2024, Vol.11, No.1, Pages 13 to 24
Journal of Water and Sustainable Development

سال یازدهم، شماره ۱، ۱۴۰۳، صفحات ۱۳ تا ۲۴
نشریه آب و توسعه پایدار

Article Type: Case Study

نوع مقاله: مطالعه موردی

Investigating Factors Affecting Changes in Surface and Ground Water Resources Using Satellite Products (Case Study: Kabul-Afghanistan)

S. J. Hedayat[1], M. Ebrahimi-Khusfi[2*], K. Omidvar[3], M. Sharifi Paicoon[4]

1, 2, 3, 4- MSc in Remote Sensing, Assistant Professor of Remote Sensing, Professor of Climatology and Meteorology, & Assistant Professor of Geomorphology, Department of Geography, Yazd University, Yazd, Iran.

*(Corresponding Author Email: Mohsen.ebrahimi@yazd.ac.ir)

Received: 16-12-2023 Revised: 12-03-2024
Accepted: 26-03-2024 Available Online: 26-05-2024

بررسی عوامل موثر بر تغییرات منابع آب سطحی و زیرزمینی با استفاده از محصولات ماهواره‌ای (مطالعه موردی: کابل-افغانستان)

سیدجواد هدایت[1]، محسن ابراهیمی خوسفی[2*]، کمال امیدوار[3]، محمد شریفی پیچون[4]

۱، ۲، ۳ و ۴- به ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد سنجش از دور، استادیار ارشد سنجش از دور، استاد آب و هواشناسی و استادیار ژئومورفولوژی، گروه جغرافیا، دانشگاه یزد، یزد، ایران.

*(نویسنده‌ی مسئول، E-Mail: Mohsen.ebrahimi@yazd.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۲۵ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۲/۲۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۱/۰۷ تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۳/۰۶

Abstract

Fresh water availability and its shortage is one of the most important issues in the world today that some countries are facing. In the last two decades, Kabul province, Afghanistan, has seen a decrease in water resources under the influence of natural and human factors. The purpose of this research is to use satellite data and remote sensing techniques to investigate changes in surface and underground water resources in Kabul province. For this purpose, the satellite data and products available in the Google Earth Engine in the period 2000 to 2022 and the climate data of ground stations in the period 2006 to 2021 have been used, which include: evaporation data- Transpiration, Enhanced Vegetation Index (EVI), Global Product of Surface Water Areas (JRC), GRACE data, OLS Satellite Night Images, Sentinel 2 Satellite Image, Landsat 7 Satellite Image, Temperature, Humidity and Rainfall Data. The change process of the used data was analyzed through the Mann-Kendall test and the significance level of these data was checked. The supervised classification method was used on the two mentioned images to calculate the area of vegetation, water area, residential areas, and barren lands. The obtained results show the reduction of underground water resources (significant reduction trend of GRACE satellite data) and the reduction of the surface water area changes in Kabul province, under the influence of natural and human factors, which among these factors can reduce He pointed out the amount of rainfall, increase in temperature, increase in evaporation-transpiration, increase in the level of vegetation and physical development of Kabul city and increase in the population using water resources.

Keywords: Remote Sensing, GRACE Satellite, Afghanistan, Google Earth Engine, Satellite Images.

چکیده

دسترسی به منابع آب و کمبود آن یکی از مهمترین مسائل جهان امروزی است که بعضی از کشورها با آن مواجه هستند. استان کابل در کشور افغانستان در دو دهه اخیر شاهد کاهش منابع آبی تحت تاثیر عوامل طبیعی و انسانی است. هدف این پژوهش، استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و تکنیک‌های سنجش از دور برای بررسی تغییرات منابع آب سطحی و زیرزمینی در این استان است. به‌این‌منظور از داده‌ها و محصولات ماهواره‌ای موجود در سامانه گوگل ارث انجین در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۲ و داده‌های اقلیمی ایستگاه‌های زمینی در بازه زمانی ۲۰۰۶ تا ۲۰۲۱ استفاده شده است. این داده‌ها عبارتند از: داده‌های تبخیر-تعرق، شاخص پوشش گیاهی (EVI)، محصول جهانی پهنه‌های آب سطحی، داده ماهواره ثقل‌سنجی (GRACE)، تصاویر شبانه ماهواره OLS، تصویر ماهواره سنتینل ۲، تصویر ماهواره لندست ۷، داده‌های دما، رطوبت و بارندگی. روند تغییرات داده‌های مورد استفاده از طریق آزمون من-کندال مورد تحلیل قرار گرفت و سطح معنی‌داری این داده‌ها بررسی شد. روش طبقه‌بندی نظارت شده بر روی تصاویر لندست سال ۲۰۰۲ و سنتینل سال ۲۰۲۲ برای محاسبه مساحت پوشش گیاهی، پهنه آبی، مناطق مسکونی و اراضی بایر استفاده شد. نتایج به‌دست آمده نشان داد در اکثر ماه‌های سال روند سطح آب زیرزمینی در سطح ۹۵ درصد معنی‌داری و کاهشی است و کاهش روند تغییرات مساحت پهنه‌های آب سطحی استان کابل، تحت تأثیر عوامل طبیعی و انسانی است. ازجمله این عوامل کاهش میزان بارندگی، افزایش دما، افزایش تبخیر-تعرق، افزایش مساحت پوشش گیاهی و توسعه کالبدی شهر کابل و افزایش جمعیت بهره‌بردار از منابع آب می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: سنجش از دور، ماهواره گریس، افغانستان، گوگل ارث انجین، تصاویر ماهواره‌ای.

How to cite this article: Hedayat, S. J., Ebrahimi-Khusfi, M., Omidvar, K., & Sharifi Paicoon, M. (2024). Investigating Factors Affecting Changes in Surface and Ground Water Resources Using Satellite Products (Case Study: Kabul-Afghanistan). Journal of Water and Sustainable Development, 11(1), 13-24. doi: http://dx.doi.org/10.22067/jwsd.v11i1.2312-1291

مقدمه

بحران آب و به‌خصوص تأمین منابع آب شیرین، امروزه یکی از بحث برانگیزترین مسائل دنیای مدرن است که همه جهان با این مشکل بزرگ مواجه‌اند (عظیمی و همکاران، ۱۳۹۶). کمبود آب و عدم مدیریت درست منابع آب قابل دسترس، بحران آبی را ایجاد می‌کند که وقوع خشکسالی‌ها باعث تشدید آن می‌شود و ابعاد مختلف محیط‌زیستی، اجتماعی و اقتصادی دارند (مسلمی و درویشی، ۱۳۹۶). استان (ولایت) کابل ۱۴ شهرستان دارد، شهر کابل در استان کابل، پایتخت کشور افغانستان قرار دارد و جمعیت این شهر بعد از سال ۲۰۰۲ افزایش یافت (عظیمی، ۱۳۹۱آ). آب سطحی و زیرزمینی این استان با افزایش جمعیت و تحت تأثیر عوامل طبیعی و انسانی، به شدت کاهش یافته است. بررسی‌های میدانی نگارنده نشان داد آب سطحی و زیرزمینی در این استان کاهش یافته است به‌نحوی‌که عمق چاه آب در منطقه دارالامان از ۲۵ متر در سال ۲۰۰۸ به ۸۵ متر در سال ۲۰۲۱ رسیده است و همچنان رودخانه کابل هم که در گذشته آب دائمی داشته درحال‌حاضر آب آن به‌صورت فصلی تغییر کرده است و فقط در فصل بهار آب در این رودخانه جریان دارد و در سایر فصل‌های سال خشک می‌باشد. به‌دلیل توپوگرافی شدید و شیب بالای رودخانه‌های استان کابل، برداشت از منابع آب سطحی در این استان به میزان محدودی در برخی شهرستان‌ها صورت می‌گیرد و عمدتا در دیگر مناطق این استان به‌دلیل عدم وجود رودخانه و کانال، برای آبیاری کشاورزی و شرب از آب زیرزمینی استفاده می‌شود (Noori و همکاران، ۲۰۱۹). به دلیل افزایش جمعیت در شهر کابل، مردم این استان برای رفع نیاز آب آشامیدنی خویش از آب زیرزمینی استفاده می‌کنند که تقریباً می‌توان بیان نمود بیش از ۸۵٪ خانه‌ها در این استان چاه عمیق دارند و سایر خانه‌ها از آب لوله‌کشی شده استفاده می‌کنند و حتی شرکت‌های آبرسانی هم آب مورد نیاز خویش را از آب زیرزمینی تأمین می‌کنند(عظیمی، ۱۳۹۱ب). از منابع آبی در استان کابل به‌منظور کشاورزی، دامداری، آب آشامیدنی، فعالیت‌های اقتصادی (کارواش‌ها، فرش‌شویی و ...) استفاده می‌شود. کشاورزی در این استان به‌صورت سنتی می‌باشد و این نوع کشاورزی میزان آب زیادی را نسبت به آبیاری قطره‌ای نیاز دارد. در شهر کابل پس از سال ۲۰۰۵ اراضی کشاورزی در مناطق شهری کم شده و تبدیل به مناطق مسکونی شده است اما در حومه‌های شهر کابل و در تمام استان کابل کشاورزی در حال افزایش است. به‌دلیل محدودیت‌های مالی و فقدان شبکه‌های پایش و ارزیابی زمینی برای نظارت بر میزان برداشت از آب‌های زیرزمینی و سطحی در استان کابل، هیچ چشم‌اندازی از عواقب و نتایج این برداشت‌های بی‌رویه پیش روی مسئولین و تصمیم‌گیران دولت افغانستان وجود ندارد (آزادمنش آزادزوی، ۱۴۰۰). داده‌های ماهواره‌ای جایگزین مناسبی برای مناطقی است که فاقد داده زمینی می‌باشد. امروزه علم و فناوری سنجش‌ازدور به طور گسترده در سراسر جهان در بسیاری از زمینه‌های کاربردی مانند منابع طبیعی، اقلیم‌شناسی، علوم خاک، کشاورزی، آب‌های زیرزمینی و غیره مورد استفاده قرار می‌گیرد (سعیدی، ۱۴۰۰). سنجشازدور و تصاویر ماهواره‌ای این امکان را فراهم نموده که بتوان منابع آبی سطحی و زیرزمینی را به‌صورت مداوم در بازه‌های زمانی روزانه پایش و نظارت نمود. ضمن اینکه وجود آرشیوی غنی از تصاویر ماهوارهای از دهه ۱۹۷۰ میلادی تاکنون، این امکان را فراهم میکند تا عوامل موثر بر تغییرات کمی و کیفی منابع آب را شناسایی و راهکارهایی را برای مواجهه با تغییرات بیشتر در آینده توصیه نماید (ابراهیمی خوسفی، ۱۴۰۱).

