(جدول ۲). برای تعیین میزان خلل و فرج چوب می‌توان از مقدار محلول جذب شده توسط کلیهٔ خلل و فرج (مثل بنزین و نفت) استفاده کرده و این فاکتور را به‌طور تجربی و تحقیقی مشخص کرد. دقت کار این روش نیز برای کارهای عملی کافی است.

## ۱. ٤ ـ عوامل مؤثر در تغییر جرم مخصوص

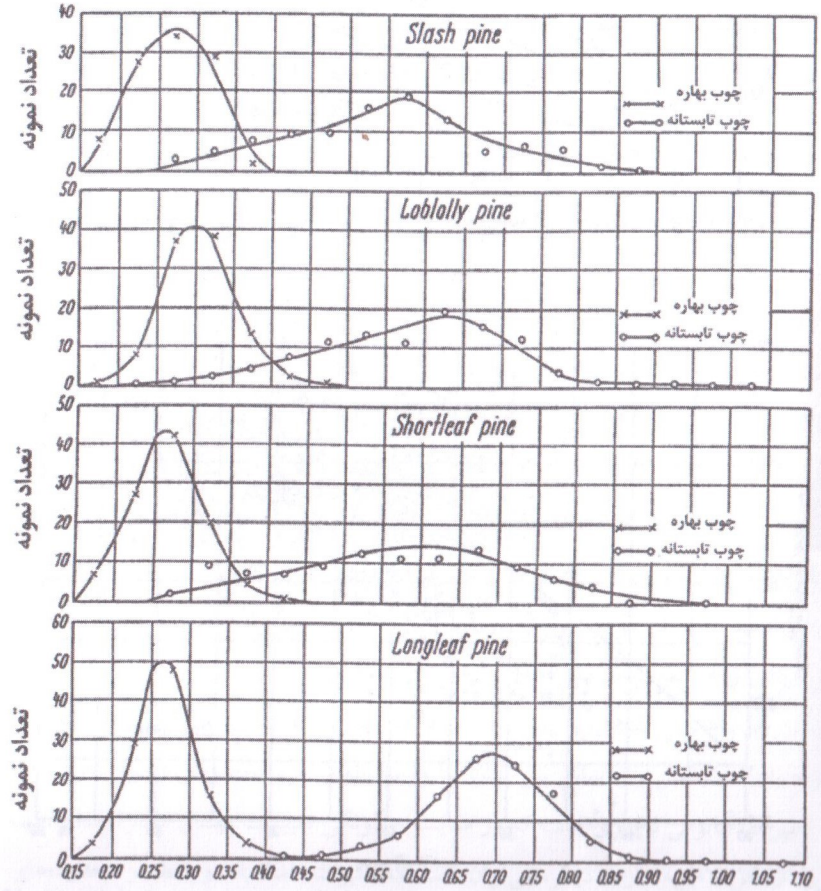
نوسانات شدید جرم مخصوص چوب نتیجهٔ همبستگی پیچیدهٔ بین شرایط رویش و تولید مادهٔ چوبی است. شرایط رویش بر روی تولید و تفکیک سلول‌ها، ساختمان و شکل سلول‌ها و نیز همزمان ترکیبات شیمیایی آن‌ها اثر می‌گذارد. این مورد در نهایت در نسبت بین چوب بهاره و تابستانه و نیز بر روی پهنای دوایر سالیانه اثر می‌گذارد. از آن‌جا پرداختن به این تأثیرات که تعداد آن‌ها زیاد و مشخص کردن همبستگی بین آن‌ها بسیار مشکل است، در این‌جا فقط اثر پاره‌ای از عوامل آناتومی و فیزیکی بر روی جرم مخصوص چوب بررسی می‌شود.

### ۱. ٤. ۱ـ اثر چوب بهاره و تابستانه

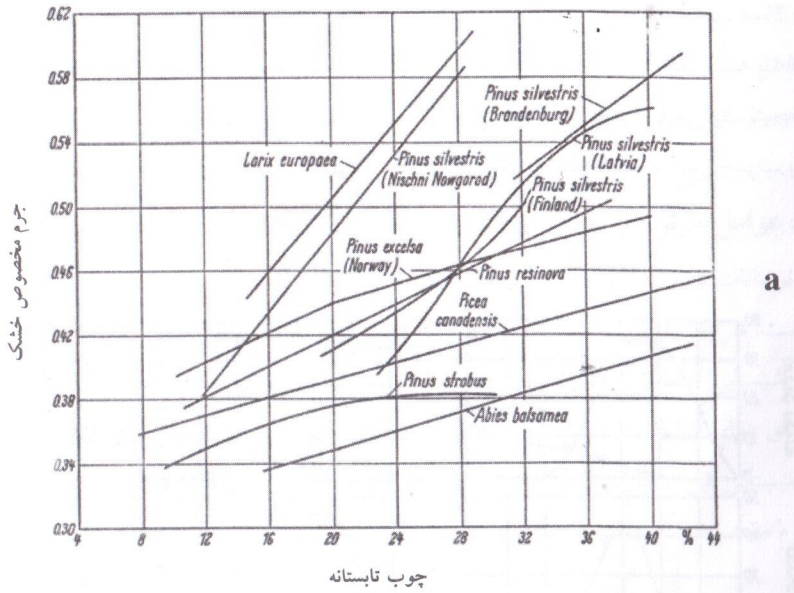
در میان سلول‌های مختلف تشکیل دهندهٔ چوب، ضخامت دیوارهٔ آن‌ها متفاوت و نیز نسبت بین مقدار دیوارهٔ سلول و خلل و فرج دیوارهٔ آن‌ها متغیر است. معمولاً بافت سلولی با دیوارهٔ سلول ضخیم و خلل و فرج ریز سنگین‌تر از بافت با خلل و فرج درشت و دیوارهٔ نازک است. به همین دلیل سلول‌های فیبر پهن برگان و تراکئید سوزنی برگان در چوب بهاره سبک‌تر از چوب تابستانه است. بنابراین مقدار جرم مخصوص چوب تابستانه بیشتر از چوب بهاره است (شکل ۱۳) و هرچه مقدار درصد چوب تابستانه در یک دایرهٔ سالیانه و در مجموع در واحد حجم چوب بیشتر باشد، جرم مخصوص آن نیز بیشتر می‌شود. در مورد سوزنی برگان این همبستگی (درصد چوب تابستانه: جرم مخصوص) بسیار واضح و شدید است (شکل ۱٤a). در مورد پهن برگان نیز وضعیت مشابه است. نکتهٔ دیگری که باید بدان اشاره کرد، این است که جرم مخصوص چوب بهاره از مغز به طرف پوست به مقدار کم کاسته می‌شود، در حالی‌که مقدار آن از کنده به‌طرف تاج درخت نیز کاهش می‌یابد. موضوعی که در این‌جا باید بدان اشاره کرد این است که نسبت و شرایط مذکور در مورد چوب پهن برگان مشکل‌تر از سوزنی برگان است. برای مثال F. kollmann در مورد چوب زبان گنجشک رابطهٔ

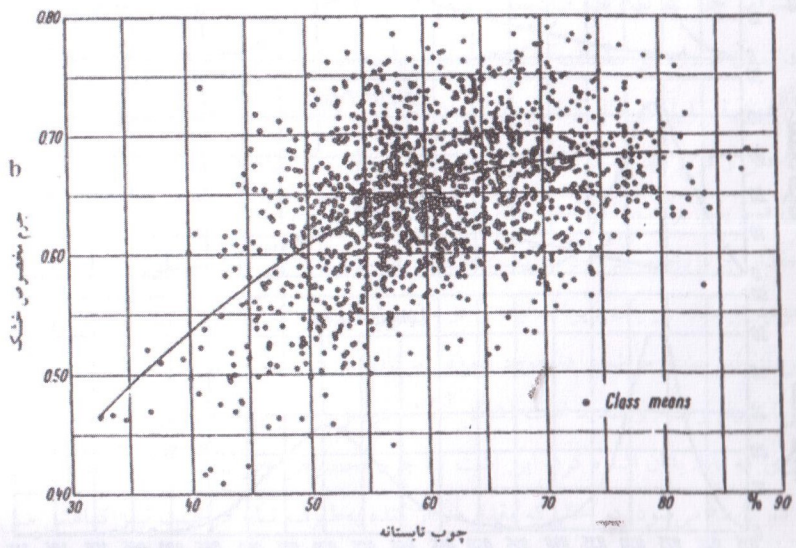


بین درصد چوب تابستانه و جرم مخصوص را مطابق (شکل ۱٤b) به‌دست آورده است. همان طوری که دیده می‌شود، پراکندگی زیادی در مورد ارتباط این دو فاکتور وجود دارد، تا حدی که با افزایش میزان درصد چوب تابستانه تغییرات جرم مخصوص ثابت باقی می‌ماند. از این‌جا می‌توان نتیجه گرفت که اگر به‌طور متوسط مقدار چوب تابستانهٔ تولید شده بیشتر باشد، جرم مخصوص چوب بهاره و تابستانه اختلاف کمتری را نشان می‌دهند.




شکل ۱۳ ـ میانگین و پراکنش جرم مخصوص چوب بهاره و تابستانه




شکل ۱٤ ـ رابطه بین جرم مخصوص (ro) و میزان درصد چوب تابستانه a) در چوب سوزنی برگان b) در چوب پهن برگان (*Fraxinus excelsior L.*) (براساس F. Kollmann)



## ۱. ٤. ۲ـ اثر پهنای دایرهٔ سالیانه

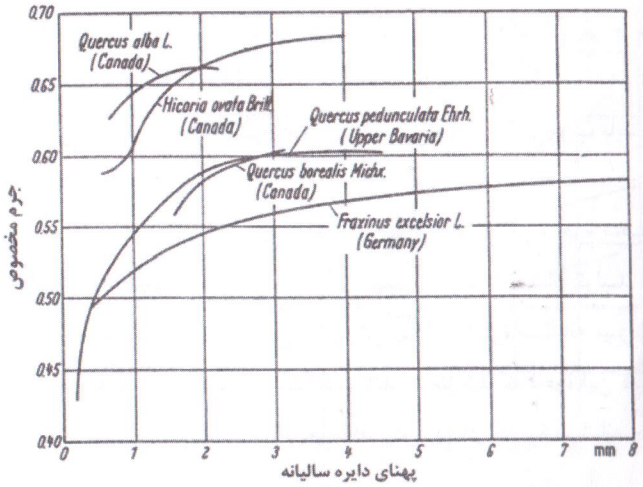
در یک دایرهٔ سالیانه سلول‌های مختلف در فرم و شکل مشخصی مرتب شده‌اند، از این‌رو ساختمان آن، مخصوصاً مرزبندی آن به چوب بهاره و تابستانه در چوب‌های سوزنی و پهن‌برگ بخش روزنه‌ای به پهنای دایرهٔ سالیانه بستگی دارد. در مورد چوب‌های پهن برگ پراکنده آوند برعکس هیچ‌گونه رابطه مشخصی وجود ندارد. به‌همین دلیل هر کدام از این سه نوع چوب باید به‌طور جداگانه مورد بررسی قرار گیرند.

در درختان سوزنی برگ به طور متوسط با افزایش پهنای دایرهٔ سالیانه جرم مخصوص کاهش می‌یابد (شکل ۱۵)، چرا که در چوب‌های سوزنی برگ مقدار چوب تابستانهٔ تولید شده در دوایر سالیانهٔ پهن و باریک تقریباً یکسان است بنابراین با افزایش پهنای دایرهٔ سالیانه میزان چوب بهاره افزایش و در نتیجه جرم مخصوص کاهش می‌یابد. البته باید متذکر شد که نحوهٔ این تغییرات در مورد گونه‌های مختلف یکسان نیست و در بعضی از آن‌ها با افزایش پهنای دایرهٔ سالیانه جرم افزایش و سپس کاهش می‌یابد.

در مورد چوب‌های بخش روزنه‌ای پهن برگان برخلاف سوزنی برگان همزمان با افزایش پهنای دوایر سالیانه، منحنی جرم مخصوص به‌شدت صعود می‌کند، به‌عبارت دیگر جرم مخصوص افزایش می‌یابد (شکل ۱٦). با بررسی شکل دایرهٔ سالیانهٔ چوب‌های بخش روزنه‌ای با دوایر باریک و پهن، دیده می‌شود که در هر دو مورد مقدار چوب بهارهٔ تولید شده یکسان است، در صورتی که در دایرهٔ سالیانهٔ پهن عرض چوب تابستانه افزایش نشان می‌دهد. همین مسئله موجب افزایش جرم مخصوص این‌گونه چوب‌ها می‌شود. آن‌چه در مورد این‌گونه چوب‌ها باید گفت و در شکل بالا قابل مشاهده است، این است که با افزایش زیاد پهنای دایرهٔ سالیانه منحنی تغییرات حالت مسطح به خود گرفته و افزایش زیادی را از خود نشان نمی‌دهد.

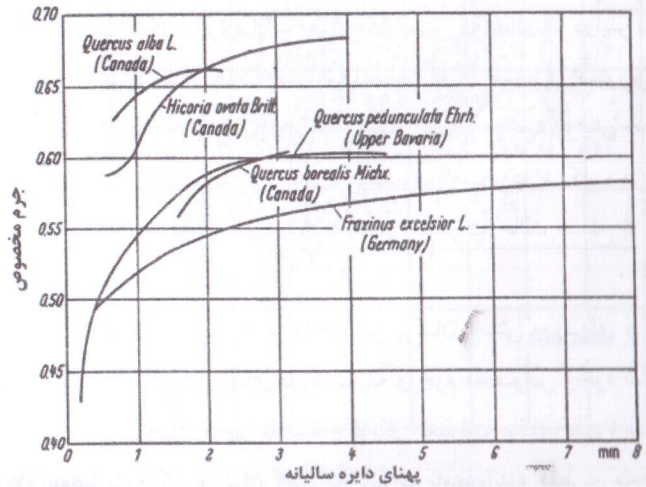
در چوب‌های پراکنده آوند پهن برگ برخلاف پهن برگان بخش روزنه‌ای و سوزنی برگان هیچ‌گونه رابطهٔ مشخص و یکسانی بین پهنای دایرهٔ سالیانه و جرم مخصوص وجود ندارد. علت این مسئله تغییرات آناتومی ناچیزی است که در مقایسهٔ چگونگی تغییرات پهنای دایرهٔ سالیانه به‌چشم می‌خورد (شکل ۱۷) به‌عبارت دیگر، می‌توان گفت که تأثیرات نامنظم‌اند و فقط در محدوده‌های جزئی همبستگی به چشم می‌خورد. نکته‌ای که در پایان باید بدان اشاره شود این است که همبستگی‌های

مذکور که بسیار روشن و واضح‌اند، فقط در مورد نمونه‌برداری‌های گروهی یکسان با ارزش بوده و می‌توانند توسط عوامل دیگری تحت تأثیر قرار بگیرند، از آن جمله است سن نمونه‌ها.



