

بررسی نقش اقدامات آبخیزداری در فرایند تبخیر-تعرق در حوضه زوجی زیدشت طالقان

مجید کاظمزاده^۱، علی سلاجقه^{۲*}، آرش ملکیان^۳ و عبدالمجید لیاقت^۴

^۱ دکتری علوم و مهندسی آبخیز، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ^۲ استاد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ^۳ دانشیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران و ^۴ استاد، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۶/۱۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۲/۲۹

چکیده

به طور متوسط ۷۰ درصد بارانی که به سطح زمین می‌رسد، از طریق فرایند تبخیر-تعرق به اتمسفر باز می‌گردد که این میزان در مناطق خشک به ۹۰ درصد می‌رسد. بنابراین، کمی کردن میزان تبخیر-تعرق یکی از عوامل بسیار با اهمیت برای طراحی و اجرای برنامه‌های مدیریتی برای اصلاح و احیای حوزه‌های آبخیز است. به منظور بررسی تاثیر اقدامات بیولوژیکی آبخیزداری بر تغییرات رطوبت خاک و تبخیر-تعرق، حوضه معرف و زوجی زیدشت طالقان استان البرز انتخاب شد. به منظور محاسبه تبخیر-تعرق از روش بیلان رطوبت خاک استفاده شد و نقاط پایش رطوبت خاک با مطالعات میدانی و آزمایشگاهی در سه دامنه اصلی (شمال غربی، شرقی و جنوب شرقی) و با سه تکرار و در سه عمق ۲۰-۲۰، ۴۰-۴۰ و ۶۰-۶۰ سانتی‌متر در حوزه‌های آبخیز نمونه و شاهد به صورت یک به یک با هم انتخاب شد. رطوبت خاک با استفاده از روش رطوبت وزنی و حجمی در مجموع در ۴۸ نقطه طی دوره رشد سال ۱۳۹۶ اندازه‌گیری شد. همچنین، به منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها از روش‌های تجزیه واریانس آشیانه‌ای، تجزیه واریانس یک‌طرفه و آزمون دانکن استفاده شد. نتایج نشان داد که به طور متوسط، درصد رطوبت خاک طی دوره رشد به ترتیب ۱۳/۵۵ و ۱۱/۹ در حوضه‌های نمونه و شاهد بوده است. همچنین، مقدار تفاوت تبخیر-تعرق واقعی در بین حوزه‌های آبخیز نمونه و شاهد از لحاظ آماری معنی‌دار نشد و به ترتیب مقدار آن‌ها ۱۸۱ و ۱۵۹ میلی‌متر طی یک دوره رشد بوده است. تبخیر-تعرق واقعی در حوزه آبخیز نمونه تحت عملیات آبخیزداری ۲/۳ درصد در هر ماه بیشتر از شاهد بوده است. همچنین، نتایج پژوهش نشان داد که مقدار تبخیر-تعرق تحت دامنه‌های مختلف تفاوت معنی‌داری در سطح پنج درصد با هم داشته، مجموع تبخیر-تعرق حوضه‌های نمونه و شاهد در دامنه‌های شمال غربی به ترتیب ۲۲۹ و ۲۲۶ میلی‌متر، در دامنه‌های شرقی به ترتیب ۲۰۷ و ۱۷۱ و در دامنه‌های جنوب شرقی به ترتیب ۱۰۹ و ۸۰ میلی‌متر بوده است.

واژه‌های کلیدی: اصلاح و احیای حوزه‌های آبخیز، پایش، پوشش گیاهی، دامنه، رطوبت خاک

مقدمه

مصرفی است. تبخیر-تعرق شامل دو فرایند انتقال آب از سطح خاک به هوا (تبخیر) و خارج شدن آن از طریق اندام‌های گیاهی (تعرق) می‌شود. این دو پدیده ماهیت تبخیری داشته، چون تفکیک آن‌ها از یکدیگر

تبخیر-تعرق یکی از مولفه‌های اصلی بیلان آبی حوزه آبخیز بوده، همچنین یکی از عوامل کلیدی در برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب و بهبود راندمان آب

با بررسی مطالعات تبخیر-تعرق انجام گرفته در کشور، به نظر می‌رسد، مطالعات میدانی تبخیر-تعرق زیادی در عرصه‌های منابع طبیعی کشور تحت تاثیر اقدامات آبخیزداری انجام نشده باشد و بیشتر مطالعات تبخیر-تعرق بر عرصه‌های کشاورزی کشور تمرکز یافته است. Houérou (۲۰۱۰) به منظور بررسی تاثیر اکولوژیکی و احیاء پوشش گیاهی به ارزیابی ظرفیت نگهداری آب خاک در مناطق احیاء شده با پوشش گیاهی در چین پرداخت. نتایج نشان داد که در سال‌های اول استقرار پوشش گیاهی، گیاهان تاثیر کمی بر روی آب خاک داشته که نشان می‌دهد، آب خاک در لایه‌های عمیق خاک بیشتر از لایه‌های سطحی خاک است. حدود ۱۴ تا ۱۶ سال بعد از استقرار پوشش گیاهی، الگوی آب خاک در منطقه مورد مطالعه به طور معنی داری تغییر کرد و آب خاک در لایه‌های کم عمق افزایش یافت و آب خاک در لایه‌های عمیق با افزایش سن پوشش گیاهی کاهش یافت.

Lin (۲۰۱۰) به منظور بررسی تاثیر اگروفارستری در کاهش هدررفت آب، تبخیر از سطح خاک و تعرق گیاهی به مطالعه سامانه‌های کشاورزی قهوه در جنوب مکزیک پرداخت. نتایج اندازه‌گیری تبخیر از سطح خاک نشان داد که هدررفت آب از طریق تبخیر در مناطقی با سایه زیاد بسیار کمتر از هدررفت آب در مناطقی با سایه متوسط و کم بوده، میزان تعرق در مناطقی با پوشش سایه کم بسیار بیشتر از مناطقی با سایه متوسط و زیاد است. بنابراین، سامانه‌های اگروفارستری راهی بسیار مناسب برای کاهش هدررفت آب از طریق تبخیر از سطح خاک و تعرق گیاهی است. Jian و همکاران (۲۰۱۵) به بررسی تاثیر انواع گونه‌های گیاهی *Robinia*، *Pinus tabuliformis* و *Caragana korshinskii pseudoacacia* و *Hippophae rhamnoides* برای احیای بیولوژیک حوضه Anjiapo در چین بر روی ذخیره رطوبتی خاک و بیلان آب با اندازه‌گیری تبخیر از خاک، تعرق گیاهی و رواناب سطحی در طول دوره ۲۰۱۳-۲۰۰۹ پرداختند. نتایج نشان داد که مقدار ذخیره رطوبتی خاک در همه گونه‌ها ۱۰۰ سانتی‌متر در طول دوره ۲۰۰۹-۲۰۱۳ کاهش یافته است. Karimi Jafari و

به سختی امکان‌پذیر است، لذا، به طور کلی تبخیر-تعرق در نظر گرفته می‌شود (Alizadeh و همکاران، ۲۰۰۴). تفاوت تبخیر با تعرق در این است که تبخیر بستگی به وجود و مقدار انرژی داشته و می‌تواند هم در طول روز و هم در شب ادامه داشته باشد، اما تعرق به دلیل بسته بودن روزنه‌ها معمولاً در شب انجام نمی‌شود. عوامل بسیار زیادی در تبخیر-تعرق دخالت دارند، بنابراین، تعیین مقدار دقیق تبخیر-تعرق کاری بسیار مشکل است.

عوامل موثر بر فرایند تبخیر-تعرق شامل تابش خالص خورشیدی، سطح آزاد آب در دسترس، سرعت باد، تراکم و نوع پوشش گیاهی، در دسترس بودن رطوبت خاک، عمق ریشه، ویژگی‌های سطح زمین و فصول سال است (Paulo و همکاران، ۲۰۱۲). در مناطق خشک و نیمه‌خشک، دانش و اطلاعات کمی از مولفه‌های چرخه هیدرولوژیکی به دلیل تغییرپذیری زمانی و مکانی بارش، رواناب، و تبخیر-تعرق وجود دارد. به طور متوسط ۷۰ درصد بارانی که به سطح زمین می‌رسد، به وسیله فرایند تبخیر-تعرق به اتمسفر باز می‌گردد و این میزان در مناطق خشک به ۹۰ درصد می‌رسد. بنابراین، برآورد و کمی‌کردن میزان تبخیر-تعرق و نقش آن در منابع آب در دسترس، یکی از عوامل بسیار با اهمیت برای طراحی و اجرای برنامه‌های مدیریتی برای اصلاح و احیای حوزه‌های آبخیز در این مناطق است (Santos و همکاران، ۲۰۰۹).

