

## پهنه بندی مخاطرات بارشی منجر به خشکسالی و سیل در حوضه های آبریز حله و مند

سعید بلیانی، دکتری اقلیم‌شناسی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران  
یونس خسروی<sup>۱</sup>، استادیار اقلیم‌شناسی، گروه علوم محیط زیست، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران  
علیرضا عباسی سمنانی، استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه فارابی، تهران، ایران

دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۰۲/۲۳ پذیرش نهایی: ۱۳۹۵/۰۸/۲۵

### چکیده

خطر، منشاء آسیب بالقوه یا موقعیتی برای ایجاد خسارت است، بنابراین شناسایی پهنه‌های مواجهه با مخاطرات امری لازم برای برنامه‌ریزی محیطی یا آمایش سرزمین است. منظور از مخاطره، عموماً ویژگی‌های کالبدی است که منجر به حوادث غیر مترقبه می‌شود. به عنوان مثال گسل‌های فعال، آتش فشان‌ها، مناطق سیل خیر و اراضی مستعد اشتعال همگی جزو مخاطرات طبیعی هستند. لذا توجه به شرایط خطرپذیری مخاطرات اقلیمی در مناطق مسکونی با توجه به جمعیت‌های شهری و روستایی لازمه برنامه‌ریزی محیطی می‌باشد. با توجه به این مهم در این تحقیق نخست تلاش شده است تا با استفاده از آمار ایستگاه‌های باران سنجی و سینوپتیک حوضه‌های آبریز حله و مند طی یک دوره آماری ۲۰ ساله (۱۳۷۱-۱۳۹۰)، شاخص خشکسالی SPI در منطقه مورد مطالعه محاسبه شود. سپس از لایه‌های رقمی پهنه‌های سیلابی، مجموع متوسط بارندگی و مجموع تبخیر و تعرق سالانه برای ارزیابی پهنه‌های با خطر رخداد سیلاب استفاده شده است. در این راستا از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و منطق (Fuzzy) - مناطق با خطر رخداد پهنه‌های سیلاب و خشکسالی، و تبخیر و تعرق سالانه در سطح منطقه مورد مطالعه، پهنه بندی و شناسایی شدند. با توجه به نقشه نهایی آسیب‌پذیری مشخص شد که مناطق همجوار و خصوصاً شهرهای واقع در کنار سواحل خلیج فارس در غرب، شمال غرب و جنوب حوضه‌های آبریز حله و مند دارای بیشترین آسیب‌پذیری بوده و مناطق شرق و شمال شرق منطقه مورد مطالعه و مراکز جمعیتی آنها، از کمترین آسیب‌پذیری برخوردار هستند.

واژه‌های کلیدی: پهنه بندی، مخاطرات بارشی، خشکسالی، سیل، حوضه‌های آبریز حله و مند

## مقدمه

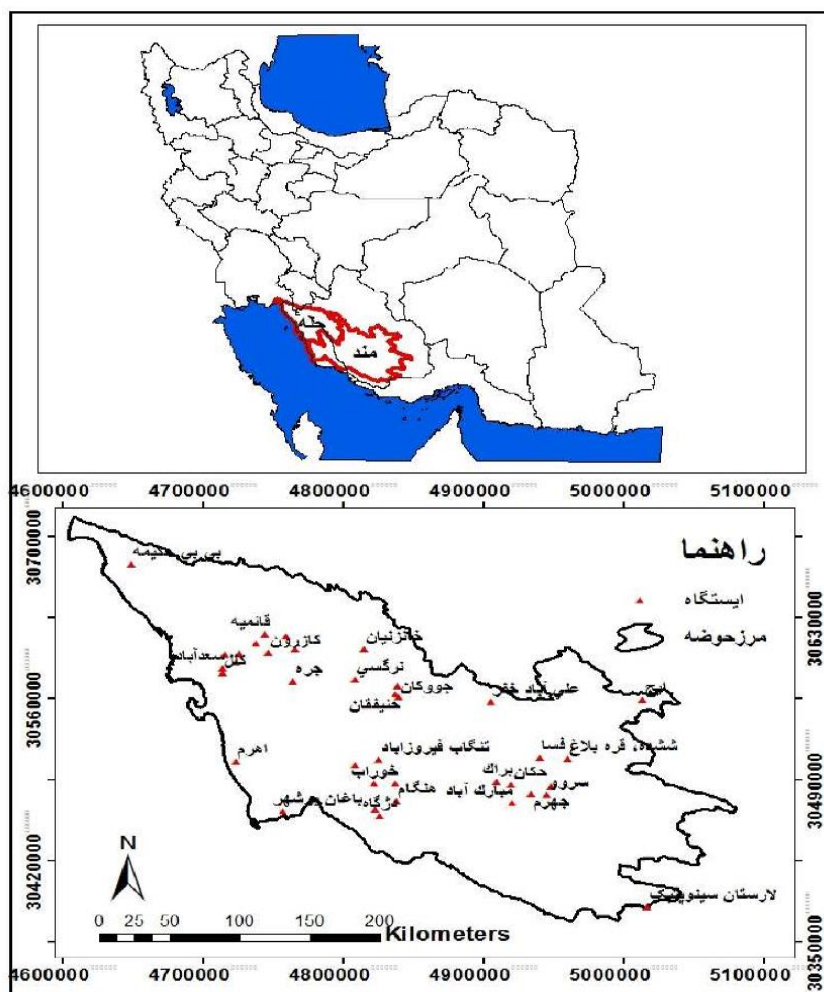
به طور کل منظور از مخاطره، ویژگی‌های کالبدی است که منجر به حوادث غیر مترقبه می‌شود. گسل‌های فعال، آتش فشان‌ها، مناطق سیل خیر و اراضی مستعد اشتعال، همگی جزو مخاطرات طبیعی هستند (خالدی، ۱۳۸۰: ۲۲). بنابراین بکارگیری اصول پدافند غیر عامل براساس قابلیت‌های محیطی، اقدام غیرمسلحانه‌ای است که موجب کاهش آسیب پذیری نیروی انسانی، ساختمان‌ها، تجهیزات، اسناد و شریان‌های کشور در مقابل بحران‌هایی با عوامل طبیعی از جمله خشکسالی، سیل، زلزله و غیره می‌گردد (حبیبی، ۱۳۸۹: ۱۲). سیلاب مخاطره‌ای است که از دیرباز تاکنون جوامع بشری با آن روبه‌رو بوده است و خسارات اقتصادی و اجتماعی زیادی را به آن‌ها تحمیل کرده است. علت وقوع سیلاب را می‌توان در عوامل ژئولوژیکی و انسانی خلاصه کرد. اما اساساً مهم‌ترین دلیل وقوع سیلاب، دخالت‌های انسانی در تغییرات کاربری اراضی بدون در نظر گرفتن توانایی اراضی است. مجموعه عوامل زیست محیطی ناشی از دخالت‌های انسانی در عرصه‌های طبیعی از طریق تخریب پوشش گیاهی در حوضه‌های آبریز، کاربری غیراصولی اراضی و توسعه سطوح غیر قابل نفوذ و امثال آن اعمال شده است (Tabacchi et al, ۲۰۰۰; Louka et al, ۲۰۰۰). تمامی مراکز جمعیتی در مقابل مخاطرات طبیعی از جمله سیل و خشکسالی آسیب‌پذیر می‌باشند و این به دلیل وجود تمرکز جمعیت، ساختمان‌ها و زیربناها می‌باشد (Lorena and Masser, ۲۰۰۵). لذا با توجه به رخداد محتمل اینگونه مخاطرات در مراکز جمعیتی، آمادگی برای مقابله با آن‌چه که پیامد ناگوار و نامطلوب شناخته می‌شود امری لازم و ضروری به شمار می‌آید (اصفهانی، ۱۳۷۱). مطالعات وسیعی در زمینه آسیب پذیری بر روی جوامع انسانی و اکولوژی به ویژه در زمینه مخاطرات انجام شده است. پاندا و همکاران (Panda et al, ۲۰۰۷) تأثیر خشکسالی و فعالیت‌های انسانی را بر روی تراز آب زیر زمینی ۱۰۰۲ ایستگاه پیزومتری ایالت اوریزا در کشور هند مطالعه نمودند. نتایج نشان داد که ۵۹ درصد از ایستگاه‌های پیزومتری قبل از فصل بارش و ۵۱ درصد آن‌ها بعد از فصل مذکور، کاهش تراز آب زیرزمینی را تجربه کرده‌اند. لمب (Lamb, ۱۹۸۲) با استفاده از شاخص انحراف از استاندارد در جنوب صحرا به این نتیجه رسید که دهه ۱۹۴۰ با خشکسالی شدید همراه بوده و تا دهه ۱۹۷۰ ادامه داشته است. بیضایی و محمدی (۱۳۸۲)، اثر خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی دشت نیشابور را بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که عامل اصلی افت سطح آب زیر زمینی، برداشت بی‌رویه آب برای مصارف کشاورزی است. آن‌ها نشان دادند که میزان افت تراز آب زیرزمینی در مناطق مخروط افکنه نسبت به نواحی مرکزی و جنوبی دشت کمتر است. آقا طاهر و همکاران (AghTaher et al, ۲۰۰۶) اعتقاد دارند شفافیت و قابل تفسیر بودن یک روش تجزیه و تحلیل و نتایج حاصل از آن فاز مهم‌ترین معیارهای مدیران در پذیرش و به کارگیری نتایج در مدیریت بهینه اطلاعات محسوب می‌شود. حیدری و سعید آبادی (۱۳۸۶) به مطالعه مخاطرات و ناحیه بندی سوزباد در شمال غرب و غرب ایران پرداخته‌اند. قنوانی و همکاران (۱۳۹۳) پهنه‌بندی پتانسیل سیل-خیزی را با استفاده از تلفیق مدل‌های CN و AHP برای حوضه بالخلو انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که مدل با توجه به برآورد میزان رواناب تولیدی، قابلیت مناسبی را در ارزیابی پتانسیل سیل‌خیزی در منطقه دارد. نجف پور (۱۳۹۲) در تحقیقی سیلاب‌های موجود در حوضه آبریز مند را ناشی از الگوهای

۵۰۰ هکتوپاسکال منطقه خاورمیانه می‌داند که فرودهای دریای سیاه، شرق مدیترانه، فرود سوریه عامل اصلی رخداد سیلاب در حوضه مند می‌باشند. همچنین نجف پور (۱۳۸۵) کانون‌های اصلی بارش حوضه آبریز مند را مورد ارزیابی قرار داده و نتیجه‌گیری نموده که عوامل مختلفی مانند ارتفاع از سطح دریا، عرض جغرافیایی و جهت ناهمواری‌ها در بارش منطقه دخیل می‌باشند. سلیقه و همکاران (۱۳۹۴) به بررسی روند و چرخه‌های سری زمانی بارش سالانه حوضه‌های آبریز مند و حله پرداخته‌اند. نتایج کار آنها نشان داد که روند بارش در این مناطق کاهش یافته و حاکی از یک روند با چرخه‌های معنی‌دار می‌باشد. بطوریکه با کاهش بارش در بخش اعظمی از منطقه مورد مطالعه در آینده شاهد خشکسالی و بروز مخاطرات سیلاب خواهیم بود. بلیانی و سلیقه (۱۳۹۵) نیز اقدام به تحلیل الگوهای جوی منجر به بارش‌های سنگین روزانه منطقه شمالی خلیج فارس (حوضه آبریز مند و حله) نموده‌اند. نتایج تحقیقات آنها نیز حاکی از تأثیرپذیری منطقه مورد مطالعه از الگوهای جوی دو قطبی افقی و عمودی که با تغذیه از رطوبت آب‌های اطراف در ارتباط و همسویی با کم فشار شرق دریای مدیترانه، دریای سیاه و جنوب دریای خزر با تاوایی مثبت که ناشی از استقرار ناوه در سطوح میانی و بالایی در سطح ۵۰۰ و ۳۰۰ هکتوپاسکال در وردسپهر است، الگوهای بارشی را در این منطقه را به خود اختصاص می‌دهند. همچنین ایجاد یک الگوی دو قطبی از پرفشار عربستان با تاوایی منفی در انتقال رطوبت از آب‌های اطراف و منطقه سودان (اقیانوس هند، دریای سرخ، عرب، خلیج فارس و عمان) و همگرایی و همسویی با کم فشار شرق دریای مدیترانه و سیاه به‌عنوان عوامل صعود از این مناطق باعث ریزش بارش در روزهای بارش سنگین در منطقه مورد مطالعه حکایت می‌کنند. به‌طوریکه با شناسایی و رخداد این الگوهای جوی می‌توان بروز سیلاب و بارش‌های سنگین در پهنه‌های سیلابی که در این تحقیق نیز به آن پرداخته خواهد شد را جهت هشدارهای لازم به برنامه ریزان ارایه نمود. بر این اساس و با توجه به اهمیت مراکز جمعیتی واقع در حوضه‌های آبریز حله و مند در این پژوهش تلاش شده است تا مخاطرات بارشی منجر به خشکسالی و سیل مورد بررسی و تحلیل قرار گیرد.

