

خواص نوری و رنگ در صنایع بسته‌بندی

روزبه اسدی خوانساری^{۱*}، محمدرضا دهقانی فیروزآبادی^۲

تاریخ دریافت مقاله: آبان ماه ۱۳۹۶

تاریخ پذیرش مقاله: خرداد ماه ۱۳۹۷

چکیده

بخش عمده مواد بسته‌بندی‌کننده از مواد غیرقابل تجزیه هستند که توجهی به افزایش تقاضای حفظ محیط زیست ندارند. بنابراین چند بسیار (پلیمر) زیستی در جهت توسعه مواد بسته‌بندی زیست تخریب‌پذیر در صنایع غذایی به کار برده شده‌اند. در این مقاله، به بررسی انواع بسیارهای زیستی، جوهرهای چاپ و خواص نوری کاغذ پرداخته شده است. خواص ممانعتی، بستگی زیادی به نفوذ اکسیژن و رطوبت از مواد بسته‌بندی‌کننده دارند. امکان ارتقاء خواص محافظتی این مواد در مقابل شرایط جوئی از طریق پوشش‌های چاپ شده وجود دارد. برای بهبود کارایی ممانعتی مواد بسته‌بندی، جوهرهای جدیدی بررسی شده‌اند. تعیین خواص نوری در مواد بسته‌بندی به کنترل کیفیت و صرفه‌جویی منابع کمک می‌کند. گاهی در هنگام فروش کاغذ، خواص نوری مهم‌تر از خواص فیزیکی و مکانیکی است. خواص نوری کاغذ بسته‌بندی شامل رنگ، درجه روشنی، ماتی و جلا است. بهبود شرایط رنگ و ظاهر بسته‌بندی به ارتقاء کیفیت بسته‌بندی مواد کمک می‌کند. انجام آزمون‌های استاندارد درجه روشنی و رنگ به ارتقاء کیفیت چاپ و بسته‌بندی و نیز به صادرات کالا کمک می‌کند.

همچنین با در نظر گرفتن رقابت اقتصادی شرکت‌ها،

کیفیت چاپ در بسته‌بندی مواد بسیار مهم می‌باشد. در نتیجه هر دو نقش محافظت از مواد و چاپ بسته‌بندی، در کیفیت محصول و ویژگی‌های ظاهری مواد مؤثر هستند. بنابراین در توسعه و انتخاب مواد بسته‌بندی باید به مسائل مختلفی توجه شود. کاغذ و مقوا، اصلی‌ترین مواد بسته در جهان است و ضمن شرایط مطلوب حفظ ماده غذایی یا بهداشتی از نظر زیست محیطی نیز مورد توجه جهان است. در آینده نزدیک باید کلیه مواد بسته‌بندی غیرقابل تجزیه، کنار گذاشته شود و از ترکیبات زیست تخریب‌پذیر سلولزی جهت کلیه بسته‌بندی‌ها استفاده شود [۱].

عملیات بسته‌بندی مواد غذایی، حساس‌تر از بسته‌بندی مواد بهداشتی است و ملزومات مورد نیاز در بسته‌بندی مواد غذایی پیچیده می‌باشد. بنابراین تنوع بسته‌بندی در محصولات غذایی بیشتر است و بسته‌بندی مواد بهداشتی در زیر مجموعه‌ای از انواع بسته‌بندی مواد غذایی قرار می‌گیرد. به طور معمول بسته‌بندی‌های مواد

واژه‌های کلیدی

خواص نوری؛ کاغذ؛ رنگ؛ بسته‌بندی

۱- مقدمه

نخستین اطلاعات علمی ثبت شده از بسته‌بندی مواد، مربوط به سال (۱۰۳۵ میلادی/۴۲۶ هجری قمری) به وسیله یک ایرانی به نام خسرو نصیری است. او هنگامی که در بازار قاهره مشاهده کرد که فروشندگان مواد مختلف را در کاغذ بسته‌بندی می‌کنند، جمع‌آوری این اطلاعات را آغاز کرد [۵]. عملیات بسته‌بندی روی مواد غذایی و بهداشتی، وظیفه مهم محافظت از مواد موجود در بسته‌بندی را دارد.

۱- هیأت علمی دانشکده فنی و حرفه‌ای صومعه سرا، دکتری صنایع خمیر و کاغذ

(x)نویسنده مسئول (rasadikhansari@gmail.com)

۲- دانشیار دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، دکتری صنایع چوب و کاغذ (m_r_dehghani@mail.ru).

