایط محیطی بستگی دارد و می‌تواند از منابع چوبی (پهن و سوزنی) یا غیر چوبی (مثل پنبه، بامبو و ضایعات کشاورزی) به دست آید. سلولز غیر چوبی به دلیل محتوای کمتر لیگنین و نیاز به انرژی کمتر برای جداسازی، مزایایی دارد. علاوه بر منابع گیاهی، مقدار سلولز با خلوص بالا را می‌توان از حیوانات دریایی مانند تونیسین نیز استخراج کرد. باکتری‌ها مانند *Acetobacter sp.* نیز سلولز تولید می‌کنند که از نظر بلورینگی و جذب آب در مقایسه با سلولز گیاهی مزایای بیشتری

دارد. جلبک‌ها نیز به عنوان منابع دیگری برای سلولز شناخته می‌شوند، به ویژه دو نوع Cladophorales و Siphonocladales که پتانسیل خوبی دارند (۲۰۱۶، Fatriasari and Hermiati).

### ۳. کاربرد سلولز در محصولات غذایی

سلولز یکی از رایج‌ترین مواد طبیعی است که از مواد لیگنوسلولزی به دست می‌آید. برای جداسازی سلولز، از روش‌های شیمیایی، مکانیکی و بیولوژیکی استفاده می‌شود (۲۰۱۶، Nechyporchuk et al). نانو سلولز ساکارید طبیعی است که در صنایع غذایی به عنوان تثبیت کننده و غلیظ کننده در محصولات متنوعی مانند سس‌ها، خامه، سوپ و دسرهای استفاده می‌شود. این افزودنی به عنوان یک هیدروکلوئید موثر شناخته شده و می‌تواند جایگزین مناسبی برای افزودنی‌های کم کالری باشد. خواص برجسته NC آن را به گزینه‌ای امیدوارکننده برای تقویت بافت و استفاده در محصولات غذایی تبدیل کرده است (۲۰۱۷، Zanchetta et al).

محصولات نانو سلولزی به دو دسته اصلی نانوفیبریل‌ها و نانو کریستال‌ها تقسیم می‌شوند. نانوفیبریل‌ها معمولاً از طریق فرآیندهای مکانیکی و نانو کریستال‌ها با هیدرولیز اسیدی تولید می‌شوند. انواع مختلف سلولز شامل سلولز میکروکریستالی، میکروفیبریل شده و نانوکریستالی می‌باشد، اما تنها سلولز میکروکریستالی به طور موفقیت‌آمیز تجاری‌سازی شده و به صورت پودرهای آبدوست یا کلوئیدها تولید شده است. سلولز کاربردهای گسترده‌ای در صنایع مختلف، از جمله غذایی، دارویی، آرایشی، و پلاستیک دارد. براساس گزارشی از Transparency Market Research، بازار جهانی سلولز میکروکریستالی تا سال ۲۰۲۰ به ۱۰۰۸ میلیارد دلار خواهد رسید که صنایع دارویی و غذایی بزرگ‌ترین ذینفعان آن هستند. این نوع سلولز می‌تواند بر بافت و طعم محصولات غذایی تأثیر بگذارد و به عنوان تثبیت کننده در امولسیون‌ها عمل کند. نقش خاصیتی آمفی‌دوستی این ماده ناشی از وجود گروه‌های هیدروکسیل و کریستالی آن است. همچنین، سلولز میکروکریستالی می‌تواند به طور مؤثری امولسیون‌های روغن/آب را از طریق مکانیسم تثبیت Pickering برای مدت طولانی حفظ کند (۲۰۱۴، Hamid et al).

سلولز و مشتقات آن در تولید غذاهای فرآوری شده کاربرد وسیعی دارند، به ویژه در محصولات کم کالری و بهبود خواص رئولوژیکی و کیفیت بافت. پنج نقش کلیدی مشتقات سلولز شامل سازماندهی خواص جریان، امولسیون‌سازی، پایداری کف، اصلاح تشکیل کریستال یخ و بهبود توانایی اتصال به آب هستند. انتخاب مناسب مشتقات سلولز بستگی به پارامترهایی مانند ترکیب شیمیایی، وزن مولکولی، فرآیند تولید و خواص فیزیکی دارد. محصولات مبتنی بر پروتئین مانند ماهی و گوشت، معمولاً به تثبیت کننده‌ها نیاز دارند که از مشتقات سلولز برای حفظ یکپارچگی ساختاری و کیفیت استفاده می‌کنند. کاربرد سلولز در ایجاد محصولات کم چرب و بهبود کیفیت و ظاهر آنها، همچنین جلوگیری از اکسیداسیون و تغییر رنگ چربی‌ها، اهمیت دارد (۲۰۱۳، Khan et al). استفاده از ژل کننده‌های حرارتی مانند MC و HPMC می‌تواند به کاهش جذب روغن در فرآیند سرخ کردنی کمک کند (۲۰۰۶، Stephen et al). در مطالعه‌ای توسط Gibis و همکارانش در سال ۲۰۱۵ تأثیر سلولز میکروکریستالی به عنوان جایگزینی برای چربی در پتی‌ها بررسی شد و نشان داد که این ماده می‌تواند تا ۵۰٪ از چربی را جایگزین کند. نتایج ارزیابی حسی نشان داد که پتی‌های حاوی سلولز میکروکریستالی توسط شرکت کنندگان بیشتر پذیرفته شده و آبدارتر از نمونه‌های شاهد بودند (۲۰۱۵، Gibis et al).

