

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

### چکیده

امروزه فرسایش خندقی با توجه به تخریب گسترده ای که در اقلیم های مختلف دنیا ایجاد می کند بسیار مورد توجه محققان مختلف قرار گرفته است. در این پژوهش خندق های موجود در حوزه آبخیز سراب هلیل واقع در استان کرمان با استفاده از پیمایش های صحرایی و گوگل ارث شناسایی شدند و نقشه پراکنش خندق ها 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 لایه های 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 حالت های 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.

واژه های کلیدی: حوزه آبخیز سراب هلیل، خندق آبراهه، عامل مورفومتریک

فرسایش خندقی  
نقشه

## The role of morphometric factors in the development of gully erosion using the Dempster-Shafer model

### 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.

**Keywords:** *Sarab Halil watershed, Gully, Stream, Morphometric factor*

پژوهشی  
پایان نامه

# The role of morphometric factors in the development of gully erosion using the Dempster-Shafer model

## 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 Halli 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.

**Keywords:** Sarab Halil watershed, Gully, Stream, Morphometric factor

ویرایش شده

## 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 دهه های اخیر به علت استفاده نامناسب بشر از زمین روز به روز در سراسر دنیا در حال گسترش می باشد و زمین های مرغوبی را از بین می برد که جایگزین شدن آنها امکان پذیر نیست. در حال حاضر روش های 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 می گیرد. فرسایش خندقی معمولا وسعت خیلی زیادی از حوزه های آبخیز را شامل نمی شود و بر اساس شرایط خاص به وجود می آید. فرسایش های خندقی کمتر از پنج درصد حوزه های آبریز را شامل می‌شوند ولی بیش از ۸۰ درصد رسوبات حوزه 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 روش های کنترل فرسایش خندقی توسعه یابد و از تجربه های مختلف و موفق کنترل فرسایش خندقی در سراسر دنیا در حوزه های آبخیز ایران استفاده کرد. ضمنا 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 توجهی 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). ضمنا انواع فرسایش خاک به ویژه فرسایش خندقی می‌تواند پیامدهای اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی نامطلوبی در بخش های 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 می نماید. این فرسایش با تخریب اراضی، راههای ارتباطی، شبکه های آبیاری و آبرسانی و پر نمودن دریاچه پشت سد ها موجب بروز خسارت بسیاری می گردد.

## 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 اقلیم های مختلف دنیا به نتایج متفاوتی رسیدند و گاهی روش های 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 ۰/۰۳ 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 حساسیت پذیری 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 خندق ها در اقلیم نیمه خشک، زراعت دیم و مربوط به خاک‌هایی با بافت سیلت لوم می باشد. 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 داشته اند. Shirani and Askari (۲۰۲۴) بیان کردند که متغیرهای کاربری زمین، تراکم آبراهه، سنگ‌شناسی، اقلیم، بارش، پوشش گیاهی و

بلندی به ترتیب بیشترین تاثیر را در گسترش فرسایش خندقی داشته‌اند. با استفاده از پراکنش رخداد خندق ضمن تعیین آستانه های عوامل موثر به کمک مدل‌های مناسب، فرسایش خندقی در سطح وسیع یک حوزه آبخیز را بصورت پهنه ای می توان برآورد نمود. امروزه روش های مختلفی برای تعیین آستانه های 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 داده‌های سنجنده 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 داده‌های 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، صرفه‌جویی در صرف هزینه‌های 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  $29^{\circ} 48' 59''$  تا  $29^{\circ} 59' 00''$  طول شرقی و عرض جغرافیایی  $57^{\circ} 13' 00''$  تا  $57^{\circ} 37' 15''$  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  $14/81$  درجه سانتی گراد، حداکثر دمای سالانه  $25/8$  درجه و حداقل دما  $3/9$  درجه سانتی گراد و متوسط سالانه بارش حوضه  $279/8$  میلی‌متر می باشد.







