

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده نساجی

اندازه گیری جلای منسوجات با استفاده از پردازش تصویر و تجزیه و تحلیل فازی

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی نساجی-تکنولوژی نساجی

مهدی حاجیان فر

استادان راهنما

دکتر محمد شیخ زاده

دکتر داریوش سمنانی



دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده نساجی

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته تکنولوژی نساجی آقای مهدی حاجیان فر

تحت عنوان

اندازه گیری جلای منسوجات با استفاده از پردازش تصویر و تجزیه و تحلیل فازی

در تاریخ ۱۳۸۷/۱/۲۸ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

- | | |
|----------------------|-------------------------------|
| دکتر محمد شیخ زاده | ۱- استاد راهنمای پایان نامه |
| دکتر داریوش سمنانی | ۲- استاد راهنمای پایان نامه |
| دکتر عبدالکریم حسینی | ۳- استاد داور |
| دکتر مسعود لطیفی | ۴- استاد داور |
| دکتر محمد مرشد | سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده |

تشکر و قدردانی

سپاس فراوان خداوندی که فطرت انسان را چنان پاک آفرید که توفیق بندگی و عبودیت را داشته باشد، خداوندی که همیشه مرا مورد لطف و عنایت خود قرار داده و در سختی های زندگی مرا یاری و به من صبر عطا نمود.

تشکر و سپاس فراوان از اساتید راهنما جناب آقای دکتر محمد شیخ زاده و جناب آقای دکتر داریوش سمغانی که افتخار همکاری با ایشان در این پروژه را داشتم، اساتید بزرگواری که خالصانه وقت و علوم گهربارشان را در اختیار من قرار دادند.

همچنین از جناب آقای دکتر حسینی، جناب آقای دکتر لطیفی اساتید داور و جناب آقای دکتر ذره بینی، جناب آقای دکتر قره آغاجی، جناب آقای دکتر قانع، جناب آقای دکتر مرشد و تمامی اساتید محترم دانشکده نساجی دانشگاه صنعتی اصفهان که در طول این مدت از محضرشان استفاده نمودم تشکر و قدردانی می نمایم.

در پایان از تمامی دوستان عزیز که افتخار دوستی با ایشان را داشته ام بویژه آقایان مهندس فرهاد جاوید، مهندس پدram رضازاده و همچنین از برادران عزیزم که در طول این مدت زحمات فراوان برای اینجانب کشیده اند، صمیمانه تشکر و قدردانی می نمایم.

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج
مطالعات، ابتکارات و نوآوری های ناشی از
تحقیق موضوع این رساله متعلق به
دانشگاه صنعتی اصفهان است.

تقديم به

همسر عزیز و مهربانم

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
هشت	فهرست مطالب
۱	چکیده
۲	فصل اول : مقدمه و مروری بر تحقیقات پیشین
۲	۱-۱ مقدمه
۵	۱-۲ مبانی فیزیک نور
۵	۱-۲-۱ انعکاس، شکست و پلاریزه شدن نور
۱۳	۱-۲-۲ پراش و تفرق نور
۱۴	۱-۳ اندازه گیری جلا
۱۵	۱-۳-۱ جلا یالیاف
۲۲	۱-۳-۲ جلا ی نخ
۲۳	۱-۳-۳ جلا ی پارچه
۳۰	۱-۳-۴ جلا ی فرش
۳۸	فصل دوم : تئوری و روش اندازه گیری
۳۸	۱-۲ دستگاه اندازه گیری جلا
۴۱	۱-۲-۲ پردازش تصویر
۴۱	۱-۲-۲-۱ مدل ساده تصویر
۴۲	۱-۲-۲-۲ مبانی رنگ
۴۳	۱-۲-۲-۳ پردازش رنگی تصاویر و مدل های رنگی مختلف
۴۸	۱-۲-۲-۴ پردازش تصاویر نمونه ها
۵۲	۱-۲-۳ منطق فازی
۵۳	۱-۲-۳-۱ مجموعه های فازی و توابع عضویت

۵۵	۲-۳-۲ پایگاه قواعد فازی
۵۵	۲-۳-۳ موتور استنتاج فازی
۵۵	۲-۳-۴ فازی سازی و غیر فازی سازی
۵۷	۲-۳-۵ دسته بندی شاخص جلا با استفاده از منطق فازی
۵۹	۲-۴ نمونه های مورد استفاده
۶۱	۲-۵ ارزیابی نمونه ها توسط قضاوت کنندگان
۶۲	فصل سوم : تجزیه و تحلیل نتایج
۶۲	۳-۱ مقدمه
۶۳	۳-۲ نتایج شاخص جلا و تجزیه و تحلیل با استفاده از بینایی انسان
۶۶	۳-۳ نتایج درجه بندی فازی جلا و تجزیه و تحلیل نتایج نهایی
۷۰	فصل چهارم : نتیجه گیری کلی و پیشنهادات
۷۰	۴-۱ نتیجه گیری نهایی
۷۳	۴-۲ پیشنهادات
۷۴	مراجع
I	پیوست
I	تصاویر هیستوگرام نمونه پارچه ها و منحنی فوریه آنها
XVI	تابع imlust مورد استفاده در نرم افزار MATLAB برای استخراج شاخص
XX	برنامه مورد استفاده برای دسته بندی شاخص

