بهبود عملکرد فیلم‌های بسته‌بندی مواد غذایی با بکارگیری ارتقاءدهنده‌های چسبندگی سیلانی

علیرضا سوخته سرایی [1*]، محمد آزاد فلاح [2]، سعید باستانی، [3] حامد ذوالفقاری [4]

تاریخ دریافت مقاله: آذر ماه ۱۳۹٤

تاریخ پذیرش مقاله:دی ماه ۱۳۹٤

چکیده

چاپ فلکسوگرافی به عنوان پرکاربردترین فنّاوری چاپ در صنعت بسته‌بندی مطرح می‌باشد؛ اما کیفیت محصولات چاپ شده با روش فلکسوگرافی کمتر از چاپ افست است و یکی از مهم‌ترین مسائلی که کیفیت چاپ فلکسوگرافی را تهدید می‌کند، عدم چسبندگی مناسب مرکب‌های فلکسوگرافی به سطح زیرآیند به ویژه سطوح پلی‌اولفینی می‌باشد. سیلان‌های آلی ترکیبات دوست‌دار محیط زیست هستند که از جمله خواص آن‌ها می‌توان به افزایش چسبندگی، افزایش مقاومت به آب و افزایش مانع‌شوندگی اشاره کرد و در صنایع مختلفی از جمله صنایع بسته‌بندی، مرکب، رنگ، غذا و آشامیدنی‌ها به جهت افزایش امنیت مواد غذایی استفاده می‌شود. سیلان‌های آلی علاوه بر افزایش چسبندگی، به میزان زیادی از چسبندگی میکروارگانیسم‌ها و رشد و نمو آن‌ها جلوگیری می‌کند. از جمله سطوحی که با فنّاوری سیلان قابل استفاده است می‌توان به فلزات، پلاستیک‌ها، شیشه، سرامیک، لاستیک، پلی‌استر، پلی‌یورتان، پلی‌آکریلیک، رزین‌هایی مانند ملامین یا فنولیک و پلی‌کربناتی اشاره کرد. با توجّه به گران بودن ترکیبات سیلانی بهینه‌سازی فرمولاسیون از اهمیت بالایی برخوردار است. این مقاله مروری بر شیمی، خصوصیات، کاربرد سیلان‌های آلی در صنایع مختلف و برخی از تحقیقات صورت گرفته خواهد داشت. هدف این تحقیق، شناساندن و تشریح فرصت‌ها و امکان استفاده از مواد سیلانی آلی به منظور افزایش چسبندگی در فیلم‌های بسته‌بندی و کاهش چسبندگی میکروبی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی

سیلان، صنایع غذایی، بسته‌بندی، چسبندگی

۱- مقدمه

محیط فراوری و بسته‌بندی مواد غذایی باعث ایجاد طیف زیادی از شرایط گوناگون از جمله حضور رطوبت، مواد مغذّی و میکروارگانیسم‌ها می‌شود که احتمالاً برای تشکیل فیلم زیستی[5] بر روی مواد غذایی مناسب می‌باشد. فیلم زیستی باعث کاهش انتقال دما و بسته شدن منافذ شود. ارتقاءدهنده‌های چسبندگی یا جفت‌کننده‌ها، موادی هستند که به عنوان فاز میانی بین یک پلیمر آلی و زیرآیند معدنی[6] و آلی عمل کنند و باعث بهبود چسبندگی بین دو ماده می‌شوند که علاوه بر ارتقاء و بهبود چسبندگی، باعث

۱- دانشجوی دکتری مهندسی کاغذسازی دانشگاه تهران.

(* نویسنده مسئول:sukhtesaraie@ut.ac.ir)

۲- استادیار گروه علوم و مهندسی چوب و کاغذ دانشگاه تهران(azadfallah@gmail.com).

۳- دانشیار گروه فنّاوری چاپ مؤسسه پژوهشی علوم و فنّاوری رنگ و پوشش(bastani@icrc.ac.ir).

٤- دانش آموخته کارشناسی حرفه‌ای امور چاپ و نشر دانشکده چاپ دانشگاه علمی- کاربردی (Zolfaghari.ph10@gmail.com).

5- Biofilm

6- Substrate

کنتـرل تـشکیل فـیلم زیـستی بـر روی مـواد غـذایی نیـز می‌شوند[۱]. ایـن مـواد تنهـا نیروهـای شـیمیایی و فیزیکـی اتصال را افزایش نمی دهند، بلکه بـا فـراهم کـردن خاصـیت پل‌زنی[1] مناسب، سطح بالاتری از چسبندگی را ایجاد می‌کنند. به عنوان مثال زمانی‌که اتصال شیمیایی پایدار دو ماده نامشابه آلی و معدنی به جهت افزایش چسبندگی استفاده می‌شود این امر محقّق می‌شود. همچنین این مواد علاوه بـر مـواد معـدنی توانایی فعالیت بر روی سطوح آلی دارای گـروه‌هـای عـاملی آلی را دارند که می‌توانـد بـرای صـنعت بـسته‌بنـدی و مـواد غذایی کاربرد زیادی داشته باشند. سیلان‌ها، موادی هستند که به عنوان ارتقاءدهنده چسبندگی، بهبوددهنده اتصالات عرضی و عوامل ضـد آب در صـنایع مختلـف ماننـد صـنایع رنـگ، مرکب چاپ بسته‌بنـدی و پوشـش‌هـای مـواد غـذایی مـورد اسـتفاده قـرار مـی‌گیرنـد[۲]. سـیلان‌هـا بـه پوشـش‌هـا و فرمولاسیون مرکب‌ها به منظور افزایش شبکه پلیمری افـزوده می‌شوند. سیلان‌هـا بـا پلیمرهـا و ترکیبـات معـدنی واکـنش می‌دهند و باعث تشکیل پیونـدهای کووالانـسی و در نهایـت ارتقاء چسبندگی و عدم تحرک میکرواگانیسم‌هـا مـی‌شـوند. عدم تحرک سلول به طور وسـیعی در گذشـته جهـت حفـظ کیفیت مواد غذایی توسعه پیدا کرده اسـت بنـابراین طراحـی مواد مختلفی که در تمـاس بـا مـواد غـذایی هـستند و دارای خـصوصیاتی کـه چـسبندگی میکروارگانیـسم‌هـای مقـاوم را کنترل می‌کنند، یک راهکار است. سیلان‌های آلی مناسـب بـه منظور بهبود خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی مـواد، بکار گرفته می‌شوند که باعث جلوگیری از رسـوبات زیـستی و یا تحریک چسبندگی میکروبی شده و در طیف وسـیعی از کاربردهای غذایی و صـنعت آشـامیدنی مـورد اسـتفاده قـرار می‌گیرند[۳]. تحقیق حاضـر بـه معرفـی سـیلان‌هـای آلـی و کاربرد این ترکیبات به عنوان یـک افزودنـی در فرمولاسـیون مرکب، پوشش بسته‌بندی و صنایع غذایی می‌پردازد.

