

پهنه‌بندی آسیب‌پذیری از خشکسالی در ایران با استفاده از مدل AHP و منطق فازی

سحر نسب پور^۱، اسماعیل حیدری علمدارلو^۲، حسن خسروی^{۳*}، علی وصالی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۶/۰۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۸/۰۹

چکیده

در مطالعه حاضر، به منظور ارزیابی آسیب‌پذیری به خشکسالی از روش تحلیل سلسله مراتبی متشکل از پنج شاخص اقلیم، توپوگرافی، تراکم آبراهه، کاربری اراضی و منابع آب زیرزمینی استفاده شد. پس از تعیین وزن هر یک از شاخص‌ها و زیر شاخص‌ها، با استفاده از توابع منطق فازی در نرم‌افزار ArcGIS، نقشه عضویت فازی هر یک از شاخص‌ها محاسبه و با استفاده از عملگر فازی امگا ($\gamma=0/9$) هم‌پوشانی آن‌ها ترسیم و طبقه‌بندی شد. بررسی نقشه آسیب‌پذیری خشکسالی ایران نشان داد نواحی مرکزی، شرق، جنوب، شمال شرق و جنوب شرق کشور به طور عمده در دو کلاس آسیب‌پذیری خیلی کم یا خیلی زیاد قرار گرفته‌اند. همچنین نواحی رشته‌کوه‌های زاگرس و البرز در کلاس زیاد قرار می‌گیرند. اکثر مناطق شمال غرب و غرب کشور همچنین سواحل شمالی در کلاس‌های آسیب‌پذیری متوسط تا خیلی کم قرار دارند. این عامل در ناحیه اطراف دریاچه ارومیه در محدوده زیاد تا متوسط متغیر بود.

واژه‌های کلیدی: ایران، آسیب‌پذیری خشکسالی، تحلیل سلسله مراتبی، مدیریت ریسک

مقدمه

(Zehtabian et al., 2013). تعاریف متعددی از خشکسالی موجود است اما بسط یک تعریف واحد از خشکسالی مشکل است. خشکسالی یک پدیده منطقه‌ای و یک رویداد سه بعدی با مشخصه‌های شدت، دوام و گستره فضایی می‌باشد (Rossi et al., 1992). خشکسالی بیش از هر مخاطره دیگر، تأثیر بیشتری بر مردم می‌گذارد، اما با این وجود، در بین تمام مخاطره‌های طبیعی، کمتر قابل‌درک است (Mishra and Desai, 2005). شناسایی رویدادهای خشکسالی و ارزیابی شدت آن‌ها با ابزار مناسب، خیلی با اهمیت خواهد بود (Tigkas, 2008). با افزایش آسیب‌های ناشی از خشکسالی در بخش‌های اقتصادی و اجتماعی، مدیریت خشکسالی به عنوان یکی از چالش‌های مهم در سراسر جهان محسوب می‌شود (He et al., 2013). در سال‌های اخیر بسیاری از دولت‌ها تلاش‌های فراوانی را برای توسعه سیاست‌های مدیریت خشکسالی با تأکید بر مدیریت ریسک به جای رویکرد سنتی مدیریت بحران انجام داده‌اند (Wilhite, 2000; Sivakumar and Wilhite, 2002). خشکسالی یکی از پر هزینه‌ترین بلاهای طبیعی در ایران نیز می‌باشد (Lee et al., 1999; Khoshnodifar et al., 2012). بنابراین، با توجه به درجه اهمیت خشکسالی، نوع و شدت آن، سطوح اطلاع‌رسانی و در نتیجه مدیریت آن متفاوت خواهد بود (Adalat Gostar et al., 2010). در

خشکسالی یکی از بلاهای فاجعه‌بار جهانی محسوب می‌شود که هر ساله بر زندگی بسیاری از مردم جهان اثرگذار است (Hewitt et al., 1997; Walter, 2004; Fathabadi et al., 2009; Statistical Yearbook of Road Maintenance and Road Transport, 2012; Xiao-Chen et al., 2013). آسیب‌های ناشی از خشکسالی در بسیاری از کشورها خصوصاً در بخش کشاورزی تا حدی بوده که موجب شده این پدیده به عنوان مهم‌ترین مخاطره طبیعی به شمار آید (Song et al., 2003; Han et al., 2010). این پدیده می‌تواند در هر منطقه‌ای رخ دهد، اما اثرات آن در مناطق خشک و نیمه‌خشک زیان‌بارتر خواهد بود (Montasari et al., 2015).

^۱ دانشجوی دکتری مدیریت و کنترل بیابان، گروه احیا مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

^۲ دانشجوی دکتری بیابان‌زدایی، گروه احیا مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

^۳ دانشیار، گروه احیا مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

(*نویسنده مسئول: hakhosravi@ut.ac.ir)

DIO: 10.22125/agmj.2019.113607.

^۴ دانشجوی دکتری بیابان‌زدایی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کاشان

که در نهایت نقشه آسیب‌پذیری به خشکسالی به دست آمد. (Ghaseminejad et al., 2014) در ارزیابی ریسک خشکسالی استان اصفهان از شاخص‌های فیزیکی، شامل کاربری اراضی، ظرفیت آب قابل استفاده در خاک و شاخص‌های اقتصادی اجتماعی شامل تراکم جمعیت و درصد شاغلین بخش کشاورزی استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که بیش‌ترین آسیب‌پذیری در غرب، جنوب و شمال استان و به صورت پراکنده در شرق استان وجود دارد. (Nasrnia and Zibae, 2016) در تحقیقی با عنوان سنجش ابعاد آسیب‌پذیری استان‌ها نسبت به خشکسالی، راهکاری به سوی مدیریت ریسک در سطح کشور، از روش Fuzzy-AHP برای تعیین وزن ابعاد آسیب‌پذیری، استفاده کردند. آسیب‌پذیری شامل ابعاد آسیب‌پذیری اقتصادی، آسیب‌پذیری اجتماعی و آسیب‌پذیری فیزیکی بود نتایج این مطالعه نشان داد اهمیت آسیب‌پذیری فیزیکی بیش از آسیب‌پذیری اقتصادی و اجتماعی و اهمیت آسیب‌پذیری اقتصادی و اجتماعی یکسان است. همان‌گونه که گفته شد خشکسالی یکی از پرهزینه‌ترین بلاهای طبیعی در ایران می‌باشد. به نظر می‌رسد گام ضروری برای مقابله با خشکسالی و تعدیل تبعات آن، شناخت و درک دقیق ابعاد آسیب‌پذیری هر منطقه است که متأسفانه در کشور ما مورد غفلت واقع شده است. این امر ضرورت مطالعه در زمینه تعیین آسیب‌پذیری و شناسایی عوامل اثرگذار بر آن در مناطق مختلف کشور را مشهود می‌سازد. در این تحقیق سعی شده با استفاده از روش مدل AHP و منطق فازی در نرم‌افزار ArcGIS مناطق آسیب‌پذیر نسبت به خشکسالی در کشور تعیین شود.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی

کشور ایران با وسعت ۱۶۴۸۱۹۵ کیلومترمربع بین ۲۵ تا ۴۰ درجه عرض شمالی و ۴۴ تا ۶۳ درجه طول شرقی واقع شده است (شکل ۱). مجاورت ایران با منطقه نزول پرفشارهای جنب مداری باعث شده که نوار بیابانی نیم‌کره شمالی از قلب این کشور عبور کند و شرایط نامساعد طبیعی را بر وسعت زیادی از این سرزمین حکم‌فرما سازد.