شکل ۲. نمایی از خندق های مشاهده شده

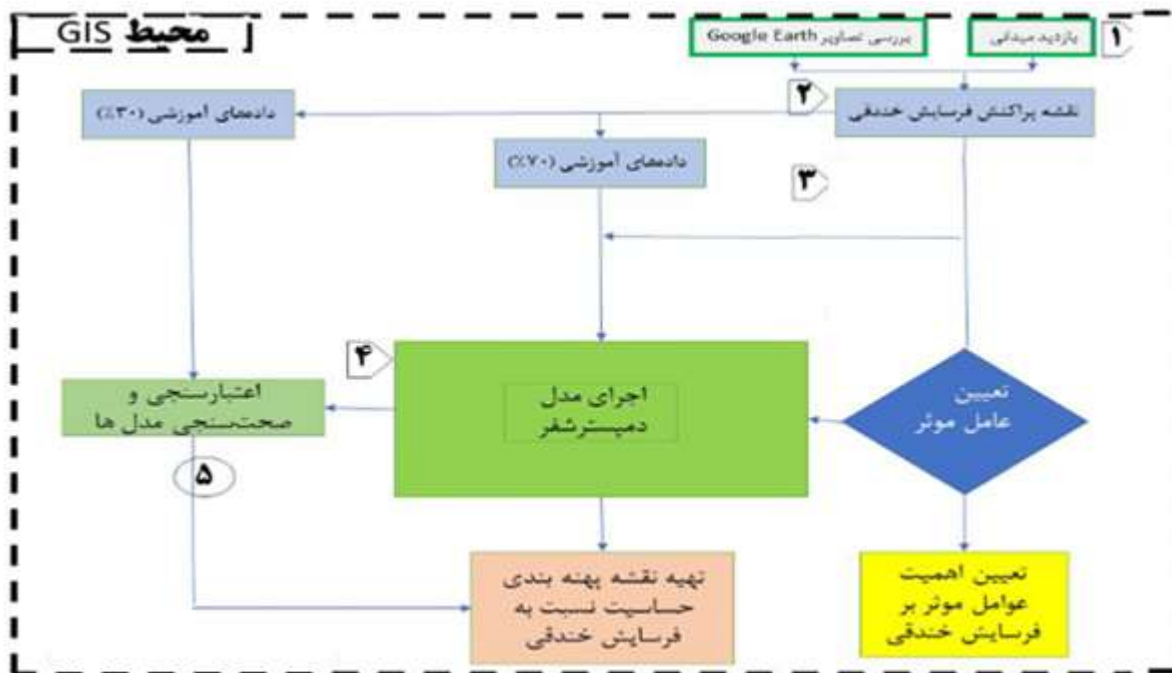
تئوری دمپستر شفر بر اساس باوری است که از شواهد نتیجه می شود به طوری که ساختار باور تئوری شاهد به مدل احتمال کلاسیک مربوط است. این تئوری با بحث در باره باورهای موجود از یک وضعیت و یا سیستمی از وضعیت ها حائز اهمیت است. توابع باور به صورت زیر محاسبه می شوند:

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

که در این روابط  $Bel(A)$  مقدار کلی احتمالی که باید در میان عناصری از  $A$  باشد را اندازه گیری می کند و توابع ممکن بودن به صورت زیر محاسبه می شوند:

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

$Pl(A)$  درجه باور کلی مربوط به  $A$  را توصیف می کند و به منزله حد بالایی روی احتمال  $A$  است. تابع  $Pl(A)$  حداکثر مقدار احتمال را که می تواند در میان عناصر  $A$  توزیع شود را اندازه گیری می کند (محمدی ثابت و همکاران، ۱۳۹۸). مزیت برتری مدل دمپستر شفر استفاده از عدم قطعیت کمی سازی می باشد. تئوری دمپستر شفر به عنوان ابزاری برای آنالیز کردن عدم قطعیت در تئوری احتمالات نادقیق استفاده می شود (Zaman et al., 2011). در این تحقیق از مولفه های مختلف مدل دمپستر شفر مانند ضریب باور، تابع باور، ضریب ناباوری، تابع ناباوری و عدم قطعیت استفاده شد و تجزیه و تحلیل های نهایی بر اساس آنها صورت گرفت و سپس نقشه پهنه بندی فرسایش خندقی با استفاده از این مدل به دست آمد و به صورت ۵ طبقه خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تقسیم بندی شد و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. در این مدل هر چه عدم قطعیت یا وزن نهایی بیشتر باشد نشان دهنده حساسیت کمتر به فرسایش خندقی است.



شکل ۳. نمودار گردش‌سی 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 کلاسی	درصد مساحت خندقی	نسبت فراوانی	تابع باور	تابع ناباوری	عدم قطعیت
	-۲۲۰- -۱۴/۵۳	۲۸/۴۷	۳۷/۳۶	۱/۳۱	۰/۶۲۹	۰/۱۹۸	۰/۱۷۳
فاصله عمودی از آبراهه	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
	۷۰/۱۸۲ - 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 می باشد 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 ۷۰/۱۸۲ از همه طبقات دیگر بیشتر است. بنابراین دارای کمترین حساسیت نسبت به فرسایش خندقی می باشد. 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 می باشد که علت آن به اثرات متقابل جریان‌های قشری و زیر قشری در فواصل نزدیک به آبراهه ها در ایجاد فرسایش خندقی بر می گردد.

جدول ۲. مولفه های 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
	۰/۴۷۱ - ۰/۱۵۸	۷/۶۳	۴/۴۰	۰/۵۸	۰/۱۶۲	۰/۲۵۱	۰/۵۸۷
آنالیز سایه و روشن	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 می باشد 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 می باشد. تابع عدم قطعیت در آنالیز سایه و روشن در ابتدا روند کاهشی را از خود نشان داد و سپس افزایش پیدا می کند 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 می کنند.