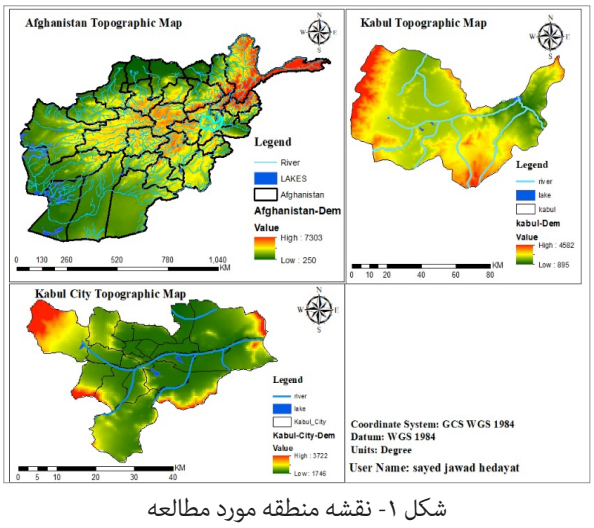
Noori و همکاران (۲۰۱۹) پژوهشی درباره تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی شهر کابل انجام دادند. بر اساس این پژوهش سطح آب زیرزمینی در شهر کابل از سال ۱۹۶۳ میلادی کاهش قابل توجهی داشته است. براساس گزارش سازمان زمین‌شناسی افغانستان و سازمان زمین‌شناسی آمریکا، سطح آب زیرزمینی در حوضه فرعی کابل تا ۲۵ متر کاهش یافته است که با ادامه این روند شهر کابل در چند سال آینده با کمبود جدی آب مواجه خواهد شد. ایشان بر این نظر هستند که عوامل اصلی کاهش سطح آب‌های زیرزمینی شهر کابل حفر غیرقانونی چاه‌های عمیق، استفاده بیش‌ازحد از آب‌های زیرزمینی برای تأمین نیازهای شرب، صنعت و کشاورزی، بیلان منفی آب‌های زیرزمینی و کاهش بارندگی است. نتایج حاصل از پژوهش ایشان نشان داد میزان برداشت آب‌های زیرزمینی در شهر کابل بسیار بیشتر از میزان تغذیه این آب است. Thomas (۲۰۱۸) در پژوهشی به موضوع آب‌های زیرزمینی در دسترس در حوضه کابل، در مورد آب‌های زیرزمینی شهر کابل چنین بیان داشته است: «این شهر بعد از سال ۲۰۰۱ میلادی در حال رشد بوده و روزبه‌روز به جمعیت این شهر اضافه می‌شود. بعد از گذشت ۱۵ سال، در سال ۲۰۱۵ جمعیت این شهر به ۴/۸ میلیون نفر رسیده است که تقریباً ۱۵٪ جمعیت افغانستان را شامل می‌شود. رشد سریع جمعیت در این شهر به همراه اثرات تغییر اقلیم نگرانی شدیدی را در مورد کاهش آب‌های زیرزمینی به وجود آورده است». طبق پژوهش ایشان، تمام جمعیت این شهر آب آشامیدنی مورد نیاز خویش را از منابع آب زیرزمینی تأمین می‌کنند. ایشان بیان کرده‌اند عوامل طبیعی مانند تغییرات آب‌وهوایی و عوامل انسانی مانند رشد سریع جمعیت، برداشت بی‌رویه از منابع آب‌های زیرزمینی

باعث کاهش آب‌های زیرزمینی این شهر به اندازه ۱/۵ متر شده است. Rateb و همکاران (۲۰۲۰) با استفاده از داده‌های ماهواره GRACE و پایش و مدل‌سازی سفره‌های زیرزمینی ایالات متحده، تغییر ذخیره آب زیرزمینی را مقایسه کردند. بازه زمانی این پژوهش از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۷ در ۱۴ آبخوان اصلی ایالات متحده آمریکا که متشکل از ۲۳۰۰۰ چاه می‌باشد انتخاب شده است. نتایج این پژوهش بیانگر کاهش روند GWS داده‌های GRACE در شش سفره آبخوان جنوب غربی و جنوب ایالات متحده آمریکا است که در مجموع ۹۰ کیلومتر مکعب در ۱۵ سال (مربوط به خشکسالی‌های بلند مدت) کاهش یافته است (Rateb و همکاران، ۲۰۲۰). افضلی و شاهدی (۱۳۹۳) روند تغییرات کمی و کیفی آب زیرزمینی دشت آمل-بابل را بررسی کردند؛ به دلیل افزایش جمعیت، نیاز فراوان به غذا و کمبود منابع آب سطحی به ویژه در دهه‌های اخیر، مساحت مناطق تحت آبیاری را افزایش یافته است که این امر سیاست استفاده از منابع آب و خاک را به کلی دگرگون کرده است. در سال‌های اخیر خشکسالی باعث کاهش بیش از حد آب سطحی شده و استفاده از آب‌های زیرزمینی را افزایش داده است که این امر باعث افت شدید سطح آب‌های زیرزمینی و همچنان موجب تغییر کیفیت این منابع شده است. عمادالدین و همکاران (۱۳۹۹) روند تغییرات کاربری اراضی روی افت تراز آب زیرزمینی را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند با کمبود منابع آب سطحی استفاده بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی در بسیاری از نقاط جهان صورت گرفته که سطح سفره‌های آب زیرزمینی را پایین برده است و همچنان افزایش روزافزون جمعیت برداشت بی‌رویه از این ذخایر طبیعی را با تهدید جدی مواجه کرده است و از طرف دیگر، تغییرات کاربری اراضی بر روی منابع آب زیرزمینی موثر بوده و کمیت و کیفیت این آب‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. مرور پژوهش‌های گذشته نشان می‌دهد تا کنون مطالعه‌ای برای بررسی روند تغییرات بلند مدت منابع آب سطحی و زیرزمینی در استان کابل-افغانستان که از اهمیت زیادی دارد، انجام نشده است. بنابراین هدف این پژوهش بررسی تغییرات منابع آب سطحی و زیرزمینی استان کابل و تحلیل عوامل موثر بر آن با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و تکنیک‌های مختلف سنجش‌ازدور می‌باشد.

