Evaluation of TWI index and TOPMODEL hydrological model in erosion and runoff (case study: Maroon basin in southwest Iran)

Aref Ghalesardi Gonjanak [a], Heeva Elmizadeh [a,*], Alireza Abbasi [c], Arezoo Soleimany [d]
[a] *Graduated M.S. in Geomorphology, Khorramshahr University of Marine Science and Technology, Khorramshahr, Iran*
[b] *Associate professor, Marin Geology Department, Khorramshahr University of Marine Science and Technology, Khorramshahr, Iran*
[c] *Assistant Professor, Department of Geography, Islamic Azad University, Najaf abad Branch, Najaf abad, Iran*
[d] *Graduated Ph.D., Department of Environment, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer, Iran*

Research Full Paper
Article History (Received: 2023/06/11 Accepted: 2024/06/16)

Extended abstract

1- Introduction

The topography is, directly and indirectly, affects the geomorphic processes and hydrological behavior of the slope (Prancevic and Kirchner, 2019), therefore, quantitative correlation of topography features is possible due to deposition and runoff production and predicting the spatial distribution of soil and surface deposits (McKenzie and Ryan, 1999). different shapes and sides of slopes in the drainage basin affect the time of runoff movement on the slopes and drainage networks and the basin response, such as time, equilibrium, retardation time, concentration-time, and hydrograph peak time. These temporal features constitute an important part of the hydrological modeling of the watershed. Considering that most of rainfall-runoff models relate to runoff traverse times at the slopes surface, it is easy to study the topography effect on runoff features such as river discharge estimators, flood forecasting, peak flow, runoff volume, and water resource management (Merheb et al., 2016; Mlynski et al., 2019). In terms of morphodynamic conditions, the topography is directly related to erosion and sedimentation processes. Topographic wetness index theory (TWI) is designed as an important and all-purpose feature in the rainfall-runoff model to measure the effect and topography controlling on hydrological processes (Calogero et al., 2015; Jeziorska and Niedzielski, 2018; Xue et al., 2018). This model simulates the interaction of groundwater and surface water with topography to determine which regions are prone to saturation of the earth and thus have a high potential for surface accumulation water (Ballerine, 2017) and can be expressed quantitatively as a physical indicator the effect of the topography of watersheds slopes on the mechanism of substructure flow (groundwater), runoff production, the spatial distribution of soil moisture and the ability of soil moisture deficiency to saturation state at each point in the range and level of the basin. (Beven and Kirkby 1979; O'Loughlin 1986; Barling et al. 1994; Qiu et al., 2017).

2- Methodology

The Maroon River drainage basin, with an area of 7228 square kilometers and an area of 802 kilometers, covers the central part of the Jarahi-Zohreh basin. The Jarahi-Zohreh basin is itself a large part of the Persian Gulf-Oman Sea basin, which its drainage network pours into the northwest part of the Persian Gulf (Fig. 1). In this study, the based data obtained have formed 30 m SRTM DEM data, 1:50000 topographic maps, geological maps of 1:100000, aerial photos, Landsat satellite imagery, Google Earth, and field visits and ArcGIS10.3, QGIS, and SAGA software. To estimate topographic indices, first, it is processed the DEM data file and the stream network of the study basin in the SAGA software environment and then topographic basin indices based on DEM data were calculated and analyzed by the existing functions of this software. In the continuation, slopes of the Maroon basin were classified into nine different types based on two indices of plan shape (divergence, convergence, parallel) and profile (curvature) slopes profile (concave, convex, and flat) (Fig. 2) and the obtained

* **Corresponding Author: Elmizadeh@kmsu.ac.ir**

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-01-02]

amount of TWI index was analyzed in them. a: The hydrological model (TOPMODEL) is a semi-distributed model where the topography changes of the region and participating levels play a major role in the runoff, assuming that hydraulic gradient can be estimated using the land topography gradient (Ballerine, 2017). The topographic information used in this model is introduced as a topographic moisture indicator and can express the topography effect on runoff production and slope movements quantitatively. These values are calculated using the digital elevation model (DEM) of the studied area and by measuring the flow direction, current accumulation, gradient, and different geometrical characteristics obtained from Arc Hydro software. The final result is a Raster layer which shows pathways (regions) with drainage ditches where water is likely to accumulate there (Ballerine, 2017).

3- Results

The results of basin type stud show that the first-class waterways flow mostly in divergent basins with flat curvature. The second, third, and fourth classes of the basin flow in the concave and parallel basin, and the fifth and sixth classes flow in convex and convergent basins (Table 1). In divergent slopes of the basin, the topographic moisture index has been reduced and in convex and convergent basins, the topographic moisture index increases. Furthermore, the TWI index has a high inverse correlation with the degree gradient and average height of the river (-0.97). This index decreases with the increasing gradient and height of waterways (Table 2). In the trimming basins, the increasing general gradient has led to an acceleration of water flow, thus the time required for penetrating water flow and rainfalls is decreased and the concentration-time is decreased too, and correspondingly amount of erosion and water wasting is increased.

4- Discussion & Conclusions

The results of the study show that the topographic features of the basin-like the slope plan and longitudinal profile of the slope play a decisive role in hydrological processes and runoff time features and slope response time. These features not only directly affect geomorphological and hydrological conditions like annual runoff, flood volume, soil erosion intensity, and sediment production, but also indirectly effects the climate, ecological situation, and vegetation, as well as effects on the water situation in the basin. The results of the basin slope type study are such that the divergent slopes are the lowest amount in the topographic moisture index. Surface water and subsurface water is not concentrated, they spread, and pass slopes water rapidly. the results showed that there is a significant relationship between hydrological processes with the topography and geomorphology indices and can be used as a variable to simulate the moisture state of the Maroon basin area, which is an example of an indirect and low-cost approach to study the hydrological and geomorphological features of the region. the consistency of this index to local soil conditions is a certain advantage over the existing methods and in detailed application programs it needs to perform more activity and perform adaptive studies. Therefore, knowledge of these indices and features in terms of impact on the variability of soil hydraulic features and surface Sediment is necessary to achieve sustainable development and reorganization of the region.

Key Words: Maroon basin, TWI index, TOPMODEL hydrological model, DEMs, Erosion**.**

Cite this article: Ghalesardi Gonjanak, A., Elmizadeh, H., Abbasi, A., & Soleimany, A. (2024). Title of paper in lower case letters (except for initial letter of first word, initial of first word after a colon, and proper nouns). *Journal of* Environmental *Erosion Research. 2024; 14 (3) :66-82*. http//doi.org/

© The Author(s).
DOI: http//doi.org/
Published by Hormozgan University Press.
URL: http://magazine.hormozgan.ac.ir

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-01-02]

ارزیابی شاخص TWI و مدل هیدرولوژیکی TOPMODEL در فرسایش و رواناب (مطالعه موردی: حوضه آبریز مارون در جنوب غرب ایران)

عارف قلعه‌سردی گنجانک: *دانش‌آموختهٔ کارشناسی‌ارشد ژئومورفولوژی، گروه زمین‌شناسی دریایی، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، خرمشهر*

هیوا علمیزاده*: *دانشیار گروه زمین شناسی دریایی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، خرمشهر*

علیرضا عباسی: *استادیار گروه جغرافیا، دانشکده جغرافیا، دانشگاه آزاد نجف آباد، نجف آباد*

آرزو سلیمانی: *دانش‌آموختهٔ دکتری محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، خرمشهر*

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخچهٔ مقاله (تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۳/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۳/۲۷)

DOI: http//doi.org/

چکیده

توپوگرافی یکی از مهم‌ترین عوامل کنترل‌کننده‌ی الگوی مکانی مناطق اشباع و تغییرات در خاک‌ها، فرآیندهای ژئومورفیکی و هیدرولوژیکی و فرم آبراهه‌ها می‌باشد. هدف این پژوهش ارزیابی شاخص TWI و مدل هیدرولوژیکی TOPMODEL در فرسایش و رواناب و جهات دامنه شبکه آبراهه‌های حوضه مارون در جنوب غربی ایران می‌باشد. در این پژوهش شاخص‌های توپوگرافیک و نیمرخ دامنه‌ها (مقعر، محدب و همگرا یا واگرا) بر پایه DEM و شبکه آبراهه‌های حوضه مطالعاتی، با استفاده از توابع موجود در نرم‌افزار SAGA محاسبه و مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفتند. نتایج تحقیق نشان داد که دامنه‌های واگرا کمترین میزان شاخص رطوبت توپوگرافی را دارند. در این دامنه‌ها آبهای سطحی و زیرسطحی تمرکز پیدا نمی‌کنند، بلکه پخش می‌شوند و آب دامنه را سریعاً از خود عبور می‌دهند. در این حالت تشکیل آبخوان معمول نیست. همچنین دامنه‌های مقعر حوضه به علت تمرکز آب در پایین‌ترین نقطه شیب، پیک سیلاب بالاتری دارند و از نظر ژئومورفیکی ناپایدارتر می‌باشند. با توجه به نتایج، سازگاری شاخص TWI نسبت به شرایط خاک محلی یک مزیت مشخص نسبت به روش‌های موجود می‌باشد. بنابراین شناخت و آگاهی از این شاخص‌ها و خصوصیات از نظر تأثیر بر تغییرپذیری خصوصیات هیدرولیکی خاک و رسوبات سطحی جهت دستیابی به توسعه پایدار و ساماندهی منطقه امری ضروری به نظر می‌رسد.

