دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
بوم‌شناسی جنگل‌های ایران

"مقاله پژوهشی"

بررسی تغییرات محتوی رطوبت خاک با مدل بیلان آبی در جنگل‌های دچار خشکیدگی بلوط زاگرس (مطالعه موردی: جنگل ملەسیاه، ایلام)

ایاداعظمی[۱]، احمد حسینی[۲]، رضا سلیمانی[۳] و ناصر ملکی[۴]

۱- مربی پژوهشی بخش جنگل، مرتع و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی ایلام، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایران، (نویسنده مسوول: ayada2012@gmail.com)
۲- دانشیار پژوهشی، بخش جنگل، مرتع و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایلام، ایران
۳- استادیار پژوهشی، بخش خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایلام، ایران
۴- دکتری هواشناسی، اداره کل هواشناسی ایلام، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۰۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۲/۲۷
صفحه: ۱۳۸ تا ۱۴۶

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: شناخت محتوی رطوبت خاک و تغییرات آن در رویشگاه می‌تواند یک شاخص کمی بوم‌شناسی باشد. هدف پژوهش، ارزیابی دقت مدل توزیعی بیلان آبی تورک در برآورد رطوبت خاک در جنگل بلوط واقع در ملەسیاه ایلام است.

مواد و روش‌ها: مطالعه حاضر طی مهر ۱۳۹۲ تا شهریور ۱۳۹۴ انجام شد. داده‌های ورودی مدل شامل نقشه‌های توزیعی بارش، دما و تشعشع خورشیدی ماهانه، نقشه ظرفیت نگهداری آب در خاک و DEM[۱] منطقه است. برای اعتبارسنجی داده رطوبت خاک حاصل از مدل بیلان آب، تعداد ۳۳ سنسور ۱۱۰ سانتی‌متری رطوبت‌سنج در نقاط مختلف رویشگاه نصب و اندازه‌گیری با رطوبت‌سنج TDR[۲] در گام زمانی ماهانه انجام شد. برای ارزیابی مدل از آماره‌های میانگین قدرمطلق خطا (MAE) و میانگین انحراف خطا (MBE) استفاده و در ادامه نتایج تحلیل گردید.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که دقت مدل در برآورد رطوبت خاک در ایام مرطوب سال کم و حالت بیش‌برآوردی و در دوره خشک سال مناسب است. دیگر نتایج نشان داد در سال اول و دوم اجرای تحقیق، میزان بارش به‌ترتیب ۶۸۰ و ۳۸۳ میلی متر بوده که سهم تبخیر و تعرق از بارش به‌ترتیب ۵۶ و ۷۷ درصد است. همچنین در رویشگاه مورد مطالعه حداکثر ظرفیت آب در دسترس خاک ۱۲۵ میلی‌متر در اسفندماه و حداقل آن در شهریور ماه به‌میزان صفر در شرایط خشکسالی ثبت شده است. دیگر نتایج حاکی است تنش‌خشکی در سال اول (نرمال از نظر بارش)، در دو ماه مرداد و شهریور و در سال دوم (خشکسالی)، به چهار ماه تیر، مرداد، شهریور و مهر افزایش یافته‌است. همچنین ۷۳ درصد پایه‌های خشکیده بلوط در رویشگاه، منطبق بر محدوده‌هایی است که رطوبت خاک در ماه شهریور به کمتر از نقطه پژمردگی (۱۵ درصد) رسیده‌است.

نتیجه‌گیری: بنابراین کاهش رطوبت خاک در خشکسالی‌ها نقش مهمی در خشکیدگی پایه‌های بلوط داشته و اثر شدت و تداوم دوره‌های خشکسالی در خشکیدگی درختان بلوط نیاز به بررسی بیشتر دارد.

واژه‌های کلیدی: بلوط ایرانی، بیلان آب خاک، تنش خشکی

مقدمه

خشکیدگی گونه بلوط در ناحیه رویشی زاگرس، از چالش‌های مهم در حوزه منابع‌طبیعی کشور ایران است. قطعا آب قابل دسترس خاک، فاکتور مهم برای رشد گیاهان محسوب می‌گردد. گیاهان در صورت عدم دسترسی به آب خاک و یا در شرایط نزدیک به اشباع که تهویه کاهش می‌یابد، دچار تنش می‌شوند (۲۷). رطوبت خاک نه تنها نقش موثری در چرخه هیدرولوژیکی دارد، بلکه در بحث‌های اقلیمی و محیطی همانند مدل‌های تغییر اقلیم و پیش‌بینی مخاطرات محیطی مانند سیل، گردوغبار، فرسایش خاک، خشکی و غیره حائز اهمیت است (۶). در حوزه منابع طبیعی با توجه به گستردگی عرصه، اقلیم متفاوت، تنوع گونه‌ای، بافت خاک و توپوگرافی‌های مختلف، حضور و عدم حضور گونه‌های گیاهی و سایر مشخصه‌های جامعه گیاهی بر اساس توان بوم‌شناسی تفسیر می‌گردد. به‌طور نمونه بوم‌شناس‌های جنگل به‌طور سنتی با استفاده از رابطه محیط–گونه موقعیت گونه‌ها را در یک چشم‌انداز بر اساس ارتفاع و خصوصیات توپوگرافی نشان می‌دادند (۱۷،۲۵). حسینی و همکاران (۱۲) نتیجه گرفتند که عکس‌العمل گونه‌ها به شرایط رویشگاهی مختلف و موقعیت زادآوری فرق می‌کند و شناخت الگوی‌های مکانی برای هر گونه در هر منطقه را به‌منظور تجدید حیات توده جنگلی و دخالت‌های جنگل‌شناسی لازم می‌دانند. با وجود این سابقه طولانی، استفاده از شاخص‌های توصیفی همچون رابطه گونه– محیط، دارای چندین نقص است. از جمله اینکه گیاهان عکس‌العمل مستقیمی به متغیرهای انتخاب شده مانند شیب، جهت دامنه نشان نمی‌دهند (۱۸). همچنین این شاخص‌ها ویژگی‌های منطقه را مثلا بر اساس موقعیت شیب یا درجه شیب و انحنای شیب طبقه‌بندی می‌کردند (۲۰،۱۴). بنابراین نتایج بدست آمده برای هر منطقه وابسته به کاربر آن داشته و نتایج مدل با مطالعات در مناطق دیگر قابل مقایسه نیست. به‌عبارتی شاخص‌های مذکور رطوبت را به‌صورت کیفی توصیف می‌کنند. لذا شاخص رطوبتی کمی محاسبه شده، با بکارگیری روش تعادل آبی در ترکیب با متغیرهای توپوگرافی و ادافیکی می‌تواند رطوبت مورد نیاز و قابل دسترسی برای گیاهان در همه عرض‌های ژئوگرافیک را ارائه کند. همچنین شناخت تغییرات مکانی آن طی فرآیندهای بوم‌شناسی و عکس‌العمل اکوسیستم به تغییر شرایط اقلیمی می‌تواند آن را به یک شاخص پویا تبدیل نماید (۱۸). توپوگرافی و مشخصه‌های خاک، مقدار رطوبت خاک را کنترل می‌نماید که علاوه بر ترکیب جنگل، بر میکروکلیما، غنای گونه‌ای، استقرار گیاه، حاصل‌خیزی، چرخه مواد غذایی، خاک‌سازی و پایداری جنگل اثرگذار است (۱۸). مقدار رطوبت خاک در زمان و مکان‌های مختلف، هر رویشگاه متغیر است. اندازه‌گیری پیوسته آن بسیار پرهزینه، وقت‌گیر و در مناطق صعب‌العبور

