

تحلیل میزان کارایی سنجش از دور در برآورد مؤلفه‌های بیلان آب (مطالعه موردی: حوضه آبریز تجن، استان مازندران)

محمد براری سیاوشکلایی^۱، علیرضا شریفی^{۲*}، مجتبی کریمایی طبرستانی^۳

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور - دانشکده مهندسی عمران - دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی
bararisiavashkolaei@gmail.com

^۲ استادیار گروه مهندسی نقشه برداری - دانشکده مهندسی عمران - دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی
a_sharifi@sru.ac.ir

^۳ استادیار گروه ژئوتکنیک و آب - دانشکده مهندسی عمران - دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی
karimaei@sru.ac.ir

(تاریخ دریافت اردیبهشت ۱۴۰۰، تاریخ تصویب خرداد ۱۴۰۰)

چکیده

اولین گام جهت مدیریت صحیح منابع آب در حوضه‌های آبریز، کمی سازی مؤلفه‌های بیلان آب می‌باشد. در دسترس بودن روشی ارزان و سریع برای کمی سازی این مؤلفه‌ها، خصوصاً در حوضه‌های وسیع و فاقد آمار حائز اهمیت است. بر این اساس در تحقیق حاضر جهت تعیین مؤلفه‌های بارش در حوضه آبریز تجن به‌عنوان مطالعه موردی از داده‌های حاصل از ماهواره TRMM و برای تعیین تبخیر و تعرق از سنجنده MODIS استفاده شد. هم‌چنین رواناب حاصل از بارندگی، از معادله سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS-CN) به همراه داده‌های ورودی سنجش از دوری نظیر مدل رقومی ارتفاعی حاصل از SRTM، بارش حاصل از ماهواره TRMM و کاربری اراضی حاصل از ادغام داده‌های Landsat8 و MODIS طی ۱۲ ماه به‌صورت ماهانه برآورد گردید. مقایسه آماری نتایج داده‌های سنجش از دوری با داده‌های ثبت شده در ایستگاه‌های زمینی برای مؤلفه‌های بارش و تبخیر و تعرق به ترتیب حکایت از ضریب تعیین ۰٫۷۲ و ۰٫۶۵ و هم‌چنین MBE ۲٫۳۷- و ۱٫۰۹- دارد که نشان دهنده دقت و همبستگی مناسب این داده‌ها می‌باشد. صحت کلی و ضریب کاپا نقشه کاربری اراضی حاصل از ادغام داده‌های Landsat8 و MODIS نیز که در تعیین رواناب مورد استفاده قرار می‌گیرد، به ترتیب برابر ۶۰ درصد و ۰٫۵۵ بوده است. در خصوص مؤلفه‌های نفوذ نیز علی‌رغم توانایی سنجش از دور در پایش نوسان تراز آبخوان حوضه از طریق داده‌های ماهواره GRACE، امکان کمی سازی میزان نفوذ با این روش و به‌طور مستقیم میسر نبوده و این مؤلفه با استفاده از روابط مرتبط با هیدرولوژی محاسبه می‌گردد. این پژوهش نشان می‌دهد که استفاده از سنجش از دور برای تعیین مؤلفه‌های بیلان آب روشی بسیار سریع، ارزان و به نسبت دقیق می‌باشد که استفاده از آن در حوضه‌های وسیع و فاقد ایستگاه‌های مناسب زمینی راهگشا خواهد بود؛ بطوریکه در مدت‌زمانی بسیار کوتاه می‌توان مؤلفه‌های بیلان آب را برای پهنه‌های وسیعی کمی سازی کرده و جهت انجام تحلیل‌های مربوطه در اختیار متخصصان هیدرولوژی قرار داد.

واژگان کلیدی: سنجش از دور، بیلان آب، حوضه آبریز تجن، ماهواره TRMM، سنجنده MODIS، معادله رواناب SCS-CN

* نویسنده رابط

۱- مقدمه

ذخایر آب از منابع تجدیدشونده محسوب شده و فرآیند تجدیدپذیری آن به تبعیت از چرخه آب در طبیعت است. با این وجود، مقدار آبی که از این طریق در سطح کره زمین یا در هر محدوده جغرافیایی مشخص پدید می‌آید، صرف‌نظر از تغییرات بین‌ساله، معین و ثابت است. به بیان دیگر، مقدار آب تجدیدشونده‌ای که سطح کره زمین هم‌اکنون و به‌طور سالانه دریافت می‌نماید، برابر همان آبی است که شاید هزاران سال پیش و از بدو به وجود آمدن تمدن‌های بشری دریافت نموده است. این در حالی است که توزیع مکانی و زمانی مقدار آب تجدیدشونده کاملاً متغیر بوده و متناسب با توزیع جمعیت و نیازهای آبی جوامع بشری نیست [۱]. به‌عنوان مثال، درحالی‌که یک درصد از جمعیت جهان به ایران اختصاص دارد، سهم آن از منابع آب شیرین تنها ۰٫۳ درصد است و این بدان معناست که سهم ایران از منابع آب شیرین جهان نسبت به مناطق دیگر در سطح پایین‌تری قرار دارد [۲]. مضاف بر موارد فوق بدیهی است که کمبود منابع آبی برای جوامع، یک بحران جدی است که به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم بر محیط‌زیست، اقتصاد، سلامت و حتی مناسبات سیاسی، اجتماعی و فرهنگی جامعه مؤثر است. بر این اساس تنها راه‌حل موجود، مدیریت صحیح منابع آبی خواهد بود و این مهم محقق نمی‌شود مگر آن‌که در گام نخست مقادیر ورود آب، ذخیره و خروج آن از سیستم هیدرولوژیک تحت معادلات بیلان آب کمی‌سازی شده و پیوسته مورد پایش و ارزیابی قرار گیرد. معادله بیلان آب که به معادله اساسی هیدرولوژی معروف است در واحد زمان بدین شرح می‌باشد [۳]:

$$\frac{ds}{dt} = I - O \rightarrow \Delta s = P - R - ET - G \quad (1)$$

I حجم ورود آب در محدوده مشخص (حوضه آبریز) در واحد زمان، O حجم خروج از آن محدوده در واحد زمان است و ds تغییرات حجم انباشته‌شده در داخل محدوده است. بدین ترتیب این معادله شامل ۴ مؤلفه‌ی اصلی بارش (P)، تبخیر و تعرق (ET)، رواناب (R) و نفوذ (G) می‌باشد و با استفاده از آن مقدار ورود آب، ذخیره آب و خروج آن از سیستم هیدرولوژیک کمی‌سازی می‌گردد.

عمده روش مورداستفاده جهت تخمین مؤلفه‌های بیلان آب، استفاده از روش‌های سنتی است؛ اساس این روش، تأسیس شبکه‌ای از اندازه‌گیری‌های زمینی است که سبب تخمین پیوسته از اجزای بیلان آب می‌شود [۴] که اگر ایستگاه‌های مذکور در پهناهای وسیع، از توزیع مکانی مناسبی برخوردار باشند و متولیان آن‌ها نسبت به پایش، نگهداری و تعمیر ایستگاه‌ها حساسیت لازمه را داشته باشند، دقت این روش بسیار مناسب خواهد بود اما رعایت این شروط در گستره‌های پهناور کشور با اقلیم‌های مختلف، امری زمان‌بر و بسیار پرهزینه است که عملاً در بسیاری از مواقع و شرایط امکان‌پذیر نمی‌باشد. کمی‌سازی مؤلفه‌های بیلان آب در حوضه‌های آبریز بدون آمار مستلزم شناخت فرآیندهای هیدرولوژیکی است که هر یک تحت تأثیر شرایط هیدرولوژیکی، ژئومورفولوژی و اقلیم منطقه نظیر نوع بارش، پوشش گیاهی، خصوصیات فرآیند تجمع و ذوب برف، خصوصیات لایه خاک و سازندهای زمین‌شناسی هستند [۵]. لذا با در نظر گرفتن پیچیدگی‌های موجود، توجه به قابلیت‌ها، ویژگی‌ها و از همه مهم‌تر پیشرفت‌های سریع و گسترده سنجش‌ازدور، نظیر قابلیت‌هایی چون ارائه داده با گستره مکانی و زمانی وسیع، کاهش گسترده‌ی هزینه‌های سنجش و پایش مناطق وسیع، امکان مطالعه تغییرات مکانی پارامترهای مورد سنجش و توانایی برآورد مؤلفه‌های بیلان هم‌چون تبخیر از پهناهای آزاد آب، محاسبه سطوح تبخیر از آبخوان و به-هنگام سازی سطح زیر کشت محصولات زراعی از تصاویر ماهواره‌ای امری مهم و ضروری تلقی می‌گردد [۶].

در این مقاله ضمن ارائه و توضیح روشی مبتنی بر سنجش‌ازدور (RS) و سیستم اطلاعات مکانی (GIS) جهت برآورد مؤلفه‌های بیلان آب به بررسی میزان کارایی و مقایسه آن با روش سنتی در حوضه آبریز تجن واقع در استان مازندران پرداخته خواهد شد.