مواد و روش‌ها

• منطقه مورد مطالعه

براساس گزارش اداره ارگان‌های محلی افغانستان در سال ۱۳۹۶ (اداره ملی ارگان‌های محلی افغانستان، ۱۳۹۶)، استان کابل یکی از استان‌های ۳۴ گانه کشور افغانستان با مساحتی بالغ بر ۶۵۲۸۶ کیلومتر مربع است. این استان ازجمله استان‌های مرکزی افغانستان می‌باشد که در میان عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۱۵ دقیقه و ۳۴ درجه و ۹۱ دقیقه شمالی و ۶۸ درجه و ۷۳ دقیقه و ۶۹ درجه و ۹۵ دقیقه طول جغرافیایی شرقی واقع شده و به طور متوسط ۱۸۰۳ متر از سطح آب‌های آزاد ارتفاع دارد (شکل ۱). مساحت شهر کابل به‌عنوان مرکز استان و پایتخت افغانستان، ۱۰۳۰ کیلومتر مربع است که به ۲۲ ناحیه تقسیم شده است. براساس گزارش اداره ملی احصائیه جمعیت شهر کابل در سال ۱۴۰۰ هجری شمسی، ۵,۳۸۵,۵۲۶ نفر می‌باشد (اداره ملی احصائیه افغانستان، ۱۴۰۰).



شکل ۱- نقشه منطقه مورد مطالعه

• داده‌های مورد استفاده

داده‌های مورد استفاده در این پژوهش به شرح زیر از سامانه گوگل ارث انجین تهیه شده است. سامانه گوگل ارث انجین یک مجموعه چندین پتابایتی از تصاویر و داده‌های ماهواره‌ای به‌صورت رایگان می‌باشد که در اختیار کاربران قرار گرفته است (Tamiminia و همکاران، ۲۰۲).

۱) مجموعه اطلاعاتی پیکره آب‌های سطحی جهان[1] حاصل از پردازش تصاویر سنجنده‌های لندست ۵، ۷ و ۸ در بازه زمانی ۱۹۸۴ تا ۲۰۲۰ (Pekel و همکاران، ۲۰۱۶) به‌منظور بررسی روند تغییرات زمانی پیکره آب‌های سطحی.

۲) محصول تبخیر وتعرق ماهواره ای سنجنده مودیس در بازه زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۱.

۳) محصول سری زمانی پوشش گیاهی (EVI) سنجنده MODIS ماهواره Terra در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰.

۴) تصاویر سنتینل ۲ در سال ۲۰۲۲ و لندست ۷ در سال ۲۰۰۲ برای تعیین پهنه‌های آب سطحی و طبقه‌بندی نظارت شده.

۵) تصاویر ثقل سنجی ماهواره GRACE: پروژه GRACE، یکی

از ماموریت‌های ماهواره‌ایبه‌منظور تعیین تغییر میدان گرانش زمین طراحی شده است. این ماهواره دو قلو، تغییرات میزان آب را در سطح زمین به‌صورت غیر مستقیم و با تخمین تغییرات میدان ثقل زمین اندازه‌گیری می‌نماید.

۶) استفاده از تصاویر شب ماهواره OLS برای بررسی روند گسترش شهر کابل به‌عنوان یکی از نماگرهای افزایش تقاضا برای آب در سال‌های ۱۹۹۲، ۲۰۰۰، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۳.

۷) میانگین داده‌های حداقل دما، حداکثر دما، دما، بارش و رطوبت از مجموع ایستگاه‌های هواشناسی استان کابل.

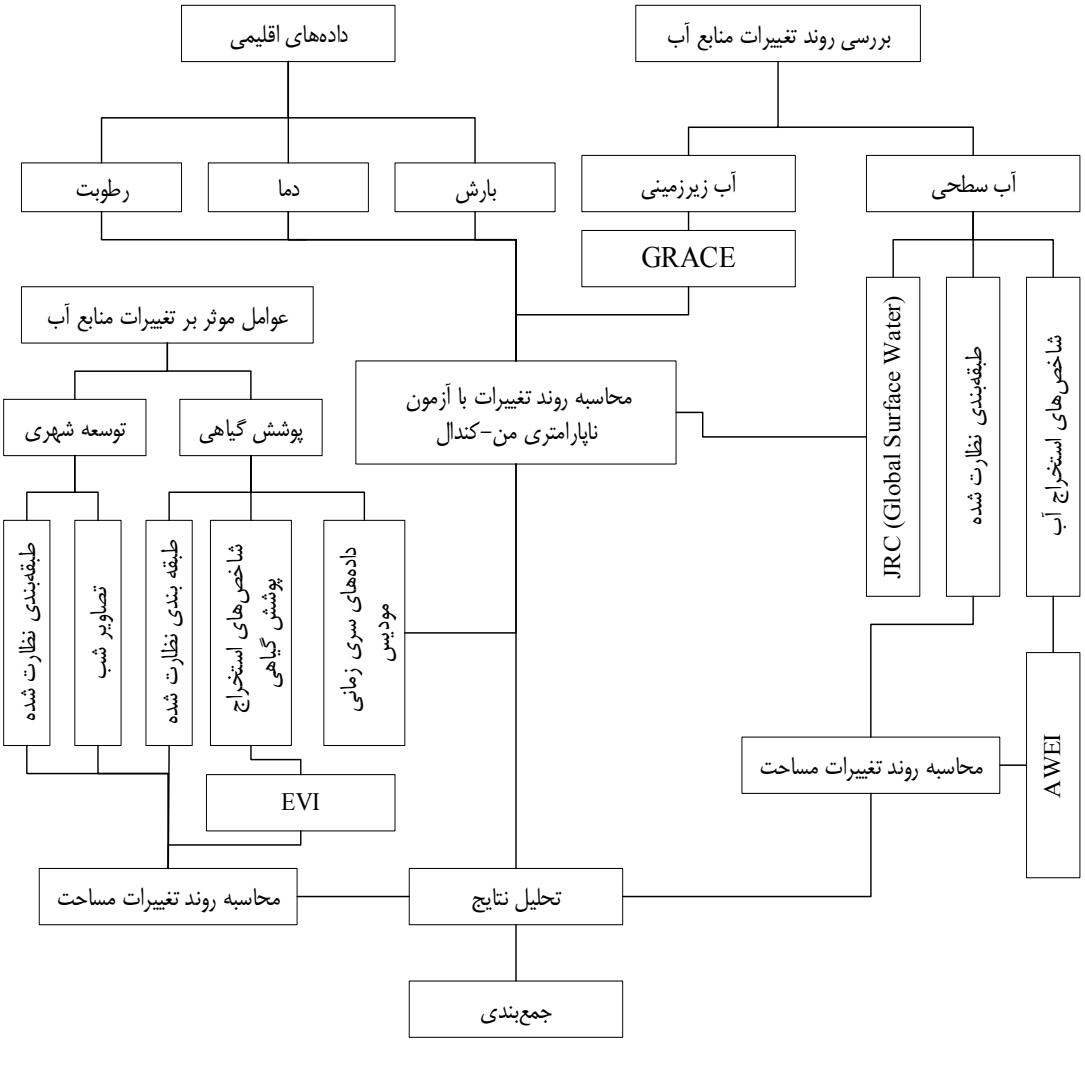
• روش کار

فلوچارت روش کار در این پژوهش در شکل (۲) نمایش داده شده است. گام‌های روش پژوهش به شرح زیر است:

۱- در این پژوهش برای بررسی تغییرات پهنه‌های آب سطحی از سه روش استفاده شده است. ابتدا با استفاده از محصولات جهانی JRC روند تغییرات ماهانه و سالانه مساحت پیکره آب‌های سطحی براساس بر آزمون من-کندال بررسی شد. همچنین از اعمال دو روش طبقه‌بندی نظارت شده و شاخص اتوماتیک استخراج آب (AWEI)[۲] بر روی تصاویر سنتینل ۲ سال ۲۰۲۲ و لندست ۷ سال ۲۰۰۲، مساحت آب‌های سطحی در این دو سال محاسبه و مقایسه شد. شاخص AWEI با استفاده از رابطه (۱) محاسبه می‌شود (Feyisa و همکاران، ۲۰۱۴).

$$AWEI=4\times(GREEN-SWIR_2)-(0.25\times NIR+2.75\times SWIR_1) \quad (۱)$$

۲- برای بررسی روند تغییرات منابع آب زیرزمینی استان کابل از بررسی روند تغییرات محصول ماهواره GRACE و آزمون من-کندال استفاده شد.



