مجله بوم شناسی آبزیان

کیتین و کیتوسان: ساختار، خصوصیات و کاربردها

حجت تویسرکانی[1*]، فاطمه صداقت[2]

[1] گروه شیمی، دانشکده علوم، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس

[2] گروه زیست دریا، دانشکده علوم، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس

تاریخچه مقاله:

دریافت: ۹۲/۰۷/۰۱

اصلاح: ۹۲/۰۹/۰۸

پذیرش: ۹۲/۱۰/۲۰

کلمات کلیدی:

کیتین

کیتوسان

بیومتریال

خصوصیات

چکیده

کیتین و کیتوسان به عنوان فراوان‌ترین آمینو پلی‌ساکاریدها در طبیعت، دارای خصوصیاتی از جمله سازگاری زیستی بالا، سمیت پایین، زیست تخریب‌پذیری و خواص ضدمیکروبی قابل قبول هستند. این خصوصیات منحصر به فرد، موجب شد تا کیتین و کیتوسان توجه زیادی را نه تنها از نظر فراوانی در منابع طبیعی بلکه به دلیل پتانسیل بالا، جهت تهیه مواد کاربردی، به طرف خود معطوف کنند. پیشرفت‌های گسترده ای در بهبود خواص آنها به منظور استفاده در مهندسی بافت، ترمیم زخمها و سیستم‌های انتقال و رهایش دارو حاصل شده است. این مقاله تلاش می کند که یک چشم‌انداز کلی از خصوصیات و کاربردهای صنعتی و پزشکی این بیوپلیمرها را نشان دهد.

مقدمه

کیتین از فراوان‌ترین بیوپلیمرها بعد از سلولز می باشد. کیتین یک پلی‌ساکارید طبیعی است و به طور برجسته در پوسته سخت پوستانی مثل خرچنگ و میگو، کوتیکول حشرات و دیواره سلولی قارچ ها یافت می شود. تاریخچه کیتین و کیتوسان به قرن ۱۹ برمیگردد برای اولین بار در سال ۱۸۱۱ یک دانشمند فرانسوی به نام براکونوت (Braconnot) کیتین را از قارچ استخراج کرد. سپس روگت (Rouget) در سال ۱۸۵۹ کیتوسان را از فرآیند استیل زدایی بازی کیتین در حضور هیدروکسید پتاسیم به دست آورد و در نهایت در سال ۱۹۵۰ ساختار آن به طور کامل کشف شد (Khor, 2001). کیتین و کیتوسان به عنوان یک آمینو پلی‌ساکارید طبیعی که دارای ساختمان بی نظیر و خصوصیاتی چند منظوره هستند به طور وسیعی در پزشکی و صنعت مورد استفاده قرار می‌گیرند. از جمله خصوصیات بارز آنها می‌توان به سازگاری زیستی بالا، زیست تخریب‌پذیری قابل قبول در کنار سمیت پایین، همچنین خواص آنتی‌باکتریال و ضدحساسیت آنها اشاره کرد (Jayakumar *et al*., 2007; Rinaudo, 2008; Mourya and Inamdar, 2008; Kurita, 2006; Hirano, 1999; Kurita, 1998).

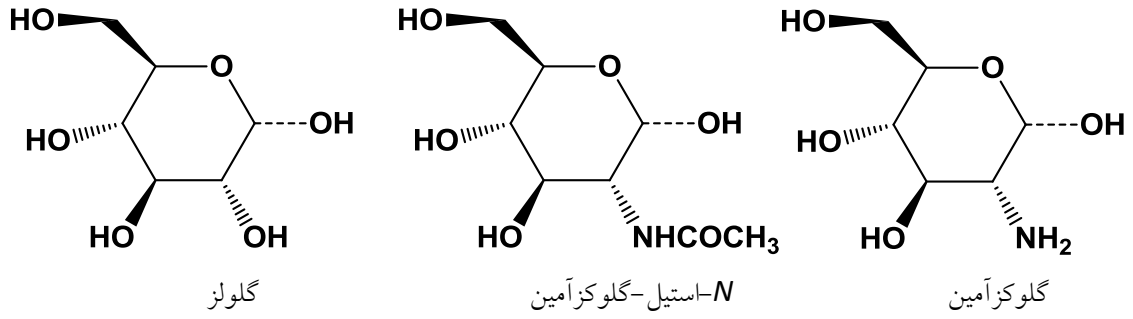
* نویسنده مسئول، پست الکترونیک: toiserkani@yahoo.com

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2025-06-10]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1391.2.3.3.7]

ساختار کیتین و کیتوسان

سلولز و کیتین هر دو پلی ساکاریدهایی هستند که نقش حفاظتی را به ترتیب برای گیاهان و جانوران ایفا میکنند به طوریکه گیاهان سلولز را در دیواره سلولی و حشرات و سخت پوستان کیتین را در پوسته خود تولید میکنند (Muzzarelli, 1986). ساختارهای سلولز و کیتین شباهت بسیار زیادی با یکدیگر دارند در سلولز گروههای هیدروکسی در موقعیت کربن شماره ۲ با گروه‌های استامید جایگزین شده و در مورد کیتوسان گروههای آمین جایگزین گروههای هیدروکسی در سلولز شده اند. (شکل ۱)



شکل ۱ . ساختار گلولز (واحد مونوی از سلولز)، *N*-استیل-گلوکزآمین (واحد مونوی از کیتین) و گلوکزآمین (واحد مونوی از کیتوسان)

کیتین با فرمول شیمیایی $(C_8H_{13}O_5N)_n$ و با نام علمی {β- (۱ ← ٤)-۲-استامیدو-۲-داکسی-D گلوکوپیرانوز و کیتوسان با فرمول شیمیایی $(C_6H_{11}O_4N)_n$ و با نام علمی {β- (۱ ← ٤)-۲-آمینو-۲-داکسی-D گلوکوپیرانوز است. شکل ۲ ساختارهای شیمیایی کیتین و کیتوسان را نشان میدهد.

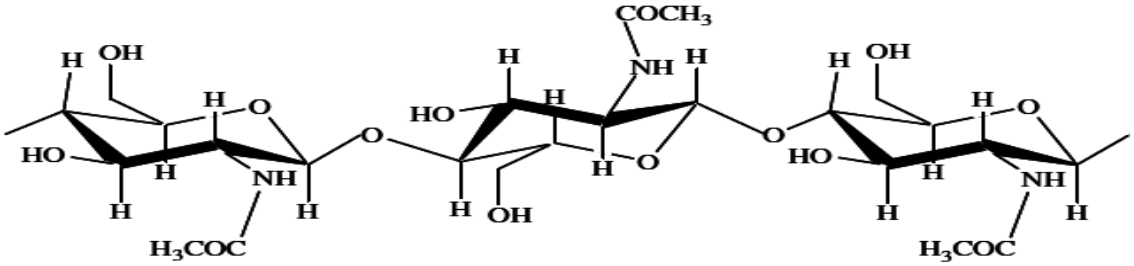
کیتوسان مشتقی از کیتین است. تعداد گروه های استیل موجود روی زنجیر پلیمر، تفاوت بین این دو پلیمر را مشخص می‌کند (شکل ۲). پلیمری که ۱۰۰ درصد گروههای آمین آن استیل دار شده باشد را کیتین و پلیمری بدون گروه های آمیدی (۱۰۰ درصد گروه آمین) را کیتوسان می نامند. به طور قراردادی وجود ۵۰ درصد گروههای آمیدی به عنوان مرز بین کیتین و کیتوسان در نظر گرفته می‌شود. یعنی پلیمر با درجه استیل زدایی (degree of deacetylation, DD) کمتر از ۵۰ درصد را کیتین و DD بیش از ۵۰ درصد را کیتوسان می نامند.