1- Digital Elevation Model
2- Time Domain Reflectometry

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2024-04-19]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1400.9.18.5.1]
[DOI: 10.52547/ifej.9.18.138]

غیر ممکن است. پیشرفت‌های روز افزون علم و فناوری، جایگزین روش‌های گذشته را اجتناب‌ناپذیر نموده است. از جمله این روش‌ها استفاده از داده‌های سنجش از دور به‌منظور تعیین رطوبت خاک سطحی در سالیان اخیر است (۷). محققین زیادی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و روش‌های مختلف اقدام به برآورد رطوبت خاک و اعتبار سنجی آن بر اساس داده‌های زمینی نموده‌اند. از دیگر روش‌ها تعیین بیلان آب خاک با مدل‌های توزیعی هیدرولوژیکی و با استفاده از تکنیک سیستم اطلاعات جغرافیایی به‌صورت گسترده امکان‌پذیر، کاربردی و متداول شده است (۲۶). در واقع این مدل‌ها سهم هریک از مولفه‌ها تبخیر و تعرق، ذخیره رطوبت خاک، رواناب را از بارش به‌صورت توزیع مکانی را برای مدیریت آبخیزها، آبیاری اراضی، مدیریت منابع آب در سطح مزرعه تا قاره‌ای در کل دنیا مورد استفاده قرار گرفته و در داخل کشور از مدل مذکور برای شبیه‌سازی رواناب در حوزه پیشکوه یزد استفاده و نتایج مدل را در سطح ۹۰ درصد قابل قبول می‌داند (۵). محققین دیگری از این مدل جهت برآورد رواناب استفاده نموده و نتایج خود را مثبت ارزیابی نموده‌اند (۲۲،۱۳،۱۰،۳). همچنین دیر (۸) در تحقیقی از مدل بیلان آبی تورک برای تعیین میزان ذخیره رطوبتی خاک در جنگل‌های اوهایو امریکا استفاده و نتایج مدل را با اندازه‌گیری رطوبت خاک در عمق‌های مختلف خاک و در جهت‌های مختلف مقایسه و نتایج نشان داد می‌توان مدل مذکور را برای بررسی اثرات توپوگرافی بر آب قابل دسترس خاک و اثر تغییر اقلیم بکار گرفت. لذا در این تحقیق هدف بررسی کارایی مدل توزیعی تورک در بیلان آب خاک و تعیین مولفه رطوبت خاک و دیگر مولفه‌های بیلان است. همچنین تغییرات زمانی و مکانی رطوبت خاک و ارتباط آن با خشکیدگی پایه‌ها بلوط بررسی می‌گردد.

مواد و روش‌ها

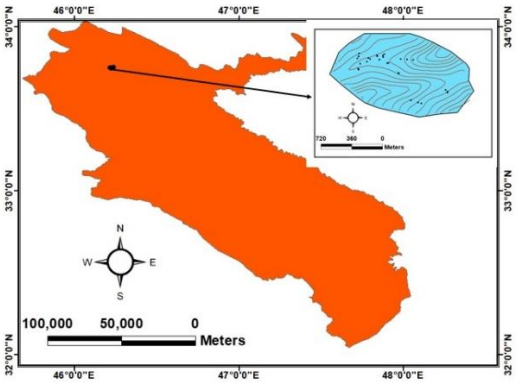
منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در عرض جغرافیایی "۳۰ ′۴۴ °۳۳ تا "۱۱ ′۴۵ °۳۳ و طول جغرافیایی "۳۰ ′۴۴ °۳۳ تا "۱۱ ′۴۵ °۳۳ و از توابع بخش چوار و در فاصله ۲۵ کیلومتری غرب شهر ایلام واقع گردیده‌است. ارتفاع محل تحقیق بین ۱۱۰۰ تا ۱۶۰۰ متر از سطح دریا است. متوسط بارش منطقه ۵۶۰ میلی‌متر و متوسط دما ۱۶/۲ درجه سانتی‌گراد است. منطقه مورد تحقیق روی سازند ایلام و دارای خاک لومی‌رسی و عمق خاک بین ۲۰ تا ۱۵۰ سانتی‌متر در نوسان است (۲۲).

روش تحقیق

به‌منظور برآورد رطوبت خاک که از مولفه‌های مهم در بیلان آب در خاک است از مدل هیدرولوژیکی تورک در محیط نرم‌افزار Arc map 10.2 و به‌صورت توزیعی در محدوده جنگلی ملەسیاه ایلام استفاده گردید. تحقیق در دو سال آبی۹۳-۱۳۹۲ و ۹۴- ۱۳۹۳ و در گام زمانی ماهانه به اجرا درآمد. همچنین مولفه‌های بیلان آب خاک از قبیل رطوبت خاک، رواناب سطحی، تبخیر و تعرق واقعی، جریان ریز سطحی و نفوذ عمقی برآورد شده‌است. ورودی مدل شامل: نقشه مدل رقومی ارتفاعی (DEM) محدوده مورد مطالعه، نقشه ظرفیت آب موجود خاک (AWC)[1] با توجه به بافت و عمق خاک باکاربری جنگل، ۲۴ نقشه توزیعی دمای متوسط ماهانه، ۲۴ نقشه توزیعی بارش ماهانه و ۲۴ نقشه توزیعی تشعشعات خورشیدی ماهانه و طی چهار مرحله زیر به اجرا درآمده‌است:

۱-تهیه و آماده‌سازی داده‌های اقلیمی (بارش، دما و تشعشع خورشیدی ماهانه) در محدوده مورد مطالعه.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد پژوهش در نقشه استان ایلام
Figure 1. Location of the study area on the Ilam province map

۲- تهیه نقشه ظرفیت آب موجود خاک (AWC) و نقشه مدل رقومی ارتفاعی (DEM) محدوده مورد مطالعه.