### داده‌ها و روش کار

در این تحقیق از آمار ۲۳ ایستگاه باران سنجی و سینوپیتیک حوضه‌های آبریز حله و مند در یک دوره آماری ۳۰ ساله (۱۳۶۱-۱۳۹۰) برای انجام پهنه‌بندی شاخص خشکسالی SPI استفاده شده است. موقعیت منطقه مورد مطالعه و ایستگاه‌های مورد استفاده در شکل ۱ آمده است. از همین رو برای تهیه نقشه پهنه‌بندی بارش، ابتدا داده‌های بارش ایستگاه‌های واقع در داخل و خارج حوضه آبریز مند و حله با طول دوره آماری حداقل ۲۰ سال تهیه گردید، و سپس با استفاده از روش زمین آماری (گریگینگ) پهنه بندی‌های لازم صورت گرفته شد. از آنجا که بارش به‌عنوان یکی از اساسی‌ترین متغیرها جهت شناخت برنامه‌ریزی مدون برای استفاده از منابع آبی است و عوامل مکانی از جمله ارتفاعات می‌تواند باعث رفتار دینامیکی برای مکانیزم این عنصر اقلیمی باشد، جهت ترسیم نقشه بارش سالانه، نخست یک رابطه رگرسیون خطی ساده بین مقادیر بارش و ارتفاع برآورد شد و از روی باقی مانده‌های مدل، رابطه بین تغییرات بارش بر مبنای توزیع ارتفاعی لحاظ گردید. همچنین برای محاسبه روش SPI برازش شده بر بارش سالانه نیز مراحل زیر بکار گرفته شده است: این شاخص یک ابزار قوی در تحلیل داده‌های بارش می‌باشد. هدف این شاخص اختصاص ارزش

- عددی به هر حادثه بارندگی در هر مقیاس زمانی معین می باشد تا بتوان از آن طریق نواحی با آب و هوای کاملاً متفاوت را مقایسه نمود. از مزیت های این شاخص می توان به موارد زیر اشاره نمود (Wu et al, ۲۰۱۱):
- ۱- قابل استفاده بودن این شاخص در مقیاس های زمانی مختلف که می تواند خطر وقوع خشکسالی را نشان دهد.
  - ۲- سادگی آن نسبت به سایر شاخص ها
  - ۳- در مناطق مختلف که بارندگی های متفاوت دارند قابل استفاده است و از طریق نرمال کردن ارزش های بارندگی در مکان های مختلف امکان مقایسه متغیر بارندگی را فراهم می کند.



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه و ایستگاه های مورد استفاده

اولین گام قبل از شروع محاسبات این شاخص تعیین بهترین تابع توزیع احتمالات است که مناسب ترین تابع توزیع احتمال برای برازش داده های بارندگی توابع خانواده گاما می باشند (Guttman, ۱۹۹۹). از این رو محاسبه SPI شامل برازش یک تابع توزیع احتمال فراوانی بر مقادیر بارندگی یک ایستگاه است. سپس پارامترهای مربوط به این تابع برای هر مقیاس زمانی دلخواه (ماه و سال) برآورد می گردد و در نهایت تابع توزیع تجمعی مربوطه محاسبه می شود. بدین منظور مجموع بارش سالانه ایستگاه ها در معرض برازش توزیع های مختلف قرار گرفتند و در نهایت با آزمون نکویی برازش به وسیله آزمون کلموگروف-اسمیرنوف و در سطح اطمینان ۹۵ درصد توزیع گاما به عنوان مناسب ترین توزیع انتخاب شد که در مجموع محاسبه SPI سالانه استخراج گردید. برای این منظور ابتدا داده های بارش سالانه ایستگاه های

مذکور به صورت صعودی مرتب شد. سپس احتمال وقوع تجربی مشاهدات با استفاده از رابطه ویبول که به صورت زیر قابل محاسبه است به دست آمد (صفوی، ۱۳۸۵: ۱۲۹):

$$P = \frac{m}{n+1} \quad (1)$$

در این رابطه  $m$  شماره ردیف مشاهدات و  $n$  تعداد مشاهدات سری می‌باشد. پس از محاسبه تفاوت احتمال تجمعی برازش شده بر داده‌ها با احتمال تجمعی تجربی و با استفاده از آزمون نکویی برازش به وسیله آزمون کلموگروف - اسمیرنف، احتمالات تجمعی توزیع گاما با داشتن کمترین تفاوت نسبت به احتمالات تجمعی تجربی، به عنوان توزیع مناسب برای بارش ایستگاه‌های مورد نظر انتخاب گردید. تابع توزیع گاما به صورت زیر تعریف می‌شود (Sonmez et al, ۲۰۰۵):

$$\Gamma(x, \alpha, \beta) = \frac{x^{\alpha-1} e^{-x/\beta}}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \quad (2)$$

در این رابطه:  $x > 0$  داده‌های بارش،  $\alpha > 0$  پارامتر شکل،  $\beta > 0$  پارامتر مقیاس،  $e$  عدد نپرین، و  $\Gamma(\alpha)$  تابع گامای کامل می‌باشد. در ادامه برای برآورد پارامترها از روش بیشینه درست‌نمایی استفاده شد که از طریق معادلات زیر حاصل می‌شود (Rodrigo, ۲۰۰۹):

$$\alpha = \frac{1}{4A} \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right) \quad (3)$$

$$\beta = \frac{\bar{x}}{\alpha} \quad (4)$$

$$A = \ln(\bar{x}) - \frac{\sum \ln(x)}{n} \quad (5)$$

در روابط فوق  $n$  تعداد مشاهدات سری و  $\bar{x}$  میانگین سری می‌باشد. پارامترهای مذکور جهت محاسبه فراوانی وقوع نسبی بارش  $g(x)$  و محاسبه احتمال تجمعی وقوع بارندگی  $G(x)$  به کار برده شدند. احتمال تجمعی نظیر مقدار بارش  $x$  میلیمتر از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$G(x) = \int_0^x g(x) dx = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \int_0^x x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} dx \quad (6)$$

پس از محاسبه احتمال تجمعی نظیر مقادیر بارش  $G(x)$ ، مقادیر  $z$  استاندارد یا SPI برای هر مقدار بارش  $(x)$  از طریق فرمول‌های زیر محاسبه می‌شوند:

$$0 < G(X) \leq 0.5 \quad Z = spi = - \left[ t - \frac{C_0 + C_1 t + C_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right] \quad (7)$$

$$0.5 < G(X) \leq 1.0 \quad Z = spi = + \left[ t - \frac{C_0 + C_1 t + C_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right] \quad (8)$$

که در آن  $t$  با توجه به مقادیر  $G(x)$  از یکی از روابط زیر به دست می‌آید:

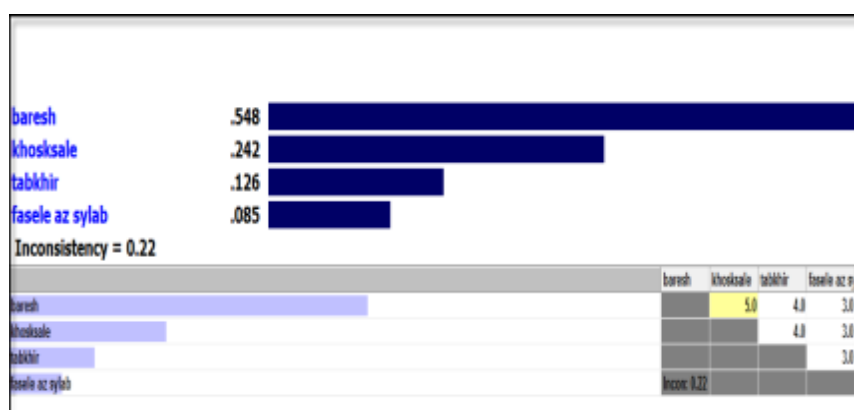
$$0 < G(X) \leq 0.5 \quad t = \sqrt{\ln \left[ \frac{1}{1.0 - (H(X))^2} \right]} \quad (9)$$

$$0.5 < G(X) \leq 1.0 \quad t = \sqrt{\ln \left[ \frac{1}{(H(X))^2} \right]} \quad (10)$$

در روابط فوق ضرایب ثابت به شرح زیر تعریف می شوند (سلیقه و همکاران، ۱۳۹۲):

$$\begin{aligned} d_1 &= 1.432788 & C_0 &= 2.515517 \\ d_2 &= 0.001308 & C_1 &= 0.802853 \\ d_3 &= 0.189269 & C_2 &= 0.010328 \end{aligned}$$

پارامترهای برآورد شده  $\alpha$  و  $\beta$  برای هر ایستگاه نیز در مقطع سالانه بدست آمده است. همچنین در ادامه از لایه‌های رقمی سیلاب، مجموع تبخیر و تعرق سالانه، موقعیت جغرافیایی شهرها و مراکز جمعیتی موجود در حوضه‌های آبریز حله و مند به صورت شیب فایل که از سازمان مراتع و جنگل‌های کل کشور اخذ شدند، برای ارزیابی پهنه‌های با خطر سیلاب و تبخیر و تعرق سالانه استفاده شده است. به همین منظور نیز لایه‌های سیلاب و مجموع تبخیر و تعرق که لایه‌های رقمی خطی بودند، بصورت جداگانه و به روش فاصله اقلیدوسی در محیط GIS پهنه‌بندی شدند. از همین رو تمام لایه‌های مورد نظر به روش AHP وزن‌گذاری و به روش فازی خطی (تابع خطی نزولی و صعودی) به لایه‌هایی با مناطق آسیب‌پذیر تبدیل شدند. بدین منظور وزن دهی لایه‌ها با استفاده از روش AHP صورت پذیرفته شده است، بطوریکه پس از پهنه‌بندی و طبقه‌بندی مناطق با خطرات آسیب‌پذیری ناشی از کمبود بارش برای آگاهی از خشکسالی و تهیه نقشه پهنه‌های سیلابی ناشی از شرایط بارندگی در حوضه‌های مورد مطالعه، اقدام به تخصیص وزن هریک از لایه‌های اطلاعاتی با روش AHP شده است (شکل ۲).