تبخیر-تعرق با توجه به شرایط منطقه‌ای، فصلی، شرایط آب و هوایی و باد متفاوت است. با توجه به این تغییرپذیری، سیاست‌گذاران منابع آب که مسئول برنامه‌ریزی و توزیع منابع آبی در یک حوزه آبخیز هستند، باید درک کاملی از فرایند تبخیر-تعرق و نرخ تغییرات مکانی و زمانی تبخیر-تعرق داشته باشند (Hanson, 1991). تبخیر-تعرق نقش قابل ملاحظه‌ای در اقلیم جهانی از طریق چرخه هیدرولوژی ایفا کرده، تخمین آن کاربردهای مهمی در برآورد رواناب، برآورد عملکرد محصول و طراحی کاربری اراضی و کانال‌های آبیاری و ابنیه تقسیم آب داشته، همچنین، بر روی بلاپای طبیعی نظیر خشکسالی موثر است (Mobasheri و همکاران، ۲۰۰۵).

ارتفاعات و بسیار مرطوب است. میانگین بارش و دمای سالانه منطقه مورد مطالعه به ترتیب حدود ۶۲۵ میلی‌متر و حدود ۷/۸ درجه سانتی‌گراد است. در شکل‌های ۱ و ۲، مشخصات موقعیت منطقه و نقاط پایش رطوبت خاک، شیب و برای منطقه مورد مطالعه ارائه شده است.

حوزه آبخیز معرف، نمونه و شاهد: آبخیزهای معرف واحدهای هیدرولوژیکی هستند که در مناطق همگن از نظر اقلیمی، سنگ‌شناسی، عارضه‌نگاری، پوشش گیاهی و خاک با مساحت یکسان استقرار و راه‌اندازی می‌شوند که در داخل آن‌ها حوضه‌های شاهد و نمونه تعریف می‌شود، به همین دلیل به آن‌ها حوضه‌های آبخیز زوجی اطلاق می‌شود. حوزه آبخیز نمونه برای نمونه‌برداری و اندازه‌گیری میزان فرسایش و رسوب، رواناب و پارامترهای دیگر و همچنین، بررسی تاثیر اقدامات مختلف آبخیزداری بر شرایط فیزیکی و اجتماعی آبخیز استفاده می‌شود. حوزه آبخیز شاهد حالت بکر و دست‌نخورده دارد و از آن برای ثبت ویژگی‌های طبیعی یک حوضه معرف و مطابقت آن با حوضه نمونه استفاده می‌شود.

نقاط اندازه‌گیری و پایش رطوبت خاک: در زمان احداث (سال ۱۳۸۸) محل حوضه‌های آبخیز نمونه و شاهد زیدشت طالقان را تا حدودی از لحاظ زمین‌شناسی، عارضه‌نگاری و پوشش گیاهی در شرایط همگن انتخاب کردند. در این پژوهش نیز به منظور انتخاب نقاط پایش رطوبت خاک در مناطق همگن و متناظر از مطالعات میدانی و آزمایشگاهی و همچنین، نقشه‌های شیب، دامنه، پوشش گیاهی و خاک استفاده شد. بدین‌منظور، قبل از انتخاب نقاط نمونه‌برداری با استفاده از عملیات میدانی، شیب‌سنج، اندازه‌گیری طول دامنه و انجام آزمایش‌های خاک از جمله بافت خاک، سه دامنه اصلی (شکل ۱، دامنه شمال غربی، شرقی و جنوب شرقی) در هر یک از حوضه‌های آبخیز انتخاب شد. بدین‌صورت که قبل از انتخاب نقاط یک‌به‌یک در دامنه‌ها از خاک نمونه‌برداری و نمونه‌ها برای تعیین بافت خاک به آزمایشگاه انتقال و نهایتاً دامنه‌های شمال غربی با بافت سنگین، دامنه شرقی بافت متوسط و دامنه‌های جنوب شرقی بافت سبک و

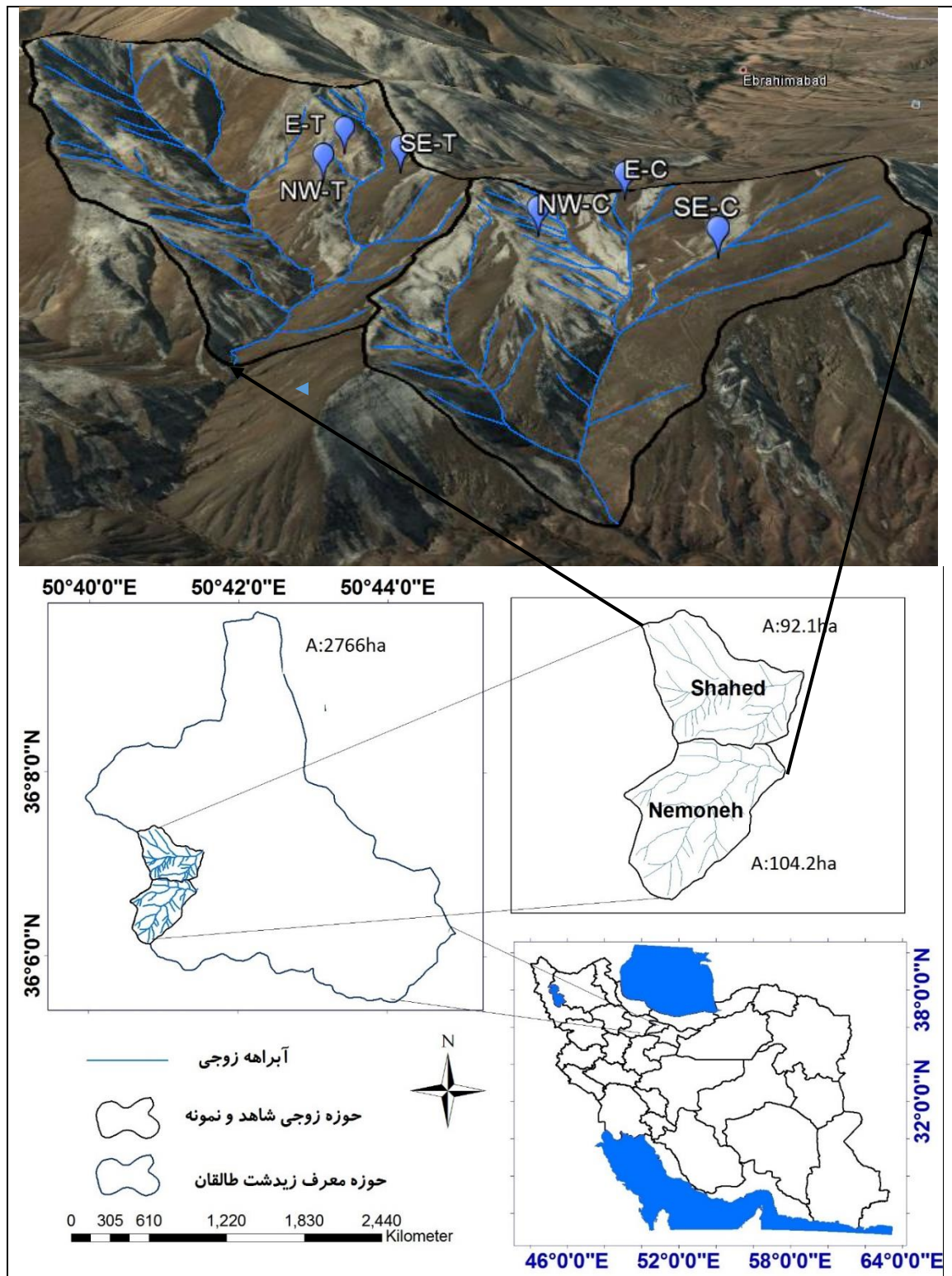
Esilamian (۲۰۱۱) در پژوهشی از روش‌های درون‌یابی و پهنه‌بندی از جمله روش کریجینگ و وزن‌دهی عکس فاصله برای تخمین تبخیر-تعرق استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که با توجه به معیارهای ارزیابی خطا، روش وزن‌دهی عکس فاصله برای پهنه‌بندی تبخیر-تعرق نسبت به روش‌های دیگر مناسب است. Abolhasani و Zareei (۲۰۱۵) به‌منظور برآورد و پهنه‌بندی تبخیر-تعرق در حوزه آبخیز بختگان از روش‌های درون‌یابی و سامانه اطلاعات جغرافیایی استفاده کردند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که روش‌های زمین‌آمار و درون‌یابی از جمله کریجینگ، کوکریجینگ و وزن‌دهی عکس فاصله نتایج قابل قبولی را در پهنه‌بندی تبخیر-تعرق داشتند.