۳- مراحل مدل توزیعی بیلان آبی تورک به‌منظور تعیین مولفه بیلان آبی خاک به شرح زیر اجرا گردید:

- تبخیر و تعرق پتانسیل (PET)[2]: میزان رطوبتی است که گیاه می‌تواند در صورت عدم محدودیت آب تبخیر و تعرق نماید (۸).

برای برآورد این پارامتر در روش تورک (Turc) و در گام زمانی ماهانه با رابطه (۱) تعیین می‌گردد (۸).

رابطه (۱) $PET= 0.013\frac{T}{(T+15)}(Rs+50)$

در این رابطه: PET تبخیر و تعرق پتانسیل ماهانه به میلی‌متر، Rs: مجموع اشعه دریافت شده ماهانه (Call/cm2) در سطح زمین و T متوسط درجه حرارت ماهانه در سطح زمین به °C است (۸).

1- Available Water Capacity
2- Evapotranspiration potential

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2024-04-19]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1400.9.18.5.1]
[DOI: 10.52547/ifej.9.18.138]

- (AET): تبخیر و تعرق واقعی که بر اساس روش تورک تعیین گردید (۸).
- کمبود رطوبت (deficit): اختلاف بین تبخیر و تعرق پتانسیل و واقعی است و به‌عنوان کمبود ذکر می‌گردد (۸).
- ذخیره رطوبت خاک (storage): بخشی از بارش در خاک ذخیره می‌گردد که میزان آن بستگی به عمق و بافت خاک، نوع رس و مواد آلی دارد (۸).
- نفوذ ثقلی(surplus): اگر P> PET باشد، آب مازاد بر ذخیره رطوبت خاک، به‌صورت رطوبت ثقلی تبدیل می‌گردد (۸).

۴- ارزیابی مدل

به‌منظور ارزیابی دقت مدل بیلان آب در برآورد رطوبت خاک، سنسورهایی با طول ۱۱۰ سانتی‌متر در چهار جهت اصلی و در طول دامنه‌های منتخب نصب و اندازه‌گیری توسط دستگاه TDR انجام گردید. سپس مقدار رطوبت خاک اندازه‌گیری شده و برآوردی توسط مدل در گام زمانی ماهانه بر حسب درصد مقایسه می‌گردد. مقادیر برآوردی توسط مدل بر حسب میلی‌متر است که بر اساس رابطه زیر به درصد آب قابل استفاده گیاه (PAW) محاسبه می‌گردد. برای تعیین مقدار PAW از رابطه(۲) استفاده می‌گردد (۸):

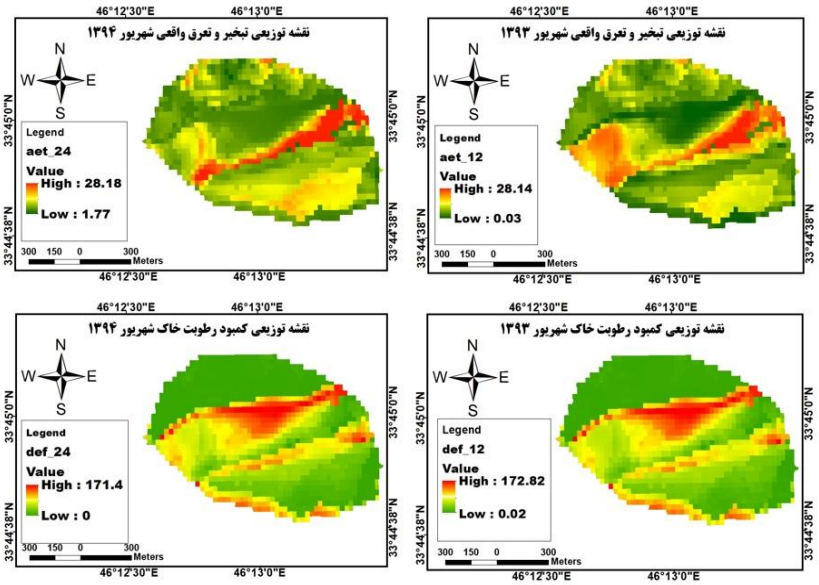
$$PAW=100 * (\frac{(vwc-pwp)}{(fc-pwp)}) \quad \text{رابطه (۲)}$$

در این رابطه PAW درصد آب قابل استفاده گیاهی، pwp آب خاک در نقطه پژمردگی و FC آب خاک در ظرفیت زراعی است. ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی بر اساس بافت خاک تعیین گردید (۲). برای ارزیابی مدل از میانگین قدر مطلق خطا (MAE) به‌منظور سنجش خطای مدل استفاده گردید هر چه دقت مدل کمتر باشد شاخص مذکور به صفر نزدیکتر می‌گردد. همچنین جهت ارزیابی بیش‌برآوردی یا کم‌برآوردی مدل از شاخص میانگین انحراف خطا (MBE) استفاده و اعداد مثبت حالت بیش‌برآوردی و اعداد منفی شاخص مذکور کم برآوردی مدل را نشان می‌دهد (۸).

در ادامه برای بررسی اثر تنش خشکی در خشکیدگی پایه‌های بلوط، موقعیت کلیه پایه‌های نیمه‌خشکیده و خشکیده بلوط با دستگاه GPS ثبت و نقشه پراکنش آنها تهیه و با نقشه کلاسه‌بندی شده رطوبت خاک در پایان دوره خشک سال روی‌هم‌گذاری شد. در کلاسه‌بندی نقشه توزیعی رطوبت خاک، سه کلاس کمتر از نقطه پژمردگی، حد فاصل نقطه پژمرگی تا ظرفیت‌زراعی و بیش از ظرفیت‌زراعی مد نظر قرار گرفت. سپس تعداد پایه خشکیده در سه کلاس بندی به تفکیک سال ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ تعیین و اثر تنش خشکی بر خشکیدگی بلوط با روش آماری در محیط نرم‌افزار Excel بررسی و نتایج تحلیل گردید.

نتایج و بحث

با اجرای مدل، نقشه توزیعی مولفه‌های بیلان از جمله تبخیر و تعرق پتانسیل و واقعی، ذخیره رطوبت خاک و نفوذ عمقی به‌صورت ماهانه و سالانه توسط مدل برآورد گردید. بر این اساس تعداد ۲۴ نقشه توزیعی برای هر یک از مولفه‌ها استخراج شده که در شکل (۲) تعدادی از آنها به‌صورت نمونه ارائه گردیده است. مقادیر عددی مولفه بیلان آب و تغییرات زمانی و مکانی رطوبت خاک از نقشه‌های مذکور استخراج و در ادامه ارائه و تحلیل می‌گردد.



