ارزیابی ریسک خشکسالی استان اصفهان

سعیده قاسمی نژاد[۱*]، سعید سلطانی[۱] و علیرضا سفیانیان[۲]

(تاریخ دریافت:۱۳۹۱/۰۱/۱۵ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۹/۱۳)

چکیده

خشکسالی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین بلایای طبیعی، هزینه‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی زیادی را به‌همراه دارد. اگرچه خشکسالی بیشتر به‌عنوان یک پدیده طبیعی یا فیزیکی درنظر گرفته می‌شود اما اثرات آن حاصل کنش متقابل میان یک پدیده طبیعی و نیاز آبی جامعه می‌باشد و اغلب اثرات آن توسط فعالیت‌های انسانی تشدید می‌شود. روش مرسوم برای مدیریت خشکسالی، مدیریت بحران می‌باشد. با توجه به اشکالات وارده به مدیریت بحران، روش مدیریت ریسک پیشنهاد شده است. با توجه به لزوم تغییر رویه از مدیریت بحران به‌سمت مدیریت ریسک، ارزیابی ریسک خشکسالی استان اصفهان در این تحقیق انجام گرفت. ریسک خشکسالی به‌صورت تابعی از شاخص خطر و شاخص آسیب‌پذیری تعریف شده است. شاخص بارش استاندارد شده(SPI) به‌عنوان شاخص خطر خشکسالی درنظر گرفته شد که برای محاسبه آن ابتدا آمار بارش ماهانه ۴۷ ایستگاه هواشناسی و باران سنجی استان طی دوره آماری ۱۹۷۵-۲۰۰۷ جمع‌آوری گردید. سپس سری زمانی مربوط به داده‌های بارش تهیه و برای محاسبه شاخص بارش استاندارد شده در بازه زمانی ۱۲ماهه وارد برنامه SPI گردید. نقشه درصد وقوع خشکسالی در هریک از شدت‌های خشکسالی تهیه و درنهایت نقشه شاخص خطر خشکسالی به‌دست آمد. آنالیز آسیب‌پذیری از طریق شاخص‌های اقتصادی- اجتماعی(تراکم جمعیت و درصد شاغلین بخش کشاورزی) و شاخص‌های فیزیکی (ظرفیت آب قابل استفاده خاک و کاربری اراضی) انجام شد. روش مورد استفاده برای تلفیق لایه‌های آسیب‌پذیری روش ترکیب خطی وزنی(wlc) و روش مورد استفاده برای استانداردسازی و وزن‌دهی به معیارها به‌ترتیب روش توابع فازی و روش تحلیل ساختار سلسله مراتبی(AHP) بود. برای اجرای عملیات وزن دهی پرسش‌نامه‌ای تهیه و از گروهی از متخصصین خواسته شد که این پرسش‌نامه را تکمیل نمایند. درنهایت شاخص ریسک خشکسالی از ضرب دو شاخص خطر خشکسالی و آسیب‌پذیری به‌دست آمد. نتایج حاصل از شاخص خطر خشکسالی نشان داد که مناطق مرکزی استان نسبت به‌وقوع خشکسالی بسیار شدید مستعدتر می‌باشد و استعداد مناطق شمال و شمال شرق به خشکسالی شدید، زیاد می‌باشد. مناطق جنوب غرب نیز به خشکسالی متوسط بیشتر از سایر مناطق حساسیت نشان دادند. نقشه شاخص آسیب‌پذیری نشان می‌دهد که بیشترین آسیب‌پذیری در غرب، جنوب و شمال استان و به‌صورت پراکنده در شرق استان وجود دارد. نقشه ریسک خشکسالی نشان داد که قسمت‌های شمالی استان در ریسک بالای خشکسالی قرار دارند. از جمله اقداماتی که می‌توان برای کاهش ریسک خشکسالی در استان انجام داد می‌توان به استقرار نظام پایش و پیش‌آگاهی خشکسالی در سطح استان، آموزش جامعه در جهت صرفه‌جویی هر چه بیشتر در منابع آب و بهبود سیستم‌های مدیریت آب اشاره کرد.

کلید واژه‌ها: خشکسالی، مدیریت بحران، آسیب‌پذیری، استان اصفهان

---

۱. گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۲. گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: s.ghaseminejad@gmail.com

مقدمه

ابتدا لازم است قبل از هرگونه تصمیمی در مورد خشکسالی تعریفی از خشکسالی داشته باشیم. بیش از ۱۵۰ تعریف راجع به خشکسالی وجود دارد که یکی از کامل‌ترین تعریف‌ها توسط پالمر در سال ۱۹۶۵ ارائه شد. پالمر خشکسالی را به‌صورت کمبود رطوبت مستمر و غیرطبیعی تعریف کرد. منظور از مستمر زمان آغاز تا پایان خشکسالی یا زمان تداوم و منظور از واژه غیرطبیعی انحراف یا نوسان منفی نسبت به‌شرایط طبیعی است (۴). خشکسالی از قدیم الایام یکی از حوادث طبیعی خطرناک بوده که زندگی بشر را مورد تهدید قرار داده است(۱۱). خشکسالی ازنظر تعداد وقوع و هم‌چنین شدت، مدت، گستردگی، تلفات انسانی و آثار منفی تاریخی و اقتصادی در رتبه اول سایر بلایای طبیعی قرار دارد(۱۶).

در ایران نیز مانند بسیاری از کشورها نگرش غالب بر کلیه فعالیت‌ها و برنامه‌ریزی‌ها در مواجهه با خشکسالی، رویکرد "مدیریت بحران" است. در این رویکرد، با حداکثر هزینه، حداقل نتیجه حاصل می‌گردد. برای جلوگیری و کاهش خسارت‌های سنگین ناشی از خشکسالی لازم است قبل از وقوع حادثه تدابیر لازم اندیشیده شود. از اینرو ضرورت جایگزین کردن رویکرد "مدیریت بحران" با رویکرد "مدیریت ریسک خشکسالی " در کشور بیش از پیش احساس می‌گردد. اساسی‌ترین مرحله مدیریت ریسک، ارزیابی ریسک خشکسالی می‌باشد. معمولاً دو واژه ریسک و خطر به‌عنوان مترادف و هم‌معنی تلقی می‌شوند درحالی‌که این دو باهم تفاوت دارند(۶). طبق تعریف راهبرد بین‌المللی سازمان ملل برای کاهش بلایا، خطر به حادثه فیزیکی، پدیده یا فعالیت‌های انسانی دارای پتانسیل تخریب که ممکن است موجب مرگ، تخریب اموال و آشفتگی اقتصادی- اجتماعی و یا زیست محیطی شود، اطلاق می‌شود در حالی‌که ریسک به‌احتمال پیامدهای مضر یا فقدان‌های مورد انتظار (مرگ، جراحت، آسیب به اموال و معیشت، اختلالات اقتصادی اجتماعی و تخریب زیست‌محیطی) ناشی از ارتباط متقابل بین خطرات (طبیعی یا انسانی) و آسیب‌پذیری سیستم‌ها، اشخاص یا گروه‌ها گفته می‌شود(۱۹). تعاریف متفاوتی برای آسیب‌پذیری ارائه شده است که ازجمله می‌توان به تعریف ویلهلمی اشاره کرد. ویلهلمی درجه‌ای از حساسیت جامعه به‌خطرات را که می‌تواند ناشی از متغیر بودن تماس یا متغیر بودن توانایی مقابله باشد به‌عنوان آسیب‌پذیری تعریف کرد(۲۴).