واژگان کلیدی: حوضه مارون، شاخص **TWI**، فرسایش، مدل هیدرولوژیکی **TOPMODEL**.

* نویسندهٔ مسئول: **Elmizadeh@kmsu.ac.ir**

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-01-02]

۱ـ مقدمه

توپوگرافی به‌طور مستقیم و غیرمستقیم بر فرایندهای ژئومورفیک و رفتار هیدرولوژیکی دامنه‌ها تأثیرگذار است و نقش مهمی در فاکتورهای تشکیل، نوع و خصوصیات خاک ایفا می‌کند (Prancevic and Kirchner, 2019)، ازاین‌رو ارتباط کمّی ویژگی‌های توپوگرافی با فرسایش، تولید رسوب و رواناب و پیش‌بینی توزیع مکانی خاک‌ها و رسوبات سطحی امکان‌پذیر می‌باشد (McKenzie and Ryan, 1999; Liu et al., 2019). پایه و اساس این رابطه، فرآیند مورفومتری حوضه و توپوگرافی دامنه‌ها می‌باشد که نشان‌دهنده تأثیر شیب، جهت شیب، طول شیب و موقعیت نسبی دامنه بر فرایندهای ژئومورفیک سطحی زمین است (Esper Angillieri and Perucca, 2014; Kaliraj et al., 2015). دامنه‌ها و شبکه آبراهه‌ها به‌عنوان بخشی از حوضه‌های آبریز، متأثر از سیستم‌های مورفوژنز، عوامل زمین‌شناختی، گسل، شیب و جهات شیب، رسوبات و سازندهای سطحی، پوشش گیاهی و مداخله انسان هستند. فرم و جهات مختلف دامنه‌ها در حوضه‌های آبریز بر مشخصه‌های زمانی حرکت رواناب برروی دامنه‌ها و شبکه‌های زهکشی و پاسخ حوضه مانند زمان تمرکز[1]، زمان تعادل[2]، زمان تاخیر[3] و زمان اوج هیدروگراف[4] تأثیر می‌گذارد. این مشخصه‌های زمانی، قسمت مهمی از مدل‌سازی هیدرولوژیکی حوضه‌های آبخیز را تشکیل می‌دهند. با توجه به اینکه بیشتر مدل‌های بارندگی- رواناب به زمان پیمایش رواناب در سطح دامنه‌ها ارتباط دارند؛ به راحتی می‌توان اثر توپوگرافی را بر روی مشخصه‌های رواناب مانند تخمین آبدهی رودخانه، پیش‌بینی سیلاب، دبی پیک، حجم رولناب و شکل هیدروگراف و مدیریت منابع آب موردبررسی قرارداد (Merheb et al., 2016; Mlynski et al., 2019).

توپوگرافی حوضه از نظر شرایط مورفودینامیکی ارتباط مستقیمی با فرایندهای فرسایش و رسوب‌گذاری دارد. فرسایش خاک، تابعی پیچیده از بازخورد رفتار توپوگرافی، کاربری زمین و فرآیندها و شرایطی است که حساسیت ذرات خاک به جدا شدن توسط بارندگی و رواناب را تعیین می‌کنند و باعث تغییرات کاربری می‌گردند و نیز در مواقع سیلابی باعث مختل شدن فعالیت‌های انسانی و آسیب‌های زیست‌محیطی می‌شوند (Petroselli and Grimaldi, 2018; Shanableh et al, 2018). نظریه شاخص رطوبت توپوگرافیک (TWI) به عنوان یک مشخصه مهم و پرکاربرد در مدل بارش-رولناب TOPMODEL[5] برای اندازه‌گیری اثر و کنترل توپوگرافی بر روی فرآیندهای هیدرولوژیکی طراحی شده است (Calogero et al., 2015; Jeziorska and Niedzielski, 2018; Xue et al., 2018). این مدل برهم‌کنش آب‌های زیرزمینی و آب‌های سطحی با توپوگرافی را شبیه‌سازی می‌کند تا مشخص شود که کدام مناطق مستعد اشباع سطح زمین می‌باشند و درنتیجه دارای پتانسیل بالایی برای تولید آب انباشتگی سطحی[6] می‌باشند (Ballerine, 2017) و می‌تواند به‌عنوان یک شاخص فیزیکی تأثیر توپوگرافی دامنه‌های حوضه آبخیز را بر مکانیسم جریان زیرسطحی (آب زیرزمینی)، تولید رواناب، توزیع مکانی رطوبت خاک و قابلیت اندازه‌گیری میزان کمبود رطوبت خاک[7] تا حالت اشباع در هر نقطه از دامنه و سطح حوضه به‌صورت کمی بیان کند (Beven and Kirkby 1979; O'Loughlin 1986;

[1] Time of concentration
[2] Time of equilibrium
[3] Lag time
[4] Time of peak
[5] Topography-Based Hydrological Model (TOPMODEL)
[6] surface ponding
[7] Soil Moisture Deficit

* نویسندهٔ مسئول: Elmizadeh@kmsu.ac.ir

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-01-02]

(Barling et al. 1994; Qiu et al., 2017). شاخص TWI همچنین توزیع فضایی نواحی اشباع را توصیف می‌کند و اغلب به‌عنوان نماینده محتوای آب مورداستفاده قرار می‌گیرد (Petroselli et al, 2013) و برای تهیه نقشه‌های رطوبت خاک و پیش‌بینی نقاط اشباع و محاسبه طول منطقه اشباع دامنه‌ها، تخمین جریان زیرسطحی و فرسایش حوضه‌های آبخیز از این روش استفاده می‌گردد. (Wang et al, 2010). در شرایط محیطی مشابه (مانند پوشش زمین و خاک) مناطقی از حوضه آبریز که مقدار TWI آن‌ها برابر است واکنش هیدرولوژیکی مشابهی را نسبت به بارش نشان می‌دهند. فرضیات اساسی این مدل عبارت‌اند از :

الف) آب‌های زیرزمینی در سراسر حوضه آبخیز به صورت یکنواخت تغذیه می‌شوند؛

ب) گرادیان هیدرولیکی موضعی تقریباً معادل با شیب سطحی زمین می‌باشد؛

ج) بین هدایت هیدرولیکی و عمق یک رابطه نمائی نزولی حاکم است؛ و

د) سلول‌های دارای شاخص توپوگرافی یکسان، از نظر هیدرولوژیکی مشابه‌اند (Gumindoga et al., 2011).

در دهه‌های گذشته شاخص‌های توپوگرافی از ارزیابی‌های میدانی توپوگرافی زمین[1] و نقشه برداری زمینی به‌دست می‌آمدند (Kopecky & Cızkova, 2010). اندازه‌گیری مستقیم و میدانی تغییرات رطوبت، هزینه‌بر و وقت‌گیر و ارزیابی دقیق رژیم بلندمدت آن نیز بسیار دشوار است. بنابراین استفاده از روش‌های غیرمستقیم نظیر استفاده از شاخص‌های توپوگرافیکی، روشی آسان، سریع، ارزان و قابل اعتماد جهت نیل به مدیریت بهتر اراضی می‌باشد. ازاین‌رو امروزه تجزیه‌وتحلیل زمین[2] با استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) و با محاسبه ویژگی‌های دامنه و شاخص‌های توپوگرافیک بر اساس مدل رقومی ارتفاع (DEMs) مورداستفاده قرار می‌گیرند (Moore and Grayson, 1991; Iverson et al, 1997; Gruber & Peckham, 2008; Kopecky & Cızkova, 2010; Balazs et al, 2018).

