

## سنجش ابعاد آسیب‌پذیری گیلان نسبت به خشکسالی با مدل GAMA و SUM Fuzzy، AHP

پژواک راستگو

دانشجوی دکتری گروه جغرافیا آب و هواشناسی، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران

بهمن رضانی

استاد گروه جغرافیا، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران، (نویسنده مسئول) Bahman@iaurasht.ac.ir

پرویز رضایی

دانشیار گروه جغرافیا، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران

### چکیده

در کشور ایران بارش اندک به همراه توزیع نامناسب زمانی و مکانی آن باعث بروز خشک‌سالی‌هایی گردیده است. در این پژوهش هدف، سنجش ابعاد آسیب‌پذیری استان گیلان نسبت به خشک‌سالی با مدل‌های GAMA و SUM فازی، AHP می‌باشد. روش پژوهش، تحلیلی مکانی و از نظر هدف کاربردی است. ابتدا مؤلفه‌های آسیب‌پذیری اقلیمی تعیین گردید که میزان تخلیه چشمه‌ها و چاه‌ها، آب‌های سطحی، بارش، دما، مقدار اراضی کشاورزی، جمعیت بخش‌های مختلف محدوده مطالعاتی بود. متغیرها با توابع عضویت فازی همسان و با مدل GAMA و SUM همپوشانی شدند. جهت وزن دهی متغیرها از مدل AHP نیز استفاده شد. نتایج نشان داد از نقطه نظر کارشناسان اهمیت پارامتر بارش با وزن ۰/۲۸۹، بیشترین و پارامتر اراضی کشاورزی با وزن ۰/۰۵۷، کمترین مقدار است. وزن پارامترهای تخلیه آب زیرزمینی، آب سطحی، جمعیت، دما در مقایسه زوجی به ترتیب ۰/۲۶۷، ۰/۱۸۰، ۰/۱۲۲، ۰/۰۸۶ به دست آمد. پهنه‌بندی AHP بالاترین دقت و مدل GAMA و SUM در الویت بعدی قرار دارند. پهنه‌بندی AHP نشان داد بخش میانی استان رشت، سراوان، کسما، انزلی و شاندرمن بیشترین خشک‌سالی و غرب استان شامل هشتر و آستارا با مساحت ۳۷/۳ درصد در مرحله بعد و سپس سموش، شلمان و لاهیجان با مساحت ۲۹ درصد قرار داشته و در نهایت قسمت‌هایی از شمال آستارا، جنوب شهرستان رودسر و جنوب رودبار ارتفاعات درفک با مساحت ۳۳/۷ درصد کم‌ترین خشک‌سالی را تجربه کرده‌اند. در مدل SUM، بیشترین آسیب‌پذیری در غرب، مرکز و نواحی وسیعی از شرق استان، شهرستان رودسر با مساحت ۷۸/۲۳ درصد بود. در مدل همپوشانی GAMA، قسمت‌های وسیعی از غرب استان شهرستان تالش و شهرستان رشت با مساحت ۳۱/۹۲ درصد در کلاس آسیب‌پذیری خیلی زیاد مشاهده گردید. بررسی نقاطی که با خشک‌سالی بیشتر و شدیدتر مواجه‌اند و تمرکز بیشتر در آن نقاط، مدیریت مناسب منابع را به همراه دارد و می‌تواند خسارات ناشی از خشک‌سالی را کاهش دهد.

کلمات کلیدی: آسیب‌پذیری، خشک‌سالی، فازی، AHP

## مقدمه و بیان مسئله

خشکسالی نتیجه کاهش میزان بارندگی در یک دوره زمانی وسیع است که بسته به نوع اقلیم آن منطقه ممکن است در مقیاس سال و یا حتی چندین سال حادث شود. خشکسالی را می‌توان به‌عنوان پدیده‌ای اجتناب‌ناپذیر و از جمله بلایایی که امکان پیشگیری ندارد اما قابل مدیریت و ساماندهی می‌باشد نام برد (اسماکتین و هوگوس<sup>۱</sup>، ۲۰۰۴) و یکی از بلایای فاجعه‌بار جهانی محسوب می‌شود که هر ساله بر زندگی بسیاری از مردم جهان اثرگذار است (ژوچن و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۱۳). خشکسالی طیف گسترده‌ای از اقلیم‌ها و اکوسیستم‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. به‌طوری که مناطق جغرافیایی تحت تأثیر خشکسالی در چهار دهه گذشته به‌شدت افزایش یافته‌اند (مولن و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۱۱). آسیب‌های ناشی از خشکسالی در بسیاری از کشورها خصوصاً در بخش کشاورزی تا حدی بوده که موجب شده این پدیده به‌عنوان مهم‌ترین مخاطره طبیعی به شمار آید (سانگ و همکاران<sup>۴</sup>، ۲۰۰۳؛ فضل<sup>۵</sup>، ۲۰۰۷). خشکسالی یکی از پرهزینه‌ترین بلایای طبیعی در ایران نیز می‌باشد. (خشنودی فر و همکاران<sup>۶</sup>، ۲۰۱۰). به‌طوری که طی ۴۰ سال گذشته، ایران ۲۷ خشکسالی را تجربه کرده است. از دهه‌ی ۸۰ به بعد اغلب وضعیت خشکسالی در کشور حاکم بوده است. ویژگی‌های اصلی خشکسالی اخیر تنها محدود به طبیعت گسترده و شدید آن نیست، بلکه اثرات آن به‌واسطه نزدیکی با خشکسالی قبلی (۱۳۷۷-۱۳۸۰) تشدید شده است (کشاورز و همکاران، ۲۰۱۳). خشکسالی جزو بلایای طبیعی نامحسوس است که بر اثر کمبود بارش طی یک دوره زمانی، معمولاً یک فصل و یا بیشتر به وجود می‌آید.

هدف از ارزیابی ریسک خشکسالی، شناسایی اقدامات مناسب به‌منظور کاهش آسیب‌های بالقوه است. در نتیجه ارزیابی ریسک خشکسالی، تصمیم‌سازان می‌توانند خطر را درک کرده و آسیب‌های وارده به بخش‌های مختلف از جمله کشاورزی و منابع طبیعی را پیش‌بینی نمایند. ارزیابی ریسک خشکسالی، بررسی اثرات این پدیده بر روی فعالیت‌های انسانی، سیستم‌های اقتصادی، اجتماعی و محیط زیستی است (زانگ و همکاران<sup>۷</sup>، ۱۹۹۷). گیلان به‌خصوص در منطقه جلگه‌ای تقریباً هم‌تراز با استان‌های گلستان و مازندران توانسته از اقلیم خشک و نیمه‌خشک‌رهای یافته، کمبود دائمی آب را هموار نماید، ولی خشکسالی، پدیده تکرارشونده تمامی اقلیم با اقلیم گیلان نیز همراه می‌باشد. این پژوهش باهدف ارزیابی خشکسالی و سنجش آسیب‌پذیری اقلیمی استان گیلان برای شناخت و طبقه‌بندی خشکسالی در نوار شمالی ایران و تعیین ویژگی‌های آماری آن‌ها و بررسی تغییرات اقلیم و روند بارندگی در منطقه انجام گرفته است. در زمینه خشکسالی و تبعات آن تحقیقاتی در ایران و جهان با روش‌های مختلف انجام پذیرفته است (رمضانی گورابی و کاظم نژاد، ۲۰۱۱)، تأثیر نوسانات بارش بر میزان تولید محصولات کشاورزی در شهرستان رودبار و محصول زیتون را مورد پژوهش قرار دادند. نتایج تحقیق نشان داد که این شهرستان از نظر فراوانی وقوع طی دوره آماری، در سال‌های ۸۷-۸۶ و ۷۳-۷۲ به ترتیب با خشکسالی و ترسالی مواجه بوده است (قاسمی نژاد و همکاران، ۱۳۹۳)، در تحقیق خود