شکل ۲- فرآیند پژوهش و نحوه بررسی روند تغییرات منابع آب سطحی و زیرزمینی استان کابل

۳- در این پژوهش، با استفاده از آزمون من-کندال روند تغییرات پارامترهای اقلیمی شامل بارش، دمای حداکثر، دمای حداقل، میانگین دما و رطوبت در سطوح معنی‌داری مختلف بررسی شد. این آزمون به‌عنوان یک روش ناپارامتری مزایایی دارد که سبب شده به‌طور متداول و گسترده‌ای در تحلیل روند سری‌های هیدرواقلیمی به‌کار گرفته شود. در این آزمون فرض صفر بیانگر تصادفی بودن و عدم وجود روند در سری زمانی داده‌ها بوده و پذیرش فرض یک (رد فرض صفر) دلالت بر وجود روند در سری داده‌ها می‌باشد. در روش من-کندال فرض بر این است که یک سری زمانی به‌صورت $x_1, x_2, \ldots\ldots x_n$ وجود دارد. آماره آزمون من-کندال با استفاده از رابطه (۲) محاسبه می‌شود. در این رابطه j و k مرتبه مشاهدات هستند و تابع علامت sgn(x) به‌صورت رابطه (۳) تعریف می‌شود.

$$S= \sum_{k=1}^{n-1}\sum_{j=k+1}^{n} sgn(x_j + x_k) \qquad (۲)$$

$$\mathrm{sgn(x)}= \begin{cases} +1 & x > 0 \\ 0 & x = 0 \\ -1 & x < 0 \end{cases} \qquad (۳)$$

بر اساس این آزمون در صورتی که مقدار S اختلاف معنی‌داری با صفر نداشته باشد روند وجود ندارد و در غیر این صورت روند، صعودی و یا نزولی خواهد بود. برای آزمون معنی‌دار بودن روند، از متغیر Z نرمال استاندارد براساس رابطه (۴) استفاده می‌شود فرض صفر (H_0) در آزمون من-کندال عدم وجود روند و فرض H_1 وجود روند می‌باشد (Salmi و همکاران، ۲۰۰۲).

$$\begin{cases} Z = \dfrac{S-1}{(var(S))^{\frac{1}{2}}} & if \quad S > 0 \\ 0 & if \quad S = 0 \\ \dfrac{S-1}{(var(S))^{\frac{1}{2}}} & if \quad S < 0 \end{cases} \qquad (۴)$$

$$\mathrm{Var\ (S) = \{n(n\text{-}1)\ (2n+5)\}} \qquad (۵)$$

۴- از عوامل اصلی موثر بر کاهش منابع آب زیرزمینی می‌توان به توسعه کشاورزی اشاره نمود. به‌منظور بررسی روند تغییرات سطح پوشش گیاهی از محصول سری زمانی شاخص EVI ماهواره مودیس در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۲ استفاده شد. علاوه‌براین، به‌منظور محاسبه مساحت پوشش گیاهی و مقایسه تغییرات آن، از دو روش طبقه‌بندی نظارت شده و اعمال شاخص EVI بر روی تصویر سنتینل سال ۲۰۲۲ و تصویر لندست سال ۲۰۰۲ استفاده شد. شاخص EVI مطابق با رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$EVI = G * \frac{(NIR - RED)}{(NIR + (C_1 * RED) + (C_2 * B) + L)} \qquad (۶)$$

در این روابط NIR، R و B به ترتیب بیانگر بازتاب سطح در باندهای مادون‌قرمز نزدیک، قرمز و آبی می‌باشند. درحالی‌که G بیانگر gain factor، C_1 و C_2 ضرایبی برای تصحیح ذرات معلق پراکنده و L فاکتور تعدیل خاک می‌باشد. در حالت کلی L=1، C_2= 7.5، C_1= 6 و G=2.5 می‌باشد (Huete و همکاران، ۱۹۹۷). لازم به ذکر است، برای بررسی روند تغییرات درازمدت EVI، در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۲، از محصول شاخص پوشش گیاهی ماهواره مودیس استفاده شده است.

۵- یکی دیگر از عوامل برداشت منابع آب، توسعه مناطق شهری و افزایش جمعیت و به تبع آن افزایش تقاضا برای مصرف آب است. برای بررسی روند تغییرات توسعه شهری در استان کابل، از روش طبقه‌بندی نظارت شده بر روی دو تصویر سنتینل سال ۲۰۲۲ و تصویر لندست سال ۲۰۰۲ استفاده شد. باتوجه‌به اینکه، بافت بسیاری مناطق مسکونی در شهر کابل، خشت و گلی می‌باشد و به‌دلیل اختلاط طیفی با خاک زمینه، نتایج حاصل از طبقه‌بندی نظارت شده ممکن است خطا داشته باشد. به همین دلیل، از تصاویر ماهواره‌ای نور شب برای بررسی روند توسعه شهری کابل نیز استفاده شد.

۶- برای صحت‌سنجی طبقه‌بندی نظارت شده تصویر سنتینل ۲۰۲۲، ۱۰۰ نقطه از گوگل ارث دریافت و استفاده شد.

نتایج و بحث

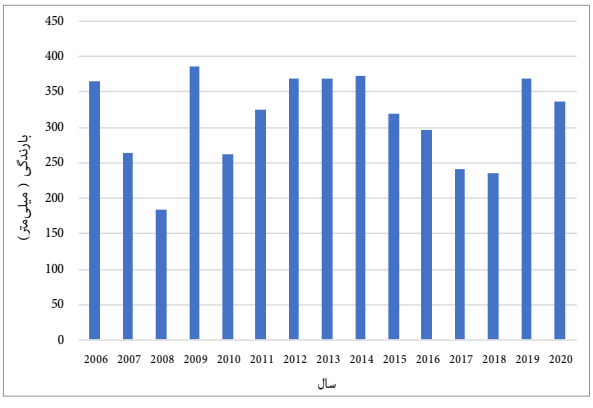
نتایج بررسی روند تغییرات داده‌های سالانه بارندگی، دمای حداقل، دمای حداکثر، میانگین دما و رطوبت از میانگین داده‌های کل ایستگاه‌های هواشناسی کابل از سال ۲۰۰۶ الی ۲۰۲۰ در جدول (۱) نشان داده شده است. بارندگی و رطوبت در این بازه زمانی روندی کاهشی داشته و دمای حداقل، دمای حداکثر و میانگین دما در این بازه زمانی دارای روند افزایشی است. روند تغییرات پارامترهای اقلیمی در جدول (۱) از نظر آماری معنی‌دار نمی‌باشد.

جدول ۱- نتایج آزمون من-کندال بر روی پارامترهای اقلیمی ایستگاه‌های هواشناسی استان کابل

پارامترها	روند	آزمون Z	سطح معنی‌داری (α)
بارش سالانه	کاهشی	- ۰/۱	-
دمای حداکثر	افزایشی	۰/۲	-
دمای حداقل	افزایشی	۱/۳۹	-
میانگین دما	افزایشی	۰/۸۹	-
رطوبت	کاهشی	-۰/۸۹	-

+ سطح معنی‌داری ۰/۱، * سطح معنی‌داری ۰/۰۵، ** سطح معنی‌داری ۰/۰۱، *** سطح معنی‌داری ۰/۰۰۱، - بدون معنی‌داری

در شکل (۳)، روند تغییرات متوسط بارندگی استان کابل نمایش داده شده است. میزان بارندگی استان کابل از سال ۲۰۰۶ به بعد در سطح معنی‌داری ۹۵ درصد، روند کاهشی داشته است. داده‌های مربوط به این ایستگاه، قبل از سال ۲۰۰۶ در دسترس نمی‌باشد.