کیتین در حالت جامد دارای سه شکل متفاوت است که با آلفا (α)، بتا (β) و گاما (γ) طبقه بندی می‌شود (Aranaz *et al.*, 2009). درصد فراوانی α-کیتین در طبیعت از دو حالت β- وγ-کیتین بیشتر است. α-کیتین در دیواره سلولی قارچها و پوسته سخت پوستانی چون میگو و خرچنگ و β-کیتین از دیاتومه و بازوهای ماهی مرکب استخراج می شوند. γ-کیتین که درصد اندکی در طبیعت وجود دارد به صورت ترکیبی از α- و β-کیتین شناخته شده است. جهت‌گیری متفاوت زنجیره‌های پلیمری باعث بروز چنین اختلافی در کیتینها شده است به طوریکه گروه های استیل با ایجاد پیوند هیدروژنی درون زنجیره‌ای و برون زنجیره‌ای بین گروه های استیل کربن شماره ۲ و گروه‌های هیدروکسی موجود در پلیمر، نقش مهمی در این شکل‌گیری ایفا می‌کنند. اگر جهت‌گیری تمام زنجیره‌های پلیمری در یک راستا باشند آن را به اصطلاح α-کیتین می‌نامند. در این حالت زنجیره‌ها می‌توانند علاوه بر پیوندهای هیدروژنی درون زنجیره ای، پیوندهای هیدروژنی برون زنجیره‌ای نیز داشته باشند و باعث افزایش استحکام ساختار شوند. ولی در مورد β-کیتین جهت‌گیری زنجیره ها فقط

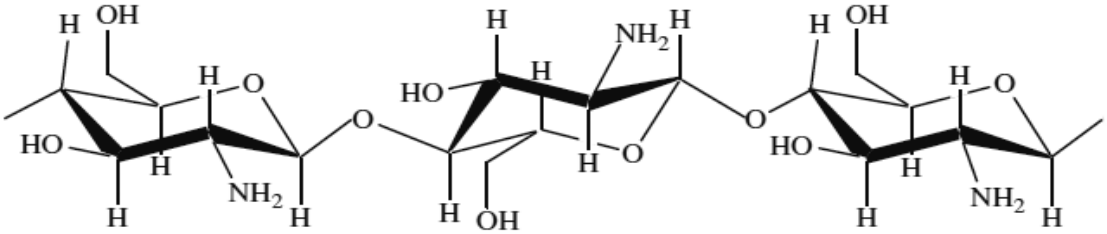
[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2025-06-10]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1391.2.3.3.7]

اجازه تشکیل پیوندهای هیدروژنی درون زنجیره‌ای می‌دهد. در مورد γ-کیتین جهت‌گیری زنجیره ها به صورت تصادفی است (Khor, 2001; Pillai *et al*., 2009) (شکل ۳).

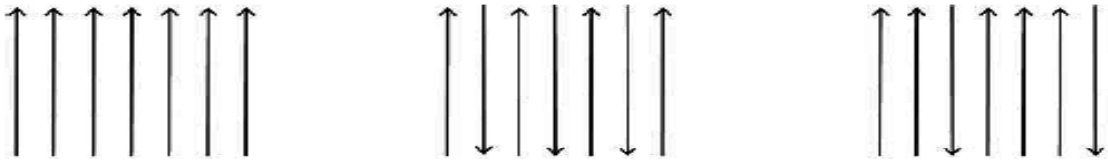


کیتین



کیتوسان

شکل ۲. ساختار بیوپلیمرهای کیتین و کیتوسان



α-کیتین β-کیتین γ-کیتین

شکل ۳. سه حالت از نحوه جهت‌گیری کیتین

خصوصیات کیتین و کیتوسان

بیشتر پلی ساکاریدهای موجود در طبیعت از جمله سلولز (cellulose)، دکسترین (dextran)، پکتین (pectin)، آلجینیک اسید (alginic acid)، آگار (agar)، آگاروز (agarose) و کاراجینان (carrageenan) به صورت خنثی و اسیدی می‌باشند درحالیکه کیتین و کیتوسان به صورت بازی در طبیعت موجود است. وجود همین خصوصیت منحصر به فرد است که آنها را قادر می‌سازد تا به صورت شیمیایی با چربیها، کلسترول، پروتئینها، DNA، RNA و یونهای فلزی پیوند تشکیل دهند. کیتین به دلیل خاصیت چربی دوستی بالا در آب و بسیاری از حلالهای آلی نامحلول است و کیتوسان نیز در محلول اسیدهای رقیق در PH<6 قابل حل است.

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2025-06-10]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1391.2.3.3.7]

الف) خصوصیات شیمی و فیزیکی کیتین و کیتوسان

اصلی‌ترین پارامترهایی که تاثیر مستقیم بر خواص کیتین و کیتوسان دارند عبارتند از وزن مولکولی (molecular weight, Mw)، درجه استیل زدایی (degree of deacetylation, DD) و میزان بلورینگی (crystallinity). اما برای کاربردهای انسانی از جمله صنایع غذایی و پزشکی علاوه بر موارد بالا، درصد خلوص (محتوای خاکستر تولید شده)، میزان رطوبت، محتوای فلزات سنگین و میزان پروتئین آنها نیز تعیین می‌شود (Li *et al*., 1992; Baxter *et al*., 1992; Tharanathan and Kittur, 2003)

در جدول ۱ به طور خلاصه روشهایی برای تعیین خصوصیات کیتین و کیتوسان آورده شده است. باید به این نکته توجه داشت که کاربرد روشهای متفاوت باعث بروز نتایج متفاوتی می‌شود بنابراین مشخص کردن روش شناسایی از اهمیت زیادی برخوردار است. امروزه در بازار، معمولاً درجه استیل زدایی و وزن مولکولی کیتین و کیتوسان مشخص می‌شود.

جدول ۱. خصوصیات شیمی و فیزیکی کیتین و کیتوسان و روشهای شناسایی آنها

خصوصیت شیمی و فیزیکی	روشهای شناسایی
درجه استیل زدایی (DD)	طیف سنجی مادون قرمز (IR) (Kassai, 2008; Brugnerotto *et al*., 2001b)
	طیف سنجی نوری (UV) (Wu and Zivanovic, 2008)
	طیف سنجی روزنانس مغناطیسی (^{1}HNMR) و (^{13}CNMR) (Duarte *et al*., 2001; Varum *et al*., 1991; Raymond *et al*., 1993)
	تیتراسیون رسانایی سنجی (Conductometric titration) (Raymond *et al*., 1993)
	تیتراسیون پتانسیل سنجی (Potentiometric titration) (Jiang *et al*., 2003)
	گرماسنجی پویش تفاضلی (Differential scanning calorimetry) (Guinesi and Cavalheiro, 2006)
وزن مولکولی (Mw)	سنجش گرانروی (Viscosimetry) (Rinaudo *et al*., 1993)
	کروماتوگرافی ژل تراوایی (Gel Permeation Chromatography) (Brugnerotto *et al*., 2001a)
	پراکندگی نور (Light scattering) (Terbojevich and Cosani, 1997)
میزان بلورینگی	پراکنش اشعه ایکس (X-ray Diffraction) (Yen *et al*., 2009)
میزان رطوبت	وزن سنجی (Gravimetric analysis) (ASTM. F2103-01, 2001)
محتوای خاکستر تولید شده	وزن سنجی (Gravimetric analysis) (ASTM. F2103-01, 2001)
میزان پروتئین	روش بردفورد (Bradford method) (Bradford, 1976)

