دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

مقایسه روش‌های مختلف تبخیر و تعرق پتانسیل و بررسی تغییرات زمانی- مکانی آن در حوزه آبخیز مهارلو، استان فارس با استفاده از GIS

مهدیس امیری[۱] و حمیدرضا پورقاسمی[۲]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت مناطق بیابانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز
۲- استادیار بخش مهندسی منابع طبیعی و محیط زیست، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز (نویسنده مسوول: hr.pourghasemi@shirazu.ac.ir)
تاریخ دریافت: ۹۶/۵/۱ تاریخ پذیرش: ۹۶/۹/۵
صفحه ۲۲ تا ۳۵

چکیده

برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل نقش مهمی در برنامه‌ریزی، طراحی و مدیریت منابع آب، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک دارد. هدف از تحقیق حاضر، بررسی زمانی روش‌های مختلف محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل شامل تورنت‌وایت، بلانی-کریدل و هارگریوز-سامانی و بررسی تغییرات مکانی آن در حوزه آبخیز مهارلو در استان فارس می‌باشد. بدین منظور از آمار سالانه درجه حرارت در یک دوره آماری ۱۲ ساله (۲۰۱۳-۲۰۰۲) و ۱۲ ایستگاه هواشناسی در حوزه آبخیز مهارلو استفاده گردید. به‌منظور پهنه‌بندی تبخیر و تعرق و بررسی تغییرات مکان آن از روش میان‌یابی عکس مجذور فاصله (IDW) در نرم‌افزار ArcGIS استفاده گردید. در تحقیق حاضر به‌منظور انتخاب مناسب‌ترین روش برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل بلانی-کریدل، هارگریوز-سامانی، تورنت‌وایت از شاخص‌های آماری میانگین مطلق خطا (MAE) (۸/٦٤، ۱۲/۰٦ و ۹/۹۳)، میانگین انحراف خطا (MBE) (۰/٤۲-، ۰/٥٦-، ۱/۳٦-) و ریشه دوم میانگین مربعات باقیمانده (RMSE) (۲/٤۹، ۳/٤۸ و ۲/۸٦) استفاده شد. نتایج نشان داد که تغییرات زمانی و مکانی تبخیر و تعرق پتانسیل درروش بلانی-کریدل بیان‌گر بیش‌ترین میزان تبخیر و تعرق در ایستگاه دوبنه در سال ۲۰۰۹ با مقدار ۱۲۷/۵میلی‌متر در سال و کم‌ترین مقدار آن مربوط به ایستگاه کافتر در سال ۲۰۰٦ با مقدار ۸۵/۱ میلی‌متر در سال می‌باشد. هم‌چنین بر اساس نتایج هارگریوز-سامانی، بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار تبخیر و تعرق به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های جهان‌آباد بختگان در سال ۲۰۰۹ با مقدار ۱۵۲/۱ میلی‌متر در سال و ایستگاه کمهر در سال ۲۰۰۳ با مقدار ۹٦/۵ میلی‌متر در سال می‌باشد، درحالی‌که درروش تورنت‌وایت بیش‌ترین میزان تبخیر و تعرق مربوط به ایستگاه دوبنه در سال ۲۰۰۹ با مقدار ۱۰۳/٦ میلی‌متر در سال و کم‌ترین مقدار آن مربوط به ایستگاه کمهر در سال ۲۰۱۱ با مقدار ۵۲/۷ میلی‌متر در سال برآورد گردید. همچنین نتایج ارزیابی روش‌های مختلف برآورد تبخیر و تعرق نشان داد که با توجه به معیار MAE و RMSE روش بلانی- کریدل کم‌ترین میزان خطا (۸/٦٤ و ۲/٤۹) و با توجه به معیارهای MAE و RMSE بیش‌ترین مقدار خطا مربوط به روش هارگریوز-سامانی با مقدار اندازه‌گیری شده MAE ۱۲/۰٦ و RMSE ۳/٤۸ بوده است، که درمجموع روش بلانی-کریدل بهترین روش تبخیر و تعرق پتانسیل به‌دلیل پایین بودن میزان خطا نسبت به روش‌های هارگریوز-سامانی و تورنت‌وایت می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: بلانی-کریدل، تورنت‌وایت، هارگریوز-سامانی، شاخص میانگین مطلق خطا (MAE)، شاخص میانگین انحراف خطا (MBE)، شاخص ریشه دوم میانگین مربعات باقیمانده (RMSE)

مقدمه

بقای انسان‌ها وابسته به آب می‌باشد و بشر همواره در جهت فراهم آوردن آن تلاش نموده‌است ولی انرژی حرارتی موجود در هوا موجب تبخیر آب موجود در هیدروسفر می‌شود (۱). تبخیر-تعرق یکی از مؤلفه‌های مهم چرخه هیدرولوژی است که تخمین دقیق آن برای مدیریت بهینه منابع آب لازم می‌باشد (۵). یکی از پیش‌نیازهای مدیریت بهینه آب در هر حوزه آبخیزی، تخمین دقیق مؤلفه‌های بیلان آبی آن می‌باشد که تبخیر و تعرق پتانسیل یکی از عوامل تأثیرگذار بر بیلان آب محسوب می‌شود (۲۱). برآورد دقیق تبخیر-تعرق در مطالعاتی از قبیل تغییر اقلیم جهانی، تکامل محیطی و کنترل منابع آبی نقش مهمی را ایفا کند (۱۵). تبخیر و تعرق پتانسیل یکی از عوامل مهم سیکل هیدرولوژیکی است که به‌طور متوسط حدود ۶۴ درصد از بارش سالانه زمین در اثر فرآیند تبخیر و تعرق به اتمسفر برمی‌گردد (۱۸). در پهنه ایران مقدار بارش دریافتی به‌طور متوسط ۲۵۰-۲۴۰ میلی‌متر بوده که درمجموع ۴۱۳ میلیارد مترمکعب برآورد می‌شود که ۲۹۶ میلیارد مترمکعب یا ۷۱ درصد آن بلافاصله از طریق تبخیر و تعرق به اتمسفر بازمی‌گردد (۲). هم‌چنین برآورد مقدار دقیق آن در طرح‌های آبیاری، تأسیسات آبی، مطالعات زهکشی و هیدرولوژیکی بسیار حائز اهمیت می‌باشد. به‌طورکلی تبخیر و تعرق پدیده‌ای با تغییرات مکانی است، نه نقطه‌ای و با توجه به تغییرات مکانی، عوامل دخیل در تبخیر اعم از سطح تبخیر شونده و عوامل محیطی مؤثر بر آن می‌بایست به‌طور صحیح مدل‌سازی گردد (۳).

درزمینه ارزیابی تبخیر و تعرق مطالعات زیادی انجام‌شده است. وفاخواه و همکاران (۲۹) در تحقیقی با عنوان مقایسه روش‌های زمین‌آمار در برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل حوزه آبخیز دریاچه نمک، در استان مرکزی به این نتیجه رسیدند که به جز روش میانگین متحرک به‌صورت خطی که دارای دقت کم و انحراف بالا می‌باشد، بقیه روش‌های کریجینگ معمولی و کوکریجینگ دارای دقت و انحراف یکسان و نزدیک به هم می‌باشند و در رابطه با مناسب‌ترین مدل، واریوگرام های کروی و نمایی به‌ترتیب برای تحلیل داده‌های ماهانه و سالانه مناسب بوده است. شاهدی و زارعی (۲۱) در تحقیق با عنوان ارزیابی روش‌های برآورد تبخیر-تعرق پتانسیل در استان مازندران به این نتیجه رسیدند که روش بلانی-کریدل با کم‌ترین میزان خطای استاندارد و بیش‌ترین

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.19.12.5]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.19.22]