ایران نیز مانند بسیاری از کشورها نگرش غالب بر کلیه فعالیت‌ها و برنامه‌ریزی‌ها در مواجهه با خشکسالی، رویکرد "مدیریت بحران" است (Ghaseminejad et al., 2014). در بحث مدیریت بحران خشکسالی، اقدامات در راستای تشخیص نواحی بحران‌زده و امدادسانی به آن نواحی است که بسیار پرهزینه و ناپهنگام می‌باشد. در صورتی که مدیریت ریسک و آمادگی مقابله با خشکسالی قبل از وقوع و گسترش آن مد نظر قرار می‌گیرد، به طوری که با آگاهی از شرایط فعلی منطقه، تصمیمات لازم و از قبل طراحی شده برای مقابله با خشکسالی اعمال می‌گردد (Bazza, 2002). یکی از بخش‌های مدیریت ریسک تعیین آسیب‌پذیری مناطق نسبت به خشکسالی است. آسیب‌پذیری نسبت به خشکسالی به معنای ارزیابی تهدید ناشی از مخاطرات خشکسالی در بخش‌های مختلف در زمینه‌های اجتماعی، اقتصادی، سیاسی و زیست‌محیطی است (Deressa, 2010). به عبارت دیگر، اختلاف بین ویژگی‌های طبیعی و خصوصیات اقتصادی- اجتماعی مناطق مختلف سبب می‌شود که اثرپذیری مناطق از پدیده خشکسالی متفاوت باشد (Santos et al., 2001). تاکنون مطالعات اندکی در زمینه ارزیابی آسیب‌پذیری نسبت به خشکسالی انجام شده است. Nasimi and Mohammadi (2014) به بررسی آسیب‌پذیری استان یزد نسبت به خشکسالی پرداختند. نکته مهم در تحقیق آن‌ها استفاده از شاخص SPI در تعیین مناطق آسیب‌پذیر و عدم توجه به ویژگی‌های طبیعی استان یزد می‌باشد. Shahid and Behravan (2008) در تهیه نقشه آسیب‌پذیری به خشکسالی غرب بنگلادش، از چندین فاکتور فیزیکی (مانند ظرفیت آب قابل‌استفاده در خاک، مقدار تولید در واحد سطح و درصد زمین‌های تحت آبیاری) و اقتصادی - اجتماعی (مانند تراکم جمعیت، نسبت جمعیت زنان به مردان و درصد شاغلین بخش کشاورزی) استفاده کردند. در نهایت نقشه ریسک از تلفیق نقشه خطر و آسیب‌پذیری حاصل شد. (Bella and Nemath, 2005) آسیب‌پذیری خشکسالی در جنوب غربی مجارستان را با استفاده از مجموعه داده‌های خاک، کاربری اراضی، سطح آب زیرزمینی و ژئومورفولوژی منطقه، مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها ابتدا نقشه ترکیب سه پارامتر اصلی بارش، خاک و آب زیرزمینی را تهیه کردند سپس نقشه به دست آمده را با نقشه کاربری اراضی و نقشه ژئومورفولوژی ترکیب کردند

نظر گرفتن اهمیت متفاوت و اختصاص وزن‌های متفاوت برای عوامل ایجادکننده آسیب‌پذیری می‌باشد. در روش دوم رویکردهای متفاوتی برای در نظر گرفتن وزن‌های متفاوت برای عوامل ایجادکننده آسیب‌پذیری وجود دارد. روش تحلیل سلسله مراتبی که در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفته است، یکی از این رویکردهایی است که در آن وزن‌های متفاوتی برای ابعاد آسیب‌پذیری منظور می‌شود. روش AHP توسط محققى به نام ساعتى در سال ۱۹۸۰ ارائه گردید. در این روش برای محاسبه وزن معیارها از روش مقایسه زوجی استفاده می‌شود. مراحل اصلی روش AHP در شکل ۲ نشان داده شده است (Sadeghravesh et al., 2015; Ghodsipour, 2016).

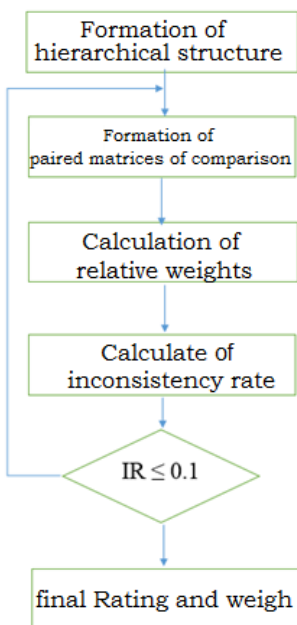


Figure 2- Steps of Analytical Hierarchy Process
شکل ۲- مراحل فرایند تحلیل سلسله مراتبی

ورودی روش AHP ماتریس مقایسه زوجی است که درایه‌های آن بیان‌کننده میزان اهمیت نسبی معیارها می‌باشد. پس از تشکیل ماتریس مقایسه زوجی، نرخ ناسازگاری ماتریس مقایسه تعیین و در صورت قابل قبول بودن قضاوت‌ها، وزن هر کدام از معیارها به دست می‌آیند (Malczewski, 1999; Hill et al., 2005). برای محاسبه وزن، ابتدا ماتریس مقایسه تشکیل و پارامترها به صورت دوتایی با هم مقایسه و اهمیت نسبی آن‌ها سنجیده می‌شود. به منظور محاسبه وزن نسبی دو معیار نسبت به همدیگر، اهمیت نسبی آن‌ها به صورت عباراتی نظیر کاملاً مهم‌تر، اهمیت خیلی قوی و غیره بیان می‌شود و بر اساس نظرات کارشناسان هر یک از این عبارات به امتیازی بین

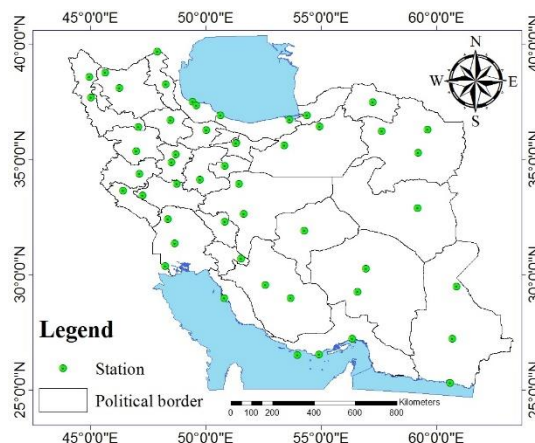


Figure 1- Geographical location of Iran and the study stations

شکل ۱- موقعیت جغرافیایی ایران و ایستگاه‌های مطالعاتی

ایران به دلیل گستردگی و تنوع بوم‌شناختی و بلندی‌های متنوع دارای شرایط آب و هوایی بسیار متفاوت است. با توجه به گردش عمومی جو در نیم‌کره شمالی، موقعیت ایران به گونه‌ای است که در دوره سرد سال از توده‌های هوایی گوناگون تأثیر می‌پذیرد. با حرکت پرفشار جنب حاره و رودباد همراه با آن به عرض‌های پایین‌تر، از ماه دسامبر ورود بادهای غربی به ایران آغاز می‌گردد. توده‌های هوایی به وسیله سامانه‌های چرخندی و واپرخندی و یا گسترش زبانه‌های آن‌ها، به ایران می‌رسند و شرایط رطوبتی و دمایی روزمره ایران را تعیین می‌کنند (Farajzadeh and Ahmadian, 2014).

