بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه علوم کشاورزی و منابع‌طبیعی گرگان

دانشکده جنگلداری و فناوری چوب

پایان‌نامه جهت دریافت درجه کارشناسی‌ارشد (M.Sc.) در رشته مهندسی علوم و صنایع چوب و کاغذ (گرایش حفاظت و اصلاح چوب)

بررسی مقاومت به هوازدگی چوب صنوبر اشباع شده با نانو دی اکسید تیتانیم

پژوهش و نگارش:
یونس محمدنیا افروزی

استاد راهنما:
اصغر امیدوار

اساتید مشاور:
محمدرضا ماستری فراهانی
محراب مدهوشی

زمستان1390

چکیده

در این تحقیق میزان مقاومت به هوازدگی نمونه های برون چوب صنوبر دلتوئیدس (*Populus Deltoides*) تیمار شده با فاز آناتیس نانو دی اکسید تیتانیم مورد بررسی قرار گرفت. نمونه ها در دو رطوبت صفر و 25 درصد توسط نانو دی اکسید تیتانیم با سه غلظت 0/5، 0/75 و 1 درصد تحت روش سلول پر اشباع شدند. پس از اشباع و قبل از قرار گرفتن نمونه ها در داخل دستگاه

هوازدگی مصنوعی، پارامتر های رنگی(L*,a*, b*) اندازه گیری شدند تا رنگ اولیه بدست آید. آنگاه نمونه ها در دستگاه هوازدگی مصنوعی قرار داده شدند. اشعه UV با طول موج 365 نانو متر و همچنین اسپری آب و دما بر نمونه ها اعمال شد. نمونه ها در مدت زمان های 200، 400 و800 ساعت در معرض آزمون هوازدگی مصنوعی قرار گرفتند، سپس میزان پارامترهای رنگی آن ها اندازه گیری شد. اختلاف پارامترها قبل و بعد از هوازدگی در هر مرحله تعین و میزان تغییرات رنگی(DE*) برای هر سه مرحله با داشتن تغییرات پارامترهای رنگی محاسبه شد. تجزیه و تحلیل نتایج بدست آمده نشان داد که میانگین کاهش تغییر رنگ نمونه های اشباع شده با نانو دی اکسید تیتانیم در هر دو رطوبت اختلاف معنی داری داشت. با افزایش غلظت نانو دی اکسید تیتانیم از 0/5 تا 1 درصد، میزان تغییر رنگ در نمونه ها کاهش یافت. اما در غلظت های یکسان بین دو رطوبت اختلاف معنی داری وجود نداشت. بهترین مقاومت به تغییر رنگ را نیز غلظت 1 درصد نانو دی اکسید تیتانیم از خود نشان داد.

واژه های کلیدی: نانو دی اکسید تیتانیم، فاز آناتیس، صنوبر دلتوئیدس، هوازدگی مصنوعی

Abstract

In this study, weathering resistance treated poplar sap wood samples (*Populus Deltoides*) using nano-titanium dioxide was investigated. Samples with two level of moisture, zero and 25 percent by the nano titanium

dioxide with three concentration 0.5, 0.75 and 1 percent were impregnated. Samples after the measurement initial color placed in artificial weathering devices. In the device, UV radiation with wavelength of 365 nm, spray water and temperature applied on the samples. Then, Treated samples exposed artificial weathering tast in timely of 200, 400 and 800 hours. Therefore, measured the their color parameters. the variation parameters were determined before and after each stage of weathering and color change (DE*) for each step were calculated. Analysis results showed that variation average reduction color change in impregnated samples with nano-titanium dioxide was significant in both the moisture. With increasing concentration of nano titanium dioxide, from 0.5 to 1 percent, rate of color change in the samples decreased. But at the equal concentrations, there was not significantly variation between the two moisture. The best resistance to color change observed at concentrations 1% of nano-titanium dioxide.
Keywords: Nano-titanium dioxide, Anatase phase, poplar , artificial weathering

فصل اول
مقدمه و کلیات

1
1-1- مقدمه 2
1-2- کلیاتی در مورد نانو مواد 2
1-2-1- تعریف نانو مواد 3
1-2-2- دسته بندی نانو مواد 3
1-2-2-1- نانو پوشش ها 4
1-2-2-2- نانو خوشه ها 4
1-2-2-3- نانو لوله ها 5
1-2-2-4- نانو ذرات 6

