

The impacts of drought and vegetation changes on flooding in Bandan watershed

Alireza Sirati¹, Abdolhamid Dehvari^{2*}, Morteza Dehghani³

¹MSc Graduate, Faculty of soil and water, University of Zabol, Zabol, Iran,

²Assistant professor, Faculty of soil and water, University of Zabol, Zabol, Iran

³PhD in Watershed Management, General Directorate of Natural Resources and Watershed Management of Southern Khorasan, Birjand, Iran

Corresponding Author's E-mail: dehvari@uoz.ac.ir

Received: 11 May 2025 Accepted: 27 June 2025
Revised: 31 May 2025 Published: 21 Mar. 2023



Homepage: ijwer.uoz.ac.ir

Abstract: In this study, the flood vulnerability of the Bandan watershed due to drought and vegetation change was assessed. Annual rainfall fluctuations and drought periods were determined using the normalized percentage index. Physiographic features of the watershed, such as gradient, were extracted from the 30-m resolution DEM using ArcGIS 9.3 software. The soil hydrological group map was created by superimposing soil, geological, and gradient maps. The vegetation cover index (NDVI) was obtained from ETM+ and TM Landsat images in the spring of 1990, 2006, and 2009 using ENVI 4.7 software and classified with a factor of 0.1. A land use map was created using satellite images and used to extract the final CN map (in three periods) using superposition analysis with hydrological groups and NDVI maps. The results show that the weighted average CN changed from 69.8 in 1990 to 73.9 and 71.7 in 2006 and 2009, respectively. This indicates that drought is a major concern and will increase the risk of flooding in the region in the future.

Keywords: Drought, Normal Difference Vegetation Index, Curve Number, Bandan Watershed

Introduction: Drought and flooding supposed to be major problems, in arid and semi-arid region specially in Southeastern part of Iran. Whether they are related together or not, it should be main concern on these phenomena due to causing severe problems in Southern Khorasan watersheds such as Bandan catchment. Generally, the three basic features of a watershed, including soil, vegetation, and topography, manage hydrological changes in the form of rainfall-runoff and erosion processes. The two characteristics of soil and topography do not have short-term changes and can be considered as static factors. However, changes in the hydrological response of a watershed on a medium- and long-term scale depend on changes in the type and distribution of vegetation (Miller et al., 2002). Also, the hydrological effects of land use and vegetation management are manifested in the form of changes in runoff depth, minimum flow, maximum flow, soil moisture and evapotranspiration (Sika et al., 2003). Therefore, it is not far from expected that the flooding changes in the study area (Bandan watershed) are due to changes in vegetation density and are affected by the occurrence of a relatively long period of drought, which is considered as a hypothesis in this study. The results of such research in projects related to the development of deprived areas should be considered to be used in policies related to settlements and villages in the region (South Khorasan) whose development index is not relatively appropriate.

Methodology: First, maps of watershed, sub-watersheds boundaries and watershed gradient were created using digital elevation model (DEM) in Arc GIS 9.3 software. Then, gradient and soil map were combined together using overlay analysis technique, to obtain the hydrological group maps of watershed. Also, the land use map was created using ENVI software. Next, the Normalized Difference Vegetation Index map (NDVI) was prepared using satellite images. The Curve Number (CN) map was classified into appropriate classes. Finally, the discharge and runoff height estimated in different sub-watershed using the US Soil Conservation Service (S.C.S.) method and the runoff amount compared with the drought index. The research results were analyzed to determine the role of

droughts in connection with vegetation and flooding within all sub-watershed.

Result and discussion: Examination of NDVI maps (Fig. 6) show that in June 1990, i.e., before the onset of the drought period, 84.98% of the catchment area in the class (-0.1 to 0), 13.87% of the catchment area in the class (0 to 0.1) and the rest of the watershed surface, which can be ignored, is located in other classes. Therefore, by examining and comparing the vegetation index of Bandan watershed, it can be stated that the vegetation of the watershed in early 2006, (which was the peak of the drought period) changed compared to the cover of 1990, which was before the drought period, and its vegetation density has decreased.

The combination of slope, soil and geological factors has led to the placement of 62% of the watershed surface in hydrological group B, which has a moderate ability to produce runoff. The distribution diagram of the soil hydrological group of Bandan watershed is presented in Fig. 7b.

It is the only vegetation factor that has changed due to the occurrence of drought and has led to changes in flooding and runoff curve number of the watershed. Based on this, runoff curve number maps were prepared for the studied years and the average weight of CN for previous years and during the drought period in the watershed and its sub-watersheds were calculated using Arc GIS9.3 software. The results are presented in Table 3.

As Fig. 3 shows, the amount of CN in 2006 and 2009, (which were affected by drought), compared to CN in 1990, (which was normal), has increased at the level of sub-watersheds and the whole watershed, but this increase is proportional to the changes in NDVI index and consequently to the annual rainfall. The D1 is the most flood-prone sub-watershed that in addition to the high value of CN of this sub-watershed (due to drought fluctuations), other reasons for the intensification of flooding can be the Marne Formation and the frequency of sloping surfaces. Sub-watersheds of the H and the C are in the next flood category.

Conclusion: According to the average value of CN, it was concluded that the Bandan watershed has experienced an above-normal year in 1990 and the period of drought in 2006 and 2009. The results showed that drought has increased the amount of CN, and in the other words the potential for runoff production in the study watershed. In watersheds such as Bandan, especially in arid and semi-arid regions increasing the amount of CN, in return leads to increased flooding potential. Determining the exact relationship between NDVI and CN obtained in pastures with perennial shrub and shrub species, considering that shrubs, whether green or autumn, may play their role in flood control and soil conservation. Whether or not they can be a good suggestion for future research.

© 2023 University of Zabol, Zabol, Iran.



This is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0 license) (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

تأثیر خشک‌سالی و تغییرات پوشش گیاهی بر سیل‌خیزی حوضه آبخیز بندان

علیرضا سیرتی^۱، عبدالحمید دهواری^{۲*}، مرتضی دهقانی^۳

^۱دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل، زابل، ایران

^۲استادیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل، زابل، ایران

^۳دکتری آبخیزداری، معاون اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری خراسان جنوبی، بیرجند، ایران

پست الکترونیکی نگارنده مسئول: dehvari@uoz.ac.ir

وبگاه نشریه: ijwer.uoz.ac.ir



تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۲۷

تاریخ ویرایش: ۱۴۰۴/۰۳/۱۰ تاریخ چاپ: ۱۴۰۲/۰۱/۰۱

چکیده: در این مطالعه، سیل‌خیزی حوضه آبخیز بندان در اثر خشک‌سالی و تغییر پوشش گیاهی ارزیابی گردید. نوسانات بارندگی سالانه و دوره‌های خشک‌سالی با استفاده از شاخص درصد نرمال تعیین شدند. ویژگی‌های فیزیوگرافی حوزه آبخیز، مانند گرادیان، از DEM با وضوح ۳۰ متر با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS 9.3 استخراج شدند. نقشه گروه هیدرولوژیکی خاک با استفاده از همپوشانی نقشه‌های خاک، زمین‌شناسی و گرادیان ایجاد شد. شاخص پوشش گیاهی (NDVI) از تصاویر ETM+ و TM لندست در بهار ۱۹۹۰، ۲۰۰۶ و ۲۰۰۹ با استفاده از نرم‌افزار ENVI 4.7 به دست آمد و با ضریب ۰.۱ طبقه‌بندی شد. نقشه کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای ایجاد شد و برای استخراج نقشه نهایی CN (در سه دوره) با استفاده از تحلیل برهم‌نهی با گروه‌های هیدرولوژیکی و نقشه‌های NDVI استفاده شد. نتایج نشان می‌دهد که میانگین وزنی CN از ۶۹.۸ در سال ۱۹۹۰ به ۷۳.۹ و ۷۱.۷ به ترتیب در سال‌های ۲۰۰۶ و ۲۰۰۹ تغییر کرده است. این نشان می‌دهد که خشک‌سالی یک نگرانی عمده است و خطر سیل در منطقه را در آینده افزایش می‌دهد.

کلیدواژگان: خشک‌سالی، شاخص تفاضل نرمال پوشش، شماره منحنی، حوضه آبخیز بندان

۱- مقدمه

کاربری اراضی به‌عنوان یکی از چالش‌های عمده قرن بیست و یکم مطرح خواهد بود و برخی حتی اعتقاد به شدیدتر بودن اثر آن نسبت به پدیده تغییر اقلیم دارند (Sala et al., 2000).

در دهه‌های آینده، توسعه مناطق کشاورزی و شهری و بهره‌برداری بیشتر از جنگل‌ها در جهت برآوردن نیازمندی‌های روزافزون انسان‌ها باعث تغییرات چشمگیری در رژیم هیدرولوژیکی حوزه‌های آبخیز خواهد شد. تغییر

بالا به نوعی می‌توان یک ارزیابی کلی از وضعیت سیل خیزی منطقه نیز به دست آورد چراکه وجود پتانسیل بالای سیل خیزی در یک منطقه مقدمه‌ای بر افزایش احتمال وقوع سیل در آن منطقه است. (مرید و همکاران، ۱۳۷۵).

اثر تغییر کاربری اراضی هم بر روی سیل خیزی آبخیزها خیلی مورد توجه بوده است (Mutie et al., 2006؛ بلواسی و همکاران، ۱۳۹۹؛ Sumarauw et al., 2012).

مدل S.C.S.¹ از کارآیی بالایی برای برآورد دبی سیلاب در آبخیزهای کوچک با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی برخوردار است (InciTekel et al., 2006) و محاسبه پتانسیل سیل خیزی حوضه آبخیز را ممکن می‌سازد (غفاری گیلانده، ۱۳۹۵).

همچنین، کاربرد نقشه شماره منحنی (CN²) نشان داده است که تغییر کاربری اراضی و تخریب جنگل‌ها و مراتع حوضه، دبی اوج سیل را افزایش می‌دهد (ثقفیان و همکاران، ۱۳۸۵)؛ استفاده از مدل وزنی در محاسبه شماره منحنی تخمین درست‌تری از رواناب ناشی از بارندگی به دست می‌دهد (علیجانی و همکاران، ۱۳۸۹)؛ میانگین وزنی شماره منحنی‌ها، تخمین حجم رواناب احتمالی و پتانسیل سیل خیزی حوضه‌ها را ممکن می‌سازد (یعقوب‌زاده و همکاران، ۱۳۸۹؛ نوحه‌گر و همکاران، ۱۳۹۱).

برای تعیین تاثیر تغییر کاربری اراضی بر میزان رواناب سالانه حوضه‌های آبخیز از تحلیل تصاویر ماهواره‌ای (ETM⁺ TM) و نرم‌افزار Arc GIS 9.3 استفاده شده است (یعقوب‌زاده و همکاران، ۱۳۸۹؛ جوادی و همکاران، ۱۳۹۰؛ اسفندیاری و همکاران، ۱۳۹۳).

پیرنیا و همکاران در سال ۱۳۹۶ بررسی اثر تغییر کاربری اراضی و خشک‌سالی‌های ناشی از تغییر اقلیم را بر روی کیفیت آب رودخانه هراز بیان کرد که هم عامل تغییر اقلیم (خشک‌سالی) و هم تغییرات کاربری اراضی می‌توانند در

روند رو به افزایش سیل در سال‌های اخیر حاکی از آن است که اکثر مناطق کشور در معرض تهاجم سیلاب‌های ادواری و مخرب قرار داشته و ابعاد خسارات و تلفات جانی و مالی سیل افزایش یافته است. از این‌رو، ارائه یک روش مناسب برای شناسایی مناطق با پتانسیل بالاتر در تولید سیل حوضه‌های آبخیز ضروری است.

در مدیریت جامع حوضه‌های آبخیز، تعیین شدت سیل خیزی در زیر حوضه‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است. مرید و همکاران (۱۹۹۶) سه ویژگی اولیه حوزه آبخیز شامل خاک، پوشش گیاهی و توپوگرافی، تغییرات هیدرولوژیک را در قالب فرایندهای بارش-رواناب و فرسایش مهم می‌دانند. دو ویژگی خاک و توپوگرافی، تغییرات کوتاه‌مدت ندارند و می‌توان آن‌ها را جزو عوامل ایستا محسوب کرد. لیکن تغییر در واکنش هیدرولوژیک یک حوزه آبخیز در مقیاس زمانی میان‌مدت و بلندمدت به تغییر در نوع و توزیع پوشش گیاهی بستگی دارد (Miller et al., 2002). همچنین تاثیرات هیدرولوژیک کاربری اراضی و مدیریت پوشش گیاهی در قالب تغییر در عمق رواناب، دبی حداقل، دبی حداکثر، رطوبت خاک و تبخیر و تعرق آشکار می‌شود (Sikka et al., 2003).