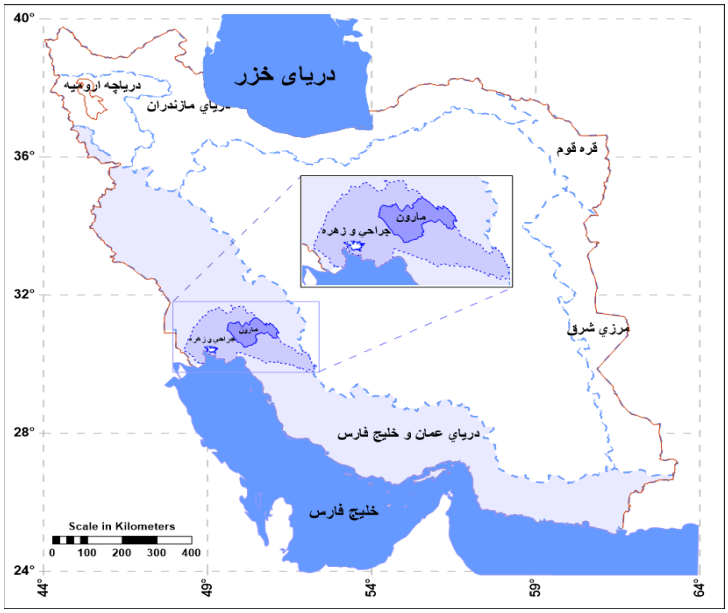
در این راستا اطلاعات شاخص (TWI) برای پژوهش‌های هیدرولوژیکی، ژئومورفولوژیکی، زیست‌محیطی، کشاورزی و عملیات مدیریتی- حفاظتی از اهمیت کاربردی زیادی برخوردار است (Western et al., 1999; Chaplot and Walter, 2003; Kopecky and Cizkova, 2010; Haring et al.,2013; Zhu et al., 2014 Moeslund et al., 2013; Pielech et al., 2015; Alexander et al., 2016; DaSilva et al., 2019). این شاخص ارتباط زیادی با میزان سطح آب زیرزمینی در یک منطقه دارد (Rinderer et al., 2014) و در مطالعات مختلف به کار می‌رود. به‌طور نمونه برای بررسی کیفیت و pH خاک (Sorensen et al, 2005)، شیب زمین و مواد آلی خاک (et al, 2009 Guo)، ویژگی های هیدرولوژیکی و شیمیایی خاک‌ها (Wang, 2011)، همچنین به منظور تعیین مسیرهای هیدرولوژیکی و فرایندهای بیولوژیکی (Muad, 2012) ، پیش‌بینی مواد آلی خاک (Chen et al, 2008)، تهیه نقشه رقومی خاک و پیش‌بینی توزیع مکانی نوع و ویژگی‌های خاک (Moore et al. 1993; Zhu et al. 2009; Qin, et al., 2011) و آگاهی و پیش‌بینی سیل شهری (Ballerine, 2017; Yousefzadeh, 2019) کاربرد دارد. ازاین‌رو هدف این پژوهش برآورد و ارزیابی ویژگی‌های فیزیکی و تأثیر توپوگرافی و جهات دامنه شبکه آبراهه‌های حوضه مارون با استفاده از شاخص‌های توپوگرافی و بررسی تغییرات شاخص (TWI) و در نهایت ساماندهی منطقه می‌باشد.

[1] terrain topography
[2] terrain analysis

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-01-02]

۲ـ منطقهٔ مورد مطالعه

حوضه آبریز رودخانه مارون با وسعت ۷۲۲۸ کیلومترمربع و محیط ۸۰۲ کیلومتری، بخش مرکزی حوضه جراحی-زهره را پوشش می‌دهد. حوضه جراحی-زهره نیز خود بخشی از بزرگ حوضه خلیج‌فارس-دریای عمان است که شبکه زهکش آن به بخش شمال غربی خلیج‌فارس می‌ریزد (شکل ۱). رود مارون در استان خوزستان و شهرستان‌های بهبهان و رامهرمز جریان داشته که از رشته‌کوه زاگرس و از چشمه‌سارهای کوه‌های سادات و نیل سرچشمه گرفته و حوضه آبریز آن، مناطق غربی بویراحمد و قسمت اعظم طیبی و دشمن زیاری است که در مسیر عمود برجهت کلی سلسله جبال زاگرس به‌طرف جنوب‌غربی جریان می‌یابد و در نهایت به تالاب شادگان و در فصل‌های پرآب، به خلیج‌فارس می‌ریزد. (علمیزاده و قلعه‌سردی، ۱۳۹۷).

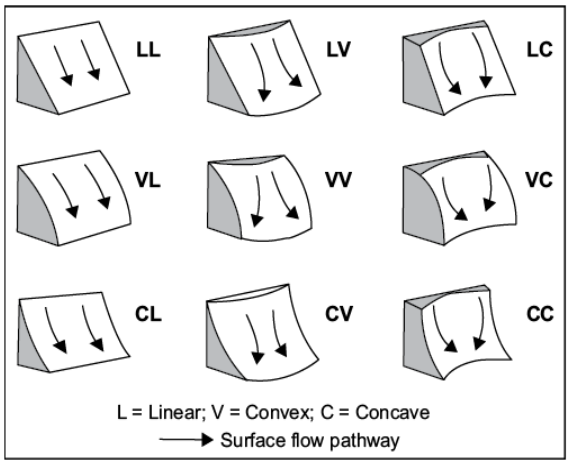


شکل ۱: جایگاه آب‌شناسی حوضه مارون

۳ـ مواد و روش

پلیه داده‌های به‌دست‌آمده در این پژوهش را داده‌های DEM ۳۰ متر SRTM و نرم‌افزارهای ArcGIS، QGIS و SAGA تشکیل داده است. برای برآورد شاخص‌های توپوگرافی، نخست شاخص‌های توپوگرافیک دامنه‌ها و شاخص TWI بر پایه داده‌های DEM و شبکه آبراهه‌های حوضه مطالعاتی با استفاده از توابع موجود در نرم افزار SAGA محاسبه و بررسی شد. در ادامه دامنه‌های حوضه مارون بر اساس شاخص‌های (واگرا، همگرا و نیمرخ مقعر و محدب) به ۹ نوع مختلف طبقه‌بندی گردید (شکل ۲) و مقادیر حاصله شاخص TWI در آن‌ها مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفتند.

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-01-02]



شکل ۲: نمای سه بعدی از ۹ نوع دامنه‌های مرکب (Wysocki, et al., 2000)

اطلاعات توپوگرافی مورداستفاده در مدل هیدرولوژیکی TOPMODEL در قالب شاخص رطوبت توپوگرافی معرفی می‌گردد و می‌تواند تاثیر توپوگرافی را بر روی تولید رواناب و حرکات دامنه‌ای به صورت کمی بیان کند. در این مدل تغییرات توپوگرافی منطقه و سطوح مشارکت کننده در رواناب نقش اصلی را ایفا می‌کنند و بر این فرض است که شیب هیدرولیکی[1] را می‌توان با استفاده از شیب توپوگرافی[2] زمین تخمین زد (Ballerine, 2017). در این پژوهش به دلیل فراهم آوردن ابزارهای تست شده قابل تکرار و دسترس پذیری جهت تعیین مسیر جریان سلول، از الگوریتم تک مسیره[3] (SFD) جهت محاسبه جهت و روندیابی جریان استفاده شده است. این الگوریتم، جریان آب در یک سلول را در جهت بزرگترین شیب فرض می‌کند و رواناب سطحی و زیرسطحی را بدون در نظر گرفتن سلول‌های مجاور، از یک سلول به یک سلول دیگر محدود می‌کنند. در یک سلول، رواناب تنها در جهت تندترین شیب جریان می‌یابد و اجازه می‌دهد جریان در تنها یک سلول همسایه با شیب پایین[4] جریان پیداکند (Pan et al. 2004; Kopecky and Cizkova, 2010; Ballerine, 2017). شاخص TWI که از ترکیب مساحت حوضه بالادست و شیب به‌دست می‌آید، بر اساس رابطه Moore و همکاران (۱۹۹۱) محاسبه گردید (رابطه ۱) (Beven and Kirkby, 1979; Calogero, et al., 2015):

رابطهٔ ۱

$$TWI= \ln(\frac{a}{\tan\beta})$$

در این رابطه؛

ln: لگاریتم طبیعی

a: سطح ویژه حوضه بر حسب مساحت تجمعی بالادست (مساحت بالادست در واحد طول خط تراز یا مساحت حوضه ویژه) است که همان مساحت زهکشی محدوده بالادست هر سلول در واحد طول خطوط کنتور (SCA) می‌باشد.

