Archive of SID

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، [۲]استادیار 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: ۱۳۹٤/۰٦/۰۹

چکیده

سابقه و هدف: درصد رطوبت تعادل (EMC) یکی از شاخص‌های مهم در صنایع چوب می‌باشد که بررسی و تعیین آن در مکان‌های مختلف منجربه 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 ۲٦ ساله (۲۰۱۰-۱۹۸۵) 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) برازش 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 اریب 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

www.SID.ir

Archive of SID

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 به‌ترتیب 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 به‌دست آمد.

نتیجه‌گیری: به‌نظر 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 به‌وجود آمدن پتانسیل تبادل آب و رطوبت با محیط اطراف می‌گردد. نوع ترکیبات شیمیایی و حضور ترکیبات آبدوست در چوب، نقش بسیار مهمی در خاصیت هیگروسکوپیک 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 به‌دلیل 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 واکشیدگی 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 هم کشیدگی در آن می‌شود. هم کشیدگی زیاد موجب ایجاد ترک و شکاف در چوب و فرآورده‌های

www.SID.ir

Archive of SID

آن می‌گردد. اگر چوب به‌مدت 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 به‌این میزان رطوبت، رطوبت تعادل چوب گفته می‌شود (۵ و ٦). مقدار این ویژگی علاوه‌بر 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 به‌دلیل تغییرات رطوبت نسبی و دما، رطوبت تعادل چوب نیز دستخوش تغییر می‌گردد. بنابراین به‌منظور جلوگیری از کاهش ارزش فرآورده که از دو پدیده مذکور ناشی می‌گردد لازم است رطوبت در چوب به‌عنوان 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 ۱۹٤٦ توسط هیلوود ارائه شد که ورودی اصلی آن دمای متوسط و رطوبت نسبی بود. در مطالعه‌ای درصد رطوبت تعادل ماهانه در ۲٦۲ 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

www.SID.ir

Archive of SID

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 داده های هواشناسی ۹۳ ایستگاه سینوپتیک و اقلیم‌شناسی استفاده گردید. طول دوره آماری بین سال‌های ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۰ به‌مدت ۲۶ سال انتخاب شد. علاوه‌بر 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 (٤، ۹ و ۱۰).

$$EMC = \frac{1800}{W}.\frac{K_h}{1-K_h} + \frac{K_1K_h + 2K_1K_2K^2h^2}{1+K_1K_h+K_1K_2K^2h^2}$$ رابطه (۱)

$$W = 349 + 1.29T + 0.0135T^2$$ رابطه (۲)

$$K = 0.805 + 0.000736T - 0.00000273T^2$$ رابطه (۳)

$$K_1 = 6.27 + 0.00938T - 0.000303T^2$$ رابطه (٤)

$$K_2 = 1.91 + 0.0407T - 0.000293T^2$$ 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 به‌دست آمده از معادلات رگرسیونی با مقادیر به‌دست آمده از معادله (۱) مقایسه شدند. بررسی دقت مدل‌های برازش داده شده با آماره‌های ضریب تعیین (R^2)، جذر میانگین مربعات خطا[1] (RMSE) و میانگین اریب خطا (MBE) به صورت زیر مورد ارزیابی قرار گرفت (رابطه‌های ٦ و ۷):