چکیده

ارزش اقتصادی پارچه های مختلف بستگی به ارزیابی مصرف کننده از آن پارچه دارد که براقیت و جلای پارچه مربوط در این ارزیابی تاثیر گذار است، این موضوع در مورد پارچه های مصرفی در مصارف خانگی و پوشاک اهمیت بیشتری دارد. جلا، نشان دادن شدت های نور بازتاب شده در هر دو بخش انعکاس آینه ای و پراکنده از قسمت های مختلف سطحی است که در معرض یک نوع نور قرار می گیرد. با توجه به تعریف فوق وسایل و ابزار متعددی برای اندازه گیری جلا و براقیت طراحی شده است که بعضی از آنها خصوصاً برای منسوجات طراحی شده اند. در تمامی روش های اندازه گیری جلا بصورت عددی، از نسبت بازتاب آینه ای در یک زاویه خاص به بازتاب پراکنده در زاویه ای دیگر استفاده شده، که یک دید کلی از جلای سطح ارائه نمی کند، همچنین این روش ها سطح را در زوایای خاص بررسی می نمایند.

در این تحقیق، از کل پارچه در شرایط ثابت روشنایی برای نمونه های مختلف پارچه مورد مصرف معمول در پوشاک، در جهات مختلف دید، عکس برداری و لومینانس تصاویر گرفته شده استخراج و با استفاده از تکنیک های پردازش تصویر آنالیز و شاخصی برای جلای پارچه بدست آورده شده است. در مرحله بعدی نمونه پارچه ها با نظر پنج نفر از افراد گروه های مختلف، در شش دسته از بسیار کدر تا بسیار روشن دسته بندی شد و با استفاده از منطق فازی شاخص بدست آمده نیز به این شش دسته تقسیم بندی گردید، و دسته های فازی بر اساس بینایی انسانی اصلاح گردید. نتایج بدست آمده از روش بینایی رایانه ای و بینایی انسانی تطابق قابل قبولی تا حد ۹۹ درصد دارد که نشان دهنده تطابق بالای روش ارائه شده در این تحقیق با بینایی و قضاوت انسانی از جلا می باشد.

فصل اول

مقدمه و مروری بر تحقیقات پیشین

۱ - ۱ مقدمه

یکی از ویژگی‌های مهم منسوجات ظاهر آنها می‌باشد که یکی از خواص ظاهری منسوج جلائی آن می‌باشد. ارزش اقتصادی پارچه‌های مختلف بستگی به ارزیابی مصرف‌کننده از آن پارچه دارد که برایت و جلائی پارچه مربوط در این ارزیابی تاثیر گذار است، این موضوع در مورد پارچه‌های مصرفی در مصارف خانگی و پوشاک اهمیت بیشتری دارد. برای الیاف طبیعی مانند پنبه، روش‌هایی برای افزایش جلائی آنها که نشانه مرغوبیت بیشتر است به کار می‌رود، در حالی که در مورد الیاف مصنوعی ممکن است از روش‌ها یا عوامل شیمیایی برای کاهش جلائی آنها استفاده شود. در بعضی از موارد به دلیل نقش تعیین‌کننده جلا در مد، جلا از خواصی مانند قابلیت شستشو، اتو پذیری و خواص گرمایی مهم‌تر می‌باشد.

در مقالاتی که در زمینه فیزیک نساجی منتشر گردیده بین خواص پارچه و نخ و الیاف به ارتباط و وابستگی های زیادی اشاره شده، که اغلب به خواص مکانیکی و هندسی مربوط می شوند. ولی پارامترهایی مثل طول الیاف، ظرافت، سطح مقطع و غیره، همچنین مسائل مربوط به جلا که در لباس بسیار مهم می باشد مورد توجه کمی قرار گرفته است.

مطالعات بر روی مطالب منتشر شده در این زمینه مشخص می کند که شدت نور بازتاب شده از روی سطح که تعیین کننده ظاهر سطح می باشد به مقدار زیادی بستگی به زبری و ناهمواری های سطح بستگی دارد که هنوز مقدار آن ناشناخته مانده است. در صورتی که زمینه های تجربی و تئوری از طرح پارچه در دسترس باشد برای یک انعکاس مشخص، تعیین ویژگی های پارچه امکان پذیر می باشد. در زبان روزمره و همچنین مقالات علمی اصطلاحات زیادی برای توصیف ویژگی های انعکاس نور از سطح به کار می روند که از آن جمله می توان به وضوح^۱، براقیت^۲، تاللو^۳، برق زدگی^۴، برق^۵ درخشندگی^۶، شید^۷ و غیره اشاره کرد. تمامی این اصطلاحات دارای معانی خاص خود می باشند ولی بعضی از این واژه ها با معانی فیزیکی خاص تعریف می شوند. ASTM [۱] جلا یا وضوح براقیت را به این صورت تعریف می کند: « جلا، از خصوصیات ظاهری سطح است که میزان انعکاس نور در بعضی از جهات نسبت به دیگر جهات می باشد، ولی مانند براقی نیست که تصویر واضح آینه ای تشکیل دهد.» براقیت در ASTM دارای تعریف دیگری است که به این صورت می باشد: « براقی، میزان انعکاس منظم یا آینه ای نور تابیده شده بر سطح در یک زاویه تابش انتخابی که ممکن است تصویر اشیاء بر روی سطح تشکیل شود، می باشد.»

