



## The Role of Morphometric Factors in The Development of Gully Erosion Using the Dempster-Shafer Model

Hamzeh Saediyan<sup>1</sup> | Kourosh Shirani<sup>2</sup> | Shahin Aghamirzadeh<sup>3</sup>

1. Corresponding Author, Department of Soil Conservation and Watershed Management Research, Khuzestan Agricultural and Natural Resource Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Ahvaz, Iran. E-mail: [H.saeediyan@ut.ac.ir](mailto:H.saeediyan@ut.ac.ir)

2. Department of Soil and water Conservation. Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran E-mail: [K.shirani@areeo.ac.ir](mailto:K.shirani@areeo.ac.ir)

3. Department of Soil Conservation and Watershed Management Research, Kerman Agricultural and Natural Resource Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Kerman, Iran. E-mail: [Sh.aghamirzadeh@yahoo.com](mailto:Sh.aghamirzadeh@yahoo.com)

### Article Info

**Article type:** Research Article

**Article history:**

**Received:** May. 8, 2026

**Revised:** May. 26, 2026

**Accepted:** June. 3, 2026

**Published online:** June. 2026

**Keywords:**

*Sarab Halil watershed,*

*Gully,*

*Stream,*

*Morphometric factor.*

### ABSTRACT

Nowadays, gully erosion has attracted the attention of different researchers due to the widespread destruction it causes in different climates of the world. In this study, the gullies in Sarab Halil watershed located in Kerman province were identified using field surveys and Google Earth and gullies distribution map with 79 gullies was obtained. In this study, 15 layers of information in the study area were obtained. Considering the overall average of each morphometric factor across all classes, the research results showed that the average uncertainty function or final weight in the shadow and light analysis information layer is 0.5, in the slope aspect information layer is 0.778, in the convex index information layer is 0.5, in the curvature information layer is 0.333, in the curvature classification information layer is 0.333, in the elevation information layer is 0.6, in the length-slope information layer is 0.6, in the slope curvature information layer is 0.333, in the profile curvature information layer is 0.333, in the slope information layer is 0.6, in the stream power information layer is 0.6, in the land surface texture information layer is 0.5, in the watershed area information layer is 0.5, in the topographic moisture information layer is 0.5, and in the vertical distance from the stream information layer is 0.5. Therefore, the information layers of curvature, slope curvature, and curvature profile, as well as curvature classification, equally have the lowest average uncertainty among morphometric factors, while the slope information layer has the highest average uncertainty among morphometric factors. Therefore, the area under the curve (AUC) was 0.846 in the calibration (training) phase of the Dempster-Shafer model and 0.816 in the validation (test) phase. Thus, the Dempster-Shafer model demonstrated a very good ability to predict areas prone to gully erosion using morphometric factors.

Cite this article: Saediyan, H., Shirani, K., & Aghamirzadeh, Sh. (2026). The role of morphometric factors in the development of gully erosion using the Dempster-Shafer model, *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 57 (4), 869-887.

<https://doi.org/10.22059/ijswr.2026.413843.670133>

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.



DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2026.413843.670133>



## EXTENDED ABSTRACT

### Introduction

Nowadays, gully erosion has attracted the attention of different researchers due to the widespread destruction it causes in different climates of the world. Gully erosion is the last stage of the erosion process that has been expanding day by day throughout the world in recent decades due to inappropriate human use of land, and it destroys high-quality lands that cannot be replaced. Currently, there are different methods of controlling gully erosion, each of which is used according to the climate and specific conditions of the region involved in gully erosion. Gully erosion usually does not cover a very large area of watersheds and occurs based on specific conditions. Gully erosion covers less than five percent of watersheds but causes more than 80 percent of basin sediments. For this reason, gully erosion control methods should be developed and various successful experiences of controlling gully erosion around the world should be used in Iranian watersheds. In addition, Gully erosion is the most severe type of water erosion and is one of the main causes of land degradation and needs to be given special attention by researchers and executives in the field of water and soil because any disregard for it causes irreparable damage to the water and soil of the affected areas.

### Materials and Methods

In this study, the gullies in Sarab Halil watershed located in Kerman province were identified using field surveys and Google Earth and gullies distribution map with 79 gullies was obtained. In this study, 15 layers of information in the study area were obtained. In this study, various components of the Dempster-Shafer model, such as the belief coefficient, belief function, disbelief coefficient, disbelief function, and uncertainty, were used, and the final analysis and analysis were based on them. Then, a gully erosion zoning map was obtained using this model, and it was divided into 5 classes: very low, low, medium, high, and very high, and analyzed

### Results and Discussion

Considering the overall average of each morphometric factor across all classes, the research results showed that the average uncertainty function or final weight in the shadow and light analysis information layer is 0.5, in the slope aspect information layer is 0.778, in the convex index information layer is 0.5, in the curvature information layer is 0.333, in the curvature classification information layer is 0.333, in the elevation information layer is 0.6, in the length-slope information layer is 0.6, in the slope curvature information layer is 0.333, in the profile curvature information layer is 0.333, in the slope information layer is 0.6, in the stream power information layer is 0.6, in the land surface texture information layer is 0.5, in the watershed area information layer is 0.5, in the topographic moisture information layer is 0.5, and in the vertical distance from the stream information layer is 0.5.

### Conclusion

Therefore, the information layers of curvature, slope curvature, and curvature profile, as well as curvature classification, equally have the lowest average uncertainty among morphometric factors, while the slope information layer has the highest average uncertainty among morphometric factors. Therefore, the area under the curve (AUC) was 0.846 in the calibration (training) phase of the Dempster-Shafer model and 0.816 in the validation (test) phase. Thus, the Dempster-Shafer model demonstrated a very good ability to predict areas prone to gully erosion using morphometric factors.

### Funding

This article has not received any financial support.

### Author Contributions

Conceptualization; Hamzeh saeediyan, Korush shirani; methodology, Hamzeh saeediyan, Korush shirani and Shahin Aghamirzadeh. formal analysis, Hamzeh saeediyan, Korush shirani; writing-original, Hamzeh saeediyan. project administration, Hamzeh saeediyan, Korush shirani. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript." All authors contributed equally to the conceptualization of the article and writing of the original and subsequent drafts.

### Data Availability Statement

Data available on request from the authors.

### Acknowledgements

The authors would like to thank all participants of the present study. The authors would like to thank Department of Soil Conservation and Watershed Management Research, Kerman Agricultural and Natural Resource Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Kerman for

providing equipments and Facilities.

**Ethical considerations**

All sources were properly acknowledged, and ethical guidelines for citation and academic integrity were fully observed throughout the research and writing process

**Conflict of interest**

The author declares no conflict of interest.

## نقش عوامل مورفومتریک در گسترش فرسایش خندقی با استفاده از مدل دمپسترشفر

حمزه سعیدیان<sup>۱</sup> | کوروش شیرانی<sup>۲</sup> | شاهین آقامیرزاده<sup>۳</sup>۱. نویسنده مسئول، بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات، آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران. رایانامه: [H.saeedian@ut.ac.ir](mailto:H.saeedian@ut.ac.ir)۲. گروه پژوهشی مهندسی حفاظت خاک و آب، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. رایانامه: [K-sh424@yahoo.com](mailto:K-sh424@yahoo.com)۳. بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات، آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کرمان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمان، ایران. رایانامه: [Sh\\_ahamirzadeh@yahoo.com](mailto:Sh_ahamirzadeh@yahoo.com)

## چکیده

## اطلاعات مقاله

امروزه فرسایش خندقی با توجه به تخریب گسترده ای که در اقلیم‌های مختلف دنیا ایجاد می کند بسیار مورد توجه محققان مختلف قرار گرفته است. در این پژوهش خندق‌های موجود در حوزه آبخیز سراب هلیل واقع در استان کرمان با استفاده از پیمایش‌های صحرایی و گوگل ارث شناسایی شدند و نقشه پراکنش خندق‌ها با ۷۹ خندق به دست آمد. در این پژوهش ۱۵ لایه اطلاعاتی عوامل مورفومتریک حوزه مورد مطالعه به دست آمد. با توجه به میانگین کلی هر عامل مورفومتریک در همه طبقات نتایج تحقیق نشان داد که میانگین تابع عدم قطعیت یا وزن نهایی در لایه اطلاعاتی آنالیز سایه و روشن ۰/۵ و در لایه اطلاعاتی جهت شیب ۰/۷۷۸ و در لایه اطلاعاتی شاخص تحدب ۰/۵ و در لایه اطلاعاتی انحناء ۰/۳۳۳ و در لایه اطلاعاتی طبقه بندی انحناء ۰/۳۳۳ و در لایه اطلاعاتی ارتفاع ۰/۶ و در لایه اطلاعاتی طول - شیب ۰/۶ و در لایه اطلاعاتی انحنای دامنه ۰/۳۳۳ و در لایه اطلاعاتی نیمرخ انحناء ۰/۳۳۳ و در لایه اطلاعاتی شیب ۰/۶ و در لایه اطلاعاتی توان آبراهه ۰/۶ و در لایه اطلاعاتی بافت سطح زمین ۰/۵ و در لایه اطلاعاتی مساحت حوزه آبخیز ۰/۵ و در لایه اطلاعاتی رطوبت توپوگرافی ۰/۵ و در لایه اطلاعاتی فاصله عمودی از آبراهه ۰/۵ می باشد. بنابراین لایه‌های اطلاعاتی انحناء، انحنای دامنه و نیمرخ انحناء و طبقه بندی انحناء به طور مساوی دارای کمترین میانگین عدم قطعیت از بین عوامل مورفومتریک می باشد و لایه اطلاعاتی جهت شیب دارای بیشترین میانگین عدم قطعیت از بین عوامل مورفومتریک می باشد. بنابراین سطح زیر منحنی (AUC) در حالت‌های واسنجی (آموزش) مدل دمپسترشفر ۰/۸۴۶ و در حالت اعتبار سنجی (تست) مدل دمپسترشفر ۰/۸۱۶ به دست آمد. بنابراین مدل دمپسترشفر توانایی بسیار خوبی برای پیش بینی مناطق مستعد فرسایش خندقی با استفاده از عوامل مورفومتریک از خود نشان داد.

