Original Article

Journal of Aquifer and Qanat

Spring and Summer 2023, Vol. 4, No. 1, pp 69-80

10.22077/jaaq.2023.5537.1047

Feeding of Underground Aquifers with Quantitative Positioning (A Case Study of Gerbaygan Fasa Watershed)

Sedighe Ebrahimian [1] | Mohamad Nohtani [2]✉ | Hossein Sadeghi Mazidi [3]

1. PhD Student, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Lorestan University, Khorramabad, Iran.
2. Assistant Professor, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Water and Soil, University of Zabol, Zabol, Iran.
3. PhD Graduate, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran.

✉Corresponding Author: M.nohtani@uoz.ac.ir

Received:
18 March 2022

Accepted:
16 June 2022

Published:
20 January 2024

Keywords:

Fundamental Model, Surface Features, Geomorphological Zoning, Artificial Recharge, Garbayegan.

Extended abstract

Introduction

One of the suitable areas for flood diversion is the Grabaigan region in Fars province. Since accurate identification of flood diversion areas makes it possible to distribute water properly and reduce losses in flood situations, accurate identification of geomorphological surface features is essential. The first stage of land surface zoning for various uses is to determine homogeneous areas of the land surface in terms of geomorphological properties. In 2008, Minas and Evans used a combination of drawing and classification methods. In this way, by obtaining the initial zones and fitting relationships to the zones and determining the degree of fit of the zones with acceptable fit, the zones are classified.

Materials and methods

Study area: The study area is the Grabaigan watershed, 190 kilometers southeast of Shiraz, in Fasa County. It is located between longitudes '53 °53 to '57 °53 east longitude and latitudes '35° 28 to '41 °28 north latitude. This area has an altitude of 1120 to 1160 meters above sea level and is located on a shallow cone. The area is 36.31 square kilometers. The average altitude of the basin is 1886 meters.

cite this article: Ebrahimian, S., Nohtani, M. & Sadegi Mazidi, H. (2023). Feeding of underground aquifers with quantitative positioning (A case study of Gerbaygan Fasa watershed). *Journal of Aquifer and Qanat Title*, 4 (1), 69-80. DOI: http//doi.org/10.22077/jaaq.2023.5537.1047

Copyright: © 2022 by the authors. Licensee Journal of Aquifer and Qanat. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Geological characteristics of the Grabaigan plain: Asmari formations of Jahrom, due to their cracks and fissures, are a good source for storing water. The Grabaigan plain was formed on a shallow to relatively deep cone. From the point of view of alluvial deposits, which are in the form of a cone, and play the most important role in the formation of the aquifer of the plain, the sediments forming the aquifer change from coarse-grained to fine-grained from the head of the cone to the slope or its end. (Rahebar et al. 2008). To identify the appropriate location for artificial feeding, the step-wise and linear basic forms were fitted to the ground surface. For the above fitting, digital elevation data with an accuracy of 10 meters from the Mapping Organization was used, and using the surface fitting tool in MATLAB software, the relationship related to each form was fitted to limited pieces, or limited windows, of the surface. These windows are selected in such a way that they have a square shape and, for example, their dimensions are 3 × 3 or 9 × 9. The degree of fit and the parameters of the fitted form are very important for determining the suitability of the piece for artificial feeding. To decide whether the fitted forms are suitable for flood diversion, the RMSE parameter has been used. Through this parameter, the areas suitable for flood diversion are displayed.

Results

One of the most important issues in the construction of a flood diversion system is its optimal location, in this study, quantitative zoning of the ground surface was used using the step-wise basic form. Finally, to determine the areas suitable for flood diversion, RMSE was used, which is a coefficient that indicates the degree of fit of the surface to the model, which is shown in Figure (11). The maximum value of this statistical coefficient is 50.76 and its minimum is zero. According to Figure (11), the maximum values are related to the surroundings of the erosion zone (mountainous areas that extend from east to northwest of the study area), and the minimum values are related to non-erosive areas that include the bottom of the plain. It is observed that the highest is in mountainous and steep areas with large elevation differences and the lowest in the bottom of the plain. According to Figure 11, in the mountainous area at the head of the cone area, the values of suitability score are close to zero, which indicates that these areas due to their high slope and high erosion are very unsuitable for artificial feeding and are shown in red. As can be seen in Figure 11, the most suitable classes for feeding are observed on cones and in the lower parts of the cones, which are seen as strip-shaped and arched areas. The center of the arcs is almost the tip of the cone. The pattern of class placement is as follows: blue spots, indicating the very suitable class, are in the middle and the other classes are arranged in the form of halos or stripes parallel to the red class border. Plain areas such as the lower parts of the cones are in the very unsuitable class, the reason being that these areas are horizontal and do not have the appropriate slope for flood diversion. According to Figure 11, it is clear that there are also areas on the inner surface of the cones that are in the unsuitable class. These surfaces are protruding and have a convex surface, and in some cases, these surfaces also lack.

مقاله پژوهشی

مجله
آبخوان و قنات

دوره چهارم، شماره اول، بهار و تابستان ۱۴۰۲، صفحات ۸۰ - ۶۹

10.22077/jaaq.2023.5537.1047

تغذیه سفره‌های زیرزمینی با مکان‌یابی کمی (مطالعه‌ی موردی حوزه آبخیز گربایگان فسا)

صدیقه ابراهیمیان [۱] | محمد نهتانی [۲]✉ | حسین صادقی مزیدی [۳]

۱. دانشجوی دکتری، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع‌طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران.
۲. استادیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل، زابل، ایران.
۳. دانش‌آموخته دکتری، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران.
✉نویسنده مسئول: M.nohtani@uoz.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۲۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۲۸
تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱۰/۳۰

کلیدواژه‌ها:
مدل‌بنیادی،
عوارض سطحی،
پهنه‌بندی ژئومورفولوژیک،
تغذیه مصنوعی،
گربایگان.

چکیده

پهنه‌هایی که از نظر ژئومورفولوژیک همگن هستند، می‌توانند با یک روش مدیریت شوند. پهنه‌بندی سطح زمین، تشخیص عوارض زمین به‌وسیله ویژگی‌های اساسی سطح مانند ارتفاع، شیب و جهت شیب می‌باشد در این تحقیق به پهنه‌بندی کمی سطح زمین با استفاده‌ی مدل بنیادی پرداخته شد که مدل بنیادی به الگوی از سطح گفته‌می‌شود که دارای شکل خاصی مانند حالت پله‌ای و خطی هستند و با تغییر ضرایب مربوط به آن‌ها شکل کلی خود را حفظ نموده و تنها انحنا و شیب آن‌ها در جهات مختلف تغییر می‌نماید. علت انتخاب این فرم‌ها این است که هر فرم خواص قابل پیش‌بینی از نظر جهت حرکت آب، قابلیت فرسایش‌دهندگی، کاهنده یا افزاینده بودن جریان، قابلیت جمع‌آوری آب را دارد. در این مطالعه به‌منظور تشخیص محدوده‌های مناسب برای تغذیه مصنوعی در منطقه‌ی کوهستانی گهر و دشت گربایگان، در استان فارس، از پهنه‌بندی کمی سطح زمین با برازش فرم بنیادی پله‌ای و خطی، به سطح استفاده گردیده‌است. برای تشخیص بهترین ساختار بنیادی پله‌ای قابل برازش از ساختارهایی با رده درجه‌دو برای پنجره سه‌تایی و از داده‌های حاصل از مدل رقومی ارتفاعی با قدرت تفکیک ۱۰ متری استفاده گردیده‌است. برای تعیین درجه برازش ساختارهای بنیادی از شاخص مجموع اختلاف مربعات اختلافات سطح استفاده شده‌است. با برازش الگوهای قابل‌تفسیر به سطح زمین می‌توان تعیین نمود که زمین به چه الگو و چه مکانیسم تشکیلی شباهت بیش‌تری دارد. مکان‌هایی که در بعد قابل قبول شیب نمی‌باشد (شیب از ۰/۰۰۲ کمتر و از ۰/۱ بیشتر) مقدار صفر درجه برازش را به خود اختصاص داده‌اند و در مخروط‌افکنه و مکان‌هایی که در بازه قابل قبول شیب می‌باشد، مقادیر درجه برازش مثبت می‌باشند. نتایج نشان‌می‌دهد که در آبخیز گربایگان سطوح واقع در پایین دست مخروط افکنه‌ها و دشت‌ها مناسب‌ترین مناطق برای پخش‌سیلاب محسوب می‌شوند.