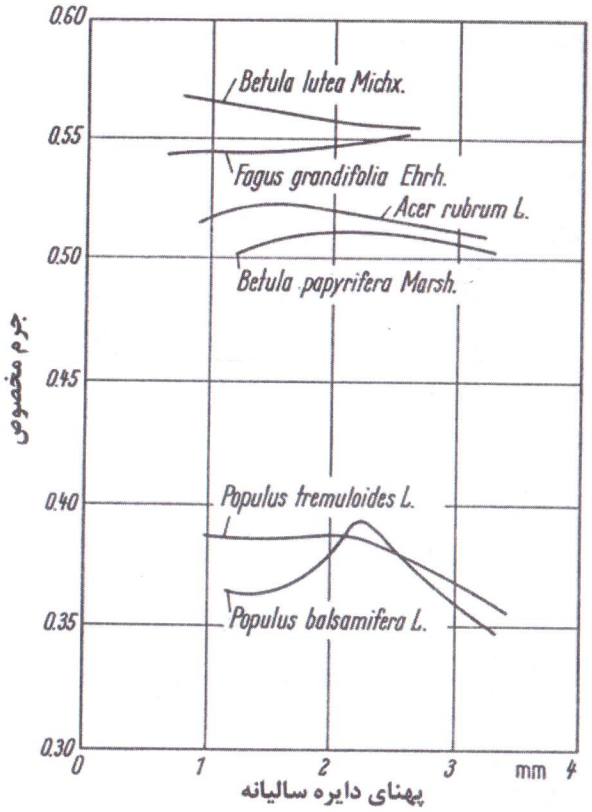

شکل ۱۵ ـ رابطه بین پهنای دایره سالیانه و جرم مخصوص خشک (ro) در سوزنی برگان

(براساس پیشنهاد و اندازه‌گیری توسط G. H. Rochester U.R.Trendelenburg)




شکل ۱۶ ـ رابطه بین پهنای دایره سالیانه و جرم مخصوص خشک (ro) در پهن‌برگان بخش روزنه‌ای



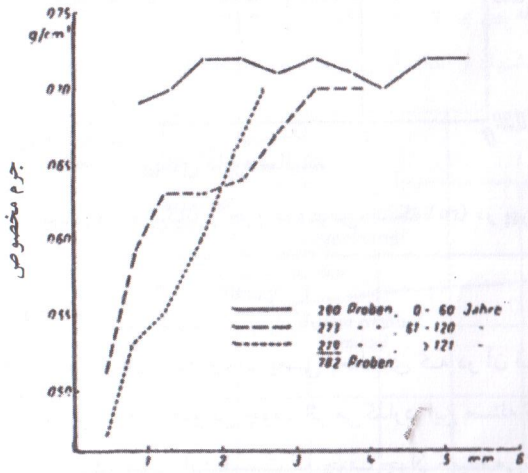



شکل ۱۷ ـ رابطه بین پهنای دایره سالیانه و جرم مخصوص خشک (ro) در پهن برگان پراکنده آوند

## ۱. ٤. ۳ـ اثر سن درخت

در طول زندگی درخت زمان تولید چوب یعنی لحظه‌ای که در آن قسمتی از چوب تولید می‌شود نیز به‌طور مشخص بر جرم مخصوص چوب اثر می‌گذارد. این مسئله قبل از هر چیز برای ناحیهٔ نزدیک به مغز مؤثر و معتبر است. این قسمت که چوب جوان نامیده می‌شود و قسمت مرکزی یا استوانه‌ای شکل چوب را تشکیل می‌دهد، اغلب چوب با دوایر سالیانهٔ پهن و ضریب جرم مخصوص (نسبت بین جرم مخصوص چوب تابستانه و بهاره) کم و در مجموع جرم مخصوص کم را دربر می‌گیرد.

این موضوع که در مورد اغلب سوزنی و پهن برگان پهنای دایرهٔ سالیانه از مرکز (مغز) به طرف سطح پوست درخت کاهش می‌یابد موجب قبول این مطلب گردیده که همین عامل در چگونگی تغییرات جرم مخصوص در سطح مقطع درخت موثر است. در این میان آزمایش‌های درختان مختلف به‌خصوص در مورد آن‌هایی که نمونه‌های مورد آزمایش براساس سن درخت (زمان تولید) تهیه شده‌اند، نشان داده‌اند که عامل سن خود تأثیر مستقلی بر میزان چوب تابستانه و در نتیجه جرم مخصوص دارد. این تأثیر بدین شکل است که در سوزنی برگان در سنین بالا بدون توجه به تغییرات پهنای دایرهٔ سالیانهٔ چوب سنگین و در پهن برگان چوب سبک تولید می‌شود. به‌طور کلی در مورد اثر سن درخت بر روی جرم مخصوص چوب همان‌طور که به‌عنوان مثال در مورد بلوط (شکل ۱۸) و با توجه به سن نمونه‌ها بررسی شده، می‌توان گفت که جرم مخصوص در سوزنی برگان و پهن برگان بخش روزنه‌ای در نزدیکی مغز با تولید چوب جوان مشخص می‌شود. کمی و پس از آن اغلب رابطه‌ای بین پهنای دایرهٔ سالیانه و جرم مخصوص مشاهده می‌شود که به‌طور فزاینده به وسیلهٔ عامل سن تحت الشعاع قرار می‌گیرد.




شکل ۱۸ ـ رابطهٔ بین جرم مخصوص خشک، پهنای دایره سالیانه و سن درخت در چوب بلوط (براساس Kollmann)



## ۱. ٤. ٤ـ اثر شاخه، ریشه و چوب واکنشی

نوسانات موجود در ساختمان میکرو ـ و ماکروسکپی قسمت‌های مختلف درخت و بخش‌های مختلف چوب موجب ظاهر شدن پراکندگی در جرم مخصوص می‌شود.

### ۱. ٤. ٤. ۱ ـ چوب شاخه

بالافاصله بعد از این‌که شاخه تقریباً به‌طور افقی نسبت به تنهٔ درخت منشعب می‌شود، تفاوت بین چوب شاخه و تنه قابل مشاهده است. این چوب دارای مقطع با دوایر روشی غیرمتمرکز است و در سوزنی برگان در بخش زیری شاخه، چوب فشاری تولید می‌کند تا تنش فشار استاتیکی ناشی از اثر نیروی جاذبه را خنثی کند. در چوب پهن برگان در بخش بالایی شاخهٔ چوب کششی برای مقابله با تنش‌های کششی تولید می‌شود.

به‌طور کلی دوایر سالیانه درچوب شاخه باریک‌تر از چوب تنه است، دیوارهٔ ضخیم سلول‌های استحکامی سبب افزایش جرم مخصوص می‌شود. میزان این افزایش در چوب‌های سوزنی برگ (چوب فشاری) تا حدود ۲۵ درصد و در چوب پهن‌برگان (چوب کششی) تا حدود ٦ درصد جرم مخصوص چوب طبیعی است. اثر جرم زیاد چوب شاخه تا حد مشخصی به‌طور غیرمستقیم بر روی چوب تنهٔ مجاورش پراکنده می‌شود.

### ۱. ٤. ٤. ۲ـ چوب ریشه

چوب ریشه از نظر مقدار الیاف و سلول‌های پارانشیم نسبت به چوب تنه و شاخه متفاوت است. مقدار الیاف چوب ریشه نسبت به پره‌های چوبی و پارانشیم‌های طولی کاهش نشان می‌دهند، در حالی‌که پره‌های چوبی کم و پهن‌تر و الیاف باریک و ضخیم‌تر از چوب تنه‌اند. مقدار بافت‌ها و اندازهٔ سلول‌ها برحسب دوری از تنه تغییر می‌کند، به طوری که در نوحی دور از تنه آوندها و سلول‌های ذخیره‌ای و در نواحی نزدیک به تنه سلول‌های فیبر افزایش می‌یابند. به‌علاوه بین ریشه‌های عمودی و افقی نیز تفاوت‌هایی وجود دارد، به‌طوری که برای مثال در بلوط و چنار قطر آوندها در ریشه‌های عمودی با دور شدن از تنه کاهش و در ریشه‌های افقی برعکس افزایش می‌یابد. از این گذشته در

چوب ریشهٔ سوزنی برگان مقدار کم چوب تابستانه و تراکئیدهای بزرگ با دیوارهٔ نازک وجه تمایز آن نسبت به چوب تنه و شاخه است.

چوب ریشهٔ پهن برگان حتی اگر تنه جزو چوب‌های بخش روزنه‌ای باشد، پراکنده آوند است. دایرهٔ رویش در چوب ریشه کاملاً واضح نیست و نسبت به دایرهٔ رویش تنه باریک‌تر است.

چوب ریشه در پهن برگان بخش روزنه‌ای به‌دلیل ساختار سبک آن حدود ۲۰ درصد سبک‌تر از چوب تنهٔ آن‌هاست (جدول ۳). چوب ریشه همچنین مقاومت مکانیکی کم و رطوبت اشباع فیبر و نیز هم کشیدگی حجمی زیادی از خود نشان می‌دهد.

اختلاف و تغییرات جرم مخصوص ریشه نسبت به تنه هنگامی بیشتر است که ریشه به مقدار زیادی منشعب شده، از امتداد تنه دورتر و خود ریشه باریک‌تر باشد. هر چه ریشه در نزدیکی محل اتصالش به تنه قوی‌تر باشد، اختلاف جرم مخصوص آن نسبت به جرم مخصوص تنه کمتر خواهد بود.

**جدول ۳ ـ مقایسهٔ جرم مخصوص خشک چوب تنه و ریشه**

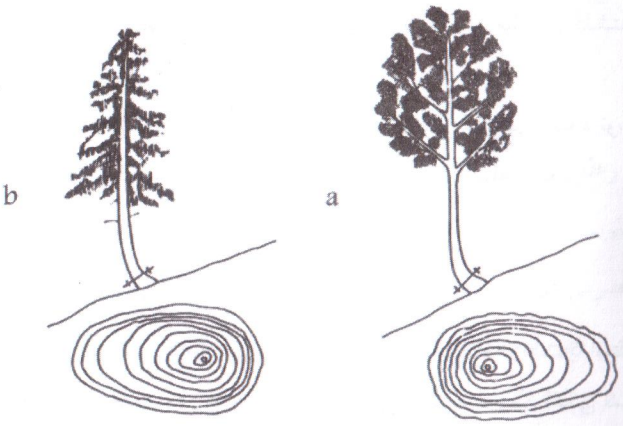
| گونهٔ چوبی | جرم مخصوص خشک (ro) $g/cm^3$ | |
|---|---|---|
| | چوب تنه | چوب ریشه |
| بلوط | ۰/۸۶ | ۰/۵۳ |
| راش | ۰/۷۴ | ۰/۵۱ |
| ملچ | ۰/۶۶ | ۰/۴۲ |
| توس | ۰/۶۱ | ۰/۳۵ |
| نوئل | ۰/۴۷ | ۰/۳۳ |
| بید | ۰/۴۳ | ۰/۲۳ |

## ۱. ٤. ٤. ۳ ـ چوب واکنشی

چوب واکنشی بافت واقعی و فعال درختی است که تلاش کرده رویش ارگان‌های اصلی در شرایط طبیعی را تغییر دهد تا به حالت تعادل برسد. تنهٔ درختان ناشی از این نوع چوب‌ها و نیز شاخه‌ها، رویش قطری برون مرکزی را ارائه می‌دهند، در نتیجهٔ این عمل نواحی با رویش بیشتر دارای دوایر سالیانهٔ پهن‌ترند. این نوع چوب در پهن برگان در بخش بالایی تنه و شاخه ایجاد شده و به عنوان چوب کششی و در سوزنی برگان در قسمت زیری تنه و شاخه دیده شده و چوب فشاری نامیده



می‌شود. اثر نیروی ثقل و تغییر تعادل وزنی از عواملی اصلی مؤثر در تولید چوب واکنشی است. همچنین تنه‌های صاف می‌توانند به هنگام تأثیرات فیزیولوژی تغذیه، چوب واکنشی تولید کنند. چوب واکنشی از نظر آناتومی، شیمیایی، فیزیکی و مکانیکی با چوب طبیعی فرق دارد (شکل ۱۹).




**شکل ۱۹ ـ چگونگی تشکیل چوب واکنشی a) کششی b) فشاری**

## ۱. ٤. ٤. ۳. ۱ ـ چوب فشاری

چوب فشاری با دایره‌های سالیانه برون مغز در قسمت زیرین تنه‌های با استقرار کج و نیز شاخهٔ درخت‌های سوزنی برگ ظاهر می‌شود. در این چوب تشخیص مرز بین چوب بهاره و تابستانه امکان‌پذیر نیست زیرا تراکئیدهای مربوط به چوب بهاره دیوارهٔ ضخیمی دارند. در نتیجهٔ افزایش لیگنین (در گونه‌های کاج بین ۳٤ تا ٤۰ درصد)، سختی و جرم مخصوص (بیش از ٤۰ درصد)، واکشیدگی و هم‌کشیدگی طولی همراه با کاهش رطوبت اشباع فیبر افزایش می‌یابد. به‌دلیل رنگ قرمز چوب فشاری، آن راچوب قرمز نیز می‌نامند. تراکئیدهای چوب فشاری که توسط کامبیوم ساخته می‌شوند، دیوارهٔ ضخیم و سطح مقطع دایره‌ای شکل و کوتاه‌تر از تراکئیدهای معمولی دارند. Dadswell و Wardrop (۱۹۷۵) دریافتند که تراکئیدهای چوب فشاری با انتهای دو شاخه‌ای دیده شده و بین انتهای تراکئیدهای طولی داخل می‌شوند. در این میان فشار ناشی از رویش برای نگهداری تنهٔ درخت از سوی Munch در حدود ۳۰۰۰ kPa برآورد شده است. دیوار ثانویهٔ تراکئید چوب فشاری از سوی Cote و همکاران (۱۹٦۸) این‌گونه بیان شده است. این دیواره دارای لایهٔ $S_1$ پهن و به طور

ضعیف لیگنینی شده فیبریل‌ها با امتداد مارپیچی و صاف و در لایهٔ $S_1$ پهن و به‌طور ضعیف لیگنینی شده فیبریل‌ها با امتداد مارپیچی و صاف و در لایهٔ $S_2$ فیبریل‌ها با امتداد مارپیچ و مایل (°۴۵)، لایهٔ $S_2$ در بخش داخلی غنی از لیگنین و در بخش خارجی با فقر لیگنین قابل تشخیص است. لایهٔ خارجی توسط سیستم جدا کننده (که به‌طور شعاعی و به موازات فیبریل‌ها و از میان آن گذشته است) مشخص می‌شود.

پهنای نوارهای جدا کننده در لایهٔ $S_2$ در گونه‌های چوبی بررسی شده توسط Casperson (۱۹۶۳)، حدود ۰/۱ میکرون گزارش شده و ۱ تا ۲ میکرون، از هم فاصله دارند.

### ۱. ٤. ٤. ۳. ۲ـ چوب کششی

چوب کششی با دایره‌های سالیانه برون مغز در بخش بالایی تنهٔ درخت با استقرار مایل به‌ویژه در درختانی که به صورت منفرد رشد کرده‌اند و تحت تأثیر تنش‌های مکانیکی قرار دارند، دیده می‌شود. مقدار چوب کششی در گونهٔ صنوبر می‌تواند تا ۲۱ درصد برسد. چوب کششی به رنگ سفید مایل به نقره‌ای است، از این‌رو چوب سفید نیز نامیده می‌شود. چوب کششی تحت تأثیر نیروهای کششی به‌وجودمی‌آید و باعث تغییر شکل تنهٔ درخت می‌گردد. این چوب نسبت به چوب طبیعی دارای لیگنین کمتر و سلولز بیشتر است. این چوب دارای هم‌کشیدگی زیاد و تقریباً ۱۰ تا ۲۰ برابر چوب طبیعی است. جرم مخصوص، مقاومت به فشار، مقاومت به ضربه، مدول الاستیسیته، و مقاومت به کشش آن در گونهٔ صنوبر کمی بیشتر از چوب طبیعی آن است. الیاف چوب کششی که اغلب بلند هستند، در یک دایرهٔ سالیانهٔ بسیار فشرده و در قسمت ابتدایی و میانی آن قرار دارند. این الیاف دارای غشای ثانویهٔ ضخیم، قابل واکشیدگی، چوبی نشده و تقریباً از سلولز خالص تشکیل شده که لایهٔ G نامیده می‌شود. لایهٔ $S_1$ که با ضخامت طبیعی یا باریک و بعد از حفرهٔ سلولی قرار دارد، به لایه‌های با ابعاد متفاوت $S_2$ و $S_3$ که بعد از آن قرار دارند، منتهی می‌شود. لایهٔ G می‌تواند بعد از لایهٔ $S_3$ یا به‌طور مستقیم بعد از لایهٔ $S_1$ قرار گیرد.