در ادامه، بررسی‌ها بر روی کربوکسی متیل سلولز (CMC) نشان داد که افزودن آن به نوشیدنی‌های میوه‌ای (مانند عسل و گواوا) می‌تواند بر کیفیت حسی و ویسکوزیته تأثیر مثبت بگذارد. کربوکسی متیل سلولز به عنوان یک هیدروکلوئید، عطر دانه‌های گواوا را حفظ کرده و ویسکوزیته نوشیدنی را با افزایش غلظت خود افزایش می‌دهد (۲۰۱۰، Kamal).

همچنین، مطالعه‌ای بر روی مربای کیوی نشان داد که افزایش غلظت CMC سبب کاهش سینرژی و افزایش ویسکوزیته می‌شود که به دلیل تشکیل پیوندهای هیدروژنی قوی‌تر بین مولکول‌ها و پایداری بیشتر ژل است، pH محیط نیز بر تشکیل ژل CMC تأثیرگذار است به طوری که در pH کمتر از ۳ رسوب می‌کند (۲۰۱۳، Hong).

سلولز، در صنعت بسته‌بندی مواد غذایی اهمیت زیادی دارد. سلولز به عنوان یکی از فراوان‌ترین پلیمرها، به خاطر ویژگی‌های منحصر به فرد خود مانند زیست تخریب پذیری، خواص حسی و توانایی کپسوله‌سازی مواد مختلف، محبوب است. این ماده می‌تواند به کاهش حجم



بسته‌بندی‌های مصنوعی کمک کرده و در حفظ کیفیت و افزایش عمر مفید مواد غذایی مؤثر باشد. تحقیقات نشان داده‌اند که سلولز می‌تواند خواص موانع را بهبود بخشد و از مهاجرت رطوبت و گازها جلوگیری کند (Wang et al, ۲۰۲۱).

همچنین، سلولز به عنوان حامل طبیعی برای مواد ضد میکروبی و آنتی اکسیدانی عمل کرده و به افزایش ماندگاری و جلوگیری از فساد میکروبی کمک می‌کند (de Souza et al, ۲۰۱۸).

پوشش‌های خوراکی مبتنی بر سلولز در غذاهای سرخ شده کاربردهایی دارد از قبیل:

- پوشش‌های خوراکی و کاهش جذب روغن و اتلاف آب

پوشش‌های خوراکی به‌عنوان راه‌هایی برای کاهش جذب روغن و اتلاف آب در محصولات سرخ‌شده مورد بررسی قرار گرفته‌اند. این پوشش‌ها می‌توانند به‌صورت مایع (غوطه‌ور کردن یا اسپری کردن) یا از پیش ساخته شده اعمال شوند و به‌عنوان مانعی برای کاهش نفوذ روغن و حفظ رطوبت عمل کنند (Kurek et al, ۲۰۲۱).

- مزایای پوشش‌های مبتنی بر سلولز

پوشش‌های مبتنی بر سلولز نسبت به پوشش‌های پروتئینی مزایای بیشتری دارند. در حالی که پوشش‌های پروتئینی ممکن است باعث جذب رطوبت بیشتری شوند و خطر تشکیل آکریلامید (AA) را افزایش دهند (Han et al, ۲۰۲۱). پوشش‌های سلولزی تردی بیشتری را در محصولات سرخ‌شده حفظ کرده و همچنین به کاهش مواد شیمیایی مضر مانند HCAs و PAH کمک می‌کنند (Zhang et al, ۲۰۲۱).

