

برآورد آب مصرفی کشاورزی دهستان سودلانه با استفاده از الگوریتم برآورد تبخیر - تعلق SEBAL

حسین کریمی طبقه^۱، پرویز کردوانی^{۲*} و مسعود مهدوی^۳

(۱) دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی روستایی، واحد علوم تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

(۲)* استاد گروه جغرافیا، واحد علوم تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

(۳) استاد گروه جغرافیا، واحد علوم تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

*نویسنده مسئول مکاتبات: Kardavani.P@Gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۷/۰۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۴/۱۴

چکیده:

عمده‌ترین مصرف کننده منابع آب کشور، بخش کشاورزی است، در نتیجه بیشترین حجم تلفات آب نیز مربوط به این بخش می‌باشد. یکی از مهم‌ترین فرآیندهای تلفات آب کشاورزی مربوط به تبخیر - تعلق واقعی است زیرا طی فرایند تبخیر- تعلق (ET) حجم بالایی از آب خاک سطحی به صورت تبخیر و نیز آب خاک زیر سطحی از طریق پوشش گیاهی به صورت تعلق به اتمسفر انتقال داده می‌شود. از این رو برآورد تبخیر - تعلق واقعی یک ضرورت راهبردی در مدیریت منابع آب کشاورزی محسوب شده و از اصلی‌ترین پارامترهای بیلان آب شناخته شده است. در این تحقیق با استفاده از الگوریتم SEBAL و سنجنده MODIS میزان تبخیر - تعلق واقعی دهستان سودلانه شهرستان قوچان در سال ۲۰۱۱ مورد ارزیابی قرار گرفته است نتایج ماهانه نشان می‌دهد بیشترین مقدار تبخیر - تعلق مربوط به ماه‌های April, June, May بوده است که به ترتیب با میانگین ۲۶، ۲۱ و ۱۷ میلی‌متر در صدر قرار گرفته است. بالا بودن مقدار تبخیر - تعلق در فصل بهار با توجه به نقشه کاربری اراضی این منطقه که کشت دیم را غالب می‌داند قابل توجیه است. میانگین تبخیر - تعلق واقعی سالانه دهستان سودلانه در این سال برابر با ۲۶۰ میلی‌متر محاسبه شده است. که حداکثر آن معادل ۶۴۴ میلی‌متر مربوط به مناطق شرقی دهستان (مانند روستاهای ددانلو و دیزادیز) بوده و حداقل آن که معادل ۱۰۲ میلی‌متر بوده است، مربوط به مناطق مرکزی و غربی دهستان (مانند روستاهای داودلی و دولو) می‌باشد. نتایج این مطالعه با داده‌های زمینی دهستان سودلانه، حکایت از وجود همبستگی معنی‌داری می‌باشد. بدین معنی که کمینه تبخیر-تعلق واقعی روستاهای مرکزی و غربی دهستان تا ۱۰۲ میلی‌متر بوده است که با میزان افزایش چاه‌های احداثی خشک شده و میزان بالای مهاجرت این روستاها (به ویژه روستای دولو) رابطه مستقیم داشته است. همچنین مطالعه همزمان نگارنده با موضوع، اولویت‌بندی مکانی الزام به مدیریت منابع آب روستاهای دهستان سودلانه، این همبستگی را تایید می‌نماید.

کلید واژه‌ها: تبخیر-تعلق؛ سنجنش از دور؛ سود لانه؛ SEBAL

مقدمه

کشاورزی به اندازه‌ای رشد کرده که امروزه بیش‌تر از منابع آب تجدیدپذیر مصرف می‌شود (Bournaris et al., 2015) از این رو واکاوی این پدیده در مواردی از قبیل، برنامه‌ریزی آبیاری، تعیین تبخیر مخازن آب، محاسبه بیلان آب، تخمین رواناب و مطالعات اقلیم‌شناسی دارای یک ضرورت راهبردی بوده و از مهم‌ترین پارامترهایی است

پدیده تبخیر - تعلق سبب تلفات آب و رطوبت از سطوح آبی، خاک و پوشش گیاهی می‌شود و برآورد آن از طریق روشی مناسب با توجه به میزان اندک نزولات جوی و محدودیت منابع آب در ایران اهمیت زیادی دارد (نظری و کاویانی، ۱۳۹۵، ۲). زیرا مصرف آب در بخش

برآورد تبخیر- تعرق مناطق کشاورزی، تعیین یکنواختی محصول، تنش آبی و مدیریت شبکه‌های آبیاری بکار گرفته شد و پس از آن به صورت گسترده و در مطالعات مشابه مورد استفاده قرار گرفت (Bastiaanssen *et al.* 1998).

Bastiaanssen و همکاران (۱۹۹۶) میزان مصرف آب در شبکه‌های آبیاری در پاکستان را با استفاده از مدل SEBAL و تصاویر سنجنده AVHRR مورد بررسی قرار دادند که نتایج آن‌ها نشان داد سنجنده‌های مختلفی در این الگوریتم می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. Hafeez (۲۰۰۳) برای تخمین تبخیر - تعرق واقعی فصلی با استفاده از الگوریتم SEBAL، از تصاویر سنجنده‌های ASTER، MODIS و Landsat در حوضه Uprilis فیلیپین استفاده نمود که نتایج نشان داد، تصاویر ماهواره Landsat دقت بالاتری در این الگوریتم دارند. در مطالعه دیگری، مقایسه‌ای بین مقادیر تبخیر- تعرق واقعی به دست آمده از سنجنده‌های AVHRR و MODIS با داده‌های زمینی انجام گرفته است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که همبستگی ET به دست آمده از تصاویر MODIS با داده‌های زمینی بسیار مناسب، ارزیابی شده بود و ضریب همبستگی بالایی (۰/۹۶) را نشان داد، این در حالی است که نتایج ET به دست آمده از تصاویر AVHRR ضریب همبستگی کمتری (۰/۷۷) را از خود نشان داده است که حکایت از برتری MODIS دارد (Batra *et al.*, 2006).

در مطالعه‌ای که توسط Hemakumara و همکاران، (۲۰۰۳) در منطقه‌ای نسبتاً وسیع با محصولات زراعی مختلف در سریلانکا صورت گرفت، مقایسه نتایج تبخیر- تعرق واقعی محاسبه شده با استفاده از تصاویر NOAA و الگوریتم SEBAL با مقادیر اندازه‌گیری شده در محل با استفاده از scintillometer، خطایی ۱۷ درصدی را در بازه زمانی ۱۰ روز نشان داد. اما این خطا در محاسبات ماهانه به حدود ۱٪ تقلیل یافت. در مطالعه‌ای دیگر که توسط Zwart و Bastiaanssen (۲۰۰۷) با استفاده از روش

که در جهت برآورد آب مورد نیاز گیاه، تعیین دقیق تبخیر- تعرق آن و در نهایت رسیدن به محصول بیشتر، جزو کارایی آن محسوب می‌شود. (سلطانی و همکاران ۱۳۹۱، ۱۳۹۱). روش‌های مختلفی برای تخمین تبخیر- تعرق واقعی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های زمینی برای مناطق وسیع توسعه داده شده است (Granger 1997; Vidal and Perrier 1989). مدل‌های تخمین تبخیر- تعرق به دو دسته کلی تک منبعی^۱ (که در آن خاک و گیاه به صورت مجموعه واحد در نظر گرفته می‌شوند) و دو منبعی^۲ (که در آن خاک و گیاه به صورت اجزای جدا در نظر گرفته می‌شوند) تقسیم‌بندی می‌شوند. در مدل‌های تک منبعی، تنها از یک مقاومت آئرو دینامیک در فرآیند انتقال آب-گرم استفاده می‌شود و فرض می‌شود تمامی سطح زمین، تحت تأثیر دما و رطوبت قرار می‌گیرد (Huntingford *et al.* 2000; Nishida *et al.* 2003). حال آن که در مدل‌های دو منبعی، از چندین مقاومت مجزا برای گیاه و خاک استفاده می‌شود. بنابراین در مناطقی که پوشش گیاهی پراکنده وجود دارد استفاده از مدل‌های دو منبعی بجای مدل تک منبعی توصیه می‌شود، زیرا خاک و گیاه به عنوان دو عنصر مجزا در نظر گرفته شده‌اند (Norman *et al.*, 1995). از روش‌های دو منبعی مطرح می‌توان به TSEB (Kustas and Norman, 1999; Norman *et al.*, 1995) و STSEB (Sánchez *et al.*, 2008) و از روش‌های معروف تک منبعی می‌توان به SEBAL (Bastiaanssen, 2000; Bastiaanssen *et al.*, 1998) و SEBS (Su, 2007) (METRIC (Allen *et al.*, 2007) اشاره کرد.