میزان همبستگی در مقایسه با روش‌های فائو، پنمن و مانتیث از دقت بیش‌تری برخوردار بوده و از شرق به غرب استان از میزان تبخیر و تعرق پتانسیل کاسته می‌شود. محمدی و همکاران (۱۶) در تحقیقی با عنوان برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل در ایستگاه‌های اصفهان به این نتیجه رسیدند که روش بلانی-کریدل نسبت به سایر روش‌های تورنت‌وایت و معادله لاری جانسون بسیار نزدیک به تشتک تبخیر بوده به‌طوری‌که در ماه‌های مختلف از همبستگی خوبی برخوردار است، هم‌چنین نتایج حاصل از پهنه‌بندی میزان تبخیر و تعرق در سطح استان اصفهان نشان داد که از غرب به شرق و از جنوب به شمال بر میزان تبخیر و تعرق افزوده می‌شود. ایزدپناه و کرمی (۱۳) با ارزیابی روش‌های مختلف تبخیر و تعرق پتانسیل در ایستگاه سینوپتیک اهواز به این نتیجه رسیدند که در ایستگاه سینوپتیک اهواز روش جنسن- هیز، بلانی-کریدل، هارگریوز-سامانی و تورنت‌وایت به‌ترتیب روش‌های مناسب‌تری هستند، بنابراین در صورت نبود اطلاعات اقلیمی مبسوط برای روش فائو-پنمن-مانینت می‌توان از روش جنسن-هیز استفاده کرد. نتایج قنبری و بذرافشان (۹) در ارزیابی روش‌های مختلف برآورد تبخیر-تعرق پتانسیل در استان هرمزگان نشان داد که روش هارگریوز با کم‌ترین میزان خطا و بیش‌ترین میزان همبستگی، مناسب‌ترین روش نسبت به روش‌های روش بلانی-کریدل و تورنت‌وایت بوده و از دقت بیش‌تری در برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل استان هرمزگان برخوردار می‌باشد. سنتلهاس و همکاران (۲۲) در تحقیقی به کارایی برآورد تبخیر و تعرق به چهار روش فائو- پنمن- مانینیث، پرستلی تیلور، هارگریوز-سامانی و تورنت‌وایت در آنتاریو کانادا پرداختند و نتیجه گرفتند که زمانی که داده‌های مربوط به‌سرعت باد، کمبود فشار بخار و تشعشع خالص موجود باشد فائو – پنمنت – مانینیث با حداقل RMSE معادل ۰/۵۳ بهترین کارایی را دارد، هنگامی‌که سرعت باد و کمبود فشار بخار وجود دارد روش پریستلی تیلر با RMSE ۰/۴ بهترین کارایی و وقتی تنها داده‌های دما موجود باشد روش هارگریوز-سامانی و تورنت‌وایت اصلاح‌شده با RMSE معادل ۰/۷۴ بهترین کارایی را خواهد داشت. استیل و همکاران (۲۴) برای کم کردن اثرات سیل رودخانه دویس در شمال شرقی ایالت داکوتای شرقی آمریکا از الگوریتم سنجش‌ازدور سبال و داده‌های کاربری اراضی و پیمایش زمینی استفاده کردند، اختلاف ۱۷و ۴۱ میلی‌متر در ماه تبخیر و تعرق محاسبه‌شده پنبه و گندم با سبال و داده‌های اندازه‌گیری شده در طول فصل کشت نشان می‌دهد که می‌توان برای کاهش اثرات سیل و مدیریت منابع آب نیز از الگوریتم سبال استفاده نمود. ستان و همکاران (۲۵) در تحقیقی با عنوان ارزیابی تبخیر و تبخیر-تعرق رودخانه کالداروسانی در رومانی پرداختند و نتیجه گرفتند که مقادیر تبخیر و تعرق (۱۰/۳mm/day) نسبت به تبخیر (۴/۳ mm/day)، بیش‌تر است و حجم آب ازدست‌رفته توسط تبخیر و تبخیر-تعرق از دریاچه کالداروسانی در سال ۲۰۱۴ در حدود ۲/۹ $mil.m^3$ (تقریباً ۱/۳ از حجم دریاچه) می‌باشد. کومار و اوپادهای (۱۴) در تحقیقی با عنوان ارزیابی تبخیر و تبخیر- تعرق پتانسیل از سطح دریاچه نشان دادند که روش پنمن – مانینیث و هارگریوز- سامانی در شرایطی که دسترسی به اطلاعات هواشناسی محدود است از کارایی بالایی برخوردار است.

بنابراین هدف از این تحقیق بررسی زمانی-مکانی و مقایسه روش‌های مختلف تبخیر و تعرق پتانسیل برمبنای درجه حرارت هوا و تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی تبخیر و تعرق به روش‌های بلانی- کریدل، تورنت‌وایت و هارگریوز- سامانی به‌منظور برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل حوزه مهارلو در استان فارس طی ۱۲ سال (۲۰۱۳-۲۰۰۲) از طریق نرم‌افزار DrinC و هم‌چنین انتخاب مناسب‌ترین روش تبخیر و تعرق پتانسیل با استفاده از معیارهای ارزیابی MAE، RMSE و MBE می‌باشد.

مواد و روش‌ها

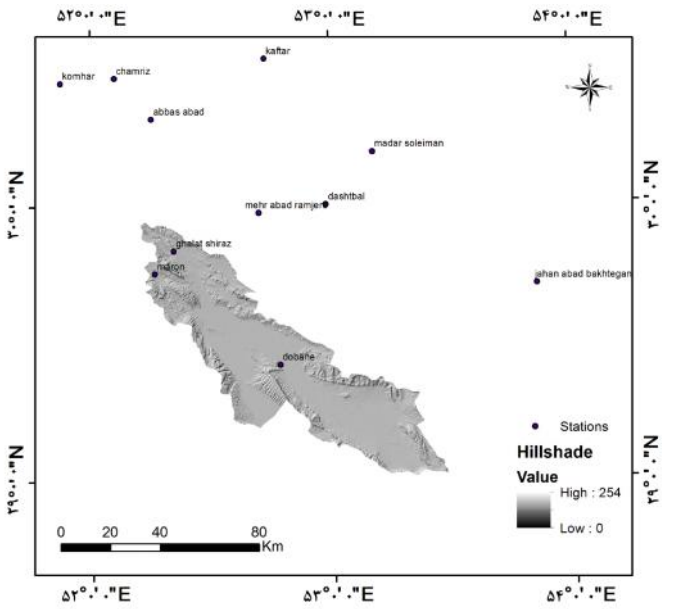
منطقهٔ موردمطالعه

حوزه آبخیز مهارلو با وسعت ۴۲۷۴ کیلومترمربع، با متوسط ارتفاع ۱۵۰۰متر از سطح دریا در ناحیه جنوب غربی ایران و در میان رشته‌کوه‌های زاگرس واقع شده‌است. به لحاظ جغرافیایی، منطقه موردمطالعه در عرض‌های ۲۹ درجه و۱ دقیقه تا ۲۹ درجه و ۵۸ دقیقه شمالی و طول‌های ۵۳ درجه و ۱۲ دقیقه تا ۵۳ درجه و ۲۸ دقیقه شرقی قرار گرفته است. در این مطالعه از آمار درجه حرارت طی دوره زمانی مشترک ۱۲ ساله (۲۰۱۳-۲۰۰۲) در۱۲ ایستگاه هواشناسی موجود در جدول زیر که دارای آمار مناسب و طولانی‌مدت بود استفاده شد. جدول ۱ مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی حوزه آبخیز مهارلو و شکل ۱ نقشه سایه روشن منطقه موردمطالعه با پراکنش ایستگاه‌ها را نشان می‌دهد.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.19.12.5]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.19.22]

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های موردمطالعه در حوزه مهارلو
Table 1. The Characteristics of the case study stations in the Maharlou Watershed