- مزایای تجاری و اقتصادی

سلولز و کیتوزان به‌عنوان بیوپلیمرهایی ارزان و فراوان در دسترس هستند و تنها مقادیر کمی از آن‌ها برای ایجاد پوشش‌ها نیاز است. این در حالی است که پوشش‌های پروتئینی معمولاً نیاز به غلظت بالاتری دارند که می‌تواند هزینه‌ها را افزایش دهد و تجربه حسی منفی برای مصرف‌کننده ایجاد کند (Bedade et al, ۲۰۱۹).

غذاهای سرخ‌شده با استفاده از متیل سلولز (MC) و هیدروکسی پروپیل متیل سلولز (HPMC) بهبود یافته و شکل محصولات حفظ می‌شود. این مواد به افزایش بافت و جلوگیری از جوشیدن خمیر در حین پخت یا سرخ کردن کمک می‌کنند. متیل سلولز به دلیل دمای پایین‌تر ژل شدن و ایجاد ژل قوی، برای خمیرهای سرخ‌شده مناسب است. ویسکوزیته بالای این مواد، تأثیر مثبتی بر پوشش خمیر و کاهش نفوذ روغن دارد (Imeson, ۲۰۱۰).

مطالعات نشان داده‌اند که اضافه کردن نانو سلولز بر خمیرهای گوشت خام و فرآیند تولید محصولات گوشتی می‌تواند خواص رئولوژیکی آن‌ها و قوام نهایی را بهبود بخشد. اضافه کردن نانو سلولز باکتریایی (BNC) به امولسیون‌های گوشتی کم‌چرب باعث افزایش مدول الاستیک (G') و بهبود ویژگی‌های خمیر می‌شود. همچنین، هنگام حرارت‌دهی، تعاملات آبگریز و تجمع پروتئین‌ها اتفاق می‌افتد که باعث افزایش استحکام ساختار ژل مانند خمیر می‌شود. در نهایت، نانو سلولز به ایجاد ساختار شبکه‌ای فشرده‌تر در پروتئین‌ها کمک می‌کند و تأثیر زیادی بر خواص بافتی و ساختاری محصولات گوشتی دارد (Marchetti et al, ۲۰۱۷).

نانوسلولز، به‌خصوص در ترکیب با پروتئین‌ها و سایر هیدروکلوئیدها، می‌تواند به‌عنوان یک چسب چربی عمل کند و به کاهش تلفات پخت و بهبود خواص حسی کمک کند. به‌طور کلی، نانوسلولز و دیگر هیدروکلوئیدها در تولید مواد گوشتی به منظور بهبود کیفیت و پایداری امولسیون بسیار مؤثر هستند (Qi et al, ۲۰۲۰).

با اضافه کردن سلولز، حجم نان به‌طور معنی‌داری کاهش یافت ( $P < 0.05$ ) و دلیل اصلی این کاهش، تداخل سلولز با پروتئین‌های گندم و در نتیجه کاهش توانایی حفظ گاز دی‌اکسید کربن در خمیر است و همچنین وزن نان به‌طور معناداری افزایش یافت ( $P < 0.05$ ) و این افزایش به دلیل حفظ رطوبت توسط گروه‌های هیدروکسیل موجود در سلولز می‌باشد و کاهش کشش خمیر نیز با افزایش سطح سلولز مشاهده شد. استفاده از سلولز پودری به‌عنوان روش تقویت نان می‌تواند چالش‌هایی را در خصوص حجم و کشش خمیر ایجاد کند. بهبود شرایط پردازش مثل کاهش زمان تخمیر می‌تواند تأثیرات مضر سلولز بر کیفیت نان را کاهش دهد و به حفظ ماندگاری و کیفیت آن بیفزاید (Wang et al, ۲۰۰۲).