بررسی پژوهش‌های داخلی و خارجی مربوط به تبخیر-تعرق واقعی مشخص کرد که بیشتر مطالعات تمرکز بر گونه گیاهی خاص و اراضی کشاورزی داشته است. لذا، هدف اصلی از پژوهش حاضر تعیین مقدار تبخیر-تعرق واقعی با استفاده از روش بیلان رطوبت خاک از عرصه‌های منابع طبیعی تحت تاثیر اقدامات آبخیزداری (به‌خصوص اقدامات بیولوژیکی و تقویت پوشش گیاهی) در حوضه معرف و زوجی زیدشت طالقان، استان البرز است.

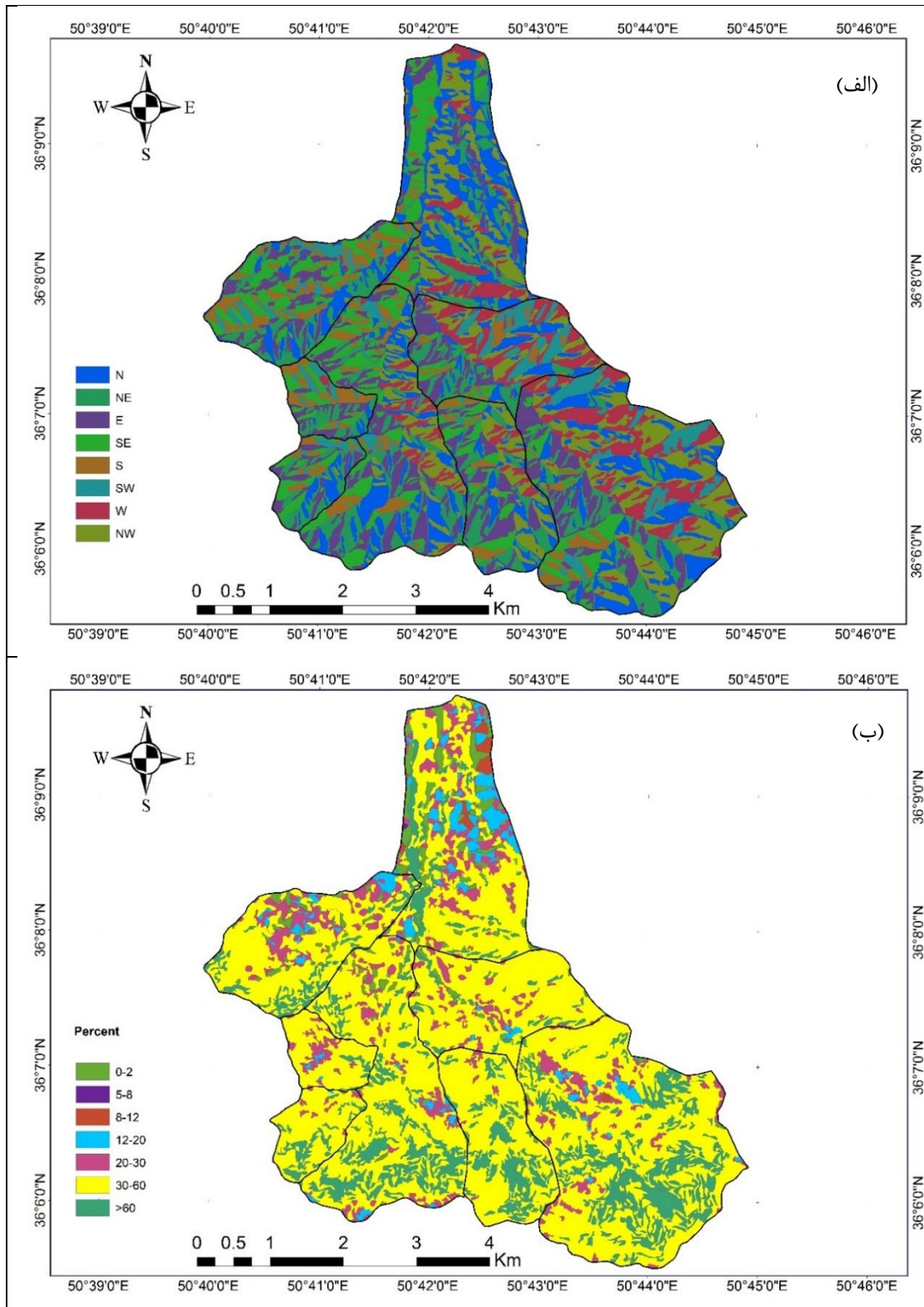
مواد و روش‌ها

منطقه مورد پژوهش: منطقه مورد مطالعه، حوزه آبخیز زوجی زیدشت طالقان شامل حوضه نمونه به مساحت ۱۰۴ هکتار و حوضه شاهد به مساحت ۹۲ هکتار بوده که در داخل حوضه معرف زیدشت با مساحت ۲۷۵۰ هکتار قرار گرفته است. حوزه آبخیز زیدشت به‌عنوان یکی از زیرحوضه‌های آبخیز طالقان در استان البرز بین $51^{\circ} 09' 56''$ تا $51^{\circ} 18' 56''$ طول شرقی و $36^{\circ} 04' 32''$ تا $36^{\circ} 10' 31''$ عرض شمالی واقع شده است. محیط حوضه معرف و زوجی طالقان $27/04$ کیلومتر، کمینه ارتفاع حوضه ۱۸۱۳ متر و بیشینه ارتفاع آن ۲۹۱۰ متر از سطح دریا است. در حوزه آبخیز معرف طالقان، یک روستا با نام میان‌بیشه وجود دارد. اقلیم منطقه مورد مطالعه بر اساس سامانه طبقه‌بندی آمبرژه و دومارتن به ترتیب جز طبقه

با پوشش گیاهی غالب گون و آگروپایرون تشخیص و انتخاب شد.



شکل ۱- موقعیت حوزه آبخیز زوجی زیدشت طالقان (T حوزه آبخیز نمونه و C حوزه آبخیز شاهد)



شکل ۲- نقشه‌های جهت (الف) و شیب (ب) منطقه مورد مطالعه

سه دامنه اصلی و در هر دامنه یک نقطه با سه تکرار و سه عمق خاک در نظر گرفته شد. با شروع فصل رویش در منطقه (اواخر فروردین و اوایل اردیبهشت ماه) در این نقاط رطوبت خاک با استفاده از آگر و

در هر کدام از دامنه‌ها با در نظر گرفتن طول دامنه، پوشش گیاهی، شیب و بافت خاک نقاط با سه تکرار و هر تکرار دارای سه عمق صفر تا ۲۰، ۲۰ تا ۴۰ و ۴۰ تا ۶۰ سانتی‌متر انتخاب شد. در سطح حوضه،

به اعماق خاک و حرکت آب از سفره زیرزمینی به منطقه ریشه گیاه) باید دقیقاً اندازه‌گیری شود تا در اندازه‌گیری تبخیر-تعرق واقعی خطا رخ ندهد. در این روش پس از اندازه‌گیری رطوبت خاک در یک بازه زمانی آب مصرفی گیاه از رابطه زیر محاسبه می‌شود (Raouf و Rasoulzadeh, ۲۰۱۴).

$$ET_c = \frac{\sum_{i=1}^n (\frac{\Delta\theta}{100} \times D)_i + R_e - DP + GW}{\Delta t} \quad (3)$$

که در آن، n تعداد لایه‌های مختلف خاک در عمق ریشه، D ضخامت لایه (میلی‌متر)، $\Delta\theta$ تغییرات رطوبت خاک در زمان Δt (درصد حجمی)، Δt فاصله زمانی بین دو اندازه‌گیری متوالی (روز)، R_e بارش موثر در دوره زمانی Δt (میلی‌متر)، GW تغذیه ناحیه ریشه از سطح آب زیرزمینی (صعود شعریه آب) (میلی‌متر)، DP آب زهکشی از ناحیه ریشه (میلی‌متر) و ET_c تبخیر-تعرق واقعی گیاه (میلی‌متر بر روز) است.

