

## برآورد رواناب شهری و پهنه بندی آن با استفاده از تحلیل های فضایی در شهر

بندرعباس

کامیار آذریان<sup>۱</sup>

## چکیده

برنامه ریزی و هدفمندسازی زیر ساخت های شهری جهت کنترل بحران هایی که محیط شهری را به واسطه گسترش آن تهدید می کنند، قابل توجه است. تغییرات گسترده در شهرنشینی و شکل فیزیکی شهرها، تأثیرات زیادی بر روی خصوصیات رواناب سطحی دارد و خطر سیلاب را در مناطق شهری افزایش می دهد. هدف از این مطالعه، بررسی تأثیر گسترش فیزیکی شهر بندرعباس بر ضریب رواناب و پهنه بندی خطر سیلاب شهری است. نقشه کاربری اراضی و شاخص نفوذناپذیری به ترتیب با استفاده از روش طبقه بندی حداکثر احتمال و آنالیز ترکیب طیفی در دامنه طیف (SP-SSMA)، استخراج شدند. در نهایت با استفاده از نقشه های کاربری اراضی، بافت خاک و شیب، نقشه های دوره ای ضریب رواناب با استفاده از مدل Wetspa محاسبه گردید. به منظور پهنه بندی سیلاب، با استفاده از نقشه های ضریب رواناب، سطح نفوذناپذیری، شیب و جهت شیب، فاصله تا کانال های جمع آوری آب سطحی و فاصله از خیابان ها، نقشه پهنه بندی خطر سیلاب شهری بر اساس روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) ایجاد شد. نتایج نشان داد به دلیل افزایش سطوح نفوذناپذیر، ضریب رواناب از مقدار میانگین ۰/۵۶ به ۰/۷۰، افزایش داشته است. همچنین نتایج حاصل از پهنه بندی نشان داد که ۱/۸۱ درصد از محدوده مورد مطالعه دارای ریسک بسیار بالای آبگرفتگی و ۷/۱۶ درصد دارای ریسک زیاد و ۱۴/۱۷ درصد دارای ریسک نسبتاً زیاد و ۱۰/۲۳ درصد دارای ریسک متوسط و ۶۶/۷۷ درصد دارای ریسک کم می باشد.

واژگان کلیدی: رواناب شهری، سنجش از دور، GIS، پهنه بندی سیلاب، سطوح نفوذناپذیر، بندرعباس.

<sup>۱</sup> دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

## مقدمه

طی دهه های اخیر رشد بی رویه جمعیت شهری و گسترش فیزیکی شهرها، و به دنبال آن افزایش تمرکز فعالیت های بزرگ اقتصادی خصوصاً در زمینه صنایع بزرگ و آلوده کننده در مناطق شهری به عنوان یکی از تهدید های جدی برای محیط زیست انسانی به حساب می آید. گاهی اوقات وسعت این تغییرات به اندازه ای است که فرآیندهای اکولوژیکی محیط زیست جهانی را نیز تحت تأثیر قرار می دهد. یکی از این نشانه های تغییر، وقوع سیلاب های شدید در مناطق مختلف جهان است (ژانگ و همکاران، ۲۰۰۸: ۱۴۲۴).

بدیهی است که عوامل اقلیمی و عوامل حوضه ای در بروز سیلاب تأثیر دارند، اما برای جلوگیری از آثار زیان بار سیل نمی توان در عوامل و عناصر جوی تغییری ایجاد کرد، بنابراین هرگونه راه حل اصولی و چاره ساز را باید در روی زمین و اختصاصاً در حوضه های آبخیز جست و جو کرد. در این رابطه اولین اقدامی که برای کاهش خطر سیل مطرح می شود، مهار سیل در سرچشمه آن است. مسلماً برای انجام دادن این کار، شناسایی مناطق سیل خیز در داخل حوضه لازم است (سینگ، ۱۹۹۹: ۴۸). تجارب مطالعاتی و مدیریتی کشورهای مختلف نشان می دهد که اولین گام در جهت کاهش آثار زیان بار سیل، شناخت مناطق سیل گیر و پهنه بندی این مناطق از لحاظ میزان خطر سیل گیری است تا بتوان براساس نتایج بدست آمده، درباره نحوه استفاده از اراضی و کاربری های مختلف کشاورزی، صنعتی، خدماتی و مکانیابی سکونت گاه های شهری و روستایی تصمیم گیری اصولی و بهینه نمود و آثار زیان بار سیل را تا حد ممکن به حداقل رسانید. یکی از ابزارهای بسیار مؤثر در مطالعات محیطی و علوم زمین، استفاده از سنجش ازدور و بهره گیری از داده های ماهواره ای است (علوی پناه، ۱۳۸۲: ۱۵). اگر وقوع سیلاب، ناگهانی و شدید باشد، باعث به وجود آمدن خسارت های زیادی می شود. بررسی مجموعه عوامل محیطی که موجب ایجاد سیل هستند، نشان می دهد که دخالت انسان در چرخه طبیعی آب از طریق تخریب پوشش گیاهی در حوضه آبخیز، کاربری غیر اصولی اراضی، توسعه سطوح نفوذناپذیر و امثال آن امکان وقوع سیل را در مناطق گوناگون، افزایش می دهد (قنواتی و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۲۱). منظور از سیل در یک محیط شهری، سرریز کردن جریان آب از مقطع یک کانال مشخص یا جاری شدن رواناب با ارتفاع زیادی بر روی مسیرهای تردد و وسایل نقلیه اطلاق می شود (کوریا و همکاران، ۱۹۹۹: ۲۳). بنابر آنچه گفته شد لزوم توجه به مباحث سیلاب شهری و خطرهای ناشی از وقوع آنها بیش از پیش آشکار می گردد و در این راستا نیازمند به ابزارها و علوم می است که توانمندی شناسایی خطرات سیل شهری در کوتاه ترین زمان ممکن، مدل سازی سیلاب شهری و نمایش تغییرات پارامترهای هیدرولوژیکی را فراهم کنند.

## پیشینه پژوهش

شعبانی نیا و همکاران (۱۳۹۹)، در مطالعه خود به برآورد ارتفاع رواناب و حداکثر دبی سیلاب حوضه آبخیز لایچ رود در شهرستان چمستان با استفاده از مدل اتومات سلولی و SCS اقدام نمودند و به این نتیجه رسیدند که پراکنش مکانی بارش مهمترین عامل تولید سیلاب در این حوضه است.

صابری فر و شکری (۱۳۹۸)، در مطالعه خود با استفاده از داده های کاربری اراضی، تراکم جمعیت، تراکم ساختمانی، CN، رواناب، قدمت ابنیه و فضای باز در شهر بیرجند به پیش بینی دامنه خسارت ناشی از سیل پرداختند. نتایج نشان داد بخش های جنوب و جنوب شرقی دارای بیشترین ریسک خطرپذیری و محدوده های شمال غرب و جنوب غربی دارای خطر متوسط و سایر بخش های شهر دارای خطر کم و بسیار کم است.

ایمانی و پورخسروانی (۱۳۹۶)، با استفاده از مدل منطق فازی به پهنه بندی خطر سیل در شهرستان اردبیل اقدام نمودند. نتیجه نهایی مطالعه آنها نشان داد که بخش های شمال غرب و جنوب غربی شهرستان در پهنه بسیار خطرناک قرار دارند.