شکل ۲- نقشه‌های توزیعی مولفه‌های بیلان در رویشگاه جنگلی ملەسیاه ایلام
Figure 2. Distribution map of some of Balance's components in Melah Siah forest area of Ilam

هدف از اجرای این پژوهش ارزیابی دقت مدل در برآورد میزان رطوبت خاک ماهانه است. لذا داده‌های رطوبت خاک برآوردی توسط مدل به‌صورت ماهانه در جدول (۱) ارائه گردیده است.

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2024-04-19]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1400.9.18.5.1]
[DOI: 10.52547/ifej.9.18.138]

جدول ۱- برآورد رطوبت قابل دسترس ماهانه خاک توسط مدل بیلان آب در رویشگاه جنگلی ملەسیاه
Table 1. Estimation of monthly available soil moisture by water balance model in Melah Siah forest habitat

سال آبی ۹۳-۱۳۹۲	رطوبت قابل دسترس خاک (درصد) (PWA ٪)	سال آبی ۹۴-۱۳۹۳	رطوبت قابل دسترس خاک (درصد) (PWA ٪)
مهر۹۲	۰	مهر ۹۳	۲۲/۱
آبان ۹۲	۵۸/۷	آبان ۹۳	۵۰
آذر ۹۲	۸۳/۷	آذر ۹۳	۵۳/۵
دی ۹۲	۷۴/۴	دی ۹۳	۵۴/۷
بهمن ۹۲	۹۵/۳	بهمن ۹۳	۵۱/۲
اسفند ۹۲	۱۰۰	اسفند ۹۳	۶۴/۷
فروردین ۹۳	۸۶/۹	فروردین ۹۴	۶۴/۷
اردیبهشت ۹۳	۷۲/۱	اردیبهشت ۹۴	۵۱/۲
خرداد ۹۳	۴۱/۹	خرداد ۹۴	۲۵/۶
تیر ۹۳	۲۲/۱	تیر ۹۴	۱۰/۵
مرداد ۹۳	۱۵/۱	مرداد ۹۴	۵/۸
شهریور ۹۳	۵/۸	شهریور ۹۴	۰

در ادامه برای ارزیابی مدل، از داده‌های رطوبت خاک مشاهده‌ای و برآوردی استفاده و با شاخص‌های آماری اشاره شده در روش تحقیق ارزیابی انجام و نتایج در جدول (۲) ملاحظه می‌گردد.

جدول ۲- شاخص‌های کمی ارزیابی مدل
Table 2. Quantitative indicators of model evaluation

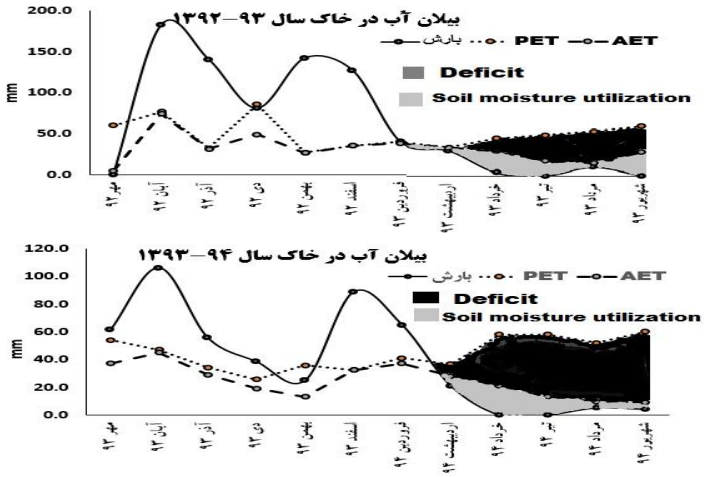
شاخص ارزیابی	MAE	MBE
کل داده‌ها	۲۹	۳۰/۶
ماه‌های خشک	۱/۶	۳/۶
ماه‌های مرطوب	۳۸/۱	۳۹/۶

شاخص میانگین قدرمطلق خطا (MAE) مدل برای دوره بررسی شده معادل ۲۹ واحد است. با توجه به اینکه هرچه این شاخص به صفر نزدیکتر باشد نشانه دقت بیشتر مدل است. عدد ۲۹، دقت کم مدل در برآورد رطوبت ذخیره شده در خاک را نشان می‌دهد. البته مقادیر شاخص در ماه‌های خشک سال شامل تیر، مرداد و شهریور به ۱/۶ واحد رسیده که نشانه دقت مناسب مدل و در ماه‌های مرطوب به ۳۸ واحد رسیده که دقت کم مدل در دوره‌های مرطوب سال را نشان می‌دهد. همچنین مقدار میانگین انحراف (MBE) با توجه به نتایج جدول (۲)، ۳۰/۶ واحد است. لذا در مجموع دقت مدل در پیش‌بینی ذخیره رطوبت خاک در ماه مرطوب بیش‌برآوردی و در ماه‌های خشک سال (تیر، مرداد و شهریور) مناسب است. بیش‌برآوردی مدل در ایام مرطوب را نمی‌توان قویا به‌عنوان ضعف مدل بیان نمود و عواملی از قبیل زهکشی سریع آب به‌دلیل بافت خاک، شیب زیاد منطقه، نفوذ عمقی و ذخیره در لایه‌های پائین خاک و سایر عوامل ناشناخته‌ای می‌تواند نسبت داد که در کاهش سریع رطوبت خاک موثر است. البته در تحقیق حاضر رطوبت خاک تا عمق ۱۱۰ سانتی‌متر اندازه‌گیری شده و این اختلاف ممکن است مربوط به ذخیره رطوبت در لایه‌های پائین تر خاک باشد. در تایید این نتیجه در تحقیقی که توسط دایر (۸) انجام شد، از روش توزیعی تورک بهره جسته و میزان ذخیره آب در خاک را برآورد نموده و نتایج را مثبت و ضریب همبستگی بین داده‌های مشاهده‌ای و برآوردی را ۹۱ درصد اعلام نموده است و حالت بیش‌برآوردی مدل توسط ایشان درماه‌های مرطوب سال تایید شده است. ۰همچنین در تحقیقی که توسط حصادی (۱۰) با روش تورنت وایت در حوزه آبریز نازلوچای انجام شد، بیش برآوردی مدل را نتیجه گرفته و آن را به میزان نفوذ عمقی آب در خاک و تغذیه آب زیرزمینی در ماه‌های مرطوب دی تا اسفند نسبت داده که با نتایج این تحقیق مشابه است.