شناسایی عوامل موثر بر پتانسیل سیل خیزی حوضه‌ها و پهنه‌بندی حوضه‌ها از نظر قابلیت تولید رواناب امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر است. برای این منظور داده‌های سنجش‌از‌دور و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی ابزاری مفید و توانمند برای شناسایی عوامل موثر بر پتانسیل سیل خیزی حوضه‌ها و پهنه‌بندی حوضه‌ها از نظر پتانسیل سیل خیزی می‌باشند. پهنه‌بندی پتانسیل سیل خیزی عبارت از تعیین و توصیف مناطق دارای پتانسیل از نظر رواناب‌های سطحی است. این عمل بر اساس مشابهت خصوصیات هیدرولوژیکی و هیدروژئولوژیکی مناطق مورد بررسی صورت گرفته و از این طریق امکانات استفاده از پتانسیل هر زون مشخص و ارزیابی می‌شود. در واقع با تعیین محل‌های دارای پتانسیل

²Curve Number

¹ Soil Conservation Service

خشک‌سالی و سیل در مدت‌زمان کوتاهی ایجاد می‌شود که می‌تواند تأثیرات گسترده‌ای بر اکوسیستم‌های زمینی ایجاد کند.

Chen و همکاران (۲۰۲۳) روابط بین آب-خاک و گیاه را در شرایط رطوبتی خشکی و سیلابی بررسی کردند و دریافتند که خشک‌سالی با کاهش جذب آب توسط ریشه گیاه تنش‌های شدیدی را متحمل شده و سیلاب نیز با اشباع آب در خاک خفگی ریشه را به دنبال دارد.

Wu و همکاران (۲۰۲۴) در مطالعه ارزیابی برای تعیین کمیت از دست دادن و بازیابی پوشش گیاهی در پاسخ به خشک‌سالی هواشناسی بر اساس $2NDVI$ دریافتند که جنگل‌ها نسبت به سایر انواع پوشش گیاهی مقاومت بیشتری به خشکی نشان می‌دهند.

Alriah و همکاران (۲۰۲۴) در مطالعه ارزیابی تغییرات مشاهده‌شده در ویژگی‌های خشک‌سالی و پویایی پوشش گیاهی در مناطق خشک و نیمه‌خشک در سودان دریافتند که یک رابطه همبستگی مثبت بین شاخص خشک‌سالی و نوسانات چند دهه اخیر اقیانوس اطلس در مناطق مختلف سودان وجود دارد.

ارزیابی شاخص‌های خشک‌سالی منطقه آنتالیای ترکیه نشان داد که بارش‌ها در سال‌های اخیر کاهش یافته و در اکثر ماه‌های دوره مورد مطالعه روند نزولی داشته و با تداوم خشک‌سالی‌های تجربه‌شده در سال‌های قبل، احتمال وقوع سیل ناشی از رگبارهای ناگهانی در منطقه افزایش یافته است. آنان بررسی رطوبت و پوشش گیاهی خاک را برای دوره انتخابی در منطقه مورد مطالعه نیز برای ارزیابی سطح خشک‌سالی حائز اهمیت دانستند. ارزیابی نقشه‌های پوشش گیاهی موجود نشان داد که پوشش گیاهی طی سال‌ها ضعیف شده است و به‌عنوان شاخصی ارزیابی شده است که خطر خشک‌سالی در منطقه را تشدید می‌کند (Utlou Ghasemlounia and, 2025).

کاهش کیفیت منابع آب تأثیرگذار باشند، طی پژوهش در چین، تحلیل ویژگی‌های خشک‌سالی شامل فراوانی وقوع، شدت و مدت آن را برای سناریوهای اقلیمی طی سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۹۹ روشن ساخت که بر اساس سناریوی RCP8.5 شدت، مدت و تعداد خشک‌سالی‌ها افزایش می‌یابد (لی و همکاران^۱، ۲۰۱۷).

حسین‌زاده و همکاران در سال ۱۳۹۷ با استفاده از روش شماره منحنی و نرم‌افزار Arc GIS 9.3 و الحاقیه Arc CN-Runoff مبادرت به برآورد پتانسیل تولید رواناب در حوضه آبخیز حصارک نمودند و نتایج تحقیق نشان داد که وضعیت هیدرولوژیکی اراضی و گروه‌های هیدرولوژیکی خاک در سطح حوضه مهم‌ترین پارامتر تعیین‌کننده CN و بر روی رواناب تأثیرگذار است.

موغلی و کردوانی در سال ۱۳۹۸ نیز با استفاده از روش شماره منحنی و نرم‌افزار Arc GIS 9.2 میزان سیل‌خیزی زیرحوضه‌های آبخیز وریند لارستان در استان فارس را محاسبه نمودند و نتیجه گرفتند که کل رواناب تولیدی در این حوضه بیش از ۴ میلیون مترمکعب در سال است و زیرحوضه‌های A، K، و M به ترتیب با ۱۰.۰۱، ۱۱.۳ و ۱۱.۷ درصد دارای سیل‌خیزی بالا و زیرحوضه‌های C و G به ترتیب با ۵.۳ و ۴.۳ درصد دارای کمترین مقدار سیل‌خیزی ناشی از تغییر کاربری اراضی، اقلیم و گروه‌های هیدرولوژیکی خاک هستند.

باب‌الحکمی و همکاران در سال ۱۳۹۹ به ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر خشک‌سالی بیان کرد که خشک‌سالی در سناریوهای مختلف اقلیمی نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد و دوره‌های مرطوب و نرمال نسبت به دوره پایه به میزان ۱۵ تا ۴۳ درصد کاهش خواهد یافت.

Shi و همکاران (۲۰۲۲) اظهار داشته‌اند که تناوب ناگهانی خشک‌سالی-سیل یک پدیده هواشناسی جدید و پیچیده است که معمولاً به دلیل واکنش‌ها و انتقال سریع

² Normalized Difference Vegetation Index

¹Li et al.

بارندگی ۲۴ ساعته ۶۵ میلی‌متر، میانگین درجه حرارت آن ۱۹/۸ درجه سانتی‌گراد و اقلیم آن از نوع گرم و خشک است. این ایستگاه فعالیت خود را از سال ۱۳۶۵ به‌طور رسمی آغاز کرده است. سیلاب و طوفان‌های ماسه‌ای به‌شدت امنیت و آرامش زندگی ساکنان این منطقه را تهدید می‌نماید به‌طوری‌که آخرین سیلاب مخرب حوضه در مورخه ۹۲/۱۲/۲۳، یک نفر تلفات جانی، خسارت ۱۰ تا ۱۰۰ درصدی به بیش از ۵ هزار واحد مسکونی و خسارت هنگفت به بخش کشاورزی را به همراه داشت.

۲-۲- داده‌ها و روش انجام پژوهش

نخست از داده‌های مربوط به دما و بارش حاصل از ایستگاه سینوپتیک نهبندان، برای تعیین شاخص خشک‌سالی استفاده گردید. مدل رقومی ارتفاع (DEM^۱) با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر از فضای مجازی تهیه و برای اصلاح نقاط ارتفاعی آن از ابزار الحاقی Arc Hydro مربوط به نرم‌افزار Arc GIS 9.3 استفاده به عمل آمد. همچنین باندهای ۳ و ۴ سنجنده‌های TM و ETM⁺ ماهواره لندست، که برای تهیه نقشه‌های کاربری زمین و شاخص تفاضل نرمال پوشش گیاهی موردنیاز بودند، تهیه گردیدند.

نقشه‌های خاک و زمین‌شناسی داده‌های پایه و خام موردنیاز دیگری بوده‌اند که برای استخراج نقشه‌های شماره منحنی تهیه و پردازش گردیده‌اند. نرم‌افزاری همچون Arc GIS 9.3 و ابزار الحاقی Arc Hydro، نرم‌افزار پرتوان ENVI 4.7 در حوضه سنجش‌ازدور و برنامه Excel به‌دفعات مورد استفاده قرار گرفته‌اند. داده‌های پایه همچون مدل رقومی ارتفاع و تصاویر ماهواره لندست ۵ و ۷ با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر از آدرس‌های اینترنتی <http://earthexplorer.usgs.gov> و <http://glcfapp.glcf.umd.edu:8080/esdi/index.jsp> دریافت و توسط نرم‌افزارهای مربوطه مورد پردازش و بهره‌برداری قرار گرفتند. همچنین فایل رقومی نقشه‌های خاک‌شناسی و زمین‌شناسی به ترتیب از سازمان آب

بررسی منابع نشان می‌دهد که به‌کارگیری مدل سازمان حفاظت خاک ایالات متحده (S.C.S.) در حوضه‌های فاقد آمار برای برآورد رواناب ناشی از تغییرات کاربری اراضی و تغییرات اقلیمی با استفاده از نرم‌افزارهای Arc GIS و سایر ابزارهای الحاقی بسیار نتایج خوبی در پی داشته است. در این پژوهش، تاثیر تغییرات تراکم پوشش گیاهی و خشک‌سالی بر میزان سیل‌خیزی حوضه آبخیز فاقد آمار بندان در خراسان جنوبی مطالعه می‌شود، جزئیات روش کار به شکل یک دیاگرام در [شکل ۲](#) ارائه شده است.

۲- روش‌شناسی

۲-۱- معرفی منطقه مورد مطالعه

نقطه خروجی حوضه آبخیز بندان با مختصات جغرافیایی ۶°۴۳'۶" طول شرقی و ۳۱°۲۳'۴۷" عرض شمالی، در ۸۰ کیلومتری شرق شهرستان نهبندان از توابع استان خراسان جنوبی و ۹۰ کیلومتری شمال غرب شهرستان زابل واقع شده است.

نقطه خروجی آبخیز ۷۲۰ متر نسبت به سطح آب‌های آزاد ارتفاع دارد و بلندترین نقطه ارتفاعی حوضه در خط‌الراس ۲۵۳۰ متری از سطح آب‌های آزاد واقع شده است. طولانی‌ترین آبراهه اصلی آبخیز که به‌عنوان یک رودخانه غیردائمی محسوب می‌شود، در حدود یک‌صد کیلومتر طول داشته و وسعت حوضه آبخیز بر اساس نقشه DEM، ۲۱۹۳ کیلومترمربع است. در تقسیم‌بندی بخش تمآب (تحقیقات منابع آب وزارت نیرو) به‌عنوان یکی از زیرحوضه‌های آبریز هامون هیرمند از حوضه اصلی شرق کشور محسوب می‌گردد.

نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی به این حوضه، ایستگاه سینوپتیک نهبندان با ۱۲۱۱ متر ارتفاع از سطح دریاست که میانگین بارندگی سالانه آن ۱۳۱ میلی‌متر، حداکثر

^۱ - Digital elevation model

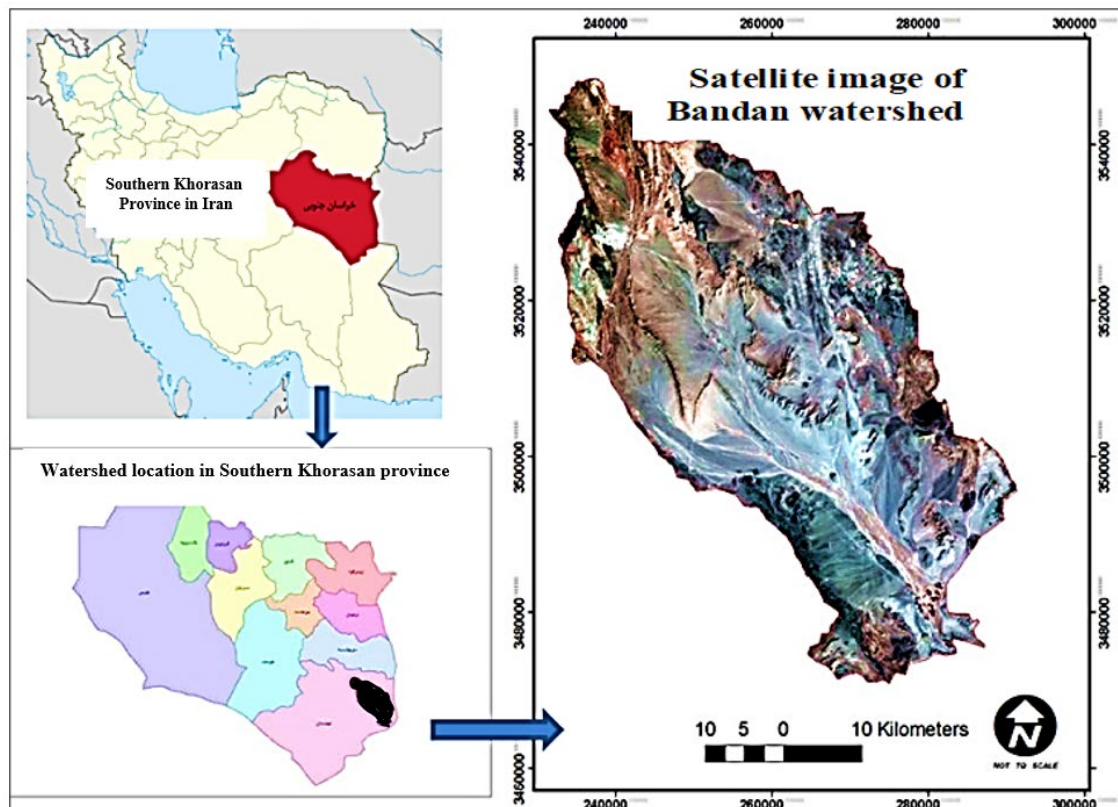


Fig. 1 Location of Bandan watershed in the political divisions of the province and the division of Tamab

شکل ۱ موقعیت حوزه آبخیز بندان در تقسیمات سیاسی استان و تقسیم‌بندی تماب (تحقیقات منابع آب)

رواناب با روش سازمان حفاظت خاک امریکا، در زیرحوضه‌های مختلف و مقایسه آن با شاخص خشک‌سالی نتایج تحقیق تجزیه و تحلیل گردید تا نقش خشک‌سالی‌های اخیر در زیرحوضه‌های مختلف در ارتباط با پوشش گیاهی و سیل‌خیزی مشخص شود. از آنجایی که خشک‌سالی نقش مهمی در سیل‌خیزی منطقه دارد، پس از تعریف مختصری از آن به جزئیات کامل‌تر همراه با سایر فرایندهای روش انجام تحقیق ارائه می‌گردد. [شکل ۲](#) خلاصه‌ای از جزئیات روش انجام کار را نشان می‌دهد.