بنابر نظر Kollmann و Cote (۱۹۶۸)، آرایش سه گانهٔ لایه‌ها به شکل زیر است:

$S_1 + S_2 + S_3 + G$

$S_1 + S_2 + G$

$S_2 + G$



جرم مخصوص چوب‌های واکنشی از نوع کششی و فشاری بیشتر از مقدار آن در چوب طبیعی است، این تفاوت در مورد چوب‌ها واکنشی از نوع فشاری بیشتر از چوب‌های واکنشی از نوع کششی می‌باشد.

### ۱. ٤. ٥ ـ اثر رطوبت

مقدار رطوبت در تنهٔ درخت سر پا تا حد زیادی تغییر می‌کند، این تغییرات در تنهٔ درخت افتاده یا چوب مصرفی در ساختمان، موجب به‌وجود آمدن تغییرات در جرم مخصوص چوب می‌گردد. چگونگی رابطهٔ بین جرم مخصوص چوب و مقدار رطوبت آن را می‌توان در نمودار ارائه شده توسط F. Kollmann (شکل ٦) مشاهده کرد. این نمودار نشان می‌دهد که جرم مخصوص چوب (جرم آن) با افزایش مقدار آب افزایش می‌یابد. ولی این افزایش قبل از هرچیز در مورد چوب‌هایی است که جرم مخصوص ($r_u$) آن‌ها کمتر از مقدار $[g/cm^3]$ ۱/۱ است. چوب‌های سنگین که جرم مخصوص ($r_u$) آنها بیشتر از مقدار $[g/cm^3]$ ۱/۱ است. برعکس با افزایش میزان رطوبت تغییرات فاحشی از خود نشان نمی‌دهند، چرا که افزایش جرمی که در اثر جذب رطوبت پدید می‌آید، نسبت به افزایش حجم حاصله تا رطوبت اشباع فیبر کمتر است. این بدان معنی است که جرم مخصوص چوب این درختان با افزایش میزان رطوبت تا حد رطوبت اشباع فیبر ابتدا کاهش، سپس افزایش پیدا می‌کند. هنگامی که کلیهٔ خلل و فرج چوب از آب پر شوند، جرم مخصوص درختان مختلف به نسبت، کمی اختلاف از خود نشان می‌دهند. بدین ترتیب اختلاف جرم چوب درختان جنگلی سر پا با جرم چوب تنهٔ درختان خشک شده در جنگل، کمتر از جرم چوب کاملاً خشک شده در هوای آزاد است.

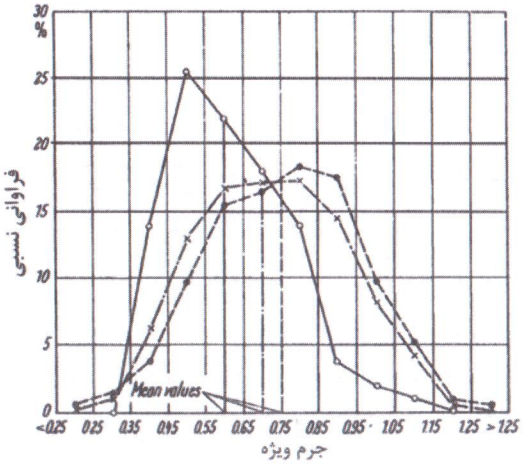
## ۱. ٤. ٦ـ اثر رویشگاه و ایستگاه اکولوژی

دستگاه وراثتی و تأثیرات مکانیکی و فیزیولوژیکی، همچنین آثار محیطی بر روی تولید چوب و در نتیجه جرم مخصوص آن، تأثیر متقابل تقویت کننده یا تضعیف کننده دارند. کلیهٔ اثر عوامل محیط چون خاک، گرما، رطوبت و باد معمولاً در ایستگاه اکولوژی به‌طور مشترک عمل می‌کنند. چگونگی واکنش درخت در مقابل این عوامل مربوط به دستگاه وراثتی (در این مورد نژاد) است که نقش مهمی را ایفا می‌کند. در مورد مطالعهٔ رابطهٔ بین تولید چوب و ایستگاه رویشی باید گفت که کار بسیار مشکلی است. ولی R. Trendelenbug نتایجی در این مورد جمع‌آوری کرده و بدین نتیجهٔ کلی دست یافته که مثلاً به طور متوسط جرم مخصوص چوب نراد از ارتفاعات به طرف گودی‌ها و تا اندازهٔ معینی از جنوب به شمال اروپا افزایش می‌یابد. به عبارت دیگر، می‌توان گفت که جرم مخصوص این چوب در مناطق شمال و ارتفاع کمی پایین، تقریباً مساوی با جرم مخصوص آن در مناطق جنوب و ارتفاع بالاتر است. پراکندگی جرم مخصوص در جهت جنوبی (در ارتفاعات کوهستانی) بسیار کم است و در جهت شمالی (گرم) بیشترین مقدار را دارد. با توجه به این مطلب باید گفت که به هنگام مقایسهٔ جرم مخصوص دو نوع چوب باید تأثیر رویشگاه نیز مورد توجه قرار گیرد.

در مورد چوب راش، A. Schwappach متوجه شد که جرم مخصوص کاهش منظمی از جنوب به طرف شمال (اروپا) از خود نشان می‌دهد. همچنین از ارتفاعات پایین به سوی ارتفاعات بالا، جرم مخصوص چوب این گونه کاهش نشان می‌دهد. ولی پراکندگی بسیار کم است. زمین‌های باتلاقی بنابرنظر Schwappach همه جا بدترین و سبک‌ترین چوب را تولید می‌کنند.

آن‌چه در پایان باید گفت، این است که چوب‌های مناطق گرمسیری (طبق G. Prutz) در مجموع حدود ۲۳٪ سنگین‌تر از چوب درختانی هستند که در جهت شمالی نواحی معتدله و نیمه گرمسیری رشد می‌کنند (شکل ۲۰).






**شکل ۲۰ ـ منحنی فراوانی نسبی جرم مخصوص در رطوبت ۱۵ درصد برای چوب‌های مناطق معتدل (جهت شمالی)، نیمه گرمسیری، ( ○——○)، گرمسیری (بنابر G. Prutz) ( ●—●—● ) و مناطق مختلف ( ○——○)**

عنایتی و همکاران در بررسی‌های خود دریافتند که اثر شرایط رویشگاه بر روی جرم مخصوص ظاهری چوب گونه‌های مختلف متفاوت است به‌طوری که در گونه‌های افرا، توسکا، نمدار و راش رویشگاه اثر معنی‌داری بر روی میزان جرم مخصوص ندارد، اما در گونه لرگ این اثر معنی‌دار بوده، به طوری که میزان جرم مخصوص این‌گونه از غرب جنگل‌های شمال به‌سوی شرق این جنگل‌ها افزایش می‌یابد در حالی‌که جرم مخصوص گونه ممرز از ناحیه غرب (جنگل‌های بهشهر) به سوی شرق (جنگل‌های گرگان) کاهش معنی‌داری را نشان می‌دهد. ضمن اینکه میزان جرم مخصوص این‌گونه در توده جنگلی خالص آن بیشتر از جرم مخصوص چوب این‌گونه در توده جنگلی مخلوط آن با گونه‌های راش و انجیلی می‌باشد. به‌علاوه جرم مخصوص چوب این‌گونه در توده جنگلی مخلوط با گونه راش بیشتر از جرم مخصوص چوب این‌گونه در توده جنگلی با گونه انجیلی می‌باشد.

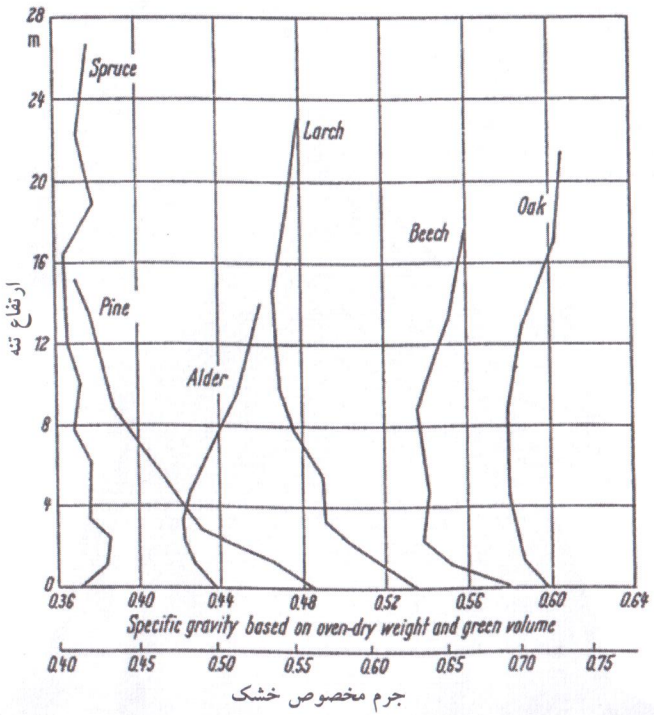
## ۱. ٤. ۷ـ نوسانات جرم مخصوص در یک پایه

در مورد تغییر جرم مخصوص در تمام بخش‌های تنه، نظرهای زیادی وجود دارد. تعیین دقیق تغییرات جرم مخصوص در مقطع طولی و عرضی تنه بسیار مشکل است و در عمل ممکن است تناقض‌هایی بروز کند. به‌طور کلی، در مقطع عرضی، این تغییرات به همراه پهنای دایرهٔ سالیانه نقش عمده‌ای دارند. هرچند این تغییرات در چوب‌های جوان با روند آن در چوب‌های مسن فرق می‌کند، با وجود این می‌توان به قانون‌مندی‌های کلی دست یافت. برای مثال در گونهٔ نوئل چوب سبک در نزدیکی مغز و در دوایر سالیانهٔ پهن قابل دستیابی است. حداکثر مقدار جرم مخصوص در دوایر سالیانهٔ باریک و در ناحیهٔ چوب برون به وجود می‌آید. در گرده بینه‌های خیلی مسن به‌طور موردی و در ناحیهٔ چوب درون مجدداً کاهش را نشان می‌دهد. در گونه‌های کاج جنگلی و ملز نیز جرم مخصوص از مقدار حداقل که در نزدیکی مغز قرار دارد، شروع و در تنه‌های بسیار مسن و در پهنای معین دایرهٔ سالیانه به حداکثر می‌رسد و بعد با باریک‌تر شدن دایرهٔ سالیانه، کاهش می‌یابد. به‌طور کلی، نوسانات ناگهانی پهنای دایرهٔ سالیانه، آثار نامطلوبی بر روی جرم مخصوص می‌گذارد. در چوب پهن برگان حداکثر مقدار جرم مخصوص به طور معمول در قسمت میانی تنه دیده می‌شود. براساس اندازه‌گیری‌های R. Hartig، مقدار جرم مخصوص در پایهٔ ۲٤٦ سالهٔ بلوط و در ارتفاع ۱/۳ متر در بخش داخلی تنه $۰/۷۲g/cm^3$ و در بخش خارجی آن $۰/٤٦g/cm^3$ بوده است. در تنهٔ ۱۸٦ سالهٔ راش R. Trendelenburg کاهش جرم مخصوص از $۰/۷۲g/cm^3$ تا $۰/٦۲g/cm^3$ و در توسکا حداکثر جرم مخصوص در پایه‌های مسن را گزارش می‌کند. نامبرده اشاره می‌کند چنانچه گرده بینه از یک سمت تحت تأثیر عوامل محیطی (اثر وزش باد) قرار گیرد، در چوب‌های پهن برگ و سوزنی برگ و در این جهت به‌طور معمول چوب سنگین تشکیل می‌شود. جهت مقابل بخش اثر پذیرفته با تولید چوب‌های واکنشی از نوع فشاری و کششی خیلی قوی می‌شود.

در جهت طولی گرده بینه گاهی تفاوت‌های چشمگیری در جرم مخصوص دیده می‌شود. ارتباط بین پهنای دایرهٔ سالیانه و جرم مخصوص را در این مورد نباید از نظر دور داشت. شکل ۲۱ تغییرات جرم مخصوص در طول تنهٔ گونه‌های مختلف را که توسط R. Tendlenburg ارائه شده، نشان می‌دهد. همان گونه که دیده می‌شود، جرم مخصوص چوب کاج جنگلی در نزدیکی کنده بیشترین مقدار را داراست. آن‌گاه تا ارتفاع ۱۰ ـ ۸ متر به طور شدید کاهش می‌یابد. این امر به حدی اثرگذار



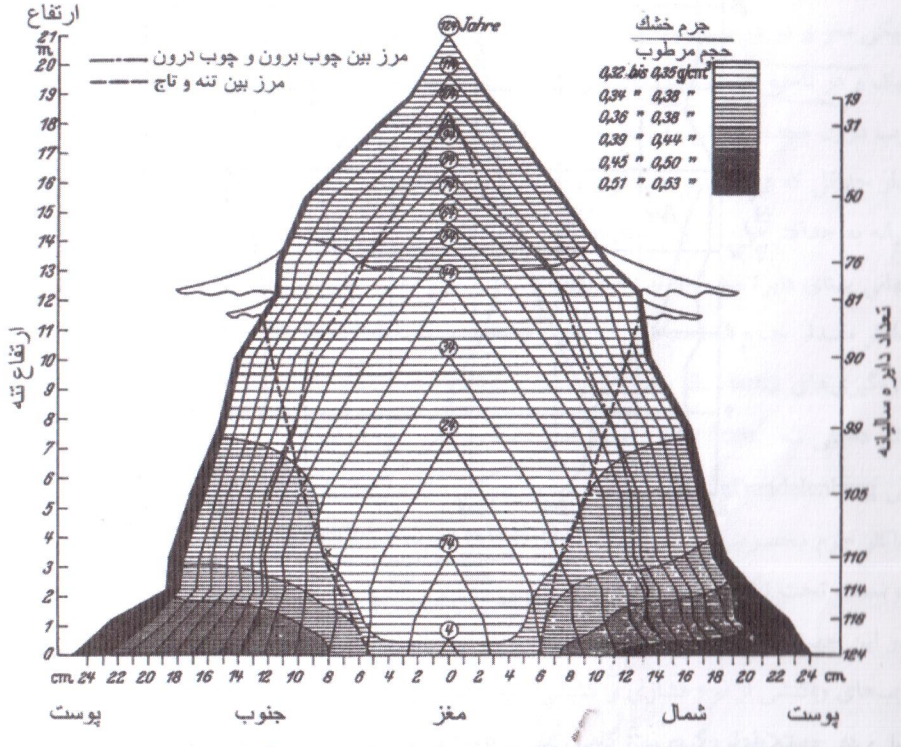
است که جرم مخصوص چوب‌های کاج جنگلی و نوئل در ارتفاع ۱۷ متر یکسان می‌شوند، هرچند چوب کاج جنگلی در محل کنده حدود ۱۰۰ کیلوگرم بیشتر از چوب نوئل مادهٔ چوبی خشک در واحد حجم سر پا را نشان می‌دهد، اما جرم مخصوص چوب نوئل در تمام طول گرده بینه بسیار کم تغییر می‌کند.