دیگر نتایج نشان داد که ظرفیت آب موجود درخاک ۱۲۵ میلی‌متر است که در سال اول کل ظرفیت رطوبتی خاک در اسفند ماه تامین شده ولی در سال دوم حداکثر به ۹۹ میلی‌متر رسید. در پژوهشی برخورداری و همکاران (۴) ظرفیت آب موجود در خاک‌های لومی‌سیلتی واقع در منطقه یزد را ۱۲۰ میلی‌متر و دایر (۸) مقدار ظرفیت آب خاک را در جنگل‌های بلوط واقع در در اوهایو و کالرولینای شمالی امریکا را به ترتیب ۱۰۷ و ۱۲۸ میلی‌متر گزارش داده است (۸). دیگر نتایج نشان داد حداکثر رطوبت در اسفند و حداقل در شهریور است، در تایید این یافته حیاتی و همکاران (۹) در تحققات خود نتیجه گرفتند که مقدار پتانسیل ماتریک خاک در هر دو دامنه با پوشش پهن‌برگ و علفی از فروردین تا شهریور روند افزایشی را نشان می‌دهد، به‌طوریکه کمترین مقدار پتانسیل ماتریک با پوشش پهن‌برگ (۹۳/۷ کیلو پاسکال) و دامنه علفی (۷۷/۱ کیلو پاسکال) در ماه فروردین و بیشترین مقدار آن برای دامنه با پوشش پهن‌برگ را (۸۰۱ کیلو پاسکال) و دامنه علفی (۶۵۱/۱ کیلو پاسکال) در تیر ماه مشاهده نمودند. در سال اول اجرای پروژه میزان بارش ۶۸۰ میلی‌متر و دمای متوسط سالانه ۱۶/۶ درجه سانتی‌گراد، سالی نرمال و سال دوم با بارش ۳۸۳میلی‌متری و دمای ۱۷/۷ سالی خشک محسوب می‌گردد. بر این اساس نتایج مدل در دو سال مذکور نشان داد که سهم تبخیر و تعرق واقعی از بارش در سال اول و دوم به‌ترتیب با ۳۸۱ و ۲۹۳میلی‌متر معادل ۵۶ و ۷۶ درصد بارش است. همچنین میزان کمبود رطوبتی سالانه در سال اول و دوم به‌ترتیب ۱۸۷/۲ و ۲۴۱ میلی‌متر است. بنابراین در سال (۹۲-۹۳) که از نظر بارش مساعد بوده مقدار کمبود در معادله بیلان به ۱۸۷ میلی‌مترکاهش یافته است ولی در سال دوم (خشک) این مقدار به ۲۴۱ میلی‌متر رسیده و این به معنی تنش خشکی بیشتر است. البته همزمان با کاهش بارش‌ها در سال دوم، افزایش ۰/۸درجه ای دمای متوسط ماهانه نقش مهمی در افزایش توان تبخیر و تعرق محیط دارد. این موضوع همزمان با کاهش بارش‌ها می‌تواند از عوامل اصلی بروز

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2024-04-19]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1400.9.18.5.1]
[DOI: 10.52547/ifej.9.18.138]

خشکیدگی گونه بلوط ایرانی و سایر گونه‌های درختی و درختچه‌ای زاگرس باشد. در این خصوص در تحقیقی مشابه نتایج نشان داد که با افزایش دمای هوا، میزان تبخیر و تعرق افزایش و به‌دنبال آن مقدار پتانسیل ماتریک خاک در هر دو دامنه روند افزایش نشان می‌دهند (۹). بررسی اثر عوامل اقلیمی و تبخیر و تعرق بر زوال بلوط در ناحیه رویشی زاگرس بررسی و همبستگی مثبتی بین تبخیر و تعرق و زوال بلوط در ناحیه رویشی زاگرس وجود دارد (۳). بنابراین علاوه بر کاهش بارش، افزایش دمای هوا می‌تواند نقش موثری در افزایش تبخیر و تعرق داشته و این عامل منجر به تنش خشکی و خشکیدگی توده‌های جنگلی بلوط می‌گردد. در ادامه روند ماهانه کمبود رطوبت خاک (Deficit) در شکل (۳) ملاحظه می‌گردد. در سال اول (۹۳-۱۳۹۲) کمبود رطوبت از اردیبهشت ماه شروع و با شیب ملایم تا اواخر شهریور ماه رو به افزایش است، شیب کم به‌دلیل وجود بارش مناسب و ادامه آن تا خرداد ماه می‌باشد اما در سال دوم به‌دلیل عدم وجود بارش در خرداد و کاهش بارش در اردیبهشت (نسبت به سال قبل)، روند کاهش رطوبت خاک از اردیبهشت ماه تسریع یافته و روند کمبود رطوبت (Deficit) در ماه‌های بعدی دارای شیب تند است. با توجه به اینکه رویش طولی گونه بلوط در منطقه از اواسط اسفند ماه شروع می‌گردد، رطوبت مناسب در ماه‌های اسفند، فرودرین و اردیبهشت برای گذراندن دوره رویش و ظهور برگ‌ها تامین شده است. اما دوره تنش رطوبتی با افزایش دما از اواخر خرداد ماه شروع و حداکثر در مرداد و شهریور ماه اتفاق افتاده که مصادف با مرحله زایشی است.



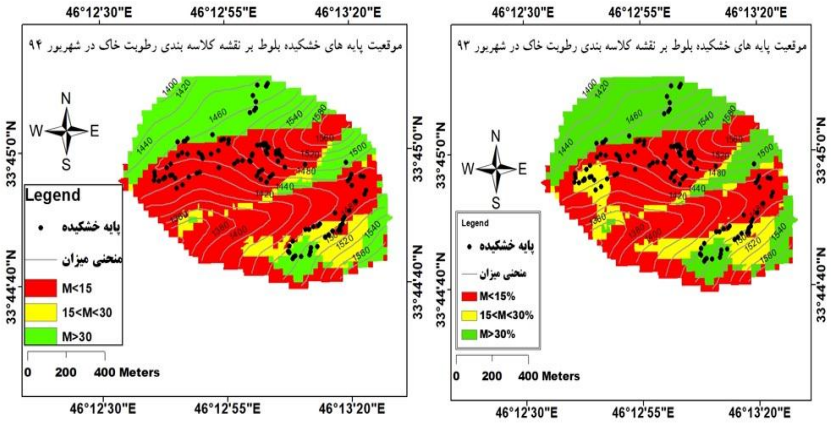
شکل ۳- روند تغییرات مولفه‌های بیلان آب خاک در دوره مورد بررسی در جنگل ملەسیاه ایلام
Figure 3. Trends of changes in soil water balance components during the study period in Melah Siah Ilam forest