سایر اصطلاحات ذکر شده برای مشخص کردن ویژگی های دیگر توزیع شدت نور منعکس شده از سطح برای مشخص نمودن بیشتر منسوج می باشد. انستیتوی نساجی [۲] جلا را به این صورت تعریف می کند: « جلا، نشان دادن شدت های نور بازتاب شده در هر دو بخش انعکاس آینه ای و پراکنده از قسمت های مختلف سطحی است که در معرض یک نوع نور قرار می گیرد، می باشد. اندازه گیری علمی جلا به وسیله شدت نور منعکس شده از یک زاویه خاص تابش انجام می شود.»

باید تفاوت تعریف هایی که از جلا در بالا ذکر گردید را در نظر گرفت. این تعاریف اندازه گیری جلای فیزیکی یا بصری را توصیف می کند. این خواص فیزیکی سطح که بوسیله اصطلاح جلا مشخص می گردد، ممکن است از

¹ Clear
² Gloss
³ Glitter
⁴ Glisten
⁵ Sparkle
⁶ Shine
⁷ Shading

موضوع جلا که بوسیله ذهن اشخاص درک می شود، تفاوت داشته باشد. اساس قضاوت در مورد جلا بر پایه ترکیب ذهنی احساسات بصری است. سطح مورد نظر نه تنها در زاویه بازتاب آینه ای بلکه در زوایای دیگر هم بررسی می شود. پیش بینی و قضاوت در مورد جلا تنها بر پایه یک محرک فیزیکی نمی تواند باشد بلکه مسائل روانی و فیزیولوژی هم باید مد نظر قرار گرفته شود.

هریسون^۱ [۳] و پرستون^۲ [۴] دو نوع جلا را در نظر گرفتند که جلای یک چشمی^۳ و دو چشمی^۴ یا استریوسکوپیک^۵ می باشند. جلای یک چشمی که بطور طبیعی دینامیک است به تغییرات سریع دید از درخشندگی یک سطح بستگی دارد و بوسیله تغییر مکان موقعیت مشاهده گر یا سطح ایجاد می شود. جلای دو چشمی توسط تفاوت درخشندگی سطح از دو چشم کاوشگر ایجاد می گردد، که حالت استاتیک و ثابت دارد و منجر به تباین همزمان استریوسکوپیک می شود. به دلیل وجود انواع مختلف سطوح و بافت ها، بین انواع مختلف جلا مانند براقیت آینه ای، درخشندگی، زیبایی و آینه ای بودن، هانتر^۶ تمایز قائل شد [۵].

همانگونه که اشاره شد مشکلات زیادی در تعریف، اندازه گیری و سرانجام طراحی منسوجات با جلای بالا و یا مات وجود دارد. جلا و اندازه گیری آن موضوع بسیاری از تحقیقات در هر دو زمینه تئوری و عملی بوده است. انواع سطوح مختلف و بسیاری از روش ها برای اندازه گیری و برآورد جلا بکار رفته ولی هنوز کمبود های اطلاعاتی در زمینه اندازه گیری، بررسی و فرمولاسیون و سرانجام طراح پارچه ها با جلای بالا یا مات وجود دارد. در مقالات مربوط به اندازه گیری جلا کارهای محققان زیادی جمع آوری شده است و سالیان متمادی به این موضوع پرداخته شده است [۳].

وسایل تجاری مانند گلاریمتر^۷ و گلوسیمتر^۸ برای برآورد انعکاس نور از سطوح استفاده شده است [۶]. در صنایع رنگ اندازه گیری جلا توسط مقایسه با جلای استاندارد که مقادیر عددی آن مشخص نشده انجام می پذیرد [۷]. اطلاعات کمی درباره انعکاس نور از سطوح پلیمری در دسترس است و غالباً توسط صیقل دادن سطحی که برای تکمیل استفاده می شود یا مذاب، سطح پلاستیک تولید شده بهبود می یابد [۸]. تاثیر توزیع وزن مولکولی پلیمر نیز بر روی جلا گزارش شده است و مشخص گردیده که توزیع وزن مولکولی وسیع جلای بالا ایجاد می کند [۹].

¹ Harrison

² Preston

³ Monocular

⁴ Binocular

⁵ Stereoscopic

⁶ Hunter

⁷ Glarimeter

⁸ Glossimeter

۱-۲ مبانی فیزیک نور

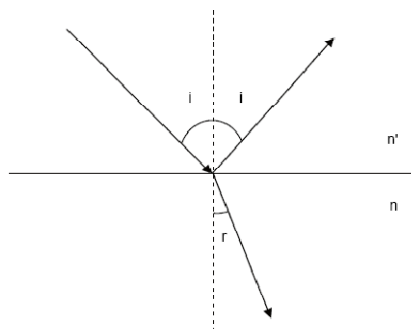
مقالات منتشر شده در زمینه توصیف و اندازه گیری جلای سطح منسوجات بر پایه اصول و خواص نوری و اپتیکی مانند انعکاس، شکست، پراش و پلاریزه شدن نور استوار است. این موضوعات توسط روابط تئوری و امواج الکترو مغناطیس نور توصیف می شود [۱۰ و ۱۱].

