



دانشگاه گوارزی و منابع طبیعی گران

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل
جلد بیستم و سوم، شماره اول، ۱۳۹۵
<http://jwfst.gau.ac.ir>

مدل‌سازی و تحلیل درصد رطوبت تعادل چوب با استفاده از متغیرهای مکانی در گستره جغرافیایی ایران

جلیل هلالی^۱، * حمیدرضا عدالت^۲ و داود رسولی^۲

^۱ دانشجوی دکتری هواشناسی کشاورزی، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج، ایران، آستادیار گروه تکنولوژی و مهندسی چوب، دانشکده مهندسی چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران
تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۳/۲۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۶/۰۹

چکیده

سابقه و هدف: درصد رطوبت تعادل (EMC) یکی از شاخص‌های مهم در صنایع چوب می‌باشد که بررسی و تعیین آن در مکان‌های مختلف منجر به جلوگیری از کاهش کیفیت ناشی از عوامل هواشناسی بر میزان کیفیت فرآورده‌های چوبی می‌گردد. این مطالعه به منظور ارائه مدلی ریاضی از رابطه درصد رطوبت تعادل با متغیرهای زمین آماری (طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا) صورت گرفت.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه ۹۳ ایستگاه سینوپتیک و اقلیم‌شناسی با طول دوره آماری ۲۶ ساله (۱۹۸۵-۲۰۱۰) انتخاب و سپس معادله رگرسیونی یک و چند متغیره بین طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا (به‌عنوان متغیرهای مستقل) و درصد رطوبت تعادل (متغیر وابسته) برآزش یافت. پراکنش ایستگاه‌های منتخب به‌طور مناسب صورت گرفت تا کل پهنه جغرافیایی و اقلیمی کشور را پوشش دهد. معیار ارزیابی معادلات استخراج شده ضریب تعیین (R^2)، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و خطای اربب میانگین (MBE) بودند. در مرحله اول معادلات بر اساس ضریب تعیین انتخاب شدند طوری که معادلات با ضریب تعیین بیشتر، بهترین معادلات در نظر گرفته

*مسئول مکاتبه: edalat.hr@gmail.com

شدند. سپس بین معادلات با ضریب تعیین بالاتر معادلاتی که خطای جذر میانگین مربعات کمتری داشتند انتخاب شدند. کم برآوردی یا بیش برآوردی نیز با آماره خطای اریب میانگین تعیین گردید که مقادیر مثبت و منفی به ترتیب نشانگر بیش برآوردی و کم برآوردی بودند.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که مناطق ساحلی و اقلیم سرد، درصد رطوبت تعادل بیشتری نسبت به مناطق و اقلیم‌های خشک و مرکزی ایران دارند. ماه‌های زمستان، ماه‌های اولیه بهار و ماه‌های پاییز منتهی به زمستان دارای رطوبت تعادل چوب بیشتری بودند. تحلیل با متغیرهای مکانی نشان داد استفاده از معادله دو متغیره عرض جغرافیایی - ارتفاع از سطح دریا نتایج بهتری نسبت به معادله‌های تک متغیره ارائه می‌دهد. تحلیل سه متغیره نیز نتایج دقیق‌تری نسبت به روش‌های تک متغیره و دو متغیره ارائه نمود. در ماه‌های گرم سال تنها در تحلیل سه متغیره نتایج خوبی به دست آمد.

نتیجه‌گیری: به نظر می‌رسد راه حل مناسب جهت بررسی درصد رطوبت تعادل با متغیرهای مکانی، مطالعه در مقیاس منطقه‌ای، در نظر گرفتن شرایط اقلیمی، دوری و نزدیکی به منابع رطوبتی و در نهایت ارائه مدل منطقی برای اقلیم مختص آن منطقه می‌باشد.

کلمات کلیدی: چوب، درصد رطوبت تعادل، متغیر مکانی، معادلات آماری، مدل‌سازی ریاضی

مقدمه

چوب یک ماده جامد با ساختار متخلخل می‌باشد و وجود چنین ساختمانی و همچنین نوع ترکیبات شیمیایی آن موجب به وجود آمدن پتانسیل تبادل آب و رطوبت با محیط اطراف می‌گردد. نوع ترکیبات شیمیایی و حضور ترکیبات آبدوست در چوب، نقش بسیار مهمی در خاصیت هیگروسکوپی آن دارد. سلولز فراوان‌ترین ماده آلی موجود در طبیعت و یکی از واحدهای سازنده اصلی چوب، یک ماده پلیمری محسوب می‌شود که در برخی نقاط کریستالی و در بعضی موارد حالت بی‌شکل دارد. این پلیمر طبیعی به دلیل داشتن گروه‌های هیدروکسیلی فراوان ماهیت آبدوست دارد. همی سلولزها نیز با داشتن این گروه‌های آبدوست و همچنین تبلور کمتر نسبت به سلولز، از قابلیت بالایی برای جذب آب و رطوبت از محیط برخوردار می‌باشند. تبادل رطوبت چوب با محیط باعث واکنشیدگی و هم‌کشیدگی آن گردیده و در انتخاب گونه‌های چوبی مختلف برای مصارف متنوع حائز اهمیت می‌باشد (۱ و ۲). قرار گرفتن چوب در محیطی خشک موجب از دست دادن رطوبت و ایجاد هم‌کشیدگی در آن می‌شود. هم‌کشیدگی زیاد موجب ایجاد ترک و شکاف در چوب و فرآورده‌های