جدول ۳. مولفه های 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
	North	۱۷/۴۸	۱۸/۶۸	۱/۰۷	۰/۱۱۳	۰/۱۰۹	۰/۷۷۸
جهت شیب	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 می باشد که دارای کمترین مقدار نسبت به جهت های مختلف دیگر می باشد بنابراین دارای بیشترین حساسیت نسبت به فرسایش خندقی می باشد که علت آن به کاهش پوشش گیاهی و همچنین زاویه تابش خورشید و تأثیری که در کاهش رطوبت خاک دارد بر می گردد. مقدار تابع عدم قطعیت یا وزن نهایی در جهت شرق دامنه دارای عدم قطعیت ۰/۸۸۳ می باشد که دارای بیشترین مقدار نسبت به جهت های مختلف دیگر می باشد بنابراین دارای کمترین حساسیت نسبت به فرسایش خندقی می

باشد که علت آن به پوشش گیاهی مناسب در این دامنه بر می گردد 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. مولفه های مختلف مدل دمپستر شفر در لایه اطلاعاتی شاخص تحدب حوزه آبخیز سراب هلیل

Layername	Classes	درصد مساحت کلاس	درصد مساحت خندق	نسبت فراوانی	تابع باور	تابع ناباوری	عدم قطعیت
شاخص تحدب	>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	۰/۱۶۹	۰/۶۷۰

نتایج تحقیق نشان داد که در مدل دمپستر شفر در لایه اطلاعاتی شاخص تحدب، 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 می باشد و 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 می باشد. تغییرات تابع عدم قطعیت در طبقات شاخص تحدب نسبتا زیاد است و روند ثابتی را طی نمی کند که احتمالا به تغییرات در میزان خاک موجود در دامنه ها بر می گردد.

جدول ۵. مولفه های مختلف مدل دمپستر شفر در لایه اطلاعاتی شاخص انحناء حوزه آبخیز سراب هلیل

Layername	Classes	درصد مساحت کلاس	درصد مساحت خندق	نسبت فراوانی	تابع باور	تابع ناباوری	عدم قطعیت
انحناء	concave (-۱۴/۰۸ - -۱/۲۶)	۲۰/۲۵	۲۹/۶۷	۱/۴۷	۰/۵۱۵	۰/۲۷۸	۰/۲۰۶
	Flat (۰/۹۶ - -۰/۲۶)	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 انحناء، مقدار تابع عدم قطعیت یا وزن نهایی در طبقه مقعر ۰/۲۰۶ می باشد که از همه طبقات دیگر کمتر است بنابراین دارای بیشترین حساسیت نسبت به فرسایش خندقی می باشد که علت آن به شستشوی بیشتر خاک و ایجاد سرعت مناسب رواناب برای فرسایش بر می گردد و همچنین مقدار تابع عدم قطعیت یا وزن نهایی طبقه محدب ۰/۴۳۴ می باشد که از همه طبقات دیگر بیشتر است بنابراین دارای کمترین حساسیت نسبت به فرسایش خندقی می باشد.

جدول ۶. مولفه های مختلف مدل دمپستر شفر در لایه اطلاعاتی شاخص طبقه بندی انحناء حوزه آبخیز سراب هلیل

Layername	Classes	درصد مساحت کلاس	درصد مساحت خندق	نسبت فراوانی	تابع باور	تابع ناباوری	عدم قطعیت
طبقه بندی انحناء	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 طبقه بندی انحناء، 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 می باشد و 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 می باشد.

جدول ۷. مولفه های 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	>2000	3/68	7/69	2/09	-/157	-/186	-/657
	2000-2500	60/04	59/34	-/99	-/050	-/201	-/749
	2500-2750	15/34	2/20	-/12	-/006	-/239	-/756
	2750-3000	12/35	-/000	-/000	-/000	-/235	-/765
	<3000	8/59	30/77	3/58	-/788	-/239	-/073

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 می باشد که علت آن به افزایش شدت بارندگی در این مناطق بر می گردد و 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 می باشد. به طور کلی با افزایش ارتفاع میزان عدم قطعیت بیشتر یعنی میزان حساسیت به فرسایش خندق کمتر می شود و سپس میزان عدم قطعیت در ارتفاعات بالاتر کاهش پیدا می کند که نشان دهنده افزایش حساسیت به فرسایش خندقی است که در این میان نقش شدت بارندگی نیز حائز اهمیت می باشد.

جدول ۸. مولفه های 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 آبراهه	0 - 1/95	52/64	30/77	0/58	-/113	-/324	-/563
	1/95 - 60/25	45/25	65/93	1/46	-/366	-/107	-/527
	60/25 - 86/2	1/82	3/30	1/82	-/521	-/187	-/292
	86/2 - 465/58	-/24	-/000	-/000	-/000	-/191	-/809
	465/58 - 1402/22	-/05	-/000	-/000	-/000	-/191	-/809

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 می باشد و 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 می باشد. به طور کلی با افزایش طول - شیب آبراهه بر میزان عدم قطعیت افزوده شده

که نشان دهنده 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 می گردد.

جدول ۹. مولفه های 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 می باشد و همچنین مقدار تابع عدم قطعیت یا وزن نهایی طبقه هموار از همه طبقات دیگر بیشتر است بنابراین دارای کمترین حساسیت نسبت به فرسایش خندقی می باشد که علت آن به شرایط مناسب پوشش گیاهی و شیب مناسب بر می گردد.

جدول ۱۰. مولفه های 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)	۴۲/۵۵	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 می باشد که از همه طبقات دیگر کمتر است بنابراین بیشترین حساسیت را به فرسایش خندقی از خود نشان می دهد و طبقه هموار یا صاف دارای تابع عدم قطعیت ۰/۴۷۴ می باشد که از همه طبقات دیگر بیشتر است بنابراین کمترین حساسیت را نسبت به فرسایش خندقی از خود نشان می دهد.