مقدمه

مکان‌یابی سیستم‌های تغذیه مصنوعی از اصول اساسی ایجاد این سیستم‌ها است، انتخاب محل مناسب بر مبنای واقعیت‌های علمی و طبیعی دارای بزرگ‌ترین نقش در جهت استحکام و کاربری این سیستم‌ها در راستای تحقق اهداف مربوطه می‌باشد (Hekmatpour et al., 2007). از جمله مناطق مناسب برای انجام پخش‌سیلاب، منطقه گربایگان در استان فارس است. از آن‌جایی‌که تعیین دقیق مناطق پخش سیلاب، امکان توزیع مناسب آب و کاهش تلفات را در مواقع سیلابی امکان‌پذیر می‌سازد، تشخیص دقیق عوارض سطحی ژئومورفولوژیک امری ضروری است. اولین مرحله پهنه‌بندی سطح زمین برای کاربری‌های مختلف، تعیین پهنه‌های همگن سطح زمین از نظر خواص ژئومورفولوژیک می‌باشد. پهنه‌هایی که از نظر ژئومورفولوژیک همگن هستند دارای منشأ تشکیل، سرعت تغییرات و عوامل تغییردهنده مشابه بوده و می‌توان برای کاربری‌های مشابه در نظر گرفته شوند یا با روش‌های مشابه مدیریت شوند. مثلاً قطعه‌ای از سطح زمین که از لیتولوژی خاصی بوده و در یک منطقه چین‌خورده واقع شده و فرسایش آن از نوع سطحی است می‌تواند به‌عنوان یک پهنه جدا شود. در مدیریت سطح زمین به‌خصوص در مناطق شکننده‌ای مانند مناطق بیابانی، پهنه‌بندی سطح زمین از نظر ژئومورفولوژی ضروری به نظر می‌رسد. شکل سطح زمین ساختار پیچیده‌ای از فرم‌های مختلف در مقیاس‌های مختلف می‌باشد (Dikau, 1989). رمستارد (Romstard, 2012) سطح زمین را به‌طور پیوسته به واحدهای گسسته‌ای تقسیم‌بندی کرد. در این تقسیم‌بندی واحدهای ژئومورفولوژیک معنی‌داری ایجاد می‌شود. این واحدهای ژئومورفولوژیک نه‌تنها بیانگر فرایندهای تشکل خاصی هستند بلکه در تعامل با خاک، پوشش گیاهی، هیدرولوژی و رژیم‌های گرمایشی می‌باشند. ایشان در مقاله خود به توصیف یک روش جدید برای تقسیم‌بندی سطح زمین با استفاده از انحنای متوسط آبخیز[1] پرداخت. در روش پیشنهادی توسط مینار و ایوانس (Minar and Evans, 2008) ترکیبی از روش‌های ترسیمی و دسته‌بندی مورد استفاده قرار گرفته است. به این صورت که با به‌دست آوردن پهنه‌های اولیه و برازش روابط به پهنه‌ها و تعیین درجه برازش پهنه‌های با برازش مورد قبول پهنه‌های دسته‌بندی می‌شوند. تاکنون تشخیص عوارض ژئومورفولوژیک به‌صورت کیفی انجام گردیده و براساس نظر کارشناس بوده با خطا همراه می‌باشد. لذا استفاده از یک روش کمی و دقیق برای تعیین عوارض ضروری می‌باشد. تاکنون تشخیص عوارض ژئومورفولوژیک به‌صورت کیفی و بر اساس پارامترهای توصیفی زمین مانند ارتفاع، شیب، جنس سازند و وضعیت پوشش گیاهی انجام می‌گرفت که این نوع پهنه‌بندی سلیقه‌ای و کارشناسی بود و در نتیجه پهنه‌بندی‌های به‌دست آمده توسط اشخاص مختلف یکسان نبوده و تشخیص، رخساره‌های با مرزهای دقیق را غیرممکن می‌ساخت همچنین پهنه‌های جداشده دارای پارامترهای شکلی مشخصی برای مقایسه با سایر مناطق نیستند که از میزان دقت کاسته می‌شود، لذا استفاده از یک روش کمی برای تعیین عوارض امری ضروری می‌باشد (Sadeghi Mazidi, 2010). ایوانس و کوکس (Evans and Cox, 1999) در مطالعات به‌روش کیفی مشکلات اساسی که در این راستا وجود دارد. از جمله، بیش‌تر خصوصیات شناخته شده از متغیرهای سطح زمین به‌طور ویژه توصیف شده که تفاوت‌های زیادی از نتایج به‌دست آمده در مراحل متفاوت مشاهده شده‌است. همچنین، ایده‌های تشخیص اشکال و طبقه‌بندی کافی نبوده، و سیستم خصوصیات سطح زمین به نظر می‌رسد که کاملاً استاندارد نبوده است. هدف عمده از این مطالعات این است که ما جزئیات مهم را برای متغیرها و اصول مهمی که چندین خصوصیات متفاوت که به ویژگی‌های سطح زمین بستگی دارد را توصیف می کنیم. نوع دوم، پهنه‌بندی کمی یا روشی است که با استفاده از داده‌های انحنا و مشتقات مختلف ارتفاع و شیب و با به‌کارگیری نرم‌افزارها و روش‌های خودکار تعریف شده و بر اساس معیارهایی پهنه‌بندی انجام می‌گیرد (Shary et al., 2002). در زمینه مکان‌یابی بهینه پخش‌سیلاب به صورت کمی بر اساس پارامترهای شیب، جهت و متغیرهای مورفومتریک مطالعات چندانی صورت نگرفته است. صادقی مزیدی (Sadeghi Mazidi, 2010) برای اولین بار در بخش جویم استان فارس با استفاده از فرم‌های بنیادی رخساره‌های ژئومورفولوژیک سطح زمین را از هم تشخیص داد و با استفاده از منطق فازی

