

# تهیه نقشه حساسیت سیل با استفاده از تحلیل‌های مکانی چند معیاره و ادغام داده (مطالعه موردی: شهرستان مانه و سملقان)

ایمان زندی<sup>۱</sup>، پرهام پهلوانی<sup>۲\*</sup>، بهناز بیگدلی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> گروه مهندسی سیستم‌های اطلاعات مکانی، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، دانشکدگان فنی،

دانشگاه تهران، تهران، ایران  
imanzandi.dgh@ut.ac.ir

<sup>۲</sup> دانشیار دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، دانشکدگان فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران  
pahlavani@ut.ac.ir

<sup>۳</sup> دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران  
bigdeli@shahroodut.ac.ir

(تاریخ دریافت: دی ماه ۱۴۰۱، تاریخ تصویب: خرداد ماه ۱۴۰۲)

## چکیده

سیل مهمترین بحران طبیعی می‌باشد که هر ساله موجب خسارات جانی و مالی می‌گردد؛ بنابراین مدیریت آن از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. اساسی‌ترین گام در مدیریت بحران سیل تهیه نقشه حساسیت می‌باشد که تلفیق سیستم اطلاعات مکانی و تصمیم‌گیری چند معیاره رویکردی کارا جهت انجام آن می‌باشد. تحقیق حاضر به منظور مدلسازی مکانی حساسیت سیل به ارائه یک رویکرد مبتنی بر ادغام وزن معیارهای موثر بر حساسیت سیل با استفاده از تئوری ادغام اطلاعات دمپستر-شفر پرداخته‌است. هدف از ادغام وزن معیارها، افزایش قابلیت اطمینان، کاهش عدم قطعیت فرایند وزندهی و افزایش دقت مدلسازی حساسیت سیل می‌باشد. تحقیق حاضر با ادغام نتایج دو روش وزندهی تحلیل سلسله مراتبی و بهترین-بدترین، به ارائه یک روش وزندهی ترکیبی پرداخته‌است. روش‌های وزندهی ترکیبی تحقیقات پیشین عمدتاً مبتنی بر عملگرهای ریاضی ساده بوده‌اند و عملگرهای پیچیده همانند تئوری ادغام دمپستر-شفر مورد استفاده در تحقیق حاضر کمتر مورد استفاده قرار گرفته‌است. نتایج ادغام وزن‌های بدست آمده از دو روش وزندهی فرایند تحلیل سلسله مراتبی و بهترین-بدترین بیانگر وزن بسیار بالای معیار جریان تجمعی (۰/۴۳۷) و وزن بسیار پایین معیار شاخص پوشش گیاهی (۰/۰۰۴) بوده‌است. مقایسه نتایج تحقیق با واقعیت‌های منطقه مورد مطالعه نشان داد، رویکرد وزندهی ترکیبی ارائه‌شده با دقت ۹۶ درصد در مقایسه با هر یک از روش‌های وزندهی پایه مورد استفاده، از عملکرد بالاتری برخوردار بوده‌است. همچنین، مدلسازی حساسیت حاصل از روش نوین وزندهی بهترین-بدترین در مقایسه با روش رایج فرایند تحلیل سلسله مراتبی از دقت بالاتری برخوردار بوده‌است. بر اساس نتایج تحقیق، بیش از ۹۲ درصد منطقه مورد مطالعه از حساسیت سیل متوسط به بالا و کمتر از ۸ درصد منطقه از حساسیت کمتر از متوسط برخوردار بوده‌است که این نشان‌دهنده سیل خیز بودن منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

**واژگان کلیدی:** مدلسازی حساسیت سیل، تئوری دمپستر-شفر، روش بهترین-بدترین، فرایند تحلیل سلسله مراتبی، سیستم اطلاعات مکانی

\* نویسنده رابط

## ۱- مقدمه

سیل یکی از بحران‌های طبیعی است که سالانه منجر به خسارات اقتصادی و مرگ بسیاری از مردم می‌گردد [۱-۳]. در میان بلایای طبیعی، سیل مرگبارترین بحران می‌باشد [۴]. گستردگی کشور ایران به همراه تنوع آب و هوایی و تغییرات مکانی زمانی بارندگی‌ها در حوضه‌های آبریز آن، هر ساله موجب وقوع سیل‌های عظیم در این کشور می‌گردد [۵]. در سال‌های اخیر، افزایش بارندگی ناشی از تأثیر تغییرات آب و هوایی، علت اصلی خطرات سیل بوده‌است [۶]. عوامل انسانی همانند رشد جمعیت، گسترش شهرها، استفاده نامناسب از زمین و بسیاری دیگر نیز موجب افزایش وقوع سیل می‌گردد [۸]. این در حالی است که عواملی مانند بارندگی‌های شدید، جنگل زدایی و رشد تراکم شهری در حال افزایش می‌باشد و به تبع آن وقوع سیل در آینده افزایش می‌یابد [۵]. نکته قابل توجه دیگر این است که مناطق شهری به عنوان کانون وقوع سیل شناخته می‌شوند [۹] و این بدان معنا است که با وقوع سیل علاوه بر جان شهروندان، تمامی امکانات و زیرساخت‌ها همانند حمل و نقل، بهداشتی و درمانی و ارتباطی در خطر است. اهمیت و تأثیر پدیده سیل در زندگی انسان آشکار بوده و یکی از بحران‌های طبیعی مهم تهدید کننده در جهان می‌باشد. خسارات ناشی از سیل در ایران رو به افزایش بوده‌است، بطوریکه طی دهه‌های اخیر رشد دو برابری داشته‌است [۱۰]. بنابراین پیش‌بینی و مدیریت پدیده سیل در ایران ضرورتی دو چندان دارد. پیش‌بینی سیل با استفاده از روش‌ها و تحلیل‌های کارآمد می‌تواند موجب کاهش خسارات ناشی از آن شود [۱۱]. اولین و ضروری‌ترین گام در مدیریت سیل تعیین مناطق حساس<sup>۱</sup> سیل می‌باشد [۱۲]. با تشخیص مناطق حساس سیل می‌توان برای مدیریت سیل، جلوگیری از وقوع و کاهش خسارات احتمالی ناشی از آن، برنامه‌ریزی و اقدام نمود [۱۳-۱۵]. به منظور مقابله با چالش سیل‌های مکرر، استفاده از مدل‌های حساسیتی<sup>۲</sup> که بتوانند مناطق سیل خیز را تشخیص دهند و آگاهی شهروندان و موفقیت اقدامات کاهشی و پیشگیرانه سیل را افزایش دهند، ضرورت دارد [۱۳، ۱۶]. به منظور تعیین

مناطق حساس سیل، روش‌های مختلفی توسط محققان از کشورهای مختلف مورد استفاده قرار گرفته‌است. تحقیقات مختلف به منظور تعیین مناطق حساس سیل از روش‌های مبتنی بر سیستم اطلاعات مکانی<sup>۳</sup> (GIS) استفاده کرده‌اند. فناوری‌های مکانی نقش قابل توجهی در مدلسازی، پیش‌بینی و ارزیابی بحران سیل دارند [۱۷]. مدلسازی سیل نیازمند انجام تحلیل‌های مکانی گسترده در پایگاه داده مکانی است که با استفاده از GIS مرتفع می‌گردد [۱۷]. استفاده از GIS و تحلیل‌های مکانی در اکثر تحقیقات گذشته مورد استفاده قرار گرفته‌است و به ابزاری ضروری در این زمینه تبدیل شده‌است. اما همانند هر ابزار و روش دیگر، مدل‌های GIS نیز محدودیت‌هایی دارند [۱۸] که به منظور غلبه بر آنها، باید آن را با روش‌ها و فنون دیگر تلفیق کرد. بعنوان مثال به منظور غلبه بر محدودیت‌های GIS و افزایش کارایی آن، قابلیت‌های GIS با روش‌هایی همانند الگوریتم‌های فراابتکاری [۱۹، ۱۳، ۵]، هوش مصنوعی [۲۰]، روش‌های یادگیری ماشین [۲۵-۲۱] و روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره [۳۰-۲۶] ترکیب شده‌است. متداول‌ترین روش مدلسازی سیل، تصمیم‌گیری چند معیاره مبتنی بر GIS است. تلفیق GIS و تصمیم‌گیری چند معیاره به عنوان زمینه‌ای بین رشته‌ای جهت رسیدن به راه‌حل‌های نوین در حل مسائل تصمیم‌گیری مکانی معرفی شده‌است [۳۱]. به عبارتی این حوزه به منظور کشف اطلاعات جهت تصمیم‌گیری، اطلاعات مکانی و ترجیحات را با استفاده از مجموعه‌ای از ابزار و روش‌ها تلفیق می‌نماید [۳۱].

مهمترین گام در تصمیم‌گیری چند معیاره تعیین وزن معیارها می‌باشد. روش مفید جهت افزایش دقت تعیین وزن معیارها، ترکیب روش‌های وزندهی مختلف با هدف به حداقل رساندن عدم قطعیت‌های<sup>۴</sup> ممکن در روش‌های وزندهی است [۳۲]. با وجود انجام تحقیقات مختلف در زمینه مدلسازی حساسیت سیل با استفاده از تصمیم‌گیری چند معیاره، تحقیق در زمینه استفاده همزمان روش‌های مختلف وزندهی کمتر مورد توجه قرار گرفته‌است. تحقیقات پیشین عمدتاً از عملگرهای ساده همانند میانگین هندسی به منظور تلفیق وزن‌های بدست آمده از روش‌های مختلف استفاده نموده‌اند [۳۳، ۳۴] و استفاده از روش‌های قدرتمند

<sup>۳</sup> Geospatial Information Systems

<sup>۴</sup> Uncertainty

<sup>۱</sup> Susceptible Areas

<sup>۲</sup> Susceptibility Models

ادغام اطلاعات<sup>۱</sup> کمتر مورد توجه قرار گرفته‌است. ادغام اطلاعات به فرایند ترکیب<sup>۲</sup> اطلاعات بدست آمده از دو یا چند منبع<sup>۳</sup>، به منظور ایجاد یک مدل جهانی<sup>۴</sup> خاص تر<sup>۵</sup>، جامع تر<sup>۶</sup> و یکپارچه تر<sup>۷</sup> اطلاق می‌گردد [۳۵]. در صورتی که فرایند ادغام اطلاعات با موفقیت انجام شود، دقت مدلسازی بهبود یافته (کاهش عدم قطعیت) و نتایج خاص‌تری نسبت به زمانی که تنها از یک منبع اطلاعات استفاده شود، استنتاج می‌شود [۳۵]. به عبارتی در صورت داشتن داده-های ناکامل<sup>۸</sup> و دارای عدم قطعیت، یک راه‌حل برای بدست آوردن نتایج قابل اعتمادتر ادغام اطلاعات است [۳۶، ۳۷]. با ادغام اطلاعات منابع مختلف علاوه بر افزایش قابلیت اطمینان نتایج، به طور همزمان می‌توان از مزایای منابع اطلاعاتی مختلف استفاده کرده و عدم قطعیت را نسبت به حالت استفاده از یک منبع، کاهش داد.

در ادامه تعدادی از تحقیقات مرتبط با موضوع تحقیق به اختصار بررسی می‌گردد. Tella و Balogun [۳۸] به منظور تعیین مناطق حساس سیل در نیجریه از تلفیق روش‌های وزندهی فرایند تحلیل سلسله مراتبی<sup>۹</sup> و فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی<sup>۱۰</sup> در ترکیب با GIS استفاده کرده‌اند. نتایج این تحقیق نشان داد که نقشه مناطق حساس بدست آمده از روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی با ۹۱ درصد تطابق با مناطقی که در گذشته دچار سیل شده بودند، نسبت به روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی با تطابق ۴۱ درصد، از عملکردی بالاتر برخوردار بوده‌است. Kanani-Sadat و همکاران [۳۹] به منظور تعیین مناطق حساس سیل در کردستان، روشی بر مبنای منطق فازی<sup>۱۱</sup>، دیماتیل<sup>۱۲</sup> و فرایند تحلیل شبکه<sup>۱۳</sup> ارائه داده‌اند. نتایج این

تحقیق بیانگر دقت بالاتر روش پیشنهادی نسبت به روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی بوده‌است. Lee و Cabrera [۲۸] به منظور ارزیابی خطر سیل در فلیپین، به مقایسه دو روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی و بیشینه انتروپی<sup>۱۴</sup> پرداخته‌اند. نتایج تحقیق بیانگر دقت ۹۶ درصدی روش بیشینه انتروپی در مقایسه با دقت ۸۱ درصدی روش تحلیل سلسله مراتبی بوده‌است. Nsangou و همکاران [۴۰] به منظور مدلسازی حساسیت سیل شهری در آفریقا از ترکیب GIS و فرایند تحلیل سلسله مراتبی استفاده کرده‌اند. نتایج این تحقیق بیانگر دقت ۸۴ درصدی روش ارائه شده بوده‌است. Vignesh و همکاران [۴۱] به منظور تحلیل آسیب‌پذیری از سیل در هند، از تلفیق فرایند تحلیل سلسله مراتبی و فنون مکانی استفاده کرده‌اند. در این تحقیق به منظور ارزیابی نتایج، نتایج تحقیق با نتایج تحقیقات قبلی مقایسه شده‌است. ارزیابی نتایج تحقیق بیانگر تشابه با نتایج تحقیقات پیشین بوده‌است. Dano و همکاران [۱۴] به منظور مدلسازی مناطق حساس سیل در مالزی از تلفیق GIS، سنجش از دور و فرایند تحلیل شبکه استفاده کرده‌اند. Lee و Cabrera [۲۷] به منظور تحلیل مناطق مستعد سیل، از تلفیق GIS و روش‌های وزندهی تصمیم‌گیری چند معیاره فرایند تحلیل سلسله مراتبی، وزندهی با رتبه<sup>۱۵</sup> و وزندهی نسبتی<sup>۱۶</sup> استفاده کرده‌اند. به منظور ارزیابی عملکرد روش-های وزندهی ذکر شده، نتایج این تحقیق با نقشه‌های سیل برآورد شده با نقاط حقیقی مورد مقایسه قرار گرفت. ارزیابی نتایج بیانگر دقت بالاتر روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی نسبت به دو روش دیگر بوده‌است. Yariyan و همکاران [۴۲] به منظور مدلسازی حساسیت سیل در سقز استان کردستان به تلفیق فرایند تحلیل شبکه با روش‌های آماری پرداخته‌اند. نتایج این تحقیق بیانگر دقت ۹۵ درصدی روش ترکیبی فرایند تحلیل شبکه-تابع اعتقاد اثباتی<sup>۱۷</sup> نسبت به سایر روش‌های ترکیبی بوده‌است. ذرتی‌پور و چراغی [۴۳] به منظور پهنه‌بندی سیل در خوزستان، از ترکیب تصمیم-گیری چند معیاره، GIS و سنجش از دور استفاده کرده‌اند. آن‌ها از روش تصمیم‌گیری تاپسیس به منظور تهیه نقشه

۱ Information Fusion

۲ Integrating

۳ Source

۴ Global Model

۵ More Specific

۶ More Comprehensive

۷ More Unified

۸ Incomplete Data

۹ Analytic Hierarchy Process

۱۰ Fuzzy Analytic Hierarchy Process

۱۱ Fuzzy Logic

۱۲ Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory

(DEMATEL)

۱۳ Analytic Network Process

۱۴ Maximum Entropy

۱۵ Weights by Rank

۱۶ Ratio Weighting

۱۷ Evidential Belief Function

حساسیت سیل استفاده کردند و بر اساس نتایج، نقشه تهیه شده دقت مطلوبی داشته‌است. صابری‌فر و شکری [۴۴] به منظور پهنه‌بندی سیل در بیرجند از ترکیب GIS و روش تصمیم‌گیری چند معیاره فرایند تحلیل سلسله مراتبی استفاده کرده‌اند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که ۷۰ درصد از شهر بیرجند حساسیت سیل بالا و کمتر از ۳۰ درصد حساسیت سیل پایین دارد. خدائی و زندی [۴۵] به منظور پهنه‌بندی خطر سیل در آذربایجان شرقی از ترکیب فرایند تحلیل شبکه و GIS استفاده کرده‌اند. آن‌ها وزن معیارهای تصمیم‌گیری را با استفاده از فرایند تحلیل شبکه محاسبه و با تلفیق لایه‌های فضایی معیارهای تصمیم‌گیری، نقشه پهنه‌بندی سیل را تهیه کردند.