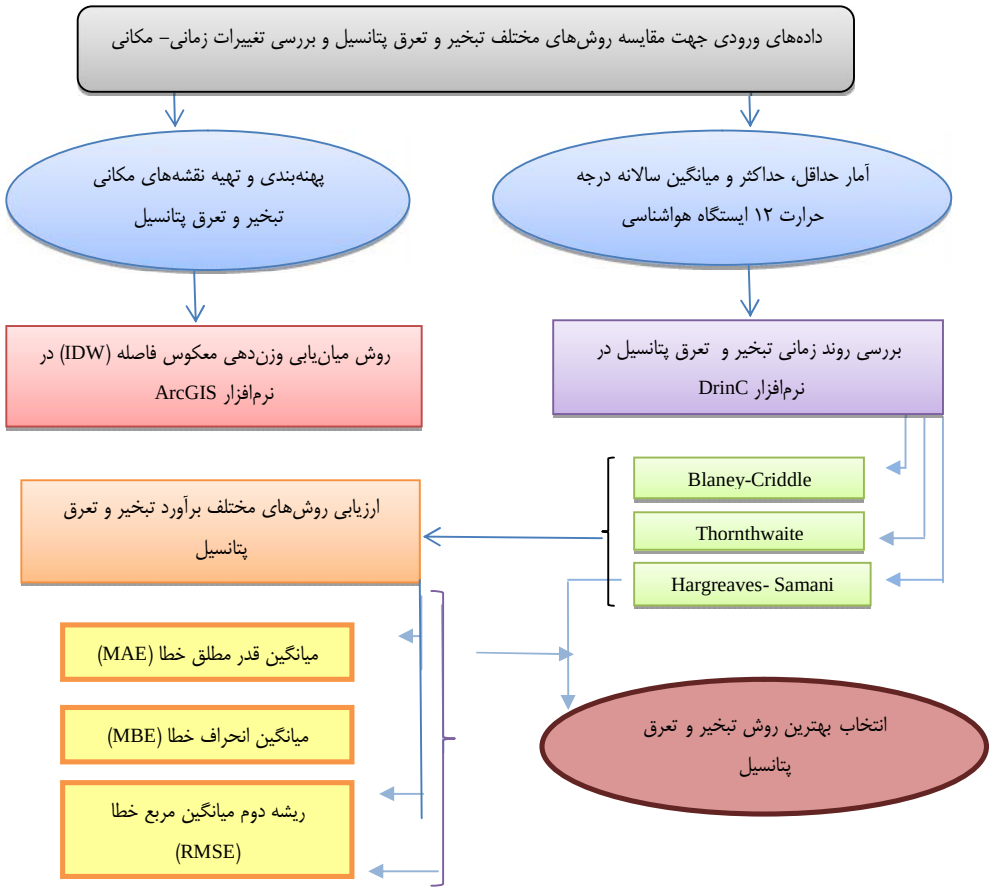
ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (متر)
جهان‌آباد بختگان	۵۳°۵۱′۲۳″	۲۹°۴۲′۱۸″	۱۵۷۷
چمریز	۵۲°۰۶′۰۴″	۳۰°۲۸′۰۲″	۱۸۱۰
دشتبال	۵۲°۵۸′۵۴″	۳۰°۰۰′۰۸″	۱۶۷۳
دوبنه	۵۲°۴۶′۵۶″	۲۹°۲۵′۱۴″	۱۴۸۹
سده	۵۲°۰۹′۵۱″	۳۰°۴۳′۱۹″	۲۱۹۸
قلات شیراز	۵۲°۲۰′۴۲″	۲۹°۵۰′۱۴″	۱۸۸۱
کافتر	۵۲°۴۳′۵۲″	۳۰°۳۲′۰۲″	۲۳۴۲
کمهر	۵۱°۵۲′۳۳″	۳۰°۲۷′۰۰″	۲۳۵۴
مادر سلیمان	۵۳°۱۰′۴۷″	۳۰°۱۱′۳۱″	۱۸۶۸
عباس‌آباد	۵۲°۱۵′۲۰″	۳۰°۱۹′۰۳″	۱۷۱۳
مهرآباد رامجرد	۵۲°۴۲′۰۲″	۲۹°۵۸′۲۵″	۱۶۰۶
مارون	۵۲°۱۵′۵۴″	۲۹°۴۵′۱۶″	۲۱۳۷



شکل ۱- نقشه رقومی ارتفاعی منطقه موردمطالعه
Figure 1. Digital Elevation model map of the study area

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.19.12.5]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.19.22]

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.19.12.5]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.19.22]



شکل ۲- نمودار تبخیر و تعرق پتانسیل در منطقه موردمطالعه
Figure 2. The flowchart for potential evapotranspiration in the study area

روش تحقیق

در پژوهش حاضر از آمار حداقل، حداکثر و میانگین سالانه درجه حرارت ۱۲ ایستگاه هواشناسی با طول دوره آماری ۱۲سال (۲۰۱۳-۲۰۰۲) استفاده گردید. برای بررسی روند تبخیر و تعرق پتانسیل در ایستگاه‌های منتخب از روش‌های Thornthwaite(۶)، Blaney-Criddle (۲۸) و Hargreaves-Samani (۱۲) از نرم‌افزار DrinC[1] استفاده گردید (رابطه‌های ۱ تا ۳).

رابطه (۱) $ET_0= a+b\ [P(0.46T + 8.13)]$

که در آن:

a و b: ضرایب اقلیمی است که بستگی به رطوبت نسبی هوا، نسبت ساعت واقعی آفتاب به حداکثر ساعت آفتابی و سرعت با در روز دارد.

T: متوسط دمای ماهانه درجه حرارت (°C) و P: ضریب مربوط به طول روز یا درصد سالانه تابش آفتاب در ماه که به‌صورت روزانه توصیف می‌شود.

رابطه (۲) $ET_0= 16\ N_m\ (10T_i\ /i)^a$

که در آن:

N_m: ضریب اصلاحی برای عرض‌های مختلف جغرافیایی و سال‌های مختلف. T_i: متوسط دمای هوای در سال موردنظر و i: شاخص حرارتی سالانه است.

رابطه (۳)

$ET_0= 0.0023\ (T_{mean} + 17.8)\ (T_{max}- T_{min})^{0.5}Ra$

که در آن:

T_{mean}: متوسط درجه حرارت (°C)، T_{max}: حداکثر درجه حرارت (°C) و T_{min}: حداقل درجه حرارت (°C) است.

همچنین به‌منظور پهنه‌بندی و تهیه نقشه‌های مکانی تبخیر و تعرق پتانسیل از روش میان‌یابی وزن دهی معکوس فاصله (IDW)[2] نسبت به روش‌های کریجینگ و کوکریجینگ به علت داشتن حداقل RMSE (۴) در نرم‌افزار ArcGIS استفاده شد (رابطه ۴). الگوریتم مذکور، یک روش کاملاً ریاضی است و بر فاصله بین نقاط مشاهده‌شده و نقطه‌ای که باید درون‌یابی شود، پایه‌گذاری شده است. این روش یک متد پیشرفته از تکنیک نزدیک‌ترین همسایه است که اجازه می‌دهد تعدادی نقاط هم‌جوار در برآورد وزن‌های درون‌یابی سایر نقاط شرکت کنند و بدین ترتیب نزدیک‌ترین نقطه، بیش‌ترین وزن و ایستگاه‌های دورتر، کم‌ترین وزن را به دست می‌آورند (۱۹).

1- Drought Indices Calculator
2- Inverse Distance Weighted (IDW)

البته باید توجه داشت که این روش بدون توجه به موقعیت و آرایش نقاط، فقط فاصله آن‌ها را در نظر می‌گیرد، یعنی نقاطی که دارای فاصله یکسانی از نقطه برآورد هستند دارای وزن یکسانی می‌باشند (۲۶،۱۷).

رابطه (۴) $\lambda_i=D_i^{-\alpha}/\sum_{-} D_i^{-\alpha}$

که در آن: λ_i وزن نقطه‌ای iام، D_i فاصله نقطه iام تا نقطه مجهول و α معادل توان وزن‌دهی می‌باشد.

ارزیابی روش‌های برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل

به‌منظور ارزیابی روش‌های مختلف برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل و انتخاب بهترین روش از سه معیار، میانگین قدر مطلق خطا (MAE)[1] (۲۷)، میانگین انحراف خطا (MBE)[2] (۲۳) و ریشه دوم میانگین مربع خطا (RMSE)[3] (۲۳) و با استفاده از رابطه‌های ۵ تا ۷ به ترتیب استفاده گردید:

رابطه (۵) $MAE= \sum \mid Z^*(x_i)-Z(x_i)\mid/n$

رابطه (۶) $MBE= \sum Z^*(x_i)-Z(x_i) /n$

رابطه (۷) $RMSE=\sqrt{1/N \sum(Z^*(x_i)-Z(x_i))^2}$

که در آن: $Z^*(X_i)$ مقدار برآورد شده در نقطه X_i، $Z(X_i)$ مقدار اندازه‌گیری شده در نقطه X_i (جدول‌های ۲، ۳ و ۴) و N تعداد نقاط می‌باشد. در جدول (۲) میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده تبخیر و تعرق پتانسیل به روش بلانی-کریدل نشان داده شده است.

جدول ۲- میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده تبخیر و تعرق در سال‌های مختلف به روش بلانی-کریدل

Table 2. The mean amounts measured of yearly evapotranspiration of Blaney Criddle in Different years

سال	میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده تبخیر و تعرق پتاسیل (میلی‌متر در هرسال)
۲۰۰۲	۱۰۷/۳۸
۲۰۰۳	۱۰۹/۱۲
۲۰۰۴	۱۰۴/۵۲
۲۰۰۵	۱۰۸/۵۵
۲۰۰۶	۱۰۲/۲۴
۲۰۰۷	۱۰۶/۹۱
۲۰۰۸	۱۰۸/۷۶
۲۰۰۹	۱۱۱/۹۷
۲۰۱۰	۱۰۹/۴۵
۲۰۱۱	۱۰۶/۳۹
۲۰۱۲	۱۰۹/۱۲
۲۰۱۳	۱۰۵/۵۴

و هم‌چنین در جدول (۳) میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده تبخیر و تعرق پتانسیل به روش هارگریوز- سامانی نشان داده شده است.