وضعیت، چالش‌های جالب توجهی را پیش‌روی طراحی و کاربرد مواد بسته‌بندی زیستی قرار می‌دهد، زیرا بسیاری از عواملی که بر تجزیه زیستی این مواد تأثیر می‌گذارند به میزان فساد مواد غذایی موجود در درون این بسته‌بندی‌ها نیز تأثیرگذار هستند. در این زمینه نیز چسب‌ها، جوهر و حلال‌های تجزیه‌پذیر را نیز باید مدنظر قرار داد. امروزه تولیدکنندگان محصولات مواد غذایی و تولیدکنندگان بسته‌بندی در حال آزمایش مواد بسته‌بندی‌کننده زیستی بر روی مواد غذایی می‌باشند؛ اما به دلیل ماهیت محرمانه این کار و به دست آوردن اطلاعات در این زمینه، بسیار دشوار است. مثلاً شیر، خامه، محصولات تخمیر شده شیر و پنیرهای فراوری شده به بسته‌بندی‌هایی با قابلیت نفوذپذیری پایین در برابر اکسیژن، نور و بخار آب نیاز دارند تا از اکسایش و رشد میکروارگانیسم‌های ناخواسته در این مواد جلوگیری شود. بنابراین ترکیبات کاغذ و مقوا و سایر مواد بسته‌بندی زیستی باید از طریق ساختار خود و یا چاپ روی سطح بسته‌بندی مانع عبور هوا، نور و رطوبت شوند [۶]. مهم‌ترین ویژگی انتخاب مواد بسته‌بندی، عدم تأثیر متقابل^۵ سوء بین محصول و ماده بسته‌بندی است. در این مورد اثر محصول غذایی بر روی ماده بسته‌بندی و اثر ماده بسته‌بندی بر روی محصول به طور متقابل مطرح می‌باشد. ماده بسته‌بندی از طریق تکیارهای سازنده آن که به طور آزاد در آن ماده وجود دارد و یا در نتیجه حرارت رها می‌شوند، می‌تواند مشکل‌آفرین باشد و انتقال این تکیارها به محصول باعث مسموم شدن محصول گردد. مثلاً ترکیبات نرم‌کننده^۶ افزودنی به مواد بسته‌بندی پلی‌وینیل کلراید^۷ باعث ایجاد مسمومیت می‌گردد و تکیار سازنده آن یعنی وینیل کلراید عامل سرطان می‌باشد. هرگاه محصول مفیدتری بتواند جایگزین مواد بسته‌بندی بر پایه مشتقات نفتی شود، انقلابی در صنایع بسته‌بندی ایجاد می‌شود که ضمن

غذایی در سه گروه بسته‌بندی اولیه، ثانویه و حمل و نقلی قرار داده می‌شوند؛ اما در هر حال انواع مختلفی از بسته‌بندی‌های معمولی و متعارف، شرایط بهینه و مناسب برای نگهداری آن محصول را فراهم نمی‌کنند و رویکردهای دیگری در زمینه طراحی بسته‌بندی برای برخی از محصولات خاص مورد استفاده قرار می‌گیرند. این بسته‌بندی‌های خاص شامل: پوشش‌ها، روکش‌ها، بسته‌بندی‌های فعال و بسته‌بندی با اتمسفر تعدیل شده می‌باشند. همچنین از روکش‌های خوراکی در بخش‌های جداگانه از محصول و برای بهبود کیفیت ماده غذایی تولید شده، می‌توان استفاده نمود. مواد بسته‌بندی‌کننده‌ای که به طور رایج مورد استفاده قرار می‌گیرند شامل: کاغذهای مقوایی، ظرف‌های پلاستیکی، کارتن‌ها، مقوا با روکش پلی‌اتیلن، بطری‌های شیشه‌ای و کاغذ با روکش آلومینیوم هستند که فقط کاغذ و مقوا از مواد تجدیدپذیر^۱ و زیست تخریب‌پذیر^۲ می‌باشند. امروزه از کاغذ و مقوا با پوشش یا روکش پلی‌لاکتیک اسید^۳ و پلی‌هیدروکسی بوتیرات^۴ به عنوان مواد بسته‌بندی‌کننده برای مواد غذایی، استفاده می‌شود و این مواد ضمن نداشتن مشکلات زیست محیطی از مقاومت زیادی در مقابل اکسیژن و رطوبت برخوردار می‌باشند [۱]. یکی از چالش‌های پیشرو در صنعت بسته‌بندی مواد غذایی در ارائه بسته‌بندی بیولوژیکی یا زیستی است که نکته کلیدی تطابق دوام این بسته‌بندی‌ها با طول مدت نگهداری محصول می‌باشد. مواد بسته‌بندی زیستی باید با حفظ خواص مکانیکی خود به صورت بادوام باقیمانده و در طول دوره نگهداری محصول، نقش خود را به طور صحیح انجام دهند. همچنین به طور ایده‌آل، این مواد باید در هنگام دور ریخته شدن از قابلیت تجزیه زیستی برخوردار باشند. بنابراین نباید شرایط زیست محیطی منجر به تجزیه زیستی این مواد در طول عمر نگهداری مواد غذایی شود بلکه بعد از دور انداخته شدن این مواد، شرایط برای تجزیه آن‌ها باید فراهم آورده شود. این

5- Interaction

6- Plasticizer

7- Polyvinyl Chloride (PVC)

1-Renewable

2- Biodegradable

3- Poly-Lactic Acid (PLA)

4- Polyhydroxybutyrate (PHB)