همانگونه که اشاره شد، تحقیقات پیشین عمدتاً از روش‌های وزندهی فرایند تحلیل سلسله مراتبی و تحلیل شبکه به منظور مدلسازی حساسیت سیل استفاده کرده‌اند، حال آنکه از معایب این روش‌ها می‌توان به تعدد ماتریس-های مقایسات، پیچیدگی و حجم بالای محاسبات و احتمال وجود ناسازگاری در ماتریس‌ها و به طبع آن اصلاح یا تکرار مقایسات زوجی اشاره کرد. در زمینه مدلسازی حساسیت سیل، روش‌های نوین وزندهی با وجود پیچیدگی و محاسبات کمتر و برخورداری از دقت مطلوب، به صورت شایسته مورد توجه قرار نگرفته‌اند. علاوه بر آن ادغام وزن-های بدست آمده از روش‌های وزندهی مختلف (استفاده همزمان از نتایج و مزایایی روش‌های وزندهی مختلف) و به تبع آن افزایش دقت و تأثیر وزندهی مورد توجه قرار نگرفته‌است. ادغام وزن‌های بدست آمده از روش‌های وزندهی مختلف علاوه بر موارد گفته شده، توانایی مدلسازی عدم قطعیت فرایند وزندهی را نیز داشته و می‌تواند بر دقت مدلسازی بیفزاید. بنابراین تحقیق حاضر به منظور مدلسازی حساسیت سیل، به ارائه یک رویکرد ترکیبی شامل روش-های وزندهی فرایند تحلیل سلسله مراتبی و بهترین-بدترین، تئوری ادغام اطلاعات دمپستر-شفر و GIS می-پردازد. در رویکرد پیشنهادی نتایج دو روش وزندهی بوسیله تئوری دمپستر-شفر ادغام شده و وزن ادغام‌شده به منظور تلفیق لایه‌های مکانی معیارهای موثر بر حساسیت سیل، مورد استفاده قرار گرفته‌است. در ادامه مقاله، مبانی نظری تحقیق در بخش دوم، روش تحقیق در بخش سوم، پیاده-سازی و نتایج در بخش چهارم و در نهایت بحث و نتیجه-گیری در بخش پنجم تشریح شده‌است.

## ۲- مبانی نظری تحقیق

در این بخش مفاهیم و تئوری روش‌های مورد استفاده در تحقیق به اختصار بیان شده‌است.

### ۲-۱- فرایند تحلیل سلسله مراتبی

فرایند تحلیل سلسله مراتبی [۴۶، ۴۷] محبوبترین روش وزندهی است و در کاربردهای مختلف مورد استفاده قرار گرفته‌است [۴۸]. این روش بسیار شهودی<sup>۱</sup> بوده و ویژگی ارزشمند آن امکان استفاده از ترجیحات تصمیم-گیران<sup>۲</sup> به منظور حل مسائل است [۴۸]. رویکرد روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی در حل مسائل پیچیده، تبدیل مسئله به سامانه‌ای از سلسله مراتب‌ها می‌باشد. این روش که رویکردی نیمه-کمی<sup>۳</sup> دارد [۴۹] با استفاده از مقایسات زوجی انجام شده توسط تصمیم‌گیران<sup>۴</sup> به تعیین وزن معیارهای تصمیم‌گیری می‌پردازد [۴۸]. هر چند این روش به دلیل سادگی و قدرتمندی در حل مسائل، یکی از پرکاربردترین روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره می‌باشد [۵۰، ۵۱] ولی برخی معتقدند با وجود صحیح بودن مدل از نظر ریاضی، چون بر مفهوم تراگذری ریاضی<sup>۳</sup> استوار است، در واقعیت نمی‌تواند منطقی باشد [۴۸]. در ادامه این روش به اختصار تشریح می‌گردد.

در ابتدا مدلسازی مسئله یا ساختاربندی آن بوسیله تصمیم‌گیران<sup>۲</sup> یا متخصصان<sup>۱</sup> صورت می‌گیرد. در روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی ساختارهای متفاوت به تولید رتبه‌بندی (وزن‌های) متفاوت منجر می‌شود [۵۲].

فرایند تحلیل سلسله مراتبی بر خلاف روش‌هایی که از فاصله میان گزینه‌ها (معیارها) استفاده می‌کنند، از مقایسات زوجی جهت رتبه‌بندی استفاده می‌کند. در این گام معیارها دو به دو بر اساس اعداد ۱ تا ۹ مورد مقایسه قرار می‌گیرند (جدول (۱)). پس از محاسبه ماتریس مقایسات زوجی، وزن معیارها با استفاده از روش ساعتی [۴۶] محاسبه می‌گردد. پس از آن به منظور بررسی میزان ناسازگاری منطقی میان نظرات تصمیم‌گیران<sup>۲</sup>، مقدار نرخ ناسازگاری<sup>۴</sup> از رابطه (۱)

<sup>۱</sup> Intuitive

<sup>۲</sup> Semi-Quantitative

<sup>۳</sup> Mathematical Transitivity

<sup>۴</sup> Consistency Ratio

گام ۲: مقایسه بهترین معیار با همه معیارها و همه معیارها با بدترین معیار با استفاده از ترجیحات زوجی ارائه شده در جدول (۱).

گام ۳: حل مسئله کمینه‌سازی-بیشینه‌سازی با شرایط رابطه (۳) [۵۶] به منظور محاسبه وزن معیارهای تصمیم‌گیری.

$$\min \max_j \left\{ \left| \frac{W_j}{W_w} - a_{jw} \right|, \left| \frac{W_B}{W_j} - a_{Bj} \right| \right\} \quad (3)$$

در رابطه (۳)،  $W_j$  وزن معیار  $j$ -ام،  $W_w$  وزن بدترین معیار،  $a_{jw}$  بیانگر برتری (اهمیت) معیار  $j$ -ام نسبت به بدترین معیار،  $W_B$  وزن بهترین معیار و  $a_{Bj}$  بیانگر برتری (اهمیت) بهترین معیار نسبت به معیار  $j$ -ام است. رابطه (۳) باید با در نظر گرفتن دو قید  $\sum_{j=1}^m w_j = 1$  و برای تمام  $j$  ها باید  $w_j \geq 0$  مورد بررسی قرار می‌گیرد [۵۶]. رابطه (۳) و دو قید ارائه شده، در فرایند برنامه‌نویسی به صورت روابط (۴-۸) فرموله می‌شوند [۵۶].

$$\min \xi \quad (4)$$

$$\left| \frac{W_B}{W_j} - a_{Bj} \right| \leq \xi, \text{ for all } j \quad (5)$$

$$\left| \frac{W_j}{W_w} - a_{jw} \right| \leq \xi, \text{ for all } j \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^m w_j = 1 \quad (7)$$

$$w_j \geq 0, \text{ for all } j \quad (8)$$

با حل مسئله فوق در قالب تکرارهای متوالی، وزن بهینه معیارها ( $W_1^*, W_2^*, \dots, W_m^*$ ) و  $\xi^*$  محاسبه می‌گردد. رابطه (۹) با استفاده از پارامتر  $\xi^*$  به محاسبه نرخ ناسازگاری می‌پردازد [۵۶]. در این روش همانند روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی، نرخ ناسازگاری کمتر از ۰/۱ نشان‌دهنده سازگاری مقایسات می‌باشد. در صورت تجاوز مقدار نرخ ناسازگاری از حد آستانه ذکر شده، فرایند مقایسات زوجی باید مورد تجدید نظر قرار گیرد.

$$\text{نرخ ناسازگاری} = \frac{\xi^*}{\text{شاخص سازگاری}} \quad (9)$$

شاخص سازگاری بر اساس برتری بهترین معیار نسبت به بدترین معیار تصمیم‌گیری، با استفاده از جدول (۳) تعیین می‌گردد.

محاسبه می‌شود [۵۳]. در رابطه (۱)،  $CI$  شاخص ناسازگاری<sup>۱</sup> و  $RI$  شاخص تصادفی<sup>۲</sup> می‌باشد. به منظور محاسبه شاخص ناسازگاری از رابطه (۲) استفاده می‌شود. در رابطه (۲)،  $n$  تعداد معیارها (بعد ماتریس تصمیم) و  $\lambda_{\max}$  بیشترین مقدار ویژه<sup>۳</sup> و درجه ماتریس<sup>۴</sup> است [۵۴]. در صورت بزرگتر بودن نرخ ناسازگاری از حد آستانه، ماتریس مقایسات باید مورد بازبینی قرار گیرد [۵۴]. مقدار نرخ ناسازگاری به منظور محاسبه سازگاری کلی ماتریس مقایسات زوجی مورد استفاده قرار می‌گیرد و مقدار آن باید از حد آستانه ۰/۱ کمتر باشد [۵۴]. میانگین شاخص سازگاری مرتبط با ماتریس تصمیم با استفاده از  $RI$  بیان می‌شود [۵۵].  $CI$  از رابطه (۲) و  $RI$  از جدول (۲) محاسبه می‌گردد [۴۶].

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (1)$$

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (2)$$

## ۲-۲- روش بهترین-بدترین

روش بهترین-بدترین در سال ۲۰۱۵ به عنوان یک روش تصمیم‌گیری چند معیاره نوین توسط [۵۶] ارائه شده‌است که علی‌رغم کاهش محسوس تعداد مقایسات زوجی میان معیارها، نتایج قابل اطمینانی تولید می‌کند [۵۷]. در این روش ابتدا تصمیم‌گیران، بهترین و بدترین معیار تصمیم‌گیری را تعیین می‌کنند [۵۷]. پر اهمیت‌ترین معیار در تصمیم‌گیری، بهترین معیار و کم اهمیت‌ترین معیار در تصمیم‌گیری، بدترین معیار می‌باشد [۵۶]. محاسبه وزن در این روش بوسیله یک مدل برنامه‌ریزی غیر خطی انجام می‌شود. همچنین نسبت به روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی، تلفیق روش بهترین-بدترین با سایر روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره به مراتب ساده‌تر می‌باشد [۵۶، ۵۷]. در ادامه این روش به اختصار تشریح می‌گردد.

گام ۱: تعیین بهترین و بدترین معیار در تصمیم‌گیری.

۱ Consistency Index

۲ Random Index

۳ Maximal Eigenvalue

۴ Order of the matrix

جدول ۱- اعداد متناظر با ترجیحات مقایسات زوجی [۴۸]

|               |                                                            |
|---------------|------------------------------------------------------------|
| ۱             | ترجیح یکسان (هر دو معیار به یک اندازه مهم یا ارجح هستند)   |
| ۳             | کمی مرجح (یک معیار نسبتاً مهمتر از دیگری است (ترجیح ضعیف)) |
| ۵             | ترجیح قوی (یک معیار مهمتر از دیگری است)                    |
| ۷             | ترجیح خیلی قوی (یک معیار بسیار مهمتر از دیگری است)         |
| ۹             | کاملاً مرجح (یک معیار بشدت مهمتر از دیگری است)             |
| ۲ و ۴ و ۶ و ۸ | ترجیحات میانی                                              |

جدول ۲- شاخص سازگاری [۴۶]

| n            | ۱    | ۲    | ۳    | ۴    | ۵    | ۶    | ۷    | ۸    | ۹    | ۱۰   |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| شاخص سازگاری | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۵۸ | ۰/۹۰ | ۱/۲۱ | ۱/۲۴ | ۱/۳۴ | ۱/۴۱ | ۱/۴۵ | ۱/۴۹ |

جدول ۳- شاخص سازگاری [۵۶]

| $a_{BW}$     | ۱    | ۲    | ۳    | ۴    | ۵    | ۶    | ۷    | ۸    | ۹    |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| شاخص سازگاری | ۰/۰۰ | ۰/۴۴ | ۱/۰۰ | ۱/۶۳ | ۲/۳۰ | ۳/۰۰ | ۳/۷۳ | ۴/۴۷ | ۵/۲۳ |

## ۲-۳- تئوری دمپستر-شفر

یکی از قدرتمندترین روش‌های ادغام اطلاعات، تئوری دمپستر-شفر می‌باشد [۵۸]. این تئوری ریاضی توسط دمپستر [۵۹] ارائه شد و بوسیله شفر [۶۰] توسعه یافت. تئوری دمپستر-شفر یک چارچوب ریاضی جهت استنتاج در شرایط عدم قطعیت می‌باشد که امکان ادغام شواهد<sup>۱</sup> بدست آمده از منابع مختلف مستقل<sup>۲</sup> را فراهم می‌نماید [۶۱]. در این تئوری ادغام شواهد بوسیله قانون ترکیب دمپستر<sup>۳</sup> انجام می‌گردد. یکی از دلایل پر استفاده بودن این تئوری در حوزه‌های مختلف همین قانون ترکیب می‌باشد زیرا امکان استفاده از منابع توزیع<sup>۴</sup> شده را فراهم می‌کند [۶۱]. در ادامه این تئوری به اختصار تشریح می‌گردد.

فرض کنید  $U$  یک مجموعه جهانی شامل تمام حالات ممکن برای یک پدیده باشد. مجموعه قدرت  $U$  یعنی  $2^U$  شامل تمام زیرمجموعه‌های  $U$  و حالت تهی ( $\emptyset$ ) می‌باشد. تابع جرم<sup>۵</sup> ( $m$ ) که تخصیص احتمال اولیه<sup>۶</sup> یا تخصیص باور

اولیه<sup>۷</sup> نیز نامیده می‌شود، اساسی‌ترین تابع در تئوری دمپستر-شفر می‌باشد که به منظور تخصیص درجات باور<sup>۸</sup> به مجموعه فرضیه‌ها، مورد استفاده قرار می‌گیرد. تابع  $m$  میزان باوری است که تنها به یک مجموعه (مانند  $A$ ) اختصاص می‌یابد و شامل باورهای تخصیص یافته به زیرمجموعه‌های آن مجموعه نمی‌گردد. تابع جرم به صورت رابطه (۱۰) تعریف می‌گردد [۶۱].

$$m: 2^U \rightarrow [0, 1] \quad (10)$$

تابع جرم با برقراری دو شرط الف) تابع جرم مجموعه تهی برابر با صفر است (رابطه (۱۱) [۶۱]) و ب) مجموع توابع جرم عناصر مجموعه قدرت  $U$  باید برابر با ۱ باشد (رابطه (۱۲) [۶۱])، معتبر است.

$$m(\emptyset) = 0 \quad (11)$$

$$\sum_{A \in 2^U} m(A) = 1 \quad (12)$$

۱ Evidences

۲ Different Independent Sources

۳ Dempster's Combination Rule

۴ Distributed Resources

۵ Mass Function

۶ Basic Probability Assignment

۷ Basic Belief Assignment

۸ Degrees of Belief

تابع باور<sup>۱</sup> مجموعه  $A$  (که تابع حمایت<sup>۲</sup> نیز نامیده می-شود)، میزان کل باور مطلق است که به  $A$  و تمام زیرمجموعه‌های آن تخصیص می‌یابد (رابطه (۱۳) [۶۱]). تابع باور حد پایین احتمال واقعی را نشان می‌دهد، به منظور نمایش حد بالای احتمال واقعی، تابع مقبولیت<sup>۳</sup> به صورت رابطه (۱۴) تعریف می‌گردد [۶۱]. به عبارتی تابع مقبولیت بیانگر محدوده‌ای است که  $A$  در آن معتبر<sup>۴</sup> است.

$$bel(A) = \sum_{B \subseteq A} m(B), \quad \forall A \subseteq U \quad (13)$$

$$pl(A) = \sum_{B \cap A \neq \emptyset} m(B), \quad \forall A \subseteq U \quad (14)$$

همانگونه که گفته شد، تئوری دمپستر-شفر به منظور ترکیب شواهد بدست آمده از منابع مختلف مستقل مورد استفاده قرار می‌گیرد. ابزار انجام این مهم، قانون ترکیب دمپستر است. با استفاده از قانون ترکیب دمپستر، دو شاهد مستقل که به صورت دو تابع جرم  $m_1$  و  $m_2$  شواهد بیان می-شوند، همانند رابطه (۱۵) به صورت یک تابع جرم  $m_{1,2}$  ترکیب می‌شوند [۶۱].

$$m_{1,2}(A) = \begin{cases} \frac{\sum_{B \cap C = A} m_1(B)m_2(C)}{1 - \sum_{B \cap C = \emptyset} m_1(B)m_2(C)} & A \neq \emptyset \\ 0 & A = \emptyset \end{cases} \quad \forall A \subseteq U \quad (15)$$

## ۲-۴- معیارهای ارزیابی

معیارهای ارزیابی در تحقیق حاضر شامل دقت<sup>۵</sup>، حساسیت<sup>۶</sup>، شفافیت<sup>۷</sup> و احتمال خطای طبقه‌بندی نادرست<sup>۸</sup> (خطا) می‌باشد که در ادامه به اختصار تشریح می‌گردند. در روابطی که در ادامه ارائه می‌گردد، چهار مفهوم مثبت حقیقی (TP)، منفی حقیقی (TN)، مثبت کاذب (FP) و منفی کاذب (FN) مورد استفاده قرار گرفته‌است که در ادامه هر کدام تشریح می‌گردد. مثبت حقیقی نقاطی که در سیل

۱۳۹۶ دچار سیل شده بودند و مدل نیز حساسیت سیل آن‌ها را زیاد یا خیلی زیاد تشخیص داده‌است. منفی حقیقی نقاطی که در سیل ۱۳۹۶ دچار سیل نشده بودند و مدل نیز حساسیت سیل آن‌ها را کم یا خیلی کم تشخیص داده‌است. مثبت کاذب نقاطی که در سیل ۱۳۹۶ دچار سیل نشده بودند ولی مدل حساسیت سیل آن‌ها را زیاد یا خیلی زیاد تشخیص داده‌است. منفی کاذب نقاطی که در سیل ۱۳۹۶ دچار سیل شده بودند ولی مدل حساسیت سیل آن‌ها را کم یا خیلی کم تشخیص داده‌است.