**شکل ۲۱ ـ تغییرات جرم مخصوص چوب در طول تنه گونه‌های مختلف**

در مورد گونهٔ ملز نسبت‌ها ساده نیست، سنگین‌ترین چوب در قسمت کنده تشکیل می‌شود. اما از این به بعد جرم مخصوص سریع کاهش می‌یابد و سپس در ارتفاع میانی تنه به حداقل می‌رسد و سرانجام دوباره به مقدار زیادی افزایش می‌یابد. در مورد گونهٔ راش و بلوط به طور کلی روند مشابهی دیده می‌شود. در حالی‌که در گونهٔ توسکا جرم مخصوص در ناحیهٔ کنده ابتدا به سرعت کاهش و آنگاه به‌طور واضحی و به طرف بالا افزایش می‌یابد. همچنین در مورد زبان گنجشک جرم مخصوص به‌طور

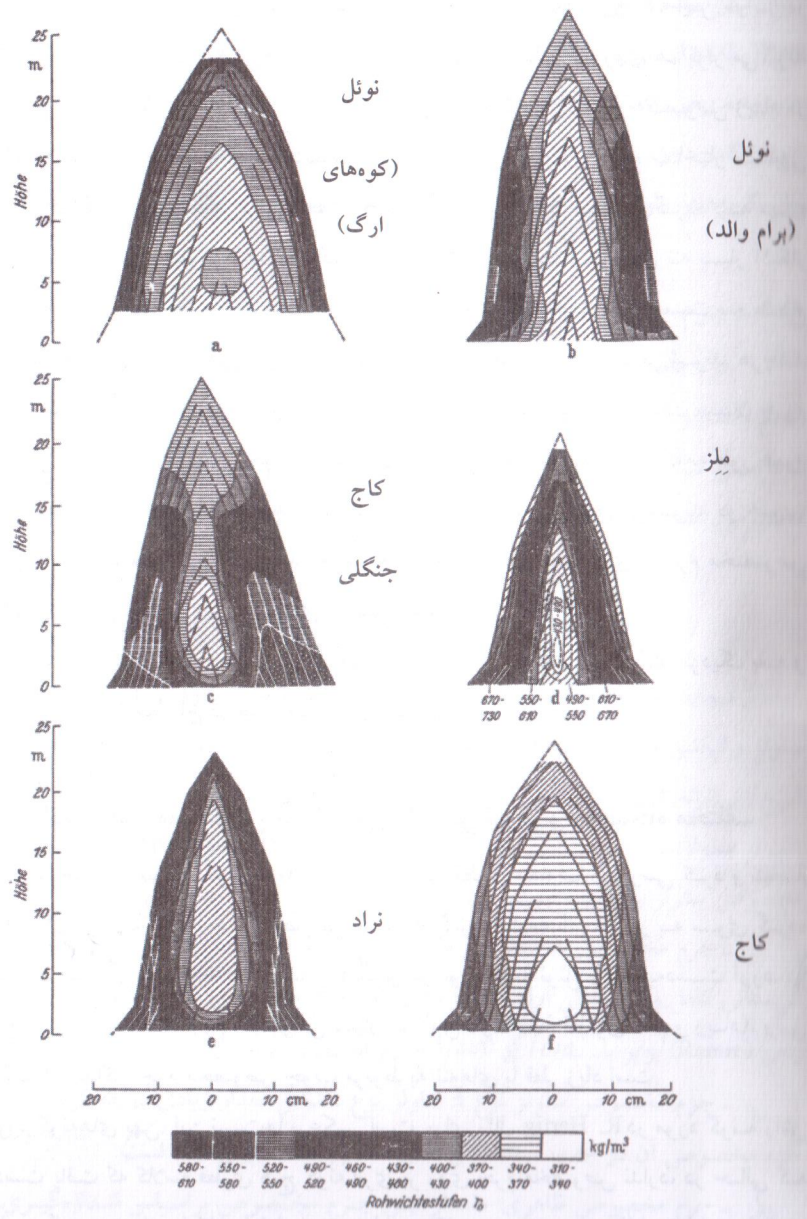
کلی با افزایش ارتفاع تنه افزایش می‌یابد. این روند در مورد گونهٔ توس برعکس کاهش می‌یابد. بی‌تردید می‌توان گفت این مسئله تا حدی به ویژگی‌های اختصاصی هرگونه مربوط است که تحت تأثیر عوامل محیطی به‌شدت آسیب می‌بیند. در این مورد بسیار جالب خواهد بود چنانچه تفاوت‌های تولید مادهٔ چوبی در درختان به کمک تصاویر رویش گرده بینه در برش طولی و از جهت شمالی به جهت جنوبی درختان مورد بررسی قرار گیرند (شکل ۲۲).




شکل ۲۲ ـ تغییرات رویش و جرم مخصوص چوب کاج جنگلی (برش طولی)

E. Volkert تلاش کرده که گونه‌های چوبی را براساس پراکنش جرم مخصوص آن‌ها مرتب کند. هرچند برای یک گونهٔ چوبی نوع مشخصی از این تصاویر وجود ندارد، با وجود این و بدون شک شکل‌های معین رویش و شکل‌های حد واسط را می‌توان تشخیص داد (شکل ۲۳).






شکل ۲۳ ـ تغییرات رویش و جرم مخصوص (برش طولی) گونه‌های مختلف چوبی

گونهٔ نوئل از نظر شکل دوایر رویش ساختار بسیار ساده‌ای دارد، به‌طوری که این دوایر در برش طولی تنه درخت به صورت پوشش‌های سهمی شکل عمود بر سطح افق روی هم قرار می‌گیرند و روند افزایش جرم مخصوص از داخل به خارج را نشان می‌دهندو ناحیه با جرم مخصوص زیاد در قسمت کنده (یقه) بیشترین پهنا را به خود اختصاص می‌دهد. گونه‌های نراد و کاج ساختار مشابهی دارند به‌طوری که در گونهٔ اخیر سنگین‌ترین قسمت چوب در پایین‌ترین قسمت گرده بینه دیده می‌شود. در گونهٔ کاج جنگلی متمرکز شدن حداکثر جرم مخصوص در قسمت انتهای تنه بسیار آشکار است. در این گونه پوشش‌های جرم مخصوص به جای استقرار عمودی به‌طور مایل نسبت به سطح افق قرار می‌گیرند، اما در شرایط خاص، لایه‌های بیرونی دوباره به سمت پایین خم می‌شوند. هرچند چوب گونهٔ ملز بسیار سنگین‌تر از چوب گونهٔ نوئل است، ولی علت یکسان شدن میزان جرم مخصوص به دلیل ویژگی این گونه و وجود پوشش‌هایی با جرم مخصوص کم است که به طور عمود بر سطح افق قرار دارند و بتدریج با پوشش‌های با جرم مخصوص زیاد پوشیده می‌شوند. در چوب برون بخش‌های با جرم مخصوص زیاد پوشیده می‌شوند در چوب برون بخش‌های با جرم مخصوص کم ایجاد می‌شوند، چنان‌چه دوایر رویشی پهنای مناسبی داشته باشند.

W. Gossler در گونهٔ راش حداکثر میزان جرم مخصوص را در بخش میانی تنه، نزدیک یقه و حدود یک متر پایین‌تر از ناحیهٔ تاج درخت به‌دست آورده است.

## ۱. ٤. ۸ ـ نوسانات جرم مخصوص در تنه‌های با شکل‌گیری و رویشگاه مختلف

R. Hartig جرم مخصوص گرده بینه‌های با کلاسه‌های قطری متفاوت را بررسی کرد و نتیجه گرفت که برای مثال در گونهٔ نوئل، جرم مخصوص چوب از گرده بینه‌های قطور به سوی گرده بینه‌های کم قطر افزایش می‌یابد. H. Bertog نتایج دیگری در مورد گونهٔ نوئل و نراد به‌دست آورد. در مورد گونهٔ کاج جنگلی نوسانات جرم مخصوص بسیار کم (بین دو کلاسهٔ قطری کم و زیاد)، ولی برخلاف گونهٔ نوئل حداکثر جرم مخصوص چوب مربوط به تنه‌های با قطر زیاد است.

در مورد گونه‌های پهن، این نسبت‌ها برعکس است. برای مثال R. Hartig در مورد گونهٔ راش به این نکته دست یافت که کلاسهٔ قطری هیچ گونه اثری بر روی جرم مخصوص ندارد، در حالی که در گونهٔ بلوط در گرده بینه‌های با کلاسهٔ قطری متوسط، حداکثر جرم مخصوص قابل مشاهده است.



شایان ذکرا ست که اثر شکل تنه بر روی جرم مخصوص را نباید از نظر دور داشت. از بررسی‌های G. Klem که از سوی E. Volkert تأیید شده، چنین برمی‌آید که با افزایش بخش چوبی نشده در تنه، جرم مخصوص کاهش می‌یابد. در گرده بینه‌های با شکل مشابه (از نظر قطر و طول)، گرده بینه‌های با تاج بزرگ‌تر، چوب با جرم مخصوص بیشتری تولید می‌کنند. این‌که چه اندازه می‌توان از این نتایج برای گونه‌های سوزنی برگ استفاده کرد، موضوعی است که باید مورد بررسی قرار گیرد.

## ۱. ۵ ـ جرم مخصوص حقیقی ($\gamma_w$)

جرم مخصوص حقیقی عبارت است از خارج قسمت جرم خشک مادهٔ چوبی دیوارهٔ سلولی و حجم مادهٔ چوبی خشک بدون خلل و فرج، به عبارت دیگر این جرم مخصوص برایند جرم مخصوص مواد اصلی تشکیل‌دهندهٔ دیوارهٔ سلول‌های چوبی است. با توجه به تعریف و برای این که این جرم مخصوص تفاوتی با جرم مخصوص ظاهری چوب دارد، می‌توان رابطهٔ زیر را نوشت:

$$\gamma_w = \frac{m'}{V'} \quad [g/cm^3]$$

دیوارهٔ سلول‌های چوبی از نظر شیمیایی یک جسم مرکب بوده و در درجهٔ اول از سلولز، همی سلولز و لیگنین تشکیل شده‌اند. در مورد هر یک از این سه ماده مقادیر جرم مخصوص خالص به شرح زیر ارائه شده است:

سلولز: براساس بررسی‌های انجام شده توسط P.H.Hermans (۱۹٤۹) مقادیر زیر در مورد جرم مخصوص سلولز بیان شده است.

ـ جرم مخصوص متوسط: این مقدار شامل جرم مخصوص سلولز با پراکنش متوسط نواحی کریستالی کامل و کریستالی اولیه است، برای مثال جرم مخصوص سلولز مربوط به غشای ثانویه چوب رامی (Ramie) برابر با $\gamma_c = ۱/۵۵۳\ g/cm^3$ است.

ـ جرم مخصوص سلولز نوع I: سلولز نوع I شامل مقدار زیادی درجهٔ کریستالی است و مقدار جرم مخصوص آن در حدود $\gamma_c = ۱/۵۹۲ g/cm^3$ اندازه‌گیری شده است.

ـ جرم مخصوص ظاهری: مقدار این جرم مخصوص براساس اندازه‌گیری آن به روش غوطه‌وری در آب به عددی در حدود $\gamma_c = ۱/٦۱۱ g/cm^3$ رسیده است. بدین ترتیب بیشترین

میزان جرم مخصوص خالص به‌دست می‌آید، زیرا به هنگام غوطه‌وری نمونه‌ها در آب، گروه‌های هیدروکسیلی زنجیرهای سلولز هیدراته می‌شوند بر این اساس مولکول‌های آب متراکم‌تر به اطراف رشته‌های سلولز متصل می‌شوند. به‌علاوه این امکان نیز وجود دارد که مولکول‌های آب با قطری در حدود ۲/۵ آنگستروم در لوله‌های اولیه مقدار فضای بیشتری نسبت به سلولز خالص دربرگیرند. در هر صورت مقدار میانگین جرم مخصوص خالص سلولز دیوارهٔ سلول چوبی برابر با $\gamma_c = 1/55 g/cm^3$ در نظر گرفته می‌شود (این مقدار بر روی غشای ثانویه الیاف چوب Ramie اندازه‌گیری شده است).

لیگنین: از نظر جرم مخصوص، لیگنین از سلولز سبک‌تر است. A.J.Stamm و L.A.Hanasen (۱۹۳۷) ارقامی را در مورد جرم مخصوص لیگنین ارائه داده‌اند که بین $\gamma_L = 1/38 g/cm^3$ و $\gamma_L = 1/41 g/cm^3$ است.

همی سلولز: جرم مخصوص خالص همی سلولزها به طور متوسط برابر با $\gamma_{Hc} = 1/5 g/cm^3$ بیان شده است.

با در نظر گرفتن این موضوع که مقدار عناصر مواد اصلی تشکیل دهندهٔ دیوارهٔ سلول‌های چوب تقریباً ثابت بوده، مقدار آن (جرم مخصوص حقیقی) برای تمام گونه‌های چوبی تقریباً مساوی و ثابت است. براساس بررسی‌های مختلف مشخص شده که هولوسلولزها (سلولز + پلی‌اوزها) دارای جرم مخصوص برابر با $\gamma_c = 1/58$ $[g/cm^3]$ و لیگنین چوب جرم مخصوص برابر با $\gamma_L = 1/38 - 1/46$ $[g/cm^3]$ است. از این‌رو می‌توان گفت که جرم مخصوص حقیقی با جرم مخصوص دیوارهٔ سلول‌های چوبی که فاقد آب باشد، با در نظر گرفتن روش‌های اندازه‌گیری دارای نوساناتی بین $\gamma_w = 1/50 - 1/56$ $[g/cm^3]$ است، برای سادگی کار، امروزه مقدار جرم مخصوص حقیقی چوب را برای همهٔ گونه‌های چوبی برابر با $\gamma_w = 1/53 g/cm^3$ در نظر می‌گیرند. چنان‌چه میزان درصد لیگنین در چوبی افزایش یابد، این مقدار به طرف جرم مخصوص لیگنین سیر می‌کند. عامل دیگری که موجب بروز تغییرات در مقدار جرم مخصوص حقیقی چوب می‌شود، مقدار رزین موجود در چوب است. نکتهٔ قابل ذکر این‌که در بعضی منابع علمی مقدار جرم مخصوص حقیقی چوب را برای سادگی محاسبات و با توجه به روش اندازه‌گیری برابر با $\gamma_w = 1/50$ $[g/cm^3]$ در



نظر گرفته‌اند (F.Kollmann). با توجه به این نوسانات باید گفت که دو عامل موجب این تغییرات می‌گردند؛ یکی مقادیر متغیر مواد اصلی تشکیل دهندهٔ دیوارهٔ سلول چوبی به‌خصوص درجهٔ لیگنینی شدن و دیگری روش‌های مختلف اندازه‌گیری. شایان ذکر است که چوب درون به‌واسطهٔ دارا بودن مواد ذخیره‌ای و مواد رنگی، جرم مخصوص حقیقی بیشتر دارد، به همین دلیل مقدارش تا حدود $\gamma_w = 1/62 g/cm^3$ می‌رسد.

## ۱. ۵. ۱ ـ اندازه‌گیری و تعیین جرم مخصوص حقیقی

برای اندازه‌گیری جرم مخصوص حقیقی از نمونه‌های بسیار باریک چوب استفاده می‌شودکه برای مثال از برش‌های عرضی به ضخامت $\mu m$ ۱۰ استفاده می‌گردد، تا این‌که مادهٔ مورد استفاده بتواند در تمام فضاهای موجود در بافت چوب کاملاً نفوذ کند.