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۲/۱۸

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۳/۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۳/۱۳

تاریخ انتشار: تیر ۱۴۰۵

## واژه‌های کلیدی:

حوزه آبخیز سراب هلیل،  
خندق،  
آبراهه،  
عامل مورفومتریک

استناد: سعیدیان، حمزه؛ شیرانی، حمزه؛ و آقامیرزاده، شاهین (۱۴۰۵). نقش عوامل مورفومتریک در گسترش فرسایش خندقی با استفاده از مدل دمپسترشفر، مجله

تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۷ (۴)، ۸۸۷-۸۶۹. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2026.413843.670133>

© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2026.413843.670133>

## مقدمه

فرسایش خندقی جدی‌ترین تهدید برای توسعه پایدار اکوسیستم و اقتصاد جهانی است (Zhou et al., 2023). فرسایش خندقی یک شکل شدید از فرسایش خاک است، اما فرایندهای فرسایش داخلی خندق به‌ویژه در مقیاس رویداد بارندگی به خوبی درک نمی‌شود (Wang et al., 2022). فرسایش خندقی آخرین مرحله فرآیند فرسایش است که در دهه‌های اخیر به علت استفاده نامناسب بشر از زمین روز به روز در سراسر دنیا در حال گسترش می‌باشد و زمین‌های مرغوبی را از بین می‌برد که جایگزین شدن آنها امکان‌پذیر نیست. در حال حاضر روش‌های مختلف کنترل فرسایش خندقی وجود دارد که هر کدام با توجه به اقلیم و شرایط خاص منطقه در گیر در فرسایش خندقی مورد استفاده قرار می‌گیرد. فرسایش خندقی معمولاً وسعت خیلی زیادی از حوزه‌های آبخیز را شامل نمی‌شود و بر اساس شرایط خاص به وجود می‌آیند. فرسایش‌های خندقی کمتر از پنج درصد حوزه‌های آبریز را شامل می‌شوند ولی بیش از ۸۰ درصد رسوبات حوضه را موجب می‌گردند (Poesen et al., 1996). مقاومت در برابر فرسایش خاک سر خندق، فرایند برش خندق را تعیین می‌کند و فرسایش خندقی را بیشتر تحت تاثیر قرار می‌دهد (Jiarui, 2023). بدین علت باید روش‌های کنترل فرسایش خندقی توسعه یابد و از تجربه‌های مختلف و موفق کنترل فرسایش خندقی در سراسر دنیا در حوزه‌های آبخیز ایران استفاده کرد. ضمناً فرسایش خندقی شدیدترین نوع فرسایش آبی می‌باشد که از عوامل اصلی تخریب سرزمین است (Sidorchuk et al., 2003; Valentin et al., 2005) و لازم است مورد توجه محققان و مدیران اجرایی در زمینه آب و خاک به طور ویژه قرار گیرد چون هر گونه به توجهمی به آن صدمات جبران ناپذیری به آب و خاک مناطق درگیر وارد می‌کند. بنابراین ارزیابی فرسایش آبی به طور عام و فرسایش خندقی به طور خاص از اهمیت بسزایی برای مدیران و برنامه ریزان در سطوح مختلف مدیریتی برخوردار می‌باشد (Karaburun, 2010; Shruuth et al., 2011). ضمناً انواع فرسایش خاک به ویژه فرسایش خندقی می‌تواند پیامدهای اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی نامطلوبی در بخش‌های مختلف داشته باشد که ممکن است در اقتصاد ملی نقش منفی برجسته ای داشته باشد. به عنوان یک منبع رسوب اولیه، فرسایش خندقی منجر به تخریب شدید زمین می‌شود و تهدیدی برای امنیت غذایی و زیست محیطی است (Huang, 2023). آخرین مرحله فرسایش به گفته اکثر صاحب نظران این علم، فرسایش خندقی است. فرسایش خندقی همواره با تغییر شکل ظاهری زمین نمایان شده و سالانه مقدار قابل ملاحظه ای رسوب تولید می‌نماید. این فرسایش با تخریب اراضی، راه‌های ارتباطی، شبکه‌های آبیاری و آبرسانی و پر نمودن دریاچه پشت سدها موجب بروز خسارت بسیاری می‌گردد.

## پیشینه تحقیق

در سراسر دنیا با توجه به اهمیت بالای فرسایش خندقی تحقیقات مختلفی با موضوعات متفاوت انجام شده است که هر کدام به توجه به عوامل محیطی و مورفومتریکی مختلف در اقلیم‌های مختلف دنیا به نتایج متفاوتی رسیدند و گاهی روش‌های مفید و ارزشمندی نیز برای کنترل فرسایش خندقی ارائه کردند. Farajzadeh et al. (۲۰۱۲) بیان کردند که چهار عامل لیتولوژی، کاربری اراضی، خاک‌شناسی و شاخص رطوبت توپوگرافی مهم‌ترین متغیرهای اثرگذار بر وقوع فرسایش خندقی هستند. صابر چناری و همکاران (۱۳۹۵) بیان کردند نتایج اعتبارسنجی مدل دمپستر شفر با استفاده از منحنی مشخصه عملکرد نسبی و سطح زیر منحنی آن نشان داد مدل دمپستر- شفر با دقت ۹۶/۱ درصد و انحراف معیار ۰/۰۰۳ برای پهنه‌بندی خطر فرسایش خندقی منطقه مطالعه شده مناسب است. شیرانی و ذاکری نژاد (۱۳۹۸) بیان کردند که عوامل ژئومورفومتریکی نقش به‌سزایی در رخداد و حساسیت‌پذیری نسبت به فرسایش خندقی دارند. شادفر و همکاران (۱۴۰۱) بیان کردند بیش‌ترین فرسایش خندقی در اقلیم نیمه خشک، شیب کم‌تر از ۱۲ درصد، کاربری اراضی دیم و بارش کم‌تر از ۴۰۰ میلی‌متر رخ داده است. همچنین شادفر و صوفی (۱۴۰۴) بیان کردند که بیش‌ترین فراوانی خندق‌ها در اقلیم نیمه خشک، زراعت دیم و مربوط به خاک‌هایی با بافت سیلت لوم می‌باشد. Arabameri et al. (۲۰۱۹) از یک متدولوژی ترکیبی نوین به منظور تهیه نقشه حساسیت فرسایش خندقی استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که از بین ۱۲ پارامتر توپوگرافیک، هیدرولوژیک، اقلیمی و محیطی مورد استفاده، پارامترهای فاصله از آبراهه، فاصله از جاده و کاربری اراضی بیشترین تأثیر را در رخداد فرسایش خندقی داشته‌اند. Askari & Shirani (۲۰۲۴) بیان کردند که متغیرهای کاربری زمین، تراکم آبراهه، سنگ‌شناسی، اقلیم، بارش، پوشش گیاهی و بلندی به ترتیب بیشترین تأثیر را در گسترش فرسایش خندقی داشته‌اند. با استفاده از پراکنش رخداد خندق ضمن تعیین آستانه‌های عوامل موثر به کمک مدل‌های مناسب، فرسایش خندقی در سطح وسیع یک حوزه آبخیز را بصورت پهنه‌ای می‌توان برآورد نمود. امروزه روش‌های مختلفی برای تعیین آستانه‌های

عوامل موثر بر فرسایش خندقی با استفاده از مدل سازی متفاوت انجام می شود که یکی از این مدل های استفاده از مدل دمپسترشفر است که در اقلیم های مختلف حساسیت های متفاوتی را از خود نشان می دهد. تعیین آستانه های وقوع فرسایش خندقی در شرایط محیطی مختلف در حوزه آبخیز سراب هلیل در مقیاس حوضه ای با استفاده از مدل های احتمالاتی که دارای دقت قابل قبولی می توانند باشد، ضروری است. ضمناً در سال های اخیر استفاده از تکنیک های RS به صورت فزاینده ای در فراهم آوردن اطلاعات مدیریت آبخیزها به کار می رود (Aabedi et al., 2015; Moine et al., 2009) که این مهم نیز در این پژوهش در مطالعه فرسایش خندقی مورد استفاده گسترده قرار گرفته است. در این پژوهش هدف آن است تا با استفاده از داده های سنجش از دور و مدل رقومی ارتفاعی منطقه و همچنین با استفاده از مدل دمپسترشفر به تعیین نرخ و پیش بینی فرسایش خندقی پرداخته شود. به طور کلی می توان بیان نمود که هزینه پایین جمع آوری داده های ورودی مورد نیاز مدل و صرفه جویی در زمان از امتیازات مهمی است که جنبه اقتصادی روش پژوهش را توجیه می کند. همچنین زمینه های استفاده و کاربرد نتایج این پژوهش را در مدیریت و مهار فرسایش خندقی کشور، صرفه جویی در صرف هزینه های تحقیقاتی برای یافتن و ثبت مکانی فرسایش خندقی، مدیریت هرچه بهتر مخازن آبی سدها با کنترل مناطق تولید رسوب در بالادست، جلوگیری از تخریب سرزمین و کاهش حاصلخیزی اراضی ناشی از فرسایش و تعیین نقاط دارای پتانسیل تولید رسوب به منظور اولویت بندی اقدامات کنترل می توان برشمرد.

## مواد و روش ها

### منطقه مورد مطالعه

حوضه مورد مطالعه در محدوده جغرافیایی  $29^{\circ} 15' 37''$  تا  $29^{\circ} 09' 03''$  عرض جغرافیایی و  $57^{\circ} 13' 00''$  طول شرقی و  $56^{\circ} 59' 48''$  تا  $57^{\circ} 12' 00''$  عرض شمالی در جنوب غربی استان کرمان واقع شده و راه دسترسی به آن از طریق جاده آسفالتی بافت - رابر به شهرستان جیرفت تأمین می شود. این حوضه  $15461/7$  هکتار مساحت دارد. با توجه به آمار هواشناسی سینوپتیک رابر میانگین دمای سالانه  $14/8$  درجه سلسیوس، حداکثر دمای سالانه  $25/8$  درجه و حداقل دما  $3/9$  درجه سلسیوس و متوسط سالانه بارش حوزه  $279/8$  میلی متر می باشد.



شکل ۱. نقشه پراکنش خندق ها و موقعیت حوزه مورد مطالعه در استان و ایران

## روش تحقیق

در این پژوهش خندق‌های موجود در منطقه مورد مطالعه با استفاده از پیمایش‌های صحرایی و گوگل ارث شناسایی شدند و نقشه پراکنش خندق‌ها با ۷۹ خندق به دست آمد که دارای پراکنش مناسبی در سطح حوزه آبخیز مورد مطالعه می‌باشند. از تصاویر ماهواره‌ای نیز برای استخراج و آماده‌سازی نقشه‌های مختلف استفاده شد. سپس ۱۵ لایه اطلاعاتی حوزه مورد مطالعه با ارائه نقشه‌های عوامل موثر بر رخداد فرسایش خندقی شامل شاخص‌های مهم ژئومورفومتری انحناء، انحنای دامنه، شاخص انحنای نیمرخ، شاخص تحدب، شاخص طبقه‌بندی انحناء، شاخص فاصله عمودی از شبکه آبراهه، مساحت حوزه آبخیز، شاخص توان آبراهه، فاکتور طول - شیب آبراهه، شاخص رطوبت توپوگرافی، ارتفاع، شیب، جهت، شاخص آنالیز سایه و روشن، بافت سطح زمین با استفاده از GIS به دست آمدند.



