

تعیین مدول یانگ چوب به کمک تست ضربه

مهدی بهزاد^۱، زهره محمدخانی^۲
دانشگاه صنعتی شریف
ص پ ۹۵۶۷-۱۱۳۶۵
m_behzad@sina.sharif.ac.ir

چکیده

در این مقاله روشهای متداول برای بدست آوردن مدول الاستیته مواد نام برده شده و روش آنالیز مودال به عنوان یکی از روشها تشریح می شود.

در این تحقیق، نمونه هایی تهیه شده و تحت آزمایش ارتعاشات عرضی در حالت یکسر گیردار، یکسر آزاد قرار گرفته اند. در طی این آزمایشها، فرکانسهای طبیعی نمونه ها اندازه گیری شده و با استفاده از رابطه های موجود، مدول الاستیته هر یک محاسبه شده است. سپس اطلاعات بدست آمده تحلیل شده است.

در آزمایشهای انجام شده، تأثیر میزان رطوبت در فاکتورهای مختلف از جمله مدول الاستیته نمونه ها دیده می شود که شرح آن در متن مقاله آمده است.

مقدمه

چوب یکی از مصالحی است که در صنایع دریائی کاربرد فراوانی داشته و داشتن مشخصات آن کمک فراوانی در مراحل طراحی میکند در دهه ۱۹۷۰، شاخه جدیدی از ارتعاشات شروع به شکل گیری کرد که از آمیختن تکنیکهای تئوریک و آزمایشی حاصل شده بود. این شاخه تحت عنوان آنالیز مودال آزمایشی و یا آزمایش مودال معروف گردیده است.

۱. استادیار دانشکده مهندسی مکانیک

۲. دانشجوی گروه مهندسی دریا

آزمایش مدول دیدگاه جدیدی را برای تحلیل دینامیکی سازه ها ارائه می دهد. در مسائل معمولی تئوری ارتعاشات، مدل سیستم مشخص است و به ازای یک ورودی خاص می توان خروجی سیستم را تعیین نمود. در مسائل معکوس ارتعاشی، با استفاده از مشخصات رفتاری و پاسخ سیستم، مدل مناسبی برای آن بدست می آید. آزمایش مدول، یک مجموعه خاص از مسائل معکوس ارتعاشی است که در آن مجهولات مسئله، پارامترهای مدول سیستم می باشند. در آزمایش مدول، یک ورودی مشخص و قابل اندازه گیری به سیستم اعمال شده و خروجی آن اندازه گیری می گردد. سپس با استفاده از این اطلاعات، مدل مدول شامل فرکانسهای طبیعی، شکل مودها و میرایی سیستم استخراج می گردد. ورودی با تحریک سیستم می تواند به وسیله نوسان ساز (Shaker)، چکش (Hammer) و یا مکانیزم های دیگر انجام گیرد.

در واقع در آنالیز مدول، یک تحریک مشخص با شرایط خاص به سیستم اعمال می گردد و علاوه بر خروجی، ورودی نیز در نقطه تحریک، اندازه گیری شده و سیستم تحلیل می شود. [۱]

مدول الاستیسیته

مدول الاستیسیته، پارامتری است که در بررسی رفتار استاتیکی و دینامیکی محیطهای پیوسته نقش مهمی را ایفا می کند. از این رو دستیابی به مقدار دقیق آن حائز اهمیت فراوان می باشد. آزمایش کشش ساده، محاسبه فرکانس طبیعی ارتعاشات عرضی میله ها، اندازه گیری خیز تیرها و به کارگیری Strain Gauge بر روی تیرهای با ممان ثابت از جمله روشهای تعیین مدول الاستیسیته می باشند. در این مقاله، روش آزمایش مدول برای بدست آوردن فرکانس طبیعی عرضی نمونه های چوبی برای دستیابی به مقدار مدول الاستیسیته شرح داده می شود.