خشک‌سالی: خشک‌سالی وضعیتی از کمبود بارندگی و افزایش دما است که در هر وضعیت اقلیمی ممکن است رخ دهد. تعریف خشک‌سالی و چگونگی ارتباط آن با پدیده‌های هیدرولوژی بسیار مشکل است زیرا اولاً ممکن است به‌طور هم‌زمان تمام اجزاء سیستم هیدرولوژی را تحت تاثیر قرار

منطقه‌ای و اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان خراسان جنوبی دریافت گردید. در این تحقیق پس از تهیه داده‌ها و نقشه‌های خام اولیه، نخست نقشه‌های پایه مانند نقشه زیرحوضه‌های آبخیز و نقشه شیب آبخیز با استفاده از مدل رقومی ارتفاع و به کمک نرم‌افزار Arc GIS 9.3 تهیه و از تلفیق نقشه شیب با نقشه خاک، نقشه گروه هیدرولوژیکی آبخیز حاصل گردید. سپس نقشه کاربری اراضی با استفاده از نرم‌افزار ENVI 4.7 حاصل گردید. در ادامه کار نقشه شاخص تفاضل نرمال پوشش گیاهی به کمک تصاویر ماهواره‌ای تهیه‌شده بود باروی هم‌گذاری روی نقشه‌های کاربری اراضی و نقشه گروه‌های هیدرولوژیکی خاک برای استخراج نقشه شماره منحنی مورد استفاده قرار گرفتند که جزئیات هرکدام از این فرایندها در [شکل ۲](#) ارائه شده است. بعد از تهیه نقشه شماره منحنی، به طبقات مناسبی کلاسه‌بندی گردید و درنهایت با محاسبه دبی و ارتفاع

نشان‌دهنده درجه خشک‌سالی یا ترسالی دوره است به‌طوری‌که اگر درصد نرمال از ۱۰۰ کمتر باشد نشان‌دهنده خشک‌سالی و اگر از ۱۰۰ بیشتر باشد نشان‌دهنده ترسالی است (علیزاده، ۱۳۸۶). **شکل ۳** نمودار درصد نرمال را برای داده‌های بارش ایستگاه سینوپتیک نهندان نشان می‌دهد که در فاصله ۵۰ کیلومتری مرکز ثقل حوضه واقع شده و اطلاعات آن برای منطقه مورد مطالعه استفاده شده‌اند. با بررسی نتایج حاصل از این روش، می‌توان از سال ۱۳۷۸ تا ۱۳۹۱ را به‌استثنای ۴ سال که درصد نرمال آن‌ها اندکی از عدد ۱۰۰ کمی بیشتر است، به‌عنوان دوره خشک‌سالی در منطقه مورد مطالعه تعیین کرد.

شماره منحنی رواناب: سازمان حفاظت خاک امریکا (S.C.S.) در سال ۱۹۷۵ (هاوکینز^۱، ۱۹۷۵) به‌منظور برآورد ارتفاع رواناب ناشی از بارش ۲۴ ساعته، پارامتر بی‌بعدی موسوم به شماره منحنی رواناب یا CN تعریف نموده که در حقیقت بیانگر پتانسیل تولید رواناب در سطح حوضه‌های آبخیز است و برای به دست آوردن آن نیاز است سه فاکتور گروه هیدرولوژیکی خاک، کاربری اراضی و پوشش گیاهی

ندهد ثاباً خشک‌سالی یک پدیده مطلق نبوده بلکه کمبود نسبی رطوبت است؛ در این‌صورت تقاضای برای آب نیز می‌تواند خشک‌سالی ایجاد کند درحالی‌که بارندگی ممکن است به‌صورت طبیعی اتفاق افتاده باشد. بنابراین خشک‌سالی پدیده‌ای است اقلیمی که به‌صورت دوره‌ای در هر شرایط آب و هوایی می‌تواند رخ دهد. در واقع خشک‌سالی بخش معمول اقلیم است و در تمام مناطق جهان اتفاق می‌افتد. این پدیده در مناطق با بارش‌های مختلف می‌تواند روی دهد و در واقع کاهش میزان بارش در یک دوره زمانی مانند یک فصل یا یک سال را می‌توان منشأ اصلی وقوع آن به‌حساب آورد.

برای اینکه خشک‌سالی را به لحاظ کمی تعریف کنیم روش‌های زیادی ارائه شده است که در این مطالعه از شاخص درصد نرمال برای تعیین وضعیت ترسالی و خشک‌سالی حوضه آبخیز استفاده گردید. این شاخص در سال ۱۹۹۴ توسط ویلکی و همکارانش ارائه شد و مفهوم اساسی آن تقسیم بارش واقعی بر بارش نرمال است و تنها فاکتور موردنیاز جهت محاسبه آن بارش است. درصد نرمال

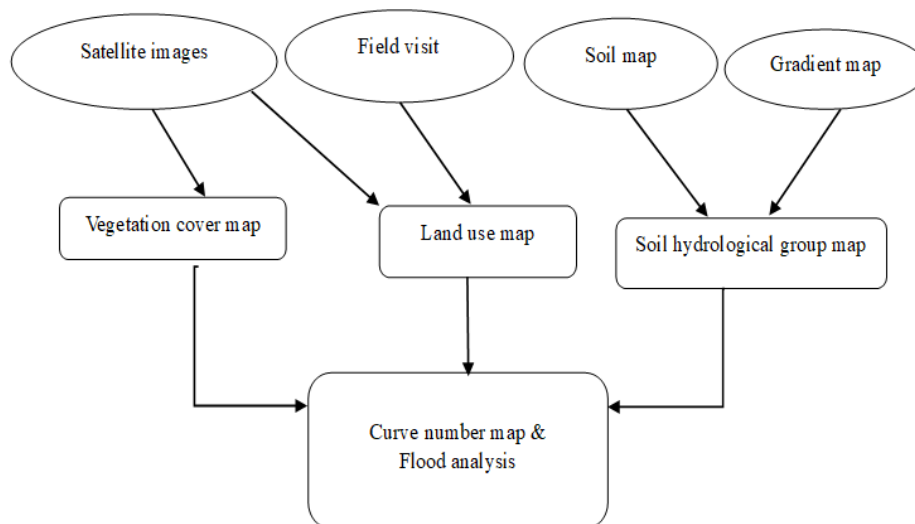


Fig. 2 Flowchart of methodology

شکل ۲ نمودار مراحل انجام تحقیق

¹Hawkins

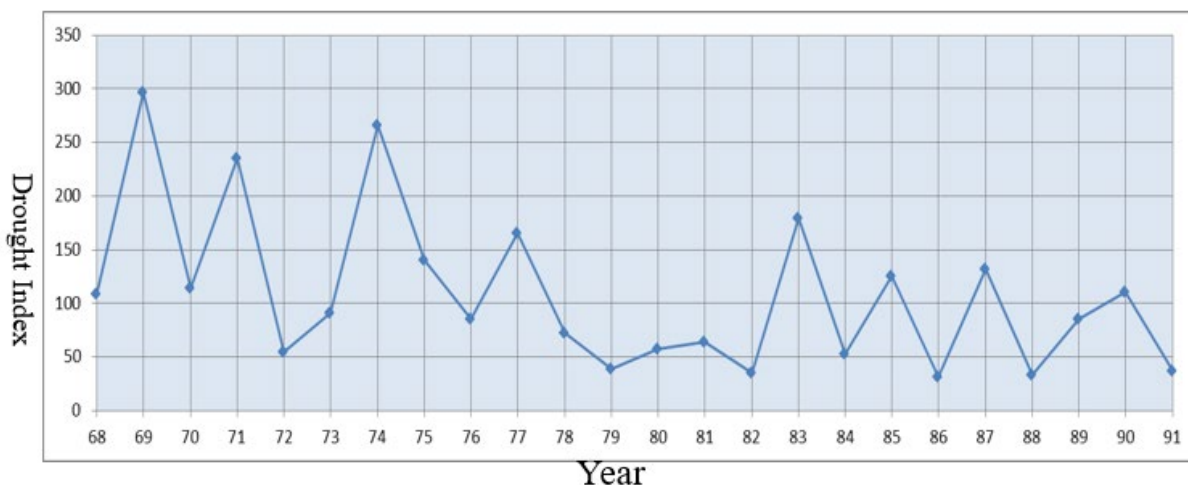


Fig. 3 Normal percentage index of Bandan watershed from 1990 to 2012

شکل ۳ نمودار درصد نرمال (خشک‌سالی) حوضه آبخیز بندان

Q: ارتفاع رواناب محاسبه شده به میلی‌متر

t_p : زمان تا اوج بر حسب ساعت

گروه هیدرولوژیکی خاک: به منظور گروه‌بندی خاک‌های حوضه آبخیز و تهیه نقشه گروه‌های هیدرولوژیکی خاک، نقشه خاک‌شناسی در محیط برنامه Arc GIS 9.3 با نقشه شیب حوضه که از DEM استخراج گردیده بود با استفاده از ابزار Intersect تلفیق گردید، و بر اساس خصوصیات خاک از قبیل بافت، عمق و نوع خاک و همچنین کلاس‌های شیب و با در نظر گرفتن نقشه زمین‌شناسی، گروه‌های هیدرولوژیکی خاک تعیین و نقشه آن مطابق شکل ۴ تهیه گردید. همچنین بر اساس نوع خاک و توانایی تولید رواناب گروه‌های مختلف هیدرولوژیکی خاک نشان داده شده است. همان‌طور که جدول ۱ نشان می‌دهد، توان تولید رواناب از گروه A تا D افزایش می‌یابد.

کاربری اراضی: کاربری اراضی یکی دیگر از عوامل تعیین‌کننده در مقدار شماره منحنی رواناب در حوضه‌های آبخیز است. برای تعیین نقشه کاربری اراضی از تصاویر ماهواره لندست و نرم‌افزار ENVI 4.7 و با استفاده از الگوریتم حداکثر احتمال استفاده گردید و برای حصول اطمینان از دقت و صحت آن، از نقشه زمین‌شناسی و تطابق آن با طبیعت و تصاویر گوگل ارث نیز استفاده گردید.

تعیین گردد. مقدار CN بین ۰ تا ۱۰۰ متغیر است و هر چه به عدد ۱۰۰ نزدیک‌تر باشد توان تولید رواناب بیشتر و نفوذ و تلفات رواناب کمتر خواهد بود. روابط (۱) و (۲) معادلات مربوط به برآورد رواناب با روش S.C.S را نشان می‌دهند.

$$Q = \frac{(P-0.2S)^2}{P+0.8S}, P > 0.2S \quad (1)$$

$$S = \frac{2540}{CN} - 25.4 \quad (2)$$

Q: ارتفاع رواناب

P: ارتفاع بارندگی ۲۴ ساعته

S: حداکثر توان نگهداری مربوط به جذب توسط پوشش گیاهی، نفوذ در خاک و ذخیره سطحی است.
CN: شماره منحنی رواناب (مهدوی، ۱۳۸۴)

همچنین دبی اوج سیل با دوره بازگشت‌های مختلف طبق رابطه (۳) و بر اساس بارش‌های ۲۴ ساعته با دوره بازگشت مربوط محاسبه گردیده است.

$$Q_{max} = 2.083 \frac{AQ}{t_p} \quad (3)$$

Q_{max} : دبی حداکثر لحظه‌ای به مترمکعب در ثانیه

A: سطح حوضه به کیلومتر مربع

نزدیک (NIR) به ترتیب با جذب بالا و بازتاب پایین مشخص می‌شوند. انعکاس کلروفیل در محدوده طول موج قرمز (RED) حدود ۲۰ درصد و در محدوده طول موج مادون قرمز نزدیک (NIR) حدود ۶۰ درصد است و تفاوت بین پاسخ‌های هر دو باند اجازه کمی‌سازی انرژی جذب‌شده توسط کلروفیل را می‌دهد، در نتیجه طبقات نشان‌دهنده سطوح مختلف پوشش گیاهی را فراهم می‌کند.