شکل (۲): جدول و نمودار وزن‌های نهایی لایه‌های مخاطره ناشی از بارش

سپس وزن لایه‌ها در محیط نرم‌افزار Expert Choice به روش ال ساعتی تعیین شد (Saaty, ۱۹۸۰). در ترکیب خطی نقشه‌های تهیه شده از انجام مراحل استاندارد سازی (صفر و یک) در روش فازی استفاده شد تا در نهایت مناطق آسیب‌پذیر شناسایی شوند. برای آماده و استاندارد سازی لایه‌ها براساس توابع خطی فازی از نرم افزار Arc/GIS استفاده شده است و برای مدل سازی، از افزونه Spatial-Analyst بهره گرفته

شد. جهت انتخاب سناریوی مناسب جهت فازی سازی لایه‌ها از شاخص‌های مختلفی نظیر بارش سالانه بیشتر، مطلوبیت بیشتر (تابع صعودی) یا درصد فراوانی خشکسالی کمتر مطلوبیت بیشتر (تابع نزولی) استفاده می‌شود که این امر بستگی اساسی به معیارهای به کار گرفته شده در شناخت مکان‌های با مخاطره آسیب‌پذیری خطرات کمبود بارش برای خشکسالی و شرایط سیلابی بودن در حوضه‌های آبریز مورد مطالعه دارد. برای تبدیل ارزش‌های هر کلاس به امتیاز، باید ارزش‌ها با یکی از توابع فازی صعودی و یا تابع عضویت فازی، نزولی باشند. بنابراین در تابع عضویت فازی صعودی هرچه مقدار معیار بالاتر باشد، امتیاز داده شده به ۱ بیشتر، نزدیک می‌شود. مثلاً ارزش‌های کلاس بارندگی بالاتر به عدد یک نزدیک‌تر و بارندگی کمتر به عدد صفر نزدیک می‌شوند. برای استاندارد کردن لایه‌ها به این روش از رابطه زیر استفاده می‌گردد که  $X_i$  لایه مورد نظر،  $X_{min}$  حداقل ارزش موجود در لایه و  $X_{max}$  حداکثر ارزش در لایه است.

$$Z_i = \frac{X_i - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad (11)$$

در روش تابع عضویت فازی نزولی، مقادیر با ارزش پایین‌تر، امتیاز بالاتر می‌گیرند. به طور مثال در مورد لایه درصد فراوانی خشکسالی، مجموع تبخیر سالانه و فاصله از پهنه‌های سیلابی، هر چه مقادیر عددی موجود در پیکسل لایه‌های مربوط کمتر باشد، ارزش آن‌ها در لایه استاندارد شده با تابع عضویت فازی بالاتر و به ۱ نزدیک‌تر است. برای استاندارد کردن لایه‌ها به این روش از رابطه زیر استفاده می‌شود (شاهپوندی و همکاران، ۱۳۹۴):

$$Z_i = \frac{X_{min} - X_i}{X_{max} - X_{min}} \quad (12)$$

البته برای لایه‌های مورد استفاده در این تحقیق، از ۴ لایه اطلاعات موجود، دو لایه خشکسالی و تبخیر سالانه، با تابع نزولی و دو لایه بارش سالانه و فاصله از پهنه‌های سیلابی با تابع صعودی، فازی سازی شده است. بنابراین در فازی سازی لایه بارش رابطه ذیل برقرار شده است:

$$Z = 0 \quad (300 \leq X)$$

$$Z = 0 - 1 \quad (600 = X < \text{ and } 300 \leq X)$$

$$Z = 1 \quad (X \geq 600)$$
(13)

در استاندارد کردن لایه درصد فراوانی خشکسالی، ارزش مناطقی را که خشکسالی بین ۵۵ تا ۶۵ درصد دارند، با فرمول نزولی استاندارد شده‌اند و مناطقی که کمتر از ۵۵ درصد فراوانی خشکسالی دارند، ارزش مساوی ۱ قرار داده شده‌اند. فرمول زیر چگونگی استاندارد کردن لایه درصد فراوانی خشکسالی بر اساس منطق فازی را نشان می‌دهد:

$$Z = 0 \quad (65 \leq X)$$

$$Z = 0 - 1 \quad (65 \leq X \text{ and } 55 \leq X)$$

$$Z = 1 \quad (X \leq 55)$$
(14)

به همین نحو نیز برای استاندارد کردن لایه تبخیر سالانه، ابتدا ارزش مناطقی را که زیر ۲۰۰ میلی متر تبخیر سالانه در حوضه های آبریز مند وحله هستند، مساوی ۱ قرار داده شدند. برای استاندارد کردن ارزش مناطقی که بین ۲۰۰ تا ۲۵۰ میلی متر تبخیر سالانه بود، از فرمول نزولی همانند لایه خشکسالی استفاده شد و ارزش مناطق بالای ۳۰۰ میلی متر تبخیر سالانه مساوی صفر قرار داده شد. بنابراین با معیارهای در نظر گرفته شده برای مخاطره کمبود بارش برای خشکسالی لایه تبخیر نیز بعنوان یک عامل محیطی تأثیرگذار در میزان تبخیر از آب های سطحی و شرایط محیطی، استاندارد سازی و بصورت فرمول زیر ارایه شده است:

$$\begin{aligned} Z &= 0 \quad (3000 \leq X) \\ Z &= 0 - 1 \quad (3000 \leq X \text{ and } 2500 \leq X) \\ Z &= 1 \quad (X \leq 2000) \end{aligned} \quad (15)$$

در نهایت برای استانداردسازی لایه پهنه های سیلابی از تابع فازی صعودی استفاده شد. فاصله از آبراهه و یا پهنه های سیلابی مواجه با خطر از جمله عوامل بسیار مهم در زمینه خطر پذیری مناطق حاشیه رودخانه ها یا بسترهای سیلابی می باشد. لذا برای این منظور منطقه مورد مطالعه به فاصله از پهنه های سیلابی تبدیل شد و لایه استاندارد سازی با تابع عضویت فازی ارایه شد. در ادامه نیز برای مناطقی که در فاصله کمتر از ۵۰۰ متر فاصله از پهنه های سیلابی بودند ارزش صفر و مناطق بالای فاصله ۲۳۰۰ متر ارزش مساوی ۱ قرار داده شد. لذا ارزش های مابین این دو مقدار نیز بعنوان ارزش های عددی صفر تا یک در نظر گرفته شده است. فرمول زیر این وضعیت را نشان می دهد:

$$\begin{aligned} Z &= 0 \quad (5000 \leq X) \\ Z &= 0 - 1 \quad (5000 \leq X \text{ and } 23000 \leq X) \\ Z &= 1 \quad (X \geq 23000) \end{aligned} \quad (16)$$

با توجه به توضیحات فوق پس از جمع نمودن تمامی نقشه های چهارگانه منطقه مورد مطالعه، نقشه نهایی آسیب پذیری منجر به خشکسالی و رخداد سیلاب در منطق AHP-Fuzzy براساس رابطه نهایی ذیل در محیط Raster Calculator در نرم افزار Arc/GIS به دست آمد.

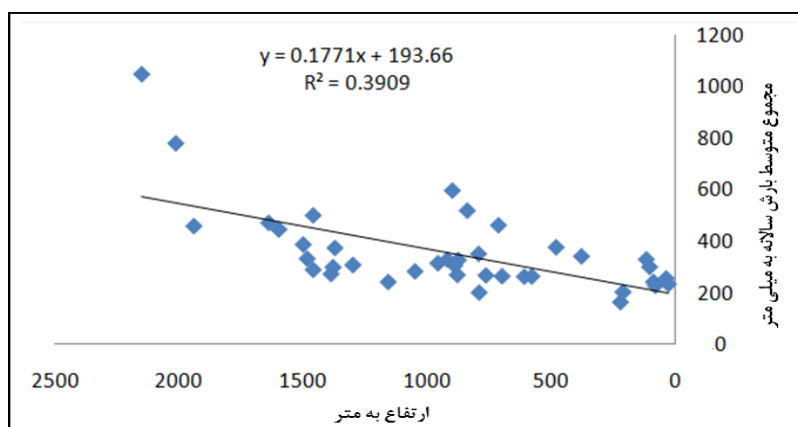
$$\text{نقشه نهایی} = (\text{بارش سالانه} \times 0,54) + (\text{خشکسالی} \times 0,24) + (\text{مجموع تبخیر} \times 0,12) + (\text{پهنه های سیلابی} \times 0,085)$$

### شرح و تفسیر نتایج

#### - رابطه بارش سالانه و ارتفاع

حوضه آبریز از اساسی ترین واحدهای طبیعی در مقیاس منطقه ای به شمار می آید که استقلال و هویت تعریف شده ای دارد (رامشت، ۱۳۸۴: ۱۸). از آنجاکه اثرات خشکسالی در یک منطقه از مکانی به مکان دیگر متفاوت می باشد، اثرات آبی آن در حوضه آبریز نمود بیشتری پیدا می کند. همانگونه که بیان شد عوامل مکانی از جمله ارتفاعات می تواند باعث تغییر در رفتار دینامیکی بارش شود. شکل (۳)، پراکنش نگار رابطه خطی بین بارش سالانه و ارتفاع بر روی مدل رقومی ارتفاع در سطح منطقه مورد مطالعه را نشان می دهد.