اجزای اصلی تکنیک اندازه گیری در آزمایش مدول

به طور کلی در آزمایش مدول، اجزای اصلی شامل منبع سیگنال تحریک، تقویت کننده قدرت (Power Amplifier)، محرک (Exciter)، مبدلها (Transducers)، تقویت کننده سیگنال (Signal Conditioning) و آنالایزر (Analyzer) می باشد. [۱]



ارتعاشات عرضی تیرها

ارتعاشات عرضی تیرها یکی از قدیمیترین مباحث ارتعاشات سیستمهای پیوسته می باشد و تاکنون چند روش را برای بررسی این ارتعاشات تدوین شده است. قدیمیترین تئوری روش را اولر و برنولی ارائه دادند. در این تئوری فقط تنشهای خمشی تیر در نظر گرفته می شود. این تئوری هنوز متداولترین روش مورد استفاده مهندسين است. برای تیرهای ضخیم و همچنین مودهای بالا، خطای زیادی در این روش دیده می شود. در سال ۱۹۲۱، تیموشنکو علاوه بر تنشهای خمشی، تنشهای ناشی از برش را هم در نظر گرفت و تئوری خود را ارائه داد.

با در نظر گرفتن یک المان از تیر و نوشتن معادلات تعادل، فرکانسهای طبیعی ارتعاشات عرضی تیر به صورت زیر پیدا میشوند:

$$\omega_n = \beta_n^2 \sqrt{\frac{EI}{\rho}} = (\beta_n l)^2 \sqrt{\frac{EI}{\rho l^4}} \quad (1)$$

که در آن:

$$\beta^4 = \rho \frac{\omega^2}{EI} \quad (2)$$

که در آن EI صلابت خمشی، ρ جرم واحد طول تیر، l طول تیر است و مقدار β_n به شرایط مرزی مسئله بستگی دارد. برای حالت یکسر گیردار-یکسر آزاد، مقدار $(\beta_n l)^2$ برای مودهای اول و دوم به ترتیب برابر $۳/۵۲$ و ۲۲ می باشد. [۲]

آزمایش

همانطور که قبلاً گفته شد، برای بدست آوردن مدول الاستیسیته و انجام آزمایشهای مربوطه، تعدادی نمونه تیر چوبی تهیه شد. این نمونه ها که دارای مقاطع مستطیل شکل هستند، همگی از گونه راش تهیه شده اند که ۲۸ عدد از آنها دارای برش شعاعی و ۲۳ عدد دیگر دارای برش بینابینی هستند که با اندیس m شماره گذاری شده اند. محل تهیه این نمونه ها، یارد کارخانه اشباع تراورس شیرگاه می باشد.

بخش اولیه ازما یشها روی نمونه های مرطوب انجام گرفت . نحوه انجام آزمایش بدین ترتیب است که ابتدا نمونه ها توسط پایه فلزی سنگینی که به همین منظور ساخته شده، در نقطه ای به فاصله ۰/۲۲ طول نمونه از یک طرف گیر دار می شود . آنالایزر راه اندازی شده و شتاب سنج در فاصله یک سانتیمتری سر آزاد نمونه نصب میگردد. پاسخ نمونه ها به ضربه های وارد شده به سر آزاد تیر نزدیک شتاب سنج توسط آنالایزر ثبت می شود. بدین ترتیب از روی شکل مود بدست آمده، فرکانس های تشدید مود اول و همینطور مود دوم بدست می آید. لازم به ذکر است در مورد نمونه های با برش شعاعی، ضربه در جهت شعاعی یا به عبارتی عمود بر جهت مماسی وارد میشود.

پس از مدتی که نمونه های مرطوب در هوای محیط رطوبت خود را از دست داده و به وزن ثابتی رسیدند، آزمایش مجدداً تکرار می شود. البته این نمونه ها صد در صد خشک نشده اند.

از رابطه (۱) مدول الاستیسیته، MOE، چنین به دست می آید:

$$MOE = \frac{\omega_n^2 ml^4}{I((\beta_n l^2))^2} = \frac{4\pi^2 F^2 ml^4}{I((\beta_n l^2))^2} \quad (3)$$

که در آن با توجه به شرایط آزمایش، l ، طول مؤثر نمونه از رابطه (۴) محاسبه می شود.

$$l = (1 + \frac{M_a + M_{allen}}{M})L \quad (4)$$

که در آن، M_a ، جرم شتاب سنج (در اینجا ۱۱ gr)، M_{allen} ، جرم آلن روی نمونه (۰/۱۸ gr) و L طول نمونه است. m جرم مؤثر بر واحد طول مؤثر است و جرم مؤثر از رابطه (۵) محاسبه شده است.