روش‌ها

به طور کلی روش‌های متفاوتی برای سنجش آسیب‌پذیری وجود دارد. یکی از مرسوم‌ترین روش‌ها، روش‌های مبتنی بر شاخص (IBVA^۱) است. روش‌های مبتنی بر شاخص برای کمی کردن آسیب‌پذیری بر پایه انتخاب تعدادی شاخص بالقوه و ترکیب آن‌ها با سطوح آسیب‌پذیری مربوطه است. این روش در مقیاس‌های محلی و در سطح جهانی توسط محققان زیادی مورد استفاده قرار گرفته است (Leichenko and O-Brien, 2001; Moss et al., 2001; Vincene, 2004; Ashok and Sasikala, 2012). برای محاسبه آسیب‌پذیری با استفاده از IBVA دو گزینه وجود دارد. گزینه اول در نظر گرفتن اهمیت مساوی و در نتیجه وزن مساوی برای تمامی عوامل (Me-Bar and Valdez, 2005) و گزینه دوم در

¹ Indicator-Based Vulnerability Assessments (IBVA)

تقسیم شاخص ناسازگاری (II) بر شاخص ناسازگاری ماتریس تصادفی (IIR) هم‌بعد آن، معیار مناسبی برای قضاوت در مورد ناسازگاری می‌باشد که به آن نرخ ناسازگاری (IR) گفته می‌شود. نزدیک‌تر بودن بیشتر II و به تبع آن IR به صفر، نشان‌دهنده سطح بالاتری از سازگاری در ماتریس مقایسه است. چنانچه نرخ ناسازگاری کمتر از ۰/۱ باشد، سازگاری سیستم قابل قبول است، وگرنه باید در قضاوت‌ها تجدیدنظر نمود. در این تحقیق با توجه به مطالعات صورت گرفته پنج شاخص اقلیم، توپوگرافی، تراکم آبراهه، کاربری اراضی و منابع آب زیرزمینی در نظر گرفته شد. همچنین شاخص اقلیم دارای زیرشاخص‌های میانگین بارش، تبخیر و دما، شاخص توپوگرافی دارای زیرشاخص‌های شیب، جهت و ارتفاع و شاخص منابع آب زیرزمینی دارای زیرشاخص‌های میانگین عمق آب زیرزمینی و افت آب زیرزمینی می‌باشد (شکل ۳). همچنین به منظور تشکیل ماتریس مقایسه و محاسبه مقادیر نرخ ناسازگاری و اوزان نسبی و نهایی معیارها و زیرمعیارها از نرم‌افزار Expert Choice استفاده شده است. این نرم‌افزار مورد حمایت پروفیسور ساعتی، بنیان‌گذار روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی نیز می‌باشد. در مرحله بعد لایه‌های هر یک از شاخص‌ها و زیرشاخص‌ها در نرم‌افزار ArcGIS تهیه شد. برای درک بهتر، مراحل تهیه و امتیازدهی شاخص‌ها بیان می‌شود.

۱ تا ۹ تبدیل می‌گردد که به آن‌ها وزن نسبی گفته می‌شود. سپس، اعداد مقایسه زوجی حاصل در قالب ماتریسی با عنوان ماتریس مقایسه آورده می‌شود. در این ماتریس درایه a_{ij} نتیجه مقایسه معیار i ام با معیار j ام می‌باشد. بعد از آماده شدن ماتریس مقایسه و قابل قبول بودن سطح سازگاری آن، وزن پارامترها از روش بردار ویژه محاسبه می‌شود (Saaty, 1990; Marinoni, 2004). معیار اصلی برای پذیرفتن مقایسه‌های زوجی این است که مقایسه‌ها با هم سازگار باشند، به این منظور باید نشان داده شود که:

$$W \cdot w = \begin{bmatrix} 1 & \frac{w_1}{w_2} & \dots & \frac{w_1}{w_n} \\ \frac{w_2}{w_1} & 1 & \dots & \frac{w_2}{w_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{w_n}{w_1} & \frac{w_n}{w_2} & \dots & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} = \lambda \cdot w \quad (1)$$

در این معادله λ یک مقدار ویژه، W ماتریس مقایسه زوجی و w یک بردار ویژه متناظر با مقدار ویژه λ می‌باشد که یک ماتریس $n \times 1$ است. ساعتی شاخص ناسازگاری (II)، را به صورت معادله ۲ تعریف نمود.

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

در این معادله، λ_{\max} بزرگ‌ترین مقدار ویژه ماتریس مقایسه و n تعداد معیارها می‌باشد. مقادیر شاخص ناسازگاری را برای ماتریس‌هایی که اعداد آن‌ها کاملاً تصادفی انتخاب شده باشند شاخص ناسازگاری ماتریس تصادفی (IIR) نام‌گذاری کرده‌اند. برای هر ماتریس حاصل

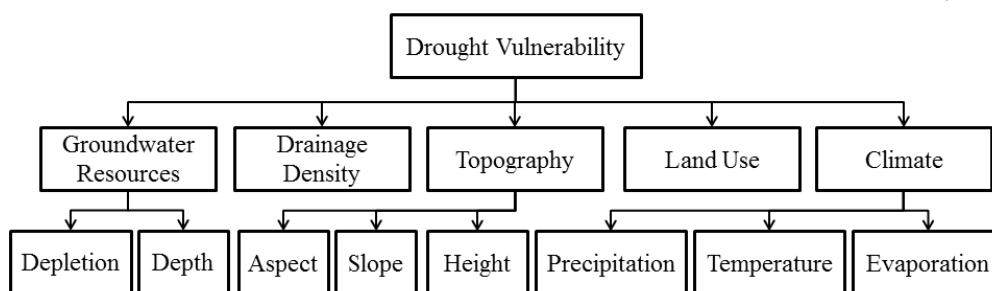


Figure 3- The Analytic Hierarchy Process (AHP) for determining vulnerability to drought

شکل ۳- ساختار سلسله مراتبی برای تعیین آسیب‌پذیری نسبت به خشکسالی

شاخص کاربری اراضی: لایه این شاخص با استفاده از لایه کاربری اراضی کل کشور در نرم‌افزار ArcGIS به دست آمد. در مرحله بعد بیشترین وزن به مناطق با کشت آبی و کمترین وزن به مراتع و مناطق بدون پوشش داده شد. شاخص منابع آب زیرزمینی: این شاخص از دو زیرشاخص متوسط سطح عمق آب زیرزمینی و متوسط افت سالانه

شاخص تراکم آبراهه: لایه این شاخص با استفاده از لایه آبراهه‌های کل کشور در نرم‌افزار ArcGIS به دست آمد. بدیهی است هر چه تراکم آبراهه بیشتر باشد آب زودتر از دسترس خارج می‌شود، لذا به مناطقی که تراکم شبکه آبراهه‌ها در آنجا بیشتر بود، ارزش وزنی بیشتری اختصاص یافته است.

