

ارزیابی آب‌سبز سطوح آبخیز در سطح حوزه آبخیز با تلفیق سنجش از دور راهکاری جهت ذخیره آب

علی آزاده‌دل^{۱*}، رضا خیری^۱، سعید خضلولو^۱، حبیب نظرنژاد^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه ارومیه، پست الکترونیک (aliazadedel71@gmail.com)

۲ - استادیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه ارومیه

چکیده

افزایش رشد جمعیت و برنامه‌های توسعه‌ای اقتصادی موجب تشدید فشارها بر منابع آب شده و تعادل سیستم‌های منابع آب سطحی و زیرزمینی را با چالش‌های جدی مواجه نموده است. این امر در سال‌های اخیر موجب توجه به آب سبز به‌عنوان یکی از منابع آب شیرین شده و به جهت مدیریت علمی و عملی آن، اقدامات مختلف صورت گرفته است. آب سبز آبی است که در داخل پوشش گیاهی زنده ذخیره شده و نوعی از مخزن ذخیره‌سازی است که اغلب در نظر نمی‌شود. مدیریت پایدار منابع آب زیرزمینی یک مسأله حیاتی در برابر کاهش منابع آب و افزایش تقاضای آن برای مصارف مختلف است. منابع آب صورت گرفته عمدتاً حول محور آب آبی است که شامل جریان‌های سطحی و آب‌های زیرزمینی بوده و در شرایط اقلیمی ایران کمتر از ۳۰٪ از بارش‌ها را شامل می‌شود. در این تحقیق با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸ شاخص پوشش گیاهی NDVI تهیه و سپس اقدام به محاسبه میزان آب سبز ذخیره شده در پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه گردید. نتایج نشان داد که در سال ۲۰۱۷ بیشترین سطح پوشش گیاهی در کلاس ضعیف است و این کاهش پوشش به‌خاطر کاهش شدید بارندگی در این سال است. همچنین مقدار متوسط آب سبز در دو حوزه منتخب برابر با ۵۱۰ هزار مترمکعب می‌باشد که تقریباً ۱۵ درصد از بارندگی کل حوضه‌ها را شامل می‌شود. بنابراین باید اقدامات لازم در جهت مدیریت این منبع صورت گیرد زیرا مدیریت این منبع موجب افزایش نفوذ و افزایش تغذیه به آب زیرزمینی می‌شود.

واژه‌های کلیدی:

آب سبز، NDVI، حوزه آبخیز، پوشش گیاهی، ماکو

مقدمه

آگاهی از منابع آب تجدیدپذیر، از جمله اطلاعات راهبردی است که هر کشوری جهت برنامه‌ریزی‌های بلند مدت منابع آب و امنیت غذایی به آن نیاز دارد (faramarzi et al, 2009). همچنین حفاظت شایسته از منابع آب یکی از اقدامات ضروری جهت ادامه و بقای زندگی انسان و اکوسیستم‌ها است. از طرفی با رشد روزافزون جمعیت و توسعه اقتصادی اجتماعی، نیاز انسان به آب بیش از پیش مشهود می‌شود و این به معنی کاهش منابع آب قابل دسترس برای اکوسیستم‌ها و تهدیدی برای سلامت آنها است. این در حالی است که کاهش آب قابل دسترس برای فعالیت‌های ضروری موجود در حیات اکوسیستم‌ها می‌تواند سبب تخریب آنها شود که برآیند اثرات آن تشدید شاخص کمبود آب و تهدید سلامت اجتماعی انسان است (Falkenmark, 2003). در بسیاری از مناطق خشک و نیمه خشک جهان رقابت شدیدی بین انسان و اکوسیستم برای مصرف آب وجود دارد و از این رو، ارزیابی جامع منابع آب با یک روش مناسب در مقیاس زمانی و مکانی می‌تواند کلیدی برای درک تجدیدپذیری، مدیریت منابع آب و نیز بهبود کارایی استفاده از منابع آب محدود در آینده باشد (Zang et al, 2012). منابع آب را می‌توان به دو دسته کلی آب آبی و آب سبز تقسیم نمود تا بتوان با تفکیک آنها از یکدیگر، سیاست‌های مدیریتی مناسب‌تری را برای هر کدام و با توجه به کمبود این منابع اتخاذ نمود (Akombo et al., 2014; Brandsma et al., 2013). تاکنون بیشتر پژوهش‌های مربوط به مدیریت منابع آب، متوجه تعیین و معرفی آب آبی بوده است و به آب سبز که یک منبع تجدیدپذیر و مهم در کشاورزی، به ویژه در کشاورزی دیم است توجه خاصی نشده است. آب آبی مجموع رواناب سطحی و تغذیه آب‌های زیرزمینی عمیق است و متفاوت از آب سبز و منابع آن است. در واقع منبع آب سبز ناشی از مدیریت منابع آب و نفوذ طبیعی آب بیه خاک است. بحث آب سبز و لزوم توجه به آن برای اولین بار در دو دهه پیش مطرح شد (Falkenmark, 1997). Falkenmark و Rockström (۲۰۰۶) آب سبز را شامل ترکیب دو مؤلفه متفاوت، منبع یا ذخیره آب سبز و جریان آب سبز دانسته‌اند. در تعریف آنها، ذخیره آب سبز شامل رطوبت موجود در خاک و جریان آب سبز شامل تبخیر و تعرق واقعی است. این در حالی است که در برخی منابع، فقط از تعرق واقعی بیه عنوان آب سبز یاد شده است، در حالی که تبخیر و تعرق، دو فرآیند وابسته به هم هستند. همچنین از آب تبخیر شده نیز می‌توان بیه عنوان یک منبع آب تولیدکننده، استفاده کرد. از این رو در این پژوهش هر دو فرآیند تبخیر و تعرق واقعی به عنوان جریان آب سبز در نظر گرفته شد.