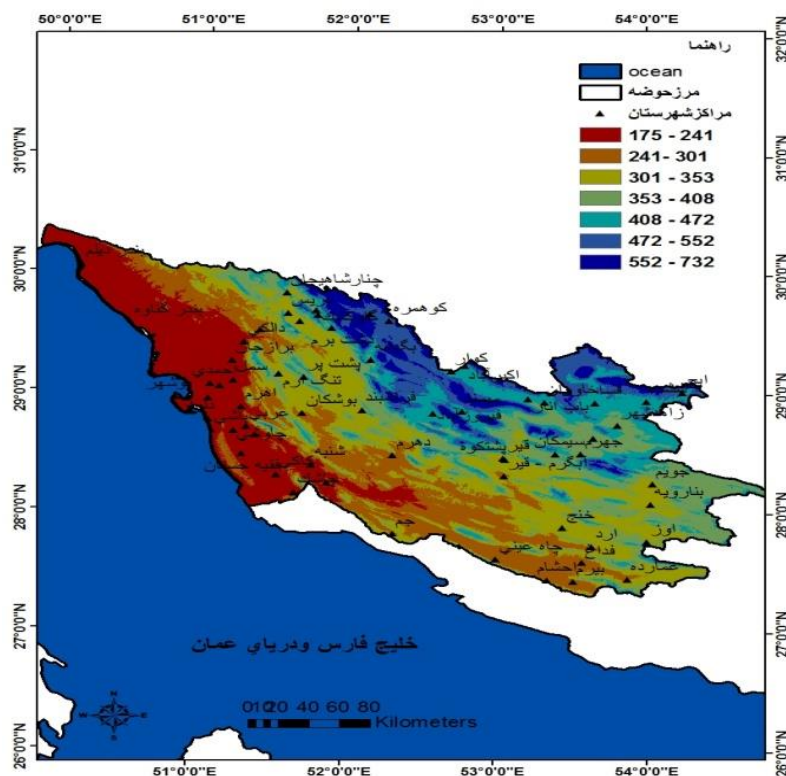




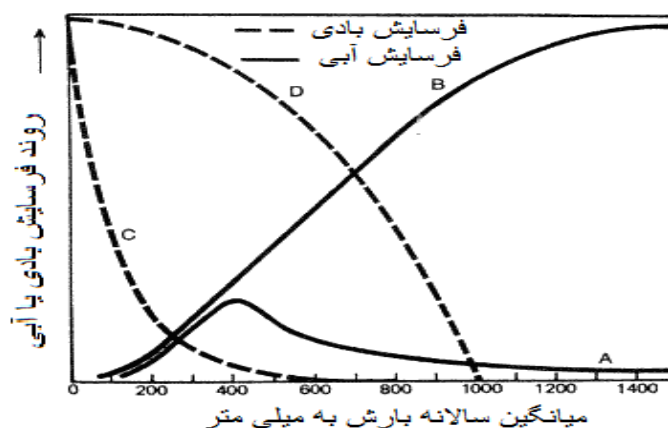
شکل ۳: رابطه بین بارش سالانه و ارتفاع

همان طور که ملاحظه می‌شود رابطه بارش با ارتفاع در سطح حوضه مربوط بصورت مثبت است. یعنی با افزایش یک واحد در ارتفاع، بارش یک میلی متر افزایش پیدا می‌کند. بر اساس مدل بارش و رابطه آن با ارتفاع می‌توان گفت مناطق شمالغرب و غرب حوضه‌های آبریز مند وحله دارای بارش بیشتری بوده و به تبع ارتفاعات در شمالشرق و شرق حوضه نسبت به مناطق غرب و مجاور با آب‌های خلیج فارس از مقدار بالاتری برخوردار است. این موضوع را می‌توان در نقشه پهنه‌بندی بارش سالانه مشاهده کرد (شکل ۴). شکل ۵ فرسایش آبی یا بادی تحت شرایط بارش سالانه را نشان می‌دهد (Marshall, ۱۹۷۳:۴۳). بر اساس این نمودار اگر میزان بارش سالانه کمتر از ۲۰۰ میلی‌متر باشد، تحت شرایط فقدان و کمبود پوشش گیاهی، فرسایش بادی مطابق با منحنی C و D به‌صورت افزایشی و یا کاهش‌ی رخ خواهد داد. مطابق با نمودار مربوطه و نقشه پهنه‌بندی مجموع متوسط بارش سالانه در حوضه‌های آبریز حله و مند، در صورت کمبود و یا تراکم پوشش گیاهی، اگر بارش سالانه در دامنه ۲۰۰ تا ۴۰۰ میلی متر در نوسان باشد، منجر به فرسایش آبی یا بادی خواهد شد. منحنی خط چین شرایط فرسایش بادی را مطابق با کم یا زیاد بودن بارش نشان می‌دهد. همچنین منحنی‌های ضحیم و ممتد A و B نیز شرایط مجموع متوسط بارش سالانه بالا یا پایین را در صورت کمبود یا تراکم پوشش گیاهی تحت شرایط فرسایش آبی و بادی نشان می‌دهد. همان طور که در نقشه پهنه بندی بارش نیز مشخص است نوار ساحلی شمال خلیج فارس از سمت شمالغرب تا حوالی جنوب و جنوبغرب نواحی مستعد فرسایش بادی و آبی هستند. چنانچه کمبود پوشش گیاهی در این مناطق ساحلی بسیار محرز باشد، شهرهای دیلم، گناوه، جم و بوشهر و سایر شهرهایی که میزان بارش آن‌ها مطابق با نمودار و پهنه بارش دارای بارش کمتری باشند، شرایط خطرناکی را در صورت فقدان پوشش گیاهی برای فرسایش دارا هستند. لذا در هماهنگی رابطه بین بارش با ارتفاع و وجود پوشش گیاهی و جنگلی مناسب که در قسمت‌هایی که مربوط به شهرستان‌ها و ایستگاه‌های باران‌سنجی در غرب استان فارس واقع هستند، شرایط خطرناکی از نظر فرسایش بادی یا آبی مطابق با نمودار و نقشه پهنه‌ای بارش نشان نمی‌دهد. به طور مثال منحنی A نشان می‌دهد که فرسایش خاک در مناطقی که دارای بارش سالانه‌ای کمتر از ۳۵۰ میلی هستند، شرایط جدی برای فرسایش دارا می‌باشند. بارش بالای ۱۰۰۰ میلی متر نیز منجر به پوشش گیاهی کامل بر روی خاک شده و حفاظ کاملی را برای حفاظت از قطرات باران و تاثیر بر روی فرسایش دارد. مناطق با بارش بین این دو مقدار بیان شده نیز مستعد فرسایش آبی شدید با توجه به نوع و تراکم پوشش گیاهی دارا هستند. همان طور که بیان شد منحنی A نشان می‌دهد که تحت شرایط پوشش گیاهی طبیعی، اوج پتانسیل فرسایش در مناطقی است که

بارش بین ۳۰۰ تا ۵۰۰ میلی متر داشته و در مناطق نیمه خشک واقع هستند، می‌باشد. چنانچه پوشش گیاهی موجود نباشد و یا اینکه دارای تراکم اندکی باشد، منحنی‌های B و D در فرسایش‌های آبی و بادی بصورت صعودی افزایش می‌یابند و در صورت وجود پوشش گیاهی و شرایط بارندگی متوسط و بالا در یک منطقه منحنی‌های A و C در فرسایش‌های آبی و بادی بصورت نزولی کاهش می‌یابند. این وضعیت را می‌توان از مقایسه بین نقشه پهنه‌بندی بارش سالانه حوضه‌های شمالی خلیج فارس با نمودار مربوط، ارزیابی نمود.



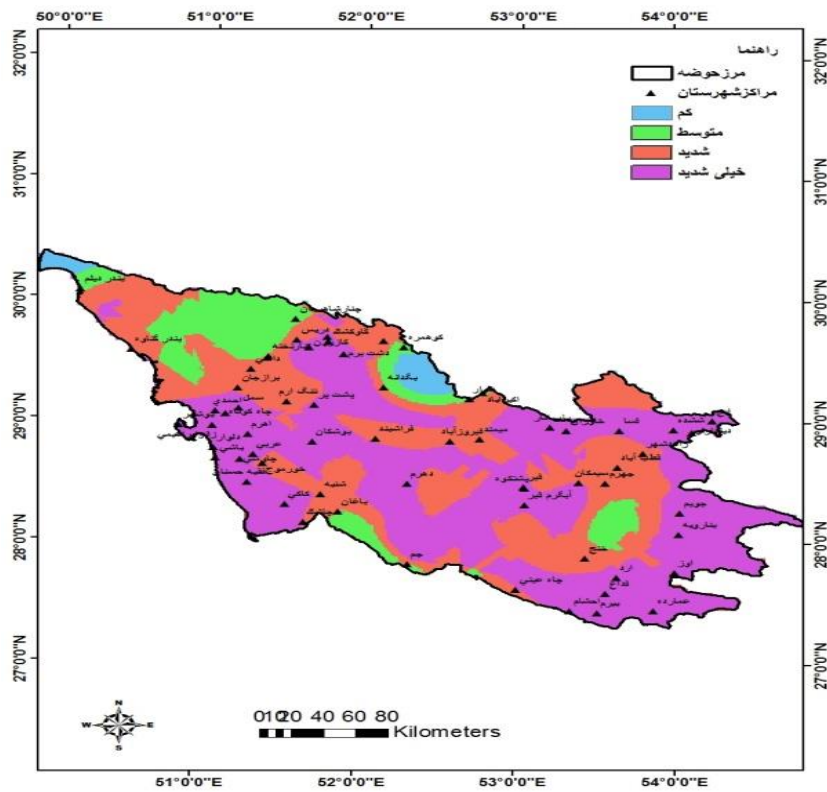
شکل ۴: پهنه بندی مجموع بارش سالانه و ارتفاع



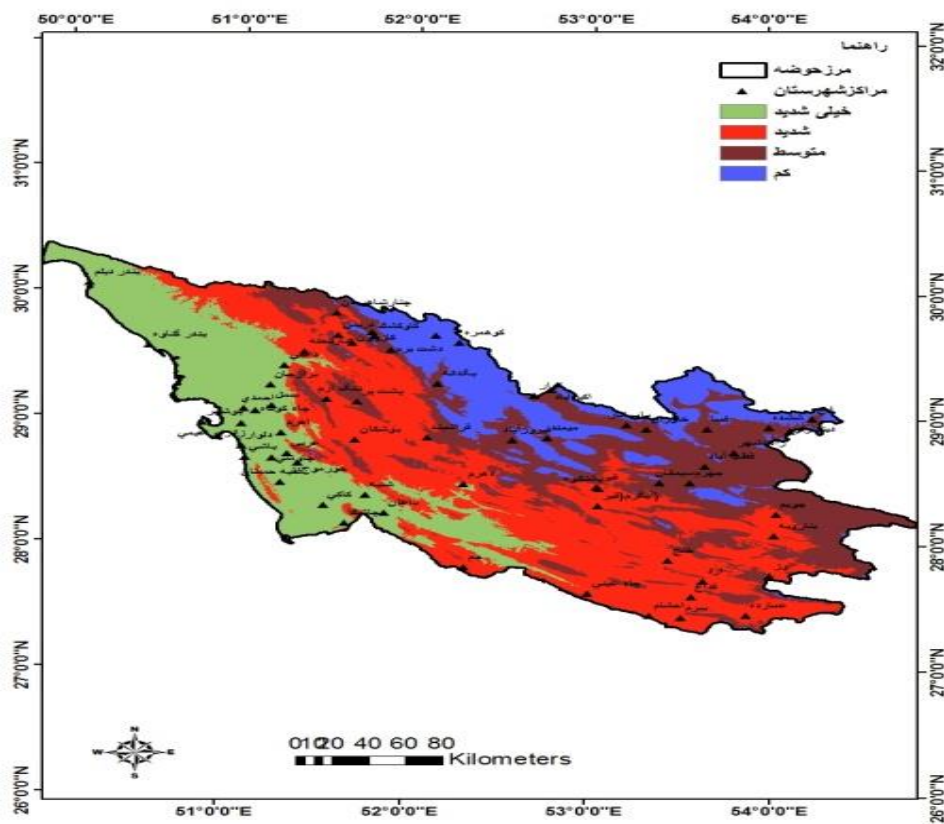
شکل ۵: نمودار فرسایش آبی و بادی (مارشال، ۱۹۷۳)