ب) خصوصیات بیولوژیکی کیتین و کیتوسان

کیتین و کیتوسان توجه زیادی را به خصوص در زمینه صنایع پزشکی و دارویی به خود جلب کرده اند از مهمترین خصوصیاتی که آنها را مناسب این کاربردها کرده است می توان به سازگاری زیستی بالا، زیست تخریب پذیری و غیرسمی

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2025-06-10]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1391.2.3.3.7]

بودن آنها اشاره کرد. علاوه بر این موارد، خصوصیات بیولوژیکی چون چسبندگی زیستی، ضد سرطان، ضد میکروب، کاهش دهنده التهاب و درد، آنتی اکسیدان، منعقد کننده خون و کاهش دهنده کلسترول، آنها را از دیگر پلیمرهای زیستی متمایز کرده است (Koide, 1998; Kumar *et al*., 2004). بیش از یک دهه است که از آنها به عنوان یک ترکیب بی‌خطر در فرمولاسیون داروها استفاده می‌شود همچنین به دلیل خاصیت چسبندگی که دارد می‌تواند به عنوان ماده موثر در اتصال بافتهای سخت و نرم به هم به کار رود (Felt *et al*., 1998). فیلمهای تهیه شده از کیتوسان با درجه پایین از استیل زدایی برای بهبود زخم بسیار مناسب هستند. آنها به سطح بافت چسبیده و باعث افزایش کراتینوساید شده و به دنبال آن تولید بافت جلدی می‌کنند (Chatelet *et al*., 2001). جدول ۲ به طور خلاصه رابطه بین ساختار و خواص کیتین و کیتوسان را نشان می‌دهد. درک صحیح از ساختار کیتین و کیتوسان می‌تواند کمک زیادی در کنترل خواص این گونه از بیوپلیمرها به ما بدهد. به عنوان مثال کنترل سرعت تخریب‌پذیری کیتین و کیتوسان بسته به کاربرد و نوع استفاده آنها از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. سرعت تخریب پذیری آنها با کاهش درجه استیل زدایی (DD) و کاهش طول زنجیره پلیمر (Mw)، افزایش می یابد. برعکس، چسبندگی زیستی بیوپلیمرها با افزایش درجه استیل زدایی (DD) و افزایش طول زنجیره پلیمر (Mw)، زیاد می شود که دلیل آن را می توان افزایش برهمکنش گروه‌های آمین کیتوسان با سلول دانست.

جدول ۲. رابطه بین ساختار و خصوصیات کیتین و کیتوسان.

خصوصیت	مشخصات ساختاری	مرجع
حلالیت	↑ DD	(Cho *et al*., 2000; Zhang and Neau, 2001)
بلورینگی	↓ DD	(Aranaz *et al*., 2009)
گرانروی	↑ DD	(Kofuji *et al*., 2005)
زیست تخریب پذیری	↓ DD, ↓ Mw	(Kurita *et al*., 2000; Huang *et al*., 2004)
زیست سازگاری	↑ DD	(Chatelet *et al*., 2001; Schipper *et al*., 1996)
چسبندگی	↑ DD, ↑ Mw	(He *et al*., 1998; Roldo *et al*., 2004)
ضد میکروبی	↑ DD, ↑ Mw	(Helander *et al*., 2001; Liu *et al*., 2001)
ضد درد و التهاب	↑ DD	(Okamoto *et al*., 2002)
آنتی اکسیدان	↑ DD, ↓ Mw	(Park *et al*., 2004a; Xing *et al*., 2005)
انعقاد دهنده خون	↑ DD	(Park *et al*., 2004b; Yang *et al*., 2008)

↑- به طور مستقیم با خصوصیت رابطه دارد.

↓- به طور عکس با خصوصیت رابطه دارد.

کاربردهای کیتین و کیتوسان

حلالیت پایین کیتین، مهمترین عامل محدود کننده مصرف این بیوپلیمر محسوب می شود. علیرغم این محدودیت، تا کنون کاربردهای زیادی از کیتین و مشتقاتش گزارش شده است (Rathke and Hodson, 1994). از اینرو کیتوسان به دلیل وجود

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2025-06-10]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1391.2.3.3.7]

گروههای آمین آزاد در طول زنجیره پلیمر و توانایی تشکیل کیلیت و حلالیت خوب در اسیدهای ضعیفی چون اسید استیک، جایگاه مناسبی را در بین پلی ساکاریدها به خود اختصاص داده است. الیاف ساخته شده از کیتین و کیتوسان برای تهیه نخهای بخیه قابل جذب و همچنین تهیه پارچه هایی جهت بهبود زخم بسیار موثر هستند (Hudson and Smith, 1998). ادعا شده است که پارچه‌های تهیه شده از این الیاف می‌توانند برای تصفیه فاضلابها از یونهای فلزات سنگین مورد استفاده قرار گیرند (Ravi Kumar *et al*., 1998). کیتین و کیتوسان به دلیل خواص شیمیایی و فیزیکی بسیار مناسب و همچنین خواص زیستی منحصر به فرد در صنعت و پزشکی جایگاه بسیار خوبی نسبت به دیگر پلی ساکاریدها پیدا کرده اند که در ادامه به بعضی از موارد استفاده آنها اشاره می شود.

کاربردهای صنعتی

تصفیه فاضلاب و مهندسی آب

کیتوسان به دلیل ماهیت پلی کاتیونی، می تواند به عنوان یک عامل لخته کننده عمل کند و همچنین می تواند به عنوان یک عامل کیلیت کننده، یونهای فلزات سنگین را به دام بیندازد. ولتروسکی و همکارانش توانستند با استفاده از مشتقات کیتوسان در یک محیط اسیدی یونهای فلزی را از فاضلاب خارج کنند (Weltroswki *et al*., 1996). همچنین در سال ۲۰۰۸ گزارش کاملی از استفاده از کیتوسان برای حذف رنگ از محلولهای آبی منتشر شده است (Crini and Badot, 2008). کیتوسان می تواند به طور کامل با رزین‌ها ترکیب شده و برای به دام انداختن فلزات سنگین از آب، به کار رود. کیتین نیز می‌تواند برای حذف مواد رادیواکتیو در فاضلابهای حاوی یونهای اورانیوم (Schleuter *et al*., 2013) و همچنین آبهای دارای استات جیوه مورد استفاده قرار گیرد (Jeon and Holl, 2003). مخلوطی از کیتین و کیتوسان برای جذب آرسنیک از آبهای آشامیدنی به کار رفته است (Elson *et al*., 1980). حتی نسل جدیدی از غشاهای کیتین و کیتوسان ساخته شده اند که کاربرد زیادی در دستگاهای دیالیز، همودیالیز، اسمز، اسمز معکوس دارند و برای خالص کردن آب استفاده می‌شوند.

صنایع کاغذ سازی و بسته بندی

زیست تخریب پذیری و سازگاری بالای آن با محیط زیست باعث شده است که از کیتین و کیتوسان در صنایع بسته بندی و همچنین کاغذهای قابل بازیافت استفاده شود. کیتوسان به دلیل شباهت زیاد ساختاری با سلولز می تواند به راحتی در کارخانه‌های کاغذسازی استفاده شود. کاغذهای تولیدی از کیتوسان دارای سطح صاف و مقاومت بالا در برابر رطوبت هستند که بسیار برای چاپ و نقاشی مناسب می باشند. همچنین به دلیل پیوندهای هیدروژنی بین زنجیرهای پلیمر، کاغذ قابل انعطاف و محکم بوده و در مقابل پارگی مقاومت می کند. علاوه بر این، کیتوسان به دلیل خاصیت ضدمیکروبی، در صنایع بسته بندی مواد غذایی استفاده می شود (Khwaldia *et al*., 2010).