درجه آسیب‌پذیری بستگی به‌خصوصیات زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی منطقه دارد و به‌وسیله توانایی پیش‌بینی، مقابله و احیای اثرات خشکسالی اندازه‌گیری می‌شود(۲۶). خشکسالی در سطح جهانی هنوز به‌عنوان یک ریسک پنهان شناخته می‌شود و در سطح محلی نیز تأثیرات اجتماعی و اقتصادی آن به‌شکل نامتناسبی خانواده‌های فقیر روستایی را مورد هدف قرار می‌دهد(۲۵). با توجه به‌تعریف ارائه شده برای ریسک، تاکنون مطالعات اندکی درزمینه ارزیابی آسیب‌پذیری به خشکسالی و آسیب‌پذیری به آن انجام شده است. شهید و بهراون از شاخص SPI در محیط GIS برای نقشه سازی محدوده مکانی خطر خشکسالی در دوره‌های مختلف زمانی در قسمت غربی بنگلادش استفاده کردند. آنها هم‌چنین برای تهیه نقشه آسیب‌پذیری به خشکسالی از چندین فاکتور فیزیکی (مانند ظرفیت آب قابل استفاده 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. درنهایت نقشه ریسک از تلفیق نقشه خطر و آسیب پذیری حاصل شد(۲۲). بلا و همکاران آسیب‌پذیری به خشکسالی در جنوب‌غربی 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 به‌دست آمده را با نقشه کاربری اراضی و نقشه ژئومورفولوژی ترکیب کردند که درنهایت نقشه آسیب‌پذیری به خشکسالی به‌دست آمد(۱۷). ویو و همکاران به بررسی ویژگی‌های فضایی آسیب‌پذیری به

خشکسالی در چین پرداختند. سه فاکتور نشان‌دهنده آسیب‌پذیری به خشکسالی در این تحقیق کاهش رطوبت فصلی محصول، ظرفیت نگه‌داری آب در خاک و آبیاری درنظر گرفته شد. این مطالعه نشان داد که در مقیاس منطقه‌ای، بخش‌های جنوبی و شرقی چین آسیب‌پذیری کم تا متوسطی به خشکسالی دارند درحالی‌که بالاترین آسیب‌پذیری در بخش‌های شمالی و غربی منطقه مورد مطالعه دیده می‌شود(۲۶).

استان اصفهان از دیرباز در معرض خسارت‌های ناشی از خشکسالی بوده است و این امر ضرورت ارزیابی خشکسالی را در این استان پهناور نشان می‌دهد. هدف از این تحقیق ارزیابی ریسک خشکسالی استان اصفهان با توجه به دو شاخص خطر و آسیب‌پذیری می‌باشد. در این تحقیق شاخص بارش استاندارد شده(SPI) به‌عنوان شاخص خطر خشکسالی درنظر گرفته شد. این شاخص برای اولین بار توسط مک کی و همکاران در سال ۱۹۹۳ به‌منظور تعریف و پایش خشکسالی استفاده شد. این شاخص تنها از داده‌های بارندگی استفاده می‌کند و به‌منظور تشخیص کمبود بارندگی در مقیاس‌های زمانی مختلف طراحی شده است(۱۳). اولین مزیت این شاخص، سادگی آن است چراکه فقط به داده‌های بارش نیاز دارد. شاخص بارش استاندارد شده چندکاره است. این شاخص می‌تواند برای هر بازه زمانی محاسبه شود و مورد استفاده کاربران کشاورزی و هیدرولوژیست‌ها قرارگیرد. از طرف دیگر چون این شاخص توزیع نرمال دارد وضعیت‌های مختلف خشکسالی برای هر مکان و هر مقیاس زمانی با استفاده از این مدل قابل مقایسه خواهد بود. این شاخص فقط بر پایه داده‌های بارندگی بوده و به شرایط رطوبت خاک بستگی ندارد، بنابراین می‌توان از آن برای ماه‌های زمستان نیز استفاده کرد. نکته قابل ذکر این است که این شاخص از توپوگرافی تأثیر نمی‌پذیرد (۳). ازجمله مطالعات انجام شده در رابطه با شاخص بارش استاندارد شده در ایران می‌توان به مطالعات سلطانی و سعادتی(۱۰)، سرحدی(۸) و خداقلی(۷) اشاره کرد. آنالیز آسیب‌پذیری از طریق شاخص‌های اقتصادی- اجتماعی (تراکم جمعیت و درصد شاغلین بخش کشاورزی) و شاخص‌های فیزیکی (ظرفیت آب قابل استفاده خاک و کاربری اراضی) انجام شد. درنهایت ریسک خشکسالی از حاصل‌ضرب دو شاخص خطر و آسیب‌پذیری برای هر یک از شهرستان‌های استان به‌دست آمد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

استان اصفهان با مساحتی حدود ۱۰۷۰۹۰ کیلومترمربع بین ۳۰ درجه و ۴۳ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۲۷ دقیقه عرض شمالی و ۴۹ درجه و ۳۸ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۳۲ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ قرار گرفته است(۹). میانگین بارندگی این استان کمتر از ۱۵۰ میلی‌متر در سال می‌باشد که البته ۷۳٪ استان دارای میانگین بارندگی ۸۰ میلی‌متر، ۱۲٪ استان دارای بارندگی ۹۰-۱۲۰ میلی‌متر و تنها ۱۵٪ استان دارای بارندگی ۱۲۰-۴۵۰ میلی‌متر می‌باشد.

میزان تبخیر و تعرق این استان به‌تقریب ۲۲۴۰ میلی‌متر برآورد شده که این مقدار بسیار بالاتر از ریزش‌های جوی است(۸). قسمت اعظم استان اصفهان ازنظر اقلیم جزو مناطق خشک به‌حساب می‌آید. اما درعین‌حال با توجه به‌عواملی ازنظر خاک‌شناسی نیز اغلب نواحی استان دارای خاک‌هایی با pH بالا و اکثراً قلیایی است و ازنظر مواد آلی نیز فوق‌العاده فقیر می‌باشد. به‌همین دلیل قدرت نگه‌داری رطوبتی آنها بسیار پایین است و کلاً ازنظر فرسایشی و تأثیر بر اکوسیستم، شدیداً در معرض تهدید قرار داشته و تنها راه‌حل، تکیه براحیای پوشش گیاهی استان است(۱۵).