سلاجقه و همکاران (۱۳۹۱)، در مقاله ای با عنوان «برآورد رواناب در حوضه های آبخیز شهری با استفاده از مدل های تحلیلی» به تعیین مقدار رواناب در حوضه های آبخیز شهری در منطقه ۲۲ شهر تهران پرداختند. در این مطالعه از دو مدل، یکی بر اساس ضریب رواناب و دیگری با در نظر گرفتن ضریب نفوذپذیری استفاده شده است. مقایسه ی نتایج به دست آمده از برآورد مدل ها با مقادیر مشاهده شده در منطقه مورد بررسی، نشان داد که هر دو مدل، در برآورد رواناب احتمالی از دقت خوبی برخوردارند.

امیر احمدی و همکاران (۱۳۹۱)، در مقاله ای با عنوان «ریز پهنه بندی خطر سیلاب در محدوده شهر سبزوار در راستای توسعه پایداری شهری» به بررسی خطرپذیری سیلاب و ارزیابی خسارت وارده به شهر سبزوار پرداختند. در این مطالعه از پارامترهایی مانند کاربری اراضی، تراکم جمعیت، مسیل ها، طبقات شیب، تراکم جمعیت، ضریب CN، ضریب رواناب، تراکم جمعیت، فضای سبز و وضعیت ابنیه با استفاده از روش AHP به وزن دهی معیارها به صورت مقایسه زوجی پرداختند و ضرایب نهایی هر لایه را تعیین شد. در نهایت نقشه پهنه بندی خطر سیلاب در محدوده شهری سبزوار تهیه گردید. نقشه پهنه بندی نشان داد که ۱۵ درصد منطقه دارای ریسک بسیار زیاد، ۴۵ درصد منطقه در خطر زیاد، ۲۵ درصد خطر متوسط و ۱۵ درصد کم خطر هستند.

کرم و درخشان (۱۳۹۱)، در مقاله ای با عنوان «پهنه بندی سیل خیزی، برآورد سیلاب و ارزیابی کانال های دفع آب سطحی در حوضه های شهری» به بررسی وضعیت سیل خیزی در حوضه آبریز آبشوران در جنوب غربی کرمانشاه پرداخت. در این مطالعه از لایه هایی همانند بارندگی، سنگ شناسی، خاک و واحد ارضی، تراکم زهکشی، شیب زمین و پوشش زمین استفاده شد. ارزیابی و پهنه بندی سیل با روش AHP انجام گرفت. نتایج نشان داد که ۳۰ درصد مساحت حوضه دارای سیل خیزی بالایی است.

داس (۲۰۱۹)، نقشه حساسیت سیل را براساس پارامترهای تأثیرگذار در وقوع سیل، یعنی ارتفاع، شیب، فاصله از شبکه زهکشی، وضعیت ژئومورفولوژی زمین، تراکم زهکشی، جهت جریان تجمعی، بارش، کاربری اراضی، لیتولوژی، شاخص توان جریان و انحنا توپوگرافی را برای حوضه آبریز اولهاس تهیه نمود. نقشه حاصله نشانگر این است که حدود ۲۵ درصد از مساحت حوضه آبریز اولهاس در معرض خطر بسیار بالایی قرار دارد.

یوسف و هگاب (۲۰۱۹)، در مطالعه با استفاده از فرآیند AHP و GIS به منظور ایجاد نقشه حساسیت سیل برای منطقه رأس غریب در مصر اقدام نمودند. نتایج مطالعه آنها نشان داد که ۷۶ درصد منطقه در برابر وقوع سیل مستعد و بسیار حساس، ۱۹٫۱ درصد آن حساس و ۴٫۷ درصد آن دارای حساسیت پایین است.

میندج (۲۰۱۹)، در مطالعه خود با هدف شناسایی مناطق مستعد سیل از طریق کاربرد مدل رگرسیون لجستیک و استفاده از داده‌های سنجش از دور و GIS، به مدل‌سازی حساسیت سیل و تهیه نقشه خطر سیل در رواناب پرداخت. نتایج نشان داد که شاخص NDVI و بارندگی مهمترین متغیرهای مؤثر در برآورد خطر سیل هستند که رابطه مثبت و بالایی با وقوع سیل در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهند.

کومار<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۳)، در مقاله‌ای با عنوان «مدل‌سازی تغییرات رشد شهری و تأثیر آن بر ویژگی‌های رواناب سطحی» با استفاده از روش رگرسیون خطی به بررسی سطوح نفوذناپذیری شهری پرداخته و با برآورد حجم رواناب با استفاده از مدل هیدرولوژیک WetSpa، تأثیر افزایش سطوح نفوذناپذیر بر رواناب را مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که افزایش سطوح نفوذناپذیر باعث افزایش ۱۲ درصدی حجم رواناب شده است. سپس با روش سلول‌های خودکار به پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی آینده پرداختند و با توجه به داده‌های گذشته و حال به مدل‌سازی پارامترهای رواناب در آینده پرداختند.

فرناندز<sup>۲</sup> و لوتز<sup>۳</sup> (۲۰۱۰) در مقاله‌ای با عنوان «پهنه‌بندی خطر سیل با استفاده از GIS و سیستم‌گیری چند معیاره در شهر تاکومان»، با استفاده از GIS و سیستم‌گیری چند معیاره اقدام به ارزیابی و پهنه‌بندی خطر سیلاب شهری در یکی از استان‌های کشور آرژانتین کردند. این دو با استفاده از پارامترهای فاصله تا کانال‌های زهکشی، ارتفاع منطقه، شیب منطقه، عمق آب‌های زیرزمینی و کاربری اراضی، کار پهنه‌بندی را انجام داده‌اند. ایشان با وزن دهی به هر یک از این عوامل پنج‌گانه و به کمک سیستم‌گیری چند معیاره، منطقه موردنظر خود را در پنج پهنه با خطر زیاد، خطر متوسط تا زیاد، خطر متوسط، خطر کم و خطر خیلی کم پهنه‌بندی کرده‌اند.

1-kumar

2-Fernandez

3-Lutz

مولر<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۱۱)، در مقاله‌ای با عنوان «ارزیابی آسیب‌پذیری شهر در مقابل سیل با استفاده از GIS» به بررسی آسیب‌پذیری شهر سانتیاگو در برابر سیل پرداختند. در این مطالعه از داده‌های GIS، سرشماری جمعیت و داده‌های سنجش‌ازدوری در راستای به دست آوردن نقشه‌های آسیب‌پذیری شهری استفاده گردید.

### منابعی نظری پژوهش

#### کاربرد سنجش از دور و GIS در مدیریت بحران سیل

کارشناسان به مبنای داده‌های GIS و سنجش از دور می‌توانند وضعیت خطر مناطق تحت تأثیر قرار گرفته را به طبقات مختلف از لحاظ شدت ریسک تقسیم‌بندی می‌کنند. با استفاده از روش‌های سنجش از دور و GIS، می‌توان تکنیک‌های معینی برای پیش‌بینی وقوع سیلاب و ارزیابی خطر و پتانسیل خطر سیل‌گیری، ایجاد نمود (پرادهان و همکاران، ۲۰۱۴: ۳۴).