صنایع نساجی

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2025-06-10]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1391.2.3.3.7]

الیاف‌های طبیعی چون سلولز و پروتئین، نسبت به الیاف‌های ساخته دست بشر، در برابر باکتری ها آسیب پذیرتر هستند. از اینرو استفاده از عوامل ضد باکتری برای جلوگیری یا به تاخیر انداختن رشد باکتری، بسیار ضروری و به عنوان یک اصل استاندارد در تهیه منسوجات، از اهمیت بالایی برخوردار است. با این حال، نگرانی عمومی از ساختار شیمیایی و سمی این عوامل ضد باکتری و تاثیری که بر محیط زیست و موجودات زنده دارند و نیز کارایی و دوام پایین، کاربردشان را محدود کرده است (Ye *et al*., 2005). در نتیجه کیتوسان به عنوان یک بیوپلیمر طبیعی غیرسمی، زیست تخریب پذیر و سازگار با محیط زیست گزینه مناسبی برای استفاده در صنایع نساجی است و علاوه بر این، خاصیت ضد باکتری این نمونه از الیافها موجب شده که امروزه از آنها در لباسهای ورزشی، البسه خانم ها، کودکان و لباسهای ظریف، زیبا، ضد بو و ضدحساسیت استفاده شود (Kenawy *et al*., 2007).

مواد آرایشی و بهداشتی

معمولاً اسیدهای آلی به عنوان یک حلال مناسب در مواد آرایشی و بهداشتی به کار می روند. یک پلی آمینوساکارید مثل کیتوسان می تواند به راحتی در محیط‌های خنثی و اسیدی به صورت ژل درآید. ولی برخلاف اکثر هیدروژل‌هایی که خاصیت آنیونی دارند؛ کیتوسان خاصیت کاتیونی دارد. همین ویژگی سبب می شود که به عنوان یک محافظ پوست و مو به کار رود. کیتوسان با بسیاری از ترکیبات مورد استفاده در مواد آرایشی، سازگار است و بسیاری از اشعه های فرا بنفش را جذب و یا اثر آنها را کاهش می دهد (Dutta *et al*., 2004).

کیتوسان و مو از نظر بار الکتریکی مکمل یکدیگر هستند، به طوریکه کیتوسان دارای بار مثبت و مو دارای بار منفی است و یک محلول شفاف کیتوسان به صورت یک پوشش انعطاف‌پذیر روی پوست و مو قرار گرفته و باعث افزایش نرمی و لطافت آن می شود. کیتین و کیتوسان هر دو در شامپوها، رنگ موها، امولسیونها، افشانه ها و تقویت کننده‌های مو استفاده می‌شوند (Dutta *et al*., 2004).

دو ویژگی مهم کیتین، کیتوسان و مشتقات آنها باعث شده تا به عنوان یک کاندیدای خوب برای محافظت از پوست به شمار آیند. الف) از نظر بار الکتریکی مثبت هستند ب) وزن مولکولی آنها عموما بالاست و نمی توانند به داخل پوست نفوذ کنند. بنابراین از آنها به عنوان یک مرطوب کننده استفاده می‌شود. آنها همچنین در لاک ناخن، کرم ها، سایه چشم و غیره مورد استفاده قرار می گیرند (Dutta *et al*., 2004).

هر دو کیتین و کیتوسان باعث خنکی و طراوت هوای دم شده و از رشد باکتریها و فساد دندانها جلوگیری می‌کنند و همین خاصیت موجب شده است که در خمیر دندانها، دهان شویها و آدامسها به کار روند. کیتوسان به عنوان یک ماده پر کننده دندان به کار می‌رود که می‌تواند قارچهای روی سطح دندان را از بین ببرد (Sapelli *et al*., 1986).

کیتوسان دارای تمام مشخصاتی است که یک لنز تماسی ایده ال باید داشته باشد از قبیل پایداری مکانیکی، شفافت بالا، نفوذپذیری در مقابل هوا به خصوص اکسیژن، مرطوب بودن، زیست سازگار بودن، ضدمیکروب بودن. از اینرو کاربرد وسیعی در چشم پزشکی برای تهیه لنزهای تماسی دارد (Jing *et al*., 1996).

صنایع غذایی

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2025-06-10]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1391.2.3.3.7]

کیتوسان به عنوان یک افزودنی غذایی از سال های ۱۹۹۵ و ۱۹۸۳ به ترتیب در کشورهایی مثل کره و ژاپن مصرف می شود (Weiner, 1992). افزایش تقاضای مصرف کنندگان برای غذاهایی با کیفیت بالا و از نظر بیولوژیکی سالم به همراه فراوانی نسبی آن باعث شده است که محققین و مراکز صنعتی زیادی توجه خود را روی این بیوپلیمر متمرکز کنند. کیتوسان بیشتر به عنوان یک افزودنی غذایی و همچنین به عنوان یکی از اجزاء سازنده مواد بسته‌بندی، نه تنها در جلوگیری از رشد میکروارگانیسمها در غذا بلکه در بهبود کیفیت آن نیز موثر است.

به دلیل ویژگیهایی چون خواص ضد میکروبی و آنتی اکسیدانی و نیز جلوگیری از تغییر طعم و مزه و افزایش ماندگاری، از کیتوسان به عنوان یک افزودنی در فراورده های گوشتی و لبنی استفاده می شود. گزارشها نشان داده است که افزودن ۱ درصد کیتوسان به گوشت می تواند تا ۷۰ درصد از اکسیداسیون چربیها را در دمای ٤ درجه سانتیگراد کاهش دهد. همچنین کیتوسان می تواند مانع از یخ زدگی بیش از حد فراوردهای گوشتی شود (Kanatt *et al*., 2008; Sagoo *et al*., 2002).

کیتین و کیتوسان می توانند به عنوان افزودنی غذایی جهت بهبود بافت آنها در ماکارونی، نان، و کلوچه ها استفاده شوند. این اثرات به دلیل خواص ضد میکروبی و توانایی آنها در جهت کنترل پس روی (retrogradation) نشاسته می باشد. کریستال‌های کیتین تاثیر مثبتی بر افزایش حجم قرص نانهای سفید و نانهای غنی از پروتئین دارند (Knorr, 1982). کیتوسان به دلیل بار جزئی مثبت می تواند در جداسازی ذرات کلوئیدی از آب میوه ها جهت شفاف سازی، مورد استفاده قرار گیرد (Chatterjee *et al*., 2004). همچنین از آن برای کنترل اسیدیته آب میوه‌ها نیز استفاده می‌شود (Imeri and Knorr, 1998).

در مقایسه با محلول، فیلم‌های تولید شده از کیتوسان بی‌خطرند و به طور وسیعی برای بسته بندی غذاها استفاده می‌شوند. این بسته بندیها علاوه بر اینکه دارای خاصیت ضد میکروبی هستند از ویژگی مکانیکی خوبی نیز برخوردار می‌باشند (Moller *et al*., 2004). همچنین به جای استفاده از مواد نفتی مثل پلی اتیلن و پلی پروپیلن که غیر خوراکی و از طرفی غیرقابل تجزیه زیستی می باشند، کیتوسان می تواند بهترین گزینه در این خصوص باشد.