1- Root mean square error

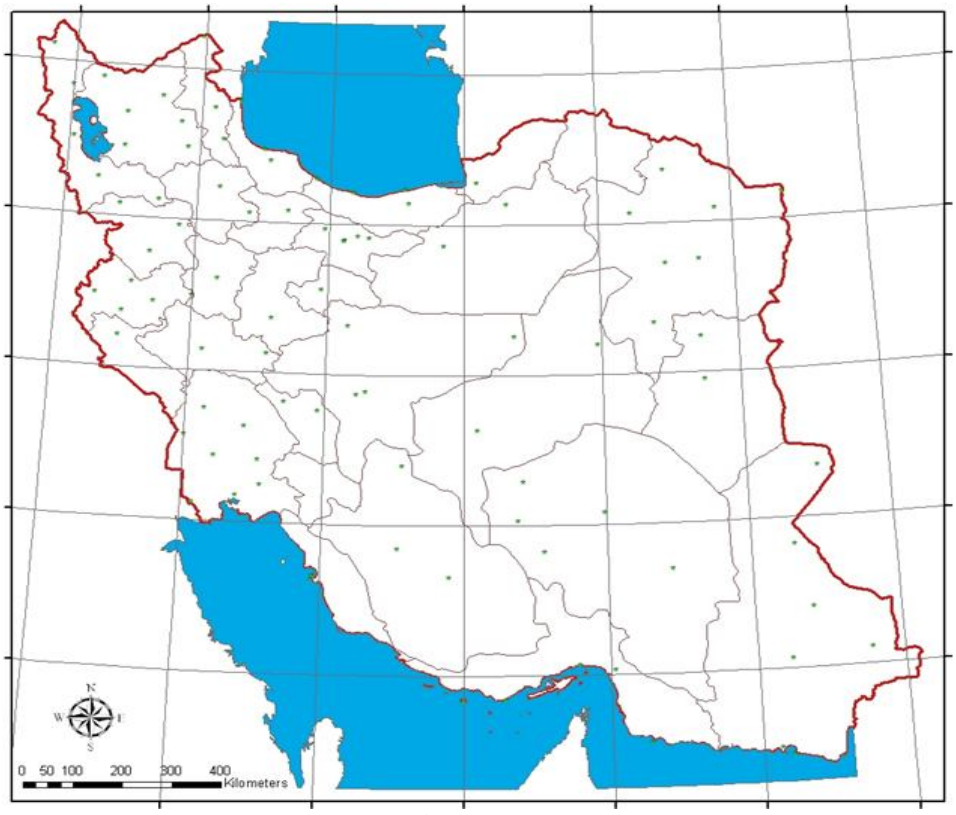
www.SID.ir

Archive of SID

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{n}(EMC_o - EMC_e)^2}{n}}$$ رابطه (٦)

$$MBE = \frac{\sum_{j=1}^{n}(EMC_e - EMC_o)}{n}$$ رابطه (٧)

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 به‌ترتیب نشانگر بیش برآوردی و کم برآوردی مدل برازش داده شده می‌باشند.



شکل ١- موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه.

Figure 1. Geographical distribution of studied stations.

www.SID.ir

Archive of SID

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 به‌دلیل شرایط اقلیمی و مکانی متنوع در گستره ایران می‌باشد. به‌طوری 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 به‌دست 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 به‌ترتیب برابر با ۳۸/٤ و ۰/۲ و در ماه‌های دی و تیر حاصل شد در حالی که مقدار این آماره در دوره سالانه ٦/۲ درصد به‌دست آمد. در نهایت در معادله تک متغیره بین ارتفاع از سطح دریا و درصد رطوبت تعادل بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار ضریب تعیین به‌دست آمده برابر با ۳۳/۹ و ۱۱/۹ درصد در ماه‌های مرداد و بهمن بودند و مقدار سالانه ضریب تعیین نیز برابر با ۲٤/۹ درصد گردید.

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

Table 1. Univariate analysis of EMC with spatial variables.

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

A عرض از مبدأ، B شیب رگرسیون، R^2 ضریب تعیین (درصد)، S انحراف از معیار

A: Intercept, B: Regression slope, R^2: Coefficient of determination, S: Standard deviation

www.SID.ir

Archive of SID

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 به‌دست آمد که این امر را می‌توان به‌دلیل 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 به‌این دلیل به‌نظر 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.

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

A عرض از مبدا، C-lat ضریب عرض جغرافیایی، C-long ضریب طول جغرافیایی، C-elev ضریب ارتفاع از سطح دریا، R^2 ضریب تبیین، S انحراف معیار

A: Intercept, C-lat: Latitude Coefficient, C-long: Longitude Coefficient, C-elev: Altitude coefficient, R^2: Coefficient of determination, S: Standard deviation

www.SID.ir

Archive of SID

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

Table 3. Multivariate analysis of EMC with spatial variables.

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

A عرض از مبدأ، C-lat ضریب عرض جغرافیایی، C-long ضریب طول جغرافیایی، C-elev ضریب ارتفاع از سطح دریا، R^2 ضریب تعیین، S انحراف از معیار

A: Intercept, C-lat: Latitude Coefficient, C-long: Longitude Coefficient, C-elev: Altitude coefficient, R^2: 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 حالی‌که 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 به‌دست 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 ٤). 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

www.SID.ir

Archive of SID

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

جدول ٤- MBE مقادیر رطوبت تعادل چوب حاصله از تحلیل‌ها با متغیر مکانی.