ساختار کلی مقاله بدین گونه است که پس از ارائه پیشینه تحقیق، محدوده مورد مطالعه معرفی گشته و سپس به روش و مراحل تحقیق اشاره خواهد شد. در بخش بعد نتایج و یافته‌های تحقیق، ارائه و تحلیل می‌گردد. آخرین بخش مقاله نیز به بیان محدودیت‌های پژوهش، نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهاداتی برای تحقیقات آینده اختصاص داده شده است.

۲- پیشینه تحقیق

با توجه به اهمیت موضوع پژوهش، از دیرباز تحقیقات گسترده‌ای در این خصوص صورت گرفته است که این مهم با توجه به پیشرفت‌های اخیر سنجش‌ازدور، در سالیان گذشته شدت بیشتری داشته است. پاره‌ای از این تحقیقات بدین شرح است:

میریعیقوب زاده و همکاران (۱۳۹۳) در تحقیقی تبخیر و تعرق حاصل از الگوریتم SEBAL را با روش استاندارد فائو در حوزه آبخیز تمر واقع در استان گلستان مورد مقایسه قرار دادند. نتایج تحقیق حاکی از آن بود که الگوریتم SEBAL قابلیت تعیین میزان تبخیر و تعرق واقعی را در سطح وسیع بدون نیاز به داده‌های هواشناسی داراست. همچنین نتایج نشان داد که این الگوریتم میزان تبخیر و تعرق را بین ۰٫۵ تا ۱ میلی‌متر در روز کمتر از روش پنمن مانیتث برآورد می‌نماید [۷]. R.Coelho و همکاران (۲۰۱۷) در راستای تخمین توزیع مکانی میزان نفوذ آب در حوضه آبریز رودخانه ایپانما^۱ در شمال شرقی برزیل از داده‌های سنجش‌ازدوری از جمله نقشه‌های ماهانه میزان بارندگی، تبخیر و تعرق و رواناب، به‌عنوان ورودی معادله بیلان آب استفاده نمودند. در این پژوهش بارش از تجزیه‌وتحلیل داده‌های ماهواره TRMM بدست آمد که با داده‌های بارش حاصل از ۱۵ ایستگاه زمینی واقع در منطقه، قرابت خوبی داشته است. رواناب به روش شماره منحنی سازمان حفاظت منابع ملی آمریکا (NRCS) و بر اساس داده‌های سنسور TM ماهواره Landsat حاصل گردید، همچنین تبخیر و تعرق نیز از الگوریتم SEBAL و با کمک تصاویر MODIS بدست آمد. نتایج حاصل از بررسی بیلان آب در این پژوهش به‌خوبی نشان داد که تفاوت سالیانه‌ی زیادی در میزان نفوذ آب وجود دارد که با رژیم‌های مختلف بارندگی مشخص می‌شود [۸]. Herman و همکاران (۲۰۱۸) در پژوهشی به ارزیابی مدل‌های هیدرولوژیکی بیلان آب به‌وسیله‌ی داده‌های سنجش‌ازدوری پرداختند. تمرکز اصلی آن‌ها در این پژوهش بررسی این بود که آیا با ترکیب و ادغام داده‌های سنجش‌ازدوری می‌توان عملکرد مدل را بهبود بخشید یا خیر؟ بر این اساس داده‌های تبخیر و تعرق (ET) از دو

مجموعه مختلف داده سنجش‌ازدوری یعنی بر اساس مدل موازنه انرژی سطحی ساده‌شده (SSEBop) و بر اساس الگوریتم تبادل معکوس جو و زمین (ALEXI) حاصل گردید. مدل هیدرولوژیکی مورد استفاده در این مطالعه مدل ارزیابی آب و خاک (SWAT) بوده است که با استفاده از دو تکنیک مختلف الگوریتم چند متغیره و ژنتیک، کالیبره گردیده است. با استفاده از مجموعه داده‌های فوق، عملکرد مدل هیدرولوژیکی در تخمین تبخیر و تعرق با استفاده از هر دو روش کالیبراسیون مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج حاصل از این ارزیابی نشان داد که استفاده از داده‌های سنجش‌ازدوری، اگر با یک روش کالیبراسیون مناسب همراه شود، می‌تواند سبب بهبود عملکرد مدل هیدرولوژیکی شود [۹]. Jiang و همکاران (۲۰۱۹) در پژوهشی ضمن بحث و بررسی در خصوص مشکلات مدل‌سازی هیدرولوژیکی حوضه‌های آبریز، عملکرد سنجش‌ازدور در باب این موضوع را مورد تحلیل قرار داده‌اند. در این پژوهش خلاصه‌ای از نقش داده‌های سنجش‌ازدوری جهت برآورد بارش، تبخیر و تعرق، رطوبت خاک، ویژگی‌های برف، تغییرات ذخایر آب زیرزمینی، دمای سطح زمین، عرض رودخانه و ... ارائه گردیده است [۱۰]. S. Wong و همکاران (۲۰۲۱) در پژوهشی در کشور کانادا ضمن ارائه روشی سنجش‌ازدوری جهت برآورد مؤلفه‌های بیلان آب در حوضه‌های آبریز وسیع و فاقد آمار به ارزیابی آن نیز پرداختند. داده‌های استفاده شده در این پژوهش عبارت بودند از داده‌های بارشی WFDEI و CaPA، داده‌های تبخیر و تعرق MODIS و تبخیر سطح زمین حاصل از روش آمستردام (GLEAM)، داده‌های حاصل از ایستگاه‌های هیدرومتری و داده‌های ماهواره GRACE. به طور کلی، نسبت خطای بارش، تبخیر و تعرق، تغییر ذخیره آب و رواناب در این پژوهش به ترتیب ۳۶٫۷، ۳۳٫۲، ۱۷٫۸ و ۱۲٫۲ درصد بود [۱۱].

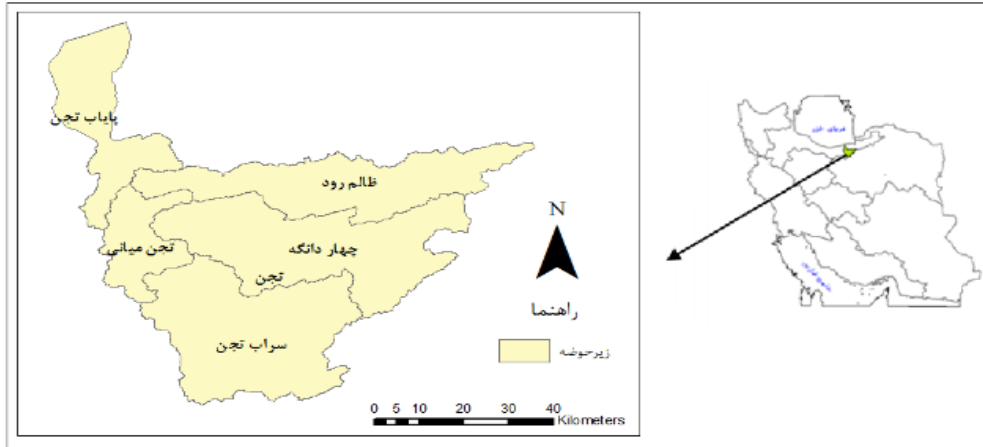
۳- محدوده مطالعاتی

محدوده مکانی مورد مطالعه در این پژوهش حوضه آبریز تجن از زیرحوضه‌های حوضه آبریز فرعی رودخانه هراز و رودخانه‌های بین هراز و قره‌سو از حوضه آبریز اصلی دریای مازندران بوده که مساحت آن ۴۳۵۶ کیلومترمربع و متشکل از ۵ زیرحوضه ظالم رود، پایاب تجن، تجن میانی،

^۱ Ipanema river basin (IRB)

چهاردانگه و سراب تجن می‌باشد [۱۲]. این حوضه بین طول جغرافیایی $53^{\circ} 4' 57''$ تا $53^{\circ} 18' 26''$ و عرض جغرافیایی $36^{\circ} 9' 17''$ تا $36^{\circ} 29' 49''$ واقع شده است. رودخانه مهم این حوضه، تجن نام دارد که از رودخانه‌های

مهم مازندران بوده و از کوه‌های هزارگریب و چشمه-سارهای متعدد دهستان پشت کوه سرچشمه گرفته و پس از عبور از ساری در فرح‌آباد به دریای مازندران می‌ریزد.



شکل ۱- موقعیت حوضه آبریز تجن به تفکیک زیرحوضه‌ها

این رودخانه از ۳ شاخه اصلی تشکیل یافته است که شاخه ظالم رود در شمال حوضه آبریز، شاخه اصلی تجن در مرکز و شاخه سفیدرود در جنوب حوضه واقع می‌باشند که بر اساس گزارش شرکت آب منطقه‌ای مازندران میانگین آبدهی سالانه آن $423/4$ میلیون مترمکعب می‌باشد [۱۳]. همچنین محدوده زمانی مورد مطالعه در این پژوهش، سال آبی ۲۰۱۸-۲۰۱۹ میلادی می‌باشد که برابر است با $2018/10/1$ لغایت $2019/9/30$ میلادی (از $1397/7/9$ لغایت $1398/7/8$). موقعیت حوضه آبریز تجن در شکل ۱ قابل مشاهده است.

