



## "مقاله پژوهشی"

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

ایاداعظمی<sup>۱</sup>، احمد حسینی<sup>۲</sup>، رضا سلیمانی<sup>۳</sup> و ناصر ملکی<sup>۴</sup>

۱- مرتبی پژوهشی بخش جنگل، مرتع و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی ایلام، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایران،  
(نویسنده مسؤول: 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

صفحه: ۱۴۶ تا ۱۳۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۲/۲۷

## 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 مله‌سیاه ایلام است.

**مواد و روش‌ها:** مطالعه حاضر طی مهر ۱۳۹۲ تا شهریور ۱۳۹۴ انجام شد.داده‌های ورودی مدل شامل نقشه‌های توزیعی بارش، دما و تشخیص خورشیدی ماهانه، نقشه ظرفیت نگهداری آب در خاک و DEM 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<sup>۱</sup> در گام زمانی ماهانه انجام شد. برای ارزیابی مدل از آماره‌های میانگین قدر مطلق خطأ (MAE) و میانگین انحراف خطأ (MBE) استفاده و در ادامه نتایج تحلیل گردید.

**یافته‌ها:** نتایج نشان داد که دقت مدل در برآورد رطوبت خاک در ایام مطری سال کم و حالت بیش‌برآورده و در دوره خشک سال مناسب است. دیگر نتایج نشان داد در سال اول و دوم اجرای تحقیق، میزان بارش بهترتب ۶۸۰ و ۳۸۳ میلی متر بوده که سهم تبخیر و تعرق از بارش بهترتب ۵۵ و ۷۷ درصد است. همچنین در رویشگاه مورد مطالعه حداقل ظرفیت آب در دسترس خاک ۱۲۵ میلی متر در اسفندماه و حداقل آن در شهریور ماه بهمیزان صفر در شرایط خشکسالی ثبت شده است. دیگر نتایج حاکی است تنش خشکی در سال اول (زیمال 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 بلוט در رویشگاه، مطبق بر محدوده‌هایی است که رطوبت خاک در ماه شهریور به کمتر از نقطه پژمردگی (۱۵ درصد) رسیده است.

**نتیجه‌گیری:** بنابراین کاهش رطوبت خاک در خشکسالی‌ها نقش مهمی در خشکیدگی پایه‌های بلוט داشته و اثر شدت و تداوم دوره‌های خشکسالی در خشکیدگی درختان بلוט 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 منابع طبیعی کشور ایران است. قطعاً 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 گونه‌های، بافت خاک و تپوگرافی‌های مختلف، حضور و عدم حضور گونه‌های گیاهی و سایر مشخصه‌های جامعه گیاهی بر اساس توان بوم‌شناسی تفسیر می‌گردد. به طور نمونه بوم‌شناس‌های جنگل به طور سنتی با استفاده از رابطه محیط-گونه موقعيت گونه‌ها را در یک چشم‌انداز بر اساس ارتفاع و خصوصیات تپوگرافی نشان می‌دادند (۱۷، ۲۵). حسینی و همکاران (۱۲) نتیجه گرفتند که عکس‌عمل گونه‌ها به شرایط رویشگاهی مختلف و موقعيت زادآوری فرق می‌کند و شناخت الگوی‌های مکانی برای هر گونه در هر منطقه را به منظور 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 عکس‌عمل مستقیمی به متغیرهای انتخاب شده مانند شیب، جهت دامنه نشان نمی‌دهند (۱۸). همچنین این شاخص‌ها ویژگی‌های منطقه را مثلاً بر اساس موقعیت شیب یا درجه شیب و انحنای شیب طبقه‌بندی می‌کرند (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. به عبارتی شاخص‌های مذکور رطوبت را به صورت کیفی توصیف می‌کنند. لذا شاخص رطوبتی کمی محاسبه شده، با بکارگیری روش تعادل آبی در ترکیب با متغیرهای توپوگرافی و ادaffیکی 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 عکس‌عمل 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، حاصل خیزی، 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