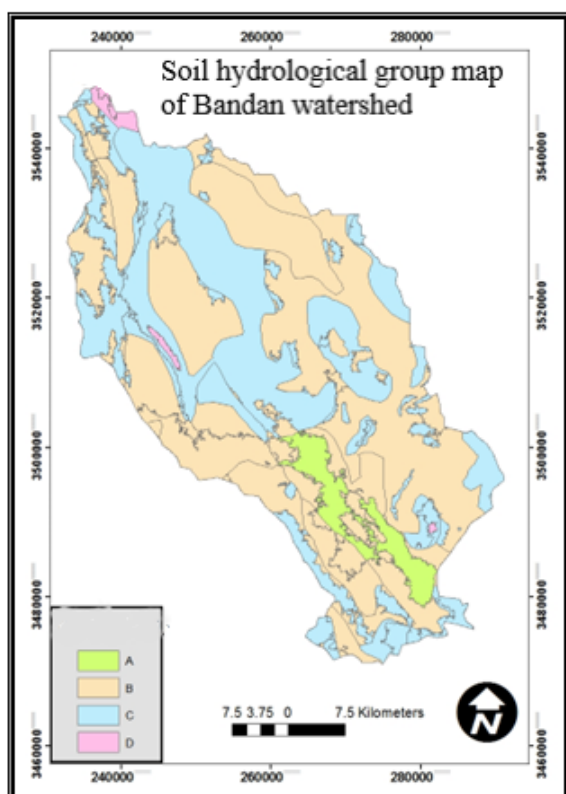


Fig. 4 Soil hydrological groups in Bandan watershed

شکل ۴ نقشه گروه‌های هیدرولوژیکی خاک حوضه آبخیز بندان

اراضی با کاربری کشاورزی که در سطح محدود روستاهای واقع در حوضه آبخیز پراکنش دارند تعیین گردیدند که البته توجه به وسعت ناچیز آن‌ها (۰.۷ درصد وسعت حوضه آبخیز)، از اعمال آن در تعیین مقدار CN صرف‌نظر گردید. بقیه وسعت حوزه را مراتع و بیشه‌زارها شامل می‌شوند که در بخشی از آن نیز اراضی توده سنگی گسترش دارند.

پوشش گیاهی: به منظور تحقق اهداف این تحقیق مبنی بر مطالعه تاثیر خشکسالی بر پتانسیل تولید رواناب حوضه، ضرورت ایجاب می‌کند تغییرات احتمالی پوشش گیاهی طی سال‌های قبل و حین وقوع خشکسالی بررسی و در مدل S.C.S. اعمال گردد.

بدین منظور تصاویر سنجنده TM مربوط به تاریخ ۲۶ می ۱۹۹۰ مصادف با ۵ خرداد ۱۳۶۹ به‌عنوان ترسال و تصاویر سنجنده ETM+ ماهواره لندست، مربوط به تاریخ‌های ۲۰ آوریل ۲۰۰۶ و ۲۲ می ۲۰۰۹ مصادف با ۳۱ فروردین ۱۳۸۵ و ۱ خرداد ۱۳۸۸ به‌عنوان خشکسال تهیه و شاخص تفاضل نرمال شده گیاهی (NDVI) برای آن‌ها در محیط نرم‌افزار ENVI 4.7 محاسبه گردید. رابطه (۴) نحوه محاسبه NDVI را نشان می‌دهد.

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED} \quad (4)$$

شاخص‌های پوشش گیاهی را با شماره‌های دیجیتال به نقشه تبدیل می‌کنند که در مورد NDVI در دامنه ۱- تا ۱ است (Hoodel, 2012). در این شاخص برای سطوح دارای پوشش گیاهی، طول موج‌های قرمز (RED) و مادون‌قرمز

جدول ۱ کمینه شدت نفوذ در گروه‌های هیدرولوژیکی خاک

Table 1 Minimum infiltration intensity in soil hydrological groups

Soil hydrological groups	Permeability intensity (inches per hour)	Soil type	Runoff generation ability
A	More than 3	Sand and gravel	Low
B	1.5-3	Sandy loam, sandy clay	Medium
C	0.5-1.5	Loamy, clay loam with hard layers in depth	High
D	Less than 0.5	Clay, saline soils, rock, asphalt road, concrete	Very high

گیاهی، نقشه‌های شاخص NDVI به ۲۰ کلاس طبقه‌بندی گردید و جدول توزیع فراوانی وقوع پیکسل‌های هر کلاس که بیانگر درصد گسترش هر کلاس NDVI در سطح حوضه آبخیز است، ارائه شد. توزیع فراوانی کلاس‌های شاخص NDVI به صورت **جدول ۳** است. از آنجایی که توزیع فراوانی وقوع پیکسل‌های NDVI در **جدول ۳** و نقشه‌های پراکنش آن‌ها در **شکل ۵** ارائه شده است، از ارائه نمودارهای توزیع فراوانی آن‌ها صرف نظر می‌گردد. بررسی نقشه‌های شاخص NDVI (**شکل ۶**) و توزیع فراوانی کلاس‌های مربوط به آن (**جدول ۳**) نشان می‌دهد که در خردادماه سال ۱۳۶۹ یعنی قبل از شروع دوره خشک‌سالی، ۸۴/۹۸ درصد از سطح حوضه آبخیز در کلاس (صفر تا ۰/۱-)، ۱۳/۸۷ درصد از سطح حوضه در کلاس (صفر تا ۰/۱) و در همین سال (۱۳۶۹) که به‌عنوان سال نرمال و از نوع ترسال بوده است، فقط ۱۳/۸۷ درصد از مساحت آبخیز بندان توسط کلاس با دامنه (صفر تا ۰/۱+) اشغال شده است و بقیه سطح حوضه قابل چشم‌پوشی و اغماض است در بقیه رده‌ها جای گرفته‌اند.

این شاخص که بین ۱- و ۱+ متغیر است، در کلاس‌هایی به عرض دامنه ۰.۱ طبقه‌بندی گردید، به‌طوری که ارقام نزدیک ۱+ بیانگر تراکم بیشتر پوشش گیاهی و ارقام منفی به‌ویژه آن‌هایی که نزدیک ۱- است، وضعیت پوشش گیاهی بسیار کمی دارند. در مرحله بعد دامنه ۱- تا ۱+ به سه قسمت مساوی و به‌عنوان مراتع فقیر، متوسط و خوب تقسیم شدند و مقدار یا ارزش CN (Value ۱) ارائه شده توسط مدل S.C.S برای مرکز هر کدام از این طبقات در نظر گرفته شد، و سپس برای هر کدام از کلاس‌های شاخص NDVI، ارقام CN هر کدام از آن‌ها مطابق با **جدول ۲** به روش درون‌یابی تعیین گردید. بدین ترتیب با تلفیق نقشه‌های گروه هیدرولوژیکی خاک، کاربری اراضی و شاخص NDVI، و بر اساس جدول به‌دست آمده، نقشه شماره منحنی (CN) حوضه برای هر یک از مقاطع زمانی مطابق **شکل ۵** حاصل گردید.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- مقایسه تغییرات پوشش گیاهی

به‌منظور بررسی و تحلیل دقیق تغییرات احتمالی پوشش

جدول ۲ تعیین مقدار شماره منحنی برای مجموعه هیدرولوژیکی خاک و پوشش گیاهی

Table 2 The curve number value for the soil hydrological groups and its vegetation cover

Rangeland Condition	A	B	C	D	NDVI Index
Poor	77.48	83.98	89.48	91.49	-0.95
	74.32	82.32	88.32	90.66	-0.85
	71.16	80.66	87.16	89.83	-0.75
	68	79	86	89	-0.65
	64.84	77.34	84.84	88.17	-0.55
	61.68	75.68	83.68	87.34	-0.45
Medium	58.52	74.02	82.52	86.51	-0.35
	55.36	72.36	81.36	85.68	-0.25
	52.2	70.7	80.2	84.85	-0.15
	49	69	79	84	-0.05
	47.57	67.86	78.29	83.43	0.05
	46.14	66.72	77.58	82.86	0.15
Good Rangeland condition	44.71	65.58	76.87	82.29	0.25
	43.28	64.44	76.16	81.72	0.35
	41.85	63.3	75.45	81.15	0.45
	40.42	62.16	74.74	80.58	0.55
	39	61	74	80	0.65
	37.57	59.86	73.29	79.43	0.75
36.14	58.72	72.58	78.86	0.85	
34.71	57.58	71.87	78.29	0.95	

جدول ۳ توزیع فراوانی کلاس‌های شاخص NDVI در حوضه آبخیز بندان

Table 3 Frequency distribution of NDVI index classes in Bandan watershed

NDVI 1388		NDVI 1385		NDVI 1369		Average class value	Class domain	Row
Frequency (%)	Frequency	Frequency (%)	Frequency	Frequency (%)	Frequency			
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	-0.95	(-1.0_-0.9)	1
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	-0.85	(-0.9_-0.8)	2
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	-0.75	(-0.8_-0.7)	3
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	-0.65	(-0.7_-0.6)	4
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1	-0.55	(-0.6_-0.5)	5
0.00	3	0.00	0.00	0.00	1	-0.45	(-0.5_-0.4)	6
0.00	11	0.09	23.15	0.00	10	-0.35	(-0.4_-0.3)	7
0.01	293	24.18	612911	0.00	25	-0.25	(-0.3_-0.2)	8
1.92	48707	75.37	1910654	1.11	28143	-0.15	(-0.2_-0.1)	9
67.21	1703654	0.26	6572	84.98	2154246	-0.05	(-0.1_0.0)	10
30.73	779088	0.06	1558	13.87	351530	+0.05	(0.0_+0.1)	11
0.10	2459	0.02	580	0.03	712	+0.15	(+0.1_+0.2)	12
0.02	465	0.01	150	0.01	141	+0.25	(+0.2_+0.3)	13
0.01	133	0.00	41	0.00	41	+0.35	(+0.3_+0.4)	14
0.00	52	0.00	3	0.00	15	+0.45	(+0.4_+0.5)	15
0.00	8	0.00	0	0.00	5	+0.55	(+0.5_+0.6)	16
0.00	0	0.00	0	0.00	3	+0.65	(+0.6_+0.7)	17
0.00	0	0.00	0	0.00	0	+0.75	(+0.7_+0.8)	18
0.00	0	0.00	0	0.00	0	+0.85	(+0.8_+0.9)	19
0.00	0	0.00	89	0.00	0	+0.95	(+0.9_+1.0)	20
100	2534873	100	2534873	100	2534873			Total

که این موضوع نخست به خاطر تفاوت زمان تصویربرداری است که البته اندکی تابع نوع پوشش‌های گیاهی است، و انگهی مراحل مختلف فنولوژی گیاهان در ماه‌های مختلف تغییر می‌کند و در نتیجه میزان و سطح تشعشعات بازتابی مادون قرمز نزدیک که سنجنده ماهواره‌ای در ماه‌های مختلف سال دریافت می‌کند متفاوت خواهد بود که خود به خود در میزان و توزیع فراوانی کلاس‌های شاخص NDVI در هر تصویر تاثیر می‌گذارد. به‌عنوان مثال توزیع شاخص NDVI برای کلاس (-0/1 تا -0/2) در تصاویر مربوط به سال‌های ۱۳۶۹، ۱۳۸۵ و ۱۳۸۸ به ترتیب ۱/۱۱، ۷۵/۳۷ و ۱/۹۲ درصد است.

از بررسی و مقایسه شاخص پوشش گیاهی حوضه آبخیز بندان می‌توان گفت که پوشش گیاهی حوضه در اوایل سال ۱۳۸۵ که اوج دوره خشک‌سالی بوده نسبت به پوشش سال ۱۳۶۹ که سالی نرمال و به عبارتی ترسال بوده است تغییر نموده و از تراکم پوشش گیاهی آن کاسته شده است. در

توزیع شاخص پوشش گیاهی برای تصویر مربوط به فروردین ۱۳۸۵ به میزان ۲۴/۱۸ درصد از مساحت آبخیز در کلاس (-0/2 تا -0/3)، ۷۵/۳۷ درصد از سطح حوضه آبخیز در کلاس (-0/2 تا -1)، در حدود 0/۲۶ درصد مساحت حوضه را کلاس‌های (-0/1 تا صفر)، و مابقی سطح حوضه آبخیز که مقدار آن ناچیز است در بقیه رده‌ها جای دارند. همچنین برای تصویر مربوط به خردادماه سال ۱۳۸۸، ۱/۹۲ درصد از مساحت آبخیز در کلاس (-0/1 تا -0/2)، ۶۷/۲۱ درصد از مساحت آبخیز در کلاس (صفر تا -0/1) و ۳۰۳/۷۳ درصد از مساحت آبخیز در کلاس (صفر تا 0/1) و بقیه سطح حوضه که مقادیر ناچیزی است، در مابقی رده‌ها توزیع شده است.