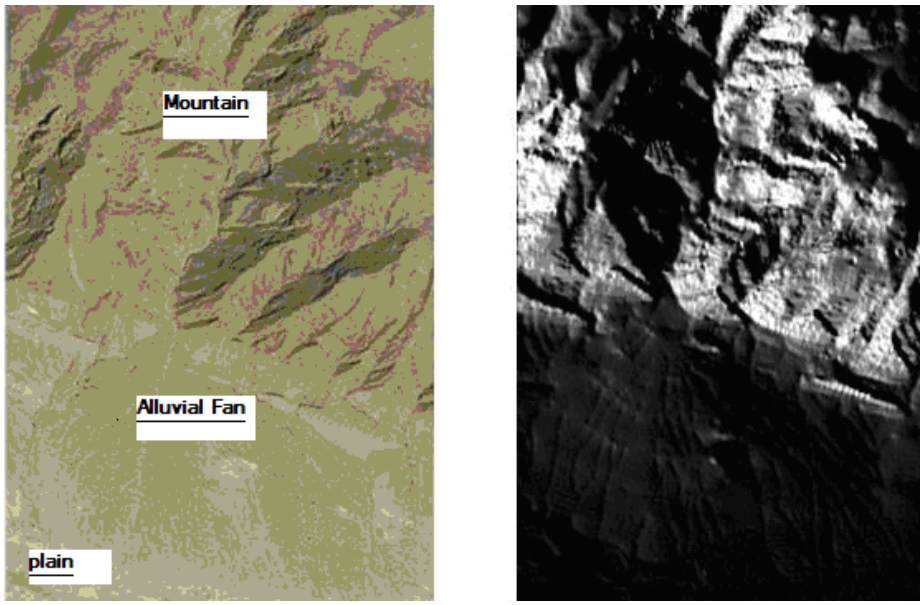
[1] Mean curvature of watershed

مکان‌یابی پخش سیلاب را انجام داد. می‌نار و ایوانز در سال ۲۰۰۸ (Minar and Evans, 2008) برای اولین بار به‌طور ساده با استفاده از منطق فازی سطح زمین را دسته‌بندی کرد و سطوحی را که دارای فرم‌های خطی و دایره‌ای و پله‌ای بودند را از هم تفکیک نمود و درجه تعلق سطح به هر یک از فرم‌های بنیادی را مشخص کرد. لاستوزکین (Lastoczkin, 2005) کاربرد بر مبنای نظری و جامع‌تری از روش ترسیمی برای قطعه‌بندی را بیان کرد. وی در این روش از سطوح مبنایی که شامل خطوط ساختاری و نقاط ویژه هستند استفاده نمود. منظور از خطوط ساختاری، مرز تغییرات در ارتفاع و شیب است و منظور از نقاط ویژه، قله‌ها، انتهای دره‌ها و انتهای خطوط ساختاری مرزهاست. رمستارد (Romstard, 2012) سطح زمین را به‌طور پیوسته به واحدهای گسسته‌ای تقسیم‌بندی کرد. در این تقسیم‌بندی واحدهای ژئومورفولوژیک معنی‌داری ایجاد می‌شود. این واحدهای ژئومورفولوژیک نه‌تنها بیانگر فرایندهای تشکل خاصی هستند، بلکه در تعامل با خاک، پوشش گیاهی، هیدرولوژی و رژیم‌های گرمایشی می‌باشند. ایشان در مقاله خود به توصیف یک روش جدید برای تقسیم‌بندی سطح زمین با استفاده از انحنای متوسط حوضه‌آبخیز (MEC) پرداخت. پیک (Pike, 2012) برای تقسیم‌بندی پهنه‌های سطح زمین از روش طبقه‌بندی پیوسته استفاده گردید با این روش پیچیدگی موجود در تغییرات فرم‌های سطحی قابل تقسیم‌بندی است. در آمایش سرزمین اساس کار و اولین قدم، پهنه‌بندی ژئومورفولوژیک است. با کمک پهنه‌بندی ژئومورفولوژیک می‌توان مناطق همگن را از نظر فرم سطحی تشخیص داد. هدف از انجام این مطالعه مکان یابی بهینه پخش‌سیلاب با استفاده از فرم بنیادی پله‌ای است، که بر اساس ضرایب کمی و معیارهای حاصل روش های می‌نار و ایوانس انجام گرفته است.

مواد و روش‌ها

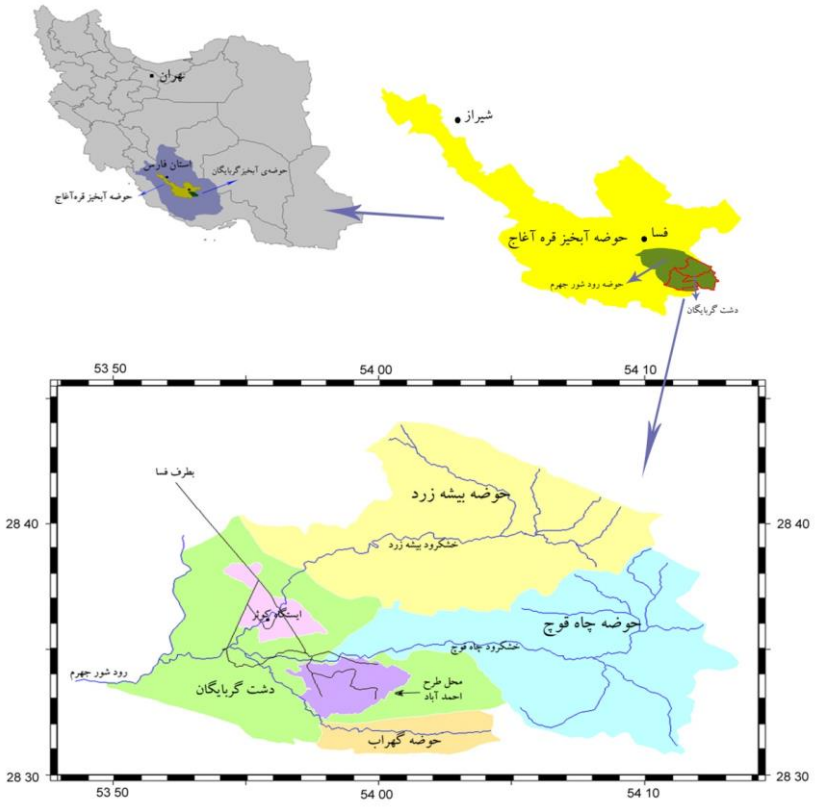
منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه آبخیز گهر در ۱۹۰ کیلومتری جنوب شرق شیراز، در شهرستان فسا می‌باشد. در بین طول جغرافیایی '۵۳ °۵۳ تا '۵۷ °۵۳ طول شرقی و عرض جغرافیایی '۳۵ °۲۸ تا '۴۱ °۲۸ شمالی واقع شده‌است. این منطقه دارای ارتفاع ۱۱۲۰ تا ۱۱۶۰ متر از سطح دریا می‌باشد که بر روی مخروط افکنه‌ای کم عمق به وجود آمده است. وسعت منطقه ۳۱/۳۶ کیلومتر مربع است. متوسط ارتفاع حوزه برابر ۱۸۸۶ متر می‌باشد. منطقه دارای تابستان‌های گرم و خشک و بارش بهاره با تغییرات و نوسانات زیاد می‌باشد. بر اساس طبقه‌بندی دومارتن، منطقه در اقلیم خشک قرار می‌گیرد. متوسط بارندگی سالانه ۲۱۱/۲ میلی‌متر است که کمینه‌ی آن در تیر ماه برابر صفر و بیشینه‌ی آن در دی ماه برابر ۵۳/۸ میلی‌متر می‌باشد (Regional Water Company of Fars Province, 2013). منطقه مورد مطالعه به‌نحوی انتخاب گردیده که نماینده یک منطقه در واحد کوهستانی باشد. شکل ۱ عوارض ژئومورفولوژیکی مشاهده می‌شود. شکل ۱(a) تصویر منطقه مورد مطالعه را در گوگل ارث نشان می‌دهد. بخش میانی تصویر نشان‌دهنده مخروط افکنه، بخش فوقانی کوهستان و عوارض فرسایشی و بخش پایین دست آن دشت را نمایش می‌دهد شکل ۱(b) شیب را در جهت محور X نمایش می‌دهد. شکل ۲ نمای محدوده‌ی مورد مطالعه در استان فارس و ایران که این تصویر با نرم‌افزار جی اس استخراج شده‌است.