یکی از روش‌های تخمین تبخیر- تعرق واقعی، الگوریتم بیان انرژی در سطح زمین (SEBAL) است که توسط Bastiaanssen ارائه شده است (Bastiaanssen, 1995). SEBAL یک مدل بر مبنای روابط تجربی و فیزیکی است که ابتدا در مصر و اسپانیا با تصاویر Landsat و برای

1. Single-Source

2. Two-Source

پرداختند باتوجه به نتایج به دست آمده حداکثر میزان تبخیر - تعرق واقعی برای سه محدوده فوق به ترتیب برابر ۹/۱۳ - ۷/۲۹ و ۲/۳۷ میلی متر در روز بدست آمد

حلبیان و راویان (۱۳۹۵) در مطالعه‌ای تحت عنوان: بررسی تبخیر- تعرق پتانسیل و پارامترهای اقلیمی تأثیر گذار در شهر قوچان به این نتیجه رسیدند که روند عوامل مؤثر بر تبخیر - تعرق در افزایش یا کاهش تبخیر - تعرق پتانسیل نقش محسوسی نداشته است همچنین نتایج نشان داد که افزایش درجه حرارت و کاهش رطوبت ماه مارس باعث افزایش تبخیر - تعرق ماهانه شده است که طی دوره ۳۰ ساله حدود ۱۴ میلیمتر به تبخیر ماه مارس اضافه شده است که این روند افزایش می‌تواند در منابع آب و نیاز آبی گیاهان در دراز مدت تأثیر داشته باشد. هدف از انجام این تحقیق، ارزیابی مقدار آب مصرفی کشاورزی و مراتع با برآورد نقشه تبخیر-تعرق برای سال ۲۰۱۱ با استفاده از الگوریتم SEBAL در محدوده دهستان سودلانه است.

مواد و روش‌ها

۱. منطقه مورد مطالعه

شهرستان قوچان به عنوان یکی از شهرستان های استان خراسان رضوی با مساحتی حدود ۳۸۹۰ کیلومتر مربع بین مختصات جغرافیایی ۵۲° ۵۷' تا ۵۹° ۰۸' طول شرقی و ۳۸° ۳۶' تا ۳۷° ۴۱' عرض شمالی قرار دارد که از جانب شمال در محدوده بخش باجگیران، با کشور ترکمنستان مرز مشترک دارد. همچنین از طرف شمال شرقی و شرق با شهرستان درگز و از جهت جنوب شرقی با شهرستان چناران و از سوی جنوب با شهرستان نیشابور، از جهت جنوب غربی به شهرستان اسفراین و از طرف غرب و شمال غربی به شهرستان شیروان محدود می‌شود (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵) (شکل ۱).

بر اساس گزارش توجیهی اجرای قانون تعاریف و ضوابط تقسیمات کشوری، سودلانه نام تنها رودخانه منطقه است

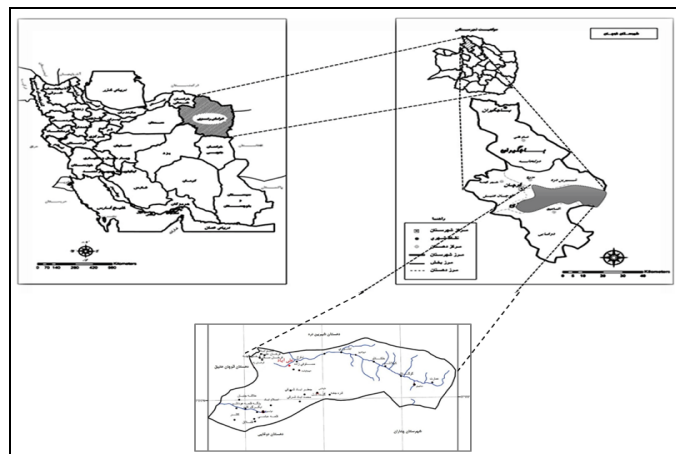
SEBAL و تصاویر سنجنده MODIS در اراضی کشت گندم در مکزیک صورت گرفت، در بازه زمانی ۱۱۰ روز، خطایی حدود ۹٪ بین مقادیر محاسبه شده توسط این الگوریتم و اندازه‌گیری‌های میدانی گزارش شد. در مطالعه‌ای که توسط Du و همکاران (۲۰۱۳) در دشت Sanjiang در چین صورت گرفت، با استفاده از ۱۲ تصویر سنجنده MODIS در طول ۱۸۴ روز دوره رشد از ماه می تا انتهای ماه اکتبر و با بهره‌گیری از مدل SEBAL، میزان اختلاف ET واقعی روزانه و اندازه‌گیری انجام شده توسط Eddy Covariance به صورت میانگین ۱۰/۵٪ گزارش شد. همچنین نتایج این مطالعه نشان از خطای ۸/۸ درصدی در مقیاس فصلی داشت. Khalil (۲۰۱۳) در مطالعه‌ای تغییرات ET را در کشور مصر بر روی ۲۰ ایستگاه مورد مطالعه قرار داد و نتیجه گرفت تغییرات اقلیمی میزان تبخیر-تعرق را افزایش داده است. مطالعه Hong و همکاران (۲۰۰۹)، امکان استفاده از الگوریتم SEBAL جهت محاسبه تبخیر-تعرق واقعی با استفاده از تصاویر MODIS مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به نتایج فوق، به کارگیری الگوریتم SEBAL برای تصاویر MODIS نتایج قابل قبولی جهت تخمین تبخیر-تعرق ارائه می‌نماید

ثنایی نژاد و همکاران (۱۳۹۰) به مطالعه تبخیر - تعرق واقعی از طریق سنجنده مودیس در محدوده دشت مشهد - قوچان (در روزهای ۱۴ خرداد، ۱۰ تیر و ۴ مرداد) پرداختند آن‌ها با استفاده از الگوریتم سبال و با احتساب توپوگرافی به دست آمده نشان دادند که نواحی دارای پوشش گیاهی متراکم و دمای پایین دارای مقادیر بالای تبخیر - تعرق بوده و مناطقی که دارای دمای بالا و پوشش گیاهی پراکنده و کم هستند از مقدار تبخیر-تعرق کمی برخوردار هستند.