نداشتن خطر و بیماری‌زایی، دوستدار محیط زیست و در کاهش پدیده گلخانه‌ای مؤثر است [۲]. نحوه درک رنگ‌ها توسط چشم با طول موج ۳۶۰ تا ۷۸۰ نانومتر است. به کمک یکسری از فرایندهایی که در سلول‌های مخروطی و استوانه‌ای چشم صورت می‌گیرد، علائم عصبی به صورت امواج الکتریکی از طریق رشته‌های عصبی به مرکز بینایی مغز ارسال می‌گردد. درک نهایی رنگ بعد از پردازش علائم در مغز صورت می‌گیرد. ما رنگ را به صورت آبی، سبز زرد، قرمز و یا ترکیبی از آن‌ها درک می‌کنیم. توماس یانگ^۱ اولین فردی بود که اظهار کرد برای دریافت تمام رنگ‌ها توسط چشم، تنها رسیدن سه رنگ اصلی به چشم کافی است. کمی بعد گراسمن^۲ نشان داد که با مخلوط سه رنگ اصلی می‌توان تمام رنگ‌ها را تولید کرد. بنابراین خواص نوری و رنگ موجود در بسته‌بندی مواد در کیفیت ظاهری و چاپ نقش اصلی را دارد و از آن جایی که کاغذ بهترین ماده بسته‌بندی و سازگار با محیط زیست است و تعیین خواص نوری کاغذ از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بهبود شرایط رنگ و ظاهر بسته‌بندی به ارتقاء کیفیت عملیات بسته‌بندی مواد کمک شایانی می‌کند.

۲- ترکیبات سلولزی و نانو مواد

ظهور نانو فناوری که شامل ساخت و استفاده از مواد در ابعاد حداکثر ۱۰۰ نانومتر در یک بعد یا بیشتر است، فرصت‌های جدیدی را برای این مواد جدید با خواص ارتقا یافته برای تماس با مواد غذایی باز کرده است. تعداد زیادی از شرکت‌های دنیا گزارش می‌کنند که در حال اکتشاف کاربردهای نانو فناوری در بسته‌بندی هستند [۷]. از مواد نانو در بسته‌بندی برای افزایش کارایی فیزیکی، دوام، ویژگی‌های بازدارندگی، زیست تخریب‌پذیری و عدم انتقال مواد مضر استفاده می‌شود. نانو مواد از قبیل نانو لوله‌های کربنی و نانوفیبرهای سلولزی^۳ می‌توانند قدرت و سفتی بسیار بالاتری نسبت به مواد عادی داشته باشند [۸]. نانو مواد همچنین

می‌توانند به عنوان تسریع در زیست تخریب‌پذیری یا کمک به عملکرد هوشمند بسته‌بندی، مورد استفاده قرار گیرند. مواد نانو جایگزینی برای بسپارهای گرفته شده از نفت، زغال سنگ یا گاز است [۹]. بهترین ماده بسته‌بندی کاغذ، مقوا و یا سایر مواد مرکب کاغذی است. کاغذ، ورقه یکنواخت و مسطح متشکل از الیاف و افزودنی‌های غیرلیفی است که از سوسپانسیون^۴ آبی بر روی یک غربال ظریف تشکیل می‌گردد و سپس پرس و خشک می‌شود. بسته به کاربرد ممکن است به آن آهار یا پوشش نیز داده شود [۳]. فرآورده‌های کاغذی را می‌توان به سه دسته بزرگ، یعنی انواع کاغذهای چاپ و تحریر؛ کاغذهای بسته‌بندی،- صنعتی و ساختمانی و همچنین کاغذهای بهداشتی تقسیم کرد [۴].

در جهت بهبود خواص کاغذ و مقوای بسته‌بندی تحقیقات متعددی انجام شده است. به منظور افزایش خواص سطحی و ممانعتی کاغذ، محققان اثر پوشش ممانعتی با روش گراور^۵ معکوس را بر روی پوشش‌پذیری کاغذ بررسی کردند. پوشش چند لایه حاوی پیش پوشش؛ لایه صاف خاک رس، لایه ممانعتی در دو سطح (خاک رس و تالک) با چهار نوع لاتکس و پوشش رویی با رنگدانه‌های کربنات کلسیم رسوبی^۶ بود (شکل ۱). بر روی نمونه‌های کاغذ پایه تیمارهای سطحی کرونا و پلاسما در دو سطح برای پوشش‌پذیری انجام گرفت. هر دو تیمار زاویه تماس قطره آب را کم کردند و در نتیجه ترشوندگی و پوشش‌پذیری بهبود یافت. به منظور آبدوست کردن و پوشش‌پذیری؛ لاتکس^۷ دوم به کار رفته مؤثرتر از سایر لاتکس‌ها بود و عملیات پوشش‌دهی را بهبود داد. مقادیر زبری سطوح را از طریق عکس‌برداری میکروسکوپ نیروی اتمی تعیین کردند. آن‌ها نتیجه‌گیری کردند که کاهش کشش سطحی قابلیت پوشش را اصلاح

4- Suspension

5- Gravure Method

6- Precipitated Calcium Carbonate (PCC)

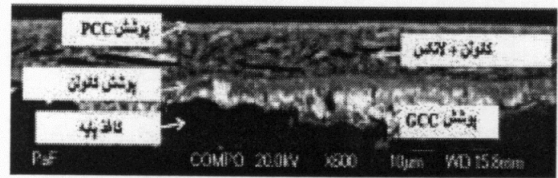
7- Latex

1-Thomas Young

2- Grossman

3- Cellulose Nanofiber (CNF)

می‌کند ولی زبری سطح تأثیر کمی بر پوشش‌پذیری دارد [۱۰].