برای اندازه‌گیری جرم مخصوص حقیقی روش‌های مختلفی وجود دارد، یکی از این روش‌ها روش تعلیق است که در آن از محلول‌های مختلف نمکی چون محلول نیترات کلسیم با درجات غلظت مشخص و متفاوت استفاده می‌شود. روش کار بدین شکل است که برش مورد نظر را در محلول‌های با جرم مخصوص مختلف قرار می‌دهند. در محلولی که جرم مخصوص مشابهی با جرم مخصوص دیوارهٔ سلول چوبی داشته باشد نمونه به حالت تعلیق درمی‌آید. روش دیگر غوطه‌ور کردن و در نتیجه نفوذ محلول مورد استفاده مثل بنزین، الکل و غیره در نمونه است، به‌طوری که کلیهٔ فضاهای موجود در دیوارهٔ سلولی را نیز پرکند. اشکال این روش این است که چنان‌چه محلولی مثل آب مورد استفاده قرار گیرد، به علت تراکم مولکول‌های آن در سطح داخلی چوب و ایجاد واکشیدگی، عدد به‌دست آمده بزرگ‌تر و چنان‌چه از محلولی چون بنزین استفاده شود که سلولز تمایل زیادی به جذب آن ندارد و هیچ‌گونه اثر واکشیدگی هم در چوب به‌وجود نمی‌آورد، به دلیل آن‌که در کلیهٔ لوله‌های مویین موجود در دیوارهٔ سلول چوبی نمی‌تواند نفوذ کند، اعداد به‌دست آمده در مورد حجم خلل و فرج نمونه کوچک‌تر خواهند بود.

با در نظر گرفتن مشکلات مذکور به نظر می‌رسد که تعیین حجم نمونه و در نتیجه محاسبهٔ جرم مخصوص حقیقی به‌وسیلهٔ داخل کردن در گاز هلیوم دقیق‌تر باشد، چرا که این گاز به‌وسیلهٔ سلولز جذب نمی‌شود و در عین حال به دلیل جرم مولکولی کم کلیهٔ لوله‌های مویین دیوارهٔ سلول چوبی را اشغال می‌کند. بدین ترتیب مشخص شد که اعداد به‌دست آمده از این روش بین مقدارهای ناشی از شرایطی است که در آن‌ها آب یا بنزین استفاده شده است (جدول ٤).

**جدول ٤ ـ مقدار جرم مخصوص حقیقی دیواره سلولی**

| نوع ماده | جرم مخصوص حقیقی $\gamma_w = g/cm^3$ | | |
|---|---|---|---|
| | بنزین | هلیوم | آب |
| نوئل | ١/٤٤٤ | ١/٤٦٠٣ | ١/٥٣٣٢ |
| پنبه | ١/٥٧١ | ١/٥٨٥ | ١/٦٠٢٨ |

# فصل دوم

## رطوبت چوب

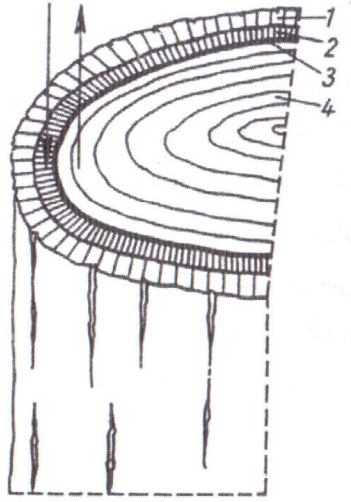
در هنگام بررسی‌های فیزیولوژیکی میزان ظرفیت آب موجود در درخت سرپا، به عنوان قسمتی از یک موجود زنده مورد توجه قرار می‌گیرد. در بررسی‌های فیزیکی به‌عکس چوب به‌عنوان جسم مرده مورد نظر است. در مورد ارتباط بین چوب و آب می‌توان گفت که چوب به‌عنوان جسم خلل و فرج‌دار، از نظر شیمیایی غیریکنواخت، ولی به جهت وجود مقادیر زیاد سلولز، ماده‌ای با رطوبت‌پذیری زیاد است. به‌دلیل این خاصیت، چوب به گونه‌ای با محیط اطراف در ارتباط است که یا از هوای در برگیرنده‌اش آب جذب می‌کند یا این که به آن رطوبت (آب) پس می‌دهد. با در نظر گرفتن این خاصیت چوب و ارتباط متقابل آب و چوب، لازم به‌نظر می‌رسد که چگونگی وجود آب در بافت چوب در درخت سرپا و چوب بریده شده مورد مطالعه قرار گیرد.

### ٢. ١ـ رطوبت چوب در درخت سرپا

ساختمان میکروسکپی و ماکروسکپی چوب شرایطی را به‌وجود می‌آورد که بتوان چوب را به‌عنوان یک مادهٔ پرخلل و فرج به‌حساب آورد، این خاصیت شامل فضاهای موجود بین رشته‌های سلولز و رشته‌های میکروفیبریل از یک طرف و نیز حفره‌های سلولی (که گاه با چشم غیرمسلح نیز قابل رویت‌اند)، است که در مجموع در چوب بافت‌های خلل و فرج‌دار را تشکیل می‌دهند. این خلل و فرج در درخت سرپا به‌وسیلهٔ مایعات و تا حدودی مخلوط گازها پر شده‌اند. در حالت طبیعی چوب چه در درخت سرپا و چه به‌صورت تبدیل شده، اغلب مقدار معینی رطوبت (آب) دارد.

براساس بررسی‌های K.Ladefoged (۱۹۵۲)، در چوب‌های پهن برگ پراکنده آوند تمامی آب در ۲۰ دایرهٔ سالیانهٔ بیرونی هدایت می‌شود، در حالی‌که در بیرون‌ترین دایرهٔ سالیانه و در نزدیکی کامبیوم حدود ۱۰ درصد افت دارد. در چوب‌های پهن برگ بخش روزنه‌ای بر عکس حالت قبل فقط ٤ تا ۵ دایره سالیانه بیرونی در انتقال آب شرکت دارند، این در شرایطی است که حدود ۷۵ درصد مقدار آب در خارجی‌ترین دایره‌های سالیانه جابه‌جا می‌شود.

در درخت سرپا (زنده) مقدار رطوبت چوب قبل از هرچیز به نوع چوب، سن چوب، شرایط تودهٔ جنگلی و نیز فصل سال بستگی دارد. با توجه به فیزیولوژی درخت واضح است که آب از زمین و توسط جوان‌ترین لایه‌های چوب برون به طرف بالا منتقل شده و مواد غذایی در پوست زنده به طرف پایین و اندام‌های مصرف کننده هدایت می‌شود. مجموعهٔ این مایعات رطوب در درخت سرپا را تشکیل می‌دهند که مقدار آن بین ۲۰۰ ـ ۲۰ درصد نوسان دارد (شکل ٢٤).




**شکل ٢٤ ـ انتقال رطوبت در درخت سرپا**

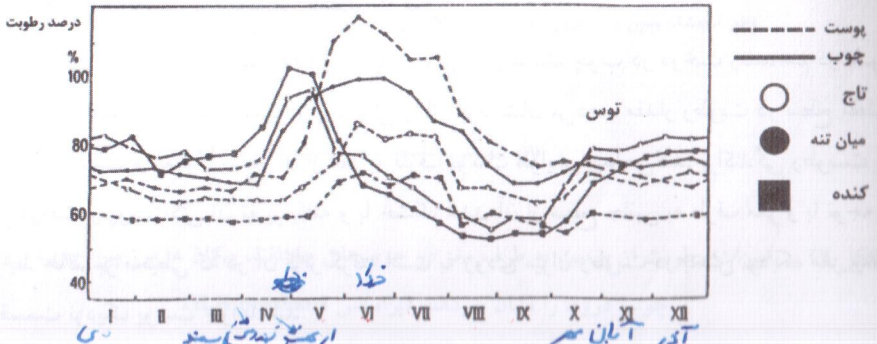
**۱) پوست مرده ۲) پوست زنده ۳) کامبیوم ٤) چوب**

## ۲. ۱. ۱ـ نوسانات رطوبت در طول سال

براساس آزمایش‌های انجام شده بر روی گونه‌های مختلف چوب، میزان رطوبت در درخت سرپا دارای نوسانات سالیانه است (R.D.Gibbs ۱۹۵۹). همان گونه که در شکل ۲۵ دیده می‌شود، در

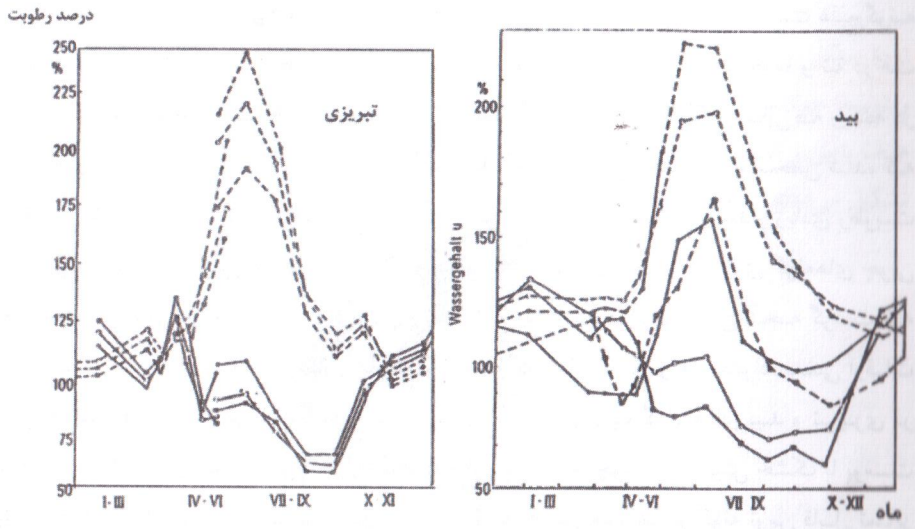


گونهٔ توس (Betula Populifolia) به هنگام باز شدن جوانه‌ها بر روی تنه و شاخه‌ها مقدار زیادی آب وجود دارد. در خلال تابستان کاهش مشخصی در مورد میزان آب در پوست و چوب مشاهده می‌شود، این کاهش در پوست به علت پدیدهٔ تعریق و در چوب به علت گسیخته شده ارتباط بین رشته‌های آب در آوندهاست، به طوری که نیروی مکش ناشی از تبخیر همیشه بخش‌های کوچکی را در اختیار دارد. به هنگام ریزش برگ‌ها مقدار آب موجود در درخت سرپا به حداقل خود می‌رسد، در پایان پاییز دوباره حفره‌های ذخیره پر خواهند شد، زیرا ریشه همچنان فعال است، ولی تاج درخت هیچ‌گونه تعریق ندارد. در زمستان میزان رطوبت درخت ثابت می‌ماند و فقط در روزها که شاخه‌ها و تنهٔ درخت تا حدی گرم می‌شوند که آب قادر به تبخیر بوده که مقدار آن کاهش می‌یابد، در حالی‌که ریشه در زمین یخ زده، هیچ‌گونه امکان ارسال آب را پیدا نمی‌کند. به علاوه‌این نکته نیز مشخص شده که نوسانات رطوبت در پوست و چوب یکسان است؛ به‌طوری که اگر چوب دارای مقدار زیادی رطوبت باشد، پوست نیز مقدار قابل توجهی آب دارد. براساس اندازه‌گیری انجام شده بر روی گونه‌های چوبی مختلف، بخش‌های مختلف یک درخت و در ارتفاعات مختلف تنه می‌توان چنین نتیجه گرفت که میزان آب در گونه‌های غیرفامیل بسیار متفاوت بوده و در گونه‌های فامیل و هم خانواده بعضی اوقات خیلی خوب منطبق بر هم می‌باشند. برای مثال گونه توس را می‌توان با گونه‌های بید و تبریزی در مورد هدایت آب در پوست و چوب مورد مقایسه قرار داد. در بید چوب کم و بیش خشک با پوست بیش از اندازه مرطوب توأم است، به همین علت این گونه به طور مشخص از گونه توس قابل تمایز است، ولی با هم خانوادهٔ خود یعنی تبریزی همخوانی دارد.




**شکل ۲۵ ـ تغییرات رطوبت پوست و چوب در طول سال (گونهٔ توس)**

با توجه به مطالعات بالا می‌توان نتیجه گرفت که نوسانات سالانهٔ رطوبت به گونهٔ چوبی بستگی دارد، بدین ترتیب که در گونه‌های هم خانواده روند مشابهی دارد، و در گونه‌های غیر هم خانواده متفاوت است و همخوانی ندارد. در این میان مشخص شده که نوسانات رطوبت در پوست به مراتب محسوس‌تر از چوب است. این اندازه‌گیری فقط در ناحیهٔ چوب برون صورت پذیرفته است (شکل ٢٦).



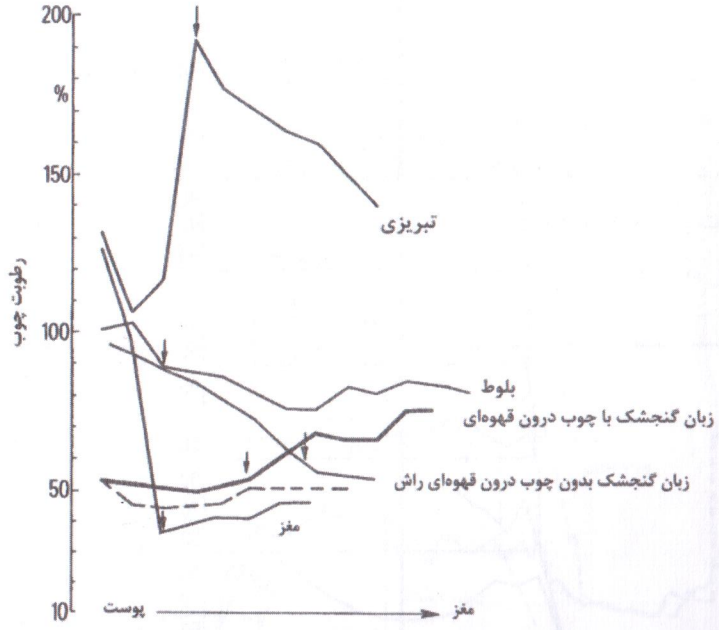

**شکل ٢٦ ـ تغییرات رطوبت پوست و چوب در گونه‌های تبریزی و بید در طول سال**

## ٢. ١. ٢ـ نوسانات رطوبت در مقطع عرضی

با بررسی‌های انجام شده، معلوم گردیده که میزان رطوبت چوب در درخت زنده، هم در طول و هم سطح مقطع آن یکسان نیست و نوساناتی را از خود نشان می‌دهد. مقدار رطوبت در سطح مقطع آن یکسان نیست و معمولاً مقدار آن از مغز به طرف پوست افزایش پیدا می‌کند. پراکندگی رطوبت با قطع درخت و پوست‌کنی آن تغییر یافته و با خشک شدن آن از سطح جانبی به طرف مغز و با توجه به شرایط حاکم بر محیطی که در آن قرار گرفته است به زودی میزان رطوبت در بخش نزدیک مغز بیشتر از قسمت نزدیک پوست خواهد شد.