#### رواناب و جریان سطحی

بخشی از نزولات جوی که روی زمین به جریان درآمده و به منابع آب‌های سطحی مانند رودخانه، دریاچه، دریا و یا نقاط گود روی زمین و حتی داخل مناطق مسکونی می‌پیوندند، رواناب نام دارد. رواناب زمانی رخ می‌دهد که شدت بارندگی بیش از سرعت نفوذ آب در خاک و نگهداشت آب در گودال‌ها و پستی‌وبلندی‌های سطح زمین باشد. مقدار آبی که در سطح زمین موقتاً نگهداری می‌شود بنام نگهداشت سطحی یا ذخیره سطحی (surface storage) و یا چالاب معروف است. اگر ریزش‌های جوی بیش از ذخیره سطحی و سرعت نفوذ باشد مازاد آن به‌صورت جریان سطحی یا رواناب در سطح زمین جاری می‌گردد. رواناب، جریان سطحی (surface flow) و جریان روی زمین (Overland flow) واژه‌های مترادفی هستند که در توصیف این عنصر از سیکل هیدرولوژی به‌کاربرده می‌شوند (علیزاده، ۱۳۹۰: ۲۱۴).

رواناب سطحی شهری فرآیندی پیچیده و شامل نفوذ سطحی، ذخیره چالابی، جریان روی زمین، نفوذ و جریان مستقیم ناشی از بارش می‌باشد. مدل‌سازی بارش-رواناب عمدتاً نیازمند تعریف زیر حوضه‌هایی به‌صورت فضایی برای انجام محاسبات است (یو<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۰۱: ۴۳).

#### تأثیر شهرنشینی و گسترش فیزیکی شهر بر رواناب شهری

شهرنشینی گسترده به‌واسطه تغییراتی که بر روی ویژگی‌های رواناب‌های سطحی ایجاد می‌کند منجر به افزایش خطر

<sup>4</sup>-Muler

<sup>6</sup>-Yu

سیلاب در مناطق شهری گردیده است. مناطق شهری به واسطه حجم بالای فعالیت‌های اقتصادی و تراکم جمعیتی بالا ممکن است در هنگام وقوع سیل در معرض خسارت‌های سنگین مالی و جانی باشند. تأثیر شهرنشینی بر ویژگی‌های رواناب بستگی به مقیاس حوزه و توسعه آن دارد. حوضه‌های رودخانه‌ای شهری شده مترکم و کوچک نسبت به حوضه‌هایی که بزرگ و غیرمترکم هستند بیشتر تحت تأثیر فرآیندهای شهری قرار می‌گیرند. شهرنشینی نه فقط میزان رواناب محلی را افزایش می‌دهند بلکه بر پایین دست خود یعنی جایی که اوج جریان<sup>۶</sup> اتفاق می‌افتد نیز تأثیرگذار است (ماکسیموویچ<sup>۷</sup>، ۲۰۰۱: ۱۲۸).

امروزه افزایش جمعیت، گسترش تأسیسات صنعتی، کمبود مکان برای ساخت و ساز خصوصاً در کلان‌شهرها، باعث شده تغییرات شدیدی در مورفولوژی حوضه‌های آبریز ایجاد شود. همچنین تسطیح زمین، تجاوز به حریم رودخانه‌ها و مسیل‌ها، باعث تغییر الگوی زهکشی طبیعی و جاری شدن جریان در سطح شهر می‌شود (سپهر و کاویان، ۱۳۹۳: ۱۲۴).

## مواد و روش‌ها

### تصاویر ماهواره‌ای

در این پژوهش از سری تصاویر ماهواره‌ای Landsat، استفاده شده است. اطلاعات مربوط به نوع سنجنده و قدرت تفکیک آن و همچنین تاریخ تصویر برداری بررسی خواهد شد (جدول-۱)،

جدول ۱: اطلاعات مربوط به تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده در پژوهش

تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده در این پژوهش				
نام سنجنده	باند مورد استفاده	قدرت تفکیک مکانی	تاریخ تصویربرداری	منبع دریافت
لندست TM	۵-۱ و ۷	پانکروماتیک: ۱۵ متر طیفی: ۳۰ متر	14, Januray, 1986	سایت سازمان زمین‌شناسی آمریکا <a href="http://www.USGS.com">www.USGS.com</a>
لندست ETM+	۵-۱ و ۷	پانکروماتیک: ۱۵ متر طیفی: ۳۰ متر	21, Januray, 2002	سایت سازمان زمین‌شناسی آمریکا <a href="http://www.USGS.com">www.USGS.com</a>
لندست OLI	۵-۱ و ۷	پانکروماتیک: ۱۵ متر طیفی: ۳۰ متر	3, February, 2018	سازمان زمین‌شناسی آمریکا <a href="http://www.USGS.com">www.USGS.com</a>

6- Peak Flow

7- Maksimovic'

نقشه‌ها و داده‌های مورد استفاده

- جهت استخراج معابر و خطوط ارتباطی و حمل و نقل شهری از داده‌های جهانی OSM<sup>1</sup>، استفاده شده است.  
 - به منظور تهیه لایه رقومی کانال‌های جمع‌آوری آب‌های سطحی در شهر بندرعباس، از نقشه طرح جمع‌آوری آب‌های سطحی با مقیاس ۱:۱۰۰۰، اجرا شده توسط شرکت مهندسی مشاور مهاب قدس استفاده شده است که کارفرمای آن شهرداری مرکزی شهر بندرعباس بوده و در سال ۱۳۸۳ تصویب و شروع شده و در سال ۱۳۸۶ به اتمام رسیده است. شبکه اجرا شده در این طرح شامل دو نوع کانال می‌باشد که در درجه اول کانال‌های اصلی قرار دارند که بسته به موقعیت جغرافیایی ناحیه شهری که در آن قرار دارند، عرض و عمق آنها و همچنین طول کانال فرق خواهد کرد.

جدول ۲: نقشه‌ها و اسناد و مدارک استفاده شده در این پژوهش

نقشه‌ها و اسناد و مدارک مورد استفاده در این پژوهش			
منبع دریافت	مقیاس	سال	نوع داده
شهرداری بندرعباس، GIS	۱:۲۰۰۰	۱۳۹۱	طرح تفصیلی شهر بندرعباس
شهرداری بندرعباس، راه و شهرسازی بندرعباس، GIS	۱:۲۰۰۰۰	۱۳۹۶	نقشه‌های رقومی خطوط ارتباطی شهری
شهرداری بندرعباس، GIS	۱:۲۰۰۰۰	۱۳۹۶	نقشه‌های رقومی کانال‌های جمع‌آوری آب‌های سطحی
تصویر ماهواره لندست ۸ (SP-SSMA Method)	۱:۲۰۰۰۰	۱۳۹۶	نقشه سطوح نفوذناپذیر شهری
تصاویر ماهواره لندست (WetSpa Model)	۱:۲۰۰۰۰	۱۳۸۰-۱۳۶۴ ۱۳۹۶	ضریب نفوذناپذیری

معیارهای مورد استفاده در این پژوهش

در این پژوهش به منظور پهنه‌بندی خطر سیل شهری از پنج معیار استفاده شده است که معیارهای انتخابی با توجه به پیشینه پژوهش و مطالعه پژوهش‌های که در رابطه با پهنه‌بندی سیلاب انجام گرفته، انتخاب شده است. معیار

<sup>1</sup>- Open Street Map

های انتخابی عبارتند از: فاصله از جاده، فاصله تا کانال‌های اصلی جمع‌آوری آب، شبکه زهکشی طبیعی، ضریب رواناب و ضریب سطح نفوذناپذیری. در زیر به بررسی و دلایل انتخاب هر یک پرداخته می‌شود.