## - پهنه های خشکسالی

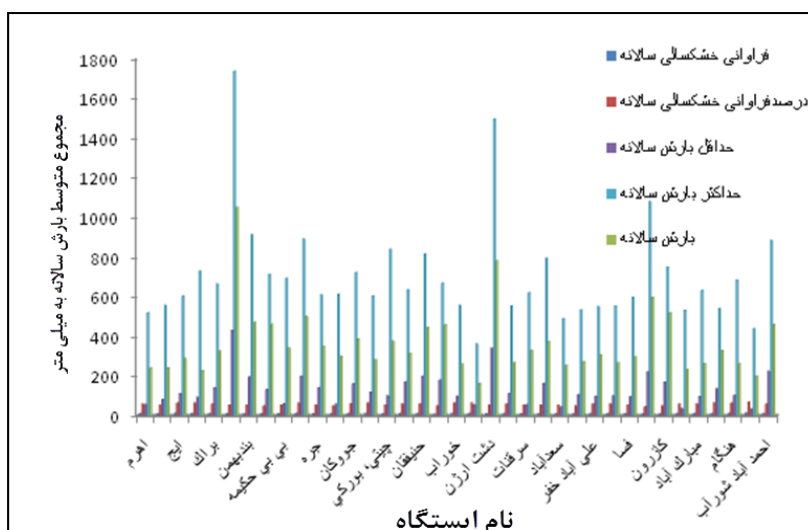
شکل ۶ نقشه ترکیبی مخاطرات بارشی منجر به خشکسالی را نشان می‌دهد. در این طبقه بندی ملاحظه می‌شود که مناطق آسیب پذیر از نظر بارش سالانه در بخش ساحلی خلیج فارس واقع شده که میزان بارش سالانه دریافتی آن‌ها کمتر از ۳۰۰ میلی‌متر است. طبقات با آسیب پذیری شدید و خیلی شدید از نظر خشکسالی نیز کرانه های ساحلی و مناطق غرب و شمال غرب و جنوب حوضه حله را در برمی‌گیرد. بطور اساسی از ترکیب و مقایسه نقشه شدیدترین خشکسالی که در ۲۰ سال اخیر از سال ۱۳۷۱-۱۳۹۰ رخ داده است و با احتساب پایه مشترک آماری برای تهیه نقشه- های پهنه بندی در ایستگاه های حوضه به چند ویژگی مهم و کلی دست می‌یابیم. بخش غرب و شمال غرب و جنوب حوضه آبریز حله در محدوده استان بوشهر دارای بیشترین میزان وقوع مخاطرات کمبود بارش (خشکسالی) است. به عبارتی مناطق ساحلی و محدوده های شمالی خلیج فارس و شمال غرب که شهرهای بوشهر، گناوه، جم، دیلم و سایر شهرهای استان بوشهر تا حوالی شهرستان برازجان در بخشی اعظمی از حوضه مشترک آبریز مند و حله، مخاطره آمیزترین مناطق از لحاظ بارش دریافتی سالانه برای وقوع رخداد کمبود بارش در مواقع کم آبی و خطرات ناشی از خشکسالی در شرایط بحران آب، و همچنین کمبود پوشش گیاهی مناسب باعث رخداد فرسایش محسوب می‌گردند. در مجموع ۶۰ درصد منطقه از نظر دریافت بارش سالانه با توجه به طبقه بندی آن‌ها در شدت‌های آسیب پذیری مختلف در پهنه خیلی شدید و شدید کمبود بارش هستند. همچنین حدود ۴۰ درصد در محدوده با شدت آسیب پذیری متوسط و کم قرار دارند. شکل ۷ پهنه بندی و طبقه بندی درصد فراوانی خشکسالی سالانه را نشان می‌دهد. بر اساس این نقشه حدود ۵۱ درصد از محدوده مورد مطالعه در پهنه های درصد فراوانی خشکسالی خیلی شدید هستند که در تمامی مناطق به جز بخش کوچکی از مناطق پربارش دو حوضه واقع می‌باشند. تنها ۱۳ درصد از محدوده های مورد مطالعه در معرض درصد فراوانی خشکسالی های متوسط و کم در ۲۰ سال اخیر واقع می‌باشند. بر اساس نقشه پهنه بندی شده خشکسالی، شمال شرق و شرق محدوده مورد مطالعه به نوعی در ردیف آسیب پذیری متوسط و کم از نظر رژیم بارش و مخاطره ناشی از خشکسالی با توجه به نقشه های مربوط می‌باشند. شهرستان های قائمیه، کازرون و محدوده های وسیعی از دشت برم با پوشش جنگلی مناسب، کوهمره، فیروزآباد و میمند در این محدوده واقع هستند. با توجه به نقشه شدیدترین خشکسالی که در سال ۱۳۷۲ در محدوده مورد مطالعه و به روش SPI بدست آمده است، محدوده های بیان شده نیز دستخوش خشکسالی گسترده ای شده اند. بررسی نمودار حداقل و حداکثر بارش سالانه، بارش سالانه، فراوانی خشکسالی و درصد فراوانی خشکسالی نشان می‌دهد که ایستگاه هایی که دارای بارش سالانه کمتر از ۳۵۰ میلی متر هستند، شرایط حادی از نظر وقوع خشکسالی دارند (شکل ۸). به طوری که که ملاحظه می‌شود ایستگاه ها و شهرستان- های مربوط به آن‌ها که در محدوده حوضه آبریز حله در استان بوشهر واقع می‌باشند از نظر خطرات ناشی از کمبود بارش و شرایط خشکسالی دارای پتانسیل آسیب پذیری بیشتری هستند.



شکل ۶: پهنه بندی و طبقه بندی مجموع بارش سالانه



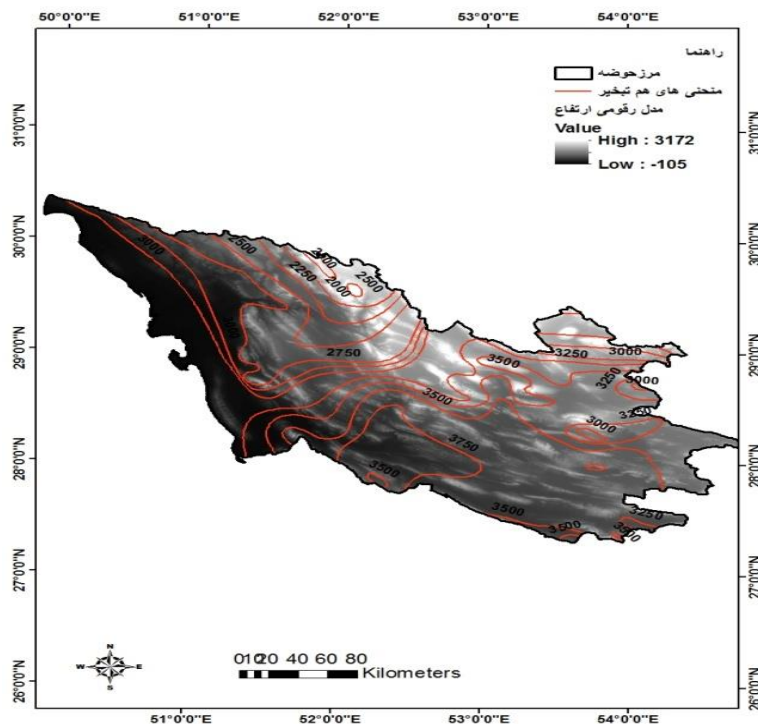
شکل ۷: پهنه بندی و طبقه بندی درصد فراوانی خشکسالی سالانه



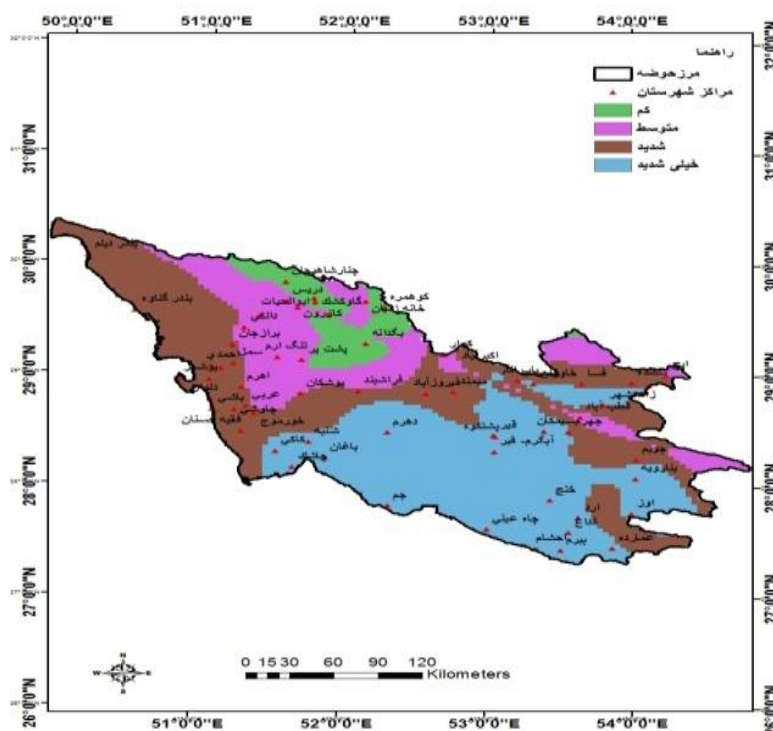
شکل ۸: ویژگی‌های بارشی و خشکسالی ایستگاه‌های منطقه

#### پهنه‌های تبخیر سالانه

تبخیر-تعرق گیاهان تحت تأثیر عوامل هواشناسی، گیاهی و شرایط مدیریتی و محیطی قرار دارد. عوامل هواشناسی مؤثر در تبخیر شامل تابش، درجه حرارت هوا و سرعت باد می‌باشد (بلیانی، ۱۳۸۸). از آنجا که تبخیر تحت شرایط محیطی از جمله دما، تابش و سرعت باد، می‌تواند باعث تبخیر سطح آب‌ها شود و میزان بارش دریافتی در برخی از مناطق را دستخوش دگرگونی نماید، به‌عنوان یک عامل محیطی مؤثر در حوضه‌های آبریز مند و حله مورد تحلیل و ارزیابی قرار گرفته است. چنانچه از نقشه ترکیبی منحنی هم تبخیر و ارتفاع بر می‌آید، مناطق با ارتفاعات کم در نوار ساحلی خلیج فارس، همانند بخش مخاطرات ناشی از کمبود بارش و خطرات خشکسالی دارای تبخیر سالانه بالایی هستند. میزان انطباق ارتفاعات برای تعدیل شرایط دمایی و تبخیر از سطوح محیطی در بخش‌های شرقی و شمال شرقی حوضه‌های آبریز مورد مطالعه حاکی از تبخیر سالانه پایین‌تر نسبت به محدوده‌های دیگر منطقه مورد مطالعه است. با عنایت به موارد بیان شده می‌توان دریافت که مناطق با منحنی‌های هم تبخیر سالانه ۳۰۰۰ میلی‌متر و بیشتر در محدوده‌های استان بوشهر و شهرستان‌هایی که در حوضه حله و بخشی از مند واقع هستند، دارای تبخیر بیشتری در طول سال می‌باشند (شکل ۹). نقشه پهنه‌بندی و طبقه‌بندی شده مجموع تبخیر سالانه نیز حاکی از شدت‌های خیلی شدید و شدید در قسمت‌های غرب، شمال‌غرب و جنوب‌غرب محدوده مورد مطالعه است (شکل ۱۰). این محدوده‌ها در مجموع حدود ۵۲ درصد منطقه را تحت سیطره خود دارند. مناطق با مجموع تبخیر سالانه کمتر از ۲۰۰۰ میلی‌متر مشرف بر ارتفاعات بالای ۳۰۰۰ متر که در بخش شرقی و گوشه شمال‌شرق حوضه آبریز مند واقع شده، قرار دارند. این موضوع می‌تواند ناشی از قرارگیری ارتفاعات کوهستانی منطقه در این محدوده باشد. لذا شهرستان‌های موجود در این محدوده از جمله دشت ارژن، قائمیه و بخش‌هایی از خانه زنیان و سایر پهنه‌هایی که در محدوده آسیب‌پذیری کمتر واقع هستند، از جمله این مناطق می‌باشند. با این تفاسیر لزوم استفاده از اصول اساسی پدافند غیرعامل و سازگاری اقلیمی (انعطاف‌پذیری) برای پیشبرد اهداف خرد و کلان در برنامه ریزی محیطی در محدوده حوضه‌های آبریز امری الزامی به‌نظر می‌رسد.