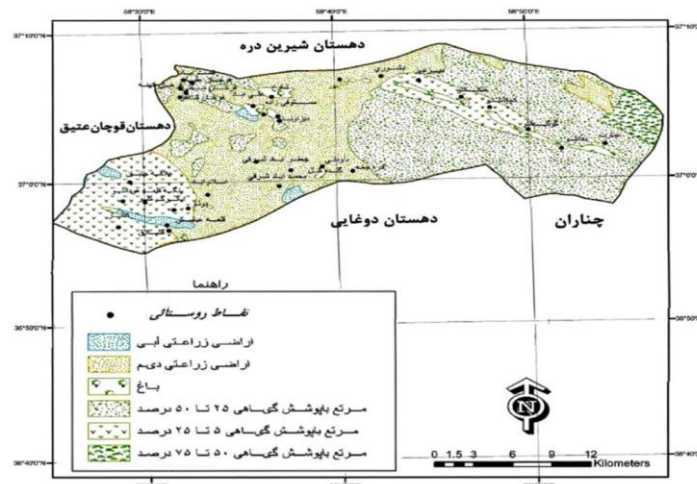
در مطالعه‌ای امیدوار و همکاران (۱۳۹۱) به ارزیابی تبخیر - تعرق واقعی با استفاده از سنجنده استرو مدل متریک در ایستگاه‌های سینوپتیک مشهد، گل‌مکان و قوچان

عتیق محدود و ارتفاع آن از سطح دریا ۱۴۱۰ متر است. مرکز این دهستان روستای علی آباد، در ۶ کیلومتری شهرستان قوچان می باشد. براساس اطلاعات مرکز آمار ایران و نیز بررسی های میدانی، این دهستان دارای، ۳۲ ده مسکونی، ۱۳ مزرعه مسکونی، ۴ مزرعه غیر مسکونی و ۱ مکان مسکونی می باشد. جاده آسپایی قوچان، مشهد از این دهستان عبور می کند، تعداد ۹ روستا در غرب جاده و بقیه در شرق جاده قرار دارند.

که به اترک ریخته می شود، همچنین با توجه به اطلاعات موجود در فرمانداری و جهاد کشاورزی شهرستان قوچان، این دهستان با وسعتی حدود ۵۷۵/۰۴ کیلومتر مربع، ۱۰/۹۸ درصد از مساحت شهرستان قوچان را در بر گرفته است. دهستان سودلانه با ۳۶° ۵۷' تا ۳۷° ۰۵' عرض شمالی و ۵۸° ۲۲' تا ۵۸° ۵۴' طولی شرقی و در جنوب شرق شهرستان قوچان قرار گرفته است (شکل ۱). از طرف شمال به دهستان شیرین دره، از جنوب به دهستان دوغایی، از شرق به چناران و از غرب به دهستان قوچان



شکل ۱. موقعیت منطقه مطالعاتی (دهستان سودلانه)



شکل ۲. کاربری اراضی دهستان سودلانه

عمق ۵ سانتی متری خاک (سانتی گراد)، رطوبت نسبی (درصد) تعداد ساعات آفتابی (ساعت) و بارش ماهانه (میلی متر) است.

۲-۲. داده‌های ماهواره‌ای

برای تولید هر یک از ترم‌های معادله بیلان انرژی به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم از تعدادی محصولات سنجنده MODIS در کنار داده‌های زمینی استفاده شده است. در هر ماه بین دو تا چهار تصویر انتخاب شد و از بین این تصاویر، تصویری که کمترین میزان پوشش ابر را دارد برگزیده شد. در جدول ۱ فهرستی از داده‌های دریافت شده از سایت ODIS نشان داده شده است.

جدول ۱. داده‌های اولیه مورد استفاده در الگوریتم بیلان انرژی به همراه تفکیک مکانی و زمانی داده‌ها

توضیحات	Spatial Resolution	Time Resolution	Data type	Code	Downloaded Data
دمای سطح زمین	۱ کیلومتر	لحظه‌ای	رستر	MOD11L2	TS
شاخص سطح برگ	۱ کیلومتر	۴ روزه	رستر	MCD15A3	LAI
شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده	۱ کیلومتر	۱۶ روزه	رستر	MOD13A2	NDVI
تابش باندهای ۱ تا ۷ به جز باند ۵ برای تخمین آلبدو	۱ کیلومتر	لحظه‌ای	رستر	MOD02	Reflectance (all of band)

۳-۱. شار تشعشع خالص در سطح زمین (R_n)

گام نخست در روند محاسباتی الگوریتم SEBAL، محاسبه شار تشعشع خالص در سطح زمین (R_n) با استفاده از رابطه ذیل است (Allen et al., 2002):

$$R_n = (1 - \alpha)R_s \downarrow + R_L \downarrow - R_L \uparrow - (1 - \varepsilon_0)R_L \downarrow \quad (2)$$

که در آن R_s↓ تابش ورودی طول موج کوتاه، R_L↓ تابش ورودی طول موج بلند و R_L↑ تابش خروجی طول موج بلند می‌باشند (تمامی پارامترهای فوق برحسب W.m⁻² می‌باشند). α آلبدو و ε₀ گسیلمندی سطح می‌باشند.

شکل ۲ نقشه کاربری اراضی دهستان سودلانه را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود اراضی زراعی دیم، کشت غالب منطقه هستند که در بخش میانی دهستان جای دارند.

۲. داده‌های مورد استفاده

۲-۱. داده‌های زمینی

مطالعات مبتنی بر سنجش از دور مستلزم داده‌های زمینی است. داده‌های زمینی مورد استفاده در این مطالعه شامل داده‌های هواشناسی ایستگاه‌های سینوپتیک می‌باشد. داده‌هایی که از اطلاعات ایستگاه‌های سینوپتیک مورد استفاده قرار گرفته‌اند شامل دمای روزانه کمینه، بیشینه و متوسط هوا (درجه سانتی گراد)، سرعت باد (متر بر ثانیه)، فشار بخار (میلی بار)، فشار هوا (میلی بار)، دمای

۳. مفاهیم و روابط الگوریتم SEBAL

در مدل SEBAL، نرخ تبخیر-تعرق واقعی با به‌کارگیری تصاویر ماهواره‌ای (در این مطالعه سنجنده MODIS)، و داده‌های هواشناسی و با استفاده از بیلان انرژی در سطح، محاسبه می‌شود. بیلان انرژی سطح زمین با استفاده از رابطه ۱ تخمین زده می‌شود:

$$\lambda ET = R_n - G - H \quad (1)$$

در این رابطه، λET شار گرمای نهان تبخیر و تعرق (W.m⁻²)، R_n شار تشعشع خالص در سطح زمین (W.m⁻²)، G شار گرمایی زمین (W.m⁻²) و H جریان گرمای محسوس به سمت جو (W.m⁻²) می‌باشند. در ادامه اجزای معادله بیلان انرژی شرح داده می‌شود.

۳-۲. شار گرمایی زمین (G)

شار گرمایی زمین در واقع نرخ ذخیره حرارت در خاک و گیاه در اثر انتقال است. SEBAL ابتدا نسبت G/R_n را با استفاده از رابطه تجربی (۳) که توسط Bastiaanssen ارائه شده تخمین می‌زند (Bastiaanssen, 2000):

$$\frac{G}{R_n} = T_s / \alpha (0.0038\alpha + 0.0074\alpha^2)(1 - 0.98NDVI^4) \quad (3)$$

که در آن، T_s دمای اصلاح نشده سطح (K) و NDVI شاخص پوشش گیاهی است (Allen et al., 2002).

۳-۳. شار حرارتی محسوس (H)

شار حرارتی محسوس، در واقع هدر رفت حرارت به هوا از طریق همرفت و انتقال می‌باشد. رابطه به کار رفته جهت محاسبه این ترم مطابق ذیل می‌باشد (Allen et al., 2002):

$$H = (\rho \times C_p \times dT) / r_{ah} \quad (4)$$

$$H = (\rho \times C_p \times dT) / r_{ah}$$

که در آن ρ چگالی هوا (kg.m^{-3})، C_p گرمای ویژه در فشار معین ($1004 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$)، dT اختلاف دمای هوای (K) بین دو ارتفاع مشخص (که طبق پیشنهاد دستورالعمل SEBAL، ۰/۱ متر و ۲ متر در نظر گرفته می‌شود) و r_{ah} مقاومت آئرونامیکی در برابر انتقال حرارت (Sday.m^{-1}) است (Allen et al., 2002). حل رابطه (۴) به جهت وجود دو پارامتر نامشخص dT و r_{ah} مشکل است. جهت تسهیل این محاسبه، از دو پیکسل "سرد" و "گرم" (که در آن‌ها می‌توان H را پیش‌بینی نمود و dT را تخمین زد) استفاده می‌شود. پیکسل سرد در مناطقی که NDVI بالا و LST پایینی دارند و جزء زمین‌های کشاورزی هستند انتخاب شد. پیکسل گرم نیز در اطراف زمین‌های کشاورزی در بین زمین‌هایی که NDVI پایین و LST بالایی دارند انتخاب شد.