قرار بگیرد. هر چه این اختلاف بیشتر باشد حساسیت به خشکسالی نیز بیشتر خواهد بود. بنابراین مناطق با اختلاف بیشتر، وزن بیشتری به خود اختصاص دادند.

در مرحله نهایی برای تلفیق و همپوشانی لایه‌های شاخص‌ها و زیرشاخص‌ها از منطق فازی استفاده شد. در منطق فازی، میزان عضویت یک عنصر در یک مجموعه، با مقداری در بازه یک (عضویت کامل) تا صفر (عدم عضویت کامل) تعریف می‌شود. درجه عضویت معمولاً با یک تابع عضویت بیان می‌شود که شکل تابع می‌تواند به صورت خطی، غیرخطی، پیوسته و یا ناپیوسته باشد (Bonham-Carter, 1991). رسیدن به موفقیت در بکارگیری ریاضیات فازی در کاربردهای مختلف تا حد زیادی به تعریف توابع عضویت مناسب بستگی دارد (Sui, 1992). در این تحقیق از روش خطی که یکی از توابع عضویت در درجات فازی است استفاده و در نتیجه لایه‌ها استانداردسازی شد. با این کار ارزش پیکسل‌ها در نقشه‌های شاخص‌ها و زیرشاخص‌ها بین صفر تا یک قرار می‌گیرد که صفر نشانگر تاثیر کم در آسیب‌پذیری نسبت به خشکسالی و یک نشانگر تاثیر زیاد در آسیب‌پذیری نسبت به خشکسالی است. در پایان با استفاده از عملیات همپوشانی فازی در نرم‌افزار ArcGIS نقشه آسیب‌پذیری نسبت به خشکسالی ایران محاسبه و ترسیم شد. به این منظور پس از تشکیل نقشه‌های عضویت فازی مربوط به هر یک از شاخص‌ها و زیرشاخص‌ها، لایه‌ها در وزن‌های به دست آمده از روش تحلیل سلسله مراتبی ضرب و سپس با استفاده از عملگر فازی گاما^۲ در نرم‌افزار ArcGIS با یکدیگر ترکیب شدند. عملگر فازی گاما از حاصل ضرب عملگرهای ضرب و جمع فازی به صورت معادله ۳ تعریف می‌شود.

$$\mu(x) = ((\text{Fuzzy Algebraic Sum})^\gamma * (\text{Fuzzy Algebraic Product}))^{1-\gamma} \quad (3)$$

که در آن، γ عددی بین ۰ تا ۱ می‌باشد. انتخاب صحیح و آگاهانه γ ، مقادیری را در خروجی به وجود می‌آورد که نشان‌دهنده سازگاری قابل انعطاف میان گرایش‌های کاهش ضرب فازی و گرایش‌های افزایشی جمع فازی می‌باشد (Bonham-Carter, 1991). در این تحقیق $\gamma=0/9$ در نظر گرفته شد.

زیرزمینی تشکیل شده است. داده‌های پایه این دو شاخص از گزارش وضعیت منابع آب زیرزمینی در سایت دفتر مطالعات پایه منابع آب ایران^۱ تهیه شد. سپس داده‌های هر کدام از این دو زیرشاخص در لایه زیرحوزه‌های آبخیز ایران وارد و لایه‌های زیر شاخص‌ها تهیه شد. به عبارت دیگر به هر زیرحوزه، با هر اندازه مساحت، یک مقدار متوسط سطح عمق آب زیرزمینی و یک مقدار متوسط افت سالانه زیرزمینی نسبت داده شد. سپس به هر حوزه آبخیز که دارای افت و عمق بیشتر بود وزن بیشتری تعلق گرفت زیرا به خشکسالی حساس‌تر خواهد بود و برعکس. شاخص توپوگرافی: این شاخص از سه زیرشاخص شیب، جهت و ارتفاع تشکیل شده است. این سه لایه از نقشه DEM ۹۰ متر ایران در نرم‌افزار ArcGIS تهیه شد. مشخص است افزایش ارتفاع به دلیل کاهش دما (در نتیجه کاهش تبخیر و تعرق) و افزایش نسبی بارش، باعث کاهش حساسیت به خشکسالی می‌شود بنابراین به نواحی با ارتفاع ماکزیمم در لایه حساسیت به خشکسالی بر حسب ارتفاع، ارزش کمتر و به نواحی با کمترین ارتفاع ارزش بیشتر تعلق گرفت. افزایش شیب باعث می‌شود تا آب سریع از دسترس گیاهان خارج شود، در نتیجه در این تحقیق، به نواحی با شیب بیشتر، ارزش وزنی بیشتر اختصاص یافت. در نقشه استانداردسازی شده پارامتر جهت نیز بیشترین وزن به ترتیب به شیب‌های جنوبی، غربی، شرقی و شمالی اختصاص یافت.

شاخص اقلیم: از سه زیرشاخص میانگین بارش، میانگین تبخیر و میانگین دما تشکیل شده است. برای تهیه لایه‌های این سه زیرشاخص از داده‌های میانگین بارش، تبخیر و دمای سالانه ۴۶ ایستگاه سینوپتیک کشور در بازه زمانی ۱۹۸۱ تا ۲۰۱۰ (۳۰ سال) استفاده شد. سپس با استفاده از روش کریجینگ معمولی در نرم‌افزار ArcGIS پهنه‌بندی برای این سه زیرشاخص انجام شد. افزایش بارندگی باعث کاهش شدت خشکسالی می‌شود، بنابراین مناطق با بارندگی بیشتر، دارای ارزش وزنی کمتری خواهند بود. افزایش دما باعث افزایش حساسیت به خشکسالی می‌شود. بر این اساس حداکثر ارزش وزنی به نواحی با حداکثر دما و کمترین ارزش وزنی به نواحی با حداقل دما اختصاص یافت. اختلاف میزان تبخیر و بارندگی می‌تواند عاملی در بررسی خشکسالی مورد توجه

شاخص تراکم آبراهه‌ها ضرب شده تا برای همپوشانی آماده شود (شکل ۴). نتایج شاخص تراکم آبراهه نشان می‌دهد که مناطقی مثل کویر لوت و دشت کویر به علت تراکم کم آبراهه، آسیب‌پذیری کم‌تری نسبت به خشکسالی از نظر تراکم آبراهه دارند و قسمت‌های جنوبی زاگرس و شمالی خوزستان به علت تراکم آبراهه بالا آسیب‌پذیری بیشتری نسبت به خشکسالی دارند. نقشه عضویت فازی شاخص کاربری اراضی: بعد از تعیین وزن کاربری‌ها، نقشه عضویت فازی کاربری اراضی در نرم‌افزار ArcGIS تهیه شد و سپس در وزن ۰/۱۶۴ ضرب شد (شکل ۵).