معیار دقت، توانایی مدل در تفکیک نقاط سیل‌خیز و نا سیل‌خیز را نشان می‌دهد و با استفاده از رابطه (۱۶) تعیین می‌گردد. دقت نزدیک به یک بیانگر عملکرد مطلوب مدل می‌باشد. شفافیت، توانایی مدل در تشخیص نقاط نا سیل-خیز را نشان می‌دهد و با استفاده از رابطه (۱۷) تعیین می‌گردد. شفافیت نزدیک به یک بیانگر عملکرد مطلوب مدل می‌باشد. حساسیت، توانایی مدل در تشخیص نقاط سیل-خیز را نشان می‌دهد و با استفاده از رابطه (۱۸) تعیین می‌گردد. حساسیت نزدیک به یک بیانگر عملکرد مطلوب مدل می‌باشد. خطا، ناتوانی مدل در تفکیک نقاط سیل‌خیز و نا سیل‌خیز را نشان می‌دهد و با استفاده از رابطه (۱۹) تعیین می‌گردد. خطای نزدیک به صفر بیانگر عملکرد مطلوب مدل می‌باشد.

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + FP + TN + FN} \quad (16)$$

$$Specificity = \frac{TN}{TN + FP} \quad (17)$$

$$Sensitivity = \frac{TP}{TP + FN} \quad (18)$$

$$PME = \frac{FP + FN}{TP + FP + TN + FN} \quad (19)$$

## ۲-۵- شناسایی معیارهای مورد استفاده در تحقیق

معیارهای مورد استفاده در تصمیم‌گیری نقشی اساسی در کیفیت و صحت تصمیم‌گیری دارند. به عبارتی برای اخذ یک تصمیم مناسب علاوه بر درک مسئله، اهداف، نیازمندی‌ها و بسیاری دیگر، معیارهای مناسب جهت ارزیابی گزینه‌های تصمیم‌گیری باید درک و تعریف شوند

۱ Belief

۲ Support

۳ Plausibility Function

۴ Plausible or credible

۵ Precision

۶ Sensitivity

۷ Specificity

۸ Probability of Missclassification Error (PME)

[۶۲]. در تحقیق حاضر بر اساس مرور تحقیقات پیشین، ۱۰ معیار به منظور استفاده جهت مدل‌سازی حساسیت سیل انتخاب شده‌است. معیارهای مورد استفاده در تحقیق حاضر شامل: عدد منحنی<sup>۱</sup> (C<sub>1</sub>)، شیب<sup>۲</sup> (C<sub>2</sub>)، جریان تجمعی<sup>۳</sup> (C<sub>3</sub>)، شاخص موقعیت توپوگرافی<sup>۴</sup> (C<sub>4</sub>)، ارتفاع (مدل رقومی ارتفاع زمین)<sup>۵</sup> (C<sub>5</sub>)، فاصله قائم تا رواناب<sup>۶</sup> (C<sub>6</sub>)، شاخص رطوبت توپوگرافی<sup>۷</sup> (C<sub>7</sub>)، فاصله افقی تا رواناب<sup>۸</sup> (C<sub>8</sub>)، شاخص پوشش گیاهی<sup>۹</sup> (C<sub>9</sub>) و شاخص فورنیه اصلاح شده<sup>۱۰</sup> (C<sub>10</sub>) می‌باشند. با توجه به اینکه این معیارها از منابع اطلاعاتی مختلفی تهیه می‌شوند، دارای ویژگی‌های چند بعدی و مقیاس‌های متفاوت می‌باشند [۶۳]. بنابراین معیارهای ذکر شده بر اساس میزان تأثیر بر حساسیت سیل در پنج کلاس (حساسیت خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد) طبقه‌بندی شده‌است. تحقیقات پیشین [۶۷-۶۴، ۳۸] طیف مختلفی از اعداد را به کلاس‌های مختلف معیارهای موثر بر حساسیت سیل اختصاص داده‌اند که در تحقیق حاضر با توجه به اعداد ارائه شده توسط ساعتی، از طیف ۱ تا ۹ استفاده شده‌است. جدول (۴) معیارهای موثر بر وقوع سیل، مرز مورد استفاده جهت کلاسه‌بندی آن‌ها و رتبه‌بندی کلاس‌های آن‌ها بر اساس تأثیر بر حساسیت سیل را نشان می‌دهد. در ادامه معیارهای تصمیم‌گیری به صورت مختصر تشریح می‌شوند.

یکی از معیارهای اصلی موثر بر وقوع سیل ارتفاع می‌باشد [۶۳]. مناطق با ارتفاع کمتر نسبت به مناطق مرتفع از پتانسیل بیشتری جهت وقوع سیل برخوردارند [۶۸]. شیب تند موجب افزایش رواناب می‌گردد و شیب ملایم موجب جمع شدن آب در منطقه می‌گردد. به عبارتی مناطق دارای شیب ملایم یا مسطح به علت اینکه امکان حرکت آب در آن‌ها وجود ندارد، نسبت به سیل از حساسیت بالاتری برخوردارند [۶۹]. یک جزء ضروری یک حوضه رودخانه که

نشان دهنده مناطق طغیان سیل است، شاخص رطوبت توپوگرافی می‌باشد [۷۰]. این شاخص خود ترکیبی از دو پارامتر مساحت بالا دست و شیب می‌باشد که نشان دهنده کمیت تأثیر توپوگرافی<sup>۱۱</sup> بر سیل است [۳۹]. به منظور محاسبه این شاخص از رابطه (۲۰) استفاده می‌شود [۶۸، ۳۹]. در این رابطه A<sub>s</sub> مساحت بالا دست و β زاویه شیب است [۷۱]. هر چه مقدار این شاخص بیشتر باشد، پتانسیل وقوع سیل بیشتر است [۳۹، ۷۲].

$$TWI = \ln \left( \frac{A_s}{\tan \beta} \right) \quad (20)$$

فاصله افقی تا رواناب، مولفه افقی میان موقعیت هر سلول تا موقعیت شبکه رودخانه و فاصله قائم تا رواناب، مولفه قائم میان ارتفاع هر سلول تا ارتفاع شبکه رودخانه می‌باشد [۳۹]. پتانسیل سیل در سلول‌هایی که مقادیر فاصله افقی و قائم تا رواناب کمتری داشته باشند، بیشتر است [۳۹]. عدد منحنی یک پارامتر هیدرولوژیکی تابع نوع خاک، کاربری زمین و شرایط رطوبت خاک است که به منظور پیش‌بینی رواناب مستقیم ناشی از بارندگی مورد استفاده قرار می‌گیرد [۳۹]. هر چه مقدار عدد منحنی یک منطقه بیشتر باشد حساسیت سیل در آن منطقه بیشتر است [۷۳]. شاخص رطوبت توپوگرافی نشان دهنده میزان اختلاف ارتفاع هر سلول با میانگین ارتفاع سلول‌ها همسایه می‌باشد [۳۹، ۷۰]. این شاخص برای سلول‌هایی که نسبت به همسایگان خود در ارتفاع بالاتر یا پایین‌تر قرار دارند به ترتیب مثبت و منفی می‌باشد [۳۹، ۷۰]. مناطق دارای شاخص موقعیت توپوگرافی کمتر مستعد وقوع سیل هستند. رابطه (۲۱) جهت محاسبه این شاخص مورد استفاده قرار می‌گیرد [۳۹]. در این رابطه Z<sub>p</sub> ارتفاع پیکسل مورد نظر، n تعداد پیکسل‌های همسایه و Z<sub>i</sub> ارتفاع پیکسل همسایه i-ام می‌باشد.

$$TPI = Z_p - \frac{\sum_{i=1}^n Z_i}{n} \quad (21)$$

یکی از عوامل مهم حساسیت سیل یعنی شدت بارندگی بوسیله شاخص فورنیه اصلاح شده تهیه می‌گردد [۳۹]. این شاخص با استفاده از رابطه (۲۲) محاسبه می‌گردد [۳۹] که در آن P<sub>i</sub> و P به ترتیب میانگین بارندگی ماهانه و سالانه می‌باشند [۷۴].

۱ Curve Number

۲ Slope

۳ Flow Accumulation

۴ Topographic Position Index

۵ Digital Elevation Model

۶ Vertical Overland Flow Distance

۷ Topographic Wetness Index

۸ Horizontal Overland Flow Distance

۹ Vegetation Index

۱۰ Modified Fournier Index

۱۱ Topography



$$MFI = \frac{\sum_{i=1}^{12} p_i^2}{P} \quad (22)$$

شاخص پوشش گیاهی با استفاده از رابطه (۲۳) محاسبه می‌گردد [۳۹]. در این رابطه  $NIR$  نشان دهنده بخش مادون قرمز و  $R$  نشان دهنده بخش قرمز طیف موج الکترومغناطیسی است. این شاخص نسبت به توسعه سیل از حساسیت بالایی برخوردار می‌باشد [۷۵]. به عبارتی پوشش گیاهی به نفوذ رواناب در زمین و کاهش سرعت و میزان آن منجر می‌شود. مناطق با پوشش گیاهی کمتر و پراکنده

نسبت به مناطق با پوشش گیاهی انبوه و زیاد، از حساسیت سیل بیشتری برخوردارند.

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad (23)$$

جریان تجمعی مقدار کل آبی است که به هر سلول جریان می‌یابد [۷۱]. جریان تجمعی با محاسبه جهت جریان، بدست آمده و هرچه مقدار آن بیشتر باشد منطقه جهت وقوع سیل از پتانسیل بالاتری برخوردار می‌باشد.

جدول ۴- معیارهای موثر بر وقوع سیل و رتبه‌بندی کلاس‌های آن‌ها

| رتبه حساسیت وقوع سیل | مرز کلاس    | معیار                             | رتبه حساسیت وقوع سیل | مرز کلاس  | معیار                                                     |
|----------------------|-------------|-----------------------------------|----------------------|-----------|-----------------------------------------------------------|
| ۹                    | ۰-۲۰۰       | فاصله قائم تا رواناب (سلول)       | ۱                    | ۶۵-۷۰     | عدد منحنی (بدون واحد)                                     |
| ۷                    | ۲۰۰-۴۰۰     |                                   | ۳                    | ۷۰-۷۵     |                                                           |
| ۵                    | ۴۰۰-۶۰۰     |                                   | ۵                    | ۷۵-۸۰     |                                                           |
| ۳                    | ۶۰۰-۸۰۰     |                                   | ۷                    | ۸۰-۸۵     |                                                           |
| ۱                    | ۸۰۰-۱۴۰۰    |                                   | ۹                    | ۸۵-۹۵     |                                                           |
| ۹                    | ۰-۶         | شاخص رطوبت توپوگرافی (بدون واحد)  | ۹                    | ۰-۱۵      | شیب (درجه)                                                |
| ۷                    | ۶-۸         |                                   | ۷                    | ۱۵-۳۰     |                                                           |
| ۵                    | ۸-۱۰        |                                   | ۵                    | ۳۰-۴۵     |                                                           |
| ۳                    | ۱۰-۱۲       |                                   | ۳                    | ۴۵-۶۰     |                                                           |
| ۱                    | ۱۲-۲۷       |                                   | ۱                    | ۶۰-۷۵     |                                                           |
| ۹                    | ۰-۳۰۰۰      | فاصله افقی تا رواناب (سلول)       | ۱                    | ۰-۳       | جریان تجمعی (بدون واحد، اعداد کلاس‌ها در $10^6$ ضرب شوند) |
| ۷                    | ۳۰۰۰-۶۰۰۰   |                                   | ۳                    | ۳-۶       |                                                           |
| ۵                    | ۶۰۰۰-۹۰۰۰   |                                   | ۵                    | ۶-۹       |                                                           |
| ۳                    | ۹۰۰۰-۱۲۰۰۰  |                                   | ۷                    | ۹-۱۲      |                                                           |
| ۱                    | ۱۲۰۰۰-۱۶۰۰۰ |                                   | ۹                    | ۱۲-۱۸     |                                                           |
| ۹                    | ۰/۳-۰/۱     | شاخص پوشش گیاهی (بدون واحد)       | ۹                    | ۰/۵۵-۰/۴۵ | شاخص موقعیت توپوگرافی (متر)                               |
| ۷                    | ۰/۱-۰/۱     |                                   | ۷                    | ۰/۴۵-۰/۲۵ |                                                           |
| ۵                    | ۰/۱-۰/۳     |                                   | ۵                    | ۰/۲۵-۰/۵  |                                                           |
| ۳                    | ۰/۳-۰/۵     |                                   | ۳                    | ۰/۵-۰/۱۵  |                                                           |
| ۱                    | ۰/۵-۰/۷     |                                   | ۱                    | ۰/۱۵-۰/۴۰ |                                                           |
| ۱                    | ۳۰-۳۶       | شاخص فورنیه اصلاح شده (بدون واحد) | ۹                    | ۳۰۰-۸۰۰   | ارتفاع (متر)                                              |
| ۳                    | ۳۶-۴۲       |                                   | ۷                    | ۸۰۰-۱۳۰۰  |                                                           |
| ۵                    | ۴۲-۴۸       |                                   | ۵                    | ۱۳۰۰-۱۸۰۰ |                                                           |
| ۷                    | ۴۸-۵۴       |                                   | ۳                    | ۱۸۰۰-۲۳۰۰ |                                                           |
| ۹                    | ۵۴-۶۸       |                                   | ۱                    | ۲۳۰۰-۲۸۰۰ |                                                           |

