



Assessment of the Effect of land-Use Changes on Streamflow in Helmand Transboundary Basin During 1990 to 2012 Using Remote Sensed Data & SWAT Model

M. Hajihoseini¹, H. Hajihoseini¹,
S. Morid^{2*} and M. Delavar³

Abstract

Reduction of Helmand River inflows is one of the main challenges of the water resources of the eastern part of Iran which is more pronounced in the recent years. This research aims to quantify the causes of this problem that accordingly has had direct impacts on dryness of the Hamoun Wetlands as an international Ramsar site. In the first step, the land use changes of Helmand plain in Afghanistan were evaluated in three periods from 1990 to 2011 using remote sensed data. Obviously direct sampling was not possible from the study area and therefore other sources of information including: FAO land use maps, Watershed Atlas of Afghanistan (AIMS), maps of U.S. Geological Survey (USGS), and Google Earth images were applied as the alternative data. It was concluded that the total irrigated area in the region has increased from 103,000 ha in 1990 to 122,000 ha in 2001 and to 167,000 ha in 2011 (62 percent increase). SWAT is run in the next step using the three created land use maps of the region. It was concluded that the average annual discharges of Helmand Basin at Char Burjak station (most downstream station in the Helmand plain) has decreased from 5.1 to 4.28 BMC due to the increase of these irrigated lands.

Keywords: Transboundary Helmand (Hirmand) Basin, Kajakai Dam, Land cover Changes, SWAT.

Received: August 4, 2014

Accepted: November 23, 2014

بررسی تغییرات کاربری اراضی بر رواناب حوضه فرامرزی هلمند طی دوره ۱۹۹۰ لغایت ۲۰۱۲ میلادی با استفاده از اطلاعات ماهواره‌ای و مدل شبیه‌ساز SWAT

محمد رضا حاجی حسینی^۱، حمیدرضا حاجی حسینی^۱،
سعید مرید^{۲*} و مجید دلاور^۳

چکیده

کاهش آورد رودخانه فرامرزی هیرمند (هلمند) از افغانستان به ایران از جمله چالش‌های همیشگی مدیریت منابع آب در شرق کشور بوده که طی سال‌های اخیر نیز تشدید شده است. در این تحقیق به بررسی دلایل کاهش جریان این رودخانه که تأثیر مستقیمی بر روند خشک شدن تالاب‌های بین‌المللی هامون داشته، پرداخته شده است. در گام اول، تغییرات کاربری اراضی دشت هیرمند افغانستان در پایین دست سد کجکی طی دوره ۱۹۹۰ لغایت ۲۰۱۱ با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، مورد بررسی قرار گرفت (جمعا در ۳ مقطع زمانی). بدین منظور از نقشه‌های FAO، نقشه‌های اطلس کاربری اراضی افغانستان، نقشه‌های سازمان زمین‌شناسی آمریکا و تصاویر Google Earth کمک گرفته شد. بدین ترتیب، نتایج تغییرات کاربری اراضی نشان می‌دهد که مجموع کل کشت محصولات آبی در منطقه، حدود ۶۲ درصد افزایش یافته، به طوری که مقدار آن از رقم ۱۰۳ هزار هکتار در سال ۱۹۹۰، به حدود ۱۶۷ هزار هکتار در سال ۲۰۱۱ و سپس در سال ۲۰۱۱ به حدود ۱۶۷ هزار هکتار رسیده است. در گام دوم، با استفاده از مدل SWAT، حوضه رودخانه هلمند تا ایستگاه چاربرجک شبیه‌سازی گردید که در آن تأثیر کاربری‌های ۳ مقطع زمانی مورد اشاره، بر رواناب خروجی از حوضه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که متوسط آورد سالیانه در شرایط اعمال تغییرات تدریجی کاربری اراضی مقدار ۴/۷۸ میلیارد را دارد، در حالیکه با حفظ کاربری ۱۹۹۰ و ۲۰۱۱ و اجرای مجدد آن، به ترتیب متوسط آورد سالیانه ۵/۱ و ۴/۲۸ میلیارد در سال را سبب می‌گردد. به عبارتی دیگر توسعه بخش کشاورزی در دشت هیرمند کاهش متوسط ۸۰۰ میلیون مترمکعبی را در سال به همراه داشته است.

کلمات کلیدی: حوضه فرامرزی هیرمند (هلمند)، سد کجکی، تغییرات کاربری اراضی، مدل شبیه‌ساز SWAT

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳ مرداد ۱۳۹۳

تاریخ پذیرش مقاله: ۲ آذر ۱۳۹۳

1- Ms.C.Student, Department of Water Resources, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

2- Professor, Department of Water Resources Management, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. E-mail: morid_sa@modares.ac.ir

3- Assistant Professor, Department of Water Resources Management, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

*- Corresponding Author

۱- دانشجوی ارشد مهندسی منابع آب دانشگاه تربیت مدرس، تهران

۲- استاد گروه مهندسی منابع آب دانشگاه تربیت مدرس، تهران

۳- استادیار گروه مدیریت منابع آب دانشگاه تربیت مدرس، تهران

*- نویسنده مسئول

می‌باشند. الگوریتم SVM قادر به غلبه بر مشکلاتی نظیر کم بودن تعداد داده‌های آموزشی، توزیع غیرخطی کلاس‌ها، زیاد بودن تعداد لایه‌های مورد استفاده در طبقه‌بندی می‌باشد. علاوه بر موارد فوق، Szantoi و همکاران (۲۰۱۳) در تحقیق خود با استفاده از این روش، اراضی باتلاق را تفکیک نمودند که برای منطقه مطالعاتی این تحقیق نیز حائز اهمیت است. در مقاله آنان هر دو روش SVM و MLC مورد استفاده قرار گرفت که پس از ارزیابی صورت گرفته، روش SVM را به‌عنوان الگوریتم پیشنهادی انتخاب نموده‌اند. بنابراین بر اساس سوابق تحقیق، الگوریتم‌های طبقه‌بندی MLC، SVM و DT که با شرایط منطقه مناسب هستند، انتخاب گردیدند و از نتایج آنها در این تحقیق استفاده به‌عمل آمده است.

بخش دوم این تحقیق به‌منظور اثر تغییرات کاربری اراضی بر هیدرولوژی حوضه، از مدل شبیه‌ساز بارش- رواناب SWAT^۱ استفاده گردید که از جمله مدل‌های مفهومی پرکاربرد در این زمینه به‌شمار می‌آید. (Alansi et al., 2009) در تحقیقی با استفاده از دو نقشه کاربری اراضی مربوط به سال‌های ۱۹۸۸ و ۱۹۸۹ اثرات این تغییرات را بر رواناب و رسوب مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنان نشان داد که با افزایش ۷ درصدی مناطق شهری و کاهش ۵ درصدی مناطق جنگلی، رواناب و رسوب در حوضه افزایش می‌یابد. قدوسی و همکاران (۱۳۹۱) در بخشی از تحقیق خود به‌منظور بررسی اثرات تغییرات کاربری اراضی بر رواناب حوضه دریاچه ارومیه از تصاویر کاربری اراضی سال‌های ۱۹۷۶، ۱۹۸۹، ۲۰۰۲ و ۲۰۰۸ به‌عنوان ورودی مدل SWAT استفاده نمودند و مدل را در چهار حالت بر اساس نزدیک‌ترین آمار به هر یک از این سال‌ها واسنجی نمودند. نتایج حاکی از کاهش ۵۱ درصدی حجم آب خروجی از حوضه با کاربری‌های بعد از سال ۱۹۸۹ و افزایش تبخیر و تعرق واقعی به میزان ۱۳ درصد طی این سال‌ها بوده است. همچنین، بهره‌برداری از سد در حال احداث در آن حوضه نیز بر مشکلات فوق افزوده و کاهش ۲۱ درصدی ورودی‌های به دریاچه ارومیه را به همراه خواهد داشت. Nobert و همکاران (2012) واکنش هیدرولوژیکی حوضه Wami را در مقابل تغییرات کاربری اراضی مورد ارزیابی قرار دادند. آنها به‌منظور فائق آمدن به مشکل کمبود اطلاعات مشاهداتی از حوضه، از اطلاعات ماهواره‌ای به‌منظور لایه کاربری ورودی مدل نیمه توزیعی بارش- رواناب SWAT استفاده نمودند که بر اساس آن تصاویر کاربری مربوط به سال‌های ۱۹۸۷ و ۲۰۰۰ تهیه شد. نتایج کاهش ۱۰۴ درصدی اراضی جنگلی، افزایش ۳۰۲ درصدی اراضی کشاورزی و افزایش ۲۰۲ درصدی مناطق شهری را نشان داد. نتایج شبیه‌سازی بارش- رواناب نیز، کاهش میانگین سالانه جریان رودخانه را نشان داد. بنابراین تغییرات شکل‌گرفته افزایش جریان سطحی و کاهش جریان پایه رودخانه را به‌همراه داشته است.