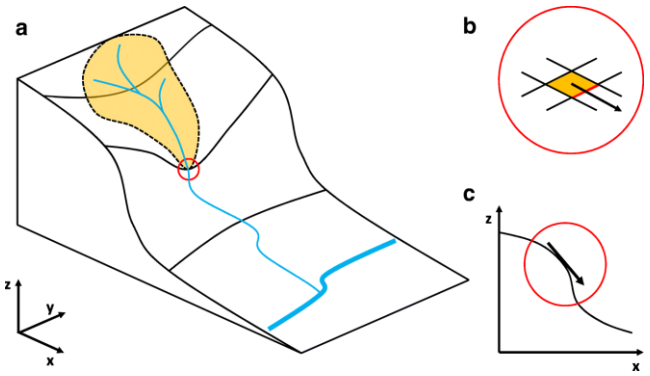
[1] hydraulic slope
[2] topographic slope
[3] single-neighbour flow algorithms
[4] downslope cell

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-01-02]

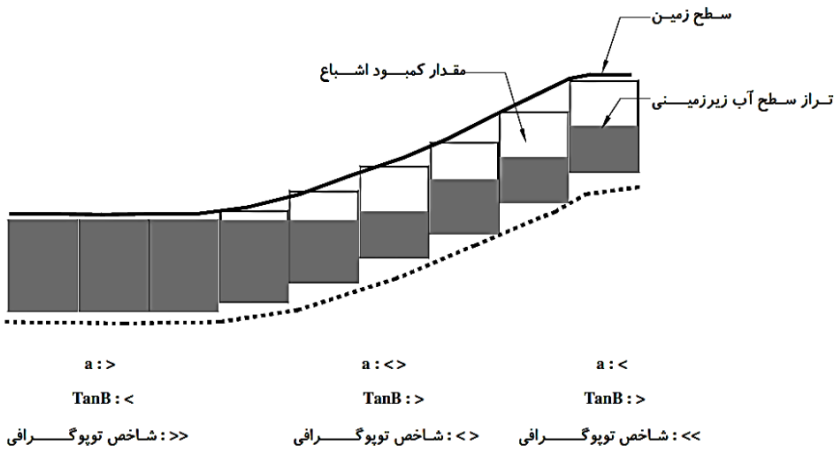
SCA[1] که به اختصار منطقه حوضه آبریز ویژه نامیده می‌شود، پارامتری است که تمایل محل برای دریافت آب از منطقه دارای شیب سربالایی[۲] را توصیف می‌کند. این منطقه با شیب رو به بالا از طریق یک نقطه خاص در هر واحد از طول تراز تخلیه می‌شود و برابر با عرض سلول شبکه خاص می‌باشد.

tanβ: زاویه شیب محل[۳] برای تخمین زاویه هیدرولیک (شیب عمومی سطح زمین یا شیب سطحی زمین برحسب درجه) است. این پارامتر که توسط گرادیان شیب پیرامون پیکسل اندازه‌گیری می‌شود (Qin, et al., 2011)، تمایل به تخلیه آب و پتانسیل زهکشی محلی را نشان می‌دهد (Gruber & Peckham, 2008). بنابراین این شاخص یک مقیاس نسبی رطوبت درازمدت خاک در محل موردنظر در زمین می‌باشد (Kopecky & Cızkova, 2010).

شاخص TWI گرایش آب را به جمع شدن در هر نقطه از حوضه (برحسب α) و تمایل نیروهای گرانشی را به انتقال آب به پایین دست (بر حسب tanβ به‌عنوان شیوه هیدرولیکی تقریبی) توصیف می‌کند. در نتیجه محاسبه α و tanβ نیازمند نشان دادن اثرات خاک محلی، بر زهکشی محلی است و برای نشان دادن تأثیر عوارض زمین بر روی زهکشی محل نیاز می‌باشد (Endreny & Wood, 2003). در (شکل ۳) تصویر شماتیک از شاخص TWI و در (شکل ۴) توزیع α و tanβ و شاخص توپوگرافی در راستای شیب زمین نشان داده شده است.



شکل ۳: تصویر شماتیک از شاخص a: TWI منطقه تجمع جریان، b جهت جریان و عرض جریان متناظر برای یک سلول DEM، c تانژانت زاویه شیب (Mattivi et al., 2019)



شکل ۴: توزیع α و tanβ و شاخص توپوگرافی در راستای شیب زمین (سطح زمین-تراز سطح آب زیرزمینی و مقدار کمبود اشباع)

[1] Specific Catchment Area
[2] upslope
[3] local slope

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-01-02]

این مقادیر با استفاده از مدل رقومی ارتفاع (DEM) منطقه مورد مطالعه و با ارزیابی جهت جریان، انباشت جریان، شیب و مشخصات هندسی مختلف به دست آمده از نرم افزار Arc Hydro محاسبه می‌شوند. نتیجه نهایی یک لایه Raster است که مسیرهای (نواحی) دارای چاله‌های (گودال‌های) زهکشی که احتمالا آب در انجا تجمع یافته است را نشان می‌دهد (Ballerine, 2017).

۴-یافته‌ها

نتایج بررسی شیب و جهات دامنه در رده‌های مختلف حوضه رودخانه مارون نشان می‌دهد که آبراهه‌های رده‌ی اول بیشتر در دامنه‌های واگرا و دارای انحنای صاف جریان دارند. رده‌های دوم، سوم و چهارم حوضه نیز در دامنه‌های مقعر و موازی و رده‌های پنجم و ششم در دامنه‌های محدب و همگرا جریان دارند (جدول ۱). در دامنه‌های واگرای حوضه شاخص رطوبت توپوگرافی کاهش یافته و در دامنه‌های محدب و همگرا شاخص رطوبت توپوگرافی افزایش می‌یابد.

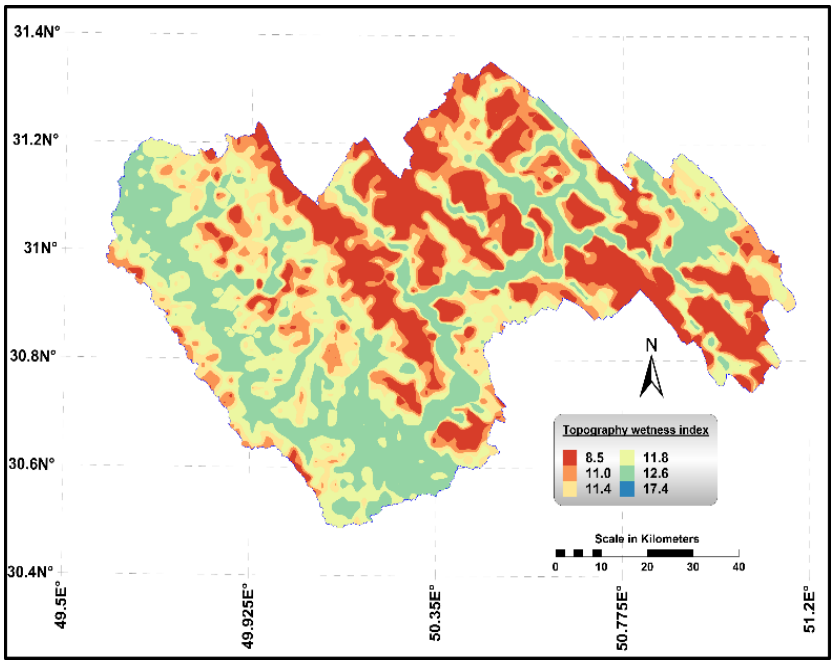
همچنین جهت غالب دامنه‌های حوضه مارون جنوبی (جنوب‌غربی و جنوب شرقی) می‌باشد (جدول ۱). در این دامنه‌ها به دلیل دریافت بیشتر انرژی خورشید، برف زمان انباشت طولانی نداشته و سریع‌تر به رواناب تبدیل شده؛ در نتیجه پوشش گیاهی تراکم کمتری داشته و احتمال وقوع سیل و حرکات دامنه‌ای در آن‌ها بالاتر است.

جدول ۱: پارامترهای شیب، جهت و نوع دامنه در رده‌های مختلف حوضه رودخانه مارون

جهت دامنه	پروفیل طولی (انحنای) دامنه	فرم (پلان) دامنه	نوع دامنه	TWI			رده رودخانه
				Mean	Max	Min	
SW	دارای انحنای صاف	واگرا	LV	۱۱/۲۹	۱۸/۲۷	۸/۴۹	رده ۱
SW	مقعر	موازی	CL	۱۲/۲۳	۱۶/۷۹	۱۰/۳۴	رده ۲
SW	مقعر	موازی	CL	۱۳/۳۱	۱۶/۷۰	۱۱/۵۷	رده ۳
SE	مقعر	موازی	CL	۱۴/۵۳	۱۷/۰۰	۱۲/۹۱	رده ۴
SE	محدب	همگرا	VC	۱۵/۰۶	۱۵/۸۴	۱۳/۸۹	رده ۵
SW	محدب	همگرا	VC	۱۷/۴۷	۱۷/۴۷	۱۷/۴۷	رده ۶

بر اساس نتایج شاخص TWI با میزان شیب رده‌ها و میانگین ارتفاع رودخانه همبستگی معکوس بالایی (-0.97) دارد. بدین معنی‌که با افزایش میزان شیب و ارتفاع آبراهه‌ها، این شاخص کاهش می‌یابد (جدول ۲). در سرشاخه‌های حوضه، افزایش شیب عمومی باعث تسریع جریان آب شده، در نتیجه فرصت لازم برای نفوذ جریان آب و بارندگی‌ها کاهش یافته و زمان تمرکز نیز کاهش یافته و به همان نسبت، میزان فرسایش و هدر رفتن آب افزایش پیدا می‌کند. همچنین با کاهش شیب و ارتفاع متوسط رده‌ها، میزان شاخص TWI افزایش می‌یابد. معمولا خاک در نواحی پست و کم شیب حوضه به‌دلیل رژیم رطوبتی مطلوب‌تر در مقایسه با مناطق پرشیب سریع‌تر توسعه می‌یابد. در نتیجه تجمع مواد آلی بیشتر در مناطق پایین شیب که شرایط مرطوب‌تری نسبت به وسط و بالای شیب دارند، بیشتر می‌باشد. همان‌طور که در (شکل ۵) مشاهده می‌شود، شاخص رطوبت توپوگرافی در مسیر آبراهه‌ها و مناطق کم شیب حوضه افزایش نشان می‌دهد.