شکل ۱. تصویر منطقه در گوگل ارث(a) ، نمایش شیب در جهت محورx (b)

Fig 1. (a) Area image in Google Earth, (b) Slope display in x-axis direction



شکل ۲. موقعیت منطقه گربایگان در استان فارس و ایران

Fig 2. The location of Gerbaigan region in Fars and Iran

ویژگی‌های مناطق مستعد پخش‌سیلاب

ویژگی‌های آب‌شناختی دشت گربایگان سازنده‌ای آسماری جهرم به‌دلیل دارا بودن درز و شکاف، منبع مناسبی برای ذخیره‌ی، آب است. دشت گربایگان بر روی مخروط افکنه ای کم ژرفا تا به نسبت عمیق به وجود آمده است. از لحاظ رسوبات آبرفتی که به‌صورت مخروط‌افکنه است که بیش‌ترین نقش را در تشکیل آبخوان دشت به عهده دارند

ته‌نشست‌های تشکیل‌دهنده‌ی آبخوان از رأس مخروط افکنه به‌طرف دامنه یا انتهای آن، از درشت دانه به ریز دانه تغییر می‌کنند (Rahbar et al., 2009). از لحاظ ساختمان خاک در دشت گربایگان خاکی شن و بدون ساختمان، که میانگین شن، لای و رس آن به‌ترتیب ۷۰، ۱۸ و ۱۲ درصد است، افق A را به ضخامت ۲۰-۱۰ سانتی‌متر، به وجود آورده‌است. افق سنگی و سنگریزه‌ای C مستقیماً در زیر افق A قرار گرفته است (Kowsar, 1994).

روش تحقیق

جهت تشخیص مکان مناسب برای تغذیه مصنوعی فرم های بنیادی پله‌ای و خطی به سطح زمین برازش گردیده، برای انجام برازش فوق از داده‌های رقومی ارتفاعی با دقت ۱۰ متر از سازمان نقشه‌برداری استفاده گردیده و با استفاده از ابزار برازش سطح در نرم‌افزار متلب رابطه مربوطه به هر فرم به قطعات محدود، یا پنجره‌های محدود، از سطح برازش گردیده‌است. این پنجره‌ها به‌نحوی انتخاب می‌شوند که حالت مربعی داشته و مثلاً ابعاد آنها ۳×۳ و یا ۹×۹ باشد. درجه برازش و پارامترهای فرم برازش شده برای تعیین مناسب بودن قطعه برای تغذیه مصنوعی اهمیت زیادی دارند. برای تصمیم‌گیری در این مورد که فرم‌های برازش شده چه میزان برای پخش سیلاب مناسب است از پارامتر RMSE استفاده شده‌است. و از طریق این پارامتر مناطق مناسب برای پخش‌سیلاب نمایش داده‌شده است.

فرم بنیادی مدل پله‌ای (واگرا)

مدل‌های پله‌ای یا واگرا به مدل‌هایی گفته‌می‌شود که پارامترهای ژئومورفولوژیک در یک زاویه شعاعی، ثابت هستند. این مدل بیان کننده این است که حرکت آب روی سطح به‌صورت پیچشی می‌باشد و فرسایش کناره‌ای در پهنه حاکم است. یعنی خطوط هم‌تراز دارای زاویه نسبت به‌هم بوده و موازی نیستند رابطه حاکم برای این مدل به‌صورت (۱) می‌باشد:

$$z = a + b\,arctan\frac{y-q}{x-p} + c\,arctan\left(\frac{y-q}{x-p}\right)^2 + d\,arctan\left(\frac{y-q}{x-p}\right)^3 \quad (۱)$$

پارامتر z در این مدل نیز همان ارتفاع نقاط می‌باشد. پارامتر b در مدل نماینده شیب می‌باشد، زیرا در هر شعاعی یک شیب خاص وجود دارد. پارامتر c در این مدل نماینده انحنای عمودی می‌باشد. پارامتر d در این مدل نیز نماینده تغییرات انحنا می‌باشد که در مدل برازش شده وارد گردیده‌است. عملیات برازش به‌صورت سه جمله‌ای انجام می‌گیرد. ضریب p: این ضریب در مدل پله‌ای نماینده فاصله مرکز چرخش از مرکز پنجره در جهت x می‌باشد. ضریب q: این ضریب در مدل پله‌ای نماینده فاصله مرکز چرخش از مرکز پنجره در جهت y می‌باشد. الگوی شکل مدل پله‌ای به‌صورت شکل شماره (۳) می‌باشد که بیان کننده زاویه بین خطوط توپوگرافی است.

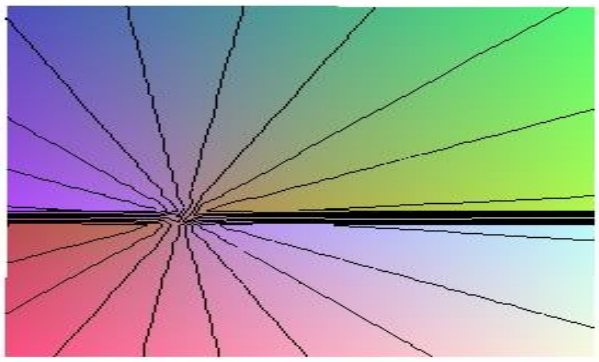
فرم‌بنیادی خطی

فرم بنیادی به الگوهایی از سطح گفته‌می‌شود که دارای شکل خاصی هستند، مانند حالت خطی که با تغییر ضرایب مربوط به آن‌ها شکل کلی خود را حفظ نموده و تنها انحنا و شیب آنها در جهات مختلف تغییر می‌نماید. علت انتخاب این فرم‌ها در مطالعه مربوط به پخش‌سیلاب این است که چون هر فرم خواص قابل پیش‌بینی از نظر جهت حرکت آب، قابلیت فرسایش‌دهندگی، کاهنده یا افزاینده بودن جریان، قابلیت جمع‌آوری آب را دارد، در نهایت بتوان با توجه به ویژگی‌های هر عارضه مناطق مناسب برای تغذیه مصنوعی را به آسانی تشخیص داد. در فرم خطی، سطوح دارای انحنای افقی نبوده و شیب و انحنای سطح در جهت بیش‌ترین شیب تغییر می‌کند. در این فرم خطوط توپوگرافی سطح بدون انحنا و موازی هستند و تنها فاصله آن‌ها تغییر می‌کند. مینار و ایوانس (Minar and Evans, 2008) در این نوع فرم جریان آب یا رسوب به‌صورت مستقیم و موازی در پهنه حرکت کرده و پیچش در جریان و فرسایش کناری در آن دیده نمی‌شود. رابطه برای فرم خطی به‌صورت (۲) است:

$$Z = a + b\,(gx + hy) + c(gx + hy)^2 \quad (۲)$$

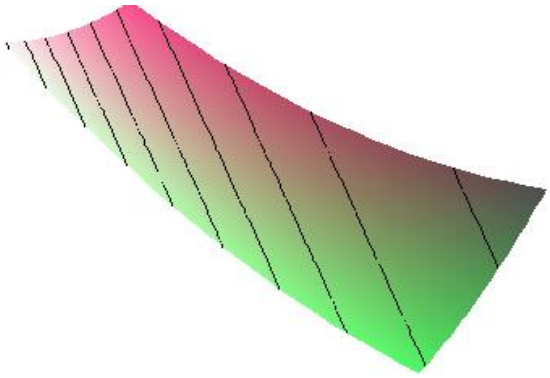
در این رابطه z ارتفاع نقاط، x و y مختصات جغرافیایی نقطه ارتفاعی در سطح می‌باشند. در رابطه ۱ عبارت‌های داخل پرانتز در واقع دارای رابطه‌ای خطی بین هم هستند که در آنها ضرایب g و h در واقع متناسب با شیب‌های سطح در جهات x و y می‌باشد. رابطه (۲) به‌صورتی

نوشته شده که در آن ضرایب a، b، c به‌ترتیب ضرایب برای توان‌های صفر تا ۲ در رابطه خطی ساده داخل پرانتز می‌باشند. رابطه‌ی فوق به‌نحوی می‌باشد که به‌ازای تمام مقادیر ضرایب موجود حالت فرم خطی در آن حفظ می گردد (Sadeghi Mazidi, 2010). در شکل (۴) الگوی این مدل نشان داده‌شده‌است.