رودخانه هیرمند اصلی‌ترین منبع آبی شرق ایران می‌باشد که تاثیر قابل توجهی در امنیت، کشاورزی، اقتصاد و محیط‌زیست این بخش از کشور ما را دارا است. از طرفی تحولات سیاسی و توسعه‌ای افغانستان به‌خصوص طی دهه اخیر شتاب بیشتری را به‌خود گرفته است. مانند آنچه از افزایش چهار برابری کشت خشکاش بعد از حملات ۱۱ سپتامبر و ورود ناتو به این کشور گزارش شده است (UNODC, 2009). بدیهی است این تغییرات می‌تواند تبعات منفی بر آورد رودخانه داشته باشد که ضروری است برای مدیریت منابع آب این بخش از کشور مدنظر باشد. در این راستا اطلاعات ماهواره‌ای می‌توانند در تهیه نقشه‌های کاربری اراضی و در فاصله مقاطع زمانی مناسب کارایی مناسبی داشته باشد. اما از مهمترین پردازش‌ها در استفاده از این تصاویر، طبقه‌بندی آنها است که به دو گروه متداول^۲ و پیشرفته^۳ دسته‌بندی می‌شوند (فاطمی، ۱۳۸۴). روش حداکثر احتمال (MLC) یکی از رایج‌ترین الگوریتم‌های طبقه‌بندی گروه اول به‌شمار می‌آید (Jensen, 2005). در تحقیقی (Arslon et al., 1999) با استفاده از تصاویر سنجنده TM سال‌های ۱۹۹۱، ۱۹۹۹ و اطلاعات ماهواره‌ای AVHRR در منطقه کاستاریکا، نقشه کاربری اراضی را با اعمال طبقه‌بندی نظارت‌شده بر اساس روش MLC تهیه کردند. این روش در مقالات متعددی برای مقایسه با روش‌های پیشرفته، مورد استفاده قرار گرفته است. نیازی و همکاران (۱۳۸۹) روش MLC و شبکه عصبی مصنوعی (یکی از روش‌های پیشرفته) را در استفاده از تصاویر ASTER مقایسه نمودند. نتایج نشان دادند که الگوریتم MLC علی‌رغم داشتن ضریب کاپای (شاخص ارزیابی دقت طبقه‌بندی) کمتر نسبت به روش شبکه عصبی، دارای نتایج قابل قبولی است. در مقابل، الگوریتم‌های پیشرفته نیز به‌دلیل عدم وابستگی به پارامترهای آماری، برتری‌های خاص خود را دارند. در تحقیق (Roy & Kandrika, 2008) که با هدف تهیه نقشه کاربری و پوشش اراضی منطقه اوریسای هند انجام گرفت، با استفاده از تصاویر چندزمانه IRS^۴ و با روش درخت تصمیم‌گیری (DT)^۵ این نقشه‌ها را تهیه و گزارش کردند. روش DT به‌دلیل استفاده از مجموعه داده‌ها در طی زمان عملکرد بهتری داشت. در این روش شناخت کامل از منطقه برای انتخاب محدوده‌ی مناسب شاخص‌ها، از اهمیت بالایی برخوردار است (Lu and Weng, 2007). Blaschke and Otukey (2010) با استفاده از تصاویر سنجنده‌های TM و ETM+، روش‌های درخت تصمیم‌گیری و ماشین‌های بردار پشتیبان (SVM)^۶ را با الگوریتم MLC مقایسه و تغییر کاربری اراضی را در منطقه پالیسای کشور اوگاندا را طی سال‌های ۱۹۸۶ و ۲۰۰۱ مقایسه نمودند. نتایج کار آنها نشان داد که الگوریتم‌های طبقه‌بندی DT و SVM از ضریب کاپا و دقت کلی بالایی برخوردار

منطقه مطالعاتی این تحقیق، حوضه آبریز هلمند (هیرمند) است که حدود نیمی از حوضه آبریز هامون‌ها را شامل می‌شود (شکل ۱). این بخش از حوضه ۱۵۰ هزار کیلومتر مربع وسعت دارد. علی‌رغم اهمیت این منطقه، داده‌ها و اطلاعات اقلیمی و هیدرولوژیکی بشدت در آن با محدودیت مواجه است و از این‌رو همانگونه که قبلاً اشاره شد از داده‌های جهانی و تصاویر ماهواره‌ای برای جبران این کمبودها استفاده گردید.

زمین‌های حاشیه رودخانه در استان هلمند (پایین‌دست سد کجکی در کشور افغانستان) که حدود ۲۰۰۰۰ کیلومتر مربع حوضه را شامل می‌شود، بیشترین مصارف آبی را از لحاظ کشت آبی به‌خود اختصاص داده‌اند. تمرکز بخش اول این تحقیق، بررسی تغییرات کاربری این بخش می‌باشد (شکل ۲).

داده‌هایی که در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفته‌اند عبارتند از:

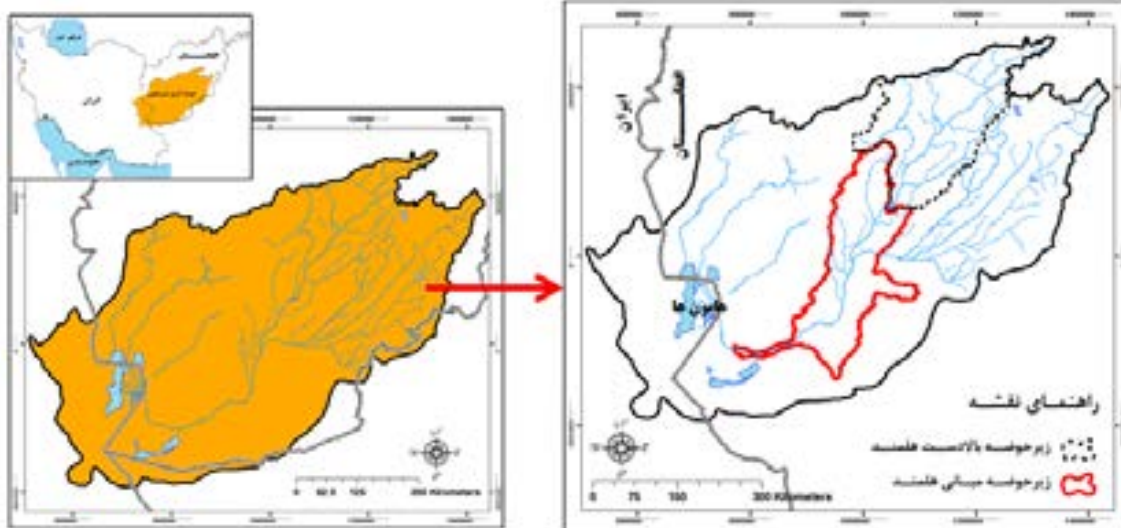
- تصاویر ماهواره لندست مربوط به سنجنده TM و ETM+ در تاریخ‌های ۲۰۰۱/۰۵/۰۳، ۲۰۰۱/۰۵/۰۷ و ۲۰۱۱/۰۵/۰۳، همراه با تصاویر مربوط به ماه‌های آوریل و سپتامبر از سایت‌های سازمان زمین‌شناسی آمریکا^۱، سازمان فضایی آمریکا^۲، سایت تسهیلات جهانی پوشش زمین^۳ و آرشیو سایت ماهواره لندست^۴.
- نقشه‌های اطلس کاربری اراضی زیرحوضه‌های افغانستان (AIMS)^۵ مربوط به سال ۱۹۹۰ و ۲۰۰۰ میلادی در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ (Watershed Atlas of Afghanistan, 2005).

با توجه به آنچه آمد، هدف اصلی این تحقیق ابتدا بررسی تغییرات کاربری اراضی دشت هیرمند افغانستان در پایین‌دست سد کجکی طی دوره ۱۹۹۰ لغایت ۲۰۱۱ با استفاده از تصاویر ماهواره لندست خواهد بود، سپس با استفاده از مدل SWAT، حوضه رودخانه هلمند تا ایستگاه چاربرجک در انتهای حوضه شبیه‌سازی می‌گردد، تا بتوان تأثیر کاربری‌های مختلف ایجاد شده در مرحله اول بر رواناب خروجی از حوضه مورد بررسی قرار گیرد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مطالعاتی و داده‌های مورد استفاده

حوضه آبریز هامون‌ها در قسمت شرق ایران قرار گرفته و بین کشورهای ایران (۱۲٪)، افغانستان (۸۴٪) و پاکستان (۴٪) مشترک بوده است. این حوضه آبریز بین مختصات جغرافیایی ۳۳' تا ۵۹° ۳۳' طول شرقی و جغرافیایی ۶' تا ۲۹° ۱۵' عرض شمالی واقع شده است. مساحت این حوضه ۳۲۴ هزار کیلومتر مربع بوده و رودخانه مرزی هلمند (هیرمند)، اصلی‌ترین منبع تأمین آب این حوضه به‌شمار می‌آید. این رودخانه از ارتفاعات کتل‌اونی به ارتفاع ۴۲۰۰ متر در نزدیکی کوه یغمان در ۶۰ کیلومتری غرب کابل سرچشمه می‌گیرد و بعد از طی مسافت ۱۰۵۰ کیلومتر، به دریاچه‌های تالاب بین‌المللی هامون در سیستان ایران می‌رسد. بخش علیای رودخانه و حوضه کوهستانی آن که با جمع‌آوری جریان‌های آبی کوچک و بزرگ کوه‌های هزاره‌جات که در دو شاخه اصلی آن هلمند (هیرمند) و ارغنداب جاری است، منبع اصلی تأمین‌کننده آب رودخانه می‌باشد.



ب) حوضه آبریز هامون‌ها

الف) زیرحوضه رودخانه هلمند

شکل ۱- موقعیت منطقه مطالعاتی

۲-۳- الگوریتم‌های طبقه‌بندی تصاویر

همانگونه که اشاره شد به منظور طبقه‌بندی تصاویر، روش‌های حداکثر احتمال، درخت تصمیم‌گیری و ماشین‌های بردار پشتیبان مورد استفاده قرار گرفته است. روش‌های مذکور از نوع طبقه‌بندی ناظر هستند که در این تحقیق بر مبنای نقشه‌های کاربری اراضی موجود، اراضی منطقه به شش کلاس شامل اراضی کشاورزی آبی^{۱۵}، اراضی کشاورزی دیم^{۱۶}، اراضی مرتع متراکم^{۱۷}، اراضی مرتع فقیر^{۱۸} (بایر و سنگی)، آب^{۱۹} و اراضی نیزار آبی^{۲۰} (باتلاق، ماندابی) تفکیک گردید. دقت کلی روش‌ها با ضریب کاپا، دقت تولیدکننده و دقت استفاده کننده که از ماتریس خطای آن تولید می‌شود، ارزیابی گردید. در شکل ۳ مراحل تحقیق به صورت خلاصه ذکر شده است. جزییات الگوریتم‌های استفاده شده و شاخص‌هایی که در این تحقیق با استفاده از نرم‌افزار ENVI 4.8 استفاده گردید، در تحقیق حاج‌حسینی و همکاران (۱۳۹۲) بیان شده است.