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-01-02]



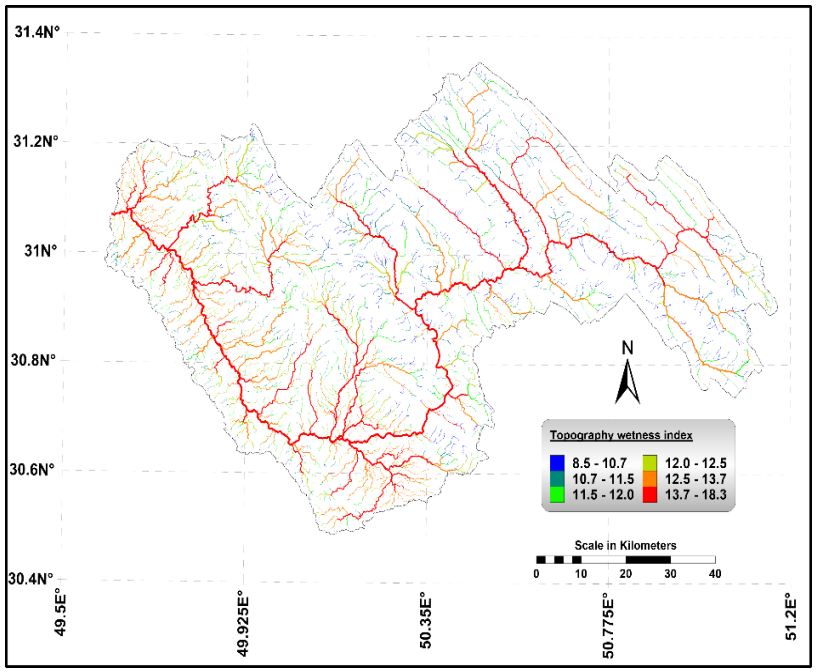
شکل ۵: نقشه شاخص رطوبت توپوگرافی در حوضه مارون

شـاخص TWI با فاکتور میانگین طول رودخانه همبسـتگی بالایی (0.84) را نشـان می‌دهد (جدول ۲). به‌طوریکه هرچه طول آبراهه بیشتر باشد، میزان شاخص هم بالاتر است. در (شکل ۶) نقشه ارتباط شاخص رطوبت توپوگرافی با رده‌های رودخانه مارون نشان داده شده است. همان‌طور که شکل نشان می‌دهد این شاخص در شاخه‌های اصلی و پرآب رودخانه بیشتر است. به این معنا که در مناطقی که طول رودخانه و در نتیجه رطوبت خاک بیشتر باشد، این شاخص نیز افزایش می‌یابد.

جدول ۲: پارامترهای شیب، جهت و نوع دامنه در رده‌های مختلف حوضه مارون

شاخص TWI	میزان شیب رده‌ها	فاکتور میانگین طول رودخانه (km)	مجموع طول رودخانه (km)	میانگین ارتفاع رودخانه (m)	تعداد آبراهه	رده رودخانه
۱۱/۲۹	۱۲/۳۶	۴/۱	۲۸۰۶	۹۰۰/۱	۱۹۱۴	۱
۱۲/۲۳	۱۰/۵	۶/۴	۱۵۵۱	۸۲۲/۲	۳۳۳	۲
۱۳/۳۱	۸/۷۳	۴/۹	۷۹۶	۶۴۸/۸	۸۴	۳
۱۴/۵۳	۸/۴۱	۴/۱۷	۳۱۳/۲	۶۸۱/۴	۱۸	۴
۱۵/۰۶	۸/۰۴	۱/۳۰	۱۵۰/۵	۵۰۶/۵	۵	۵
۱۷/۴۷	۳/۲۱	۷/۲۱۳	۲۱۳/۷	۳۰۹/۳	۱	۶
۰/۹۶۵۶	۰/۸۶۵۷	۰/۵۴۷۸	۰/۸۲۱۷	۰/۹۳۰۸	۰/۵۶۳۳	R^2 =

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-01-02]



شکل ۶: نقشه ارتباط شاخص رطوبت توپوگرافی با رده‌های رودخانه مارون

۵ـ بحث و نتیجه‌گیری

نتایج تحقیق نشـــان می‌دهد ویژگی‌های توپوگرافی حوضـــه، مانند نیمرخ دامنه‌ها، نقش تعیین‌کننده‌ای بر فرایندهای هیدرولوژیکی و مشخصه‌های زمانی رواناب و زمان پاسخ حوضه دارد. این ویژگی‌ها نه تنها به‌طور مستقیم بر وضعیت ژئومورفولوژیکی و هیدرولوژیکی مانند رواناب سـالانه، حجم سـیلاب‌ها، شـدت فرسـایش خاک و رسـوب تولیدی اثر می‌گذارد، بلکه بطور غیرمستقیم با اثر بر آب و هوا و وضعیت اکولوژیکی و پوشش گیاهی، وضعیت آبی حوضه را نیز تحت تاثیر قرار می‌دهد. نتایج بررسی نوع دامنه حوضه بدین صورت است که دامنه‌های واگرا کمترین میزان شاخص رطوبت توپوگرافی را دارند. در این دامنه‌ها آبهای سطحی و زیرسطحی تمرکز پیدا نمی‌کنند، بلکه پخش می‌شوند و آب دامنه را سریعاً از خود عبور می‌دهند. در این حالت تشکیل آبخوان معمول نیست. همچنین دامنه‌های همگرای حوضـــه مطالعاتی بیشـــترین میزان شـــاخص رطوبت توپوگرافی را دارند. این دامنه‌ها همیشه مقداری آب در خود ذخیره می‌کنند که باعث تمرکز جریان سطحی و زیر سطحی می‌گردد؛ در نتیجه دامنه همگرا زمان طولانی‌تری برای تخلیه آب ذخیره شده در دامنه لازم دارد. در حالیکه دامنه‌های واگرا به دلیل خروجی بزرگ دامنه، تمامی رواناب به راحتی خارج می‌شود. ازاین‌رو زمان تمرکز جریان‌های سطحی در دامنه‌های همگرا از دامنه‌های واگرا بیشتر است. این دامنه‌ها با تمرکز آبهای سطحی آستانه شروع جریان سطحی زودتری را به خود اختصاص می‌دهند. به‌طورکلی براسـاس نتایج، فرم دامنه همگرای محدب بیشترین تأثیر را بر افزایش شاخص TWI در بین انواع دامنه‌های مرکب دارند. علاوه بر این، همگرایی بیش از واگرایی و تحدب بیش از تقعر در افزایش شاخص TWI و رطوبت خاک اثرگذار است. این نتایج با (Sabzevari et al., 2015; Troch et al., 2002; Schmidt et al., 2019; Afshar Ardekani & Sabzevari, 2020) مطابقت دارد. در مناطق پرشـیب و انشـعاب یافته[1] (واگرا)، خصـوصـاً در مناطق کوهسـتانی حوضـه مورد مطالعه، مقادیر پائین و

[1] steep and diverging areas

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-01-02]