شکل ۹: انطباق منحنی های هم تبخیر سالانه با ارتفاع



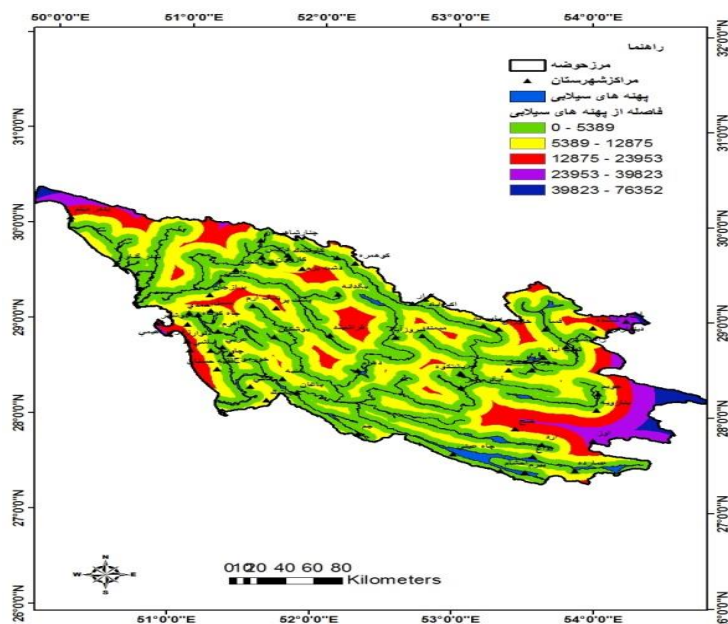
شکل ۱۰: پهنه بندی و طبقه بندی مجموع تبخیر سالانه

#### پهنه های خطر سیلاب

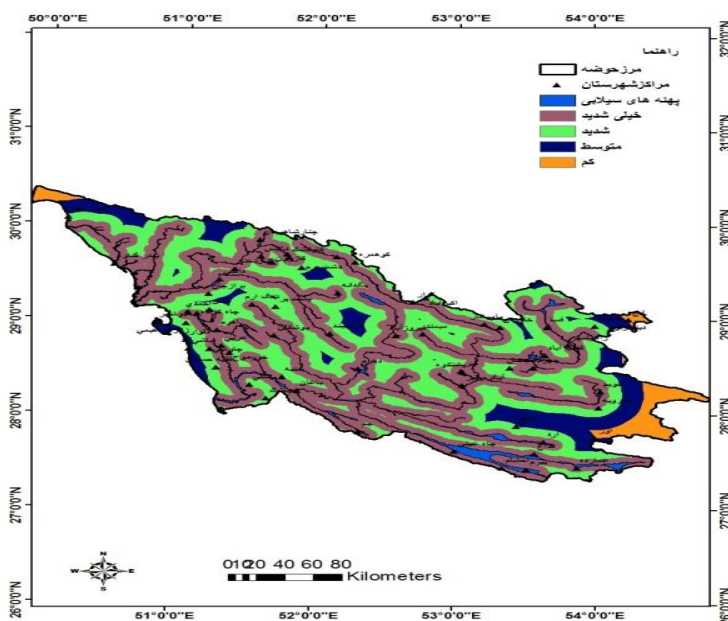
شکل های ۱۱ و ۱۲ فاصله اقلیدوسی از محدوده پهنه های سیلابی و طبقه بندی فواصل مورد نظر از این پهنه ها را در شدت های آسیب پذیری خیلی شدید، شدید، متوسط و کم نشان می دهد. نقشه های فاصله و طبقه بندی شدت آسیب پذیری ناشی از وقوع سیل در مناطق در معرض این مخاطره بیانگر این واقعیت است که از لحاظ پهنه ای، اکثر مناطق



مواجهه با خطر می‌باشند. بیشترین مساحت محدوده‌ها یا به عبارتی وسعت پهنه‌های سیل خیر بازم در بخش های غرب و جنوب غرب حوضه حله و در محدوده منتهی الیه جنوب غربی یعنی در شهرستان‌های خنج، لار و چاه عباسی قابل مشاهده است. وسعت این پهنه‌های سیلابی حدود ۱۱۱۳ کیلومتر مربع می‌باشد. فاصله اقلیدوسی مربوط به فاصله از پهنه‌های سیلابی گویای این واقعیت است که طیف‌های رنگی در آستانه عددی ۵۳۸۹ تا ۲۳۹۵۳ متر در معرض خطرات خیلی شدید و شدید واقع می‌باشند. نقشه خطر سیل بیشتر از هر عاملی تحت تأثیر عوامل فاصله از بستر رودخانه‌ها و شیب سطحی است. مطابق با نقشه پهنه‌بندی پهنه‌های سیلابی، محدوده‌های کوهستانی و پرشیب در جاهایی که مواجهه با تخریب پوشش گیاهی و مراتع همراه باشند، شرایط سیل خیزی را بحرانی‌تر خواهند ساخت (شمسی پور، ۱۳۸۹).



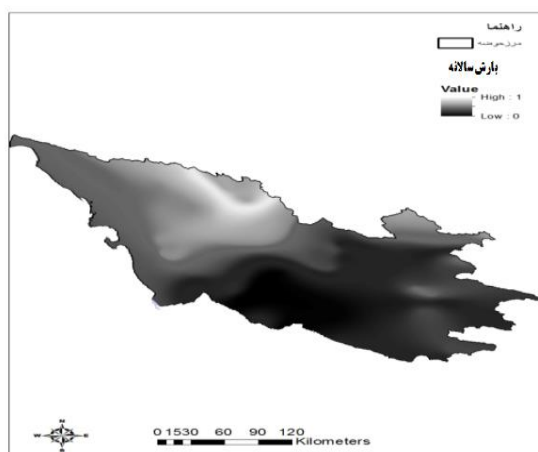
شکل ۱۱: پهنه‌بندی فاصله از پهنه‌های سیلابی



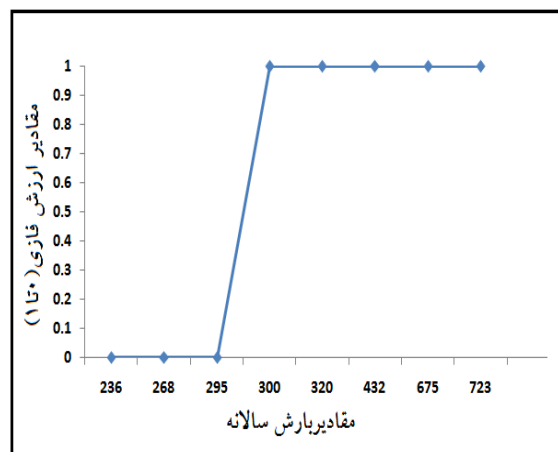
شکل ۱۲: طبقه‌بندی فاصله از پهنه‌های سیلابی

## - نقشه فازی پهنه های آسیب پذیر

اشکال ۱۳ و ۱۴ نقشه (تابع عضویت فازی صعودی) وضعیت بارش را در منطقه مورد مطالعه نشان می دهد. بنابراین با توجه به اهمیت بارش در مصارف بهینه کشاورزی و منابع آب شرب در منطقه شمالی خلیج فارس لایه بارش سالانه با توجه به دامنه بارشی برای کشت یک نوع محصول (گندم دیم) در زمینه اقتصادی منطقه مورد مطالعه فازی سازی شده است. همانگونه که می توان دید مناطق مناسب با میزان بارش بالا در بخش های شرقی و شمال شرقی منطقه می باشد. این وضعیت را می توان در دامنه (۱ تا ۰) بر روی نمودار و نقشه مورد نظر ملاحظه نمود.



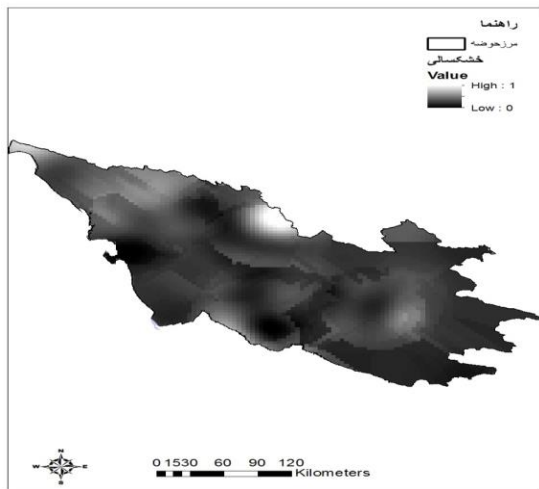
شکل ۱۴: نقشه استاندارد شده بارش به روش فازی



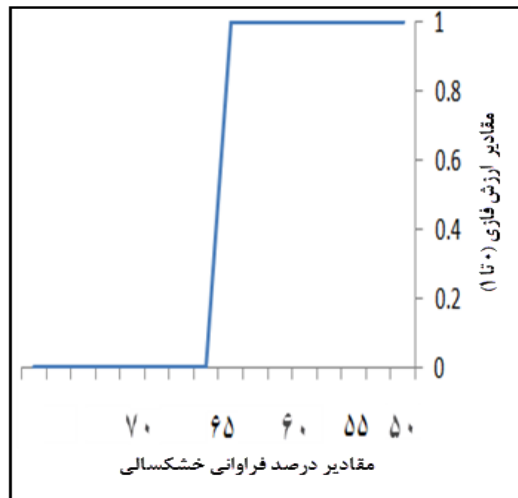
شکل ۱۳: نمودار تابع عضویت فازی بارش سالانه حوضه های آبریز

با توجه به اهمیت خشکسالی نیز می توان نقشه فازی خشکسالی را بعنوان یک متغیر کلیدی در میزان آسیب پذیری اقلیمی یک منطقه لحاظ نمود. برای اینکه خطرات خشکسالی به محصولات و بازده آنها در کشت گندم دیم در یک منطقه آسیب نرساند، حداقل بارش سالانه مطلوب باید در آستانه ۳۰۰ میلی متر و بالاتر در سطح منطقه و ایستگاهها یا شهرهای واقع در این پهنه قرار داشته باشد (رستگار، ۱۳۷۱: ۸۵). اشکال ۱۵ و ۱۶ وضعیت نقشه فازی خشکسالی مورد نظر را بخوبی به تصویر می کشند. همانگونه که دیده می شود دامنه تغییرات آسیب پذیری خشکسالی در سراسر پهنه مورد مطالعه پراکنده می باشد. اما مناطق منتهی به بخش غرب و جنوب غرب و مجاور با سواحل خلیج فارس از شدت و فراوانی خشکسالی بالاتری برخوردار هستند.

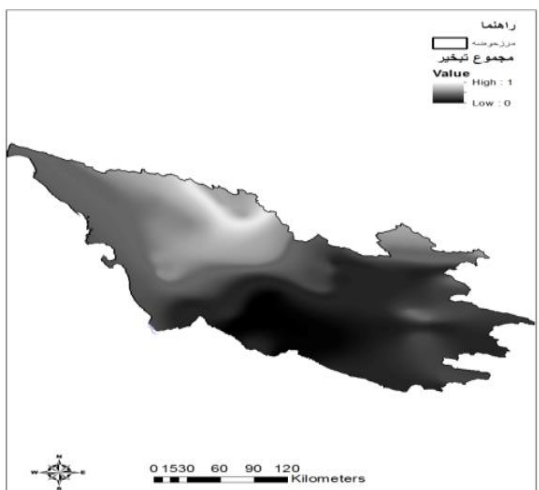




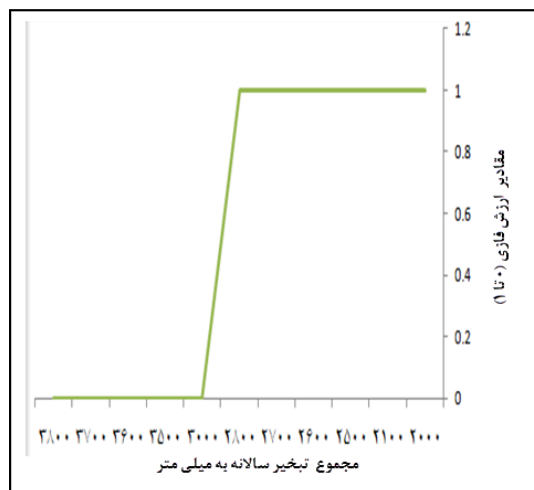
شکل ۱۶: نقشه استاندارد شده خشکسالی به روش فازی