برای طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای در روش‌های طبقه‌بندی MLC و SVM، نمونه‌های آموزشی از سطح منطقه به منظور ایجاد کلاس‌های کاربری اراضی در شش کلاس در نظر گرفته شده است. انتخاب نمونه‌های آموزشی مورد نیاز برای طبقه‌بندی کلاس‌های مختلف، براساس شناخت کلی از منطقه و با استفاده از اطلاعات جانبی شامل نقشه اطلس زيرحوضه‌های افغانستان (AIMS) مربوط به سال ۱۹۹۰ و ۲۰۰۰ میلادی، نقشه‌های پوشش اراضی سازمان خواربار جهانی (FAO, 1993) در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ و نقشه‌های مرکز Early warning سازمان زمین‌شناسی آمریکا (USGS)، استفاده از تصویر رنگی مرکب ۲،۳،۴ (RGB)، تصاویر Google Earth، تصاویر چندزمانه از ماهواره لندست مربوط به ماه‌های آوریل، می (برای تشخیص بهتر سطوح مرتع)، تصویر مربوط به ماه سپتامبر (به منظور سهولت در تعیین اراضی دیم)، گزارش‌های دفتر مقابله با مواد مخدر و جرم سازمان ملل مربوط به گیاه خشخاش (UNODC, 2012)^{۲۱} و گیاه شاهدانه (UNODC, 2011) و همچنین پرس و جو از کارشناسان و افراد بومی منطقه تعیین شده است.

در روش DT، شاخه‌ها در چهار سطح تصمیم‌گیری تشکیل گردید. برای تفکیک کلاس‌ها در این روش، با استفاده از شاخص SAVI، شاخص Brightness، باند حرارتی سنجنده^{۲۲}، و روش MLC اراضی نیزار از سایر عوارض تفکیک گردید. این مناطق دارای پوشش گیاهی بسیار متراکم بوده که اکثراً در حاشیه رودخانه هلمند (نیزار

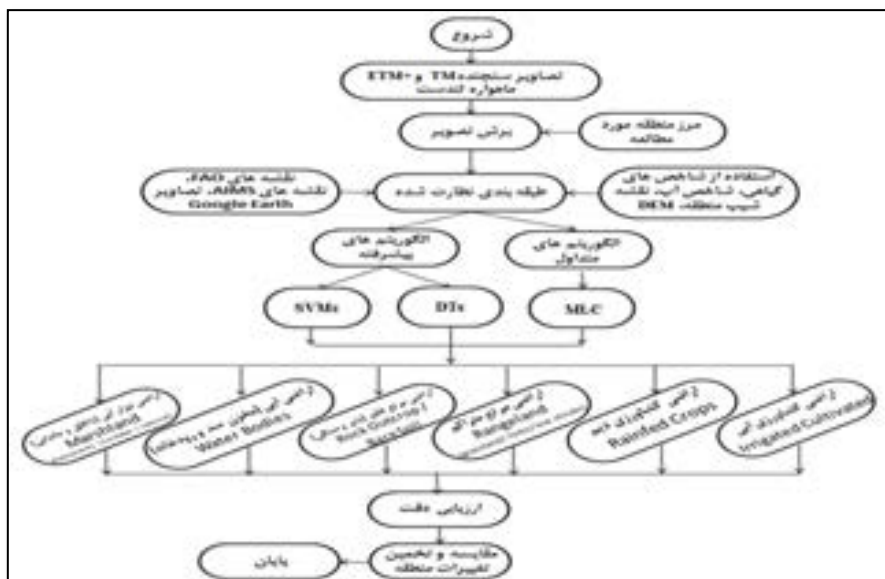


شکل ۲- موقعیت منطقه مطالعاتی بخش مربوط به کاربری اراضی تحقیق (کادر خط‌چین قرمز رنگ 38:155 Path) - تصویر لندست TM

- نقشه‌های پوشش اراضی سازمان خواربار جهانی (FAO, 1993)
- نقشه‌های برنامه هشدار زود هنگام و پایش زیست‌محیطی^{۱۳} سازمان زمین‌شناسی آمریکا (USGS)،
- تصاویر Google Earth مربوط به تاریخ می ۲۰۱۱، اکتبر ۲۰۱۳ و آوریل ۲۰۰۲،
- داده‌های اقلیمی پایگاه جهانی CRU^{۱۴}
- آمار و اطلاعات ایستگاه‌های آب‌سنجی دهرآود در بالادست سد کجکی، ایستگاه پایین‌دست سد کجکی، ایستگاه قلعه‌بست واقع در انتهای رودخانه ارغنداب (ورودی به رودخانه هلمند)، ایستگاه پل درویشان (بعد از شهر لشگرگاه)، و ایستگاه چاربرجک واقع در انتهای حوضه (USGS Afghanistan Project, 2008).
- داده‌های کمکی شامل لایه رقومی ارتفاعی ۹۰ متری افغانستان (SRTM) و نقشه شیب منطقه.

۲-۲- پردازش تصاویر ماهواره‌ای

برای آشکارسازی تغییرات پوشش اراضی عملیات پردازش بر روی تصاویر ماهواره‌ای در سه مرحله شامل پیش‌پردازش، پردازش و پس‌پردازش انجام شد. در مرحله پیش‌پردازش، یک سری عملیات روی داده‌های خام (قبل از هر گونه پردازش بصری یا رقومی) در ارتباط با خطاهای رادیومتری و هندسی انجام گرفت. پس از این مرحله طبقه‌بندی تصاویر دنبال گردید که در ادامه تشریح می‌شود.



شکل ۳- فلوچارت مراحل کلی تحقیق برای بخش مربوط به طبقه بندی تصاویر سنجنش از دور

کجکی، به ۷ زیرحوضه و ۷۳ واحد همگن هیدرولوژیکی (HRU) تقسیم بندی گردید (شکل ۴).

۳- نتایج

۳-۱- طبقه بندی تصاویر ماهواره ای

۳-۱-۱- ارزیابی و نتایج

نقشه های کاربری اراضی تولید شده با استفاده از سه الگوریتم بیان شده، در سال های ۱۹۹۰، ۲۰۰۱ و ۲۰۱۱ میلادی تولید گردید. عامل های آماری دقت کل، ضریب کاپا، دقت تولید کننده و دقت استفاده کننده به تفکیک روش های مطالعاتی در جدول ۱ در هر سه سال آورده شده است. با توجه به ارزیابی صورت گرفته از محاسبه ضرایب و مشخصات آماری فوق، هر سه روش دارای دقت قابل قبولی می باشند. همانطور که در جدول فوق نیز مشخص است در سال ۱۹۹۰ و ۲۰۰۱ شاهد ضریب کاپا کمتری نسبت به سال ۲۰۱۱ هستیم که از دلایل اصلی آن تفکیک کلاس های اراضی کشاورزی از اراضی نیزار (دائمی و فصلی) است. با این حال از مقایسه ی نقشه های اراضی نیزار (دائمی و فصلی) تولید شده در سه روش مورد مطالعه، روش MLC تطابق بیشتری با واقعیت زمینی و نقشه های مرجع داشت. از مقایسه ی نقشه های اراضی کشاورزی آبی تولید شده، می توان نتیجه گرفت، روش DT از عملکرد مناسبی برخوردار است. علت این موضوع این است که در طبقه بندی کننده بیشترین شباهت، کلاس هر نمونه بر اساس میزان شباهت مدل آن نمونه به مدل واقعی داده های آن کلاس تعیین می شود.

فصلی) و منطقه ناوه بارکزی (نیزار دائمی و فصلی) در غرب رود هلمند قرار دارد. سپس با استفاده از شاخص NDVI، آستانه شیب، و تصویر ماه سپتامبر، اراضی دیم از اراضی کشاورزی تفکیک گردید. اراضی دیم اکثراً در ارتفاعات شهر ناعلی (غرب نهر بغری)، موسی قلعه و نوزاد کشت می شود. در تصویر سپتامبر نیز سطح اراضی دیم بدون پوشش گیاهی بوده و به خوبی قابل تشخیص می باشند. به منظور تعیین کلاس آب، استفاده توأم از شاخص آبی NDWI و باند مادون قرمز نزدیک نتایج خوبی را به همراه داشت. شاخص SAVI نیز در کنار شاخص NDVI می تواند شاخص مناسبی برای تفکیک اراضی مرتع متراکم از اراضی بایر باشد.

۳-۲- ارزیابی دقت (Accuracy Assessment)

برآورد دقت برای درک درستی نتایج بدست آمده و به کار بردن این نتایج برای تصمیم گیری حائز اهمیت است. معمول ترین عامل های برآورد دقت شامل دقت کل^{۲۳}، ضریب کاپا^{۲۴}، دقت تولیدکننده^{۲۵} و دقت کاربر^{۲۶} هستند (Lu et al., 2007) که در این مطالعه برای ارزیابی دقت نقشه ها استفاده گردید.