آن می‌گردد. اگر چوب به مدت کافی در محیطی قرار گیرد در اثر تبادل رطوبت با محیط، مقدار رطوبت آن به حدی می‌رسد که کم‌ترین تبادل رطوبت را با هوای محیط خواهد داشت که به این میزان رطوبت، رطوبت تعادل چوب گفته می‌شود (۵ و ۶). مقدار این ویژگی علاوه بر خصوصیات ساختاری و فیزیکی چوب، تابع دو عامل مهم آب و هوایی درصد رطوبت نسبی و دما می‌باشد. با بیشتر شدن رطوبت نسبی محیط، رطوبت تعادل چوب نیز افزایش و افزایش دمای محیط رطوبت تعادل چوب را کاهش می‌دهد. با در نظر گرفتن تأثیر متقابل دو عامل مذکور، رطوبت تعادل چوب محاسبه می‌گردد. اهمیت رطوبت تعادل چوب هنگامی بارزتر می‌گردد که محل تولید و مصرف از لحاظ آب و هوایی متفاوت باشند. در این مواقع به دلیل تغییرات رطوبت نسبی و دما، رطوبت تعادل چوب نیز دستخوش تغییر می‌گردد. بنابراین به منظور جلوگیری از کاهش ارزش فرآورده که از دو پدیده مذکور ناشی می‌گردد لازم است رطوبت در چوب به عنوان عامل مهمی تلقی شده و مطالعات لازم در مورد آن صورت گیرد. در واقع چوب می‌بایست با توجه به شرایط آب و هوایی (رطوبت نسبی و دما) محل مصرف فرآورده خشک گردد (۷).

مطالعات صورت گرفته در این مورد نشان داده است که این پارامتر با شرایط آب و هوایی و متغیرهای اقلیمی و هواشناسی رابطه تنگاتنگی دارد. برای اولین بار معادله محاسبه درصد رطوبت تعادل در سال ۱۹۴۶ توسط هیلوود ارائه شد که ورودی اصلی آن دمای متوسط و رطوبت نسبی بود. در مطالعه‌ای درصد رطوبت تعادل ماهانه در ۲۶۲ نقطه ایالات متحده مورد بررسی قرار گرفت و مشخص گردید که مناطق ساحلی دارای درصد رطوبت تعادل بالایی هستند (۱۰). در مطالعه دیگری که در ایالات متحده انجام شد درصد رطوبت تعادل محیط‌های باز و بسته بررسی شده و با سامانه اطلاعات جغرافیایی پهنه‌بندی شد. نتایج حاصله نشان داد نواحی نزدیک به منابع رطوبتی دارای درصد رطوبت تعادل بالاتر و مناطقی مثل آریزونا، نوادا و قسمت‌هایی از کالیفرنیا دارای درصد رطوبت تعادل کمتری می‌باشند (۵). مطالعات انجام شده درصد رطوبت تعادل در ایران نشان داده که متوسط رطوبت تعادل چوب در نقاط مختلف کشور بر حسب شرایط اقلیمی و فصل بین ۳ تا ۱۹ درصد متغیر است (۱ و ۳). آنچه در مورد چوب و فرآورده‌های آن اهمیت دارد تغییرات دما و رطوبت نسبی در طول سال می‌باشد. در کشور ایران بهره‌برداری از جنگل و تولید چوب در ناحیه خزری می‌باشد در صورتی که بخش اعظم چوب تولید شده از جنگل‌های تجاری شمال کشور، به سایر نقاط ارسال می‌گردد که عمده‌ترین این مناطق تهران، قم، اصفهان، کرج، مشهد، جاجرود و ملایر می‌باشند. آگاهی تولید کنندگان نسبت به شرایط آب و هوایی منطقه موردنظر برای فروش محصولات و پیرو آن تولید

فرآورده متناسب با شرایط محل مصرف، از بروز مشکلات ناشی از هم کشیدگی و واکشیدگی جلوگیری نموده و دوام فرآورده را افزایش می‌دهد. بنابراین اهداف اصلی این مطالعه مدل‌سازی تغییرات مکانی رطوبت تعادل چوب با استفاده از متغیرهای مکانی (ارتفاع از سطح دریا، طول جغرافیایی و عرض جغرافیایی) و معادله‌یابی پراکنش مکانی رطوبت تعادل چوب در گستره جغرافیایی ایران بود.

مواد و روش‌ها

برای بررسی رطوبت تعادل چوب در ایران از داده‌های هواشناسی ۹۳ ایستگاه سینوپتیک و اقلیم‌شناسی استفاده گردید. طول دوره آماری بین سال‌های ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۰ به مدت ۲۶ سال انتخاب شد. علاوه بر رعایت تعداد سال‌های آماری مناسب، پراکنش جغرافیایی و اقلیمی مناسب در کل کشور نیز در نظر گرفته شد (شکل ۱). محاسبه پارامتر درصد رطوبت تعادل با استفاده از متغیرهای دمای متوسط و رطوبت نسبی ماهانه و سالانه در قالب رابطه‌های (۱ تا ۵) محاسبه شد (۴، ۹ و ۱۰).

$$EMC = \frac{1800}{W} \cdot \frac{K_h}{1 - K_h} + \frac{K_1 K_h + 2K_1 K_2 K^2 h^2}{1 + K_1 K_h + K_1 K_2 K^2 h^2} \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$W = 349 + 1.29T + 0.0135T^2 \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$K = 0.805 + 0.000736T - 0.00000273T^2 \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$K_1 = 6.27 + 0.00938T - 0.000303T^2 \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$K_2 = 1.91 + 0.0407T - 0.000293T^2 \quad \text{رابطه (۵)}$$

که در آن EMC ، درصد رطوبت تعادل (درصد)، T ، دما (درجه سلسیوس)، H ، رطوبت نسبی (درصد) و W ، K ، K_1 ، K_2 ضرایب مدل جذب هستند.