شکل ۲. نمایی از خندق‌های مشاهده شده

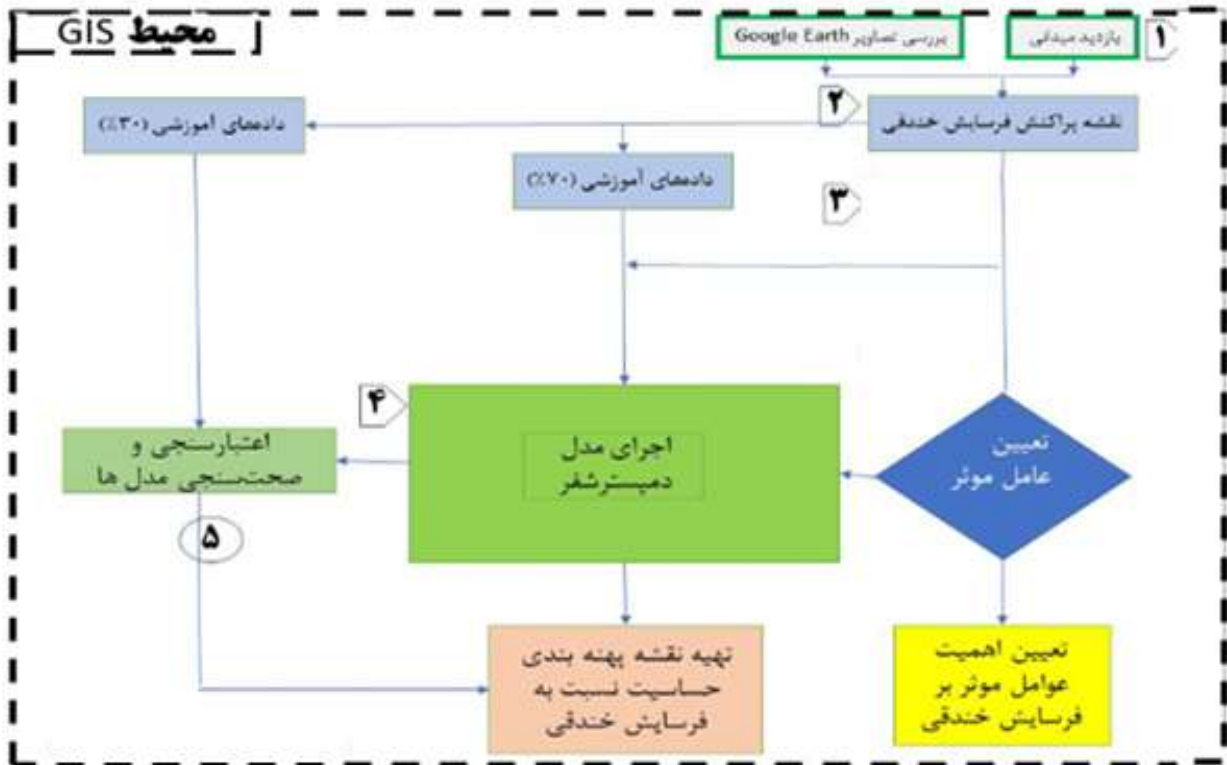
تئوری دمپستر شفر بر اساس باوری است که از شواهد نتیجه می‌شود به طوری که ساختار باور تئوری شاهد به مدل احتمال کلاسیک مربوط است. این تئوری با بحث در باره باورهای موجود از یک وضعیت و یا سیستمی از وضعیت‌ها حائز اهمیت است. توابع باور به صورت زیر محاسبه می‌شوند:

$$Bel: \Omega(\theta) \rightarrow [0,1] \quad Bel(A) = \sum_{B \subset A} m(B)$$

که در این روابط  $Bel(A)$  مقدار کلی احتمالی که باید در میان عناصری از  $A$  باشد را اندازه‌گیری می‌کند و توابع ممکن بودن به صورت زیر محاسبه می‌شوند:

$$Pl(A) = 1 - Bel(\bar{A}) = \sum_{B \cap A \neq \emptyset} m(B) \quad Pl(A): \Omega(\theta) \rightarrow [0,1]$$

$Pl(A)$  درجه باور کلی مربوط به  $A$  را توصیف می‌کند و به منزله حد بالایی روی احتمال  $A$  است. تابع  $Pl(A)$  حداکثر مقدار احتمال را که می‌تواند در میان عناصر  $A$  توزیع شود را اندازه‌گیری می‌کند (محمدی ثابت و همکاران، ۱۳۹۸). مزیت برتری مدل دمپستر شفر استفاده از عدم قطعیت کمی‌سازی می‌باشد. تئوری دمپستر شفر به عنوان ابزاری برای آنالیزکردن عدم قطعیت در تئوری احتمالات نادقیق استفاده می‌شود (Zaman et al., 2011). در این تحقیق از مولفه‌های مختلف مدل دمپسترشفر مانند ضریب باور، تابع باور، ضریب ناباوری، تابع ناباوری و عدم قطعیت استفاده شد و تجزیه و تحلیل‌های نهایی بر اساس آنها صورت گرفت و سپس نقشه پهنه‌بندی فرسایش خندقی با استفاده از این مدل به دست آمد و به صورت پنج طبقه خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تقسیم‌بندی شد و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. در این مدل هر چه عدم قطعیت یا وزن نهایی بیشتر باشد نشان‌دهنده حساسیت کمتر به فرسایش خندقی است.



شکل ۳: نمودار گردش مراحل تحقیق

### یافته‌های پژوهش

نتایج پارامترهای مختلف مدل دمپستر شفر برای ۱۵ عامل مورفومتریک موثر در ایجاد و توسعه فرسایش خندقی در جداول مختلف ذیل ارائه شده است.

جدول ۱. مولفه‌های مختلف مدل دمپستر شفر در لایه اطلاعاتی فاصله عمودی از شبکه آبراهه حوزه آبخیز سراب هلیل

Layername	Classes	درصد مساحت کلاس	درصد مساحت خندق	نسبت فراوانی	تابع باور	تابع ناباوری	عدم قطعیت
فاصله عمودی از آبراهه	-۲۲۰ - -۱۴/۵۳	۲۸/۴۷	۳۷/۳۶	۱/۳۱	۰/۶۲۹	۰/۱۹۸	۰/۱۷۳
	۳/۷۸ - -۱۴/۵۳	۷۰/۹۱	۶۲/۶۴	۰/۸۸	۰/۳۷۱	۰/۳۳۰	۰/۲۹۹
	۱۷/۵۲ - ۳/۷۸	۰/۶۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۲۳۷	۰/۷۶۳
	۱۷۰/۱۸۷ - ۱۷/۵۲	۰/۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۲۳۵	۰/۷۶۵

نتایج تحقیق نشان داد که در مدل دمپستر شفر در لایه اطلاعاتی فاصله عمودی از آبراهه، مقدار تابع عدم قطعیت یا وزن نهایی در طبقه ۲۲۰- تا -۱۴/۵۳ از همه طبقات دیگر کمتر است. بنابراین دارای بیشترین حساسیت نسبت به فرسایش خندقی می‌باشد که با نتایج تحقیق Arabameri et al. (۲۰۱۹) و Shirani (۲۰۲۱) مطابقت دارد و همچنین مقدار تابع عدم قطعیت یا وزن نهایی طبقه ۱۷/۵۲ تا ۱۷۰/۱۸۷ از همه طبقات دیگر بیشتر است. بنابراین دارای کمترین حساسیت نسبت به فرسایش خندقی می‌باشد. به طور کلی با افزایش فاصله عمودی از آبراهه تابع عدم قطعیت در مدل دمپستر شفر افزایش یافته که نشان از کاهش حساسیت به فرسایش خندقی با افزایش فاصله عمودی از آبراهه می‌باشد که علت آن به اثرات متقابل جریان‌های قشری و زیر قشری در فواصل نزدیک به آبراهه ها در ایجاد فرسایش خندقی بر می‌گردد.

جدول ۲. مولفه‌های مختلف مدل دمپستر شفر در لایه اطلاعاتی آنالیز سایه و روشن حوزه آبخیز سراب هلیل

Layername	Classes	درصد مساحت کلاس	درصد مساحت خندق	نسبت فراوانی	تابع باور	تابع ناباوری	عدم قطعیت
آنالیز سایه و روشن	۰/۴۷۱ - ۰/۱۵۸	۷/۶۳	۴/۴۰	۰/۵۸	۰/۱۶۲	۰/۲۵۱	۰/۵۸۷
	۰/۹۲۷ - ۰/۴۷۱	۷۴/۶۶	۷۰/۳۳	۰/۹۴	۰/۲۹۳	۰/۲۹۶	۰/۴۱۰
	۱/۳۸۳ - ۰/۹۲۷	۱۷/۱۲	۲۵/۲۷	۱/۴۸	۰/۵۴۵	۰/۲۱۰	۰/۲۴۵
	۱/۸۳۹ - ۱/۳۸۳	۰/۵۹	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۲۴۲	۰/۷۵۸

نتایج تحقیق نشان داد که در مدل دمپستر شفر در لایه اطلاعاتی آنالیز سایه و روشن، مقدار تابع عدم قطعیت یا وزن نهایی در طبقه ۰/۹۲۷ تا ۱/۳۸۳ از همه طبقات دیگر کمتر است؛ بنابراین دارای بیشترین حساسیت نسبت به فرسایش خندقی می‌باشد و همچنین مقدار تابع عدم قطعیت یا وزن نهایی طبقه ۱/۳۸۳ تا ۱/۸۳۹ از همه طبقات دیگر بیشتر است؛ بنابراین دارای کمترین حساسیت نسبت به فرسایش خندقی است. تابع عدم قطعیت در آنالیز سایه و روشن در ابتدا روند کاهشی را از خود نشان داد و سپس افزایش پیدا می‌کند که علت آن به کوهستانی بودن بیشتر منطقه و در بعضی مناطق، هموار و کم شیب بودن منطقه اشاره دارد که در تغییرات نقشه سایه و روشن نقش بسزایی را ایفاء می‌کنند.

جدول ۳. مولفه‌های مختلف مدل دمپستر شفر در لایه اطلاعاتی جهت دامنه حوزه آبخیز سراب هلیل

Layername	Classes	درصد مساحت کلاس	درصد مساحت خندق	نسبت فراوانی	تابع باور	تابع ناباوری	عدم قطعیت
جهت شیب	North	۱۷/۴۸	۱۸/۶۸	۱/۰۷	۰/۱۱۳	۰/۱۰۹	۰/۷۷۸
	Northeast	۸/۱۳	۵/۴۹	۰/۶۸	۰/۰۶۴	۰/۱۱۵	۰/۸۲۱
	East	۴/۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۱۱۷	۰/۸۸۳
	Southeast	۴/۴۶	۱/۱۰	۰/۲۵	۰/۰۲۱	۰/۱۱۶	۰/۸۶۳
	South	۱۰/۳۱	۲۵/۲۷	۲/۴۵	۰/۴۴۸	۰/۰۸۸	۰/۴۶۴
	Southwest	۱۴/۷۰	۲۳/۰۸	۱/۵۷	۰/۱۹۶	۰/۰۹۷	۰/۷۰۷
	West	۱۷/۰۵	۱۹/۷۸	۱/۱۶	۰/۱۲۶	۰/۱۰۶	۰/۷۶۸
	Northwest	۱۷/۸۲	۶/۵۹	۰/۳۷	۰/۰۳۲	۰/۱۳۱	۰/۸۳۶
	Flat (0-5%)	۶/۰۳	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۱۲۰	۰/۸۸۰

نتایج تحقیق نشان داد که در مدل دمپستر شفر در لایه اطلاعاتی جهت دامنه، مقدار تابع عدم قطعیت یا وزن نهایی در جهت جنوب دامنه دارای عدم قطعیت ۰/۴۶۴ است؛ که دارای کمترین مقدار نسبت به جهت‌های مختلف دیگر می‌باشد. بنابراین دارای بیشترین حساسیت نسبت به فرسایش خندقی است که علت آن به کاهش پوشش گیاهی و همچنین زاویه تابش خورشید و تأثیری که در کاهش رطوبت خاک دارد بر می‌گردد. مقدار تابع عدم قطعیت یا وزن نهایی در جهت شرق دامنه دارای عدم قطعیت ۰/۸۸۳ است که دارای بیشترین مقدار نسبت به جهت‌های مختلف دیگر می‌باشد؛ بنابراین دارای کمترین حساسیت نسبت به فرسایش خندقی است که علت آن به پوشش گیاهی مناسب در این دامنه بر می‌گردد. به طور کلی همه جهت‌های دامنه در ایجاد فرسایش خندقی به طور کم و زیاد موثر هستند که با نتایج تحقیق Shadfar (۲۰۱۰) مطابقت دارد.