کشاورزی

افزایش تقاضای مصرف کنندگان برای استفاده از محصولات تازه و عاری از ترکیبات شیمیایی (محصولات ارگانیک) و همچنین تمایل عمومی برای پیدا کردن یک روش جایگزین و کم هزینه جهت نگهداری محصولات کشاورزی و نیز کاهش عوامل بیماری‌زا در مدت کاشت و برداشت باعث شده است که از ترکیبات طبیعی ضدمیکروبی استفاده شود. از اینرو کیتوسان به دلیل خاصیت ضدمیکروبی که در مقابل گستره وسیعی از باکتریها، ویروسها و قارچها دارد؛ قادر است بافت گیاه را در مقابل عوامل بیمای‌زا محافظت کند (Arriola *et al*., 2013).

تحقیقی در دانشگاه واشنگتن نشان داده است که کیتوسان به عنوان پوششی برای دانه‌های گندم، سبب افزایش بازده محصول می‌شود و البته از نتیجه این تحقیق تا کنون برای دیگر محصولات نیز استفاده شده است (Hadwiger *et al*., 1984). همچنین می‌توان از کیتوسان به عنوان یک عامل آزادسازی کنترل شده برای ترکیباتی چون آفت کشها، علف کشها و ترکیبات مغذی برای رشد گیاه مثل مس، آهن، منگنز و غیره استفاده کرد (Struszezyk *et al*., 1989).

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2025-06-10]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1391.2.3.3.7]

خاصیت ضدمیکروبی محلول کیتوسان را می‌توان در جهت ایجاد یک پوشش نازک روی خوراکی‌هایی نظیر میوه و سبزیجات که به صورت یک فیلم محافظ ضدباکتری و ضدقارچ مانع از فساد محصولات کشاورزی می‌شود؛ به کار برد همچنین از آنجایی که کیتوسان خوراکی است می تواند جایگزین مناسبی برای پوششهای متداول که از منابع نفتی به دست می آیند؛ باشد (Rabea *et al*., 2003).

کروماتوگرافی (Chromatography)

کیتین و کیتوسان کاربرد وسیعی در جداسازی ترکیبات به روش کروماتوگرافی دارند (Ottøy *et al*., 1996). وجود گروههای آمین آزاد و همچنین گروههای هیدروکسی نوع اول و دوم در کیتوسان باعث شده است که به عنوان یک ترکیب مفید برای جداسازی استفاده شود. از کیتوسان در کروماتوگرافی لایه نازک برای جداسازی اسیدهای نوکلئوتیک استفاده شده است (Lepri *et al*., 1977). همچنین گزارشی از ری و همکارانش نشان می‌دهد که از کیتین و کیتوسان به عنوان یک ماده جاذب در فاز ساکن برای جداسازی فنل‌ها و کلروفنل‌ها در کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا (HPLC) استفاده شده است (Rhee *et al*., 1998).

کاربردهای بیوپزشکی

مهندسی بافت (Tissue engineering)

مهندسی بافت یک از جذاب ترین موضوعات حال حاضر محققین در سراسر دنیا به شمار می آید. که شامل توسعه و تغییر در زمینه رشد آزمایشگاهی سلول‌ها، بافتها و اندامها، به منظور جایگزینی، ترمیم و افزایش عملکرد قسمت آسیب دیده بدن است. به طوریکه کاربرد زیادی در ترمیم پوست، تاندون، استخوان، رگهای خونی و غیره دارد. اولین لازمه آن طراحی یک داربست سه بعدی است که سلولها بتوانند برای رشد در داخل آن لانه گزینی کنند. داربست باید دارای چند ویژگی مهم باشد که عبارتند از: ۱) باید دارای خلل و فرج فراوان با اندازه های مناسب باشد تا سلولها در آن لنگر بیندازند ۲) سطح خارجی وسیعی داشته باشد ۳) سرعت تخریب پذیری داربست باید با سرعت رشد بافت حاصل متناسب باشد ٤) خاصیت مکانیکی مناسبی داشته باشد که در طول زمان رشد بافت، ساختار از هم نپاشد ٥) برای سلول غیرسمی و دارای سازگاری زیستی بالایی با آن باشد.

اخیراً کیتوسان و مشتقات آن به عنوان یک کاندیدای مناسب در تهیه داربست مطرح شده‌اند. زیرا آنها غیرسمی، زیست‌سازگار و زیست تخریب پذیر مناسب و همچنین دارای طبیعت کاتیونی هستند و می توانند به عنوان داربستهای موقتی جهت اصلاح و تحریک رشد بافت جدید به کار روند (Martino *et al*., 2005). کیتوسان به طور وسیعی در مهندسی بافت استخوانی به کار می رود (Seol *et al*., 2004). گزارشی در مورد استفاده از کامپوزیتهای کیتوسان-کلسیم فسفات به منظور استحکام بیشتر داربست منتشر شده است (Lian *et al*., 2009). همچنین کیتوسان در بهبود و بازسازی غضروف (Yamane *et al*., 2005)، سلولهای عصبی (Freier *et al*., 2005) و بافت کبد (Wang *et al*., 2003) نقش مهمی را ایفا می‌کند.

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2025-06-10]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1391.2.3.3.7]

بهبود زخم و سوختگی (Burn and wound healing)

یکی از چالش‌های اصلی درمان و بهبود زخم‌ها، مقاومت میکروارگانیسم‌ها در برابر آنتی بیوتیک می باشد که باعث می‌شود بهبود زخم با تاخیر روبه رو شود. اخیرا تحقیقات زیادی برای گسترش ترکیبات ضدمیکروبی در درمان زخمها به منظور کاهش مقاومت ضد باکتری میکروارگانیسمها انجام شده است. کیتین و کیتوسان هر دو یک تاثیر تسریع کننده بر بهبود زخمها دارند (Mori *et al*., 1997; Wongpanit *et al*., 2005). اخیرا گزارشی در مورد کامپوزیتی از کیتین و نانوذرات نقره برای ترمیم زخم ها منتشر شده است که نشان می دهد این کامپوزیت خاصیت ضدباکتری بالا و همچنین سازگاری زیادی با پوست دارد (Madhumathi *et al*., 2010).

کیتوسان همچنین به عنوان یک کاندیدای امیدبخش برای درمان سوختگی نیز به شمار می آید. کیتوسان می تواند به صورت پوششی بادوام، جاذب آب و زیست سازگار، مستقیما برای درمان سوختگی استفاده شود. یکی از مزیت های این نوع پوشش، نفوذپذیری بالای آن نسبت به اکسیژن است که بهبود سوختگی را تسریع می کند. علاوه بر موارد فوق، این گونه از پوششها قادرند آب را جذب کرده و به طور طبیعی در اثر آنزیمهای بدن تجزیه شوند و نیازی به برداشت پوشش، بعد از بهبود سوختگی نیست (Dai *et al*., 2011; Wang *et al*., 2012).