اگر عمق آب خیلی پایین‌تر از عمق ریشه گیاه باشد، در این صورت می‌توان فرض کرد، مقدار GW تقریباً برابر صفر است (Raouf و Rasoulzadeh, ۲۰۱۴).

محاسبه بارش موثر: یکی از روش‌های محاسبه بارش موثر، روش بارندگی قابل‌اطمینان است. این روش مبتنی بر روابط تجربی ویژه اقلیم‌های خشک و مرطوب است که به‌وسیله FAO (Khaleghi, ۲۰۱۵) ارائه شده است. در پژوهش حاضر، برای محاسبه بارش موثر به‌منظور برآورد تبخیر-تعرق از روابط (۴) و (۵) استفاده شد.

اگر مجموع بارندگی کمتر از ۷۰ میلی‌متر باشد:

$$10 - \text{جمع بارندگی} \times 0/6 = \text{بارش موثر} \quad (4)$$

اگر مجموع بارندگی بیش از ۷۰ میلی‌متر باشد:

$$24 - \text{جمع بارندگی} \times 0/8 = \text{بارش موثر} \quad (5)$$

در این پژوهش، به‌منظور اندازه‌گیری نفوذ عمقی (پایین‌تر از سطح ریشه گیاه)، از قیف‌های با قطر ۲۰ سانتی‌متری استفاده شد تا زمان اندازه‌گیری رطوبت، مقدار نفوذ عمقی نیز برآورد شود. بدین‌منظور، قیف‌ها در عمق پایین‌تر از ریشه گیاه و کنار نقاط پایش رطوبت خاک تعبیه و با شیلنگ به یک مخزن ذخیره هدایت شدند. همچنین، نفوذ عمقی در دو فصل رشد گیاهی و خارج از رشد گیاهی با این سامانه نصب‌شده اندازه‌گیری شد. در این پژوهش، برای بررسی

روش وزنی تا مهر ماه سال ۱۳۹۶ در دوره‌های حدوداً ۱۰ الی ۱۵ روزه اندازه‌گیری و پایش شد. دامنه‌های جنوب شرقی دارای عمق کم خاک و تحول نیافته بود و همچنین، به‌علت کف بستر سنگی تنها دو عمق (۲۰- و ۴۰-۲۰ سانتی‌متر) انتخاب شد. در هر بار اندازه‌گیری ۴۸ نمونه خاک تهیه می‌شد و برای اندازه‌گیری وزن تر و خشک به آزمایشگاه ایستگاه زوجی طالقان انتقال می‌یافت و با استفاده از آون با درجه حرارت ۱۰۰ سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت انجام می‌شد. همچنین، در این مطالعه از داده‌های هواشناسی ایستگاه هواشناسی حوزه آبخیز زوجی زیدشت در کنار حوضه شاهد و نمونه استفاده شد. همچنین، در حوضه زوجی زیدشت طالقان، پایش پوشش گیاهی هر ساله در خرداد ماه به روش ترانسکت طولی در ۳۵ پلات یک مترمربعی برای مقایسه در حوضه‌های یادشده انجام می‌گیرد. همچنین، طی دوره پایش رطوبت خاک، مقدار و درصد پوشش گیاهی در کنار نقاط پایش رطوبت خاک نیز طی دوره رشد سال ۱۳۹۶ پایش و اندازه‌گیری شد.

روش پژوهش

رطوبت وزنی و حجمی خاک: برای محاسبه تبخیر-

تعرق واقعی نیاز به رطوبت حجمی است که از رابطه زیر برای برآورد آن استفاده شد (Black, ۱۹۶۵).

$$\theta_m = \frac{M_w}{M_s} = \frac{M_{wet} - M_{dry}}{M_{dry}} \quad (1)$$

$$\theta_v = \theta_m \times \frac{\rho_b}{\rho_w} \quad (2)$$

که در آن‌ها، θ_v نسبت رطوبت حجمی، ρ_b جرم مخصوص ظاهری و ρ_w بیانگر چگالی یا جرم مخصوص، θ_m رطوبت وزنی، M_w و M_s به‌ترتیب جرم آب موجود در خاک و جرم بخش جامد خاک بر حسب گرم بوده که در صورتی که جرم هوای خاک ناچیز فرض شود، برابر جرم خاک آون-خشک M_{dry} است. M_{wet} بیانگر جرم خاک مرطوب است (Black, ۱۹۶۵).

تبخیر-تعرق واقعی: تبخیر-تعرق واقعی گیاه را در شرایط منطقه می‌توان با مطالعه تغییرات رطوبت خاک در یک زمان مشخص تعیین کرد. اساس این روش بیلان جرم است و جریان عمودی آب در خاک (نفوذ

واقعی در دامنه‌های شمال غربی و شرقی تقریباً شبیه به هم است. همچنین، دامنه‌های جنوب شرقی الگوی تغییرات یکسانی را با هم نشان دادند. در ابتدای فصل رشد (اردیبهشت ماه) مقدار تبخیر-تعرق واقعی تقریباً در دامنه‌ها و حوضه‌های شاهد و نمونه شروع یکسانی داشته که با نزدیک شدن خردادماه (که به‌عنوان مرحله کامل رشد و گلدهی منطقه مورد مطالعه به‌حساب می‌آید) مقدار تبخیر-تعرق واقعی در دامنه‌های شمال غربی و شرقی به بیشینه مقدار خود رسیده است. اما دامنه‌های جنوبی از ابتدای فصل رویش روند کاهشی به‌خود گرفته است و علت این امر را می‌توان به مقدار بالای رطوبت در ابتدای فصل رشد مرتبط دانست، چرا که دامنه جنوب شرقی دارای بافت سبک و ماسه‌ای بوده، این امر یکی از مهمترین دلایل روند کاهشی آن‌ها است. همچنین، دامنه‌های جنوبی نسبت به دامنه‌های شمالی و شرقی دارای پوشش گیاهی تنک و بیشتر به‌صورت گونه‌های یک‌ساله هستند که سریع‌تر نسبت به گونه‌های دیگر منطقه خشک شده و از بین می‌روند.

شکل ۴، نتایج مجموع تبخیر-تعرق واقعی در حوزه‌های آبخیز شاهد و نمونه زوجی را طی دوره رشد سال ۱۳۹۶ نشان می‌دهد. دامنه‌های شمال غربی در حوضه‌های نمونه و شاهد تفاوت چندانی با هم ندارند و مجموع تبخیر-تعرق واقعی آن‌ها به‌ترتیب ۲۲۹ و ۲۲۶ میلی‌متر طی شش ماه فصل رویشی است. اما در دامنه‌های شرقی مقدار تبخیر-تعرق به‌ترتیب در حوضه نمونه و شاهد ۲۰۶ و ۱۷۰ میلی‌متر بوده است. تغییرات مکانی تبخیر-تعرق واقعی بین حوزه آبخیز شاهد و حوزه آبخیز نمونه در شکل ۵ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که دامنه تغییرات تبخیر-تعرق واقعی در حوزه آبخیز شاهد کمتر از حوزه آبخیز نمونه است. همچنین، دامنه‌های جنوب شرقی کمترین مقدار تبخیر-تعرق را بین دامنه‌های شمال غربی و شرقی نشان دادند.

نتایج تحلیل آماری واریانس آشیانه‌ای تبخیر-تعرق واقعی بین عوامل مختلف از جمله حوضه‌های نمونه و شاهد، جهت و دامنه‌های مختلف و طی دوره رشد سال ۱۳۹۶ در جدول ۲ ارائه شده است. نتایج نشان داد که مقدار تبخیر-تعرق واقعی بین حوضه‌های نمونه

معنی‌داری داده‌های تبخیر-تعرق، رطوبت خاک و پوشش گیاهی تحت تاثیر عوامل حوزه‌های آبخیز، دامنه‌ها و طی دوره اندازه‌گیری از روش‌های آماری تحلیل آشیانه‌ای، تجزیه واریانس یک‌طرفه و آزمون دانکن برای مقایسه میانگین‌ها استفاده شد. با توجه به این‌که نقاط پایش در داخل دامنه‌ها و خود دامنه‌ها در داخل حوضه‌های شاهد و نمونه قرار دارند، در مفهوم آماری به‌صورت آشیانه‌ای قرار گرفته‌اند. لذا، از روش آشیانه‌ای که (Lieberman, ۲۰۰۵) برای مقایسه نتایج دو حوضه یادشده استفاده شد. این روش در پایش و ارزیابی مربوط به بررسی و مطالعه اثرات متقابل علوم زیستی بسیار رایج است که آن‌ها تحت دو منطقه کنترل و تیمار هستند.