Zang و همکاران (۲۰۱۳) از مدل SWAT جهت شبیه سازی جریان آب سبز و آب آبی استفاده و گزارش کردند که مقدار کمی جریان آب سبز و آب آبی به ازای هر واحد از حوزه مورد مطالعه از بالادست به پایین دست حوزه در مقیاس زمانی کاهش یافت. ایشان دلیل آن را کاهش بارش برف ناشی از اثر تغییر اقلیم دانستند. Hunink و همکاران (۲۰۱۲) با توجه به افت سطح تراز آب‌های زیرزمینی توجه به آب سبز جهت افزایش سطح تراز آب زیرزمینی را مدنظر قرار دادند و با استفاده از مدل SWAT، اثرات اقدامات مدیریت آب سبز نظیر مالچ و کشت کانتور را بر تغذیه به آب زیرزمینی در حوضه تانا در کنیا بررسی کردند. آنها دریافتند که اعمال این اقدامات در پایین دست منجر به افزایش تغذیه آب زیرزمینی تا حدود ۱۱ درصد می‌گردد اما تغییرات سطح تراز سفره در اثر این اقدامات را نتوانستند اثبات کنند. Liu و همکاران (۲۰۰۹) در مطالعه‌ای در شمال چین دریافتند که تبدیل اراضی مرتعی و غرقاب بیه اراضی کشاورزی و جنگلی سبب کاهش تبخیر از سطح خاک و تعرق از سطح پوشش گیاهی شد. آگاهی از توزیع زمانی و مکانی مؤلفه‌های منابع آب برای مشخص کردن مناطق بحرانی، به منظور مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب هر منطقه، امری اجتناب‌ناپذیر است. همچنین برای اعمال مدیریت بهینه در حوزه‌های آبخیز، نیاز به اطلاعات جامع و کامل از روش‌های مدیریتی و اجرایی و توزیع زمانی و مکانی منابع آب است. از جمله شاخص‌هایی که اخیراً به شکل وسیعی در سرتاسر دنیا در پژوهش‌های مدیریت حوزه‌های آبخیز و مطالعات مربوط بیه پوشش گیاهی و برآورد میزان مصرف آب تولیدات گیاهی در مقیاس حوزه آبخیز و ملی مورد استفاده قرار می‌گیرد شاخص NDVI است.

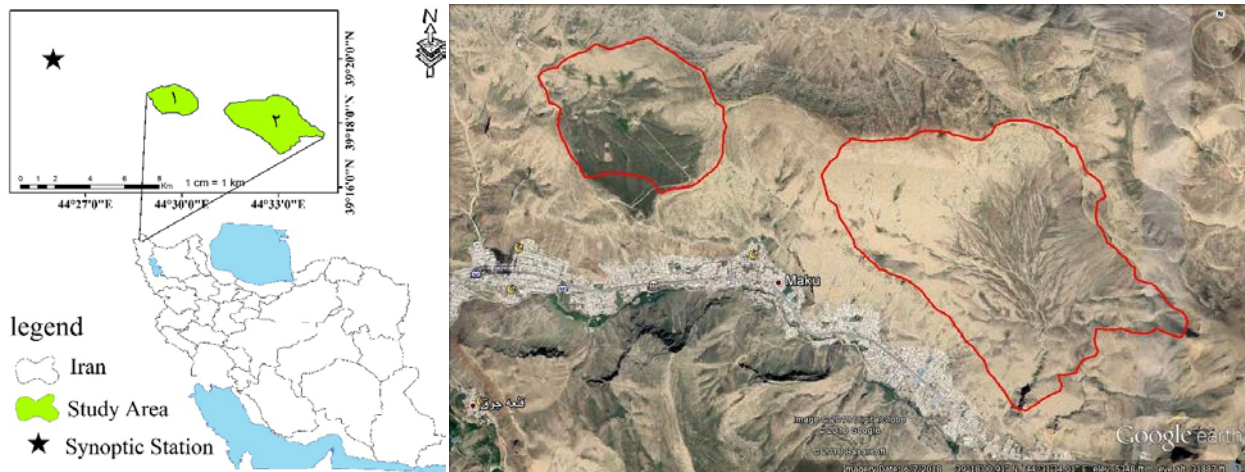
شاخص NDVI بر پایه این حقیقت که کلروفیل موجود در ساختار گیاهان قادر است نور قرمز را جذب و لایه مزوفیل برگ نور مادون قرمز نزدیک را منعکس سازد استوار است (Pettorelli et al., 2005)، اثرات مستقیم وضعیت اقلیمی بر روی زیست‌توده و الگوهای فنولوژیکی پوشش گیاهی به وسیله NDVI تخمین زده شده و در بسیاری از اکوسیستم‌ها بیان شده است. عوامل زیادی نظیر ساختار گیاهی، اثرات متقابل با تاج پوشش گیاهی، ارتفاع گیاه، ترکیب گونه‌ای، سلامتی و شادابی گیاه، ویژگی‌های برگ و تنش گیاه، توپوگرافی و ارتفاع بر این شاخص مؤثر می‌باشند (Pettorelli et al., 2005). شفیع و حسینی (۱۳۹۲) بررسی پوشش گیاهی بیه کمک داده‌های ماهواره‌ای در منطقه سیستان را مورد مطالعه قرار داده و روند تغییرات پوشش گیاهی منطقه در دوره ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۶ را ارزیابی کردند.