۲- چاپ فلکسوگرافی و چالش‌ها

چاپ فلکسوگرافی[2] به عنـوان پرکـاربردترین فنّـاوری چاپ در صنعت بسته‌بندی مطرح می‌باشـد. اگرچـه چـاپ فلکسوگرافی فرآیند غالب چاپ دنیا در صنعت بسته‌بنـدی مـی‌باشـد؛ امـا کیفیـت محـصولات چـاپ شـده بـا روش فلکسوگرافی کمتر از چاپ افست است. عوامل مختلفی از جمله نوع و کیفیت زیرآیند، مرکب، نوع برهم‌کنش مرکب و زیرآیند و فنّاوری بر این مسئله تأثیرگذار مـی‌باشـند[٤]. یکی از مهم‌ترین مسائلی که کیفیت چاپ فلکـسوگرافی را تهدیـد مـی‌کنـد، عـدم چـسبندگی مناسـب مرکـب‌هـای فلکسوگرافی به سطح زیرآیند به ویژه سطوح پلـی‌اولفینـی می‌باشد. چسبندگی ضعیف مرکب علاوه بر کاهش کیفیت چـاپ، مـشکلات متعـدّدی از جملـه: افـزایش مهـاجرت اجزای مرکب به داخل ماده غذایی را برای بسته‌بندی مواد غذایی ایجـاد خواهـد کـرد. سـاختار اصـلی مرکـب‌هـا از اتصال‌دهنده‌ها، حلال‌ها، رنگدانه‌ها و افزودنی‌هـا تـشکیل می‌شود. رنگدانه‌هـای مرکـب مـی‌تواننـد از نـوع رنگدانـه باشند. مهم‌ترین وظیفه اتصال‌دهنده مرکب، اتصال رنگدانه مرکـب بـه زیرآینـد مـی‌باشـد کـه یـک فـیلم بـا قابلیـت نگه‌دارندگی مناسـب بـر روی سـطح تـشکیل شـود[۵]. از مهـم‌تـرین عوامـل در فرمولاسـیون[3] مرکـب بـرای چـاپ فیلم های پلی‌اولفینی، انتخـاب حامـل مناسـب اسـت. ایـن انتخـاب بایـد بـر مبنـای ترکیبـی متناسـب از خـواص پخش‌شوندگی خوب رنگدانه، امکان لمینیـت کـردن فـیلم چاپ شده، آزادسازی سریع حلال و نگهداری مقدار ناچیز حلال در فیلم، و حلالیت خوب رزیـن در سـامانه حلالـی صورت پذیرد. در مرکب چاپ فلکسوگرافی انواع مختلفی از افزودنی‌ها استفاده مـی‌شـود. بـه عنـوان مثـال آمـین‌هـا، واکس‌ها، سورفکتانت‌هـا[4]، ضـدکـف و عوامـل تـرکننـده[5] استفاده می‌شوند.

1- Coupling

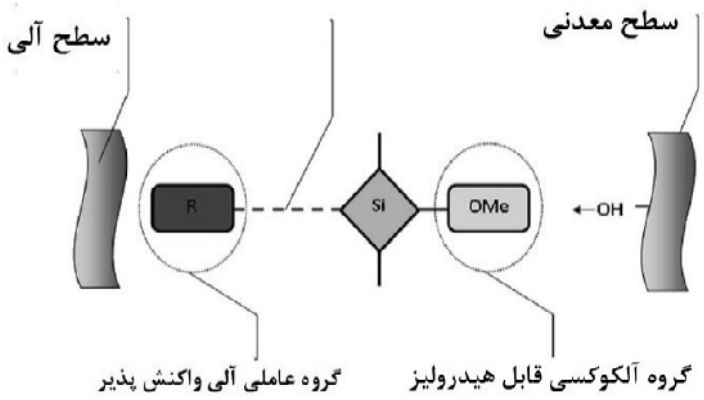
2- Flexography
3- Formulation
4- Surfactants
5- Wetting agent

۳- سیلان‌های آلی

۳-۱- ساختار مولکولی و خصوصیات پایه سیلان‌ها

تحقیق و توسعه در زمینه تولید مواد جدید در واقع باعث سرعت بخشیدن دستیابی به راه‌حل‌های دوستدار محیط زیست می‌شود. سیلان‌ها به عنوان مواد شیمیایی مونومری سیلیکونی[1] شناخته می‌شوند. سیلان‌ها باید حداقل شامل یک پیوند سیلیکون- کربن مانند[2] $Si\text{-}CH_3$ باشند که سیلان آلی تلقی شوند. پیوند سیلیکون- کربن غیرقطبی و پایدار می‌باشد و در حضور یک گروه آلکیلی باعث به وجود آمدن انرژی سطحی پایین و خاصیت آبگریزی می‌شود. سیلان‌های آلی، عامل‌دار ترکیبات هیبردی[3] هستند که دارای یک گروه آلی واکنش‌پذیر و یک گروه معدنی آلکیل سیلیکات[4] در یک مولکول می‌باشند. این ویژگی خاص، بدین معنی است که آن‌ها می‌توانند به عنوان اتصالات مولکولی بین سطوح آلی و مواد معدنی استفاده شوند(شکل ۱)[٦].

مانند آلکیل، واکنش‌ناپذیر شود. گروه آلی بر روی سیلان هم می‌تواند واکنش‌پذیر(مانند یک گروه عاملی آلی) و هم واکنش‌ناپذیر باشد. گروه‌ها می‌توانند دارای درجات مختلف پایداری حرارتی بوده و آب دوست یا آبگریز باشند. آلکوکسی (OMe)[8] یک گروه قابل هیدرولیز می‌باشد که همانند یک گروه آلکوکسی(متوکسی[9]، اتوکسی[10] یا ایزو پروپوکسی[11]) یا یک گروه استوکسی[12] می‌تواند با شکل‌های مختلفی از گروه‌های هیدروکسیل[13] حاضر در سطوح معدنی یا پلیمرها، الکل‌های آزاد (متانول[14] اتانول[15] و پروانول[16]) یا اسیدها (استیک اسید) واکنش دهد. این گروه‌ها می‌توانند باعث ایجاد اتصالاتی بین سطوح معدنی و آلی شوند. گروه عاملی آلی توسط زنجیره کربنی با سیلیکون اتصال دارد که گروه فاصله‌انداز[17] نامیده می‌شود. واکنش‌پذیری گروه عاملی آلی به فاصله با اتم سیلیکون ارتباط بسیار زیادی دارد. با



شکل ۱- مولکول عاملی آلی به عنوان اتصالات مولکولی

گروه عاملی آلی X یک جز آلی غیرقابل هیدرولیز[5] می‌باشد که می‌تواند با دیگر ترکیبات شیمیایی مانند آمینو، وینیل، سولفور[6] و متاآکریلات[7] واکنش‌پذیر و با ترکیباتی

1- Siliceous
2- $Si\text{-}CH_3$ Bond
3- Hybrid Component
4- Silicate Alkyl
5- Hydrolysis
6- Sulfur
7- Methacrylate

8- Alkoxy
9- Methoxy
10- Ethoxy
11- Isopropoxy
12- Acetoxy
13- Hydroxyl
14- Methanol
15- Ethanol
16- Propranolol
17- Spacer

توجّه به طبیعت گروه‌های قابل هیدرولیز، سیلان‌ها به کلروسیلان‌ها[1]، سیلازان‌ها[2]، آلکوکسی سیلان‌ها و آکریلوکسی[3] سیلان‌ها طبقه‌بندی می‌شود. انتخاب گروه عاملی X در نهایت به طبیعت پلیمر آلی وابسته است. سیلان‌های بدون واکنش معمولاً به عنوان پخش‌کننده یا عوامل ضد آب بکار گرفته می‌شوند. معمولا این ترکیبات دارای ویژگی یک گروه غیرقابل واکنش(X) می‌باشند که با ماتریس[4] سازگار است و یک گروه آلکوکسی(OMe) که با سطح واکنش می‌دهد. سیلان‌های به عنوان عوامل جفت‌کننده به منظور ارتقاء چسبندگی در تمامی پوشش‌ها استفاده می‌شوند[٤]. در(جدول۱) مهم‌ترین سیلان‌های آلی واکنش‌پذیر و واکنش‌ناپذیر ارائه شده است.