از مقایسه نوع کلاس‌های شاخص تفاضل نرمال پوشش گیاهی در سال‌های مختلف چنین برمی‌آید که مساحت تحت اشغال هر کلاس در سال‌های مختلف در بین تصاویر متفاوت است. این امر کاملاً طبیعی است و نشان می‌دهد

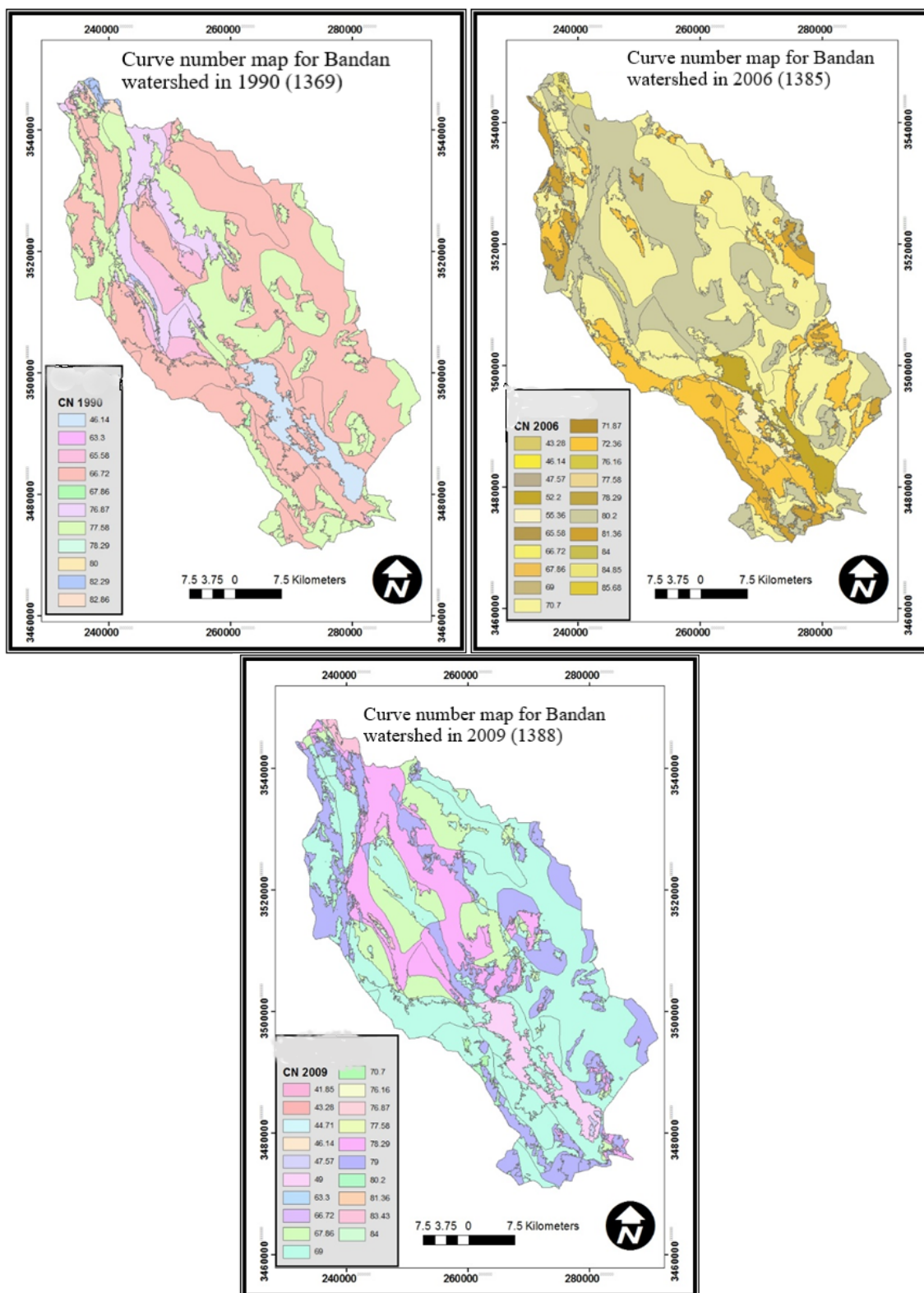


Fig. 5 Maps of curve number runoff of Bandan watershed for the years 1990, 2006 and 2009

شکل ۵ نقشه‌های شماره منحنی رواناب حوزه آبخیز بندان برای مهر و موم‌های ۱۹۹۰، ۲۰۰۶ و ۲۰۰۹

به طوری که با شروع خشکسالی شدت درصد سبزیگی پوشش (بازتاب امواج باند مادون قرمز نزدیک) اندکی کاهش یافته ولی با اولین ترسالی درصد سبزیگی پوشش آن‌ها مجدد بهبود می‌یابد زیرا در این گونه مناطق با ریزش بارش‌ها در ابتدای سال گیاهان یک‌ساله سریع رشد می‌کنند و بعد از مدت کوتاهی (کمتر از یک ماه) دوباره خشک می‌شوند.

چنانچه شاخص NDVI هم‌زمان با رویش گیاهان یک‌ساله محاسبه شود، ممکن است نقشه شماره منحنی تهیه شده گویای واقعیت سرتاسر آن سال نباشد. زیرا نقشه‌های شماره منحنی فقط در یک روز تهیه می‌شوند و با قاطعیت بالا نمی‌توان به طور صد درصد در مورد تمام ۳۶۵ روز سال اظهار نظر کرد. به‌ویژه برای سال‌هایی مانند ۱۳۸۵ که درصد نرمال خشکسالی آن‌ها حتی خیلی نزدیک به ۱۰۰ باشد و تقریباً بر روی مرز خشکسالی و ترسالی قرار داشته باشند

البته میزان بارش سالانه در سال‌های آبی ۶۸-۶۹، ۸۴-۸۵ و ۸۷-۸۸، (مطابق با سال‌های میلادی ۱۹۹۰، ۲۰۰۶ و ۲۰۰۹) به ترتیب این سال‌ها برابر ۱۲۵/۷، ۶۱/۶ و ۷۲/۷ میلی‌متر بوده است که نسبت مستقیم و همبستگی بالایی با ارقام شاخص NDVI دارند. تغییرات سبزیگی پوشش گیاهی به لحاظ تولید علوفه مورد نیاز دام نیز مهم است، ولی وجود و پایداری پایه خشبی گیاهان بوته‌ای در ترسالی‌ها و خشکسالی‌ها به لحاظ حفاظت خاک و کنترل رواناب هنگام وقوع سیل بسیار موثر و حائز اهمیت است.

میر موسوی و کریمی در سال ۱۳۹۲ تاثیر خشکسالی بر پوشش گیاهی استان کردستان را با استفاده از تصاویر ماهواره MODIS مطالعه نمودند که نتایج حاصله با نتایج این تحقیق همسو بوده است. نتایج آن‌ها نشان داده است که بین دو شاخص مورد مطالعه، همبستگی بالایی (۰/۷۷+) در سطح معنی‌داری ۹۹ درصد و خطای ۰/۰۱ وجود داشته است.

همچنین عبدی و همکاران در سال ۱۴۰۲ نیز که تاثیر خشکسالی را بر سیل خیزی حوضه آبخیز دهک با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۵ و ۷ بررسی کرده بودند، به نتایج

اینجا لازم است یادآوری شود که هرچند مطابق شکل ۳ درصد نرمال این سال (یعنی سال ۱۳۸۵) کمی از عدد ۱۰۰ بیشتر است و باید این سال جز سال‌های نرمال باشد، باید اذعان نمود که تصویری که برای محاسبه شاخص NDVI در این سال استفاده شده است، دقیقاً در ۳۱ فروردین ماه ۱۳۸۵ برداشت شده است و احتمالاً هنوز بارش‌های این ماه تاثیر خود را بر روی پوشش گیاهی منطقه (در این تک روز) نگذاشته‌اند تا در نتیجه بر روی شاخص NDVI در این روز و درجه حرارت تمام سال استفاده شده است، در نتیجه سال ۱۳۸۵ دارای درصد نرمال کمی بیش از ۱۰۰ را به خود اختصاص داده و به نظر می‌رسد بر اساس درصد نرمال جز سال‌های غیر خشک باشد. در حالی که ابتدای سال ۱۳۸۵ (فروردین) که طی آن شاخص NDVI محاسبه شده است. در این مطالعه همچون سال ۱۳۸۴ که اطلاعات شاخص گیاهی آن در نظر گرفته نشده است، جز دوره خشکسالی محسوب می‌شود. این امر نکته ظریفی است که نشان می‌دهد ممکن است یک سال که بر اساس شاخص NDVI خشک به نظر برسد، ولی بر اساس شاخصی دیگر (درصد نرمال بارش) یک سال کاملاً نرمال و یا ترسال باشد. میر موسوی و کریمی در سال ۱۳۹۲ در منطقه کردستان و همچنین عبدی و همکاران در سال ۱۴۰۲ در حوضه آبخیز دهک نیز که نقش خشکسالی را بر کاهش پوشش گیاهی بررسی کرده بودند به نتایج مشابهی دست یافته بودند.

از طرف دیگر نکته قابل توجه آن است که تراکم پوشش گیاهی حوضه مورد مطالعه (آبخیز بندان) در این تحقیق از سال ۱۳۸۸ به بعد مجدداً بهبود یافته و حتی نسبت به پوشش گیاهی سال ۱۳۶۹ که ترسال بوده است نیز متراکم‌تر و دارای سبزیگی بیشتر گردیده است، که با بررسی آمار بارندگی سالانه حوضه این گونه استنباط می‌شود که مناطق خشک و نیمه‌خشک و نواحی رویشی ایران و تورانی که اغلب گونه‌های گیاهی آن از نوع بوته‌ای چندساله می‌باشند نسبت به وقوع دوره خشکسالی کوتاه‌مدت و نوسانات بارش، عکس‌العمل سریع داشته و با نوسانات کوتاه‌مدت دوره‌های خشکسالی واکنش نشان می‌دهند

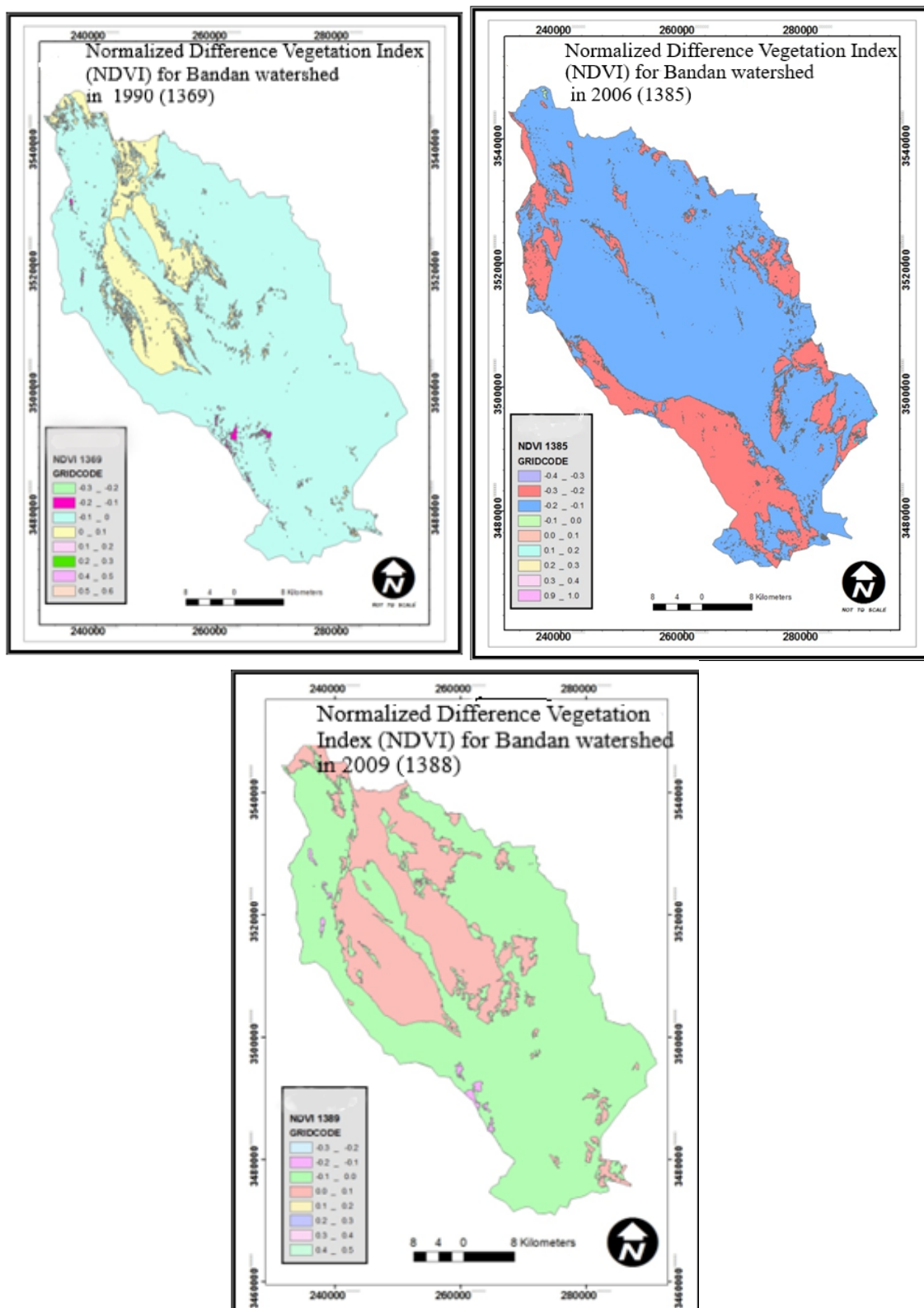


Fig. 6 NDVI index maps from previous years and during the watershed drought
 شکل ۶ نقشه‌های شاخص NDVI مربوط به سال‌های قبل و حین خشک‌سالی آبخیز بندان

مشابهی همانند مطالعه حاضر دست یافتند.