1-3- نانو دی اکسید تیتانیم 7
1-4- ترکیبات شیمیایی چوب 9
1-4-1- سلولز 11
1-4-2- همی سلولز 12
1-4-3- لیگنین 12
1-4-4- مواد استخراجی 12
1-5- ویژگی های گونه چوبی مورد تحقیق 13
1-5-1- مشخصات گیاه صنوبر 13
1-5-2- ساختمان چوبی صنوبر 15
1-5-2-1- مشخصات ماکروسکوپی 15
1-5-2-2- مشخصات میکروسکوپی 15
1-5-3- خواص فیزیکی و مکانیکی 16
1-5-4- خواص عمومی چوب صنوبر 16
1-5-5- موارد مصرف 16
1-5-6- ضرورت بررسی و شناخت صنوبر 17
1-5-7- وضعیت کنونی صنوبر در ایران 18
1-6- پدیده هوازدگی 18
1-6-1- تفاوت پدیده هوازدگی با تغییر رنگ در محیط های داخلی 18
1-6-2- تفاوت بین پوسیدگی و پدیده هوازدگی 19
1-6-3- جنبه های شیمیایی تخریب چوب توسط پدیده هوازدگی 20
1-6-4- جنبه های تخریب فیزیکی 23
1-6-4-1- تأثیر میکروسکوپی پدیده هوازدگی بر روی چوب 24
1-6-4-2- تأثیر ماکروسکوپی پدیده هوازدگی بر روی چوب 24
1-6-4-2-1- افت الیاف 24
1-6-4-2-2-جهت الیاف 24
1-6-4-2-3- آبگریزی 24
1-6-4-2-4- ترک ها و برجستگی های بافت چوب 24
1-6-5- عوامل تفاوت پدیده هوازدگی در درون یک گونه چوبی 25
1-6-6- عوامل تفاوت پدیده هوازدگی بین گونه های چوبی 25
1-6-6-1- جرم ویژه 25
1-6-6-2- بافت چوب 26
1-6-6-3- چوب برون و چوب درون 26
1-6-6-4- چوب آغاز و پایان 26
1-6-6-5- جوان چوب 26
1-6-6-6- چوب فشاری 27
1-6-7- اثر پدیده هوازدگی بر تغییر رنگ 27
1-7- فرضیات و اهداف تحقیق 27
1-7-1- فرضیه 28
1-7-2- اهداف 28
فصل دوم
2- مرور منابع 29

فصل سوم
3- مواد و روش ها 40
3-1- نمونه برداری 41
3-2- تهیه و آماده سازی نمونه ها 41
3-2-1- تبدیل نمونه ها 41
3-2-2- تنظیم رطوبت 41
3-3- تهیه سوسپانسیون نانو دی اکسید تیتانیم 42
3-4- اشباع نمونه ها 43
3-5- آزمون هوازدگی مصنوعی 45
3-6- متعادل سازی 46
3-7- اندازه گیری ها 46
3-7-1- اندازه گیری تغییر رنگ 47
3-7-2- پردازش داده های آماری 48
فصل چهارم
4- نتایج و بحث 49
4-1- افزایش وزن در دو رطوبت صفر و 25 درصد 50
4-2- تغییر رنگ نمونه ها پس از اشباع 50
4-3- تغییر رنگ در اثر هوازدگی مصنوعی 51
4-3-1- تغییر رنگ در اثر 200 ساعت هوازدگی مصنوعی 51
4-3-2- تغییر رنگ در اثر 400 ساعت هوازدگی مصنوعی 56
4-3-2- تغییر رنگ در اثر 800 ساعت هوازدگی مصنوعی 61
فصل پنجم
5- نتیجه گیری و پیشنهادات 67
5-1- نتیجه گیری 68
5-2- پیشنهادات 69
منابع 70