۱ - Smakhtin & hughes

۲ - Xiao-Chen et al

۳ - Molen et al

۴ - Song et al

۵ - Füssel

۶ - Khoshnodifar et al

۷ - Zhang et al

به ارزیابی ریسک خشک‌سالی استان اصفهان پرداختند. نتایج نشان داد که مناطق مرکزی استان نسبت به وقوع خشک‌سالی بسیار شدید مستعدتر است و استعداد مناطق شمال و شمال شرق به خشک‌سالی شدید، زیاد است (امین و ملکی نژاد، ۱۳۹۶)، در تحقیق خود بررسی و مقایسه دوره‌های خشک‌سالی را با استفاده از نمایه‌های مبتنی بر بارش در برخی مناطق مرکزی و غرب کشور انجام دادند. داده‌های بارش سالانه یک دوره آماری ۶۰ ساله (۲۰۱۰-۱۹۵۱) را برای استان‌های کرمانشاه، کردستان، کرمان و یزد مورد استفاده قرار دادند. نتایج نشان داد از نظر تعداد رخداد‌های خشک‌سالی و ترسالی استان‌های یزد، کرمانشاه، کرمان و کردستان به ترتیب دارای بیشترین فراوانی بودند (جعفری و همکاران، ۱۳۹۷)، پیش‌بینی خشک‌سالی‌های استان خراسان شمالی را با مدل HADCM3 و شاخص‌های SPI و RDI بررسی کردند. نتایج نشان داد که درصد فراوانی خشک‌سالی‌های دوره پیش‌بینی شده نسبت به دوره پایه تحت هر سه سناریو در مقیاس یک ماهه و سالانه با استفاده از شاخص SPI و RDI کاهش داشته است و از طرف دیگر درصد فراوانی ترسالی افزایش داشته است (کاظم نژاد و همکاران، ۱۳۹۷)، مطالعه باهدف بررسی و برآورد آسیب‌پذیری کشاورزی در برابر تغییرات آب و هوایی، شاخص آسیب‌پذیری CVI برای ۱۶ شهرستان استان گیلان را مورد محاسبه قرار دادند. نتایج نشان داد برحسب شاخص CVI شهرستان‌های رشت (۶۱،۵۸) و تالش (۵۵،۲۱) بیشترین میزان آسیب‌پذیری و به تبعیت از آن کمترین قدرت سازگاری با تغییرات آب‌وهوایی را نسبت به سایر شهرستان‌ها دارا بودند. (فیروزی و همکاران، ۱۳۹۸)، هدف از مطالعه خود را واکنش دو شاخص پوشش گیاهی NDVI و EVI به خشک‌سالی‌ها و ترسالی‌ها در یکی از دشت‌های خشک ایران یعنی دشت سیستان در شمال استان سیستان و بلوچستان بیان کردند. نتایج نشان داد شاخص NDVI شاخص بسیار مناسب‌تری برای پویایی پوشش گیاهی در دشت‌هایی مانند دشت سیستان بود که حیات آن‌ها نه به بارش بلکه به آب جاری در رودخانه متکی بود (معدنچی و همکاران، ۱۳۹۸)، مطالعه‌ای در کرمان با عنوان پهنه‌بندی خشک‌سالی‌های اقلیمی و بزرگی خشک‌سالی با استفاده از شاخص SPI و زمین‌آمار کریجینگ انجام دادند. نتایج حاصل از تحقیق مشخص کرد که قسمت‌هایی از جنوب غربی و غرب استان در محدوده شهرستان‌های بافت، رابر و سیرجان از نظر احتمال وقوع خشک‌سالی از حساسیت بیشتری برخوردار بودند و هرچه مقیاس زمانی بالاتر رفت قدر مطلق مجموع دوره‌های خشک بیشتر شد (زارعی و همکاران، ۱۳۹۹)، پژوهش خود را باهدف ارزیابی آسیب‌پذیری اقلیمی آبخیز سامیان در استان اردبیل انجام دادند. نتایج حاصل نشان داد که زیر حوضه‌های ۱۵، ۱۶ و ۱۷ واقع در غرب دارای آسیب‌پذیری خیلی زیاد و زیر حوضه‌های ۲۰، ۲۱ و ۲۴ واقع در بخش‌هایی از شمال و مرکز دارای کمترین آسیب‌پذیری‌اند (مرتضایی فریزندی و همکاران، ۱۳۹۹)، فاصله زمانی بین وقوع خشک‌سالی هواشناسی و خشک‌سالی هیدرولوژیکی، در جهت تمهیدات لازم برای مقابله با خشک‌سالی ناشی از کمبود منابع آبی سطحی و زیرزمینی را تعیین کردند (راجیشکار و همکاران، ۲۰۱۵)، تأثیرات احتمالی تغییر در تنوع آب‌وهوا را بر خصوصیات انواع مختلف خشک‌سالی مرور کردند. از نظر آن‌ها به‌طور کلی، انتظار می‌رفت این یافته‌ها به دستیابی به یک استراتژی مؤثر در کاهش خشک‌سالی برای ایالت تگزاس کمک کند (پوآن و همکاران، ۲۰۱۷). در مطالعه خود یک شاخص خشک‌سالی جدید، شاخص عرضه و تقاضای استاندارد آب (SSDI) را ارائه کردند. نتایج نشان داد میانگین سطح خشک‌سالی طی سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۱ به  $9/9 \times 10^3$  کیلومتر مربع رسید که ۳۵،۴٪ از کل سطح زمین‌های کشاورزی در MLJRB را تشکیل می‌داد، که تقریباً دو برابر منطقه خشک‌سالی

طی سال‌های ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۰ بود (آیانلد و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۱۸)، در مقاله خود ویژگی‌های خشک‌سالی را به‌عنوان شواهدی از تغییرات آب و هوایی در دو منطقه کشاورزی، آب و هوایی نیجریه بررسی کردند. نتایج نشان داد که میزان بارندگی مکانی و زمانی برای ایستگاه‌ها زیاد بود (چن و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۱۹)، در پژوهشی با استفاده از نظریه سیستم فاجعه و با اشاره به مکانیزم‌های زمینه‌ساز خطر خشک‌سالی کشاورزی، سطح از دست دادن عملکرد محصول بر اساس خطرات و نهادهای زیست‌محیطی و آسیب‌پذیر (محصولات) را تعیین کردند. نتایج مطالعه زمینه علمی را برای پیشگیری و کاهش خشک‌سالی‌های کشاورزی در آینده و همچنین منطقی سازی بیمه‌های مرتبط فراهم کرد (عدنان و اولاد<sup>۳</sup>، ۲۰۲۰)، مطالعه خود را با استفاده از داده‌های مشبک مشاهداتی ۶۰ ساله (۰٫۵ × ۰٫۵ درجه) از بارش جهانی از مرکز آب‌وهوای جهانی بارش و رطوبت خاک از مرکز پیش‌بینی آب‌وهوا، اقلیم‌شناسی خشک‌سالی فضایی و زمانی پاکستان به انجام رساندند. یافته‌های آن‌ها ۱۹ منطقه را نشان داد که به‌شدت در معرض خشک‌سالی بودند، با مناطق شمالی در معرض خشک‌سالی خفیف، درحالی‌که مناطق مرکزی و جنوبی در معرض حوادث خشک‌سالی زیاد بودند (قاسمی و همکاران، ۱۴۰۰)، به تهیه نقشه لندفرم‌ها و بررسی ارتباط آن با میزان خشک‌سالی به کمک روش ژئومورفون و مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در شرق و جنوب استان فارس پرداختند. نتایج حاصل از روش فازی و ۸۱۷۷۳ نشان داد که بخش‌های شرقی مورد مطالعه شامل ۱۰ نوع لندفرم می‌باشد که لندفرم نوع ۵۱۰۰۲ و ۹۰۶۷ به ترتیب بیشترین و کمترین مساحت منطقه را شامل می‌شود (۲۵ و ۸ و ۲). همچنین نتایج حاصل از ارتباط بین نوع لندفرم و خشک‌سالی نشان داد که در بخش‌هایی از منطقه که شامل لندفرم ۱۱۲۱ است میزان خشک‌سالی در کلاس متوسط تا زیاد قرار دارد در حالی‌که لندفرم‌های ۵۱۰۰۳ دارای حداقل میزان خشک‌سالی هستند (عطایی و فتوحی، ۱۴۰۰)، تأثیر خشک‌سالی اقلیمی دوده (۱۳۹۰-۱۳۷۰) بر ناپایداری توسعه در دهستان هشیوار شهرستان داراب را بررسی کردند. نتایج بدست آمده براساس شاخص Spi نشان داد طی سال‌های ۱۳۸۲، ۱۳۸۴ و ۱۳۸۷ منطقه مورد مطالعه با خشک‌سالی متوسط و در سال ۱۳۷۴ با ترسالی بسیار شدید مواجه بوده است. همچنین براساس شاخص PNPI در سال‌های ۱۳۸۰ و ۱۳۸۲ منطقه با خشک‌سالی ضعیف و در سال‌های ۱۳۷۸، ۱۳۷۹، ۱۳۸۶ با خشک‌سالی شدید و در سال‌های ۱۳۸۴، ۱۳۸۷ با خشک‌سالی بسیار شدید مواجه بوده است (افتخاری و همکاران، ۱۴۰۰)، تحلیل و پایش زمانی و مکانی خشک‌سالی را با استفاده از محصولات سنجنده MODIS در استان اصفهان انجام دادند. نتایج، ضریب همبستگی بین ۰/۶۴ تا ۰/۸۱ در سال‌های مدنظر را نشان داد که بیشترین آن مربوط به ایستگاه نجف‌آباد و کمترین آن مربوط به ایستگاه مبارکه می‌باشد (حجازی زاده و همکاران، ۱۴۰۰)، به واکاوی و مقایسه چند شاخص خشک‌سالی اقلیمی و تعیین بهترین شاخص در جنوب شرق ایران پرداختند. نتایج نشان داد که در مقیاس ماهانه جهت بررسی خشک‌سالی جنوب شرق کشور شاخص دینامیک بارش استاندارد (SPI) در بازه زمانی ۶ و ۱۲ ماهه بهترین عملکرد را داشته است. با بررسی نتایج تحقیقات پیشین می‌توان مشاهده کرد تحقیقات اندکی با روش CVI و AHP در محدوده مطالعاتی انجام پذیرفته است و این امر را می‌توان از قابلیت‌های تحقیق حاضر نسبت به روش‌های پیشین دانست.