جدول ۱۱. مولفه های 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	۰/۴۲۰

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

جدول ۱۲. مولفه های 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	۰/۱۳۹	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 - ۱/۶	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 ۰-۵ از همه طبقات دیگر کمتر است بنابراین دارای بیشترین حساسیت نسبت به فرسایش خندقی می باشد و همچنین مقدار تابع عدم قطعیت یا وزن نهایی در طبقه ۱۴- تا ۹- از همه طبقات دیگر بیشتر است بنابراین دارای کمترین حساسیت نسبت به فرسایش خندقی می باشد.

جدول ۱۳. مولفه های 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	۱۸/۱۱ - ۳/۱۸	۱۲/۵۱	۲/۲۰	۰/۱۸	۰/۰۳۷	۰/۲۹۰	۰/۶۷۴
	۱۸/۱۱ - ۲۲/۳۷	۱۹/۳۲	۶/۵۹	۰/۳۴	۰/۰۷۴	۰/۳۰۴	۰/۶۲۲
	۱۸/۱۱ - ۳۳/۳۷	۳۸/۶۴	۳۶/۲۶	۰/۹۴	۰/۲۳۹	۰/۲۶۳	۰/۴۹۸
	۱۸/۱۱ - ۴۱/۶۸	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 ۱۸/۱۱ تا ۴۱/۶۸ از همه طبقات دیگر کمتر است بنابراین دارای بیشترین حساسیت نسبت به فرسایش خندقی می باشد و در طبقه ۱۸/۱۱ - ۳/۱۸ مقدار تابع عدم قطعیت یا وزن نهایی ۰/۶۷۴ می باشد که از همه طبقات دیگر بیشتر است که نشان دهنده کمترین حساسیت نسبت به فرسایش خندقی می باشد. بنابراین به طور کلی در بافت سطح زمین میزان عدم قطعیت در طبقات بالاتر کاهش یافته که نشان دهنده تاثیر بسیار زیاد زبری و درشتی سطح زمین در کاهش یا افزایش فرسایش خندقی می باشد.

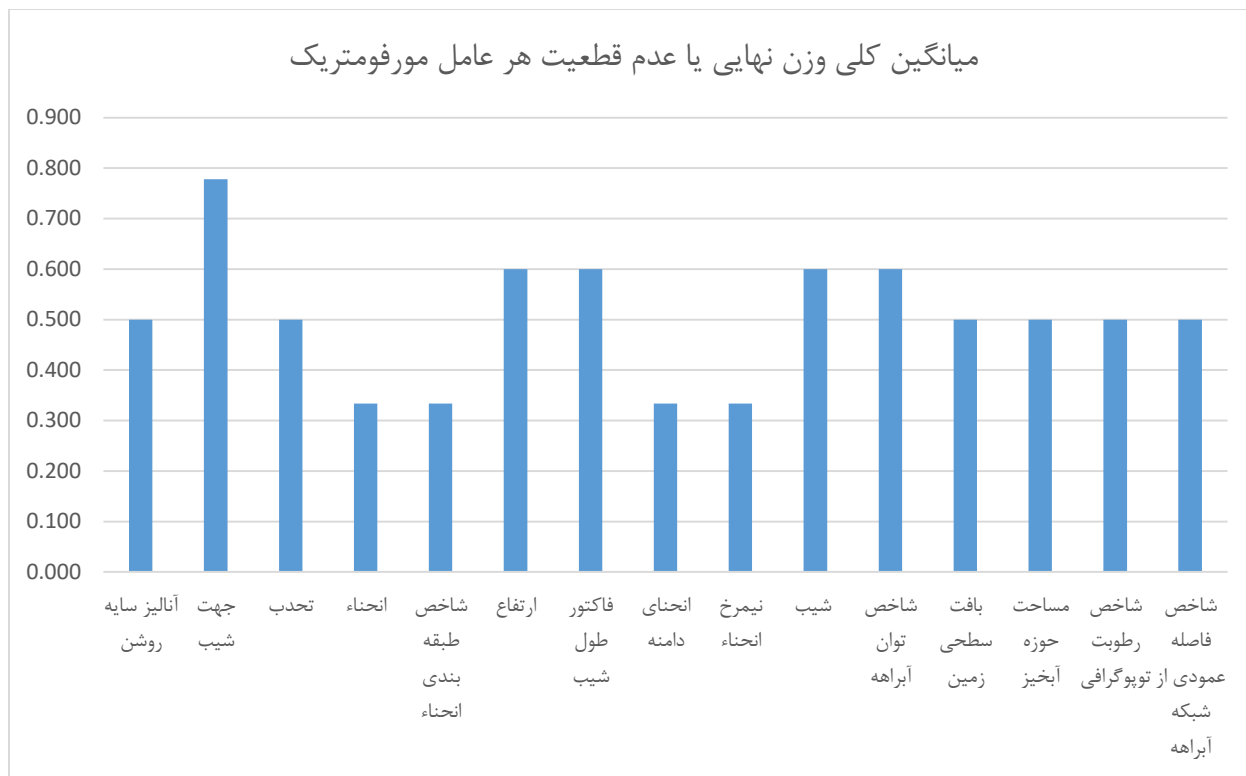
جدول ۱۴. مولفه های مختلف مدل دمپستر شفر در لایه اطلاعاتی مساحت حوزه آبخیز سراب هلیل