رهاسازی دارو (Drug delivery)

کیتین، کیتوسان و مشتقات آنها آینده روشنی به عنوان یک عامل کمکی در انتقال و رهاسازی داروها دارند. حلالیت کیتوسان در اسیدهای ضعیف، به دلیل وجود گروه‌های آمین نوع اول، بهترین توجیه برای محبوبیت آن نسبت به کیتین می باشد. علاوه بر این سازگاری زیستی قابل قبول، زیست تخریب پذیری آن به واسطه تعدادی از آنزیمها و تشکیل ژل در PH های پایین، آنرا به یک بیوپلیمر بی‌نظیر بدل کرده است (Nordtveit *et al*., 1994). همچنین کیتوسان دارای فعالیت ضد اسیدی است که مانع از کاهش اثر داروها در معده می شود (Miyazaki *et al*., 1981). سیستم هایی که بر پایه پلیمر کیتوسان بنا شده اند در انتقال و رهاسازی پروتئینها/پپتیدها (Grenha *et al*., 2005)، فاکتورهای رشد (Elcin *et al*., 1996)، داروهای ضد درد و التهاب (Aggarwal *et al*., 2001)، داروهای ضدسرطان (Wei *et al*., 2010)، آنتی بیوتیکها (Kavaz *et al*., 2010) و همچنین در درمان نارسایهای ژنی (Mansouri *et al*., 1994) مورد استفاده قرار می گیرند.

نتیجه گیری

کیتین و کیتوسان، به عنوان آمینو پلی ساکاریدهای طبیعی، به دلیل داشتن ساختار بی نظیر، خصوصیات چند بعدی و عملکرد بالا، توجه زیادی را در صنایع به ویژه در پزشکی و داروسازی به خود معطوف کرده اند. بعلاوه، اصلاح شیمیایی این پلیمرها، بهبود حلالیت آنها در محیطهای آبی یا حلالهای آلی را در پی داشته که این امر موجب افزایش فعالیتهای بیولوژیکی و نیز افزایش کاربرد آنها در پزشکی شده است. این مقاله تلاش دارد که آگاهی مخاطب را در مورد ساختار، خصوصیات و کابردهای مختلف کیتین و کیتوسان افزایش دهد.

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2025-06-10]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1391.2.3.3.7]

منابع

Aggarwal, A., Kaur, S., Tiwary, A.K., Gupta, S. 2001. Chitosan microspheres prepared by an aqueous process: release of indomethacin. Journal of Microencapsulation. 18(6): 819–823.

Aranaz, I., Mengíbar, M., Harris, R., Paños, I., Miralles, B., Acosta, N., Galed, G., Heras, Á. 2009. Functional characterization of chitin and chitosan. Current Chemical Biology. 3(2): 203-230.

Arriola, O.C., Rocha, M.O.C., Hernandez, A.B., Brauer, J.M.E., Jatomea, M.P. 2013. Controlled release matrices and micro/nanoparticles of chitosan with antimicrobial potential: development of new strategies for microbial control in agriculture. Journal of the Science of Food and Agriculture. 93(7): 1525–1536.

ASTM. F2103-01. 2001. Standard guide for characterization and testing of chitosan salts as starting materials intended for use in biomedical and tissue-engineered medical product applications.

Baxter, A., Dillon, M., Taylor K.D., Roberts, G.A. 1992. Improved method for i.r. determination of the degree of *N*-acetylation of chitosan. International Journal of Biological Macromolecules. 14(3):166-169.

Bradford, M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of proteindye binding. Analytical Biochemistry. 72(1-2): 248-254.

Brugnerotto, J., Desbrieres, J., Roberts, G., Rinaudo, M. 2001a. Characterization of chitosan by steric exclusion chromatography. Polymer. 42(25): 9921-9927.

Brugnerotto, J., Lizardi, J., Goycoolea, F.M., Arguelles-Monal, W., Desbrieres, J., Rinaudo, M. 2001b. An infrared investigation in relation with chitin and chitosan characterization. Polymer. 42(8): 3569-3580.

Chatelet, C., Damour, O., Domard, A. 2001. Influence of the degree of acetylation on some biological properties of chitosan films. Biomaterials. 22(3): 261–268.

Chatterjee, S., Chatterjee, S., Chatterjee, B.P., Guha, A.K. 2004. Clarification of fruit juice with chitosan. Process Biochemistry. 39(12): 2229-2232.

Cho, Y.W., Jang , J., Park, C.R., Ko, S.W. 2000. Preparation and solubility in acid and water of partially deacetylated chitins. Biomacromolecules. 1(2): 609-614.

Crini, G., Badot , P.M. 2008. Application of chitosan, a natural aminopolysaccharide, for dye removal from aqueous solutions by adsorption processes using batch studies: A review of recent literature. Progress in Polymer Science. 33(4): 399-447.

Duarte, M.L., Ferreira, M.C., Marvao, M.R., Rocha. J. 2001. Determination of the degree of acetylation of chitin materials by ^{13}C CP/MAS NMR spectroscopy. International Journal of Biological Macromolecules. 28(5): 359-363.

Dai, T., Tanaka, M., Huang, Y.Y., Hamblin, M.R. 2011. Chitosan preparations for wounds and burns: antimicrobial and wound-healing effects. Expert Review of Anti-Infective Therapy. 9(7): 857–879.

Dutta, P,K., Dutta, J., Tripathi, V.S. 2004. Chitin and chitosan: Chimistry, Properties and applications. Journal of Scientific & Industrial Research. 63(1): 20-31.

Elcin, Y.M., Dixit, V., Gitnick, G. 1996. Controlled release of endothelial cell growth factor from chitosan-albumin microspheres for localized angiogenesis: in vitro and in vivo studies. Artificial Cells, Blood Substitutes, and Biotechnology. 24(3): 257-271.

Elson, C.M., Davies, D.H., Hayes, E.R. 1980. Removal of arsenic from contaminated drinking water by a chitosan/chitin mixture. Water Research. 14(9): 1307-1311.

Felt, O., Buri, P., Gurny, R. 1998. Chitosan: a unique polysaccharide for drug delivery. Drug Development and Industrial Pharmacy. 24(11): 979-993.

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2025-06-10]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1391.2.3.3.7]

Freier, T., Montenegro, R., Koh H.S., Shoichet, M.S. 2005. Chitin-based tubes for tissue engineering in the nervous system. Biomaterials. 26(22): 4624-4632.

Grenha, A., Seijo, B., Remunan-Lopez, C. 2005, Microencapsulated chitosan nanoparticles for lung protein delivery. European Journal of Pharmaceutical Sciences. 25(4-5): 427-437.

Guinesi, L., Cavalheiro, E. 2006. The use of DSC curves to determine the acetylation degree of chitin/chitosan samples. Thermochimica Acta. 444(2): 128-133.

Hadwiger, L.A., Fristensky, B., Riggleman, R.C. 1984. Chitin, Chitosan and Related Enzymes. Zikakis JP (Ed.). Academic Press. New York. p. 291.

He, P., Davis, S.S., Illum, L. 1998. In vitro evaluation of the mucoadhesive properties of chitosan microspheres. International Journal of Pharmaceutics. 166(1): 75–88.

Helander, I.M., Nurmiaho-Lassila, E.L., Ahvenainen, R., Rhoades, J., Roller, S. 2001. Chitosan disrupts the barrier properties of the outer membrane of gram-negative bacteria. International Journal of Food Microbiology. 71(2-3): 235–244.

Hirano, S. 1999. Chitin and chitosan as novel biotechnological materials. Polymer International. 48(8): 732–734.

Huang, M., Khor, E., Lim, L.Y. 2004. Uptake and cytotoxicity of chitosan molecules and nanoparticles: effects of molecular weight and degree of deacetylation. Pharmaceutical Research. 21(2): 344-353.

Hudson, S.M., Smith, C. 1998. Polysaccharide: chitin and chitosan:chemistry and technology of their use as structural materials, Biopolymers from renewable resources, edited by Kaplan, D.L., Springer-Verlag, Newwork pp.96-118.