## مواد و روش‌ها

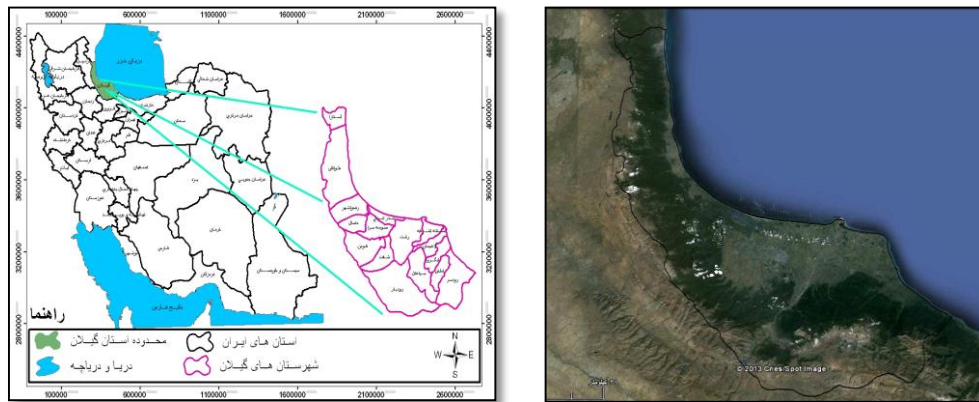
۱ - Ayanlade et al

۲ - Chen et al

۳ - Adnan & Ullah

### • معرفی محدوده مطالعاتی

استان گیلان، یکی از استان‌های شمالی کشور بالغ بر ۱۴ هزار کیلومترمربع مساحت دارد. در میان رشته‌کوه‌های البرز و تالش در شمال ایران جای گرفته و حدود ۰/۹٪ از مساحت کل کشور را در بر گرفته است. این استان در ۳۶ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۲۷ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۵۳ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳۴ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار قرار گرفته است. بر اساس آخرین تقسیمات کشوری، در زمان اجرای سرشماری نفوس و مسکن ۱۳۹۵ استان گیلان دارای ۱۶ شهرستان، ۵۲ شهر، ۴۳ بخش و ۱۰۹ دهستان است و ۲۹۴۲ آبادی بوده است (سالنامه آماری گیلان، ۱۳۹۵). در شکل شماره (۱) و (۲) نمایی از استان گیلان مشاهده می‌شود.



شکل ۱. نمایی از استان گیلان در ایران شکل ۲. نمایی از گیلان در تصاویر Google Earth (منبع: نگارندگان)

### روش تحقیق

روش تحقیق توصیفی - تحلیلی مکانی با نگرش سیستمی و از نظر هدف کاربردی است. برای جمع‌آوری اطلاعات از مطالعات کتابخانه‌ای و آماری و بررسی‌های میدانی استفاده شده است. در ابتدا مؤلفه‌های شاخص آسیب‌پذیری اقلیمی استان گیلان تعیین گردیده، سپس اطلاعات مورد نیاز در مورد مؤلفه‌های مورد نظر با استفاده از روش‌های لازم تهیه شد. شاخص‌های انتخابی، میزان تخلیه چشمه‌ها و چاه‌ها، میزان آب‌های سطحی، بارش، دما، مقدار اراضی کشاورزی، جمعیت بخش‌های مختلف محدوده مطالعاتی بود که در جدول ۱، نشان داده شده است.

جدول ۱. داده‌های مورد استفاده (مأخذ: نگارندگان)

مؤلفه‌ها	واحد	منبع
میزان آبهای سطحی	میلیون متر مکعب در سال	طرح جامع آب کشور
میزان تخلیه آب زیرزمینی	میلیون متر مکعب در سال	طرح جامع آب کشور
مجموع بارندگی	میلیمتر در سال	سازمان هواشناسی
متوسط دمای سالانه	درجه سانتیگراد	سازمان هواشناسی
میزان اراضی کشاورزی	هکتار	وزارت جهاد کشاورزی
تراکم جمعیت انسانی	تعداد نفرات در بخش	مرکز آمار ایران

### • اجرای روش Fuzzy

منطق فازی، زمینه را برای استدلال، کنترل و تصمیم‌گیری در شرایط عدم اطمینان فراهم می‌کند. بر اساس این منطق بین حالت قبول و غیرقابل قبول می‌توان درجات مختلف مقبولیت را تصور کرد که معمولاً دامنه‌ی تغییرات استانداردسازی بین اعداد ۰ و ۱ (مقیاس اعداد حقیقی) و یا ۰ و ۲۵۵ (مقیاس بایت) است (Eastman, ۲۰۰۶). در این رابطه نیاز است که برای فازی نمودن نقشه‌های فاکتور، مقادیر آستانه معیارها (حداقل دو تا چهار نقطه: a, b, c, d)، نوع (کاهنده یکنواخت، افزاینده یکنواخت، متقارن) و شکل تابع عضویت (خطی<sup>۱</sup>، تابع تعریفی توسط کاربر<sup>۲</sup>، S شکل<sup>۳</sup> و J شکل<sup>۴</sup>) تعیین گردد. در نهایت با استفاده از عملگرهای فازی SUM و GAMA شاخص‌ها همپوشانی شدند. همپوشانی یکی از توابع مکانی است که می‌تواند لایه‌های مکانی که از منابع مجزا به دست آمده‌اند را به منظور کاربردهای پهنه‌بندی و مکان‌یابی با استفاده از مدل‌های ترکیبی با یکدیگر تلفیق کند. لایه جدید (خروجی) به صورت تابعی از دو یا چند لایه ورودی می‌باشد. در این تحقیق جهت همپوشانی لایه‌ها از عملگر فازی SUM و GAMA جهت همپوشانی استفاده شد.

$$\mu_{combination} = \text{MIN}(\mu_A, \mu_B, \dots) \quad (1)$$

عملگر فازی SUM مشابه مجموع در مجموعه‌های کلاسیک می‌باشد و زمانی استفاده می‌شود که دو یا چند معیار با هم می‌توانند به حل یک مسئله کمک کنند.

$$= (FuzzySum)^\gamma \times (FuzzyProduct)^{1-\gamma} \quad \gamma \in [0,1] \quad (2)$$

$\mu_{combination}$

(Alsheykh, ۲۰۰۸؛ Jiang & Eastman, ۲۰۰۰). عملگر گاما حالت کلی ضرب جبری عملگر ضربی و جمعی فازی می‌باشد که هر دو به توان گاما رسانده شده‌اند و زمانی به کار می‌رود که تأثیرات کاهشی و افزایشی در تعامل معیارها وجود داشته باشد.

### • اجرای روش AHP

روش دوم، جهت وزن دهی شاخص‌ها و متغیرها مدل AHP می‌باشد و نقشه پهنه‌بندی نهایی به دست آمد. این روش شامل سه گام اصلی در فرآیند اجرایی نرم افزار GIS است. الف) تولید ماتریس مقایسه زوجی ب) محاسبه وزن‌های نهایی معیار ج) تخمین نسبت توافق.

الف) تولید ماتریس مقایسه زوجی:

به واسطه مقایسه زوجی در روش AHP از طریق قضاوت‌هایی که به صورت شفاهی، عددی یا حتی گرافیکی انجام می‌گیرد وزن‌ها یا اولویت‌ها برای معیارهای دخیل در تصمیم‌گیری استخراج می‌گردد که به شکل اعداد نسبی می‌باشند (ساتی، ۱۹۸۰).