خطا^۲ (MAE) و میانگین خطای انحراف^۳ (MBE). روابط مربوط به این شاخص‌ها بدین شرح می‌باشد:

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (2)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}} \quad (3)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |\hat{y}_i - y_i|}{n} \quad (4)$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)}{n} \quad (5)$$

۴- مواد و روش‌ها

هدف از انجام این پژوهش شناخت از میزان کارایی سنجش اذدور در تعیین مؤلفه‌های بیلان آب، خصوصاً در حوضه‌های وسیع و فاقد آمار است. بر این اساس پس از ارائه و اعمال روشی سنجش اذدوری، جهت برآورد و یا کمک به برآورد هر یک از مؤلفه‌های بیلان آب، روش مذکور به‌وسیله‌ی مقایسه‌های آماری، ارزیابی و تحلیل می‌گردد. شاخص‌های آماری مورد استفاده در این پژوهش جهت مقایسه داده‌های ماهواره‌ای و داده‌های حاصل از ایستگاه‌های زمینی عبارت‌اند از ضریب تعیین (R^2)، مجذور میانگین مربع خطا^۱ (RMSE)، میانگین قدر مطلق

در این روابط y_i مقادیر مشاهده‌شده، \hat{y}_i مقادیر تخمین زده شده، n تعداد مشاهدات و \bar{y} میانگین مقادیر مشاهده‌شده می‌باشد.

۴-۱- بارش^۴

بارش به‌عنوان ورودی چرخه آب، یکی از مهم‌ترین پارامترهای هیدرولوژیکی است که برآورد آن با پیچیدگی‌های مختلفی همراه است. برای مثال از لحاظ مکانی و زمانی بارندگی بسیار متغیر است، بطوریکه ممکن است

^۲ Mean Absolute Error (MAE)

^۳ Mean Bias Error (MBE)

^۴ Precipitation

^۱ Root Mean Square Error (RMSE)

شدت بارندگی از ۰.۰۱ تا ۱۰۰ میلی‌متر بر ساعت متغیر باشد و مدت بارندگی نیز از چند ثانیه تا چند روز به طول بینجامد [۱۴]. بدیهی است که دقیق‌ترین اندازه‌گیری‌های بارش با استفاده از روش‌های سنتی مانند ایستگاه‌های اقلیم‌شناسی، سینوپتیک زمینی و باران‌سنج‌ها ارائه می‌شود اما دقت استفاده از این روش در یک حوضه آبریز وابسته به توزیع مکانی ایستگاه‌ها و میزان حساسیت متولیان آن در تعمیر و نگهداری از ایستگاه‌هاست که تحقق این مهم نیازمند صرف هزینه و زمان بسیاری می‌باشد [۱۵]. بر این اساس و از آنجایی که سنجش‌ازدور قادر است اطلاعات مداوم، همگن و نزدیک به زمان واقعی بارندگی را در بعد مکان و زمان در یک منطقه خاص، حتی در مناطق غیرقابل‌دسترس ارائه دهد؛ استفاده از آن در این موضوع بسیار کاربردی خواهد بود [۱۶]؛ بنابراین در این پژوهش جهت برآورد میزان بارش در محدوده زمانی و مکانی مورد مطالعه از داده‌های بارشی TRMM 3B43 استفاده گردیده است. این مجموعه داده به‌صورت الگوریتمی داده‌های مایکروویو را از چندین ماهواره ادغام می‌نماید. این الگوریتم یک بار در هر ماه اجرا می‌شود و با استفاده از ترکیب داده‌های دقیق بارش ۳ ساعته TRMM^۱ و داده‌های ماهانه پایگاه داده بارشی جهانی GPCC^۲، بهترین برآورد از بارش را ارائه می‌نماید. این الگوریتم، دارای تفکیک زمانی ماه تقویمی میلادی و هم‌چنین یک باند جهانی با وضوح مکانی ۰.۲۵ درجه در ۰.۲۵ درجه از ۵۰ درجه جنوبی تا ۵۰ درجه عرض شمالی می‌باشد [۱۷]؛ بنابراین پس از فراخوانی داده‌های بارشی TRMM 3B43 مربوط به بازه زمانی ۱ اکتبر سال ۲۰۱۸ لغایت ۳۱ سپتامبر سال ۲۰۱۹ و انجام آنالیزهای سری زمانی مربوطه در سامانه Google Earth Engine، دیتاست مربوط به آن تهیه و پس از درون‌یابی در محیط نرم‌افزار Arc GIS 10.8 مورد بررسی قرار گرفته است.

۴-۲- تبخیر و تعرق^۳

از مؤلفه‌های مهم بیلان آب و متشکل از دو فرآیند فیزیکی تبخیر^۴ و تعرق^۵ می‌باشد. تبخیر نقش مهمی در

^۱ Tropical Rainfall Measuring Mission

^۲ the Global Precipitation Climatology Centre

^۳ Evapotranspiration

^۴ Evaporation

^۵ Transpiration

^۶ Penman-Monteith

از سنجنده MODIS، مانند پویایی پوشش گیاهی^۱، آلبدو^۲ و پوشش زمین^۳ است. این داده‌ها دارای قدرت تفکیک زمانی ۸ روزه و قدرت تفکیک مکانی ۵۰۰ متری می‌باشند. هم‌چنین قابل ذکر است که واحد داده‌های باند تبخیر و تعرق (ET) MOD16A2.v006 نیز، (kg/(m².8day) می‌باشد.

۴-۳- رواناب

هرگاه میزان بارش در یک حوضه آبریز بیش از ظرفیت نفوذ خاک باشد، بخشی از آب حاصل از بارش به صورت رواناب بر روی سطح حوضه جاری می‌شود [۲۲]. میزان رواناب در یک حوضه آبریز به چندین عامل از جمله ویژگی‌های خاک، زمان تمرکز حوضه آبریز، شرایط زمین‌شناسی، اقلیم و آب‌وهوا، شیب و جهت شیب، کاربری اراضی و تراکم زهکشی بستگی دارد [۲۳]. بدیهی است بررسی دقیق هر یک از موارد فوق دشوار خواهد بود؛ بنابراین برآورد دقیق میزان رواناب با توجه به اهمیت آن، امری مهم و البته دشوار است. بدین منظور از دو روش استفاده می‌گردد؛ روش اول، روش موسوم به هیدروگراف است که به کمک اندازه‌گیری دبی رودخانه مقدار و میزان حجم رواناب تعیین می‌گردد و دومین روش استفاده از روابط و فرمول‌های تجربی است [۲۴]. روش اول، اطلاعات کافی در مورد تأثیر تغییرات در عملیات مدیریتی (مانند خاک، تغییرات کاربری زمین و پوشش زمین) روی سرعت رواناب تولیدشده از نواحی مختلف در یک حوضه آبریز را در اختیار ما قرار نمی‌دهد و به علت وجود عدم همگنی عامل‌های مکانی و زمانی که در مقیاس حوضه آبریز رخ می‌دهد، استفاده از روش دوم یعنی روابط و فرمول‌های تجربی برای شبیه‌سازی فرآیندهای فیزیکی رواناب می‌تواند برای مطالعه تأثیرات تغییرات حوضه روی تولید رواناب مناسب‌تر باشد [۲۵]. یکی از معتبرترین روابط شبیه‌سازی رواناب، معادله سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS-CN) است که عمق رواناب تولیدی در یک حوضه را با در نظر گرفتن ویژگی‌های خاک، وضعیت هیدرولوژیکی زمین و نیز کاربری آن برآورد می‌کند [۲۶]. در این روابط، R ارتفاع رواناب (برحسب mm)، S ضریب نگهداشت سطحی، P ارتفاع بارندگی (برحسب mm) و CN

شماره منحنی رواناب است. نقشه CN یا به عبارت دیگر شماره منحنی رواناب از طریق در دسترس بودن مشخصات هیدرولوژیکی خاک و کاربری اراضی تولید می‌گردد؛ بنابراین باهدف برآورد ارتفاع رواناب به وسیله داده‌های سنجش‌ازدوری از این داده‌ها به عنوان ورودی معادله مذکور استفاده می‌گردد. لذا با ادغام داده‌های حاصل از Landsat 8 و MODIS و طبقه‌بندی آن بر اساس الگوریتم جنگل تصادفی^۴ نقشه کاربری اراضی حوضه تولید گردیده و پس از طبقه‌بندی این داده‌ها بر اساس استاندارد SCS-CN، نقشه شماره منحنی (CN)، در محیط افزونه HEC-GeoHMS و به کمک داده‌های DEM حاصل از SRTM و نقشه گروه هیدرولوژیک خاک حوضه، تولید می‌شود. در نهایت بر اساس معادله مذکور و با ترکیب داده‌های بارشی ماهواره TRMM و نقشه ضریب نگهداشت سطحی بدست آمده از نقشه شماره منحنی، ارتفاع رواناب ماهانه حوضه محاسبه می‌گردد. روابط این معادله بدین شرح است [۲۷]:

$$R = \frac{(P - 0.2S)^2}{(P + 0.8S)} \quad (6)$$

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (7)$$

۴-۴- نفوذ

نفوذ در مفهوم کلی به عنوان جریان رو به پایین تعریف می‌شود که به سطح ایستابی می‌رسد و سبب بالا آمدن سطح ایستابی می‌گردد [۲۸]. به منظور برآورد میزان نفوذ به صورت مستقیم از ادوات مختلفی نظیر لایسیمتر^۵ و دستگاه TDR می‌توان استفاده نمود؛ اما بدیهی است که بهره بردن از این ادوات برای برآورد میزان نفوذ در یک حوضه آبریز وسیع با توجه به تغییرات در نوع خاک حوضه، بسیار زمان‌بر است. لذا این مؤلفه از طریق روش‌ها، معادلات و روابط حاصل از برخی فرضیات موجود در علم هیدرولوژی محاسبه می‌شود [۲۹]. سنجش‌ازدور نیز علی‌رغم آن‌که توانایی پایش نوسان تراز آبخوان یک حوضه را از طریق داده‌های حاصل از سنجنده grace داراست به طور مستقیم و از طریق داده‌های رایگان در دسترس کمکی به برآورد و اندازه‌گیری مؤلفه نفوذ نمی‌نماید.