1-1- ترکیب شیمیایی سوزنی برگان و پهن برگان 10
1-2- ترکیب شیمیایی دیواره ثانویه در پهن برگان 10
4-1- افزایش وزن در دو رطوبت با سه غلظت 50
4-2- تغییر رنگ نمونه ها پس از اشباع شده با نانو دی اکسید تیتانیم 51
4-3- تغییر رنگ چوب صنوبر اشباع شده با نانو دی اکسید تیتانیم پس از 200 ساعت هوازدگی 52
4-4- نتایج آماری تغییر رنگ ΔE^* پس از 200 ساعت هوازدگی 53
4-5- نتایج آماری پارامتر Δa^* پس از 200 ساعت هوازدگی 54
4-6- نتایج آماری پارامتر Δb^* پس از 200 ساعت هوازدگی 55
4-7- نتایج آماری پارامتر Δl^* پس از 200 ساعت هوازدگی 55
4-8- تغییر رنگ چوب صنوبر اشباع شده با نانو دی اکسید تیتانیم پس از 400 ساعت هوازدگی 57
4-9- نتایج آماری تغییر رنگ ΔE^* پس از 400 ساعت هوازدگی 58
4-10- نتایج آماری پارامتر Δa^* پس از 400 ساعت هوازدگی 59
4-11- نتایج آماری پارامتر Δb^* پس از 400 ساعت هوازدگی 59
4-12- نتایج آماری پارامتر Δl^* پس از 400 ساعت هوازدگی 60
4-13- تغییر رنگ چوب صنوبر اشباع شده با نانو دی اکسید تیتانیم پس از 800 ساعت هوازدگی 61
4-14- نتایج آماری تغییر رنگ ΔE^* پس از 800 ساعت هوازدگی 62
4-15- نتایج آماری پارامتر Δa^* پس از 800 ساعت هوازدگی 63
4-16- نتایج آماری پارامتر Δb^* پس از 800 ساعت هوازدگی 63
4-17- نتایج آماری پارامتر Δl^* پس از 800 ساعت هوازدگی 64

1-1- نانو پوشش ها 4
1-2- تصویر شماتیک نانو خوشه 5

1-3- نانو لوله ها کربنی تک دیواره و چند دیواره 6
1-4- نانو ذره با اندازه 50 nm 7
1-5- پودر نانو دی اکسید تیتانیم 8
1-6- ساختار بلوری نانو دی اکسید تیتانیم 9
1-7- ساختار دیواره سلول 11
1-8- گونه صنوبر دلتوئیدس 14
3-1- سوسپانسیون نانو دی اکسید تیتانیم 43
3-2- دستگاه اشباع چوب 44
3-3- نمونه های اشباع شده با نانو دی اکسید تیتانیم 45
3-4- دستگاه هوازدگی مصنوعی 46
3-5- دستگاه اندازه گیری رنگ 47
4-1- نمونه های شاهد و تیمار شده با غلظت 1 درصد پس از 200 ساعت هوازدگی 53
4-2- نمونه های شاهد و تیمار شده با غلظت 1 درصد پس از 400 ساعت هوازدگی 57
4-3- نمونه های شاهد و تیمار شده پس از 800 ساعت هوازدگی 62
4-4- میزان تغییر رنگ در دو رطوبت صفر و 25 درصد درطی زمان 66

فصل اول

مقدمه و کلیات

1-1- مقدمه

چوب جسم جامدی است که بشر از گذشته های دور تا امروز از آن به عنوان مصالح در ساختمان سازی و همچنین در ساخت وسایل های چوبی در محیط های داخلی و بیرونی استفاده کرده است. اما وقتی که چوب در محیط های بیرونی قرار می گیرد همواره در معرض پدیده هوازدگی است. هوازدگی منجر به تغییرات نامطلوب از جمله تغییر رنگ، افزایش زبری، ایجاد ترک های سطحی و کاهش خواص مکانیکی و فیزیکی می گردد (دکا[1] و همکاران، 2008؛ سودیانی[2] و همکاران، 1999).

[1] - Deka
[2] - Sudivani

تلاش های زیادی در زمینه گسترش سیستم های حفاظتی جهت جلوگیری از تخریب چوب در طی پدیده هوازدگی در محیط بیرونی صورت گرفته است. هر چند تیمار با بعضی مواد حفاظتی سمی نشان داده که در برابر هوازدگی مؤثر است اما امروزه استفاده از این مواد سمی در حفاظت چوب به دلیل مشکلات زیست محیطی که به همراه دارند، کاهش یافته است. در این رابطه می توان به محدودیت و ممنوعیت استفاده از CCA در آمریکا و اروپا اشاره کرد. از ژانویه 2004 سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا EPA به دلیل نگرانی از آلوده شدن محیط زیست، کاربرد CCA را در بسیاری از موارد از جمله در ساختمان سازی، سکوها، میزهای پینک پونگ و قفس ها ممنوع کرده است. همچنین در سال 2007 استفاده از CCA در اتحادیه اروپا به طور کامل ممنوع گردید. این ممنوعیت و محدودیت ها باعث شد که استفاده از CCA در سایر کشورها نیز کاهش یافت. به این ترتیب مجریان این امر به همراه کارشناسان تحقیقات گسترده ای را برای جایگزینی این مواد سمی با مواد کارآمدتر و سازگار با محیط زیست آغاز کردند. و حتی در برخی موارد از اصلاح شیمایی به عنوان مواد جایگزین استفاده کردند. اما یکی از روش هایی که انتظار می رود در آینده و با کامل تر شدن تحقیقات گسترش یافته و به عنوان جایگزین مناسب و کارآمدتری برای این مواد سمی باشد، استفاده از نانو مواد در چوب می باشد.