### ارتفاع رواناب

رواناب حاصل از بارندگی را می‌توان بر حسب ارتفاع یا حجم تشریح کرده و آن را با روش‌های مختلف برآورد نمود (شکل-۱). از جمله روش‌های معمول در هیدرولوژی روش پیشنهادی سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS) است که برای حوضه‌های که در آنها داده‌های اندازه‌گیری دبی رواناب وجود ندارد بکار می‌رود (علیزاده، ۱۳۹۰). یکی از خصوصیات مهم این روش سادگی در محاسبات است که موجب آن شد خیلی سریع به عنوان یکی از روش‌های برآورد رواناب مورد توجه کارشناسان هیدرولوژی و مهندسين قرار گیرد که بطور کلی برای حوضه‌های کوچک شهری و کشاورزی و حوضه‌های طبیعی متوسط کارایی دارد (میشرا و همکاران، ۲۰۰۶). روش بکار رفته در این پژوهش برای برآورد ارتفاع رواناب، روش سازمان حفاظت خاک آمریکا است. در این روش ارتفاع رواناب حاصل از بارندگی به صورت زیر محاسبه می‌شود: (رابطه-۱)

$$R = \frac{(P - 0.2 S)^2}{(P - 0.2 S)} \quad \text{رابطه (۱)}$$

R = ارتفاع رواناب بر حسب اینچ

P = ارتفاع بارندگی (اینچ)

S = عامل مربوط به نکه داشت رطوبت در خاک است که مقدار آن برابر است با:

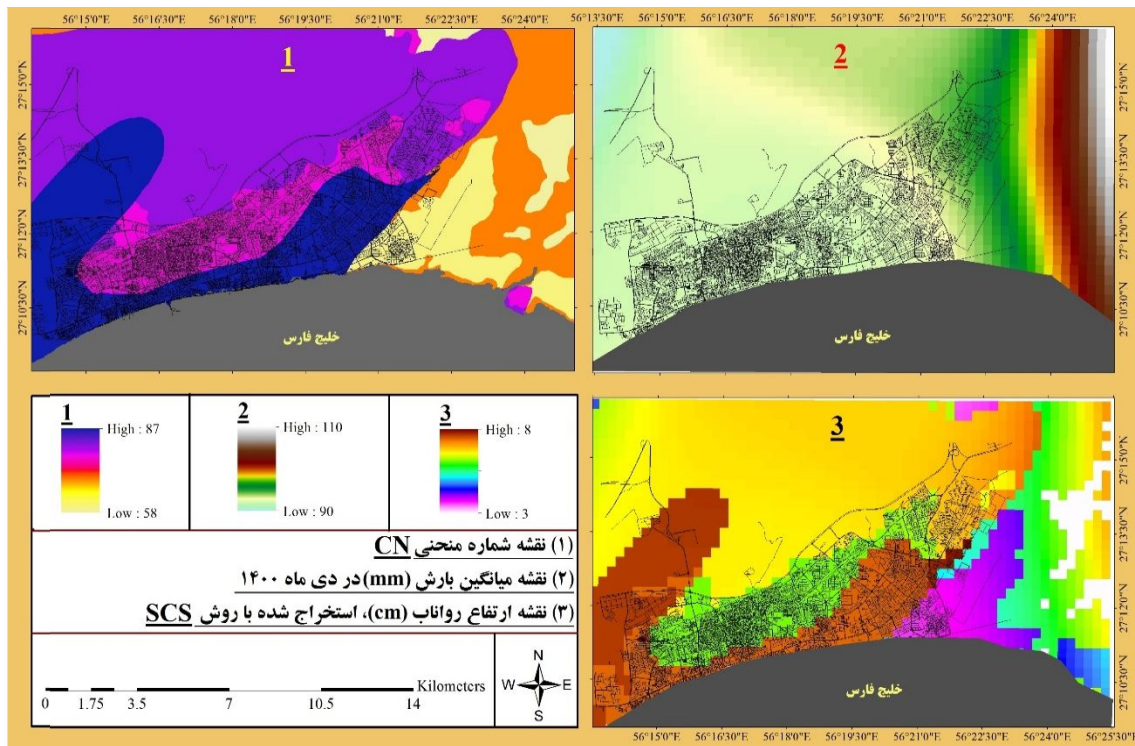
$$S = \frac{1000}{CN} - 10 \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در این معادله CN مربوط به مقدار نفوذ آب در حوضه می‌باشد. شماره منحنی CN نشان دهنده چگونگی نفوذ بارش یا چگونگی تبدیل به رواناب سطحی است. شماره منحنی بالا به معنی رواناب بیشتر و نفوذ کمتر و بالعکس است (ژانگ و هوانگ، ۲۰۰۶).

مقدار CN بین صفر تا ۱۰۰ متغیر است. در CN صفر روانابی وجود ندارد و در CN ۱۰۰ تمامی بارش در سطح زمین جریان یافته و ارتفاع رواناب برابر با ارتفاع بارش است (مهدوی، ۱۳۸۱).

برای تهیه CN به سه فاکتور انواع کاربری اراضی و وضعیت گروه‌های هیدرولوژیکی خاک و مدل ارتفاعی رقومی منطقه نیاز است.





شکل ۱: نقشه برآورد ارتفاع رواناب در شهر بندرعباس: (۱)=CN، (۲)=بارش، (۳)=ارتفاع رواناب

### فاصله از خیابان

یکی از عوامل اصلی هدایت‌کننده جریان‌های سیلابی و رواناب ناشی از بارندگی در مناطق شهری، شبکه معابر شهری است که نقش هدایت آب‌های سطحی را در هنگام بارندگی ایفا می‌کند که بسته به عرض آن و درجه اهمیتی که در شبکه حمل و نقل شهری دارند، میزان خطر پذیری آن از لحاظ آب‌گرفتگی مشخص می‌گردد (صفاری و همکاران، ۱۳۹۰). از آنجایی که در مناطق شهری توپوگرافی طبیعی شهر و سیستم زهکشی شهری طبیعی تقریباً به‌طور کامل از بین رفته است، بنابراین جاده‌ها در این محیط‌ها نقش سیستم زهکشی را ایفا کرده و بستر اصلی تجمع آب درون یک شهر می‌باشند. در این مطالعه چهار نوع خطوط ارتباطی در نظر گرفته شده است که عبارت‌اند از: بزرگراه، خیابان‌های اصلی، راه‌های شریانی، راه‌های دسترسی. شدت و دامنه تأثیر هر کدام از خطوط ارتباطی برحسب ویژگی‌هایی مانند عرض معبر و موقعیت آن‌ها متفاوت است. به‌طور کلی خطوط ارتباطی که دارای عرض کمتری می‌باشند دارای ریسک عمق آب‌گرفتگی بالا و دامنه تأثیرگذار کمتر و خطوطی که عریض‌تر می‌باشند دارای ریسک کمتر، اما دامنه تحت تأثیر بیشتری می‌باشد. میزان خطر پذیری آن نیز به این صورت است که با افزایش فاصله از خیابان‌ها از میزان ریسک آب‌گرفتگی کاسته می‌شود و هر چه فاصله از خیابان‌ها کمتر باشد میزان ریسک آب‌گرفتگی افزایش می‌یابد (شکل-۱).