۱-۲-۱ انعکاس، شکست و پلاریزه شدن نور

وقتی که نور یا موج به یک سطح که از نظر شاخص انکسار یعنی سرعت عبور متفاوت می باشد یک بخشی از نور به صورت نور بازتابی ظاهر می شود. در صورت ناصاف بودن سطح، انعکاس نور نامنظم خواهد بود. به منظور ایجاد انعکاس منظم باید ناصافی ها و بی نظمی های سطح باید در مقایسه با طول موج نور کوچک باشد. قانون انعکاس منظم نور بیان می کند که زاویه نور تابیده شده و بازتاب شده با هم برابرند [۱۰]. اشعه تابش شده و بازتاب شده خط عمود بر سطح و خط عمود بر سطح در یک نقطه در شکل ۱ نشان داده شده است.

وقتی که شعاع نور بازتاب می شود، شعاع تابشی، خط عمود بر سطح و شعاع بازتابی همگی در یک صفحه قرار دارند. بین زاویه تابش i و زاویه شکست r و ضرایب شکست محیط ها یعنی n و n' معادله ۱ برقرار است.

$$n' \sin i = n \sin r \quad (1)$$



شکل ۱: زاویه تابش و بازتاب نور و زاویه شکست آن [۱۰]

یکی از مواردی که از قانون اسنل^۱ بدست می آید انعکاس داخلی است، به این صورت که اگر نور از یک محیط متراکم تر به محیطی با تراکم کمتر با زاویه برخوردی بزرگتر از یک زاویه بحرانی حرکت کند، اشعه برخورد کننده از آن محیط متراکم خارج نمی شود و کلاً برگشت داده می شود. در مورد محیط لیف - هوا زاویه برخورد ۳۹ تا ۴۱

¹ Snell

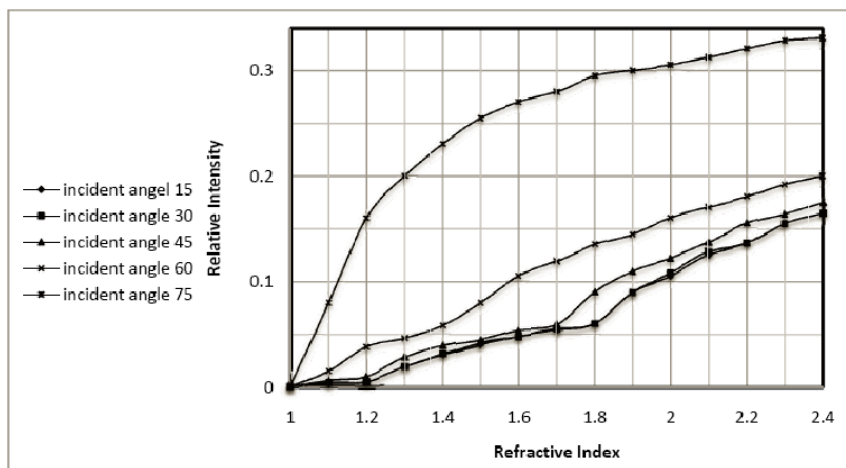
درجه برای ضریب شکست ۱/۵ تا ۱/۶ خواهد بود ($i = \sin^{-1}(\frac{1}{n})$). این به این معنی است که برای داشتن انعکاس کلی برای یک پرتو شکست داده شده، زاویه برخورد پرتو تابیده شده بر روی الیاف سیلندری باید بیشتر از ۹۰ درجه باشد. اما اگر نور از انتهای لیف وارد شود و یا موج در لیف با یک هندسه خاص وجود داشته باشد، نور ممکن است کاملاً و بطور کل در داخل لیف بازتاب شود. بنابراین در نقاطی که زاویه تابش کمتر از زاویه بحرانی باشد نور از لیف بیرون می آید که در این مورد انتظار می رود که نقاط براق و درخشنده بینیم. فرسنل^۱ [۱۱] بر پایه تئوری جامد - الاستیک^۲ یک معادله برای مواد دی الکتریک ایزوتروپیک^۳ نتیجه ارائه نمود، که در این معادله ارتباط بین نسبت انعکاس (نسبت میزان نور بازتاب شده به مقدار نور تابشی) و زاویه تابش و شکست بیان گردید که به صورت زیر می باشد.

$$Ps = \frac{\sin^2(i-r)}{\sin^2(i+r)} \quad (2)$$

$$Pp = \frac{\tan^2(i-r)}{\tan^2(i+r)} \quad (3)$$

در معادلات فوق Ps و Pp به ترتیب انعکاس برای نور پلاریزه شده عمودی و موازی می باشد. برای نور غیر پلاریزه معادله ۴ نتیجه می شود. بازتاب به ساختار شیمیایی مواد که ضریب شکست آنها را تغییر می دهد بستگی دارد که در شکل ۲ تاثیر ضریب شکست بر نسبت شدت نور بازتابی به تابشی نشان داده شده است.