1-2- کلیاتی در مورد نانو مواد

نانوتکنولوژي، عرصة مهمي در علم و فناوري است که در سالهاي اخير توجه کشورها، بنگاه ها، مراکز آموزشي و پژوهشي و محققان را به خود جلب نموده است. حضور در اين عرصه براي کشورها اجتنابناپذير بوده و براي کشور ما نيز ضرورت دارد اما در اين عرصه تصميمگيري بموقع و صحيح ضرورت داشته و يکي از الزامات اصلي آن تشکيل شبکة نوآوري در محورهاي منتخب ميباشد. تدوين و اجراي

طرح جامع و آينده‌نگر و نهاد هماهنگ‌كننده فرابخشي نيز يكي ديگر از شرايط اصلي موفقيت در اين عرصه مي‌باشد.

1-2-1- تعريف نانو مواد

نانوتكنولوژي مطالعه ذرات در مقياس اتمي براي كنترل آنهاست. هدف اصلي اكثر تحقيقات نانوتكنولوژي شكل‌دهي تركيبات جديد يا ايجاد تغييراتي در مواد موجود است. نانو كلمه‌اي يوناني به معني كوچك است و براي تعيين مقدار يك ميليارديم يا 10^{-9} يك كميت استفاده مي‌شود. چون يك اتم تقريباً 10 نانومتر است، اين اصطلاح براي مطالعه عمومي روي ذرات اتمي و مولكولي بكاربرده مي شود (واراد و دو[3]، 2006).

اولين جرقه فناوري نانو (البته در آن زمان هنوز به اين نام شناخته نشده بود) در سال 1959 زده شد. در اين سال ريچارد فاينمن طي يك سخنراني با عنوان «فضاي زيادي در سطوح پايين وجود دارد» ايده فناوري نانو را مطرح ساخت. وي اين نظريه را ارائه داد كه در آينده‌اي نزديك مي‌توانيم مولكول‌ها و اتم‌ها را به صورت مسقيم دستكاري كنيم.

واژه فناوري نانو اولين بار توسط نوريوتاينگوچي[4] استاد دانشگاه علوم توكيو در سال 1974 بر زبان ها جاري شد.

1-2-2-دسته بندی نانو مواد

نانو مواد به گروه های زیادی تقسیم بندی می شوند که پرکاربرد ترین آن ها شامل موارد زیر است:

1-2-2-1- نانو پوشش ها

در حقيقت نانو پوشش ها گونه اي از لايه هاي نازك هستند كه يا ابعاد آن ها در حد نانو مي باشد، و يا زمينه اي سُل دارند كه ذرات ريز در ابعاد نانو در آن پراكنده شده اند و خواص ويژه اي به آن مي بخشند.

---

[3] - Warad and Du

[4] - nurio tingochi

شکل1-1- نانو پوشش

پوشش ها دارای کاربردهای متنوعی از صنایع اتومبیل گرفته تا صنایع لوازم خانگی هستند. این پوشش ها سطوحی را که در معرض آسیب هایی که از محیط اطراف مثل باران، برف، نمک ها، رسوب های اسیدی، اشعه ماوراء بنفش، نور آفتاب و رطوبت وارد می شود، محافظت می کند (کوهلر و فریتزچه[5]، 2004).

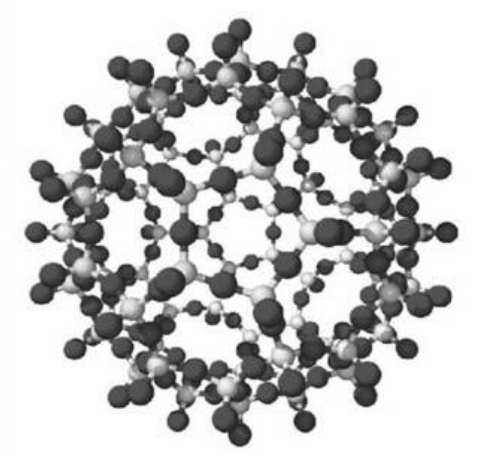
1-2-2-2- نانو خوشه ها

نانو خوشه ها مجموعه ای از اتم ها هستند که تعداد اتم هایشان در محدودهٔ چند اتم تا چند ده هزار اتم تغییر می کند (بروک[6]، 1997).