۳-۲- مقایسه تغییرات پتانسیل سیل‌خیزی

پتانسیل تولید رواناب یا سیل‌خیزی حوضه‌های آبخیز بستگی زیاد به شرایط توپوگرافی و هیدرولوژیکی خاک آن‌ها دارد. بررسی نقشه‌های شیب و توپوگرافی نشان می‌دهد که نزدیک به ۱۵ درصد از مساحت حوضه را اراضی با شیب بین ۰ تا ۵ درصد که توان بالایی در نگهداشت سطحی رواناب دارند شامل می‌شود و همچنین بیش از ۵۰ درصد مساحت حوضه مربوط به کلاس شیب ۵ تا ۱۵ درصد است که تقریباً ملایم و به لحاظ تولید رواناب نسبت کم‌توان محسوب می‌شود. به عبارت دیگر بخش زیادی از حوضه آبخیز از نظر شرایط توپوگرافی نسبتاً هموار و از نظر ژئومورفولوژیکی نیز که بیشتر سطح آن را واحد دشت سر تشکیل داده است، از نظر تولید رواناب باید پتانسیل کمی داشته باشد. بعد از بارندگی و شدت آن، عوامل خاک و زمین‌شناسی هستند که شرایط هیدرولوژیکی خاک حوضه را تعیین می‌کنند. همچنین بخش وسیعی از اراضی پرشیب واحد کوهستان را سازندهای آهکی تشکیل داده و اغلب اراضی دشت سر را خاک‌های عمیق و سبک‌بافت پوشش داده‌اند که شرایط مساعدی برای نفوذ و کاهش تلفات رواناب فراهم می‌آورند. به‌طور کلی مجموعه عوامل شیب، خاک و زمین‌شناسی منجر به قرار دادن ۶۲ درصد سطح حوضه در گروه هیدرولوژیکی B گردیده است که بنا به تعریف توانایی متوسطی برای تولید رواناب دارند.

نمودار توزیع طبقات کلاس شیب الف (صفر تا ۵ درصد) و توزیع گروه هیدرولوژیکی خاک (B) حوضه آبخیز بندان در [شکل ۷](#) ارائه شده است. مطابق اطلاعات [شکل ۷](#) (نقشه شیب) تقریباً نزدیک به ۶۰ درصد اراضی حوضه آبخیز بندان که در واقع طبقه شیب غالب در منطقه است، دارای شیب بین ۵ تا ۱۵ درصد هستند که هرچند میانگین این کلاس شیب (۱۰ درصد) جز طبقات شیب بسیار ملایم نیست اما می‌توان از نظر تندی شیب، حوضه آبخیز را به‌صورت یک آبخیز نسبتاً ملایم طبقه‌بندی کرد. با این تفاسیر کم‌شیب بودن این آبخیز هرگز بدین معنی نیست که تمام رواناب‌های

ناشی از سیلاب در این آبخیز قابلیت نفوذ در زمین را دارند و نباید تصور کرد که بر اساس غالب بودن طبقه شیب ۵ تا ۱۵ درصد (میانگین طبقه ۱۰ درصد) هیچ‌گاه سیلاب‌ها به پایین دست نخواهد رسید. بلکه برعکس شواهد امر عکس این مدعا را نشان می‌دهد و این آبخیز شاهد وقوع سیلاب‌های شدید و متعددی در سال‌های اخیر بوده است که در ابتدای تحقیق بدان اشاره شده است. طبقه شیب ۱۵-۵۰ درصد همراه با طبقه شیب ۵۰-۱۰۰ درصد که حدوداً ۲۶ درصد مساحت آبخیز را به خود اختصاص می‌دهند و در بالادست و کناره مرزهای آبخیز توزیع شده‌اند، و بخش اعظم آن‌ها را نیز توده‌های سنگی عاری از پوشش گیاهی فراگرفته است و سبب می‌شود که سیلاب‌ها پس از شکل‌گیری در این گونه مناطق (بالادست آبخیز) به سرعت خود را به مناطق میان دست و سپس پایین دست آبخیز برسانند و در پیوند با وضعیت CN در این گونه مناطق سیلاب‌های سهمگینی را ایجاد کنند. از طرف دیگر شماره منحنی رواناب یا CN در حقیقت بیانگر پتانسیل سیل‌خیزی حوضه‌های آبخیز نیز است به‌طوری‌که هر چه مقدار آن بیشتر و به عدد ۱۰۰ نزدیک‌تر باشد بیانگر تلفات کم و توان بالا برای تولید رواناب است. از بین عوامل تعیین‌کننده مقدار CN، عامل گروه هیدرولوژیکی خاک در طی سال‌های دوره خشک‌سالی ثابت بوده است؛ چون از خصوصیات ذاتی حوضه‌های آبخیز به‌شمار می‌رود. همچنین کاربری اراضی حوضه آبخیز بندان در دوره مورد مطالعه تغییرات محسوس و موثر نداشته است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که تنها عامل پوشش گیاهی است که متاثر از وقوع دوره خشک‌سالی دستخوش تغییرات شده و منجر به تغییرات سیل‌خیزی و تغییر شماره منحنی رواناب حوضه آبخیز گردیده است.

براین اساس نقشه‌های شماره منحنی رواناب برای سال‌های مورد مطالعه تهیه، و میانگین وزنی CN برای سال‌های قبل و حین دوره خشک‌سالی در سطح حوضه آبخیز و زیرحوضه‌های آن به کمک نرم‌افزار Arc GIS 9.3 محاسبه گردید که نتایج حاصل در [جدول ۴](#) ارائه گردیده است. همان‌طور که ارقام [جدول ۴](#) نشان می‌دهد مقدار CN در سال‌های ۱۳۸۵ و ۱۳۸۸ که دچار خشک‌سالی بوده‌اند

به فراوانی سطوح شیب‌دار در آن اشاره نمود. زیرحوضه‌های C و H در رده بعدی سیل‌خیزی جای می‌گیرند که بایستی در برنامه‌ریزی‌های اقدامات مدیریتی و اجرایی مدنظر قرار گیرند. نقشه زیرحوضه‌ها همراه با وضعیت شبکه هیدروگرافی آن‌ها در شکل ۸ ارائه شده است. مطابق جدول ۴ سیل‌خیزی زیرحوضه‌ها به ترتیب صعودی عبارت از: F، D1، D2، H، C1، C2، G، B، E، A و K بوده که در آن اولویت اول و K آخرین زیرحوضه از نظر سیل‌خیزی است. اولویت‌بندی و ترتیب صعودی یا نزولی زیرحوضه‌های

نسبت به CN سال ۱۳۶۹ که نرمال بوده، در سطح زیرحوضه‌ها و کل حوضه افزایش یافته است که البته این افزایش متناسب و همسو با تغییرات شاخص NDVI و همگام با بارش سالانه مربوطه بوده است.

از دیگر نتایج حائز اهمیت در این بخش، معرفی زیرحوضه D1، به‌عنوان سیل‌خیزترین زیرحوضه است که علاوه بر بالا بودن شماره منحنی این زیرحوضه (ناشی از نوسانات خشک‌سالی)، از سایر دلایل تشدید سیل‌خیزی آن می‌توان

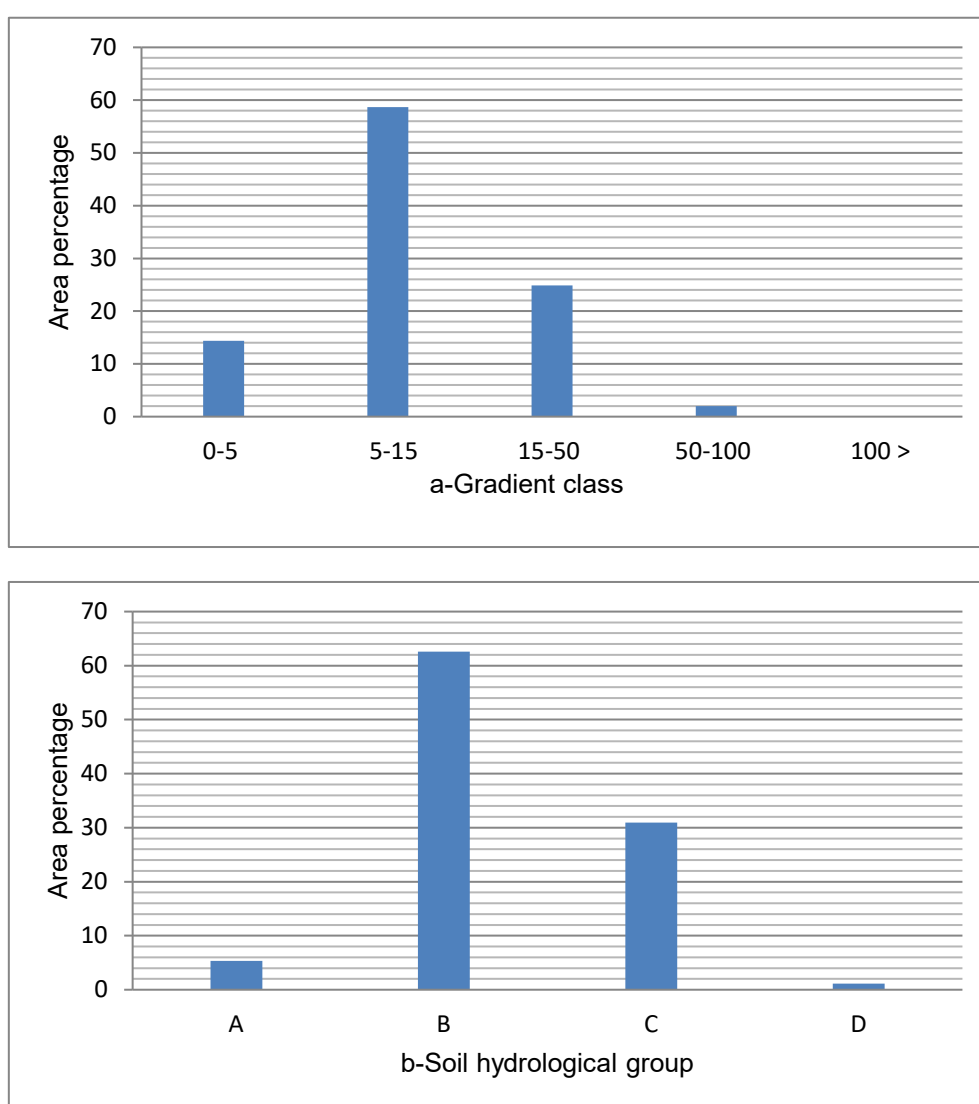


Fig. 7 Distribution of slope classes (a) and soil hydrological groups (b) in Bandan watershed

شکل ۷ توزیع کلاس‌های شیب (a) و گروه‌های هیدرولوژیکی خاک (b) حوضه آبخیز بندان

بندان از نظر سیل‌خیزی از آن جهت حائز اهمیت است، که به دلیل وسعت تقریباً زیاد زیرحوضه‌ها و محدودیت منابع مالی در جهت کنترل سیلاب بتوان اقدامات مدیریتی و یا سازه‌ای برای کاهش خطرات سیلاب را ابتدا از زیرحوضه‌های با