جهت بررسی و تحلیل بیشتر دوره زمانی تنش خشکی در رویشگاه جنگلی بلوط ملەسیاه ایلام، مقدار عددی نقطه پژمردگی خاک رویشگاه (کمتر از ۱۵درصد) با داده‌های رطوبت خاک ماهانه برآوردی توسط مدل تطبیق داده شد و نتایج در شکل (۴) ترسیم گردیده‌است. این یافته موید این است که در سال اول اجرای طرح با توجه به بارش مناسب، میزان رطوبت در دو ماه مرداد و شهریور به‌ترتیب با ۱۵/۸و۵/۸ درصد به نقطه پژمردگی و کمتر رسیده، اما در سال دوم به‌دلیل کاهش بارندگی و عدم وقوع بارش در خرداد، دوره تنش خشکی به ماه تیر، مرداد و شهریور به‌ترتیب با مقادیر ۱۰/۵، ۵/۸ و صفر درصد افزایش یافت. لذا بررسی بیشتر در خصوص تغییرات اقلیمی پیش رو و اثر آن بر جوامع گیاهی، در قالب تلفیق مدل‌های اقلیمی و بیلان آب در خاک مورد نیاز می‌باشد. چرا که افزایش گازهای گلخانه‌ای منجر به تغییر در مقادیر عوامل اقلیمی شده و این تغییرات، سبب تأثیر قابل‌توجهی بر اجزای چرخه هیدرولوژیک نظیر بارش، شدت، نوع و مقدار بارش، رواناب، آب‌های زیرزمینی، رطوبت خاک و تبخیر و تعرق مرجع می‌شود (۱۶). بنابراین در خشک‌سالی، کاهش بارندگی و توزیع نامناسب آن می‌تواند در افزایش تنش‌ها موثر باشد. ضمنا تداوم و شدت خشک‌سالی می‌تواند چرخه هیدرولوژیک گیاهی را مختل نماید. در ادامه تحقیق به‌منظور بررسی توزیع مکانی رطوبت خاک و ارتباط آن با پایه‌های خشکیده بلوط در رویشگاه ملەسیاه موقعیت ۱۱۸ پایه خشکیده بلوط در محدوده مورد بررسی با GPS ثبت گردید. سپس لایه توزیع مکانی رطوبت خاک (حاصل از مدل بیلان آب) در شهریور ماه سال ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ کلاسه‌بندی شده و با لایه توزیع پایه خشکیده بلوط قطع گردید. لازم به توضیح است قبل از روی‌هم‌گذاری اطلاعات مذکور، لایه رطوبت خاک در سه کلاس رطوب کمتر ۱۵ (کمتر از نقطه پژمردگی)، ۱۵تا ۳۰ (حدفاصل نقطه پژمردگی و ظرفیت زراعی) و بیش از ۳۰ درصد (بیش از ظرفیت زراعی) در محیط نرم‌افزار ArcMap10.2 کلاسه‌بندی و سپس روی‌هم‌گذاری لایه‌ها انجام و نتایج برای شهریور ماه در سال اول و دوم اجرای پروژه در شکل (۵) ارائه شده‌است.

نتایج نشان داد که در شهریور سال ۱۳۹۳ به‌دلیل شرایط مساعد بارشی، سطح مناطق دچار تنش رطوبتی (کمتر از ۱۵ درصد) کاهش یافته و ۵۷ درصد از پایه‌های خشکیده در این محدوده واقع شده‌اند اما در شهریور سال ۱۳۹۴ که سال نسبتا خشک محسوب می‌گردد تعداد پایه‌های خشکیده تا ۷۳ درصد بر روی محدوده دچار تنش رطوبتی واقع گردیده‌است. لذا با افزایش شدت خشک‌سالی توزیع پایه خشکیده با محدوده دچار خشکیدگی انطباق بیشتری نشان می‌دهد. در جدول (۳) اطلاعات بیشتری از توزیع پایه‌های خشکیده بلوط بر

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2024-04-19]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1400.9.18.5.1]
[DOI: 10.52547/ifej.9.18.138]

محدوده‌های رطوبتی خاک ارائه شده‌است. تحلیل آماری توزیع پایه‌های خشکیده در سه کلاس رطوبت انجام و نتایج تجزیه واریانس در جدول (۴) آمده است.



شکل ۵- نقشه پراکنش پایه‌های خشکیده بلوط بر روی کلاس‌های رطوبت خاک درجنگل ملەسیاه ایلام
Figure 5. Distribution map of dried oak stands on soil moisture classes in Melah Siah Ilam Forest

جدول ۳- تعداد پایه‌های خشکیده بلوط در کلاس رطوبتی خاک در شهریور ماه ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴
Table 3. Number of dried oak stands in soil moisture class in September 2014 and 2015

تاریخ	کلاس رطوبت خاک٪		
	۰-۱۵	۱۵-۳۰	۳۰-۱۰۰
شهریور۹۳	۶۸	۲۵	۲۵
شهریور۹۴	۸۶	۱۰	۲۲

جدول ۴- تجزیه واریانس پایه‌های خشکیده در سه کلاس رطوبت خاک در رویشگاه جنگلی ملەسیاه
Table 4. Analysis of variance table of the dried stands in three soil moisture classes in Melah Siah forest habitat

متغیر	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	آماره فیشر	سطح معنی‌داری
بین گروه	۲	۴۲۹۲/۳	۲۱۴۶/۱	۲۳/۰۷	۰/۰۱
داخل گروه	۳	۲۷۹	۹۳		
مجموع	۵	۴۵۷۱/۳			