## نتیجه گیری

سلولز، در صنایع غذایی به عنوان ماده افزودنی، فیبر غذایی و در بسته بندی محصولات غذایی استفاده می شود. از مشتقات سلولز مانند پودر سلولز و میکروکریستالی (MCC) برای افزایش ویسکوزیته و حجم در محصولات غذایی استفاده می شود، سلولز باکتریایی (BC) دارای پتانسیل بالا برای کاربرد در صنایع لبنی است. این پلیمر به تولید محصولات لبنی با عملکرد بهتر، ارتقای سلامت و بسته بندی سازگار با محیط زیست کمک می کند. به دلیل ویژگی های نگه داری آب و ساختار فیبری، BC می تواند به عنوان پرکننده و امولسیفایر در محصولات لبنی و تثبیت کننده پروتئین ها در ماست و پنیر استفاده شود. همچنین، با جذب ترکیبات ضد میکروبی و تولید مواد بسته بندی زیستی، کیفیت محصولات لبنی را بهبود بخشد. سلولز اصلاح شده در بسته بندی و بهبود کیفیت محصولات گوشتی کاربرد فراوانی دارد. این ماده به دلیل ایمنی و خاصیت فیبری اش، بهبود ماندگاری، کیفیت، و بافت محصولات را تسهیل کرده و به کاهش رشد میکروب ها و مدت زمان ماندگاری کمک می کند و همچنین به عنوان افزودنی در تولید خمیر نان موجب توسعه بهتر شبکه گلوتن در خمیر می گردد که به عملکرد بهتر در فرآیند نانوائی کمک می کند. همچنین، وجود این سلولزها باعث افزایش جذب آب و بهبود خواص ویسکوالاستیک خمیر می گردد که برای تخمیر و پخت نان ضروری است و به دلیل خصوصیات رئولوژیکی مؤثر، مورد تأیید سازمان های نظارتی می باشد. نانوسلولز (NC) به عنوان افزودنی، در توسعه محصولات غذایی جدید، به ویژه مواد پروبیوتیک و زیست فعال نقش حیاتی ایفا می کند NC توانایی حفظ این ترکیبات را دارد و همچنین به عنوان پری بیوتیک، رشد پروبیوتیک ها را تقویت می کند. علاوه بر این، به عنوان تثبیت کننده، امولسیفایر و عامل کپسوله سازی، بستر بهتری برای کاربردهای تغذیه ای فراهم می کند. پوشش های خوراکی مبتنی بر سلولز می توانند کیفیت و ایمنی غذاهای سرخ شده را با کاهش جذب روغن و جلوگیری از تولید مواد سرطانزا بهبود بخشند و همچنین از امولسیون های تهیه شده از اترهای سلولز می توان برای کاهش چربی در بیسکویت ها استفاده نمود.