شکل ۳- تغییرات سری زمانی بارندگی استان کابل از سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۲۰

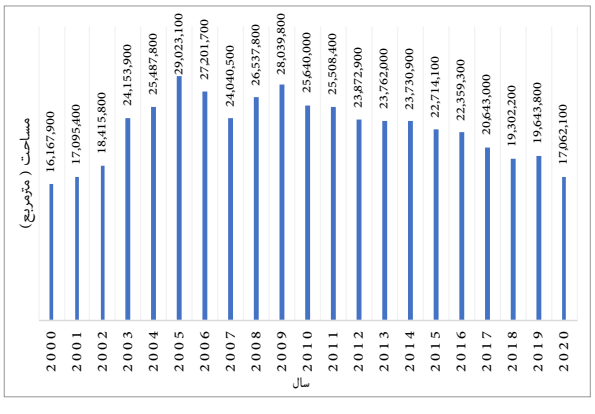
نتایج به‌دست آمده از محصول ماهواره‌ای JRC که مساحت پیکره‌های آب سطحی را بررسی می‌کند در جدول (۲) نمایش داده شده است. با استفاده از این محصول مساحت پیکره آب سطحی استان کابل بررسی شده و نشان داد مساحت پیکره آب سطحی در بازه زمانی ۲۰۰۰ الی ۲۰۲۲ کاهش یافته است. این محصول در ماه‌های ژانویه و دسامبر داده ندارد و در سایر ماه‌ها داده‌های به‌دست آمده بیانگر کاهش مساحت پیکره‌های آب سطحی می‌باشد. در ماه‌های فوریه، مارس، سپتامبر، اکتبر و نوامبر در سطح آماری ۹۰ تا ۹۹ درصد معنی‌دار و روند کاهشی می‌باشد و در ماه‌های آوریل، مه، ژوئن، جولای و اوت روندی کاهش اما از نظر آماری غیرمعنی‌دار می‌باشد. در مجموع مساحت پیکره آب‌های سطحی استان کابل در سطح یک درصد معنی‌داری و روند آن کاهشی است. مساحت به‌دست آمده برای آب سطحی در استان کابل در سال ۲۰۰۰ برابر با (۱۶۱۶ هکتار) و برای سال ۲۰۲۲ برابر با (۱۷۰۶ هکتار) محاسبه شده است. لازم به ذکر است آب سطحی استان کابل از سال ۲۰۰۰ الی ۲۰۰۵ روند افزایشی داشته و سپس تا سال ۲۰۲۰ روند آن کاهشی می‌باشد. مساحت آب سطحی ثبت شده در سال ۲۰۰۵ برابر با (۲۹۰۲ هکتار) محاسبه شده است (شکل ۴). باتوجه‌به اینکه میزان بارندگی نیز از سال ۲۰۰۰ تا سال ۲۰۰۵ افزایشی بوده اما بعد از سال ۲۰۰۶ میزان بارندگی سال به سال کاهش یافته است، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت کاهش بارندگی بر منابع آب سطحی استان کابل تأثیرگذار بوده است.

در جدول (۳) نتایج آزمون من-کندال بر روی پارامترهای ماهواره‌ای مورد بررسی، شامل پوشش گیاهی (EVI)، مساحت پهنه‌های آب سطحی، داده‌های ماهواره GRACE برای بررسی تغییرات منابع آب زیرزمینی و داده تبخیر-تعرق (ET) در بازه زمانی ۲۰۰۰ الی ۲۰۲۱، نشان داده شده است.

جدول ۲- آزمون من-کندال مساحت پیکره‌های آب سطحی استان کابل

ماه	روند	آزمون z	سطح‌معنی‌داری (α)
January	-	-	-
February	کاهشی	-۲/۸۷	**
March	کاهشی	-۲/۱۱	*
April	کاهشی	-۰/۹۴	-
May	کاهشی	-۰/۸۸	-
June	کاهشی	-۰/۷۹	-
July	کاهشی	-۱/۰۳	-
August	کاهشی	-۰/۵۷	-
September	کاهشی	-۳/۴۱	***
October	کاهشی	-۳/۱۱	**
November	کاهشی	-۳/۴۷	***
November	-	-	-
ANNUAL	کاهشی	-۱/۷۸	+

+سطح‌معنی‌داری۰/۱،*سطح‌معنی‌داری۰/۰۵،**سطح‌معنی‌داری۰/۰۱،***سطح‌معنی‌داری۰/۰۰۱،-بدون‌معنی‌داری



شکل ۴- سری زمانی تغییرات پهنه‌های آب سطحی استان کابل از ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰

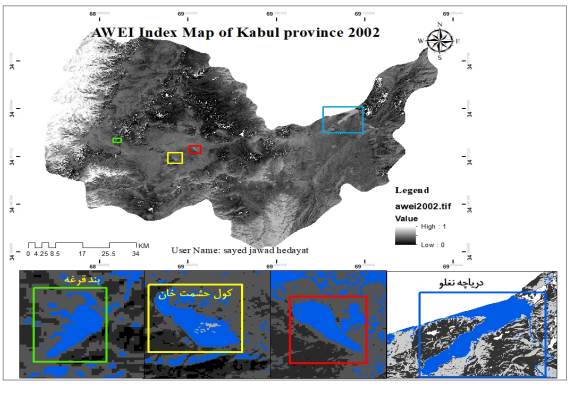
جدول ۳- آزمون من-کندال پارامترهای ماهواره‌ای استان کابل

پارامترها	روند	آزمون Z	سطح معنی‌داری (α)
پوشش گیاهی	افزایشی	۳/۷۶	***
تغییرات آب زیرزمینی	کاهشی	-۱/۹۰	+
تغییرات پیکرهای آب سطحی	کاهشی	-۱/۷۸	+
تبخیر-تعرق	افزایشی	۲/۰۹	*

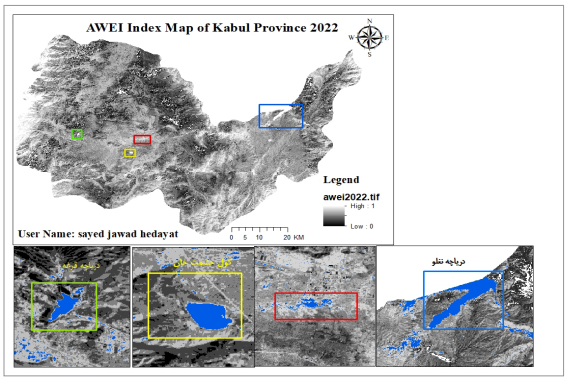
+سطح‌معنی‌داری۰/۱،*سطح‌معنی‌داری۰/۰۵،**سطح‌معنی‌داری۰/۰۱،***سطح‌معنی‌داری۰/۰۰۱،-بدون‌معنی‌داری

در جدول (۲) بیان شد بارندگی سالانه استان کابل روند کاهشی دارد و دمای استان کابل روند افزایشی دارد که در جدول (۳) می‌توان تأثیرات آن را مشاهده کرد. در این جدول مساحت پهنه‌های آبی استان کابل در سطح ۹۰ درصد معنی‌دار و روند آن کاهشی می‌باشد چرا که بارندگی در این استان کم بوده و مساحت پهنه‌های آب‌های سطحی در حال کاهش است از سوی دیگر با افزایش دما میزان تبخیر-تعرق افزایش یافته که در جدول (۳) می‌توان مشاهده نمود داده‌های سری زمانی تبخیر-تعرق در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار و روند آن افزایشی است. در جدول (۳) پارامتر پوشش گیاهی هم در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار و روند آن افزایشی است.

در شکل‌های (۵) و (۶) مساحت پهنه‌های آب سطحی استان کابل، به‌دست آمده از اعمال شاخص AWEI بر روی تصاویر ماهواره سنتیل ۲ و لندست ۷ نشان داده شده است. این دو تصویر در ماه‌های جولای سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۲۲ اخذ شده است به دلیل اینکه در ماه جولای رودخانه‌ها و تالاب‌های فصلی خشک می‌شود و تنها پهنه‌های آب دائمی باقی می‌ماند. در این شکل‌ها دریاچه‌های قرغه و نغلو، کول حشمت خان و آب سطحی منطقه ۹ شهر کابل نمایش داده شده است.



شکل ۵- شاخص پهنه‌های آب استان کابل در سال ۲۰۰۲



شکل ۶- شاخص پهنه‌های آب استان کابل در سال ۲۰۲۲

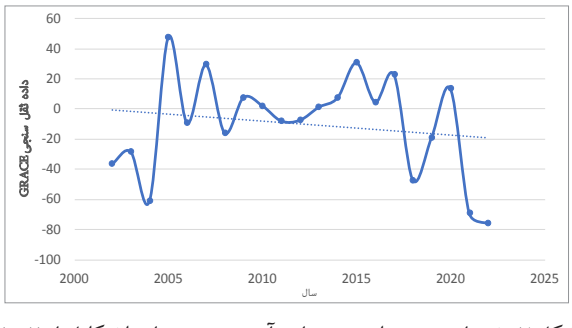
در جدول (۴) نتایج نهایی آزمون من-کندال داده‌های آب زیرزمینی نمایش داده شده است. نتیجه به‌دست آمده نشان داد آب زیرزمینی استان کابل در سطح ۹۰ تا ۹۹ درصد معنی‌دار و روند آن در تمام ماه‌های سال (به‌جز ماه اپریل) کاهشی است.

در شکل (۷) نمودار سری زمانی داده‌های ماهواره‌ای تغییرات ثقل‌سنجی ماهواره GRACE در محدوده استان کابل نمایش داده شده که تأییدکننده روند کاهشی منابع آب زیرزمینی در این استان است.