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که توزیع پایه‌های خشکیده در بین طبقات رطوبت خاک دارای اختلاف معنی‌دار است و تا ۷۳ درصد پایه‌های خشکیده در محدوده کلاس رطوبتی کمتر از ۱۵ درصد واقع شده‌است. لذا کمبود رطوبت خاک و تنش خشکی نقش موثری در وقوع خشکیدگی گونه‌های درختی جنگلی در ناحیه رویشی زاگرس و مخصوصا بلوط داشته است. این نتایج گویای این واقعیت است که کاهش رطوبت خاک در شرایط خشکسالی در خشکیدگی بلوط موثر است. البته محدوده دچار تنش خشکی در این تحقیق منطبق برجهت جنوب و جنوب غرب رویشگاه است، که حسینی و همکاران (۱۱) هم در تحقیقات خود بیشترین مرگ و میر را در جهت‌های جنوبی و غربی و طبقه ارتفاعی بالا می‌دانند. در تحقیقی مشابه میزان تبخیر و تعرق و تنش رطوبتی در مقیاس کوچک در دو منطقه اوهایو و کارولینای شمالی آمریکا را مدل‌سازی نمود و نتیجه گرفت که حداکثر میزان تبخیر و تعرق به‌ترتیب در جهت جنوبی، یال‌ها، دره‌ها و شیب‌های با جهت شمالی می‌باشد و بیشترین محدودیت در رطوبت خاک را در شیب جنوبی و یال‌ها دانست (۸) و یا در تحقیقی دیگر نتایج نشان‌داد که بیشینه رطوبت در عمق خاک بیشتر و جهت شمالی بوده اما اثرات جهت و عمق خاک در دوره‌های مرطوب مشهود است و در پایان ماه‌های خشک سال و مخصوصاً در خشک‌سالی اثر عامل جهت و عمق خاک ناچیز می‌شود (۱). لذا در مقیاس بزرگ بارش و تبخیر و تعرق (تابع تشعشع خورشیدی دریافت شده) نقش اصلی و عوامل توپوگرافی (ارتفاع، جهت و شیب)، خصوصیات خاک و پوشش سطحی نقش ثانویه ایفا می‌کنند (۲۷). به عبارتی با افزایش شدت خشکسالی سطح بیشتری از رویشگاه دچار تنش خشکی می‌گردد. لذا در شرایط نرمال از نظر بارش حداکثر تنش خشکی در جهت جنوب و جنوب‌غربی ملاحظه گردید. همچنین در خشک‌سالی شدید، سطح بیشتری از رویشگاه دچار تنش خشکی می‌گردد.

نتیجه‌گیری کلی

هدف اصلی این تحقیق تعیین دقت مدل در برآورد ذخیره رطوبتی و بررسی تغییرات زمانی و مکانی آن است. نتایج مدل توزیعی بیلان آب نشان داد دقت مدل در برآورد رطوبت خاک در دوره مرطوب سال حالت بیش‌برآوردی و در ماه‌های خشک سال مناسب است. لذا در دوره خشک سال که مصادف با دوره رشد رویشی و زایشی گونه‌های گیاهی است می‌توان از این مدل به‌منظور بررسی اثرات خشک‌سالی و تغییرات اقلیمی بر رطوبت خاک در شرایط خشک‌سالی توصیه نمود. از دیگر مولفه‌های مهم بیلان آب، تبخیر و تعرق است که مدل سهم آن را ۶۶ درصدی از بارش محاسبه نموده‌است. افزایش ۸/. درجه‌ای دمای متوسط سالانه در سال دوم اجرای تحقیق منجر به افزایش سهم ۲۰ درصدی تبخیر و تعرق از بارش‌ها

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2024-04-19]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1400.9.18.5.1]
[DOI: 10.52547/ifej.9.18.138]

شد و کمبود رطوبت خاک تا ۲۴۱ میلی‌متر افزایش یافت. همچنین دیگر نتایج مدل نشان داد که پراکنش زمانی بارش نقش مهمی در تنش رطوبتی خاک دارد به‌طوریکه وقوع بارندگی در اردیبهشت و خرداد باعث کاهش دوره تنش خشکی به دو ماه مرداد و شهریور گردیده و در سال دوم پژوهش، دوره تنش آبی شامل ماه‌های تیر، مرداد و شهریور است. این نتایج نشان داد که مقدار و توزیع بارش‌ها نقش مهمی در طول دوره و شدت تنش خشکی دارد. همچنین تطبیق پایه‌های خشکیده گونه بلوط بر محدوده دچار تنش خشکی، گویای اثر تنش خشکی در خشکیدگی پایه‌های بلوط بوده و ۷۳ درصد پایه‌های خشکیده در جهت‌های جنوبی و جنوب‌غربی پراکنش یافته که منطبق با محدوده مکانی دچار تنش خشکی است. لذا توزیع مکانی محدوه دچار تنش خشکی به‌دست آمده از مدل می‌تواند نشانگر خوبی از مناطقی در رویشگاه جنگلی بلوط باشد که پایه‌های درختی و درختچه‌ای در دوره‌های خشکسالی در معرض خشکیدگی است و توصیه می‌گردد برنامه‌های مدیریتی و حفاظتی جهت کاهش آسیب‌ها در این مناطق به‌کار گرفت. همچنین با توجه به گستردگی عرصه‌های جنگلی زاگرس و به‌منظور افزایش موفقیت پروژهای اجرایی، فعالیت‌های احیایی در مناطقی از رویشگاه اجرا گردد که با حداقل تنش خشکی در خشکسالی‌ها مواجه گردند.

منابع

1. Aazami, A., A. Hosseni and J. Hoseianzadeh. 2019. The effect of depth and aspect on soil moisture in dieback affected oak forests (Case study: Meleh siah forest, Ilam province). Iranian Forest Ecology Journal, 6(15): 41-50 (In Persian).
2. Alizadeh, A. 2006. Soil, water and plant relationship. Astane Ghodse Razavi Press, Mashhad, Iran, 484 pp (In Persian).
3. Attarod, P., S.M.M. Sadeghi, F.T. Sarteshnizi, S. Saroyi, P. Abbasian, M. Masihpoor, F. Kordrostami and A. Dirikvandi. 2016. Meteorological parameters and evapotranspiration affecting the Zagros forests decline in Lorestan province. Iranian Journal of Forest and Range protection, 13(2): 97-112 (In Persian).
4. Barkhordary, J., T. Vartanian and H. Khosravi. 2015. Determination of Yazd-Ardakan watershed water balance by using Thornthwaite–Mather metho Ilam Black d and application of distributed rainfall-runoff model. Iranian Journal of Range and Desert Research, 22(3): 466-480 (In Persian).
5. Barkhordary, J. 2014. Evaluation of a distributed monthly water balance model to determine catchment runoff in arid region using RS and GIS (A case study in Yazd-Ardakan basin). Journal Watershed Management Research (Pajouhesh & Sazandegi), 105: 17-26 (In Persian).
6. Chuen, S.K. and D.K. Kasturi. 2013. Validation of AMSR-E soil moisture product and future perspective of soil moisture estimation using SMOS data tropical region. International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS). https://ieeexplore.ieee.org/document/6723641.
7. Dadresi Sebzehvari, A., A. Akhondei, M.F. Radmenesh and A. Noroozi. 2015. Modeling different levels of soil moisture in thermal and reflective data range. Journal of Quantitative Geomorphology Research, Fourth Year, 3: 31-49.
8. Dyer, J.M. 2009. Assessing topographic patterns in moisture use and stress using a water balance, Landscape Ecology, 24: 391-403.
9. Hayati, E., E. Abdi, M. Mohseni Saravi, B. Majnounian and G.B. Chirico. 2018. Time- varying soil water potential at different depths of soil under grassed and deciduous hill slopes. Forest and Wood Products, 70(4): 617-625.
10. Hesadi, B. 2011. Survey of Soil Water Balance Model Using GIS (Case Study: Naz Lu Chai Watershed). Final research report. Registration number 39414. Institute of Engineering Technical Research, AREEO, Tehran, Iran (In Persian).
11. Hossieni, A. and S.M. Hossieni. 2015. The role of topographic and edaphic factors in mortality of trees in Middle Zagros Persian Oak (*Quercus brantii*) forests. Journal of Zagros Forests Researches, 3(1): 47-57 (In Persian).
12. Hossieni, A., M.R. Jafari and A. Najafi-Far. 2018. Evaluating and recognizing the status of standard of caratagus pontica, Cerasus microcarpa and Amigdalus orientalis in the central Zagros forests. (Case study Dalab forests of Ilam province). Ecology of Iranian Forests, 5(10): 42-52.
13. Mahdavi, M. and M. Azarakhshi. 2004. Determination of monthly appropriate water balance model in small watersheds of Iran (Case study: East Azarbaijan and Mashal Khorasan province). Iranian Journal of Natural Resources, 57(3): 415-427.
14. Iverson, L.R., M.E. Dale, C.T. Scott and A. Prasad. 1997. A GIS- derived integrated moisture index to predict forest composition. Journal of Landscape Ecology, 12: 331-348.
15. Gieske, K.P. and A.M. Sen. 2006. Use of GIS and remote sensing in identifying recharge zones in an arid catchment: a case study of Roxo river basin, Portugal. Journal of Nepal Geological Society, 31: 25-32.
16. Goyal, R.K. 2004. Sensitivity of evapotranspiration to global warming: A case study of arid zone of Rajasthan (India). Agricultural Water Management, 69: 1-11.
17. Kessell, S.R. 1979. Gradient modeling: resource and fire management. Springer-Verlag, NEW YORK.