Imeri, A.G., Knorr, D. 1988. Effect of chitosan on yield and compositional data of carrot and apple juice. Journal Food Science. 53(6): 1707-1709.

Jayakumar, R., New, N., Tokura, S., Tamura, H. 2007. Sulfated chitin and chitosan as novel biomaterials. International Journal of Biological Macromolecules. 40(3): 175–181.

Jeon, C., Holl, W.H. 2003. Chemical modification of chitosan and equilibrium study for mercury ion removal. Water Research. 37(19): 4770-4780.

Jiang, X., Chen, L., Zhong, W. 2003. A new linear potentiometric titration method for the determination of deacetylation degree of chitosan. Carbohydrate Polymers. 54(4): 457-463.

Jing, H., Su, W., Caracci, S., Bunning, T.G., Cooper, T., Adams, W. 1996. Optical waveguiding and morphology of chitosan thin film. Journal of Applied Polymer Science. 61(7): 1163-1171.

Kanatt, S.R., Chander, R., Sharma, A. 2008. Chitosan and mint mixture: A new preservative for meat and meat products. Food Chemistry. 107(2): 845-852.

Kassai, M. 2008. A review of several reported procedures to determine the degree of *N*-acetylation for chitin and chitosan using infrared spectroscopy. Carbohydrate Polymers. 71(4): 497-508.

Kavaz, D., Odabas, S., Güven, E., Demirbilek, M., Denkbas, E. 2010. Bleomycin loaded magnetic chitosan nanoparticles as multifunctional nanocarriers. Journal of Bioactive and Compatible Polymers. 25(3): 305–318.

Kenawy, E.R., Worley, S.D., Broughton, R. 2007. The chemistry and applications of antimicrobial polymers: a state-of-the-art review. Biomacromolecules. 8 (7): 1359-1384.

Khwaldia, K., Arab-Tehrany, E., Desobry, S. 2010. Biopolymer coatings on paper packaging materials, Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 9(1): 82-91.

Khor, E. 2001. Chitin: fulfilling a biomaterials promise. Amsterdam: Elsevier Science. P. 10.

Knorr, D. 1982. Functional properties of chitin and chitosan. Journal Food Science. 47(2): 593-595.

Kofuji, K., Qian, C.J., Nishimura, M., Sugiyama, I., Murata, Y., Kawashima, S. 2005. Relationship between physicochemical characteristics and functional properties of chitosan. European Polymer Journal. 41(11): 2784–2791.

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2025-06-10]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1391.2.3.3.7]

Koide, S.S. 1998. Chitin-chitosan: Properties, benefits and risks. Nutrition Research. 18(6): 1091-1101.

Kumar, M.N.V.R., Muzarelli, R.A.A., Muzarelli, C., Sashiwa, H., Domb, A.J. 2004. Chitosan chemistry and pharmaceutical perspectives. Chemical Reviews. 104(12): 6017-6084.

Kurita, K. 2006. Chitin and chitosan: functional biopolymers from marine crustaceans. Marine Biotechnology. 8(3): 203–26.

Kurita, K., Kaji, Y., Mori, T., Nishiyama, Y. 2000. Enzymatic degradation of [beta]-chitin: susceptibility and the influence of deacetylation. Carbohydrate Polymers. 42(1): 19-21.

Kurita, K. 1998. Chemistry and application of chitin and chitosan. Polymer Degradation and Stability. 59(1-3): 117–120.

Lepri, L., Desideri, P.G., Muzzarelli, R.A.A. 1977. Chromatographic behaviour of nucleic acid constituents and of phenols on chitosan thin layers. Journal of Chromatography A. 139(2): 337-342.

Li, Q.D., Dunn, E.T., Grandmaison, E.W., Goosen, M.F.A. 1992. Applications and properties of chitosan. Journal of Bioactive and Compatible Polymers. 7(4): 370-397.

Lian, Q., Li, D., Jin, Z., Wang, J., Li, A., Wang, Z., Jin, Z. 2009. Fabrication and in vitro evaluation of calcium phosphate combined with chitosan fibers for scaffold structures. Journal of Bioactive and Compatible Polymers. 24(1 Suppl): 113-124.

Liu, X.F., Guan, Y.L., Yang, D.Z., Li, Z., Yao, K.D. 2001. Antibacterial action of chitosan and carboxymethylated chitosan. Journal of Applied Polymer Science. 79(7): 1324-1335.

Madhumathi, K., Sudheesh Kumar, P.T., Abilash, S., Sreeja, V., Tamura, H., Manzoor, K., et al. 2010. Development of novel chitin/nanosilver composite scaffolds for wound dressing applications. Journal of Materials Science: Materials in Medicine. 21(2): 807–813.

Mansouri, S., Lavigne, P., Corsi, K., Benderdour, M., Beaumont, E., Fernandes, J.C. 2004. Chitosan-DNA nanoparticles as non-viral vectors in gene therapy: strategies to improve transfection efficacy. European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics. 57(1): 1–8.

Martino, A.D., Sittinger, M., Risbud, M.V. 2005. Chitosan: A versatile biopolymer for orthopedic tissue-engineering. Biomaterials. 26(30): 5983-5990.

Miyazaki, S., Ishii, K., Nadai, T. 1981. The use of chitin and chitosan as drug carriers. Chemical & Pharmaceutical Bulletin. 29(10): 3067-3069.

Moller, H., Grelier, S., Pardon, P., Coma, V. 2004. Antimicrobial and physicochemical properties of chitosan-HPMC-based films. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 52(21): 6585–6591.

Mori, T., Okumura, M., Matsuura, M., Ueno, K., Tokura, S., Okumoto, Y., et al. 1997. Effects of chitin and its derivatives on the proliferation and cytokine production of fibroblasts *in vitro*. Biomaterials. 18(13): 947–951.

Mourya, V.K., Inamdar, N.N. 2008. Chitosan-modifications and applications: opportunities galore. Reactive and Functional Polymers. 68(6): 1013-1051.

Muzzarelli, R.A.A., Jeuniaux, C., Gooday, G.W. 1986. Chitin in nature and technology. New York: Plenum, p. 385.

Nordtveit, R.J., Vårum, K.M., Smidsrød, O. 1994. Degradation of fully water-soluble, partially N-acetylated chitosans with lysozyme. Carbohydrate Polymers. 23(4): 253-260.

Okamoto, Y., Kawakami, K., Miyatake, K., Morimoto, M., Shigemasa, Y., Minami, S. 2002. Analgesic effects of chitin and chitosan. Carbohydrate Polymers. 49(3): 249-252.

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2025-06-10]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1391.2.3.3.7]

Ottøy, M.H., Vårum, K.M., Christensen, B.E., Anthonsen, M.V., Smidsrød, O. 1996. Preparative and analytical size-exclusion chromatography of chitosans. Carbohydrate Polymers. 31(4): 253-261.

Park, P.J., Je, J.Y., Kim, S.K. 2004a. Free radical scavenging activities of differently deacetylated chitosans using an ESR spectrometer. Carbohydrate Polymers. 55(1): 17-22.

Park, P.J., Je, J.Y., Jung, W.K., Ahn, C.B, Kim, S.K. 2004b. Anticoagulant activity of heterochitosans and their oligosaccharide sulfates. European Food Research and Technology. 219(5): 529–533.

Pillai, C.K.S., Paul, W., Sharma, C.P. 2009. Chitin and chitosan polymers: chemistry, solubility and fiber formation. Progress in Polymer Science. 34(7): 641-678.