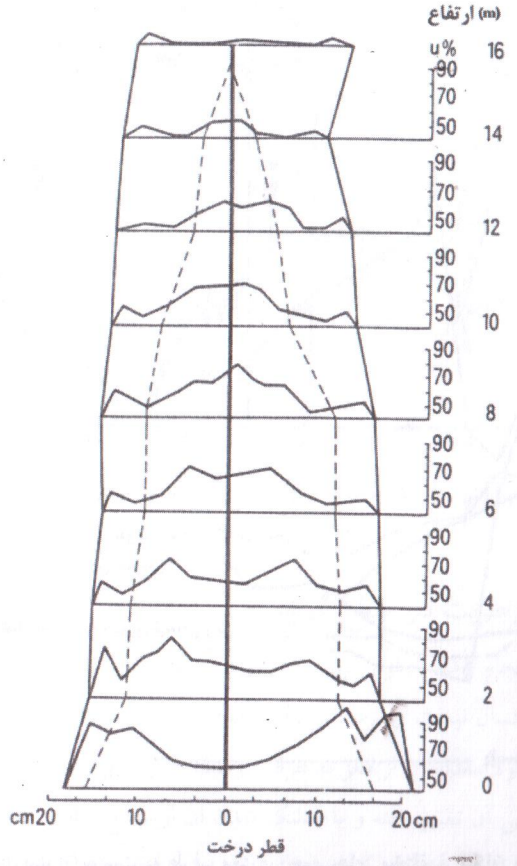


به‌طور کلی بررسی‌های موجود در مورد پراکندگی میزان رطوبت درخت زنده نشان می‌دهند که به طور معمول این مقدار در مورد بیشتر چوب‌ها در ناحیهٔ چوب برون بیشتر از ناحیهٔ چوب درون است. برای مثال براساس آزمایش‌های انجام شده توسط O.Lenz (١٩٥٤)، H. Zycha (١٩٤٨)، H. Burger (١٩٤٧ u. ١٩٤٥)، H.H.Bosshard (١٩٥٥) در مورد نوسانات مقدار رطوبت در چوب‌های تبریزی، زبان گنجشک، راش، بلوط و ملز، مشخص شده که در مورد تبریزی، بلوط و راش مقدار رطوبت در حوالی چوب درون رنگی کاهش و در مورد ملز افزایش پیدا می‌کند (شکل ٢٧). در مورد زبان گنجشک بدون چوب درون رنگی تغییرات زیادی به‌چشم نمی‌خورد (شکل ٢٨). همان‌طور که از شکل پیداست، در قسمت‌های درونی مقدار رطوبت افزایش می‌یابد، در حالی‌که چوب برون خشک باقی می‌ماند.




**شکل ٢٧ ـ تغییرات رطوبت از پوست به طرف مغز در چوب‌های مختلف، پیکان ها مرز بین چوب برون و چوب درون را نشان می‌دهند (براساس H.H.Bosshard)**

با کمی دقت می‌توان دریافت که با توجه به مرز چوب درون رنگی در محدودهٔ این بخش رطوبت افزایش یافته و در انتهای درخت که تقریباً چوب درون ندارد، این افزایش به چشم نمی‌خورد. در مورد چوب‌های بدون چوب درون مثل توس و ممرز این پدیده (پراکندگی رطوبت) به‌نحوه دیگری است و مقدار رطوبت از پوست به طرف مغز افزایش می‌یابد. تغییرات مقدار رطوبت در درخت سرپا و در مقطع عرضی آن در سوزنی و پهن برگان یکسان نبوده (چوب برون، چوب درون) و در سوزنی‌برگان این اختلاف بیشتر از مقدار آن در پهن برگان است.




شکل ۲۸ ـ نمودار پراکندگی رطوبت در چوب زبان گنجشک، فضای محدود شده با خطهای بریده چوب درون قهوه‌ای قرار دارد (براساس ۱۹۵۵، H.H.Bosshard)

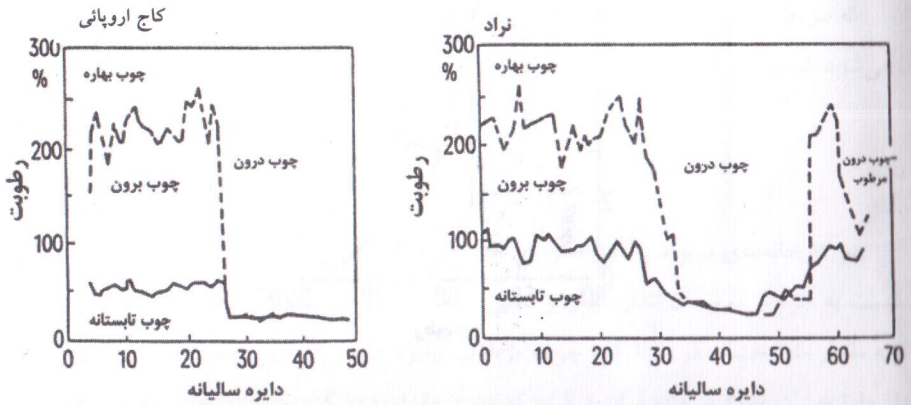


جدول ۵ ـ مقدار رطوبت در چوب برون و چوب درون گونه‌های مختلف سوزنی برگ و پهن برگ

| گونهٔ چوبی | رطوبت (٪) چوب برون | چوب درون |
|---|---|---|
| نوئل | ۱٤٦ | ۳۳ |
| کاج جنگلی | ۱۳۳ | ۳۱ |
| نراد | ۱۰۰ | ۳۰ |
| راش (اروپا) | ۸۰ | ۷۳ |
| اقاقیا | ۷۱ | ۳۹ |

اختلاف موجود در مقدار رطوبت حتی در چوب بهاره و تابستانه یک دایره سالیانه به چشم می‌خورد (شکل ۲۹). باتوجه به این شکل می‌توان گفت که تغییرات موجود تأیید کنندهٔ نقش هدایت‌کنندهٔ چوب برون است. نوسانات موجود در مورد گونه‌های مختلف، متفاوت می‌باشد.

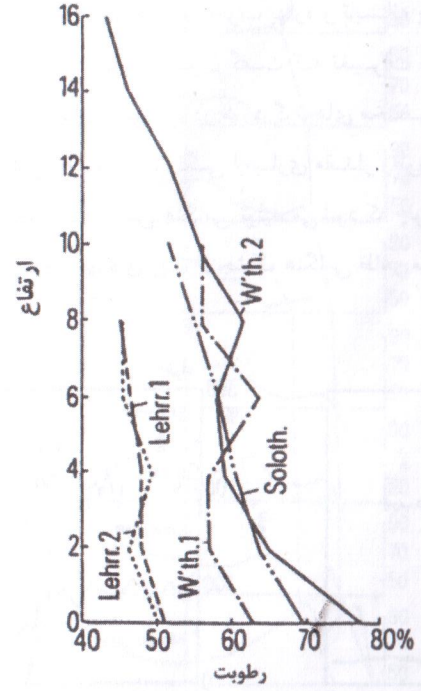
در حالی‌که برای تشکیل چوب درون رنگی اجباری مقدار رطوبت نقش غیرمؤثری دارد، Zycha نشان داده که چوب درون قرمز راش هنگامی تولید می‌شود که چوب دارای حداکثر حدود ٦۰ درصد رطوبت باشد و چوب درون قهوه‌ای زبان گنجشک هنگامی ظاهر می‌شود که مقدار رطوبت چوب حداقل به ۵۵٪ برسد.




شکل ۲۹ ـ پراکندگی رطوبت در چوب درون و چوب برون و نیز چوب بهاره و تابستانه گونه‌های کاج اروپایی و نراد (Trendelenburg)

## ۲. ۱. ۳ـ نوسانات رطوبت در مقطع طولی

در مورد نقش توده جنگلی (کیفیت خاک، نزولات آسمانی و حرارت) بر روی میزان رطوبت در درخت سر پا، باید گفت که چوب درخت کاج جنگلی در شمال فنلاند مرطوب‌تر از چوب این‌گونه در جنوب است، چرا که سطح آب زیرزمینی در ارتفاع بالاتری قرار گرفته و آبی که در اختیار ریشه قرار می‌گیرد، بیشتر از تبخیر آن است. در این مورد براساس آزمایش‌های انجام شده بر روی زبان گنجشک (با چوب درون قهوه‌ای)، اثر تودهٔ جنگلی خشک و مرطوب بر روی رطوبت درخت سرپا به وضوح دیده می‌شود. در این میان مشخص شده چوب زبان گنجشک بر روی توده جنگلی مرطوب، نسبت به تودهٔ جنگلی خشک حدود ۱۵٪ رطوبت بیشتری از خود نشان می‌دهد (شکل ۳۰).




شکل ۳۰ ـ میانگین رطوبت چوب زبان گنجشک در تودهٔ جنگلی مرطوب ($w.1/2$) و تودهٔ جنگلی خشک ($L.1/2$) (براساس ۱۹۵۵، H.H.Bosshard)



## ۲. ۲ـ رطوبت در چوب

### ۲. ۲. ۱ـ مفهوم و محاسبهٔ درصد رطوبت چوب

از آن‌جا که تقریباً کلیهٔ خواص چوب چون قابلیت پرداخت، قدرت گرمازایی به هنگام سوزاندن، خاصیت جذب گاز به هنگام گاز دادن (ضدعفونی کردن)، راندمان و کیفیت مواد سلولزی تهیه شده از چوب و نیز دوام آن در مقابل حملهٔ قارچ به مقدار رطوبت آن بستگی دارد، اندازه‌گیری و تعیین مقدار آن از اهمیت خاصی برخوردار است. از طرف دیگر، تغییرات آن در چوب به مقدار زیادی تغییرات حجمی این ماده را موجب می‌شود. از این گذشته خشک کردن، آغشته کردن، رنگ‌آمیزی، خرد کردن، و تغییر شکل چوب تحت تأثیر شدید مقدار رطوبت آن می‌باشند. در نهایت به دلیل مطرح بودن مسائل اقتصادی چون حمل و نقل چوب و انبار کردن آن‌که به جرم مخصوص و در نهایت به رطوبت آن بستگی دارد، با در نظر گرفتن کلیهٔ موارد مذکور ضرورت بیان مقدار درصد رطوبت چوب و قوانین مربوط به آن به‌شدت احساس می‌شود و از اهمیت زیادی برخوردار است.

در فناوری چوب معمولاً رطوبت چوب (U) نسبت به جرم کاملاً خشک (جرم خشک) محاسبه و تعیین می‌شود، بنابراین خواهیم داشت:

$$U = \frac{m_u - m_d}{m_d} \qquad [kg/kg] \quad \text{یا} \quad [g/g]$$

که در آن $m_u$ جرم مرطوب و $m_d$ جرم خشک است. مقدار زیاد معمولاً به صورت درصد بیان می‌شود که در این صورت رابطهٔ زیر برقرار است:

$$U = \frac{m_u - m_d}{m_d} \times ۱۰۰ [\%]$$

در کارخانه‌های مربوط به تولید مواد سلولزی و نیز تولید انرژی حرارتی مقدار رطوبت چوب X نسبت به جرم مرطوب آن اندازه‌گیری و تعیین می‌شود، بدین ترتیب برای خریدار مشخص می‌شود که چه مقدار مادهٔ خشک در ۱۰۰ گرم چوب مرطوب وجود دارد. برای این منظور دستگاه اندازه‌گیری مقدار مادهٔ خشک مورد استفاده قرار می‌گیرد که در آن مقدار ۱۰۰ گرم چوب مرطوب خرد شده را در کفهٔ ترازوی دستگاه وزن کرده و بالای آن دستگاه خشک کن (لامپ مادون قرمز) قرار می‌دهند تا رطوبت خرده‌های چوب تبخیر و عقربه دستگاه به مقدار ثابت برسد، بنابراین:

$$X = \frac{m_u - m_o}{m_u} \qquad [g/g] \quad \text{یا} \quad [kg/kg]$$

بین مقدار u و x نیز می‌تواند رابطهٔ زیر برقرار باشد:

$$U = \frac{x}{1-x} \qquad x = \frac{u}{1+u} \quad [g/g] \qquad [kg/kg]$$

و اگر به صورت درصد بیان شود:

$$U = \frac{100x}{100-x}(\%) \qquad X = \frac{100U}{100+U}(\%)$$

مورد استفادهٔ فرمول بالا به دو شکل است:

۱ ـ در آزمایشگاه که در این مورد با مشخص کردن جرم مرطوب و جرم خشک نمونهٔ مورد آزمایش می‌توان مقدار رطوبت را تعیین کرد.

۲ ـ در عمل: از این فرمول در جریان خشک کردن چوب‌ها به طور مصنوعی و درچوب خشک‌کنی برای کنترل جریان خشک شدن (تند یا آهسته). برای این منظور از نمونهٔ شاهد استفاده می‌شود، که در کوره قرار داده شده و بعد از مدتی مقدار $U_1$ محاسبه می‌شود (رطوبت اولیه). آن‌گاه این عمل بعد از زمان مشخصی تکرار و در نتیجه مقدار $U_2, U_3, U_4, ..., U_x$ محاسبه می‌شود، پس با در ارتباط قرار دادن دو رابطه، رابطه زیر به دست می‌آید:

$$U_1 = \frac{m_1 - m_d}{m_d} \rightarrow md(1+u_1) = m_1$$

$$U_2 = \frac{m_2 - m_d}{m_d} \rightarrow md(1+u_2) = m_2$$

$$\rightarrow \frac{m_2}{m_1} = \frac{(1+u_2)}{(1+u_1)}$$

$$U_2 = \frac{m_2}{m_1}(1+u_1) - 1 \rightarrow U_x = \frac{m_x}{m_1}(1+u_1) - 1$$

از محاسن این رابطه این است که در هر لحظه و بدون بریدن چوب‌های بزرگ (برای برداشت نمونه)، هربار با اندازه‌گیری جرم در لحظهٔ مورد نظر می‌توان میزان درصد رطوبت چوب‌های موجود در کوره را تعیین کرد.



## ۲. ۲. ۲ـ روش‌های اندازه‌گیری رطوبت چوب

به طور کلی برای تعیین رطوبت چوب روش‌های زیر وجود دارند:

خشک کردن در اتو، خشک کردن به‌وسیلهٔ اجسام رطوبت‌گیر، خشک کردن در خلا، روش تقطیر برای محاسبهٔ حجم آب، روش استیلن (اثر آب بر روی کاربیت کلسیم)، روش رطوبت‌سنج چوب، استفاده از معرف‌های شیمیایی، روش رطوبت‌سنج الکتریکی.

با بررسی‌هایی که بر روی روش‌های بالا انجام شده، معلوم گردیده که برای اندازه‌گیری رطوبت فقط روش‌های خشک کردن در اتو، خشک کردن در خلأ، روش تقطیر، روش الکتریکی و بعضی از روش‌های شیمیایی و رطوبت‌سنجی قابل اجرا می‌باشند.