شکل ۳. الگوی مدل واگرا پارامترهای ژئومورفولوژیک (صادقی مزیدی ۲۰۱۰)

Fig 3. The pattern of the divergent model of geomorphological parameters (Sadeghi Muzadi 2010)



شکل ۴. الگوی مدل خطی

Fig 4. Linear model pattern

حد مجاز مجموع مربعات میانگین خطا (RMSE).

از بین پارامترهای خروجی در طی فرآیند برازش فرم‌ها به سطح پارامتر آماری مجموع مربعات میانگین خطا است. این پارامتر نشان‌دهنده درجه برازش فرم مربوطه به داده‌های ارتفاعی در هر پنجره بوده و در واقع جذر میانگین مربع اختلاف‌های بین مقادیر ارتفاع مشاهده شده و محاسبه شده در هر پنجره می‌باشد. مقادیر کم این پارامتر نشان‌دهنده برازش مناسب‌تر مدل به داده‌های پنجره مورد نظر می‌باشد. برای تعیین حد قابل قبول برای RMSE از رابطه‌ی ارائه شده توسط مینار و ایوانس (Minar and Evans, 2008) که در زیر ارائه شده استفاده می‌شود:

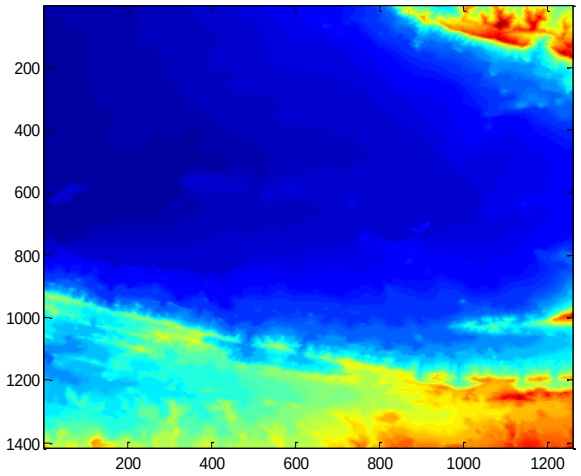
$$MF = 1 - \frac{4\mu}{(o \times tan\delta)} \qquad (۳)$$

در این رابطه Mf مقدار تابع عضویت پنجره‌ی مورد نظر در مدل مربوطه، μ مقدارRMSE محاسبه شده از برازش انجام شده وo طول میانگین ابعاد فرم یا طول پنجره مورد نظر می‌باشد که مثلاً برای پنجره‌ی ۳×۳ برابر با ۲۰ متر می‌باشدδ زاویه حدی بحرانی برای تشخیص سطح صاف از سطح شیب‌دار بوده که برای این مورد برابر با مقدار $\tan\delta$ برابر با ۰/۲ می‌باشد (Minar and Evans, 2008). بر اساس رابطه (۳) برای پنجره‌ای با ابعاد ۳×۳ مقدار RMSE قابل قبول یک و کمتر از یک می‌باشد. هر چه این عدد به صفر نزدیک‌تر باشد درجه برازش مدل به پنجره بیشتر بوده و درجه‌ی عضویت پنجره در مدل مورد نظر بیشتر شده و به یک نزدیک می‌شود. به همین ترتیب در یک پنجره‌ی ۹×۹ میزان RMSE قابل قبول کمتر از ۴ می‌باشد.