واژه عوامل ارتقاءدهنده‌های چسبندگی سیلانی و یا جفت‌کننده سیلانی در دهه ۱۹٤۰ معرفی گردید. پیوند شیشه- رزین، توانایی تولید مقاومت و پایداری مورد نیاز برای چسبندگی پایدار به خصوص در محیط‌های آبی را نداشت. عوامل اتصال‌دهنده سیلانی معمولاً با استفاده از یک واکنش سل- ژل[5] ته نشین می‌شوند و باعث به وجود آمدن تک لایه یا چندین لایه می‌شوند که به نوع محلول سل- ژل و زیرآیندی استفاده شده بستگی دارد. در تمام کاربردها سیلان‌های آلی به عنوان عوامل جفت‌کننده سیلانی در ابتدا نیازمند هیدرولیز و در ادامه واکنش چگالش مولکول سیلان می‌باشد. پیوندهای (Si-OR) به سرعت در محیط‌های آبی هیدرولیز می‌شوند و

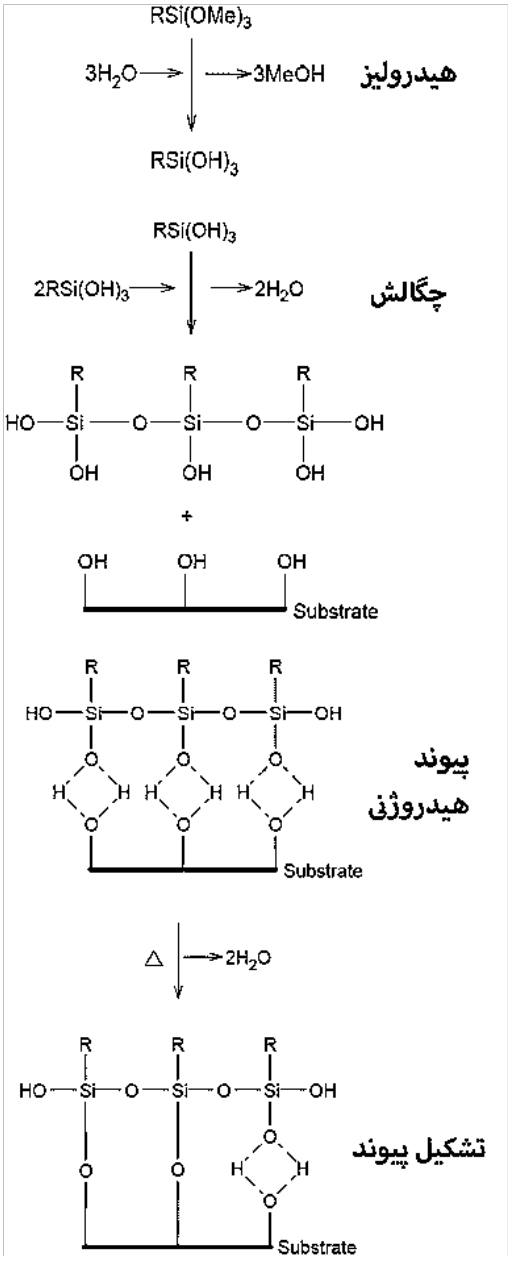
جدول ۱- مثال‌هایی از سیلان‌های آلی عامل‌دار

گروه آلی X	گروه آلکوکسی(OR)	نام شیمیایی
سیلان‌های واکنش‌ناپذیر		
متیل	متوکسی	متیل تری متوکسی سیلان
متیل	اتوکسی	متیل تری اتوکسی سیلان
متیل	متوکسی	دی متیل دی متوکسی سیلان
پروپیل	متوکسی	پروپیل تری متوکسی سیلان
i-بوتیل	متوکسی	ایزو بوتیل تری متوکسی سیلان
فنیل	متوکسی	فنیل تری متوکسی سیلان
n- اکتیل	اتوکسی	n- اکتیل تری اتوکسی سیلان
سیلان‌های واکنش‌پذیر		
آمینو	متوکسی	آمینو اتیل آمینو پروپیل تری اتوکسی سیلان
آمینو	اتوکسی	آمینو پروپیل تری اتوکسی سیلان
اپوکسی	متوکسی	گاما- گلی سیدوکسی پروپیل تری متوکسی سیلان
کلروپروپیل	متوکسی	گاما- کلر و پروپیل تری متوکسی سیلان
وینیل	متوکسی	وینیل تری متوکسی سیلان
وینیل	استوکسی	وینیل تری استوکسی سیلان
مرکاپتو	اتوکسی	مرکاپتو پروپیل تری اتوکسی سیلان

باعث تشکیل گروه‌های واکنش‌پذیر سیلانول[6](Si-OH) می‌شوند. قابل ذکر است گروه‌های سیلانول می‌توانند با

1- Choloro Silane
2- Silazane
3- Acryloxy
4- Matrix
5- Sol-Gel Reaction
6- Silanol (Si-OH)

هم واکنش دهند و چگالش صورت گیرد و در نهایت، باعث تشکیل ساختار پلیمری با اتصالات پایدار سیلوکسان[1](Si-O-Si) شود. همچنین آن‌ها می‌توانند با گروه‌های هیدروکسیل فلز بر روی سطح شیشه، مواد معدنی یا فلزات کندانس[2] شده باعث تشکیل اتصالات پایدار (Si-O-M) شوند(M= سیلیکون، آلومینیوم، آهن و غیره). این موضوع تیمار سطحی و همچنین باعث به هم نزدیک کردن سطوحی که از نظر شیمیایی به هم مشابه نیستند مانند مواد معدنی و آلی را مقدور می‌سازد. در (شکل ۲) مکانیسم هیدرولیز، چگالش و ایجاد اتصال سیلان‌های آلی به سطوح معدنی ارائه شده است. اگرچه اتصال متوکسی به سیلیکون باعث به وجود آمدن ساختار متیل‌اکسی سیلیل[3](Si-OCH_3) واکنش‌پذیر و قابل هیدرولیز می‌شود؛ اما گروه متوکسی بر روی ترکیب کربن مانند متیل اتر بسیار پایدار است. از آنجایی که سیلان‌های آلی قبل از واکنش با یکدیگر و یا گروه‌های هیدروکسل موجود بر روی سطح هیدرولیز می‌شوند، درک سینیتیک[4] واکنش از اهمیت بالایی برخوردار است. واکنش هیدرولیز را می‌توان با استفاده از اسیدها و بازها کاتالیز[5] کرد. pH بهینه برای هیدرولیز با pH بهینه برای چگالش متفاوت خواهد بود[٦] . پیدا کردن بهترین pH بین مرحله چگالش و هیدرولیز، یکی از مهم‌ترین کلیدهای مهم برای استفاده موفّق شیمی سیلان‌های آلی در بسیاری از کاربردها می‌باشد[۳] . عامل‌هایی مانند چگالی و نوع گروه‌های هیدروکسیل سطح، پایداری آبکافت[6] پیوند تشکیل شده و ابعاد فیزیکی یا ویژگی‌های سطح بر روی انتخاب سیلان در اصلاح سطح تأثیرگذار می‌باشند. اصلاح سطح وقتی که سیلان‌ها با سطح زیرآیند واکنش دهند و حداکثر تعداد نقاط قابل دسترس با انرژی سطحی مناسب حاضر باشد به حداکثر می‌رسد.



شکل ۲- مکانیسم هیدرولیز، چگالش و ایجاد اتصال سیلان‌های آلی به سطوح معدنی(فرآیند سل- ژل).