روش محاسبه شاخص خطر خشکسالی(DHI)

در این تحقیق شاخص خطر خشکسالی، شاخص بارش استاندارد شده(SPI) در نظر گرفته شده است. بنابراین ضروری است که ابتدا به‌معرفی این شاخص و نحوه محاسبه آن پرداخته شود. این شاخص برای کمی کردن کاهش بارندگی توسط مک کی و همکاران ابداع شد و براساس احتمال بارندگی برای

مقیاس‌های زمانی مختلف طراحی شده است و اثرات خشکسالی روی دسترسی به منابع آب مختلف را منعکس می‌کند. SPI برای هر منطقه براساس ثبت بارندگی‌های طولانی مدت آن محاسبه می‌شود. این شاخص بر مبنای احتمالات تجمعی بارندگی در یک ایستگاه می‌باشد که پس از استخراج داده‌های بارندگی در مقیاس ماهانه طی یک دوره آماری(حداقل ۳۰ سال) سری زمانی مجموع بارندگی در مقیاس‌های موردنظر تشکیل می‌شود که بایستی این سری زمانی با یک توزیع آماری مناسب برازش داده شود(۲۱). تام دریافت که توزیع گاما برای سری‌های زمانی بارش‌های کلیماتولوژی بهترین برازش را داشته است. به‌همین جهت مک کی و همکاران شاخصSPI را برمبنای توزیع گاما قرار دادند. تام از جدول تابع گامای ناقص برای تعیین احتمالات تجمعی G(X) استفاده نمود. سپس احتمال تجمعی H(X) به متغیر تصادفی نرمال استاندارد Z با میانگین صفر و واریانس یک تبدیل می‌شود که این متغیر همان مقادیر SPI می‌باشد که یک تبدیل با احتمال یکسان است(۲۱).

استخراج مقادیر شدت خشکسالی و ترسالی با استفاده از شاخصSPI

در این تحقیق، ابتدا آمار بارش کلیه ایستگاه‌های هواشناسی استان اصفهان و استان‌های مجاور از سازمان هواشناسی کشوری و سازمان تحقیقات منابع آب (تماب) طی دوره آماری ۱۹۷۵-۲۰۰۷ جمع‌آوری گردید. سپس برخی از ایستگاه‌ها به‌علت نداشتن آمار کافی از فهرست حذف شدند و درنهایت ۴۷ ایستگاه باقی ماند. نواقص آماری موجود در ایستگاه‌ها با استفاده از روش همبستگی بین ایستگاه‌ها، بازسازی شد. سپس با استفاده از برنامه SPI مقادیر شاخص بارش استاندارد شده برای بازه زمانی ۱۲ ماهه منتهی به ماه خرداد محاسبه شد. برای اینکه هم بارش‌های بهاره و هم بارش‌های زمستانه و پاییزه در این تحقیق مورد بررسی قرار گیرد این بازه زمانی انتخاب شد. در مرحله بعد درصد وقوع خشکسالی‌های متوسط، شدید و خیلی شدید برای هر ایستگاه تعیین شد. به‌منظور پهنه بندی مقادیر درصد وقوع خشکسالی برای هر یک از شدت‌ها از روش IDW (معکوس وزنی فاصله) استفاده شد. در این روش فاصله هر نقطه یا پیکسل با پیکسل مجاور سنجیده شده و سپس برحسب مقدار فاصله با آن سلول، ارزش یا ضریب وزن داده می‌شود و درنهایت ارزش سلول مرکزی ماتریس با جمع ارزش‌های نقاط همسایه و میانگین وزنی آنها به‌دست می‌آید(۱).

در این تحقیق عملیات پهنه‌بندی با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS انجام شد. در مرحله نهایی با استفاده از جدول(۱) و رابطه(۱) شاخص ریسک خشکسالی محاسبه شد.

$$DHI=\left(MD_r\times MD_w\right)+\left(SD_r\times SD_w\right)+\left(VSD_r\times VSD_w\right) \quad [1]$$

در رابطه(۱): DHI : شاخص خطر خشکسالی، MD_r : درجه مربوط به خشکسالی متوسط ،MD_w : وزن مربوط به خشکسالی متوسط، SD_r : درجه مربوط به خشکسالی شدید، SD_w : وزن مربوط به خشکسالی شدید، VSD_r : درجه مربوط به خشکسالی خیلی شدید، VSD_w : وزن مربوط به خشکسالی خیلی شدید می‌باشد.

روش محاسبه شاخص آسیب‌پذیری به خشکسالی(DVI)

در این تحقیق به‌منظور آنالیز آسیب‌پذیری از روش ترکیب خطی وزنی (WLC) استفاده شد. روش ترکیب خطی- وزنی رایج‌ترین تکنیک در تحلیل ارزیابی چند معیاره است. این روش برمبنای مفهوم میانگین وزنی استوار است. اجرای این روش شامل مراحل زیر است(۱۲):

الف. انتخاب شاخص‌های لازم به‌منظور تهیه نقشه آسیب‌پذیری خشکسالی

طبق مطالعات قبلی شاخص‌های مورد استفاده برای ارزیابی آسیب‌پذیری به خشکسالی به دو دسته شاخص‌های فیزیکی و اقتصادی اجتماعی تقسیم می‌شوند. شاخص‌های فیزیکی مورد استفاده در این تحقیق شامل کاربری اراضی، ظرفیت آب قابل استفاده در خاک می‌باشد. تراکم جمعیت و درصد شاغلین

جدول۱. وزن و درجات مربوط به نقشه‌های شدت خشکسالی

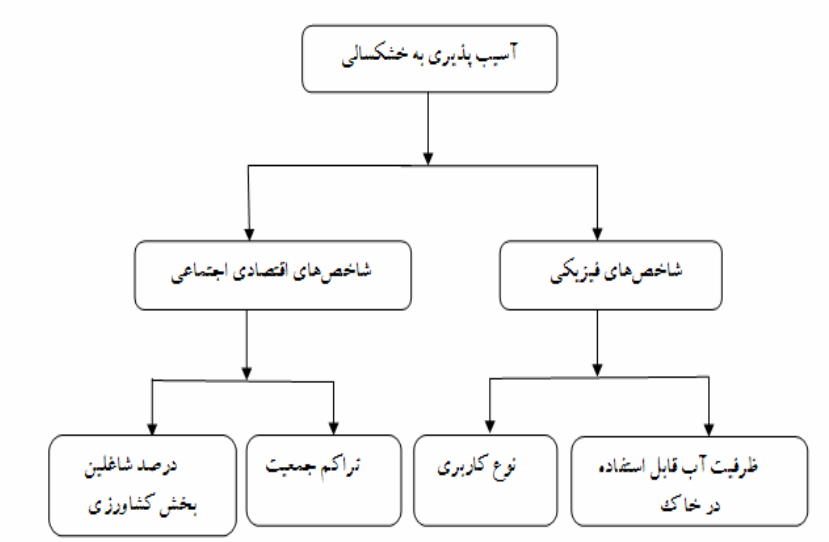
شدت خشکسالی	وزن	درصد وقوع	درجه
متوسط	۱	۳>	۱
		۳-۵	۲
		۵-۸	۳
		۸-۱۲	۴
		۱۲<	۵
شدید	۲	۳>	۱
		۳-۴	۲
		۴-۵	۳
		۵-۶	۴
		۶<	۵
خیلی شدید	۳	۱>	۱
		۱-۲	۲
		۲-۳	۳
		۳-۴	۴
		۴<	۵

بخش کشاورزی هر شهرستان جزء شاخص‌های اقتصادی اجتماعی مورد استفاده می‌باشند. برای محاسبه تراکم جمعیت، آمار جمعیت هر شهرستان از سالنامه آماری استان(۱۳۸۵) استخراج گردید سپس با استفاده مساحت هر شهرستان، لایه رستری تراکم جمعیت برای هر شهرستان به‌دست آمد. برای تهیه لایه رستری درصد شاغلین بخش کشاورزی استان نیز از آمار سالنامه آماری استان استفاده شد.