۴. نرخ تبخیر- تعرق واقعی

ارتفاع تبخیر- تعرق لحظه‌ای از رابطه (۵) قابل محاسبه است (Allen et al., 2002):

$$ET_{inst} = 3600 \frac{\lambda ET}{\lambda P_w} \quad (5)$$

که در آن ET_{inst} ارتفاع تبخیر- تعرق لحظه‌ای (mm.hr^{-1})، عدد ۳۶۰۰ تبدیل واحد زمان از ثانیه به ساعت، λ گرمای نهان تبخیر یا گرمای جذب شده برای تبخیر یک کیلوگرم آب (J.kg^{-1}) و ρ_w چگالی آب (معادل ۱۰۰۰ Kg.m^{-3}) می‌باشد.

مراحل تبدیل مقدار تبخیر- تعرق به بازه فصلی به شرح زیر است:

۱. تعیین طول فصل مورد نظر
۲. تعیین دوره زمانی که هر تصویر ماهواره‌ای (در آن فصل مورد بررسی)، نماینده آن تعداد روز می‌باشد.
۳. محاسبه ET_r تجمعی برای دوره زمانی مشخص شده در مرحله قبل (برابر با مجموع مقادیر ET_r روزانه در این دوره زمانی).
۴. محاسبه ET تجمعی در هر دوره زمانی با توجه به رابطه زیر صورت می‌گیرد:

$$ET_{period} = ET_r F_{period} \cdot \sum_1^n ET_{r-t_i} \quad (6)$$

که در آن، ET_{r-24} مقدار روزانه ET_r ، n تعداد روزهای دوره زمانی و $ET_r F_{period}$ نماینده ET_r در آن دوره است که از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$ET_r F_{period} = \frac{ET}{ET_r} \quad (7)$$

۵- نتایج و بحث

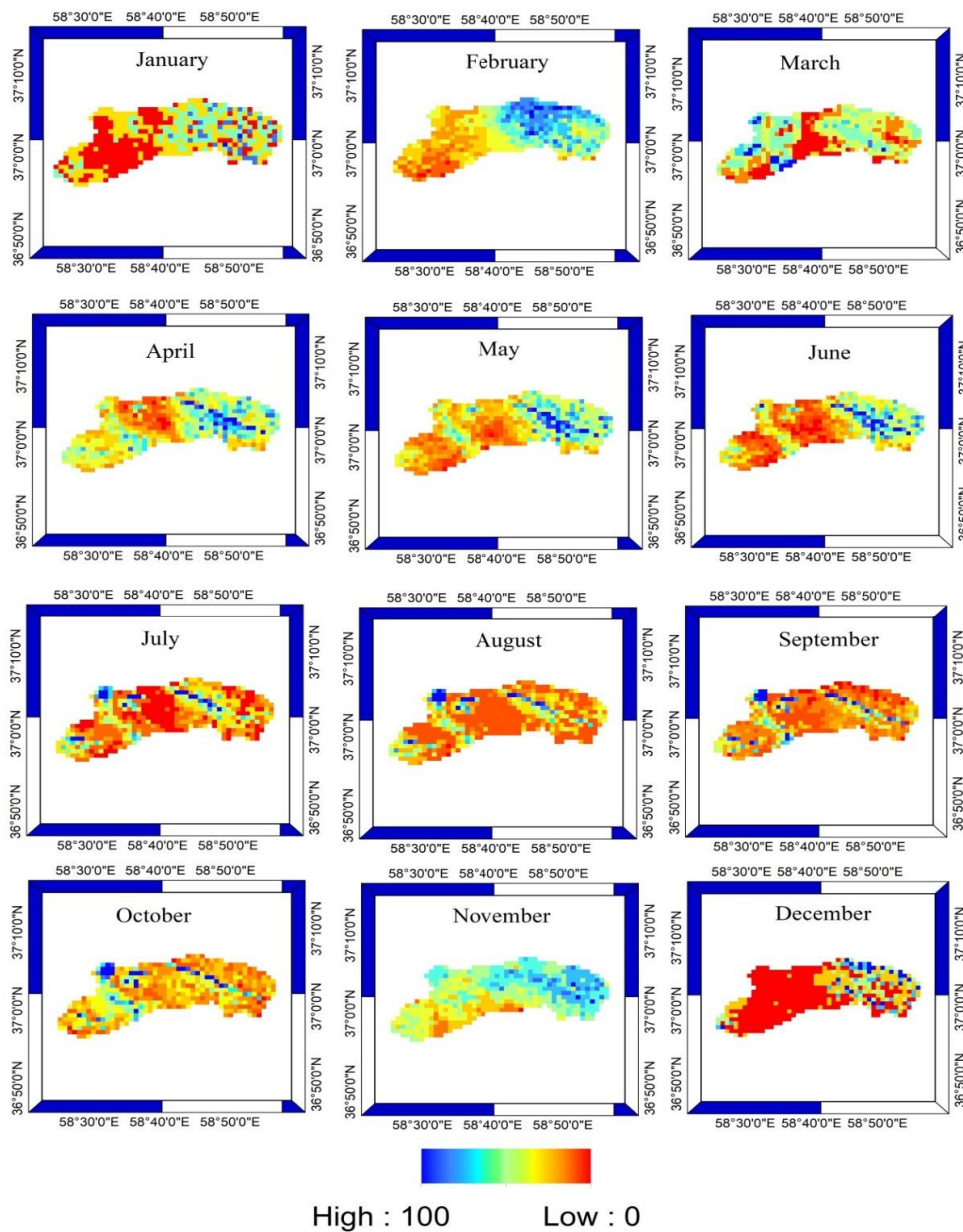
۵-۱. مجموع ارتفاع تبخیر- تعرق واقعی ماهانه دهستان

سودلانه

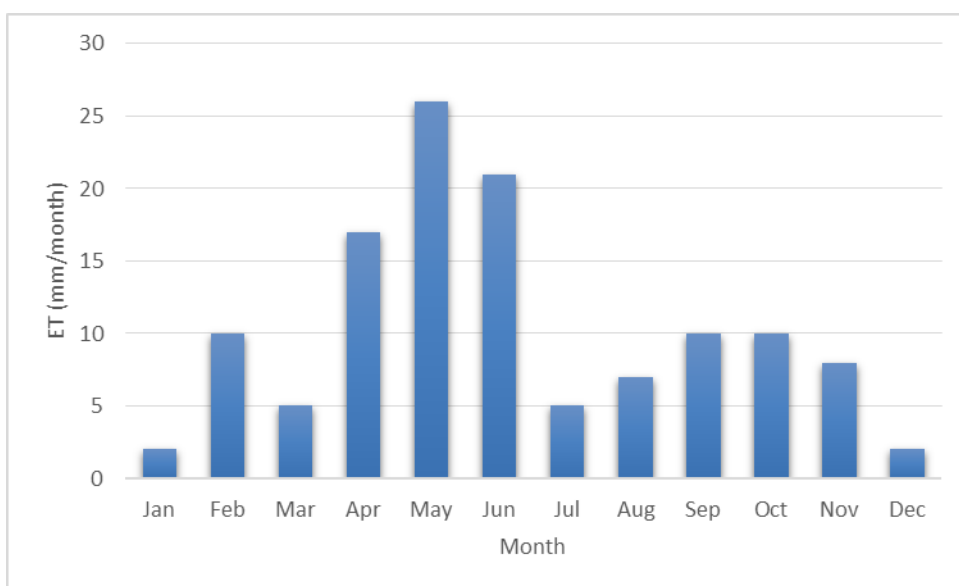
ارتفاع تبخیر- تعرق واقعی ماهانه دهستان سودلانه در سال ۲۰۱۱ با استفاده از الگوریتم SEBAL و سنجنده

عمده زمین‌های کشاورزی منطقه در کاربری کشت دیم قرار دارند (شکل ۲)، بالاتر بودن مقادیر تبخیر- تفرق واقعی در ماه‌های فصل بهار چندان دور از انتظار نیست و این نتایج نشان می‌دهد که خوشبختانه تا سال ۲۰۱۱ میلادی، کشت غالب دهستان سودلانه همان کشت دیم باقی مانده است.