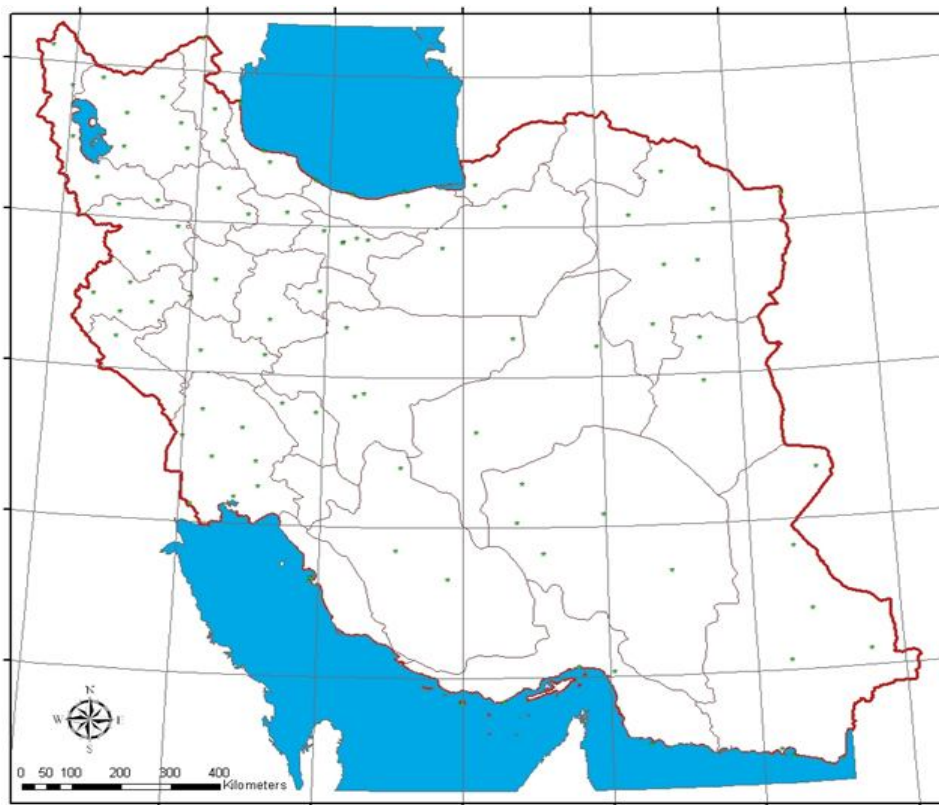
در مرحله بعد رابطه رگرسیونی بین متغیرهای طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا (به‌عنوان متغیرهای مستقل) و درصد رطوبت تعادل (متغیر وابسته) در حالت تک متغیره، دو متغیره و چند متغیره با نرم‌افزار MINITAB 14 استخراج گردید. مقدار درصد رطوبت تعادل به دست آمده از معادلات رگرسیونی با مقادیر به دست آمده از معادله (۱) مقایسه شدند. بررسی دقت مدل‌های برازش داده شده با آماره‌های ضریب تعیین (R^2)، جذر میانگین مربعات خطا^۱ ($RMSE$) و میانگین اریب خطا (MBE) به صورت زیر مورد ارزیابی قرار گرفت (رابطه‌های ۶ و ۷):

1- Root mean square error

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (EMC_o - EMC_e)^2}{n}} \quad \text{رابطه (۶)}$$

$$MBE = \frac{\sum_{j=1}^n (EMC_e - EMC_o)}{n} \quad \text{رابطه (۷)}$$

که در آن n تعداد ایستگاه‌ها، EMC_o درصد رطوبت تعادل محاسبه شده و EMC_e درصد رطوبت تعادل برآورد شده توسط متغیرهای مکانی می‌باشد. مقادیر نزدیک به صفر $RMSE$ نشانگر دقیق تر بودن مدل و مقادیر MBE مثبت و منفی به ترتیب نشانگر بیش برآوردی و کم برآوردی مدل برازش داده شده می‌باشند.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه.

Figure 1. Geographical distribution of studied stations.