Layername	Classes	درصد مساحت کلاس	درصد مساحت خندق	نسبت فراوانی	تابع باور	تابع ناباوری	عدم قطعیت
مساحت حوزه آبخیز	۶۲۵ - ۶۲۶۳۲۴۹/۹	۹۹/۰۴	۹۸/۹۰	۱/۰۰	۰/۰۰۳	۰/۲۸۵	۰/۷۱۲
	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 می باشد که علت آن به وجود زهکشی های نامناسب تر در این طبقه اشاره دارد و در سایر طبقات روند مشابه ای مشاهده می شود. جدول ۱۵. مولفه های 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 توپوگرافی	۷/۵ - - ۲/۱۵	۳۸/۴۸	۲۰/۸۸	۰/۵۴	۰/۱۱۲	۰/۳۴۴	۰/۵۴۴
	۲/۱۵ - - ۲/۹۹	۳۲/۲۲	۴۲/۸۶	۱/۳۳	۰/۳۴۵	۰/۱۹۷	۰/۴۵۸
	۲/۹۹ - ۶/۶۹	۲۰/۹۴	۳۱/۸۷	۱/۵۲	۰/۴۲۱	۰/۲۰۳	۰/۳۷۶
	۶/۶۹ - ۱۸/۸۴	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 می باشد که علت آن به نقش رطوبت اولیه خاک در این طبقه و فراهم شدن سایر شرایط در ایجاد و توسعه فرسایش خندقی اشاره دارد که با نتایج تحقیق Farajzadeh et al. (۲۰۱۲) مطابقت دارد و مقدار تابع عدم قطعیت یا وزن نهایی در طبقه ۶/۶۹ تا ۱۸/۸۴ از همه طبقات بیشتر می باشد که نشان دهنده حساسیت کمتر به فرسایش خندقی می باشد. به طور کلی با افزایش شاخص رطوبت توپوگرافی ابتدا کاهش و سپس میزان عدم قطعیت افزوده شده که نشان می دهد برای افزایش تاثیر بیشتر شاخص رطوبت توپوگرافی در ایجاد و توسعه فرسایش خندقی حتما باید سایر شرایط دیگر نیز دخیل باشند.



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

با توجه به میانگین کلی هر عامل مورفومتريک 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 لایه های اطلاعاتی انحناء، انحنای دامنه و نیمرخ انحناء و طبقه بندی انحناء به طور مساوی دارای کمترین میانگین عدم قطعیت از بین عوامل مورفومتريک می باشد که نشان دهنده حساسیت بیشتر به ایجاد و توسعه فرسایش خندقی در مدل دمپستر شفر می باشد و لایه اطلاعاتی جهت شیب دارای بیشترین میانگین عدم قطعیت از بین عوامل مورفومتريک می باشد که نشان دهنده حساسیت کمتر در ایجاد و توسعه فرسایش خندقی در مدل دمپستر شفر می باشد.

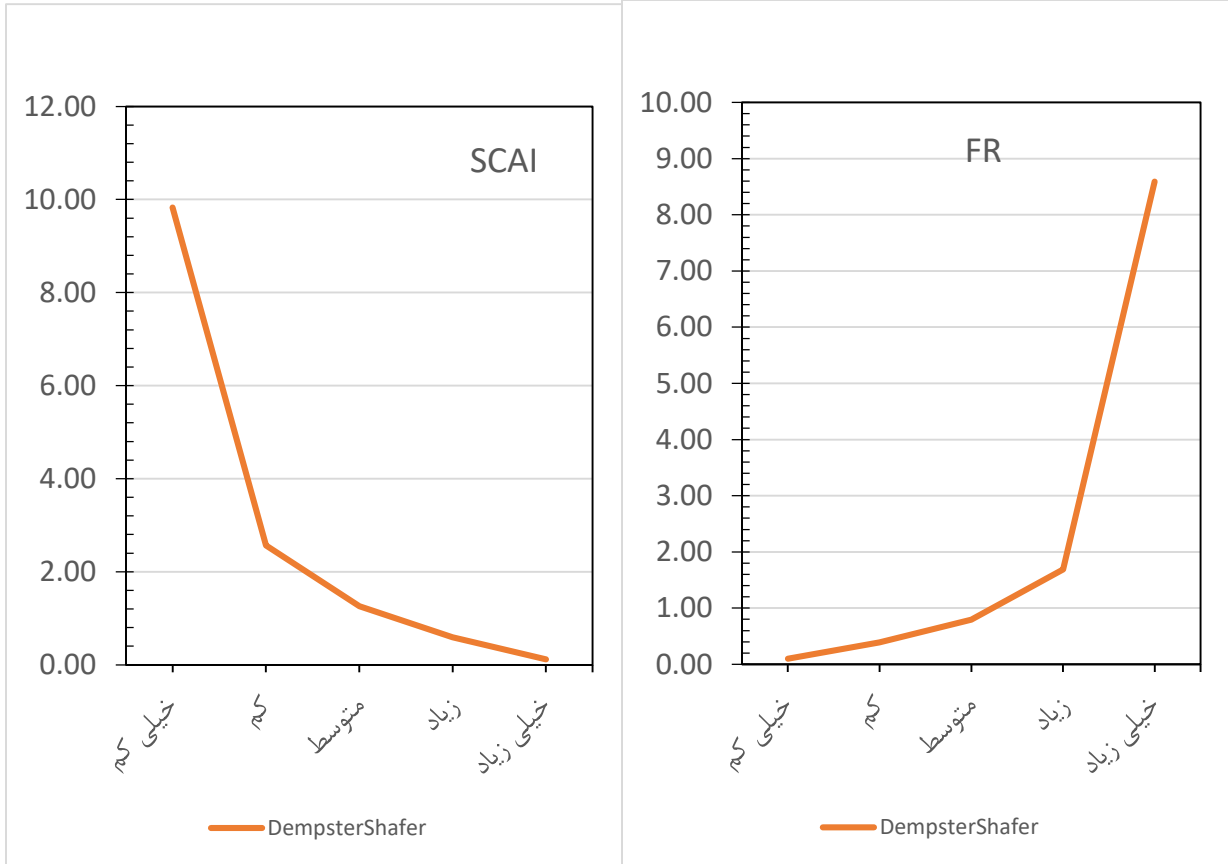
جدول ۱۶. مقادیر شاخص نسبت فراوانی و سطح سلول هسته در هر طبقه از نقشه پهنه‌بندی حساسیت به فرسایش خندقی در مدل