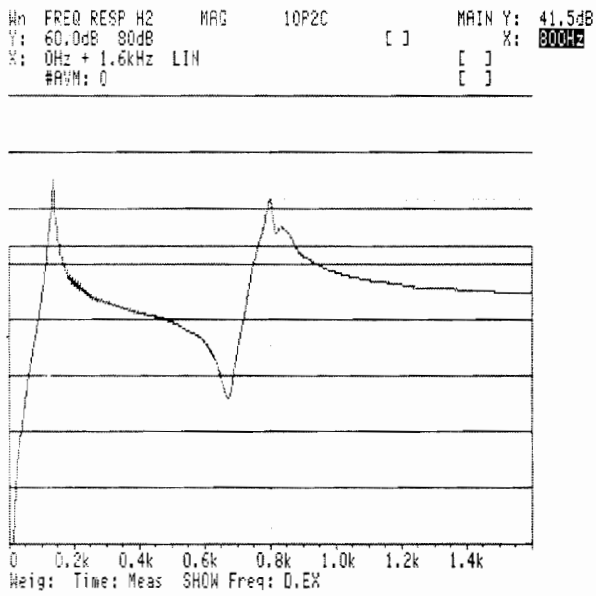
$$M_{eff} = M_a + M_{allen} + M \quad (5)$$

که M جرم نمونه است. I ممان اینرسی مقطع نمونه، F ، فرکانس تشدید و $(\beta_n l)^2$ نیز بر حسب شرایط مرزی قبلاً توضیح داده شده است.

با توجه به رابطه (۱)، طبق قضیه بوکینگهام، گروههای بدون بعد به شرح زیر به دست می آیند:

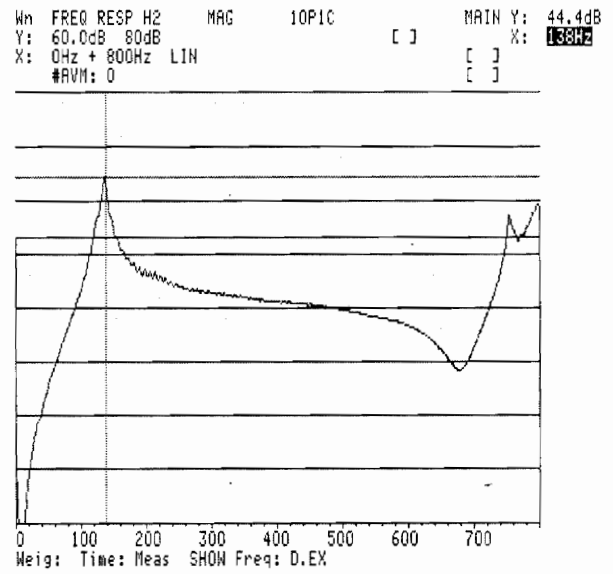
$$(\frac{I}{l^4}), (\beta l), (\frac{MOE}{mF^2})$$

پاسخ فرکانسی تعدادی از نمونه ها در شکل های ۱ الی ۸ نشان داده شده است.