در جهت کنترل سیلاب بتوان اقدامات مدیریتی و یا سازه‌ای برای کاهش خطرات سیلاب را ابتدا از زیرحوضه‌های با

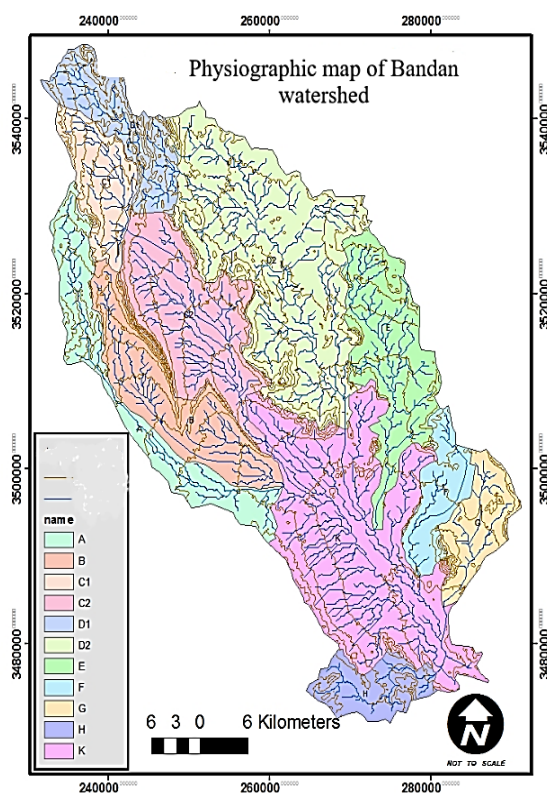


Fig. 8 Location map of sub-watersheds and hydrographic network of Bandan watershed

شکل ۸ نقشه موقعیت زیرحوضه‌ها و شبکه هیدروگرافی آبخیز بندان

جدول ۴ تغییرات CN در هر کدام از زیرحوضه‌های آبخیز بندان در سال‌های مختلف

Table 4 Changes of CN value in the Bandan sub-watershed in different years

CN Mean value	CN 1388	CN 1385	CN 1369	Sub-watershed	Number
71.89	71.75	74.27	69.67	A	1
72.66	72.54	74.64	70.81	B	2
73.32	73.29	75.22	71.47	C1	3
73.44	73.31	75.45	71.58	C2	4
78.10	77.98	79.7	76.62	D1	5
72.70	72.55	74.53	71.04	D2	6
72.02	72.03	74.01	70.04	E	7
70.95	70.96	73.05	68.86	F	8
72.97	72.96	74.88	71.07	G	9
74.71	74.66	76.6	72.87	H	10
67.33	67.17	69.81	65.02	K	11
72.73	71.74	73.9	69.88	Main Watershed	12

بازگشت را در حوضه آبخیز بندان نشان می‌دهد. همان‌طور که از [جدول ۶](#) برمی‌آید درصد تغییرات دبی اوج سیلاب با دوره بازگشت رابطه معکوس دارد. به‌طوری‌که دبی اوج ۲۰۰ ساله که در سال ۱۳۸۵ که اوج دوره خشک‌سالی بوده درصد تغییرات به گونه ایست، دبی اوج سیلاب در حدود ۲۲/۶۱ درصد افزایش نشان می‌دهد. ولی دبی اوج ۵ ساله (با درصد احتمال وقوع ۵۰ درصد) برای آن سال ۷۵/۶۷ درصد افزایش نشان داده است، که نسبتاً بیش از سه برابر دبی ۲۰۰ ساله درصد افزایش نشان می‌دهد. به‌عبارت‌دیگر و به‌عنوان مثال می‌توان گفت که زمانی که دوره بازگشت سیلاب از ۵ سال به ۲۵ سال می‌رسد، درصد افزایش سیل بیشتر است تا اینکه مثلاً دوره بازگشت از ۱۰۰ سال به ۲۰۰ سال می‌رسد.

به‌منظور بررسی وضعیت معنی‌داری مقادیر شبیه‌سازی‌شده ارتفاع رواناب و دبی اوج سیلاب با استفاده از نرم‌افزار SPSS V22 و آزمون واریانس (One Way ANOVA) و زیرمجموعه دانکن (Duncan) و هم‌چنین سطح معنی‌داری ۹۵ درصد مقادیر مورد بررسی قرار گرفت که نتایج آن نشان داد که بین مقادیر ارتفاع رواناب مربوط به سال‌های ۱۳۸۸ و ۱۳۸۵ با ارتفاع رواناب مربوط به سال ۱۳۶۹ اختلاف معنی‌داری وجود داشته است، که حاکی از این است که احتمالاً وجود تفاوت در میزان رواناب در بین این سال‌ها در منطقه علاوه بر تفاوت در دوره بازگشت سیلاب‌ها ممکن است مربوط به تغییرات پوشش گیاهی ناشی از خشک‌سالی باشد.

البته نباید فراموش کرد که با توجه به نتایج [جدول ۵](#) با افزایش دوره بازگشت، دبی سیلاب و ارتفاع رواناب از نظر مقدار افزایش می‌یابد، بدین معنی که حجم یا ارتفاع رواناب در دوره بازگشت‌های کمتر مانند ۲۵ سال نسبت به دوره بازگشت‌های بزرگ‌تر مانند ۲۰۰ سال خیلی کمتر است. دلیل این امر این است که بارش‌های شدید و با دوره بازگشت بالا، تحت تاثیر شرایط هیدرولوژیکی خاک و پوشش گیاهی، دچار تلفات رواناب خیلی زیادی نمی‌شوند و به عبارتی شدت جریان یافتن آن‌ها به‌مراتب از شدت

سیل‌خیزی بالاتر مانند D1 آغاز کرد و سپس به اجرای برنامه‌های کنترل سیلاب در زیر حوضه‌هایی که سیل‌خیزی کمتری دارند مانند K اقدام نمود.

۳-۳- محاسبه و مقایسه ارتفاع رواناب و دبی اوج سیلاب در دو مقطع زمانی

پس از محاسبه شماره منحنی رواناب، شاخص‌های دیگر همچون نگاه‌داشت سطحی و تلفات رواناب، ارتفاع رواناب بارش‌های ۲۴ ساعته و همچنین دبی اوج سیلاب با دوره بازگشت‌های متفاوت هستند که مهم‌ترین آن‌ها بر اساس مدل سازمان حفاظت خاک ایالات متحده (S.C.S) محاسبه گردید، که نتایج حاصل در [جدول ۵](#) ارائه می‌گردد.

تغییرات در ارقام ارتفاع رواناب و دبی اوج سیلاب برآورد شده در [جدول ۵](#) که ناشی از تغییر شماره منحنی رواناب (CN) و متاثر از تغییرات پوشش گیاهی ناشی از وقوع دوره خشک‌سالی بوده کاملاً مشهود است. ارتفاع رواناب در حقیقت بیانگر حجم سیلاب حوضه آبخیز است که از حاصل‌ضرب آن در سطح حوضه آبخیز به دست می‌آید و به لحاظ تأمین رطوبت خاک و تقویت پوشش گیاهی و همچنین برنامه‌ریزی جهت تغذیه منابع آب زیرزمینی از طریق پخش سیلاب حائز اهمیت است. دبی اوج سیلاب نشان‌دهنده شدت سیلاب‌های احتمالی بوده و در اقدامات حفاظتی و کنترل سیلاب، از جمله طراحی سرریز سدها مورد استفاده قرار می‌گیرد. بنابراین اطلاعات [جدول ۵](#) در برنامه‌های اجرایی کنترل سیلاب با استفاده از سازه حائز اهمیت هستند. آنچه از داده‌های [جدول ۵](#) برمی‌آید حاکی از این است که صرف‌نظر از تغییرات CN ناشی از خشک‌سالی و ترسالی‌ها با افزایش دوره بازگشت، هم بارش ۲۴ ساعته، هم ارتفاع رواناب و هم دبی اوج افزایش چشمگیری می‌یابد. برای درک بهتر این موضوع درصد تغییرات دبی اوج سیلاب نسبت به دوره بازگشت را که شاخص آماری مناسب‌تری برای مقایسه بهتر این‌گونه نوسانات است ارائه می‌شود.

[جدول ۶](#) درصد تغییرات دبی اوج سیلاب نسبت به دوره

جدول ۵ ارتفاع رواناب و دبی اوج سیلاب با دوره بازگشت‌های متفاوت برای حوضه آبخیز بندان

Table 5 Runoff height and flood peak discharge with different return periods for Bandan watershed

Return period (Year)	1369			1385		1388	
	24-hour precipitation (mm)	Runoff height (mm)	Peak Discharge (m ³ /s)	Runoff height (mm)	Peak Discharge (m ³ /s)	Runoff height (mm)	Peak Discharge (m ³ /s)
5	38.61	2.21	83.85	3.87	146.63	2.92	110.60
25	62	10.75	407.26	14.51	549.72	12.32	470.53
50	72	15.64	595.85	20.33	770.01	17.76	673.82
100	80	20.62	784.87	26.03	986.00	23.13	875.42
200	92	26.75	1012.85	32.80	1242.20	29.37	1116.61

جدول ۶ درصد تغییرات دبی اوج سیلاب نسبت به سال نرمال، در حوضه آبخیز بندان

Table 6 Percentage changes of flood peak discharge compared to normal year in Bandan watershed

Return period (yaer)	1385	1388
	Qmax (%) Peak discharge	Qmax (%) Peak discharge
5	75.67	31.85
25	34.78	15.58
50	29.21	13.02
100	26.20	11.52
200	22.61	10.21

در صورتی که تخریب جنگل‌ها و مراتع حوضه و توسعه اراضی کشاورزی افزایش یابد، دبی اوج سیل با دوره بازگشت‌های ۵ و ۱۰۰۰ ساله به ترتیب به میزان ۳۵ و ۲۴ درصد افزایش خواهد یافت. این بدان معنی است که پوشش گیاهی به‌تنهایی نقش محدودی در کنترل سیلاب‌های مهیب با دوره بازگشت بالا ایفا می‌نماید. بدین ترتیب نتایج این تحقیق قویا بیان می‌کند که خشک‌سالی‌های اخیر در جنوب خراسان در آبخیز بندان و مناطق مشابه خطرات سیل خیزی را (به دلیل کاهش پوشش گیاهی) فوق‌العاده افزایش می‌دهد. چون پوشش‌های گیاهی این مناطق که غالباً بوته‌ای بوده و با تراکم نسبتاً پایینی سطح زمین را می‌پوشانند، در شرایط خشک‌سالی توانایی ناچیزی در مقابل

نفوذپذیری خاک بیشتر است. بنابراین پوشش گیاهی متراکم در برابر بارش‌های ملایم و با دوره بازگشت کمتر، دارای مقاومت نسبتاً بالا بوده که منجر به افزایش تلفات رواناب می‌گردند ولی در مقابل در بارش‌های شدید تاب مقاومت کمتر بوده و حجم بیشتری از بارش به رواناب تبدیل می‌گردد.

در این رابطه نتایج این تحقیق با نتایج ثقفیان و همکاران در سال ۱۳۸۵، مبنی بر افزایش دبی اوج سیلاب‌های ۵ و ۱۰۰۰ ساله به ترتیب به میزان ۳۱/۷ و ۱۷/۸ درصد بر اثر تغییرات پوشش گیاهی و کاربری اراضی در حوضه آبریز سد گلستان همسو است. همچنین نتایج حاصل از پیش‌بینی سیل در سناریوی کاربری اراضی بدبینانه (ادامه روند تخریب پوشش گیاهی) نیز در مطالعه نامبردگان نشان داد

۴- نتیجه‌گیری

یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که بین شاخص‌های پوشش گیاهی مانند NDVI و شاخص‌های نفوذپذیری زمین مانند عدد ارتباط تنگاتنگی وجود دارد. افزایش مقدار CN منجر به افزایش پتانسیل سیل‌خیزی در آبخیزهای مناطق خشک و نیمه‌خشک نظیر حوضه آبخیز بندان می‌شود، و سیلاب‌هایی که اخیراً در گوشه و کنار کشور اتفاق می‌افتد، چه‌بسا ناشی از پیامد خشک‌سالی در سال‌های گذشته است.

همچنین، مطالعه رابطه بین شاخص‌های NDVI و عدد CN در مناطق خشک مانند خراسان جنوبی به خاطر تغییرات زیاد پوشش گیاهی بسیار پیچیده و تا حدودی مبهم است. چون سیل‌خیزی، علاوه بر تغییرات پوشش گیاهی تابع شدت بارندگی و دوره بازگشت آن، شیب اراضی و نفوذپذیری زمین است، که خود تابع شرایط خاک و نوع سنگ‌هاست.