نتایج نشان داد سطح پوشش گیاهی برای سال ۱۹۹۰ معادل ۱۰۱۲۴۷ هکتار می‌باشد که برای سال ۲۰۰۶ به ۲۶۴۷۵ هکتار کاهش یافت. دارویش همکاران (۲۰۰۸) در تحقیق خود علل تخریب مراتع در لبنان را با شاخص NDVI مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنها نشان داد که مناطق کشاورزی از ۹۳۲ هکتار به ۴۸۷۸ هکتار افزایش یافته و میزان مراتع از ۲۹۵۸۱ هکتار به ۲۵۰۰۰ هکتار کاهش یافته است. از دیگر مطالعات در این زمینه می‌توان به لطیفی و همکاران (۱۳۸۶)، علوی‌پناه و همکاران (۱۳۸۵)، فرزادمههر و همکاران (۱۳۸۳)، عبدالهی و همکاران (۱۳۸۵)، شتایی و عبدی (۱۳۸۶)، Huang، و همکاران (۲۰۰۹)، Frohn و Lopez (۲۰۱۷)، Li و همکاران (۲۰۱۴)، Vermote و همکاران (۲۰۱۶) و یاری و همکاران (۱۳۹۳) اشاره کرد. از آن جایی که در مناطق خشک و نیمه‌خشک، منابع آب زیرزمینی از مهم ترین منابع تأمین آب مورد نیاز تولیدات کشاورزی بوده که بهره‌برداری بیرویه از آن، باعث به بار آمدن خسارت‌های جبران‌ناپذیر از جمله کاهش سطح تراز سفره‌های آب زیرزمینی شده است (کتابچی و عطائی، ۲۰۱۵؛ فرهودی و کتابچی، ۲۰۱۷). بنابراین ضرورت پیش‌بینی وضعیت این منابع در شرایط مختلف و نیز در تعامل با اقدامات مدیریت آب سبز، بیش از پیش احساس می‌شود. با توجه به ضرورت توجه به آب سبز این پژوهش با هدف معرفی بیشتر آب سبز در سطح حوزه آبخیز و بررسی تغییرات پوشش گیاهی به‌عنوان یکی از اقدامات مدیریت آب سبز که تأثیر مستقیم بر میزان این مخزن آب طبیعی دارد انجام شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی

تحقیق حاضر شمال دو حوزه آبخیز مشرف به شهرستان ماکو است. ارتفاع متوسط منطقه در حوزه آبخیز شماره یک ۱۴۵۰ متر و در حوزه شماره دو ۱۶۷۰ متر است و در طول جغرافیایی "۴۴°۲۹'۶" تا "۴۴°۳۴'۱۳" درجه شمالی و عرض جغرافیایی "۳۹°۲۰'۱۰" تا "۳۹°۱۷' درجه شرقی قرار دارد. بارندگی متوسط سالانه منطقه در ایستگاه سینوپتیک ماکو ۳۰۷ میلی‌متر است. حوزه آبخیز شماره یک با مساحت ۲۸۷ هکتار و حوزه آبخیز شماره دو ۷۷۹ هکتار به‌عنوان حوزه‌های آبخیز منتخب در شهرستان ماکو انتخاب شدند.



شکل ۱- محدوده منطقه مورد مطالعه در سطح کشور و موقعیت ایستگاه سینوپتیک شهرستان ماکو

داده‌های مورد نیاز

در این تحقیق از تصاویر ماهواره لندست ۸ (سنجنده OLI) مربوط به دوره مطالعاتی ۲۰۱۷-۲۰۱۳ استفاده گردید. تصاویر فوق از سایت زمین شناسی آمریکا (USGS) تهیه و سپس جهت تجزیه و تحلیل و پردازش در محیط نرم‌افزار ENVI 4.8 و نرم‌افزار ArcGIS 10.3 انتقال یافت. همچنین تصحیحات اتمسفری، رادیومتری و هندسی مرتبط به تصاویر در محیط نرم‌افزار ENVI انجام شد. اطلاعات مربوط به گونه‌های شاخص منطقه و میزان تولید گونه‌های شاخص شامل آگروپایرون، فستوکا و لگومینوس هستند، که به ترتیب ۵۰۰، ۴۵۰ و ۳۶۰ کیلوگرم در هکتار تولید علوفه دارند و از اداره منابع طبیعی شهرستان ماکو تهیه شد. آمار مربوط به میزان بارش و دمای منطقه برای ایستگاه سینوپتیک ماکو از سازمان هواشناسی کشور جمع‌آوری و سپس در محیط نرم‌افزار Cropwat 8 میزان بارش موثر گونه‌های گیاهی منتخب با استفاده از روش پنمن-مانتیت-فائو استخراج گردید (سای و همکاران، ۲۰۰۷). اطلاعات مربوط به گونه‌های گیاهی از سایت سازمان خواربار جهانی (FAO) و نشریه شماره ۵۶ فائو استخراج شد (Allen and et al, 1998).