جدول ۳- میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده تبخیر و تعرق در سال‌های مختلف به روش هارگریوز-سامانی

Table 3. The mean amounts measured of yearly evapotranspiration of Hargreaves- Samani in Different years

سال	میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده تبخیر و تعرق پتاسیل (میلی‌متر در هرسال)
۲۰۰۲	۱۲۱/۵۷
۲۰۰۳	۱۲۱/۲۶
۲۰۰۴	۱۲۰/۱۲
۲۰۰۵	۱۲۳/۶۶
۲۰۰۶	۱۱۸/۸۸
۲۰۰۷	۱۲۷/۴۵
۲۰۰۸	۱۲۶/۱۱
۲۰۰۹	۱۳۲/۷۸
۲۰۱۰	۱۳۳/۶۹
۲۰۱۱	۱۲۶/۱۴
۲۰۱۲	۱۲۹/۲۷
۲۰۱۳	۱۲۷/۸۰

ازطرفی دیگر در جدول (۴) میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده تبخیر و تعرق پتانسیل به روش تورنت‌وایت نشان داده شده است.

1- Mean Absolute Error (MAE) 2- Mean Bias Error (MBE) 3- Root Mean Square Error (RMSE)

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.19.12.5]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.19.22]

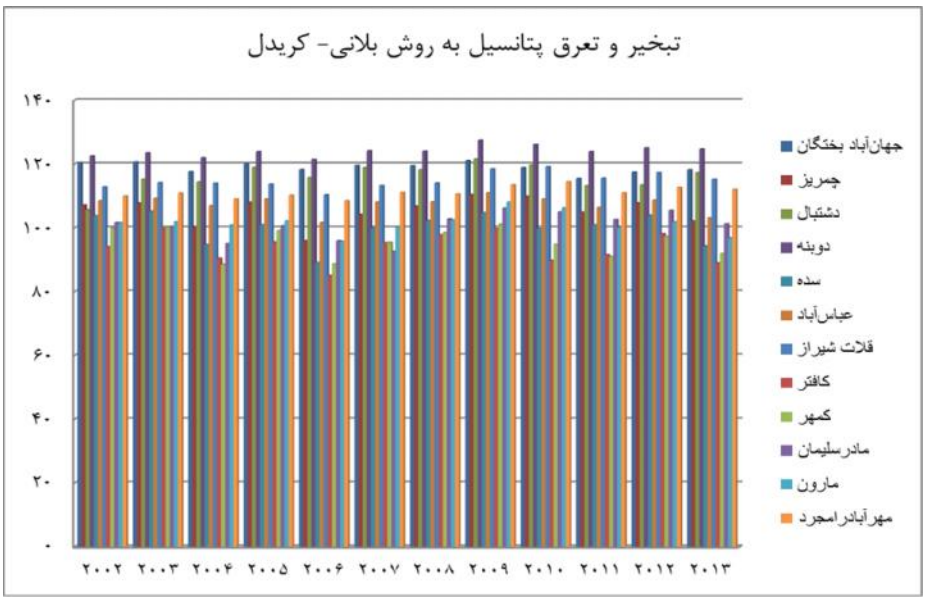
جدول ۴- میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده تبخیر و تعرق در سال‌های مختلف به روش تورنت وایت
Table 4. The mean amounts measured of yearly evapotranspiration of Thornthwaite in Different years

سال	میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده تبخیر و تعرق پتاسیل (میلی‌متر در هرسال)
۲۰۰۲	۶۷/۷۷
۲۰۰۳	۶۷/۸۹
۲۰۰۴	۶۶/۹۳
۲۰۰۵	۶۸/۵۵
۲۰۰۶	۶۶/۹۴
۲۰۰۷	۶۹/۸۰
۲۰۰۸	۶۹/۲۵
۲۰۰۹	۷۲/۴۵
۲۰۱۰	۷۱/۹۵
۲۰۱۱	۶۶/۹۰
۲۰۱۲	۶۸/۵۹
۲۰۱۳	۶۹/۶۶

هراندازه دو معیار MAE و MBE به صفر نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده صحت خوب روش‌های ارزیابی تبخیر و تعرق بوده و در آن هیچ‌گونه انحرافی وجود ندارد و هرقدر مقدار این دو معیار و هم‌چنین ریشه دوم میانگین مربعات خطا (RMSE) کم‌تر باشد صحت روش یا روش‌های مذکور بیش‌تر است (۱۷). در این پژوهش از نرم‌افزارهای Excel و ArcGIS به‌منظور ارزیابی استفاده گردید.

نتایج و بحث

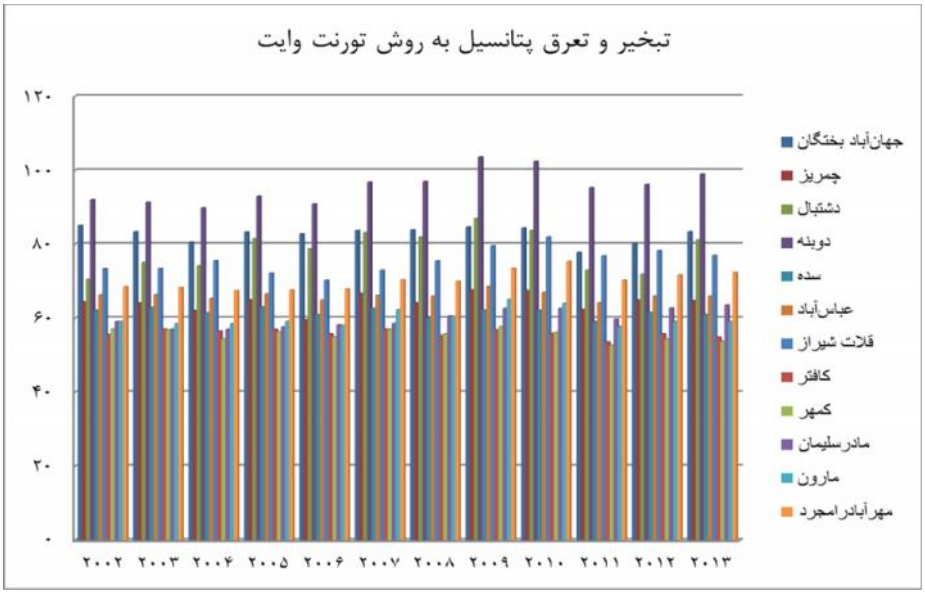
در این پژوهش، تبخیر و تعرق پتانسیل توسط آمار حداقل، حداکثر و میانگین درجه حرارت سالانه ۱۲ ایستگاه هواشناسی با استفاده از نرم‌افزار DrinC و به سه روش بلانی- کریدل، تورنت‌وایت و هارگریوز- سامانی بررسی و برای تهیه نقشه‌های تبخیر و تعرق پتانسیل طی دوره آماری ۱۲سال (۲۰۱۳-۲۰۰۲) حوزه آبخیز مهارلو از نرم‌افزار ArcGIS استفاده شد. نتایج تغییرات مکانی برای سال‌های ۲۰۰۲، ۲۰۰۷ و ۲۰۱۲ به روش‌های بلانی- کریدل، تورنت‌وایت و هارگریوز- سامانی به ترتیب در شکل‌های ۳، ۴ و ۵ ارائه می‌گردد و هم‌چنین نتایج تغییرات زمانی ارزیابی تبخیر و تعرق پتانسیل روش‌های بلانی- کریدل، تورنت‌وایت و هارگریوز- سامانی به ترتیب در نمودارهای ۱، ۲ و ۳ ارائه و ارزیابی روش‌های مختلف تبخیر و تعرق پتانسیل (بلانی- کریدل، تورنت‌وایت و هارگریوز- سامانی) با استفاده از معیارهای RMSE، MAE، MBE در نمودار ۴ برآورد شد. نتایج ارزیابی زمانی تبخیر و تعرق پتانسیل به روش بلانی- کریدل در ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه در شکل ۲ ارائه شده است.