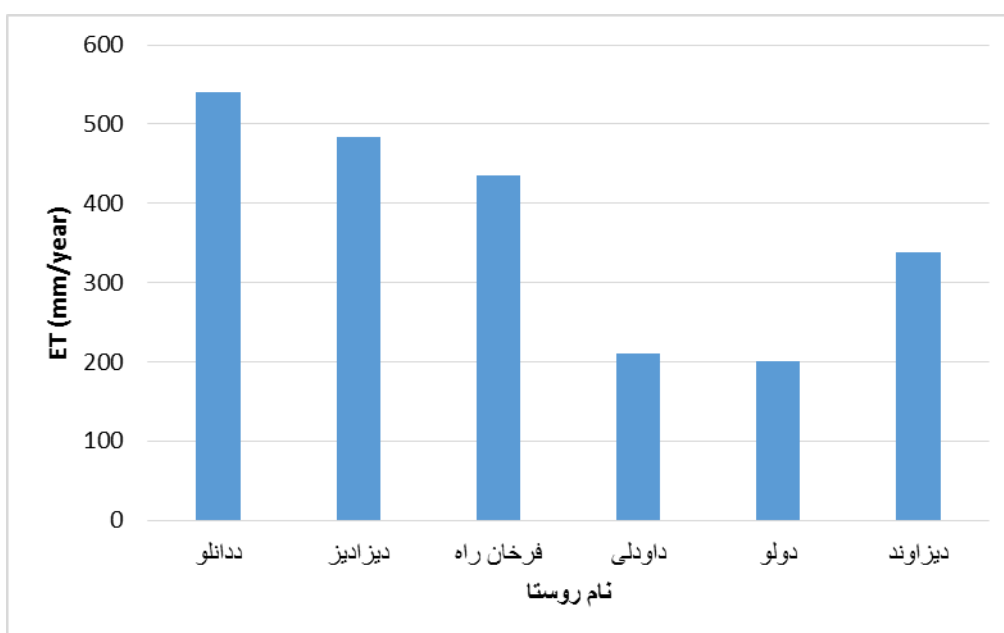
MODIS محاسبه شد (شکل ۳). توزیع مکانی مقادیر تبخیر- تفرق واقعی ماهانه نشان می‌دهد که مناطق شرقی این دهستان در اکثر ماه‌ها رکورددار بالاترین میزان تبخیر- تفرق بوده‌اند. نمودار تغییرات مقادیر ماهانه تبخیر- تفرق واقعی در این دهستان نیز در شکل ۴ نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که ماه‌های می، ژوئن و آوریل به ترتیب با میانگین ۲۶، ۲۱ و ۱۷ میلی‌متر در ماه در صدر ماه‌های با تبخیر- تفرق بالا قرار دارند. با توجه به این که



شکل ۳. توزیع مکانی ارتفاع تبخیر- تفرق ماهانه دهستان سودلانه در سال ۲۰۱۱ میلادی به میلی‌متر



شکل ۴. مقادیر میانگین ارتفاع تبخیر- تعرق واقعی ماهانه دهستان سودلانه در سال ۲۰۱۱ میلادی



شکل ۵. مقادیر متوسط تبخیر- تعرق واقعی سالانه در روستاهای نمونه دهستان سودلانه در سال ۲۰۱۱ میلادی

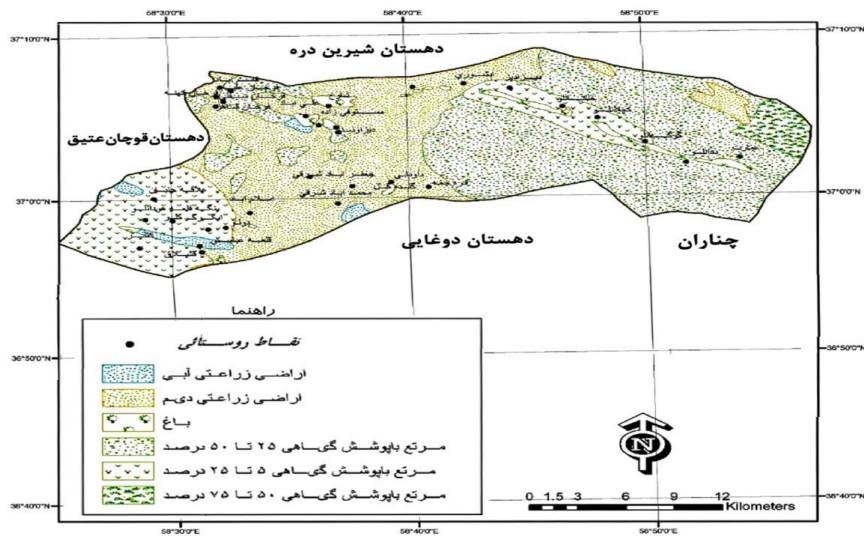
در این مناطق بوده باشد که باعث افزایش آب مصرفی کشاورزی شده است. مناطق مرکزی و غربی این دهستان که روستاهای داودلی و دولو را شامل می‌شود کم‌ترین میزان تبخیر- تعرق واقعی را تا میزان ۱۰۲ میلی‌متر در سال نشان می‌دهند. این کاهش میزان تبخیر- تعرق واقعی در این مناطق می‌تواند ناشی از عدم وجود آب‌های سطحی و زیرزمینی کافی به نسبت مناطق شرقی دهستان باشد که البته باعث کاهش سطح زیر کشت کشاورزی نیز در این مناطق شده است. شکل ۵ نیز مقادیر ارتفاع تبخیر- تعرق واقعی (آب مصرفی کشاورزی و مراتع) را در ۶ روستای نمونه دهستان سودلانه نشان می‌دهد.

مجموع ارتفاع تبخیر- تعرق واقعی سالانه دهستان سودلانه
مجموع ارتفاع تبخیر- تعرق واقعی سالانه دهستان سودلانه در سال ۲۰۱۱ میلادی از جمع مقادیر ماهانه به‌دست آمد که نتایج آن در شکل ۴ نشان داده شده است. میانگین تبخیر - تعرق واقعی دهستان سودلانه در این سال برابر ۲۶۰ میلی‌متر محاسبه شد. این مقدار در مناطق شرقی دهستان (روستاهای ددالانو و دیزادیز) به ۶۴۴ میلی‌متر در سال نیز رسیده است که حاکی از مصرف زیاد آب کشاورزی در این حوالی می‌باشد. سر شاخه اترک و رودخانه سودلانه در شرق این دهستان می‌تواند یکی از مهم‌ترین دلایل جایگزینی کشت آبی به جای کشت دیم

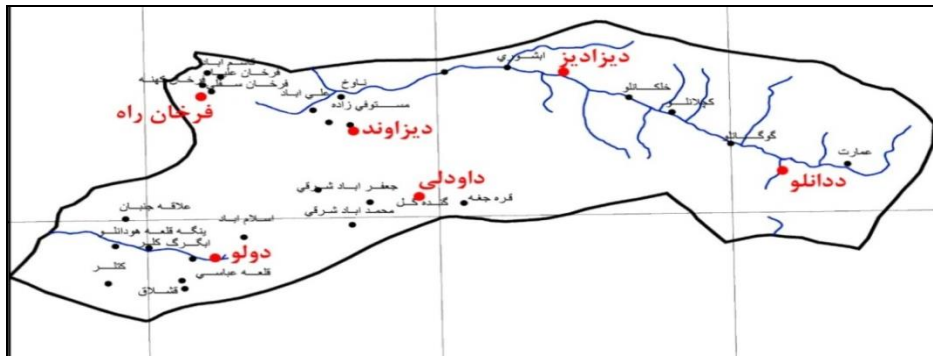
جدول ۲. الگوی کشت، سطح زیر کشت محصولات آبی و دیم روستاهای نمونه دهستان سودلانه - به هکتار