۴ Random Forest
۵ Lysimeters

۱ Vegetation Dynamics

۲ Albedo

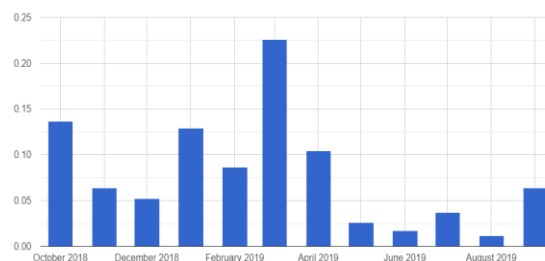
۳ land cover

۵- تحلیل نتایج و یافته‌ها

بدین ترتیب هر یک از مؤلفه‌های بارش، تبخیر و تعرق و رواناب با استفاده از داده‌های سنجش‌ازدوری در بازه زمانی و مکانی مورد مطالعه محاسبه و نتایج حاصل از آن ارزیابی گردید.

۵-۱- بارش

نمودار ستونی میانگین تغییرات بارشی ۱۲ ماهه حوضه آبریز تاجن حاصل از داده‌های TRMM 3B43 در شکل ۲ ارائه گردیده است. بر اساس این داده‌ها بیشترین بارش در سال آبی مورد مطالعه، در ماه سوم میلادی (مارس) و برابر ۰.۲۵ میلی‌متر در ساعت برآورد گردیده که به تاریخ شمسی یعنی از دهم اسفندماه لغایت یازدهم فروردین؛ هم‌چنین کم‌ترین میزان بارش در حوضه نیز مربوط به ماه هشتم میلادی (اوت) و برابر ۰.۰۰۲ میلی‌متر در ساعت بوده که به تاریخ شمسی از دهم مرداد لغایت نهم شهریور می‌باشد. در شکل ۳ نیز توزیع مکانی و زمانی بارش، در محدوده زمانی و مکانی مورد مطالعه، برحسب mm/h ارائه گردیده است.



شکل ۲- نمودار ستونی میانگین تغییرات بارشی ۱۲ ماهه حوضه آبریز تاجن حاصل از داده‌های TRMM 3B43 برحسب میلی‌متر در ساعت.

به‌وضوح مشاهده می‌شود که در اکثر ماه‌های سال، در مناطق شمالی حوضه خصوصاً مناطق واقع‌شده در مجاورت دریای مازندران و یا به‌عبارت‌دیگر در مناطق جلگه‌ای و دشت که شهرستان ساری و عمده مزارع کشاورزی این حوضه در آن واقع شده‌اند بارش بیشتری نسبت به مناطق جنوبی که جنگلی و کوهستانی هستند مشاهده می‌شود. در مرحله بعد داده‌های بارش حاصل از ماهواره TRMM با داده‌های ثبت‌شده در ۸ ایستگاه باران‌سنجی وزارت نیرو در منطقه و به‌وسیله‌ی شاخص‌های آماری مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل از این مقایسه آماری حاکی از

وجود همبستگی مناسب بین داده‌های حاصل از ماهواره و داده‌های زمینی با ضریب تعیین ۰.۷۲ است که بهترین ضریب تعیین مشاهده‌شده، ۰.۸ در ایستگاه باران‌سنجی فریم صحرا و پایین‌ترین آن ۰.۵۱ در ایستگاه تلمادره می‌باشد. شایان‌ذکر است که این داده‌ها با MBE برابر ۲.۳۷- تمایل به برآورد کم‌تر از حد بارش در محدوده مورد مطالعه دارند. شرح کامل مقایسه آماری و نمودار همبستگی میان بارش ثبت‌شده در ایستگاه‌های باران-سنجی و بارش برآورد شده توسط ماهواره TRMM، به ترتیب در جدول ۱ و شکل ۴ ارائه گردیده است.

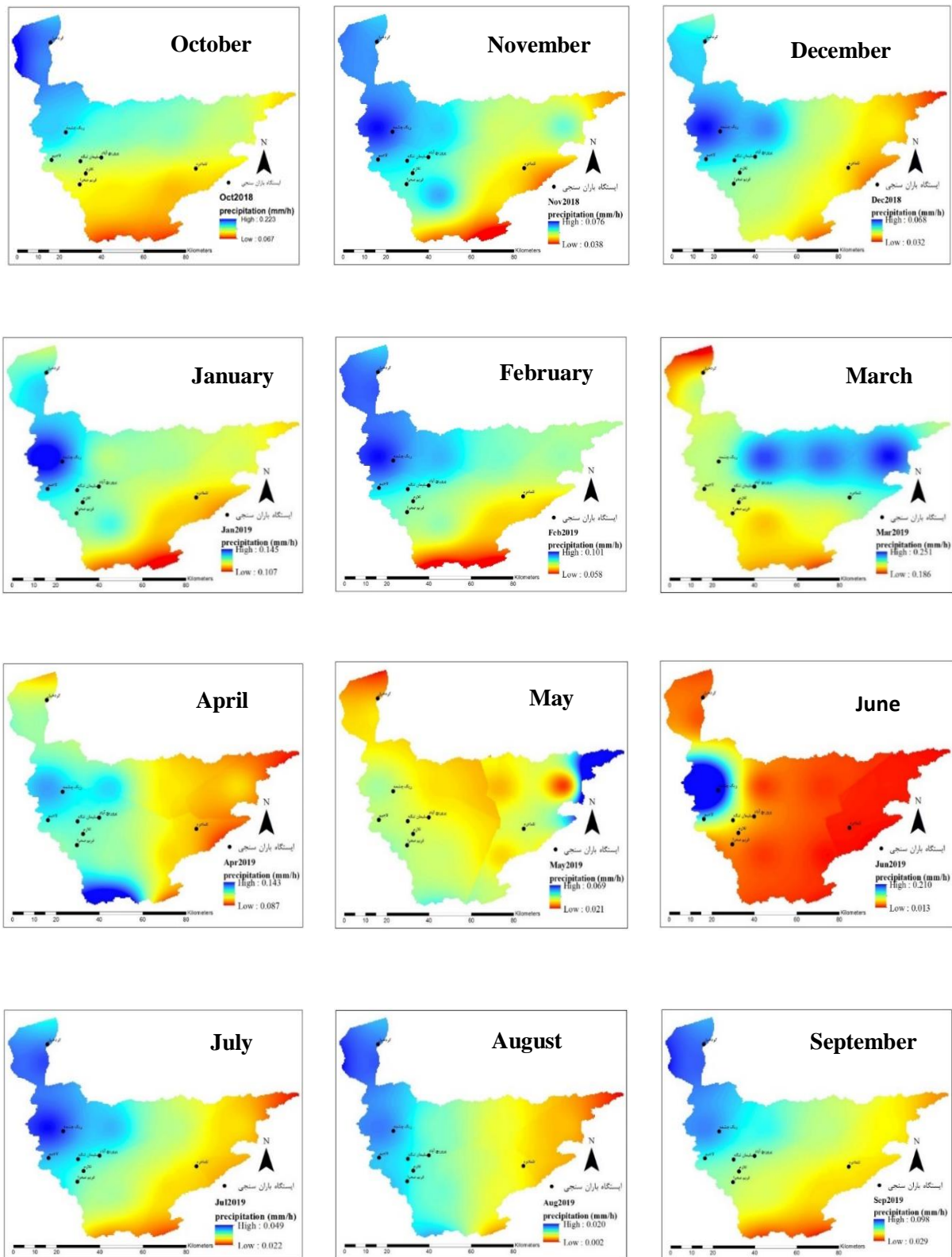
جدول ۱- مقایسه آماری میان بارش ثبت‌شده در ایستگاه‌های باران-