جدول ۲. مقیاس ۹ کمیتی ساعتی برای مقایسه دودویی گزینه‌ها (ساتی، ۱۹۸۰).

تعریف	میزان اهمیت
-------	-------------

۱ - Linear  
 ۲ - User define  
 ۳ - Sigmoidal  
 ۴ - J- Shape  
 ۵ - Saaty

۱	اهمیت برابر
۲	اهمیت برابر تا متوسط
۳	اهمیت متوسط
۴	اهمیت متوسط تا قوی
۵	اهمیت قوی
۶	اهمیت قوی تا بسیار قوی
۷	اهمیت بسیار قوی
۸	اهمیت بسیار قوی تا فوق العاده قوی
۹	اهمیت فوق العاده قوی

(ب) محاسبه وزن های معیار

این مرحله شامل گام های زیر است:

۱- جمع کردن مقادیر هر ستون ماتریس مقایسه دوتایی، ۲- تقسیم نمودن هر مولفه ماتریس بر مجموع ستون آن (ماتریس حاصل "مقایسه دوتایی نرمال شده" نام دارد)، ۳- محاسبه میانگین مولفه ها در هر ردیف از ماتریس نرمال شده.

(ج) تخمین نسبت توافق

۱- تعیین بردار مجموع وزنی به وسیله ضرب کردن وزن اولین معیار در اولین ستون مقایسه دوتایی اصلی، سپس ضرب نمودن دومین معیار در دومین ستون، سومین معیار در سومین ستون ماتریس اصلی و به همین ترتیب تا ضرب نمودن آخرین معیار و سرانجام جمع نمودن این مقادیر در سطرها، ۲- تعیین بردار توافق به وسیله تقسیم بردار مجموع وزنی بر وزن های معیار که قبلا تعیین گردید. سپس محاسبه، لاندای (λ) که برابر میانگین مقادیر بردار توافق است و شاخص توافق CI که از رابطه ۳ و ۴، به دست می آید.

$$CI = \frac{\lambda - n}{n - 1} \quad (3)$$

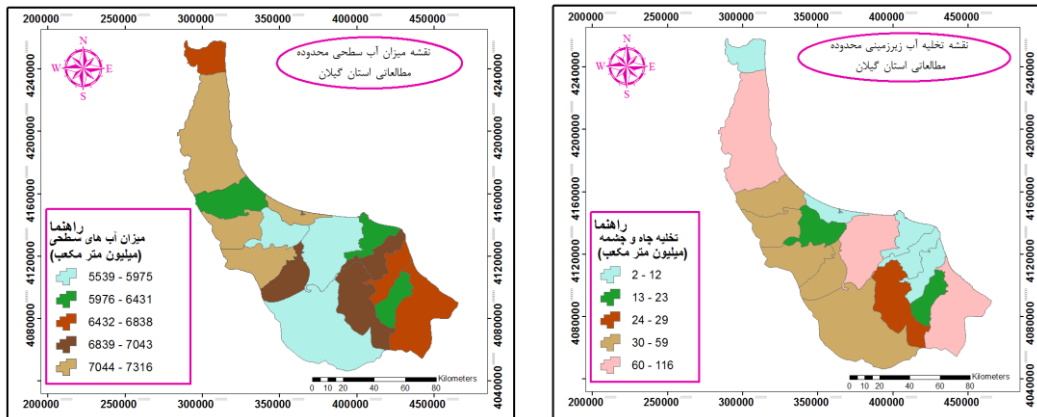
$$CI = \frac{CI}{RI} \quad (4)$$

که در آن RI شاخص تصادفی است که برای مقادیر مختلف تعداد معیار (n) از طرق زیر به دست می آید. نسبت توافق (CR) به صورتی طراحی می شود که اگر  $CR \leq 0.1$  باشد سطح قابل توافق را نشان می دهد (مالچفسکی، ۱۹۹۹).

	dama	baresh	takhlīye ab	ab sathi	arazi kesh	jameeyat
dama		2.0	3.0	2.0	2.0	3.0
baresh			2.0	2.0	3.0	3.0
takhlīye ab				3.0	3.0	3.0
ab sathi					4.0	3.0
arazi keshvarzi						3.0
jameeyat	Incon: 0.09					

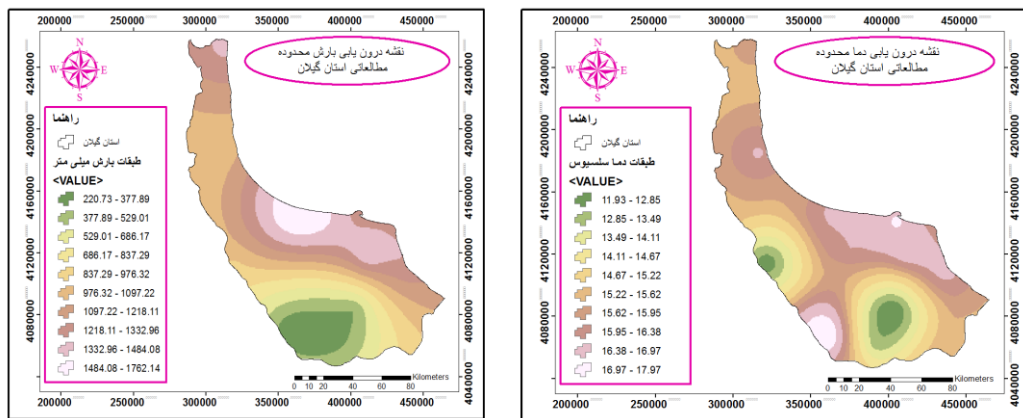
شکل ۳. مقایسه زوجی معیارها در Expert Choice (منبع: نگارندگان)

پارامترهای میزان تخلیه چشمه‌ها و چاه‌ها و میزان آب‌های سطحی از آمار و اطلاعات آب منطقه‌ای در سال آبی ۱۳۹۷ - ۱۳۹۸ استفاده شد. برای شهرستان‌های استان گیلان نیز آمار و اطلاعات به تفکیک موجود بوده است که در شکل ۴ و ۵ نمایی از منابع آب‌های زیرزمینی و سطحی استان مشاهده می‌شود.



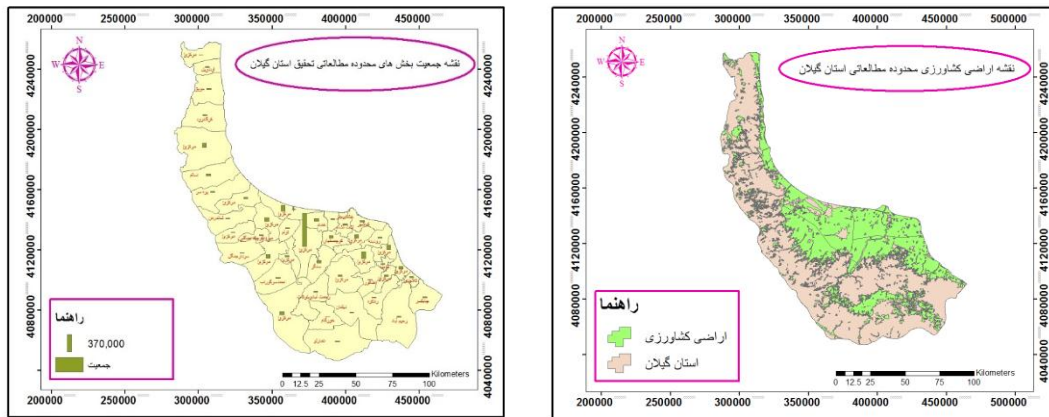
شکل ۴. نقشه تخلیه چشمه‌ها و چاه‌ها (منبع: نگارندگان) شکل ۵. میزان آب‌های سطحی (منبع: نگارندگان)

از آمار اطلاعات سازمان هواشناسی استان گیلان آمار بارندگی سالانه و دمای سالانه برآورد گردید که آمار ارائه‌شده مربوط به شهرهای استان می‌باشد که در عملیات درون‌یابی نقشه پهنه‌های آن‌ها به دست آمد و در شکل‌های ۷ و ۸ نشان داده شده است.



شکل ۶. نقشه درون‌یابی دمای شهرهای محدوده مطالعاتی شکل ۷. نقشه درون‌یابی بارش شهرهای محدوده مطالعاتی (منبع: نگارندگان) با استفاده از آمار و اطلاعات سازمان جهاد کشاورزی استان گیلان، نقشه اراضی کشاورزی استان گیلان آماده شده که در شکل ۸ نشان داده شده است. نقشه جمعیت بخش‌های استان نیز بر اساس آمار اطلاعات سرشماری سال ۱۳۹۵، در GIS آماده‌سازی شد که در شکل ۹، نشان داده شده است.