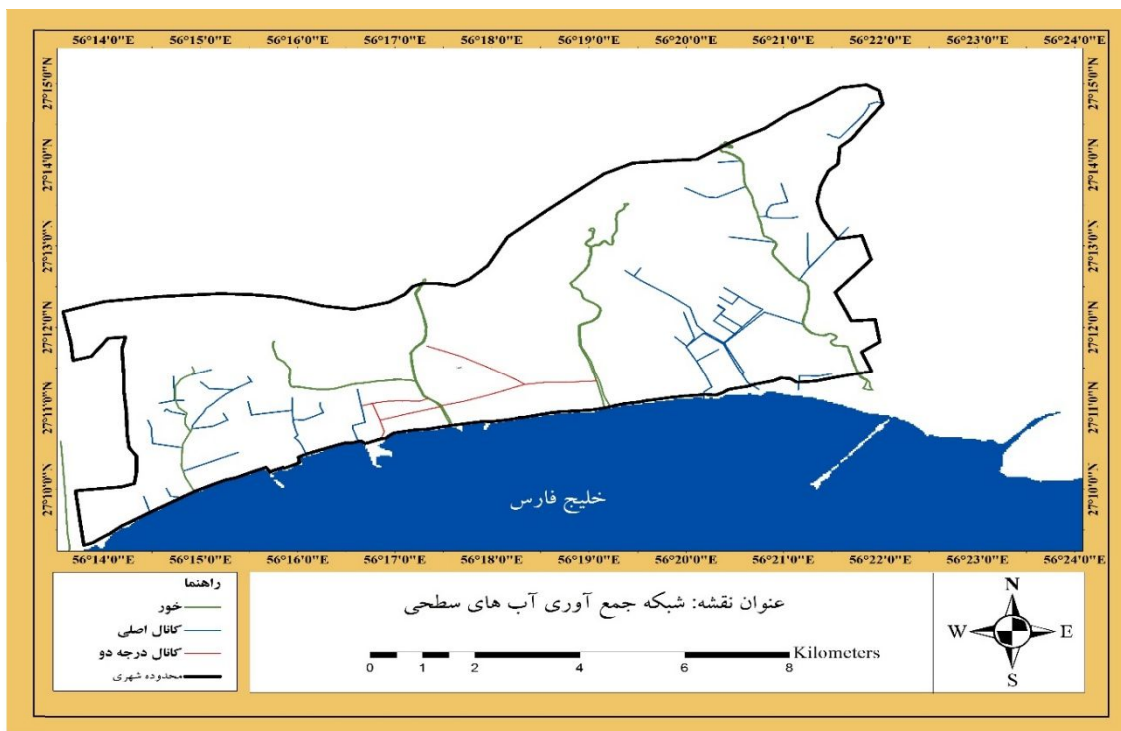
شکل ۲: نقشه راه‌های ارتباطی شهری

#### نقشه ضریب رواناب

تغییر کاربری اراضی حاشیه شهر، به انواع کاربری های شهری باعث برهم خوردن سیستم زهکشی منطقه و از جمله افزایش سطوح نفوذناپذیر می گردد که این عمل از میزان نفوذپذیری منطقه می کاهد و باعث افزایش ضریب رواناب و به دنبال آن افزایش ریسک سیلاب می گردد (صفاری و همکاران، ۱۳۹۰: ۱۲۹).

#### فاصله از کانال های جمع آوری آب های سطحی در شهر

این پارامتر تأثیر معکوسی بر میزان آب‌گرفتگی دارد به طوری که مناطقی که فاقد سیستم‌های جمع کننده آب بارش و یا در فاصله دورتری از این کانال‌ها قرار گرفته‌اند بیشتر در معرض خطر آب‌گرفتگی و سیل گرفتگی هستند. (شکل-۲).



شکل ۳: شبکه جمع‌آوری آب‌های سطحی

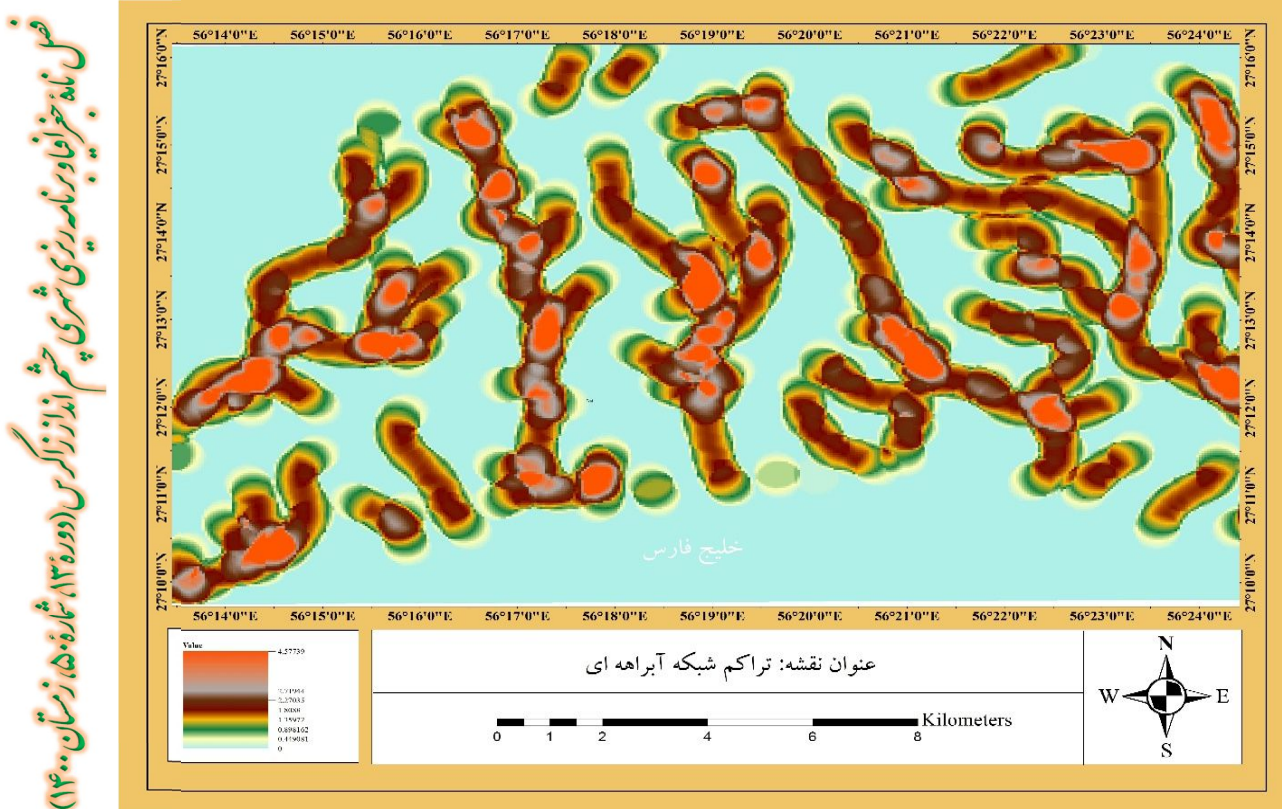
### نقشه ضریب نفوذناپذیری

ضریب نفوذناپذیری نیز تأثیر مستقیمی بر میزان رواناب و در نتیجه بر میزان سیل‌خیزی منطقه دارد. به طوری که با افزایش میزان نفوذناپذیری احتمال به راه افتادن جریان آب سطحی بیشتر می‌گردد. به منظور تهیه نقشه ضریب نفوذناپذیری، از روش آنالیز ترکیب طیفی توسعه یافته در دامنه طیف (SP-SSMA)، استفاده شد و در نهایت سطوح نفوذناپذیر شهری از تصویر سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ استخراج گردید.