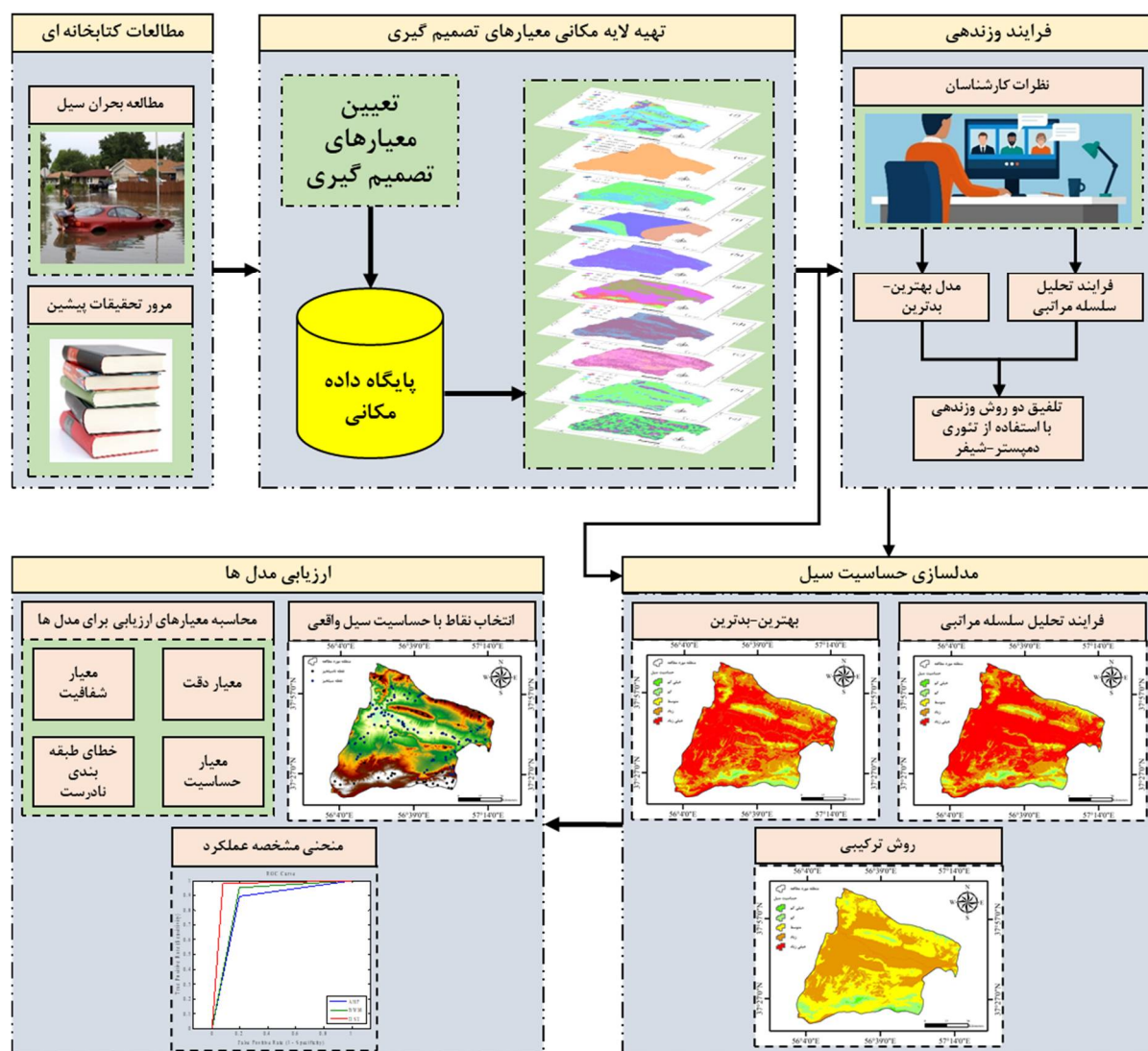
### ۳- روش تحقیق

مبتنی بر GIS و ادغام اطلاعات می‌پردازد. در این تحقیق GIS به منظور انجام تحلیل‌های فضایی و نمایش اطلاعات، تصمیم‌گیری چند معیاره به منظور انجام فرایند وزندهی معیارها و مدل‌سازی مکانی حساسیت سیل و تهیه نقشه آن، و ادغام اطلاعات به منظور مدل‌سازی و کاهش عدم

تحقیق حاضر با هدف مدل‌سازی حساسیت سیل شهرستان مانه و سملقان صورت گرفته‌است. تحقیق حاضر به ارائه یک رویکرد ترکیبی تصمیم‌گیری چند معیاره

قطعیت موجود در فرایند وزندهی و ایجاد یک روش وزندهی ترکیبی مورد استفاده قرار گرفته‌است. ساختار کلی روش تحقیق حاضر در شکل (۱) ارائه شده‌است. همانگونه که در شکل (۱) مشاهده می‌گردد، ابتدا در فاز مطالعات کتابخانه‌ای، بحران سیل و تحقیقات مرتبط با موضوع تحقیق، مطالعه و بررسی شده‌است. در فاز بعد ابتدا معیارهای مناسب به منظور مدلسازی حساسیت سیل تعیین شده و اطلاعات مکانی مناسب جهت تهیه لایه فضایی هر معیار در پایگاه داده مکانی ذخیره شده‌است. آنگاه لایه مکانی هر معیار با استفاده از اطلاعات مکانی جمع‌آوری شده و تحلیل‌های فضایی تهیه شده‌است. در گام بعد با استفاده از نظرات کارشناسان حوزه مدیریت منابع آب، وزن معیارهای تصمیم‌گیری با استفاده از دو

روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی و بهترین-بدترین محاسبه شده و به منظور کاهش عدم قطعیت فرایند وزندهی، نتایج دو روش با استفاده از تئوری ادغام دمپستر-شفر (روش وزندهی ترکیبی ارائه شده)، ادغام شده‌است. در گام بعد با استفاده از وزن‌های بدست آمده از فاز فرایند وزندهی، نقشه حساسیت سیل تهیه شده‌است. به منظور انجام فاز ارزیابی مدل‌های مورد استفاده در تحقیق، ۱۵۴ نقطه با حساسیت سیل واقعی بوسیله بررسی میدانی تعیین شده و آنگاه حساسیت مدلسازی شده بوسیله هر مدل نیز برای آن‌ها استخراج شده‌است. آنگاه معیارهای ارزیابی برای مدل‌های مورد استفاده در تحقیق محاسبه شده و نتایج روش‌های وزندهی مورد استفاده در تحقیق، مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته‌است.



شکل ۱- ساختار کلی تحقیق

## ۴- پیاده‌سازی و نتایج

در این قسمت به تشریح مراحل پیاده‌سازی تحقیق و نتایج حاصل از آن پرداخته شده‌است.

### ۴-۱- منطقه مورد مطالعه

شهرستان مانه و سملقان در شمال غربی استان خراسان شمالی واقع شده که در میان مدار جغرافیایی ۳۷ درجه و ۱۷ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۷ دقیقه عرض شمالی، و نصف النهار ۵۵ درجه و ۵۹ دقیقه تا ۵۷ درجه و ۱۷ دقیقه طول شرقی قرار گرفته‌است (شکل (۲)).



شکل ۲- منطقه مورد مطالعه

این شهرستان با وسعت ۶۰۵۳ کیلومتر مربع، حدود ۲۱ درصد از مساحت و با ۱۰۱/۷۲۷ نفر ساکن، حدود ۱۲ درصد از جمعیت استان خراسان شمالی را به خود اختصاص داده‌است. این شهرستان با میانگین بارندگی سالانه ۲۹۵ میلی متر، حداکثر بارندگی سالانه ۳۸۲ میلی متر و میانگین دمای سالانه ۱۶ درجه سانتی گراد در اقلیم نیمه خشک و سرد قرار گرفته‌است. وجود دشت‌ها در کنار ارتفاعات و رودخانه‌هایی مانند اترک و شیرین دره و کوهستان‌های مرزی موجب تنوع ارتفاعی بسیار بالای این شهرستان شده‌است. شهرستان مانه و سملقان بخشی از حوزه اصلی آبریز دریای مازندران و حوزه آبریز درجه ۲ رودخانه اترک بوده و شبکه هیدروگرافی رودخانه‌های شهرستان مانه و سملقان جزء حوزه آبریز رودخانه اترک می‌باشد. اکثر بارندگی‌های این شهرستان در فصول سرد و مرطوب سال رخ می‌دهد. وجود شیب‌های تند، عدم وجود پوشش گیاهی و جنگل و بارش‌های سیل‌آسا در سال‌های گذشته موجب وقوع سیل در این شهرستان شده‌است.

## ۴-۲- تهیه لایه‌های مکانی

فرایند محاسباتی و روابط ریاضی مورد نیاز جهت محاسبه لایه فضایی معیارهای مورد استفاده در تحقیق در بخش ۲-۵ تشریح شده‌است. تمامی لایه‌های تصمیم‌گیری در محیط نرم افزار ArcGIS و با استفاده از ابزارها و تحلیل‌های مناسب تهیه شده‌است. لایه‌ها و اطلاعات مکانی مورد استفاده شامل مدل ارتفاعی رقومی زمین، شبکه رودخانه‌ها، لایه کاربری زمین/پوشش زمین، نقشه خاک، اطلاعات مربوط به بارش و تصاویر ماهواره‌ای Landsat 8 بوده‌است. با توجه به رایج بودن معیارهای مورد استفاده و بیان چگونگی تهیه آن‌ها در تحقیقات پیشین در این قسمت صرفاً لایه‌های مکانی نمایش داده شده‌است و فرایند تهیه و محاسبه آن‌ها مورد بررسی قرار نگرفته‌است. شکل (۳) لایه مکانی معیارهای تصمیم‌گیری طبقه‌بندی شده بر اساس جدول (۴) را نشان می‌دهد.

## ۴-۳- وزندهی به روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی

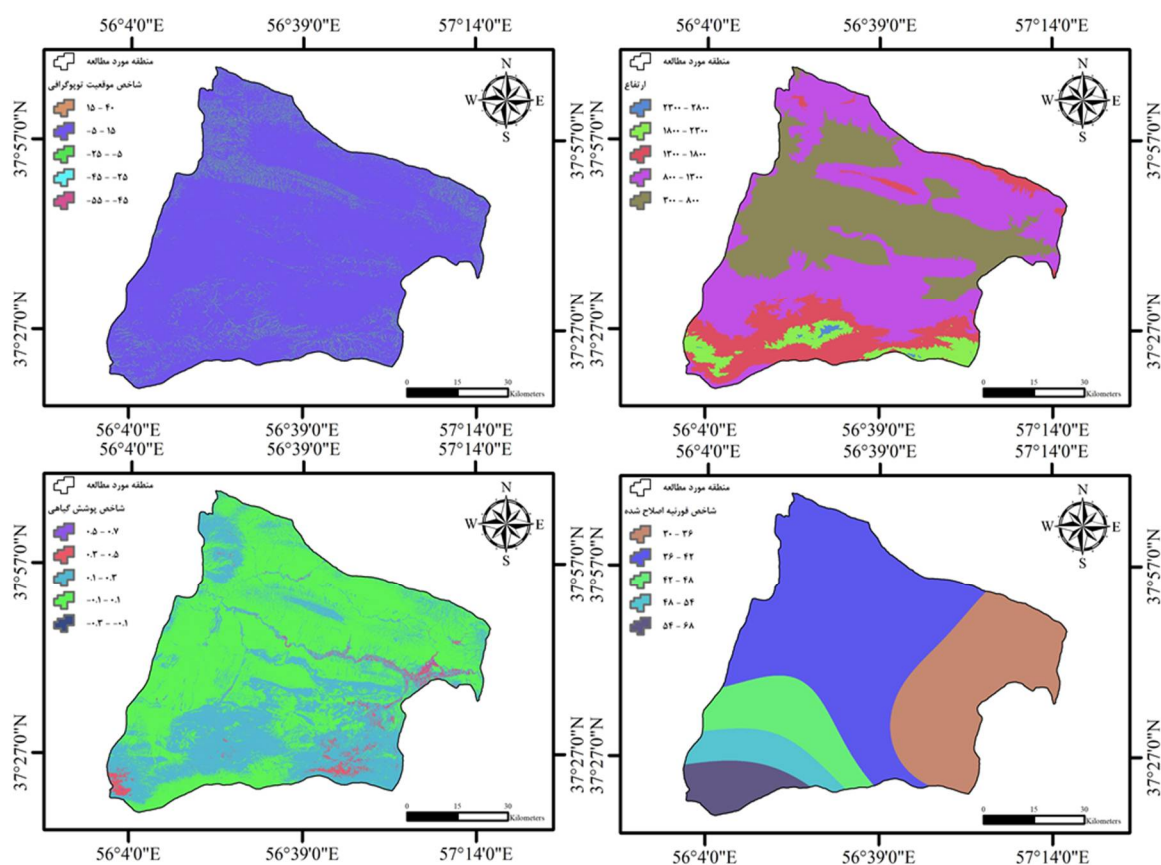
به منظور محاسبه وزن معیارها با استفاده از روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی، ماتریس مقایسات زوجی بوسیله ۱۰ کارشناس در حوزه مهندسی عمران-مدیریت منابع آب و مهندسی محیط زیست-مدیریت منابع آب تکمیل شده‌است. ماتریس مقایسات زوجی نهایی جهت استفاده در روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی، از میانگین هندسی ۱۰ ماتریس ارائه شده توسط کارشناسان بدست آمده‌است و در جدول (۵) نشان داده شده‌است. به منظور انجام محاسبات روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی، مراحل اجرای آن در محیط برنامه نویسی Matlab کد نویسی شده‌است. وزن‌های بدست آمده از روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی در جدول (۶) نشان داده شده‌است. همانگونه که در شکل (۴)-الف مشاهده می‌گردد روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی بیشترین وزن را به معیار سوم (جریان تجمعی) و کمترین وزن را به معیار نهم (شاخص پوشش گیاهی) تخصیص داده‌است. پس از محاسبه وزن معیارها به منظور محاسبه شاخص ناسازگاری مقدار  $\lambda_{max}$  برابر با مقدار ۱۰/۰۷۱ محاسبه شده‌است و مقدار شاخص تصادفی بر اساس جدول (۲) برابر با ۱/۴۹ در نظر گرفته شده‌است. با استفاده از رابطه

(۲) مقدار نرخ ناسازگاری ۰/۰۰۱۳ بدست آمده است که به مراتب از حد آستانه ۰/۱ کمتر می‌باشد و بنابراین

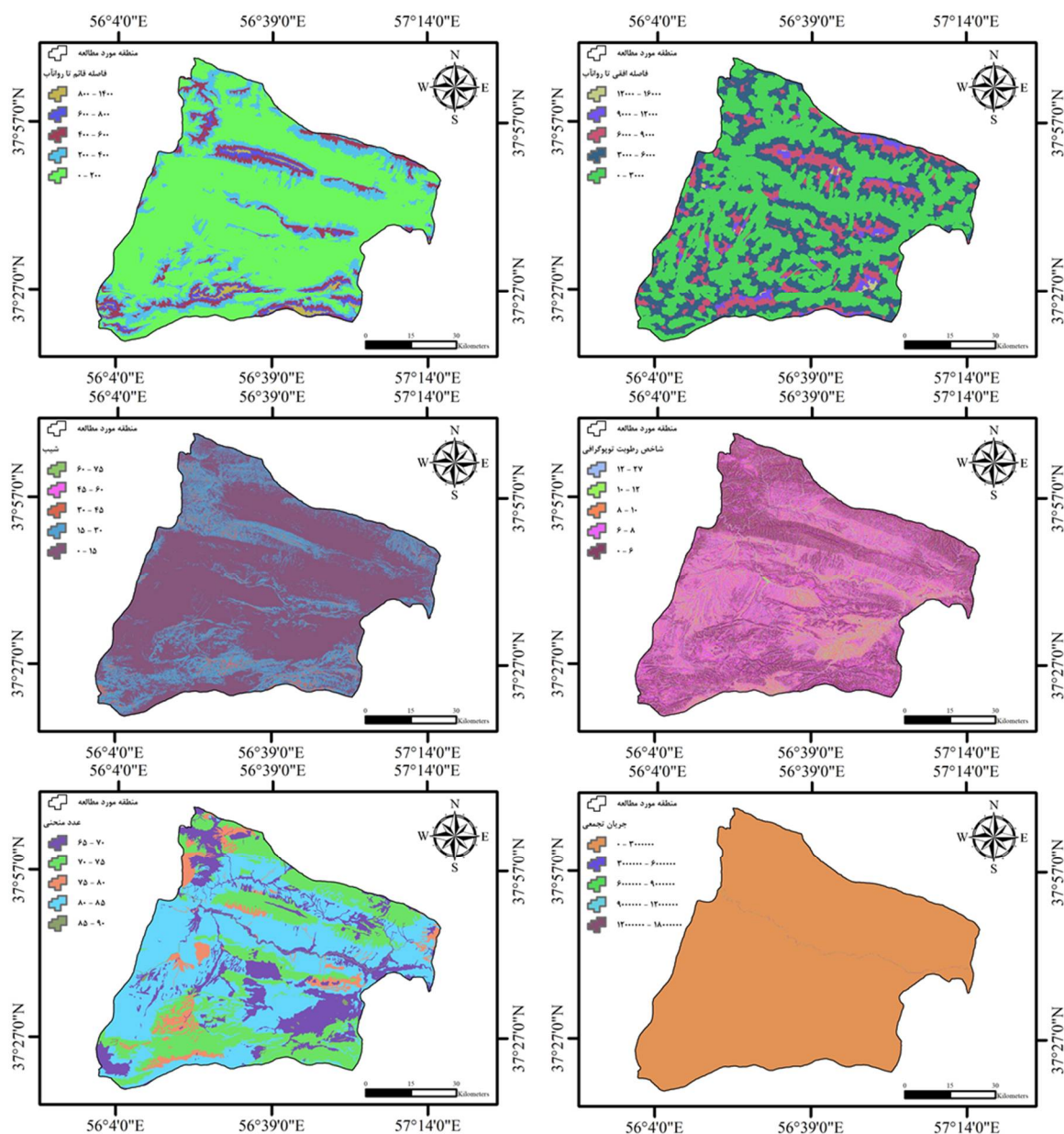
وزن‌های بدست آمده برای معیارهای تصمیم‌گیری قابل اطمینان می‌باشند.