## منابع:

- Ananey-Obiri, Daniel and Matthews, Lovie and Azahrani, Malak H and Ibrahim, Salam A and Galanakis, Charis M and Tahergorabi, Reza. (۲۰۱۸). Application of proteinbased edible coatings for fat uptake reduction in deep-fat fried foods with an emphasis on muscle food proteins. *Trends in Food Science & Technology*. ۸۰(۲۰۱۸). ۱۶۷-۱۷۴.
- Aulin, Christian and Ahola, Susanna and Josefsson, Peter and Nishino, Takashi and Hirose, Yasuo and Osterberg, Monika and Wagberg, Lars.( ۲۰۰۹). Nanoscale Cellulose Films With Different Crystallinities and Mesostructures Their Surface Properties and Interaction With Water. *Langmuir*. ۲۵(۲۰۰۹) ۷۶۷۵-۸۵
- Balquinta, María Laura and Andrés, Silvina Cecilia and Cerrutti Patricia and Califano Alicia Noemí and Lorenzo Gabriel. (۲۰۲۰). Effect of bacterial nanocellulose post-synthetic processing on powders and rehydrated suspensions characteristics. *Journal of Food Engineering*. ۲۸۰ (۲۰۲۰). ۱۰۹۹۹۴.
- Bedade, Dattatray K and Sutar, Yogesh B and Singhal, Rekha S. (۲۰۱۹). Chitosan coated calcium alginate beads for covalent immobilization of acrylamidase: Process parameters and removal of acrylamide from coffee. *Food Chemistry*. ۲۷۵(۲۰۱۹) ۹۵-۱۰۴.
- Brouwer, Ingeborg A. (۲۰۲۰). The public health rationale for reducing saturated fat intakes: Is a maximum of ۱۰% energy intake a good recommendation. *Nutrition Bulletin*. ۴۵(۲۰۲۰). ۲۷۱-۲۸۰.
- Chen, Wenshuai and Yu, Haipeng and Liu, Yixing and Chen, Peng and Zhang, Mingxin and Hai, Yunfei.( ۲۰۱۱). Individualization of Cellulose Nanofibers From Wood Using High Intensity Ultrasonication Combined with Chemical Pretreatments. *Carbohydrate Polymers*. ۸۳ (۲۰۱۱). ۱۸۰۴-۱۸۱۱.
- Dai, Lei and Cheng, Ting and Duan, Chao and Zhao, Wei and Zhang, Weipeng and Zou, Xuejun and Aspler, Joseph and Ni, Yonghao. (۲۰۱۹). 3D printing using plant-derived cellulose and its derivatives: A review. *Carbohydrate Polymers*. ۲۰۳ (۲۰۱۹). ۷۱-۸۶.
- Das, Arun K and Nanda, Pramod Kumar and Madane, Pratap and Biswas, Subhasish and Das, Annada and Zhang, Wangang and Lorenzo, Jose M. (۲۰۲۰). A comprehensive review on antioxidant dietary fibre enriched meat-based functional foods. *Trends in Food Science & Technology*. ۹۹ (۲۰۲۰). ۳۲۳-۳۳۶.
- David, Grégoire and Gontard, Nathalie and Angellier-Coussy, Hélène. (۲۰۱۹). Mitigating the impact of cellulose particles on the performance of biopolyester-based composites by gasphase esterification. *Polymers*. ۱۱ (۲۰۱۹). ۲۰۰.
- De Souza, Hugo Junior Barboza and de Barros Fernandes, Regiane Victória and Borges, Soraia Vilela and Felix, Pedro Henrique campelo and Viana, Livia Cassia and Lago, Amanda Maria and campelo Pedro H and Alvarenga Botrel Diego . (۲۰۱۸). Utility of blended polymeric formulations containing cellulose nanofibrils for encapsulation and controlled release of sweet orange essential oil. *Food and Bioprocess Technology*. ۱۱(۲۰۱۸), ۱۱۸۸-۱۱۹۸
- Fatriasari, W and Hermiati, E. (۲۰۱۶). Lignocellulosic Biomass for Bioproduct: Its Potency and Technology Development. *Journal of Lignocellulose Technology*. ۱ (۲۰۱۶). ۱-۱۴.
- Fuckerer, Katharina and Hensel, Oliver and Schmitt Joachim J. (۲۰۱۵). Volume and texture of brown rye bread fortified with different cellulose fibres length. *Journal of Food and Nutrition Research*. ۳(۲۰۱۵). ۶۳۷-۶۴۰.
- Gibis, Monika and Schuh, Valerie and Weiss, Jochen. (۲۰۱۵). Effects of Carboxymethyl Cellulose (CMC) and Microcrystalline Cellulose (MCC) as Fat Replacers on Microstructure and Sensory Characteristics of Fried Beef Patties. *Food Hydrocoll*. ۴۵ (۲۰۱۵). ۲۳۵-۴۶
- Hamid, Sharifah Bee Abd and Chowdhury, Zaira Zaman and Karim, Md. Ziaul.( ۲۰۱۴). Catalytic Extraction of Microcrystalline Cellulose (MCC) from *Elaeis Guineensis* Using Central Composite Design (CCD). *Bio Resource*. ۹(۲۰۱۴). ۷۴۰۳-۷۴۲۶
- Han, Lipeng and He, Ye and Wang, Shujie and Cheng, Weiwei and Ma, Lukai and Liu, Guo-qin and Han, Dongxue and Niu, Li. (۲۰۲۱b). Effects of methyl cellulose and soybean protein isolate coating on amount of oil and chemical hazards in Chinese fried dough cake. *Journal of Food Protection*. ۸۴(۲۰۲۱). ۱۳۳۳-۱۳۳۹
- Hong, Koh May. (۲۰۱۳). Preparation and Characterization of Carboxymethyl Cellulose from Sugarcane Bagasse. Malaysia: University Tunku Abdul Rahman.
- Huang, Yang and Zhu, Chulin and Yang, Jiazhi and Nie, Ying and Chen, Chunato and Sun, Dongping. (۲۰۱۴). Recent advances in bacterial cellulose. *Cellulose*. ۲۱ (۲۰۱۴). ۱-۳۰.
- Imeson, Alan. (۲۰۱۰). Food stabilizers, thickeners and gelling agents. UK. by Blackwell Publishing Ltd.
- Iwamoto, Shinichiro and Nakagaito, Antonio Norio and Yano, Hiroyuki.( ۲۰۰۷). Nano-Fibrillation of Pulp Fibers for the Processing of Transparent Nanocomposites. *Applied Physics A*. ۸۹(۲۰۰۷). ۴۶۱-۴۶۶
- Kalashnikova, Irina and Bizot, Hervé and Cathala, Bernard and Capron, Isabelle. (۲۰۱۱). New Pickering emulsions stabilized by bacterial cellulose nanocrystals. *Langmuir*. ۲۷ (۲۰۱۱). ۷۴۷۱-۷۴۷۹.
- Karlsson, Hakan. (۲۰۰۶). Fibre guide: Fibre analysis and process applications in the pulps and paper industry. Swedia: AB Lorentzen & Wettre.
- Khalil, Abdul and Davoudpour, Yalda and Saurabh, Chaturbhuj Kumar and Hossain, Sohrab and Adnan, Azreen Syazril and Dungani, Rudi and Tahir, Paridah M. and Sarker, Md Zaidul Islam and Fazita, M. R. Nurul and Syakir, M.I. and