نتایج و بحث

تحلیل و بررسی درصد رطوبت تعادل چوب با متغیرهای مکانی: نتایج نشان داد رابطه آماری مناسبی بین درصد رطوبت تعادل و متغیرهای مکانی در مدل‌های خطی تک متغیره وجود ندارد (جدول ۱). این امر به دلیل شرایط اقلیمی و مکانی متنوع در گستره ایران می‌باشد. به طوری که در ماه‌های گرم سال شدیدتر و در عین حال مقادیر انحراف معیار در هر سه متغیر مکانی در ماه دی بیشترین مقدار را به خود اختصاص داد. ضریب شیب خط رگرسیون (B) نیز بیانگر رابطه معکوس بین شاخص EMC و عرض جغرافیایی مثبت و طول جغرافیایی همرا با ارتفاع می‌باشد. در معادله تک متغیره بین عرض جغرافیایی و درصد رطوبت تعادل، بیشترین و کمترین مقدار ضریب تعیین به ترتیب برابر با ۲۲/۸ و ۰/۹ درصد در ماه‌های آذر و مرداد به دست آمد. مقدار ضریب تعیین سالانه در این معادله ۸/۵ درصد بود. در رابطه تک متغیره بین طول جغرافیایی و درصد رطوبت تعادل نیز بیشترین و کمترین مقدار ضریب تعیین به ترتیب برابر با ۳۸/۴ و ۰/۲ و در ماه‌های دی و تیر حاصل شد در حالی که مقدار این آماره در دوره سالانه ۶/۲ درصد به دست آمد. در نهایت در معادله تک متغیره بین ارتفاع از سطح دریا و درصد رطوبت تعادل بیشترین و کمترین مقدار ضریب تعیین به دست آمده برابر با ۳۳/۹ و ۱۱/۹ درصد در ماه‌های مرداد و بهمن بودند و مقدار سالانه ضریب تعیین نیز برابر با ۲۴/۹ درصد گردید.

جدول ۱- تحلیل تک متغیره درصد رطوبت تعادل با متغیرهای مکانی.

Table 1. Univariate analysis of EMC with spatial variables.

ارتفاع Latitude		طول جغرافیایی Longitude				عرض جغرافیایی Latitude				زمان		
S	R ²	B	A	S	R ²	B	A	S	R ²	B	A	
9.02	10.4	-0.0044	72	7.48	38.4	1.22	131	8.46	21.2	0.899	37.8	دی
2.36	11.9	-0.00124	13.3	2.27	18.4	-0.223	23.7	2.27	17.9	0.218	4.81	بهمن
2.54	20.5	-0.00182	12.9	2.73	7.6	-0.162	19.5	2.69	10.4	0.188	4.8	اسفند
2.72	19.4	-0.00191	11.6	2.90	8	-0.177	19	2.87	10	0.196	3.26	فروردین
3.09	16	-0.00193	10.5	3.26	6.2	-0.173	17.6	3.18	10.9	0.227	1.05	اردیبهشت
3.09	24.6	-0.00252	9.9	3.53	1.5	-0.088	12.1	3.48	3.9	0.143	2.67	خرداد
3.00	29	-0.00275	10.1	3.56	0.2	-0.034	9.2	3.54	1.3	0.082	4.65	تیر
3.05	33.9	-0.00313	10.5	3.75	0.3	-0.039	9.55	3.73	0.9	0.072	5.07	مرداد
3.24	33.5	-0.00329	11.1	3.96	0.8	-0.074	11.7	3.93	2.2	0.121	3.84	شهریور
3.03	26.3	-0.00258	11.6	3.45	4.4	-0.153	17	3.39	7.2	0.194	2.59	مهر
2.79	15.8	-0.00172	12.6	2.73	19.4	-0.276	25.3	2.73	18.7	0.269	1.96	آبان
2.37	16.2	-0.00149	14.2	2.14	31.8	-0.302	28.5	2.27	22.8	0.254	4.33	آذر
2.58	24.9	-0.00213	11.8	2.89	6.2	-0.153	17.7	2.85	8.5	0.178	3.79	سالانه

A: عرض از مبدأ، B: شیب رگرسیون، R²: ضریب تعیین (درصد)، S: انحراف از معیار

A: Intercept, B: Regression slope, R²: Coefficient of determination, S: Standard deviation

تحلیل دو متغیره رطوبت تعادل چوب با متغیرهای مکانی (جدول ۲) نشان داد که در مقایسه با تحلیل تک متغیره دقت بالاتری حاصل شده است. تحلیل دو متغیره ارتفاع- عرض جغرافیایی در همه ماه‌ها دارای ضریب تعیین بالایی بوده و رابطه دو متغیره ارتفاع- طول جغرافیایی در رتبه بعدی قرار داشته است. انحراف معیار رابطه دو متغیره ارتفاع- عرض جغرافیایی با درصد رطوبت تعادل نسبت به دو رابطه دو متغیره دیگر (ارتفاع- طول جغرافیایی، طول جغرافیایی- عرض جغرافیایی) مقدار کمتری را نشان داد. کمترین مقدار ضریب تعیین در ماه‌های گرم و بیشترین مقدار آن در ماه‌های سرد سال به دست آمد که این امر را می‌توان به دلیل اثر همزمان کاهش دما و افزایش بارش‌ها در ماه‌های سرد سال دانست. نتایج نشان داد که استفاده از روش‌های دو پارامتری و تک پارامتری در ماه‌های گرم سال دارای نقصان بوده و به‌خوبی قادر به مدل‌سازی پراکنش مکانی رطوبت تعادل چوب نمی‌باشند. نتیجه تحلیل با معادلات سه متغیره نشان داد استفاده از این معادلات نتایج دقیق‌تری از پراکنش مکانی رطوبت تعادل چوب ارائه می‌کند. در این معادلات پایین بودن ضریب تعیین در ماه‌های گرم سال تا حدود زیادی رفع گردید (جدول ۳). با توجه به این‌که کشور ایران دارای تنوع آب و هوایی می‌باشد تحلیل مکانی پارامترهای مرتبط با هواشناسی همچون رطوبت تعادل چوب تا حدودی مشکل می‌باشد به این دلیل به نظر می‌رسد استفاده از تمام پارامترهای مکانی همچون متغیرهای مکانی در تحلیل این پارامترها مؤثر باشند. راه حل اصلی در این‌گونه موارد، مطالعه منطقه‌ای و ارائه معادله برای هر منطقه و اقلیم می‌باشد.