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

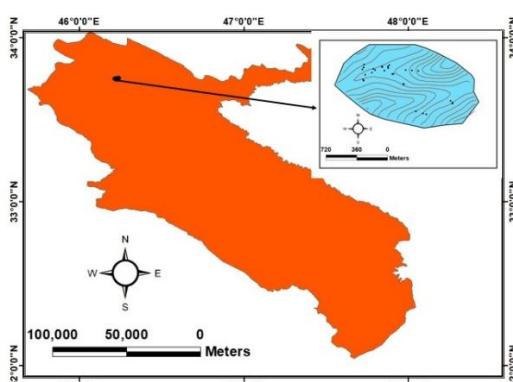
منطقه مورد مطالعه در عرض جغرافیایی "۳۴°۳۰' تا ۳۳°۳۰' و طول جغرافیایی "۴۵°۱۱' تا ۳۳°۴۵'" واقع بخش چوار و در فاصله ۲۵ کیلومتری غرب شهر ایلام واقع گردیده است. ارتفاع محل تحقیق بین ۱۱۰۰ تا ۱۶۰۰ متر از سطح دریا است. متوسط بارش منطقه ۵۶۰ میلی‌متر و متوسط دما ۱۶/۲ درجه سانتی‌گراد است. منطقه مورد تحقیق روی سازند ایلام و دارای خاک لومری رسی 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 10.2 Arc map و به‌صورت توزیعی در محدوده جنگلی مله‌سیاه ایلام استفاده گردید. تحقیق در دو سال ابی ۱۳۹۲-۹۳ و ۱۳۹۳-۹۴ در گام 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 شده است. ورودی مدل شامل: نقشه مدل رقومی ارتفاعی (DEM) محدوده مورد مطالعه، نقشه ظرفیت آب موجود خاک (AWC)<sup>۱</sup> با توجه به بافت و عمق خاک با کاربری جنگل، ۲۴ نقشه توزیعی دمای متوسط ماهانه، ۲۴ نقشه توزیعی بارش ماهانه و ۲۴ نقشه توزیعی تششعفات خورشیدی ماهانه و طی چهار مرحله زیر به اجرا درآمده است:

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

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 درصد قابل قول می‌داند (۵). محققین دیگری از این مدل جهت برآورد رواناب استفاده نموده و نتایج خود را مشیت ارزیابی نموده‌اند (۲۲، ۱۰، ۱۳، ۱۰). همچنین دیر (۸) در تحقیقی از مدل بیلان آبی تورک برای تعیین میزان ذخیره رطوبتی خاک در جنگل‌های اوهايو 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.



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

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

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

در این رابطه: PET تبخیر و تعرق پتانسیل ماهانه به میلی‌متر، Rs: مجموع اشعه دریافت شده ماهانه (Call/cm<sup>2</sup>) در سطح زمین و T متوسط درجه حرارت ماهانه در سطح زمین به °C است (۸).

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): میزان رطوبتی است که گیاه می‌تواند در صورت عدم محدودیت آب تبخیر و تعرق نماید (۸).

چه دقت مدل کمتر باشد شاخص مذکور به صفر نزدیکتر می‌گردد. همچنین جهت ارزیابی بیش برآورده می‌باشد یا کم برآورده مدل از شاخص میانگین انحراف خطأ (MBE) استفاده و اعداد مشبت حالت بیش برآورده و اعداد منفی شاخص مذکور کم برآورده 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 روی هم گذاری شد. در کلاسه‌بندی نقشه نوزیعی رطوبت خاک، سه کلاس کمتر از نقطه پژمردگی، حد فاصل نقطه پژمردگی تا ظرفیت زراعی و بیش از ظرفیت زراعی 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 نوزیعی مولفه‌های بیلان از جمله تبخیر و تعرق پتانسیل و واقعی، ذخیره رطوبت خاک و نفوذ عمقی به صورت ماهانه و سالانه توسط مدل برآورده گردید. بر این اساس تعداد ۲۴ نقشه نوزیعی برای هر یک از مولفه‌ها استخراج شده که در شکل (۲) تعدادی از آنها به صورت 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.

- (AET): تبخیر و تعرق واقعی که بر اساس روش تورک تعیین گردید (۸).

- کمبود رطوبت (deficit): اختلاف بین تبخیر و تعرق پتانسیل واقعی است و به عنوان 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).