نتایج و بحث

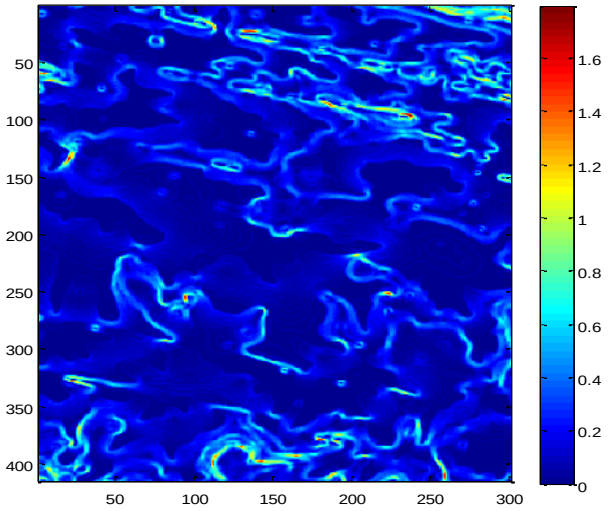
معرفی ضرایب کمی فرم پله‌ای

ضریب a برابر با مقادیر ارتفاع در آن محدوده است. هر چه این ضریب بیشتر باشد به‌دلیل افزایش سرعت جریان و افزایش قابلیت فرسایش‌دهندگی، و کاهش قابلیت پخش آب به‌عنوان نامناسب‌ترین مناطق برای پخش‌سیلاب محسوب می‌شوند که طبق شکل ۳ مناطق کوهستانی و حواشی حوزه فرسایشی به‌عنوان نامناسب‌ترین مناطق پخش‌سیلاب می‌باشد که با رنگ قرمز در شکل ۴ نشان داده‌شده‌است. محدوده‌های حوضه‌های فرسایشی بالادست مخروط‌افکنه‌ها و دشت‌سرهای بالایی مناطق کم ارتفاع تری هستند که با رنگ زرد در شکل ۴ نشان داده شده که تغییر رنگ موجود در محدوده مخروط‌افکنه به‌خوبی تغییر شیب را نشان‌می‌دهد که از لحاظ کلاس مناسب‌بودن پخش‌سیلاب این مناطق نامناسب می‌باشند. مناطق آبی رنگ در شکل ۴ استپ‌های پایین دست مخروط‌افکنه را در بر می‌گیرد که به‌علت شیب مناسب مناطق مناسب برای پخش‌سیلاب محسوب می‌شوند. طبق شکل ۴ و شکل‌های بعدی برای نشان دادن مناطق مناسب پخش سیلاب بر اساس پارامترهای مختلف ژئومورفولوژیک هر چه از رنگ قرمز به‌سمت رنگ آبی می‌رویم میزان مناسب بودن برای پخش سیلاب بیشتر می‌شود. ضریبb نشان دهنده شیب سطح زمین است. برای تعیین این‌که چه مقدار قطعه یا پنجره‌ی مورد نظر از سطح زمین‌بر اساس داده‌های مورفومتریک موجود جهت تغذیه مصنوعی آبخوان مناسب است بر اساس مراجع موجود می‌نار وایوانس مشخص شده‌است که بر اساس آن بیش‌ترین شیب سطح، به‌ترتیب سطح دارای شیب کوچک‌تر از ۰/۰۰۲ بسیار مناسب، سطح دارای شیب بین ۰/۰۰۲ و ۰/۱ مناسب و سطح دارای شیب بزرگ‌تر از ۰/۱ برای تغذیه‌مصنوعی نامناسب می‌باشد. چنان‌که در شکل ۵ مشاهده می‌شود بیش‌ترین مقادیر در حاشیه‌های مرزی حوضه‌های آبریز بالادست مخروط‌ها می‌باشند که به‌دلیل شیب نامناسب برای پخش‌سیلاب بسیار نامناسب است. حداقل مقدار این پارامتر در روی دشت‌ها که با رنگ آبی تیره نمایش داده‌شده‌اند که مناطق نامناسبی برای پخش سیلاب می‌باشد. حالت موجی شکل به‌صورت هاله‌هایی کمانی شکل با رنگ‌های آبی متفاوت بر روی مخروط افکنه‌ها مشاهده می‌شود که در کلاس مناطق مناسب پخش سیلاب می‌باشد که برای علت این موج‌های کمانی شکل می‌توان تغییر شیب مخروط افکنه‌ها به‌دلیل زمان‌های مختلف رسوب‌گذاری بر روی مخروط‌افکنه‌ها ذکر کرد. ضریب c از پارامترهای مهم در ژئومورفولوژی است و بیانگر خط حرکت جریان آب می‌باشد. اگر این ضریب مثبت باشد دارای انحنای طولی یا انحنای عمودی محدب بوده و سرعت جریان آب در آن افزاینده است. ضریب منفی دارای انحنای طولی مقعر و سرعت جریان آب در آن کاهنده می‌باشد. بهترین کلاس انحنای عمودی برای پخش‌سیلاب کلاس کوچک‌تر از صفر است که علت آن این است که سطح، آب را در این حالت جمع می‌کند و کمترین تناسب برای انحنای عمودی کلاس بزرگ‌تر از صفر برای پخش‌سیلاب می‌باشد. طبق شکل ۶ مناطق قرمز رنگ دارای انحنای عمودی مثبت و آبی رنگ دارای انحنا منفی هستند برای مخروط‌افکنه بافت خاصی برای انحنای عمودی وجود دارد. کف دشت فاقد انحنا بوده و دارای مقدار صفر می‌باشد. مشاهده می‌شود که در مناطق کوهستانی و کف دشت محدوده‌های با انحنای عمودی مثبت یا منفی به‌صورت لکه‌های بزرگ‌تر و قطعات پیوسته هستند که روی مخروط‌افکنه‌ها به‌صورت خطوط نازک و عمود بر خطوط توپوگرافی مشاهده می‌شوند. دلیل تناوب انحنا در مخروط‌افکنه وجود حالت رسوب‌گذاری و فرسایش متناوب است. الگوی خاص خطوط در مخروط افکنه به‌دلیل وجود آبراهه‌های متراکم و شعاعی می‌باشد. پایین دست مخروط‌افکنه، تناوب منظم‌تر و به‌صورت خطوط نازک پیوسته بوده و در بالادست مخروط افکنه‌ها رنگ آبی پیوسته دارد که نشان دهنده انحنای منفی (مقعر) می‌باشد.



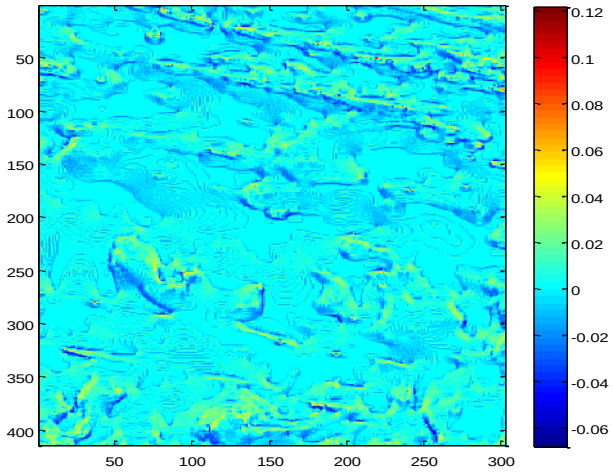
شکل ۵. مقادیر ضریب a برای پنجره سه‌تایی

Fig 5. Values of coefficient a for the triple window



شکل ۶. مقادیر ضریب b برای پنجره سه‌تایی

Fig 6. Values of the coefficient b for the triple window



شکل ۷. مقادیر ضریب c برای پنجره سه‌تایی

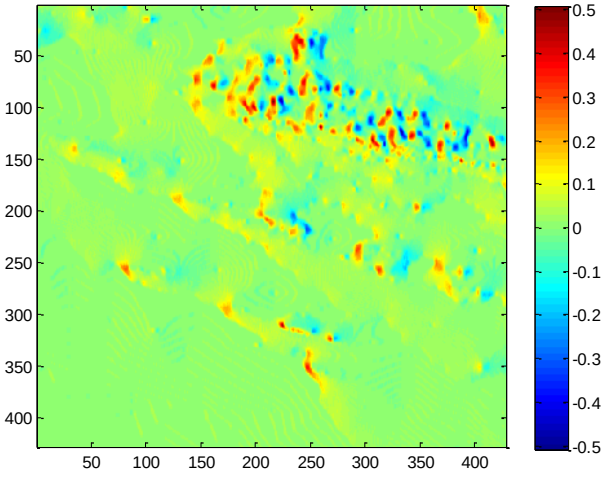
Fig 7. Values of the coefficient c for the triple window

ضریب p_s برای پنجره سه‌تایی

این ضریب بیانگر تغییرات ارتفاع در جهت x می‌باشد. چنان که در شکل (۷) مشاهده می‌گردد. در نیمه بالایی و شرقی منطقه، مقادیر ضریب فوق نزدیک به صفر بوده و در محدوده‌ی کوهستانی مقادیر آن از صفر دور است. این پارامتر نشان‌دهنده شیب منفی یا مثبت در جهت x بوده و برای دامنه‌هایی که رو به غرب و شرق هستند بیش‌ترین مقادیر مطلق را دارد. دامنه‌های روبه غرب رنگ قرمز و شیب مثبت دارند و دامنه‌های روبه شرق رنگ آبی و شیب منفی دارند. مرز بین محدوده‌های قرمز و آبی رنگ خط الرأس و یا خط القعر هستند. و تغییر ناگهانی از رنگ قرمز به آبی نشان دهنده دره یا قله است. مخروط افکنه‌ها نیز در دو طرف دارای تغییر رنگ از سبز به زرد هستند. بر روی قسمت‌های قرمز رنگ نیز حالت ناهمواری‌هایی به صورت تناوب زرد و قرمز مشاهده می‌شود. که نشان‌دهنده زبر بوده سطح می‌باشد.

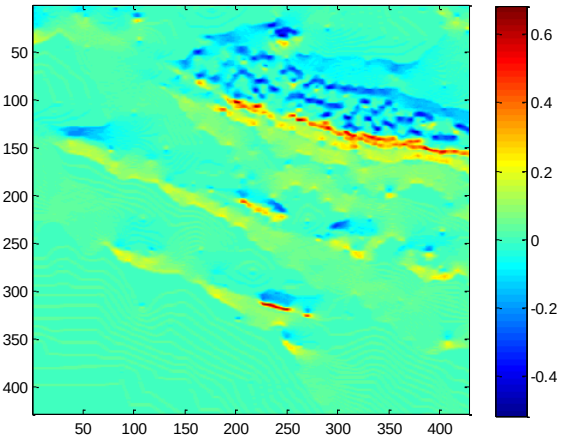
ضریب q_s برای پنجره سه‌تایی

ضریب q_s نشان‌دهنده تغییرات ارتفاع درجه y می‌باشد که در شکل (۸) نشان داده‌شده‌است این ضریب نشان دهنده مولفه‌ی شیب در جهت شمال است. ماکزیمم ضریب q_s بیشتر از ضریب p_s بوده و قدر مطلق مینیمم آن بیشتر از ضریب p_s است که دلیل آن وجود شیب غالب در جهت شمال- جنوب است. بیش‌ترین مقادیر این ضریب در حاشیه‌های شمالی حوضه‌های فرسایشی مشاهده می‌شود. حالت تغییر شیب در سطح مخروط افکنه‌ها به‌خوبی مشاهده می‌شود. دامنه‌های روبه شمال رنگ آبی تیره داشته و دامنه‌های با شیب رو به جنوب زرد رنگ هستند.