جنکیز[7] و همکاران(۲۰۰٤) یک رابطه روشن بین افزایش انرژی چسبندگی و افزایش طول زنجیره CH_3 پایانی سیلان گزارش کردند. همچنین از دیگر مشاهدات تحقیق، کاهش انرژی چسبندگی با افزایش طول زنجیره برای سیلان‌هایی با گروه پایانی وینیل می‌باشد[۷] . علاوه

1- Siloxane
2- Condensate
3- Methoxysilyl (Si-OCH_3)
4- Kinetic
5- Catalyzed
6- Hydrolysis
7- Jenkins

بر آن، اگرچه سیلان‌های قطبی دارای دو جهت‌گیری مختلف سر و یا دم در سطح جامد از خود به نمایش می‌گذارند؛ اما سیلان‌های غیرقطبی از خود چیدمان منظم به نمایش می‌گذارند[۸]. این نتایج نشان می‌دهد که عاملیت آلی و طول زنجیره از جمله مهم‌ترین عامل‌ها در چسبندگی سیلان می‌باشد که باید در انتخاب آن‌ها دقّت شود. عملکرد مؤثر جفت‌زنی با سیلان‌ها به عنوان افزودنی به شرایطی مانند پخش مکانیکی مناسب سیلان‌ها در پوشش، سازگاری شاخص‌های حلالیت و واکنش‌پذیری پلیمر و سیلان با هم، عدم واکنش اجزا مختلف در زمان ذخیره‌سازی و تنظیم pH ارتباط زیادی دارند. سیلان‌ها در زمان ذخیره‌سازی مواد به سطوح رنگدانه‌ها نفوذ می‌کنند. میزان زیادی از سیلان‌ها با جذب به سطوح پرکننده‌های معدنی مصرف می‌شوند. رطوبت مناسب برای هیدرولیز سیلان‌ها ضروری است. انتخاب سیلان مناسب با تجربیات افراد بهتر صورت می‌گیرد. پیش‌بینی دقیق سیلان بهینه برای یک سامانه خاص، کار بسیار مشکلی است. عملکرد سیلان با عامل‌های مختلفی مانند انرژی سطحی،تر شوندگی،جذب سطحی، جذب عمقی، برهمکنش اسید- باز، تشکیل شبکه داخلی نفوذ[1]، و واکنش کووالانسی[2] در ارتباط می‌باشد. همچنین توجّه به ماتریس پلیمر/ سیلان، سازگار بودن و شاخص‌های حلالیت سیلان/ پلیمر از اهمیت بالایی برخوردار است.

۳-۲- کاربرد سیلان‌های آلی

ویژگی ساختاری- پل‌زنی سیلان‌های عامل‌دار آلی در سه بخش کاربرد ارتقاء چسبندگی، اصلاح سطح و اتصال‌دهنده عرضی پلیمر بسیار مهم است (جدول ۲)[۳]. خصوصیات اصلی اصلاح سطح شامل: آبگریزی، آب دوستی، جذب، جهت‌گیری[3] و رسانش بار[4] می‌باشد. سیلان‌های آلی از جمله ترکیبات دوستدار محیط زیست هستند که باعث ارتقاء چسبندگی و افزایش خاصیت مانع‌شوندگی[5] می‌شوند که می‌توانند برای بسته‌بندی مواد غذایی بسیار مناسب باشند. از جمله سطوحی که با فنّاوری سیلان قابل استفاده است می‌توان به فلزات، پلاستیک‌ها، شیشه، سرامیک، لاستیک، پلی‌استر[6]، پلی‌یورتان[7]، پلی‌آکریلیک[8]، رزین‌هایی که ملامین، فنولیک[9]

جدول ۲- کاربردهای متداول سیلان‌های آلی

نوع کاربرد	توضیحات
جفت کننده	✓ استفاده به استفاده از منظور جفت‌کنندگی پلیمرهای آلی به مواد معدنی مانند الیاف شیشه و پرکننده‌های معدنی که در لاستیک‌ها و پلاستیک‌ها گنجانده می‌شوند.
بهبوددهنده چسبندگی	✓ قابل استفاده به عنوان افزودنی‌های جدایی‌ناپذیر یا آغازگرهای رنگ، مرکب، پوشش و چسب.
پخش‌کننده/ ضد آب	✓ قابل استفاده به عنوان عوامل ضد آب در کاربردهای ساختمانی بتنی مانند پل‌ها و عرشه‌ها.
عوامل اتصال عرضی	✓ می‌توان با پلیمرهای آلی واکنش دهد، منجر به اتصال گروه تری آلکوکسی سیلیل بر روی زنجیره اصلی پلیمر می‌شود که این اتصالات عرضی منجر به افزایش مقاومت در برابر آب و گرما برای رنگ‌ها، پوشش‌ها و چسب‌ها می‌شود.
کاربردهای دیگر	✓ قابل استفاده به عنوان جاذب آب در فرمولاسیون‌های حساس به رطوبت، عوامل مسدودسازی در سنتز آنتی‌بیوتیک، پایدارکننده سیلیکاتی.

1- Interpenetrating Network Formation
2- Covalent
3- Orientation
4- Charge Conduction
5- Preventability
6- Polysters
7- Polyurethan
8- Polyacrylic
9- Phenolic

و یا پلی‌کربناتی هستند و همچنین به چوب و سطوح نقاشی شده اشاره کرد. این ترکیبات زمانی‌که به عنوان افزودنی جدایی‌ناپذیر یا آغازگر[1] برای مرکب، رنگ، پوشش و چسب برای فیلم‌های مختلف بسته‌بندی مورد استفاده قرار می‌گیرند به شدّت در ارتقاء چسبندگی مؤثر هستند. به عنوان یک افزودنی جدایی‌ناپذیر، به لایه میانی بین لایه چسب و سطح مهاجرت می‌کنند. همچنین به عنوان آغازگر، جفت‌کننده سیلانی قبل از آنکه پوشش چسبیده شود؛ به سطح معدنی اعمال می‌شود. با بکارگیری یک ترکیب سیلانی مناسب، چسبندگی ضعیف رنگ، مرکب پوشش و چسب به مقدار زیادی ارتقاء می‌یابد که غالباً چسبندگی حتّی در شرایط مختلفی از جمله دمای بالا، غوطه‌وری در آب یا تشعشات نور ماوراء بنفش حفظ می‌گردد. اگرچه بسیاری از سیلان‌های آلی به طور طبیعی دافع آب و چربی هستند؛ اما مخلوط سیلان‌های آلی به عنوان تمییزکننده مورد استفاده قرار می‌گیرند[۳] .

با توجّه به اینکه در بسته‌بندی مواد غذایی طیف زیادی از میکروارگانیسم‌ها دیده می‌شود. در پژوهشی تأثیر حضور ترکیبات سیلانی بر کنترل میکروارگانیسم‌ها را بررسی کردند و نتایج نشان داد که رشد میکروارگانیسم‌ها بر روی سطوح تیمار شده با آلکیل سیلان‌های C8 یا ترکیباتی با استخلاف کمتر، کاهش چشمگیری می‌یابد و کاهش رشد میکروارگانیسم‌ها به دلیل اینکه ترکیبات سیلانی مقاومت در برابر آب فیلم را افزایش می‌دهند و در نهایت سطح فیلم خشک شده است و رطوبت که یکی از مهم‌ترین الزامات متابولیکی[2] موجودات زنده است، وجود ندارد. متوکسی و اتوکسی سیلان‌ها به طور وسیعی برای اصلاح سطوح فیلم‌های پلی‌اولفینی مورد استفاده قرار می‌گیرند. از جمله مزایای آن، می‌توان به کنترل آسان‌تر آن‌ها اشاره کرد. قابل ذکر است که محصول جانبی آن الکل است که یک محصول غیرفرّار و غیرفرسایشی است.