$$P = \frac{1}{2}(Ps + Pp) \quad (4)$$



شکل ۲: تاثیر تغییرات در ضریب شکست بر روی نسبت شدت نور برای ضریب شکست ۱ تا ۲/۴ [۱۰]

¹ Fresnel

² Elastic – Solid Theory

³ Isotropic

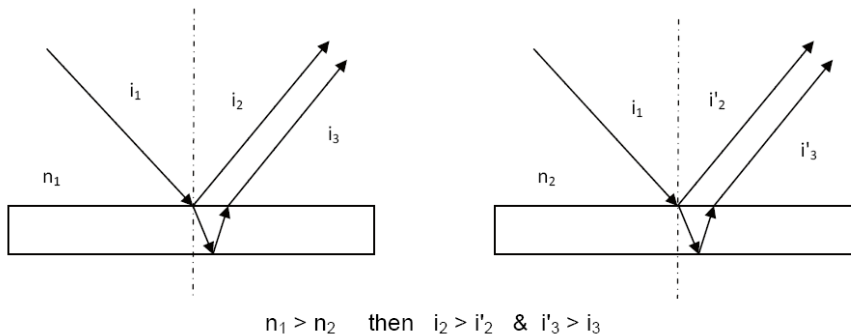
اگر دامنه نور پلاریزه بازتاب شده عمودی و موازی به ترتیب با $E's$ و $E'p$ و دامنه نور پلاریزه تابش شده عمودی و موازی با Es و Ep نشان داده شود، نسبت دامنه نور بازتاب شده به تابش شده با معادلات زیر بیان می شود.

$$\frac{E's}{Es} = \frac{2 \sin r \cos i}{\sin(i+r)} \quad (5)$$

$$\frac{E'p}{Ep} = \frac{2 \sin r \cos i}{\sin(i+r) \cos(i-r)} \quad (6)$$

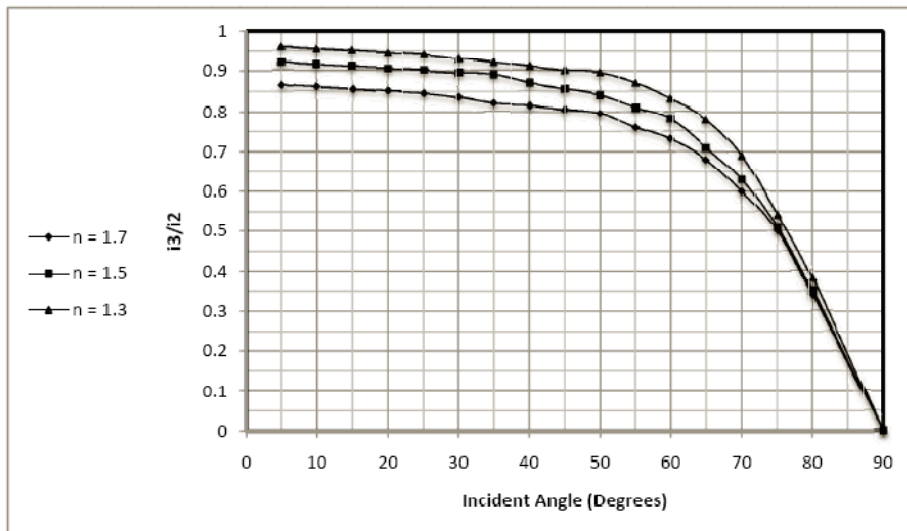
قانون بقای انرژی توسط معادله ۷ برای هر دو نوع نور پلاریزه عمودی و موازی استفاده می شود. شکل ۳ از قانون اسنل و روابط فرسنتل یعنی معادلات ۱ تا ۴، بیان کننده تاثیر ضریب شکست مواد بر روی بازتاب می باشد. موادی که ضریب شکست بالا دارند، مانند الماس ($n = ۲/۴$) در یک زاویه تابش مشخص دارای انعکاس بیشتری نسبت به الیاف می باشند (n برای پنبه در حدود $۱/۵۵$ است). این تغییر در ضریب انعکاس مربوط به تغییر در ضریب شکست از $۱/۵۵$ به $۲/۴$ می باشد که در یک زاویه تابش ۳۰ درجه از ۵ تا ۱۶ درصد تغییر می کند.

$$P^2 + n \left(\frac{E'}{E} \right) \left(\frac{\cos r}{\cos i} \right) = 1 \quad (7)$$



شکل ۳: بازتاب از یک فیلم شفاف

برای مواد شفاف معادلات فرسنتل و بقای انرژی نشان می دهند که بازتاب از سطح داخلی برای مواد با ضریب شکست پایین بیشتر از مواد شفافی است که ضریب شکست بالاتری دارند این مقایسه در شکل ۳ نشان داده شده است. شکل ۴ نسبت های گوناگون شدت نور بازتاب شده از سطح داخلی به شدت نور بازتاب شده از سطح خارجی یعنی $i3/i2$ که در شکل ۳ نشان داده شدند، را نشان می دهد. این شکل مشخص می کند که بازتاب از سطح داخلی به زاویه تابش بستگی دارد و با افزایش ضریب شکست مواد تاثیر بازتاب از سطح داخلی کاهش می یابد.