جدول ۴. مولفه‌های مختلف مدل دمپستر شفر در لایه اطلاعاتی شاخص تحذب حوزه آبخیز سراب هلیل

Layername	Classes	درصد مساحت کلاس	درصد مساحت خندق	نسبت فراوانی	تابع باور	تابع ناباوری	عدم قطعیت
شاخص تحذب	>۱۶-	۵/۶۰	۲/۲۰	۰/۳۹	۰/۱۲۲	۰/۲۶۶	۰/۶۱۲
	-۱۶ - -۰/۲	۴۲/۰۵	۴۶/۱۵	۱/۱۰	۰/۴۱۴	۰/۲۳۱	۰/۳۵۴
	۱۶ - -۰/۲	۴۷/۰۱	۵۰/۵۵	۱/۰۸	۰/۴۰۳	۰/۲۳۳	۰/۳۶۴
	۱۰۰ - ۱۶	۵/۳۳	۱/۱۰	۰/۲۱	۰/۰۶۱	۰/۲۶۹	۰/۶۷۰

نتایج تحقیق نشان داد که در مدل دمپستر شفر در لایه اطلاعاتی شاخص تحذب، مقدار تابع عدم قطعیت یا وزن نهایی در طبقه ۰/۲ تا ۱۶- از همه طبقات دیگر کمتر است؛ بنابراین دارای بیشترین حساسیت نسبت به فرسایش خندقی می‌باشد. همچنین مقدار تابع عدم قطعیت یا وزن نهایی طبقه ۱۶ تا ۱۰۰ از همه طبقات دیگر بیشتر است؛ بنابراین دارای کمترین حساسیت نسبت به فرسایش خندقی است. تغییرات تابع عدم قطعیت در طبقات شاخص تحذب نسبتاً زیاد است و روند ثابتی را طی نمی‌کند که احتمالاً به تغییرات در میزان خاک موجود در دامنه‌ها بر می‌گردد.



جدول ۵. مولفه‌های مختلف مدل دمپستر شفر در لایه اطلاعاتی شاخص انحنا حوزه آبخیز سراب هلیل

Layername	Classes	درصد مساحت کلاس	درصد مساحت خندق	نسبت فراوانی	تابع باور	تابع ناباوری	عدم قطعیت
انحنا	concave (-۱۴/۰۸ - -۱/۲۶)	۲۰/۲۵	۲۹/۶۷	۱/۴۷	۰/۵۱۵	۰/۲۷۸	۰/۲۰۶
	Flat (-۱/۲۶ - ۰/۹۶)	۵۷/۱۵	۵۳/۸۵	۰/۹۴	۰/۲۸۰	۰/۳۶۰	۰/۳۵۹
	convex (۰/۹۶ - ۱۵/۵۲)	۲۲/۶۰	۱۶/۴۸	۰/۷۳	۰/۲۰۴	۰/۳۶۱	۰/۴۳۴

نتایج تحقیق نشان داد که در مدل دمپستر شفر در لایه اطلاعاتی انحنا، مقدار تابع عدم قطعیت یا وزن نهایی در طبقه مقعر ۰/۲۰۶ می‌باشد که از همه طبقات دیگر کمتر است؛ بنابراین دارای بیشترین حساسیت نسبت به فرسایش خندقی می‌باشد که علت آن به شستشوی بیشتر خاک و ایجاد سرعت مناسب رواناب برای فرسایش بر می‌گردد. همچنین مقدار تابع عدم قطعیت یا وزن نهایی طبقه محدب ۰/۴۳۴ می‌باشد که از همه طبقات دیگر بیشتر است؛ بنابراین دارای کمترین حساسیت نسبت به فرسایش خندقی است.

جدول ۶. مولفه‌های مختلف مدل دمپستر شفر در لایه اطلاعاتی شاخص طبقه‌بندی انحنا حوزه آبخیز سراب هلیل

Layername	Classes	درصد مساحت کلاس	درصد مساحت خندق	نسبت فراوانی	تابع باور	تابع ناباوری	عدم قطعیت
طبقه بندی انحنا	۰-۲	۴۴/۵۶	۵۷/۱۴	۱/۲۸	۰/۴۸۷	۰/۲۴۴	۰/۲۶۹
	۲-۶	۲۳/۳۵	۱۹/۷۸	۰/۸۵	۰/۲۸۲	۰/۳۵۸	۰/۳۶۰
	۶-۸	۳۲/۰۹	۲۳/۰۸	۰/۷۲	۰/۲۳۱	۰/۳۹۸	۰/۳۷۱

نتایج تحقیق نشان داد که در مدل دمپستر شفر در لایه اطلاعاتی طبقه‌بندی انحنا، مقدار تابع عدم قطعیت یا وزن نهایی در طبقه ۰-۲ از همه طبقات دیگر کمتر است؛ بنابراین دارای بیشترین حساسیت نسبت به فرسایش خندقی است. همچنین مقدار تابع عدم قطعیت یا وزن نهایی طبقه ۶-۸ از همه طبقات دیگر بیشتر است؛ بنابراین دارای کمترین حساسیت نسبت به فرسایش خندقی می‌باشد.

جدول ۷. مولفه‌های مختلف مدل دمپستر شفر در لایه اطلاعاتی ارتفاع حوزه آبخیز سراب هلیل

Layername	Classes	درصد مساحت کلاس	درصد مساحت خندق	نسبت فراوانی	تابع باور	تابع ناباوری	عدم قطعیت
ارتفاع	۲۰۰۰>	۳/۶۸	۷/۶۹	۲/۰۹	۰/۱۵۷	۰/۱۸۶	۰/۶۵۷
	۲۰۰۰-۲۵۰۰	۶۰/۰۴	۵۹/۳۴	۰/۹۹	۰/۰۵۰	۰/۲۰۱	۰/۷۴۹
	۲۵۰۰-۲۷۵۰	۱۵/۳۴	۲/۲۰	۰/۱۴	۰/۰۰۶	۰/۲۳۹	۰/۷۵۶
	۲۷۵۰-۳۰۰۰	۱۲/۳۵	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۲۳۵	۰/۷۶۵
	۳۰۰۰<	۸/۵۹	۳۰/۷۷	۳/۵۸	۰/۷۸۸	۰/۱۳۹	۰/۰۷۳

نتایج تحقیق نشان داد که در مدل دمپستر شفر در لایه اطلاعاتی ارتفاعی، مقدار تابع عدم قطعیت یا وزن نهایی در طبقه بیشتر از ۳۰۰۰ از همه طبقات دیگر کمتر است؛ بنابراین دارای بیشترین حساسیت نسبت به فرسایش خندقی می‌باشد که علت آن به افزایش شدت بارندگی در این مناطق بر می‌گردد. همچنین مقدار تابع عدم قطعیت یا وزن نهایی طبقه ۲۷۵۰ تا ۳۰۰۰ از همه طبقات دیگر بیشتر است؛ بنابراین دارای کمترین حساسیت نسبت به فرسایش خندقی می‌باشد. به طور کلی با افزایش ارتفاع میزان عدم قطعیت بیشتر یعنی میزان حساسیت به فرسایش خندق کمتر می‌شود و سپس میزان عدم قطعیت در ارتفاعات بالاتر کاهش پیدا می‌کند که نشان دهنده افزایش حساسیت به فرسایش خندقی است و در این میان نقش شدت بارندگی نیز حائز اهمیت است.

جدول ۸. مولفه‌های مختلف مدل دمپستر شفر در لایه اطلاعاتی فاکتور طول - شیب آبراهه حوزه آبخیز سراب هلیل

Layername	Classes	درصد مساحت کلاس	درصد مساحت خندق	نسبت فراوانی	تابع باور	تابع ناباوری	عدم قطعیت
طول - شیب	۰ - ۱۰/۹۵	۵۲/۶۴	۳۰/۷۷	۰/۵۸	۰/۱۱۳	۰/۳۲۴	۰/۵۶۳
آبراهه	۶۰/۲۵ - ۱۰/۹۵	۴۵/۲۵	۶۵/۹۳	۱/۴۶	۰/۳۶۶	۰/۱۰۷	۰/۵۲۷
	۱۸۶/۲ - ۶۰/۲۵	۱/۸۲	۳/۳۰	۱/۸۲	۰/۵۲۱	۰/۱۸۷	۰/۲۹۲
	۴۶۵/۵۸ - ۱۸۶/۲	۰/۳۴	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۱۹۱	۰/۸۰۹
	۱۴۰۲/۲۲ - ۴۶۵/۵۸	۰/۰۵	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۱۹۱	۰/۸۰۹

نتایج تحقیق نشان داد که در مدل دمپستر شفر در لایه اطلاعاتی طول-شیب آبراهه، مقدار تابع عدم قطعیت یا وزن نهایی در طبقه ۶۰/۲۵ تا ۱۸۶/۲ از همه طبقات دیگر کمتر است؛ بنابراین دارای بیشترین حساسیت نسبت به فرسایش خندقی می‌باشد. همچنین مقدار تابع عدم قطعیت یا وزن نهایی طبقات ۱۸۶/۲ تا ۴۶۵/۵۸ و ۴۶۵/۵۸ تا ۱۴۰۲/۲۲ از همه طبقات دیگر بیشتر است؛ بنابراین دارای کمترین حساسیت نسبت به فرسایش خندقی می‌باشد. به طور کلی با افزایش طول-شیب آبراهه بر میزان عدم قطعیت افزوده شده که نشان‌دهنده کاهش میزان فرسایش خندقی است که علت آن نیز به اثر متقابل سایر عوامل موثر در کاهش و افزایش فرسایش خندقی با افزایش طول شیب بر می‌گردد.

جدول ۹. مولفه‌های مختلف مدل دمپستر شفر در لایه اطلاعاتی شاخص نیمرخ انحنا حوزه آبخیز سراب هلیل

Layername	Classes	درصد مساحت کلاس	درصد مساحت خندق	نسبت فراوانی	تابع باور	تابع ناباوری	عدم قطعیت
نیمرخ انحنا	convex (-۱۲/۴۵ - -۰/۱)	۴۱/۴۴	۳۰/۷۷	۰/۷۴	۰/۲۶۴	۰/۴۲۲	۰/۳۱۵
	Flat (-۰/۱ - ۰/۱)	۱۱/۰۶	۵/۴۹	۰/۵۰	۰/۱۶۵	۰/۳۶۵	۰/۴۷۰
	Concave (۰/۱ - ۹/۸۳)	۴۷/۴۹	۶۳/۷۴	۱/۳۴	۰/۵۷۱	۰/۲۱۳	۰/۲۱۵

نتایج تحقیق نشان داد که در مدل دمپستر شفر در لایه اطلاعاتی نیمرخ انحنا، مقدار تابع عدم قطعیت یا وزن نهایی در طبقه مقعر از همه طبقات دیگر کمتر است؛ بنابراین دارای بیشترین حساسیت نسبت به فرسایش خندقی می‌باشد. همچنین مقدار تابع عدم قطعیت یا وزن نهایی طبقه هموار از همه طبقات دیگر بیشتر است؛ بنابراین دارای کمترین حساسیت نسبت به فرسایش خندقی است که علت آن به شرایط مناسب پوشش گیاهی و شیب مناسب بر می‌گردد.