روستاهای نمونه دهستان سودلانه	الگوی کشت	سطح زیر کشت محصولات آبی	درصد	سطح زیر کشت محصولات دیم	درصد
روستاهای شرقی دهستان	دیزادیز	سیب- انگور- گندم- جو- یونجه	۵۹	۲۵۷	۴۱
	ددالانو	سیب- گندم- جو- یونجه	۶۵	۶۰	۳۵
روستاهای مرکزی دهستان	دیزاوند	گندم- جو- انگور یونجه	۴۷	۳۰۰	۵۳
	داودلی	انگور- گندم- جو بادام	۲۶	۱۳۰۰	۷۴
روستاهای غربی دهستان	دولو	گندم- جو- انگور	۳۸	۶۰۰	۶۲
	فرخان راه	گندم- جو- انگور	۲۰	۲۰	۸۰

منبع: مدیریت جهاد کشاورزی شهرستان قوچان (۱۳۹۶)



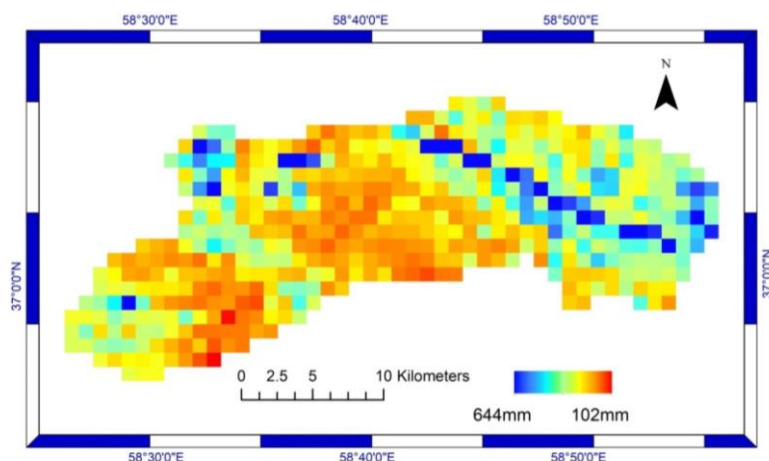
شکل ۶. نقشه کاربری اراضی دهستان سودلانه



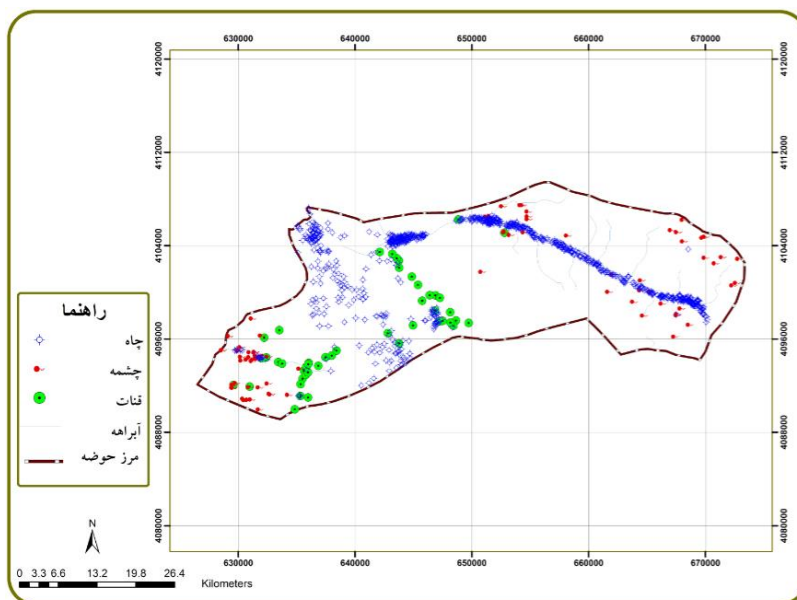
شکل ۷. نقشه آب‌های سطحی و روستاهای دهستان سودلانه

(شکل ۲) مطالعات ثنائی نژاد و همکاران (۱۳۹۰)، نتایج مشابهی را در پی داشته است. همچنین این نتایج با نقشه آب‌های سطحی و زیر سطحی و الگوی کشت مناطق شرقی، مرکزی و غربی دهستان همخوانی دارد که تمامی عناصر فوق باعث خشک شدن تدریجی آب‌های سطحی و زیرزمینی مرکز و غرب دهستان و نتیجتاً افزایش مهاجرت سه دهه گذشته روستاهای فوق به ویژه (دولو و داودلی) را داشته است (جدول ۲ و شکل ۹).

مقایسه نتایج تبخیر- تعرق واقعی الگوریتم SEBAL و سنجنده MODIS با تراکم پوشش گیاهی منطقه (جدول ۲ و شکل ۶ و ۹) همبستگی نسبتاً خوبی را نشان می‌دهد به طوری که میانگین آن در مناطق شرقی دهستان که تا ۶۴۴ میلی‌متر در سال رسیده است داراری بیشترین تراکم پوشش گیاهی بوده و مناطق غرب دهستان که میانگین سالانه آن تا ۱۰۲ میلی‌متر در سال برآورد شده است کم‌ترین پوشش گیاهی را به خود اختصاص داده است



شکل ۸. توزیع مکانی مجموع ارتفاع تبخیر- تعرق واقعی سالانه دهستان سودلانه در سال ۲۰۱۱ میلادی به میلی متر



شکل ۹. نقشه چاه‌ها، چشمه‌ها و

دولو، در سه دهه گذشته مهاجر فرست‌ترین روستای دهستان بوده است (کریمی طبقه، ۱۳۹۴، ۱۰۱). و روستاهای غرب دهستان اغلب کشت دیم و روستاهای شرق اغلب به کشت آبی و باغات مشغول بوده‌اند (جدول ۲ و شکل ۶).

نتیجه‌گیری

تبخیر- تعرق یکی از اصلی‌ترین پارامترهای بررسی هیدرولوژیکی است. زیرا سبب تلفات آب و رطوبت از سطوح آبی، خاک و پوشش گیاهی می‌شود و برآورد آن از طریق روشی مناسب با توجه به میزان اندک نزولات جوی

قنات دهستان سودلانه با توجه به مطالعات میدانی، داده‌های جهاد کشاورزی و نقشه‌های مربوطه، چنین به نظر می‌رسد در قسمت غرب و مرکز دهستان (مانند: روستاهای داودلی، دیزاوند، فرخان‌راه و دولو) کاهش شدید آب‌های سطحی، پایین رفتن سطح ایستایی آب‌های زیرزمینی را به همراه داشته است، و به دلیل کمبود منابع آب سطحی، فرآیند خشک شدن چاه‌ها و قنات تسریع گشته است (شکل ۹). این فرآیند همبستگی معنی‌داری را با کاهش تبخیر - تعرق واقعی تا ۱۰۲ میلی‌متر و نیز افزایش روند مهاجرت داشته است. به طوری که روستای