به‌منظور تهیه لایه ظرفیت آب قابل استفاده خاک(عمق صفر تا ۱۰۰ سانتی‌متری خاک)، از نقشه خاک تهیه شده توسط مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری کشور() استفاده شد که با توجه به رابطه بین بافت خاک و ظرفیت نگه‌داری آب در خاک این لایه تهیه گردید. براساس نقشه کاربری اراضی تهیه شده توسط مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری کشور، کاربری‌های حساس به خشکسالی به ۵ طبقه تقسیم شدند که به هر طبقه براساس میزان حساسیتش به خشکسالی عددی بین یک تا پنج تعلق گرفت که عدد ۵ نشان‌دهنده بیشترین حساسیت و عدد یک نشان‌دهنده کمترین حساسیت است. این ۵ طبقه شامل کشاورزی دیم(حساسیت ۵)، باغ(حساسیت۴)، کشاورزی آبی(حساسیت۳)، مرتع و جنگل(حساسیت۲) و شهر(حساسیت۱) می‌باشد.

ب. استاندارد کردن داده‌ها

عوامل مورد استفاده در ارزیابی چند معیاره غالباً ماهیت متفاوتی دارند. بنابراین معیارهای اندازه‌گیری آنها با یکدیگر متفاوت خواهد بود. برای استفاده مؤثر از کلیه عوامل در تجزیه و تحلیل و ایجاد ارتباط بین آنها، معیارهای مربوط به ماتریس ارزیابی تحت قاعده خاصی نرمال می‌شوند. این عملیات را استاندارد کردن داده‌ها می‌گویند(۲). برای استانداردسازی چندین روش وجود دارد که در این تحقیق از روش توابع فازی برای استانداردسازی شاخص‌ها استفاده شد. این روش کلیه مقادیر و ارزش‌های لایه‌های نقشه‌ای را به دامنه‌ی یکسانی بین صفر تا یک یا صفر تا ۲۵۵ تبدیل می‌کند(۲۳). در این تحقیق برای استانداردسازی داده‌ها با طریق روش فازی، ابتدا برنامه Spatial Data Modeller(SDM) به نرم‌افزار Arc GIS اضافه و از توابع



شکل ۱. ساختار سلسله مراتبی آنالیز آسیب‌پذیری خشکسالی

خطی برای استانداردسازی استفاده شد. به‌عبارت دیگر با افزایش درصد شاغلین بخش کشاورزی، تراکم جمعیت و حساسیت کاربری، آسیب‌پذیری افزایش می‌یابد (تابع خطی افزاینده) ولی با افزایش ظرفیت آب قابل استفاده در خاک، آسیب‌پذیری کاهش می یابد (تابع خطی کاهنده). خروجی این مرحله از کار نقشه‌های استاندارد شده‌ای خواهد بود که مقادیر و ارزش‌های آنها بین صفر تا ۲۵۵ یا صفر تا یک خواهد بود.

ج. وزن‌دهی به معیارها

معیارهای مورد استفاده در فرایند ارزیابی دارای اهمیت یکسانی نیستند و دارای تأثیر وزن‌های مختلفی می‌باشند. لذا در فرآیند ارزیابی بایستی اهمیت نسبی هرکدام از معیارها مشخص گردد. براساس آن ضرایب ویژه‌ای به‌عنوان وزن در تجزیه و تحلیل اطلاعات اعمال می‌شود(۲).

روش‌های متنوعی برای وزن‌دهی وجود دارد که در این تحقیق از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی(AHP) استفاده شد. این روش توسط ساعتی در متن یک فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) ارائه شد. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی یک روش ریاضی جهت تعیین اهمیت و تقدم معیارها در فرآیند تحلیل و ارزیابی است. روش مذکور شامل مراحل زیر است:

۱. تعریف و سازماندهی معیارها در یک سلسله مراتب

این ساختار نمایش گرافیکی از مسئله است که در ابتدایی‌ترین سطح آن، هدف تصمیم‌گیری است. سطوح میانی معیارهای مؤثر بر تصمیم‌گیری و سطح آخر گزینه‌های تصمیم‌گیری هستند(۱۴). ساختار سلسله مراتبی آسیب‌پذیری در شکل (۱) مشاهده می‌شود.

۲. تشکیل ماتریس ارزیابی

درایه‌های این ماتریس با استفاده از پرسش‌نامه و نظر متخصصین تکمیل شد. در این ماتریس اهمیت هر معیار با خودش یک می‌باشد و اهمیت هر معیار نسبت به معیار دیگر دامنه اعدادی بین یک تا نه را به خود اختصاص داد(۲۰).

۳. محاسبه وزن هر یک از معیارها

برای محاسبه وزن نسبی معیارها، ابتدا همه ارزش‌های هر ستون ماتریس جمع می‌شوند. سپس هر عدد ستون به جمع کل هر ستون تقسیم شده و درنهایت میانگین ردیف‌ها محاسبه می‌شود که این عدد همان وزن معیار می‌باشد(۲). در این تحقیق پس از جمع‌آوری پرسش‌نامه‌ها، میانگین هندسی اعداد محاسبه شد و این اعداد وارد نرم‌افزار Expert Choiceگردید و درنهایت وزن

مربوط به هر معیار به‌دست آمد. پس از وزن‌دهی بـه معیارهـای آسیب‌پذیری مطابق رابطه (۲) که فرمول ترکیـب خطـی وزنـی می‌باشد هر یک از نقشه‌هـای اسـتاندارد شـده در وزن مربوطـه ضرب شده و درنهایت عملیات اجتماع بین لایه‌هـای بـه‌دسـت آمده انجام می‌گیرد که این نقـشه نهـایی همـان نقـشه VDI یـا شاخص آسیب‌پذیری به خشکسالی می‌باشد.

$$A_i = \sum_j W_j X_{ij} \qquad [۲]$$

در این رابطـه X_{ij} مقـدار i امـین آلترنـاتیو در رابطـه بـا j امـین خصیصه و W_j یک وزن استانداردشده است به‌طوری‌که مجموع وزن‌ها برابر یک می‌باشد.