جدول ۱۰. مولفه‌های مختلف مدل دمپستر شفر در لایه اطلاعاتی انحنا دامنه حوزه آبخیز سراب هلیل

Layername	Classes	درصد مساحت کلاس	درصد مساحت خندق	نسبت فراوانی	تابع باور	تابع ناباوری	عدم قطعیت
انحنای دامنه	concave (-۱۰/۶۳ - -۰/۱)	۴۲/۴۵	۵۶/۰۴	۱/۳۲	۰/۵۴۳	۰/۲۴۰	۰/۲۱۷
	Flat (-۰/۱ - ۰/۱)	۱۴/۰۰	۶/۵۹	۰/۴۷	۰/۱۵۱	۰/۳۷۵	۰/۴۷۴
	Convex (۰/۱ - ۱۰/۸۵)	۴۳/۵۵	۳۷/۳۶	۰/۸۶	۰/۳۰۶	۰/۳۸۶	۰/۳۰۸

نتایج تحقیق نشان داد که در مدل دمپستر شفر در لایه اطلاعاتی انحنا دامنه، مقدار تابع عدم قطعیت یا وزن نهایی در طبقه مقعر ۰/۲۱۷ می‌باشد که از همه طبقات دیگر کمتر است؛ بنابراین بیشترین حساسیت را به فرسایش خندقی از خود نشان می‌دهد و طبقه هموار یا صاف دارای تابع عدم قطعیت ۰/۴۷۴ می‌باشد که از همه طبقات دیگر بیشتر است؛ بنابراین کمترین حساسیت را نسبت به فرسایش خندقی از خود نشان می‌دهد.



جدول ۱۱. مولفه‌های مختلف مدل دمپستر شفر در لایه اطلاعاتی شیب حوزه آبخیز سراب هلیل

Layername	Classes	درصد مساحت کلاس	درصد مساحت خندق	نسبت فراوانی	تابع باور	تابع ناباوری	عدم قطعیت
شیب	۵-۰	۶/۰۳	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۲۱۷	۰/۷۸۳
	۵-۱۲	۱۹/۷۶	۱۲/۰۹	۰/۶۱	۰/۱۲۲	۰/۲۲۶	۰/۶۵۲
	۱۲-۲۵	۲۷/۱۲	۲۱/۹۸	۰/۸۱	۰/۱۷۱	۰/۲۱۹	۰/۶۱۰
	۲۵-۴۰	۲۱/۵۰	۲۵/۲۷	۱/۱۸	۰/۲۷۷	۰/۱۸۸	۰/۵۳۶
	۴۰ <	۲۵/۵۹	۴۰/۶۶	۱/۵۹	۰/۴۳۰	۰/۱۵۰	۰/۴۳۰

نتایج تحقیق نشان داد که در مدل دمپستر شفر در لایه اطلاعاتی شیب، مقدار تابع عدم قطعیت یا وزن نهایی در طبقه بیشتر از ۴۰ درصد از طبقات دیگر کمتر است؛ بنابراین بیشترین حساسیت نسبت به فرسایش خندقی را از خود نشان داد. علت آن به وجود شیب زیاد همراه با بارندگی مناسب و افزایش رواناب بر می‌گردد که با نتایج تحقیق Nekoemehr et al. (۲۰۱۱) و Shirani (۲۰۲۱) و Mortezae frezhandi (۲۰۰۵) مطابقت دارد. مقدار تابع عدم قطعیت یا وزن نهایی در طبقه ۵-۰ درصد ۰/۷۸۳ است که نسبت به طبقات دیگر بیشترین مقدار می‌باشد؛ بنابراین کمترین حساسیت را نسبت به فرسایش خندقی از خود نشان داد.

جدول ۱۲. مولفه‌های مختلف مدل دمپستر شفر در لایه اطلاعاتی شاخص توان آبراهه حوزه آبخیز سراب هلیل

Layername	Classes	درصد مساحت کلاس	درصد مساحت خندق	نسبت فراوانی	تابع باور	تابع ناباوری	عدم قطعیت
توان آبراهه	۱۴ - - ۹	۱۱/۷۳	۴/۴۰	۰/۳۷	۰/۰۶۵	۰/۲۲۳	۰/۷۱۲
	۹ - - ۴	۲۶/۸۹	۱۶/۴۸	۰/۶۱	۰/۱۱۳	۰/۲۳۹	۰/۶۴۸
	۴ - - ۰	۲۸/۶۳	۲۷/۴۷	۰/۹۶	۰/۱۹۵	۰/۲۰۵	۰/۶۰۰
	۵ - ۰	۲۹/۶۱	۴۹/۴۵	۱/۶۷	۰/۴۲۹	۰/۱۳۳	۰/۴۳۸
	۵ - ۱۰/۶	۲/۲۶	۲/۲۰	۰/۹۷	۰/۱۹۸	۰/۲۰۱	۰/۶۰۱

نتایج تحقیق نشان داد که در مدل دمپستر شفر در لایه اطلاعاتی توان آبراهه، مقدار تابع عدم قطعیت یا وزن نهایی در طبقه ۵-۰ از همه طبقات دیگر کمتر است؛ بنابراین دارای بیشترین حساسیت نسبت به فرسایش خندقی می‌باشد. همچنین مقدار تابع عدم قطعیت یا وزن نهایی در طبقه ۱۴-۹ تا ۹-۰ از همه طبقات دیگر بیشتر است؛ بنابراین دارای کمترین حساسیت نسبت به فرسایش خندقی می‌باشد.

جدول ۱۳. مولفه‌های مختلف مدل دمپستر شفر در لایه اطلاعاتی بافت سطح زمین حوزه آبخیز سراب هلیل

Layername	Classes	درصد مساحت کلاس	درصد مساحت خندق	نسبت فراوانی	تابع باور	تابع ناباوری	عدم قطعیت
بافت سطح زمین	۲۲/۱۸ - ۳/۱۸	۱۲/۵۱	۲/۲۰	۰/۱۸	۰/۰۳۷	۰/۲۹۰	۰/۶۷۴
	۳۳/۳۷ - ۲۲/۱۸	۱۹/۳۲	۶/۵۹	۰/۳۴	۰/۰۷۴	۰/۳۰۴	۰/۶۲۲
	۴۱/۸۱ - ۳۳/۳۷	۳۸/۶۴	۳۶/۲۶	۰/۹۴	۰/۲۳۹	۰/۲۶۳	۰/۴۹۸
	۶۸/۶۸ - ۴۱/۸۱	۲۹/۵۲	۵۴/۹۵	۱/۸۶	۰/۶۵۰	۰/۱۴۴	۰/۲۰۶

نتایج تحقیق نشان داد که در مدل دمپستر شفر در لایه اطلاعاتی بافت سطح زمین، مقدار تابع عدم قطعیت یا وزن نهایی در طبقه ۴۱/۸۱ تا ۶۸/۶۸ از همه طبقات دیگر کمتر است؛ بنابراین دارای بیشترین حساسیت نسبت به فرسایش خندقی می‌باشد و در طبقه ۳/۱۸ - ۲۲/۱۸ مقدار تابع عدم قطعیت یا وزن نهایی ۰/۶۷۴ می‌باشد که از همه طبقات دیگر بیشتر است و نشان‌دهنده کمترین حساسیت نسبت به فرسایش خندقی می‌باشد. بنابراین به طور کلی در بافت سطح زمین میزان عدم قطعیت در طبقات بالاتر کاهش یافته که نشان‌دهنده

تاثیر بسیار زیاد زبری و درشتی سطح زمین در کاهش یا افزایش فرسایش خندقی می‌باشد.

جدول ۱۴. مولفه‌های مختلف مدل دمپستر شفر در لایه اطلاعاتی مساحت حوزه آبخیز سراب هلیل

Layername	Classes	درصد مساحت کلاس	درصد مساحت خندق	نسبت فراوانی	تابع باور	تابع ناباوری	عدم قطعیت
مساحت	۶۲۶۳۲۴۹/۹ - ۶۲۵	۹۹/۰۴	۹۸/۹۰	۱/۰۰	۰/۰۰۳	۰/۲۸۵	۰/۷۱۲
حوزه آبخیز	۲۲۵۴۶۰۷۴/۷ - ۶۲۶۳۲۴۹/۹	۰/۶۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۲۴۰	۰/۷۶۰
	۴۴۱۵۲۱۳۰/۶ - ۲۲۵۴۶۰۷۴/۷	۰/۲۶	۱/۱۰	۴/۳۰	۰/۹۹۷	۰/۲۳۶	۰/۲۳۳
	۸۰۱۶۲۲۲۴ - ۴۴۱۵۲۱۳۰/۶	۰/۱۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۲۳۹	۰/۷۶۱

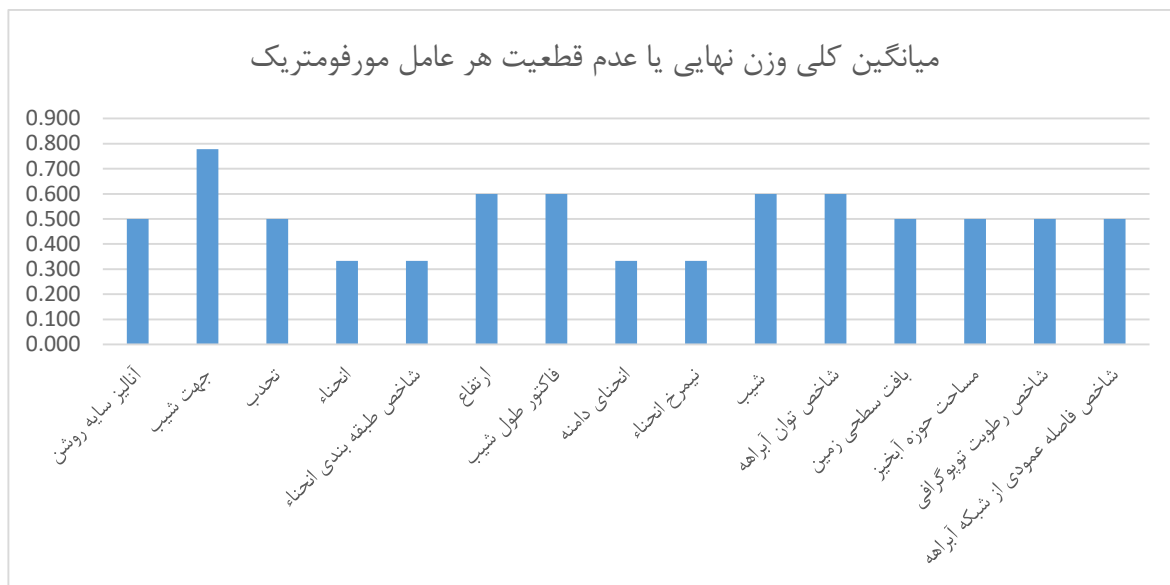
نتایج تحقیق نشان داد که در مدل دمپستر شفر در لایه اطلاعاتی مساحت حوزه آبخیز، مقدار تابع عدم قطعیت یا وزن نهایی در طبقه ۲۲۵۴۶۰۷۴/۷ تا ۴۴۱۵۲۱۳۰/۶ از همه طبقات دیگر کمتر است؛ بنابراین دارای بیشترین حساسیت نسبت به فرسایش خندقی می‌باشد که علت آن به وجود زهکشی‌های نامناسب‌تر در این طبقه اشاره دارد و در سایر طبقات روند مشابه‌ای مشاهده می‌شود.