در اوایل دهه 80 میلادی، دانشمندان فیزیک کشف کردند که اتم های گازی فلزی به شکل حباب هایی پایدار و با تعداد اتم های مشخصی، مجتمع می شوند. در دهه 90 آن ها مشاهده کردند که اتم های گازی می توانند به شکل خوشه هایی با اندازه های ویژه روی سطوح بچسبند. نانو لوله ها به دلیل خواص مغناطیسی، نوری و الکتریکی در چند دهه اخیر توجه خاصی چه به لحاظ صنعتی و چه به لحاظ تحقیقاتی به خود معطوف ساخته است (گلیتر[7] و همکاران، 1996).

---

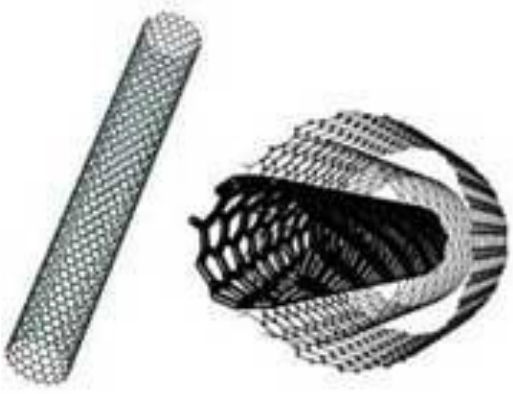
[5] - Kohler and Fritzsche
[6] - Brock
[7] - Gleiter



شکل 1-2- تصویر شماتیکی از یک نانو خوشه

1-2-2-3- نانو لوله ها

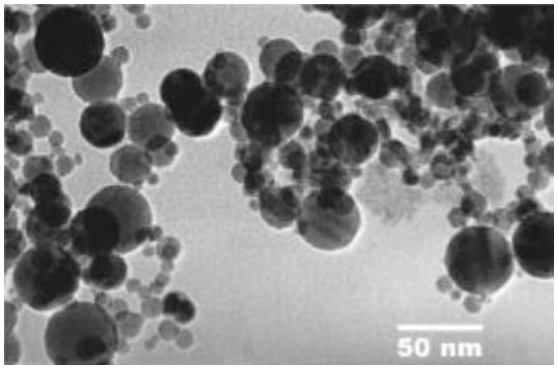
نانو لوله ها یا نانو میله ها از موادی مانند نیمه هادی ها، فلزات و یا کربن از روش های متعددی تولید می شوند. لفظ نانو لوله ها در حالت عادی در مورد نانو لوله های کربنی به کار می رود که مورد توجه فراوانی از سوی محققان قرار گرفته است. این نانو لوله ها خواص جالب توجهی دارند. یک خصوصیت مشهور آن ها، استحکام کششی برجسته می باشد که نزدیک 100 گیگاپاسکال؛ یعنی بیش از صد برابر استحکام فولاد است (کوهلر و فریتزچ، 2004).



شکل 1-3- نمایی از نانو لوله های کربنی تک دیواره و چند دیواره

1-2-2-4- نانو ذرات

نانو ذرات از نانو موادی هستند که از مدت ها قبل مورد استفاده بوده اند. شاید اولین موارد استفاده از در لعاب ظروف سفالی سلسله های اولیه چین بوده است. نانو ذرات از ده ها یا صدها اتم یا مولکول با اندازه ها و مورفولوژی مختلف (آمورف، کریستالی، کروی شکل، سوزنی شکل وغیره) ساخته شده است. اغلب نانو ذرات که به صورت تجاری مورد استفاده قرار می گیرند، به شکل پودر خشک و یا به صورت بخش مایع می باشند. البته نانو ذرات ترکیب شده در یک محلول آلی یا آبی که به شکل سوسپانسیون یا خمیری شکل است نیز مورد توجه می باشد. برای رسیدن به یک توزیع پایدار و همگن از نانو ذرات باید مواد و عامل های شیمیایی همانند فعال سطحی و دیسپرس ها را به آن ها بیفزاییم (کوهلر و فریتزچ، 2004).