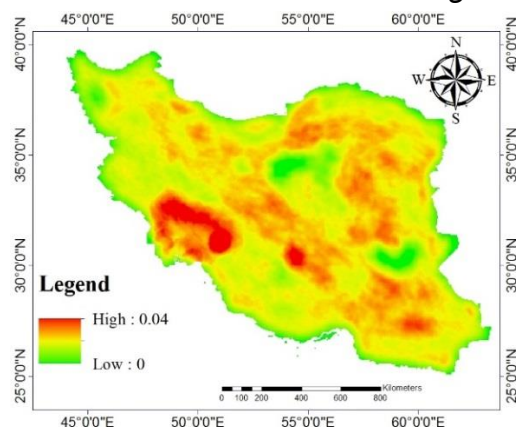


Figure 4- Fuzzy membership map of drainage density

شکل ۴- نقشه عضویت فازی تراکم آبراهه

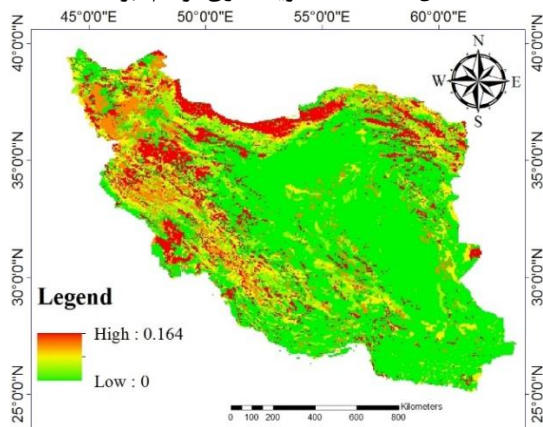


Figure 5- Fuzzy membership map of land use

شکل ۵- نقشه عضویت فازی کاربری اراضی

نقشه عضویت فازی کاربری اراضی نشان می‌دهد که مناطقی با پوشش گیاهی بیشتر، نقش بیشتری در تعیین آسیب‌پذیری به خشکسالی دارند. ایران مرکزی به خصوص دشت کویر و کویر لوت از نظر کاربری اراضی آسیب‌پذیری چندانی به خشکسالی ندارند.

نقشه عضویت فازی شاخص منابع آب زیرزمینی: برای تهیه نقشه عضویت فازی شاخص منابع آب زیرزمینی،

نتایج و بحث

پس از تهیه پرسش‌نامه و انجام مراحل تحلیل سلسله مراتبی (AHP) اوزان هر یک از شاخص‌ها و زیرشاخص‌ها محاسبه شد. جدول ۱ نشان‌دهنده اوزان شاخص‌های این تحقیق می‌باشد که نشان می‌دهد شاخص اقلیم بیش‌ترین وزن را در تعیین آسیب‌پذیری نسبت به خشکسالی دارد. به عبارت دیگر شاخص اقلیمی بیش از ۵۰ درصد در تعیین مناطق آسیب‌پذیر نسبت به خشکسالی نقش دارند. بعد از شاخص اقلیم به ترتیب شاخص‌های منابع آب زیرزمینی، کاربری اراضی، توپوگرافی و تراکم آبراهه قرار می‌گیرند. جدول ۲ وزن زیرشاخص‌ها را برای شاخص‌های اقلیم توپوگرافی و منابع آب زیرزمینی نشان می‌دهد. با توجه به این جدول زیر شاخص‌های بارش، شیب و افت سطح آب زیرزمینی بیش‌ترین تأثیر را در شاخص‌های اقلیم، توپوگرافی و منابع آب زیرزمینی برای تعیین آسیب‌پذیری نسبت به خشکسالی نشان می‌دهد.

Table 1- Determined weights for indices using the Analytic Hierarchy Process (AHP)

جدول ۱- وزن‌های تعیین‌شده به روش سلسله مراتبی برای شاخص‌ها

Index	Weight
Climate	0.516
Topography	0.0161
Drainage Density	0.04
Groundwater	0.219
Land Use	0.164

Table 2- Determined weights for sub-indices using the Analytic Hierarchy Process (AHP)

جدول ۲- وزن‌های تعیین‌شده به روش سلسله مراتبی برای زیر شاخص‌ها

Index	Sub-Index	Weight
Climate	Precipitation	0.693
	Evaporation	0.088
	Temperature	0.219
Topography	Slope	0.49
	Aspect	0.197
	Height	0.313
Groundwater	Depletion	0.875
	Depth	0.125

در مرحله بعد عضویت فازی هر شاخص آماده شد که در ادامه به بررسی آن‌ها پرداخته می‌شود.

نقشه عضویت فازی شاخص تراکم آبراهه: همان‌طور که گفته شد نقشه تراکم آبراهه‌های ایران در نرم‌افزار ArcGIS ترسیم و سپس با استفاده از تابع عضویت خطی استانداردسازی شد و سپس در عدد ۰/۰۴ به عنوان وزن

شمالی حساسیت بیشتری نسبت به خشکسالی دارند و آسیب پذیرتر هستند. بعد از تهیه عضویت فازی شاخص‌ها، با استفاده از هم‌پوشانی فازی در نرم‌افزار ArcGIS نقشه آسیب‌پذیری نسبت به خشکسالی ایران محاسبه و ترسیم شد. سپس نقشه نهایی در پنج کلاس آسیب‌پذیری خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه‌بندی شد (شکل ۹).