جدول ۵- ماتریس مقایسات زوجی نهایی

| معیار           | C <sub>1</sub> | C <sub>2</sub> | C <sub>3</sub> | C <sub>4</sub> | C <sub>5</sub> | C <sub>6</sub> | C <sub>7</sub> | C <sub>8</sub> | C <sub>9</sub> | C <sub>10</sub> |
|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|
| C <sub>1</sub>  | ۱              | ۰/۶۹۸          | ۰/۲۳۵          | ۲/۰۶۹          | ۰/۲۷۰          | ۰/۵۶۶          | ۱/۱۳۲          | ۰/۵۷۶          | ۲/۶۰۹          | ۰/۹۳۸           |
| C <sub>2</sub>  | ۱/۴۳۳          | ۱              | ۰/۳۳۷          | ۲/۹۶۶          | ۰/۳۸۷          | ۰/۸۱۱          | ۱/۶۲۳          | ۰/۸۲۶          | ۳/۷۳۹          | ۱/۳۴۴           |
| C <sub>3</sub>  | ۴/۲۵۰          | ۲/۹۶۵          | ۱              | ۸/۷۹۳          | ۱/۱۴۹          | ۲/۴۰۶          | ۴/۸۱۱          | ۲/۴۵۰          | ۸/۹۵۴          | ۳/۹۸۴           |
| C <sub>4</sub>  | ۰/۴۸۳          | ۰/۳۳۷          | ۰/۱۱۴          | ۱              | ۰/۱۳۱          | ۰/۲۷۴          | ۰/۵۴۷          | ۰/۲۷۹          | ۱/۲۶۱          | ۰/۴۵۳           |
| C <sub>5</sub>  | ۳/۷۰۰          | ۲/۵۸۱          | ۰/۸۷۱          | ۷/۶۵۵          | ۱              | ۲/۰۹۴          | ۴/۱۸۹          | ۲/۱۳۳          | ۸/۶۵۲          | ۳/۴۶۹           |
| C <sub>6</sub>  | ۱/۷۶۷          | ۱/۲۳۳          | ۰/۴۱۶          | ۳/۶۵۵          | ۰/۴۷۸          | ۱              | ۲/۰۰۰          | ۱/۰۱۸          | ۴/۶۰۹          | ۱/۶۵۶           |
| C <sub>7</sub>  | ۰/۸۸۳          | ۰/۶۱۶          | ۰/۲۰۸          | ۱/۸۲۸          | ۰/۲۳۹          | ۰/۵۰۰          | ۱              | ۰/۵۰۹          | ۲/۳۰۴          | ۰/۸۲۸           |
| C <sub>8</sub>  | ۱/۷۳۵          | ۱/۲۱۱          | ۰/۴۰۸          | ۳/۵۶۰          | ۰/۴۶۹          | ۰/۹۸۲          | ۱/۹۶۴          | ۱              | ۵/۵۲۶          | ۱/۶۲۷           |
| C <sub>9</sub>  | ۰/۳۸۳          | ۰/۲۶۷          | ۰/۱۱۲          | ۰/۷۹۳          | ۰/۱۱۶          | ۰/۲۱۷          | ۰/۴۳۴          | ۰/۱۸۱          | ۱              | ۰/۲۶۴           |
| C <sub>10</sub> | ۱/۰۶۷          | ۰/۷۴۴          | ۰/۲۵۱          | ۲/۲۰۷          | ۰/۲۸۸          | ۰/۶۰۴          | ۱/۲۰۸          | ۰/۶۱۵          | ۳/۷۸۳          | ۱               |



شکل ۳- معیارهای تصمیم‌گیری



شکل ۳- معیاهای تصمیم‌گیری (ادامه).

جدول ۶- وزن‌های بدست آمده از روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی

| معیار          | C <sub>1</sub> | C <sub>2</sub> | C <sub>3</sub> | C <sub>4</sub> | C <sub>5</sub> | C <sub>6</sub> | C <sub>7</sub> | C <sub>8</sub> | C <sub>9</sub> | C <sub>10</sub> |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|
| وزن محاسبه شده | ۰/۰۶۰          | ۰/۰۸۶          | ۰/۲۵۰          | ۰/۰۲۹          | ۰/۲۲۰          | ۰/۱۰۶          | ۰/۰۵۳          | ۰/۱۰۷          | ۰/۰۲۳          | ۰/۰۶۶           |

#### ۴-۴- وزندهی به روش بهترین-بدترین

اولین گام در روش بهترین-بدترین، تعیین بهترین و بدترین معیار در تصمیم‌گیری است. بدین منظور در گام اول از ۱۰ کارشناس شرکت کننده در تحقیق خواسته شد

که بهترین و بدترین معیار در مدل‌سازی حساسیت سیل را مشخص نمایند. آنگاه با استفاده از رویکرد رأی اکثریت<sup>۱</sup> بهترین و بدترین معیار به ترتیب معیارهای جریان تجمعی و شاخص پوشش گیاهی تعیین شد. در گام بعد

<sup>۱</sup> Majority Voting



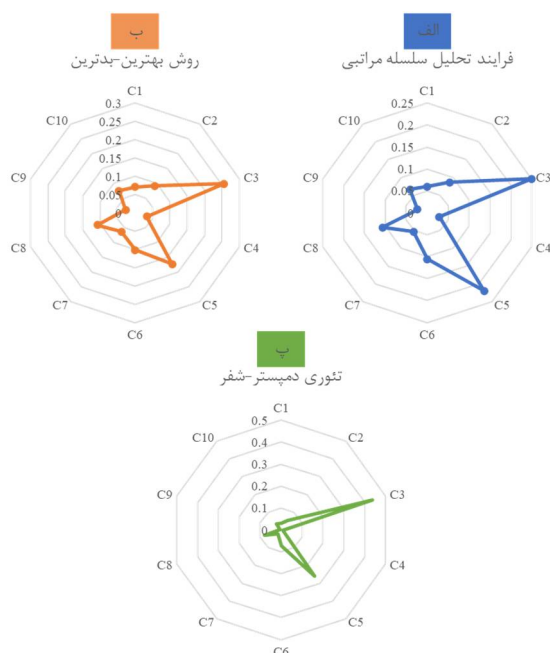
شده برای معیارهای تصمیم‌گیری، در جدول (۸) ارائه شده‌است. همانگونه که در شکل (۴)-ب مشاهده می‌گردد همانند روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی، روش بهترین-بدترین نیز بیشترین وزن را به معیار سوم (جریان تجمعی) و کمترین وزن را به معیار نهم (شاخص پوشش گیاهی) تخصیص داده‌است. پس از محاسبه وزن معیارها، به منظور محاسبه نرخ ناسازگاری، مقدار  $\xi^*$  برابر با  $0/4755$  بدست آمده و مقدار شاخص سازگاری بدست آمده از جدول (۳) برابر با مقدار  $5/23$  در نظر گرفته شده‌است. با استفاده از رابطه (۹) مقدار نرخ ناسازگاری  $0/0901$  محاسبه می‌شود که از حد آستانه  $0/1$  کمتر بوده و بنابراین وزن‌های بدست آمده برای معیارهای تصمیم‌گیری قابل اطمینان می‌باشند.

جدول ۷- ماتریس‌های بهترین نسبت به دیگران و دیگران نسبت به بدترین مورد استفاده در تحقیق

| معیار                 | C <sub>1</sub> | C <sub>2</sub> | C <sub>3</sub> | C <sub>4</sub> | C <sub>5</sub> | C <sub>6</sub> | C <sub>7</sub> | C <sub>8</sub> | C <sub>9</sub> | C <sub>10</sub> |
|-----------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|
| بهترین نسبت به دیگران | ۳/۴۵۰          | ۲/۴۰۷          | ۱/۰۰۰          | ۷/۱۳۸          | ۱/۰۰۲          | ۱/۹۵۳          | ۳/۹۰۶          | ۱/۹۹۸          | ۸/۹۷۳          | ۳/۲۳۴           |
| دیگران نسبت به بدترین | ۲/۱۱۸          | ۳/۰۳۵          | ۸/۹۹۳          | ۱/۰۲۴          | ۶/۸۳۵          | ۳/۷۴۱          | ۱/۸۷۱          | ۳/۷۷۴          | ۱/۰۰۰          | ۲/۲۵۹           |

جدول ۸- وزن‌های بدست آمده از روش بهترین-بدترین

| معیار          | C <sub>1</sub> | C <sub>2</sub> | C <sub>3</sub> | C <sub>4</sub> | C <sub>5</sub> | C <sub>6</sub> | C <sub>7</sub> | C <sub>8</sub> | C <sub>9</sub> | C <sub>10</sub> |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|
| وزن محاسبه شده | ۰/۰۷۱          | ۰/۰۹۱          | ۰/۲۵۶          | ۰/۰۳۴          | ۰/۱۷۳          | ۰/۱۰۲          | ۰/۰۶۴          | ۰/۱۰۸          | ۰/۰۲۷          | ۰/۰۷۴           |



شکل ۴- وزن بدست آمده از روش‌های مختلف برای معیارهای حساسیت سبیل

از کارشناسان خواسته شد که با استفاده از اعداد ارائه شده در جدول (۱)، بهترین معیار را نسبت دیگر معیارها (ماتریس بهترین نسبت به دیگران مورد استفاده در تحقیق (سطر اول جدول (۷))، با میانگین‌گیری هندسی از ۱۰ ماتریس ارائه شده توسط کارشناسان بدست آمده است) و دیگر معیارها را نسبت به بدترین معیار (و ماتریس دیگران نسبت به بدترین مورد استفاده در تحقیق (سطر سوم جدول دوم جدول (۷))، با میانگین‌گیری هندسی از ۱۰ ماتریس ارائه شده توسط کارشناسان بدست آمده است)، مورد مقایسه قرار دهند. در گام بعد با استفاده از دو ماتریس بهترین نسبت به دیگران و دیگران نسبت به بدترین، مراحل اجرایی روش بهترین-بدترین در محیط نرم افزار Lingo برنامه نویسی شده و وزن محاسبه

#### ۴-۵- وزندهی با تئوری دمپستر-شفر

به منظور افزایش قابلیت اطمینان نتایج و کاهش عدم قطعیت فرایند وزندهی، در این قسمت ادغام وزن‌های بدست آمده از دو روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی و روش بهترین-بدترین با استفاده از تئوری دمپستر-شفر انجام شده‌است. توابع جرم در این روش مقادیر وزن بدست آمده از دو روش وزندهی در نظر گرفته شده (جدول‌های (۶) و (۸)) است. در گام بعد مراحل اجرایی این تئوری در محیط برنامه نویسی Matlab کدنویسی شده و توابع جرم با استفاده از قانون ترکیب دمپستر (رابطه (۱۵)) با هم ادغام شده و وزن نهایی معیارها همچون جدول (۹) محاسبه شده‌است. همانگونه که در شکل (۴)-پ مشاهده می‌گردد همانند روش‌های فرایند تحلیل سلسله مراتبی و بهترین-بدترین، تئوری دمپستر-شفر نیز بیشترین وزن را به معیار سوم (جریان تجمعی) و کمترین وزن را به معیار نهم (شاخص پوشش گیاهی) تخصیص داده‌است.

به عبارتی دیگر، این تئوری معیارهایی که در دو روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی و بهترین-بدترین، وزن بالایی داشتند (توابع جرم زیاد) را تقویت کرده است (وزنشان را افزایش داده است) و معیارهایی که وزن پایینی داشتند (توابع جرم کم) را تضعیف کرده است (وزنشان را کاهش داده است). در صورتی که وزن معیارها در یک طیف

مقداری باشد (وزنها حول یک مقدار پراکنده باشند) تئوری دمپستر-شفر تمام وزنها را تقریباً به یک اندازه تقویت یا تضعیف می‌نماید. در حالتی که وزن معیارها در یک طیف نباشند (همانند تحقیق حاضر که وزنها اختلاف بسیار زیادی دارند) وزن برخی معیارها به شدت تقویت و وزن برخی دیگر به شدت تضعیف می‌گردد.

جدول ۹- وزن‌های بدست آمده از تئوری ادغام دمپستر-شفر

| معیار          | C <sub>1</sub> | C <sub>2</sub> | C <sub>3</sub> | C <sub>4</sub> | C <sub>5</sub> | C <sub>6</sub> | C <sub>7</sub> | C <sub>8</sub> | C <sub>9</sub> | C <sub>10</sub> |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|
| وزن محاسبه شده | ۰/۰۲۹۱         | ۰/۰۵۳۵         | ۰/۴۳۷۲         | ۰/۰۰۶۷         | ۰/۲۶۰۰         | ۰/۰۷۳۹         | ۰/۰۲۳۲         | ۰/۰۷۸۹         | ۰/۰۰۴۲         | ۰/۰۳۳۴          |

دمپستر-شفر در شکل (۵) نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده می‌گردد، نقشه حساسیت سیل تهیه شده با استفاده از وزن‌های بدست آمده توسط دو روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی و بهترین-بدترین تقریباً یکسان بوده است.

$$FSI = \sum_{i=1}^{10} W_i C_i \quad (24)$$

همانگونه که در جدول (۱۱) مشاهده می‌گردد در روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی، کمتر از ۱ درصد منطقه مورد مطالعه حساسیت خیلی کم و بیش از ۵۷ درصد منطقه حساسیت خیلی زیاد نسبت به سیل دارد. به طور مشابه در روش بهترین-بدترین، کمتر از ۱ درصد منطقه مورد مطالعه حساسیت خیلی کم و بیش از ۴۹ درصد منطقه حساسیت خیلی زیاد نسبت به سیل دارد. اما نقشه حساسیت تهیه شده بوسیله تئوری ادغام دمپستر-شفر با نقشه‌های دو روش قبل متفاوت است. در این روش مجموعاً کمتر از ۱ درصد منطقه مورد مطالعه دارای حساسیت خیلی کم یا خیلی زیاد نسبت به سیل می‌باشد. در مقابل مناطق با حساسیت متوسط و زیاد به ترتیب ۴۴ و ۴۸ درصد از منطقه را تشکیل داده‌اند.