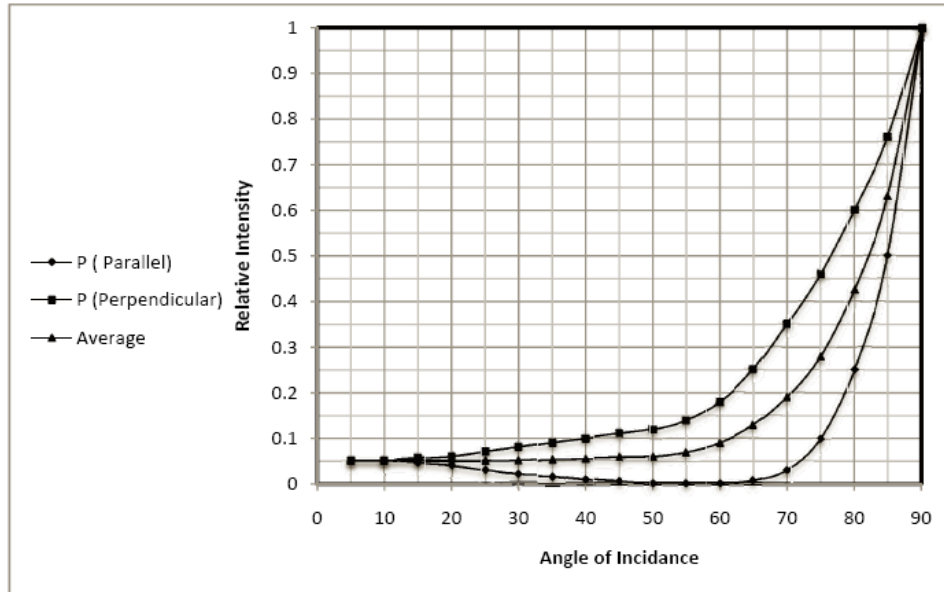


شکل ۴: رابطه بین نسبت انعکاس داخلی به انعکاس خارجی و ضریب شکست مواد [۱۱]

شکل ۵ برای نشان دادن تاثیر زاویه تابش بر روی انعکاس با استفاده از معادلات ۱ تا ۴ رسم گردیده، همانگونه که مشاهده می شود در زاویه تابش صفر درجه (هنگامی که زاویه تابش عمود بر سطح است) فقط حدود ۴ درصد از نور بازتاب می شود. شدت نور بازتاب شده در زاویه ۶۰ درجه به بالا به سرعت افزایش می یابد که در نهایت در زاویه گریزینگ^۱ تمامی نور بازتاب می شود. مقایسه بین انعکاس الیاف مختلف مشخص می کند که دی استات دارای ضریب شکست متوسط ۱/۴۷۳ و تریلن پلی استر دارای ضریب شکست متوسط ۱/۶۳۱ می باشند که به ترتیب ماکزیمم و مینیمم مقداری می باشند که در لیست مورتون^۲ قرار دارند [۱۲]. در زاویه تابش صفر درجه این دو لیف به ترتیب دارای ۳/۷ و ۵/۷ درصد بازتاب می باشند. این مقادیر از معادله فرسنل محاسبه شده اند که به این مفهوم است که بدون در نظر گرفتن ناصافی سطح، آلودگی هوا و مواد مات کننده در یک شرایط یکسان الیاف پلی استر باید جلای بیشتر و الیاف دی استات دارای جلای کمتری می باشند.

¹ Grazing Angle

² Morton



شکل ۵: رابطه بین زاویه تابش و شدت نور بازتاب شده [۱۱]

برای $i+r = 90^\circ$ در معادله ۲ مقدار P_p برابر صفر می شود که به این مفهوم است که نور منعکس شده پلاریزه می باشد و بنابراین $P_s = \sin(i-r)$ می شود. با بکار بردن شرایط ذکر شده در قانون اسنل زاویه نور تابش شده وقتی که نور منعکس شده پلاریزه باشد بدست می آید که همان قانون بریستر^۱ می باشد.