سنجی و بارش برآورد شده توسط ماهواره TRMM

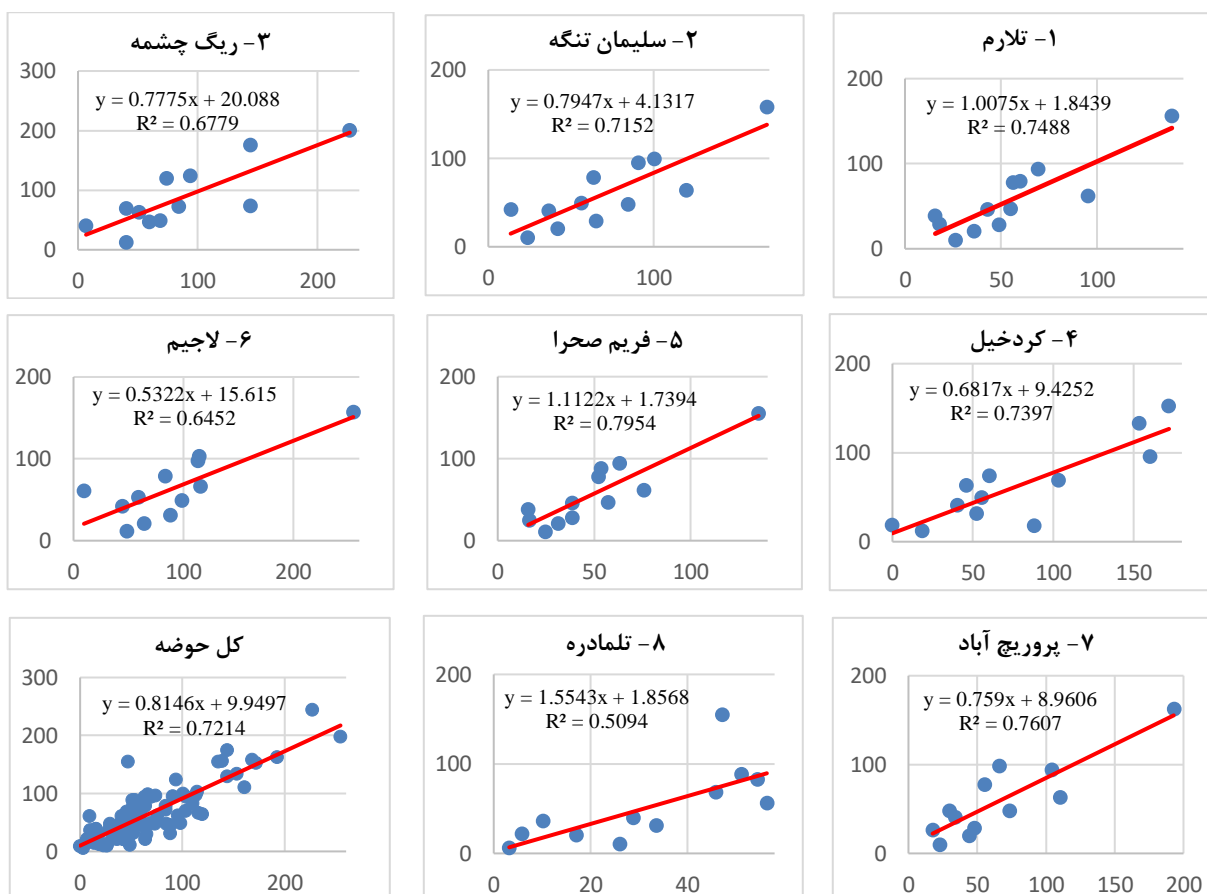
نام ایستگاه	R ²	RMSE	MAE	MBE
تلازم	۰.۷۵	۱۹.۴۸	۱۷.۹۲	۲.۲۶
سلیمان تنگه	۰.۷۲	۲۵.۱۴	۱۹.۴	-۱۱
ریگ چشمه	۰.۶۸	۳۳.۳۱	۲۹.۳۳	۰.۹۶
کردخیل	۰.۷۴	۳۲.۱۷	۲۴.۲۸	-۱۶
فریم صحرا	۰.۸	۱۹.۴۵	۱۷.۴	۷.۳۸
لاجیم	۰.۶۵	۴۴.۷۷	۳۵.۵	-۲۷
پروریج آباد	۰.۷۶	۲۴.۲۶	۲۱.۵۷	-۷.۱
تلمادره	۰.۵۱	۳۵.۸۵	۲۲.۵۸	۱۹.۴
کل حوضه	۰.۷۲	۲۶.۳۱	۲۰.۶۵	-۲.۴

۵-۲- تبخیر و تعرق

نمودار میانگین تغییرات تبخیر و تعرق که از داده‌های MOD16A2.v006 و با دقت زمانی ۸ روزه (برحسب kg/m².8day) برآورد گردیده است در شکل ۵ ارائه گردید. این نمودار حاکی از آن است که بیشترین میزان تبخیر و تعرق حوضه در اواخر زمستان و فصول بهار و تابستان رخ داده است که بیشینه آن مربوط به تاریخ ۲۰۱۹/۳/۹ میلادی معادل ۱۳۹۷/۱۲/۱۸ هجری شمسی است که مقدار عددی آن پس از تبدیل واحد برابر ۳.۲ میلی‌متر بر روز می‌باشد. هم‌چنین کم‌ترین میزان تبخیر و تعرق حوضه در سال آبی مورد مطالعه در فصول پاییز و زمستان رخ داده است که کمینه مقدار ثبت‌شده مربوط به تاریخ ۲۰۱۸/۱۲/۲۷ میلادی معادل ۱۳۹۷/۱۰/۶ هجری شمسی است که مقدار عددی آن برابر ۰.۴۱ میلی‌متر بر روز می‌باشد. توزیع مکانی و زمانی تبخیر و تعرق برآورد شده نیز در شکل ۶ قابل‌مشاهده است.



شکل ۳- توزیع مکانی و زمانی بارش، حاصل از ۱۲ تصویر ماهواره TRMM در محدوده زمانی و مکانی مورد مطالعه (برحسب mm/h)



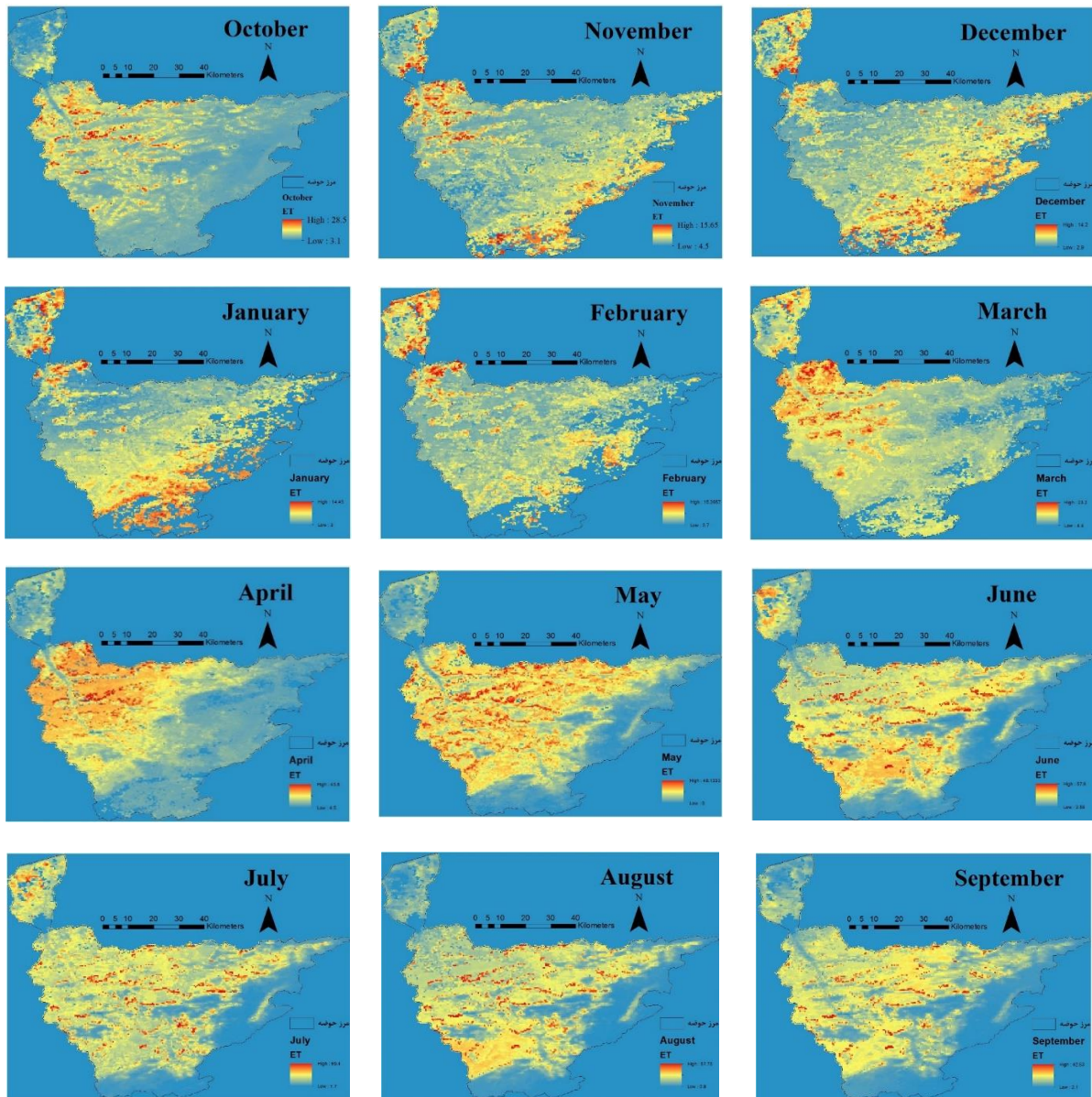
شکل ۴- نمودار همبستگی میان بارش برآورد شده توسط ماهواره TRMM (سطر) و بارش ثبت شده در ایستگاه‌های باران سنجی (ستون) برحسب میلی‌متر در ماه