شاخص NDVI

شاخص سطح برگ می‌تواند در محاسبات مربوط به برگاب، تبخیر و تعرق دخالت داشته باشد که نتایج مربوط به میزان نفوذ، رواناب و یا به‌طور کلی سیکل هیدرولوژیکی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. اندازه‌گیری مستقیم این پارامترها وقت گیر، هزینه بر و نیاز به جمع آوری تعداد زیاد نمونه در مقیاس‌های بزرگ دارد (Yi and et al, 2008). به این سبب استفاده از شاخص گیاهی مناسبی که بتوان تغییرات پوشش گیاهی را بصورت کمی با آن بدست آورد، ضروری بنظر می‌رسد. شاخص‌های گیاهی تبدیل‌های ریاضی هستند که براساس باندهای مختلف سنجنده تعریف می‌شود و برای ارزیابی و بررسی گیاهان در مشاهدات ماهواره ای چند طیفی طراحی شده اند.

در این پژوهش از شاخص پوشش گیاهی NDVI استفاده شد. این شاخص از معروف‌ترین، ساده‌ترین و کارآمدترین شاخص‌هایی است که در زمینه مطالعات پوشش گیاهی شناخته شده است (Kasa, 1999). فرایند محاسباتی ساده دارد و در مقایسه با دیگر شاخص‌ها دارای بهترین توان دینامیکی می‌باشد. این شاخص بیشترین حساسیت را به تغییرات پوشش گیاهی داشته و در مقابل اثرات جوی و زمینه خاک، به جز در مواردی که پوشش گیاهی کم باشد، حساسیت کم تری دارد (Kogan, 1993). این شاخص با استفاده از فرمول (۱) محاسبه شده و مقدار آن بین اعداد +۱ و -۱ تغییر می‌کند. مقادیر منفی در این شاخص حاکی از عدم حضور پوشش گیاهی است (Pettorelli and et al, 2005). شاخص نرمال شده اختلاف پوشش گیاهی (NDVI)، ابتدا با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸ در محیط نرم افزار ENVI 4.8 ساخته شد، سپس در محیط نرم افزار ARC GIS 10.3 پردازش و به سه کلاس تقسیم شد.

$$NDVI = (NIR + Red) / (NIR - Red) \quad (1)$$

که در آن NIR بازتابندگی باند قرمز نزدیک و Red بازتابندگی باند قرمز است.

آب سبز

آب سبز آبی است که در داخل پوشش گیاهی زنده ذخیره شده است. همین نوعی از مخزن ذخیره سازی است که اغلب در نظر گرفته نمی‌شود. نکته ای که وجود دارد این است که گیاهانی که در حوزه‌های آبخیز رشد می‌کنند، نیازی به آبیاری‌های تکمیلی ندارند. در عوض از طریق بارندگی‌هایی که اتفاق می‌افتد آب را دریافت در بافت‌های خود ذخیره و رشد می‌کند. محاسبات مربوط به آب سبز از طریق نرم افزار Cropwat 8 که توسط FAO ارائه شده است، انجام شد. جهت محاسبه میزان آب سبز گونه‌های شاخص منتخب از فرمول (۲) که توسط Mekonnen و Hoekstra (۲۰۱۱) ارائه شده است استفاده شده است.

$$CWU = \min(ET_c, 10 \times P) \quad (2)$$

که در آن CWU مقدار مصرف آب توسط گونه گیاهی بر حسب متر مکعب بر هکتار و P مقدار بارش موثر بر حسب میلی‌متر است.