مطالعه همزمان نگارنده با روش دلفی از دیدگاه خبرگان و کارشناسان، روستای دولو در الزام به مدیریت منابع آب کشاورزی بیشترین وزن را به خود اختصاص داده است و از طرف دیگر روستاهای شرق دهستان مانند، دیزادیز به دلیل قرار گرفتن در مسیر سرشاخه اترک و رودخانه سودلانه بیشترین کشت آبی باغات منطقه را داشته است و بدلیل رطوبت زیاد (که تا ۶۴۴ میلی متر رسیده است) و کاهش مهاجرت کمترین وزن را در الزام به مدیریت منابع آب از سوی خبرگان و کارشناسان داشته است. نتایج ماهانه تبخیر- تعرق واقعی در این دهستان نشان داد که ماه‌های April, June, May به ترتیب با میانگین ۲۶، ۲۱ و ۱۷ میلی‌متر در ماه در صدر ماه‌های با تبخیر- تعرق بالا قرار دارند. بالاتر بودن مقادیر تبخیر - تعرق در ماه‌های فصل بهار با توجه به نقشه‌های کاربری اراضی این منطقه که کشت دیم را غالب می‌داند قابل توجیه است. توزیع مکانی مقادیر تبخیر - تعرق واقعی سالانه نیز نشان می‌دهد میانگین تبخیر - تعرق واقعی دهستان سودلانه در این سال برابر ۲۶۰ میلی‌متر محاسبه شده است. این مقدار در مناطق شرقی دهستان (روستاهای ددانلو و دیزادیز) به ۶۴۴ میلی‌متر در سال نیز رسیده است که حاکی از مصرف زیاد آب کشاورزی در این حوالی می‌باشد. مناطق مرکزی و غربی این دهستان که روستاهای داودلی و دولو را شامل می‌شود کمترین میزان تبخیر - تعرق واقعی را تا میزان ۱۰۲ میلی‌متر در سال نشان می‌دهند. عدم وجود آب‌های سطحی و زیرزمینی کافی به نسبت مناطق شرقی دهستان، می‌تواند از عمده‌ترین دلایل پایین بودن مقادیر تبخیر- تعرق واقعی در این روستاها باشد. از آنجا که امکان اندازه‌گیری میدانی با وسایل مورد نیاز مانند لایسیمتر وزنی وجود نداشت نتایج حاصله با متون مختلف مقایسه گردید که نسبتاً رضایت‌بخش بود. بنابراین، این تحقیق نشان داد که الگوریتم SEBAL توانایی خوبی در برآورد مقادیر تبخیر تعرق واقعی (آب مصرفی کشاورزی و مراتع) دهستان سودلانه داشته است.

و محدودیت منابع آب در ایران جهت برنامه‌ریزی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. (Nazari Kaveyani, 2016, 20) در این تحقیق، تبخیر - تعرق واقعی دهستان سودلانه از توابع شهرستان قوچان استان خراسان رضوی در سال ۲۰۱۱ میلادی بررسی شد. الگوریتم مورد استفاده در تحقیق، الگوریتم برآورد تبخیر - تعرق واقعی SEBAL است که یکی از پرکاربردترین الگوریتم‌های موجود می‌باشد. همچنین از تصاویر ماهواره‌ای سنجنده MODIS استفاده شد. محصولات دمای سطح زمین، شاخص سطح برگ، شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال‌شده و آلدو اصلی‌ترین تصاویر مورد استفاده در این تحقیق بوده‌اند. مطالعات Bastiaanssen (۱۹۹۵)، Hafeez (۲۰۰۳)، Hemakumara و همکاران (۲۰۰۳)، Shu و همکاران (۲۰۰۶)، Wang و همکاران (۲۰۰۸)، Du و همکاران (۲۰۱۳) و Jia و همکاران (۲۰۱۳) همه نشان دهنده کارایی بهتر روش SEBAL در برآورد تبخیر و تعرق واقعی در مقیاس‌های مختلف می‌باشد. همچنین نتایج مطالعات مباحثی و همکاران (۱۳۸۷) کریمی و همکاران (۱۳۹۱) ملک‌پور و همکاران (۱۳۹۵) فرهادی بانسوله و همکاران (۱۳۹۵) نشان از دقت و توانایی بالای الگوریتم SEBAL و ضریب خطای پایین (کم‌تر از ۱۰٪) با داده‌های لایسیمتری را دارد. نتایج مطالعه فوق با مطالعات ثنائی‌نژاد و همکاران (۱۳۹۰) و یعقوب‌زاده و برومند نسب (۱۳۹۲) که وجود همبستگی بین افزایش تبخیر و تعرق واقعی و پوشش گیاهی متراکم را تأیید می‌نماید، هم راستا است.

روستای دولو، که در غرب دهستان واقع گردیده، در حقیقت موقعیت مکانی آن در ابتدای دشت فوق بحرانی مشهد-قوچان واقع شده است (han et al., 2012, 158). این روستا در سه دهه گذشته، به‌عنوان، مهاجر فرست‌ترین روستای منطقه به دلیل واقع شدن در پایین دست رودخانه هودانلو، خشکسالی و کمبود شدید آب‌های زیرزمینی مطرح بوده که متأسفانه در حال تخلیه شدن می‌باشد (کریمی طرقله، ۱۳۹۴، ۱۰۱) لذا براساس

قدردانی

سرکارخانم دکتر فریده اسدیان به دلیل ترغیب، اهتمام و

نظارتشان کمال تقدیر و تشکر را می‌نمایم.

بدینوسیله از زحمات جناب آقای دکتر رحیم سرور

(مدیریت محترم گروه جغرافیای علوم و تحقیقات) و

منابع

- امیداور، ج. و همکاران ۱۳۹۱. برآورد تبخیر و تعرق واقعی با استفاده از تصاویر سنجنده استرو مدل متریک، فصلنامه علمی- پژوهشی مهندسی آب و آبیاری، سال سوم شماره نهم، ص ۳۸-۴۹.
- ثنایی‌نژاد، س.ح. نوری، س. هاشمی نیاس. ۱۳۹۰. برآورد تبخیر و تعرق واقعی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در منطقه مشهد، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۵ (۳): ۵۴۷-۵۴۰.
- حلبیان، ا.ح. و راویان، م. ۱۳۹۵. بررسی تبخیر - تعرق پتانسیل و پارامترهای اقلیمی تأثیرگذار در شهر قوچان. چهارمین کنگره علمی - پژوهشی توسعه و ترویج علوم کشاورزی. منابع طبیعی و محیط‌زیست ایران.
- سلطانی، ا.، میرلطیفی، س.م. و دهقانی، ح. ۱۳۹۱. برآورد تبخیر - تعرق مرجع با استفاده از داده‌های محدود هواشناسی در شرایط اقلیمی مختلف، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی) دانشگاه فردوسی مشهد. ۲۶ (۱): ۱۴۹-۱۳۹.
- فرهادی بانسوله، ب.، کریمی، ع. و حصادی، ه. ۱۳۹۵. تبخیر و تعرق واقعی با استفاده از الگوریتم سبس و تصاویر لندست در ماهیدشت. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). ۳۰ (۳): ۷۱۶-۷۰۶.
- کریمی طبقه، ح. ۱۳۹۴. جغرافیا و مهاجرت‌های روستا- شهری. انتشارات هوشمند تدبیر. چاپ اول. تهران.
- کریمی، ع.، فرهادی بانسوله، ب. و حصادی، ه. ۱۳۹۱. برآورد تبخیر و تعرق واقعی در مقیاس منطقه‌ای با استفاده از الگوریتم سبال و تصاویر لندست. مجله آبیاری وزهکشی ایران. شماره ۴.
- مباشری، م.، خاوریان، ح. و ضیاییان، پ. ۱۳۸۷. برآورد تبخیر و تعرق با استفاده از تصاویر ماهواره Tera و سنجنده Modis در منطقه عمومی گرگان. مدرس علوم انسانی. ۱۱(۱): ۱۲۱-۱۴۲.
- مدیریت جهاد کشاورزی شهرستان قوچان. ۱۳۹۶. واحد برنامه‌ریزی و آمار.
- مرکز آمار ایران. ۱۳۹۵. سرشماری عمومی نفوس و مسکن. شهرستان قوچان.
- ملک‌پور، م.، بابازاده، ح.، کاوه، ف. و ابراهیمی پاک، ن.ع. ۱۳۹۵. برآورد تبخیر و تعرق واقعی و بهره‌وری آب گندم با استفاده از الگوریتم سبال و تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵ در دشت قزوین. نشریه پژوهش آب در کشاورزی. ۳۰ (۴): ۵۶۹-۵۸۲.