جدول ۱۵. مولفه‌های مختلف مدل دمپستر شفر در لایه اطلاعاتی شاخص رطوبت توپوگرافی حوزه آبخیز سراب هلیل

Layername	Classes	درصد مساحت کلاس	درصد مساحت خندق	نسبت فراوانی	تابع باور	تابع ناباوری	عدم قطعیت
رطوبت	-۲/۱۵ - -۷/۵	۳۸/۴۸	۲۰/۸۸	۰/۵۴	۰/۱۱۲	۰/۳۴۴	۰/۵۴۴
توپوگرافی	۲/۹۹ - -۲/۱۵	۳۲/۲۲	۴۲/۸۶	۱/۳۳	۰/۳۴۵	۰/۱۹۷	۰/۴۵۸
	۶/۶۹ - ۲/۹۹	۲۰/۹۴	۳۱/۸۷	۱/۵۲	۰/۴۲۱	۰/۲۰۳	۰/۳۷۶
	۱۸/۸۴ - ۶/۶۹	۷/۴۹	۴/۴۰	۰/۵۹	۰/۱۲۲	۰/۲۵۶	۰/۶۲۲

نتایج تحقیق نشان داد که در مدل دمپستر شفر در لایه اطلاعاتی رطوبت توپوگرافی، مقدار تابع عدم قطعیت یا وزن نهایی در طبقه ۲/۹۹ تا ۶/۶۹ از همه طبقات دیگر کمتر است؛ بنابراین دارای بیشترین حساسیت نسبت به فرسایش خندقی می‌باشد که علت آن به نقش رطوبت اولیه خاک در این طبقه و فراهم شدن سایر شرایط در ایجاد و توسعه فرسایش خندقی اشاره دارد. این نتایج با نتایج تحقیق Farajzadeh et al. (۲۰۱۲) مطابقت دارد. مقدار تابع عدم قطعیت یا وزن نهایی در طبقه ۶/۶۹ تا ۱۸/۸۴ از همه طبقات بیشتر است که نشان دهنده حساسیت کمتر به فرسایش خندقی می‌باشد. به طور کلی با افزایش شاخص رطوبت توپوگرافی در ابتدا روند کاهشی در میزان عدم قطعیت صورت می‌گیرد و سپس میزان عدم قطعیت افزوده شده که نشان می‌دهد برای افزایش تاثیر بیشتر شاخص رطوبت توپوگرافی در ایجاد و توسعه فرسایش خندقی حتما سایر شرایط دیگر نیز دخیل می‌باشند.

با توجه به میانگین کلی هر عامل مورفومتریکی در همه طبقات نتایج تحقیق نشان داد که میانگین تابع عدم قطعیت یا وزن نهایی در لایه اطلاعاتی آنالیز سایه و روشن ۰/۵، در لایه اطلاعاتی جهت شیب ۰/۷۷۸، در لایه اطلاعاتی شاخص تحدب ۰/۵، در لایه اطلاعاتی انحناء ۰/۳۳۳، در لایه اطلاعاتی طبقه‌بندی انحناء ۰/۳۳۳، در لایه اطلاعاتی ارتفاع ۰/۶، در لایه اطلاعاتی طول-شیب ۰/۶، در لایه اطلاعاتی انحنای دامنه ۰/۳۳۳، در لایه اطلاعاتی نیمرخ انحناء ۰/۳۳۳، در لایه اطلاعاتی شیب ۰/۶، در لایه اطلاعاتی توان آبراهه ۰/۶، در لایه اطلاعاتی بافت سطح زمین ۰/۵، در لایه اطلاعاتی مساحت حوزه آبخیز ۰/۵، در لایه اطلاعاتی رطوبت توپوگرافی ۰/۵ و در لایه اطلاعاتی فاصله عمودی از آبراهه ۰/۵ می‌باشد. بنابراین لایه‌های اطلاعاتی انحناء، انحنای دامنه و نیمرخ انحناء و طبقه‌بندی انحناء به طور مساوی دارای کمترین میانگین عدم قطعیت از بین عوامل مورفومتریکی می‌باشد که نشان دهنده حساسیت بیشتر به ایجاد و توسعه فرسایش خندقی در مدل دمپستر شفر می‌باشد و لایه اطلاعاتی جهت شیب دارای بیشترین میانگین عدم قطعیت از بین عوامل مورفومتریکی است که نشان دهنده حساسیت کمتر در ایجاد و توسعه فرسایش خندقی در مدل دمپستر شفر می‌باشد.



شکل ۴. میانگین کلی وزن نهایی یا عدم قطعیت هر عامل مورفومتریک

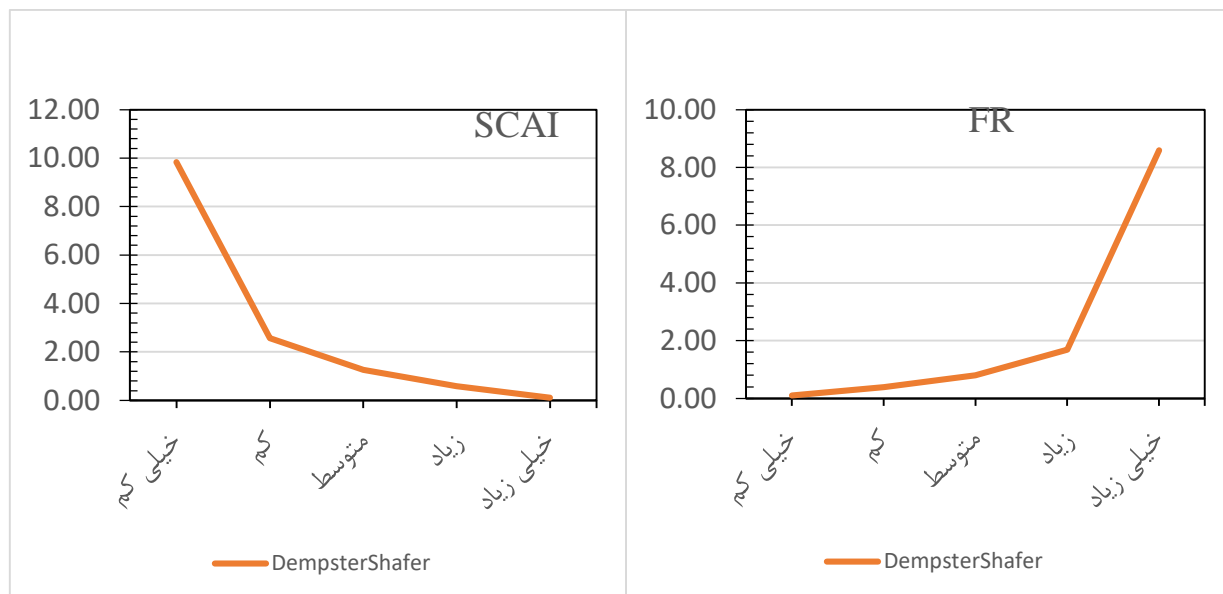
جدول ۱۶. مقادیر شاخص نسبت فراوانی و سطح سلول هسته در هر طبقه از نقشه پهنه بندی حساسیت به فرسایش خندقی در مدل دمپستر شفر

مدل دمپستر شفر				نام طبقه حساسیت	طبقه حساسیت	حوزه آبخیز
شاخص سطح سلول هسته	نسبت فراوانی	درصد خندقی	درصد مساحت طبقه			
۹/۸۳	۰/۱۰	۱/۳۲	۱۲/۹۳	خیلی کم	۱	
۲/۵۷	۰/۳۹	۱۱/۸۴	۳۰/۳۸	کم	۲	سراب
۱/۲۶	۰/۷۹	۲۷/۶۳	۳۴/۷۶	متوسط	۳	هلیل
۰/۵۹	۱/۶۹	۳۱/۵۸	۱۸/۷۱	زیاد	۴	کرمان
۰/۱۲	۸/۵۹	۲۷/۶۳	۳/۲۲	خیلی زیاد	۵	

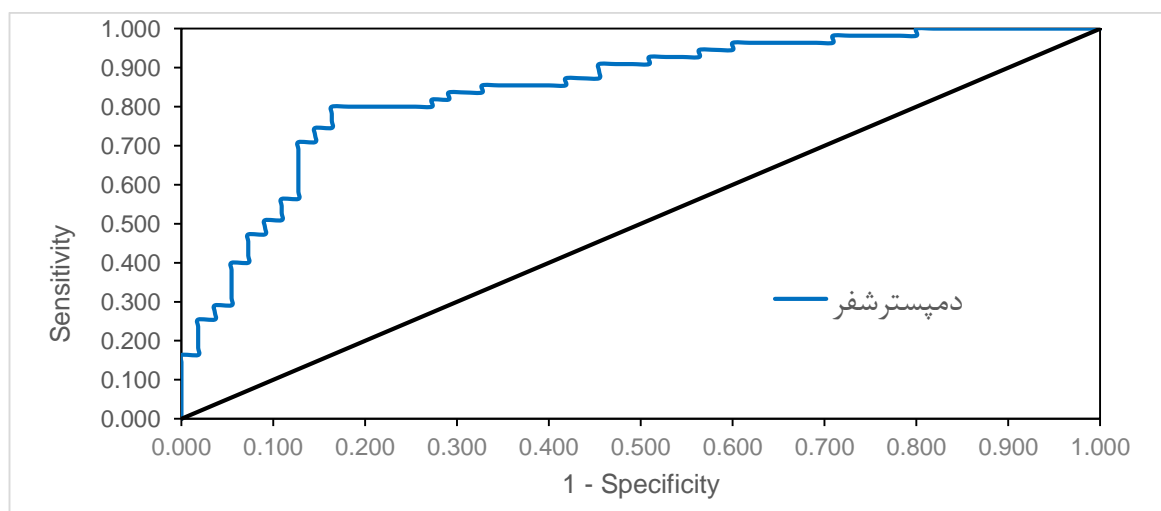
نتایج تحقیق نشان داد که طبقه حساسیت خیلی کم به فرسایش خندقی در حوزه آبخیز سراب هلیل دارای نسبت فراوانی ۰/۱۰ است و طبقه حساسیت کم به فرسایش خندقی دارای نسبت فراوانی ۰/۳۹، طبقه حساسیت متوسط به فرسایش خندقی دارای نسبت فراوانی ۰/۷۹، طبقه حساسیت زیاد به فرسایش خندقی دارای نسبت فراوانی ۱/۶۹، طبقه حساسیت خیلی زیاد به فرسایش خندقی دارای نسبت فراوانی ۸/۵۹ است. بنابراین در مدل دمپستر شفر طبقه حساسیت خیلی کم به فرسایش خندقی، کمترین نسبت فراوانی را از خود نشان داد و طبقه حساسیت خیلی زیاد به فرسایش خندقی بیشترین نسبت فراوانی را از خود نشان داد. بنابراین نتایج تحقیق با استفاده از مدل سازی دمپستر شفر نشان داد که در حوزه آبخیز سراب هلیل، نسبت فراوانی فرسایش خندقی در طبقه متوسط تا زیاد و خیلی زیاد قابل توجه می باشد که نشان از حساسیت بالای حوزه آبخیز به فرسایش خندقی است.