1- Initiator
2- Metabolic

متوکسی سیلان‌ها[3] قابلیت واکنش با سطوح خشک و بدون پروتون[4] را دارند؛ اما واکنش اتوکسی سیلان‌ها[5] از سطح کمتری برخوردار است و نیازمند کاتالیزور[6] می‌باشند. سمیت پایین اتانول به عنوان محصول جانبی واکنش، باعث استفاده از سیلان‌های آلی در بسیاری از کاربردهای تجاری شده است[۹] . محراب زاده و همکاران (۱۳۷۷)، به بررسی فیلم پلی‌اتیلن تیمار شده با سیلان و ایجاد پیوندهای عرضی در آن و عوامل مؤثر بر فرآیندهای مربوطه پرداختند. ایجاد پیوندهای عرضی در پلی‌اتیلن، می‌تواند بسیاری از خواص مانند خواص گرمایی، الکتریکی، مکانیکی و شیمیایی را بهبود بخشد. در تحقیقی اثر ترکیبات سیلانی بر استحکام چسبندگی لاک‌های آکریلاتی بر سطوح پلی‌پروپیلنی عمل‌آوری شده با روش شعله[7] را بررسی کردند. در این تحقیق، نشان داده شده است که سیلان‌ها به عنوان عامل جفت‌کننده پس از فرآیند شعله می‌توانند با گروه‌های عاملی ایجاد شده در سطح پلیمر برهمکنش دهند. در نتیجه گروه‌های عاملی آلی در سطح، پلی‌پروپیلن ایجاد می‌کنند، این گروه‌های آلی با گروه‌های عاملی پوشش نهایی پیوند می‌دهند و چسبندگی سطح را بهبود می‌بخشند. آن‌ها نشان دادند که وجود ترکیبات سیلانی با گروه‌های عاملی آلی اپوکسی، استحکام چسبندگی پوشش آکریلی با عاملیت کربوکسیل[8] به سطح پلی‌پروپیلن شعله خورده به میزان ۳۰۰ درصد افزایش می‌یابد[۱۰].

منود[9] و همکاران (۲۰۰۳) ، تحقیقی پیرامون مرکب‌های آب پایه چاپ اسکرین داشته‌اند. مرکب شامل اتصال‌دهنده آکریلاتی و کوپلیمر امولسیون[10] یورتان-آکریلات، اتصال‌دهنده عرضی سیلانی، کاتالیزور نوری،

3- Methoxysilane
4- Aprotic
5- Ethoxysilane
6- Catalyst
7- Flame Method
8- Carboxyl
9- Menoud
10- Emulsion

رنگدانه و افزودنی‌های نوری می‌باشد. در این تحقیق، از آلکوکسی سیلان و تری‌اتوکسی سیلان[1] به عنوان اتصال‌دهنده عرضی استفاده شده است. از جمله نتایج حاصل از این تحقیق، این بود که در صورت استفاده از کاتالیزور، به مقدار کمتری اتصال‌دهنده عرضی سیلانی نیاز می‌باشد. همچنین پایداری مرکب و مقاومت به شستشو با اتصال‌دهنده آکریلاتی و اتصال‌دهنده سیلانی بهبود یافت.

۳-۳- خصوصیات ضدمیکروبی و ضدچسبندگی سیلان‌های آلی فعال

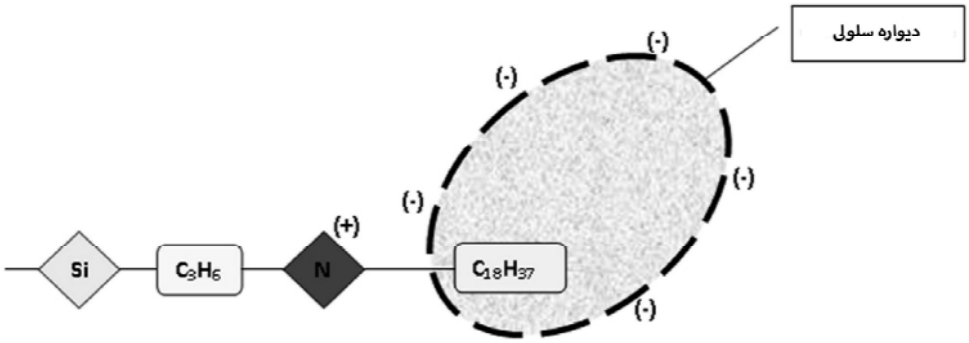
باکتری‌ها، قارچ‌ها و دیگر ارگانیسم‌ها می‌توانند به سطوح جامد بچسبند و فیلم زیستی تشکیل دهند. در صنعت غذا، آلودگی و مهاجرت میکروارگانیسم‌ها بر روی سطوح، منجر به مشکلاتی برای ایجاد بو شده که در نهایت عفونت‌های ناشی از غذا را به دنبال خواهد داشت. کنترل و حذف فیلم زیستی بعد از توسعه آن بسیار مشکل است. بنابراین، بهترین روش کنترل تشکیل فیلم زیستی قبل از شروع آن می‌باشد[۱۱].

برای جلوگیری از تشکیل فیلم زیستی، کنترل، چسبندگی و مهاجرت میکروارگانیسم‌ها بر سطح ماده بسیار مهم و بحرانی است. یکی از مهم‌ترین راهکارها برای جلوگیری از تشکیل فیلم، اصلاح و تغییر خصوصیات فیزیکی- شیمیایی سطح می‌باشد تا برهمکنش و جذب میکروارگانیسم‌ها به سطح را کاهش داده و یا حذف کند؛ در نتیجه کنترل چسبندگی حاصل خواهد شد. معرفی یک عامل ضدمیکروبی می‌تواند باعث تولید سطوح غیرمتخلخل و مقاوم در برابر میکروب شود؛ اما، انتخاب دقیق این عامل به منظور اطمینان از حفظ محصول نهایی و همچنین حفظ سلامت مشتری ضروری است. فهرست عوامل در دسترس با انتخاب معیارهایی از جمله دوام، تصویب قانونی، سمّیّت و طیف فعالیت برای تولیدکننده و هم مصرف‌کننده محدود می‌شود[۱۲].

یکی از متداول‌ترین کاربردهای سیلان‌های آلی، جلوگیری از تشکیل فیلم‌های زیستی است. استفاده سیلان آلی بر پایه آمین می‌تواند باعث حفظ محصول در مقابل طیف زیادی از میکروارگانیسم‌ها شود[۱۳]. روش‌های زیادی برای اصلاح سطح وجود دارد به طوری که تمایل کمتری به ته‌نشین شدن، اتصال و مهاجرت میکروارگانیسم‌ها دارند. این اصلاحات می‌تواند باعث تولید سطوح تیمار شده‌ای شود که به راحتی میکروارگانیسم‌ها را مهار کرده و می‌کشد و یا اینکه میکروارگانیسم‌ها از روی سطح به راحتی پاک شوند. رفتار غیرآبشویی چنین سطوح واکنش‌پذیری، امکان کنترل آلودگی‌های میکروبی سطح بدون آزادسازی ترکیبات سمّی به محیط را ممکن می‌سازد. جذب فیزیکی بر روی سطوح تغییر یافته به عنوان یک روش برای ارتقاء آرایش مجدّد ساختاری سطح سلول میکروبی پیشنهاد می‌شود[۱۴]. زمانی که مونومر[2] ماده فعال بر روی سطوح اعمال می‌شود و پلیمریزاسیون[3] صورت می‌گیرد یک حالت از فعالیت ضدمیکروبی دیده می‌شود که باعث گسستگی‌های فیزیکی غشاهای سلولی میکروارگانیسم‌ها(غشای سلولی میکروبی باعث حمل بار منفی می‌شود) که در نهایت باعث شکستن و تجزیه سلول میکروبی می‌شود. تخلیه پتانسیل الکتروشیمیایی سلولی از میان غشاء و آزادسازی مواد سیتوپلاسم[4] در نهایت منجر به تخریب کامل سلول‌های میکروبی می‌شود(شکل ۳)[۱۵].