شکل ۸. نقشه‌ی مقادیر ضریب p_s برای پنجره سه‌تایی

Fig 8. The map of p_s coefficient values for the triple window

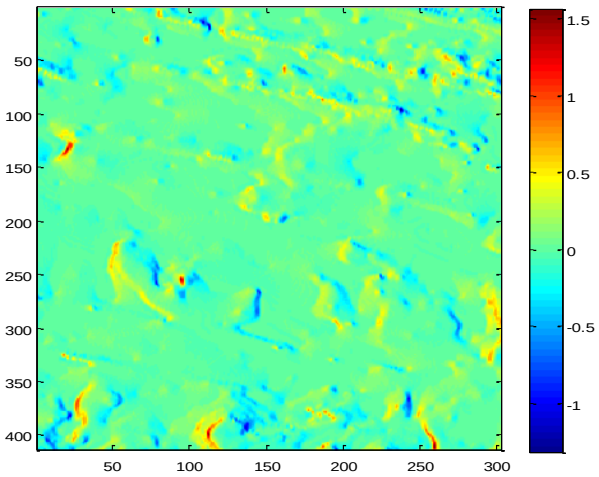


شکل ۹. نقشه‌ی مقادیر ضریب q_s برای پنجره سه‌تایی

Fig 9. Map of q_s coefficient values for the triple window

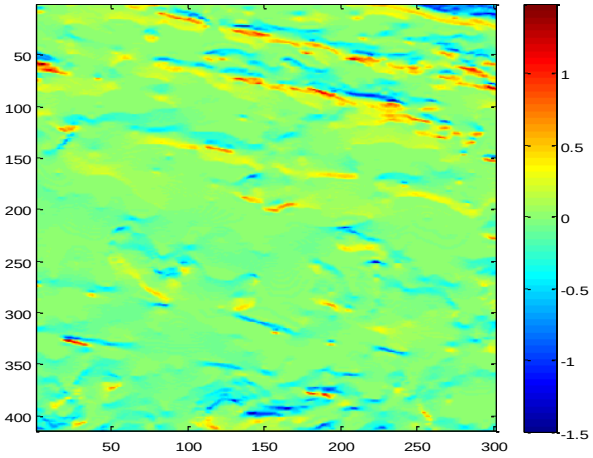
ضرایب مدل خطی

ضریب g در رابطه خطی تغییرات شیب در جهت محور x می‌باشد. که در واقع بیانگر انحنای شیب در جهت اصلی دامنه از قله تا پای شیب می‌باشد و تحدب و تقعر دامنه در جهت بالا و پایین دامنه را نشان‌می‌دهد. که در شکل ۹ تصویر برازش شده این ضریب نشان داده‌شده‌است. در مناطق دشتی و پایین دست مخروط‌افکنه‌ها مقادیر ضریب فوق نزدیک به صفر بوده و در محدوده‌ی کوهستانی مقادیر آن از صفر دور است. این پارامتر نشان دهنده شیب منفی یا مثبت در جهت محور x بوده و برای دامنه‌هایی که رو به غرب و شرق هستند بیش‌ترین مقادیر مطلق را دارد. دامنه‌های روبه غرب رنگ قرمز و شیب مثبت دارند و دامنه‌های روبه شرق رنگ آبی و شیب منفی دارند. مرز بین محدوده‌های قرمز و آبی رنگ خط‌الرأس و یا خط القعر هستند و تغییر ناگهانی از رنگ قرمز به آبی نشان دهنده دره یا قله است و مخروط‌افکنه‌ها نیز در دو طرف دارای تغییر رنگ از سبز به زرد هستند. از لحاظ مناسب ترین مناطق برای پخش‌سیلاب سطوح مقعر که دارای جریان هم‌گرا و دارای قابلیت جمع کردن آب می‌باشد برای پخش‌سیلاب مناسب‌تر است که در شکل ۱۰ استپ های پایین دست مخروط‌افکنه و مناطق دشتی که به‌رنگ سبز و دامنه‌های رو به شرق که دارای شیب منفی و با رنگ آبی نشان داده شده به‌عنوان مناطق مناسب‌تر پخش سیلاب می‌باشد. انحنای شیب در جهت عمود بر شیب اصلی دامنه که با حرف h نشان داده‌می‌شود. در شکل شماره ۱۰ مقادیر ضریب h مشاهده می‌شود. چنانچه در این شکل مشاهده می‌شود دامنه‌های جنوبی دارای مقادیر مثبت می‌باشد که بیش‌ترین مقادیر این ضریب در حاشیه شمالی حوضه‌های فرسایشی کوه گر مشاهده می‌شود که این مناطق به‌دلیل داشتن دامنه‌های مثبت و شکل شیب محدب، آب را پراکنده و دور می‌سازند که به‌رنگ قرمز و زرد در شکل ۱۰ نشان داده‌شده‌است برای پخش‌سیلاب نامناسب می‌باشند. دامنه‌های روبه شمال، رنگ آبی تیره داشته که دارای دامنه‌های منفی و به‌حالت تقعر بوده و آب را متمرکز کرده یا جمع می‌نمایند و برای پخش سیلاب مناسب هستند. طبق شکل ۱۱ مناطق قرمز رنگ دارای انحنای عمودی مثبت و آبی رنگ دارای انحنا منفی هستند برای مخروط‌افکنه بافت خاصی برای انحنای عمودی وجود دارد. کف دشت فاقد انحنا بوده و دارای مقدار صفر می‌باشد. مشاهده می‌شود که در مناطق کوهستانی و کف دشت محدوده‌های با انحنای عمودی مثبت یا منفی به‌صورت لکه‌های بزرگ‌تر و قطعات پیوسته هستند که روی مخروط‌افکنه‌ها به‌صورت خطوط نازک و عمود بر خطوط توپوگرافی مشاهده می‌شوند. دلیل تناوب انحنا در مخروط‌افکنه وجود حالت رسوب‌گذاری و فرسایش متناوب است. الگوی خاص خطوط در مخروط افکنه به‌دلیل وجود آبراهه‌های متراکم و شعاعی می‌باشد. پایین دست مخروط‌افکنه، تناوب منظم‌تر و به‌صورت خطوط نازک پیوسته بوده و در بالادست مخروط افکنه‌ها رنگ آبی پیوسته دارد که نشان‌دهنده انحنای منفی (مقعر) می‌باشد.