### تراکم زهکشی طبیعی منطقه مورد مطالعه

بطور کلی هر مسیل و یا رودخانه ای که وجود دارد به نوعی محل انتقال آب‌های سطحی زمین‌های مجاور می‌باشد و در بسیاری از موارد به خصوص در شرایط معمولی بارندگی موجب ایجاد سیل نمی‌شود. ولی زمانی که اراضی مذکور تحت ساخت و سازهای شهری و ایجاد شبکه نفوذناپذیر ارتباطی قرار می‌گیرند، حدود ۷۰ درصد از نفوذناپذیری اراضی کاسته می‌شود و آب‌های حاصل از بارندگی امکان نفوذ در زمین را نیافته و موجب ایجاد سیل می‌گردد (صفاری و همکاران، ۱۳۹۰).

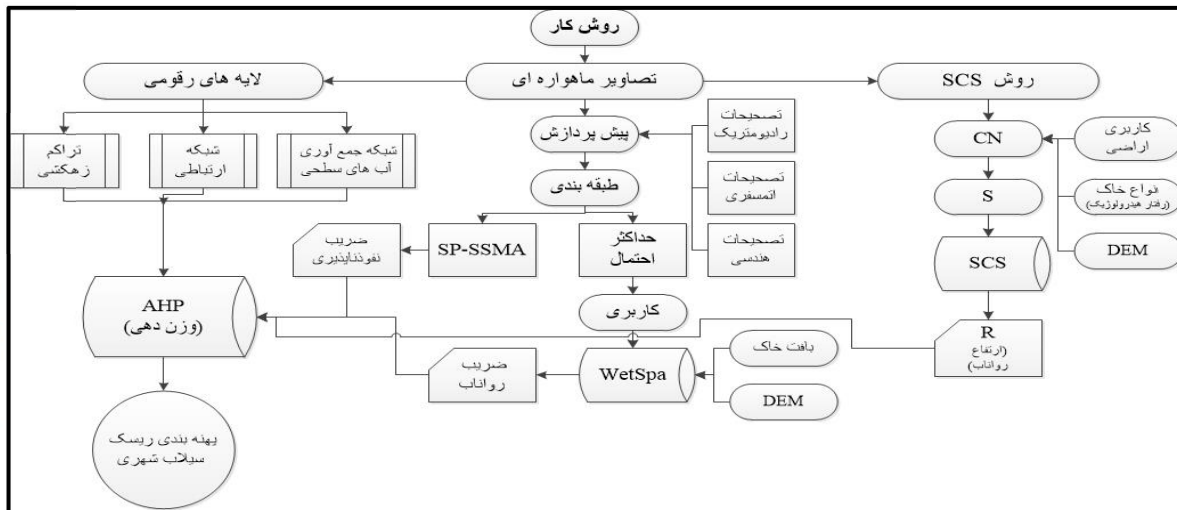
مناطق که در فاصله کمتری از شبکه‌های آبراهه‌ای قرار دارند دارای ریسک بیشتر آب‌گرفتگی و مناطقی که در فاصله‌ای دورتری قرار دارند دارای ریسک کمتر آب‌گرفتگی می‌باشند (اسماعیلی علویجه و همکاران، ۱۳۹۶: ۶۸).



شکل ۴: شبکه زهکشی طبیعی تولیدشده بر اساس مدل ارتفاعی رقومی منطقه مورد مطالعه

#### مراحل انجام تحقیق

تصاویر ماهواره ای مورد استفاده در این پژوهش برای سه دوره زمانی سال های ۱۳۶۴، ۱۳۸۰ و ۱۳۹۶ انتخاب شده است. در شکل-۴، مراحل پژوهش و داده های مورد استفاده آورده شده است.



شکل ۵: روش انجام تحقیق

### روش مقایسه دوتایی (AHP) و وزن دهی لایه‌ها

#### ایجاد ماتریس مقایسه

این روش یک مقیاس اساسی را با مقادیری از ۱ تا ۹ برای تعیین میزان اولویت‌های نسبی دو معیار به کار می‌گیرد. این مقادیر بر اساس میزان اهمیت نسبی شان در جدول ۳- نشان داده شده است.

جدول ۳: میزان اهمیت نسبی معیارها بر اساس ماتریس مقایسه دوتایی (اقتباس از: اصغر پور، ۱۳۸۷: ۳۹۸)

میزان اهمیت	تعریف
۱	اهمیت برابر
۲	اهمیت برابر تا متوسط
۳	اهمیت متوسط
۴	اهمیت متوسط تا قوی
۵	اهمیت قوی
۶	اهمیت قوی تا بسیار قوی
۷	اهمیت بسیار قوی
۸	اهمیت بسیار قوی تا اهمیت مطلق
۹	اهمیت مطلق

## استانداردسازی لایه‌ها

نقشه‌های مربوط به ضریب رواناب و سطوح نفوذناپذیری تأثیری مستقیمی در افزایش شدت سیل خیزی دارند. از آنجایی که این دولایه در محدوده عددی ۰-۱ قرار دارند، بنابراین این دولایه آماده مراحل بعدی تحلیل سلسله مراتبی می‌باشند.

به منظور استانداردسازی لایه‌های فاصله تا شبکه زهکشی، کانال جمع‌آوری آب و فاصله تا جاده، ابتدا بر روی هرکدام از لایه‌ها تابع فاصله اقلیدسی<sup>۹</sup> اعمال شد، سپس هرکدام آنها با استفاده از توابع عضویت فازی استاندارد سازی و وزن دهی شد.

تابع عضویت در نظر گرفته برای فاصله تا کانال و شبکه زهکشی، تابع خطی<sup>۱۰</sup> است. مقدار نقطه کنترل حداقل در نظر گرفته برای لایه کانال‌های اصلی بر اساس محدوده استقرار کانال‌های درجه دو است که فاصله ۱۵۰ متر و میزان بیشینه در نظر گرفته شده ۳۵۰ متر است. همچنین برای لایه زهکشی طبیعی مقدار حداقل فاصله در نظر گرفته شده ۲۰ متر است که براساس حداکثر فاصله معرفی شده در قوانین و مقررات مربوط به حریم مسیل‌ها و رودخانه‌های طبیعی و مصنوعی در نظر گرفته شده است.

خطوط ارتباطی شهری نیز ابتدا با استفاده از تابع فاصله اقلیدسی و سپس با استفاده از توابع عضویت فازی خطی، استانداردسازی شدند. از آنجایی که در تحقیق حاضر تأثیر مثبت خطوط ارتباطی در روند سیل‌گرفتنی در نظر گرفته شده است؛ بنابراین تابع خطی در نظر گرفته شده در اینجا به صورت خطی معکوس می‌باشد.