#### ۴-۶- مدل‌سازی مکانی و تهیه نقشه حساسیت سیل

پس از محاسبه وزن معیارهای تصمیم‌گیری از سه روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی، بهترین-بدترین و تئوری ادغام دمپستر-شفر، میزان حساسیت سیل هر سلول مکانی در محیط GIS با استفاده از رابطه (۲۴) [۳۹] با تلفیق لایه معیارهای تصمیم‌گیری در Raster Calculator محاسبه شده است. در رابطه (۲۴)،  $FSI^1$  شاخص حساسیت سیل برای هر سلول،  $W_i$  وزن معیار  $i$ -ام و  $C_i$  مقدار معیار  $i$ -ام برای هر سلول می‌باشد. با محاسبه شاخص حساسیت سیل برای تمام سلول‌های مکانی منطقه مورد مطالعه، نقشه نهایی حساسیت سیل تهیه شده است. سپس نقشه نهایی حساسیت سیل با استفاده از ابزار Reclassify در محیط GIS در ۵ کلاس با میزان حساسیت خیلی کم<sup>۲</sup>، کم<sup>۳</sup>، متوسط<sup>۴</sup>، زیاد<sup>۵</sup> و خیلی زیاد<sup>۶</sup> طبقه‌بندی شده است. با توجه به عملکرد قابل قبول روش طبقه‌بندی شکست طبیعی<sup>۷</sup> در تحقیقات پیشین [۳۹، ۷۶]، به منظور طبقه‌بندی نقشه‌های حساسیت از این روش با نقاط شکست ارائه شده در جدول (۱۰) استفاده شده است. نقشه‌های حساسیت سیل تهیه شده بر اساس وزن‌های بدست آمده از سه روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی، بهترین-بدترین و تئوری ادغام

<sup>۱</sup> Flood Susceptibility Index

<sup>۲</sup> Very Low

<sup>۳</sup> Low

<sup>۴</sup> Moderate

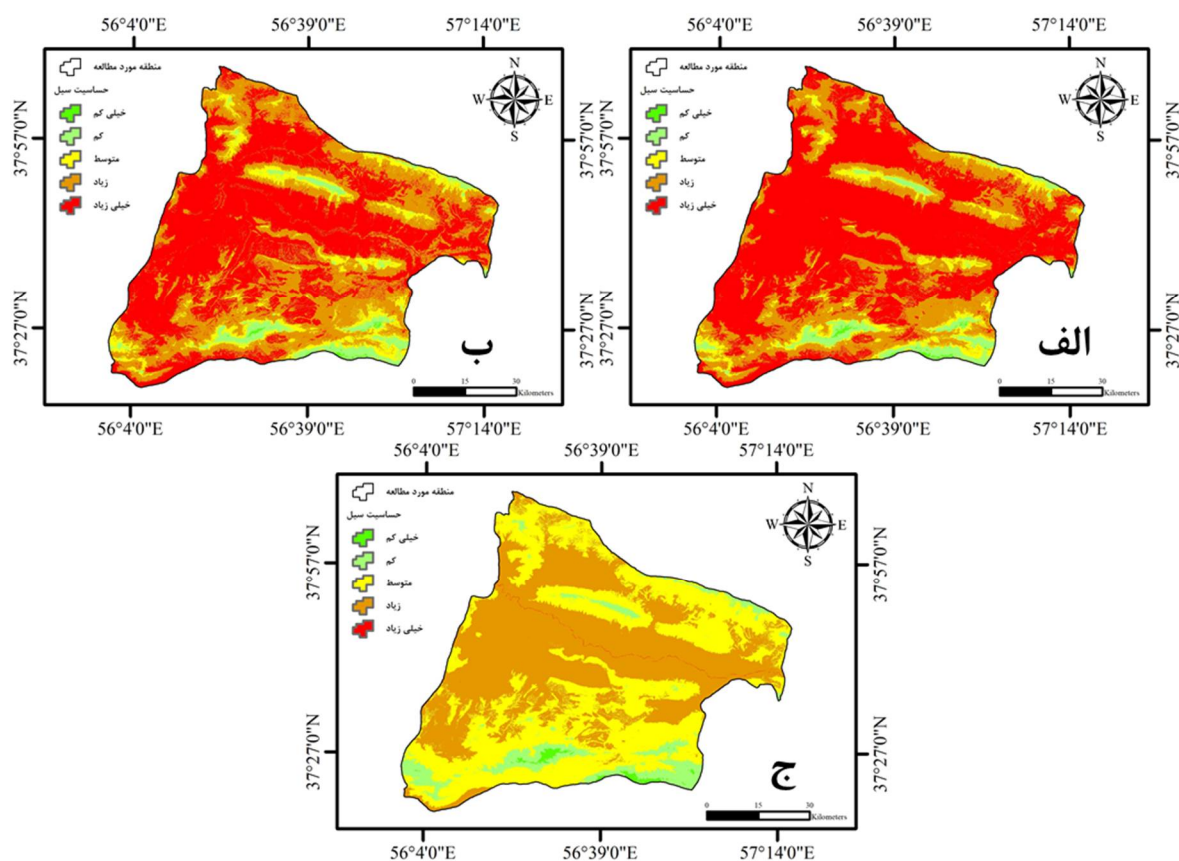
<sup>۵</sup> High

<sup>۶</sup> Very High

<sup>۷</sup> Natural Break

جدول ۱۰- مرز کلاس‌های حساسیت سیل در مدل‌های مختلف

| مدل                       | حساسیت        |               |               |               |               |
|---------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
|                           | خیلی کم       | کم            | متوسط         | زیاد          | خیلی زیاد     |
| فرایند تحلیل سلسله مراتبی | ۴/۰۴۸ - ۲/۱۹۶ | ۴/۷۶۲ - ۴/۰۴۸ | ۴/۷۶۲ - ۵/۲۸۸ | ۵/۲۸۸ - ۵/۷۷۲ | ۵/۷۷۲ - ۷/۹۶۰ |
| روش بهترین-بدترین         | ۴/۰۲۸ - ۲/۳۶۲ | ۴/۰۲۸ - ۴/۶۷۰ | ۴/۶۷۰ - ۵/۱۵۸ | ۵/۱۵۸ - ۵/۶۱۲ | ۵/۶۱۲ - ۷/۷۸۶ |
| تئوری ادغام دمپستر-شفر    | ۱/۵۷۵ - ۳/۲۳۷ | ۳/۲۳۷ - ۳/۸۷۰ | ۳/۸۷۰ - ۴/۳۲۳ | ۴/۳۲۳ - ۴/۷۷۹ | ۴/۷۷۹ - ۸/۵۶۶ |



شکل ۵- نقشه حساسیت سیل تهیه شده با استفاده از روش‌های (الف) فرایند تحلیل سلسله مراتبی، (ب) بهترین-بدترین و (ج) تئوری ادغام دمپستر-شفر

جدول ۱۱- نتایج مدل‌سازی حساسیت سیل

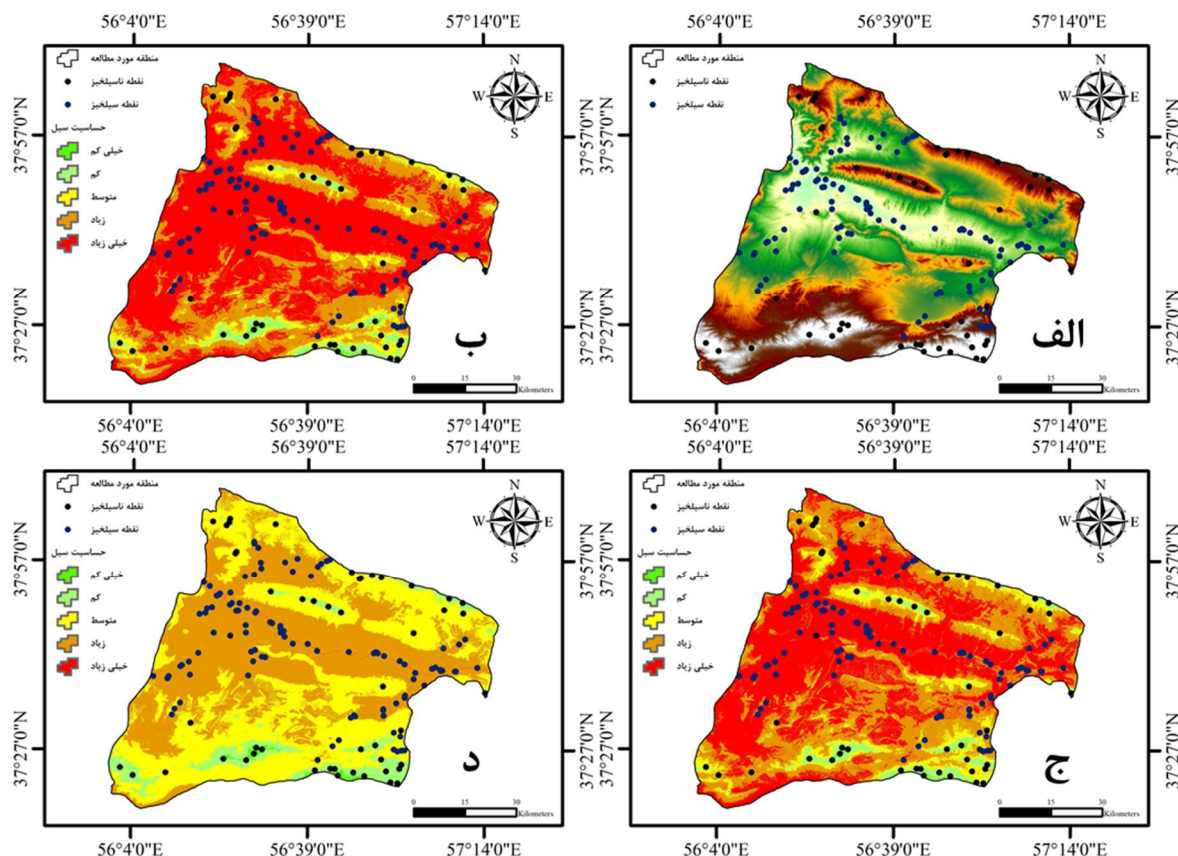
| تعداد سلول با حساسیت |        |         |         |           | پهنه حساس | مدل               |
|----------------------|--------|---------|---------|-----------|-----------|-------------------|
| خیلی کم              | کم     | متوسط   | زیاد    | خیلی زیاد |           |                   |
| ۱۷۲۷۹                | ۲۷۵۹۶۸ | ۴۴۸۴۰۲  | ۲۰۶۹۲۰۸ | ۳۸۷۱۷۱۱   | سلول      | فرایند تحلیلی     |
| ۰/۲۶                 | ۴/۱۳   | ۶/۷۱    | ۳۰/۹۶   | ۵۷/۹۴     | درصد      | سلسله مراتبی      |
| ۱۲۲۵۹                | ۲۸۲۱۷۲ | ۵۸۰۵۲۵  | ۲۵۰۸۲۰۹ | ۳۲۹۹۴۰۳   | سلول      | روش بهترین-بدترین |
| ۰/۱۸                 | ۴/۲۲   | ۸/۶۷    | ۳۷/۵۳   | ۴۹/۳۷     | درصد      | بدترین            |
| ۴۲۰۷۹                | ۴۷۷۳۹۴ | ۲۹۱۶۶۴۱ | ۳۲۳۹۹۴۱ | ۶۵۱۳      | سلول      | تئوری ادغام       |
| ۰/۶۳                 | ۷/۱۴   | ۴۳/۶۵   | ۴۸/۴۸   | ۰/۱۰      | درصد      | دمپستر-شفر        |



## ۴-۷- ارزیابی مدل‌ها

به منظور ارزیابی نتایج حاصل از روش‌های مورد استفاده در تحقیق تعداد ۱۵۴ نقطه در بررسی‌های میدانی و مشورت با افراد بومی بر اساس تجربه آن‌ها از

سیل سال ۱۳۹۶ انتخاب شده‌است. از این تعداد، ۱۰۳ نقطه سیل‌خیز و ۵۳ نقطه نا سیل‌خیز می‌باشند. شکل (۶) نقاط انتخاب شده و موقعیت آن‌ها بر روی نقشه‌های حساسیت سیل سه مدل ارائه شده در تحقیق حاضر را نشان می‌دهد.



شکل ۶- نقاط حقیقی انتخاب شده جهت ارزیابی نتایج مدل‌های مورد استفاده در تحقیق بر روی الف) مدل ارتفاعی رقومی منطقه، ب) مدل فرایند تحلیل سلسله مراتبی، ج) مدل بهترین-بدترین و د) تئوری ادغام دمپستر-شفر

به منظور ارزیابی مدل‌های مورد استفاده در تحقیق، مناطقی که حساسیت خیلی کم و کم داشته باشند، نقاط ناسیل‌خیز و مناطقی که حساسیت زیاد یا خیلی زیاد داشته باشند، نقاط سیل‌خیز در نظر گرفته شده‌اند. آنگاه با تشکیل ماتریس اغتشاش<sup>۱</sup> برای هر روش همانند جدول (۱۲)، به محاسبه معیارهای ارزیابی پرداخته شده‌است. شکل (۷) تعداد عناصر ماتریس اغتشاش برای مدل‌های مختلف را نشان می‌دهد. همانگونه که در شکل (۷) مشاهده می‌شود، مدل تئوری ادغام دمپستر-شفر بیشترین تعداد مثبت و منفی حقیقی و کمترین تعداد مثبت و منفی کاذب را دارد

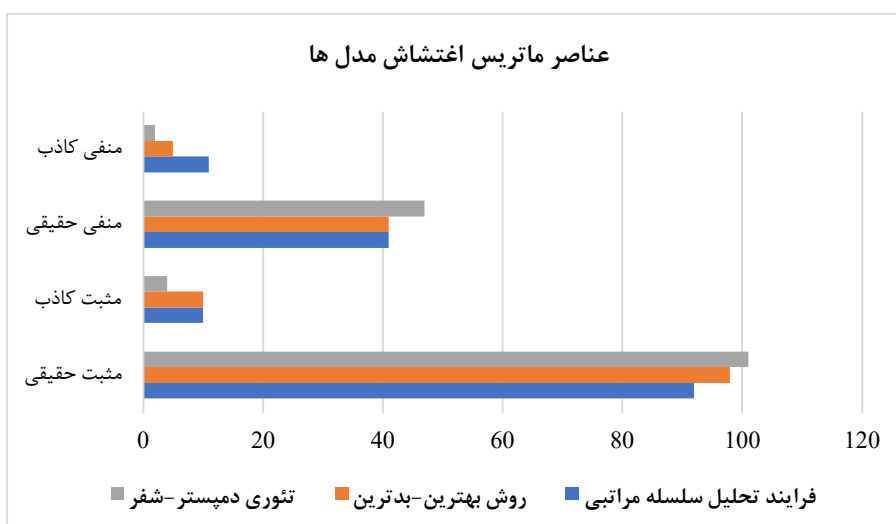
که بیانگر عملکرد بالاتر این مدل نسبت به دو مدل دیگر است. معیارهای ارزیابی در تحقیق حاضر شامل دقت، حساسیت، شفافیت و خطای طبقه بندی نادرست می‌باشد که با استفاده از جدول (۱۲)، همانند جدول (۱۳) و شکل (۸) محاسبه شده‌است.

همانگونه که در جدول (۱۳) و شکل (۸) مشاهده می‌گردد، دقت سه مدل فرایند تحلیل سلسله مراتبی، بهترین-بدترین و تئوری ادغام دمپستر-شفر به ترتیب برابر با ۸۷، ۹۰ و ۹۶ می‌باشد که نشان می‌دهد مدل‌های تئوری ادغام دمپستر-شفر، بهترین-بدترین و فرایند سلسله مراتبی به ترتیب از دقت بالاتری برخوردار بوده‌اند.