- Haafiz, M.K Mohamad. (۲۰۱۶). A review on nanocellulosic fibres as new material for sustainable packaging: Process and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. ۶۴ (۲۰۱۶). ۸۲۳-۸۳۶.
- Khan, M. I. and Adrees, M. N. and Tariq, M. R. and Sohaib, M. (۲۰۱۳). Application of edible coating for improving meat quality: A review. *Pakistan Journal of Food Sciences*. ۲۳ (۲۰۱۳). ۷۱-۷۹.
- Klemm, Dieter and Heublein, Brigitte and Fink, Hans-Peter and Bohn, Andreas. (۲۰۰۵). Cellulose: Fascinating biopolymer and sustainable raw material. *Angewandte Chemie International Edition*. ۴۴ (۲۰۰۵). ۳۳۵۸-۳۳۹۳.
- Kamal, Netty. (۲۰۱۰). Pengaruh Bahan Aditif CMC (Carboxyl Methyl Cellulose) Terhadap Beberapa Parameter Pada Larutan Sukrosa. *Jurnal Teknologi*. ۱ (۲۰۱۰). ۱۲۳-۹.
- Kurek, M and Repajić, M and Marić, M and Šćetar, M and Trojić, P and Levaj, B and Galić, K. (۲۰۲۱). The influence of edible coatings and natural antioxidants on fresh-cut potato quality, stability and oil uptake after deep fat frying. *Journal of Food Science and Technology*. ۵۸ (۲۰۲۱). ۳۰۷۳-۳۰۸۵.
- Laguna, Laura and Primo-Martin, Cristina and Varela, Paula and Salvador Ana and Sanz, Teresa. (۲۰۱۴). HPMC and inulin as fat replacers in biscuits: Sensory and instrumental evaluation. *LWT - Food Science and Technology*. ۵۶ (۲۰۱۴). ۴۹۴-۵۰۱.
- Liimatainen, Henrikki and Visanko, Miikka and Sirvio, Juho and Horni, Osmo and Niinimäki, Jouko. (۲۰۱۳). Sulfonated Cellulose Nanofibrils Obtained From Wood Pulp Through Regioselective Oxidative Bisulfite PreTreatment. *Cellulose*. ۲۰ (۲۰۱۳). ۷۴۱-۷۴۹.
- Lin, Ning and Dufresne, Alain. (۲۰۱۴). Nanocellulose in biomedicine: Current status and future prospect. *European Polymer Journal*, ۵۹ (۲۰۱۴). ۳۰۲-۳۲۵.
- Masruchin, Nanang and Park, Byung-Dae and Causin, Valerio. (۲۰۱۵). Influence of Sonication Treatment on Supramolecular Cellulose Microfibril-Based Hydrogels Induced by Ionic Interaction. *Journal of Industrial Engineering and Chemistry*. ۲۹ (۲۰۱۵). ۲۶۵-۲۷۲.
- Meftahi, Amin and Khajavi, Rahim, Rashidi, A. and Sattari, M. Yazdanshenas, Mohammad Esmail and Torabi, M. (۲۰۰۹). The effects of cotton gauze coating with microbial cellulose. *Cellulose*. ۱۷ (۲۰۰۹). ۱۹۹-۲۰۴.
- Moghanjoughi Motalebi, Zahra and, Rezazadeh Bari, Mahmoud and Alizadeh Khaledabad, Mohammad and Almasi, Hadi and Amiri, Saber. (۲۰۲۰). Bio-preservation of white brined cheese (Feta) by using probiotic bacteria immobilized in bacterial cellulose: Optimization by response surface method and characterization. *LWT e Food Science and Technology*, ۱۱۷ (۲۰۲۰). ۱۰۸۶۰۳.
- Nechyporchuk Oleksandr and Belgacem Mohamed Naceur and Bras Julien. (۲۰۱۶). Production of Cellulose Nanofibrils: A review of Recent Advances. *Industrial Crops and Products*. ۹۳ (۲۰۱۶). ۲-۲۵.
- Rajwade, Jyutika Milind and Paknikar, Kishore M and Kumbhar, Jyoti. (۲۰۱۵). Applications of bacterial cellulose and its composites in biomedicine. *Applied Microbiology and Biotechnology*. ۹۹ (۲۰۱۵). ۲۴۹۱-۲۵۱۱.
- Reiniati, Isabela and Hrymak, Andrew N and Margaritis, Argyrios. (۲۰۱۷). Recent developments in the production and applications of bacterial cellulose fibers and nanocrystals. *Critical Reviews in Biotechnology*. ۳۷ (۲۰۱۷). ۵۱۰-۵۲۴.
- Reque, Priscilla Magro and Brandelli, Adriano. (۲۰۲۱). Encapsulation of probiotics and nutraceuticals: Applications in functional food industry. *Trends in Food Science & Technology*. ۱۱۴ (۲۰۲۱). ۱-۱۰.
- Rol, Fleur and Belgacem, Mohamed Naceur and Gandini, Alessandro and Bras, Julien. (۲۰۱۹). Recent advances in surface-modified cellulose nanofibrils. *Progress in Polymer Science*. ۸۸ (۲۰۱۹). ۲۴۱-۲۶۴.
- Ruka, Dianne R and Simon, George P and Dean, Katherine M. (۲۰۱۲). Altering the growth conditions of *Gluconacetobacter xylinus* to maximize the yield of bacterial cellulose. *Carbohydrate Polymers*. ۸۹ (۲۰۱۲). ۶۱۳-۶۲۲.
- Paakko, Marjo and Ankerfors, Mikael and Kosonen, Harri and Nykaenen, Antti and Ahola, Susanna and Oesterberg, Monika and Ruokolainen, Janne and Lindstrom, Tom. (۲۰۰۷) Enzymatic Hydrolysis Combined with Mechanical Shearing and High Pressure Homogenization for Nanoscale Cellulose Fibrils and Strong Gels. *Biomacromolecules*. ۸ (۲۰۰۷). ۱۹۳۴-۴۱.
- Perumal, Anand Babu and Nambiar, Reshma B and Sellamuthu, Periyar Selvam and Sadiku, Emmanuel Rotimi and Li, Xiaoli and He, Yong. (۲۰۲۲). Extraction of cellulose nanocrystals from areca waste and its application in ecofriendly biocomposite film. *Chemosphere*. ۲۸۷ (۲۰۲۲) ۱۳۲۰۸۴.
- Perumal, Anand Babu and Li, Xiao and Su, Zhenzhu and He, Yong. (۲۰۲۱). Preparation and characterization of a novel green tea essential oil nanoemulsion and its antifungal mechanism of action against *Magnaporthe oryzae*. *Ultrasonics Sonochemistry*. ۷۶ (۲۰۲۱). ۱۰۵۶۴۹.
- Qi Wenhui and Wu Junjie and Shu Ying and Wang Huiqiang and Rao Weili and Xu Hua-Neng and Zhang Zhisheng. (۲۰۲۰). Microstructure and physiochemical properties of meat sausages based on nanocellulose-stabilized emulsions. *International Journal of Biological Macromolecules*. ۱۵۲ (۲۰۲۰). ۵۶۷-۷۵۷.
- Ritota, Mena and Manzi, Pamela. (۲۰۲۰). Natural Preservatives from Plant in Cheese Making. *Animals*. ۱۰ (۲۰۲۰). ۷۴۹.
- Sanz, Teresa and Falomir, Marina and Salvador, Ana. (۲۰۱۵b). Reversible thermal behaviour of vegetable oil cellulose ether emulsions as fat replacers. Influence of glycerol. *Food Hydrocolloids*. ۴۶ (۲۰۱۵b). ۱۹-۲۷.
- Stephen, Alistair M. and Phillips, Glyn O and Williams, P. A. (۲۰۰۶). Food polysaccharides and their application. Second Edition. ۱-۷۵۲.