محاسبه شاخص ریسک خشکسالی

$$DRI = DHI \times DVI \qquad [۳]$$

در این رابطـه DRI شـاخص ریـسک ، DHI شـاخص خطـر و DVI شاخص آسیب‌پذیری می‌باشد که با ضرب کردن دو لایـه خطر خشکسالی و آسیب‌پذیری به خشکـسالی، نقـشه ریـسک خشکسالی به‌دست آمد(۱۸). روی نقشه به‌دست آمده طبقه‌بندی دوباره انجام گرفت که درنهایـت ریـسک خشکـسالی براسـاس نقاط شکست به ۴ طبقه ریسک کم، متوسط، بـالا و خیلـی بـالا تقسیم‌بندی شد.

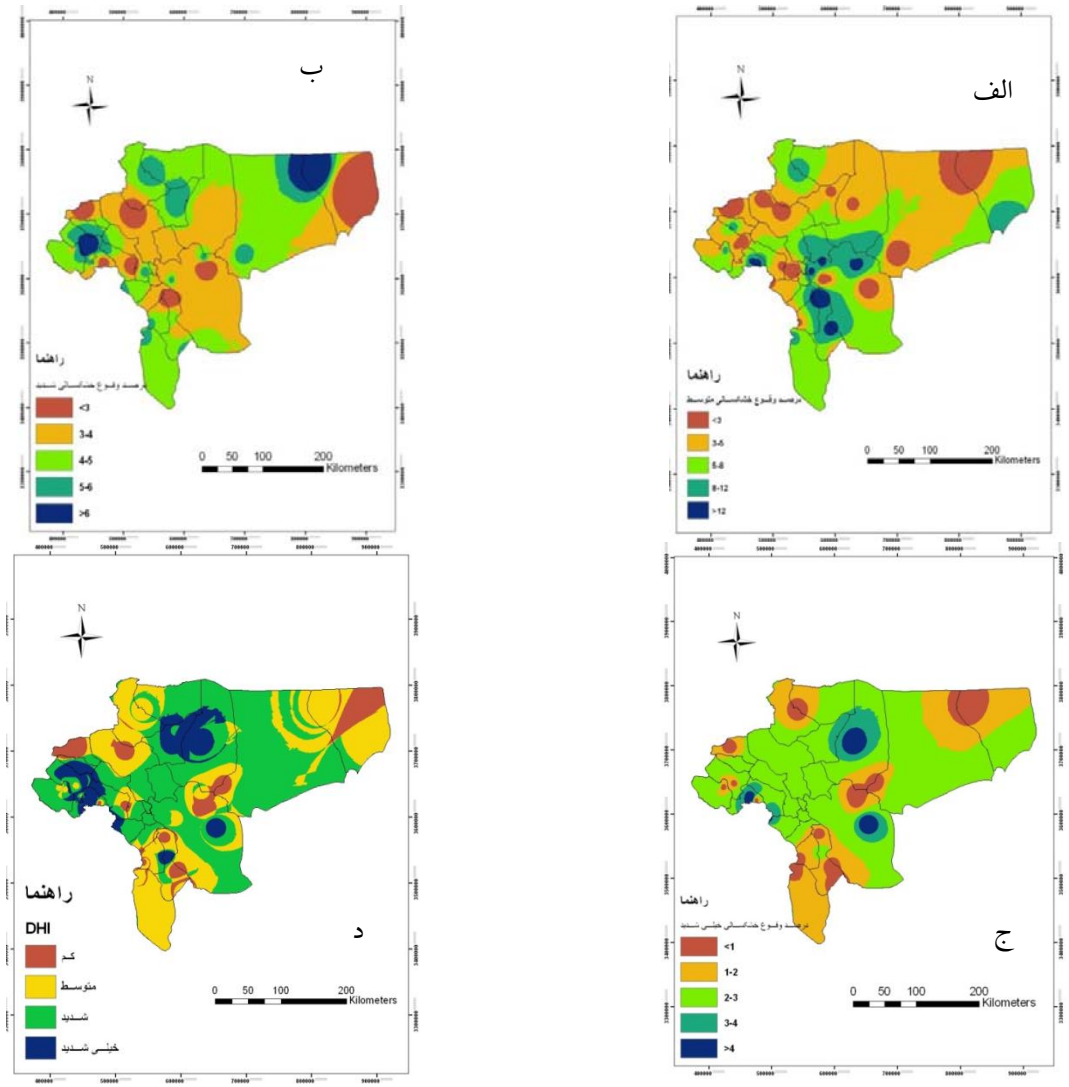
نتایج و بحث

نقشه درصد وقوع خشکسالی متوسـط (بخـش الـف شـکل ۲) نشان داد که بخش‌های جنوبی و غربی اسـتان بیـشترین درصـد وقوع خشکسالی متوسط را تجربه کرده‌اند، در حالی‌کـه شـمال شرق، شمال غرب و جنوب شرق استان کمترین درصـد وقـوع خشکسالی متوسط را نشان می‌دهند.

نقشه درصد خشکسالی شدید (بخش ب شکل۲) نشان داد که بیشترین درصد وقـوع خشکـسالی شـدید در بخـش شـمال شرقی(نائین و خور و بیابانـک) و غـرب اسـتان وجـود دارد و کمترین درصد وقوع خشکسالی شدید در قـسمت شـرق دیـده می‌شود. شهرستان‌های اردستان، نطنز، بخش‌هـایی از اصـفهان و چادگان بیشترین درصد وقوع خشکـسالی در مقیـاس ۱۲ ماهـه (بخش ج شکل ۲) را نشان مـی‌دهنـد وکمتـرین درصـد وقـوع خشکسالی خیلی شدید در خور بیابانک، نائین، سمیرم، اصفهان، شهرضا،کاشان و قسمت کوچکی در غرب استان دیده می‌شود.

سعادتی نیز بیشترین فراوانی نسبی خشکسالی‌های شدید را در بازه زمانی ۱۲ ماهه در بخش غربی استان اصفهان گزارش کـرد به‌طوری‌که داران دارای بالاترین فراوانی نسبی برای خشکسالی-های شدید می‌باشد(۹). سعادتی هم‌چنین بیشترین فراوانی نسبی خشکسالی‌های بسیار شدید در بازه زمانی ۱۲ ماهه را در بخـش شمال شرقی استان گزارش کـرد. نتـایج ایـن تحقیـق بـا نتـایج سعادتی در رابطه با وقوع خشکسالی‌های بسیار شدید و شـدید به‌ترتیب در شـمال شـرق و غـرب اسـتان نیـز همـاهنگی دارد. هم‌چنین نتایج حاصل از گستره مکانی خشکسالی‌های شدید بـا نتایج بهیار و خوزانی که بررسی خشکسالی استان اصفهان را بـا استفاده از شـاخص درصـدی از بـارش میـانگین انجـام دادنـد هماهنگی دارد. بهیار و خوزانی گزارش کردند که در خشکسالی شدید بیشترین درصد از آن شهرضا، شرق اصـفهان و نـائین بـا ۸/۷ تا ۱۷/۴ درصد می‌باشد و فریدون شهر، کبوترآباد، اصـفهان و اردستان نیز در رده‌های بعدی قرار می‌گیرند(۵). به‌طـور کلـی مناطق مستعد نسبت به وقوع خشکسالی بسیار شدید عمـدتاً در قسمت مرکزی استان متمرکز شده است و استعداد مناطق شمال و شمال شرق به به خشکسالی شدید، زیاد مـی‌باشـد. اسـتعداد مناطق جنوب غربی استان نیز به خشکسالی متوسـط بیـشتر از سایر مناطق است. نقشه شاخص خطر خشکسالی در بازه زمانی ۱۲ ماهه(بخش د شـکل ۲)نـشان مـی‌دهـد کـه شهرسـتان‌هـای اردستان، نطنز، شهرضا، فریدن، فریدون شهر و چادگان بیشتر از بقیه شهرستان‌ها در معرض خطر خشکسالی قرار دارند و تقریباً اکثر نواحی اسـتان در طبقـه خطـر شـدید خشکـسالی در ایـن مقیاس زمانی قرار می‌گیرند.