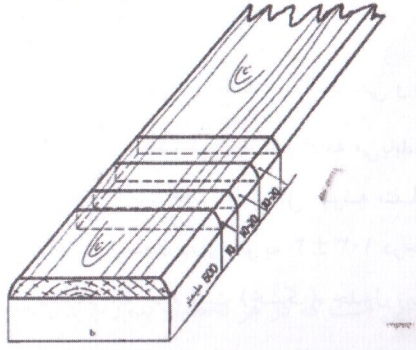
## ۲. ۲. ۲. ۱ـ روش خشک کردن در اتو

این روش که در آن آب موجود در چوب به‌وسیلهٔ بخار شدن قابل تعیین و محاسبه است، یکی از روش‌های بسیار دقیق، علمی و تنها روش رضایت‌بخش به لحاظ نتیجهٔ کار است. این روش که بسیار گسترش یافته، به عنوان روش پایه یا بنیادی معروف بوده و دیگر روش‌های تعیین رطوبت چوب به‌وسیلهٔ آن کنترل می‌شوند. در این روش، معمولاً از نمونه‌های استاندارد مثلاً نمونه‌های مورد استفاده برای تعیین مقاومت به فشار (۳×۲×۲ سانتی‌متر) به منظور تعیین مقدار رطوبت استفاده می‌شود. بلافاصله بعد از جدا کردن نمونهٔ چوب از تخته‌های مورد نظر، جرم آن به‌وسیلهٔ ترازوی حساس (با دقت $\frac{1}{10000}$ گرم) تعیین می‌شود و سپس در داخل اتوالکتریکی و در دمای ۲ ± ۱۰۳ درجهٔ سانتی‌گراد قرار می‌گیرد (شکل ۳۱). عمل خشک کردن آن‌قدر ادامه می‌یابد تا این‌که جرم نمونه ثابت بماند (این مدت با توجه به رطوبت اولیهٔ، ابعاد، جرم و شکل نمونه متفاوت است)، که در مورد نمونه‌های آزمایشگاهی ۲۴ ساعت بعد از رسیدن دمای اتو به ۲ ± ۱۰۳ درجهٔ سانتی‌گراد کافی است. در مورد زمان خشک کردن برای دستیابی به جرم ثابت (خشک)، جدول زیر می‌تواند راهنمای خوبی باشد:

| جرم نمونه (گرم) | شرایط نمونه | مدت خشک کردن (ساعت) | |
|---|---|---|---|
| ۱۰۰ | چوب خرد نشده | ۶۰-۲۰ | با توجه به رطوبت اولیه و جرم مخصوص نمونه‌ها |
| ۱۰۰ | چوب خرد شده | ۱۰ ـ ٤ | |
| ۲۰ | چوب خرد نشده | ۲۰ – ۵ | |
| ۲۰ | چوب خرد شده | ٦ – ٤ | |

بعد از خشک شدن کامل، نمونه را در دسیکاتور محتوی مواد جاذب رطوبت مثل کات کبود ($CuSo_4,5H_2o$) پنتااکسید فسفر $P_2O_5$ و کلرورکلسیم قرار می‌گیرد تا سرد شود، سپس جرم خشک نمونه را تعیین و با استفاده از رابطه مربوطه مقدار درصد رطوبت محاسبه می‌شود. از آن‌جا که هوای داخل اتو کاملاً خشک نیست، اغلب مقدار رطوبت باقی‌مانده در نمونه‌ها با توجه به نوع چوب و شرایط خشک کردن در حدود ۱ ـ ۰/۳ درصد است، از این‌رو خطای اندازه‌گیری با این روش در حدود ۰/۵ درصد می‌باشد. در مورد بعضی چوب‌ها که مقدار زیادی مواد رزینی یا صمغی دارند، روش خشک کردن موجب تبخیر این مواد فرار شده و در نتیجه سبب بروز اشتباه می‌شود.

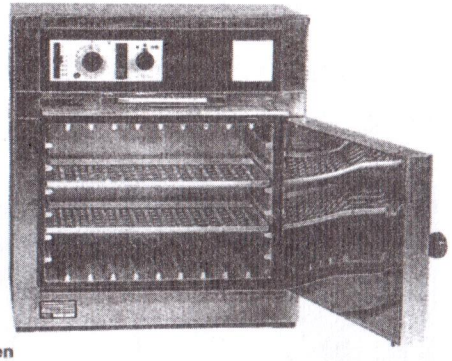
در مورد نحوه تهیه نمونه‌های لازم برای تعیین رطوبت چوب، باید گفت چنانچه هدف تعیین میانگین مقدار رطوبت در طول قطعات بزرگ باشد، باید نمونه‌های آزمایش به ضخامت ۲۰ ـ ۱۵ میلی‌متر تهیه شوند. این نمونه‌ها باید حداقل از فاصلهٔ ۳۰ سانتی‌متری از لبهٔ قطعه انتخاب شود، ولی به‌طور کلی نحوهٔ نمونه‌برداری برای تعیین مقدار درصد رطوبت چوب به صورت زیر است:



نحوه نمونه‌برداری برای تعیین رطوبت چوب در روش خشک کردن



بزرگترین عیب این روش، زمان طولانی است که برای خشک کردن نمونه‌ها لازم است. از بین رفتن مقداری از چوب (نمونه‌ها طبق استاندارد از چوب مورد نظر جدا می‌شوند)، قابل استفاده نبودن برای گونه‌های چوبی حاوی مقدار زیادی رزین یا صمغ و چوب‌های آغشته به مواد ضد قارچ و حشره از دیگر معایب این روش است. از محاسن این روش، یکی دقیق بودن آن است، دیگر این‌که حدود اندازه‌گیری آن وسیع، برای کارهای علمی قابل استفاده است و دیگر روش‌ها با آن کنترل می‌شوند.



4 Darrofen

شکل ۳۱ ـ تصویر عمومی کوره الکتریکی (اتو)

## ۲. ۲. ۲. ۲ـ روش استفاده از مواد رطوبت‌گیر

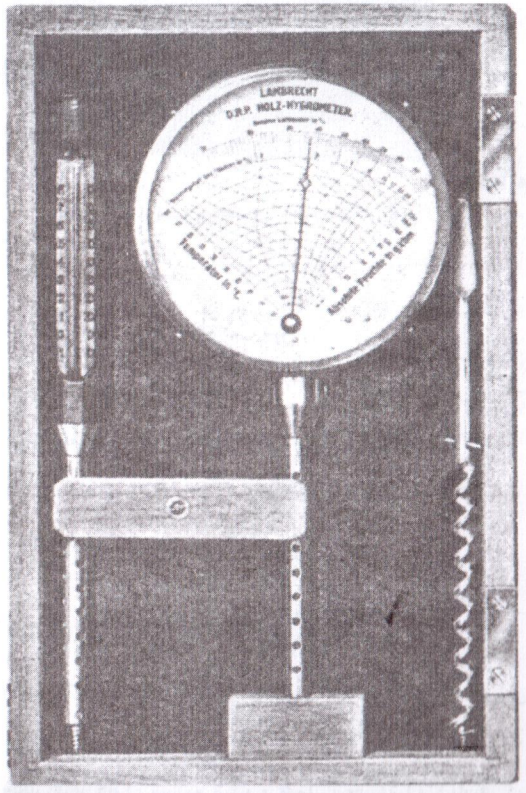
در این روش از مواردی چون کات کبود $CuSO_4,5H_2O$، کلرور کلسیم $(cacl_2)$ و پنتا اکسید فسفر $(P_2o_5)$ برای تعیین رطوبت چوب در دمای نرمال $(20^\circ c)$ استفاده می‌شود. از ویژگی‌های این مواد، قدرت جذب زیاد آب است. البته باید توجه داشت که این روش برای رطوبت‌های کم قابل استفاده است.

## ۲. ۲. ۲. ۳ـ روش خشک کردن به وسیلهٔ ایجاد خلأ

این روش که توسط S.N.Kapur, Narayanamurti ابداع شده، در زمانی که درصد رطوبت چوب کم است، به‌کار می‌رود. در این روش استفاده از خلأ به این دلیل است که جابه‌جایی رطوبت داخل چوب که تحت فشار قرار دارد، تسریع شده و عمل تبخیر شدت یابد. در عمل این روش با روش قبلی توأم می‌گردد.

### ۲. ۲. ۲. ٤ـ روش استفاده از رطوبت‌سنج چوب

اگر در قطعه چوبی سوراخی ایجاد شده و سپس در مقابل ورود هوای خارج مسدود شود، در این سوراخ حالت تعادلی بین رطوبت هوای آن و رطوبت چوب به‌وجود می‌آید. این تعادل با ایجاد تعادل رطوبتی (Sorptionisotherm) حاصل می‌شود. از طریق رطوبت نسبی هوا در سوراخ می‌توان به‌راحتی به رطوبت چوب در محدودهٔ مشخصی دست یافت. از آن‌جا که در یک قطعهٔ بزرگ چوب پراکندگی رطوبت در ضخامت آن یکنواخت نیست. از این‌رو رطوبت هوای داخل سوراخ میانگینی است از رطوبت دیوارهٔ سوراخ. براساس آن‌چه گفته شده و با استفاده از دستگاهی به‌نام رطوبت‌سنج چوب، می‌توان به روش زیر مقدار رطوبت چوب را اندازه‌گیری کرد (شکل ۳۲).




شکل ۳۲ ـ رطوبت‌سنج چوب و وسایل همراه آن

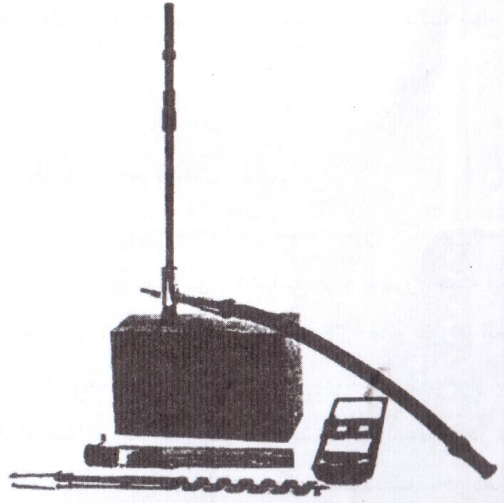


برای این منظور در قطعه چوب مورد نظر با مته سوراخی به قطر ٦ و گودی ۹۵ میلی‌متر ایجاد شده و پایهٔ رطوبت‌سنج در آن قرار داده می‌شود و به‌وسیلهٔ انتهای پیچی‌اش آن‌قدر در سوراخ فرو می‌رود تا این‌که دهانهٔ سوراخ توسط این پایه کاملاً مسدود شود. در بعضی دستگاه‌ها هوای داخل پایه توسط مکندهٔ لاستیکی خالی می‌شود. بعد از گذشت ۱۵ ـ ۱۰ دقیقه عقربهٔ رطوبت‌سنج مقدار رطوبت نسبی داخل سوراخ را نشان می‌دهد. در نتیجه مقدار رطوبت چوب با در نظر گرفتن دمای قطعه چوب بر روی نمودار مربوطه (شکل ۵۱) قابل اندازه‌گیری است. حدود اندازه‌گیری این روش بین ۲۵ ـ ۳ درصد رطوبت چوب است. در رطوبت‌های نزدیک به رطوبت اشباع فیبر، از دقت دستگاه کم می‌گردد، چرا که تغییرات رطوبت چوب در این محدوده، تغییرات ناچیزی از رطوبت نسبی هوا را دربردارد. M.E.Dunlap نوعی رطوبت‌سنج چوب ابداع کرده که یک پوستهٔ ضربه‌زن از جنس طلا به‌عنوان وسیلهٔ رطوبت‌گیر کار می‌کند. اساس کار دستگاه بدین‌ترتیب است که در انتهای زیرین یک لولهٔ مویین شیشه‌ای کیسه‌ای از جنس طلا محتوی جیوه وجود دارد. این پوسته در مقابل نوسانات رطوبت هوا عکس‌العمل نشان می‌دهد، در نتیجه حجم کیسه تغییر یافته و سپس جیوه در لولهٔ مویین صعود یا نزول می‌کند. دستگاه به‌طور غیرمستقیم براساس رطوبت چوب مدرج شده است. در مواقعی که از دستگاه استفاده نمی‌شود. آن را در بالای کلرورکلسیم قرار می‌دهند، در این حالت سطح ستون جیوه در مقابل عدد صفر درصد قرار دارد.

### ۲. ۲. ۲. ٥ ـ روش استفاده از معرف‌های شیمیایی

اساس کار این روش که توسط Diakun ابداع شده (شکل ۳۳)، این است که نخست در چوب مورد نظر با متهٔ ۷ میلی‌متری سوراخی به گودی ۱۰ سانتی‌متر و به‌طور آهسته ایجاد می‌شود. ۱۰ دقیقه بعد هنگامی که حرارت داخل سوراخ متعادل شد، یک شیر در دهانه سوراخ ایجاد شده پیچ می شود. قبلاً از یک لولهٔ محتوی نوارهای معرف که کاملاً مسدود بوده است، یک نوار معرف حساس در مقابل رطوبت برداشته (این نوار کاغذی توسط کلرور کبالت آغشته شده است) و در دهانهٔ یک لولهٔ گیره‌دار قرار می‌دهند. این لوله بعداً وقتی که گیرهٔ آن کاملاً به عقب کشیده شده، در دهانهٔ لوله پیچ شده، در چوب قرار داده می‌شود. در این حالت هوای داخل سوراخ به‌وسیلهٔ پمپ کوچکی تخلیه می‌شود، سپس حدود ۱۰ دقیقه صبر و آن‌گاه نوار را بیرون می‌آورند. در این حالت نوار، رنگی بین قرمز تا آبی

به خود خواهد گرفت (با توجه به مقدار رطوبت) که با مقایسهٔ آن با مقیاس رنگ‌ها، مقدار رطوبت چوب تعیین می‌گردد. قرمز کم رنگ نمایانگر مرطوب بودن چوب و آبی پررنگ نشان‌دهندهٔ چوب خشک است. از محاسن این روش قیمت ارزان است، همچنین دستگاه مورد استفاده ساده و راحت است، نمونهٔ مورد آزمایش که بر روی آن سوراخ ایجاد شده، هرگز یا به سختی بی‌ارزش می‌شود؛ تمام مراحل آزمایش در ۲۵ دقیقه انجام می‌گیرد و محاسبات هیچ‌گاه از بین نمی‌رود. از معایب این روش، یکی این که نتایج آزمایش در اثر نوسانات نوری متغیر است و اشتباهات بینایی رخ می‌دهد. مصرف زیاد نوارهای معرف، دقت عمل آن در دامنه دما و رطوبت مشخص، کافی است. مقیاس رنگ‌ها فقط برای دماهای بین ۲۵-۱۵ درجه سانتی‌گراد اعتبار دارد و چوب سرد قبل از آزمایش باید گرم شود. نمونه‌های گرم‌تر نیز باید سرد شوند، حدود اندازه‌گیری این روش بین $U = ۶ - ۲۳\%$ و دقت اندازه‌گیری بین ۳ ـ ۲/۵ درصد است. پس از اندازه‌گیری‌های زیاد می‌توان بر اثر عادت تا حدود ۱/۵ درصد را نیز قرائت کرد. نکتهٔ قابل ذکر برای این روش این است که برای تشخیص بهتر رنگ‌ها از فیلتر قرمز رنگ استفاده می‌شود، به‌علاوه دقت اندازه‌گیری تا رطوبت حدود ۲٪ بسیار خوب است.



شکل ۳۳ ـ دستگاه Diakun برای اندازه‌گیری رطوبت چوب

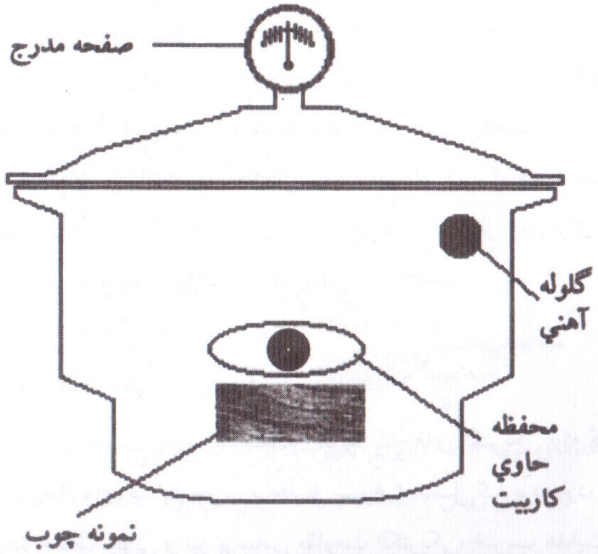


### ۲. ۲. ۲. ۶ـ روش استفاده از کاربیت (Carbit bombe)

باتوجه به این‌که کاربیت با فرمول $CaC_۲$ می‌تواند در محیط آبی و در مجاورت آن واکنش شیمیایی از خود نشان دهد، از این‌رو با توجه به این خصوصیت برای تعیین مقدار رطوبت موجود در قطعه چوب روشی ابداع شده که در آن از کاربیت استفاده می‌گردد. در این روش ظروفی مطابق شکل ۳۴ انتخاب شده و با قرار دادن نمونهٔ چوب مورد آزمایش و محفظهٔ شیشهٔ محتوی کاربیت و نیز نصب گلولهٔ آهنی در داخل ظرف، اندازه‌گیری شروع می‌شود. بدین ترتیب که با رها کردن گلولهٔ آهنی و برخورد آن با محفظهٔ شیشهٔ نازک، کاربیت در مجاورت رطوبت موجود در فضای ظرف قرار گرفته و بنابر فرمول زیر واکنش از خود نشان می‌دهد:

$$CaC_۲ + ۲H_۲o \rightarrow Ca(oH)_۲ + C_۲H_۲$$

مقدار گاز استیلن تولید شده توسط عقربه مدرج بر روی ظرف (که به‌طور مستقیم براساس درصد رطوبت چوب درجه‌بندی شده است)، نشان داده می‌شود. در نتیجه هر چه مقدار این گاز بیشتر باشد، نشان دهندهٔ مقدار رطوبت بیشتری در چوب است.