پهنه‌بندی تبخیر-تعرق: با توجه به این‌که هدف پژوهش مقایسه روش‌های درون‌یابی نبوده، همچنین، روش وزن‌دهی عکس فاصله^۱ یکی از روش‌های ساده و کاربردی پهنه‌بندی و درون‌یابی است (Piazza و همکاران، ۲۰۱۵) در پژوهش‌های مربوط به تبخیر-تعرق در مناطق مختلف کشور، روش درون‌یابی وزن‌دهی عکس فاصله یکی از روش‌های مناسب پهنه‌بندی معرفی شده است (Karimi Jafari و Eslamian, ۲۰۱۲؛ Zarei و Bolhasani, ۲۰۱۵). لذا به‌منظور پهنه‌بندی نتایج و تحلیل مکانی تبخیر-تعرق واقعی از روش وزن‌دهی عکس فاصله در نرم‌افزار Arc GIS 10.2 استفاده شد.

نتایج و بحث

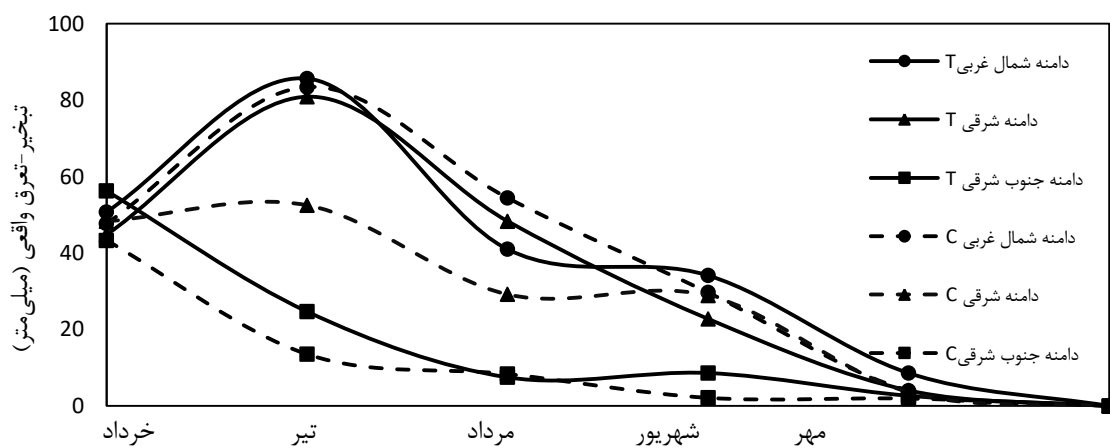
نتایج میانگین، انحراف معیار و ضریب تغییرات تبخیر-تعرق واقعی بین حوزه‌های آبخیز و دامنه‌ها طی یک فصل رشد، در جدول ۱ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که در هر دو حوزه آبخیز دامنه‌های شمال غربی و جنوب شرقی به‌ترتیب، کمترین و بیشترین مقدار ضریب تغییرات را داشته است. نتایج تغییرات تبخیر-تعرق واقعی در جهات مختلف حوزه‌های آبخیز شاهد و نمونه زوجی زیدشت در دوره رشد اردیبهشت تا مهر ماه سال ۱۳۹۶ در شکل ۳ ارائه شده است. با توجه به شکل ۳، تغییرات تبخیر-تعرق

^۱ Weighting distance inverse

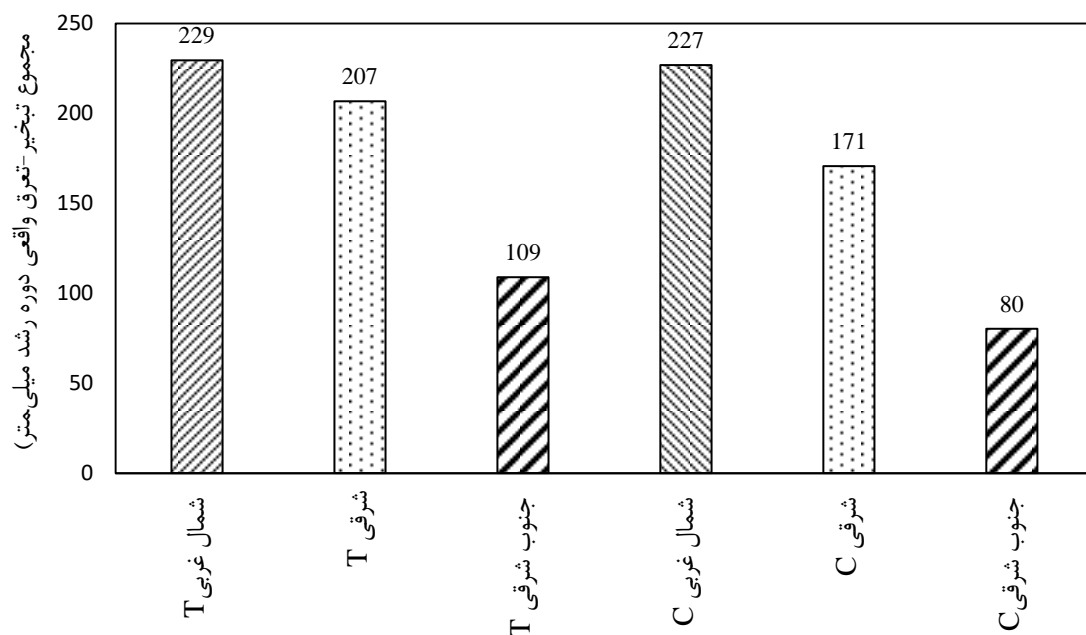
و شاهد از لحاظ آماری معنی دار نیست. همچنین، نتایج تجزیه واریانس تبخیر-تعرق واقعی در دامنه‌های مختلف شمال غربی، شرقی و جنوب شرقی نشان داد که طی دوره رشد تفاوت معنی داری در سطح پنج درصد بین آن‌ها وجود داشته است. تبخیر-تعرق واقعی طی دوره رشد در سطح پنج درصد روند کاهشی داشته، بیشترین مقدار تبخیر-تعرق در ماه خرداد و کمترین مقدار آن در مهر ماه بوده است.

جدول ۱- میانگین، انحراف معیار و ضریب تغییرات تبخیر-تعرق واقعی بین حوزه‌های آبخیز، دامنه‌ها در طی یک فصل رشد