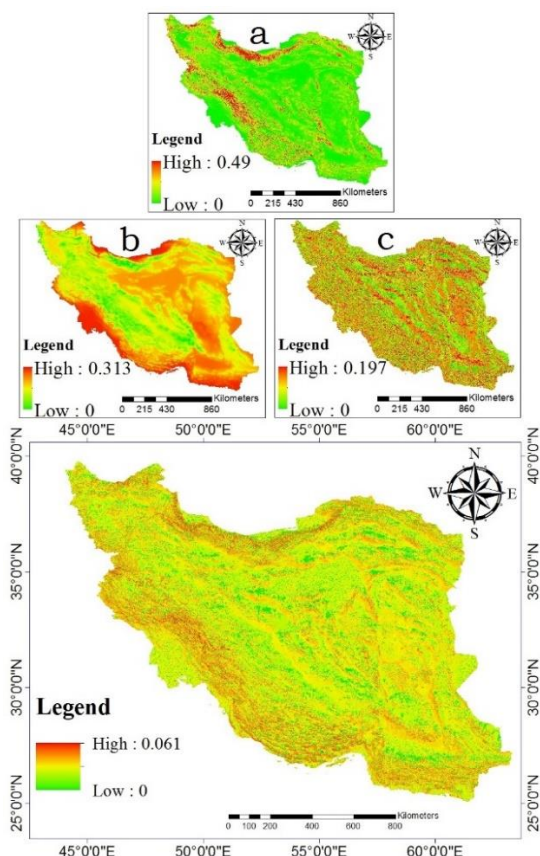


Figure 7- Fuzzy membership map of Topography and its sun-indices: a. slope, b. height, c. aspect
 شکل ۷- نقشه عضویت فازی شاخص توپوگرافی و زیرشاخص‌های آن: a. شیب، b. ارتفاع، c. جهت

بررسی نقشه آسیب‌پذیری خشکسالی ایران نشان می‌دهد نواحی ایران مرکزی، شرق، جنوب، شمال شرق و جنوب شرق کشور به طور عمده در دو کلاس آسیب‌پذیری خیلی کم یا خیلی زیاد قرار گرفته‌اند. همچنین مناطق مرتفع رشته‌کوه‌های زاگرس و البرز در کلاس زیاد قرار می‌گیرد و اکثر مناطق شمال غرب و غرب کشور همچنین سواحل شمالی در کلاس‌های متوسط تا خیلی کم قرار می‌گیرد. لازم به ذکر است در این ناحیه از کشور (شمال غرب) مناطقی از استان اردبیل و اطراف دریاچه ارومیه در کلاس آسیب‌پذیری زیاد قرار گرفته‌اند.

ابتدا نقشه‌های زیرشاخص‌های افت آب زیرزمینی و عمق آب زیرزمینی با استفاده از وزن‌هایشان هم‌پوشانی فازی شد. سپس نقشه عضویت فازی شاخص منابع آب زیرزمینی به دست آمد (شکل ۶).

نقشه عضویت فازی منابع آب زیرزمینی نشان می‌دهد هر حوزه آبخیز شرایط خاص خود را دارد که بستگی به مدیریت منابع آب زیرزمینی در آن حوزه آبخیز دارد.

نقشه عضویت فازی شاخص توپوگرافی: با تهیه نقشه هم‌پوشانی فازی سه زیر شاخص شیب، جهت و ارتفاع نقشه شاخص توپوگرافی تهیه شد. سپس نقشه عضویت فازی شاخص توپوگرافی محاسبه و در وزن آن (۰/۰۶۱) ضرب شد (شکل ۷).

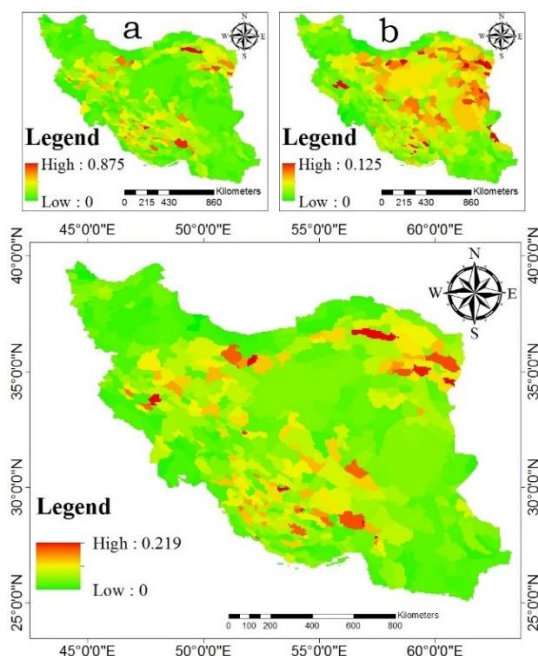


Figure 6- Fuzzy membership map of groundwater index and its sub-indices: a. groundwater depletion, b. groundwater depth

شکل ۶- نقشه عضویت فازی شاخص منابع آب زیرزمینی و زیرشاخص‌های آن: a. افت آب زیرزمینی، b. عمق آب زیرزمینی

نقشه عضویت فازی توپوگرافی روند خاصی را نشان نمی‌دهد و هر پیکسل از نقشه با توجه به شیب، جهت و ارتفاعی که داشته وزن آن مشخص شده است. شاخص اقلیم: بعد از تهیه نقشه شاخص اقلیم به وسیله هم‌پوشانی فازی سه زیر شاخص میانگین بارش، میانگین دما و میانگین تبخیر، نقشه عضویت فازی این شاخص محاسبه شد سپس در وزن آن (۰/۵۱۶) ضرب شد (شکل ۸). بررسی نقشه عضویت فازی اقلیم نشان می‌دهد که مناطق ایران مرکزی نسبت به قسمت‌های غربی، شمال غربی و

تصمیم‌گیری سلسله‌مراتبی و توابع فازی نرم‌افزار ArcGIS آسیب‌پذیری کشور نسبت به خشکسالی محاسبه شود. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که شاخص اقلیم، شاخص آب زیرزمینی و شاخص کاربری اراضی با وزن‌های ۰/۵۱۶، ۰/۲۱۹ و ۰/۱۶۴ بیش‌ترین سهم را در تعیین مناطق آسیب‌پذیر کشور به خود اختصاص دادند. از این مطلب می‌توان نتیجه گرفت که بحث مدیریت منابع آب زیرزمینی و تغییر کاربری اراضی سهم بسیار زیادی در مدیریت ریسک خشکسالی در کشور دارد. برداشت بیش از حد مجاز از سفره‌های آب زیرزمینی کشور باعث به وجود آمدن خسارات جبران‌ناپذیری به این منابع شده است. از طرف دیگر تغییرات کاربری اراضی نادرست باعث تخریب سرزمین و کاهش وسعت اراضی مرغوب شده است. برای مثال بر اساس گزارش‌ها رسمی اخیر وسعت جنگل‌های طبیعی با پوشش ۵۰-۱۰۰ درصد (هیرکانی) و جنگل‌های دست‌کاشت در شمال ایران به ترتیب حدود ۱۸۴۷۸۸۶ و ۵۹۲۹۲۲ هکتار است که سال به سال از وسعت آن‌ها کاسته می‌شود (FAO, 2010). با توجه به نقشه‌هایی آسیب‌پذیری خشکسالی ایران، بخش ایران مرکزی، جنوب شرقی، شمال شرقی و جنوب به طور عمده دو کلاس دیده آسیب‌پذیری خیلی کم و یا آسیب‌پذیری خیلی زیاد قرار می‌گیرند. با بررسی دقیق مشخص می‌شود که در این ناحیه از کشور به علت وجود اقلیم و همچنین وضعیت آب زیرزمینی تقریباً یکسان، کاربری اراضی نقش تعیین‌کننده‌ای در آسیب‌پذیر بودن یا نبودن مناطق دارد. در نواحی اطراف دریاچه ارومیه کلاس‌های با آسیب‌پذیری زیاد و متوسط قرار گرفته که در احیای دریاچه ارومیه و مدیریت ریسک خشکسالی باید مورد توجه قرار بگیرد. سواحل غربی دریای خزر نسبت به سواحل شرقی آسیب‌پذیری کمتری نسبت به خشکسالی دارند که این امر به علت اقلیم مرطوب‌تر نواحی غربی است. رشته‌کوه‌های البرز و زاگرس و نواحی اطراف آن در محدوده کلاس آسیب‌پذیری زیاد قرار گرفته‌اند که علت این امر اثر تجمعی تمام شاخص‌ها است. لازم به ذکر است که درست است که مناطقی با آسیب‌پذیری کم نسبت به مناطق دیگر از اولویت مدیریت کمتری برخوردارند ولی این به این معنا نیست که آسیبی از خشکسالی نمی‌بینند و حتماً آن‌ها را نیز باید در امر مدیریت ریسک خشکسالی در نظر گرفت.