همچنین، گونه‌های بوته‌ای و درختچه‌ای چندساله سبز یا خشک می‌تواند در کنترل سیلاب و حفاظت خاک نقش ایفا نمایند و بر رابطه بین شاخص NDVI و عدد CN در مراتع تاثیر گذارد، از این‌رو، می‌تواند پیشنهاد خوبی برای تحقیق در آینده باشد.

سیلاب‌های سریع‌الوقوع^۱ دارند، به‌ویژه که در ایام خشک‌سالی‌های اخیر پراکنش زمانی و مکانی سیلاب‌ها پیش‌بینی احتمال وقوع آن‌ها را دوچندان مشکل‌تر نموده است.

در تحقیق نگهبان و همکاران (۲۰۲۵) هم که در آن نقش عوامل محیطی را در وقوع سیلاب بررسی کرده‌اند، مشخص گردید که از بین این عوامل به ترتیب وضعیت ارتفاعی، شیب و تراکم پوشش گیاهی بیشترین تاثیر را در سیل‌خیزی استان گلستان داشته‌اند. بنابراین می‌توان دریافت که وقوع سیل به خودی خود به‌تنهایی نمی‌تواند فقط به عامل شدت بارندگی و دوره بازگشت آن وابسته باشد، بلکه علاوه بر شدت بارندگی و دوره بازگشت آن عوامل متعدد دیگری در سیل‌خیزی حوضه‌های آبخیز دخالت دارند که بسته به شرایط هر منطقه می‌توان به عوامل اقلیمی، خاک و زمین‌شناسی (گروه هیدرولوژیکی خاک و شماره منحنی CN) و درنهایت به تراکم پوشش گیاهی (شاخص NDVI) اشاره نمود. همان‌طور که قبلاً در مطالعه ثقفیان و همکاران (۱۳۸۵) نیز به آن اشاره شد پوشش گیاهی به‌تنهایی نقش محدودی در کنترل سیلاب‌های مهیب با دوره بازگشت بالا ایفا می‌نماید.

The authors hereby deeply express their gratitude to the Regional Water organization and the General Directorate of Natural Resources and Watershed Management of South Khorasan Province for receiving the digital files of soil and geological maps.

Credit Authorship Contribution Statement

Conceptualization, A.S.; Methodology, A.S., M.D.; Software, A.S., M.D.; data analysis, A.S., M.D.; Writing-Original Draft Preparation, A.S.; Writing-Review and Editing, A.D.; Supervision, A.D.. The authors of this manuscript already have read the paper and agreed to the published version of the manuscript.

5- List of symbols

Q (mm)	Runoff height
P (mm)	Rainfall
S (mm)	Surface storage
tP (hr)	Time to peak
A	Area
(Km ²)	
Q _{Max}	Peak discharge
(m ³ /s)	
DEM	Digital Elevation Model
NIR	Near Infra Red
CN	Curve Number
NDVI	Normal Difference Vegetation Index

Acknowledgment

¹Flash Flood

Conflicts of Interest

The authors declare that there is no any conflict of interest.

Data Availability Statement

The raw data supporting the conclusions of this article could be available by the authors upon the agreement of data providers organization.

Funding

The authors state that no financial support was received from any organization for this research.

References

- Abdi, M. Nohtani, M., Dehghani, M. and Khaksefidi, A. (2023). Determining the changes in flood potential caused by drought periods in the Dehak watershed of South Khorasan province. *Water and Soil Management and Modelling*, 3(1), 149-164 <https://doi.org/10.22098/mmws.2022.11296.1118> (in Persian).
- Alizadeh, A. (1998). *Applied hydrology*. 10th Edition, Astan Quds Razavi, 636 pages. (in Persian).
- Alriah, M. A. A., Bi, S., Nkunzimana, A., Elameen, A. M., Sarfo, I., & Ayugi, B. (2024). Assessment of observed changes in drought characteristics and recent vegetation dynamics over arid and semiarid areas in Sudan. *Theoretical and Applied Climatology*, 155(5), 3541-3561. <https://doi.org/10.1007/s00704-023-04824-3>
- Belvasi, I. A., Asghari Saraskanrod, S., Esfandiari Dorabad, F. and Zeinali, B. (2020). The Role of Land Use Changes on Run-off and Flood Properties in the Doab Catchment. *Journal of Ecohydrology*, 7(2), 331-344. <https://doi.org/0.22059/jje.2020.295346.1263>
- Esfandiari, F. Ebrahim Beheshti, J. & Fathi M. H. (2014). Evaluation of hydrological effects of land use change on annual runoff in Qarasu watershed using L-THIA model. *Hydrogeomorphology*, 1, 73-59, <https://doi.org/20.1001.1.23833254.1393.1.1.4.4> (in Persian).
- Ghafari Gilandeh, A., Sobhani, B., & Ostadi Babakandi, E. (2017). Estimation of Curve Number and Runoff in ArcGIS (A Case Study of Meshkin Shahr City). *Hydrogeomorphology*, 3(9), 159-175. (in Persian). <https://doi.org/20.1001.1.23833254.1395.3.9.8.8>
- Ghasemlounial Redvan, and Utlu Mustafa. 2024. Evaluation of Drought Using Meteorological Drought Indices, a Case Study: Alanya (Türkiye). *Journal of Natural Hazards and Environment*, 10 (1), 192-210. <https://doi.org/10.21324/dacd.1359193>
- Hawkins, Richard.H. (1975). The importance of accurate curve numbers in the estimation of storm runoff. *Water Resources Bulletin*, 11(5), 887-891. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1975.tb01810.x>.
- Hosseinzadeh, M. M, Nosrati, K. & Imini, S. (2018). Determining the number of curves and estimating the runoff production potential of Hesarak watershed. *Applied Research in Geographical Sciences*, 18(51), 133-150. <https://doi.org/10.29252/jgs.18.51.133> (in Persian).
- Tekeli, T. I., Akgul, S., Dengiz, O., & Akuzum, T. (2007, March). Estimation of flood discharge for small watershed using SCS curve number and geographic information system. In *International congress on river basin management* (pp. 527-538). <https://scholar.google.com/scholar?q=Inci+Tekeli>
- Javadi, M., Mirdad Harijani, F., & Chatsimab, Z. (2011). Estimation of Runoff Height Using Curve Number Method in ArcGIS with Arc CN-Runoff Tool. *Journal of Remote Sensing and GIS in Planning*, 2 (3), 55-62. <https://www.sid.ir/paper/223043/fa> (in Persian).
- Kazemi, M., Nohegar, A., Qasrdashti Roshan, M., & Rezaei, P. (2012). Investigating the effect of land use change on flood potential (Case study of Tang Bostanak watershed in Shiraz). *Environmental Erosion Research*, 2(1), 28-41. <https://doi.org/20.1001.1.22517812.1391.2.1.3.8> (in Persian).
- Mahdavi, M. (2005). *Applied Hydrology*. Volume 2, 6th Edition, University of Tehran, 442 pages. (in Persian).
- Miller, S. N., Kepner, W. G., Mehaffey, M. H., Hernandez, M., Miller, R. C., Goodrich, D. C., ... & Miller, W. P. (2002). Integrating landscape assessment and hydrologic modeling for land cover change analysis 1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 38(4), 915-929. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2002.tb05534.x>
- Mirmosavei, S.& kareimei, H. (2013). Effect of drought on vegetation cover using MODIS imageris (case study: Kurdistan Province). *geography and development*, 11(31), 57-76. <https://doi.org/10.22111/gdj.2013.794> (in Persian).
- Moghali, M., & Kardavani, P. (2009). Application of GIS and RS in the plating of the Areas Prone to Floods by the Use of SCS Model in Larestan Varband River Catchment Area. *Territory*, 6(21), 15-30. <https://doi.org/sanad.iau.ir/fa/Article/823701> (In Persian).
- Murid, S., Ghaemi, H., & Shams, A. (1996). Flood modeling under Karkheh basins. *Nivar*,30,10-27

- (In Persian). https://nivar.irimo.ir/browse?_action=issuehttps://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?ID=40654
- Mutie, S.M., Mati, B., Home P., Gadain, H & Gathenya, J. (2006). Evaluating Land Use Change Effects on River Flow using USGS Geospatial Stream Flow model in Mara River Basin, Kenya. Center for Remote Sensing of Land Surfaces, Bonn, 28-30 September (2006).141-148. https://www.zfl.uni-bonn.de/research/earsel/special-interest-group-on-land-use/141-148_mutie.pdf
- Negahban, S., Ganja'iyan, H., Ebrahimi, A. and Gheysarian, S. S. (2025). Analysis of the Roles of Environmental Factors in the Occurrence of Floods Using the Google Earth Engine System (Case Study: West of Golestan Province). *Geography and Environmental Planning*, 35(4), 1-18. <https://doi.org/10.22108/gep.2024.142342.1659> (in Persian).
- Panahi, A., Alijani, B., Mohammadi, H. (2011). Assessment of CN method in runoff Estimation using of GIS In Madarsu basin in Golestan province. *Quarterly Journal of Environmental Geology*, 5(14), 89-100. <https://sanad.iau.ir/Journal/geo/Article/931542> (In Persian).
- Pirnia, A., Solaimani, K., Habibnejad roshan, M., & Besalatpour, A. (2017). Investigating the contribution of climate variability and land use change in water quality changes of Haraz River (Mazandaran Province), *Iranian journal of Ecohydrology*, 4(4), 1151-1163. <https://doi.org/10.22059/ije.2017.63245> (in Persian).
- Saghafian, B., Farazjoo, H., Sepehry, A. and Najafinejad, A. (2006). Effects of Land Use Change on Floods in Golestan Dam Drainage Basin. *Iran-Water Resources Research*, 2(1), 18-28. https://www.iwrr.ir/article_15351.html (in Persian).
- Sala OE, Chapin FS 3rd, Armesto JJ, Berlow E, Bloomfield J, Dirzo R, Huber-Sanwald E, Huenneke LF, Jackson RB, Kinzig A, Leemans R, Lodge DM, Mooney HA, Oesterheld M, Poff NL, Sykes MT, Walker BH, Walker M, & Wall DH. (2000). Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science*, 287(5459), 1770-1774. doi: 10.1126/science.287.5459.1770, <https://science.sciencemag.org/content/287/5459/1770>
- Sikka, A. K., Samra, J. S., Sharda, V. N., Samraj, P., & Lakshmanan, V. (2003). Low flow and high flow responses to converting natural grassland into bluegum (*Eucalyptus globulus*) in Nilgiris watersheds of South India. *Journal of hydrology*, 270(1-2), 12-26. [https://doi.org/10.1016/S00221694\(02\)00172-5](https://doi.org/10.1016/S00221694(02)00172-5)
- Shi Wuzhi, Shengzhi Huang, Ke Zhang, Bojun Liu, Dengfeng Liu, Qiang Huang, Wei Fang, Zhiming Han, Lijun Chao, (2022). Quantifying the superimposed effects of drought-flood abrupt alternation stress on vegetation dynamics of the Wei River Basin in China, *Journal of Hydrology*, 612, A,128105, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128105>.
- Sumarawu, J. S., & Ohgushi, K. (2012). Analysis on curve number, land use and land cover changes and the impact to the peak flow in the Jobaru River Basin, Japan. *International Journal of Civil & Environmental Engineering IJCEE-IJENS*, 12(02), 17-23. <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=016e003970fea52041297272e5bb0bb70eeb74fe>
- Chen, S., Ten Tusscher, K. H., Sasidharan, R., Dekker, S. C., & de Boer, H. J. (2023). Parallels between drought and flooding: An integrated framework for plant eco-physiological responses to water stress. *Plant-Environment Interactions*, 4(4), 175-187. <https://doi.org/10.1002/pei3.10117>
- Willeke, G., J. R. M. Hosking, J. R. Wallis, & N. B. Guttman. (1994). The national drought atlas, Institute of water resource report 94-NDS-4, U.S. Army Corps of Engineers. <https://scholar.google.com/scholar?q=Willeke>
- Wu, Chuanhao, Lulu Zhong, Pat J-F. Yeh, Zhengjie Gong, Wenhan Lv, Bei Chen, Jun Zhou, Jiayun Li, and Saisai Wang. (2024). An evaluation framework for quantifying vegetation loss and recovery in response to meteorological drought based on SPEI and NDVI. *Science of The Total Environment*. 906, 167632. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167632>
- Xiang--xiang, Li., Hui, J., Garre, S., Chang-rong, Y., Batchelor, W. D., & Liu, Q. (2017). Spatiotemporal variation of drought characteristics in Huang-Huai plain China under the the climate change scenario, *Journal of integrative agriculture*, 16 (10), 2308-2322. www.sciencedirect.com
- Yaghoobzadeh M., Akbarpour A., Barani G., Etebri B., & Kardan Moghadam H. (2009). Calculation of runoff curve number using GIS and RS methods (Case study: Mansourabad Birjand catchment). *Iranian Water Research*, 3(5), 31-40. https://iwrij.sku.ac.ir/article_10802.html (In Persian).