1- Triethoxysilane

2- Monomer
3- Polymerization
4- Cytoplasm



شکل ۳- تخریب غشاء سلولی با پدیده‌های فیزیکی و یونی

در پژوهشی فعالیت ضد میکروبی [۳- (تری اتوکسی سیلیل) پروپیل دی متوکسی لوکتادیسیل] آمونیوم کلراید[1] بر روی سطوح تیمار شده در مقابل باکتری اسکریکیا کولی[2] گرم منفی[3] و باکتری استافیلوکوکوس[4] اورئوس گرمام مثبت[5] مورد مطالعه واقع شد که نتایج حاکی از ارتباط فعالیت ضدمیکروبی این ترکیب سیلانی با دز می‌باشد. این نتایج با دیگر تحقیقات که طیف وسیعی از خصوصیات ضدمیکروبی مقابل سوسپانسیون[6] مخلوط اسپور قارچ(آسپرکیلوس[7] نیگر، آسپرگیلوس قلاوس[8]، اسپرگیلوس ورسیکلر[9]، پنیسیلیوم فانی کلاسم[10]، کاتیمیم گلوبوسوم[11]) یا [12]آلگا(کلروفیتا[13]، سیانوفیتا[14]، کریسوفیتا[15]) را اندازه‌گیری کرده‌اند، توسعه یافت.

استفاده از شیمی سیلان‌های واکنش‌پذیر با مواد ضد میکروبی غیرآبشو و پایدار برای سنتز مواد باعث کنترل آلودگی میکروبی به شیوه‌ای امن و موثر خواهد شد. گاتنباس[16] و همکاران(۲۰۰۲)، خصوصیات ضدباکتریایی سیلان آلی باردار آمونیوم مثبت نوع چهارم را ۳- (تری اتوکسی سیلیل)- پروپیل دی متیل اکتادی سیلامونیوم کلرید[17]، که بر روی سطح پلیمری بعد از تیمار پلاسما پوشش داده شده است در برابر طیف زیادی از گونه‌های باکتری مورد آزمون قرار دادند که نتایج حاکی از تأثیر این ترکیبات بر کنترل فعالیت باکتری‌ها می‌باشد [۱۶]. پلی‌دی متیل سیلوکسان‌های خطی با واحدهای سیلوکسانی ۲۰ درصد اشباع شده با ۳ (دی متیل-n- اکتیل آمینو) پروپیل کلرید[18] و ۳ (دی متیل-n- هگزا دی سیلامونیو) پروپیل کلرید[19] با گروه‌های پایانی با عاملیت‌های سیلانول[20] در هر دو قسمت پایانی زنجیره در این مطالعات استفاده شده است. سیلان‌های آلی اتصال عرضی دادند و با اتصال عرضی مشترک با الاستومر[21] سیلیکون در دمای اتاق درگیر

1- [3-(trimethoxysilyl) Propyldimethyloctadecyl] Ammonium Chloride
2- Escherichia Coli
3- Gramnegative Escherichia Coli
4- Staphylococcus
5- Grampositive Staphylococcus Aureus
6- Suspension
7- Aspergillus Niger
8- Aspergillus Flavus
9- Aspergillus Versicolor
10- Penicillium Funiculosum
11- Chaetomium Globosum
12- Algae
13- Chlorophyta
14- Cyanophyta
15- Chrysophyta

16- Gottenbos
17- 3-(Trimethoxysilyl)-propyldimethyloctadecylammonium Chloride
18- [3(Dimethyl-n-octylammonio)] Propyl Chloride
19- 3(Dimethyl-n-Hexadecylammonio) Propyl Chloride
20- Sylanol
21- Elastomer

می‌شوند. شایان ذکر است که کاهش هزار برابری استافیلوکوکوس آورئوس در دو دقیقه موجب ارتباط با پلیمر حاوی n-اکتیلامین(۲۰ درصد وزنی) محقق شد[۱۷]. کریجیل[1] و همکاران (۲۰۱۳)، سطوح پلی‌وینیل کلراید اصلاح شده را از طریق سیلان‌های اتصال‌دهنده با سطوح بکر تولید کردند. در زمان شروع اصلاح، صفحات توسط رادیو فرکانس با پلاسما تحت تابش قرار گرفتند. مؤثرترین اصلاح ضدباکتریایی به ترتیب در اصلاح گاموسیل[2] و پلی‌وینیل کلراید با استفاده از ۲۰ درصد دی میتل سیلوکسان- کو- (N،N- دی متیل-n-N- اکتیل آمونیو پروپیل کلراید)[3] متیل سیلوکسان و(۳- گلیسیدوکسی پروپیل[4]) تری متوکسی سیلان[5] محقق شد. بهترین لایه‌ها توانایی کاهش تعداد سلول باکتری‌ها را به بیش از سه مرتبه دارند[۱۸]. یوشینو[6] و همکاران (۲۰۱۱) بر روی عوامل جفت‌کننده سیلانی که دارای گروه‌های آمونیوم نوع چهارم هستند؛ با هدف استفاده از این عوامل برای ساخت سطوح ضدمیکروبی و حفاظت در مدّت زمان‌های طولانی تحقیقاتی انجام دادند[۱۹].

در تحقیقی چسبندگی باکتری استرپتوکوکوس سیلاویرویوس[7]، استرپتوکوکوس اپیدرمیدیس[8] و مخمر استرینس C. آلبیکانس[9] و کاندیدا تروپیکالیست[10] با لایه‌های فلوئور و آلکیل سیلوکسان مورد ارزیابی قرار گرفت. سطوح تیمار شده کاهش معنی‌دار چسبندگی میکروبی را نسبت به سطح پلیمری با توجّه به نرخ رسوب اولیه و چسبندگی ثابت پایانی از خود نشان دادند. تیمار سطحی با ترکیب سیلانی، چسبندگی مخمر کاندیدا اسپ[11] را از طریق تشکیل مانع بین سطح مواد و مخمر مهار می‌کند[۲۰]. محققان نشان دادند که ترکیبات سیلانی با تشکیل پیوندهای کووالانسی و اتصالات عرضی پلیمر، توانایی تشکیل پوشش‌های طولانی مدّت بر روی سطوح واکنش‌پذیر و غیرواکنش‌پذیر را دارند. پلیمرهایی که دارای گروه‌های متوکسی سیلان واکنش‌پذیر هستند باعث تشکیل اتصالات Si-O-Si می‌شوند تا سطح اکسید شود، سپس درگیری زنجیره‌های پلیمر در چندین نقطه اتّفاق می‌افتد. اتصالات عرضی زنجیره گروه‌های متوکسی سیلان باعث افزایش پایداری پوشش شده و در نهایت منجر به ایجاد پوشش‌هایی با مقاومت بالا در برابر حلال‌ها می‌شود.

۳-٤- ویژگی‌های پیشرفته چسبندگی سیلان‌های آلی فعال

روش‌های زیادی برای اتصال پروتئین‌ها به سطح مواد جامد وجود دارد(عمدتاً گروه‌های آمینی و کربوکسیلیک اسید[12]) که در چنین مواردی، پروتئین‌ها به سطح با جهت‌گیری تصادفی می‌چسبند[۲۱]. اتصال کووالانسی به مواد جامد نیازمند وجود گروه‌های واکنش‌پذیر بر روی پروتئین و سطح می‌باشد. واکنش بین چنین گروه‌هایی باید به شدّت شیمی گزین[13] باشد[۲۲]. غیرمتحرک‌سازی میکروبی[14] بر روی سطوح جامد نسبتاً آسان، ارزان و سریع است. اتصال کوالانسی نیازمند اتصال گروه‌های واکنش‌پذیر مانند یک گروه آمین یا کربوکسیل به گروه‌های واکنشی روی سطح می‌باشد[۲۳]. در تحقیقی به عدم تحرک باکتری E. کولی[15] بر روی سطح فیلم پلی‌اتیلن با بکارگیری ۲/۵ درصد آمینوپروپیل تری متوکسی سیلان[16] و ۲/۵ درصد گلوتر آلدئید به عنوان اتصال‌دهنده عرضی پرداختند. عکس‌های میکروسکوپ الکترونی توزیع یکنواخت سلول‌ها بر روی اکثر نواحی را نشان می‌دهند؛