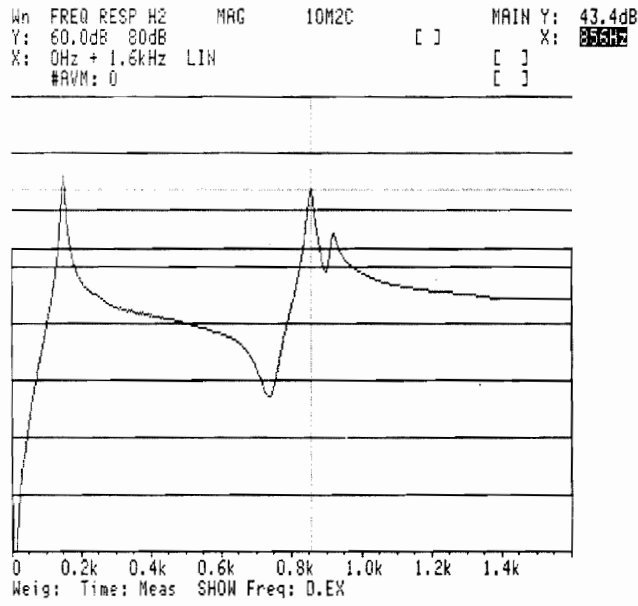
13

شکل ۲: نمونه مرطوب شماره ۱۰- مود دوم



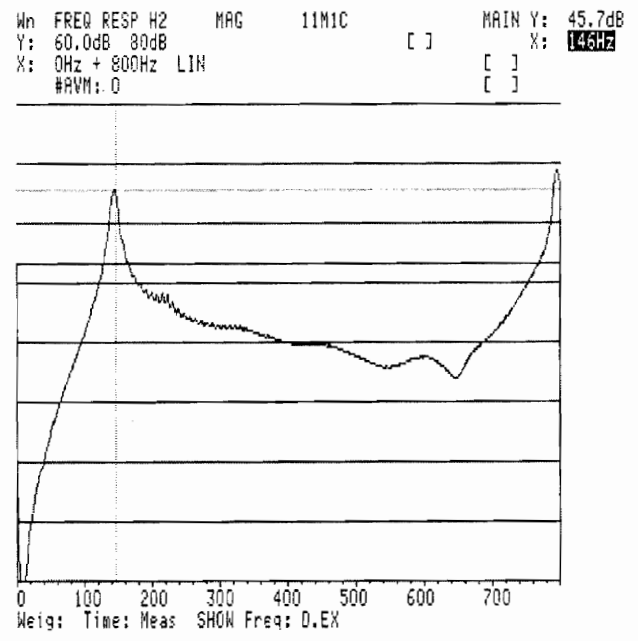
13

شکل ۱: نمونه مرطوب شماره ۱۰- مود اول



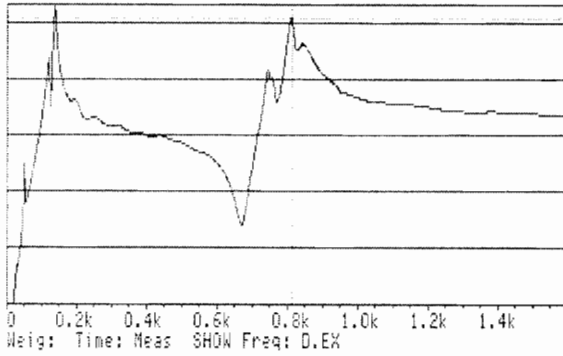
13

شکل ۴: نمونه مرطوب شماره ۱۰m- مود دوم



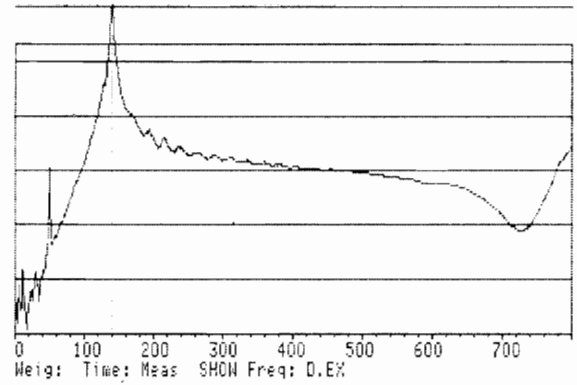
شکل ۳: نمونه مرطوب شماره ۱۱m- مود اول

Fn FREQ RESP H2 MAG 10P2CD MAIN Y: 50.7dB
 Y: 80.0dB 80dB [] X: 812Hz
 X: 0Hz + 1.6kHz LIN []
 #AVM: 0 []