۴-۲- ساختار بندی حوضه و تنظیم مدل SWAT

این بخش عملاً ادامه تحقیق حاج حسینی و همکاران (۱۳۹۲) می باشد و مدل SWAT را برای پایین دست سد کجکی تنظیم و اجرا می نماید. منابع داده ای مانند تحقیق قبل شامل DEM، نقشه های کاربری اراضی، خاک و اطلاعات اقلیمی می باشد. براساس این لایه های اطلاعاتی، حوضه رودخانه هلمند (هیرمند) بعد از سد



شکل ۴- مرز منطقه شبیه‌سازی مدل SWAT

جدول ۱- ارزیابی طبقه‌بندی برای نقشه‌های کاربری استخراج شده از طبقه‌بندی تصاویر لندست در سه روش مورد مطالعه (بر حسب درصد)

مشخصات آماری	SVM			DT			MLC		
	۲۰۱۱	۲۰۰۱	۱۹۹۰	۲۰۱۱	۲۰۰۱	۱۹۹۰	۲۰۱۱	۲۰۰۱	۱۹۹۰
دقت تولید کننده									
اراضی نیزار آبی (باتلاق، ماندابی)	۶۵.۲	۶۶.۲	۸۲.۳	۷۲.۸	۱۴.۷	۶۱.۷	۷۸.۲	۶۱.۸	۶۲.۰
اراضی کشاورزی آبی	۹۷.۵	۹۰.۵۵	۹۳.۲	۹۲.۰	۸۰.۶	۹۰.۳	۹۱.۸	۷۶.۴	۹۴.۲
اراضی کشاورزی دیم	۵۹.۳	-	-	۶۰.۰	-	-	۹۸.۰	-	-
آب	۹۷.۹	۹۹.۱	۱۰۰.۰	۹۷.۶	۹۸.۸	۹۸.۸	۹۸.۸	۹۸.۸	۹۹.۹
اراضی مرتع متراکم	۹۳.۲	۸۴.۰۴	۸۵.۷	۷۷.۵	۹۸.۳	۸۷.۲	۸۹.۰	۹۸.۴	۸۷.۴
اراضی مرتع فقیر (بایر و سنگی)	۹۸.۸	۹۹.۵	۹۰.۶	۹۹.۲	۹۵.۵	۸۶.۹	۹۵.۰	۹۵.۲	۸۵.۸
دقت کاربر									
اراضی نیزار آبی (باتلاق، ماندابی)	۸۴.۹	۸۲.۲	۸۰.۲	۴۵.۹	۵۹.۳	۷۹.۳	۳۸.۳	۴۱.۰	۸۰.۲
اراضی کشاورزی آبی	۹۲.۹	۸۴.۷	۹۰.۳	۹۹.۱	۹۳.۲	۸۶.۲	۹۹.۹	۹۶.۲	۸۶.۶
اراضی کشاورزی دیم	۸۵.۸	-	-	۱۵.۱	-	-	۲۵.۸	-	-
آب	۱۰۰.۰	۹۹.۸	۹۹.۹	۹۹.۶	۹۸.۵	۱۰۰.۰	۱۰۰.۰	۹۹.۸	۹۹.۳
اراضی مرتع متراکم	۹۳.۰	۹۰.۲	۸۹.۱	۹۳.۰	۵۸.۰	۸۰.۵	۹۱.۶	۵۷.۲	۷۹.۵
اراضی مرتع فقیر (بایر و سنگی)	۹۷.۵	۹۵.۶	۹۰.۱	۹۱.۴	۷۷.۴	۸۵.۸	۹۵.۹	۹۱.۵	۸۹.۴
دقت کلی (%)	٪۹۵.۳	٪۸۹.۸	٪۸۸.۴	٪۹۱.۰	٪۸۲.۱	٪۸۳.۶	٪۹۲.۴	٪۸۳.۴	٪۸۴.۳
ضریب کاپا	۰.۹۳	۰.۸۵	۰.۸۴	۰.۸۷	۰.۷۲	۰.۷۸	۰.۸۹	۰.۷۵	۰.۷۹

جدول ۲- مساحت پوشش اراضی به تفکیک کلاس‌ها در سه روش مورد مطالعه

سطوح استفاده شده در مدل SWAT	MLC			DT			SVM			مساحت پوشش اراضی (هزار هکتار)				
	۱۹۹۰	۲۰۰۱	۲۰۱۱	۱۹۹۰	۲۰۰۱	۲۰۱۱	۱۹۹۰	۲۰۰۱	۲۰۱۱					
آب‌وه	۵۰۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۵۲۰۸	۵۰۰۰	۳۲۰۲	۳۹۰۲	۳۲۰	۲۰۰۲	۳۹۰۲	۵۰۰۰	۳۰۰	۳۰۰	اراضی نزار آبی (باتلاق، ماندابی)
۱-۲-۱	۱۳۳۰	۱۳۳۰	۱۳۳۰	۱۰۰۰	۱۳۳۰	۱۳۳۰	۱۰۰۰	۱۳۳۰	۱۰۰۰	۱۳۳۰	۱۳۳۰	۱۳۳۰	۱۳۳۰	اراضی کشاورزی آبی
۳-۱	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	اراضی کشاورزی نیم
۳-۲	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	آبی
۳-۳	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	اراضی مرتع متراکم
۳-۴	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	اراضی مرتع غیر متراکم (پارک و جنگل)

سال ۲۰۱۱ افزایش قابل توجهی داشته و ۱۶۷ هزار هکتار برآورد می‌گردد.

الف) بخش ناوه بارکزی (غرب لشگرگاه)

همانطور که در شکل ۵ مشخص می‌باشد، اکثر اراضی نزار (باتلاق و ماندابی) که در پایین دست نهر بغری قرار گرفته‌اند، از سال ۲۰۰۱ به بعد خشک شده و به منطقه حاصلخیزی برای کشاورزی و کشت آبی تبدیل شده‌اند.

با توجه به اشکال بالا، توسعه کشت محصولات آبی در مناطق نزار شهر ناوه بارکزی بیشترین تغییرات را طی بیست سال اخیر داشته که اراضی کلاس نزار آبی به کلاس کشاورزی آبی و کلاس مرتع متراکم تبدیل شده است.

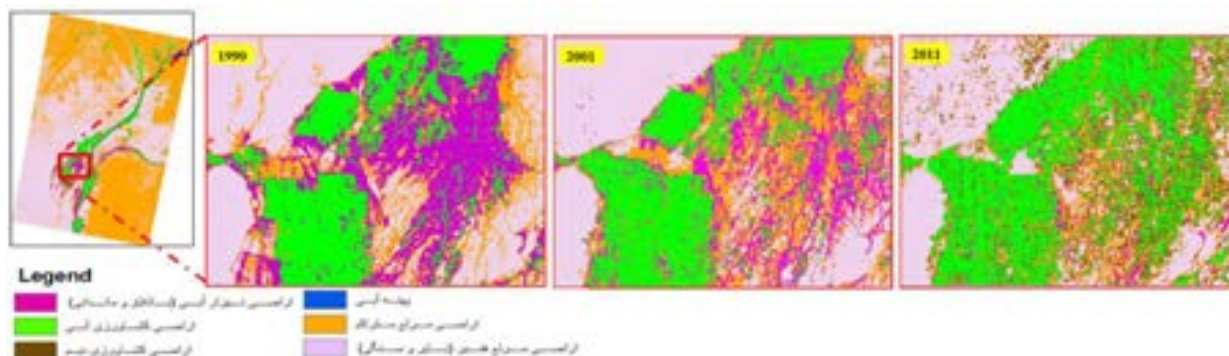
ب) بخش نوزاد

از مقایسه نتایج در جدول ۲، می‌توان افزایش ۳۲ هزار هکتاری کلاس دیم را مشاهده نمود که اکثراً در ارتفاعات موسی قلعه و نوزاد می‌باشد. در این بخش، افزایش شدید سطح زیر کشت دیم قابل ملاحظه است. سطوح دیم در تصاویر با رنگ قهوه‌ای مشخص می‌باشند (شکل ۶).

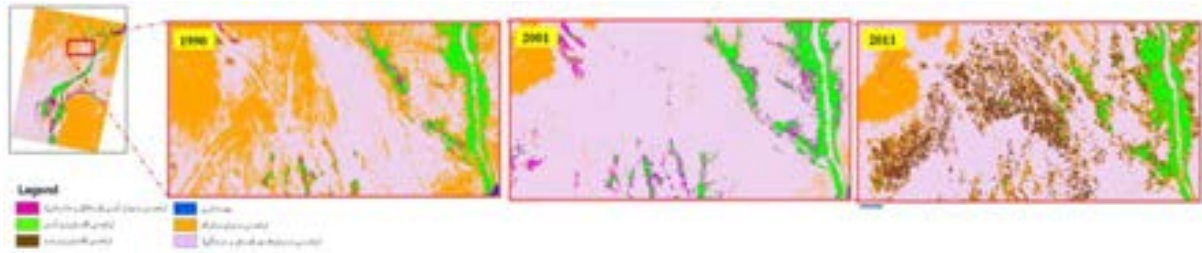
بنابراین انتخاب نمونه‌ها تأثیر زیادی در نتایج داشته است. در مقابل طبقه‌بندی کننده درخت تصمیم در مورد هر پیکسل مجموعه‌ای از تصمیمات اتخاذ می‌شوند تا پیکسل به درستی طبقه‌بندی شود. در این روش کلاس‌ها با توجه به محدوده شاخص‌ها و خصوصیات توپوگرافی منطقه طبقه‌بندی گردیدند و انتخاب نمونه‌های واقعی تأثیری در نتایج طبقه‌بندی نداشته است. یکی دیگر از مواردی که می‌توان از ارزیابی نقشه‌های کاربری نتیجه گرفت، تعیین کلاس اراضی نزار است که در روش MLC بهترین نتایج را شاهد بودیم. در روش SVM نیز علیرغم طولانی بودن زمان اجرای آن، نیاز کمتری به نمونه‌های آموزشی از منطقه داشت. از دیگر مزیت‌های این روش نیز می‌توان به قابلیت آن برای تفکیک کلاس اراضی نزار (باتلاق و ماندابی) اشاره کرد که دارای ضریب کاپا بالاتری نسبت به دو روش دیگر برخوردار بود. این مطلب در تحقیق Szantoi و همکاران (2013) نیز بیان شده است.