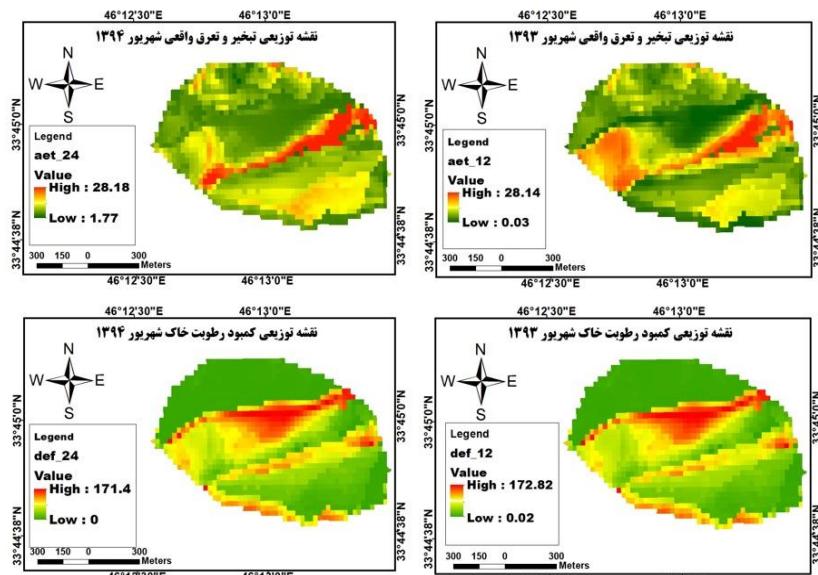
- نفوذ نقلی (surplus): اگر  $P > PET$  باشد، آب مازاد بر ذخیره رطوبت خاک، به صورت رطوبت نقلی تبدیل می‌گردد (۸).

### ۴- ارزیابی مدل

به منظور ارزیابی دقت مدل بیلان آب در برآورده 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 برآورده توسط مدل در گام زمانی ماهانه بر حسب درصد مقایسه می‌گردد. مقادیر برآورده 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):

$$\text{PAW} = 100 * \left( \frac{(vwc - pwp)}{(fc - pwp)} \right) \quad (2)$$

در این رابطه PAW درصد آب قابل استفاده گیاهی، 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 خطأ (MAE) به منظور سنجش خطای مدل استفاده گردید هر



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

برآورده توسط مدل به صورت ماهانه در جدول (۱) ارائه گردیده است.

هدف از اجرای این پژوهش ارزیابی دقت مدل در برآورده میزان رطوبت خاک ماهانه است. لذا داده‌های رطوبت خاک

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

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

شده در روش تحقیق ارزیابی انجام و نتایج در جدول (۲) ملاحظه می‌گردد.

در ادامه برای ارزیابی مدل، از داده‌های رطوبت خاک مشاهده‌ای و برآورده استفاده و با شاخص‌های آماری اشاره

جدول ۲- شاخص‌های کمی ارزیابی مدل

Table 2. Quantitative indicators of model evaluation

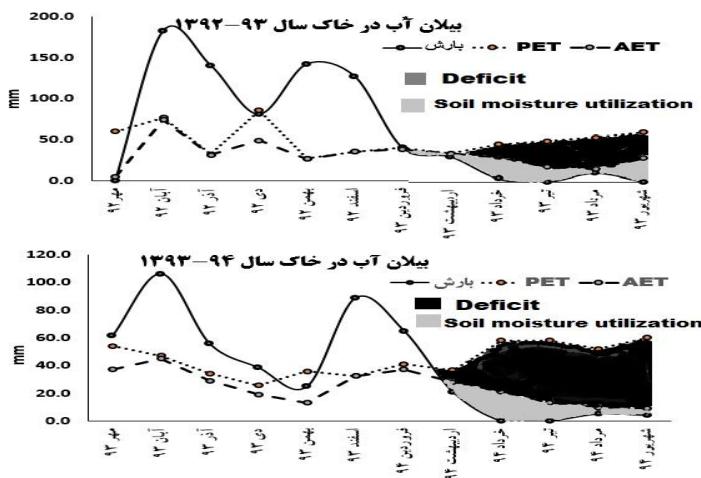
شاخص ارزیابی	MBE	MAE
کل داده‌ها	۳۰/۶	۲۹
ماههای خشک	۳/۶	۱/۶
ماههای مرطوب	۳۹/۶	۳۸/۱