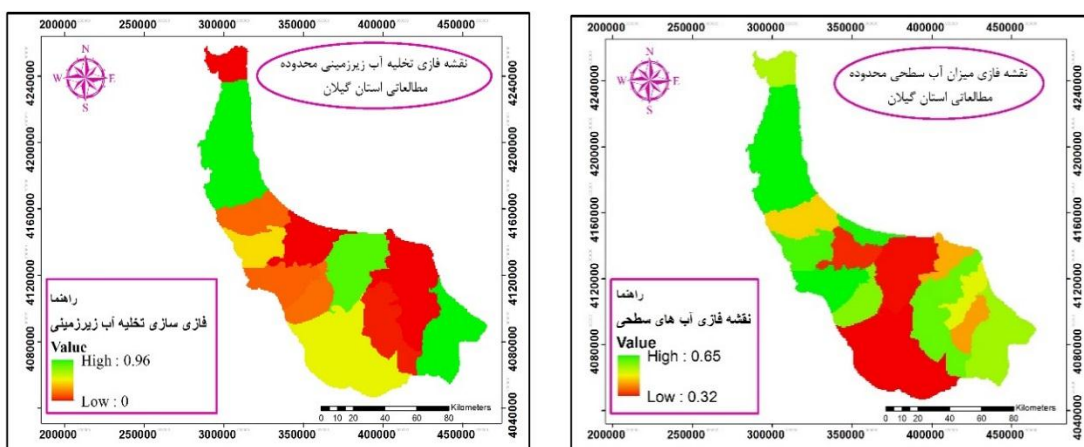


شکل ۸. نقشه اراضی کشاورزی استان گیلان شکل ۹. نقشه جمعیت بخش‌های مختلف محدوده مطالعاتی در سرشماری ۱۳۹۵ (منبع: نگارندگان)

## بحث و نتایج

### – نتایج فازی سازی لایه‌ها

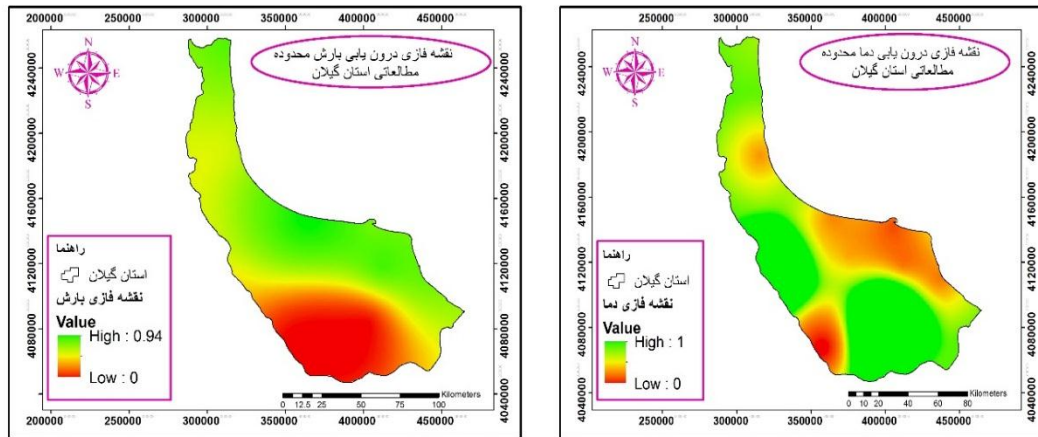
در نقشه‌های فازی، پارامترها در فاصله بین ۰ تا ۱، قرار داده شد. عدد ۰ بیانگر آسیب‌پذیری اقلیمی زیاد و عدد ۱ نمایانگر کمترین آسیب‌پذیری اقلیمی است. در شکل‌های ۱۰ تا ۱۵، لایه‌های فازی شده بر اساس کمترین تا بیشترین آسیب‌پذیری نشان داده شده است. در نقشه فازی تخلیه آب زیرزمینی هر چه میزان تخلیه کمتر باشد آسیب پذیرتر و هرچه میزان تخلیه بیشتر باشد آسیب پذیری کمتر است و در نقشه عدد نزدیک به ۱ را به خود اختصاص داده است. در نقشه فازی آب‌های سطحی هرچه میزان آب سطحی بیشتر در فازی سازی دارای ارزش ۱ و نزدیک به ۰، و هرچه میزان آب سطحی کمتر عدد ۰ و نزدیک به ۰ را به خود اختصاص داده است.



شکل ۱۰. نقشه فازی میزان آب سطحی (منبع: نگارندگان) شکل ۱۱. نقشه فازی تخلیه آب زیرزمینی (منبع: نگارندگان)

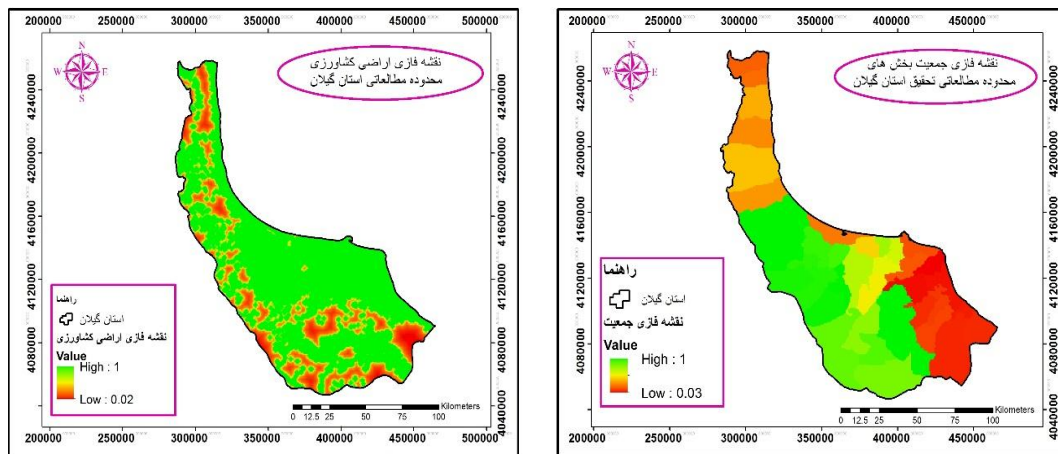
در نقشه فازی بارش هر چه میزان بارش کمتر باشد آسیب پذیرتر و در نقشه دارای ارزش نزدیک به ۰ و هرچه میزان بارش بیشتر باشد آسیب پذیری کمتر است و در نقشه عدد ۱ را به خود اختصاص داده است. در نقشه فازی دما هر چه میزان دما کمتر

باشد آسیب پذیری کمتر و در نقشه دارای ارزش نزدیک به ۱ و هرچه میزان دما بیشتر باشد آسیب پذیری بیشتر است و در نقشه عدد ۰ را به خود اختصاص داده است.



شکل ۱۲. نقشه فازی درون یابی دما (منبع: نگارندگان) شکل ۱۳. نقشه فازی درون یابی بارش (منبع: نگارندگان)

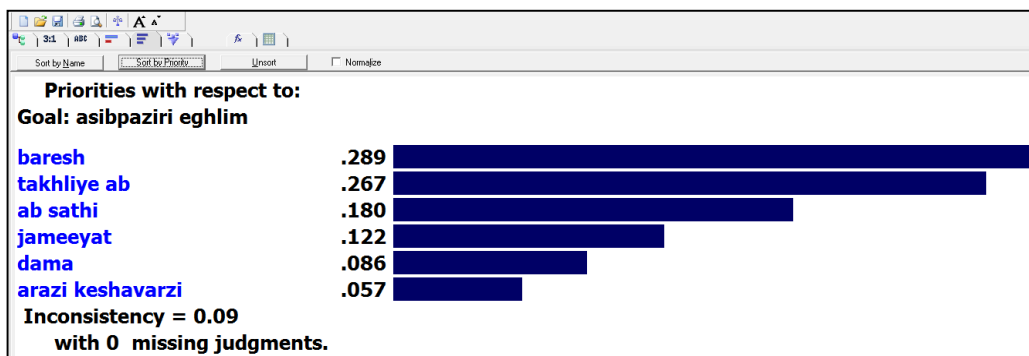
در نقشه فازی بارش هر چه میزان بارش کمتر باشد آسیب پذیرتر و در نقشه دارای ارزش نزدیک به ۰ و هرچه میزان بارش بیشتر باشد آسیب پذیری کمتر است و در نقشه عدد ۱ را به خود اختصاص داده است. در نقشه فازی دما هر چه میزان دما کمتر باشد آسیب پذیری کمتر و در نقشه دارای ارزش نزدیک به ۱ و هرچه میزان دما بیشتر باشد آسیب پذیری بیشتر است و در نقشه عدد ۰ را به خود اختصاص داده است.