شکل ۱ - ضخامت کاغذ با چندلایه پوششی [۱۰]

۳- انعکاس، جذب و شکست نور در کاغذ

برای تعیین کیفیت ظاهری کاغذ از طیف رنگ‌های مرئی در طیف‌سنجی نوری کاغذ استفاده می‌شود. این طیف از رنگ آبی با طول موج ۴۰۰ تا ۵۰۰ نانومتر و رنگ قرمز با طول موج بالاتر از ۶۰۰ نانومتر تشکیل شده است. طیف رنگ زرد و رنگ سبز در دامنه ۵۰۰ تا ۶۰۰ نانومتر می‌باشد. امواج با طول موج پائین‌تر از ۴۰۰ نانومتر امواج ماوراءبنفش^۱ و امواج با طول موج بلندتر از ۸۰۰ نانومتر، امواج مادون‌قرمز^۲ نامیده می‌شوند. هرچند که امواج ماوراءبنفش نامرئی هستند ولی از نظر خواص نوری خمیر و کاغذ مهم می‌باشند. اشعه ماوراءبنفش موجب اکسایش نوری لیگنین موجود در خمیر و کاغذ شده و باعث زرد شدن کاغذ می‌گردد. همچنین امواج ماوراءبنفش موجب افزایش روشنی در کاغذهایی می‌گردد که حاوی رنگ‌های فلئورسنت^۳ هستند. رنگ‌های فلئورسنت افزودنی‌هایی هستند که امواج ماوراءبنفش را به امواج نور مرئی آبی رنگ تبدیل می‌کنند. امواج مادون قرمز نیز موجب تغییر رنگ کاغذ و خمیر کاغذ می‌شوند [۱۱]. وقتی که نور به الیاف سلولزی برخورد می‌کند، بخش کوچکی از آن توسط سطح الیاف منعکس شده ولی بخش اعظم آن وارد الیاف سلولزی و بخشی از انرژی نوری آن نیز به گرما تبدیل می‌شود. ساختمان کاغذ یک ساختار پیچیده است که شامل شبکه الیاف، رنگدانه و هوا است. بخشی از نور تابش شده به کاغذ توسط الیاف و رنگدانه‌های موجود در سطح خارجی کاغذ انعکاس می‌یابد و بخش دیگری از نور تابیده شده، در الیاف و رنگدانه‌ها وارد می‌شود و تغییر جهت می‌دهد و بخش نیز جذب کاغذ

می‌شود. باقی مانده نور تابیده شده از فضای بین الیاف و ذرات سطحی عبور می‌کند و مجدداً در اثر برخورد با الیاف داخلی‌تر منعکس شده یا وارد آن‌ها شده و شکسته می‌شود و در جهات مختلف با زوایای مختلف منعکس می‌گردد [۱۲]. بدین ترتیب ما فقط سطح کاغذ را به صورت یک سطح روشن مات می‌بینیم و این بدین معنی است که ما نور انعکاس پخشی را دریافت می‌کنیم. بخش کوچکی از نور از طرف دیگر کاغذ به عنوان نور عبور کرده و خارج می‌شود و بقیه توسط سلولز و یا رنگدانه‌ها جذب می‌گردد [۱۳]. علاوه بر انعکاس، شکست و جذب نور، پدیده دیگری به نام پراش نور وجود دارد. ما مجموع این پدیده‌ها را به صورت انعکاس پخش سطح کاغذ می‌بینیم. رنگی بودن یک جسم ناشی از جذب متفاوت طول موج‌های مختلف توسط آن جسم است. اگر کاغذی آبی دیده شود به دلیل آن است که طول موج‌های قرمز و سبز را جذب می‌نماید ولی طول موج کوتاه آبی را منعکس می‌کند. همچنین هنگامی سبز دیده می‌شود که طول موج‌های رنگ‌های آبی و قرمز را جذب کند و طول موج سبز را منعکس نماید.