- Tejado, Alvaro and Alam, Md Danish and Antal, Miro and, Yang, Han and Theo, van de Ven. (۲۰۱۲). Energy Requirements for the Disintegration of Cellulose Fibers into Cellulose Nanofibers. *Cellulose*. ۱۹(۲۰۱۲). ۸۳۱-۸۴۲
- Vilarinho, Fernanda and Silva, Ana Sanches and Vaz, M Fátima and Farinha, José Paulo. (۲۰۱۷). Nanocellulose in green food packaging. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. ۵۸(۲۰۱۷). ۱۵۲۶-۱۵۳۷.
- WANG J, Jinshui and ROSELL Cristina M and BENEDITO DE BARBER Carmen. (۲۰۰۲). Effect of the addition of different fibres on wheat dough performance and bread quality. *Food Chemistry*. ۷۹(۲۰۰۲). ۲۲۱ - ۲۲۶.
- Wang, Bei and Sain, Mohini. (۲۰۰۷). Isolation of Nanofibers from Soybean Source and Their Reinforcing Capability on Synthetic Polymers. *Composite Science and Technology*. ۶۷(۲۰۰۷). ۲۵۲۱-۲۵۲۷.
- Wang, Zun and Ng, Ken and Warner Robyn Dorothy and Stockmann, Regine and Fang, Zhongxiang. (۲۰۲۲). Reduction strategies for polycyclic aromatic hydrocarbons in processed foods. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. ۲۱(۲۰۲۲). ۱۵۹۸-۱۶۲۶.
- Wang, Wangxia and Gu, Feng and Deng, Zhifei and Zhu, Yang and Zhu, Jing and Guo, Tianyu and Xiao, Huining. (۲۰۲۱). Multilayer surface construction for enhancing barrier properties of cellulose-based packaging. *Carbohydrate Polymers*, ۲۵۵(۲۰۲۱) ۱۱۷۴۳۱.
- Wu, Wenbin and Yu, Qiangyi and You, Liangzhi and Chen, Kevin and Tang, Huajun and Liu, Jianguo. (۲۰۱۸). Global cropping intensity gaps: Increasing food production without cropland expansion. *Land Use Policy*. ۷۶(۲۰۱۸). ۵۱۵-۵۲۵
- Xie, Kang and Tu, Hu and Dou, Zhengli and Liu, Dingyao and Wu, Kai and Liu, Yuhang and Chen, Feng and Zhang, Lina and Fu, Qiang. (۲۰۲۱). The effect of cellulose molecular weight on internal structure and properties of regenerated cellulose fibers as spun from the alkali/urea aqueous system. *Polymer*. ۲۱۵(۲۰۲۱). ۱۲۳-۳۷۹.
- Zannini, Emanuele and Waters, Deborah M and Arendt, Elke K. (۲۰۱۴). The application of dextran compared to other hydrocolloids as a novel food ingredient to compensate for low protein in biscuit and wholemeal wheat flour. *European Food Research and Technology*. ۲۳۸(۲۰۱۴). ۷۶۳-۷۷۱.
- Zanchetta, G and Rocchi, Elisa and Piazza, Laura. (۲۰۱۷). Seeing is believing: Coupling between liquid crystalline ordering and rheological behaviour in Cellulose Nanocrystals suspensions. *Chemical Engineering Transactions*. ۵۷(۲۰۱۷) ۱۹۳۳-۱۹۳۸.
- Zhang, Nana and Zhou, Qian and Fan, Daming and Xiao, Jianbo and Zhao, Yueliang and Cheng, Ka-Wing and Wang, mingfu. (۲۰۲۱). Novel roles of hydrocolloids in foods: Inhibition of toxic Maillard reaction products formation and attenuation of their harmful effects. *Trends in Food Science & Technology*. ۱۱۱(۲۰۲۱) ۷۰۶-۷۱۵.