Rabea, E.I.., Badawy, M.E., Stevens, C.V., Smagghe, G., Steurbaut, W. 2003. Chitosan as antimicrobial agent: Aplications and mode of action. Biomacromolecules. 4(5): 1457-1465.

Rathke, T.D., Hodson, S.M. 1994. Review of chitin and chitosan as fibre and film formers, J.M.S.-Rev. Macromolecular Chemistry and Physics. C-34: 375.

Raymond, L., Morin, F.G., Marchessault, R.H. 1993. Degree of deacetylation of chitosan using conductometric titration and solid-state NMR. Carbohydrate Research. 246(1): 331-336.

Ravi Kumar, M.N.V., Dutta, P.K., Nakamura, S. 1998. Methods of metal capture from wastewater. in: Trivedy, R.K. (Ed.). Advances in Wastewater Treatment Technologies. Global Science. India. p.22.

Rhee, J.S., Jung, M.W., Paeng, K.J. 1998. Evaluation of chitin and chitosan as a sorbent for the preconcentration of phenol and chlorophenols in water. Analytical Sciences. 14: 1089-1092.

Rinaudo, M. 2008. Main properties and current applications of some polysaccharides as biomaterials. Polymer International. 57(3):397-430.

Rinaudo, M., Milas, M., Le, Dung, P. 1993. Characterization of chitosan. Influence of ionic stregth and degree of acetylation on chain expansion. International Journal of Biological Macromolecules. 15(5): 281-285.

Roldo, M., Hornof, M., Caliceti, P., Bernkop-Schnurch, A. 2004. Mucoadhesive thiolated chitosans as platforms for oral controlled drug delivery: synthesis and in vitro evaluation. European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics. 57(1): 115–121.

Sapelli, P.L., Baldassarre, V., Muzzarelli, R.A.A., Emanuelli, M. 1986. “Chitosan in Dentistry” in “Chitin in Nature and Technology” Muzzarelli, R., Jeuniaux, G., Gooday, G.W. (Eds.). Springer (US). pp. 507-512.

Sagoo, S., Board, R., Roller, S. 2002. Chitosan inhibits growth of spoilage microorganisms in chilled pork products. Food Microbiology. 19(2-3): 175-182.

Schipper, N.G., Varum, K.M., Artursson, P. 1996. Chitosans as absorption enhancers for poorly absorbable drugs. 1: Influence of molecular weight and degree of acetylation on drug transport across human intestinal epithelial (Caco-2) cells. Pharmaceutical Research. 13(11): 1686-1692.

Schleuter, D., Günther, A., Paasch, S., Ehrlich, H., Kljajić, Z., Hanke, T., Bernhard, G., Brunner, E. 2013. Chitin-based renewable materials from marine sponges for uranium adsorption. Carbohydrate Polymers. 92(1): 712-718.

Seol, Y.J., Lee, J.Y., Park, Y.J., Lee, Y.M., Young, K., Rhyu, I.C., Lee, S.J., Han, S.B., Chung, C.P. 2004. Chitosan sponges as tissue engineering scaffolds for bone formation. Biotechnology Letters. 26(13): 1037–1041.

Struszezyk, H., Pospieszmy, H., Kotlinski, S. 1989. Some new applications of chitosan in agriculture, in Chitin and Chitosan. Braek, G.S., Anthonsen, T., Sandford, P. (Eds.), Elsevier Applied Science. New York. pp. 733-742.

Terbojevich, M., Cosani, A. 1997. Molecular weight determination of Chitin and Chitosan. In: Muzzarelli, R.A.A., Peter, M.G. (Eds.) Chitin handbook. Grotammare: European Chitin Society. pp. 87-101

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2025-06-10]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1391.2.3.3.7]

Tharanathan, R.N., Kittur, F.S. 2003. Chitin: the undisputed biomolecule of great potential. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 43(1): 61-87.

Varum, K.M., Antohonsen, M.W., Grasdalen, H., Smidsrod, O. 1991. Determination of the degree of N-acetylation and the distribution of Nacetyl groups in partially *N*-deacetylated chitins (chitosans) by high-field n.m.r. spectroscopy. Carbohydrate Research. 211(1): 17-23.

Wang, T., Zhu, X.K., Xue, X.T., Wu, D.Y. 2012. Hydrogel sheets of chitosan, honey and gelatin as burn wound dressings. Carbohydrate Polymers. 88(1): 75-83.

Wang, X.H., Li, D.P., Wang, W.J., Feng, Q.L., Cui, F.Z., Xu, Y.X., Song, X.H., van der Werf, M. 2003. Crosslinked collagen/chitosan matrix for artificial livers. Biomaterials. 24(19): 3213-3220.

Wei, X.H., Niu, Y.P., Xu, Y.Y., Du, Y.Z., Hu, F.Q., Yuan, H. 2010. Salicylic acid-grafted chitosan oligosaccharide nanoparticle for paclitaxel delivery. Journal of Bioactive and Compatible Polymers. 25(3): 319-335.

Weiner, M.L. 1992. In: Brine, C.J., Sandford, P.A., Zikakis, J.P. (Eds.), Advances in chitin and chitosan. Elsevier. London. p. 663.

Weltrowski, M., Martel, B., Morcellent, M. 1996. Chitosan *N*-benzyl sulfonate derivatives as sorbents for removal of metal ions in an acidic medium. Journal of Applied Polymer Science. 59(4): 647-654.

Wongpanit, P., Sanchavanakit, N., Pavasant, P., Supaphol, P., Tokura, S., Rujiravanit, R. 2005. Preparation and characterization of microwave-treated carboxymethyl chitin and carboxymethyl chitosan films for potential use in wound care application. Macromolecular Bioscience. 5(10): 1001–1012.

Wu, T., Zivanovic, S. 2008. Determination of the degree of acetylation (DA) of chitin and chitosan by an improved first derivative UV method. Carbohydrate Polymers. 73(2): 248-253.

Xing, R., Liu, S., Guo, Z., Yu, H., Wang, P., Li, C., Li, Z., Li, P. 2005. Relevance of molecular weight of chitosan and its derivatives and their antioxidant activities in vitro. Bioorganic & Medicinal Chemistry. 13(5): 1573-1577.

Yamane, S., Iwasaki, N., Majima, T., Funakoshi, T., Masuko, T., Harada, K., Minami, A., Monde, K., Nishimura, S. 2005. Feasibility of chitosan-based hyaluronic acid hybrid biomaterial for a novel scaffold in cartilage tissue engineering. Biomaterials. 26(6): 611-619.

Yang, J., Tian, F., Wang, Z., Wang, Q., Zeng, Y.J., Chen, S.Q. 2008. Effect of chitosan molecular weight and deacetylation degree on hemostasis. Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials. 84B(1): 131-137.

Ye, W.J., Leung, M.F., Xin, J., Kwong, T.L., Lee, D.K.L., Li, P. 2005. Novel core-shell particles with poly(n-butyl acrylate) cores and chitosan shells as an antibacteial coating for textiles. Polymer. 46(23): 10538-10543.

Yen, M., Yang, J., Mau, J. 2009. Physicochemical characterization of chitin and chitosan from crab shells. Carbohydrate Polymers. 75(1): 15-21.

Zhang, H., Neau, S.H. 2001. In vitro degradation of chitosan by a commercial enzyme preparation: effect of molecular weight and degree of deacetylation. Biomaterials. 22(12):1653-1658.

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2025-06-10]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1391.2.3.3.7]