شکل ۲- نتایج ارزیابی زمانی تبخیر و تعرق پتانسیل (میلی‌متر درسال) به روش بلانی-کریدل در منطقه موردمطالعه
Figure 2. The results of the temporal estimation of potential evapotranspiration (mm/y) based on Blaney Criddle method in the study area

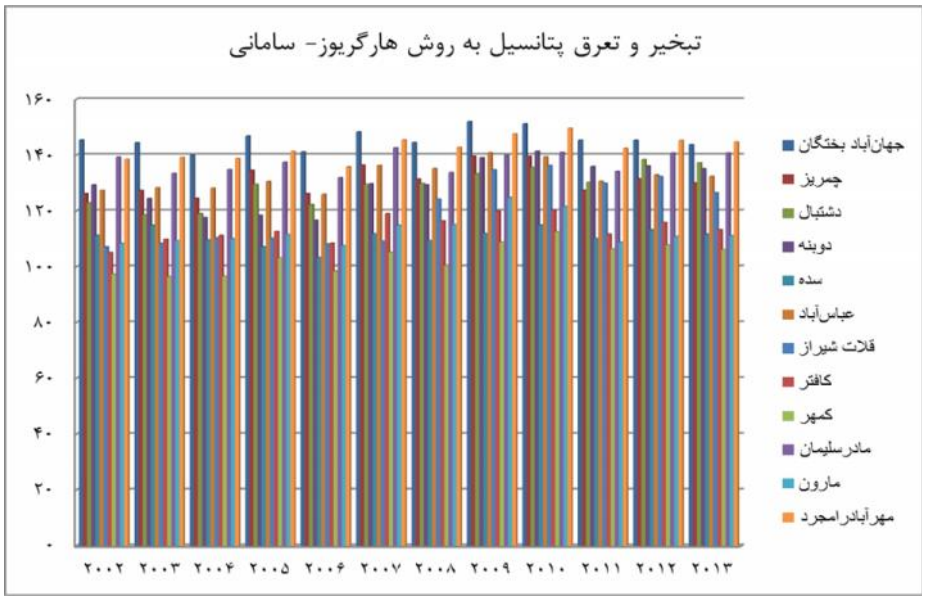
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.19.12.5]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.19.22]

هم‌چنین نتایج ارزیابی زمانی تبخیر و تعرق پتانسیل به روش تورنت‌وایت در ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه در شکل ۳ ارائه شده است.



شکل ۳- نتایج ارزیابی زمانی تبخیر و تعرق پتانسیل (میلی‌متر در سال) به روش تورنت وایت در منطقه موردمطالعه
Figure 3. The results of the temporal estimation of potential evapotranspiration (mm/y) based on Thornthwaite method in the study area

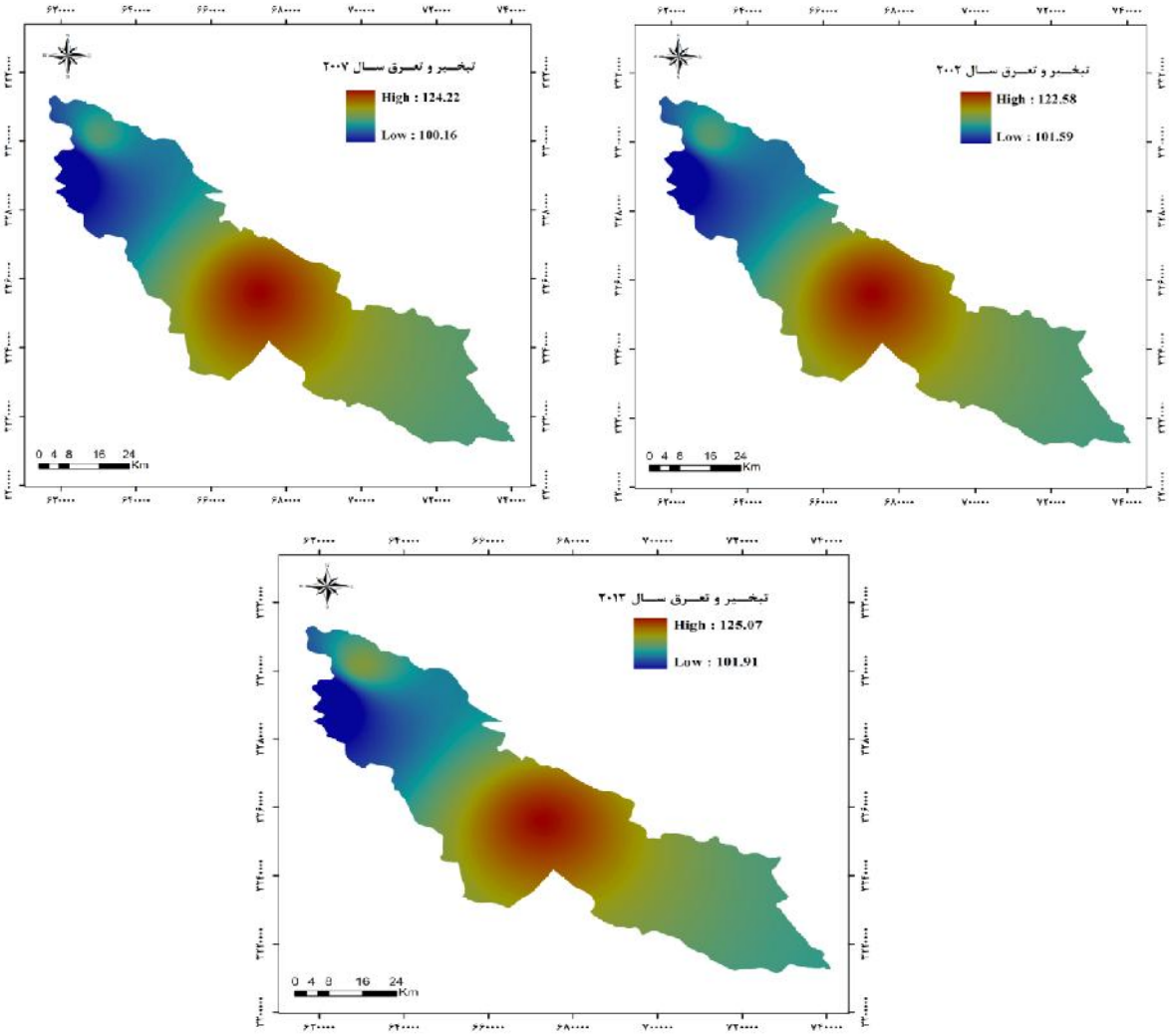
و درنهایت نتایج ارزیابی زمانی تبخیر و تعرق پتانسیل به روش هارگریوز–سامانی در ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه در شکل ۴ ارائه شده است.



شکل ۴- نتایج ارزیابی زمانی تبخیر و تعرق پتانسیل (میلی‌متر در سال) به روش هارگریوز- سامانی در منطقه موردمطالعه
Figure 4. The results of the temporal estimation of potential evapotranspiration (mm/y) based on Hargreaves- Samani method in the study area

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.19.12.5]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.19.22]

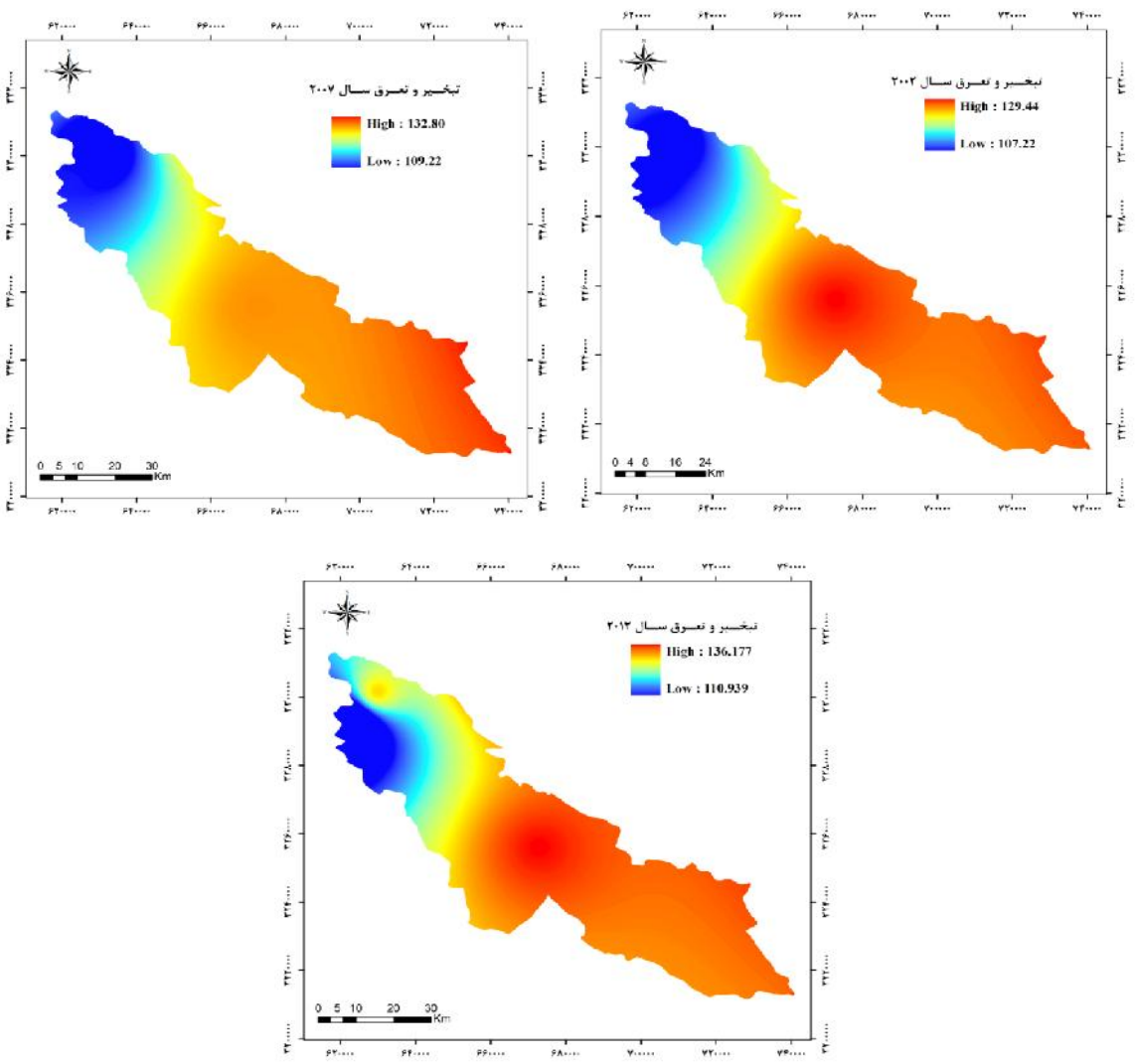
نتایج پهنه‌بندی تبخیر و تعرق پتانسیل در سال‌های ۲۰۰۲، ۲۰۰۷ و ۲۰۱۲ به روش بلانی-کریدل در شکل ۵ ارائه شده است.