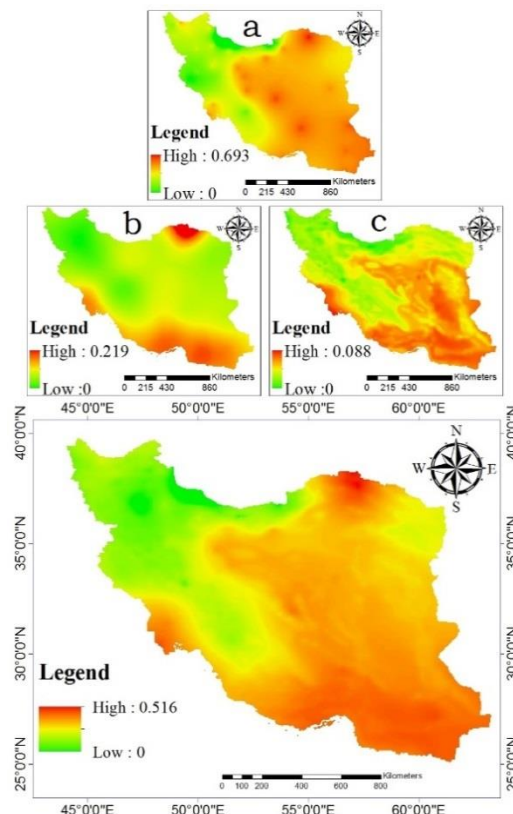


Figure 8- Fuzzy membership map of climate index and its sun-indices: a. precipitation, b. temperature, c. evaporation

شکل ۸- نقشه عضویت فازی شاخص اقلیم و زیرشاخص‌های

آن: a. بارش، b. دما، c. تبخیر

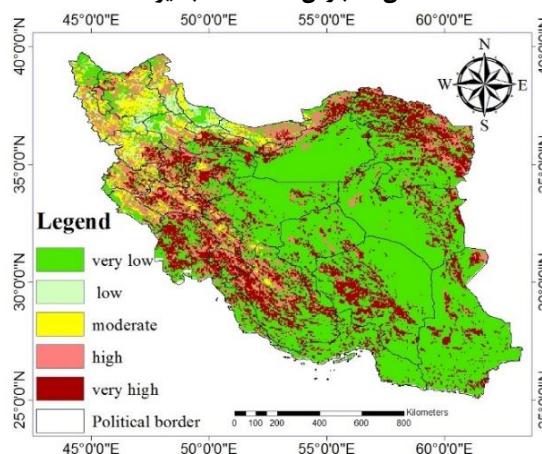


Figure 9- The drought vulnerability map of Iran

شکل ۹- نقشه آسیب‌پذیری خشکسالی ایران

نتیجه‌گیری

در واقع خشکسالی به عنوان یک بحران ملی و حتی جهانی، در نوع خود پدیده‌ای پیچیده و بغرنج است که مدیریت و مقابله موثر در راستای کاهش اثرات آن نیازمند رویکردی جامع در مدیریت ریسک خشکسالی است. یکی از بخش‌های مدیریت ریسک خشکسالی تعیین آسیب‌پذیری کشور است. در این تحقیق سعی شده تا با استفاده از مدل

منابع

- Adalat Gostar, M. D., Farzadian, A., Amiri, S. N. 2010. Presentation of Stochastic Model for Drought Forecasting in Shiraz . The National Conference on Water Crisis Managemen. Islamic Azad University of Marvdasht. (In Farsi)
- Ashok, K. R., Sasikala, C. 2012. Farmers' vulnerability to rainfall variability and technology adoption in rain-fed tank irrigated agriculture. *Agricultural economics Research Review*, 25(2): 267-278
- Bazza, M. O. 2002. Water Resources Planning and Management for Drought Mitigation. Regional Workshop on Capacity Building on Drought Mitigation in the Near East.
- Bella, S. Z., Nemath, A. D., Szalai, S. 2005. Application of gis tools: drought vulnerability in Somogy County, Hungary. *Geophysical Research Abstracts*. 7(02530):1076-1083.
- Bonham-Carter, G. F. 1991. Geographic Information System for Geoscientists: Modeling with GIS. *Computer Methods in the Geosciences*, 398 Pages.
- Deressa, T. 2010. Assessing of vulnerability in Ethiopian agriculture to the climate change and adaption strategies. Ph. D thesis. Environmental economics, university of Pretoria.
- FAO. 2010. Global forest resources assessment, FRA 2010-Country report, Iran. [Online]. Available at <http://www.fao.org/forestry/fra>.
- Farajzadeh, M., Ahmadian, K. 2014. Temporal and Spatial Analysis of Drought with use of SPI Index in Iran. *Natural Environmental Hazards*.3(4): 1-16 (In Farsi)
- Fathabadi, A., Gholami, H., Salajeghe, A., Azanivand, H., Khosravi, H. 2009. Drought forecasting using neural network and stochastic models. *Advances in Natural and Applied Sciences*, 3(2), 137-147.
- Ghaseminejad, S., Soltani, S., Soffianian, A. 2014. Drought Risk Assessment in Isfahan Province. *Journal of Water and Soil Science*, 18 (68): 213-226 (In Farsi)
- Ghodsipour, S, H. 2016. Analytical Hierarchy Process. Amirkabir University of Technology Press Publishing House. 222. (In Farsi)
- Han, P., Wang, P. X., Zhang, S. Y., Zhu, D. H. 2010. Drought forecasting based on the remote sensing data using ARIMA models. *Mathematical and Computer Modeling*, 51(11-12): 1398-1403
- He, B., Wu, J., Lu, A., Cui, X., Zhou, L., Liu, M., Zhao, L. 2013. Quantitative assessment and spatial characteristic analysis of agricultural drought risk in China. *Natural Hazards*, 66(2): 155-166.
- Hewitt, K. 1997. *Regions of risk: A geographical introduction to disasters*. England: Addison Wesley Longman Harlow, 23 (4): 365-382.
- Hill, M. J., Braaten, R., Veitch, S. M., Lees, B. G., Sharma, S. 2005. Multi-criteria decision analysis in spatial decision support: the ASSESS analytic hierarchy process and the role of quantitative methods and spatially explicit analysis. *Environmental Modeling and Software*, 20(7) 955-976.
- Khoshnodifar, Z., Sookhtanlo, M., Gholami, H. 2012. Identification and measurement of indicators of drought vulnerability among wheat farmers in Mashhad County Iran. *Annals of Biological Research*, 3(9): 4593-4600.
- Lee, M., Pham, H., Zhang, X. 1999. A methodology for priority setting with application to software development process. *European Journal of Operational Research*, 118(2):375-89.
- Leichenko, R. M., O'Brien., K. L. 2001. The Dynamics of Rural Vulnerability to Global Change: The Case of southern Africa. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 7 (1):1-18.
- Malczewski, J. 1999. GIS and Multi Criteria Decision Analysis. John Wiley and Sons INC., 408 pages.
- Marinoni, O. 2004. Implementation of the analytical hierarchy process with VBA in ArcGIS. *Computers and Geosciences*., 30(6):637-646.
- Me-Bar, Y., Valdez, J. 2005. On the vulnerability of the ancient Maya society to natural threats. *Journal of Archaeological Science*, 32(6): 813-825.
- Mishra, A. K., Desai, V. R. 2005. Drought forecasting using stochastic models. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*., 19(5): 326-339.
- Montaseri, M ., Amirataee, B ., Khalili, K. 2015. Identification of Trend in Spatial and Temporal Dry and Wet Periods in Northwest of Iran Based on SPI and RAI Indices. *Journal of Water and Soil*, 30(2): 655-671. (In Farsi)
- Moss, R., Brenkert A., Malone, E. 2001. Vulnerability to climate change: aMulti-criteria decision analysis. *Global environmental change*, 18 (1):112-127.
- Nasimi, A., Mohammadi, Z. 2014. Vulnerability of Yazd Province in Drought Using Standardized Precipitation Index and Geostatistical Methods. *Journal Management System*. 7(20): 79-90. (In Farsi)
- Nasrnia, F., Zibae, M. 2016. Vulnerability assessment to Drought in Various Provinces, approach towards risk management in the country. *Agricultural Economics and Development*, 29(4): 359-373. (In Farsi)