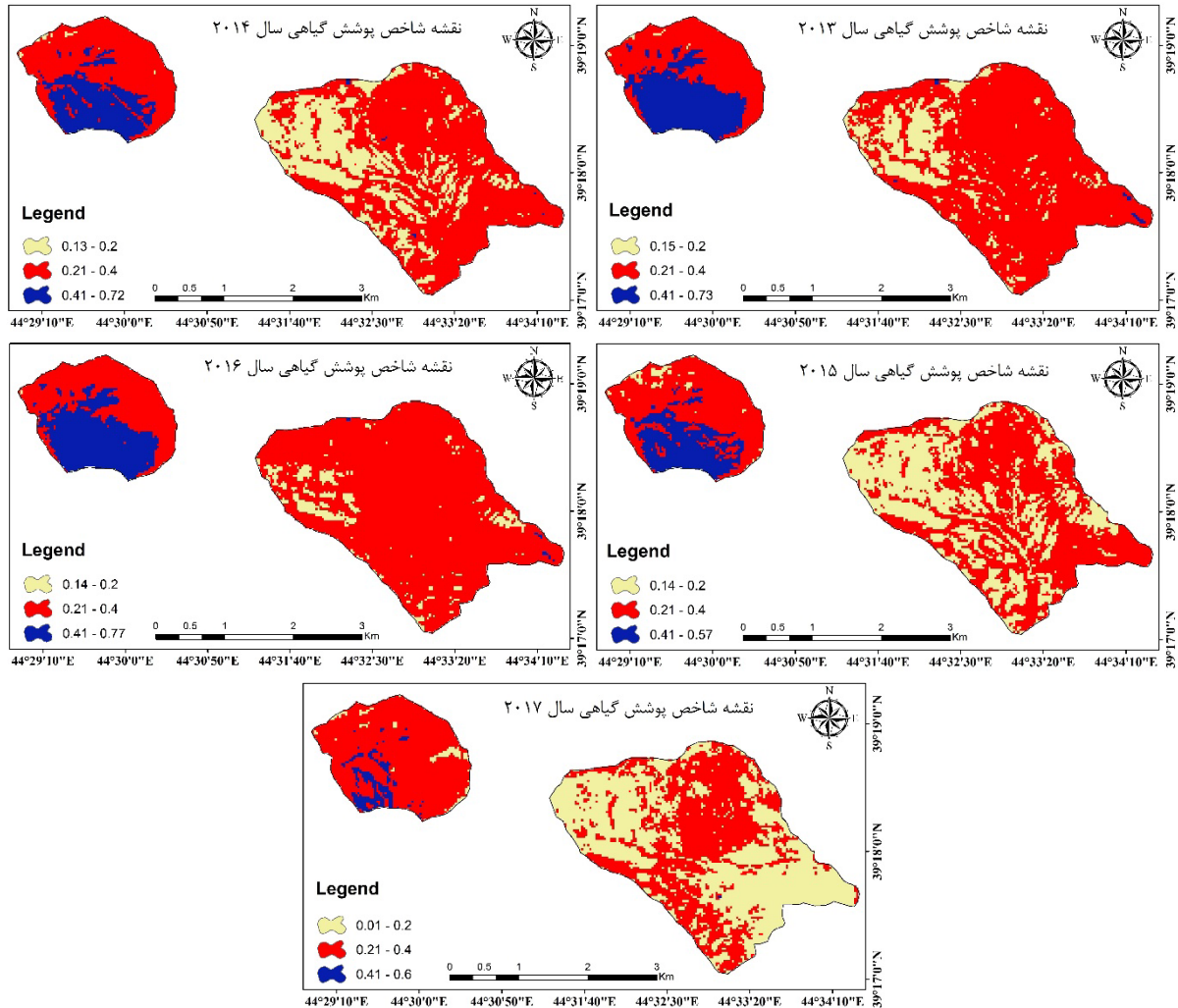
نتایج و بحث

جهت انجام تحقیق از تصاویر سنجنده OLI از ماهواره Landsat8 در ماه ژوئن و برای سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۷ استفاده شد. اکثر باندهای طیفی این سنجنده باریک هستند که این ویژگی سبب جلوگیری از جذب طیفی بخار آب در باند مادون قرمز شده و در نتیجه خطایی که به واسطه جذب بخار آب ایجاد می‌شود بسیار کوچک می‌شود. بنابراین دقت محاسباتی در تعیین شاخص NDVI افزایش می‌یابد. نتایج ترکیب باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک تحت عنوان شاخص NDVI در سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۷ برای مماه ژوئن در حوزه‌های آبخیز مورد مطالعه در شکل ۲ نشان داده شده است.

جدول ۱- مقادیر طبقه بندی پوشش گیاهی در حوزه‌های آبخیز مطالعاتی در دوره ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۷

پوشش گیاهی خوب (هکتار)	پوشش گیاهی متوسط (هکتار)		پوشش گیاهی ضعیف (هکتار)		میانگین
	حوضه شماره دو	حوضه شماره یک	حوضه شماره دو	حوضه شماره یک	
۱۲۰	۷	۱۶۲	۶۲۲	۵	۲۰۱۳
۱۰۵	۶	۱۷۹	۵۹۳	۳	۲۰۱۴
۸۹	۰	۱۸۹	۵۲۹	۹	۲۰۱۵
۱۲	۳	۱۶۰	۶۹۶	۱	۲۰۱۶
۴۸	۱	۲۲۰	۴۹۰	۱۹	۲۰۱۷
۹۷/۶	۳/۴	۱۸۲	۵۸۶	۷/۴	۱۸۹/۶

مطالعه تغییرات پوشش گیاهی نشان می‌دهد که به‌طور میانگین ۹۷/۶ هکتار از حوزه آبخیز شماره بیک و ۳/۴ هکتار از حوضه شماره دو دارای پوشش گیاهی خوب است، همچنین برترتیب ۱۸۲ هکتار و ۵۸۶ هکتار دارای پوشش متوسط و ۷/۴ و ۱۸۹/۶ هکتار دارای پوشش گیاهی ضعیف هستند. بیشترین نرخ سطح مربوط به پوشش گیاهی ضعیف مربوط به سال ۲۰۱۷ است که بخاطر کاهش بارندگی در این سال است.