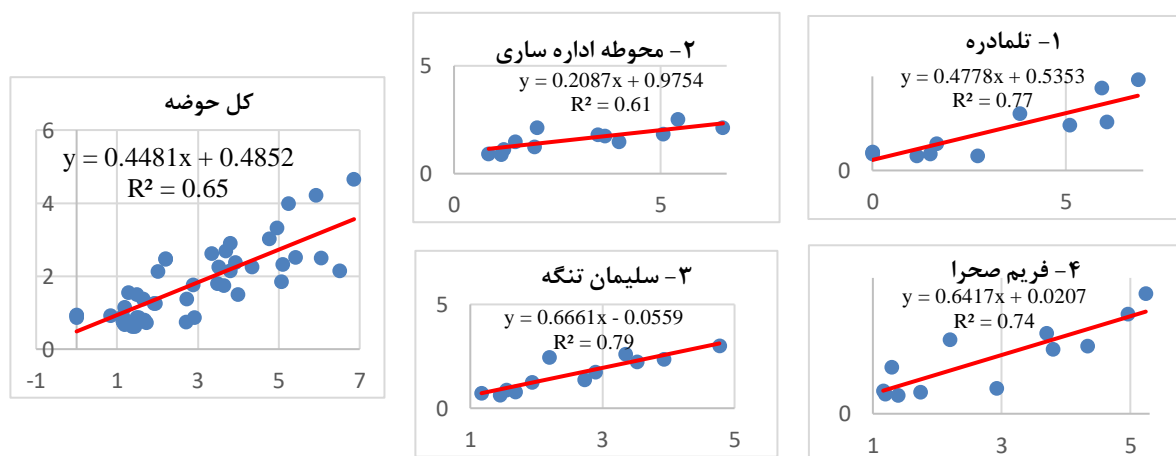
شکل ۵- نمودار میانگین تغییرات تبخیر و تعرق حاصل از MOD16A2.v006 با دقت زمانی ۸ روزه و برحسب $\text{kg}/(\text{m}^2.8\text{day})$

مناسب بین داده‌های حاصل از سنجنده و داده‌های زمینی با ضریب تعیین ۰,۶۵ است که بهترین ضریب تعیین مشاهده شده، ۰,۷۹ در ایستگاه سلیمان تنگه و پایین ترین آن ۰,۶۱ در ایستگاه محوطه اداره ساری می‌باشد. شایان ذکر است که این داده‌ها با MBE برابر ۱,۰۹- میل به برآورد کم‌تر از حد تبخیر و تعرق در محدوده مورد مطالعه دارند. شرح کامل مقایسه آماری و نمودار همبستگی میان تبخیر و تعرق ثبت شده در ایستگاه‌های زمینی و تبخیر و تعرق برآورد شده توسط سنجنده MODIS به ترتیب در جدول ۲ و شکل ۷ ارائه گردیده است.

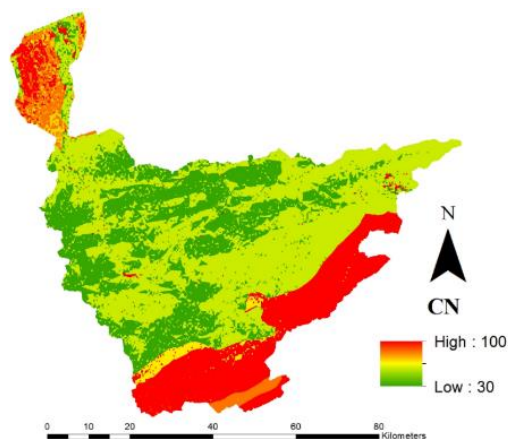
نوسانات میزان تبخیر و تعرق در حوضه آبریز تجن، در یک سال آبی، نسبتاً زیاد بوده و روند مشخصی ندارد؛ به عبارت دیگر نمی‌توان به‌طور کلی ادعا نمود که در کدام محدوده‌های مکانی حوضه، تبخیر و تعرق بیش‌تر یا کم‌تری مشاهده می‌شود؛ چراکه عوامل بسیاری نظیر پوشش گیاهی، ارتفاع، طول و عرض جغرافیایی بر تبخیر و تعرق تأثیرگذار هستند و این حوضه مملو از انواع پوشش گیاهی و مزارع کشاورزی در ارتفاعات مختلف می‌باشد. در گام بعد به‌وسیله‌ی شاخص‌های آماری، داده‌های حاصل از MODIS با داده‌های ثبت شده در ایستگاه‌های زمینی مقایسه گردید. نتایج حاصل از این مقایسه آماری حاکی از وجود همبستگی



شکل ۶- توزیع مکانی و زمانی تبخیر و تعرق حاصل از MOD16A2.v006 (برحسب $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{day})$)

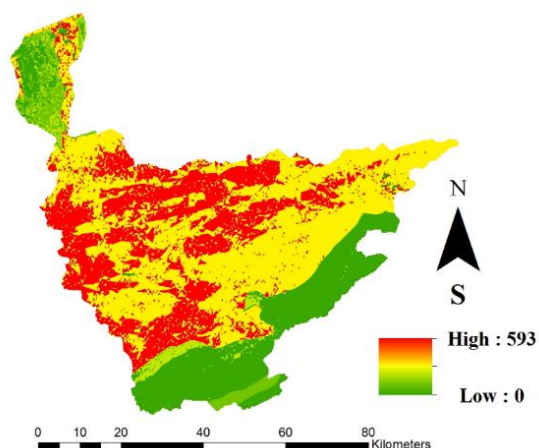


شکل ۷- نمودار همبستگی میان تبخیر و تعرق برآورد شده توسط ماهواره MODIS (سطر) و تبخیر و تعرق ثبت شده در ایستگاه زمینی (ستون) برحسب میلی‌متر در روز



شکل ۹- مقادیر منحنی CN برای نقاط مختلف حوضه آبریز تجن

معادله رواناب سازمان حفاظت خاک آمریکا، در پژوهش‌های مختلفی به‌وسیله‌ی روش‌های مرتبط با علوم هیدرولوژی مورد صحت‌سنجی قرار گرفته است که نتایج آن‌ها حاکی از دقت مناسب این معادله در تعیین و برآورد رواناب حوضه‌های آبریز بوده است [۳۱].



شکل ۱۰- مقادیر ضریب نگهداشت سطحی (S) برای نقاط مختلف حوضه آبریز تجن

بدین ترتیب با ترکیب داده‌های بارشی حاصل از TRMM و نقشه ضریب نگهداشت سطحی محاسبه‌شده طبق معادله مذکور، نقشه رواناب ماهانه حوضه آبریز مورد مطالعه تولید گردید. این نقشه که در شکل ۱۱ ارائه گردیده بیان می‌دارد که بیشترین ارتفاع رواناب در سطح حوضه آبریز تجن طی سال آبی مورد مطالعه مربوط به ماه‌های چهارم و پنجم میلادی یعنی آوریل و می (معادل با ۱۲ فروردین لغایت ۱۰ خرداد) است که حداکثر ارتفاع رواناب برآورد شده در این ماه‌ها به ترتیب ۲۹۴ و ۳۵۱ میلی‌متر می‌باشد. این در حالی است که طی این دو ماه در عمده مناطق حوضه رواناب زیادی برآورد نگردیده است

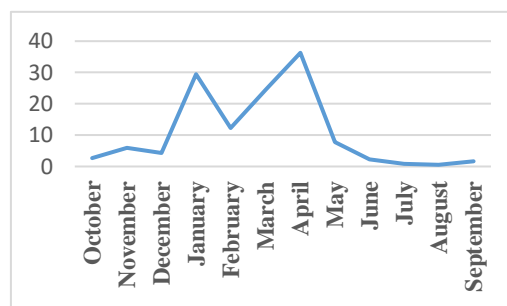
جدول ۲- مقایسه آماری میان تبخیر و تعرق ثبت‌شده در ایستگاه‌های

زمینی و تبخیر و تعرق حاصل از ماهواره MODIS

نام ایستگاه	R ²	RMSE	MAE	MBE
تلمادره	۰,۷۷	۱,۷۳	۱,۴۳	-۰,۹۸
محوطه اداره ساری	۰,۶۱	۲,۰۶۶	۱,۴۸	-۱,۴۵
سلیمان تنگه	۰,۷۹	۱,۰۵۸	۰,۹۶	-۰,۹۲
فریم صحرا	۰,۷۴	۱,۲۶	۱,۰۸	-۰,۹۹
کل حوضه	۰,۶۵	۱,۵۸	۱,۲۴	-۱,۰۹

۵-۳- رواناب

نمودار میانگین تغییرات رواناب تولیدشده در حوضه که با استفاده از داده‌های سنجش‌ازدوری و بر اساس معادله رواناب سازمان حفاظت خاک آمریکا تولید گردیده در شکل ۸ ارائه شده است.