دیگر نتایج نشان داد که ظرفیت آب موجود در خاک ۱۲۵ میلی‌متر است که در سال اول کل ظرفیت رطوبتی خاک در اسفند ماه تأمین شده ولی در سال دوم حداقل به ۹۹ میلی‌متر رسید. در پژوهشی برخورداری و همکاران (۴) ظرفیت آب موجود در خاک‌های لومی‌سیلیتی واقع در منطقه یزد را ۱۲۰ میلی‌متر و دایر (۸) مقدار ظرفیت آب خاک را در جنگلهای بلوط واقع در اوهابو و کالروبلینای شمالی امریکا را به ترتیب ۱۰۷ و ۱۲۸ میلی‌متر گزارش داده است (۸). دیگر نتایج نشان داد حداقل رطوبت در اسفند و حداقل در شهریور است. در تأیید این یافته‌های حیاتی و همکاران (۹) در تحقیقات خود نتیجه گرفتند که مقدار پتانسیل ماتربیک خاک در هر دو دامنه با پوشش پهنه‌برگ و علفی از فوروردين تا شهریور روند افزایشی را نشان می‌دهد، به طوریکه کمترین مقدار پتانسیل ماتربیک با پوشش پهنه‌برگ (۹/۷ کیلو پاسکال) و دامنه علی (۷/۱ کیلو پاسکال) در ماه فوروردين و بیشترین مقدار آن برای دامنه با پوشش پهنه‌برگ (۱۰/۱ کیلو پاسکال) و دامنه علی (۶۵/۱) 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 ۳۸۳ میلی‌متری 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 به ترتیب با ۳۸۱ و ۲۹۳ میلی‌متر معادل ۵۶ و ۷۶ درصد بارش است. همچنین میزان کمبود رطوبتی سالانه در سال اول و دوم به ترتیب ۱۸۷/۲ و ۲۴۱ میلی‌متر است. بنابراین در سال (۹۳-۹۲) که از نظر بارش مساعد بوده مقدار کمبود در معادله بیلان به ۱۸۷ میلی‌متر کاهش یافته است ولی در سال دوم (خشک) این مقارن به ۲۴۱ میلی‌متر رسیده و این به معنی تنفس خشکی بیشتر است. البته همزمان با کاهش بارش‌ها در سال دوم، افزایش ۸/۰ درجه 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

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) (۳۰/۶) با توجه به نتایج جدول (۲)، ۳۰/۶ واحد است. لذا در مجموع دقت مدل در پیش‌بینی ذخیره رطوبت خاک در ماه مرطوب بیش‌برآورده و در ماههای خشک سال (تیر، مرداد و شهریور) مناسب است. بیش‌برآورده مدل در ایام مرطوب را نمی‌توان قویاً به عنوان ضعف مدل بیان نمود و عواملی از قبیل زهکشی سریع آب به دلیل بافت خاک، شبیه 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 اندیازه‌گیری شده و این اختلاف ممکن است مربوط به ذخیره رطوبت در لایه‌های پائین تر خاک باشد. در تأیید این نتیجه در تحقیقی که توسط دایر (۸) انجام شد، از روش توزیعی تورک پهله جسته و میزان ذخیره آب در خاک را برآورد نموده و نتایج را مثبت و ضریب همیستگی بین داده‌های مشاهده‌ای و برآورده را ۹۱/۶ درصد اعلام نموده است و حالت بیش‌برآورده مدل توسط ایشان در ماههای مرطوب سال تایید شده است. همچنین در تحقیقی که توسط حصادی (۱۰) با روش تورنت وایت در حوزه آبریز نازل‌چای انجام شد بیش‌برآورده مدل را تیجه گرفته و آن را به میزان نفوذ عمقی آب در خاک و تعذیه آب زیرزمینی در ماههای مرطوب دی تا اسفند نسبت داد که با نتایج این تحقیق مشابه است.

اردیبهشت ماه شروع و با شیب ملائم تا اواخر شهریور ماه رو به افزایش است، شیب کم به دلیل وجود بارش مناسب و ادامه آن تا خرداد ماه می‌باشد اما در سال دوم به دلیل 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، فروردین 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.

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 بدنبال 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 همستانگی مشتمی 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 (۱۳۹۲-۹۳) کمبود رطوبت از



شکل ۳- روند تغییرات مولفه‌های بیلان آب خاک در دوره مورد بررسی در جنگل مله‌سیاه ایلام

Figure 3. Trends of changes in soil water balance components during the study period in Melah Siah Ilam forest