- Rossi, G., Benedini, M., Tsakiris, G., Giakoumakis, S. 1992. On regional drought estimation and analysis. *Water Resources Management*, 6(4): 249-277.
- Saaty, T. L. 1990. How to make a decision: the analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, 48(1): 9-26,
- Sadeghravesh, M., Khosravi, H., Ghasemian, S. 2015. Application of fuzzy analytical hierarchy process for assessment of combating-desertification alternatives in central Iran. *Natural Hazards: Journal of the International Society for the Prevention and Mitigation of Natural Hazards*, 75(1): 653-667.
- Santos, M. J. J., Verissimo, R., Rodrigues, R. 2001. Hydrological drought computation and its comparison with meteorological drought. In: Demuth, S., Stahl, K. (Eds.), *ARIDE—Assessment of the Regional Impact of Droughts in Europe. Final Report to the European Union. ENV4-CT97-0553*. Institute of Hydrology, Freiburg, Germany, pp. 78–79.
- Shahid, S., Behravan, H. 2008. Drought risk assessment in the western part of Bangladesh. *Journal of Natural Hazard Review*, 46(3): 391-413.
- Sivakumar, M., Wilhite, D. A. 2002. Drought preparedness and drought management. *Drought Mitigation and Prevention of Land Desertification, Drought Mitigation and Prevention of Land Desertification (Proc. Intern. Conf., Bled, Slovenia)*, UNESCO/Slov. Nat. Com. ICID, Ljubljana, paper 2.
- Song, L. C., Deng, Z. Y., Dong, A. X. 2003. *Drought*. China Meteorological Press, Beijing. 162 pages.
- Statistical Yearbook of Road Maintenance and Road Transport. 2012. Planning, Office of the Information and Communication Technology. Available at <http://www.rmtto.ir>.
- Sui, D. Z. 1992. A Fuzzy GIS Modeling Approach for Urban Land Evaluation. *Journal of computers. Environment and Urban Systems*, 16(2):101-115.
- Tigkas, D. 2008. Drought Characterisation and Monitoring in Regions of Greece. *European Water*, 24(24): 29-39
- Vincent, K. 2004. Creating an index of social vulnerability to climate change for Africa. Technical Report 56, Center Tyndall Climate Change Research, University of East Anglia, Norwich.
- Walter, J. 2004. *World disasters report 2004: focus on community resilience*. Kumarian, Bloomfield.
- Wilhite, D. A. 2000. Drought as a natural hazard: concepts and definitions, chapter 1. In: Wilhite DA (ed) *Drought: a global assessment. Natural hazards and disasters series*, Routledge Publishers, UK.
- Xiao-Chen, Y., Yu-Liang, Z., Ju-Liang, J., Yi-Ming, W. 2013. Risk analysis for drought hazard in China: a case study in Huaibei Plain. *Natural Hazards*, 67(2): 879–900.
- Zehtabian, G., Karimi, K., Mirdashtvan, M., Khosravi, H. 2013. Comparability Analyses of the SPI and RDI Meteorological Drought Indices in South Khorasan Province in Iran. *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, 1(9): 981-992.



Drought vulnerability mapping using AHP and Fuzzy Logic in Iran

S. Nasabpour¹, E. Haydari Alamdarloo², H. Khosravi^{3*}, A. Vesali⁴

Received: 30/08/2016

Accepted: 31/10/2017

Abstract

In this study, Analytic Hierarchy Process method was used to assess drought vulnerability in different regions of Iran, using five indices including climate, topography, drainage density, land use and groundwater resources. After determining the weight of each index and sub-index, the fuzzy membership maps were calculated using Fuzzy logic functions in ArcGIS software. Then, by use of omega fuzzy operator ($\gamma=0.9$) the maps over laps were drawn and classified. Drought vulnerability map of Iran showed that central, Eastern, Southern, North East and South East regions are mainly located in two vulnerability classes of very low and very high. Also, Zagros and Alborz mountains region classified as highly vulnerable. Most areas in north and northwest of the country as well as northern coastal region are located in medium to very low vulnerable classes. Lake Urmia region is mostly occupied by high and medium vulnerability classes.

Keywords: AHP, Drought vulnerability, Iran, Risk management



¹ Ph. D. Student of Desert Management and Control, Faculty of Natural resources, University of Tehran, karaj, Iran

² Ph. D. Student of Combating Desertification, Faculty of Natural resources, University of Tehran, karaj, Iran

³ Associate Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran

(*Corresponding Author's Email Address: hakhosravi@ut.ac.ir)

DOI: 10.22125/agmj.2019.113607.

⁴ Ph. D. Student of Combating Desertification, Faculty of Natural Resources, Kashan University