شکل ۱۵: نمودار تابع عضویت فازی خشکسالی حوضه های آبریز



شکل ۱۸: نقشه استاندارد شده تبخیر به روش فازی



شکل ۱۷: نمودار تابع عضویت فازی تبخیر

مطابق با موارد قبل اشکال ۱۷ و ۱۸ نقشه و نمودار فازی مربوط به لایه تبخیر سالانه را نشان می دهند. بنابراین با معیارهای در نظر گرفته شده برای مخاطره کمبود بارش برای خشکسالی لایه تبخیر نیز بعنوان یک عامل محیطی تأثیرگذار در میزان تبخیر از آبهای سطحی و شرایط محیطی، می تواند دارای اهمیت باشد. همانگونه که می توان ملاحظه نمود مناطقی که در موارد قبل و در حاشیه غربی و جنوب غربی منطقه مورد مطالعه و در حوضه آبریز حله در استان بوشهر هستند، از میزان تبخیر سالانه بالاتری برخوردار می باشند. مناطقی که در نقشه بصورت زمینه سفید مشاهده می شود شرایط بسیار مناسب تری را نسبت به سایر مناطق دارا هستند. همچنین بر روی نمودار مربوط نیز هرچه مقادیر تبخیر سالانه کمتر باشد، دارای وضعیت مناسب تری هستند. در نهایت برای استانداردسازی لایه پهنه های سیلابی از تابع فازی نزولی استفاده شده است. فاصله از آبراهه و یا پهنه های سیلابی مواجه با خطر از جمله عوامل بسیار مهم در زمینه خطر پذیری مناطق حاشیه رودخانه ها یا بسترهای سیلابی می باشد. اشکال ۱۹ و ۲۰ نقشه و

نمودار فازی شده فاصله از پهنه های سیلابی را به تصویر می کشند. با توجه به نقشه مورد نظر اکثر مناطق مورد مطالعه دارای پتانسیل آسیب پذیری سیلاب هستند. اما باید دقت نمود که هرچه فاصله مناطق از حاشیه این پهنه ها بیشتر باشد دچار مخاطره کمتری خواهند شد. بنابراین باید دقت نمود مناطقی که در حاشیه پهنه های سیلابی واقع می باشند، لازم است که با مدیریت صحیح و بهینه سیلاب از خطر موجود فرصتی ساخته و با اجرای طرح های آبخیزداری و آبخوان داری به اهداف سازگار با خطرات موجود دست یابند.

به همین نحو نیز برای استاندارد کردن لایه تبخیر سالانه، ابتدا ارزش مناطقی را که زیر ۲۰۰۰ میلی متر تبخیر سالانه در حوضه های آبریز مند وحله دارند، مساوی ۱ قرار داده شد. برای استاندارد کردن ارزش مناطقی که بین ۲۰۰۰ تا ۲۵۰۰ میلی متر تبخیر سالانه بود از فرمول نزولی همانند لایه خشکسالی استفاده شد و ارزش مناطق بالای ۳۰۰۰ میلی متر تبخیر سالانه مساوی صفر قرار داده شد (شکل های ۱۶ و ۱۷).

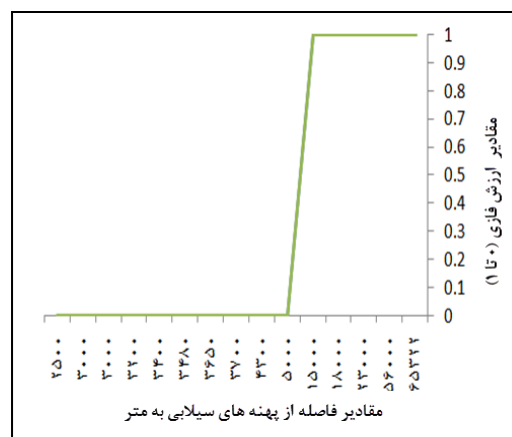
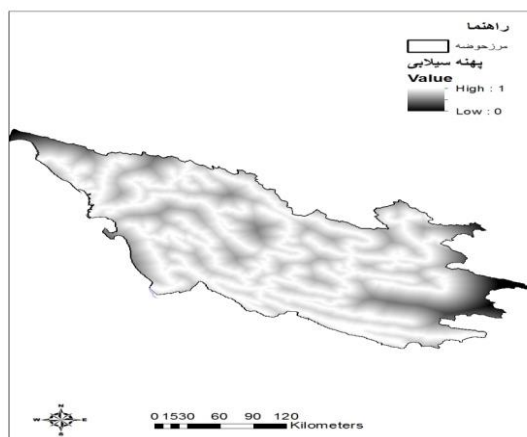
بنابراین با معیارهای در نظر گرفته شده برای مخاطره کمبود بارش برای خشکسالی لایه تبخیر نیز بعنوان یک عامل محیطی تأثیرگذار در میزان تبخیر از آب های سطحی و شرایط محیطی، استاندارد سازی این لایه نیز با توجه به نمودار بالا و فرمول زیر صورت گرفت:

$$Z = 0 \quad (3000 \leq X)$$

$$Z = 0 - 1 \quad (3000 < X \text{ and } 2500 \leq X)$$

$$Z = 1 \quad (X < 2000)$$

در نهایت برای استانداردسازی لایه پهنه های سیلابی از تابع فازی نزولی استفاده شد. فاصله از آبراهه و یا پهنه های سیلابی مواجه با خطر از جمله عوامل بسیار مهم در زمینه خطر پذیری مناطق کنار رودخانه ها یا بسترهای سیلابی می باشد. لذا برای این منظور منطقه مورد مطالعه به پهنه فاصله از پهنه های سیلابی تبدیل شد و لایه استاندارد سازی با تابع عضویت فازی به شکل نقشه و نمودار زیر ارایه شد (شکل های ۱۸ و ۱۹).



شکل ۱۹: نقشه استاندارد شده پهنه های سیلابی به روش فازی

شکل ۱۸: نمودار تابع عضویت فازی پهنه های سیلابی

برای این منظور نیز فرمول زیر برای مناطقی که در فاصله کمتر از ۵۰۰۰ متر بودند ارزش صفر و مناطق بالای فاصله ۲۳۰۰۰ متر ارزش مساوی ۱ قرار داده شد. لذا ارزش های مابین این دو مقدار نیز بعنوان ارزش های عددی صفر تا یک در نظر گرفته شده است. فرمول زیر این وضعیت را نشان می دهد:

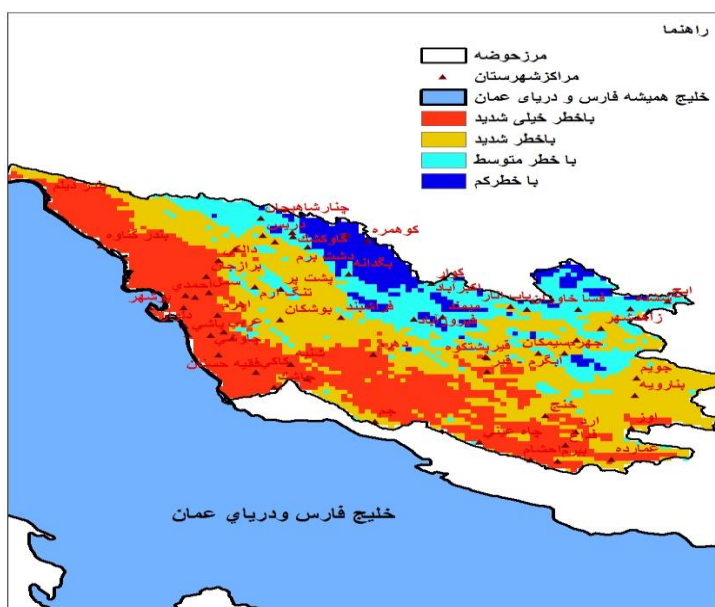
$$Z = 0 \quad (5000 \leq X)$$

$$Z = 0 - 1 \quad (5000 \leq x \text{ and } 23000 \leq x)$$

$$Z = 1 \quad (x > 23000)$$

#### پهنه‌های آسیب پذیر مخاطرات

نقشه نهایی حاصل از پهنه بندی مخاطرات بارشی منجر به خشکسالی و سیلاب در منطقه مورد مطالعه حاکی از چهار پهنه مخاطره آمیز می باشد (شکل ۲۰). چنانچه مشاهده می شود مناطق مجاور با سواحل خلیج فارس در حوضه آبریز حله از جمله آسیب پذیرترین مناطق شناسایی شده است.



شکل ۲۰: نقشه نهایی پهنه های آسیب پذیر ناشی از خشکسالی و سیل

پهنه اول مناطق با آسیب پذیری خطر کم: این پهنه به دلیل دارا بودن شرایط اقلیمی بسیار مناسب در طول فصول بارش، دارای مناطق با آسیب پذیری مخاطره بارشی منجر به خشکسالی و همچنین خطر کمتر بارش منجر به سیلاب است. مساحت این پهنه حدود ۱۲ درصد از کل منطقه را در بر می گیرد. از جمله نماینده این ناحیه می توان به شهرستان کازرون، که دارای بالاترین عملکرد دیم خیزی از نظر اقلیمی (رژیم بارش) در سطح منطقه می باشد، اشاره نمود.

پهنه دوم مناطق با آسیب پذیری خطر متوسط: این مناطق شرایط ضعیف تری را نسبت به پهنه با خطر کم دارا می باشند. به طور مثال با کشت گندم دیم در این مناطق می توان عملکرد نسبتاً خوبی را از آنها انتظار داشته باشیم. این منطقه حدود ۱۸ مساحت را در بر گرفته است.

پهنه سوم مناطق با آسیب پذیری خطر شدید (از منظر خشکسالی و وقوع سیلاب): این مناطق دارای پتانسیل اقلیمی (بارش) پایین تری نسبت به پهنه های اول و دوم هستند و محدوده های نسبتاً قابل توجهی را از خط مرزی استان بوشهر در حوضه آبریز حله در بر گرفته اند. لذا وقوع خشکسالی های مداوم و کمبود بارش می تواند موجب آسیب پذیری بالای این مناطق شود. وقوع رخداد سیلاب نیز در این پهنه می تواند باعث آسیب پذیری با خطرات شدید بدون توجه به برنامه ریزی اصولی در زمینه آمایش سرزمین شود. از جمله این مراکز جمعیتی می توان به شهرهای برازجان و حوالی بی بی حکیمه و گناوه اشاره نمود. این مناطق مساحتی حدود ۲۸ درصد با خطر شدید را تحت پوشش دارند.

پهنه چهارم مناطق آسیب پذیری با خطر خیلی شدید (از منظر خشکسالی کشاورزی و وقوع سیلاب): به عنوان یک نمونه کاربردی، به دلیل عدم شرایط اقلیمی نامناسب، کشت گندم دیم در این مناطق مقرون به

صرفه نیست. این مناطق با توجه به نقشه های بدست آمده مناطق وسیعی از استان بوشهر و مجاور با سواحل خلیج فارس را در قسمت های شمال غربی، غرب و شهرهای بوشهر، جم، دیلم و اهرم را در بر می گیرند.