۳-۱-۲- تغییرات کاربری اراضی منطقه مطالعاتی طی بیست سال گذشته

از مقایسه نتایج حاصل از طبقه‌بندی تصاویر در دوره‌های مختلف (جدول ۲) ملاحظه می‌گردد که سطح زیر کشت محصولات آبی در سال ۱۹۹۰ به طور میانگین برابر ۱۰۳ هزارهکتار بوده که در سال ۲۰۰۱ به رقمی حدود ۱۲۲ هزار هکتار رسیده است. این مقدار در



شکل ۵- بخش ناوه بارکزی



شکل ۶- بخش ناوه بارکزی

روش نزدیکترین همسایه (KNN) برآورد گردید. این برآورد بر اساس دبی ماهانه ایستگاه پایین دست سد کجکی طی دوره ۱۹۵۷ تا ۱۹۷۹ و دبی شبیه سازی شده در بالادست سد کجکی طی دوره ۱۹۵۷ تا ۲۰۱۲ با استفاده از برنامه STATISTICA انجام گرفت. آموزش و صحت سنجی مدل KNN بر اساس مشاهدات مشترک دوره ۱۹۵۷ تا ۱۹۷۹ در ایستگاه های بالادست و پایین دست سد می باشد. بدین منظور ۷۵٪ بطور تصادفی برای آموزش و ۲۵٪ برای صحت سنجی در نظر گرفته شد. همچنین پس از بررسی طیف متنوعی از همسایگی ها در روش برآورد فاصله، تعداد همسایگی برابر ۵ و فاصله اقلیدسی انتخاب گردید. ورودی های منتخب نیز مقدار دبی هر ماه و سه ماه قبل بالادست سد کجکی و خروجی مدل، مقدار دبی در هر ماه در ایستگاه پایین دست سد می باشد (شکل ۸).

نتایج نهایی، همبستگی مناسب مقادیر مشاهداتی در ایستگاه پایین دست و خروجی های مدل KNN را با ضریب همبستگی ۹۴٪ نشان می دهد که در شکل ۹ قابل ملاحظه هستند. البته روش KNN دبی های پیک را کمتر برآورد می کند. بدین ترتیب خروجی سد کجکی طی دوره آماری ۱۹۷۹ تا ۲۰۱۲ که آماری از آن موجود نبود و تحت تأثیر مدیریت سد قرار داشت، برآورد گردید.

۳-۲-۲- تحلیل حساسیت پارامترهای مدل

قبل از مرحله واسنجی و اعتبارسنجی مدل، ابتدا توسط نرم افزار SWAT CUP و با انجام تحلیل حساسیت، پارامترهایی که بیشترین تأثیر را بر روی دبی خروجی از حوضه داشتند، مشخص شدند

ج) بخش نادعلی (غرب نهر بغری)

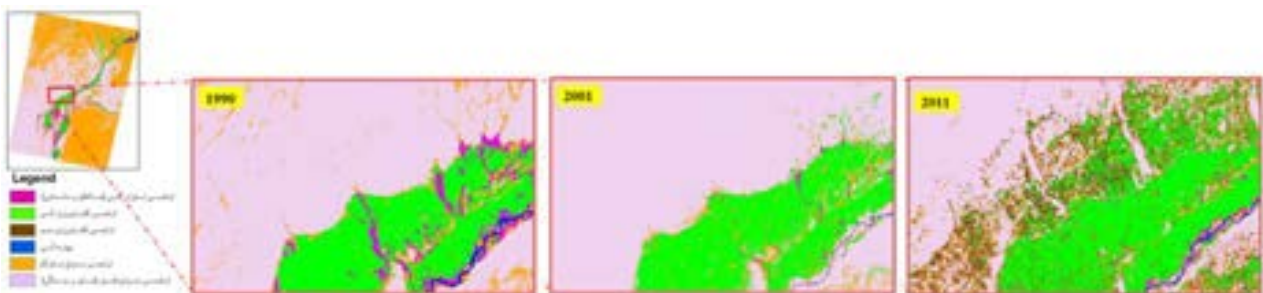
افزایش ناشی از سطح کشاورزی، مربوط به سطوح دیم و آبی در بالادست نهر بغری نیز اتفاق افتاده است. آبهای زیرزمینی (قنات و چاه) منبع تامین کننده آب مربوط به سطوح افزایش یافته بخش کشاورزی آبی است (اطلس افغانستان، ۲۰۰۶). سطوح کشت دیم و آبی در نقشه های شکل ۷ به ترتیب با رنگ های قهوه ای و سبز مشخص شده است.

با توجه به تغییرات فوق، به طور میانگین مجموع مساحت اراضی کشاورزی (آبی و دیم) برابر ۲۰۰ هزار هکتار برای سال ۲۰۱۱ برآورد گردید. از مقایسه تصاویر سال ۱۹۹۰ و ۲۰۰۱ نیز می توان به طور مشخص تبدیل شدن اراضی مرتع متراکم به اراضی بایر یا مرتع فقیر، و همچنین تبدیل شدن نزارهای دائمی به فصلی را مشاهده نمود که یکی از دلایل اصلی آن کم آبی و خشکسالی در سال ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۲ می باشد. در این دوره ۴ ساله، منطقه وسیعی از آسیای مرکزی، ایران و افغانستان خشکسالی شدیدی رخداد که این خشکسالی از سال ۱۸۳۰ میلادی بی سابقه بود (نجفی، ۱۳۹۰، Golian و همکاران، ۲۰۱۴).

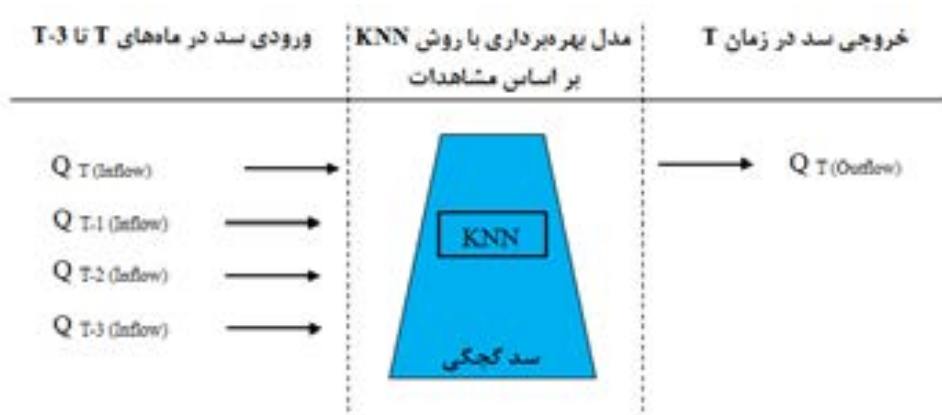
۳-۲-۳- شبیه سازی مدل SWAT

۳-۲-۱- برنامه بهره برداری سد کجکی

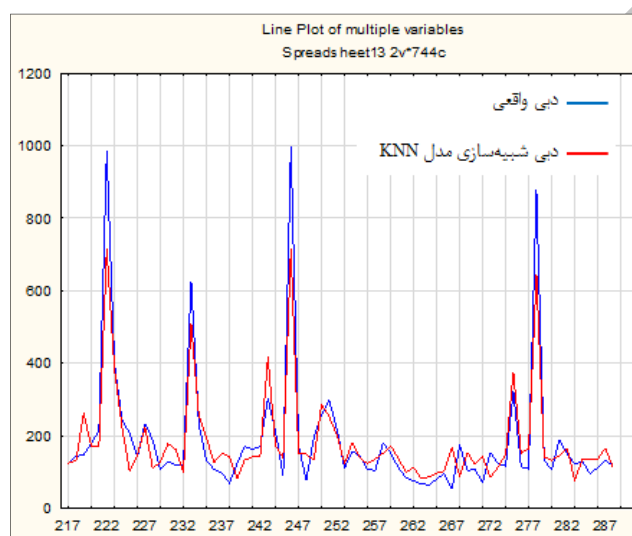
متأسفانه برنامه بهره برداری آب سد کجکی طی دوره ۱۹۷۹ تا ۲۰۱۲ در دسترس نیست، لذا برنامه ماهانه بهره برداری سد در این دوره، از



شکل ۷- بخش نادعلی



شکل ۸- فرآیند برآورد برنامه بهره‌برداری سد کجکی با استفاده از مدل KNN



شکل ۹- دبی نمونه‌های مشاهداتی و برآورد شده توسط مدل KNN در ایستگاه پایین دست سد کجکی در دوره تست روش