Confusion Matrix\

جدول ۱۲- ماتریس اغتشاش مدل‌های مورد استفاده در تحقیق

| مشاهده شده                | پیش‌بینی شده |             |
|---------------------------|--------------|-------------|
|                           | سیل خیز      | غیر سیل خیز |
| سیل خیز                   | مثبت حقیقی   | منفی کاذب   |
| غیر سیل خیز               | مثبت کاذب    | منفی حقیقی  |
| فرایند تحلیل سلسله مراتبی |              |             |
| سیل خیز                   | ۹۲           | ۱۱          |
| غیر سیل خیز               | ۱۰           | ۴۱          |
| روش بهترین-بدترین         |              |             |
| سیل خیز                   | ۹۸           | ۵           |
| غیر سیل خیز               | ۱۰           | ۴۱          |
| تئوری ادغام دمپستر-شفر    |              |             |
| سیل خیز                   | ۱۰۱          | ۲           |
| غیر سیل خیز               | ۴            | ۴۷          |



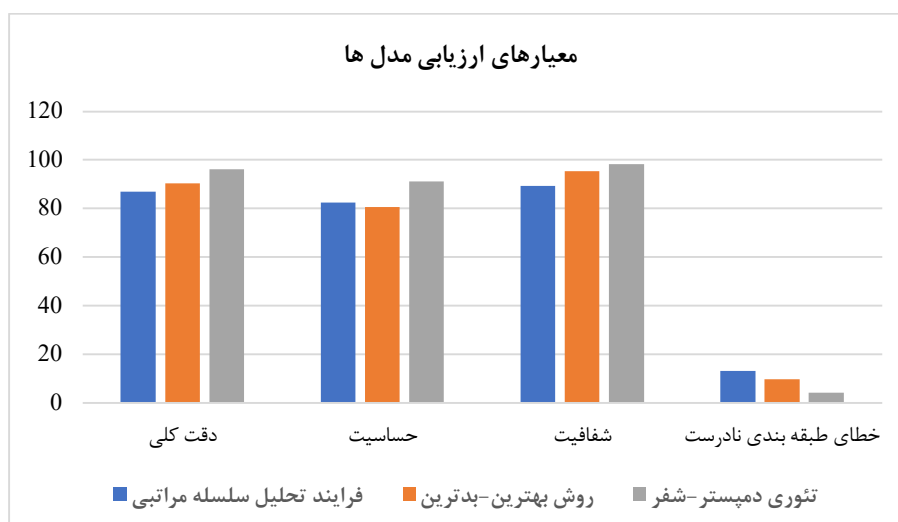
شکل ۷- عناصر ماتریس اغتشاش مدل‌های مورد استفاده در تحقیق

همانگونه که در جدول (۱۳) و شکل (۸) مشاهده می‌گردد، شفافیت سه مدل فرایند تحلیل سلسله مراتبی، بهترین-بدترین و تئوری ادغام دمپستر-شفر به ترتیب برابر با ۸۲، ۸۰ و ۹۱ می‌باشد که نشان می‌دهد مدل‌های تئوری ادغام دمپستر-شفر، فرایند تحلیل سلسله مراتبی و بهترین-بدترین به ترتیب در تشخیص نقاط نا سیل‌خیز از عملکرد بالاتری برخوردار بوده‌اند. همانگونه که در جدول

(۱۳) و شکل (۸) مشاهده می‌گردد، حساسیت سه مدل فرایند تحلیل سلسله مراتبی، بهترین-بدترین و تئوری ادغام دمپستر-شفر به ترتیب برابر با ۸۹، ۹۵ و ۹۸ می‌باشد که نشان می‌دهد مدل‌های تئوری ادغام دمپستر شفر، بهترین-بدترین و فرایند تحلیل سلسله مراتبی به ترتیب در تشخیص نقاط سیل‌خیز از عملکرد بالاتری برخوردار بوده‌اند.

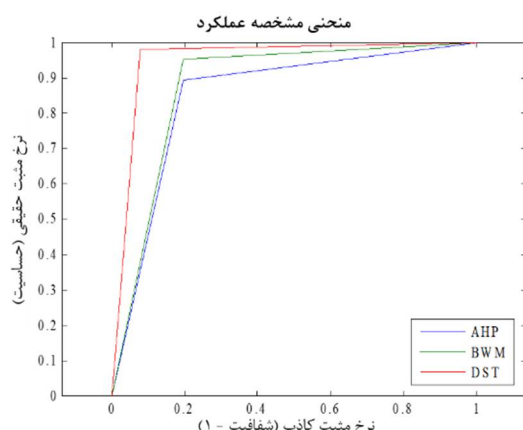
جدول ۱۳- معیارهای ارزیابی مدل‌های مورد استفاده در تحقیق

| روش                       | دقت کلی | شفافیت | حساسیت | خطای طبقه‌بندی نادرست |
|---------------------------|---------|--------|--------|-----------------------|
| فرایند تحلیل سلسله مراتبی | ۸۶/۸۸   | ۸۲/۴۶  | ۸۹/۳۲  | ۱۳/۱۳                 |
| روش بهترین بدترین         | ۹۰/۲۶   | ۸۰/۳۹  | ۹۵/۱۵  | ۹/۷۴                  |
| تئوری دمپستر شفر          | ۹۵/۹۵   | ۹۱/۱۱  | ۹۸/۰۶  | ۴/۰۵                  |



شکل ۸- معیارهای ارزیابی مدل های مورد استفاده در تحقیق

مدل بهترین-بدترین نسبت به مدل فرایند تحلیل سلسله مراتبی می باشد.



شکل ۹- منحنی مشخصه عملکرد مدل های فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، بهترین-بدترین (BWM)، تئوری ادغام دمپستر-شفر (DST)

## ۵- بحث و نتیجه گیری

امروزه بحران سیل به عنوان مهم ترین بحران طبیعی شناخته شده است که وقوع آن در هر مقیاسی موجب خسارات جانی و مالی می گردد. به منظور مدیریت بحران سیل، استفاده از روش ها و مدل های جدید مورد توجه قرار گرفته است که از مهمترین موارد آن می توان به تهیه نقشه های حساسیت سیل اشاره کرد. نقشه حساسیت سیل اولین گام جهت پیشگیری، کنترل و در نهایت مدیریت سیل می باشد. نقشه های حساسیت، مناطق با حساسیت مختلف جهت وقوع سیل را تشخیص داده و به تصمیم گیران امکان برنامه ریزی جهت پیشگیری و کنترل سیل را می دهد. بنابراین اساسی ترین مولفه ی مدیریت بحران سیل، تهیه

همانگونه که در جدول (۱۳) و شکل (۸) مشاهده می گردد، خطای طبقه بندی نادرست سه مدل فرایند تحلیل سلسله مراتبی، بهترین-بدترین و تئوری ادغام دمپستر-شفر به ترتیب برابر با ۱۳، ۱۰ و ۶ می باشد که نشان می دهد مدل های تئوری ادغام دمپستر-شفر، بهترین-بدترین و فرایند تحلیل سلسله مراتبی به ترتیب از خطای کمتری برخوردار بوده اند. در ادامه به منظور ارائه یک معیار بصری جهت ارزیابی نتایج مدل های مورد استفاده در تحقیق حاضر، از منحنی مشخصه عملکرد<sup>۱</sup> استفاده شده است. این منحنی یک رابطه بصری میان دو معیار ارزیابی حساسیت و شفافیت در مقادیر حد آستانه مختلف ممکن ارائه می دهد. محور عمودی این منحنی نرخ مثبت حقیقی (میزان حساسیت مدل) و محور افقی آن نرخ مثبت کاذب (تفاضل میزان شفافیت مدل از شفافیت ایده آل (مقدار ۱)) می باشد. مساحت زیر منحنی مشخصه عملکرد، در اکثر تحقیقات پیشین به عنوان معیاری جهت ارزیابی نتایج مدل ها مورد استفاده قرار گرفته است. این مساحت در بازه ۰ و ۱ می باشد که مقادیر بالای آن نشان دهنده عملکرد بالاتر مدل می باشد. منحنی مشخصه عملکرد برای سه مدل ارائه شده در تحقیق حاضر در شکل (۹) ارائه شده است. مساحت زیر منحنی برای سه مدل فرایند تحلیل سلسله مراتبی، بهترین-بدترین و تئوری ادغام دمپستر-شفر به ترتیب برابر ۰/۸۵، ۰/۸۸ و ۰/۹۵ می باشد که نشان دهنده عملکرد بالاتر مدل تئوری ادغام دمپستر-شفر نسبت به دو مدل دیگر و عملکرد بالاتر

<sup>۱</sup> Receiver Operator Characteristic

نقشه‌های حساسیت می‌باشد. نقشه‌های حساسیت با استفاده از روش‌ها و فنون مختلف تهیه می‌گردد که پر استفاده‌ترین آن‌ها ترکیب GIS و تصمیم‌گیری چند معیاره می‌باشد. در این مدل، مدیریت اطلاعات مکانی و انجام تحلیل‌های فضایی مورد نیاز با استفاده از GIS و چارچوب تصمیم‌گیری و استراتژی‌های مورد نظر با استفاده از تصمیم‌گیری چند معیاره مدل‌سازی می‌شود. تعیین وزن معیارهای تصمیم‌گیری، نقش حیاتی در توسعه یک مدل تصمیم‌گیری قابل اطمینان برای کاربردهای مختلف دارد. در تحقیقات مختلف عمدتاً تصمیم‌گیری چند معیاره جهت وزندهی به معیارهای موثر در مدل‌سازی حساسیت سیل، مورد استفاده قرار می‌گیرند که از پر کاربردترین این روش‌ها می‌توان فرایند تحلیل سلسله مراتبی را نام برد. این روش بسیار شهودی و پر استفاده می‌باشد ولی با افزایش معیارها یا وجود همبستگی میان آن‌ها دشواری اجرای آن افزایش می‌یابد. روش‌های نوین وزندهی در تحقیقات مرتبط با مدل‌سازی حساسیت سیل کمتر مورد توجه محققان قرار گرفته‌اند. در تحقیق حاضر به منظور مدل‌سازی حساسیت سیل، روش وزندهی نوین بهترین-بدترین با روش رایج فرایند تحلیلی سلسله مراتبی ادغام شده‌است. هدف از ادغام وزن معیارهای تصمیم‌گیری، افزایش قابلیت اطمینان و تأثیر وزندهی و کاهش عدم قطعیت وزن‌های بدست آمده و به تبع آن نتایج مدل‌سازی می‌باشد [۳۳]. استفاده از ترکیب همزمان روش‌های وزندهی مختلف معمولاً موجب می‌شود مدل‌سازی واقعی‌تر و قابل اعتمادتر شود [۳۳]. ترکیب وزن‌ها در تحقیقات پیشین موجب افزایش دقت و بهبود عملکرد مدل‌های تصمیم‌گیری شده‌است [۳۲-۳۴]. به منظور ادغام وزن‌های بدست آمده از تئوری ادغام قدرتمند دمپستر-شفر استفاده شده‌است. این تئوری در فرایند تلفیق وزن‌ها در مدل‌سازی حساسیت سیل تا کنون مورد استفاده قرار نگرفته بود. نتایج وزندهی با استفاده از هر سه روش تقریباً یکسان بوده‌است و معیارهای جریان تجمعی و شاخص پوشش گیاهی به ترتیب بیشترین و کمترین وزن را به خود اختصاص دادند. نکته قابل ملاحظه در ادغام وزن‌ها، تقویت وزن معیار جریان تجمعی و تضعیف وزن معیار شاخص پوشش گیاهی بوده که خود از مزایای ادغام اطلاعات می‌باشد. نقشه حساسیت سیل محاسبه شده با استفاده از دو مدل فرایند تحلیل سلسله مراتبی و بهترین-بدترین

تقریباً یکسان بوده‌است و تقریباً نیمی از منطقه مورد مطالعه از حساسیت خیلی زیاد برخوردار بوده‌است. اما در مدل ادغام دمپستر-شفر کمتر از یک درصد منطقه مورد مطالعه از حساسیت خیلی زیاد برخوردار بوده‌است. مناطق با حساسیت کم در هر سه مدل کمتر از یک درصد بوده‌است. مناطق با حساسیت متوسط به بالا در دو مدل فرایند تحلیل سلسله مراتبی و بهترین-بدترین بیش از ۹۵ درصد و در مدل ادغام دمپستر-شفر بیش از ۹۲ درصد بوده‌است. نتایج کلی مدل‌سازی در تحقیق حاضر بیانگر حساسیت سیل بالای منطقه مورد مطالعه بوده‌است. به منظور ارزیابی مدل‌ها از معیارهای ارزیابی مختلف استفاده شده‌است که بر اساس نتایج، مدل ادغام دمپستر-شفر از دقت بالاتر، توانایی بالاتر در تشخیص نقاط سیل‌خیز، توانایی بالاتر در تشخیص نقاط نا سیل‌خیز و خطای کمتر نسبت به دو مدل دیگر برخوردار بوده‌است. مدل ادغام دمپستر-شفر مساحت زیر نمودار مشخصه عملکرد بیشتری نسبت به دو مدل دیگر کسب کرده‌است که بیانگر عملکرد بهتر آن می‌باشد. نتایج تحقیق عمدتاً بیانگر عملکرد بهتر روش وزندهی بهترین-بدترین در مقایسه با روش رایج فرایند تحلیل سلسله مراتبی می‌باشد. در تحقیق حاضر افزایش قابلیت اطمینان و کاهش عدم قطعیت موجود در فرایند وزندهی با استفاده از تئوری ادغام اطلاعات دمپستر-شفر، موجب افزایش دقت مدل‌سازی حساسیت سیل شده‌است و بدین ترتیب استفاده از روش تحقیق ارائه شده در کاربردهای دیگر توصیه می‌گردد. ارزیابی جامع و دقیق نقشه حساسیت می‌تواند با استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی و نقشه انجام شود، که در تحقیق حاضر به دلیل استفاده از چارچوب ادغام اطلاعات و تصمیم‌گیری چند معیاره و عدم دسترسی به نقشه سیلاب انجام نشده‌است. استفاده از نقشه سیلاب و مدل‌های هیدرولوژیکی به منظور ارزیابی نقشه حساسیت به عنوان پیشنهاد برای تحقیقات آینده ارائه می‌شود. تحقیق حاضر به ادغام اطلاعات در سطح فرایند وزندهی و ارائه یک روش وزندهی ترکیبی پرداخته‌است و ادغام نقشه حساسیت روش‌های وزندهی مختلف مورد توجه قرار نگرفته‌است. ادغام نقشه‌های حساسیت تهیه شده با استفاده از روش‌های مختلف وزندهی به عنوان پیشنهادی برای تحقیقات آتی توصیه می‌شود.

- [۱] Hoyois, P. and Guha-Sapir, D. (2003), "Three decades of floods in Europe: a preliminary analysis of EMDAT data," WHO collaborating centre for research on the epidemiology of disasters (CRED), Catholique University of Louvain.
- [۲] Messner, F. and Meyer, V. (2006), "Flood damage, vulnerability and risk perception—challenges for flood damage research," In *Flood risk management: hazards, vulnerability and mitigation measures*, Springer, Dordrecht, PP. 149-167.
- [۳] Pourghasemi, H. R., Razavi-Termeh, S. V., Kariminejad, N., Hong, H. and Chen, W. (2020), "An assessment of metaheuristic approaches for flood assessment". *Journal of Hydrology*, 582, 124536.
- [۴] Ministry of Energy (2015). *Flood management system in the Ministry of Energy*.
- [۵] Termeh, S. V. R., Kornejady, A., Pourghasemi, H. R. and Keesstra, S. (2018), "Flood susceptibility mapping using novel ensembles of adaptive neuro fuzzy inference system and metaheuristic algorithms," *Science of the Total Environment*, 615, PP. 438-451.
- [۶] Courty, L. G., Rico-Ramirez, M. Á. and Pedrozo-Acuña, A. (2018), "The significance of the spatial variability of rainfall on the numerical simulation of urban floods," *Water*, Vol. 10, No. 2, 207.
- [۷] Billi, P., Alemu, Y. T. and Ciampalini, R. (2015), "Increased frequency of flash floods in Dire Dawa, Ethiopia: Change in rainfall intensity or human impact?" *Natural Hazards*, Vol. 76, No. 2, PP. 1373-1394.
- [۸] Erena, S. H. and Worku, H. (2018), "Flood risk analysis: causes and landscape-based mitigation strategies in Dire Dawa city, Ethiopia," *Geoenvironmental Disasters*, Vol. 5, No. 1, PP. 1-19.
- [۹] Miller, J. D. and Hutchins, M. (2017), "The impacts of urbanisation and climate change on urban flooding and urban water quality: A review of the evidence concerning the United Kingdom," *Journal of Hydrology: Regional Studies*, Vol. 12, PP. 345-362.
- [۱۰] Norouzi, G. and Taslimi, M. (2012), "The impact of flood damages on production of Iran's Agricultural Sector," *Middle-East Journal of Scientific Research*, Vol. 12, PP. 921-926.
- [۱۱] Cloke, H. L. and Pappenberger, F. (2009), "Ensemble flood forecasting: A review," *Journal of hydrology*, Vol. 375, No. 3-4, PP. 613-626.
- [۱۲] Wu, S. J., Lien, H. C. and Chang, C. H. (2010), "Modeling risk analysis for forecasting peak discharge during flooding prevention and warning operation," *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, Vol. 24, No. 8, PP. 1175-1191.
- [۱۳] Wang, Y., Hong, H., Chen, W., Li, S., Panahi, M., Khosravi, K., Shirzadi, A., Shahabi, H., Panahi, S., Costachek, R. and Costache, R. (2019), "Flood susceptibility mapping in Dingnan County (China) using adaptive neuro-fuzzy inference system with biogeography-based optimization and imperialistic competitive algorithm," *Journal of environmental management*, Vol. 247, PP. 712-729.
- [۱۴] Dano, U. L., Balogun, A. L., Matori, A. N., Wan Yusouf, K., Abubakar, I. R., Said Mohamed, M. A., Aina, Y. A. and Pradhan, B. (2019), "Flood susceptibility mapping using GIS-based analytic network process: A case study of Perlis, Malaysia," *Water*, Vol. 11, No. 3, PP. 615.
- [۱۵] Dobler, C., Bürger, G. and Stötter, J. (2012), "Assessment of climate change impacts on flood hazard potential in the Alpine Lech watershed," *Journal of Hydrology*, Vol. 460, PP. 29-39.
- [۱۶] Das, S. (2019), "Geospatial mapping of flood susceptibility and hydro-geomorphic response to the floods in Ulhas basin, India," *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, Vol. 14, PP. 60-74.
- [۱۷] Diaconu, D. C., Costache, R. and Popa, M. C. (2021), "An overview of flood risk analysis methods," *Water*, Vol. 13, No. 4, PP. 474.
- [۱۸] Chakhar, S. and Martel, J. M. (2003), "Enhancing geographical information systems capabilities with multi-criteria evaluation functions," *Journal of geographic information and decision analysis*, Vol. 7, No. 2, PP. 47-71.
- [۱۹] Bordbar, M., Aghamohammadi, H., Pourghasemi, H. R. and Azizi, Z. (2022), "Multi-hazard spatial modeling via ensembles of machine learning and meta-heuristic techniques," *Scientific Reports*, Vol. 12, No. 1, PP. 1-17.
- [۲۰] Falah, F., Rahmati, O., Rostami, M., Ahmadisharaf, E., Daliakopoulos, I. N. and Pourghasemi, H. R. (2019), "Artificial neural networks for flood susceptibility mapping in data-scarce urban areas," In *Spatial modeling in GIS and R for Earth and Environmental Sciences*, Elsevier, PP. 323-336.