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2024-04-19]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1400.9.18.5.1]
[DOI: 10.52547/ifej.9.18.138]

18. Lookingbill, T. and D. Urban. 2004. An empirical approach toward improved spatial estimates of soil moisture for vegetation analysis. Landscape Ecology, 19: 417-433.
19. Mehta, V.K., M.T. Walter and S.D. Degloria. 2006. A simple water balance model. Arghyam/Cornell University. http://www.indiawaterportal.org/node/10.
20. Parker, A.J. 1982. The topographic relative moisture index: an approach to soil moisture assessment in mountain terrain. Phys Geogr, 3: 160-168.
21. Qui, Y.B., F.J. Wan and C. Landing. 2001. Soil moisture in relation to topography and land use in a hill slope catchment of loess Plateau, Chain. Journal of Hydrology, 240: 243-263.
22. Salamian, S., A. Khatunabadi, H. Hozi and S.A. R. Gohari. 2007. Estimation of natural nutrition in Yazd-Ardakan plain, 9th National seminar on irrigation and evaporation reduction, Kerman, Shahid Bahonar university, https: //www.civilica.com/Paper-ABYARI09-ABYARI09_248.htm.
23. Soleimani, R., J. Hossein-Zade, A. Rahmani, M. Pour-Hashemi and M. Mohammad-Pour. 2014. Investigation soil status of Oak forest in dry affected regions of Ilam province. Research institute of forest and rangelands, Iran, 67 pp (In Persian).
24. Tromp-Van Marveled, H.J. and J.J. McDonnell. 2006. On the interrelations between topography, soil depth, soil moisture, transpiration rates and species distribution at the hills slope scale. Advances in water resources, 29(2): 293-310.
25. Whittaker, R.H. 1956. Vegetation of the Great Smoky Mountains. Ecol Monoge, 26: 1-80.
26. Yaghoubi, F and A. Bahremand. 2011. Stream flow simulation using spatially distributed hydrologic model, wet Spa in Chehel- Chai Water and Soil Conservation, 18(3): 185-206.
27. Zarehaghghi, D., M.R. Neyshabouri, M. Gorji, M.A. Sadeghzadeh Ryhan and J.M. Emartperdaz. 2015. Evaluation of moisture range with minimum limitation on pistachio seedlings of Sarakhsi variety. Journal of Water in Agriculture Research, 28(2): 353-363 (In Persian).

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2024-04-19]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1400.9.18.5.1]
[DOI: 10.52547/ifej.9.18.138]

Evaluation of Soil Moisture Changes using the Balance Model in Zagros Oak Drying Forests (Case study: Melah Siah Forest, Ilam)

Ayad Aazami[1], Ahmad Hosseni[2], Reza Soleimani[3] and Nasser Maleki[4]

1- Lecturer, Department of Forest, Watershed Management Research, Ilam Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Ilam, Iran, (Corresponding author: ayada2012@gmail.com)
2- Associate Professor, Department of Forest, Rangeland and Watershed Management, Ilam Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Ilam, Iran
3- Assistant Professor, Department of soil and water research, Ilam Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Ilam, Iran
4- PhD Meteorological Office, Ilam, Iran
Received: 25 December, 2019 Accepted: 16 May, 2020

Extended Abstract

Introduction and Objective: Recognition of the available moisture content and its changes in the habitat can be a dynamic ecological indicator. The aim of this study was evaluating the soil moisture storage volume with the distribution model of the Turc in the oak forest located in the Meleh-Siah Ilam.

Materials and Methods: The research was conducted from October 2013 to September 2015. Monthly rainfall and temperature data, monthly solar radiation, water holding capacity map and DEM of the region were used as input data. To validate the soil moisture data from the water balance model, 33 humidity sensors 110 cm were installed in different locations of the habitat. Then, soil moisture was measured with TDR moisture meter in monthly time step. To evaluate the model, the mean absolute error (MAE) and mean error deviation (MBE) statistics were used and the results were analyzed.

Results: The results showed that the accuracy of the model in estimating soil moisture in wet months is low and is overestimated, and Suitable in a dry month. Other results showed that in the first and second year of the study, precipitation was 680 mm and 383 mm, respectively and the share of evapotranspiration from precipitation is 56% and 77%, respectively. Also, in the study site the available water capacity of the soil is 125 mm, which the maximum in March and the downtrend continued until September and reached a minimum of zero. Other results indicate that the vegetation in the study area was drought tolerant in the first year (normal in terms of rainfall), in two months of August and September and increased in the second year (drought), in the months of July, August, September and October. The results also showed that 73% of the dried oak stands correspond to the areas that Soil moisture reached below the wilting point (15%) in September.

Conclusion: Therefore, reducing soil moisture in droughts has played an important role in the drying of oak bases and effect of the intensity and persistence of drought periods on the drying of oak trees needs further investigation.

Keyword: Drought, Iranian oak, Soil water balance

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2024-04-19]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1400.9.18.5.1]
[DOI: 10.52547/ifej.9.18.138]