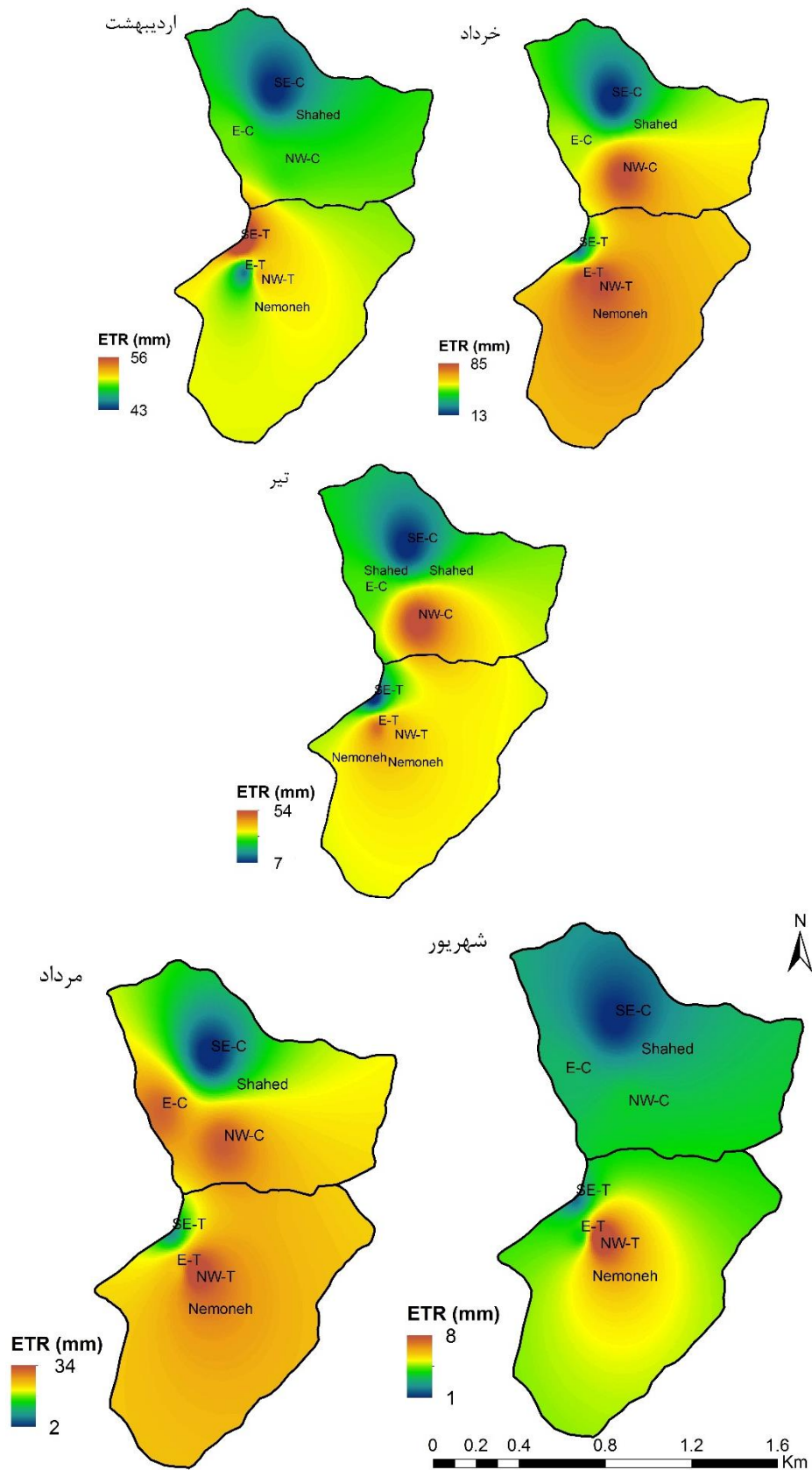
حوزه آبخیز نمونه			حوزه آبخیز شاهد			
شمال غربی	شرقی	جنوب شرقی	شمال غربی	شرقی	جنوب شرقی	دامنه
۴۵/۹۰	۴۱/۳۴	۲۱/۷۸	۴۵/۳۵	۳۴/۱۳	۱۶/۰۵	میانگین
۲۸/۸۹	۲۹/۳۰	۲۱/۷۹	۲۹/۹۴	۲۱/۳۶	۲۱/۹۳	انحراف معیار
۰/۶۳	۰/۷۱	۱/۱۸	۰/۶۶	۰/۶۳	۱/۳۷	ضریب تغییرات



شکل ۳- تغییرات تبخیر-تعرق واقعی در جهات مختلف حوزه آبخیز زوگی زیدشت طالقان (T حوزه آبخیز نمونه و C حوزه آبخیز شاهد)



شکل ۴- مجموع تبخیر-تعرق واقعی طی دوره رشد (اردیبهشت تا مهر) در جهات مختلف حوزه آبخیز زوگی زیدشت طالقان (T حوزه آبخیز نمونه و C شاهد)



شکل ۵- تغییرات مکانی تبخیر-تعرق واقعی طی فصل رشد گیاهی (اردیبهشت تا مهر) در حوزه آبخیز زوجی زیدشت طالقان (T حوزه آبخیز نمونه و C حوزه آبخیز شاهد)

جدول ۲- نتایج تحلیل واریانس تبخیر-تعرق واقعی بین حوزه‌های آبخیز، دامنه‌ها در طی یک فصل رشد

منبع تغییر	DF	SS	MS	F-Value	P-Value
حوزه‌های آبخیز	۱	۰/۸۱	۰/۸۱	۰/۱۵	۰/۷۱
دامنه‌ها	۴	۲۱/۲۷	۵/۳۱	۱۴/۱۴	۰/۰۰
تکرار	۱۲	۴/۵۱	۰/۳۷	۰/۲۶	۰/۹۹
زمان	۱۲۶	۱۸۱/۷۲	۱/۴۴		
کل	۱۴۳	۲۰۸/۳۲			

و شرقی تفاوت معنی‌داری بین درصد‌های پوشش گیاهی آن‌ها وجود دارد و کمترین مقدار پوشش گیاهی در دامنه‌های جنوب شرقی و بیشترین مقدار آن در دامنه‌های شمال شرقی است (شکل ۷). همچنین، با مطالعه میدانی مشخص شد که در بیشتر موارد گونه‌های گیاهی دامنه‌های جنوب شرقی به‌صورت فصلی بوده، کمتر گونه‌های گیاهی پایدار به‌علت فقدان رطوبت پایدار در این دامنه‌ها وجود داشت و با شدت یافتن تابش خورشید و گرم شدن هوا آن‌ها خشک شده و از بین می‌روند.

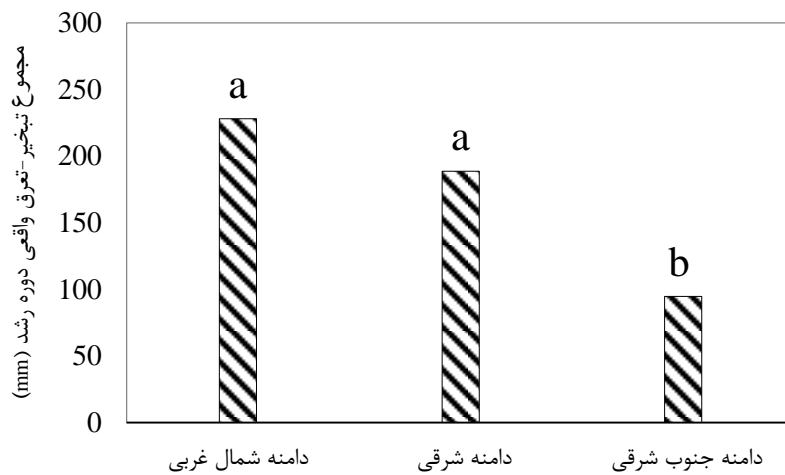
نتایج آزمون چند دامنه‌ای دانکن برای پارامتر رطوبت خاک در دامنه‌های مختلف در منطقه مورد مطالعه در شکل ۸ ارائه شده است. نتایج رطوبت خاک نشان داد که مقدار آن تحت دامنه‌های مختلف تفاوت معنی‌داری در سطح پنج درصد با هم دارند و در دامنه‌های شمال غربی ذخیره رطوبت نسبت به دامنه‌های شرقی و جنوب شرقی بیشتر بوده است. نتایج بخش نفوذ عمقی نیز نشان داد که مقدار جمع‌ی نفوذ عمقی در یک دوره خارج از دوره رشد به‌طور متوسط ۱۸۵۰ و ۸۳۰ مترمکعب در حوزه آبخیز نمونه و شاهد بوده است. در نتیجه مقدار آب نفوذ یافته در یک دوره یکسان در حوزه آبخیز نمونه بیش از دو برابر بوده است.

برای بررسی بیشتر تغییرات تبخیر-تعرق واقعی تحت تاثیر دامنه‌ها و جهت‌های مختلف، نتایج تحلیل واریانس یک طرفه در جدول ۳ ارائه شده است. همان‌طور که در جدول ۳ مشخص شده، تفاوت بین گروه‌ها در سطح یک درصد از لحاظ آماری معنی‌دار است. برای مشخص شدن تفاوت‌ها داخل گروه‌ها (بررسی معنی‌داری و مقایسه میانگین‌ها در هر کدام از دامنه‌ها)، نتایج آزمون دانکن در شکل ۶ ارائه شده است. نتایج آزمون دانکن نشان می‌دهد که تبخیر-تعرق واقعی در دامنه‌های شمال غربی و شرقی در یک گروه و دامنه‌های جنوب شرقی در گروه جداگانه قرار گرفته‌اند و در مقدار تبخیر-تعرق واقعی با هم تفاوت معنی‌داری دارند. دامنه‌های شمالی با دریافت تابش کمتر، مقدار رطوبت بیشتری در دسترس دارند و این امر سبب تحول و خاک‌سازی بیشتر شده و در نهایت سبب افزایش پوشش گیاهی در این دامنه‌ها می‌شود. بنابراین، با وجود پوشش گیاهی و توان ذخیره رطوبت بیشتر در دامنه‌های شمالی به‌علت وجود بافت سنگین خاک نسبت به دامنه‌های جنوبی، منطقی است که تبخیر-تعرق واقعی بیشتر شود. این دلیل نیز برای دامنه‌های شرقی که حالت بینابینی میان دامنه‌های شمالی و جنوبی دارند، نیز صادق است.