شکل ۵- ارزیابی مکانی تبخیر - تعرق سالانه بلانی- کریدل در سال‌های مختلف
Figure 5. Evaluating of spatial yearly evapotranspiration of Blaney-Criddle in different years

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.19.12.5]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.19.22]

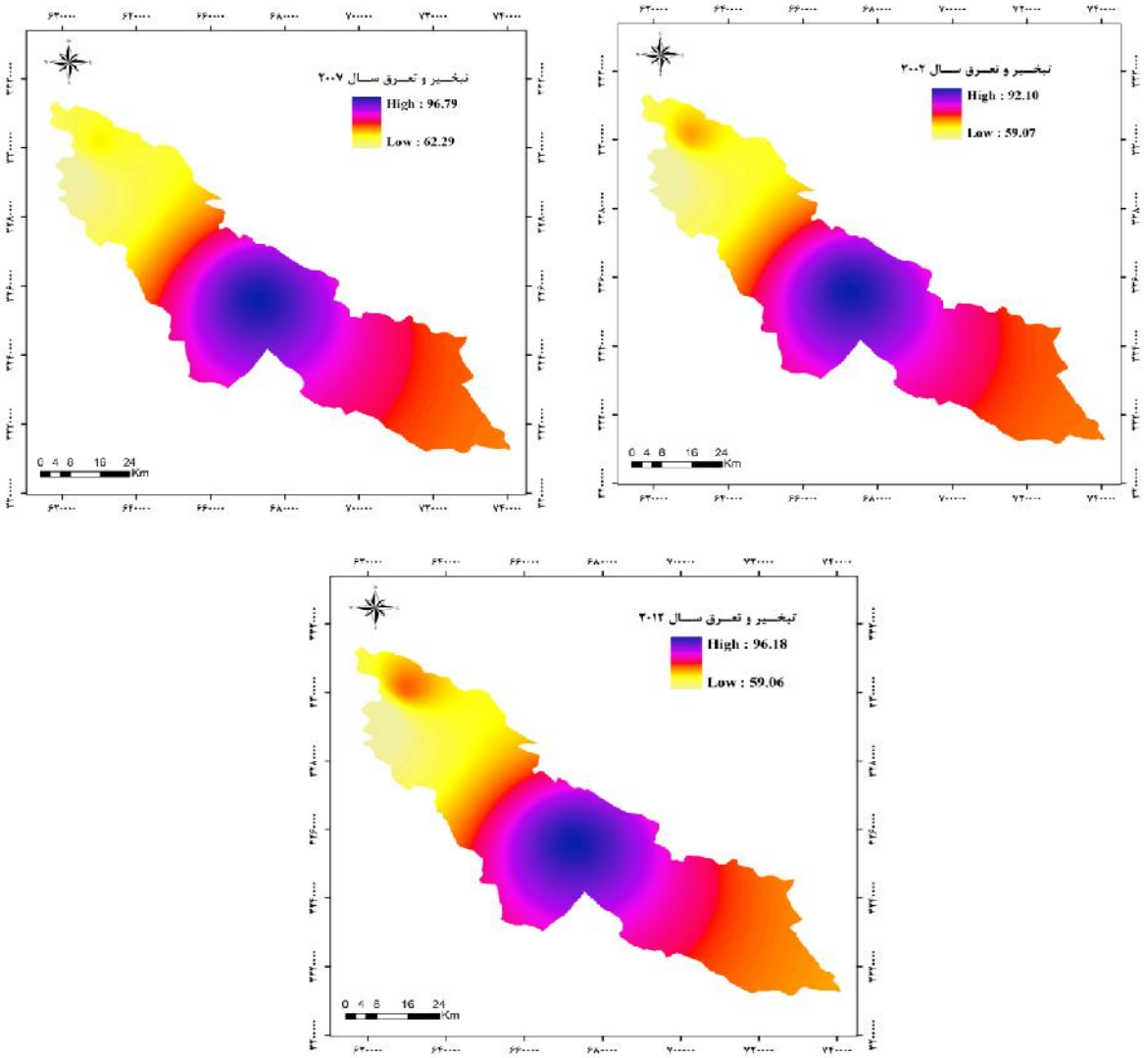
از طرفی دیگر نتایج پهنه‌بندی تبخیر و تعرق پتانسیل در سال‌های ۲۰۰۲، ۲۰۰۷ و ۲۰۱۲ به روش هارگریوز–سامانی در شکل ۶ ارائه شده است.



شکل ۶- ارزیابی مکانی تبخیر – تعرق سالانه هارگریوز- سامانی در سال‌های مختلف
Figure 6. Evaluating of spatial yearly evapotranspiration of Hargreaves in different years

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.19.12.5]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.19.22]

و هم‌چنین نتایج پهنه‌بندی تبخیر و تعرق پتانسیل در سال‌های ۲۰۰۲، ۲۰۰۷ و ۲۰۱۲ به روش تورنت‌وایت در شکل ۷ ارائه شده است.

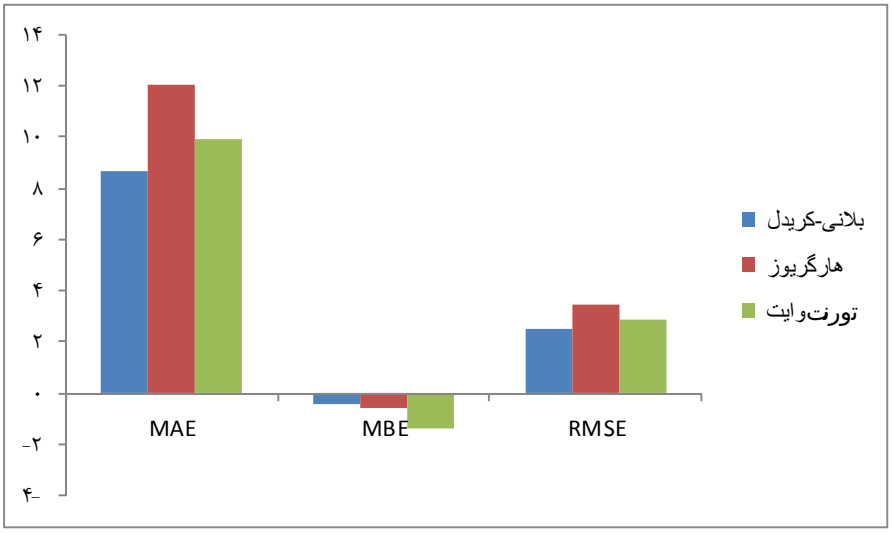


شکل ۷- ارزیابی مکانی تبخیر – تعرق سالانه تورنت‌وایت در سال‌های مختلف
Figure 7. Evaluating of spatial yearly evapotranspiration of Thornthwaite in different years

نتایج بررسی‌های زمانی و مکانی تبخیر و تعرق پتانسیل نشان داد، که درروش بلانی- کریدل که در قسمت‌های شمال غربی (مارون، قلات شیراز) تبخیر و تعرق پتانسیل کم و در مرکز (دوبنه و جهان‌آباد بختگان) نسبتاً زیاد و در قسمت‌های جنوبی تبخیر و تعرق نسبتاً زیاد است، هم‌چنین درروش هارگریوز- سامانی در نواحی شمالی و شمال غربی تبخیر و تعرق کم و در نواحی مرکزی و جنوبی تبخیر و تعرق پتانسیل زیاد می‌باشد. در روش تورنت‌وایت در قسمت‌های شمال و شمال غرب تبخیر و تعرق کم و در قسمت‌های مرکزی تبخیر و تعرق زیاد و در قسمت‌های جنوبی تبخیر و تعرق متوسط است.