جدول ۴- آزمون من-کندال آب زیرزمینی استان کابل

ماه	روند	آزمون z	سطح‌معنی‌داری (α)
January	کاهشی	-۲/۶۵	**
February	کاهشی	-۳/۵۰	***
March	کاهشی	-۲/۸۰	**
April	کاهشی	-۱/۲۶	
May	کاهشی	-۲/۲۷	*
June	کاهشی	-۲/۴۳	*
July	کاهشی	-۲/۱۲	*
August	کاهشی	-۱/۶۷	+
September	کاهشی	-۲/۰۲	*
October	کاهشی	-۱/۷۷	+
November	کاهشی	-۰/۸۷	
November	کاهشی	-۲/۵۸	*
ANNUAL	کاهشی	-۱/۹۰	+

+ سطح معنی‌داری ۰/۱، * سطح معنی‌داری ۰/۰۵، ** سطح معنی‌داری ۰/۰۱، *** سطح معنی‌داری ۰/۰۰۱، -بدون معنی‌داری



شکل ۷- نمودار سری زمانی تغییرات آب زیرزمینی استان کابل از ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۲

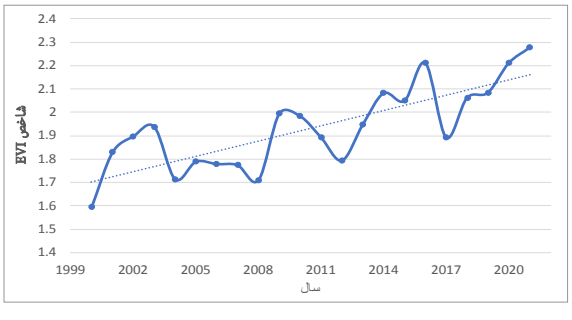
جدول (۵) روند تغییرات و سطح معنی‌داری روند تغییرات داده‌های سری زمانی پوشش گیاهی (محصول EVI سنجنده مودیس) را به تفکیک ماه نشان می‌دهد که بیانگر روند افزایشی در تمام ماه‌های سال است. این افزایش در ماه‌های ژانویه، فوریه و مارس، از نظر آماری غیرمعنی‌دار است.

جدول ۵- آزمون من-کندال پوشش گیاهی EVI

ماه	روند	آزمون z	سطح معنی‌داری (α)
January	افزایشی	۰/۹۱	-
February	افزایشی	۱/۱۰	-
March	افزایشی	۱/۵۵	-
April	افزایشی	۲/۰۳	*
May	افزایشی	۳/۵۵	***
June	افزایشی	۳/۵۳	***
July	افزایشی	۴/۴۶	***
August	افزایشی	۴/۲۳	***
September	افزایشی	۴/۳۵	***
October	افزایشی	۲/۲۶	*
November	افزایشی	۲/۷۷	**
November	افزایشی	۳/۱۳	**
ANNUAL	افزایشی	۴/۰۶	***

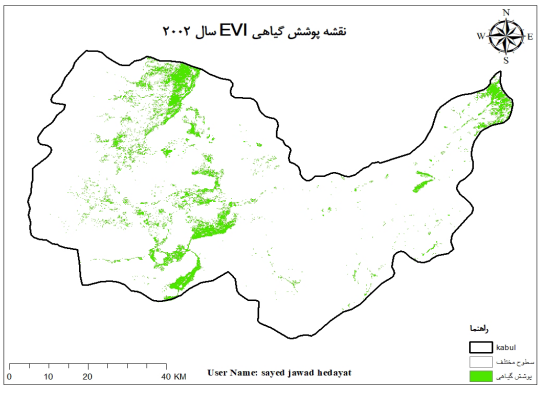
+سطح معنی‌داری ۰/۱، *سطح معنی‌داری ۰/۰۵، **سطح معنی‌داری ۰/۰۱، ***سطح معنی‌داری ۰/۰۰۱، -بدون معنی‌داری

در شکل (۸) نمودار سری زمانی متوسط سالانه پوشش گیاهی (EVI) دریافت شده از محصولات ماهواره‌ای مودیس، نمایش داده شده که بیانگر روند افزایشی تغییرات پوشش گیاهی در سال‌های مورد مطالعه است.

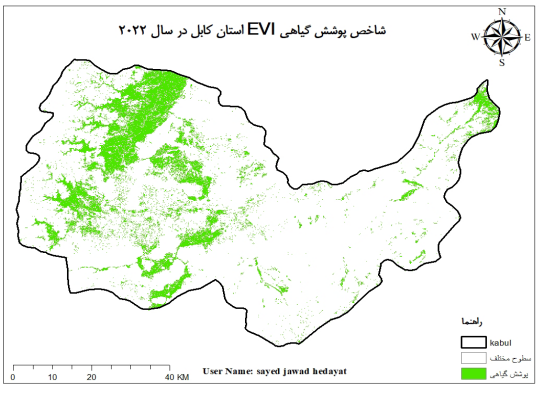


شکل ۸- تغییرات سری زمانی پوشش گیاهی استان کابل از ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰

شکل (۹) و (۱۰) نتیجه اعمال شاخص پوشش گیاهی (EVI) بر روی تصویر لندست ۲۰۰۲ را نشان می‌دهد. مساحت به‌دست آمده برای پوشش گیاهی در سال ۲۰۰۲ برابر با ۲۸۳ کیلومترمربع است. شکل (۶) نتیجه اعمال شاخص (EVI) بر روی تصویر سنتینل ۲ در سال ۲۰۲۲ را نشان می‌دهد. مساحت به‌دست آمده برای پوشش گیاهی در این استان در سال ۲۰۲۲ برابر با ۴۳۶ کیلومترمربع محاسبه شده است. با استفاده از اعمال این شاخص این نتیجه حاصل شد که میزان پوشش گیاهی در این استان نسبت به سال ۲۰۰۲ افزایش یافته است. مساحت افزایش یافته پوشش گیاهی برابر با ۱۵۳ کیلومترمربع است.

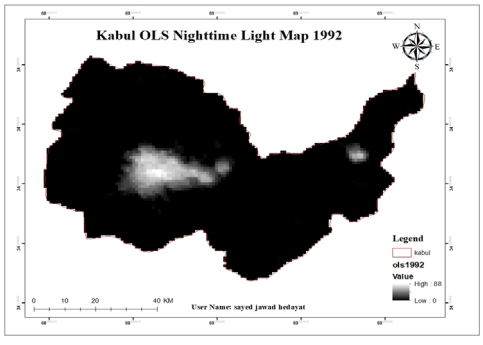


شکل ۹- نقشه شاخص EVI استان کابل سال ۲۰۰۲

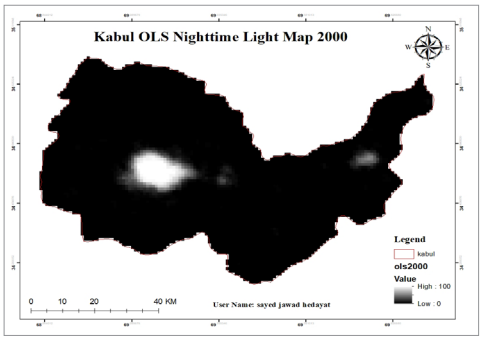


شکل ۱۰- نقشه شاخص EVI استان کابل سال ۲۰۲۲

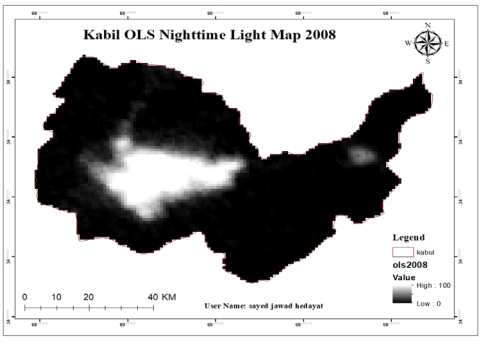
در شکل (۱۱-الف تا ۱۱-د) مساحت مناطق شهری بر مبنای تصاویر نور شب محاسبه شده است که افزایش جمعیت و گسترش شهری شهر کابل را نشان می‌دهد. مساحت به‌دست آمده برای سال ۱۹۹۲ برابر با (۴۵۹ کیلومترمربع)، برای سال ۲۰۰۰ برابر با (۳۶۰ کیلومترمربع)، برای سال ۲۰۰۸ برابر با (۶۴۱ کیلومترمربع) و برای سال ۲۰۱۳ برابر با (۸۲۷ کیلومترمربع) محاسبه شده است.