شکل ۱۴. نقشه فازی جمعیت بخش ها (منبع: نگارندگان) شکل ۱۵. نقشه فازی اراضی کشاورزی (منبع: نگارندگان)

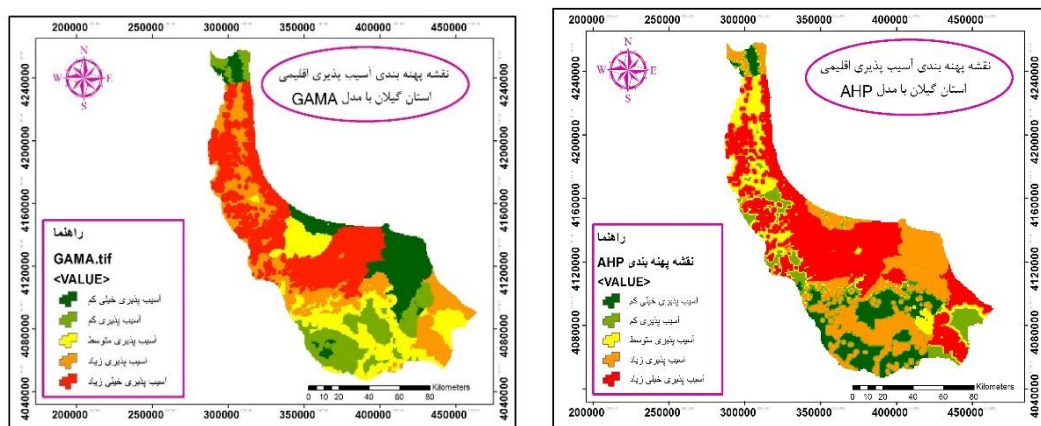
### – نتایج وزن دهی لایه ها در مدل AHP

پس از فازی سازی لایه ها، وزن دهی معیارها و شاخص های مؤثر در آسیب پذیری اقلیمی محدوده مطالعاتی استان گیلان در بروز خشک سالی با استفاده از Expert Choice استفاده شد. سلسله مراتب مقایسه زوجی در نرم افزار تشکیل شد و مقایسه زوجی معیارها بر اساس پرسش نامه کارشناسان تشکیل گردید. شکل ۱۶ وزن ها نهایی به دست آمده نشان داده شده است.

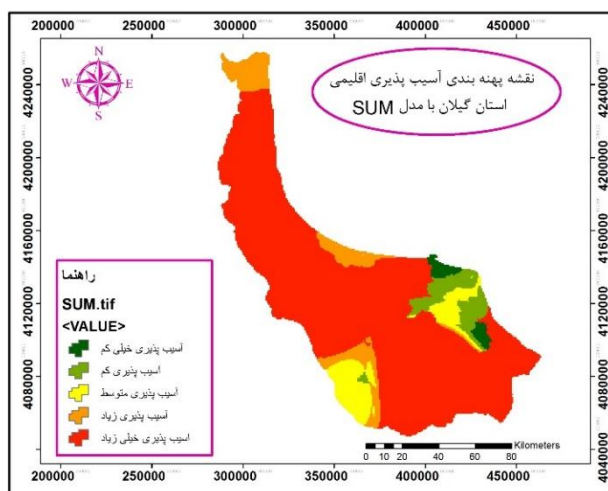


شکل ۱۶- وزن نهایی معیارها در Expert Choice (منبع: نگارندگان)

پس از مقایسه زوجی مشاهده شد پارامتر بارش بالاترین وزن و پارامتر میزان اراضی کشاورزی کمترین وزن را داشته است. با به دست آمدن وزن‌ها در مدل AHP، وزن‌ها در لایه‌های همسان‌سازی شده اعمال گردید تا نقشه مناطق و پهنه‌های آسیب‌پذیر از نظر اقلیمی مشخص و الویت بندی گردد. همچنین معیارها با عملگر GAMA و SUM فازی همپوشانی شدند. نقشه‌های پهنه‌بندی نهایی در شکل ۱۷، ۱۸، ۱۹ نشان داده شده است.



شکل ۱۷. نقشه پهنه بندی نهایی مدل AHP شکل ۱۸. نقشه پهنه بندی نهایی مدل GAMA (منبع: نگارندگان)



شکل ۱۹. نقشه پهنه بندی نهایی مدل SUM (منبع: نگارندگان)

جدول ۳. مساحت کلاس های آسیب پذیری در مدل های مورد استفاده در پژوهش بر حسب هکتار و درصد (منبع: نگارندگان)

مدل AHP (درصد)	مدل AHP (هکتار)	مدل GAMA (درصد)	مدل GAMA (هکتار)	مدل SUM (درصد)	مدل SUM (هکتار)	نام کلاس
۱۱/۵۲	۱۵۵۸۷۳/۲۵	۱۳/۶۴	۱۸۴۵۴۳/۲۷	۱/۶۵	۲۲۴۳۵/۰۹	آسیب پذیری خیلی کم
۱۱/۲۶	۱۵۲۲۴۹/۵۳	۱۴/۱۷	۱۹۱۷۳۷/۴۲	۴/۹۵	۶۷۱۴۵/۴۰	آسیب پذیری کم
۱۰/۹۲	۱۴۷۷۷۳/۱۷	۱۹/۳۷	۲۶۲۰۸۰/۲۲	۶/۹۶	۹۴۴۸۳/۱۷	آسیب پذیری متوسط
۲۹	۳۹۲۲۶۷/۶۹	۲۰/۹	۲۸۲۶۵۰/۱۶	۸/۲۱	۱۱۱۳۲۲/۸۱	آسیب پذیری زیاد
۳۷/۳	۵۰۴۶۰۳/۰۱	۳۱/۹۲	۴۳۱۷۵۵/۵۸	۷۸/۲۳	۱۰۶۱۳۷۶/۹۳	آسیب پذیری خیلی زیاد

جدول ۴. مساحت کلاس های آسیب پذیری در مدل های مورد استفاده در پژوهش بر حسب ارتفاع و محدوده جغرافیایی (منبع: نگارندگان)

نگارندگان

مدل AHP محدوده جغرافیایی	مدل AHP (متوسط ارتفاع متر)	مدل GAMA محدوده جغرافیایی	مدل GAMA (متوسط ارتفاع متر)	مدل SUM محدوده جغرافیایی	مدل SUM (متوسط ارتفاع متر)	نام کلاس
مناطق مرتفع آستارا، تالش، رودبار، فومن و شفت	۳۵۶۴	آستارا، آستانه، لاهیجان، شمال رودبار	۱۶۲	شمال آستانه و جنوب لاهیجان	۱۲۹	آسیب پذیری خیلی کم
ارتفاعات رودسر و رضوانشهر	۳۲۴۵	املش، دیلمان	۵۰۶	مرکز آستانه، مرکز لاهیجان	۳۳۴	آسیب پذیری کم
ارتفاعات تالش، رودسر	۱۸۷۷,۵	قسمت هایی از تالش، فومن، رودبار، رودسر	۱۸۵۶	جنوب لاهیجان	۳۳۴	آسیب پذیری متوسط
انزلی، آستانه، نواحی ساحلی آستارا	۱۲۷۶	بخش هایی از رودسر، منجیل، تالش	۵۰۶	انزلی، آستارا، شمال منجیل	۱۵۰۰	آسیب پذیری زیاد
مرکز استان، نواحی ساحلی تالش و رضوانشهر	۳۴۹	مرکز استان	۱۲۹	تالش، رضوانشهر، مرکز استان، رودبار	۱۲۰۰	آسیب پذیری خیلی زیاد

نتیجه گیری

به منظور ارزیابی آسیب پذیری نسبت به خشک سالی در استان گیلان، در مطالعه حاضر پس از مشخص شدن سلسله مراتب و جمع آوری داده های مربوطه، اهمیت هر یک از معیارها مشخص گردید. به منظور تعیین وزن شاخص های مختلف آسیب پذیری از مدل فازی AHP استفاده شد. بر اساس نتایج به دست آمده، از نقطه نظر کارشناسان اهمیت پارامتر بارش با وزن ۰/۲۸۹ بیش از سایر پارامترهاست و اهمیت پارامتر اراضی کشاورزی با وزن ۰/۰۵۷، کمترین مقدار است. وزن پارامترهای بارش، تخلیه آب زیرزمینی، آب سطحی، جمعیت، دما و اراضی کشاورزی در مقایسه زوجی به ترتیب ۰/۲۶۷، ۰/۱۸۰، ۰/۱۲۲، ۰/۰۸۶ و ۰/۰۵۷ به دست آمد. با بررسی مدل های پهنه بندی و مقایسه آن با واقعیت زمینی مشاهده گردید نقشه پهنه بندی مدل AHP دارای بالاترین دقت بوده و مدل GAMA و SUM در الویت بعدی قرار دارند. نقشه پهنه بندی مدل AHP نشان می دهد که بخش میانی