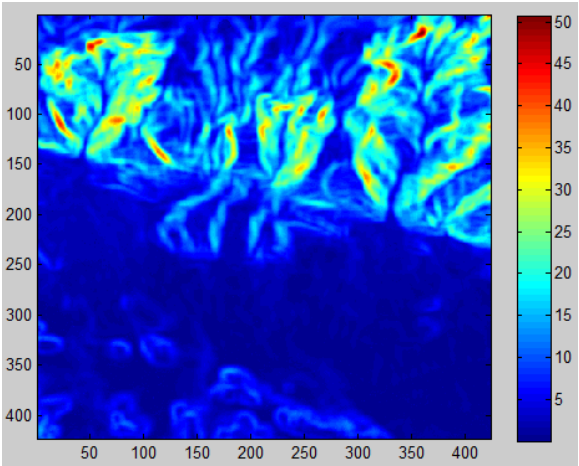
شکل ۱۰. نقشه‌ی مقادیر ضریب g برای پنجره سه‌تایی

Fig 10. The map of g coefficient values for the triple window



شکل ۱۱. نقشه‌ی مقادیر ضریب h برای پنجره سه‌تایی

Fig 11. The map of h coefficient values for the triple window



شکل ۱۲. نقشه‌ی مقادیر ضریب RMSE برای پنجره سه‌تایی

Fig 12. Map of RMSE coefficient values for three window

نتیجه‌گیری

از مهم‌ترین موارد در احداث سامانه پخش سیلاب مکان‌یابی بهینه آن است که در این مطالعه به پهنه‌بندی کمی سطح زمین با استفاده از فرم بنیادی پله‌ای پرداخته شد در نهایت برای تعیین مناطق مناسب برای پخش سیلاب از RMSE استفاده شده‌است که ضریب نشان‌دهنده میزان برازش سطح به مدل است که طبق شکل (۱۱) این ضریب نشان داده است. مقدار حداکثر این ضریب آماری ۵۰/۷۶ و حداقل آن صفر می‌باشد با توجه به‌شکل (۱۱) مقادیر حداکثر مربوط به اطراف منطقه فرسایشی (مناطق کوهستانی که از شرق تا شمال غربی محدوده مورد مطالعه) حداقل‌ها مربوط به مناطق غیر فرسایشی که کف دشت را شامل می‌شود. که بیش‌ترین آن در مناطق کوهستانی و پرشیب با اختلاف ارتفاع زیاد و کم‌ترین آن در کف دشت مشاهده می‌شود. طبق شکل ۱۱ در منطقه کوهستانی در بالادست محدوده‌ی مخروط‌افکنه مقادیر امتیاز مناسب بودن نزدیک به صفر بوده که این مناطق به‌دلیل شیب زیاد و فرسایندگی بالا نشان‌دهنده کلاس بسیار نامناسب برای تغذیه مصنوعی می‌باشد و با رنگ قرمز نمایش داده‌شده‌است. چنان‌که در شکل ۱۱ مشاهده می‌شود مناسب‌ترین کلاس‌ها برای تغذیه بر روی مخروط‌افکنه‌ها و در قسمت‌های پایین دست مخروط‌افکنه مشاهده می‌شود که به‌صورت پهنه‌های نواری شکل و کمانی مشاهده می‌شوند مرکز کمان‌ها تقریباً نوک مخروط می‌باشد. الگوی قرارگیری کلاس‌ها به این صورت است که لکه‌های آبی رنگ که نشان‌دهنده کلاس خیلی مناسب هستند در وسط و کلاس‌های دیگر به‌ترتیب به‌صورت هاله‌ها یا نوارهایی که به موازات مرز کلاس قرمز رنگ هستند در اطراف قرار گرفته‌اند. مناطق دشت مانند پایین دست مخروط‌افکنه‌ها در کلاس بسیار نامناسب هستند که

دلیل آن افقی بودن این مناطق و نداشتن شیب مناسب برای پخش‌سیلاب می‌باشد. با توجه به‌شکل ۱۱ مشخص می‌گردد که در سطح داخلی مخروط‌افکنه‌ها نیز مناطقی هستند که در کلاس نامناسب قرار دارند این سطوح در واقع به‌صورت بیرون زدگی بوده و دارای سطح محدب هستند و در بعضی موارد نیز این سطوح فاقد شرط شیب می‌باشند. نتایج این تحقیق با یافته‌های صادقی مزیدی که برای اولین بار در ایران به پهنه‌بندی کمّی سطح زمین با استفاده از مدل‌های بنیادی پرداخت مطابقت دارد طبق یافته‌های صادقی مزیدی در منطقه کوهستانی و بالادست محدوده مخروط‌افکنه، مقادیر امتیاز مناسب بودن برای تغذیه مصنوعی نزدیک به صفر بوده، و مناسب‌ترین کلاس ها برای تغذیه بر روی مخروط افکنه‌ها و در قسمت‌های پایین دست مخروط‌افکنه می‌باشد.

منابع

Dikau, R. (2020). The application of a digital relief model to landform analysis in geomorphology. In *Three dimensional applications in GIS*, 1-77.

Evans, L. S., and Cox, N. J. (1999). Relations between land surface properties: altitude, slope, and curvature.the effect of flood extraction and distribution on groundwater resources in Gorbayegan plain. *Iranian Journal of Range and Desert Research*,,14 (3), 386-390.

Hekmatpour, M. S., Feyznia, H., Ahmadi, A. and Khalilpur, A. (2007). Zoning of suitable areas for artificial feeding of Varamin plain with the help of GIS and decision support system. *Journal of Environmental Studies*, 42,1-8.

Kowsar, A. (1994). Aquifer: watershed management above and below ground. 4th Iranian Soil Science Congress, Isfahan. [in Persian].

Lastoczkin, A.N. (2005). Relief Zemnoy Poverhnosti (Printsipy MetodyStatisticheskiy Gomorfologii). Nedra, Leningrad. 340pp.

Minar, J., and Evans, I., (2008). Elementary forms for land surface segmentation: The theoretical basis analysis and geomorphological mapping. *Geomorphology*, 95, 236-259.

Pike, R.J. (2012). The geometric signature: quantifying landslide terrain types from digital elevation models. *Mathematical Geology*, 20, 491–511.

Romstard, J., (2012). Two-plus-one-dimensional differential geometry. *Pattern Recognition Letters*, 15: 439– 443.

Regional Water Company of Fars Province. (2013). Studies of artificial feeding plan of Garbayegan Fasa plain. engineering Advisory company.

Rajabi, M. (2001). Landform analysis based on aerial photographs and topographic maps. *Sepehr Quarterly*, 10(40).

Rahbar, Gh. Kawthar, S. And Zare, M. (2009). Flood control and artificial feeding through flood propagation. Fifth National Conference on Watershed Management Science and Engineering of Iran (Sustainable Management of Natural Disasters) Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources.

Richter, H., (1962). Eine neue Methode der grossmassstäbigen Kartierung des Reliefs. *Petermanns Geographische Mitteilungen (Gotha)*. 106, 309–312

Shayan, S. (2009). Course Booklet Preparation and Interpretation of Geomorphological Maps, Tarbiat Modares University.

Sadeghi Mazidi, H. (2010). Quantitative superficial zoning of the earth using basic forms (a case study of Joym section). Master Thesis, Shiraz University of Agriculture and Natural Resources. pp.127.

Shary, P.A., Sharaya, L.S., Mitusov, A.V. (2002). Fundamental quantitative methods of land surface analysis. *Geoderma*, 107,1–32.

Willmott, C. and Matsuura, K. (2005). Advantages of the Mean Absolute Error (MAE) over the Root Mean Square Error (RMSE) in assessing average model performance, Clim. Res., 30, 79–82.

Zarghami. M., Abdi, A., Babaeian, I., Hassanzadeh, Y., and Kanani, R. (2011). Impacts of climate change on runoffs in East Azerbaijan, Journal of Global and Planetary Change 78(3-4), 137-146. [in Persian].