جدول ۱۷- نتایج سطح زیرمنحنی عمل گر گیرنده در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی مدل ها برای حساسیت اراضی نسبت به رخداد فرسایش خندقی

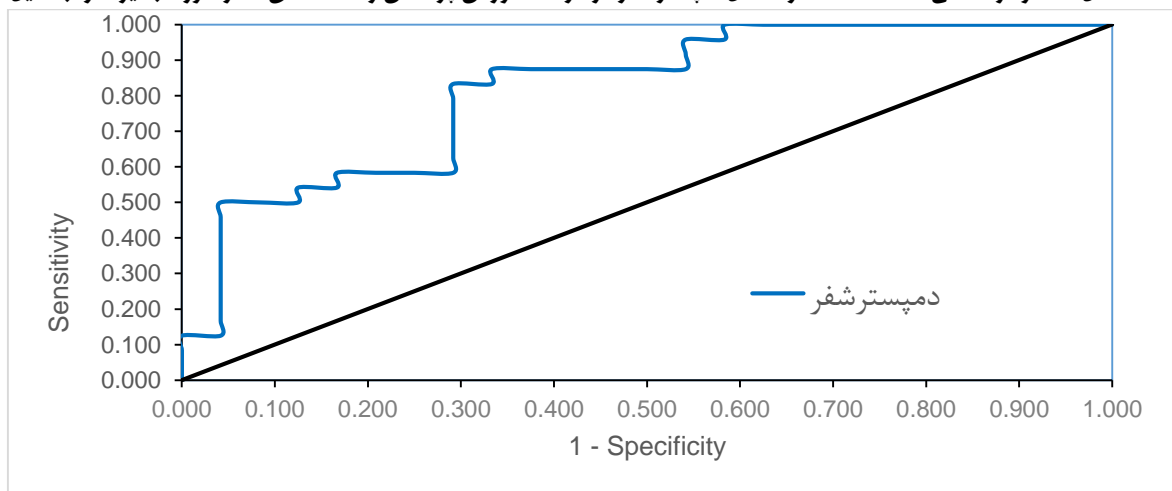
اعتبارسنجی یا پیش بینی مدل (مرحله آزمایش)					واسنجی یا اجرای مدل (مرحله آموزش)				مدل	
سطح اطمینان ۹۵ درصد		سطح اطمینان	انحراف معیار	سطح زیر منحنی	سطح اطمینان ۹۵ درصد		سطح اطمینان	انحراف معیار		سطح زیر منحنی
حد بالا	حد پایین				حد بالا	حد پایین				
۰/۹۳۶	۰/۶۹۶	۰/۰۰۰	۰/۰۶۱	۰/۸۱۶	۰/۹۱۹	۰/۷۷۲	۰/۰۰۰	۰/۰۳۷	۰/۸۴۶	دمپستر شفر



شکل ۵. نمودار SCAI و FR در مدل دمپستر شفر

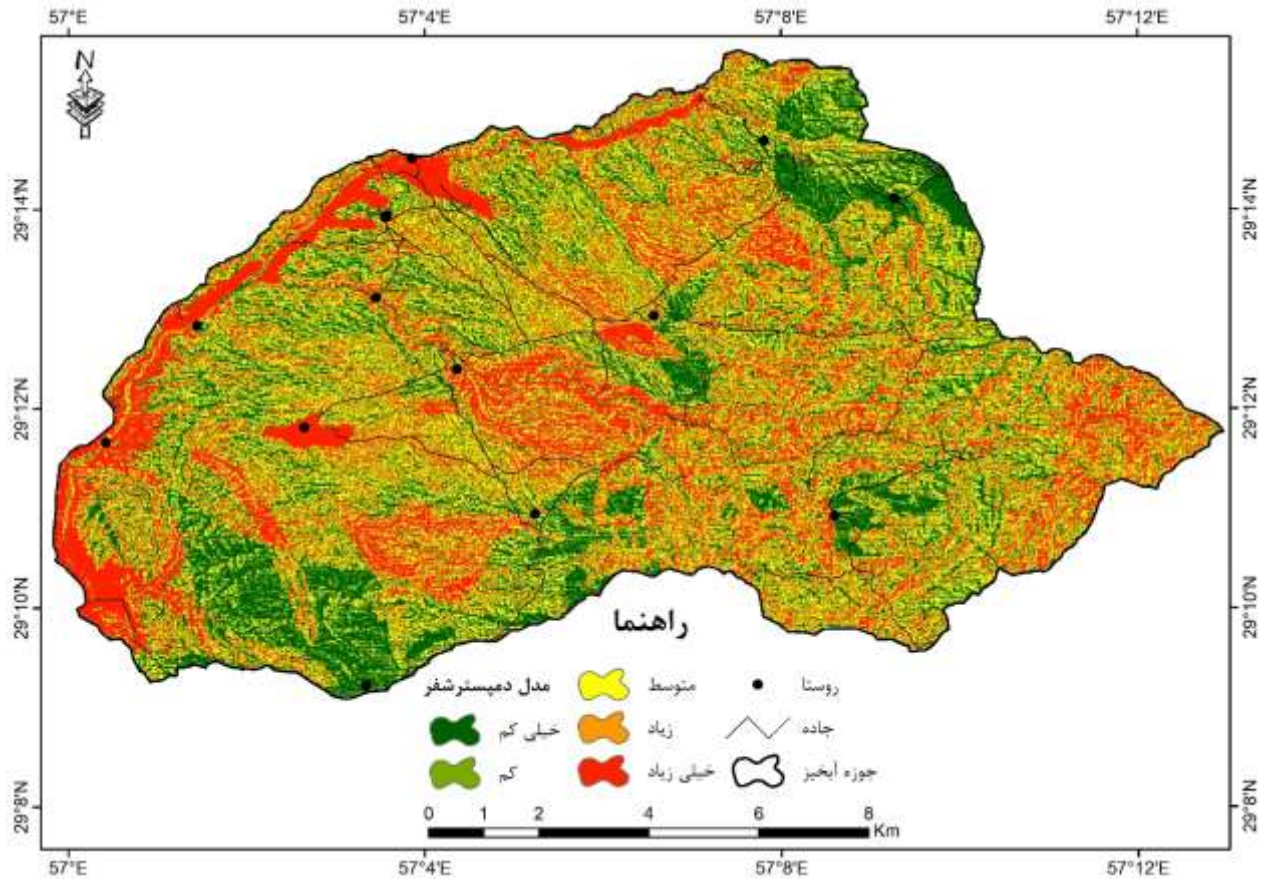


شکل ۶. نمودار منحنی مشخصه عملکرد مدل دمپسترشفر در مرحله آموزش پراکنش رخداد خندق‌ها در حوزه آبخیز سراب هلیل



شکل ۷. نمودار منحنی مشخصه عملکرد مدل دمپسترشفر در مرحله آزمایش پراکنش رخداد خندق‌ها در حوزه آبخیز سراب هلیل

بنابراین سطح زیر منحنی (AUC) در حالت‌های واسنجی (آموزش) مدل دمپسترشفر ۰/۸۴۶ و در حالت اعتبارسنجی (تست) مدل دمپسترشفر ۰/۸۱۶ به دست آمد. در مرحله واسنجی چون مدل دمپسترشفر دارای سطح زیر منحنی بین ۰/۸ تا ۰/۹ می‌باشد؛ بنابراین توانایی بسیار خوبی برای پیش‌بینی مناطق مستعد فرسایش خندقی از خود نشان داد و مدل بسیار خوب فرض می‌شود. در مرحله اعتبارسنجی نیز مدل دارای توانایی بسیار خوبی برای پیش‌بینی مناطق مستعد فرسایش خندقی از خود نشان داد و مدل بسیار خوب فرض می‌شود که با نتایج تحقیق صابر چناری و همکاران (۱۳۹۵) که مدل دمپسترشفر را مدل مناسبی تشخیص داده بودند، مطابقت دارد (شکل ۶ و ۷).



شکل ۸. نقشه پهنه بندی فرسایش خندقی

نقشه مناطق مستعد فرسایش خندقی با توجه به عوامل مورفومتریک در مدل دمپسترشفر نشان می‌دهد که عوامل مورفومتریک فرسایش خیلی زیادی را در غرب و شمال و همچنین به طور پراکنده در سراسر حوزه مورد مطالعه در مرکز و جنوب و شرق حوزه نشان می‌دهند. به طور کلی این مدل خطر فرسایش خندقی خیلی زیادی را در سراسر حوزه پیش‌بینی می‌کند که علت آن نیز به وجود رودخانه سراب هلیل و همچنین وجود زمین‌های کشاورزی و کم شیب در اطراف روستاهای پراکنده حوزه مورد مطالعه و کشاورزی غیر اصولی بر می‌گردد. این نتایج با نتایج تحقیق Nwankwoala و Nwankwo (۲۰۱۸) و Zhang et al. (۲۰۰۷) مطابقت دارد. مدل دمپسترشفر نسبت به عوامل مورفومتریک، مناطقی را در شمال شرق حوزه و همچنین مناطقی در جنوب و جنوب غربی حوزه و میزان اندکی نیز به طور پراکنده در سراسر حوزه را دارای خطر کم و خیلی کم فرسایش خندقی پیش‌بینی کرده است که به پوشش گیاهی مناسب حوزه در این مناطق و نقشی که در کاهش فرسایش خندقی ایفاء می‌کنند، اشاره دارد. به طور کلی مدل دمپسترشفر نسبت به عوامل مورفومتریک، نقشه‌ای با حساسیت بسیار بالا نسبت به فرسایش خندقی در حوزه آبخیز سراب هلیل پیش‌بینی کرده است که می‌تواند زنگ خطری برای این حوزه نسبت به فرسایش خندقی باشد.

## نتیجه‌گیری

پهنه‌بندی خطر و مدل‌سازی فرسایش خندقی رویکردی هوشمندانه و داده‌محور است که نگاه‌ها را از برخورد منفعلانه با این پدیده مخرب به سمت مدیریت فعال و پیشگیرانه تغییر می‌دهد. این ابزارها با ارائه نقشه‌های کاربردی و کمی‌سازی عوامل مؤثر، امکان تصمیم‌گیری

آگاهانه، صرفه‌جویی در منابع و حفاظت مؤثرتر از خاک و محیط‌زیست را برای ما فراهم می‌کنند. با توجه به میانگین کلی هر عامل مورفومتریک در همه طبقات، نتایج تحقیق نشان داد که میانگین تابع عدم قطعیت یا وزن نهایی در لایه اطلاعاتی آنالیز سایه و روشن ۰/۵، در لایه اطلاعاتی جهت شیب ۰/۷۷۸، در لایه اطلاعاتی شاخص تحدب ۰/۵، در لایه اطلاعاتی انحناء ۰/۳۳۳، در لایه اطلاعاتی طبقه‌بندی انحناء ۰/۳۳۳، در لایه اطلاعاتی ارتفاع ۰/۶، در لایه اطلاعاتی طول-شیب ۰/۶، در لایه اطلاعاتی انحنای دامنه ۰/۳۳۳، در لایه اطلاعاتی نیمرخ انحناء ۰/۳۳۳، در لایه اطلاعاتی شیب ۰/۶، در لایه اطلاعاتی توان آبراهه ۰/۶، در لایه اطلاعاتی بافت سطح زمین ۰/۵، در لایه اطلاعاتی مساحت حوزه آبخیز ۰/۵، در لایه اطلاعاتی رطوبت توپوگرافی ۰/۵ و در لایه اطلاعاتی فاصله عمودی از آبراهه ۰/۵ می‌باشد. بنابراین لایه‌های اطلاعاتی انحناء، انحنای دامنه و نیمرخ انحناء و طبقه‌بندی انحناء به طور مساوی دارای کمترین میانگین عدم قطعیت از بین عوامل مورفومتریک می‌باشند و لایه اطلاعاتی جهت شیب دارای بیشترین میانگین عدم قطعیت از بین عوامل مورفومتریک می‌باشد. بنابراین سطح زیر منحنی (AUC) در حالت‌های واسنجی (آموزش) مدل دمپسترشفر ۰/۸۴۶ و در حالت اعتبار سنجی (تست) مدل دمپسترشفر ۰/۸۱۶ به دست آمد. بنابراین مدل دمپسترشفر توانایی بسیار خوبی برای پیش‌بینی مناطق مستعد فرسایش خندقی با استفاده از عوامل مورفومتریک از خود نشان داد. بنابراین پیشنهاد می‌شود با توجه به هزینه پایین جمع‌آوری داده‌های ورودی مورد نیاز مدل دمپسترشفر و صرفه‌جویی در زمان در مناطق مختلف کشور با آب و هوای متفاوت، این مدل مورد استفاده قرار گیرد. ضمناً با توجه به اینکه در زمین‌های کشاورزی منطقه مورد مطالعه به علت کشاورزی غیر اصولی، خندق‌های مختلف در حال گسترش می‌باشند، لازم است دستگاه‌های اجرایی استان کرمان به این امر توجه ویژه داشته باشند.