دمپستر شفر

مدل دمپستر شفر				نام طبقه حساسیت	طبقه حساسیت	حوزه آبخیز
شاخص سطح سلول هسته	نسبت فراوانی	درصد خندق	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 می باشد و طبقه حساسیت کم به فرسایش خندقی دارای نسبت فراوانی ۰/۳۹ و طبقه حساسیت متوسط به فرسایش خندقی دارای نسبت فراوانی ۰/۷۹ و طبقه حساسیت زیاد به فرسایش خندقی دارای نسبت فراوانی ۱/۶۹ و طبقه حساسیت خیلی زیاد به فرسایش خندقی دارای نسبت فراوانی ۸/۵۹ می باشد. 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.

نتیجه

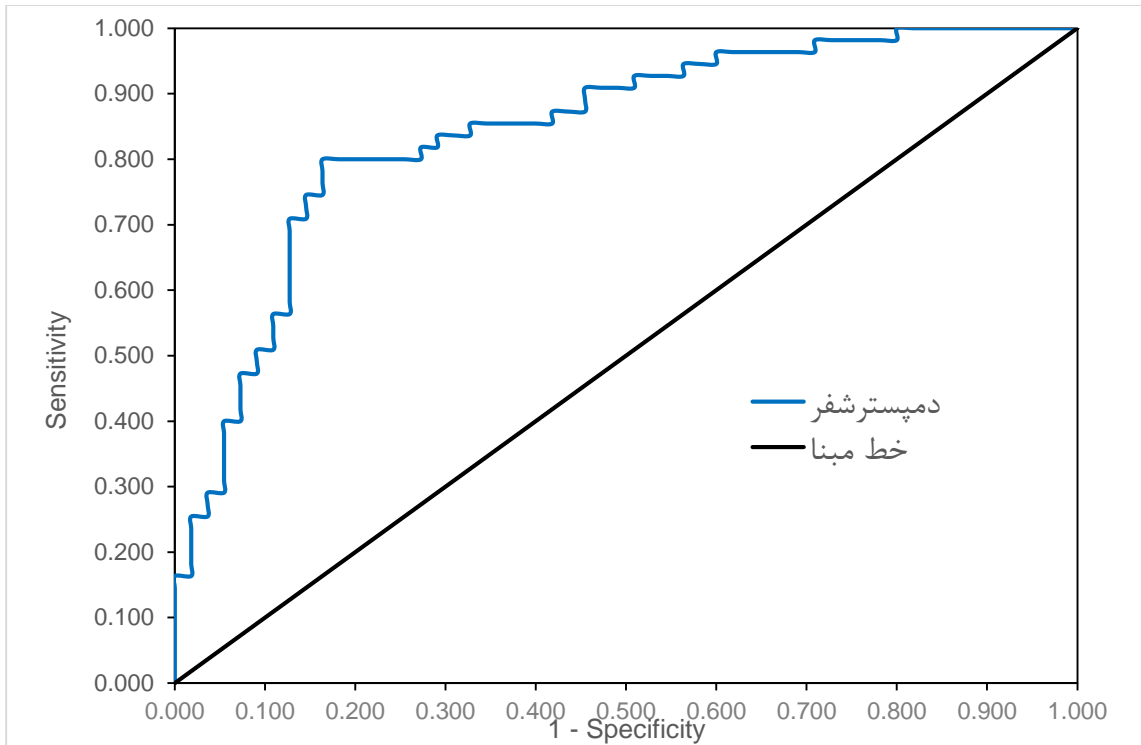


شکل ۵. نمودار FR و SCAI در مدل دمپستر شفر

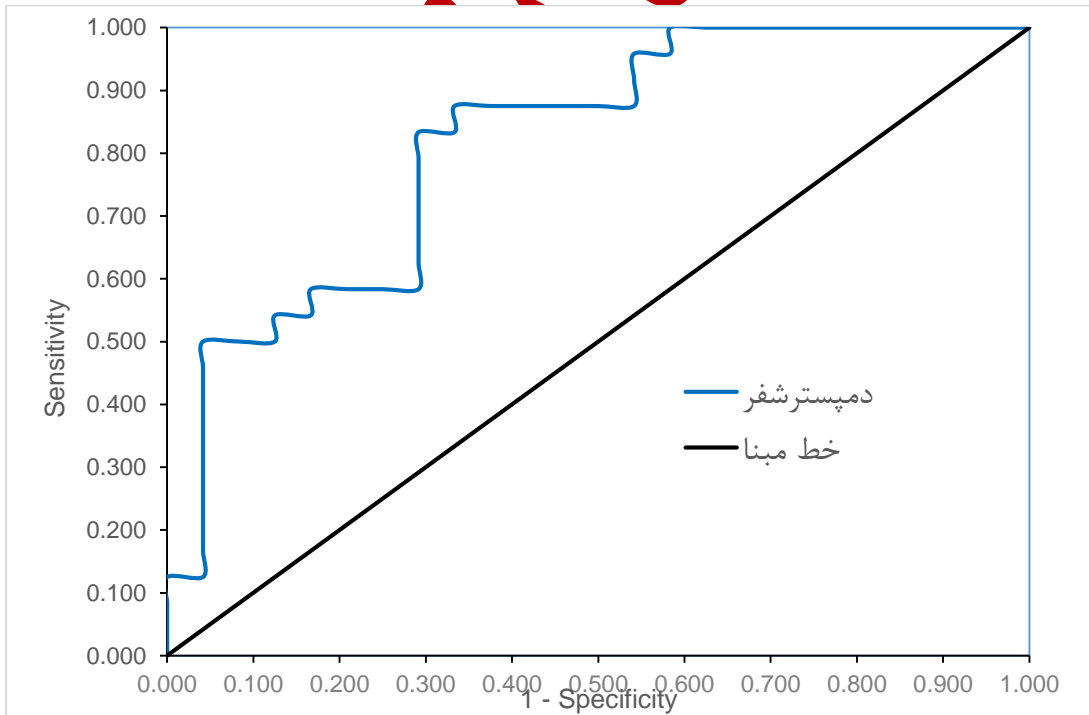
جدول ۱۷- نتایج سطح زیرمنحنی عمل گر گیرنده در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی مدل‌ها برای حساسیت اراضی نسبت به رخداد فرسایش