۴- تعیین خواص نوری در کاغذ

مقادیر خواص نوری یکی از بخش‌های مهم فرآیند کاغذ و خمیرسازی است. اغلب سعی بر این است که لیگنین جاذب نور از خمیر خارج شود ولی همیشه مقدار کمی لیگنین در خمیر باقی می‌ماند. خمیر کاغذ سفید شده نیز، کاملاً سفید نبوده و کمی زرد رنگ به نظر می‌رسد. در کاغذسازی دو روش برای کاهش زرد بودن کاغذ وجود دارد. این دو راه شامل افزودن ته آبی رنگ و یا یک ماده نوری فلئورسنت به کاغذ است. در این حالت، ماده فلئورسنت با انتشار نور آبی موجب کاهش ظاهر زرد کاغذ می‌شود [۱۲]. در عمل معمولاً از ترکیب هر دو روش استفاده می‌شود. برای اندازه‌گیری براقیت کاغذ، معمولاً از نور با وضعیت هندسی ثابت، یا زوایای تابش و

- 1-Ultraviolet Waves (UV)
- 2- Infrared (IR)
- 3- Fluorescent Colors

4- Reflection (R)

فصلنامه علمی-ترویجی علوم و فنون
بسته‌بندی

انعکاسی ثابت در مقادیر مختلف ۷۵، ۶۰ یا ۲۰ درجه استفاده می‌شود. هر چه قدر که میزان روشنایی بیشتر باشد، یا هر چه قدر که زاویه جانبی برخورد بزرگ‌تر باشد، مقدار براقیت بیشتر خواهد شد. اندازه‌گیری براقیت کاغذهای براق را با زاویه کمتر و کاغذهای معمولی و مات را تحت زاویه زیاد انجام می‌دهند. انعکاس آینه‌ای توسط معادله فرسنل^۱ شرح داده شده است. بر اساس رابطه ۱ و در شرایط خاصی که در آن نور به طور مستقیم و عمود بر کاغذ تابیده می‌شود، میزان انعکاس آینه‌ای تابع ضریب شکست^۲ نور می‌باشد.

$$R = \left(\frac{h - h_0}{h + h_0} \right)^2 \quad (\text{رابطه ۱})$$

h = ضریب شکست نور ماده مورد آزمایش

h_0 = ضریب شکست نور هوا

با توجه به اینکه ضریب شکست نور هوا حدود ۱ و ضریب شکست سلولز حدود ۱/۵ است، در این حالت، مقدار انعکاس آینه‌ای حدود ۰/۴٪ و بقیه نور معینی چیزی حدود ۹۶ درصد نور تابیده شده به درون کاغذ نفوذ می‌کند. با توجه به اینکه ضریب شکست نور ماده پوشش‌کننده نیز حدود ۱/۵ است این موضوع در مورد کاغذ پوشش‌دار شده نیز صادق است. بنابراین هر چه زاویه تابش نور به سطح افزایش یابد، مقدار انعکاس بیشتر می‌شود. این محاسبات برای سطح کاملاً صاف و ایده‌آل دقیق‌تر است و در سطح زیر نور تابیده شده به مقدار زیادی به اطراف پخش می‌شود و مقدار بسیار کمی از آن وارد ماده می‌گردد. بنابراین یک کاغذ چاپ شده و بسیار براق، دارای جلوه بالایی است [۱۴]. با این وجود همیشه براقیت بالا برای دریافت رنگ‌ها مزیت نیست، مثلاً مطالعه کردن یک متن براق مشکل است و هر چه سطح کاغذ صاف‌تر باشد، مقدار براقیت افزایش می‌یابد. برای توصیف ریاضی وابستگی انعکاس آینه‌ای به زاویه تابش، باید حرکت موجی نور به دو قسمت قطبی شده در فضا تقسیم گردد. به طور طبیعی نور به هیچ‌وجه حالت قطبی ندارد و می‌تواند در تمام جهات نوسان نماید. اگر نور

از یک قطبی‌کننده نور عبور نماید در یک صورت قطبی در می‌آید. یعنی اینکه نور فقط در یک صفحه معین نوسان می‌کند. در این حالت، نور غیرقطبی می‌تواند به دو بخش قطبی شده تقسیم گردد که در دو صفحه عمود بر هم نوسان کنند. فرض کنید که یک اشعه نوری از یک سطح با ضریب انعکاس منعکس می‌شود. اگر RII عامل انعکاس نور قطبی باشد که در یک صفحه موازی با صفحه منعکس‌کننده نوسان می‌کند و RI عامل انعکاس نور قطبی باشد که در جهت عمود بر صفحه منعکس‌کننده نوسان می‌کند. برای نور غیرقطبی، مقدار عامل انعکاس (R) معادل متوسط عامل انعکاس دو جزء قطبی شده نور عمود بر هم است و به صورت زیر قابل محاسبه است.

$$R = \frac{RII + RI}{2} \quad (\text{رابطه ۲})$$

وقتی که زاویه تابش صفر باشد یعنی نور عمود بر سطح بتابد در حدود ۰/۴٪ از نور انعکاس می‌یابد. با افزایش زاویه تابش نسبت به سطح آئینه، مقدار انعکاس افزایش می‌یابد. یعنی عامل بازتابش برای بخشی از نور که در جهت موازی با سطح آئینه نوسان می‌کند (RII) افزایش می‌یابد و برای بخشی از نور که در جهت عمود بر سطح آئینه نوسان می‌کند، عامل انعکاس ابتدا کاهش می‌یابد و در یک زاویه خاصی که به نام زاویه بروستر^۳ نامیده می‌شود به صفر می‌رسد و سپس با افزایش زاویه به سرعت افزایش می‌یابد. زاویه بروستر به ضریب شکست ماده بستگی دارد و برای سلولز که دارای ضریب شکست ۱/۵ است، این زاویه ۵۷ درجه است [۱۵].