کوچکتر شاخص توپوگرافی نشان‌دهنده پتانسیل پایین اشباع (پتانسیل کم توسعه مناطق اشباع) می‌باشد. در مقابل، مقادیر بالای شاخص TWI در نقاط پست و کم شیب (مانند مناطق دشتی و کف بستر رودخانه‌ها و دره‌ها) و با پتانسیل بالای اشباع مرتبط است[1]. این نتایج با پژوهش‌های (Wolock,1995; McKenzie and Ryan, 1999; Guntner et al.,1999; Western et al., 1999; Gessler et al, 2000; Chaplot and Walter, 2003; Zhu et al., 2014; Zhao et al., 2020) مطابقت دارد. همچنین نتایج نشان داد که مسیر آبراهه‌ها منطبق با مقادیر بالاتر مقدار شاخص TWI می‌باشند؛ این با آنچه در طبیعت و واقعیت رخ می‌دهد، همخوانی دارد. با توجه به نتایج، شاخص رطوبت توپوگرافی در مناطق مرطوب مجاور شاخه‌های اصلی و پرآب رودخانه بیشتر است. در حالی که مناطق خشک‌تر شامل رتبه‌های پایین‌تر با مقدار شاخص کمتر ناشی می‌شوند. بنابراین با توجه به این نتایج می‌توان عنوان نمود که در مناطق با رطوبت کمتر و سرشاخه‌ها، توپوگرافی به‌طور قابل ملاحظه‌ای می‌تواند به صورت غیرمستقیم و از طریق تأثیر بر تغییرپذیری خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک، بر فرایندهای دامنه‌ای و فرسایش خاک نیز مؤثر باشد. به‌طور کلی مناطقی که TWI بیشتری دارند، رطوبت بیشتری را به خود اختصاص می‌دهند، بنابراین احتمال اشباع شدن آن‌ها در طول وقایع بارندگی وجود دارد و حساسیت آن‌ها به زمین لغزش بیشتر است. همچنین رطوبت بیشتری در پایین دامنه تجمع یافته که زمینه را برای زمین لغزش و پیش‌بینی بهتر فرسایش خاک فراهم می‌کند.

بر اساس نتایج پژوهش اثر همگرایی دامنه در میزان دبی پیک خیلی قوی‌تر از اثر پروفیل طولی بر میزان شاخص رطوبت توپوگرافی می‌باشد، زیرا همگرایی دامنه قادر است میزان رولناب و دبی خروجی از دامنه را با توجه به عرض دامنه در پایین دست شیب تغییر دهد. یعنی اگر دامنه همگرا باشد، میزان دبی خروجی کاهش و در صورتی‌که دامنه واگرا باشد، میزان دبی خروجی از دامنه افزایش می‌یابد، زیرا در این حالت دامنه قادر است تمام رواناب دامنه را از خود عبور دهد و هیچ گونه انباشت آب در دامنه وجود ندارد. در حالت همگرا رواناب در خروجی دامنه به دلیل عرض کم متمرکز شده و حالت انباشت آب در دامنه وجود دارد. در نتیجه تغییر فرم همگرایی و پروفیل طولی دامنه، بر رطوبت خاک و میزان و حالت جریان‌های سطحی اثر می‌گذارد و باعث ایجاد آستانه شروع رواناب، پیک جریان و زمان تمرکز متفاوتی در دامنه‌های با شرایط یکسان می‌گردد. همچنین نتایج پژوهش نشان داد دامنه‌های محدب حوضه مارون نسبت به دامنه‌های مقعر و صاف شاخص رطوبت توپوگرافی بیشتری را دارند. شیب کم این دامنه‌ها در ابتدای دامنه، منجر شده تا زمان تمرکز از دامنه های صاف و مقعر بیشتر باشد. پس در واقع زمان شروع رواناب در دامنه محدب زودتر از دامنه مقعر اتفاق می‌افتد. دامنه‌های مقعر حوضه به علت تمرکز آب در پایین‌ترین نقطه شیب، پیک سیلاب بالاتری دارند و از نظر ژئومورفیکی ناپایدارتر می‌باشند. پس زمان شروع رواناب در این دامنه‌ها به جهت شیب کمتر در انتهای حوضه طولانی‌تر است و به عبارت دیگر رواناب آنها دیرتر شروع می‌شود. در مجموع می‌توان گفت که دامنه‌های محدب حوضه پیک سیلاب پائین‌تری دارند و پخش رواناب به سمت پایین‌دست شیب دامنه متعادل‌تر انجام می‌شود، در نتیجه این دامنه‌ها پایدارتر هستند. همچنین در دامنه‌های همگرا، حجم دبی و رواناب در زمان‌های شروع بارندگی کم بوده و با نزدیک شدن به زمان تعادل زیاد شده و به دبی پیک نزدیک می‌شود.

با توجه به ارتباط قوی و معناداری که بین فرایندهای هیدرولوژیکی با شاخص‌های توپوگرافی و ژئومورفولوژی دامنه‌ها وجود دارد؛ می‌توان از شاخص TWI که نمونه‌ای از روش‌های غیرمستقیم و کم‌هزینه برای بررسی و مطالعه

[1] flat terrain and are associated with high potential of saturation

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-01-02]

خصوصیات ژئومورفیکی و هیدرولوژیکی منطقه محسوب می‌شود، به‌عنوان متغیری برای شبیه‌سازی وضعیت رطوبتی دامنه‌های حوضه مارون استفاده نمود. سازگاری این شاخص نسبت به شرایط خاک محلی یک مزیت مشخص نسبت به روش‌های موجود می‌باشد و در برنامه‌های کاربردی دقیق نیازمند انجام فعالیت‌های بیشتر و انجام مطالعات تطبیقی می‌باشد. بنابراین شناخت و آگاهی از این شاخص‌ها و خصوصیات از نظر تأثیر بر تغییرپذیری خصوصیات هیدرولیکی خاک و رسوبات سطحی جهت دستیابی به توسعه پایدار و ساماندهی منطقه امری ضروری به نظر می‌رسد. پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آینده الگوریتم‌های مختلف TWI و دیگر شاخص‌های توپوگرافیک در منطقه مطالعاتی و نیز مناطق وسیع‌تری از حوضه مطالعاتی با یکدیگر مقایسه شود تا اختلاف نتایج به‌صورت ملموس‌تری مشاهده شود.

منابع

1. Afshar Ardekani, A., Sabzevari, T. (2020). Effects of hillslope geometry on soil moisture deficit and base flow using an excess saturation model. *Acta Geophys*. 68, 773–782. https://doi:10.1007/s11600-020-00428-x
2. Alexander, C., Deak, B., Heilmeier, H., (2016). Micro-topography driven vegetation patterns in open mosaic landscapes. *Ecological Indicators*. 60, 906–920. https://doi:10.1016/j.ecolind.2015.08.030
3. Bader, M.Y., Ruijten, J.J.A., (2008). A topography-based model of forest cover at the alpine tree line in the tropical Andes. *Journal of Biogeography*. 35:711–723. https://doi:10.1111/j.1365-2699. 2007.01818.x
4. Balazs, B., Bíro, T., Gareth, Dyke, Singh, S.K. (2018). Extracting water-related features using reflectance data and principal component analysis of Landsat images. *Hydrological Sciences Journal*. 63(2): 269–284. https://doi.org/10.1080/02626667.2018.1425802
5. Ballerine, C. (2017). *Topographic Wetness Index Urban Flooding Awareness Act Action Support*. Illinois State Water Survey, Prairie Research Institute, University of Illinois at Urbana-Champaign, 22 p. http://hdl.handle.net/2142/98495
6. Barling, R. D., Moore, I. D., & Grayson, R. B. (1994). A quasi-dynamic wetness index for characterizing the spatial distribution of zones of surface saturation and soil water content. *Water Resources Research*, 30, 1029–1044. https://doi.org/10.1029/93WR03346
7. Beven, K.J., Kirkby, M.J. (1979). A physically based variable contributing area model of basin hydrology. *Hydrology Science Bulletin*. 24: 43-69. https://doi.org/10.1080/02626667909491834
8. Buchanan, B.P., Fleming, M., Schneider, R.L., Richards, B.K., Archibald, J., Qiu, Z., Walter, M.T., (2014). Evaluating topographic wetness indices across central New York agricultural landscapes. *Hydrology and Earth System Sciences*. 18 (8), 3279–3299. https://doi.org/10.5194/hess-18-3279-2014, 2014.
9. Cairns, D.M., (2001). A comparison of methods for predicting vegetation type. *Plant Ecology*, 156:3–18. https://doi:10.1023/A:1011975321668
10. Calogero Schillaci1, Andreas Braun1 & Jan Kropacek., (2015). Terrain analysis and landform recognition. *Geomorphological Techniques*,4. 2 :1-18. https://doi:10.13140/RG.2.1.3895.2802
11. Chaplot, V., Walter, C., (2003). Subsurface topography to enhance the prediction of the spatial distribution of soil wetness. *Hydrological Processes*. 17 (13), 2567–2580. https://doi:10.5772/intechopen.86109
12. Chen, C.Y., Chen, L.K., Yu, F.C., Lin, S.C., Lin, Y.C., Lee, C.L., Wang, Y.T., and Cheung, K.W. (2008). Characteristics analysis for the flash flood-induced debris flows. *Journal of Natural Hazards*. 47(1): 245-261. https://doi:10.1007/s11069-008-9217-7
13. DaSilva, J.M.F., Santos, L.J.C. & Oka-Fiori, C. (2019). Spatial correlation analysis between topographic parameters for defining the geomorphometric diversity index: application in the environmental protection area of the Serra da Esperança (state of Paraná, Brazil). *Environmental Earth Sciences*, 78(12):356. https://doi:10.1007/s12665-019-8357-2