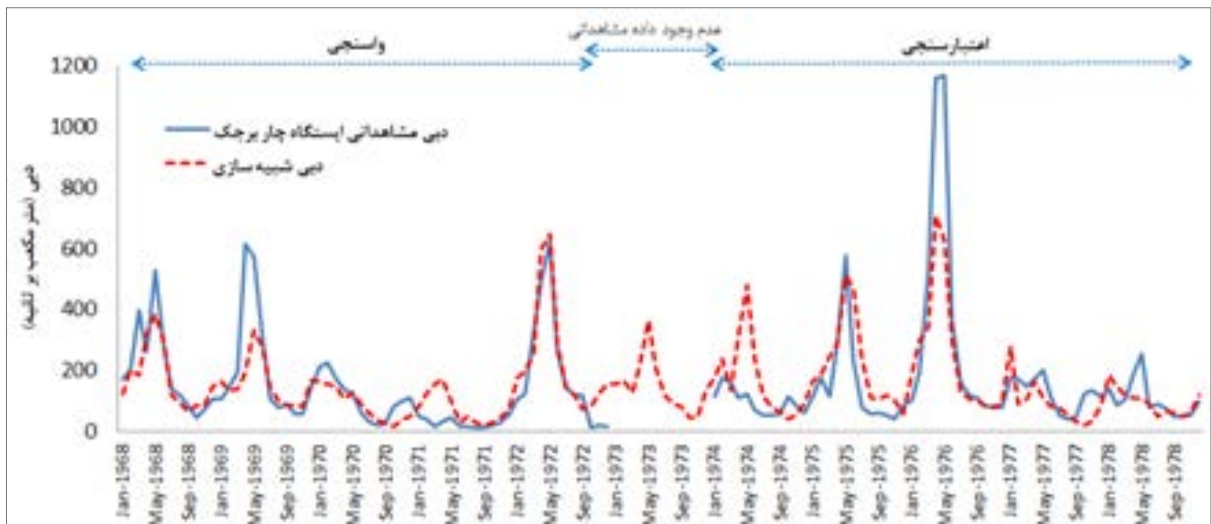
می‌باشد، برای هر کلاس کاربری، CN به صورت جداگانه در نظر گرفته شد که در تحقیق Abbaspour و همکاران (۲۰۰۸) نیز با این روش آنالیز حساسیت انجام شده است. بر این اساس مرحله واسنجی و اعتبارسنجی مدل انجام گرفت.

۳-۲-۳- واسنجی و اعتبارسنجی مدل

پس از انجام مرحله تحلیل حساسیت، با استفاده از آمار ماهانه دبی در ایستگاه چاربرجک در انتهای حوضه، واسنجی و اعتبارسنجی مدل صورت گرفت. ارزیابی مدل‌ها با استفاده از دو شاخص ضریب تبیین R^2 و ضریب نش- ساتکلیف (NS) انجام گردید که مقادیر آن در دوره واسنجی (سال ۱۹۶۸ لغایت ۱۹۷۲) ۰/۶۷ و ۰/۶۷ و برای دوره اعتبارسنجی (سال ۱۹۷۴ لغایت ۱۹۷۸) ۰/۶۵ و ۰/۶۳ بدست آمد (شکل ۱۰).

(Abbaspour et al, 2007). نتایج مربوط به این تحلیل بر روی ۲۳ پارامتر صورت گرفت. شایان ذکر است به منظور اعمال آبیاری از امکانات Auto Irrigation مدل SWAT استفاده گردید. این گزینه برای استفاده SWAT در شرایط عدم وجود اطلاعات از برنامه‌ریزی آبیاری بیشترین کاربرد را دارد (Faramarzi et al., 2009; Abbaspour et al., 2008) و به دو صورت در مدل اجرا می‌شود. حالت اول، با توجه به تنش آبی وارد شده به گیاه عمل کرده و آبیاری به صورت خودکار انجام می‌گیرد. حالت دوم، با توجه به ظرفیت اشباع خاک عمل می‌کند. در هر دو حالت فوق، پس از تنش آبی، به مقدار مشخصی آبیاری بر حسب میلی‌متر انجام می‌گیرد. در این تحقیق از حالت دوم برای آبیاری محصولات آبی استفاده گردید^{۲۸}.

پس از پارامترهای مربوط به حالت آبیاری خودکار، شماره منحنی نفوذ در شرایط متوسط رطوبتی (CN2)، پارامتر دیگری است که بر دبی خروجی از حوضه مؤثر است. همانطور که در جدول نیز مشخص



شکل ۱۰- مقایسه دبی مشاهداتی و دبی شبیه‌سازی مدل SWAT ایستگاه چاربرجک در دوره واسنجی و اعتبارسنجی

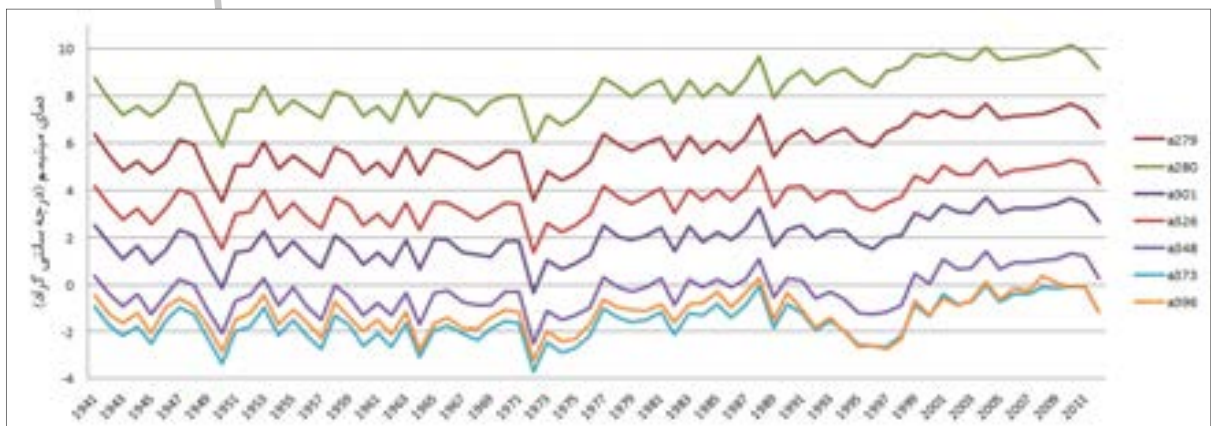
روندزدایی شده یکی از نقاط شبکه CRU مقایسه شده است. متذکر می‌گردد که روندزدایی تنها برای سال‌های بعد از ۱۹۷۶ به‌انجام رسیده است.

۳-۲-۵- اثرات تغییر کاربری اراضی بر هیدرولوژی حوضه
 به‌منظور بررسی اثر تغییرات کاربری کشاورزی که در دهه‌های گذشته افزایش داشته است، نقشه‌های کاربری بدست‌آمده از بخش اول تحقیق در سه دوره برای شبیه‌سازی اعمال گردید. روال واسنجی بدین شکل بود که ابتدا براساس کاربری اول (دوره ۱۹۸۵-۱۹۹۵ با ۱۰۳ هزار هکتار کشت آبی)، پارامترها واسنجی و اعتبارسنجی شدند. سپس برای اعمال افزایش کاربری کشاورزی برای دوره دوم (۱۹۹۵-۲۰۰۴ با ۱۲۲ هزار هکتار) و سوم (۲۰۰۵-۲۰۱۱ با ۱۶۷ هزار هکتار)، پارامترهای کالیبره‌شده کاربری‌های کشاورزی (در قالب HRU ها) از مرحله اول، جایگزین کاربری‌های

۳-۲-۴- اثرات تغییرات شرایط آب و هوایی بر هیدرولوژی حوضه

به‌منظور بررسی تغییرات سری زمانی دبی شبیه‌سازی شده توسط مدل SWAT تحت نقشه‌های کاربری اراضی مختلف، سعی شد تا اثر روند ممکن در پارامترهای تأثیر گذار آب و هوایی مانند بارش، دمای حداکثر و حداقل ابتدا شناسایی و حذف گردند. با بررسی صورت گرفته از طریق آزمون من-کندال در مورد روند متغیرهای مذکور (جدول ۳) در حوضه بالادست هیرمند، تنها دمای حداقل روند معنی داری را از خود نشان داد که در شکل ۱۱ به‌خوبی برای شبکه داده‌های CRU در منطقه مشخص می‌باشد.

به منظور تشخیص نقطه تحول در منحنی‌های فوق، از آزمون پیتیت^{۲۹} استفاده گردید. این آزمون وقوع تغییر معنی‌دار در میانگین سری زمانی دما حداقل را در سال ۱۹۷۶ میلادی مشخص می‌نماید. در شکل ۱۲ به‌عنوان نمونه، دمای حداقل در دو حالت رونددار و

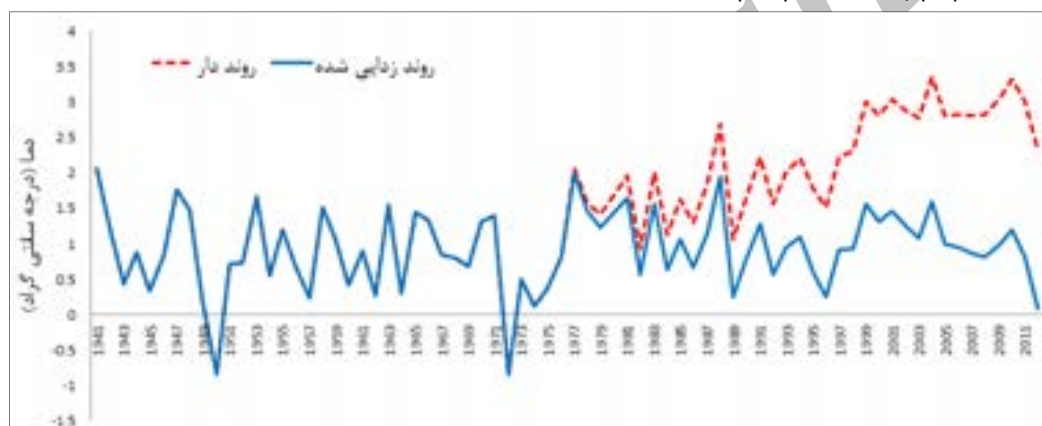


شکل ۱۱- روند افزایشی دمای حداقل برخی از ایستگاه‌های CRU حوضه هیرمند طی ۱۹۴۱ لغایت ۲۰۱۲