شکل ۳۴ ـ چگونگی اندازه‌گیری رطوبت چوب در روش کاربیت

### ۲. ۲. ۲. ۷ ـ روش تقطیر چوب با Distillation

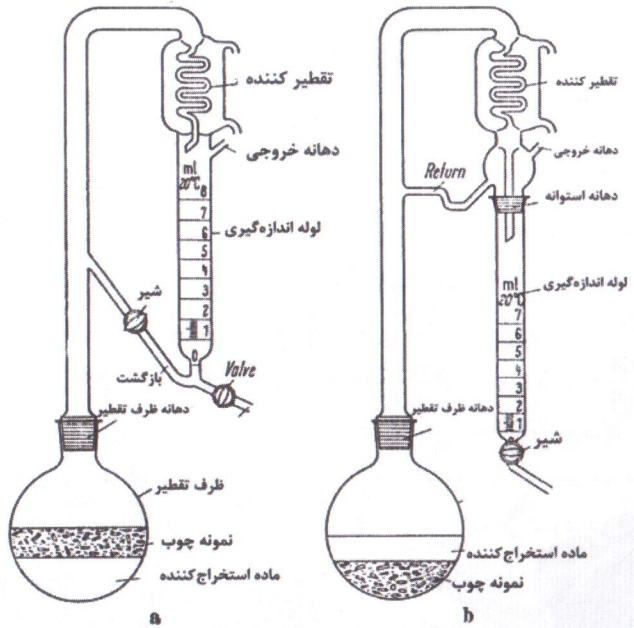
در مورد چوب‌هایی که مقدار زیاد صمغ یا رزین، روغن‌های اتری، چربی یا تربانتین و نیز مقدار معینی مواد حفاظتی در خود دارند، برای تعیین میزان درصد رطوبت آنها نمی‌توان از روش خشک کردن استفاده کرد، چرا که این مواد همراه آب تا حدودی بخار می‌شوند و اشتباهات زیادی را ایجاد می‌کنند. این اشتباهات در بعضی موارد تا حدود ۵ الی ۱۰ درصد جرم خشک چوب بالغ می‌شوند. از این‌رو برای اندازه‌گیری رطوبت این‌گونه چوب‌ها از روش تقطیر چوب استفاده می‌شود که در آن از مواد حلال که با آب مخلوط نمی‌شوند، مثل تتراکلراتان $(C_2H_2Cl_4)$ با جرم مخصوص $\gamma = ۱/۶۲۸ g/cm^3$، نقطهٔ‌ذوب $SP = ۱۴۵^\circ c$ وتولول $(C_7H_8, \gamma = ۰/۸۸۵ g/cm^3, SP = ۱۱۱^\circ c)$ و گزیلل $(C_8H_{10}, \gamma = ۰/۸۶۳ g/cm^3, SP = ۱۳۹^\circ c)$ استفاده می‌شود. برای این منظور مقدار ۵۰ ـ ۲۰ گرم خردهٔ چوب مورد نظر را در ظرف دستگاه مخصوص این روش (شکل ۳۵) می‌ریزند. با اضافه کردن تتراکلراتان یا گزیلل، مقدار رطوبت یا آب موجود در چوب را که هیچ‌گونه میل ترکیب با مواد حلال ندارد در محفظه مدرج شده جمع‌آوری می‌کنند. برای محاسبهٔ مقدار رطوبت ابتدا جرم خشک خرده چوب تعیین و در نهایت براساس رابطه مربوط مقدار درصد رطوبت چوب محاسبه می‌شود. از معایب این روش این است که برای انجام آن به‌وسایل شیشه‌ای گران قیمتی نیاز است به علاوه مقدار زیادی مواد حلال لازم است، تولید گازهای سمی آتش‌زا یا مضر برای سلامتی اشخاص، تهیه خرده چوب با توجه به نوع آزمایش و طولانی بودن زمان کار که با توجه به مقدار خرده چوب بین ۶-۵ ساعت طول می‌کشد از دیگر معایب این روش می‌باشد. با وجود این برای چوب‌های آغشته شده و غنی از مواد رزینی و صمغی بهترین و تنها روش ممکن است.

### ۲. ۲. ۲. ۸ ـ روش الکتریکی

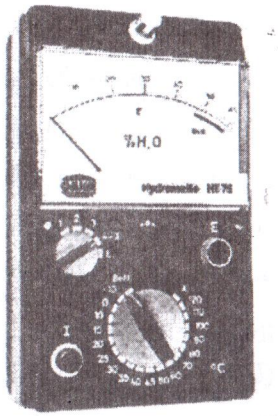
روش اندازه‌گیری رطوبت چوب با استفاده رطوبت‌سنج‌های الکتریکی (که گسترش زیادی پیدا کرده است) که در کارخانه‌های صنایع چوب به‌دلیل سرعت عمل کاربرد دارد، براساس خواص الکتریکی آب و مادهٔ خشک‌چوبی و نیز براساس مقاومت الکتریکی، ضریب هدایت الکتریکی این دو ماده (که اختلاف زیادی نسبت به یکدیگر نشان می‌دهند) بنا شده است. دو خاصیت مذکور یعنی مقاومت الکتریکی و ضریب هدایت الکتریکی چوب در ناحیهٔ رطوبت‌پذیری ($U = ۰ - ۲۵\%$) به



مقدار زیادی به رطوبت چوب بستگی دارد، که در این میان می‌توان براساس آزمایش‌های درجه‌بندی، از اندازه‌گیری خواص الکتریکی به مقدار رطوبت چوب رسید. چرا که براساس بررسی‌های انجام شده معلوم شده است که چوب کاملاً خشک دارای مقاومت الکتریکی زیادی است و در واقع در مقابل جریان الکتریکی به صورت عایق می‌کند. هرچه مقدار رطوبت چوب افزایش یابد، از مقاومت الکتریکی آن کاسته شده و به هدایت الکتریکی آن افزوده می‌شود، تا این‌که این مقدار رطوبت به حدود رطوبت اشباع فیبر $(U = ۲۵ - ۳۰\%)$ برسد که در این لحظه مقدار مقاومت الکتریکی چوب با مقدار آن در آب تقریباً یکی می‌شود. این مقدار بسته به نوع چوب بین $۱۰ - ۱۰۰ G\Omega$ $(U = ۵ - ۷\%)$ و $۱۰۰ k\Omega$ $(U = ۲۵ - ۲۷\%)$ قرار دارد.




**شکل ۳۵ ـ دستگاه‌های مورد استفاده، برای تعیین مقدار آب موجود در چوب به‌وسیله a : تتراکلراتان (براساس روش Fischer) یا b : گزیلل (براساس E. Suenson)**



**شکل ۳۶ ـ شکل ظاهری دستگاه رطوبت‌سنج الکتریکی**

براین اساس است که دستگاه‌های رطوبت‌سنج الکتریکی برای اندازه‌گیری رطوبت چوب ساخته شد (شکل ۳۶)، شایان ذکراست که بین مقدار رطوبت چوب در دامنه $U = ۷ - ۲۵\%$ و لگاریتم مقاومت الکتریکی آن یک رابطهٔ خطی وجود دارد. به همین دلیل این حد از رطوبت در عمل دامنه اندازه‌گیری بسیاری از دستگاه‌های اندازه‌گیری رطوبت را تشکیل می‌دهد. ولی اخیراً دستگاه‌هایی ساخته شده که بین دامنه ۱۲۰ـ ٤ درصد مدرج شده‌اند. نوع چوب بر روی دقت اندازه‌گیری این دستگاه‌ها اثر داشته و برای بیشتر چوب‌های نواحی معتدله این روش دارای خطای اندازه‌گیری بین $\pm ۱/۵\%$ است، به استثنای چوب تبریزی که این مقدار در حدود $\pm ۳\%$ است؛ که علت آن نابرابری پراکندگی یون‌ها (مربوط به مواد ذخیره‌ای) در این چوب است. برای رفع این اشکال یا از ضریب تصحیح استفاده می‌شود یا این‌که برای هرگونه چوبی از درجه‌بندی جداگانه‌ای استفاده می‌شود. در مورد تأثیر جرم مخصوص بر روی نتیجه اندازه‌گیری در این روش هنوز موردی بیان نشده است. اما در مورد اثر دما بر روی نتیجه اندازه‌گیری باید گفت که این دستگاه‌ها در دمای بین $t = ۰ - ۳۰^{\circ}c$ دارای دقت اندازه‌گیری حدود $\pm ۱/۵\%$ می‌باشند، ولی به‌طور معمول در دماهای کمتر یا بیشتر از $۲۰^{\circ}c$ ضریب تصحیح نیاز می‌باشد. در این رابطه به ازای هر $۱^{\circ}c$ کاهش یا افزایش دما از حد مذکور $u = ۰/۱\%$ به مقدار قرائت شده اضافه یا از آن کم می‌شود. در مورد اثر ضخامت چوب باید گفت بنابر نظر E.Nusser در ضخامت‌های بین $۱٤cm - ۳$ هیچ‌گونه اثری بر روی نتیجهٔ قرائت شده نداشته و فقط بین ضخامت $۱٤cm - ۰/۷۵$ خطایی حدود ۱٪ ظاهر می‌شود. شایان ذکر است که مقدار مقاومت

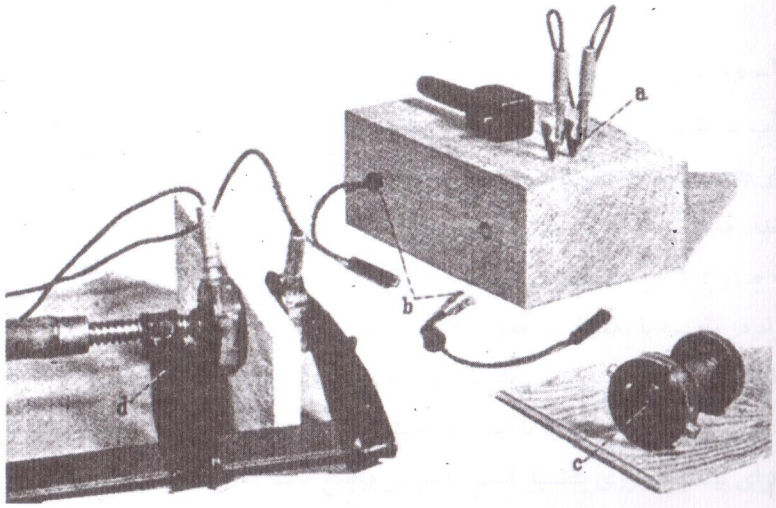


الکتریکی معمولاً بین دو حد که به‌وسیله الکترود به‌کار گرفته شده مشخص می‌شود، اندازه‌گیری می‌شود. با توجه به نوع چوب و ابعاد آن الکترود مورد استفاده دارای شکل خاصی است (شکل ۳۷)، که انواع این الکترودها به شرح زیرند:

**۱ـ الکترود سوزنی:** که در آن دو الکترود که در یک دستگیره نصب شده‌اند، در چوب با ضخامت دلخواه کوبیده شده و مقدار رطوبت در عمق مورد نظر اندازه‌گیری می‌شود. برای این منظور الکترودها تا نزدیکی نوک عایق شده‌اند.

**۲ـ الکترودهای مهری:** که برای اندازه‌گیری رطوبت در سطوح فرایندهای چوبی که نباید خسارت دیده و از بین بروند، مثل: تخته لایه یا روکش استفاده می‌شوند.

**۳ـ الکترودهای گیره‌ای:** که در آن الکترودها با گیرهٔ نجاری در دو سطح چوب نگهداری می‌شوند. از این الکترود برای اندازه‌گیری رطوبت چوب‌هایی به ضخامت به $۱۰۰mm - ۲۰$ استفاده می‌شود. به عبارت دیگر، با این الکترودها می‌توان میزان رطوبت را در تمام مقطع چوب اندازه‌گیری کرد.




**شکل ۳۷ ـ انواع الکترودهای مورد استفاده برای دستگاه رطوبت‌سنج الکتریکی**

به‌طور کلی در مورد این روش می‌توان گفت که روشی است ساده، سریع و بیشتر در کارخانه‌ها کاربرد دارد، ولی دامنه اندازه‌گیری آن محدود است. در مورد چوب‌های مختلف به علت تغییر مقاومت الکتریکی بایدخطاهای اندازه‌گیری را برطرف کرد، به علاوه در مورد چوب‌های آغشته شده به مواد حفاظتی نیز اشتباهاتی رخ می‌دهد که این اشتباهات در رطوبت کمتر از ۸ درصد ناچیز و در رطوبت‌های بیشتر از ۸ درصد قابل توجه است. باید توجه داشت که اندازه‌گیری رطوبت با این روش، همیشه در جهت موازی با الیاف چوبی است.

# فصل سوم

## رابطهٔ آب و چوب

### ۳. ۱ـ مختصری دربارهٔ خواص آب و چوب

قبل از پرداختن به چگونگی مراحل مختلف جذب که در هنگام تماس آب یا چوب به وجود می‌آید، به‌طور خلاصه به خواص این دو ماده اشاره می‌شود.

### ۳. ۱. ۱ـ ویژگی‌های فیزیکی آب

آب در طبیعت یا به صورت آب بنیادی است و به‌وسیلهٔ نیروهای اتصال دهنده در کنار مواد دیگر قرار دارد یا به صورت آزاد و به شکل جامد، مایع و یا بخار ظاهر می‌شود. هر یک از حالات دارای مقدار معینی از انرژی پتانسیل است. در این مورد Ch. Skaar مسئله را با توجه به تماس آب با چوب به صورت شکل ۳۸ بیان می‌کند. این شکل چگونگی سطح انرژی پتانسیل آب را در چوب و هوای آزاد در مقایسه با یکدیگر به طور شماتیک نشان می‌دهد.

از شمای مذکور چنین برمی‌آید که سطح انرژی پتانسیل آب آزاد به صورت بخار با سطح انرژی پتانسیل بخار آب در چوب با هم برابر است و آب به صورت بخار چه در شکل آزاد و چه در چوب دارای بیشترین انرژی پتانسیل است. همچنین واضح است که انرژی پتانسیل آب به صورت مایع در نهایت در داخل و خارج چوب با هم برابر است، به عبارت دیگر می‌توان گفت که انرژی پتانسیل آب موئینه موجود در حفرهٔ سلولی تقریباً با انرژی پتانسیل آب آزاد برابری می‌کند، به همین دلیل برای تشخیص این آب از آب آغشتگی دیوارهٔ سلولی آن را آب آزاد سلولی می‌نامند (آب حفرهٔ سلولی را آب آزاد می‌نامند) شایان ذکر است که آب طبیعی (آزاد) به صورت یخ‌زده دارای کمترین انرژی