جدول ۲- تحلیل دو متغیره درصد رطوبت تعادل با متغیرهای مکانی.

Table 2. Bivariate analysis of EMC with spatial variables.

طول جغرافیایی و ارتفاع Latitude-Longitude				عرض جغرافیایی و ارتفاع Latitude-Altitude				عرض و طول جغرافیایی Latitude-Longitude				زمان			
S	R ²	C-elev	C-long	A	S	R ²	C-elev	C-lat	A	S	R ²		C-long	C-lat	A
1.88	36	-0.0012	-0.247	27.4	1.73	46	0.0015	0.39	1.68	1.94	31.7	-0.135	0.23	12.6	دی
2.06	5.33	-0.0014	-0.243	26.1	1.84	47.1	-0.0017	0.42	-0.25	2.13	28.7	-0.116	0.261	9.32	بهمن
2.38	30.9	-0.002	-0.19	22.9	2.13	44.6	-0.0023	0.39	0.18	2.64	15.1	0.059	0.251	5.74	اسفند
2.54	30.1	-0.002	-0.206	22.5	2.30	42.9	0.0029	0.41	-1.66	2.81	15	-0.071	0.258	4.78	فروردین
2.95	24.4	-0.002	-0.202	21.2	2.66	38.2	-0.0024	0.44	-3.88	3.14	14.1	-0.048	0.305	0.86	اردیبهشت
3.04	27.5	0.0026	-0.126	16.5	2.89	34.5	-0.0029	0.312	-0.24	3.51	3.9	-0.015	0.179	2.21	خرداد
3.00	30	-0.0028	-0.074	14	2.91	33.9	-0.003	0.22	2.94	3.57	0.9	0.005	0.097	3.88	تیر
3.04	35.1	-0.0032	-0.085	15	2.96	38.4	-0.0039	0.22	3.36	3.76	0.6	-0.011	0.07	5.74	مرداد
3.21	35.7	-0.0034	-0.122	17.5	3.05	41.7	-0.0037	0.318	0.74	3.95	2.3	-0.01	0.156	3.15	شهریور
2.90	33.1	-0.0027	-0.191	21.6	2.64	44.5	-0.0031	0.42	-2.09	3.37	9.5	-0.048	0.257	2.92	مهر
2.39	39	-0.0019	-0.304	28.6	2.05	54.8	-0.0023	0.53	-4.6	2.54	30.8	0.141	0.331	7.15	آبان
1.79	52.9	-0.0017	-0.326	31.4	1.57	63.7	0.0021	0.50	-1.97	1.97	42.7	0.189	0.277	13.3	آذر
2.44	33.8	-0.0022	-0.185	21.5	2.22	45.3	-0.0026	0.376	-0.43	2.82	11.6	0.061	0.224	5.38	سالانه

A: عرض از مبدا، C-lat: ضریب عرض جغرافیایی، C-long: ضریب طول جغرافیایی، C-elev: ضریب ارتفاع از سطح دریا، R²: ضریب

تبیین، S: انحراف معیار

A: Intercept, C-lat: Latitude Coefficient, C-long: Longitude Coefficient, C-elev: Altitude coefficient, R²: Coefficient of determination, S: Standard deviation

جدول ۳- تحلیل سه متغیره درصد رطوبت تعادل با متغیرهای مکانی.

Table 3. Multivariate analysis of EMC with spatial variables.

S	R ²	C-elev	C-long	C-lat	A	زمان
1.66	51	-0.0015	-0.129	0.298	11.4	دی
1.79	50.2	-0.0017	-0.109	0.339	7.99	بهمن
2.13	45.2	-0.0023	-0.050	0.355	3.96	اسفند
2.30	43.6	-0.0024	-0.06	0.366	2.94	فروردین
2.67	38.4	-0.0024	-0.038	0.416	-1.03	اردیبهشت
2.91	34.5	0.0029	-0.003	0.31	-0.03	خرداد
2.93	34	-0.003	0.018	0.233	1.55	تیر
2.98	38.4	-0.0034	0.003	0.223	3.11	مرداد
3.07	41.7	-0.0037	0.006	0.322	0.3	شهریور
2.65	44.7	-0.003	-0.035	0.396	0.53	مهر
1.99	57.9	-0.0023	-0.131	0.436	5.34	آبان
1.40	71.7	-0.002	-0.180	0.37	11.7	آذر
2.22	45.8	-0.0026	-0.050	0.34	3.4	سالانه

A: عرض از مبدأ، C-lat: ضریب عرض جغرافیایی، C-long: ضریب طول جغرافیایی، C-elev: ضریب ارتفاع از سطح دریا، R²: ضریب تعیین، S: انحراف از معیار

A: Intercept, C-lat: Latitude Coefficient, C-long: Longitude Coefficient, C-elev: Altitude coefficient, R²: Coefficient of determination, S: Standard deviation