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

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

جدول ٥- RMSE مقادیر رطوبت تعادل چوب حاصله از تحلیل‌ها با متغیر مکانی.

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

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

www.SID.ir

Archive of SID

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، ۳۸/٤ 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، ٦/۲ و ۲٤/۹ درصد گردید که نشان می‌دهد عامل ارتفاع از سطح دریا توجیه کننده 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 و کم‌ترین بیش برآوردی ۵۰/۷ و ۰/۰۸ درصد، در معادله تک متغیره طول جغرافیایی ۱۸۱/۱٤ و ۰/۰۰۱ درصد و در معادله تک متغیره ارتفاع ٥٤/۳۸ و ۰/۰۰٦ درصد گردید. در مقابل، معادله تک متغیره عرض جغرافیایی بدون کم برآوردی، طول جغرافیایی در ٤ ماه کم برآوردی و ارتفاع از سطح دریا در ٦ 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، ۲/۱٦ 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، ٥٤/۷۸ و ٥٤/٤۸ همگی در ماه دی می‌باشد. کم‌ترین مقدار RMSE در مقیاس زمانی سالانه در معادله تک متغیره ارتفاع و برابر با ۲/٥٥ درصد به‌دست آمد.

www.SID.ir

Archive of SID

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 ٦٣/٧، ٥٢/٩ و ٤٢/٧ درصد در ماه آذر بودند. در مقابل، کم‌ترین مقدار ضریب تعیین معادلات فوق به‌ترتیب ٣٣/٩، ٢٤/٤ و ٠/٦ در ماه‌های تیر، اردیبهشت و مرداد به‌دست آمد. بیش‌ترین مقدار ضریب تعیین سالانه نیز در معادله عرض جغرافیایی- ارتفاع به‌دست آمد که برابر با ٤٥/٣ 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 به‌ترتیب در ٥، ٤ و ٦ ماه مقدار رطوبت تعادل را کمتر از مقدار مشاهداتی برآورد نمودند. بررسی آماره RMSE نیز مشخص نمود که کم‌ترین مقدار این آماره در معالات دو متغیره عرض- طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی- ارتفاع و طول جغرافیایی- ارتفاع به‌ترتیب ١/٩١، ١/٨١ و ١/٧٦ درصد در ماه‌های دی، بهمن و آذر بوده است. کم‌ترین مقدار سالانه آماره RMSE متعلق به معادله عرض جغرافیایی- ارتفاع و به مقدار ٢/١٨ درصد است که نشان دهنده دقیق‌تر بودن این معادله نسبت به دو معادله دو متغیره دیگر می‌باشد. در معادله سه متغیره بیش برآوردی در ٤ ماه (فروردین، خرداد، مهر، آبان)، کم برآوردی در ٧ ماه (دی، بهمن، اردیبهشت، تیر، مرداد، شهریور، مهر، آبان و آذر) و بودن تغییر در ١ ماه (اسفند) به‌دست آمد. بررسی دقت معادله سه متغیره از نظر مقدار آماره RMSE مشخص نمود که کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار در ماه‌های دی و شهریور و به‌ترتیب برابر با ١/٦٢ و ٣ درصد می‌باشد. مقدار سالانه آماره RMSE در معادله سه متغیره نسبت به معادلات دو متغیره و تک متغیره کم‌ترین مقدار را داشت (٢/١٧ درصد در مقابل ٢/١٨ و ٢/٥٥ 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 به‌دلیل 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 به‌خوبی 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 این‌که کشور ایران دارای تنوع آب و هوایی می‌باشد تحلیل مکانی پارامترهای مرتبط با هواشناسی همچون رطوبت تعادل تا حدودی مشکل می‌باشد به‌این دلیل به‌نظر می‌رسد استفاده از تمام

www.SID.ir

Archive of SID

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

به‌این وسیله از سازمان هواشناسی جمهوری اسلامی ایران به‌دلیل در اختیار گذاشتن داده‌های هواشناسی تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

1.Doost Hoseini, K. 1995. EMC estimation in diferrent 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.Parsapajhouh, 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.

www.SID.ir

Archive of SID

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. Helali[1], *H. Edalat[2] and D. Rasouli[2]

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

www.SID.ir