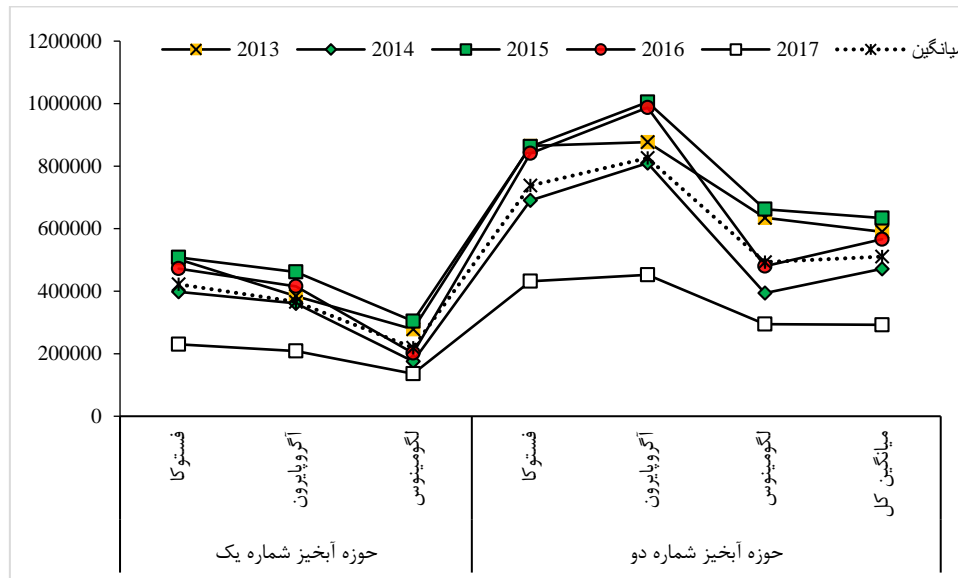
شکل ۳- تغییرات پوشش گیاهی محدوده مطالعاتی در طی سال‌های ۲۰۱۳-۲۰۱۷

به‌طور کلی اقدامات مدیریت آب سبز منجر به تغذیه به آب زیرزمینی و همچنین کاهش رواناب سطحی شدند که کاهش رواناب خود نیز منجر به کاهش تغذیه در پایین دست می‌شود. مقادیر مربوط به آب سبز گونه‌های شاخص حوزه‌های منتخب در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲. مقادیر مربوط به میزان آب سبز گونه‌های شاخص در حوزه‌های آبخیز مورد مطالعه و بارش متوسط سالانه منطقه

میانگین سالانه	حوزه آبخیز شماره دو			حوزه آبخیز شماره یک			بارندگی	
	فستوکا	آگروپایرون	لگومینوس	فستوکا	آگروپایرون	لگومینوس		
۵۹۰۱۸۸	۸۶۴۸۴۳	۸۷۶۹۰۶	۶۳۴۹۲۳	۵۰۲۰۰۷	۳۸۴۲۴۱	۲۷۸۲۰۹	۳۲۷	۲۰۱۳
۴۷۱۴۹۸	۶۹۰۵۷۱	۸۰۹۶۹۳	۳۹۳۹۴۹	۳۹۸۰۲۲	۳۶۱۰۷۷	۱۷۵۶۷۹	۲۸۲	۲۰۱۴
۶۳۳۹۴۹	۸۶۲۵۵۹	۱۰۰۴۸۹۸	۶۶۲۳۶۴	۵۰۸۲۱۱	۴۶۱۴۸۱	۲۰۴۱۷۸	۳۹۲	۲۰۱۵
۵۶۶۳۶۰	۸۴۰۸۹۷	۹۸۷۳۹۵	۴۷۹۹۳۳	۲۳۰۱۶۸	۴۱۵۵۱۲	۲۰۱۹۶۴	۳۱۰	۲۰۱۶
۲۹۲۳۱۴	۴۳۱۸۸۵	۴۵۲۴۰۱	۲۹۴۶۶۳	۲۳۰۱۶۸	۲۰۸۷۸۱	۱۳۵۹۸۶	۲۲۱	۲۰۱۷
۵۱۰۸۶۲	۷۳۸۱۵۱	۸۲۶۲۵۹	۴۹۳۱۶۶	۴۲۲۱۷۳	۳۶۶۲۱۸	۲۱۹۲۰۳	۳۰۷	میانگین

با توجه به میانگین مقدار بارندگی سالانه شهرستان ماکو که ۳۰۷ میلی متر در سال است، مقدار کل بارش دریافتی حوزه‌های منتخب ۳۲۷۲۶۲۰ متر مکعب محاسبه گردید. با توجه به میانگین آب سبز ذخیره شده در گیاهان منطقه ۵۱۰۸۶۲ مترمکعب که تقریباً ۱۵/۶۱٪ از کل بارندگی را شامل می‌شود. این مقدار بارندگی لزوم توجه به آب سبز به عنوان یکی از منابع ذخیره طبیعی را بیش از پیش مشخص می‌کند.