هم‌چنین نتایج ارزیابی صحت روش‌های مختلف تبخیر- تعرق پتانسیل بلانی- کریدل، هارگریوز- سامانی و تورنت‌وایت با استفاده از معیارهای RMSE، MAE و MBE در شکل ۸ ارائه‌شده است.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.19.12.5]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.19.22]



شکل ۸- نتایج ارزیابی روش‌های تبخیر و تعرق پتانسیل در منطقه موردمطالعه

Figure 8. The results of estimation methods of potential evapotranspiration in the case study

نتایج نشان می‌دهد که با توجه به معیار MAE روش بلانی-کریدل کم‌ترین میزان خطا (۸/۶۴) و بیش‌ترین میزان خطا را روش هارگریوز (۱۲/۰۶) و با توجه به معیار MBE کم‌ترین میزان خطا مربوط به روش تورنت‌وایت (۱/۳۶-) و بیش‌ترین میزان خطا روش بلانی-کریدل (۰/۴۲-) و هم‌چنین با توجه به معیار RMSE کم‌ترین میزان خطا روش بلانی-کریدل (۲/۴۹) و بیش‌ترین میزان خطا روش هارگریوز (۳/۴۸) می‌باشد.

تبخیر و تعرق پتانسیل به‌عنوان یکی از مهم‌ترین پارامترهای هیدرولوژیکی از دیرباز موردتوجه محققین قرارگرفته و نتایج تحلیل فرآیند این پارامتر در مدیریت منابع آب نقش اساسی دارد (۷). در تحقیق حاضر به‌طورکلی نتایج حاصل از تغییرات زمانی و مکانی شاخص مذکور نشان داد که درروش بلانی-کریدل بیش‌ترین مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل مربوط به سال ۲۰۰۹ در ایستگاه دوبنه (۱۲۷/۵) میلی‌متر در سال و کم‌ترین میزان تبخیر و تعرق در سال ۲۰۰۶ در ایستگاه کافتر (۸۵/۱) میلی‌متر در سال می‌باشد، درروش تورنت‌وایت بیش‌ترین میزان تبخیر و تعرق پتانسیل در سال ۲۰۰۹ در ایستگاه دوبنه (۱۰۳/۶) میلی‌متر در سال و کم‌ترین میزان آن در ایستگاه کمهر در سال ۲۰۱۱ (۵۲/۷) میلی‌متر در سال بوده است و درنهایت روش هارگریوز- سامانی بیش‌ترین مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل در سال ۲۰۰۹ در ایستگاه جهان‌آباد بختگان (۱۵۲/۱) میلی‌متر در سال و کم‌ترین میزان تبخیر و تعرق در سال ۲۰۰۳ در ایستگاه کمهر (۹۶/۵) میلی‌متر در سال می‌باشد. از طرفی دیگر نتایج ارزیابی دقت روش‌های مختلف تبخیر و تعرق پتانسیل نشان داد که روش بلانی- کریدل با توجه به معیار MAE (۸/۶۴) و RMSE (۲/۴۹) از دقت بالایی برخوردار است و با توجه به معیار MBE بیش‌ترین دقت را روش تورنت‌وایت (۱/۳۶-) دارد هرچه معیارهای مذکور کمتر باشند دقت روش تبخیر و تعرق پتانسیل هم بیش‌تر است. به‌طورکلی در قسمت‌های مرکز و جنوبی حوزه تبخیر و تعرق سالیانه به علت افزایش درجه حرارت بیشتر است و در قسمت‌های شمالی حوزه به علت کاهش درجه حرارت تبخیر و تعرق پتانسیل هم کمتر است، که با نتایج تحقیقاتی هم‌چون سالاریان و همکاران (۲۰)، در تحقیقی مناسب‌ترین روش برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل در ماه‌های گرم و سرد سال در اصفهان را ارزیابی کردند و نتیجه گرفتند در ماه‌های سرد سال معادلات بلانی-کریدل و هارگریوز-سامانی به دلیل ضریب تعیین تعدیل‌یافته (R^2) و خطای RMSE کمتر و برای ماه‌های گرم سال با توجه به پایین بودن نسبت ضریب تعیین تعدیل‌یافته (R^2/ RMSE) تنها روش بلانی کریدل پیشنهاد می‌شود، در مطالعه‌ای دیگر قلی‌زاده الپاوت و امینی‌نیا (۱۰) به‌منظور بررسی تغییرات زمانی تبخیر-تعرق پتانسیل در تبریز نتیجه گرفتند که به دلیل اختصاص بالاترین ضریب همبستگی با داده‌های تشتک تبخیر بهترین روش برای محدوده موردمطالعه (تبریز)، روش بلانی-کریدل تشخیص داده شد. شاهدی و زارع (۲۱) جهت ارزیابی روش‌های تبخیر و تعرق پتانسیل در استان مازندران به این نتیجه رسیدند که روش بلانی کریدل با کمترین میزان خطای استاندارد و بیشترین میزان همبستگی با روش فائو- پنمن- مانتیث نسبت به روش‌های تورنت وایت، پنمن و هارگریوز از دقت بیشتری در برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل استان مازندران برخوردار است. ایزدپناه و کرمی (۱۳)، در تحقیق ارزیابی روش‌های تبخیر و تعرق پتانسیل با استفاده از ضریب تعیین تعدیل‌شده و خطای استاندارد ایستگاه اهواز نتیجه گرفتند که روش‌های بلانی-کریدل، هارگریوز و تورنت‌وایت به ترتیب مناسب‌ترین روش‌ها می‌باشند، همچنین قنبری و بذرافشان (۹) برای ارزیابی روش‌های برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل در استان هرمزگان نتیجه گرفتند که روش هارگریوز با کم‌ترین میزان خطا و بیش‌ترین میزان همبستگی

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.19.12.5]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.19.22]

مناسب‌ترین روش نسبت به دو روش بلانی کریدل و تورنت‌وایت می‌باشد و از دقت بیشتری برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل برخوردار است و در تحقیق فرهودی و شمسی‌پور (۸) در برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل منطقه سیستان و بلوچستان جنوبی به این نتیجه رسیدند که روش تورنت وایت نتایج صحیحی را ارائه نمی‌دهد اما روش بلانی کریدل همبستگی خوبی با روش اندازه‌گیری تشتک دارد، محمدی و همکاران (۱۶)، در برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل در ایستگاه‌های اصفهان به این نتیجه رسیدند که روش بلانی کریدل نسبت به سایر روش‌ها، بسیار نزدیک به تشت تبخیر بوده به‌طوری‌که در ماه‌های مختلف از همبستگی خوبی برخوردار است که با نتایج تشت تبخیر مطابقت دارد.