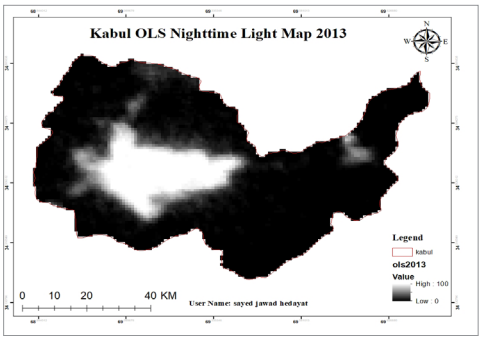
الف) OLS۱۹۹۲



ب) OLS۲۰۰۰



ج) OLS۲۰۰۸

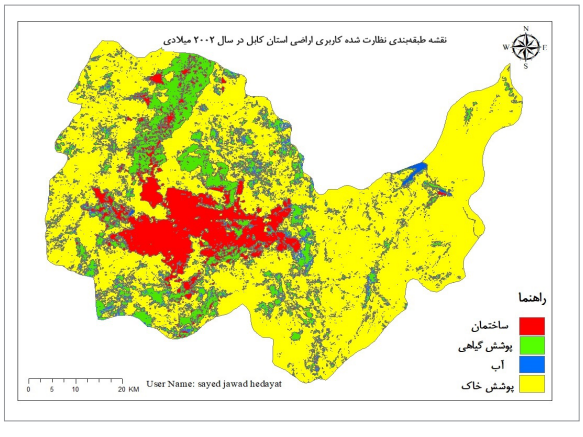


د) OLS۲۰۱۳

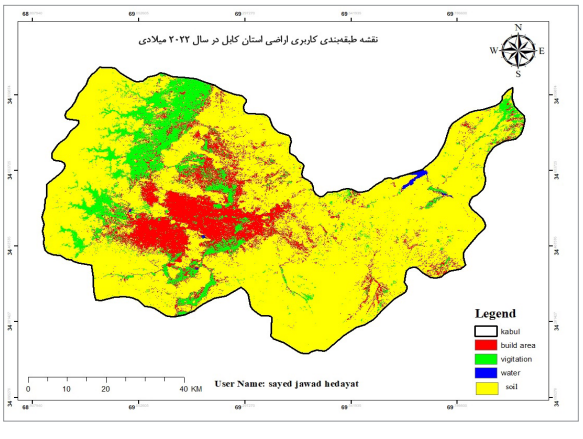
شکل ۱۱- تغییرات میزان نور شب استان کابل، در بازه زمانی ۱۹۹۲ - ۲۰۱۳

نتایج به‌دست آمده از طبقه‌بندی نظارت شده بر روی تصاویر لندست۷ سال ۲۰۰۲ و سنتینل ۲ سال ۲۰۲۲ در شکل‌های (۱۲) و (۱۳) نشان داده شده است. در سال ۲۰۰۲، مساحت پهنه‌های آبی برابر با ۱۱۴۸ هکتار، پوشش گیاهی ۳۱۴ کیلومترمربع و مناطق مسکونی ۴۹۸ کیلومترمربع محاسبه شده است. به دلیل نداشتن نقاط زمینی در سال ۲۰۰۲ از عارضه‌ها، اعتبارسنجی برای طبقه‌بندی نظارت شده در این سال، صورت نگرفته است. در سال ۲۰۲۲، مساحت پهنه‌های آبی برابر با ۱۱۲۸ هکتار، پوشش گیاهی ۵۱۹ کیلومترمربع و مناطق مسکونی ۶۲۷ کیلومترمربع محاسبه شده است. دلیل کم بودن مساحت مناطق مسکونی توسط طبقه‌بندی نظارت شده نسبت به تصاویر شب، خانه‌های گلی حومه‌های شهر کابل می‌باشد. بازتابش خانه‌های گلی مانند بازتابش خاک می‌باشد اگر در طبقه‌بندی نظارت شده استفاده شود باعث بروز خطا در طبقه‌بندی می‌شود اما این خانه‌ها در طول شب بازتابش نور را دارند به همین دلیل مساحت داده‌های نور شب از مساحت طبقه‌بندی نظارت شده بیشتر محاسبه شده است.

جدول (۶)، نتایج به‌دست آمده از ارزیابی دقت طبقه‌بندی نظارت شده تصویر سنتینل سال ۲۰۲۲ را نشان می‌دهد. ضریب کاپا به‌دست آمده برای این طبقه‌بندی برابر با ۰/۸۶ و صحت کلی برابر با ۹۰/۰۹ درصد به‌دست آمد.



شکل ۱۲- نقشه طبقه‌بندی نظارت‌شده کاربری اراضی استان کابل سال ۲۰۰۲



شکل ۱۳- نقشه طبقه‌بندی نظارت‌شده کاربری اراضی استان کابل سال ۲۰۲۲

جدول ۶- نتیجه طبقه‌بندی، ضریب کاپا و صحت کلی

کلاس	پوشش گیاهی	آب	مناطق مسکونی	خاک	مجموعه	خطای Comission	User Accuracy
پوشش گیاهی	۲۴	۰	۰	۰	۲۵	٪۰	٪۱۰۰
آب	۰	۲۱	۰	۰	۲۱	٪۰	٪۱۰۰
مناطق مسکونی	۰	۱	۲۰	۰	۲۱	٪ ۴/۷۶	٪ ۹۵/۲۴
خاک	۱	۲	۵	۲۵	۳۲	٪ ۲۴/۲۴	٪ ۷۵/۷۶
طبقه‌بندی نشده	۰	۱	۰	۰	۱		
مجموعه	۲۶	۲۵	۲۵	۲۵	۱۰۱	Overall Accuracy	Kappa Coefficient
خطای Omission	٪ ۳/۸۵	٪ ۱۶	٪ ۲۰	٪۰		٪ ۹۰/۰۹	٪ ۰/۸۶
Producer Accuracy	٪ ۹۶/۱۵	٪ ۸۴	٪ ۸۰	٪۱۰۰			

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، به بررسی روند تغییرات منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی با استفاده از محصولات ماهواره‌ای و داده‌های اقلیمی پرداخته شد. داده‌های به‌دست آمده در خصوص پهنه‌های آب سطحی و تغییرات آب زیرزمینی نشان داد این دو منبع آب کاهش یافته است. اما میزان پوشش گیاهی در استان کابل پس از سال ۲۰۰۰ رو به افزایش بوده است. بررسی داده‌های آب سطحی این استان نشان داد روند کلی مساحت پهنه‌های آب سطحی این استان کاهشی بوده و بعضی از آب‌های دائمی به آب‌های فصلی تبدیل شده است که نمونه بارز آن آب رودخانه کابل می‌باشد. داده‌های به‌دست آمده نشان داد مجموع سالانه مساحت آب سطحی استان کابل در سال ۲۰۰۰ ، ۱۶۱۷ هکتار ثبت شده است. از سال ۲۰۰۰ تا سال ۲۰۰۵ مساحت آب سطحی استان کابل رو به افزایش بوده و به میزان ۲۹۰۲ هکتار رسیده و از سال ۲۰۰۵ به بعد از مساحت آب سطحی کابل کاسته شده است، به‌نحوی‌که تا سال ۲۰۲۰، به ۱۷۰۶ هکتار کاهش یافته است. همچنین مساحت به‌دست آمده برای پهنه‌های آب سطحی استان کابل توسط طبقه‌بندی نظارت شده سال ۲۰۲۲ برابر با (۱۱۲۸ هکتار) محاسبه شد. از طرفی، روند تغییرات داده‌های ثقل سنجی ماهواره GRACE نشان داد منابع آب زیرزمینی این استان در همه ماه‌های سال رو به کاهش بوده است.

به‌طورکلی می توان دو عامل طبیعی و انسانی را به‌عنوان عوامل موثر بر کاهش منابع آب سطحی و زیرزمینی استان کابل برشمرد.

۱- عوامل طبیعی: بر اساس نتایج به‌دست آمده از داده‌های هواشناسی استان کابل میزان بارندگی و رطوبت از سال ۲۰۰۶ به بعد، روند کاهشی داشته است و میزان دما در این استان افزایش یافته است. این تغییر اقلیم و گرم‌تر شدن هوای استان کابل، بر روی افزایش تبخیر-تعرق تأثیر داشته است. محصولات ماهواره‌ای دریافت شده از سامانه گوگل ارث انجین در بخش تبخیر-تعرق نشان می‌دهد میزان تبخیر-تعرق در این استان از سال ۲۰۰۰ به بعد روند افزایشی داشته است.