استان شامل رشت، سراوان، کسما، انزلی و شاندرمن بیشترین خشکسالی و غرب استان شامل هشتر و آستارا با مساحت ۵۰۴۶۰۳/۰۱ هکتار و در مرحله بعد سموش، شلمان و لاهیجان با مساحت ۳۹۲۲۶۷/۶۹ هکتار قرار داشته و در نهایت قسمت‌هایی از شمال آستارا، جنوب شهرستان رودسر و جنوب رودبار ارتفاعات درفک با مساحت ۴۵۵۸۹۵/۹۵ هکتار کم‌ترین خشکسالی را تجربه کرده‌اند. در مدل SUM، بیشترین آسیب‌پذیری خشکسالی در غرب، مرکز استان و نواحی وسیعی از شرق استان کل شهرستان رودسر در مجموع با مساحت ۱۰۶۱۳۷۶/۹۳ هکتار مشاهده گردید. در مدل همپوشانی GAMA نیز، قسمت‌های وسیعی از غرب استان شهرستان تالش و کل شهرستان رشت با مساحت ۴۳۱۷۵۵/۵۸ هکتار در کلاس آسیب‌پذیری خیلی زیاد مشاهده گردید. ارتفاعات استان کمترین میزان خشکسالی را داشته است. به نظر می‌رسد که کاهش حجم آب ورودی سد سفیدرود که تأمین آب آشامیدنی ۸۰ درصد از استان گیلان و آب ۱۸۰ هزار هکتار از زمین‌های زراعی را به عهده دارد، به دلیل افزایش رسوبات و ساخت ۱۰ سد جدید بر روی سرشاخه‌های سفیدرود عامل اصلی بحران منابع آب در بخش میانی است. بررسی میزان بارش و تعیین خشکسالی‌ها از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردار است. به تبع آن نتایج حاصله می‌تواند برای تصمیم‌گیران و برنامه‌ریزان در زمینه‌های مختلف مورد استفاده قرار گیرد. بررسی نقاطی که با خشکسالی بیشتر و شدیدتر مواجه‌اند و تمرکز بیشتر در آن نقاط، مدیریت مناسب مهندسی منابع آب، کم‌آبیاری، استفاده از هرز آب‌ها و اصلاح آبیاری کشاورزی و شهری، توسعه فضای سبز (جنگل) و تقویت خاک به جهت مواد معدنی و آلی (هوموس) برای حفظ و نگهداری آب موجود در خاک، همه و همه می‌تواند خسارات ناشی از خشکسالی را کاهش دهد.

## Measurement of Guilan Vulnerability to Drought with GAMA and SUM FUZZY Models, AHP

### Abstract:

In Iran, low rainfall along with inappropriate temporal and spatial distribution has caused droughts. The aim of this study was to measure the vulnerability of Guilan province to drought with fuzzy GAMA and SUM models, AHP. The research method is spatial analysis and applied in terms of purpose. First, the components of climatic vulnerability were determined, which were the rate of discharge of springs and wells, surface water, rainfall, temperature, amount of agricultural land, population of different parts of the study area. The variables were matched with fuzzy membership functions and overlapped with GAMA and SUM models. AHP model was also used to weight the variables. The results showed that from the point of view of experts, the importance of precipitation parameter with a weight of ۰,۲۸۹ is the highest and the parameter of agricultural lands with a weight of ۰,۰۵۷ is the lowest. The weight of groundwater discharge parameters, surface water, population, temperature in pairwise comparison were ۰,۲۶۷, ۰,۸۰, ۰,۱۲۲, and ۰,۰۸۶, respectively. AHP zoning is the highest accuracy and GAMA and SUM models are the next priority. AHP zoning showed that the middle part of Rasht, Saravan, Kasma, Anzali and Shanderman provinces had the highest drought and the west of the province including Hashtpar and Astara with an area of ۳۷,۳% in the next stage and then Samoosh, Shalman and Lahijan with an area of ۲۹% and finally some parts. From the north of Astara, south of Rudsar city and south of Rudbar, Darfak heights with an area of ۳۳,۷% have experienced the lowest drought. In the SUM model, the highest vulnerability was in the west, center and large areas of the east of the province, Rudsar city with an area of ۷۸,۲۳%. In the GAMA overlap model, large parts of the west of Talesh city and Rasht city with an

area of ۳۱,۹۲٪ were observed in a very high vulnerability class. Investigating areas that are experiencing more and more severe droughts and focusing more on those areas will lead to better resource management and can reduce the damage caused by drought.

**Keywords:** Vulnerability, drought, fuzzy, AHP

### فهرست منابع و مآخذ

۱. ابراهیمی، هدی، رضوانی گورابی، بهمن، (۱۳۹۸)، تحلیل شدت و مدت خشکسالی و ترسالی در حوضه سد برنجستانک قائم شهر، International Congress of Developing Agriculture Natural Resources, Environment and Tourism of Tabriz Islamic Art University In cooperation with Shiraz University and Yasouj University، Iran
۲. امین، پیمان، ملکی نژاد، حسین، (۱۳۹۶). بررسی و مقایسه دوره های خشکسالی با استفاده از نمایه های مبتنی بر بارش در برخی مناطق مرکزی و غرب کشور، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز سال هشتم، شماره ۱۶، پاییز و زمستان ۱۳۹۶، صص ۲۷۱-۲۸۰.
۳. جعفری، قربان، شاهکویی، اسمعیل، قانقرمه، عبدالعظیم، (۱۳۹۷). پیش بینی خشکسالی های استان خراسان شمالی با مدل HADCM3 و شاخص های SPI و RDI، مجله آمایش جغرافیایی فضا، فصلنامه علمی- پژوهشی دانشگاه گلستان، سال هشتم، شماره مسلسل سی ام، صص ۱۵۹-۱۷۴.
۴. رضایی، پرویز، (۱۳۸۵)، بحران آب در استان گیلان و راهکارهای مقابله با آن، فصل نامه چشم انداز جغرافیایی، سال اول، شماره ۳، صص ۶۷-۷۵.
۵. رضایی، پرویز، تیرانداز، محمد، (۱۳۸۹)، پهنه بندی اکوتوریسم با تأکید بر اقلیم (مطالعه موردی: حوضه پلرود استان گیلان)، مجله چشم انداز جغرافیایی (علمی-پژوهشی)، سال پنجم، شماره ۱۳، صص ۳۴-۴۷.
۶. رضایی، پرویز، روشنی، محمود، امیرآبادی زاده، سیده مهشید، (۱۳۹۳)، تعیین روابط شدت، مدت، فراوانی و سطح درگیر با خشکسالی در شمال غرب ایران، جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره دهم، صص ۱۱۱-۱۲۷.
۷. رضوانی گورابی، بهمن، (۱۳۸۴)، بررسی پدیده خشکسالی با استفاده از شاخص درصد نرمال بارندگی در نواحی مرکزی گیلان، بیابان، جلد ۱۰، شماره ۲، صص ۲۴۹-۲۵۶.
۸. رضوانی گورابی، بهمن، (۱۳۸۹)، پهنه بندی آسایش بیوکلیماتیک انسانی استان گیلان، فصل نامه چشم انداز جغرافیایی (علمی-پژوهشی)، سال چهارم، شماره ۹، صص ۵۳-۸۰.