1- Kregiel
2- Staphylococcus Aureus
3- Dimethylsiloxane-Co-(N,N-Dimethyl-N-n-Octylammonio Propyl Chloride) Methylsiloxane
4- 3 Glycidoxypropyl
5- Trimethoxysilane
6- Yoshino
7- Streptococcus Salivarius
8- Streptococcus Epidermedis
9- Albicans
10- Candida Tropycalist
11- Candida SPP

12- Carboxylic Acid
13- Chemoselective
14- Microbial Immobilization
15- E.Coli
16- Amino Propyl Trimethoxy Silane

اما مناطقی وجود دارد که سلول‌ها با هم متراکم می‌شوند. حذف گلوتر آلدئید[1] یا آمینوسیلان[2] از پروتکل عدم تحرک منجر به حداقل ۱۰ برابری در تعداد سلول‌های متصل شده می‌شود؛ و همچنین احتمال بقاء باکتری با عدم تحرک‌پذیری به ۷۰ درصد افزایش می‌یابد. این نتایج نشان می‌دهد که طبیعت گروه‌های سیلانی آلی تعیین‌کننده سطح چسبندگی باکتریایی و مهاجرت می‌باشد. قابل ذکر است که آبگریزی سطح نقشی در تعیین چسبندگی باکتری و مهاجرت آن ندارد. چسبندگی میکروارگانیسم‌ها در فنّاوری غیرمتحرک سلول با سامانه‌های غیرمتحرک‌سازی مخمرها ذاتی است که کاربردهای مناسبی در صنعت غذا و پوشش‌ها دارند. تأثیر خصوصیات فیزیکی- شیمیایی مواد زیستی بر روی چسبندگی سلولی میکروبی به خوبی شناخته شده است. گسترش چسبندگی به خصوصیاتی از جمله آبگریزی، بار سطح، گروه‌های عاملی و خصوصیات اسید- باز وابسته است. سیلان‌های آلی با گروه‌های آمینی و بار سطحی مثبت یک گزینه مناسب برای اصلاح سطوح بکر به منظور ارتقاء فرآیند چسبندگی می‌باشند[۲٤]. حضور گروه‌های آمینی فرصتی را برای طیف زیادی از تبدیلات شیمیایی بعدی فراهم می‌کند که باعث تولید اجزا شیمیایی مکمّل مورد نظر برای افزایش چسبندگی می‌گردد که در نهایت با سطح سلول پروتئین اصلاح شده مناسب واکنش می‌دهد. در حلال‌های آبی گروه آمینو به سرعت کاتالیز و گروه‌های آلکوکسی هیدرولیز می‌شود. توزیع فضایی میکروارگانیسم‌های غیرمتحرک بر روی حامل‌های اصلاح شده از طریق میکروسکوپ الکترونی نوری تصویربرداری شد. این آنالیز، قرار گرفتن سلول‌ها در منافذ و شکاف‌های عمیق را تأیید می‌کند[۲۱].

۳-۵- الزامات قانونی

امروزه ثابت شده است که سیلان‌های آلی نقش بسیار مهمی را در صنایع مختلف از جمله صنایع بسته‌بندی مواد غذایی، رنگ، مرکب و پوشش‌ها ایفا می‌کنند؛ که می‌توان اذعان داشت تمامی ملاحظات و الزامات لازم در امنیت مواد غذایی در نظر گرفته می‌شود. از جمله مهم‌ترین الزامات می‌توان به تثبیت این ترکیبات در موادی که در ارتباط مستقیم با ماده غذایی هستند؛ اشاره کرد؛ یعنی ترکیبات سیلانی حداقل برهمکنش بین ماده غذایی و سطح اصلاح شده را دارند. طبق قوانین سازمان غذا و دارو اتحادیه اروپا برای موادی که در ارتباط مستقیم با ماده غذایی هستند؛ باید این اطمینان وجود داشته باشد که هیچگونه واکنش شیمیایی با ماده غذایی نداشته باشند که در نهایت ترکیبات و خصوصیات ارگانولیپید[3] مواد غذایی(مانند بو، طعم، ظاهر و بافت) تغییر نکند و حفظ گردد. تمامی مواد جدید باید الزامات مربوط به مواد در ارتباط با ماده غذایی را داشته باشند که شامل محدودیت‌های کلی و خاص مهاجرت می‌باشد[۲۵]. بخشنامه ۲۰۰٤/۱۹۳۵ اختصاص به مواد در ارتباط با غذا دارد که شامل مقررات و قوانینی مرتبط با فرآیند ارزیابی امنیت غذایی می‌باشد. به عنوان مثال از جمله قوانین غذا و دارو اتحادیه اروپا می‌توان به توسعه و استفاده تجاری تیمارهای مدرن ضدفرسایشی بجای کروم (VI) در آبکاری، پوشش فویل و چاپ اشاره کرد. براساس قوانین (EFSA)[4]، ۳- آمینوپروپیل تری اتوکسی سیلان[5] را می‌توان به عنوان کومونومر[6] در لایه پلی‌سیلوکسان اعمال شده بر روی سطوح انواع فیلم‌های بسته‌بندی استفاده کرد؛ اما قابل ذکر است که براساس آزمون‌های مهاجرت و سمیّت منفی، میزان مهاجرت ماده طبق قوانین سازمان[7] (SCF) به ۰/۰۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم غذا، زمانی‌که برای

1- Glutaraldehyde
2- Aminosilane

3- Organoleptic
4- European Food Safety Authority
5- (3-Aminopropyl) Triethoxysilane
6- Comonomer
7- Safety Centre Europe

تیمار سطح مواد استفاده می‌شود؛ محدود می‌شود. بخشنامه 2002/72/EC شامل فهرستی از مونومرها و دیگر مواد آغازگر و افزودنی‌های مجاز را که برای تولید پلاستیک‌های بسته‌بندی استفاده می‌شود؛ ارائه می‌دهد. قوانین جدید به شماره ۱۱/۲۰۱۱ در تاریخ ١٤ ژوئن سال ۲۰۱۱ بر روی مواد پلاستیکی و دیگر موادی که در ارتباط مستقیم با غذا هستند، متمرکز می‌باشد. ترکیبات سیلانی و مشتقات سیلانی مانند پلی‌دی متیل سیلوکسان[1]، پلی‌اکسیل آلکیل[2] دی متیل پلی‌سیلوکسان[3]، وینیل تری اتوکسی سیلان[4]، وینیل تری متوکسی سیلان[5]، آمینو پروپیل تری اتوکسی سیلان[6]، [۳-(متاکریلوکسی)پروپیل] تری‌متوکسی سیلان و د- اکتیل تری کلرو سیلان می‌توانند به عنوان افزودنی بی‌خطر برای تولید پلیمر فیلم بسته‌بندی استفاده شوند که البته نباید مقادیر آزادسازی آن از مقادیر تعیین شده در[7](SML) خط امنیت بازار بیشتر باشد. قابل ذکر است با توجّه به قیمت بالای ترکیبات سیلانی(٤٥-۹۰ دلار به ازای هر کیلو) پیشنهاد می‌گردد بهینه‌سازی این ترکیبات در فرمولاسیون مرکب‌ها و دیگر کاربردها در نسبت‌های وزنی۳-۱ درصد بهینه‌سازی گردد.