بررسی دقت مدل‌های برازش یافته: بررسی‌ها نشان داد در ماه‌های آذر و دی معادله دو متغیره طول جغرافیایی - ارتفاع کمترین مقدار آماره MBE را داشتند در حالی که در ماه‌های تیر و مرداد معادله تک متغیره طول جغرافیایی کمترین مقدار این آماره را به خود اختصاص داده است. در ماه‌های بهمن، فروردین، شهریور و مهر نیز کمترین مقدار این آماره متعلق به معادله دو متغیره عرض جغرافیایی - ارتفاع به دست آمد. بررسی بیشتر نشان داد معادله سه متغیره در ماه‌های اسفند، اردیبهشت، تیر و آبان کمترین مقدار آماره MBE را داشته است. در مقیاس سالانه نیز معادله دو متغیره عرض جغرافیایی - ارتفاع کمترین مقدار MBE (۰/۰۰۸) را به خود اختصاص داده است (جدول ۴). بررسی دقت مدل‌های برازش داده شده از نظر آماره RMSE نشان داد رابطه سه متغیره کمترین خطا را در مدل‌سازی پراکنش مکانی درصد رطوبت تعادل به خود اختصاص داده است (به استثنای ماه‌های تیر و

آذر). مدل‌سازی سالانه پراکنش مکانی این پارامتر نشان داد معادله سه متغیره کم‌ترین RMSE را خواهد داشت (جدول ۵).

جدول ۴- MBE مقادیر رطوبت تعادل چوب حاصله از تحلیل‌ها با متغیر مکانی.

Table 4. MBE values of estimated EMC using spatial variables.

سالانه	آذر	آبان	مهر	شهریور	مرداد	تیر	خرداد	اردیبهشت	فروردین	اسفند	بهمن	دی	نوع معادله
0.063	0.092	0.08	0.067	0.042	0.023	0.022	0.039	0.056	0.072	0.046	0.072	54.70	عرض جغرافیایی
0.027	0.009	0.015	-0.007	-0.022	0.001	0.002	0.046	-0.028	0.012	-0.004	0.03	181.14	طول جغرافیایی
0.012	-0.031	-0.001	0.04	-28.81	-0.027	0.013	0.006	-0.008	-0.04	0.031	0.023	54.38	ارتفاع
6.399	19.668	14.691	0.018	0.009	0.022	0.004	-0.006	-0.019	3.606	-0.001	-0.007	-0.016	عرض- طول
0.008	0.015	-0.016	-0.004	0.002	-0.012	0.008	0.009	0.013	-0.004	-0.021	-0.005	2.95	عرض- ارتفاع
-0.029	-0.005	-0.021	-0.024	0.004	0.002	0.014	-0.037	0.047	0.007	0.02	0.026	0.015	طول-ارتفاع
0.103	-1.007	0.001	0.009	-0.007	-0.010	-0.003	0.004	-0.001	0.007	0.00	-0.015	-0.088	عرض- طول-ارتفاع

جدول ۵- RMSE مقادیر رطوبت تعادل چوب حاصله از تحلیل‌ها با متغیر مکانی.

Table 5. RMSE values of estimated EMC using spatial variables.

سالانه	آذر	آبان	مهر	شهریور	مرداد	تیر	خرداد	اردیبهشت	فروردین	اسفند	بهمن	دی	نوع معادله
2.80	2.16	2.63	3.34	3.89	3.70	3.51	3.45	3.12	2.81	2.63	2.20	54.78	عرض جغرافیایی
2.86	2.12	2.69	3.41	3.92	3.71	3.52	3.49	3.23	2.87	1.71	2.25	181.28	طول جغرافیایی
2.55	2.35	2.76	2.99	35.50	3.02	2.97	3.05	3.06	2.69	2.51	2.33	54.48	ارتفاع
7.00	19.85	14.96	3.32	3.90	3.70	3.51	3.45	3.02	4.55	2.60	2.10	1.91	عرض-طول
2.18	1.55	2.02	2.60	3.00	2.91	2.87	2.85	2.62	2.26	2.10	1.81	4.02	عرض- ارتفاع
2.40	1.76	2.35	2.85	3.16	2.99	2.95	2.99	2.90	2.50	2.34	2.03	1.85	طول-ارتفاع
2.17	1.70	1.95	2.59	3.00	2.91	2.87	2.85	2.62	2.25	2.09	1.75	1.62	عرض- طول-ارتفاع

نتیجه‌گیری

بررسی و مدل‌سازی رطوبت تعادل به‌طور دقیق مستلزم دخیل نمودن کلیه عوامل مؤثر بر این پارامتر است. نتایج نشان داد رابطه آماری مناسبی بین درصد رطوبت تعادل و متغیرهای مکانی و جغرافیایی در مدل‌های خطی تک متغیره وجود ندارد که ناشی از تنوع اقلیمی و جغرافیایی کشور ایران می‌باشد. مقدار ضریب تعیین در ماه‌های گرم به حداقل می‌رسد و بیش‌ترین انحراف معیار نیز مربوط به دی ماه می‌باشد. با افزایش ارتفاع از سطح دریا و طول جغرافیایی مقدار رطوبت تعادل کاهش و با افزایش عرض جغرافیایی مقدار رطوبت تعادل افزایش می‌یابد.