شکل ۸- نمودار میانگین رواناب حوضه آبریز تجن (برحسب میلی‌متر در ماه)

بر این اساس به جهت تولید نقشه رواناب، با ادغام داده‌های Landsat 8 و MODIS و طبقه‌بندی آن طبق الگوریتم طبقه‌بندی جنگل تصادفی نقشه کاربری اراضی حوضه تولید شد. این نقشه به‌وسیله‌ی برداشت ۱۰۰ نمونه با توزیع مکانی جدید برای هر یک از کلاس‌های طبقه‌بندی مورد اعتبارسنجی واقع گردید که نتایج این امر حاکی از صحت کلی حدود ۶۰ درصد و ضریب کاپا ۰,۵۵ می‌باشد. مدل رقومی ارتفاعی استفاده‌شده در این پژوهش نیز از داده‌های SRTM با دقت مکانی ۳۰ متر حاصل شد که در پژوهش‌های مختلف مورد صحت‌سنجی واقع شده و از دقت مناسبی برخوردار می‌باشد [۳۰]. شکل ۹ مقادیر منحنی CN برای نقاط مختلف حوضه را نشان می‌دهد که بر اساس استاندارد CSC-CN بدست آمده و با ضریب نگهداشت سطحی ارائه شده در شکل ۱۰ رابطه عکس دارد.

و ارتفاع رواناب ۲۹۴ و ۳۵۱ میلی‌متری برآورد شده مربوط به مناطق سیل‌خیز حوضه است که به‌طور مکرر طی سالیان مختلف، با وقوع بارش‌های رگباری، شاهد وقوع سیل می‌باشد. مطابق با این داده‌ها، در مناطق مرکزی حوضه که عمدتاً دارای پوشش جنگلی هستند، رواناب کم‌تری نسبت به مناطق جنوبی و شمالی حوضه تولید می‌گردد. این بدان دلیل است که حوضه آبریز تجن از جنوب، متصل به رشته‌کوه البرز بوده و در جنوب آن شرایط مکانی کوهستانی همراه با شیب بسیار حاکم است؛ بنابراین علی‌رغم میزان بارش کم‌تر در این مناطق نسبت به سایر مناطق حوضه، رواناب بیشتری تولید می‌گردد. در شمال نیز به دلیل وقوع گردیدن شهر ساری در این منطقه و وجود خیابان‌های آسفالت شده و سایر خصوصیات حاکم بر مناطق شهری عمده بارش تبدیل به رواناب می‌گردد.

۵-۴- نفوذ

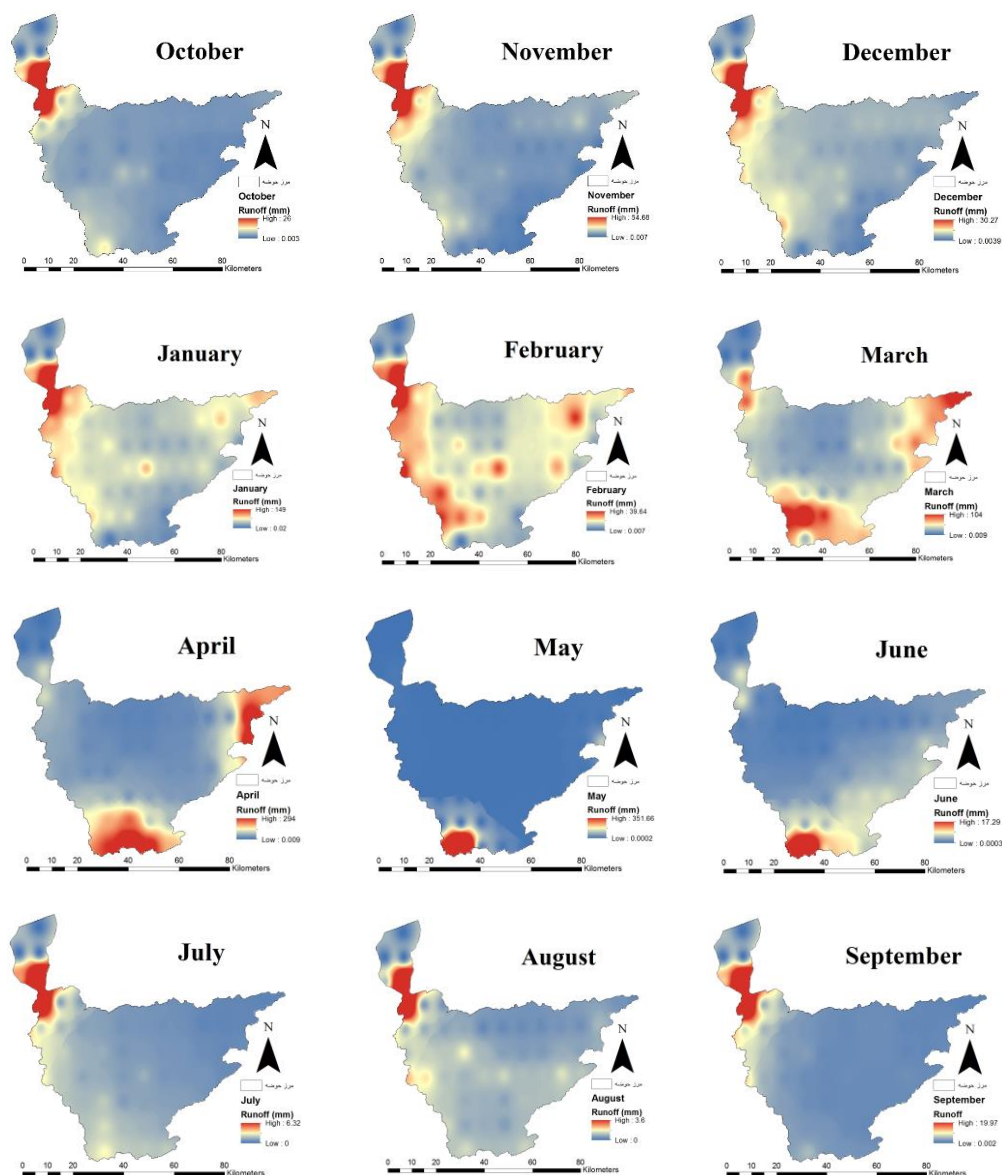
مطابق با آنچه ارائه گردید سنجش‌ازدور به‌طور مستقیم کمکی به برآورد مؤلفه‌ی چهارم بیلان آب یعنی نفوذ نمی‌کند و این مؤلفه از طریق معادلات و روابط مربوط به هیدرولوژی محاسبه می‌گردد که پرداختن به آن خارج از موضوع پژوهش است.

۶- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

بدیهی است که دقت ایستگاه‌های زمینی از داده‌های ماهواره‌ای به‌مراتب بیشتر است اما در حوضه‌های وسیع به دلیل هزینه‌های ساخت و نگهداری فراوان این ایستگاه‌ها و هم‌چنین زمان‌بر بودن استفاده از آن‌ها، در دسترس بودن روشی ارزان و سریع برای تحلیل‌های آماری در سطح کلان حائز اهمیت است؛ بنابراین در این پژوهش، جهت برآورد مؤلفه‌های بیلان آب، روشی سنجش‌ازدوری بر مبنای استفاده از داده‌های رایگان تحت پشتیبانی سامانه متن‌باز گوگل ارث انجین که سرعت پردازش در آن بسیار زیاد می‌باشد ارائه گردید. نتایج حاصل از مقایسه‌های آماری انجام‌گرفته بین مقادیر برآورد شده از طریق داده‌های سنجش‌ازدوری و مقادیر ثبت‌شده در ایستگاه‌های زمینی ارائه‌شده در بخش تحلیل نتایج و یافته‌ها حاکی از صحت و دقت مناسب این داده‌ها در کمی‌سازی بارش، تبخیر و تعرق و رواناب است. این پژوهش در محدوده

مکانی حوضه آبریز تجن انجام گردید که به نظر می‌رسد ایستگاه‌های زمینی واقع در آن، هم از نظر تعداد و هم از نظر سلامت به دلیل رونق کشاورزی و واقع گردیدن شهرستان ساری با عمده‌سکنه کشاورز در منطقه به نسبت دیگر حوضه‌های آبریز کشور خصوصاً حوضه‌های واقع در مناطق محروم یا محدوده‌هایی که دارای شرایط اقلیمی خاص نظیر کوهستان یا بیابان هستند شرایط بهتری را دارا باشند. با این توضیح اما مشاهده می‌شود که حتی در حوضه‌ای با این خصوصیات نیز، ایستگاه‌های زمینی از پراکندگی مناسبی برخوردار نیستند.