منابع

1. Afzali, A., M. Mahdavi and M. Zare chahoki. 2010. The effectiveness of the Thornthwaite method compared to class A boat on the southern coast of Iran, Journal of Watershed Management Research, 1(2): 114-109 (In Persian).
2. Alizadeh, A., M. Mahdavi, M. Inanlo and M.A. Bazari. 2001. Study of accuracy and performance Calculated of potential evapotranspiration based on Hargreaves and Pan Evaporation in synoptic stations khorasan province, Nivar journal: 51-70 (In Persian).
3. Allen, R.G., W.G.M. Bastiaanssen, J.L. Wright, A. Morse, M. Tasumi and R. Trezza. 2002. Evapotranspiration from Satellite Images for Water Management and Hydrologic Balances. Proceedings of the 2002 ICID conference, 1-12 pp., Montreal, Canada.
4. Azimi hosseini, M. and M.R. Behbahani. 2009. Application of GIS in drought zoning (Case study: Lorestan Province). Proceedings of the 2008 Geomatics, 3-5pp., Tehran, Iran (In Persian).
5. Babamiri, O., H. Nozari and S. Maroufi. 2017. Estimation of potential evapotranspiration based on random time series models. Journal of Watershed Management Research, 8(15): 146-137 (In Persian).
6. Blaney, H.F. and W.D. Criddle. 1950. Determining water requirements in irrigated area from climatological irrigation data, US Department of Agriculture, Soil Conservation Service, 121pp.
7. Danesh faraz, R. and H. Razaghpour. 2014. Assessment of Climate Change Effects on Potential Evapotranspiration in West Azarbaijan Province. Geographic Space, 14(46): 199-211(In Persian).
8. Farhodi, R.A. and A.A. Shamsipour. 2000. Estimating of potential evapotranspiration in southern Balochistan. Physical Geography Research Quarterly, 29: 105-114 (In Persian).
9. Ghanbari, E. and O. Bazrafshan. 2015. Evaluating of methods estimation potential evapotranspiration in Hormozgan province. Proceedings of the 1th International and 3th National Conference of Engineering and Agricultyre Management, Environment and stable Natural resources, 1-10., Hamedan, Iran (In Persian).
10. Gholizadeh alpavet, H. and K. Amininia. 2015. Investigating the temporal changes of potential evapotranspiration in Tabriz. Geographic Space, 15(49): 19-35 (In Persian).
11. Ghorbani, M., S. Shokri and S. Bromand nasab. 2016. Investigation Performance of Neural Networks of Estimation of Reference Evapotranspiration (Case Study: Synoptic Station Ahvaz). Journal of Wetland Ecobiology, 8(28): 23-34 (In Persian).
12. Hargreaves, G.H. and Z. Samani. 1985. Refrence crop evapotranspiration from tempraturer. Applied Engineering in Agriculture, 1(2): 96-99.
13. Izadpanah, Z. and O. Karami. 2011. Evaluating of Different Methods of Evapotranspiration at Ahwaz Synoptic Station. Proceedings of the 4th National Conference of Irrigation and Drainage Network Management (IDNC), 669-678 pp., Ahvaz, Iran (In Persian).
14. Kumar Rai, R., V. Singh and A. Upadhyay. 2017. Estimation of Lake Evaporation and Potential Evapotranspiration, In: Planning and Evaluation of Irrigation Projects, 231-241 pp., Elsevier.
15. Liu, S., J. Bai, Z. Jia, L. Jia, H. Zhou and L. Lu. 2010. Estimation of evapotranspiration in the Mu Us Sandland of China. Hydrol. Earth System Science, (14): 573-584.
16. Mohammadi, H., A. Hanafi and M. Soltani. 2010. Estimate of potential evapotranspiration in stations of Isfahan province. Journal of Geographic landscape, 5(12): 153-167 (In Persian).
17. Mahdian, M.H. 2006. Application of geo statistics in Soil Sciences. Proceedings of the 1th Conference of Soil Environment and Sustainable Development. Tehran, Iran: 1-6 (In Persian).
18. Nikam, B.R., P. Kumar, V. Garg, P.K. Thakur, S.P. Aggarwal. 2014. Comparative Evaluation of Different Potential Evapotranspiration Estimation Approaches. International Journal of Research in Engineering and Technology, 2321-7308.
19. Ole, E.T. and S. Wolfgang. 2002. Applications of spatial interpolation of climatologicaland Meteorological elements by the use of geographical information COST: 1-45 pp.
20. Salarian, M., M. Najafi, K. Davari, S. Eslamian and M. Heidari. 2014. Estimating the most suitable of potential evapotranspiration in conditions of meteorology deficiency data in warm and cold months (Case study: Isfahan). Iranian Journal of Irrigation & Drainage, 1(8): 62-73 (In Persian).

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.19.12.5]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.19.22]

21. Shahedi, K. and M. Zarei. 2011. Estimation of methods of potential evapotranspiration in Mazandaran province. Journal of Irrigation & Water Engineering, 1(3): 12-21 (In Persian).
22. Sentelhas Paulo, C., J. Terry and E.S. Gillespie. 2010. Evaluation of FAO Penman Monteith and alternative methods for estimating reference evapotranspiration with missing data in Southern Ontario. Agricultural Water Management, 97: 635-644.
23. Sentelhas, P., T. Gillespie and E.A. Santos. 2010. Evaluation of FAO Penman-Monteith and alternative methods for estimating reference evapotranspiration with missing data in Southern Ontario, Canada. Agricultural Water Management, 97: 635-644.
24. Steele, D., B. Thoreson, D. Hopkins, B. Clark, S. Tuschererand R. Gautam. 2014. Spatial mapping of evapotranspiration over Devils Lake basin with SEBAL: application to flood mitigation via irrigation of agricultural crops. Irrigation Science, 33(1): 15-29 pp. DOI: 10.1007/s00271-014-0445-1.
25. Stan, F.I., G. Neculau, L. Zaharia, G.I. Toroimac and S. Mihalache. 2016. Study on the Evaporation and Evapotranspiration Measured on the Căldăruşani Lake (Romania), Environmental Sciences, 32: 289-281.
26. Taghizadeh mehjerdi, R.A., M. Zareian JAhromi, S. Mahmoodi, A. Heidari and F. Sarmadian. 2008. Investigation of spatial interpolation methods for determining the qualitative spatial changes of groundwater in Rafsanjan plain. Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering, 2(5): 63-70 (In Persian).
27. Trajkovic, S. and S. Kolakovic. 2009. Evaluation of reference evapotranspiration equations under humid conditions. Water Resource Management. 23: 3057-3067.
28. Thornthwaite, C.W. 1948. An approach toward a rational classification of climate. Geog. Review 38.
29. Vafahkhah, M., M. Mohseni Sarori and M. Onegh. 2009. Comparison Methods of geo Statistics Estimation Potential Evapotranspiration (Case Study: salt Lake Basin). Whatershed Management Research, 83: 30-39 (In Persian).

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.19.12.5]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.19.22]

Comparing Different Methods of Potential Evapotranspiration and Studying Temporal and Spatial Changes in the Mahalou Watershed using GIS

Mahdis Amiri[1] and Hamid Reza Pourghasemi1[2]

1- M.Sc. Student, Desert Management, College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz
2- Professor Assisstant,Department of Natural Resources and Environmental Engineering, College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz (Crossponding author: hr.pourghasemi@shirazu.ac.ir)
Received: July 23, 2017 Accepted: November 26, 2017

Abstract

Evaluating potential evapotranspiration plays an important role in planning, designing, and managing water resources, especially in arid and semi arid zones. The aim of the present research is considering spatio-temporal changes of different potential evapotranspiration methods such as Thornthwaite, Hargreaves, and Blaney-Criddle in the Maharlou Watershed, Fars province. So, yearly statistics of temperature in a course of 12 years (2002-2013) with 12 meteorology stations in Maharlou Watershed have been used. In order to zonation map of evapotranspiration and studing spatial changes, Inverse Distance Weighting (IDW) method has been used in GIS software. To choose the most suitable method for evaluating potential evapotranspiration using Blany- Criddle, Hargreaves- Samani, and Thornthwaite in this present research, statistics indicators including Mean Absolute Error (MAE) (8.64, 12.06, 9.93), Mean Bias Error (MBE) (-0.42, -0.56, -1.36), and Root-Mean-Square error (RMSE) (2.49, 2.86, 3.48) is used. Results showed that spatio-temporal changes of potential evapotranspiration in Blaney-Criddle method indicates the most amount of evapotranspiration in Dobene Station in 2009 with the amount of 127.5 mm. Whereas the least that amount of attached is in Kaftar Station in 2006 with the amount of 85.1 mm. Also based on Hargreaves results, the most and least amount of evapotranspiration is in Jahan abad bakhtegan Stations in 2009 with the amount of 152.1 mm and Komhar station in 2003 with the amount of 96.5 mm, respectively. In contrast, based on Thornthwaite method, the most amount of evapotranspiration is included in Dobene Sstation in 2009 with the amount of 103.6 mm and the least that amount of attached is in Komhar Station in 2011 with the amount of 52.7 mm. Subsequently, the results of evaluating of different evapotranspiration methods according to RMSE and MAE showed that Blaney- Criddle method the least error amount (2.49, 8.64) and also according to the MAE and RMSE criteria, the most amount of error attached of Hargreaves- Samani method with the amount measured MAE 12.06 and RMSE 3.48. In general, the Blaney-Criddle method is the best potential evapotranspiration method. On the other hand, the low error rate is due to Hargreaves- Samani and Thornthwaite based methods.

Keywords: Thornthwaite, Blaney- Criddle, Hargreaves- Samani, Mean Absolute Error (MAE), Mean Bias Error (MBE), Root Mean Square Error (RMSE)

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.19.12.5]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.19.22]