در معادلات تک متغیره بین درصد رطوبت تعادل با متغیرهای عرض جغرافیایی، طول جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا بیش‌ترین ضریب تعیین به‌ترتیب برابر با $۲۲/۸$ ، $۳۸/۴$ و $۳۳/۹$ درصد در ماه‌های آذر، دی و مرداد به‌دست آمد و در مقابل کم‌ترین مقدار ضریب تعیین نیز در ماه‌های مرداد، تیر و دی و برابر با $۰/۹$ ، $۰/۲$ و $۱۱/۹$ درصد گردید. مقدار ضریب تعیین سالانه معادلات تک متغیره فوق نیز به ترتیب $۸/۵$ ، $۶/۲$ و $۲۴/۹$ درصد گردید که نشان می‌دهد عامل ارتفاع از سطح دریا توجیه‌کننده بهتری از پراکنش مقدار رطوبت تعادل در گستره جغرافیایی ایران می‌باشد. از نظر مدل‌سازی با متغیرهای مکانی و مقدار برآورد شده رطوبت تعادل با مقادیر مشاهده شده مشخص می‌گردد که در معادلات تک متغیره بیش برآوردی و کم برآوردی وجود دارد. در معادله تک متغیره عرض جغرافیایی بیش‌ترین کم‌ترین بیش برآوردی $۵۰/۷$ و $۰/۰۸$ درصد، در معادله تک متغیره طول جغرافیایی $۱۸۱/۱۴$ و $۰/۰۰۱$ درصد و در معادله تک متغیره ارتفاع $۵۴/۳۸$ و $۰/۰۰۶$ درصد گردید. در مقابل، معادله تک متغیره عرض جغرافیایی بدون کم برآوردی، طول جغرافیایی در ۴ ماه کم برآوردی و ارتفاع از سطح دریا در ۶ ماه مقدار رطوبت تعادل را کمتر از مقدار مشاهده شده برآورد کردند. در مقیاس سالانه نیز همه معادلات تک متغیره بیش برآوردی جزئی داشتند که کم‌ترین مقدار آن $۰/۰۱۲$ درصد مربوط به معادله تک متغیره ارتفاع بود. نتایج به‌دست آمده نشان داد کم‌ترین مقدار ضریب $RMSE$ در معادلات تک متغیره طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی و ارتفاع برابر با $۱/۷۱$ ، $۲/۱۶$ و $۲/۳۵$ درصد و به‌ترتیب در ماه‌های اسفند، آذر و آذر به‌دست آمده است. در مقابل بیش‌ترین مقدار $RMSE$ معادلات فوق به ترتیب $۱۸۱/۲۸$ ، $۵۴/۷۸$ و $۵۴/۴۸$ همگی در ماه دی می‌باشد. کم‌ترین مقدار $RMSE$ در مقیاس زمانی سالانه در معادله تک متغیره ارتفاع و برابر با $۲/۵۵$ درصد به‌دست آمد.

تحلیل دو متغیره رطوبت تعادل با متغیرهای مکانی نشان می‌دهد که بیش‌ترین مقدار ضریب تعیین معادلات دو متغیره ارتفاع- عرض جغرافیایی، ارتفاع- طول جغرافیایی و طول- عرض جغرافیایی به ترتیب $63/7$ ، $52/9$ و $42/7$ درصد در ماه آذر بودند. در مقابل، کم‌ترین مقدار ضریب تعیین معادلات فوق به ترتیب $33/9$ ، $24/4$ و $0/6$ در ماه‌های تیر، اردیبهشت و مرداد به دست آمد. بیش‌ترین مقدار ضریب تعیین سالانه نیز در معادله عرض جغرافیایی- ارتفاع به دست آمد که برابر با $45/3$ درصد می‌باشد. بررسی میزان بیش برآوردی یا کم برآوردی معادلات دو متغیره نشان داد که معادله دو متغیره عرض- طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی- ارتفاع و طول جغرافیایی- ارتفاع به ترتیب در 5 ، 4 و 6 ماه مقدار رطوبت تعادل را کمتر از مقدار مشاهداتی برآورد نمودند. بررسی آماره $RMSE$ نیز مشخص نمود که کم‌ترین مقدار این آماره در معادلات دو متغیره عرض- طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی- ارتفاع و طول جغرافیایی- ارتفاع به ترتیب $1/91$ ، $1/81$ و $1/76$ درصد در ماه‌های دی، بهمن و آذر بوده است. کم‌ترین مقدار سالانه آماره $RMSE$ متعلق به معادله عرض جغرافیایی- ارتفاع و به مقدار $2/18$ درصد است که نشان دهنده دقیق‌تر بودن این معادله نسبت به دو معادله دو متغیره دیگر می‌باشد. در معادله سه متغیره بیش برآوردی در 4 ماه (فروردین، خرداد، مهر، آبان)، کم برآوردی در 7 ماه (دی، بهمن، اردیبهشت، تیر، مرداد، شهریور، مهر، آبان و آذر) و بودن تغییر در 1 ماه (اسفند) به دست آمد. بررسی دقت معادله سه متغیره از نظر مقدار آماره $RMSE$ مشخص نمود که کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار در ماه‌های دی و شهریور و به ترتیب برابر با $1/62$ و 3 درصد می‌باشد. مقدار سالانه آماره $RMSE$ در معادله سه متغیره نسبت به معادلات دو متغیره و تک متغیره کم‌ترین مقدار را داشت ($2/17$ درصد در مقابل $2/18$ و $2/55$ درصد در معادلات دو متغیره و تک متغیره). نتایج کلی نشان داد کم‌ترین مقدار ضریب تعیین در ماه‌های گرم و بیش‌ترین مقدار آن در ماه‌های سرد سال بوده است که این امر را می‌توان به دلیل اثر همزمان کاهش دما و افزایش بارش‌ها در ماه‌های سرد سال دانست. این نتایج نشان داد که استفاده از روش‌های دو پارامتری و تک پارامتری در ماه‌های گرم سال دارای نقصان بوده و به خوبی قادر به مدل سازی پراکنش مکانی رطوبت تعادل نمی‌باشند. نتیجه تحلیل با معادلات سه متغیره نشان داد استفاده از این معادلات نتایج دقیق‌تری از پراکنش مکانی رطوبت تعادل ارائه می‌کند. در این معادلات پایین بودن ضریب تعیین در ماه‌های گرم سال تا حدود زیادی رفع گردید. با توجه به این که کشور ایران دارای تنوع آب و هوایی می‌باشد تحلیل مکانی پارامترهای مرتبط با هواشناسی همچون رطوبت تعادل تا حدودی مشکل می‌باشد به این دلیل به نظر می‌رسد استفاده از تمام