۲- عوامل انسانی: ازجمله عوامل انسانی اثرگذار بر روی تغییرات منابع آب استان کابل می‌توان به توسعه کشاورزی و توسعه کالبدی مناطق مسکونی و در نتیجه آن افزایش جمعیت اشاره نمود. نتایج بررسی شده از داده‌های ماهواره‌ای پوشش گیاهی نشان داد روند تغییرات پوشش گیاهی در این استان افزایش یافته است. به جز شهرستان‌های شمال و شمال غرب استان کابل که آب مورد نیاز برای کشاورزی را بیشتر از آب سطحی تأمین می‌کنند، سایر مناطق آب مورد نیاز را از چاه برداشت می‌کنند. همچنین برای دریافت مساحت پوشش گیاهی از شاخص EVI بر روی تصاویر سال ۲۰۰۲ و ۲۰۲۲ استفاده شده و مساحت به‌دست آمده برای سال ۲۰۰۲ برابر با ۲۸۳ کیلومترمربع و سال ۲۰۲۲ برابر با ۴۳۶ کیلومترمربع و همچنین مساحت به‌دست آمده پوشش گیاهی در سال ۲۰۲۲ به روش طبقه‌بندی نظارت شده نیز برابر با ۵۱۹ کیلومترمربع محاسبه شد. در سال‌های اخیر حفر چاه‌ها زیاد شده و باعث افزایش سطح زیرکشت اراضی کشاورزی در این استان شده است. همچنین کشاورزی در این استان به‌صورت سنتی می‌باشد و این نوع کشاورزی نسبت به روش‌های آبیاری نوین آب بیشتری نیاز دارد. با استفاده از داده‌های به‌دست آمده از تصاویر ماهواره‌ای در شب مساحت شهر کابل در سال ۲۰۰۰ برابر با ۳۶۰ کیلومترمربع و سال ۲۰۱۳ برابر با ۸۲۷ کیلومترمربع محاسبه شده است. به دلیل دردسترس نبودن تصاویر OLS بعد از سال ۲۰۱۳ برای محاسبه مساحت شهر در سال ۲۰۲۲ از طبقه‌بندی نظارت شده بر روی تصویر سنتینل ۲ استفاده و مساحت شهر برابر با ۶۲۷ کیلومترمربع محاسبه شد. دلیل اینکه مساحت شهر در سال ۲۰۲۲ نسبت به سال ۲۰۱۳ کمتر محاسبه شده این است که در حومه‌ها شهر کابل خانه‌های گلی موجود است و درجه روشنایی خانه‌های گلی با خاک یکسان است به همین دلیل، مساحت مربوط به بافت‌های

قدیمی شهر در طبقه‌بندی نظارت شده دچار خطا شده است. در مجموع، مساحت اراضی شهری در استان کابل در طی دو دهه گذشته افزایش داشته و در نتیجه باعث افزایش جمعیت و افزایش تقاضا برای منابع محدود سطحی و زیرزمینی آب در این استان شده است.

پی‌نوشت‌ها

1-Global Surface Water (JRC)

2-Automated Water Extraction Index

منابع

آزادمنش آزادزوی، محمد اسرافیل. (۱۴۰۰). تأثیرات اقلیم بالای آب‌های زیرزمینی شهر کابل. جلد اول. چاپ اول. انتشارات دانشگاه پروان. کابل، افغانستان.

ابراهیمی خوسفی، محسن. (۱۴۰۱). تحلیل تغییرات مساحت تالاب‌های هامون و سایر پهنه‌های آبی منطقه سیستان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای. مجله جغرافیا و توسعه، ۷۱، ۱۳۴-۱۱۳. Doi: 10.22111/GDIJ.2023.7598

اداره ملی احصائیه افغانستان. (۱۴۰۰). گزارش سرشماری نفوس در سال ۱۴۰۰. کابل، افغانستان.

اداره ملی ارگان‌های محلی افغانستان. (۱۳۹۶). گزارش معرفی ولایت کابل در سال ۱۳۹۶. کابل، افغانستان.

افضلی، آتیکه. و شاهدی، کاکا. (۱۳۹۳). بررسی روند تغییرات کمی و کیفی آب زیرزمینی دشت آمل-بابل. پژوهشنامه مدیریت حوضه آبخیز. ۵(۱۰)، ۱۴۴-۱۵۶. URL: http://jwmr.sanru.ac.ir/article-1-419-fa.html

سعیدی، فهیمه. (۱۴۰۰). بررسی امکان استخراج فاکتورهای فیزیکی-فضایی مبتنی بر تصویر برای تشخیص مناطق محروم و بهره‌مند. پایان‌نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد، دانشگاه یزد، یزد، ایران.

عظیمی، محمدعظیم. (۱۳۹۱الف). درآمدی بر جغرافیای طبیعی افغانستان. جلد اول. انتشارات خراسان. چاپ دوم. کابل، افغانستان.

عظیمی، محمد عظیم. (۱۳۹۱ب). جغرافیای انسانی افغانستان. جلد اول. انتشارات خراسان. چاپ اول. کابل، افغانستان.

عظیمی، سعید، اژدری مقدم، مهدی، و هاشمی منفرد، سید آرمان. (۱۳۹۶). ارزیابی پراکنش مکانی و ارتباط وقوع خشکسالی با کاهش کیفیت آب‌های زیرزمینی بر پایه شاخص‌های GRI در محیط GIS (مطالعه موردی: ۶۰۹ دشت ایران). پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، (۲۹)، ۷۳-۸۹. https://clima.irimo.ir/article_62692.html

عمادالدین، سمیه، شیدایی مجد، نسرین، و آرخی، صالح. (۱۳۹۹). بررسی تأثیر روند تغییرات کاربری اراضی روی افت تراز آب زیرزمینی (محدوده مطالعاتی: ماهیدشت کرمانشاه). مجله علمی پژوهشی مخاطرات طبیعی، ۹(۲۵)، ۱۲۵-۱۴۲. Doi: 10.22111/JNEH.2020.31698.1565

مسلمی، حمید، و درویشی، راحله. (۱۳۹۶). راهکارهای کاهش افت سطح آب‌های زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت لاور-استان هرمزگان). نشریه علمی ترویجی مدیریت اراضی، ۵(۲)، ۱۳۵-۱۲۵. https://doi.org/10.22092/lmj.2018.115868

Feyisa, G.L., Meilby, H., Fensholt, R., & Proud, S.R. (2014). Automated Water Extraction Index: A new technique for surface water mapping using Landsat imagery. Remote Sensing of Environment, 140, 23-35. https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.08.029

Huete, A.R, Liu, H.Q, Batchily, K., & van Leeuwen, W. (1997). A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS, Remote Sensing of Environment, 59(3), 440-451. https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00112-5

Noori, K., & Nasimi, M. (2019). Kabul City Groundwater and Need for Artificial Recharge. 4th International Conference on Civil. Structural and Transportation Engineering (ICCSTE 19). Ottaw -Canada. DOI: 10.11159/iccste19.215

Pekel, J.-F., Cottam, A., Gorelick, N., & Belward, A.S. (2016). High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes. Nature, 540, 418-422. https://doi.org/10.1038/nature20584

Rateb, A., Scanlon, B., Pool, D., Sun, A., Zhang, Z., Chen, J., Clark, B., Faunt, C., Haugh, C., Hill, M., Hobza, C., McGuire, V., Reitz, M., Schmied, H., Sutanudjaja, E., Swenson, S., Wiese, D., Xia, Y., & Zell, W. (2020). Comparison of Groundwater Storage Change from GRACE Satellite with Monitoring and Modeling of Major U.S Aquifers, American Geophysical Union. Water resources research, 56(12), 1-19. https://doi.org/10.1029/2020WR027556

Salmi, T., Maata, A, Anttila, Pia, Ruoho-A., & Tuija. (2002). Detecting Trends of Annual Values of Atmospheric Pollutants by the Mann-Kendall Test and Sen's Solpe Estimates the Excel Template Application MAKESENS. Publications on Air Quality. No 31.

Finnish Meteorological Institute. Helsinki, Finland.

Tamiminia, H., Salehi, B., Mahdianpari, M., Quackenbush, L., Adeli, S., & Brisco, B. (2020). Google Earth Engine for geo-big data applications: A meta-analysis and systematic review. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 164, 152-170. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2020.04.001

Thomas, J. M. (2018). Groundwater Availability in the Kabul Basin, Afghanistan, Springer Nature Singapore. In book: Groundwater of South Asia. (pp.23-35). DOI: 10.1007/978-981-10-3889-1_2