- Allen, R. G., Tasumi, M. and Trezza, R. 2007. Satellite-based energy balance for mapping .
- Bastiaanssen, W. 2000. SEBAL-based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey. Journal of hydrology. 229: 87-100.
- Bastiaanssen, W. G. M., Van der Wal, T. and Visser, T. N. M. 1996. Diagnosis of regional evaporation by remote sensing to support irrigation performance assessment. Irrig. Drain. Syst. 10(1): 1-23.
- Bastiaanssen, W., Pelgrum, H., Wang, J., Ma, Y., Moreno, J., Roerink, G., and Van der Wal, T. 1998. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL): Part 2: Validation. Journal of hydrology. 212: 213-229.
- Bastiaanssen, W.G.M. 1995. Regionalization of surface flux densities and moisture indicators in composite terrain: A remote sensing approach under clear skies in Mediterranean climates. Landbouwniversiteit te Wageningen.
- Batra, N., Islam, S., Venturini, V., Bisht, G., and Jiang, L. 2006. Estimation and comparison of evapotranspiration from MODIS and AVHRR sensors for clear sky days over the Southern Great Plains. Remote Sensing of Environment. 103: 1-15.

- Bournaris, T. *et al.* 2015. Economics of water Management in Agriculture. CRC press Taylor & Francis Group, an Informal business Boca Raton, London New York.
- Du, J., Song, K., Wang, Z., Zhang, B., and Liu, D. 2013. Evapotranspiration estimation based on MODIS products and surface energy balance algorithms for land (SEBAL) model in Sanjiang Plain, Northeast China. *Chinese geographical science*. 23: 73-91.
- Granger, R. 1997. Comparison of surface and satellite-derived estimates of evapotranspiration using a feedback algorithm. In, *Proceedings of 3rd International Workshop on Application of Remote Sensing in Hydrology*. pp. 71-81.
- Hafeez, M.M. 2003. Water accounting and productivity at different spatial scales in a rice irrigation system: a remote sensing approach.
- Hemakumara, H., Chandrapala, L., and Moene, A.F. 2003. Evapotranspiration fluxes over mixed vegetation areas measured from large aperture scintillometer. *Agricultural water management*, 58: 109-122.
- Hong, S.-h., Hendrickx, J.M., and Borchers, B. 2009. Up-scaling of SEBAL derived evapotranspiration maps from Landsat (30m) to MODIS (250m) scale. *Journal of hydrology*. 370: 122-138.
- Huntingford, C., Verhoef, A., and Stewart, J. 2000. Dual versus single source models for estimating surface temperature of African savannah. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*. 4: 185-191.
- Jia D., Kaishan S Zongming W., and Dianweil. 2013. Evapotranspiration estimation Based on MODIS and surface energy Balance algorithms for land (SEBAL) in sanjiang plain. *Northeast china Geographical science*. 23(1): 73-91.
- Khalil, A.A. 2013. "Effect of climate change on Evapotranspiration in Egypt." *Central laboratory for Agricultural climate*. 5(1): 7-12.
- Kustas, W.P. and Norman, J.M. 1999. Evaluation of soil and vegetation heat flux predictions using a simple two-source model with radiometric temperatures for partial canopy cover. *Agricultural and Forest Meteorology*. 94: 13-29.
- Nazari, R. and Kavyani, I. 2016. Estimation of Evaporation and potential Evaporation Methods and Evaporation with isosymmetric data in a dry climate (Case study of Qazvin plain) *Echo hydrology*. 3(1): 19-30.
- Nishida, K., Nemani, R.R., Running, S.W. and Glassy, J.M. 2003. An operational remote sensing algorithm of land surface evaporation. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 108.
- Norman, J.M., Kustas, W.P., and Humes, K.S. 1995. Source approach for estimating soil and vegetation energy fluxes in observations of directional radiometric surface temperature. *Agricultural and Forest Meteorology*. 77: 263-293.
- Sánchez, J., Kustas, W., Caselles, V., and Anderson, M. 2008. Modelling surface energy fluxes over maize using a two-source patch model and radiometric soil and canopy temperature observations. *Remote Sensing of Environment*. 112: 1130-1143.
- Shu, Y., Lei, Y., Zheng, L. and Li, H. 2006. An Evapotranspiration (ET) model based GIS using LANDSAT data and MODIS data with improved resolution. *Journal of Remote sensing for Environmental monitoring GIS Application, and Geology VI*, 6366.
- Su, Z. 2002. The Surface Energy Balance System (SEBS) for estimation of turbulent heat fluxes. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 6, 85-100.
- Sun, Z., wei, B., su, w., shen, w., wang, c., you, D. and liuz. 2011. Evapotranspiration estimation on the SEBAL model in the nansi lake wetland of china. *Mathematical and computer Modeling* 54:1086-1092.
- Tahan, f. 2012. Managing the drought crisis in groundwater resources with the help of GAS, (plain of Mashhad Quchan) "Proceedings of the second conference on combating desertification and sustainable development of Iran's desert lagoons.
- Vidal, A., and Perrier, A. 1989. Technical note Analysis of a simplified relation for estimating daily evapotranspiration from satellite thermal IR data. *International Journal of Remote Sensing*. 10: 1327-1337
- Wang, M. Y., Tagore, S. and Kerh, T. 2008. Neural network approach for estimating reference Evapotranspiration from limited climatic data in burkinafaso. *WSEAS Transactions on Information Science and Applications*. (6): 704-713.
- Zwart, S.J., and Bastiaanssen, W.G. 2007. SEBAL for detecting spatial variation of water productivity and scope for improvement in eight irrigated wheat systems. *Agricultural water management*. 89: 287-296.



ISSN 2251-7480

The estimation of the agricultural water consumption in Sod laneh village using evapotranspiration algorithm SEBAL

Hossein Karimi Torghabeh¹ Parviz Kardavani² and Massoud Mahdavi^{3*}

1) Ph.D. Student of Geography and Rural Programming, Science and Research Unit, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

2*) Professor of Geography, Science and Research Unit, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

* Corresponding author email: Kardavani.P@gmail.com

3) Professor of Geography and Rural Programming, Science and Research Unit, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Received: 25-09-2017

Accepted: 05-07-2018

Abstract

The main consumer of water resource in the country is agriculture sector – AS a result, the largest amount of water losses is related to this sector one of the most important processes of agricultural water losses is related to real evapotranspiration because during the evapotranspiration process (ET) , a large volume of water of surface soil is transferred transpiration ally and also sub soil water is transferred through the vegetation and real transpiration to the atmosphere. Therefore, the estimation of real evapotranspiration is a strategic necessity in the management of water resources and are known as the most important parameters of the water balance. In this research using the algorithm SEBAL and MODIS indicator the real evapotranspiration rate was evaluated in Sodlaneh village of Quchan in 2011. Monthly results indicate that the highest evapotranspiration was related to the months of April, June, May that with average of 17, 21, 26 mm was topped up respectively. High levels of evapotranspiration in spring due to land use map of the area which dominates annual evaporation and transpiration of the Sodlaneh village is calculation this year as 260mm that its Maximum equal with 644 mm is related to eastern part of the village (such as villages Dadanloo, Dizadiz) and and at least equivalent to 102mm is related to the central and western parts of the village (such as village of davoodli and dollo). The results of this study with the land data of Sodlaneh village shows that there is a significant correlation. It means that the Committee of evapotranspiration of the central and was village was up to 102 mm which had direct relation with increase in the number of darned wells and the high rate of migration in these village (particularly the village of Dollo). Also the simultaneous study of the author with this topic, the spatial prioritization of water resources management in rural districts of Sodlaneh village confirms this correlation.

Keywords: Evapotranspiration ;Remotesensing ;SEBAL ;Sodlaneh