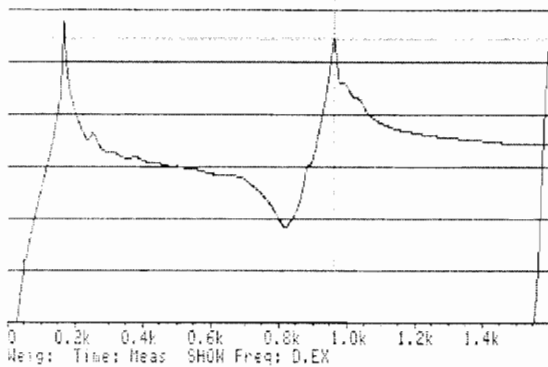
شکل ۶: نمونه خشک شماره 10-مود دوم

Fn FREQ RESP H2 MAG 6P1CD MAIN Y: 60.3dB
 Y: 80.0dB 80dB [] X: 140Hz
 X: 0Hz + 800Hz LIN []
 #AVM: 0 []



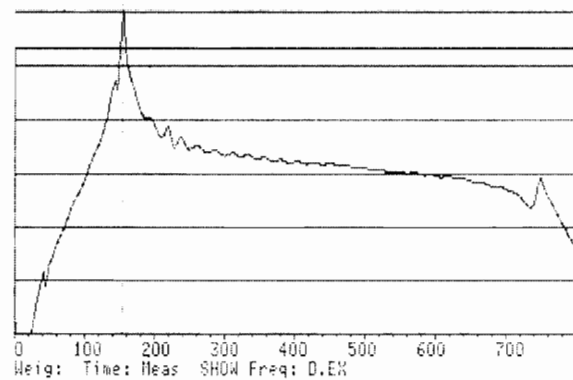
شکل ۵: نمونه خشک شماره 6-مود اول

Fn FREQ RESP H2 MAG 1M2CD MAIN Y: 54.3dB
 Y: 80.0dB 80dB [] X: 932Hz
 X: 0Hz + 1.6kHz LIN []
 #AVM: 0 []



شکل ۸: نمونه خشک شماره 1m-مود دوم

Fn FREQ RESP H2 MAG 15M1CD MAIN Y: 60.5dB
 Y: 80.0dB 80dB [] X: 155Hz
 X: 0Hz + 800Hz LIN []
 #AVM: 0 []



شکل ۷: نمونه خشک شماره 15m-مود اول



در جداول زیر، مقادیر میانگین و انحراف معیار فاکتورهای مختلف موجود در رابطه و مقدار مدول الاستیسیته بدست

آمده از همان رابطه و نیز گروه بدون بعد $\frac{MOE}{mF^2}$ مرتب شده اند. در محاسبات این جداول، تعدادی از نمونه ها به

دلیل تفاوت در میزان رطوبت، تفاوت ابعاد و بعضی به دلیل عدم داشتن پاسخ فرکانسی شرکت داده نشده اند.

جدول ۱: نمونه های مرطوب با برش شعاعی

	Average		Standard Deviation	
	Mode 1	Mode 2	Mode 1	Mode 2
$MOE/(mF^2)$	1.678×10^{16}	4.304×10^{14}	0.294×10^{16}	0.825×10^{14}
$MOE(\times 10^{10} pa)$	0.984	0.858	0.213	0.197
Natural Frequency(Hz)	138	810	8	52
Eff. Length(cm)	39.75	39.78	0.224	0.232
M(gr/cm)	3.054	3.031	0.184	0.191
$(cm^4) I$	1.819	1.832	0.399	0.439
Humidity(%)	23.7	23.6	1.6	1.5

جدول ۲: نمونه های مرطوب با برش بینابینی

	Average		Standard Deviation	
	Mode 1	Mode 2	Mode 1	Mode 2
$MOE/(mF^2)$	1.749×10^{16}	4.467×10^{14}	0.053×10^{16}	0.139×10^{14}
$MOE(\times 10^{10} pa)$	1.257	1.093	0.100	0.094
Natural Frequency(Hz)	151	883	5	34
Eff. Length(cm)	39.63	39.63	0.09	0.08
M(gr/cm)	3.13	3.13	0.08	0.07
$(cm^4) I$	1.676	1.683	0.079	0.085
Humidity(%)	26.3	26.1	1.2	1.2