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-01-02]

14. Dirnbock, T., Hobbs, R.J., Lambeck, R.J., Caccetta, P.A., (2002). Vegetation distribution in relation to topographically driven processes in south western Australia. *Applied Vegetation Science*, 5:147–158. https://doi:10.1111/j.1654-109X.2002.tb00544.x
15. Dobrowski, S.Z., Safford, H.D., Cheng, Y.B., Ustin, S.L., (2008). Mapping mountain vegetation using species distribution modeling, imagebased texture analysis, and object-based classification. *Applied Vegetation Science*, 11:499–508. https://doi:10.3170/2008-7-18560
16. Endreny, T.A., Wood, E.F. (2003). Maximizing spatial congruence of observed and DEM-delineated overland flow networks. *International Journal of Geographical Information Science*. 17(7): 699-713. https://doi:10.1080/1365881031000135483
17. Esper Angillieri, M.Y., Perucca, L.P., (2014), Geomorphology and morphometry of the de La Flecha river basin, San Juan, Argentina: *Environmental Earth Sciences*, 72, 3227-3237. https://doi:10.1007/s12665-014-3227-4.
18. Evans, J.S., Cushman, S.A., (2009). Gradient modeling of conifer species using random forests. *Landscape Ecology*, 24:673–683. https://doi:10.1007/s10980-009-9341-0
19. Fitterer, J.L., Nelson, T.A., Coops, N.C., Wulder, M.A., (2012). Modelling the ecosystem indicators of British Columbia using Earth observation data and terrain indices. *Ecological Indicators*, 20:151–162. https://doi:10.3390/d5020352
20. Franklin, J., (2002). Enhancing a regional vegetation map with predictive models of dominant plant species in chaparral. *Applied Vegetation Science*, 5(1):135 – 146. https://doi:10.1111/j.1654-109X.2002.tb00543.x
21. Gessler P.E., Chadwick O.A., Chamran F., Althouse L., and Holmes K. (2000). Modeling soil landscape and ecosystem properties using terrain attributes. *Soil Science Society of American Journal*, 64: 2046– 2056. https://doi.org/10.2136/sssaj2000.6462046x
22. Gruber, S. & Peckham, S. (2008). *Land-surface parameters and objects in hydrology*. In: Hengl, T. & Reuter, H.I. Geomorphometry: concepts, software, applications. pp. 171–194. Elsevier, Amsterdam, NL. https://doi:10.1016/S0166-2481(08)00007-X
23. Gumindoga, W., Rwasokab, D.T. and Murwirac, A. (2011). Simulation of streamflow using TOPMODEL in the Upper Save River catchment of Zimbabwe. *Physics and Chemistry of the Earth*, 36, 806-813. https://doi:10.1016/j.pce.2011.07.054
24. Guntner, A., Uhlenbrook, S., Leibundgut, C., Siebert, J., (1999). Estimation of saturation excess overland flow areas: comparison of topographic index calculations with field mapping. Int. Assoc. *Water Resources Research*. 254, 203–210 IAHS Publication. https://doi:10.1029/2003WR002864
25. Guo, P.T., Liu, H.B., and Wu, W. (2019). Spatial prediction of soil organic matter using terrain attributes in a hilly area. *International Conference on Environmental Science and Information Application Technology*. Wuhan, China. 3: 759-762. https://doi:10.1109/ESIAT.2009.330
26. Haring, T., Reger, B., Ewald, J., Hothorn, T., Schröder, B., (2019). Predicting Ellenberg's soil moisture indicator value in the Bavarian Alps using additive georegression. *Applied Vegetation Science*. 16 (1), 110–121. https://doi:10.1111/j.1654-109X.2012.01210.x
27. Iverson, L.R., Dale, M.E., Scott, C.T. & Prasad, A. (1997). A GIS-derived integrated moisture index to predict forest composition and productivity of Ohio forests (U.S.A.). *Landscape Ecology*, 12: 331–348. https://doi.org/10.1023/A:1007989813501
28. Jeziorska, J., Niedzielski, T. (2018). Applicability of TOPMODEL in the mountainous catchments in the upper Nysa Kłodzka river basin (SW Poland). *Acta Geophys*. 66, 203–222. https://doi.org/10.1007/s11600-018-0121-6
29. Kadirhodjaev, A., Kadavi, P.R., Lee, C. (2018). Analysis of the relationships between topographic factors and landslide occurrence and their application to landslide susceptibility mapping: a case study of Mingchukur, Uzbekistan. *Geosciences Journal*, 22, 1053–1067. https://doi:10.1007/s12303-018-0052-x
30. Kaliraj, S., Chandrasekar, N., Magesh, N.S. (2015). Morphometric analysis of the River Thamirabarani subbasin in Kanyakumari district, South west coast of Tamil Nadu, India, using remote sensing and GIS. *Environmental Earth Sciences*, 73, 7375–7401. https://doi:10.1007/s12665-014-3914-1

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-01-02]

31. Kopecky, M., Cizkova, S. (2010). Using topographic wetness index in vegetation ecology: does the algorithm matter. *Applied Vegetation Science*, 13: 450–459. https://doi.org/10.1111/j.1654-109X.2010.01083.x
32. Liu, J.; Engel, B.A.; Wang, Y.; Wu, Y.; Zhang, Z.; Zhang, M. (2019). Runoff Response to Soil Moisture and Micro-Topographic Structure on the Plot Scale. *Scientific Reports*. 9, 2532. https://doi.org/10.1038/s41598-019-39409-6
33. Luca, C., Si, B.C., and Farrell, R.E. (2007). Upslope length improves spatial estimation of soil organic carbon content. *Canada Journal of Soil Science*. 87: 291-300. https://doi:10.4141/CJSS06012
34. Marques da Silva, J. R., & Alexandre, C. (2005). Spatial variability of irrigated corn yield in relation to field topography and soil chemical characteristics. *Precision Agriculture*, 6, 453–466. https://doi.org/10.1007/s11119-005-3679-3
35. Mattivi, P., Franci, F., Lambertini, A. (2019). TWI computation: a comparison of different GISs. *Open geospatial data*, 4, 6. https://doi.org/10.1186/s40965-019-0066-y
36. McKenzie, N.J., Ryan, P.J., (1999). Spatial prediction of soil properties using environmental correlation. *Geoderma*, 89 (1), 67–94. https://doi.org/10.1016/S0016-7061(98)00137-2
37. Merheb, M., Moussa, R.., Abdallah, C., Colin, F., Perrin, C., Baghdadi, N. (2016) Hydrological response characteristics of Mediterranean catchments at different time scales: a meta-analysis, *Hydrological Sciences Journal*, 61:14, 2520-2539. https://doi.org/10.1080/02626667.2016.1140174
38. Mlynski, D.; Wałega, A.; Petroselli, A.; Tauro, F.; Cebulska, M. (2019). Estimating Maximum Daily Precipitation in the Upper Vistula Basin, Poland. *Atmosphere*. 10, 43. https://doi.org/10.3390/atmos10020043
39. Moeslund, J.E., Arge, L., Bøcher, P.K., Dalgaard, T., Odgaard, M.V., Nygaard, B., Svenning, J.C., (2013). Topographically controlled soil moisture is the primary driver of local vegetation patterns across a lowland region. *Ecosphere*, 4 (7), 1–26. https://doi:10.1890/ES13-00134.1
40. Moore, I., Gessler, P., Nielsen, G., & Peterson, G. (1993). Soil attribute prediction using terrain analysis. *Soil Science Society of America Journal*, 57, 443–452. https://doi:10.2136/sssaj1993.572NPb
41. Moore, I.D., and Grayson, R.B. (1991). Landson. Digital terrain Modeling: A review of hydrological, Geomorphological and Biological application. *Modelling in Hydrology*. 5: 3-30. https://doi.org/10.1002/hyp.3360050103
42. Muad, A.M., Foody, G.M., (2012). Super-resolution mapping of lakes from imagery with a coarse spatial and fine temporal resolution. *Journal of Applied Earth Observation Geo information*. (12) 1: 79–91. https://doi.org/10.1016/j.jag.2011.06.002
43. O'Loughlin E. M. (1986). Prediction of surface saturation zones in natural catchments by topographic analysis. *Water Resources Research journal*. 22(5): 794-804. https://doi.org/10.1029/WR022i005p00794
44. Pan, F., Peters-Lidard, C.D., Sale, M.J., and King, A.W. (2004). A comparison of geographical information system-based algorithms for computing the TOPMODEL topographic index. *Water Resources Research*. 40: 1-11. https://doi:10.1029/2004WR003069
45. Parolo, G., Rossi, G., Ferrarini, A., (2008). Toward improved species niche modelling: Arnica montana in the Alps as a case study. *Journal of Applied Ecology*, 45(5):1410-1418. https://doi:10.1111/j.1365-2664.2008.01516.x
46. Petroselli, A., Vessella, F., Cavagnuolo, L., Piovesan, G., Schirone, B. (2013). Ecological behavior of Quercus suber and Quercus ilex inferred by topographic wetness index (TWI). *Trees*, 27:1201–1215. https://doi:10.1007/s00468-013-0869-x
47. Petroselli, A.; Grimaldi, S. (2018). Design hydrograph estimation in small and fully ungauged basins: A preliminary assessment of the EBA4SUB framework. *Flood risk management*. 2018, 8, 1–14. DOI:10.1111/jfr3.12193
48. Pielech, R., Anioł-Kwiatkowska, J., Szczęśniak, E., (2015). Landscape-scale factors driving plant species composition in mountain streamside and spring riparian forests. *Forest Ecology and Management.* 347, 217–227. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.03.038