جدول ۳- مقادیر آماره من-کندال (Z) برای سری زمانی سالانه دمای حداقل

کد نقاط شبکه CRU	شروع دوره	پایان دوره	تعداد	آماره Z	سطح معنی داری
a254	۱۹۴۱	۲۰۱۲	۷۲	۶.۸۷	***
a279	۱۹۴۱	۲۰۱۲	۷۲	۶.۹۳	***
a280	۱۹۴۱	۲۰۱۲	۷۲	۶.۹۷	***
a301	۱۹۴۱	۲۰۱۲	۷۲	۶.۰۱	***
a302	۱۹۴۱	۲۰۱۲	۷۲	۶.۴۲	***
a303	۱۹۴۱	۲۰۱۲	۷۲	۶.۷۱	***
a324	۱۹۴۱	۲۰۱۲	۷۲	۴.۹۴	***
a326	۱۹۴۱	۲۰۱۲	۷۲	۵.۹۰	***
a327	۱۹۴۱	۲۰۱۲	۷۲	۶.۳۲	***
a348	۱۹۴۱	۲۰۱۲	۷۲	۴.۳۸	***
a373	۱۹۴۱	۲۰۱۲	۷۲	۴.۲۸	***
a396	۱۹۴۱	۲۰۱۲	۷۲	۲.۹۵	**

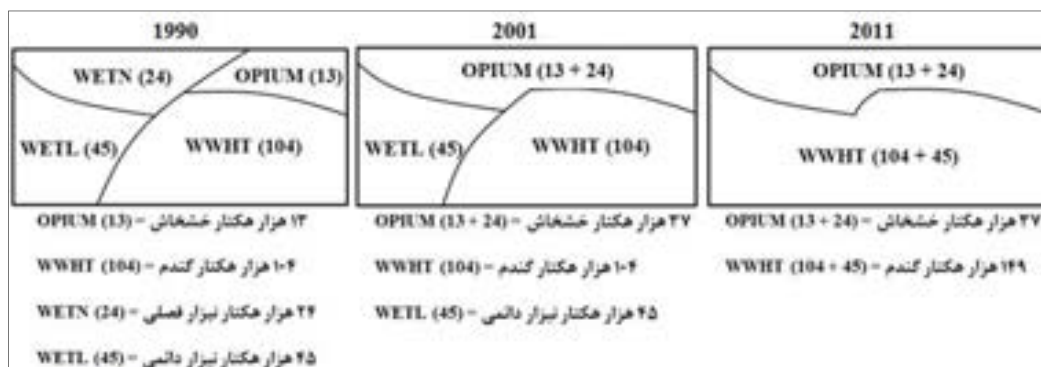
(**): $\alpha = 0.01$, (***) : $\alpha = 0.001$



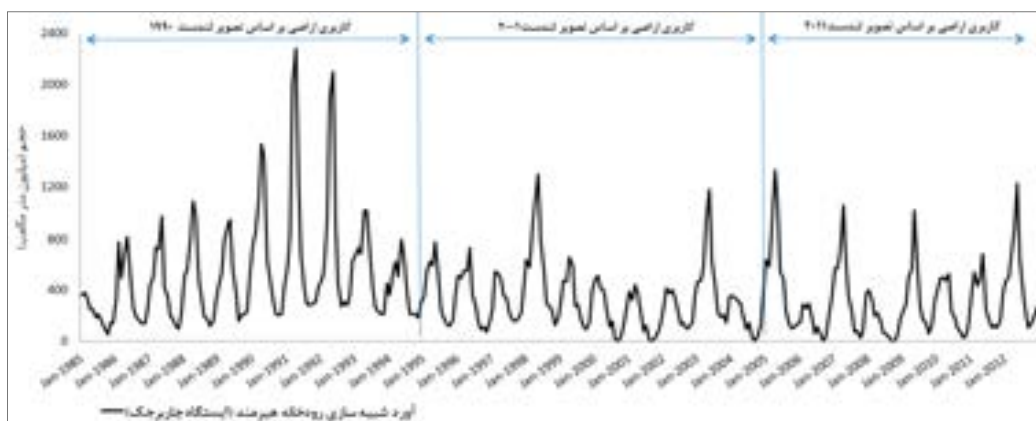
شکل ۱۲- مقایسه دمای حداقل یکی از نقاط شبکه CRU در حالت واقعی و روندزایی شده

کاربری برای دوره ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۲ اجرا گردید (شکل ۱۵). نتایج نشان می‌دهد که متوسط آورد سالیانه در شرایط واقعی ۴/۷۸ میلیارد بوده، درحالیکه با حفظ ثابت کاربری ۱۹۹۰ و ۲۰۱۱ متوسط آورد سالیانه ۵/۱ و ۴/۲۸ میلیارد در سال را به همراه دارد.

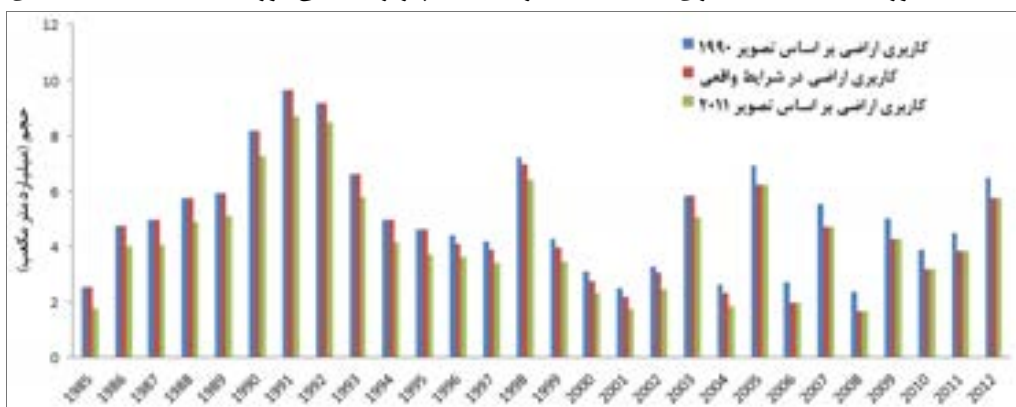
مشابه در مراحل بعدی شد. به منظور تشریح بیشتر، موارد فوق در شکل ۱۳ بطور شماتیک نشان داده شده است. نهایتاً شکل ۱۴ تغییرات سری زمانی دبی شبیه‌سازی توسط مدل را در ایستگاه چاربرجک نشان می‌دهد. همچنین به منظور نشان دادن تأثیر بلندمدت کاربری اراضی، مدل واسنجی شده SWAT یکبار نیز با سه



شکل ۱۳- شماتیک توسعه کاربری کشاورزی در مدل SWAT



شکل ۱۴- آورد (MCM) شبیه‌سازی مدل SWAT در ایستگاه چاربرجک طی دوره ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۲ میلادی



شکل ۱۵- آورد سالانه شبیه‌سازی مدل SWAT در ایستگاه چاربرجک در مقایسه با حفظ ثابت مساحت کاربری اراضی

به عبارتی دیگر توسعه بخش کشاورزی در دشت هیرمند کاهش بیست‌سال اخیر در منطقه دشت هیرمند نشان می‌دهد: متوسط ۸۰۰ میلیون مترمکعبی را در سال به همراه داشته است.

- سه الگوریتم طبقه‌بندی حداکثر احتمال (MLC)، درخت تصمیم‌گیری (DT) و ماشین‌های بردار پشتیبان (SVM) نتایج تقریباً یکسانی از لحاظ ضریب کاپا و دقت کلی برای تصاویر داشتند (حدود ۸۵٪). همچنین سایر مشخصات آماری نظیر دقت تولیدکننده و دقت کاربر که از ماتریس خطا محاسبه گردید، دارای دقت قابل قبولی بود. با این حال، از بین سه روش اشاره شده، الگوریتم درخت تصمیم‌گیری دارای کارآمدی بیشتری به لحاظ ملاحظات عملیاتی برای کار با نمونه‌های آموزشی کمتر بود.

- از بررسی تغییرات سطح زیر کشت محصولات آبی طی دوره بیست‌ساله ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۱ با استفاده از سه الگوریتم فوق می‌توان نتیجه گرفت مقدار کل کشت آبی در منطقه مطالعاتی در سال ۱۹۹۰ برابر ۱۰۳ هزار هکتار می‌باشد، این مقدار در سال ۲۰۰۱ به رقمی حدود ۱۲۲ هزار هکتار و در نهایت در سال ۲۰۱۱ به حدود ۱۶۷ هزار هکتار می‌رسد. مدل‌سازی‌های این بخش نشان داد که این تغییرات تا ۱۵٪ می‌تواند کاهش ورودی‌های هیرمند را به کشور سبب گردد.

۴- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

تحقیق حاضر تلاشی بود برای بررسی دلایل کاهش آورد رودخانه فرامرزی هلمند (هیرمند) از سمت افغانستان به ایران که تأثیر مستقیمی بر روند خشک‌شدن تالاب‌های بین‌المللی هامون داشته است. بدین منظور ابتدا تغییرات کاربری اراضی دشت هیرمند افغانستان در پایین‌دست سد کجکی طی دوره ۱۹۹۰ لغایت ۲۰۱۱ با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ارزیابی شد. سپس در مرحله بعد، با استفاده از مدل SWAT، حوضه رودخانه هلمند تا ایستگاه چاربرجک شبیه‌سازی شد که در آن تأثیر کاربری‌های مختلف ایجاد شده در مرحله اول بر رواناب خروجی از حوضه مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به یافته‌های مراحل قبل، در ادامه نتایج تحقیق به تفکیک برای بخش‌های مختلف آن بیان می‌گردد.