**First Author: Yasamin Borjalizadeh**

**Second Author<sup>1</sup>: Shadi Mehdikhani**

**Master's student, Department of Food Science and  
Technology, Shahr-e-Quds Branch, Islamic Azad  
University, Tehran, Iran**

**Assistant Professor, Department of Food Science and  
Technology, Shahr-e-Quds Branch, Islamic Azad  
University, Tehran, Iran**

**Third Author: Negin Mehdizaded Namini**

**Master's student, Department of Food Science and Technology, Shahr-e-Quds Branch, Islamic Azad University,  
Tehran, Iran**

## **Abstract**

Cellulose is obtained from natural sources and agricultural wastes and is known as one of the most widely used materials in this industry due to its naturalness and availability. Cellulose has a long-chain carbohydrate polymer that is composed of repeating units of glucose. The application of cellulose and its other derivatives and nanocellulose in the production of food products includes plant and bacterial nanocelluloses as stabilizers and emulsifiers in meat products that increase water and oil absorption and the ability to improve rheological properties and as a replacement for fat and improve quality. Cellulose emulsions such as hydroxypropyl methyl cellulose and methyl cellulose as a fat replacement in biscuits that reduce fat and remove harmful fatty acids and help make the dough soft. Modified cellulose can also be mentioned to improve the quality of bread dough with resistant starch, which these additives help to improve the rheological quality of the dough and increase its stability in the baking process. Another application of cellulose is the development of edible cellulose coatings to reduce oil absorption and prevent the formation of carcinogens in fried foods. Another type of cellulose is bacterial cellulose, which is a biopolymer produced by stick bacteria that can improve the quality of dairy products by stabilizing emulsions, reducing calories and increasing dietary fiber, and replacing fat. Other applications of cellulose and its derivatives include carrying antibacterial and antioxidant compounds in food packaging, which increase the shelf life of fruits, vegetables, meat, etc., and maintain quality and safety, and reduce pollution from plastic. This review article examines the applications of cellulose and its derivatives and nanocellulose in the food industry and packaging and improving the quality of the food products mentioned.

**Keywords:** Cellulose, nanocellulose, food quality improvement, food packaging

---

<sup>1</sup> Corresponding Author