این موضوع حتی با فرض نگهداری و تعمیر مستمر و دقیق ایستگاه‌های زمینی علی‌رغم طول عمر ۷۰ ساله برخی از این ایستگاه‌ها، بر دقت برآورد مؤلفه‌های بیلان آب در سطح کل حوضه تأثیر به‌سزایی خواهد داشت؛ بنابراین به‌طور کلی می‌توان این نتیجه را گرفت که استفاده از سنجش‌ازدور برای تعیین مؤلفه‌های بیلان آب روشی بسیار سریع، ارزان و به نسبت دقیق می‌باشد که در حوضه‌های وسیع و فاقد ایستگاه‌های مناسب زمینی راهگشا خواهد بود. لازم به توضیح است که کلیه تحلیل‌های صورت گرفته در این پژوهش تنها از نگاه سنجش‌ازدوری و باهدف دستیابی به راه‌حلی سنجش‌ازدوری برای فراهم نمودن داده‌های لازم جهت تحلیل و بررسی متخصصان و کارشناسان هیدرولوژی بوده است، بنابراین بدیهی است که جهت بررسی دقیق‌تر هر یک از مؤلفه‌های بیلان آب، انجام پژوهش‌های تخصصی در حوزه‌ی هیدرولوژی بسیار ضروری و مهم می‌باشد به‌عنوان مثال می‌توان با ترسیم هیدروگراف واقعی حاصل از چند واقعه‌ی بارش و مقایسه آن با هیدروگراف حاصل از روش SCS، ضمن کالیبراسیون معادله رواناب مذکور برای منطقه مورد مطالعه، ضرایب آن را تصحیح نمود و یا با محاسبه‌ی میزان نفوذ، عدد نهایی بیلان آب حوضه را برآورد کرده و با عدد حاصل از ایستگاه‌های زمینی مقایسه نمود. هم‌چنین پیشنهاد می‌شود تا در پژوهش‌های آتی دیگر روش‌های سنجش‌ازدوری موجود نظیر برآورد تبخیر و تعرق از طریق الگوریتم SEBAL و یا سایر داده‌های بارشی نظیر GPM و CHIRPS استفاده و مورد ارزیابی قرار گیرد.



شکل ۱۱- توزیع مکانی و زمانی رواناب ماهانه حوضه آبریز تجن (میلی متر در ماه)

تقدیر و تشکر

بدین وسیله از شرکت آب منطقه‌ای مازندران جهت در اختیار قرار دادن داده‌های موردنیاز، تشکر می‌گردد.

مراجع

- [1] MohammadJani, I. Yazdaniyan, N. (2014). "The analysis of water crisis conjecture in Iran and the exigent measures for its management". TREND (TREND OF ECONOMIC RESEARCH). Vol.21, No.65-66, PP.117-144.
- [2] Babran, S. HonarBakhsh, N. (2008). "Water Crisis in in Iran and the World". Strategy. Vol.16, Issue 2, No.48, PP.193-212
- [3] Karamouz, M. Araghinejad, Sh. (2011). "Advanced hydrology". 2th ed. Amirkabir University of Technology Press.

- [4] Finnigan, J. R, Leuning. (2000). "Long Term Flux Measurements-Coordinate Systems and Averaging". In Proc. International Workshop for Advanced Flux Network and Flux Evaluation. Centre for Global Environmental Research, National Institute for Environmental Studies
- [5] Ahmadnejad, A. Golmaei, S. Ahmadi, M. (2010). "Simulation Rainfall-Ranoff Processes and water balance component in rivers basin (Case study: Korkorsar river basin)". Journal of Watershed Management Research, Vol.1, No.1, PP.74-87.
- [6] Kaboli Kafshgari, R. Tahmasbinejad, H. (2007). "Application of Remote Sensing in calculating the water balance of Sari plain". 1st Regional Conference of Water In Behbahan.
- [7] Miryaghouzbzadeh, M. Solaimani, K. Habib nejad roshan, M. Shahedi, K. Abbaspor, K. Akhvan, S. (2014). "Estimation and assessment of actual evapotranspiration using remote sensing data (Case study: Tamar basin, Golestan province, Iran)". Irrigation and Water Engineering. Vol.4, Issue.3, No.15, PP.89-102.
- [8] Victor Hugo R.Coelho, Suzana Montenegro, Cristiano N.Almeida, Bernardo B.Silva, Leidjane M.Oliveira, Ana Cláudia V.Gusmão, Emerson S.Freitas, Abelardo A.A.Montenegro. (2017). "Alluvial groundwater recharge estimation in semi-arid environment using remotely sensed data". Journal of Hydrology. Vol.548, PP.1-15
- [9] Matthew R.Hermana, A.Pouyan Nejadhashemi, Mohammad Abouali, Juan Sebastian, Hernandez-Suarez, Fariborz Daneshvar, Zhen Zhang, Martha C.Anderson, Ali M.Sadeghi, Christopher R.Hain, Amirreza Sharifie. (2018). "Evaluating the role of evapotranspiration remote sensing data in improving hydrological modeling predictability". Journal of Hydrology. Vol.556, PP.39-49
- [10] Dejuan Jiang and Kun Wang. (2019). "The Role of Satellite-Based Remote Sensing in Improving Simulated Streamflow". Journals Water. Vol.11, Issue.8, PP.1-29
- [11] Jefferson S. Wong, Xuebin Zhang, Shervan Gharari, Rajesh R. Shrestha, Howard S. Wheeler, and James S. Famiglietti. (2021). "Assessing Water Balance Closure Using Multiple Data Assimilation– and Remote Sensing–Based Datasets for Canada". Journal of Hydrometeorology. Vol.22, Issue.6, PP.1569–1589
- [12] Deputy Director for Research and Studies, Iran Water Resources Co. (2004). "Recipients and criteria for dividing and coding watersheds and study areas across the country". Journal of Department of Energy, No.282.
- [13] Afshin, Y. (1994). "Iran Rivers". Ministry of Energy and Jamab Consulting Engineers Co.
- [14] Javid.F. (2002). "Assessments of Daily Snow with Microwave Sensor". M.Sc. thesis. Shahid Beheshti University.
- [15] Franchito, S. H. Rao, V. B. Vasques, A. C. Santo, C. M. E. & Conforte, J. C. (2009). "Validation of TRMM precipitation radar monthly rainfall estimates over Brazil". Journal Geophysical Research. Vol.114, PP.1–9.
- [16] Maidment, R. I, Grimes, D. I. F. Allan, R. P. Greatrex, H. Rojas, O. & Leo, O. (2012). "Evaluation of satellite- based and model re-analysis rainfall estimates for Uganda". Meteorological Applications. Vol.20, No.3, PP.308–317.
- [17] Huffman, G.J. R.F. Adler, D.T. Bolvin, G. Gu, E.J. Nelkin, K.P. Bowman, Y. Hong, E.F. Stocker, D.B. Wolff. (2007). "The TRMM Multi-satellite Precipitation Analysis: Quasi-Global, Multi-Year, Combined-Sensor Precipitation Estimates at Fine Scale". J. Hydrometeor. Vol.8, No.1, PP.38-55.
- [18] Mahdavi, M. (2009). "Introduction to hydrology". 2th ed. Tehran University Press.
- [19] Sharifian, H. Mirlatifi, S.M. Ghahraman, B. (2006). "Comparison of the different methods of estimated reference evapotranspiration (compound and temperature) with standard method and analysis of aridity effects". Journal of Agricultural Sciens And Natural Resources. Vol.13, No.1, PP.19-30.
- [20] Glenn, E.P. A.R. Huete, P.L. Nagler, S.G. Nelson. (2008). "Relationship between remotelysensed vegetation indices canopy attributes and plant physiological processes: What vegetation indices can and cannot tell us about the landscape". Sensors. Vol.8, PP.2136-2160.
- [21] Kustas, W. M, Anderson. (2009). "Advances in thermal infrared remote sensing for land surface modeling". Ag For Meteor. Vol.149, PP.2071-2081.
- [22] Ward, R. C. and Robinson, M. (1990). "Principles of Hydrology". McGraw-Hill, New York, USA.

- [23] Ebrahimian Ghajari Y, Barari Siavoshkolaei M. (2019). "Runoff Production Potential Zoning Using Fuzzy GIS-MCDA Models (Case Study: Tajan River Basin)". JGST. Vol.9, No.1, PP.1-14.
- [24] Alizadeh A. (2019). "Principles of applied Hydrology". 7th ed. Mashhad. Imamreza International University Press.
- [25] Beven, K. (1989). "Changing ideas in hydrology the case of physically-based models". J. Hydrol. Vol.105, No.1, PP.157-172.
- [26] R.K.Sahu, S.K.Mishra, T.I.Eldho. (2010). "Comparative evaluation of SCS-CN-inspired models in applications to classified datasets". Agricultural Water Management. Vol.97, PP.749-756.
- [27] Mishra S. K Tyagi J.V. Singh V.P. and Singh R. (2006). "SCS-CN-based modeling of sediment yield". Journal of Hydrology. Vol.324, Issues.1-4, PP.301-322.
- [28] Lerner, D. N. A. S. Lssar and L. Simmers. (1990). "Groundwater Recharge. A Guide to Understanding and Estimating Natural Recharge". IAH Int Contrib Hydrogeol 8. Heinz Heise, Hannover, De Vries, J. and Simmers, 1. 2002. PP. 345.
- [29] Ziaei, H.R. (2017). "Quantitative Analysis of Water Balance Components in Zayandehrud Basin Using Remote Sensing". M.Sc. thesis. Isfahan University of Technology.
- [30] Javanroei, F. Abkar, A.A. (2015). "Evaluation of altitude accuracy of free ASTER and SRTM DEMs by static ground GPS data from Turkmen Sahara region of Golestan province of Iran". 22st National Geomatics Conference. Tehran.
- [31] Satheeshkumar, S. Venkateswaran, S. Kannan, R. (2017). "Rainfall-runoff estimation using SCS- CN and GIS approach in the Pappiredipatti watershed of the Vaniyar sub basin, South India". Modeling Earth Systems and Environment. Vol.3, No.24, PP.1-8.