- [۲۱] Avand, M., Moradi, H. R. and Ramazanzadeh Lasboyee, M. (2021), "Spatial prediction of future flood risk: an approach to the effects of climate change" *Geosciences*, Vol. 11, No. 1, PP. 25.
- [۲۲] Choubin, B., Moradi, E., Golshan, M., Adamowski, J., Sajedi-Hosseini, F. and Mosavi, A. (2019), "An ensemble prediction of flood susceptibility using multivariate discriminant analysis, classification and regression trees, and support vector machines," *Science of the Total Environment*, Vol. 651, PP. 2087-2096.
- [۲۳] Kia, M. B., Pirasteh, S., Pradhan, B., Mahmud, A. R., Sulaiman, W. N. A. and Moradi, A. (2012), "An artificial neural network model for flood simulation using GIS: Johor River Basin, Malaysia," *Environmental earth sciences*, Vol. 67, No. 1, PP. 251-264.
- [۲۴] Muñoz, D. F., Muñoz, P., Moftakhari, H. and Moradkhani, H. (2021), "From local to regional compound flood mapping with deep learning and data fusion techniques," *Science of the Total Environment*, Vol. 782, 146927.
- [۲۵] Zhao, G., Pang, B., Xu, Z., Yue, J. and Tu, T. (2018), "Mapping flood susceptibility in mountainous areas on a national scale in China," *Science of the Total Environment*, Vol. 615, PP. 1133-1142.
- [۲۶] Abdelkarim, A., Al-Alola, S. S., Alogayell, H. M., Mohamed, S. A., Alkadi, I. I. and Ismail, I. Y. (2020), "Integration of GIS-based multicriteria decision analysis and analytic hierarchy process to assess flood hazard on the Al-Shamal train pathway in Al-Qurayyat region, kingdom of Saudi Arabia," *Water*, Vol. 12, No. 6, PP. 1702.
- [۲۷] Cabrera, J. S. and Lee, H. S. (2019), "Flood-prone area assessment using GIS-based multi-criteria analysis: a case study in Davao Oriental, Philippines," *Water*, Vol. 11, No. 11, PP. 2203.
- [۲۸] Cabrera, J. S. and Lee, H. S. (2020), "Flood risk assessment for Davao Oriental in the Philippines using geographic information system-based multi-criteria analysis and the maximum entropy model," *Journal of Flood Risk Management*, Vol. 13, No. 2, e12607.
- [۲۹] Hadipour, V., Vafaie, F. and Deilami, K. (2020), "Coastal flooding risk assessment using a GIS-based spatial multi-criteria decision analysis approach," *Water*, Vol. 12, No. 9, PP. 2379.
- [۳۰] Souissi, D., Zouhri, L., Hammami, S., Msaddek, M. H., Zghibi, A. and Dlala, M. (2020), "GIS-based MCDM-AHP modeling for flood susceptibility mapping of arid areas, southeastern Tunisia," *Geocarto International*, Vol. 35, No. 9, PP. 991-1017.
- [۳۱] Malczewski, J. and Rinner, C. (2015), "Multicriteria decision analysis in geographic information science," Vol. 1, PP. 55-77.
- [۳۲] Jahan, A. Mustapha, F. Sapuan, S. M. Ismail, M. Y. and Bahraminasab, M. (2012), "A framework for weighting of criteria in ranking stage of material selection process". *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 58, PP. 411-420.
- [۳۳] Gao, R. Nam, H. O. Ko, W. I. and Jang, H. (2017), "National options for a sustainable nuclear energy system: MCDM evaluation using an improved integrated weighting approach," *Energies*, Vol. 10, No. 12, PP. 1-24.
- [۳۴] Deepa, N. Ganesan, K. Srinivasan, K. and Chang, C. Y. (2019), "Realizing sustainable development via modified integrated weighting MCDM model for ranking agrarian dataset," *Sustainability*, Vol. 11, No. 21, 6060, PP. 1-20.
- [۳۵] Raol, J. R. (2009), "Multi-sensor data fusion with MATLAB," CRC press.
- [۳۶] Beynon, M., Cosker, D. and Marshall, D. (2001), "An expert system for multi-criteria decision making using Dempster Shafer theory," *Expert Systems with Applications*, Vol. 20, No. 4, PP. 357-367.
- [۳۷] Delavar, M. R. and Sadrykia, M. (2020), "Assessment of enhanced Dempster-Shafer theory for uncertainty modeling in a GIS-based seismic vulnerability assessment model, case study—Tabriz city," *ISPRS International Journal of Geo-Information*, Vol. 9, No. 4, 195.
- [۳۸] Tella, A. and Balogun, A. L. (2020), "Ensemble fuzzy MCDM for spatial assessment of flood susceptibility in Ibadan, Nigeria," *Natural Hazards*, Vol. 104, No. 3, PP. 2277-2306.
- [۳۹] Kanani-Sadat, Y., Arabsheibani, R., Karimipour, F. and Nasseri, M. (2019), "A new approach to flood susceptibility assessment in data-scarce and ungauged regions based on GIS-based hybrid multi criteria decision-making method," *Journal of hydrology*, Vol. 572, PP. 17-31.
- [۴۰] Nsangou, D., Kpoumié, A., Mfonka, Z., Ngouh, A. N., Fossi, D. H., Jourdan, C., Mbele H. Z., Mouncherou O. F., Vandervaere, J. and Ngoupayou, J. R. N. (2022), "Urban flood susceptibility modelling using AHP and GIS approach: case of the Mfoundi watershed at Yaoundé in the South-Cameroon plateau," *Scientific African*, Vol. 15, No. e01043, PP. 1-16.

- [۴۱] Vignesh, K. S., Anandakumar, I., Ranjan, R. and Borah, D. (2021), "Flood vulnerability assessment using an integrated approach of multi-criteria decision-making model and geospatial techniques," *Modeling Earth Systems and Environment*, Vol. 7, No. 2, PP. 767-781.
- [۴۲] Yariyan, P., Avand, M., Abbaspour, R.A., Torabi Haghighi, A., Costache, R., Ghorbanzadeh, O., Janizadeh, S. and Blaschke, T. (2020), "Flood susceptibility mapping using an improved analytic network process with statistical models," *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, Vol. 11, No. 1, PP.2282-2314.
- [۴۳] Zoratipour, A. and Cheraghi, M. (2021), "Combined Application of Multi-Criteria Decision-Making Methods and Remote Sensing Systems for Flood Cellular Zoning of Abolabbas River Basin in Khuzestan Province," *Irrigation Sciences and Engineering*, Vol. 44, No. 4, PP. 109-122. (In Persian)
- [۴۴] Saberifar, R. and Shokri, H. (2019), "Zoning the Risk of Flood in Birjand," *Town and Country Planning*, Vol. 11, No. 1, PP. 159-178. (In Persian)
- [۴۵] Khodaie, A. and Zandi, R. (2022), "Identification of flood risk zoning areas based on multi-criteria decision making and neural network model, case study: Khodaafarin Watershed," *Watershed Engineering and Management*, Vol. 14, No. 4, PP. 549-562. (In Persian)
- [۴۶] Saaty, T. L. (1980), "The AHP: Planning, Priority Setting," *Resource Allocation*, McGraw-Hill, New York.
- [۴۷] Saaty, T. L. (1994), "Fundamentals of decision making and priority theory with the analytic hierarchy process," RWS publications.
- [۴۸] Munier, N. (2011), "A strategy for using multicriteria analysis in decision-making: a guide for simple and complex environmental projects," *Springer Science and Business Media*.
- [۴۹] Abdi, A., Bouamrane, A., Karech, T., Dahri, N. and Kaouachi, A. (2021), "Landslide Susceptibility Mapping Using GIS-based Fuzzy Logic and the Analytical Hierarchical Processes Approach: A Case Study in Constantine (North-East Algeria)," *Geotechnical and Geological Engineering*, Vol. 39, No. 8, PP. 5675-5691.
- [۵۰] Forman, E. H. and Gass, S. I. (2001), "The analytic hierarchy process—an exposition," *Operations research*, Vol. 49, No. 4, PP. 469-486.
- [۵۱] Vaidya, O. S. and Kumar, S. (2006), "Analytic hierarchy process: An overview of applications," *European Journal of operational research*, Vol. 169, No. 1, PP. 1-29.
- [۵۲] Barzilai, J. (1998), "On the decomposition of value functions," *Operations Research Letters*, Vol. 22, No. 4-5, PP. 159-170.
- [۵۳] Halder, B., Bandyopadhyay, J. and Banik, P. (2020), "Assessment of hospital sites' suitability by spatial information technologies using AHP and GIS-based multi-criteria approach of Rajpur-Sonarpur Municipality," *Modeling Earth Systems and Environment*, Vol. 6, No. 4, PP. 2581-2596.
- [۵۴] Şener, Ş., Sener, E. and Karagüzel, R. (2011), "Solid waste disposal site selection with GIS and AHP methodology: a case study in Senirkent-Uluborlu (Isparta) Basin, Turkey," *Environmental monitoring and assessment*, Vol. 173, No. 1, PP. 533-554.
- [۵۵] Xu, J. H. (2002), "Mathematical methods in contemporary geography," *China Higher Education Press*, Beijing, 224230.
- [۵۶] Rezaei, J. (2015), "Best-worst multi-criteria decision-making method," *Omega*, Vol. 53, PP. 49-57.
- [۵۷] Safarzadeh, S., Khansefid, S. and Rasti-Barzoki, M. (2018), "A group multi-criteria decision-making based on best-worst method," *Computers and Industrial Engineering*, Vol. 126, PP. 111-121.
- [۵۸] Sentz, K. and Ferson, S. (2002), "Combination of evidence in Dempster-Shafer theory," *System Science and Industrial Engineering Department*, Binghamton University, State University of New York: New York, NY, USA.
- [۵۹] Dempster, A. P. (1968), "Upper and lower probabilities generated by a random closed interval," *The Annals of Mathematical Statistics*, PP. 957-966.
- [۶۰] Shafer, G. A (1978), "Mathematical Theory of Evidence" *Princeton University Press*, Princeton, NJ, USA.
- [۶۱] Kaltsounidis, A. and Karali, I. (2020), "Dempster-shafer theory: how constraint programming can help," In *International Conference on Information Processing and Management of Uncertainty in Knowledge-Based Systems*, Springer, Cham, PP. 354-367.

- [۶۲] Saaty, T. L. (2008), "Decision making with the analytic hierarchy process," *International journal of services sciences*, Vol. 1, No. 1, PP. 83-98.
- [۶۳] Mojaddadi, H., Pradhan, B., Nampak, H., Ahmad, N. and Ghazali, A. H. B. (2017), "Ensemble machine-learning-based geospatial approach for flood risk assessment using multi-sensor remote-sensing data and GIS," *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, Vol. 8, No. 2, PP. 1080-1102.
- [۶۴] Chakraborty, S. and Mukhopadhyay, S. (2019), "Assessing flood risk using analytical hierarchy process (AHP) and geographical information system (GIS): application in Coochbehar district of West Bengal, India," *Natural hazards*, No. 99, PP. 247-274.
- [۶۵] Mitra, R. Saha, P. and Das, J. (2022), "Assessment of the performance of GIS-based analytical hierarchical process (AHP) approach for flood modelling in Uttar Dinajpur district of West Bengal, India," *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, Vol. 13, No. 1, PP. 2183-2226.
- [۶۶] Hammami, S. Zouhri, L. Souissi, D. Souei, A. Zghibi, A. Marzougui, A. and Dlala, M. (2019), "Application of the GIS based multi-criteria decision analysis and analytical hierarchy process (AHP) in the flood susceptibility mapping (Tunisia)," *Arabian Journal of Geosciences*, Vol. 12, PP. 1-16.
- [۶۷] Karimipour, H. Alesheikh, A. A. (2021), "Location of Solar Power Plants by Combining the Best-worst Methods, Danp, Copras and TOPSIS Case Study of Fars Province," *Journal of Geomatics Science and Technology*, Vol. 10, No. 3, PP. 183-199. (In Persian)
- [۶۸] Shahabi, H., Shirzadi, A., Ghaderi, K., Omidvar, E., Al-Ansari, N., Clague, J. J., Geertsema, M., Khosravi, K., Amini, A., Bahrami, S., Rahmati, O., Habibi, K., Mohammadi, A., Nguyen, H., Melesse, A. M., Ahmad, B. B., Ahmad, A. (2020), "Flood detection and susceptibility mapping using sentinel-1 remote sensing data and a machine learning approach: Hybrid intelligence of bagging ensemble based on k-nearest neighbor classifier," *Remote Sensing*, Vol. 12No. 2, 266.
- [۶۹] Li, K., Wu, S., Dai, E. and Xu, Z. (2012), "Flood loss analysis and quantitative risk assessment in China," *Natural hazards*, Vol. 63, No. 2, PP. 737-760.
- [۷۰] Hong, H., Panahi, M., Shirzadi, A., Ma, T., Liu, J., Zhu, A. X., Chen, W., Kougiass, I. and Kazakis, N. (2018), "Flood susceptibility assessment in Hengfeng area coupling adaptive neuro-fuzzy inference system with genetic algorithm and differential evolution," *Science of the total Environment*, Vol. 621, PP. 1124-1141.
- [۷۱] Moore, I. D., Grayson, R. B. and Ladson, A. R. (1991), "Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications," *Hydrological processes*, Vol. 5, No. 1, PP. 3-30.
- [۷۲] Naito, A. T. and Cairns, D. M. (2011), "Relationships between Arctic shrub dynamics and topographically derived hydrologic characteristics," *Environmental Research Letters*, Vol. 6, No. 4, 045506.
- [۷۳] Ponce, V. M. and Hawkins, R. H. (1996), "Runoff curve number: Has it reached maturity?," *Journal of hydrologic engineering*, Vol. 1, No. 1, PP. 11-19.
- [۷۴] Gabriels, D. (2006), "Assessing the modified Fournier index and the precipitation concentration index for some European countries," *Soil erosion in Europe*, PP. 675-684.
- [۷۵] Kumar, R. and Acharya, P. (2016), "Flood hazard and risk assessment of 2014 floods in Kashmir Valley: a space-based multisensor approach," *Natural Hazards*, Vol. 84, No. 1, PP. 437-464.
- [۷۶] Sahraei, R. Kanani-Sadat, Y. Homayouni, S. Safari, A. Oubennaceur, K. and Chokmani, K. (2022), "A novel hybrid GIS-based multi-criteria decision-making approach for flood susceptibility analysis in large ungauged watersheds," *Journal of Flood Risk Management*, e12879, PP. 1-26.