شکل ۴- نمودار تغییرات آب سبز گونه‌های شاخص در حوزه‌های منتخب در دوره ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۷

همانطور که در شکل ۲ نشان داده شده نتایج حاکی از این بود که لگومینوس نسبت به دو گونه دیگر دارای آب سبز کمتری است. همچنین در سال ۲۰۱۵ که بیشترین بارندگی در طی دوره ۲۰۱۳-۲۰۱۷ مطالعاتی را داشتیم، آب سبز نیز به بیشترین مقدار خود در این دوره رسیده است.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در کشور ایران آنچه تاکنون در خصوص مدیریت منابع آب صورت گرفته عمدتاً حول محور آب آبی که شامل جریان‌های سطحی و آب‌های زیرزمینی است، که در شرایط اقلیمی ایران کمتر از ۳۰٪ از بارش‌ها را شامل می‌شود. متأسفانه برنامه‌ریزی کافی برای مطالعه، تحقیق و اقدام در زمینه استفاده از آب سبز (جریان‌های سطحی و زیرقشری و رطوبت خاک و ... ککه هرگز بیه رودخانه‌ها و سفره‌های زیرزمینی نمی‌پیوندند که بخش عمده بارش‌ها را نیز شامل می‌شود)، صورت نگرفته است. استفاده از سطوح آبیگر باران بویژه در مناطق کوهپایه‌ای کشور، رویکرد مناسبی برای بهره‌برداری از آب سبز و تامین بخشی از نیازهای کشاورزی، صنعت و شرب توسط آب‌های به حساب نیامده می‌باشد. مدیریت پایدار منابع آب زیرزمینی یک مسأله حیاتی در برابر کاهش منابع آب و افزایش تقاضای آن برای مصارف مختلف است. نتایج نشان داد که در سال ۲۰۱۷ بیشترین سطح پوشش گیاهی با کلاس ضعیف مشاهده می‌گردد، که این کاهش پوشش بخاطر کاهش شدید بارندگی در این سال است. همچنین مقدار متوسط آب سبز در دو حوزه منتخب برابر با ۵۱۰ هزارمترمکعب می‌باشد که تقریباً ۱۵ درصد از بارندگی کل حوضه‌ها را شامل می‌شود. نتایج این مطالعه با نتایج مطالعه کتتاچی و همکاران (۱۳۹۷) و Hoekstr و Chapagain (۲۰۱۱) که میزان آب سبز را ۱۲ درصد کل بارندگی برای تمامی کشورهای جهان حساب کرده بودند، مطابق خوبی دارد. عدم مدیریت پایدار منابع آب زیرزمینی منجر به اثرات متعدد نامطلوب در کشورهای در حال توسعه و توسعه‌یافته شده است؛ لذا به منظور بهبود مدیریت منابع آب زیرزمینی و کاهش اثرات نامطلوب بوجود آمده، توجه به یکی دیگر از منابع آب شیرین با عنوان آب سبز که حدود دوسوم آب باران می‌باشد، ضروری است. بنابراین باید اقدامات لازم در جهت مدیریت این منبع صورت گیرد زیرا مدیریت این منبع موجب افزایش نفوذ و افزایش تغذیه به آب زیرزمینی می‌شود.

منابع

- رفیعی، یوسف، علوی پناه، سیدکاظم، ملک محمدی، بهرام، رضانی مهریان مجید، نصیری، حسین (۱۳۸۵). تهیه نقشه‌های پوشش اراضی به کمک سنجش از دور با استفاده از خوارزمیک درخت تصمیم‌گیری (مطالعه موردی: پارک ملی و پناهگاه حیات وحش بختگان)، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۲۳، شماره ۳، ص ۱۱۰-۹۳.
- شتایی، عبدی، شعبان، احمد (۱۳۸۶)، تهیه نقشه کاربری اراضی در مناطق کوهستانی زاگرس با استفاده از داده‌های سنجنده ETM+ منطقه مورد مطالعه: حوزه آبخیز سرخاب خرم‌آباد لرستان، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، سال ۱۴، ص ۶۰-۵۰.
- شفیع، حامد، حسینی، سید محمود (۱۳۹۲). بررسی پوشش گیاهی به کمک داده‌های ماهواره‌ای در منطقه سیستان، مجله اکوفیزبولوژی، سال سوم، ص ۹۱-۱۰۵.
- عبدالهی، جلال، رحیمیان، محمدحسن، ثواقبی، محمدحسین (۱۳۸۵). محدودیت ایجاد نقشه پوشش گیاهی توسط تصاویر ماهواره ای + ETM در خشکسالیها. فصلنامه علمی پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، سال ۱۴، ص ۲۸۹-۳۰۱.
- فرزاد مهر، جلیل، ارزانی، حسین، درویش صفت، علی اصغر، جعفری، محمد (۱۳۸۳). بررسی قابلیت داده‌های ماهواره لندست ۷ در برآورد تاج پوشش و تولید گیاهی (مطالعه موردی: منطقه نیمه استپی حنا-سمیرم)، مجله منابع طبیعی ایران، سال ۵۷.
- کتابچی، حامد، نیک خواه، روح انگیز، مرید، سعید. ۱۳۹۷. شبیه سازی عددی آبخوان نمدان در استان فارس ایران: بررسی اثرات مدیریت آب سبز در احیاء آبخوان، مجله تحقیقات منابع آب ایران، سال ۱۴، شماره ۲.
- لطیفی، اولادی، ساروئی، جلیوند؛ هومن، جعفر، سعید، حمید (۱۳۸۶). ارزیابی قابلیت ماهواره ETM + جهت تهیه نقشه طبقات پوششی اراضی جنگلی و درختچه‌ای و مرتعی مطالعه موردی: حوزه نکا- ظالم رود مازندران، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال ۱۱، ص ۴۳۹-۴۴۷.
- محمدیاری فاطمه، پورخباز حمیدرضا، توکلی مرتضی، اقدر حسین (۱۳۹۳). تهیه نقشه پوشش گیاهی و پایش تغییرات آن با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: شهرستان بهبهان)، فصلنامه علمی پژوهشی اطلاعات جغرافیایی، دوره ۲۳، شماره ۹۲.
- Akombo, R. A., Luwesi, C. N., Shisanya, C.A., & Obando, J. A. (2014). Green Water Credits for Sustainable Agriculture and Forestry in Arid and Semi-Arid Tropics of Kenya. *Journal of Agri-Food and Applied Sciences*, 2(4), 86-92.
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). *FAO Irrigation and drainage paper No. 56*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 56(97), e156.
- Brandsma, J., van den Eertwegh, G. A. P. H., Droogers, P., Bai, Z., & Zhang, S. (2013). Green and blue water Resources and management scenarios using the SWAT model for the upper Duhe Basin, China-Feasibility study. *Future Water Report*.
- Cai, J., Liu, Y., Lei, T., & Pereira, L. S. (2007). Estimating reference evapotranspiration with the FAO Penman-Monteith equation using daily weather forecast messages. *Agricultural and Forest Meteorology*, 145(1-2), 22-35.
- Chapagain, A. K., & Hoekstra, A. Y. (2011). The blue, green and grey water footprint of rice from production and consumption perspectives. *Ecological Economics*, 70(4), 749-758.
- Darwish, T., & Faour, G. (2008). Rangeland degradation in two watersheds of Lebanon. *Lebanese Science Journal*, 9(1), 71-80.
- Falkenmark, M. (1997). Meeting water requirements of an expanding world population. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 352(1356), 929-936.
- Falkenmark, M. (2003). Freshwater as shared between society and ecosystems: from divided approaches to integrated challenges. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 358(1440), 2037-2049.
- Falkenmark, M., & Rockström, J. (2006). The new blue and green water paradigm: Breaking new ground for water resources planning and management. 129-132.
- Faramarzi, M., Abbaspour, K. C., Schulin, R., & Yang, H. (2009). Modelling blue and green water resources availability in Iran. *Hydrological Processes: An International Journal*, 23(3), 486-501.
- Farhoudi, H. R., & Ketabchi, H. (2018). Numerical Simulation of Urmia Lake and Ajabshir Coastal Aquifer Interaction.
- Frohn, R. C., & Lopez, R. D. (2017). *Remote Sensing for Landscape Ecology: New Metric Indicators: Monitoring, Modeling, and Assessment of Ecosystems*. CRC Press.