نتـایج حاصـل از استانداردسـازی نـشانگرهای اقتـصادی اجتماعی و فیزیکی نشان داد که شهرستان خمینی‌شهر با تـراکم ۱۶۸۰نفر در کیلومترمربع به‌عنوان متراکم‌ترین شهرسـتان اسـتان

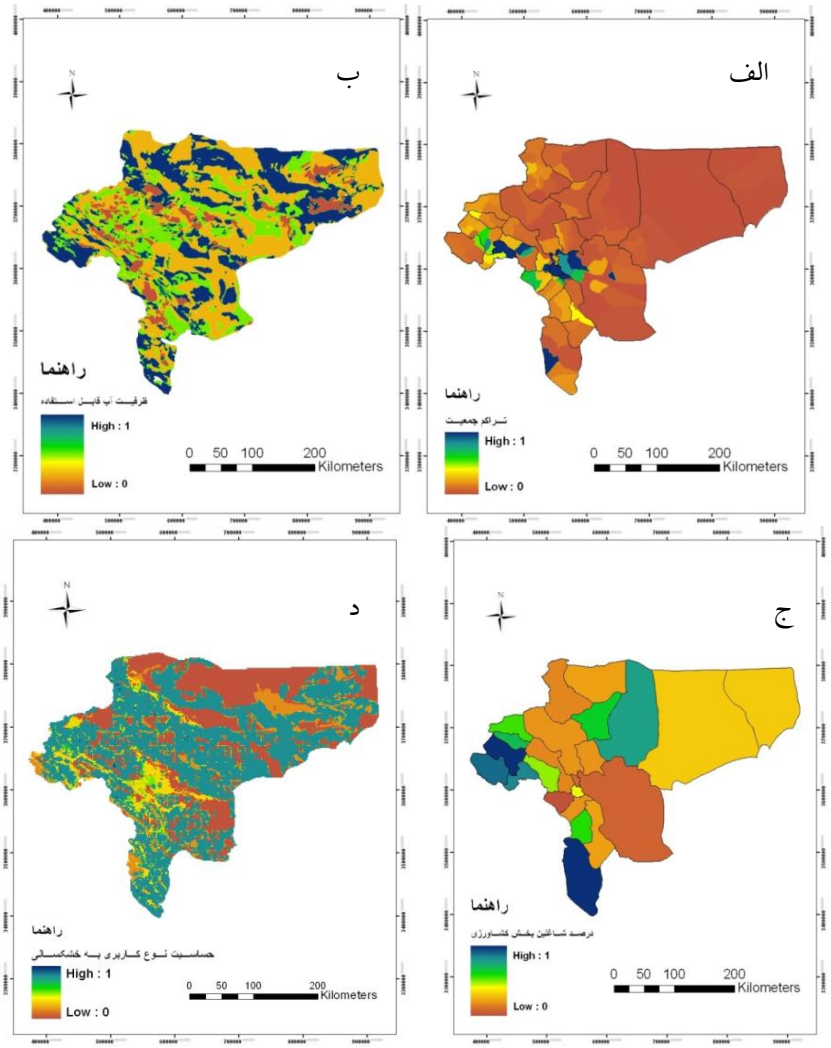


شکل۲. نقشه درصد وقوع خشکسالی :الف) متوسط، ب) شدید ، ج) خیلی شدید و د) شاخص خطر خشکسالی

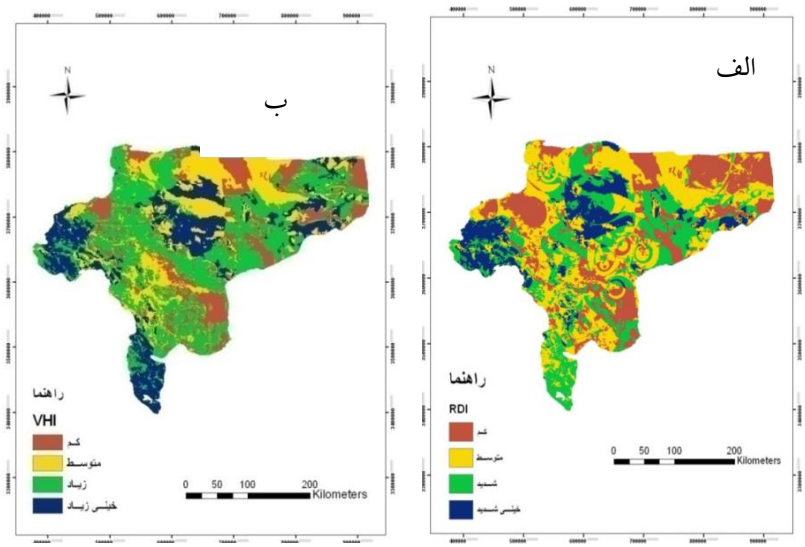
می‌باشد و شهرستان‌های نائین، خوربیابانک و اردستان با تراکم کمتر از ۸ نفر در کیلومترمربع به‌عنوان کم‌تراکم‌ترین شهرستان‌های استان شناخته می‌شوند(بخش الف شکل۳).

ظرفیت آب قابل استفاده در خاک در نواحی غرب، جنوب غرب و شمال غرب استان بیشترین مقدار را دارد و کمترین آن مربوط به نواحی کوهستانی و صخره‌ای می‌باشد (بخش ب شکل۳). شهرستان‌های سمیرم بیشترین درصد(۵۴٪) شاغلین بخش کشاورزی استان را به‌خود اختصاص داده‌اند و شهرستان‌های اصفهان، برخوار و میمه، کاشان، نجف‌آباد، لنجان، مبارکه و خمینی‌شهر با کمتر از ده درصد شاغلین بخش کشاورزی کمترین آسیب‌پذیری را به خشکسالی نشان می‌دهند (بخش ج شکل ۳).