شکل1-4- نانو ذره با اندازه ذرات50 نانومتر

یکی از مزایای اصلی نانو ذرات آلی یا معدنی امکان کاربرد آن ها در فیزیک، شیمی، کشاورزی، پوشش دهی سطح، نساجی، بیوشیمی و نظایر آن ها است. سطح مخصوص بسیار بالای نانو ذرات منجر به ایجاد زمینه های کاربردی زیادی برای آن ها شده است (یه و جونگ[8]، 2003). این ذرات نانو ذرات های شیمیایی، فیزیکی و میکروبیولوژیکی

[8] - Yeo and Jeong

هستند که تنها وسیله شناسایی آن ها اندازهٔ ذراتشان است. استفاده از نانو ذرات، با مقدار بسیار ناچیز ماده می تواند خواص مورد نیاز را تأمین کند (بلو[9] و همکاران، 2001؛ استادر[10]، 1997). به این ترتیب توجیه اقتصادی این مواد تحقق می یابد. از جمله نانو ذرات پر کاربرد شامل نانو پودر دی اکسید تیتانیم، نانو پودر اکسید آهن، نانو پودر خاک رس، نانو پودر اکسید سیلیکا و نانو ذرات نقره می باشند.

1-3- نانو دی اکسید تیتانیم

دی اکسید تیتانیم که با نام های اکسید تیتانیم IV یا تیتانیا شناخته می شود دارای فرمول شیمیایی Tio_2 است. تمام خصوصیات دی اکسید تیتانیم نیز در نانو اکسید تیتانیم وجود دارد با این تفاوت که اندازه ذرات آن کوچکتر است و از این رو قابلیت و اثر کنندگی بیشتری دارد. چرا که به واسطه کوچک بودن اندازه ذرات، سطح تماس بیشتر می شود و کارایی افزایش می یابد. زمانی که اندازه ذرات Tio_2 به مقیاس نانو کاهش می یابد، فعالیت فتوکاتالیستی می تواند افزایش یابد چرا که مساحت سطح مؤثر افزایش می یابد (سانی و کاندن[11]، 2008).

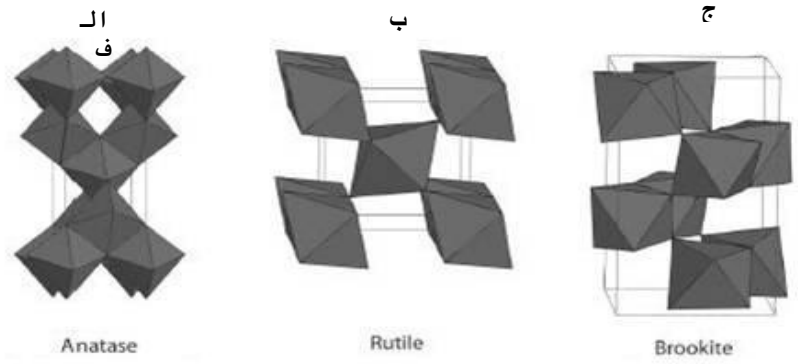
شکل 1-5- پودر نانو دی اکسید تیتانیم

نانو دی اکسید تیتانیم به علت ویژگی های نوری و الکتریکی، فعالیت فتوکاتالیستی بالا، ثبات شیمیایی، غیر سمی بودن، فراوانی و در دسترس بودن و عدم فرسایش

---

[9] - Balogh
[10] - Studer
[11] - Sawhney and Condon

و خوردگی در برابر نور از آن به عنوان فتوکاتالیست رایج استفاده می شود (زوا[12] و همکاران، 2008).
نانو دی اکسید تیتانیم در سه فاز اصلی (سه فاز کریستالی) روتایل، آناتیس، بروکیت وجود دارد. از بین این سه فاز، فاز روتایل پایدارتر است. در شکل 1-6 فاز های ساختاری آناتاز، روتایل و بروکیت مشاهده می شوند.



شکل1-6- ساختارهاي بلوري نانو دی اکسید تیتانیم، الف: آناتیس، ب: روتایل و ج: بروکیت (واتسون[13] و همکاران، 2004)

فازهای کریستالی در شکل 1-6 زمانی ضروری است که کاربرد خاصی چون فتوکاتالیستی یا نیم رسانایی مد نظر باشد.
دو فاز آناتیس و روتایل دارای گاف (Band Gap) انرژی هستند و فعالیت نوری دارند. منظور از فعالیت نوری تولید گروه های رادیکالی در سطح، تحت تابش نور خورشید است (رایلی و مارش[14]، 2009). فاز کریستالی آناتایس با دارا بودن گاف انرژی 3/2 الکترون ولت فعالیت فتوکاتالیستی مناسب نری نسبت به دیگر فازها دارد. فار آناتیس با داشتن این گاف انرژی می تواند نور فرابنفش را جذب کند. این اکسید فلزی قادر است با جذب اشعه

[12] - Xua
[13] - Watson
[14] - Marsh

فرابنفش و به واسطه خواص فتوکاتالیستی خود پوشش ضد باکتری ایجاد نماید و همچنین مانع از عبور اشعه فرابنفش شود (ونگ[15] و همکاران، 2006؛ دأود[16] و همکاران، 2005). فاز آناتیس نانو دی اکسید تیتانیم با داشتن خاصیت جذب اشعه فرابنفش به صورت یک فیلتر به عنوان ماده اصلی در کرم های ضد آفتاب (وینچ[17] و همکاران، 2007) و همچنین در پلاستیک برای جلوگیری از تخریب توسط اشعه فرابنفش استفاده می شود (وارهیت[18] و همکاران، 2007).