۵- روش‌های استاندارد تعیین خواص نوری کاغذ

اساس ارزیابی خواص نوری خمیر و کاغذ بر پایه پخش نور منعکس شده است. در سال‌های ۱۹۵۰ تا ۱۹۷۰ رنگ‌سنج در صنایع خمیر و کاغذ استفاده می‌شد. در راستای استانداردسازی تعیین خواص نوری کاغذ، این

1-Fresnel Equations
2- Refractive Index

3- Brewster's Angle

ضریب انعکاس طیفی مربوط به هر طول موج محاسبه می‌شود [۱۷].

$$R = \sum R(\lambda) F(\lambda) \quad (\text{رابطه ۳})$$

R: درجه روشنی

$R(\lambda)$: عامل انعکاسی در طول موج معین

$F(\lambda)$: ضریب تناسب یا ضریب توزیع طیفی نسبی

۷- رنگ‌سنجی CIE

کامل‌ترین فضای رنگی $L^*a^*b^*$ CIE^o توسط کمیسیون بین‌المللی روشنائی معرفی شده است. این فضا تمامی رنگ‌های قابل رؤیت توسط چشم انسان را توصیف می‌کند و در شرایطی که اندازه‌گیری رنگی مطلق نیاز است، تبدیل کردن رنگ نمونه به فضای رنگی $L^*a^*b^*$ گزینه مناسبی است. استانداردهای رنگ اغلب به این صورت بیان می‌شوند که مؤلفه L، درخشندگی یا روشنائی (روشن، تیره) است که داری محدوده صفر تا ۱۰۰ می‌باشد. مؤلفه a از رنگ سبز تا قرمز و b از آبی تا زرد بوده و این دو مؤلفه رنگی با محدوده از ۱۲۰- تا ۱۲۰ هستند (شکل ۲). فضای رنگی $L^*a^*b^*$ از نظر ادراکی یکنواخت است، به طور مثال فاصله اقلیدسی بین دو رنگ مختلف تقریباً مطابق با تفاوت رنگ درک شده توسط چشم انسان است، بنابراین تعیین تغییرات رنگ در بین نمونه‌های چاپ شده و چاپ نشده شاخصی از اثر چاپ‌پذیری در این کاغذها است [۱۸]. شاخص Lx شاخص تیرگی-روشنی کاغذ است که بیشتر شدن آن نشان‌دهنده روشن‌تر بودن و کمتر شدن آن تیرگی را نشان می‌دهد. شاخص ax شاخص قرمزی-سبزی نام دارد که هرچه بیشتر باشد، نشان‌دهنده قرمزی و با کاهش آن رنگ سبزتر می‌شود. مقادیر منفی b نمونه‌های کاغذ نیز نشان‌دهنده ته رنگ آبی و مقادیر مثبت نشان‌دهنده رنگ زرد می‌باشند. از طریق تفاضل مقادیر L، میزان تغییر روشنی به دست می‌آید. بنابراین جهت بررسی چاپ در کلیه نمونه‌های چاپ شده این مشخصه‌ها مقایسه می‌شوند.

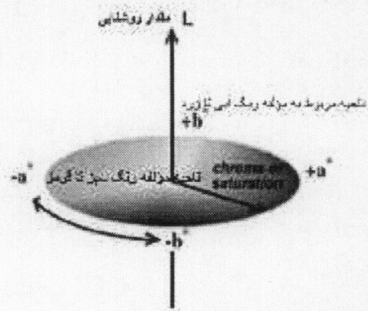
5- International Commission on Illumination (CIE)

آزمون‌ها در استاندارد ایزو^۱ توصیف شد. روش‌های ارزیابی خواص نوری کاغذ در سال ۱۹۹۷ بازنگری شد و روش استاندارد دستگاه اسپتروفوتومتر^۲ جایگزین شد [۱۱]. اندازه‌گیری خواص نوری کاغذ طبق استاندارد ISO 2469 است و متخصصان خمیر و کاغذ باید به دانش لازم مربوط به دستگاه و روش‌های اندازه‌گیری آشنا باشند. وضعیت هندسی تجهیزات اندازه‌گیری رنگ معمولاً به صورت صفر و ۴۵ درجه است. در حالت زاویه صفر، نور مستقیماً بر روی نمونه تابیده می‌شود و اندازه‌گیری در جهت عمود بر سطح نمونه انجام می‌گیرد. در صنایع گرافیک از این حالت برای اندازه‌گیری شدت چاپ و تراکم رنگ استفاده می‌شود. روش استاندارد تاپی^۳ بر مبنای این دو درجه است. وضعیت هندسی صفر به معنی تابش نور به نمونه به صورت غیرمستقیم از طریق پخش نور است و اندازه‌گیری زاویه عمود بر صفحه نمونه صورت می‌گیرد. وضعیت هندسی صفر/۴۵ حالتی است که در آن نور تحت زاویه ۴۵ درجه به نمونه می‌تابد و اندازه‌گیری تحت زاویه عمود بر صفحه نمونه صورت می‌گیرد.