٤- نتیجه گیری

این تحقیق مروری بر روی فرصت‌ها و چالش‌های فنّاوری سیلان در صنعت بسته‌بندی غذا و همچنین اتصال کنترل شده میکروب‌ها به سطح سلول‌هایی که با سیلان‌های آلی اصلاح شده‌اند، داشته است و خلاصه‌ای از آخرین دستاوردهای علمی- صنعتی در این زمینه ارائه شده است. از ترکیبات سیلانی می‌توان به منظور جفت‌کنندگی پلیمرهای آلی به مواد معدنی، بهبوددهنده چسبندگی رنگ، مرکب، پوشش و چسب، پخش‌کنندگی و یا ضد آب کردن پوشش‌ها و کاربردهای ساختمانی بتنی مانند پل‌ها و عرشه‌ها، عوامل اتصال عرضی و همچنین استفاده به عنوان جاذب آب در فرمولاسیون‌های حساس به رطوبت و پایدارکننده سیلیکاتی استفاده کرد. توانایی سیلان‌های آلی برای اتصال به مواد جامد مختلف باعث ایجاد نقشی اساسی در فیزیک سلول داد و یک روش مناسب در بسیاری از کاربردها مانند فیلم‌های بسته‌بندی، صنایع غذایی، رنگ و پوشش‌ها است و می‌تواند شامل کنترل چسبندگی میکروبی نیز باشد. همچنین قابل ذکر است که با بکارگیری ارتقاءدهنده‌های سیلانی به جهت افزایش و کنترل چسبندگی و رشد میکروارگانیسم‌ها، الزامات سازمان‌های قانون گذار مواد غذایی نیز در نظر گرفته می‌شود.

1- Polydimethylsiloxan
2- Polyoxy Alcyl
3- Dimethylpolysilpxan
4- Vinyltriethoxysilane
5- Vinyltrimthoxysilane
6- Aminopropyltriethoxysilane
7- Security Market Line (SML)

٥- منابع

1- Myszka, K., and Czaczyk, K., (2011). **"Bacterial biofilms on food contact surfaces - a review,"** Journal of food and nutrition sciences, 61, 3, 173-180.
2- Witucki, G., (October, 1992**), "A Silane Primer: Chemistry and Applications of AIkoxy Silanes,"** The 57th annual meeting of the federation of societies for coatings technology, Chicago, 97-109.
3- Materne, T., de Buyl, F., and Witucki, G. L., (2006**), "Organosilane technology in coating applications: Review and perspectives,"** USA: Dow Corning Corporation.
4- Tryznowska, Z., and Izdebska, J., (2013). **"Flexographic printing ink modified with hyperbranched polymers: BoltornTM P500 and BoltornTM P1000,"** Dyes and pigments, 96, 2, 602-608.
5- Rentzhog, M., and Fogden, A., (2005b). **"Rheology and surface tension of water-based flexographic inks and implications for wetting of PE-coated board,"** Nordic Pulp and Paper Research, 20, 4, 399-409.
6- Antonucci, J.M., Dickens, S., Fowler, B.O., Xu, H.H.K., and McDonough,

W.G., (2005), **"Chemistry of silanes: interfaces in dental polymers and composites,"** Scandinavian journal of dental research, 90, 6, 484-489.

7- Jenkins, M. L., Dauskardt, R. H., and Bravman, J. C., (2004), **"Important factors for silane adhesion promoter efficacy: surface coverage, functionality and chain length,"** Journal of adhesion science and technology, 18, 13, 1497-1516.

8- Kornherr, A., Nauer, G.E., Sokol, A. A., French, S. A., Catlow, C. R., and Zifferer, G., (2006), **"Adsorption of organosilanes at a Zn-terminated ZnO surface: molecular dynamics study,"** Langmuir, 22,19, 8036-8042.

9- Arkles, B., (2006). **"Silane coupling agents: Connecting across boundaries,"** Singapore: Gelest Inc.

10- Aboodzadeh, M., Mir Abedini, S.M., Ataee, M., (2004), **"Effect of silane compounds on the adhesion strength of acrylic lacquers to the flame pretreated polypropylene surfaces,"** Journal of polymer science and technology, 19, 4, 317-324.

11- Kokare, C.R., Chakraborty, S., Khopade, A.N., and Mahadik, K.R. (2009), **"Biofilm: importance and applications,"** Indian journal of biotechnology, 8, 2, 159-168.

12- Monticello, R.A., (April, 2010). **"The use of reactive silane chemistries to provide durable, non-leaching antimicrobial surfaces,"** In 2nd International Conference Biocides in Synthetic Materials, Berlin, Germany.

13- Loontjens, J. A., (2013), **"Quaternary ammonium compounds,"** New York: Springer.

14- Gaboriaud, F., and Dufrene, Y. F., (2006), **"Atomic force microscopy of microbial cells: application to nanomechanical properties, surface forces and molecular recognition forces,"** Colloids and surfaces B: biointerfaces, 54, 1-10.

15- Jothi, D., (2009), **"Experimental study on antimicrobial activity of cotton fabric treated with aloe gel extract from Aloe vera plant for controlling the Staphylococcus aureus (bacterium),"** African journal of microbiology research, 3,5, 228-232.

16- Osterhof, J. J., Buijssen, K. J., Busscher, H. J., van der Laan, B. F., and van der Mei, H. C., (2006), **"Effects of quaternary ammonium silane coatings on mixed fungal and bacterial biofilms on tracheoesophageal shunt prostheses,"** Applied and environmental Microbiology, 72,5, 3673-3677.

17- Fortuniak, W., Mizerska, U., Chojnowski, J., Basinska, T., Slomkowski, S., Chehimi, M. M., Konopacka, A., Turecka, K., and Werel, W., (2011), **"Polysiloxanes with quaternary ammonium salt biocidal functions and their behavior when incorporated into a silicone elastomer network,"** Journal of inorganic and organometallic polymers and materials, 21, 3, 576-589.

18- Kregiel, D., Berlowska, J., Mizerska, U., Fortuniak, W., Chojnowski, J., and Ambroziak, W., (2013), **"Chemical modification of polyvinyl chloride and silicone elastomer in inhibiting adhesion of aeromonas hydrophila,"** World journal of microbiology and biotechnology, 13, 128-137.

19- Yoshino, N., Sugaya, S., Nakamura, T., Yamaguchi, Y. H., Kondo, Y., Kawada, K., and Teranaka, T., (2011), **"Synthesis and antimicrobial activity of quaternary ammonium silane coupling agents,"** Journal of Oleo Science, 60, 8, 429-438.

20- Price, C., Waters, M. G. J., Williams, D.W., Lewis, M. A. O., and Stickler, D., (2002), **'Surface modification of an experimental silicone rubber aimed at reducing**

initial candida adhesion," Journal of biomedical materials research, 63, 2, 122-128.

21- Camarero, J. A., (2008), **"Recent developments in the site-specific immobilization of proteins onto solid supports,"** Biopolymers, 90, 3, 450-458.

22- Kandimalla, V. B., Tripathi, V. S., and Ju, H., (2006), **"Immobilization of biomolecules in solegels: biological and analytical applications,"** Critical reviews in analytical chemistry, 36, 73-106.

23- Shriver-Lake, L. C., Charles, P. T., and Taitt, C. R. (2008), **"Immobilization of biomolecules onto silica and silica-based surfaces for use in planar array biosensors,"** Methods in molecular biology, 504, 419-440.

24- Metwalli, E., Haines, D., Becker, O., Conzone, S., and Pantano, C.G., (2006), **"Surface characterizations of mono-, di-, and tri-aminosilane treated glass substrates,"** Journal of colloid and interface science, 298, 825-831.

25- Restuccia, D., Spizzirri, U. G., Parisi, O. I., Cirillo, G., Curcio, M., Iemma, F., Puoci, F., Vinci, G., and Picci, N., (2010), **"New EU regulation aspects and global market of active and intelligent packaging for food industry applications,"** Journal of food control, 21, 1425-1435.

آدرس نویسنده

استان البرز- کرج- بلوار هفت تیر- چهار راه کارخانه قند- خیابان کوثر- بن بست اشکان - ساختمان عرفان - واحد ۱.