نتایج کلی حاصل از طبقه‌بندی تصاویر، مقایسه و ارزیابی روش‌های طبقه‌بندی و مساحت‌های برآورد شده از کاربری‌های مختلف طی

- 23- Overall Accuracy
- 24- Kappa Coefficient
- 25- Producer's Accuracy
- 26- User's Accuracy
- 27- K- Nearest Neighbors

۲۸- در نسخه SWAT 2009 عملاً آبیاری خودکار تنها از طریق منبع آب زیرزمینی امکان‌پذیر است و امکان معرفی و برداشت آب از منابع سطحی وجود ندارد. به منظور اصلاح زیربرنامه Auto-Irrigation در مدل SWAT تغییراتی در کد برنامه انجام گرفت. بدین منظور با اصلاحاتی که در زیربرنامه‌های `irr_rch.f`، `irr_res.f` و `irrigate.f` انجام شد، در صورت معرفی منبع آب سطحی (رودخانه و مخزن) مدل ابتدا موجودی منبع را بررسی کرده و در صورتی وجود حجم کافی متناسب با کمبود رطوبتی خاک در هر HRU، از منبع سطحی برداشت می‌کند.

29- Pettit test

۵- مراجع

آرخی ص و ادیب‌نژاد م (۱۳۹۰) ارزیابی کارایی الگوریتم‌های ماشین بردار پشتیبان جهت طبقه‌بندی کاربری اراضی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای ETM+ لندست (مطالعه موردی: حوضه سد ایلام)، فصلنامه علمی- پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، جلد ۱۸، شماره ۳.

حاجی حسینی م (۱۳۹۲) بررسی ارتباط تغییرات کاربری اراضی دشت هیرمند و تغییرات سطح تالاب‌های هامون با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه مهندسی منابع آب، دانشگاه تربیت مدرس تهران.

حاجی حسینی ح (۱۳۹۲) شبیه‌سازی بارش و رواناب حوضه بالادست هیرمند با استفاده از مدل SWAT و داده‌های اقلیمی جهانی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه مهندسی منابع آب، دانشگاه تربیت مدرس تهران.

علوی پناه س ک (۱۳۸۴) کاربرد سنجش از دور در علوم زمین. انتشارات دانشگاه تهران، ۴۷۸ صفحه.

فاطمی س ب و رضایی ی (۱۳۸۵) مبانی سنجش از دور، انتشارات آزاده، ۲۶۸ صفحه.

صمدزادگان ف و همکاران (۱۳۹۰) ادغام داده‌ها در سنجش از دور مفاهیم و روش‌ها، انتشارات دانشگاه تهران، ۲۹۷ صفحه.

نجفی ع (۱۳۹۰) چالش‌های محیط زیستی در تالاب فرامرزی هامون. وزارت نیرو، شرکت مدیریت منابع آب ایران. ۵۱ صفحه.

حاجی حسینی م، حاجی حسینی ح، شایگان م، مرید س، دلاور م، وطن‌فدا ج و مرحوم نجفی ع (۱۳۹۲) بررسی تغییرات کاربری

در این بخش مدل SWAT برای پایین‌دست سد کجکی تنظیم و اجرا شد. موارد زیر از این بخش را می‌توان ارائه داد:

- برای شبیه‌سازی محدوده مطالعاتی، لازم شد تا برنامه ماهانه بهره‌برداری سد کجکی برای سال‌های ۱۹۷۹ لغایت ۲۰۱۲ شبیه‌سازی گردد که روش نزدیک‌ترین همسایه (KNN) با استفاده از دوره مشاهداتی ۱۹۵۷ تا ۱۹۷۹ عملکرد مناسبی را از خود نشان داد.

- پس از انجام مرحله تحلیل حساسیت، با استفاده از آمار ماهانه دبی در ایستگاه چاربرجک در انتهای حوضه، واسنجی و اعتبارسنجی مدل صورت گرفت. ارزیابی مدل‌ها با استفاده از دو شاخص ضریب تبیین R^2 و ضریب نش- ساتکلیف (NS) انجام گردید که مقادیر آن در دوره واسنجی (سال ۱۹۶۸ لغایت ۱۹۷۳) ۰/۶۷ و ۰/۶۷ و برای دوره اعتبارسنجی (سال ۱۹۷۴ لغایت ۱۹۷۸) ۰/۶۵ و ۰/۶۳ بدست آمد.

- به منظور بررسی اثر تغییرات کاربری کشاورزی که در دهه‌های گذشته افزایش داشته است، نقشه‌های کاربری بدست‌آمده از بخش اول تحقیق در سه دوره برای شبیه‌سازی اعمال گردید. نتایج نشان می‌دهد که متوسط آورد سالیانه در شرایط واقعی ۴/۷۸ میلیارد بوده، درحالی‌که با حفظ ثابت کاربری ۱۹۹۰ و ۲۰۱۱ متوسط آورد سالیانه ۵/۱ و ۴/۲۸ میلیارد در سال را به همراه دارد. به عبارتی دیگر توسعه بخش کشاورزی در دشت هیرمند کاهش متوسط ۸۰۰ میلیون مترمکعبی را در سال به همراه داشته است.

پی‌نوشت‌ها

- 1-United Nations Office on Drugs and Crime
- 2-Conventional
- 3-Advanced
- 4-Indian Remote Sensing Satellites (IRS)
- 5-Decision tree (DT)
- 6-Support Vector Machines (SVM)
- 7-Soil And Water Assessment Tools
- 8-<http://Glovis.usgs.gov>, <http://Earthexplorer.usgs.gov>
- 9-<http://Landsat.gsfc.nasa.gov/data/>
- 10-<http://glcf.umd.edu/data>
- 11-<http://Landsat.org/>
- 12-Afghanistan Information Management Service (AIMS)
- 13-Early Warning and Environmental Monitoring Program (EWEM), <http://Afghanistan.cr.usgs.gov/>
- 14-Climate Research Unit
- 15-Irrigated Cultivated
- 16- Rainfed Crops
- 17- Rangeland (grassland/ forbs/ low shrubs)
- 18- Rock Outcrop / Bare Soil
- 19- Water Bodies
- 20- Marshland (Permanently inundated / seasonal)
- 21- United Nations Office on Drugs and Crime
- 22- Thermal

- Golian S, Mazdiyasi O and Aghakouchak A (2014) Trends in meteorological and agricultural droughts in Iran, *Theoretical and Applied Climatology*, S00704-014-1139-6.
- Lu D and Weng Q (2007) A survey of image classification methods and techniques for improving classification performance. *International Journal of Remote Sensing* 26 (5): 823–870.
- Mahesh P and Mather PM (2003) An assessment of the effectiveness of the decision tree method for land cover classification. *Remote Sensing of the Environment* 86: 554–565.
- Otukei JR and Blaschke T (2010) Land cover change assessment using decision trees, support vector machines and maximum likelihood classification algorithms, *International Journal of Applied Earth Observation and Geo information*, 12: S27–S31.
- United Nation Office on Drugs and Crime (UNODC), (April 2012). Afghanistan opium survey 2012. Opium Risk Assessment for all Regions (phase 1&2).
- UNEP (2006) History of Environmental Change in the Sistan Basin, Based on Satellite Image Analysis: 1976 – 2005. Post-Conflict Branch Geneva, May 2006.
- UNEP (2003) “Selected Satellite Images of Our Changing Environment”. UNEP/DEWA/RS.03-1
- Szantoi Z, Escobedo F, Abd-Elrahman A, Smith S, Pearlstine L (2013) Analyzing fine-scale wetland composition using high resolution imagery and texture features, *International Journal of Applied Earth Observation and Geo information*. 23:204 - 212
- اراضی پایین دست سد کجکی حوضه هیرمند افغانستان با استفاده از طبقه‌بندی کننده بیشتری شباهت، درخت تصمیم‌گیری و ماشین‌های بردار پشتیبان. *مجله علمی پژوهشی سنجش از دور و GIS ایران*، انتشارات دانشگاه شهید بهشتی تهران.
- حاجی حسینی ح، حاجی حسینی م، مرحوم نجفی ع، مرید س، دلاور م، وطن‌فدا ج (۱۳۹۲) ارزیابی داده‌های اقلیمی جهانی CRU و مدل SWAT در شبیه‌سازی بارش- رواناب حوضه بالادست هیرمند. پنجمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه شهید عباسپور.
- Jensen JR (2005) *Introductory digital image processing, A remote sensing perspective (3rd Ed.)*. Upper Saddle River, New Jersey, Pearson Prentice Hall.
- Habte- Haile K (2011) Estimation of terrestrial water storage in the upper reach of yellow river. Un published M.Sc. Thesis, University of Twente, Enschede, Netherlands.
- Richards JA and X Jia (2006) *Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction*. Berlin: Springer-Verlag. 4th edition.
- Mather PM (2001) *Classification methods for Remotely Sensed data*. First Edition, Taylor & Francis.
- Watershed Atlas of Afghanistan (June 2005) First edition- Book 2 watershed maps working document for planners, Kabul.
- Zaitchik BF, Rodell M, Olivera F. (2010) Evaluation of the Global Land Data Assimilation System using global river discharge data and a source-to-sink routing scheme. *Water Resources Research*. 46, W06507