جدول ۴: انواع جاده‌ها با نقاط کنترل حداقل و حداکثر برای اعمال تابع عضویت خطی

نوع جاده	حداقل (m)	حداکثر (m)
بزرگراه	۴۰	۲۰
خطوط تبادل	۳۲	۲۵
خطوط شریانی	۲۰	۱۵
خطوط دسترسی	۲۰	۱۵

محاسبه وزن لایه‌های مورد استفاده در پهنه‌بندی

برای محاسبه وزن هرکدام از معیارها و زیرمعیارها از روش فرآیند سلسله‌مراتبی (AHP) استفاده می‌شود. بدین منظور ماتریس مقایسه زوجی مربوط به معیارها و زیرمعیارها تشکیل شد. (جدول ۵-۵).

<sup>12</sup>-Euclidean Distance

<sup>10</sup>-Linear

جدول ۵: وزن معیارهای به دست آمده از روش AHP

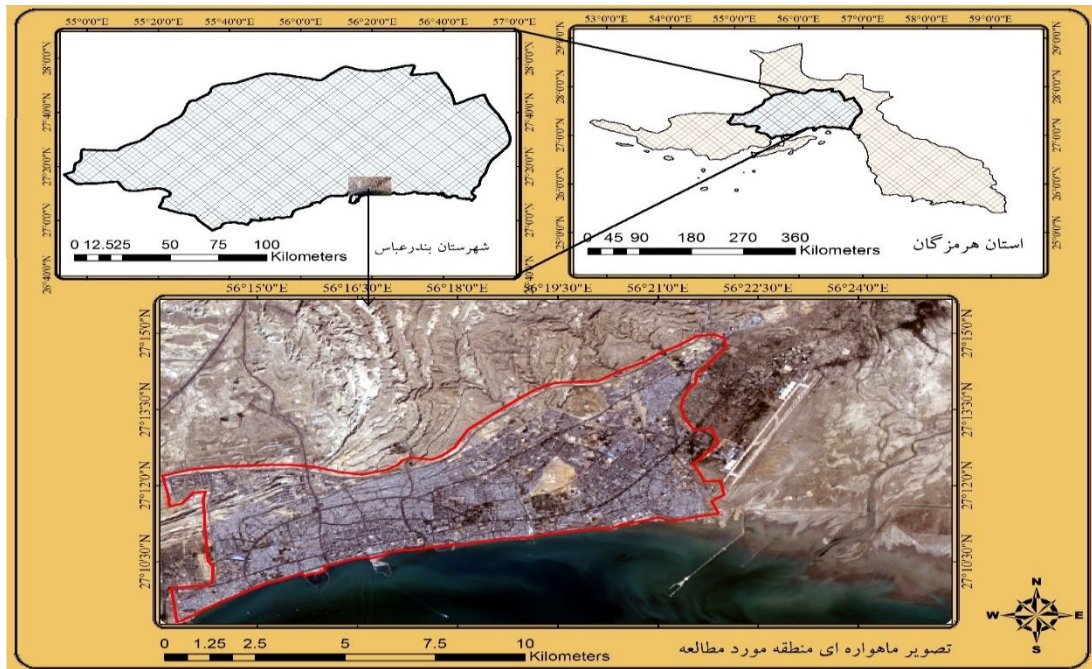
معیارها	وزن معیار	زیرمعیارها	وزن زیر معیار	ضریب ناسازگاری
فاصله از جاده	۰/۰۵۳	بزرگراه و خیابان‌های اصلی	۰/۴۸۸	۰/۰۱
		راه‌های شریانی	۰/۳۲۰	
		راه‌های دسترسی	۰/۱۹۲	
تراکم زهکشی	۰/۰۹۰			
ضریب نفوذناپذیری	۰/۲۵۸	-	-	-
ارتفاع رواناب	۰/۴۱۱			
ضریب رواناب	۰/۱۵۳	-	-	-
فاصله از کانال جمع آوری آب	۰/۰۳۵	-	-	-
ناسازگاری				۰/۰۳

#### معرفی منطقه مطالعاتی

شهر بندرعباس به عنوان مرکز شهرستان بندرعباس، بین مختصات جغرافیایی ۲۷ درجه، ۱۷ دقیقه، ۳۰ ثانیه و ۲۷ درجه، ۸ دقیقه عرض شمالی و ۵۶ درجه، ۲۲ دقیقه و ۵۶ درجه، ۱۱ دقیقه طول شرقی واقع شده است. وسعت این شهر که در ساحل خلیج فارس قرار گرفته است، بیش از ۴۵ کیلومتر مربع است و میانگین ارتفاع آن از سطح دریا ۱۰ متر است (دریاباری و لطفی، ۱۳۹۰) (شکل-۵).

#### ویژگی‌های اقلیمی منطقه

از نظر طبقه بندی های اقلیمی با توجه به مشخصات اقلیمی و استقرار استان هرمزگان در منطقه فوق حاره ای، گرمی هوا مهترین پدیده مشهود اقلیمی آن است و آب و هوای نیمه بیابانی و بیابانی دارد. اصولاً آب و هوای استان هرمزگان همانند آب و هوای نواحی بیابانی است و میزان بارش های جوی آن نیز فوق العاده اندک است. در این منطقه حدود ۹ ماه از سال بارندگی مهمی صورت نمی گیرد و قسمت عمده بارندگی آن نیز در یک یا دو نوبت به وقوع می پیوندد. در همان موارد اندک نیز بارندگی های آن اغلب باران های سیل آسا است (حسین پور و همکاران، ۱۳۹۳).



شکل ۶: منطقه مورد مطالعه

### ویژگی های جمعیتی و توسعه شهر در فاصله زمانی ۱۳۶۴ الی ۱۳۹۶

تغییرات انسانی ایجاد شده در الگوی طبیعی سیستم های زهکشی در نواحی شهری حاشیه شهرها یکی از عوامل اصلی و بسیار مهم در بروز سیلاب و آسیب های وارده است. بالا بودن آسیب های سیلاب در شهرها عمدتاً به دلیل قرار گیری برخی از بخش های قدیمی شهرها در حاشیه رودخانه تغییر الگوی زهکشی طبیعی حوضه ها به دلیل گسترش شهری و تخریب پوشش های گیاهی و منابع طبیعی در حوضه های بالادست شهری است. (کرم و درخشان، ۱۳۹۱). شهر بندرعباس از جمله شهرهای مهم جنوبی ایران و مرکز سیاسی استان هرمزگان است که به واسطه توسعه سریع اقتصادی و موقعیت مناسب بندرگاهی و تجارت دریایی به عنوان یکی از مهم ترین شهرهای بندری ایران شناخته شده است که این مهم اهمیت ویژه ای به این شهر از لحاظ اقتصادی داده است و باعث رشد و فزونی سرمایه گذاری های کلان ملی و ایجاد ساختارهای زیر بنایی مهم و بالقوه در زمینه های همچون کشتی سازی و صنایع فولاد و پتروشیمی و همچنین پالایشگاه های مهم صنایع نفتی شده است. موارد ذکر شده این امکان را فراهم می کند که شرایط لازم برای مهاجرپذیری فراهم شود و به دنبال آن رشد و گسترش فیزیکی شهر را به دنبال داشته باشد. سرمایه گذاری های زیربنایی و پیشرفت در اقتصاد ملی و ایجاد فرصت های شغلی متنوع باعث شکوفایی شهر و پررنگ شدن نقش اقتصادی، بازرگانی، فرهنگی، خدماتی شهر و توسعه سریع آن شده است (گیوی و همکاران، ۱۳۹۴). آمار و اطلاعات شهر بندرعباس نشان می دهد که در دوره های آماری ۱۳۵۵-۱۳۶۵، به دنبال