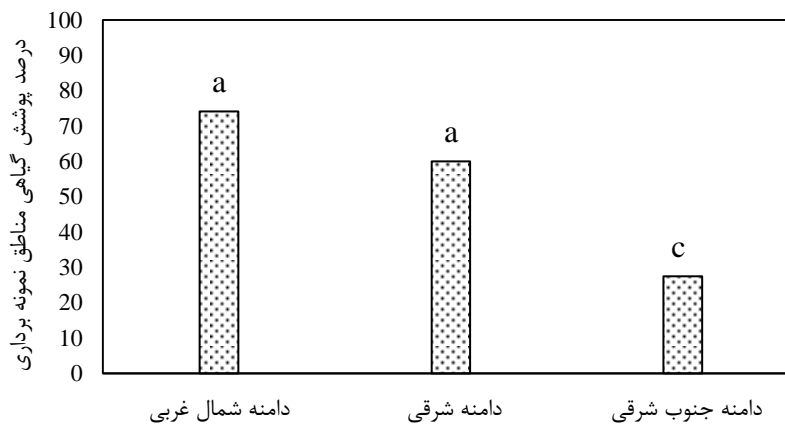
نتایج تحلیل پوشش گیاهی منطقه نمونه‌برداری مشخص کرد که از لحاظ آماری دامنه‌های شمال غربی

جدول ۳- نتایج تحلیل واریانس یک طرفه (ANOVA) برای تبخیر-تعرق تحت تاثیر جهات مختلف

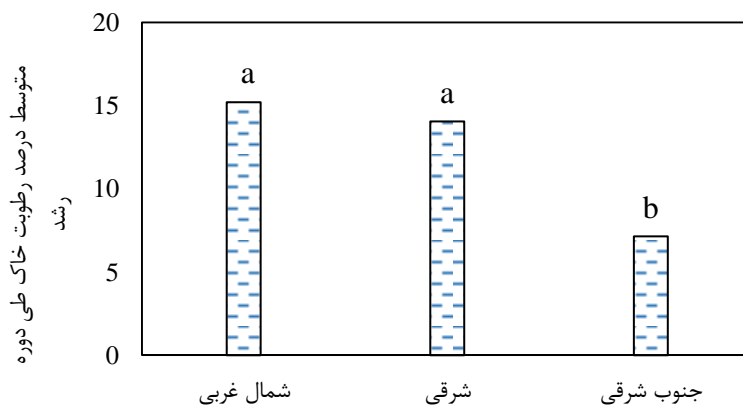
تبخیر-تعرق	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
بین گروه‌ها	۲۱/۰۵	۲	۱۰/۵۲	۷/۹۲	۰/۰۰۱
درون گروه‌ها	۱۸۷/۲۷	۱۴۱	۱/۳۲		
کل	۲۰۸/۳۲	۱۴۳			



شکل ۶- نتایج آزمون چنددامنه‌ای دانکن برای تفاوت تبخیر-تعرق تحت دامنه‌های مختلف حوضه زوجی زیدشت طالقان



شکل ۷- نتایج آزمون چند دامنه‌ای دانکن برای تفاوت پوشش گیاهی تحت دامنه‌های مختلف حوضه زوجی زیدشت طالقان



شکل ۸- نتایج آزمون چند دامنه‌ای دانکن برای رطوبت خاک تحت دامنه‌های مختلف حوضه زوجی زیدشت طالقان

مقدار تبخیر-تعرق در حوضه نمونه و شاهد به ترتیب ۲۰۶ و ۱۷۰ میلی متر بوده است. همچنین، تبخیر-تعرق واقعی در دامنه‌های شرقی و جنوب شرقی حوضه نمونه بیشتر از حوضه شاهد منطقه مورد مطالعه بوده است (شکل ۴). مقدار تبخیر-تعرق

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که مقدار تبخیر-تعرق در دامنه‌های شمال غربی در حوضه‌های نمونه و شاهد عملاً یکسان بوده، مجموع تبخیر-تعرق واقعی آن‌ها به ترتیب ۲۲۹ و ۲۲۶ میلی‌متر طی شش ماه فصل رویشی منطقه بوده است. اما در دامنه‌های شرقی

به نوبت باعث افزایش ذخیره رطوبت در خاک شده و در نهایت منجر به افزایش تبخیر-تعرق در منطقه می-شود. بنابراین، عملیات آبخیزداری با تأثیر در بیلان رطوبت خاک، سبب افزایش تبخیر-تعرق می-شود. نتایج نشان داد که به طور متوسط درصد رطوبت خاک طی دوره رشد به ترتیب ۱۳ و ۱۱ درصد در حوضه‌های نمونه و شاهد بوده است. به طور کلی احیاء پوشش گیاهی بر روی آب خاک مستقیماً از طریق جذب با ریشه‌ها و مصرف آب در مراحل مختلف رشد، فتوسنتز و تعرق گیاهی تأثیر می‌گذارد. پوشش گیاهی به طور غیرمستقیم نیز از طریق گیرش بارش به وسیله تاج پوشش و توزیع مکانی و زمانی بارش از طریق جریان ساقه‌ای و جریان‌های ثانویه تأثیر می‌گذارند (Tromble, ۱۹۸۸؛ Wang و همکاران ۲۰۱۱). همچنین، نتایج پژوهش نشان داد که تبخیر-تعرق واقعی در حوزه آبخیز نمونه ۱۸۱ میلی‌متر و در حوزه آبخیز شاهد ۱۵۹ میلی‌متر طی یک دوره رشد (اردیبهشت تا مهر ماه) بوده است. تبخیر-تعرق واقعی به صورت تجمعی طی دوره رشد در حوزه آبخیز نمونه ۱۴ درصد (دو درصد در هرماه) بیشتر از حوزه آبخیز شاهد بوده است. همچنین، نتایج بخش نفوذ عمقی نیز نشان داد که مقدار تجمعی نفوذ عمقی در خارج از دوره رشد به طور متوسط ۱۸۵۰ و ۸۳۰ متر مکعب در حوزه آبخیز نمونه و شاهد بوده است. مقدار آب نفوذیافته در یک دوره یکسان در حوزه آبخیز نمونه بیش از دو برابر بوده است.

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر نشان داد که مقادیر رطوبت خاک، پوشش گیاهی و تبخیر-تعرق در دامنه‌های شمالی بیشتر از دامنه‌های شرقی و دامنه‌های شرقی بیشتر از دامنه‌های جنوب شرقی بوده است. همچنین مقادیر رطوبت خاک، پوشش گیاهی و تبخیر-تعرق در حوزه آبخیز تحت اقدامات آبخیزداری بیشتر از حوزه آبخیز شاهد بوده است. روند این تغییرات در دو حوزه آبخیز شاهد و نمونه بدین صورت بوده که با افزایش پوشش گیاهی در حوزه آبخیز نمونه، مقدار و ذخیره رطوبت افزایش یافته و در نهایت سبب افزایش تبخیر-تعرق در منطقه شده است. اقدامات آبخیزداری به خصوص

واقعی در دامنه‌های جنوب شرقی حوضه‌های نمونه و شاهد به ترتیب ۱۰۹ و ۸۰ میلی‌متر طی دوره اردیبهشت تا مهرماه بوده است. بنابراین، در دو حوزه آبخیز مورد مطالعه دامنه‌های شمالی بیشترین مقدار تبخیر-تعرق را در میان دامنه‌های دیگر داشتند. Geroy و همکاران (۲۰۱۱) پی بردند که دامنه‌های شمالی به علت داشتن خاک عمیق و ریزدانه نسبت به دامنه‌های جنوبی ظرفیت ذخیره آب بالایی دارند که مربوط به تفاوت در نحوه دریافت تابش خورشید است. بدین صورت که دامنه‌های جنوبی نسبت به دامنه‌های شمالی تابش خورشید بیشتری را دریافت می‌کنند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که پوشش گیاهی، رطوبت خاک، مقدار سیلت خاک، مواد آلی و تبخیر-تعرق مستقیماً تحت تأثیر دامنه‌های مختلف داخل حوزه آبخیز است. از سوی دیگر، مقدار تبخیر-تعرق واقعی در طی دوره رشد تقریباً ۱/۵ برابر مقدار بارندگی بوده است. Ehsani و همکاران (۲۰۱۲) دریافتند که میزان تبخیر-تعرق پتانسیل در دوره فصل رویش در منطقه ۶/۱۶ برابر میانگین تبخیر-تعرق واقعی است. بدین ترتیب میزان تبخیر-تعرق واقعی ۱/۱۸ برابر میانگین بارندگی دوره آماری فصل رویش بوده است. بدین صورت که گیاه از رطوبت ذخیره شده برای تبخیر-تعرق واقعی استفاده کرده است. Knapp و همکاران (۲۰۰۵) نیز در این راستا تأکید کردند که ذخیره رطوبت خاک ناشی از بارندگی‌های فصل رویش پیشین بر پوشش گیاهی منطقه بسیار حائز اهمیت است.