۶- درجه روشنی

تا پایان دهه هشتاد میلادی غالب‌ترین روش اندازه‌گیری خواص نوری کاغذ با استفاده از فیلترهای رنگی بود. با استفاده از فیلترهای شیشه‌ای به رنگ‌های مختلف، نور با طول موج مورد نظر از منبع نوری به سمت نمونه و از آنجا به سلول فتوالکتریک^۴ تابیده می‌شد. اغلب از یک لامپ التهابی به عنوان منبع نور و یک فیلتر آبی R457 برای اندازه‌گیری درجه روشنی استفاده می‌شد [۱۶]. استاندارد ISO 2470 برای تعیین اندازه‌گیری درجه روشنی رنگبری خمیر ارائه شده است. انعکاس نور از فیلتر شیشه‌ای R457 که نور را در دامنه طیف ۴۰۰ تا ۵۰۰ نانومتر قرار می‌دهد، عبور می‌کند. برای اسپتروفوتومتر، درجه روشنی با اضافه کردن و

1- International Organization for Standardization (ISO)
2- Spectrophotometer
3- TAPPI
4- Photoelectric Cell



شکل ۲ - فضای رنگی CIE L*a*b*

شده ز باشد، میزان انعکاس R توسط رابطه ۵ به دست می‌آید. پس از محاسبات انجام شده بر روی این رابطه به این نتیجه رسیدند که ضخامت کاغذ یا ماده بسته‌بندی‌کننده تأثیری در میزان انعکاس نور ندارد. بنابراین مقدار انعکاس با افزایش ضخامت تغییر نمی‌کند.

$$R = \frac{J}{I} \quad (\text{رابطه ۵})$$

۹- نتیجه گیری

کاغذ و مقوا بهترین و اصلی‌ترین مواد بسته‌کننده زیست تخریب‌پذیر و تجدیدپذیر در جهان است و ضمن شرایط مطلوب، حفظ ماده غذایی یا بهداشتی از نظر زیست محیطی نیز مورد توجه جهان است. تعیین خواص نوری در کاغذ و سایر مواد بسته‌بندی به کیفیت ظاهری و چاپ کمک می‌کند. علاوه بر خواص فیزیکی و مکانیکی، خواص نوری و رنگ بسته‌بندی اهمیت ویژه‌ای دارد. مواد بسته‌بندی به وسیله چاپ و کیفیت ظاهری مقایسه می‌شود. با توجه به سلیقه مشتریان، فروش کاغذ و مواد بسته‌بندی، به چاپ و خواص نوری آن وابسته است. خواص نوری کاغذ بسته‌بندی شامل رنگ، درجه روشنی، ماتنی و جلا است. نوع رنگ و شفاف بودن در بسیاری از مواد بسته‌بندی متفاوت است به طور مثال رنگ و میزان عبور رنگ در بسته‌بندی گوشت، پنیر و مایعات در مدت نگهداری این مواد مؤثر است. حتی امکان ارتقاء خواص محافظتی این مواد در مقابل شرایط جوی از طریق پوشش‌های چاپ شده وجود دارد و برای بهبود کارایی ممانعتی مواد بسته‌بندی، جوهرهای جدیدی بررسی شده‌اند [۱۹]. بنابراین شناخت و تعیین خواص نوری کاغذ از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بهبود شرایط رنگ و ظاهر بسته‌بندی به ارتقاء کیفیت عملیات بسته‌بندی مواد کمک شایانی می‌کند. آشنایی و انجام آزمون‌های استاندارد درجه روشنی رنگ در افزایش کیفیت بسته‌بندی در صنایع غذایی، چاپ و بسته‌بندی کشور ضروری است. ارتقاء کیفیت چاپ و بسته‌بندی به فروش داخلی و صادرات کالا کمک می‌کند.

برای تعیین مقاومت به سایش در نمونه‌های چاپ شده مقادیر L, a و b در هر نمونه چاپ شده قبل و بعد از سایش اندازه‌گیری خواهند شد. تفاوت این شاخص‌ها، نشان‌دهنده تغییر رنگ در اثر سایش است. چگالی رنگ به‌عنوان معیاری از سنجش مقدار مرکب اعمال شده است. همچنین تغییر رنگ از طریق رابطه ΔE محاسبه می‌شود، که نشان‌دهنده اختلاف رنگ ایجاد شده در اثر چاپ است (رابطه ۴). از این رابطه می‌توان برای تفسیر تغییر رنگ ایجاد در اثر سایش و مرکب‌دوانی نیز استفاده کرد.

$$\Delta E^* = [\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}]^{1/2} \quad (\text{رابطه ۴})$$