1-4- ترکیبات شیمیایی چوب

چوب یک ماده لیگنوسلولزی است که از ترکیبات شیمیایی پیچیده شامل ماکرومولکول های سلولزی، همی سلولز، لیگنین و مواد استخراجی که وزن مولکولی پایین دارند تشکیل شده است (مانو[19]، 2002) چندین تفاوت بین ترکیب شیمایی سوزنی برگان و پهن برگان وجود دارد که در جدول 1-1 نشان داده شده است.

جدول1-1- ترکیبات شیمیایی سوزنی برگان و پهن برگان (سجوستروم، 1993)

نوع درخت	سلولز%	همی سلولز%	لیگنین%
پهن برگ	40-44	15-35	18-25
سوزنی برگ	40-44	20-32	25-35

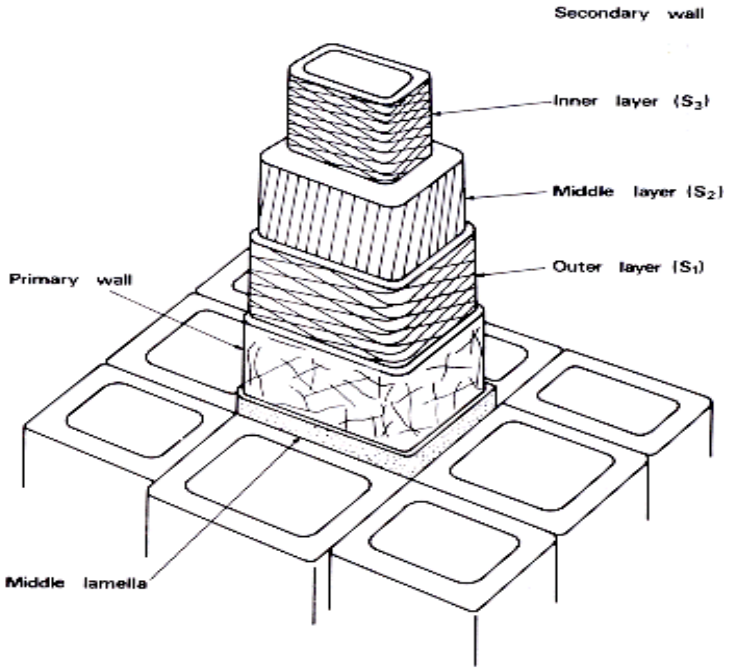
چوب از سلول های مختلفی ساخته شده است، دیواره این سلول ها از لایه های مختلف شامل لایه میانی (ML) دیواره اولیه (PW) و دیواره ثانویه تشکیل شده است. دیواره ثانویه خود از سه لایه شامل لایه بیرونی (S_1)، لایه میانی (S_2) و لایه درونی (S_3) تشکیل شده است (فنجل و وجنر[20]، 1989) (شکل 1-1). از میان این لایه ها، لایه S_2 ضخیم ترین لایه است و مسئول اصلی خواص فیزیکی و

[15] - Wong
[16] - Daoud
[17] - Wiench
[18] - Warheit
[19] - Manu
[20] - Fengel and Wegener

مکانیکی دیواره سلولی است (ساکا[21]، 2001) لایه های دیواره ثانویه از نظر تعداد و جهت گیری میکروفیبریل ها و ترکیب شیمیایی با هم تفاوت دارند. ترکیب شیمیایی دیواره ثانویه در سوزنی برگان در جدول 1-2 نشان داده شده است. میکروفیبریل های سلولزی در هر کدام از لایه ها دارای آرایش ویژه ای هستند که ویژگی های فیزیکی و مکانیکی سلول را تعیین می کند (پلومیون[22] ، 2001)

جدول1-2- ترکیب شیمیایی دیواره ثانویه در سوزنی برگان (%) (وینادی و رائول[23] ، 2005)