بررسی نتایج رطوبت خاک، پوشش گیاهی و تبخیر-تعرق نشان داد که از لحاظ تغییرات مکانی و زمانی پوشش گیاهی، رطوبت خاک و تبخیر-تعرق واقعی در دامنه‌های شمال غربی و دامنه‌های شرقی با دامنه‌های جنوب شرقی تفاوت معنی‌داری در سطح پنج داشته‌اند و آن‌ها در دو گروه جداگانه قرار گرفته‌اند. با افزایش پوشش گیاهی، مقدار ذخیره رطوبت افزایش یافته و در نهایت سبب افزایش تبخیر-تعرق در منطقه شده است. لذا، نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد که عملیات آبخیزداری به خصوص عملیات بیولوژیکی آبخیزداری باعث افزایش پوشش گیاهی منطقه شده است. افزایش پوشش گیاهی نیز

اهمیت و ضرورت افزایش ذخیره رطوبت در خاک و کاهش تبخیر-تعرق در عرصه‌های منابع طبیعی پیشنهاد می‌شود، قبل از اجرای اقدامات آبخیزداری، مطالعات جامعی در خصوص درصد بهینه، تیپ و سایر مشخصات پوشش گیاهی و شرایط اقلیمی آن منطقه در نظر گرفته شود. همچنین ممکن است، نتایج پژوهش حاضر برای سایر اقلیم‌ها متفاوت باشد، گونه‌های گیاهی نه‌تنها سبب ذخیره رطوبت نشود، بلکه تأثیر منفی بر بیلان آب از طریق افزایش تبخیر-تعرق داشته باشند. در این راستا پژوهش‌های دیگری در اقلیم‌های مختلف کشور به‌منظور روشن شدن مقدار بهینه افزایش پوشش گیاهی برای کاهش رواناب و ذخیره رطوبت برای برقراری تعادل بین مقدار تبخیر-تعرق و ذخیره رطوبت خاک مورد نیاز است.

اقدامات بیولوژیکی آبخیزداری سبب افزایش پوشش گیاهی و تقویت پوشش گیاهی در منطقه شده، آن نیز باعث افزایش ذخیره رطوبت خاک به‌عنوان یک گام مثبت در بیلان آب حوزه آبخیز تلقی می‌شود. از سوی دیگر، با افزایش پوشش گیاهی و افزایش ذخیره رطوبت خاک، مقدار تبخیر-تعرق واقعی نیز در حوزه آبخیز نمونه افزایش یافته است. لذا، در اجرای اقدامات آبخیزداری مقدار و حالت بهینه تقویت پوشش گیاهی باید در نظر گرفته شود تا تعادلی بین افزایش ذخیره رطوبت خاک با افزایش تبخیر-تعرق برقرار شود. منطقه مورد مطالعه یک منطقه کوهستانی بوده، نتایج نشان داد که با افزایش پوشش گیاهی تبخیر-تعرق افزایش یافته است و این افزایش می‌تواند نشانگر افزایش ذخیره رطوبتی خاک از طریق کاهش رواناب و افزایش نفوذ آب به خاک باشد. بنابراین، با توجه به

منابع مورد استفاده

1. Alizadeh, A., Gh. Kamali, M.J. Khanjani and M.R. Rahnavard. 2004. Evaluation of estimation methods of evapotranspiration in arid regions of Iran. *Geographic Research*, 19(2): 97-105 (in Persian).
2. Black, C.A. 1965. Method of soil analysis, part 2, chemical and microbiological properties. American Society of Agronomy, Inc Publisher, Madison, Wisconsin, USA.
3. Bahravifar, T., A. Sabzi Parvar and H. Nozari. 2013. Investigation of correlation relationship between reference evapotranspiration and evaporation data of class A in dry and wet conditions using with minimum meteorological data. MSc Thesis, BuAli Sina University, 115 pages (in Persian).
4. Bolhasani, K. and H. Zarei. 2016. Spatial estimation and zoning reference evapotranspiration using geostatistical methods and geographic information system, case study: Bakhtegan Basin. *Journal of Water Science and Engineering*, 6(13): 7-21.
5. Ehsani, A., H. Arzani, M. Farahpur, H. Ahmadi, M. Jafari and M. Akbarzadeh. 2012. Evapotranspiration estimation using climatic data, plant characteristics and cropwat 8.0 software, case study: steppic region of Markazi Province, Roodshore Station. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 19(1): 1-16 (in Persian).
6. Karimi Jafari, M. and S. Aslamian. 2012. Evaluation of geostatistical methods in estimating potential evapotranspiration. First National Conference on Meteorology and Agricultural Water Management, Campus of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran (in Persian).
7. Geroy, I.J., M.M. Gribb, H.P. Marshall, D.G. Chandler, S.G. Benner and J.P. McNamara. 2011. Aspect influences on soil water retention and storage. *Hydrological Processes*, 25(25): 3836-3842.
8. Hanson, R.L. 1391. Evapotranspiration and droughts, in Paulson, R.W., E.B. Chase, R.S. Roberts and D.W. Moody, Compilers, National Water Summary 1988-89-Hydrologic Events and Floods and Droughts: U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 2375, p. 99-104.
9. Houérou. H.N.L. 2010. Restoration and rehabilitation of arid and semiarid Mediterranean ecosystems in North Africa and West Asia: a review. *Arid Soil Research and Rehabilitation*, 14: 3-14.
10. Jian, Sh., Ch. Zhao, Sh. Fang and K. Yu. 2015. Effects of different vegetation restoration on soil water storage and water balance in the Chinese Loess Plateau. *Agricultural and Forest Meteorology*, 206: 85-96.
11. Khaleghi, N. 2016. Comparison of effective rainfall estimation methods in agriculture. *Journal of Water and Sustainable Development*, 2(2): 51-58 (in Persian).
12. Knapp, A.K., J.M. Blair, P.A. Fay, M.D. Smith, S.L. Collins and J.M. Briggs. 2005. Long-term responses of mezc grassland to manipulation of rainfall quantity and pattern. International Grass Land Congress, Ireland, United Kingdom.

13. Lieberman, E.S. 2005. Nested analysis as a mixed-method strategy for comparative research. *American Political Science Review*, 99(3): 435-452.
14. Lin, B.B. 2010. The role of agroforestry in reducing water loss through soil evaporation and crop transpiration in coffee agro ecosystems. *Agriculture and Forest Meteorology*, 150: 510-518.
15. Mobasher, M.R., H. Khavarian, P. Ziaean and Gh. Kamali. 2005. Estimation of actual evapotranspiration using MODIS images and SEBAL algorithm, geomatics. National Mapping Agency, Tehran, 12 pages (in Persian).
16. Paulo, A.A., R.D. Rosa and L.S. Pereira. 2012. Climate trends and behavior of drought indices based on precipitation and evapotranspiration in Portugal. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 12: 1481-1491.
17. Piazza, A.D, F. Conti, F. Viola, E. Eccel and L.V. Noto. 2015. Comparative analysis of spatial interpolation methods in the mediterranean area: application to temperature in Sicily. *Water*, 7: 1866-1888.
18. Rasoulzadeh, A. and M. Raoof. 2014. Principles and methods of irrigation. Second Edition, Amidi Publisher, 286 pages (in Persian).
19. Santos, C., B. Bezerra, B. Silva and C. Neale. 2009. Assessment of daily actual evapotranspiration estimated by remote sensing algorithms. *Anais XIV Simposio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 2: 427-434.
20. Tromble, J.M. 1988. Water interception by two arid land shrubs. *Arid Environment*, 15: 65-70.
21. Wang, X.P., Z.N. Wang, R. Berndtsson, Y.F. Zhang and Y.X. Pan. 2011. Desert shrub stream flow and its significance in soil moisture replenishment. *Hydrological Earth System Science*, 15: 561-567.