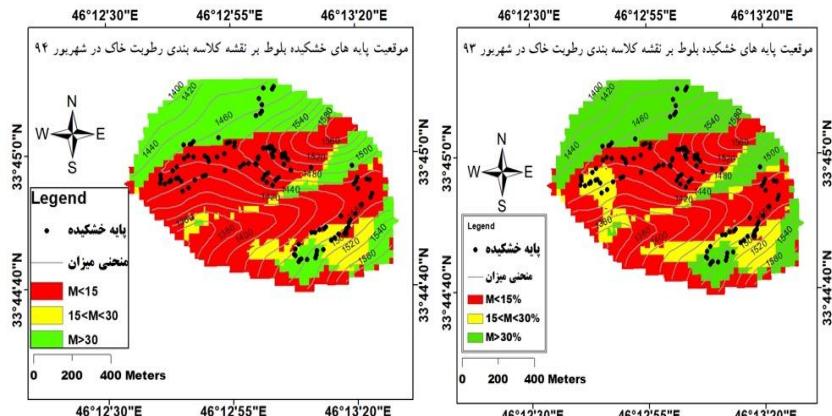
پایه‌های خشکیده بلوط در رویشگاه مله‌سیاه موقعیت ۱۱۸ پایه خشکیده بلوط در محدوده مورد بررسی با GPS ثبت گردید. سپس لایه توزیع مکانی رطوبت خاک (حاصل از مدل بیلان آب) در شهریور ماه سال ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ کلاسه‌بندی شده و با لایه توزیع پایه خشکیده بلوط قطع گردید. لازم به توضیح است قبل از روی هم گذاری اطلاعات مذکور، لایه رطوبت خاک در سه کلاس رطوبت کمتر ۱۵ (کمتر از نقطه پژمردگی)، ۳۰ (حدفاصل نقطه پژمردگی و ظرفیت زراعی) و بیش از ۳۰ درصد (بیش از ظرفیت زراعی) در محیط نرم‌افزار ArcMap 10.2 کلاسه‌بندی و سپس روی هم گذاری لایه‌ها انجام و نتایج برای شهریور ماه در سال اول و دوم اجرای پروژه در شکل (۵) ارائه شده است.

نتایج نشان داد که در شهریور سال ۱۳۹۳ به دلیل 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 نسبتاً خشک محاسبه می‌گردد تعداد پایه‌های خشکیده تا ۷۳ درصد بر روی محدوده دچار تنش رطوبتی واقع گردیده است. لذا با افزایش شدت خشکسالی توزیع پایه خشکیده با محدوده دچار خشکیدگی انتباخ بیشتری نشان می‌دهد. در جدول (۳) اطلاعات بیشتری از توزیع پایه‌های خشکیده بلوط بر

جهت بررسی و تحلیل بیشتر دوره زمانی تنش خشکی در رویشگاه جنگلی بلوط مله‌سیاه ایلام، مقدار عددی نقطه پژمردگی خاک رویشگاه (کمتر از ۱۵ درصد) با داده‌های رطوبت خاک ماهانه برآورده توسط مدل تطبیق داده شد و نتایج در شکل (۴) ترسیم گردیده است. این یافته موید این است که در سال اول اجرای طرح با توجه به بارش مناسب، میزان رطوبت در دو ماه مرداد و شهریور به ترتیب با ۱۵/۸ و ۵/۸ درصد به نقطه پژمردگی و کمتر رسیده، اما در سال دوم به دلیل کاهش بارندگی و عدم وقوع بارش در خرداد، دوره تنش خشکی به ماه تیر، مرداد و شهریور به ترتیب 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 قابل توجهی 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. ضمناً تدوام و شدت خشکسالی می‌تواند چرخه هیدرولوژیک گیاهی را مختلف نماید. در ادامه تحقیق به منظور بررسی توزیع مکانی رطوبت خاک و ارتباط آن با

تجزیه واریانس در جدول (۴) آمده است.

محدوده‌های رطوبتی خاک ارائه شده‌است. تحلیل آماری توزیع پایه‌های خشکیده در سه کلاس رطوبت انجام و نتایج



شکل ۵- نقشه پراکنش پایه‌های خشکیده بلوط بر روی کلاس‌های رطوبت خاک در جنگل مله‌سیاه 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 رطوبت خاک در شهریور ماه ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴

Table 3. Number of dried oak stands in soil moisture class in September 2014 and 2015

	کلاس رطوبت خاک٪	تاریخ
۳۰-۱۰۰	۱۵-۳۰	-۱۵
۲۵	۲۵	۹۳ شهریور
۲۲	۱۰	۹۴ شهریور

جدول ۴- تجزیه واریانس پایه‌های خشکیده در سه کلاس رطوبت خاک در رویشگاه جنگلی مله‌سیاه

Table 4. Analysis of variance table of the dried stands in three soil moisture classes in Melah Siah forest habitat

متغیر	درجه آزادی	مجموع مریعت	میانگین مریعت	آماره فیشر	سطح معنی داری
بین گروه	۲	۴۹۹۲/۳	۲۱۴۶/۱	۲۳/۰۷	.۰/۰۱
داخل گروه	۳	۲۷۹	۹۳		
مجموع	۵	۴۵۷۱/۳			