$$n \sin(i_p) = n' \sin(90 - i_p)$$

$$\tan(i_p) = \frac{n'}{n} \quad (8)$$

$$i_p = \tan^{-1}\left(\frac{n'}{n}\right)$$

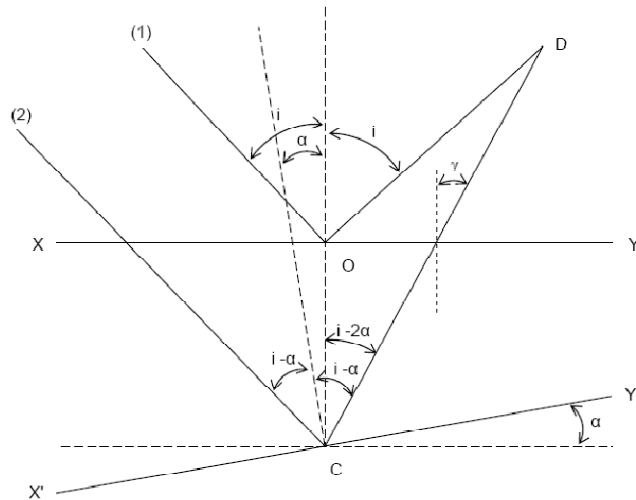
برای الیاف که دارای ضریب شکست $1/47$ تا $1/58$ می باشند مقدار i_p برابر 56° تا 58° درجه می باشد. در حقیقت یکی از ابتدایی ترین روش ها برای اندازه گیری جلا بر اساس این خاصیت توسط اینگرسول^۲ طراحی شد [۱۳]. نور از یک منبع بر روی سطح کاغذ در زاویه $\tan^{-1} n$ که برای کاغذ حدود $57/5^\circ$ درجه است تابانده می شود، بخشی از این نور که به صورت پراکنده بازتاب می شود (غیر پلاریزه) و بخشی به صورت موازی و آینه ای که به صورت صفحه ای پلاریزه شده است. وسیله مورد نظر، براقت را بر حسب شکست نور بازتاب شده آینه ای و موازی (پلاریزه شده) اندازه گیری می کند.

در شکل ۶ دو پرتو نور ۱ و ۲ که به یک صفحه افقی XY و صفحه دیگر $X'Y'$ که یک زاویه α یا صفحه XY دارد، برخورد می کنند، نشان داده شده است. بر طبق قانون انعکاس، زاویه انعکاس برای صفحه XY و $X'Y'$ برای پرتوهای ۱

¹ Brewster

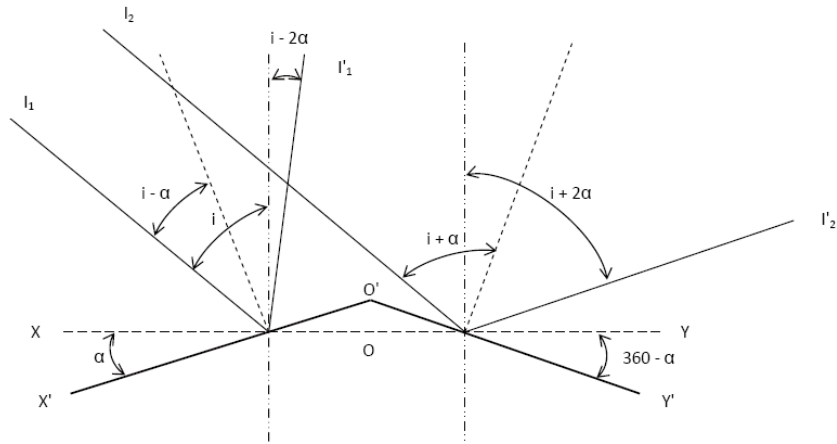
² Ingersoll

و ۲ به ترتیب باید برابر i و $i-\alpha$ باشد. زاویه انعکاس در مورد پرتو ۲ اگر نسبت به صفحه افقی اندازه گیری شود برابر γ یا $i-2\alpha$ می باشد. این به این مفهوم است که اگر سطح منعکس کننده نمونه موازی با صفحه فرضی که زاویه برخورد اندازه گیری می شود، نباشد، زاویه بازتاب (که بر اساس صفحه فرضی اندازه گیری می شود) برابر با مقدار تئوری زاویه بازتاب نمی باشد. توضیحات بالا در مورد حالت دو بعدی اعتبار دارد و در حالت سه بعدی صفحه برخورد تغییر می کند.



شکل ۶: تاثیر کجی و انحراف سطح برخورد در هنگام برخورد نور بر روی زاویه بازتاب اندازه گیری شده

در شکل ۷ دو پرتو I_1 و I_2 که بر روی دو صفحه $X'O'$ و $Y'O'$ به صورت موازی برخورد می کنند، نشان داده شده است، صفحه $X'O'$ با زاویه α و صفحه $Y'O'$ با زاویه $360-\alpha$ نسبت به صفحه افقی فرضی XY قرار دارند. زاویه برخورد پرتو با صفحه فرضی i و با دو صفحه $X'O'$ و $Y'O'$ به ترتیب $i-\alpha$ و $i+\alpha$ می باشد. بر اساس قانون بازتاب زاویه انعکاس نسبت به صفحه فرضی افقی XY باید برابر $i-2\alpha$ برای پرتو I_1 و $i+2\alpha$ برای پرتو I_2 باشد. معادله فرسnel (همانطور که در شکل ۵ نشان داده شده است) نشان می دهد که بازتاب به زاویه تابش بستگی دارد و برای زاویه تابش بالاتر، شدت نور بیشتری بازتاب می شود بنابراین I_2 همیشه باید بزرگتر از I_1 باشد. این به این مفهوم است که اگر شدت نور بازتاب شده در صفحات برخورد در زوایای مختلف نسبت به صفحه افقی XY ثبت شود، ماکزیمم شدت در زاویه ای بزرگتر از زاویه انعکاس آینه ای صفحه فرضی می باشد.