از لحاظ کاربری‌ها، نواحی دیم‌کاری محدود به جنوب و شمال غرب استان است و کاربری باغ اکثراً در جنوب و غرب استان وجود دارد بنابراین این نواحی جزء نواحی بسیار آسیب‌پذیر می‌باشند (بخش د شکل ۳) نتایج به‌دست آمده از پرسش‌نامه نشان داد که ازنظر متخصصین اهمیت درصدشاغلین بخش کشاورزی(۵۲٪) نسبت به تراکم جمعیت(۴۲٪) بیشتر می‌باشد هم‌چنین ظرفیت آب قابل استفاده خاک(۷۷٪) نسبت به نوع کاربری منطقه(۲۳٪) وزن بیشتری را به‌خود اختصاص داده است. نقشه شاخص آسیب‌پذیری (بخش ب شکل ۴) نشان می‌دهد که بیشترین آسیب‌پذیری در غرب، جنوب و شمال استان و به‌صورت پراکنده در شرق استان وجود دارد. نقشه شاخص ریسک خشکسالی (بخش الف شکل ۴) نشان



شکل۳. نقشه استاندارد شده شاخص‌های آسیب‌پذیری: الف) تراکم جمعیت ، ب) ظرفیت آب قابل استفاده خاک، ج) درصد شاغلین بخش کشاورزی و د) حساسیت نوع کاربری به خشکسالی

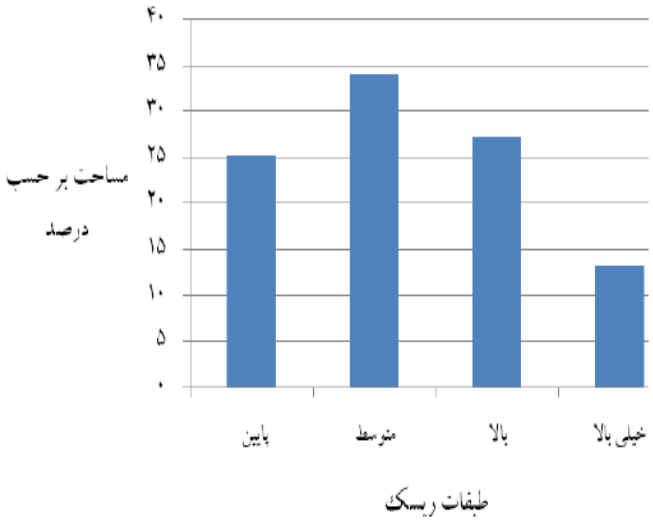


شکل۴. الف) نقشه شاخص ریسک و ب) نقشه شاخص آسیب‌پذیری خشکسالی

جدول۲. درصد مساحت طبقات ریسک به تفکیک شهرستان‌ها

طبقه ریسک / شهرستان	پایین	متوسط	بالا	خیلی بالا
خور	۵۹/۷	۲۷/۴۱	۸/۷۶	۴/۱۱
نائین	۲۷/۸	۳۶/۹	۲۹/۸	۵/۴۵
اردستان	۰/۱۶	۳۴/۲۹	۲۶/۱۹	۳۹/۳۴
اصفهان	۳۷/۷	۳۵/۴۹	۲۴/۹	۱/۸۷
آران و بیدگل	۲۳/۴	۳۸/۴۹	۳۴/۳۹	۳/۷۴
نطنز	۳/۶۷	۲۰/۹۵	۳۳/۱۱	۵۲/۵۲
برخوار	۱۲/۸	۲۰/۵۴	۶۳/۹۵	۲/۷۳
کاشان	۱۸/۴	۶۲/۰۸	۱۷/۸	۱/۷
شاهین‌شهر و میمه	۴۸/۸	۳۶/۳۶	۱۳/۹۳	۰/۹۲
گلپایگان	۴۱/۸	۳۸/۷۶	۸/۵۴	۱۱/۰۲
خوانسار	۱/۴۴	۱۲/۳۶	۹/۶۸	۷۶/۵
فریدن	۰/۲۷	۷/۵۲	۲۰/۵۱	۷۱/۶۷
فریدون شهر	۰/۰۱	۷/۸۱	۳۵/۴۵	۵۶/۷۱
چادگان	۰	۱/۶۹	۳۴/۶۹	۶۳/۶۱
تیران وکرون	۱۸/۱	۳۰/۷۲	۲۶/۳۷	۲۴/۷۸
نجف‌آباد	۲۸/۳	۲۴/۸۲	۲۲/۴۲	۴/۴۴
خمینی‌شهر	۰/۰۴	۹/۳۳	۶۷/۱۳	۲۳/۴۷
فلاورجان	۰/۰۳	۱۷/۳۷	۷۶/۴۵	۶/۱۴
لنجان	۱۵/۳	۲۶/۶۳	۴۷/۴۷	۱۲/۵۳
مبارکه	۸/۹۷	۷۳/۵۳	۱۴/۸۲	۲/۶۶
سمیرم سفلی	۱۶/۹	۵۰/۵۲	۲۰/۳۷	۱۲/۲۲
شهرضا	۱۷/۳	۴۴/۱۱	۳۰/۵۱	۸/۰۲
سمیرم	۰/۴۱	۲۶/۱۱	۷۱/۶۶	۱/۸

داد که بیشترین ریسک خشکسالی در غرب و شمال استان وجود دارد و کمترین آن در قسمت‌های شرقی و جنوب شرقی دیده می‌شود. از تحلیل نتایج به‌دست آمد که میزان ریسک خشکسالی در استان اصفهان تابعی از اقلیم و نشانگرهای آسیب‌پذیری شهرستان‌های استان می‌باشد. پس از تهیه نقشه ریسک، درصد مساحت هر یک از طبقات ریسک در بازه‌زمانی ۱۲ ماهه محاسبه و به‌صورت نمودار(شکل ۵) ارائه شد. همان‌طور که مشاهده می‌شود در بازه زمانی ۱۲ ماهه حدود



شکل۵. درصد طبقات ریسک در بازه زمانی ۱۲ ماهه

۶۰٪ استان در طبقه ریسک پایین و متوسط قرار دارد. درصد مساحت طبقات ریسک در بازه زمانی ۱۲ ماهه برای هر یک از شهرستان‌های استان آورده شده است (جدول ۲). این جدول مشخص کرد که در شهرستان‌های غربی استان مانند خوانسار، فریدون‌شهر، چادگان ، فریدن، بیشتر از ۵۰٪ مساحت شهرستان در طبقه ریسک خیلی بالای خشکسالی قرار دارد. یکی از دلایل این امر مربوط به تعداد زیاد شاغلین بخش کشاورزی این شهرستان‌ها می‌باشد. شهرستانی مانند خمینی‌شهر به‌واسطه تراکم زیاد جمعیتی، ریسک بالای خشکسالی را نشان می‌دهد. شهرستان سمیرم نیز به‌واسطه تراکم زیاد و هم به‌واسطه تعداد زیاد شاغلین بخش کشاورزی ریسک بالای را نشان می دهد.