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-01-02]

49. Prancevic, J.P.; Kirchner, J.W. (2019). Topographic Controls on the Extension and Retraction of Flowing Streams. *Geophysical Research Letters*. 46, 2084–2092. https://doi.org/10.1029/2018GL081799
50. Qin, C.Z., Zhu, A.X., Pei, T., Li, B.L., Scholten, T., Behrens, T., and Zhou, C.H. (2011). An approach to computing topographic wetness index based on maximum downslope gradient. *Precision Agriculture*. 12: 32-43. DOI:10.1007/s11119-009-9152-y
51. Qiu, Z., Pennock, A., Giri, S. (2017). Assessing Soil Moisture Patterns Using a Soil Topographic Index in a Humid Region. *Water Resour Manage*, 31, 2243–2255. DOI: 10.1007/s11269-017-1640-7
52. Raduła, M.W., Szymura, T.H., Szymura, M. (2018). Topographic wetness index explains soil moisture better than bioindication with Ellenberg's indicator values. *Ecological Indicators*, 85: 172–179. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.10.011
53. Rinderer, M., van Meerveld, H. J. & Seibert, J., (2014). Topographic controls on shallow groundwater levels in a steep, prealpine catchment: When are the TWI assumptions valid, *Water Resources Research*. 50, 7. 6067-6080. https://doi.org/10.1002/2013WR015009
54. Sabzevari T, Noroozpour S, Pishvaei M (2015) Effects of geometry on runoff time characteristics and time-area histogram of hillslopes. *Journal of Hydrology*. 531:638–648. https://doi:10.1016/j.jhydrol.2015.10.063
55. Schmidt, S., Tresch, S., Meusburger, K., (2019). Modification of the RUSLE slope length and steepness factor (LS-factor) based on rainfall experiments at steep alpine grasslands. *MethodsX*, 6, 219-229. https://doi.org/10.1016/j.mex.2019.01.004
56. Shanableh, A.; Al-Ruzouq, R.; Yilmaz, A.; Siddique, M.; Merabtene, T.; Imteaz, M. (2018). Effects of Land Cover Change on Urban Floods and Rainwater Harvesting: A Case Study in Sharjah. UAE. *Water*, 10(5), 631; https://doi.org/10.3390/w10050631
57. Si, C.B. and Farrell, R.E. (2004). Scale-dependent relationship between wheat yield and topographic indices: A wavelet approach. *Soil Science Society of American Journal*, 68: 577-587. DOI: 10.1080/01431160600794621
58. Sorensen, R., Zinko, U., and Seibert, J. (2005). On the calculation of the topographic wetness index: evaluation of different methods based on field observation. *Hydrology and Earth System Sciences*. 10: 101-112. https://doi.org/10.5194/hess-10-101-2006
59. Svetlitchnyi, A.A., Plotnitskiy, S.V., and Stepovaya, O.Y. (2003). Spatial distribution of soil moisture content within catchments and its modeling on the basis topographic data. *Journal of Hydrology*. 277: 50-60. DOI:10.1016/S0022-1694(03)00083-0
60. Taverna, K., Urban, D.L., McDonald, R.I., (2005). Modeling landscape vegetation pattern in response to historic land-use: a hypothesisdriven approach for the North Carolina Piedmont, USA. *Landscape Ecology*, 20:689–702. https://doi.org/10.1007/s10980-004-5652-3
61. Troch P. A. van Loon A. and Hilberts H. (2002). Analytical solutions to a hillslope storage kinematic wave equation for subsurface flow. *Advance in Water Resource journal*. 25(6): 637-649. https://doi:10.1016/S0309-1708(02)00017-9
62. Van Niel, K.P., Laffan, S.W., Lees, B.G., (2004). Effect of error in the DEM on environmental variables for predictive vegetation modelling. *Journal of Vegetation Science*. 15:747–756. https://doi:10.1111/j.1654-1103.2004.tb02317.x
63. Wang G. Hapuarachchi H. A. P. Takeuchi K. and Ishidaira H. (2010). Grid-based distribution model for simulating runoff and soil erosion from a large-scale river basin. *Hydrologic Process*. 24: 641-653. https://doi:10.1002/hyp.7558
64. Wang, Q.M., Wang, D.F., (2011). Sub-pixel mapping based on sub-pixel to sub-pixel spatial attraction model. In: Proceedings of the 2011 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, *IGARSS*. 593–596. https://doi:10.1109/IGARSS.2011.6049198
65. Welsch, D.L., Kroll, C.N., Mc Donnell, J.J., and Burns, D.A. (2001). Topographic controls on the chemistry of subsurface stormflow. *Hydrological Processes*. 15: 10. 1925-1938. https://doi:10.1002/hyp.247
66. Western, A.W, (2004). Spatial correlation of soil moisture in small catchments and its relationship to dominant spatial hydrological processes. *Journal of Hydrology*. 286: 1-4. 113-134. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2003.09.014

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-01-02]

67. Western, A.W., Grayson, R.B., Blöschl, G., Willgoose, G.R., McMahon, T.A., (1999). Observed spatial organization of soil moisture and its relation to terrain indices. *Water Resources Research*. 35 (3), 797–810. https://doi.org/10.1029/1998WR900065
68. Whelan, M.J., and Gandolfi, C. (2002). Modelling of spatial controls on denitrification at the landscape scale. *Hydrology Journal*. 16: 7. 1437-1450. https://doi.org/10.1002/hyp.354
69. Wolock, D. M., and G. J. McCabe. (1995). Comparison of single and multiple flow direction algorithms for computing topographic parameters in TOPMODEL. *Water Resources*, 31(5):1315-1324. https://doi.org/10.1029/95WR00471
70. Wysocki, D.A., Schoeneberger, P.J., LaGarry, H.E., (2000). Geomorphology of soil landscapes. In: Sumner, M. (Ed.), *CRC handbook of soil science*. CSC Press, New York, pp. E1-E39.
71. Xue, L., Yang, F., Yang, C. (2018). Hydrological simulation and uncertainty analysis using the improved TOPMODEL in the arid Manas River basin, *China. Scientific Reports*, 8, 452. https://doi.org/10.1038/s41598-017-18982-8
72. Yousefzadeh, A., Zeynali, B., Valizadeh Kamran, Kh., Asghari Sar Eskanrood, S. (2019). The Extraction of Flood Potential of Simineh River Basin Applying Satellite Images, Topographic Wetness Index and Morphological Features. *Geography and Sustainability of Environment*, 9 (3), 49-61. doi: 10.22126/GES.2019.4294.2071
73. Zhao, B., Dai, Q., Han, D. (2020). Application of hydrological model simulations in landslide predictions. *Landslides*, 17, 877–891. https://doi.org/10.1007/s10346-019-01296-3
74. Zhu, A.-X., Yang, L., Li, B.-L., Qin, C.-Z., Pei, T., & Liu, B.-Y. (2009). Construction of membership functions for predictive soil mapping under fuzzy logic. *Geoderma*. 155(3-4):164-174. https://doi:10.1016/j.geoderma.2009.05.024.3
75. Zhu, H.D., Shi, Z.H., Fang, N.F., Wu, G.L., Guo, Z.L., Zhang, Y., (2014). Soil moisture response to environmental factors following precipitation events in a small catchment. *Catena*, 120, 73–78. https://doi:10.1016/j.catena.2014.04.003

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-01-02]