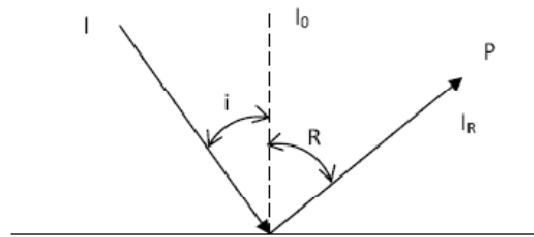
شکل ۷: تاثیر کجی و انحراف سطح در هنگام برخورد نور بر شدت نور بازتابی

اگر یک سطح به اندازه کافی ناصاف باشد نور را در تمامی جهات منعکس می کند. یک سطح کاملاً مات که نور را کاملاً پخش می کند در شرایط یکسان روشنایی از نظر درخشندگی در تمامی جهات یکسان دیده می شود. شدت نور در تمامی جهات با شدت پرتو تابش شده، کسینوس زاویه تابش و کسینوس زاویه دید متناسب است. با در نظر گرفتن شکل ۸، روشنایی در نقطه P از معادله زیر بدست می آید.

$$\left(\frac{cl}{d^2}\right) \cos i \sin r \quad (9)$$

در معادله ۹، C یک ثابت است که به درخشندگی سطح بستگی دارد و d فاصله از سطح می باشد و I نیز شدت پرتو تابیده شده است. اگر I₀ شدت تابش ساطع شده در جهت نرمال باشد، شدت ساطع شده در هر زاویه دیگر r برابر با I_r می باشد که از رابطه ۱۰ بدست می آید، که بعنوان قانون بازتاب پراکنده لامبرت^۱ شناخته می شود.

$$\begin{cases} I_0 = \left(\frac{cl}{d^2}\right) \cos i \\ I_r = I_0 \cos r \end{cases} \quad (10)$$



شکل ۸: سطح پراکنده کننده نور

¹ Lambert's Law of diffuse reflection

بسیاری از محققان تلاش نمودند که انعکاس از سطح مات و ناهموار و با براقیت کم را فرموله کنند [۳]. برای نشان دادن پیچیدگی‌ها و مشکلات تعداد کمی از این نتایج مورد بررسی قرار می‌گیرد. چینمایاناندام^۱ تئوری عمومی نور از یک سطح ایده آل ناصاف را فرموله نمود [۱۴]. یک سطح ایده آل ناصاف سطحی است که اجزای مختلف آن در عمق متفاوت بر طبق قانون‌های احتمال توزیع شده باشد. با در نظر گرفتن صفحه میانگین به عنوان مرجع، بر پایه تئوری موجی نور رابطه زیر بدست آمد.

$$I = e^{-\frac{(8\pi^2 \cos^2 \gamma)}{\alpha \lambda^2}} \quad (11)$$

در رابطه ۱۱، γ زاویه تابش یا برخورد نور بر حسب درجه، λ طول موج نور، I شدت نور بازتاب شده و α ثابتی است که به سطح بستگی دارد. ولی در بسیاری از زاویه‌های تابش نور معادله بالا از نظر علمی رد شد بنابراین یک فرمول تجربی و عملی که دارای ثابت‌های بیشتری می‌باشد ایجاد گردید. در بررسی‌های تئوری درخشندگی سطح برف، میدلتون^۲ و مانگال^۳ یک معادله قابل توجه بدست آوردند [۱۵]، که شکل ساده شده آن به صورت زیر می‌باشد.

$$B = F_1 F_2 F_3 + B_0 \cos p \quad (12)$$

در معادله ۱۲، B درخشندگی کلی سطح برف، F_1 تابعی است که به آرایش یافتگی و هندسه سطوح ذرات برف بستگی دارد، F_2 اصلاحاتی است که به خاطر معادله فرسنگل اعمال می‌شود که به زاویه تابش و ضریب شکست بستگی دارد، F_3 اثر مانع شدن^۴ سطوح ذرات همجوار برف را نشان می‌دهد و $B_0 \cos p$ هم مولفه پراکنده کننده نور بازتاب شده می‌باشد که فقط به کسینوس زاویه برخورد بستگی دارد. بارکاس^۵ در بررسی نور متفرق شده از سطحی با جلا و براقیت کم فرض نمود که سطحی که دارای براقیت کم است شامل اجزای صفحه‌ای کوچک می‌باشد که در زوایای مختلف نسبت به صفحه میانگین قرار گرفته‌اند [۱۶]. سطوح کوچک مذکور به دو دسته تقسیم می‌شوند، دسته اول بخشی از جریان تابش شده را بر طبق قانون لامبرت پراکنده می‌کنند و دسته دیگر انعکاس در زاویه منظم و آینه‌ای دارند. بر اساس این فرضیات جریان نور ساطع شده به دو بخش آینه‌ای و پراکنده تقسیم می‌شود. این مطالعات تئوری و عملی نشان می‌دهند که انعکاس نور از یک سطح نیمه براق از سه جهت باید بررسی و مورد توجه قرار گیرد [۱۴ و ۱۵ و ۱۶] که عبارتند از:

¹ Chinmayanandam

² Middleton

³ Mungall

⁴ Effects of Masking

⁵ Barkas