خندقی

اعتبارسنجی یا پیش‌بینی 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

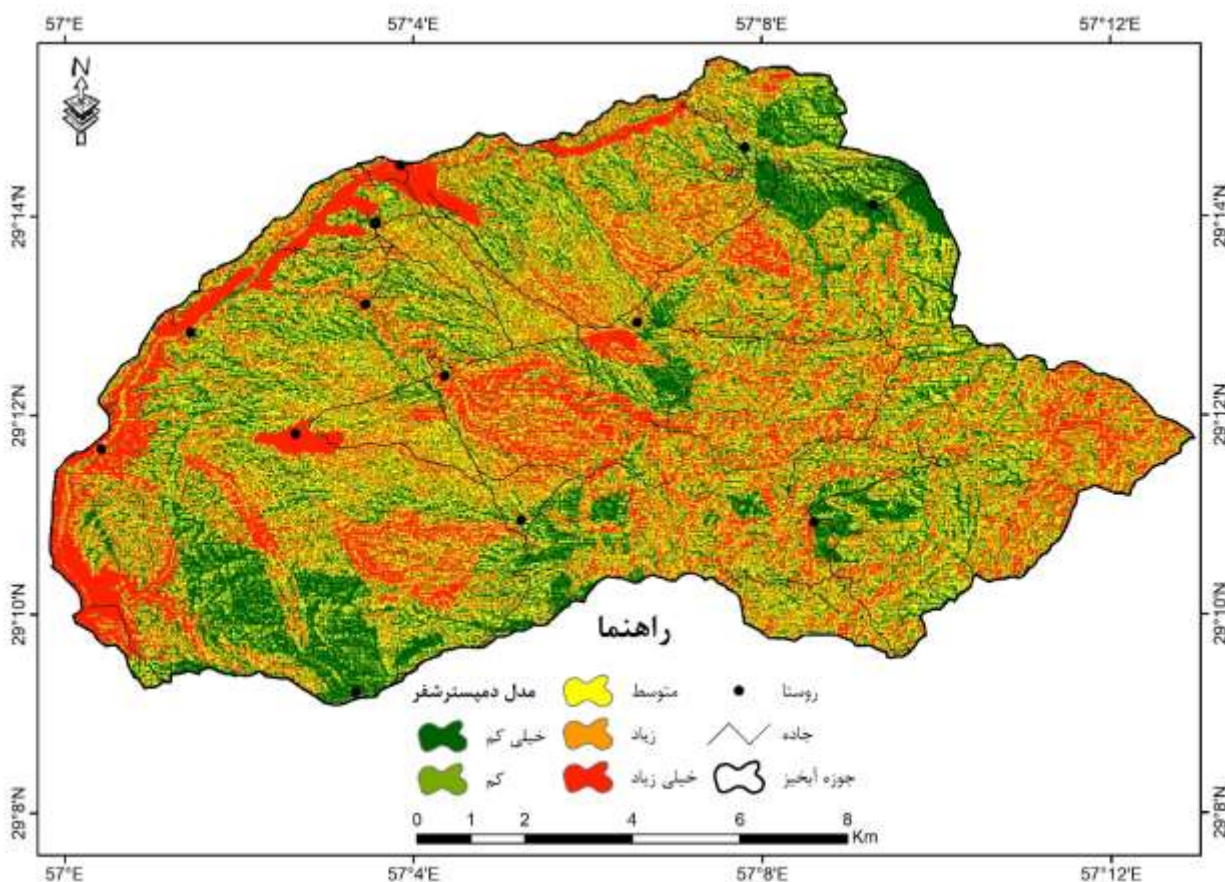


شکل ۶. نمودار منحنی مشخصه عملکرد مدل دمپستر شافر در مرحله آموزش پراکنش رخداد خندق‌ها در حوزه آبخیز سراب هلیل



شکل ۷. نمودار منحنی مشخصه عملکرد مدل دمپستر شافر 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 اعتبار سنجی (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 پیش بینی مناطق مستعد فرسایش خندقی از خود نشان داد و مدل بسیار خوب فرض می‌شود. در مرحله اعتبار سنجی نیز مدل دارای توانایی بسیار خوبی برای پیش بینی 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 بود، مطابقت دارد (شکل ۶ و ۷).



شکل ۸. نقشه پهنه بندی فرسایش خندقی

نقشه مناطق مستعد فرسایش خندقی با توجه به عوامل مورفومتریکی در مدل دمپسترشفر نشان می‌دهد که عوامل مورفومتریکی 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 را نشان می‌دهند و به طور کلی این مدل خطر فرسایش خندقی خیلی زیادی را در سراسر حوزه پیش بینی 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 که با نتایج تحقیق Nwankwoala و Nwankwoala (۲۰۱۸) و Zhang et al. (۲۰۰۷) مطابقت دارد. مدل دمپسترشفر نسبت به عوامل مورفومتریکی 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 پیش بینی 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

مورفومتریکی نقشه ای با حساسیت بسیار بالا نسبت به فرسایش خندقی در حوزه آبخیز سراب هلیل پیش بینی کرده است که می تواند زنگ خطری برای این حوزه نسبت به فرسایش خندقی باشد.

## نتیجه گیری

پهنه بندی خطر و مدل سازی فرسایش خندقی رویکردی هوشمندانه و داده محور است که نگاه ها را از برخورد منفعلانه با این پدیده مخرب به سمت مدیریت فعال و پیشگیرانه تغییر می دهد. این ابزارها با ارائه نقشه های کاربردی و کمی سازی عوامل مؤثر، امکان تصمیم گیری آگاهانه، صرفه جویی در منابع و حفاظت مؤثرتر از خاک و محیط زیست را برای ما فراهم می کنند. 