متغیرهای مکانی شامل طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا در تحلیل این پارامترها مؤثر باشند. نتایج حاصله نشان داد راه حل مناسب جهت بررسی درصد رطوبت تعادل با متغیرهای مکانی، مطالعه در مقیاس منطقه‌ای، در نظر گرفتن شرایط آب و هوایی هر منطقه، دوری و نزدیکی به منابع رطوبتی و در نهایت ارائه مدل منطقی برای اقلیم مختص هر منطقه می‌باشد.

تشکر و قدردانی

به این وسیله از سازمان هواشناسی جمهوری اسلامی ایران به دلیل در اختیار گذاشتن داده‌های هواشناسی تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

1. Doost Hoseini, K. 1995. EMC estimation in different location of Iran. Iranian Natural Resource Journal, 39: 29-36. (In Persian)
2. Enayati, A.A. 1998. Estimation and distribution of EMC in Iran, Journal of research in science and industry, 12: 28-31. (In Persian)
3. Enayati, A.A., and Zare Hosseinabadi, H. 2007. Determination of Equilibrium Moisture Content (EMC) of Wood in neighbouring countries of Iran, Journal of the Iranian Natural Resources, 60(3): 1037-1048. (In Persian)
4. Hailwood, A.J., and Horrobin, S. 1946. Absorption of water by polymers: analysis in terms of a simple model. Transactions of the Faraday Society, 42: 84-102.
5. Marlowe, W.J., Ramsey, J.D., Bangi, A.P., and Peralta, P. 2004. GIS Mapping of Monthly Outdoor and Indoor Equilibrium Moisture Content for the United States, Forest Products Society, 58th Annual Meeting, June 27-30, Michigan, USA.
6. Marlowe, W.J., Ramsey, J.D., Peralta, P., and Bangi, A.P. 2004. GIS mapping of monthly outdoor and indoor equilibrium moisture content for the United States. Forest Products Journal, 54(12): 122-125.
7. Parsapajhough, D. 2003. Wood Technology. 5th ed. Tehran University Pub. 404p. (In Persian)
8. Simpson, W.T. 1971. Equilibrium moisture content prediction for wood. Forest Products Journal, 21(5): 48-49.
9. Simpson, W.T. 1973. Predicting equilibrium moisture content of wood by mathematical models. Wood and Fiber, 5(1): 41-45.
10. Simpson, W.T. 1998. Equilibrium Moisture Content of Wood in Outdoor Locations in the United States and Worldwide. Res. Note FPL-RN-0268. USDA Forest Serv., Forest Prod. Lab., Madison, WI.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Wood & Forest Science and Technology, Vol. 23 (1), 2016
<http://jwfst.gau.ac.ir>

Modeling and Estimation of Wood Equilibrium Moisture Content (EMC) with Spatial Variables in Iran

J. Helali¹, *H. Edalat² and D. Rasouli²

¹Ph.D. Student, Dept., of Irrigation and Reclamation, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran,

²Assistant Prof., Dept., of Wood Engineering and Technology, Faculty of Wood and Paper Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran

Received: 07/19/2014 ; Accepted: 08/31/2015

Abstract

Background and objectives: Equilibrium moisture content (EMC) is one of the major indicators in wood sciences that its determination and investigation in the different locations prevents the losses of wood products quality by meteorological parameters. This study was conducted to present a mathematical model according to a correlation between EMC and spatial variables (latitude, longitude and altitude).

Materials and methods: In this study, 93 synoptic and climatology stations during a 26-year period were selected and then the regression equations of uni- and multi-variable between EMC and the spatial variables were fitted to the experimental data. The distribution of stations was suitably selected to cover all the geographical and climatic zones in the country. The constructed equations were evaluated using determination of coefficient (R^2), root mean square error (RMSE), and mean bias error (MBE). In initial and second steps, the equations were considered with the highest R^2 values and the lowest RMSE values, respectively. Under-estimation and over-estimation of the equations were determined by negative and positive MBE values, respectively.

Results: Results showed that the offshore and cold climate had more EMC than the central and arid climates of Iran. The highest EMC was belonged to winter months, initial months of spring and final months of autumn. Analysis by spatial variables revealed that use of two-variable equation of latitude-altitude represents better than the uni-variable equations. However, three-variable analysis showed more exact results compared to uni- and two-variable equations. A good finding was found in the warm months using three-variable analysis.

Conclusion: It seems that the suitable solution to investigate EMC with spatial variables was studying the regional scale, considering the climatic conditions, near and further to water resources and finally presenting a reasonable model for specific climate of the each area.

Keywords: Wood, Equilibrium moisture content, Spatial variable, Mathematical modeling, Statistical equations

*Corresponding author: edalat.hr@gmail.com