S_3	S_2	S_1	
0/8	32/7	6/1	سلولز
5/2	18/4	3/7	همی سلولز
0	9/1	10/5	لیگنین



شکل 1-7- ساختار دیواره سلول

[21] - Saka
[22] - Plomion
[23] - Winady and rowell

1-4-1- سلولز

سلولز یک مولکول خطی با وزن مولکولی بالا است که از واحدهای D(4-ß(1 گلوکوپیرانوز تشکیل شده است (باازا و فریر[24]، 2001؛ سجوستروم[25]، 1993). سلولز در حدود 45-50% وزن خشک دیواره سلولی را تشکیل می دهد و قسمت بیشتر آن در دیواره سلولی قرار دارد (میلر[26]، 1999). قسمت اعظم سلولز به صورت کریستالیته است که به کمک پیوند هیدروژنی به هم اتصال دارند (هیل[27]، 2006؛ هوری[28]، 2001).

1-4-2- همی سلولز

همی سلولز در حدود 20% چوب را تشکیل می دهد و غالباً در دیواره اولیه و ثانویه وجود دارد (باازا و فریر، 2001). اجزای اصلی همی سلولز در سوزنی برگان گلوکز، مانوز، گالاکتوز، زایلوز، آرابینوز و 4-O-متیل گلوکورونیک اسید و در پهن برگان زایلوز و 4-O-متیل گلوکورونیک اسید هستند (فوجی تا و هرادا، 2001). همی سلولز های اصلی سوزنی برگان O- استیل-O- متیل گلاکتوگلوکومانان آرابینو- 4- O- متیل گلوکورونوزایلان به ترتیب در حدود 18% و 10% چوب را تشکیل می دهند و همی سلولز اصلی پهن برگان O- استیل-4- O - متیل گالاکتو گلوکورونوزایلان است و در حدود20 تا 35% چوب را تشکیل می دهند (سرنک[29]، 2001). همی سلولز به دلیل شکل آمورف آن از سلولز واکنش پذیرتر است.

1-4-3- لیگنین

---

[24] - Baeza and freer
[25] - Sjostrom
[26] - Miller
[27] - Hill
[28] - Horii
[29] - Sernek

لیگنین 20 تا 30% چوب را تشکیل می دهد و از واحدهای فنیل پروپان تشکیل شده است که بیشتر با پیوندهای 4-O- ß به یکدیگر متصل شده اند (50 تا 60% پیوندهای لیگنین از نوع 4- O- ß است). لیگنین دارای گروه های عاملی مختلف از جمله هیدروکسیل فنلی، متوکسیل، الکل های آلیفاتیک، آلدئید، کتن و اتر می باشد. میزان و ساختار شیمیایی لیگنین پهن برگان با سوزنی برگان متفاوت است. لیگنین سوزنی برگان (23-33%) بیشتر از پهن برگان (16-25%) است (فنجل و ونجر، 1989؛ میلر، 1999) لیگنین پهن برگان، گوایاسیل- سیرینجیل است که از پیش ترکیب های کانیفریل الکل و سیناپیل الکل تشکیل شده است در حالیکه لیگنین سوزنی برگان گوایاسیل است که اساساً از پیش ترکیب های کانیفریل الکل تشکیل شده است (بیش از 95% ترکیب های سازنده آن کانیفریل الکل و بقیه از نوع پی کوماریل الکل است) (دنس[30]، 1992).

1-4-4- مواد استخراجی

مواد استخراجی ترکیباتی با وزن مولکولی پایین هستند که به راحتی با حلال ها از چوب خارج می شوند (باازا، 2001). این مواد شامل ترکیبات آلی و معدنی هستند. مواد استخراجی بر بعضی ویژگی های چوب از جمله رنگ، بو، مزه، مقاومت به پوسیدگی، دانسیته، آبگریزی و قابلیت شعله ور شدن چوب تأثیر می گذارند. میزان این مواد به گونه چوبی، شرایط رشد و زمانی از سال که درخت قطع می شود، بستگی دارد (میلر، 1999)

1-5- ویژگی های گونه چوبی مورد تحقیق

1-5-1- مشخصات گیاه صنوبر

گونه صنوبر ازخانواده Salicacea، از راسته بیدها (Salicales)، از زیر رده Dillenidae و رده Magnoloitsida و شاخه Salix است که دارای دو جنس بید (Salix) با حدود 300 گونه و صنوبر (Populus) با 40 گونه می باشد. جنس صنوبر به معنی درخت عمومی و Populus به منعنی لرزان و لرزیده نامیده می شود (حسین زاده و طغرائی، 1378).

---

[30] - Dence