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 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 لایه های اطلاعاتی انحناء، انحنای دامنه و نیمرخ انحناء و طبقه بندی انحناء به طور مساوی دارای کمترین میانگین عدم قطعیت از بین عوامل مورفومتریکی می باشد و لایه اطلاعاتی جهت شیب دارای بیشترین میانگین عدم قطعیت از بین عوامل مورفومتریکی می باشد. بنابراین سطح زیر منحنی (AUC) در حالت های 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 مورفومتریکی از خود نشان داد. بنابراین پیشنهاد می شود با توجه به هزینه پایین جمع آوری داده های ورودی مورد نیاز مدل دمپسترشفر صرفه جویی در زمان در مناطق مختلف کشور با آب و هوای متفاوت مورد استفاده قرار گیرد. ضمناً با توجه به اینکه در زمین های کشاورزی منطقه مورد مطالعه به علت کشاورزی غیر اصولی خندق های مختلف در حال گسترش می باشند بنابراین لازم است به این امر توسط دستگاه های اجرایی استان کرمان توجه ویژه شود.

## ملاحظات اخلاقی

### مشارکت نویسندگان

مفهوم سازی: حمزه سعیدیان، کوروش شیرانی؛ روش شناسی: 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 منتشر شده از مقاله را خوانده و با آن موافقت کرده اند. همه نویسندگان در مفهوم سازی مقاله و نگارش نسخه اولیه و نسخه های بعدی به طور مساوی مشارکت داشته اند.

### بیانیه دسترسی به داده ها

داده هایی پژوهش حاضر از طریق درخواست از نویسندگان قابل دسترسی است.

### سپاسگزاری

نویسندگان از تمامی شرکت کنندگان در این مطالعه تشکر و قدردانی می کنند. 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 به درستی 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): ۸۳-۹۷
- شادفر، صمد، صوفی، مجید، عرب‌خداری، محمود، بیات، رضا، نبی‌پی لشکریان، سعید. (۱۴۰۱). بررسی و تحلیل برخی از عوامل موثر بر گسترش فرسایش خندقی در ایران، بیجمین 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، واجد، 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 مدل‌های 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): ۱۵۹-۱۳۷
- 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. *Sepenr 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 Technical 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.