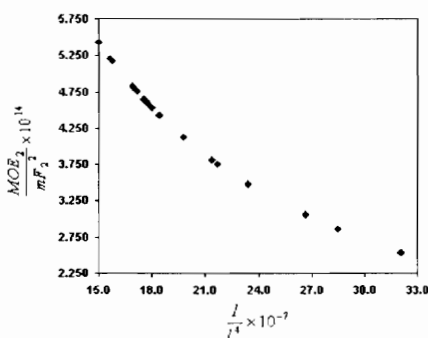
جدول ۳: نمونه های خشک با برش شعاعی

	Average		Standard Deviation	
	Mode 1	Mode 2	Mode 1	Mode 2
$MOE/(mF^2)$	2.224×10^{16}	5.698×10^{14}	0.158×10^{16}	0.413×10^{14}
$MOE(\times 10^{10} pa)$	1.365	1.239	0.239	0.186
Natural Frequency(Hz)	152	908	11	54
Eff. Length(cm)	40.33	40.34	0.22	0.21
M(gr/cm)	2.64	2.63	0.14	0.13
$(cm^4) I$	1.406	1.407	0.073	0.075
Humidity(%)	7.3	7.3	0.4	0.5

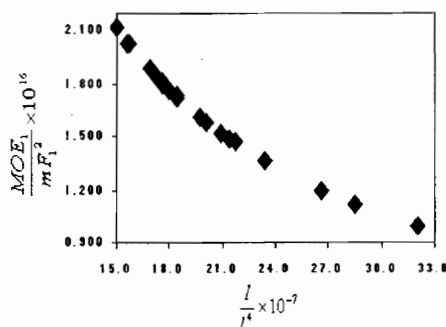
جدول ۴: نمونه های خشک با برش بینابینی

	Average		Standard Deviation	
	Mode 1	Mode 2	Mode 1	Mode 2
$MOE/(mF^2)$	2.266×10^{16}	5.794×10^{14}	0.085×10^{16}	0.209×10^{14}
$MOE(\times 10^{10} \text{ pa})$	1.620	1.402	0.115	0.090
Natural Frequency(Hz)	164	953	5	27
Eff. Length(cm)	40.26	40.25	0.12	0.12
m(gr/cm)	2.67	2.67	0.07	0.07
$(cm^4) I$	1.367	1.368	0.044	0.044
Humidity(%)	7.6	7.7	0.6	0.5

ضمناً نمودار توزیع گروه بدون بعد $\frac{MOE}{mF^2}$ بر حسب گروه بدون بعد $\frac{I}{l^4}$ و نیز بر حسب میزان رطوبت و همچنین نمودار توزیع مدول الاستیسیته بر حسب میزان رطوبت رسم شده که در زیر آورده می شود.



شکل ۱۰: نمونه های مرطوب با برش شعاعی-مود دوم



شکل ۹: نمونه های مرطوب با برش شعاعی-مود اول

تأثیر رطوبت در پارامترهای مختلف

رطوبت در پارامترهای مختلف به شرح زیر تأثیر گذاشته است:

۱-ممان اینرسی مقطع (Moment of Inertia)

میانگین مقادیر I در رطوبت بالاتر بیشتر است. زیرا ابعاد مقطع با از دست دادن رطوبت کوچکتر می شوند.

۲-طول موثر (Eff.Length)

میانگین طول موثر نمونه ها با از دست دادن رطوبت افزایش یافته است. همانطور که قبلاً ذکر شد، طول موثر با جرم نمونه رابطه عکس دارد.



۳-جرم موثر بر واحد طول موثر (ρ)

چنانکه واضح است مقدار متوسط جرم موثر بر واحد طول موثر با از دست دادن رطوبت کاهش می یابد.

۴-فرکانس طبیعی (Natural Frequency)

میانگین مقادیر فرکانس طبیعی نمونه ها با کاهش رطوبت افزایش یافته است.

میانگین مقادیر فرکانس طبیعی نمونه های با برش شعاعی کمتر از میانگین مقادیر فرکانس طبیعی نمونه های با برش بینابینی بیشتر است.