۸- تئوری کوبلکا - مونک

تئوری کوبلکا - مونک^۱ که بر اساس مقدار پخش نور و مقدار جذب نور بنا شده است نقش مهمی در زمینه خواص نوری کاغذ دارد. این تئوری می‌تواند برای محاسبه تأثیر مواد مختلف روی خواص نوری کاغذ به کار رود. مشتق‌گیری معادلات اولیه روابط بین عامل انعکاس و ضرایب پخش و جذب نور را مشخص می‌نماید. معادله کوبلکا- مونک هنوز موقعیت ویژه‌ای نه تنها در خواص نوری کاغذ دارد، بلکه در صنایع رنگ و یا برای محاسبه مخلوط رنگدانه‌های رنگی به طور گسترده به کار می‌رود. فرض کنیم که یک ورق کاغذ به ضخامت w روی بستری که دارای عامل انعکاس R_g است قرار گرفته است. اگر این ورق توسط نوری با شدت I روشن شود و اگر شدت نور منعکس

1-Kubelka - Munk Theory

- Progress in organic coatings, 73(1), 26-32.
11. Sixta, H. (2006). "Handbook of paper and board." Wiley-VCH Verlag GmbH and Co.KGaA.1369 pages.
 12. Shakespeare, T., & Shakespeare, J. (1999). "Problems in colour measurement of fluorescent paper grades." *Analytica chimica acta*, 380(2), 227-242.
 13. Hladnik, A. (2005). "Use of specialty pigments in high-end Ink-Jet paper coatings." *Journal of dispersion science and technology*, 25(4), 481-489.
 14. Biermann, C. J. (1996). "Handbook of pulping and papermaking." Academic press.
 15. Isbell, R. A., & Brewster, M. Q. (1998). "Optical properties of energetic materials: RDX, HMX, AP, NC/NG, and HTPB." *propellants, Explosives, pyrotechnics*, 23(4), 218-224.
 16. Zhang, H., He, Z., Ni, Y., Hu, H., & Zhou, Y. (2009). "Using optical brightening agents (OBA) for improving the optical properties of HYP-containing paper sheets." *Pulp and paper Canada*, 110(8), 20.
 17. Aksoy, B., Joyce, M. K., & Fleming, P. D. (2003, May). "Comparative study of brightness/whiteness using various analytical methods on coated papers containing colorants." In TAPPI Spring Technical Conf. & Trade Fair (pp. 12-15).
 18. Schanda, J. (Ed.). (2007). "Colorimetry: understanding the CIE system." John Wiley & Sons.
 19. Zvonkina, I. J., Gkoutara, P., Hilt, M., and Franz, M. (2014). "New printing inks with barrier performance for packaging applications: Design and investigation." *Progress in Organic Coatings*, 77(3), 646-656.
- آدرس نویسنده
گیلان- صومعه سرا- دانشکده فنی و حرفه‌ای
صومعه سرا- گروه صنایع چوب و کاغذ-
کد پستی ۸۷۳۷۳-۴۳۶۱۸.
1. دهقانی فیروزآبادی، م. اسدی خوانساری، ر. (۱۳۹۴). «ساخت و کاربرد ترکیبات جدید برای پوشش‌دهی کاغذ و مقوا در بسته‌بندی». مجله بسته‌بندی. سال ششم، (۲۴): ۴۰-۴۷.
 ۲. اسدی خوانساری، ر. دهقانی فیروزآبادی، م. (۱۳۹۲). «معرفی مواد کاغذی و مقوایی نوین در بسته‌بندی محصولات صنایع غذایی»، فصلنامه علوم و فنون بسته‌بندی، سال چهارم شماره ۱۶. ۵۷-۴۶.
 ۳. میرشکرایی، س.ا.، (۱۳۸۱). «فرهنگ اصطلاحات فن آوری خمیر و کاغذ»، آبیژ، ۴۲۰ صفحه.
 ۴. اسموک، گ.، (۱۹۹۲). میرشکرایی، س. (۱۳۸۷). «فناوری خمیر و کاغذ (ترجمه)»، تهران: انتشارات آبیژ، ۵۰۲ صفحه.
 5. Borch, J., Lyne, M. B., Mark, R. E., Habeger Jr, C. C., Press, T., Wilde, A., ... & Ring, G. J. F. (2004). "Packaging, Recycling and Printing: Packa-ging Grades; Papermaking: Paper grades; paper raw materials and technology; Paperboard grades." *The History of paper and papermaking; Tissue grades. Pulping: chemical pulping; Mechanical pulping.*
 6. Tambe, C., Graiver, D., and Narayan, R. (2016). "Moisture resistance coating of packaging paper from biobased silylated soybean oil." *Progress in organic coatings*, 101, 270-278.
 7. Bradley, E. L., Castle, L., & Chaudhry, Q. (2011). "Applications of nanomaterials in food packaging with a consideration of opportunities for developing countries." *Trends in food science & technology*, 22(11), 604-610.
 8. Lavoine, N., Desloges, I., & Bras, J. (2014). "Microfibrillated cellulose coatings as new release systems for active packaging." *Carbohydrate polymers*, 103, 528-537.
 9. Chaudhry, Q., Scotter, M., Blackburn, J., Ross, B., Boxall, A., Castle, L., ...& Watkins, R. (2008). "Applications and implications of nanotechnologies for the food sector." *Food additives and contaminants*, 25(3), 241-258.
 10. Bollström, R., Tuominen, M., Määttänen, A., Peltonen, J., and Toivakka, M. (2012). "Top layer coatability on barrier coatings."