## ملاحظات اخلاقی

### حمایت مالی

این مقاله هیچگونه حمایت مالی از سازمانهای دولتی یا غیردولتی دریافت نکرده است.

### مشارکت نویسندگان

مفهوم‌سازی: حمزه سعیدیان، کوروش شیرانی؛ روش‌شناسی: حمزه سعیدیان، کوروش شیرانی و شاهین آقامیرزاده؛ تحلیل رسمی: حمزه سعیدیان، کوروش شیرانی؛ نگارش نسخه اولیه: حمزه سعیدیان؛ مدیریت پروژه: حمزه سعیدیان، کوروش شیرانی. همه نویسندگان این نسخه منتشرشده از مقاله را خوانده و با آن موافقت کرده‌اند. همه نویسندگان در مفهوم‌سازی مقاله و نگارش نسخه اولیه و نسخه‌های بعدی به طور مساوی مشارکت داشته‌اند.

### بیانیه دسترسی به داده‌ها

داده‌های پژوهش حاضر از طریق درخواست از نویسندگان قابل دسترسی است.

### سیاسگزاری

نویسندگان از تمامی شرکت‌کنندگان در این مطالعه تشکر و قدردانی می‌کنند. همچنین از بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی کرمان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بابت تأمین تجهیزات و امکانات، سپاسگزارند.

### پیروی از اصول اخلاق پژوهش

همه منابع به‌درستی ذکر شده‌اند و رهنمودهای اخلاقی مربوط به ارجاع‌دهی و یکپارچگی دانشگاهی در سراسر فرآیند پژوهش و نگارش به‌طور کامل رعایت شده‌اند.

### تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

## منابع

شادفر، صمد، صوفی، مجید. (۱۴۰۴). علت‌های گسترش فرسایش خندقی و خسارت‌های ناشی از آن در ایران. پژوهش‌های آبخیزداری، ۳۸(۲): ۹۷-۸۳



فرسایش خندقی در ایران، پنجمین کنفرانس ملی حفاظت خاک و آبخیزداری، تهران، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، ۳۲۸-۳۳۵. شیرانی، کوروش، ذاکری نژاد، رضا. (۱۳۹۸). پهنه بندی حساسیت نسبت به فرسایش خندقی با استفاده از مدل احتمالاتی حداکثر آنتروپی (مطالعه موردی: جنوب استان اصفهان)، طرح تحقیقاتی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری. صابر چناری، کاظم، بهره مند، عبدالرضا، بردی شیخ، واحد، بایرام کمکی، چوقی، (۱۳۹۵). پهنه بندی خطر فرسایش خندقی با استفاده از مدل دمپستر - شفر در حوضه آبخیز قرناوه، استان گلستان، مجله اکوهیدرولوژی، ۳(۲): ۲۱۹-۲۳۱. محمدی ثابت، نسرين، کرمی، جلال، شریفی نیا، محمد. (۱۳۹۸). تبیین عدم قطعیت در مدل های پهنه بندی مخاطرات محیطی با استفاده از تئوری دمپستر شفر (مطالعه موردی: خطر زمین لغزش در جنوب چالوس)، مجله برنامه ریزی و آمایش فضا، ۲۳(۱): ۱-۲۴.

## REFERENCES

- Aabedi, F., Mohammadzadeh, A. Mokhtarzadeh, M., and Valadan Zouj, M.J. (2015). Comparison and Evaluation of the object-based and pixel-based analysis of LiDAR and large-scale optical images in metropolitan area. *J. Soft Comp. Inf. Technol.* 4: 3. 118-128.
- Arabameri, A., Pradhan, B. and Rezaei, K., (2019). Gully erosion zonation mapping using integrated geographically weighted regression with certainty factor and random forest models in GIS. *Journal of environmental management*, 232:928-942.
- Askari S, Shirani K. 2024. Evaluation of the effective factors in gully erosion sensitivity using Dempster-Shafer. *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards*. 11 (2): ۸,۱۳۷-۱۵۹
- Dempster, AP. (2008). Upper and lower probabilities induced by a multivalued mapping. In: Yager RR, Liu L (eds) *Classic Works of the Dempster-Shafer Theory of Belief Functions*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp 57-72.
- Farajzadeh M, Afzali A, Khalili Y, Gholichi E. (2012). Evaluation of gully erosion susceptibility using multivariate logistic regression (Case study: Kiasar, SE Mazandaran). *Journal of Environmental Erosion Research*.; 6:42-57.
- He B, Cui Y, Chen C, Chen J, Liu Y. (2011). Uncertainty mapping method for mineral resources prospectivity integrating multi-source geology spatial data sets and evidence reasoning model. In: *Geoinformatics, 2011 19th International Conference on*. IEEE, pp 1-5.
- Huang, D., Su, L., Zhou, L., Tian, y., Fan, H., (2023). Assessment of gully erosion susceptibility using different DEM-derived topographic factors in the black soil region of Northeast China, *International Soil and Water Conservation Research*, 11(1): 97-111.
- Jiarui, Q., Mingming, G., Pengchong, Zh., Xingyi, Zh., Jinzhong, X., Zhuoxin, Ch., Xin, L., Lixin, W., Zhaokai, W., (2023). Soil erosion resistance factors in different types of gully heads developed in four main land-uses in the Mollisols region of Northeast China, *Soil and Tillage Research*, Volume 230, June, 105697.
- Karaburun A. (2010). Estimation of C factor for soil erosion modeling using NDVI in Buyukcekmece watershed. *Ozean Journal of Applied Sciences* 3 (1).
- Mogaji K, Lim H, Abdullah K. (2015). Regional prediction of groundwater potential mapping in a multifaceted geology terrain using GIS-based Dempster-Shafer model. *Arabian Journal of Geosciences*, 8(5): 3235-3258.
- Mohammadi Sabet, N., Karami, J., Sharifinia, M. (2019). Explaining uncertainty in environmental hazard zoning models using Dempster-Shafer theory (Case study: Landslide hazard in south of Chalus). *Journal of Planning and Spatial Planning*, 23(1): 1-24. (in Persian)
- Moine, M., Puissant, A., and Malet, J.P. (2009). Detection of landslides from aerial and satellite images with a semi-automatic method. Application to the Barcelonnette basin (Alpes-de-Haute-Provence, France). In: Malet, J.P., Remaitre, A., Bogaard, T. (Eds.), *Landslide Processes: From Geomorphological Mapping to Dynamic Modelling*. CERG, Strasbourg, France. Pp: 63-68.
- Mortezae frezhandi. G. (2005). Evaluating the quantitative effect of environmental variables in the occurrence of gully erosion and introducing the most suitable model for predicting the length growth of gullies. Ph.D. Thesis, Islamic Azad University Science and Research Unit. (in Persian)
- Nekoemehr M, Charkhabi AH, Raeesian R, Amami SN. (2011). Investigating the morphoclimatic characteristics of gullies in Chaharmahal and Bakhtiari Province. Final Report of the Research Project, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute. 125 p.
- Nwankwo C, Nwankwoala HO. (2018). Gully erosion susceptibility mapping in Ikwuano Local Government

- Area of Abia State, Nigeria using GIS Techniques. *Earth Sciences Malaysia*. 2(1): 8-15.
- Olfati, S, Moradi K. (2014). Assessment of gully erosion of Direh watershed using climate indices. *Sepehr Journal*, 89:43-45.
- Poesen, J., Vandaele K., van Wesemael B. (1996). Contribution of gully erosion to sediment production on cultivated lands and rangelands. In *Erosion and Sediment Yield: Global and Regional Perspectives*, Walling D.E., Webb B.W. (eds). IAHS Publication No. 236. IAHS Press: Wallingford: 251-266.
- Saber Chenari, K., Bahremand, A., Berdi Sheikh, V., Bayram Komaki, C. (2016). Gully erosion hazard zoning using Dempster-Shafer model in Qarnaveh watershed, Golestan province. *Ecohydrology Journal*, 3(2): 219-231. (in Persian)
- Shadfar S. (2010). An introduction to gully erosion. Entekhab Publications, 141 p.
- Shadfar, S., Soufi, M. (2025). Causes of gully erosion expansion and its damages in Iran. *Watershed Management Research*, 38(2): 83-97. (in Persian)
- Shadfar, S., Soufi, M., Arabkhedri, M., Bayat, R., Nabipay Lashkarian, S. (2022). Investigation and analysis of some factors affecting the expansion of gully erosion in Iran. *Fifth National Conference on Soil Conservation and Watershed Management*, Tehran, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Pp. 328-335. (in Persian)
- Shafer, G. (1976). A mathematical theory of evidence, vol Volume 42 of Limited paperback editions. Princeton University Press, 297 pp.
- Shannon, C. (1948). A Mathematical Theory of Communications, *Bell System Thecnical Journal*, 27: 379-423.
- Shirani K. (2021). Gully erosion mapping and susceptibility assessment using statistical and probabilistic methods. *Journal of Hydrology and Soil Science*. 25 (2):151-174.
- Shirani, K., and Zakari Nejad, R. (2019). Zonation of susceptibility to gully erosion using the maximum entropy probabilistic model (Case study: South of Isfahan province). *Research project of the Soil Conservation and Watershed Management Research Institute*. (in Persian)
- Shruth R.B.V, Kerle N. Jetten V. (2011). Object-based gully feature extraction using high spatial resolution imagery. *Geomorphology*, 134:260-268.
- Sidorchuk A., Maerker M., Moretti S., Rodolfi G. (2003). Gully erosion modelling and landscape response in the Mbuluzi River catchment of Swaziland. *Catena* 50: 507-525.
- Valentin C., Poesen J., Li Y. (2005). Gully erosion: Impacts, factors and controls. *Catena* 63: 132-153.
- Wang, j., Zhang, y., Li, k., Zhang, z., Chen., Ch. (2022). Gully internal erosion triggered by a prolonged heavy rainfall event in the tableland region of China's Loess Plateau, *International Soil and Water Conservation Research*, Available online 30 December 2022, 1-12.
- Zaman, K., Rangavajhala, S., McDonald, M.P., Mahadevan, S.A., (2011). Probabilistic Approach for Representation of Interval Uncertainty, *Reliability Engineering and System Safety* 96, pp. 117-130.
- Zhang Y, Wu Y, Liu B, Zheng Q, Yin J. (2007). Characteristics and factors controlling the development of ephemeral gullies in cultivated catchments of black soil region. Northeast China, *Soil and Tillage Research*. 96 (1-2): 28-41.
- Zhou, X., Wei, Y., He, J., Cai, CH., (2023). Estimation of gully erosion rate and its determinants in a granite area of southeast China, *Geoderma*, 429, 1 January, 116223.