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 سدت خشکسالی سطح بیشتری از رویشگاه دچار تنفس خشکی می‌گردد. لذا در شرایط نرمال از نظر بارش حداقل تنفس خشکی در جهت جنوب و جنوب‌غربی ملاحظه گردید. همچنین در خشکسالی شدید، سطح بیشتری از رویشگاه دچار تنفس 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 مرتبط سال حالت بیشتر برآورده 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 به منظور 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 نموده است. افزایش ۰/۸ درجه‌ای دمای متوسط سالانه در سال دوم اجرای تحقیق منجر به افزایش سهم ۲۰ درصدی تبخیر و تعرق از بارش‌ها

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 کمود رطوبت خاک و تنفس خشکی نقش موثری در وقوع خشکیدگی گونه‌های درختی جنگلی در ناحیه رویشی زاگرس و مخصوصاً بلوط داشته است. این نتایج گویای این واقعیت است که کاهش رطوبت خاک در شرایط خشکسالی در خشکیدگی بلوط موثر است. البته محدوده دچار تنفس خشکی در این تحقیق منطبق بر جهت جنوب و جنوب غرب رویشگاه است، که حسینی و همکاران (۱) 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 تنفس رطوبتی در مقیاس کوچک در دو منطقه اوهايو و کارولینای شمالی آمریکا را مدل‌سازی نمود و نتیجه گرفت که حداقل میزان تبخیر و تعرق بهتر ترتیب در جهت جنوبی، یال‌ها، دردها 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 نشان داد که بیشینه رطوبت در عمق خاک بیشتر و جهت شمالی بوده اما اثرات جهت و عمق خاک در دوره‌های مرتبط مشهود است و در پایان ماههای خشک سال و مخصوصاً در خشکسالی اثر عامل جهت و عمق خاک ناچیز

جنوب غربی پراکنش یافته که منطبق با محدوده مکانی دچار تنفس خشکی است. لذا توزیع مکانی محدوده دچار تنفس خشکی به دست آمده از مدل می تواند نشانگر خوبی از مناطقی در رویشگاه جنگلی بلوط باشد که پایه های درختی و درختچه ای در دوره های خشکسالی در معرض خشکیدگی است و توصیه می گردد برنامه های مدیریتی و حفاظتی جهت کاهش آسیب ها در این مناطق به کار گرفت. همچنین با توجه به گستردگی عرصه های جنگلی زاگرس و به منظور افزایش موقوفیت پژوه های اجرایی، فعالیت های احیایی در مناطقی از رویشگاه اجرا گردد که با حداقل تنفس خشکی در خشکسالی ها مواجه گردد.

شد و کمبود رطوبت خاک تا ۲۴۱ میلی متر افزایش یافت. همچنین دیگر نتایج مدل نشان داد که پراکنش زمانی بارش نقش مهمی در تنفس رطوبتی خاک دارد به طوریکه وقوع بارندگی در اردیبهشت و خرداد باعث کاهش دوره تنفس خشکی به دو ماه مرداد و شهریور گردیده و در سال دوم پژوهش، دوره تنفس آبی شامل ماههای تیر، مرداد و شهریور است. این نتایج نشان داد که مقدار و توزیع بارشها نقش مهمی در طول دوره و شدت تنفس خشکی دارد. همچنین تطبیق پایه های خشکیده گونه بلوط بر محدوده دچار تنفس خشکی، گویای اثر تنفس خشکی در خشکیدگی پایه های بلوط بوده و ۷۳ درصد پایه های خشکیده در جهت های جنوبی و

## 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. Barkhdary, J., T. Vartanian and H. Khosravi. 2015. Determination of Yazd-Ardakan watershed water balance by using Thornthwaite-Mather method Ilam Black d and application of distributed rainfall-runoff model. Iranian Journal of Range and Desert Research, 22(3): 466-480 (In Persian).
5. Barkhdary, 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. Akhondi, 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.

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, China. *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](https://www.civilica.com/Paper-ABYARI09-ABYARI09_248.htm).
23. Soleimani, R., J. Hosseini-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 Monogr*, 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 Sarakhs variety. *Journal of Water in Agriculture Research*, 28(2): 353-363 (In Persian).

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

Ayad Aazami<sup>1</sup>, Ahmad Hosseni<sup>2</sup>, Reza Soleimani<sup>3</sup> and Nasser Maleki<sup>4</sup>

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