نتیجه‌گیری

خشکسالی یکی از بلایای طبیعی ناشی از فرآیندهای آب و هوایی است که از فراوانی و گستردگی قابل ملاحظه‌ای برخوردار است. نتایج حاصل از ارزیابی ریسک خشکسالی استان اصفهان نشان داد که بخش زیادی از مساحت استان در طبقه ریسک بالا و خیلی بالا قرار می‌گیرد. ازجمله اقداماتی که می‌توان برای کاهش ریسک خشکسالی انجام داد می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:۱- استقرار نظام پایش و پیش‌بینی خشکسالی در سطح استان ۲- ایجاد مشاغل غیر وابسته به آب ۳- آموزش جامعه در جهت صرفه‌جویی هرچه بیشتر در منابع آب ۴- ایجاد روش‌های نوین در جهت بهبود مصرف آب در بخش کشاورزی ۵- جلوگیری از استقرار صنایع پرمصرف آب در استان ۶- انتقال یا جابه‌جایی صنایع پرمصرف به مناطقی که مشکل جدی در تأمین منابع آب ندارند. ۷- استفاده از روش‌های نوین در بازچرخش آب مصرفی صنایع که میزان هدرروی آب در صنایع را به حداقل برساند.

منابع مورد استفاده

۱. انصافی مقدم، ط. و ع. رفیعی. ۱۳۸۸. پهنه‌بندی خشکسالی‌های اقلیمی با استفاده از روش میان یابی معکوس فاصله (IDW) مطالعه موردی حوضچه دریاچه نمک. مجله تحقیقات مرتع و بیابان ایران ۱۶(۲): ۲۹۲-۲۷۴.

۲. ایرجی، ف. ۱۳۸۷. ارزیابی پتانسیل‌های گردشگری طبیعی مناطق حفاظت شده استان اصفهان و مکان‌یابی محل‌های مناسب تفرج در یکی از این مناطق. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۳. بداق جمالی، ج.، س. جوانمرد و ر. شیر محمدی. ۱۳۸۱. پایش و پهنه‌بندی خشکسالی استان خراسان با استفاده از نمایه بارش استاندارد شده . تحقیقات جغرافیایی ٦٧: ۲۴-۴.

۴. بذرافشان، ج.۱۳۸۱. مطالعه تطبیقی برخی از شاخص های خشکسالی هواشناسی در چند نمونه اقلیمی ایران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبیاری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران.

۵. بهیار، م. ب. و ا. پرنده خوزانی. ۱۳۸٦. بررسی آماری خشکسالی استان اصفهان. مجله پژوهشی دانشگاه اصفهان(علوم انسانی) ۲۷(٦):۱۲۸-۱۰۵.

۶. حبیبی، ا. ا. ۱۳۸۳. *ایمنی کاربردی و شاخص‌های عملکرد صنعت*، انتشارات فن‌آوران، تهران.

۷. خداقلی، م.، م. شیشه فروش، م. متین و س. یزدان پرست. ۱۳۸۸. بررسی خشکسالی در مناطق بیابانی و نیمه استپی استان اصفهان یا شاخص SPI مطالعه موردی ایستگاه‌های کاشان و سمیرم). دومین همایش ملی اثرات خشکسالی و راهکارهای مدیریت آن. اصفهان.

۸. سرحدی، ع.، س. سلطانی و ر. مدرس. ۱۳۸۷. ارزیابی و تحلیل گستره خشکسالی در استان اصفهان بر پایه چهار شاخص مهم خشکسالی. مجله منابع طبیعی ایران ٦١(۳): ۵۷۰-۵۵۵.

۹. سعادتی، س. ۱۳۸۵. تحلیل فراوانی و پهنه‌بندی خشکسالی با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده در استان اصفهان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد بیابان‌زدایی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۱۰. سلطانی، س. و س. سعادتی . ۱۳۸٦. پهنه‌بندی خشکسالی در استان اصفهان با استفاده از نمایه بارش استاندارد شده (SPI). علوم و مهندسی آبخیزداری ۱: ٦۴-٦٧.

۱۱. شایانفر، ح. ۱۳۸۱. حادثه غیرمترقبه خشکسالی. مجله سبزینه ۴: ۴۵-۴۴.

۱۲. کرم، ع. ا. ۱۳۸۳. کاربرد مدل ترکیب خطی وزنی در پهنه‌بندی پتانسیل وقوع زمین لغزش مطالعه موردی: منطقه سرخون در استان چهارمحال و بختیاری. مجله جغرافیا و توسعه۲(۴): ۱۴٦-۱۳۱.

۱۳. لشنی زند، م. و ع. ا. تلوری. ۱۳۸۰. بررسی خشکسالی اقلیمی و امکان پیش‌بینی آن در شش حوزه در غرب و شمال غرب ایران. تحقیقات جغرافیایی ۱۹: ۸٦- ۷۳ .

۱۴. مجنونیان، ه. ۱۳۷۹. *مناطق حفاظت شده ایران (مبانی و تدابیر حفاظت از پارک‌ها و مناطق)*. سازمان حفاظت محیط زیست، تهران.

۱۵. مدرس اسفه، ر. ۱۳۸۲. پیش‌بینی خشکسالی هیدرولوژیک با استفاده از تحلیل سری زمانی در یکی از سر شاخه‌های زاینده رود. پایان‌نامه کارشناسی ارشد بیابان‌زدایی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۱۶. مهدی خانی، ح. ۱۳۸۴. نگاهی کلی به مدیریت ریسک و لزوم آن در مدیریت خشکسالی. مجله عمران شریف ۳۴: ۶۰-۵۸.

17. Bella, S. Z. and A. Nemath. 2006. Application of gis tools: drougth vulnerability in Somogy county, Hungary. *In*: 2nd Gottingen gis and remote sensing Gottingen, Portugal.
18. Graham, A. T. and E. M. Burrell. 1997. Natural Hazads. The Gulford Press, New York.
19. lglesias, A., G. Luis and M. C. Francisco. 2009. Drought risk management in Mediterranean river basins. Integ. Environ. Assess. and Manage. 5(1):11-16.
20. Massam, B. H. 1988. Multi-criteria decision macking technique in planing. Plan. Program 30: 1-89.
21. Mckee, T. B., N. J. Doesken and J. Kleist. 1993. The relationship of drought frecuency and duration on time scales. PP.179-184. *In*: 8th Conf. on Appl. Climatol. Anaheim, CA.

22. Shahid, S. and H. Behravan. 2008. Drought risk assessment in the western part of Bangladesh. J. Natur. Hazard Rev. 46(3):391-413.
23. Sui, D. Z. 1999. A fuzzy gis modeling approach for urban land evaluation. Computer, Environ. and Urban Sys. 16: 101-115.
24. Wilhelmi, O. V. and D. A. Wilhite. 2002. Assesing vulnerability to agriculture drought: A Nebraska case study. Natur. Hazards 25: 37-58.
25. Wilhite, D. A. and M. H. Glantz. 1985. Understanding the drought phenomenon: The role of definitions. Water Intl.10(1): 111-120.
26. Wu, J., B. He, M. Liu and L. zhao. 2011. Quantitative assessment and spatial characteristic analysis o f agriculture drougth vulnerability in china. Natur. Hazards 56(3):785-801.