- Huang, C. Y., & Asner, G. P. (2009). Applications of remote sensing to alien invasive plant studies. *Sensors*, 9(6), 4869-4889.
- Hunink, J. E., Droogers, P., Kauffman, S., Mwaniki, B. M., & Bouma, J. (2012). Quantitative simulation tools to analyse up-and downstream interactions of soil and water conservation measures: Supporting policy making in the Green Water Credits program of Kenya. *Journal of environmental management*, 111, 187-194.
- Kassa, A. (1999). Drought risk monitoring for the Sudan using NDVI (Doctoral dissertation, Master's thesis, University College London).
- Ketabchi, H., & Ataie-Ashtiani, B. (2015). Evolutionary algorithms for the optimal management of coastal groundwater: a comparative study toward future challenges. *Journal of Hydrology*, 520, 193-213.
- Kogan, F. (1993, August). United States droughts of late 1980's as seen by NOAA polar orbiting satellites. In *Geoscience and Remote Sensing Symposium, 1993. IGARSS'93. Better Understanding of Earth Environment. International* (pp. 197-199). IEEE.
- Li, P., Jiang, L., & Feng, Z. (2014). Cross-comparison of vegetation indices derived from Landsat-7 enhanced thematic mapper plus (ETM+) and Landsat-8 operational land imager (OLI) sensors. *Remote Sensing*, 6(1), 310-329.
- Liu, X., Ren, L., Yuan, F., Singh, V. P., Fang, X., Yu, Z., & Zhang, W. (2009). Quantifying the effect of land use and land cover changes on green water and blue water in northern part of China.
- Mekonnen, M., & Hoekstra, A. Y. (2011). National water footprint accounts: the green, blue and grey water footprint of production and consumption.
- Pettorelli, N., Vik, J. O., Mysterud, A., Gaillard, J. M., Tucker, C. J., & Stenseth, N. C. (2005). Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. *Trends in ecology & evolution*, 20(9), 503-510.
- Vermote, E., Justice, C., Claverie, M., & Franch, B. (2016). Preliminary analysis of the performance of the Landsat 8/OLI land surface reflectance product. *Remote Sensing of Environment*, 185, 46-56.
- Yi, Y., Yang, D., Huang, J., & Chen, D. (2008). Evaluation of MODIS surface reflectance products for wheat leaf area index (LAI) retrieval. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 63(6), 661-677.
- Zang, C. F., Liu, J., Velde, M., & Kraxner, F. (2012). Assessment of spatial and temporal patterns of green and blue water flows under natural conditions in inland river basins in Northwest China. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16(8), 2859-2870.
- Zang, C., Liu, J., Jiang, L., & Gerten, D. (2013). Impacts of human activities and climate variability on green and blue water flows in the Heihe River Basin in Northwest China. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, (7), 9477-9504.