۵-گروه بدون بعد $MOE/(mF^2)$

این عدد بدون بعد در هر سری نمونه ها با کاهش رطوبت افزایش یافته است. (یعنی اثر افزایش MOE و کاهش m از اثر افزایش F بیشتر است).

نسبت $\frac{MOE_1/(mF_1^2)}{MOE_2/(mF_2^2)}$ در هر دو سری نمونه ها و در هر سری آزمایشها (رطوبت بالا و رطوبت پایین) تقریباً ثابت است.

جدول ۵: مقادیر نسبت $\frac{MOE_1/mF_1^2}{MOE_2/mF_2^2}$ در آزمایشهای مختلف

آزمایش	$\frac{MOE_1/(mF_1^2)}{MOE_2/(mF_2^2)}$
نمونه های مرطوب-شعاعی	۳۸/۹۸۷
نمونه های مرطوب-بینابینی	۳۹/۱۵۴
نمونه های خشک-شعاعی	۳۹/۰۳۱
نمونه های خشک-بینابینی	۳۹/۱۰۹

۶-مدول الاستیسیته

با کاهش رطوبت، میانگین پارامترهای MOE_1 و MOE_2 مقادیر بیشتری به خود اختصاص داده اند. میانگین مقادیر MOE_1 و MOE_2 برای نمونه های با برش شعاعی نسبت به نمونه های با برش بینابینی کمتر است. در هر دو سری نمونه ها و در هر کدام از آزمایشها، میانگین مقادیر MOE_2 از میانگین مقادیر MOE_1 کمتر است.

جدول ۶: مقایسه MOE_1 و MOE_2

آزمایش	اختلاف MOE_1 و MOE_2 (%)
نمونه های مرطوب-شعاعی	۱۴/۶۸۶
نمونه های مرطوب-بینابینی	۱۵/۰۰۵
نمونه های خشک-شعاعی	۱۰/۱۶۹
نمونه های خشک-بینابینی	۱۵/۵۴۹

نتیجه گیری

در این مقاله، روش مودال جهت تعیین ضریب الاستیسیته چوبهای جنگلی شمال کشور (چوب راش) استفاده شده است. نمونه ها با برشهای شعاعی و بینابینی و در رطوبتهای متوسط ۲۳٪، ۷۰٪ و ۲۶٪ مورد آزمایش قرار گرفتند و از روابط موجود، مقدار مدول الاستیسیته محاسبه شده است.

♦ با کاهش رطوبت از حدود ۲۳٪ به حدود ۷٪، میانگین پارامترهای MOE_1 و MOE_2 که به ترتیب، مدول الاستیسیته نمونه ها با استفاده از فرکانسهای طبیعی مود اول و دوم می باشند، حدود ۲۸٪ و ۳۱٪ برای نمونه های با برش شعاعی افزایش داشته اند.

♦ در مورد نمونه های با برش بینابینی، با کاهش رطوبت از حدود ۲۶٪ به حدود ۷٪، میانگین پارامترهای MOE_1 و MOE_2 به ترتیب حدود ۲۲٪ و ۶۲٪ افزایش نشان می دهند.

از نتایج بدست آمده از پاسخ فرکانسی، اعداد بدون بعد مربوط به مدول الاستیسیته و ابعاد نمونه ها محاسبه شده است.

مراجع

- ۱- مسعود، افشین: تعیین پارامترهای دینامیکی و خواص مکانیکی با استفاده از آنالیز مودال آزمایشی، پایان نامه کارشناسی ارشد، ۱۳۷۲.
- ۲- تامسون، ویلیام ت. : تئوری ارتعاشات با کاربردهای آن، ترجمه ابراهیم پوستی، انتشارات فنی حسینیان، چاپ چهارم، ۱۳۷۶.
- ۳- محمدخانی، زهره : تعیین مدول یانگ چوب به کمک تست ضربه، پایان نامه کارشناسی، ۱۳۸۰.
- ۴- علیشاهی، یاسمن و فرجی، مانلی: بررسی چوبهای جنگلهای شمال ایران به لحاظ مقاومت مصالح برای استفاده در صنعت کشتی سازی، پایان نامه کارشناسی، ۱۳۸۰.