### نتیجه گیری

با وجود پیشرفت های قابل توجه سالیان اخیر در علوم و فن آوری های مختلف، هنوز بشر در مواجهه با مخاطرات محیطی تهدید کننده مراکز جمعیتی، ناتوان است. برنامه ریزی و مدیریت علمی در زمینه پیش-آگاهی از بروز چنین حوادث ناگواری، می تواند کمک شایان توجهی در جلوگیری از رخداد خسارات ناشی از مخاطرات طبیعی به کانون های جمعیتی داشته باشد. در پژوهش حاضر، دو نوع از عمده ترین مخاطرات محیطی یعنی سیل و خشکسالی در جهت شناسایی پهنه های آسیب پذیر مخاطره بارش در حوضه های آبریز مند و حله مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور لایه های مکانی-توصیفی پارامترهای دخیل یعنی بارش، خشکسالی، تبخیر سالانه و پهنه های سیلابی در نرم افزار ArcGIS وارد شده و با بهره گیری از روش ترکیب خطی وزنی (WLC)، لایه های مذکور وزن گذاری و تلفیق شدند و در نهایت پهنه های آسیب پذیر مخاطره بارش در حوضه های آبریز مند و حله شناسایی شدند. بر اساس نتایج بدست آمده مناطق شرقی، شمال شرق و تا حدودی جنوب شرق حوضه های محدوده آبریز مند، مناسب ترین مناطق بارشی و به عبارتی کم خطرترین مناطق آسیب پذیر محیطی شناخته شدند. بر این اساس مشخص شد با گذر از مناطق غربی و رفتن به مرکز منطقه مورد مطالعه و همچنین بخش های شرقی، میزان بارش سالانه و توزیع زمانی رژیم بارش در طول سال منظم تر می شود. شهرهای واقع در این محدوده کازرون، چنارشاهیجان (قائمیه)، فیروزآباد، محدوده های دشت برم و بخش هایی از خانه زنیان و دشت ارژن می باشند. عرض جغرافیایی پایین، مجاورت با آب های گرم خلیج فارس در سواحل بندر بوشهر و شهرهای ساحل نشین از جمله گناوه، دیلم، بوشهر، باغان و محدوده های جنوبی دورتر از آبها از جمله لار، خنج، اوز و غیره با بارش سالانه اندک و دمای بالا در طول فصل گرم باعث تبخیر و شرایط نامناسب محیطی شده است. با توجه به نتایج نهایی از این تحقیق می توان دریافت که مناطق منتهی به حوضه های آبریز مند در بخش های جنوبی و حوضه آبریز حله در استان بوشهر در نوار ساحلی خلیج فارس مواجه با آسیب پذیری بیشتری هستند. اگرچه مطالعه حاضر وضعیت مخاطره بارشی منجر به خشکسالی و ایجاد پهنه های سیلابی را برای اولین بار در منطقه به تصویر می کشاند؛ لذا نتایج حاصل از این تحقیق با نتایج سایر پژوهشگران مطابقت می نماید. لذا از دستاوردهای این تحقیق در مقایسه و هماهنگی با سایر تحقیقات می توان متوجه شد که محدوده های غرب، شمال غرب، جنوب و جنوب غرب حوضه مورد مطالعه در بخش حوضه آبریز حله که منتهی به بخش اعظمی از استان بوشهر می شود، در پهنه آسیب پذیری خیلی شدید و همراه با فقدان بارش سالانه مناسب برای مصارف شرب و تولیدات کشاورزی و در نتیجه مواجه با تغذیه نامناسب سفره های آب زیر زمینی می باشند.

### تشکر و قدردانی

در پایان از جناب آقای دکتر علی بلیانی کارشناس مسئول آبخیزداری اداره منابع طبیعی و آبخیزداری شهرستان کازرون برای راهنمایی های لازم در راستای غنای مقاله - در زمینه تهیه برخی از نمودارها (از جمله نمودار مارشال) - کمال تشکر و قدر دانی را داریم.

## منابع

- اصفهانی، محمدمهدی. ۱۳۷۲. تغذیه و امدادهای غذایی در دشواری‌ها و بلایا، دفتر مطالعات و برنامه‌ریزی شهر تهران. اولین کنفرانس مخاطرات طبیعی شهری.
- بلیانی، سعید و محمد سلیقه. ۱۳۹۵. تحلیل و استخراج الگوهای جوی منجر به بارش‌های سنگین روزانه منطقه شمالی خلیج فارس مطالعه موردی: حوضه‌های آبریز حله و مند. *نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، ۲: ۷۹-۹۸.
- بلیانی، یدالله. ۱۳۸۸. بررسی شرایط اقلیمی کشت گندم دیم در استان فارس. پایان کارشناسی ارشد، گروه جغرافیا، دانشگاه زنجان.
- بیضایی، وحید و حسین محمدی. ۱۳۸۲. بررسی اثرات خشکسالی‌های اخیر بر منابع آب زیرزمینی دشت نیشابور. پایان نامه کارشناسی ارشد جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.
- حبیبی، کیومرث. ۱۳۸۹. بهسازی و نوسازی بافت‌های کهن شهری. چاپ دوم. انتشارات انتخاب، تهران.
- حیدری، حسن و رشید سعیدآبادی. ۱۳۸۶. ناحیه‌بندی سوز باد شمال غرب و غرب ایران. *پژوهش‌های جغرافیایی*، ۶۲: ۹۳-۱۰۷.
- خالدی، شهریار. ۱۳۸۰. *بلاای طبیعی*. چاپ اول. انتشارات دانشگاه شهید بهشتی، تهران.
- رامشت، حسین. ۱۳۸۴. *نقشه‌های ژئومورفولوژی نمادها و مجازها*. چاپ اول. سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی دانشگاه‌ها (سمت)، تهران.
- رستگار، محمد علی. ۱۳۷۱. *دیمکاری*. چاپ اول. انتشارات برهمند، تهران.
- سلیقه، محمد؛ حسین عساکره؛ محمد حسین ناصر زاده و یدالله بلیانی. ۱۳۹۴. تحلیل روند و چرخه‌های سری زمانی بارش سالانه حوضه‌های آبریز حله و مند. *نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۳۷: ۲۴۵-۲۷۲.
- سلیقه، محمد؛ علی بیات؛ یدالله بلیانی و مهدی دوستکامیان. ۱۳۹۲. ارتباط الگوی نوسان اطللس شمالی با خشکسالی‌های استان فارس. *مجله اندیشه جغرافیایی*، ۱۳: ۲۳-۴۴.
- شاهیوندی، مسلم؛ شهریار خالدی؛ علیرضا شکیبیا و بابک میرباقری. ۱۳۹۲. پهنه‌بندی اقلیم کشاورزی ذرت دانه‌ای در استان لرستان با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی. *نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۲۹: ۹۵-۲۱۴.
- شمسی‌پور، علی اکبر و محمد شیخی. ۱۳۸۹. پهنه‌بندی و مناطق حساس به آسیب‌پذیری در غرب ناحیه استان فارس. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۷۳: ۶۸-۵۳.
- صفوی، حمیدرضا. ۱۳۸۵. *هیدرولوژی مهندسی*، چاپ اول. انتشارات ارکان، تهران.
- قنوانی، عزت‌الله؛ امیر صفاری؛ ابراهیم بهشتی جاوید و اسماعیل منصوریان. ۱۳۹۳. پهنه‌بندی پتانسیل سیل خیزی با استفاده از تلفیق مدل هیدرولوژیکی CN و AHP در محیط GIS مطالعه موردی: حوضه رودخانه بالخلو. *مجله جغرافیای طبیعی*، ۲۵: ۶۷-۸۰.

- نجف پور، بهرام. ۱۳۸۵. تعیین کانون های بارش در حوضه های آبریز (مطالعه موردی حوضه مند). *فصلنامه تحقیقات جغرافیایی*، ۹۸: ۱-۱۴.
- نجف پور، بهرام. ۱۳۹۲. شناسایی الگوهای گردشی ایجاد کننده سیلاب در جنوب غرب ایران مورد: حوضه-ی مند. *جغرافیا و توسعه*، ۹۲: ۱۱-۷۷.
- AghTaher, R., Delavar, M.R., Kamalian, N. ۲۰۰۶. Weighted Factors Affecting the Seismic Vulnerability of Tehran. *Engineering faculty*, ۴۰: ۱۰۳۳-۱۰۴۴.
- Diaz, D; S. Rodrigo. ۲۰۰۳. Effects of the north Atlantic oscillation on the probability forclimatic categories of local monthly rainfall in southern Spain. *Int.J. Climatol*, ۲۳: ۳۸۱-۳۹۷. DOI: ۱۰,۱۰۰۲/joc.۸۸۶
- Guttman, N. B. ۱۹۹۸. Comparing the palmer drought index and the standardized precipitation index۱. *Journal of the American Water Resources Association*, ۳۴: ۱۱۳-۱۲۱. Doi:۱۰,۱۱۱۱/j.۱۷۵۲-۱۶۸۸.
- Lamb, P. ۱۹۸۲. Persistence of Sub Saharan Drought Climatology. *Nature*, ۲۹۹(۵۸۷۸): ۴۶-۴۸.
- Lorena, Montoya and Masser, Ian. ۲۰۰۵. Management of natural hazard risk in Cartago, Costa Rica. *Habitat International*, ۲۹: ۴۹۳-۵۰۹. Doi: ۱۰,۱۰۱۶/j.habitatint.۲۰۰۴,۰۴,۰۰۲.
- Loukas, A., Vasiliades, L., & Dalezios, N. ۲۰۰۰. Flood producing mechanisms identification in southern British Columbia, Canada. *Journal of Hydrology*, ۲۲۷: ۲۱۸-۲۳۵. Doi:۱۰,۱۰۱۶/s۰۰۲۲-۱۶۹۴(۹۹)۰۰۱۸۲-۱
- Marshall, J. K. ۱۹۷۳. Drought, land use and soil erosion. *The Environmental, Economic and Social Significance of Drought*. Angus and Robertson, Sydney, Australia.
- Panda K, Mishra A, Jena SK, James BK and Kumar A. ۲۰۰۷. The influence of drought and anthropogenic effects on groundwater levels in Orissa, India. *Journal of Hydrology*, ۳۴۳: ۱۴۰-۱۵۳. Doi: ۱۰,۱۰۱۶/j.jhydro.۲۰۰۷,۰۶,۰۰۷
- Rodrigo, F. S. (۲۰۰۹). Changes in the probability of extreme daily precipitation observed from ۱۹۵۱ to ۲۰۰۲ in the Iberian Peninsula. *International Journal of Climatology*, n/a-n/a. Doi:۱۰,۱۰۰۲/joc.۱۹۸۷.
- Saaty, T. ۱۹۸۰. *The analytic hierarchy process: planning, priority setting, and resource allocation*. McGraw-Hill International, New York, London.
- Sonmez F. K. Komuscu Ali. U. Erkan A. Turgu E. ۲۰۰۵. An analysis of spatial and temporal dimension of drought vulnerability in Turkey using the standard precipitation index, *Natural Hazards*, ۳۵: ۲۴۳-۲۶۴. DOI: ۱۰,۱۰۰۷/s۱۱۰۶۹-۰۰۴-۵۷۰۴-۷.
- Tabacchi, Eric, Luc Lambs, Helene Guillo, Anne-Marie Planty-Tabacchi, Etienne Muller, and Henri Decamps. ۲۰۰۰. Impacts of riparian vegetation on hydrological processes. *Hydrological processes*, ۱۴: ۲۹۵۹-۲۹۷۶. Doi: ۱۰,۱۰۰۲/۱۰۹۹-۱۰۸۵(۲۰۰۰۱۱/۱۲)۱۴:۱۶/۱۷<۲۹۵۹: aid-hyp۱۲۹>۳,۳.co; ۲-۲.
- Wu, H., Hayes, M. J., Weiss, A., & Hu, Q. ۲۰۰۱. An evaluation of the Standardized Precipitation Index, the China-Z Index and the statistical Z-Score. *International journal of climatology*, ۲۱: ۷۴۵-۷۵۸. Doi: doi.org/۱۰,۱۰۰۲/joc.۶۵۸.