۹. رضانی گورابی، بهمن، (۱۳۸۹)، شناخت سالهای خشکسالی با روش نمایه معیار بارندگی سالانه در دره سفید رود گیلان، دومین همایش ملی کشاورزی و توسعه پایدار، فرصت ها و چالش های پیش رو، دانشگاه آزاد اسلامی شیراز.
۱۰. رضانی گورابی، بهمن، کاظم نژاد، زهرا، (۱۳۹۰)، بررسی تاثیر نوسانات بارش بر میزان تولید محصولات کشاورزی در شهرستان رودبار (مورد مطالعاتی: محصول زیتون)، کنفرانس ملی هواشناسی و مدیریت آب کشاورزی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران.
۱۱. رضانی گورابی، بهمن، (۱۳۹۷)، خشکسالی و پیامدهای آن در ایران / پیامدهای آن بر تولیدات کشاورزی و فرآورده های دامی، ماهنامه دامپرور، پیاپی ۹۹ (مهر و آبان ۱۳۹۷)، ص ۲۶.
۱۲. زارعی، شیرین، حزباوی، زینب، مصطفی زاده، رئوف، اسمعیلی عوری، اباذر، (۱۳۹۹). مقایسه آسیب پذیری زیرحوضه های آبخیز سامیان بر اساس تغییرات مؤلفه های اقلیمی، پژوهش های جغرافیای طبیعی، دوره ۲۵، شماره ۵، تابستان ۱۳۹۹، صص ۲۱۷-۲۳۶.
۱۳. سرشماری نفوس و مسکن، (۱۳۹۵)، سازمان مدیریت و برنامه ریزی
۱۴. فرج زاده، منوچهر، (۱۳۷۴)، خشکسالی در ایران، مجله دانش کشاورزی تبریز. جلد ۴. شماره ۲ و ۱. صفحه ۳۱-۵۳.
۱۵. فیروزی، فاطمه، محمودی، پیمان، طاوسی، تقی، (۱۳۹۸). بررسی حساسیت دو شاخص پوشش گیاهی NDVI و EVI به خشکسالی ها و ترسالی ها در مناطق خشک و نیمه خشک (مطالعه موردی: دشت سیستان ایران)، فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)، دوره ۲۸، شماره ۱۱۰، صص ۱۶۳ - ۱۷۹.
۱۶. قاسمی نژاد، سعیده، سلطانی، سعید، سفینیان، علیرضا، (۱۳۹۳). ارزیابی ریسک خشکسالی استان اصفهان، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، سال هجدهم، شماره شصت و هشتم، صص ۲۱۳-۲۲۵.
۱۷. کاظم نژاد، زهرا، فرج زاده اصل، منوچهر، برنا، رضا، (۱۳۹۷). ارزیابی آسیب پذیری کشاورزی استان گیلان با استفاده از « شاخص آسیب پذیری اقلیمی»، نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال پنجم، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۷، صص ۸۹-۱۰۶.
۱۸. کاویانی، محمدرضا، علیجانی، بهلول، (۱۳۷۸)، مبانی آب و هواشناسی، انتشارات سمت، چاپ ۱۴، ص ۵۹۰.
۱۹. مرتضایی فریزهندی، قاسم، لطفی مغانجوقی، جعفر، خلیقی سیگارودی، شهرام، محسنی ساروی، محسن، نظری سامانی، علی اکبر، (۱۳۹۹). تحلیل و بررسی شاخص های خشکسالی هیدرولوژیکی استان کردستان، نشریه علمی-پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز، جلد ۱۲، شماره ۲، صص ۴۴۱-۴۵۳.
۲۰. معدنچی، پیمان، شاهدی، کاکا، حبیب نژاد، محمود، سلیمانی، کریم، فاتحی مرج، احمد، (۱۳۹۸). پهنه بندی خشکسالی های اقلیمی و بزرگی خشکسالی با استفاده از شاخص SPI و زمین آمار کریجینگ (مطالعه موردی: استان کرمان). نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران، سال دهم. شماره سی و هشتم، صص ۲۰۳-۲۲۶.
۲۱. Adnan, S., Ullah, K. Development of drought hazard index for vulnerability assessment in Pakistan. Nat Hazards ۱۰۳, ۲۹۸۹-۳۰۱۰ (۲۰۲۰). <https://doi.org/1۰.۱۰۰۷/s1۱۰۶۹-۰۲۰-۰۴۱۱۶-۳>.
۲۲. Alesheikh, A., Soltani, M., Nouri, N., Khalilzadeh, M., Land Assessment for Flood Spreading Site Selection Using Geospatial Information System, ۲۰۰۸, International Journal of Environmental Science and Technology, Vol. ۵, No. ۴, ۴۵۵-۴۶۲.
۲۳. Jiang, H. and Eastman, R., "Application of fuzzy measurement in multi-criteria evaluation in GIS." ۲۰۰۰, International Journal of Geographic Information System, vol. ۱۴, No. ۲, pp. ۱۷۳-۱۸۴.
۲۴. Aylande, A., Radeny, M., Morton, J.f., Muchaba, T., ۲۰۱۸. Rainfall variability and drought characteristics in two agro-climatic zones: An assessment of climate change challenges in Africa. Science of The Total Environment.

۲۵. Chen, Fang, Jia, Huicong, Pan, Donghua, ۲۰۱۹. Risk Assessment of Maize Drought in China Based on Physical Vulnerability. *Journal of Food Quality*, vol. ۲۰۱۹, Article ID ۹۳۹۲۷۶۹, ۹ pages, ۲۰۱۹. <https://doi.org/10.1155/2019/9392769>.
۲۶. Eastman, J.R. ۲۰۰۶. *Idrisi Andes guide to GIS and Image processing*, Clark University. ۳۲۸p
۲۷. Füssel H. ۲۰۰۷. Vulnerability: A generally applicable conceptual framework for climate change research. *Global Environmental Change*, ۱۷(۲): ۱۵۵-۱۶۷.
۲۸. Kelly, P.M. & Adger, W.N. (۲۰۰۰). *Theory and Practice in Assessing Vulnerability to Climate Change and Facilitating Adaptation*. *Climate Change*.
۲۹. Keshavarz M., Karami E., and Vanclay F. ۲۰۱۳. The social experience of drought in rural Iran. *Land Use Policy*, ۳۰: ۱۲۰-۱۲۹.
۳۰. Khoshnodifar Z., Sookhtanlo M. and Gholami H. ۲۰۱۲. Identification and measurement of indicators of drought vulnerability among wheat farmers in Mashhad County, Iran. *Scholars Research Library. Annals of Biological Research*, ۳ (۹): ۴۵۹۳-۴۶۰۰ (available: <http://scholarsresearchlibrary.com/archive.html>).
۳۱. Malczewski J and Jackson M, "Multicriteria spatial allocation of educational resources: an overview," *Socio-Economic Planning Sciences*, vol. ۳۴, no. ۳, pp. ۲۱۹-۲۳۵, Sep. ۲۰۰۰.
۳۲. Miller, G. T. (۱۹۹۱). *Environmental Sciences*, Wods worth, pub Belmont, California.
۳۳. Palmer, W.C. (۱۹۶۵). "Meteorological Drought". *US Weather Bureau Research Paper*. Washington D.C .No. ۴۵.
۳۴. Rajsekhar, D., Singh, V. P., and Mishra, A. K. (۲۰۱۵), Integrated drought causality, hazard, and vulnerability assessment for future socioeconomic scenarios: An information theory perspective. *J. Geophys. Res. Atmos.*, ۱۲۰, ۶۳۴۶-۶۳۷۸. doi: ۱۰.۱۰۰۲/۲۰۱۴JD۰۲۲۶۷۰.
۳۵. Saaty, T.L. (۱۹۸۰). *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw. New York.
۳۶. Song L.C., Deng Z .Y., and Dong A .X. ۲۰۰۳. *Drought*. China Meteorological Press, Beijing. ۲۲.
۳۷. Van der Molen, M. K., Dolman, A. J., Ciais, P., Eglin, T., Gobron, N., Law, B. E., ... & Wang, G. (۲۰۱۱). Drought and ecosystem carbon cycling. *Agricultural and Forest Meteorology*, ۱۵۱(۷), ۷۶۵-۷۷۳. doi: ۱۰.۱۰۱۶/j.agrformet.۲۰۱۱.۰۱.۰۱۸
۳۸. Xiao-Chen Y., Yu-Liang Z., Ju-Liang J., and Yi-Ming W. ۲۰۱۳. Risk analysis for drought hazard in China: a case study in Huaibei Plain. *Nat Hazards*, ۶۷: ۸۷۹-۹۰۰.
۳۹. Yuan, Zhe, Jijun Xu, Jin Chen, Junjun Huo, Yangyue Yu, Peter Locher, Bin Xu, "Drought Assessment and Projection under Climate Change: A Case Study in the Middle and Lower Jinsha River Basin", *Advances in Meteorology*, vol. ۲۰۱۷, Article ID ۵۷۵۷۲۳۸, ۱۶ pages, ۲۰۱۷. <https://doi.org/10.1155/2017/5757238>.
۴۰. Zhang F., Wang D., Qiu B .۱۹۸۷. *China's agricultural phrenology atlas*. Science Press, Beijing.