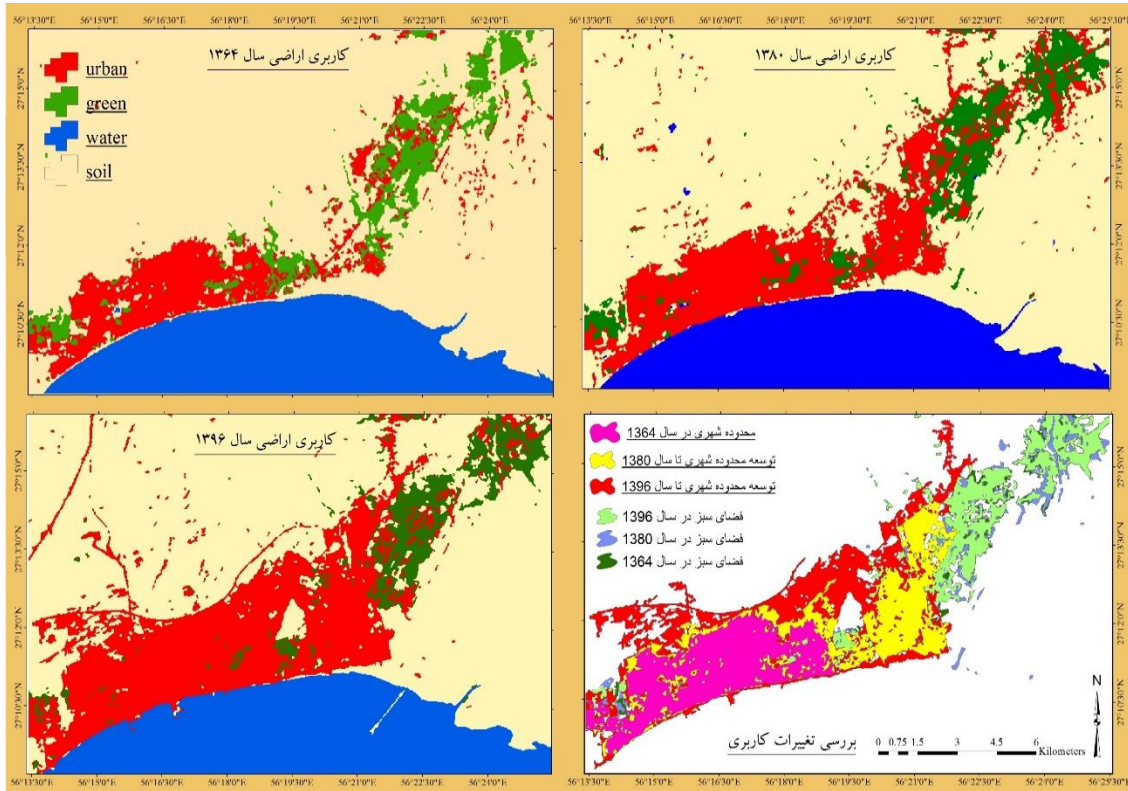
## برآورد و اناب شهری و پهن‌بندی آن با استفاده از تحلیل فضایی در شهر بندرعباس

ملی شدن صنعت نفت و افزایش درآمدهای حاصله و وابسته به صنایه نفتی در شهرهای نفت خیز جنوب، علی الخصوص شهر بندرعباس و توسعه اقتصاد بندرگاهی و تجارتي، این شهر با مهاجرپذیری با افزایش چشم گیر جمعیت همراه باشد که این رود در دوره های دیگر آماری نیز به خوبی نمایان است. در نهایت در دوره آماری ۱۳۹۵-۱۳۹۰، یک تغییر عمده در روند افزایش جمعیت مشاهده می شود و آن تغییر در روند مهاجرپذیری به مهاجر فرستی و رشد منفی جمعیت شهری است که از جمله عوامل مهم تأثیرگذار در این روند، میتوان به تحریم های اقتصادی کشور و برهم خوردن وضعیت اقتصادی و معیشتی اشاره داشت (جدول-۶). افزایش جمعیت در دوره های یاد شده نتایجی پون رشد و گسترش فضای کالبدی شهری و افزایش ساخت و ساز شهری را بدنبال داشته است که بررسی تغییرات کاربری اراضی و توسعه شهری بندرعباس در دوره های زمانی ۱۳۶۴، ۱۳۸۰ و ۱۳۹۶ بیانگر آن است که مساحت شهر در سال ۱۳۶۴، ۱۶ کیلومتر مربع است که این مقدار در سال ۱۳۸۰ به ۳۰ کیلومتر مربع رسیده است. یعنی توسعه شهر به میزان ۴۵٪ افزایش داشته است. همچنین مساحت شهر در سال ۱۳۹۶ به ۴۸ کیلومتر مربع رسیده است که این افزایش چشم گیر معادل ۲٫۵ برابر مساحت شهر در سال ۱۳۶۴ است. آمار و اطلاعات تغییرات کاربری مهم همچون کاربری پوشش گیاهی یا فضای سبز منطقه مطالعاتی حاکی از آن است که مساحت فضای سبز در سال ۱۳۶۴ برابر با ۱۲٫۵ کیلومتر مربع است که این مقدار در سال ۱۳۸۰ به ۱۴٫۴۳ کیلومتر مربع رسیده و در نهایت مساحت آن در سال ۱۳۹۶ برابر با ۱۲٫۸۰ کیلومتر مربع است که وضعیت خوب سال ۱۳۸۰ ناشی از دوره پر بارش در این دوره زمانی است (شکل-۷).

جدول ۶: آمار و اطلاعات جمعیتی شهر بندرعباس در دوره آماری ۱۳۵۵-۱۳۹۵

سال آماری	جمعیت استان	جمعیت شهر بندرعباس	درصد از جمعیت استان	نرخ رشد (درصد)	تعداد خانوار	مهاجران ورودی	مهاجران خروجی
۱۳۵۵	۴۶۲۴۴۰	۸۷۹۸۱	۱۹٪	-	-	-	-
۱۳۶۵	۷۶۲۲۰۶	۱۴۷۲۰۳	۱۹٫۳۱٪	۴۰٫۲۳٪	-	-	-
۱۳۷۵	۱۰۶۲۱۵۵	۲۷۳۵۷۸	۲۵٫۷۵٪	۴۶٫۱۹٪	-	-	-
۱۳۸۵	۱۴۰۳۶۷۴	۴۹۸۶۴۴	۳۵٫۵۲٪	۴۵٫۱۳٪	۱۱۹۴۸۵	-	-
۱۳۹۰	۱۵۷۸۱۸۳	۵۸۸۲۸۸	۳۷٫۲۷٪	۱۵٫۲۳٪	۱۵۸۶۷۷	۶۱۱۶۲	-
۱۳۹۵	۱۷۷۶۴۱۵	۵۲۶۶۴۸	۲۹٫۶۴٪	-۱۱٫۷۰٪	۱۵۲۸۶۲	۵۹۳۸۳	۴۱۷۳۰

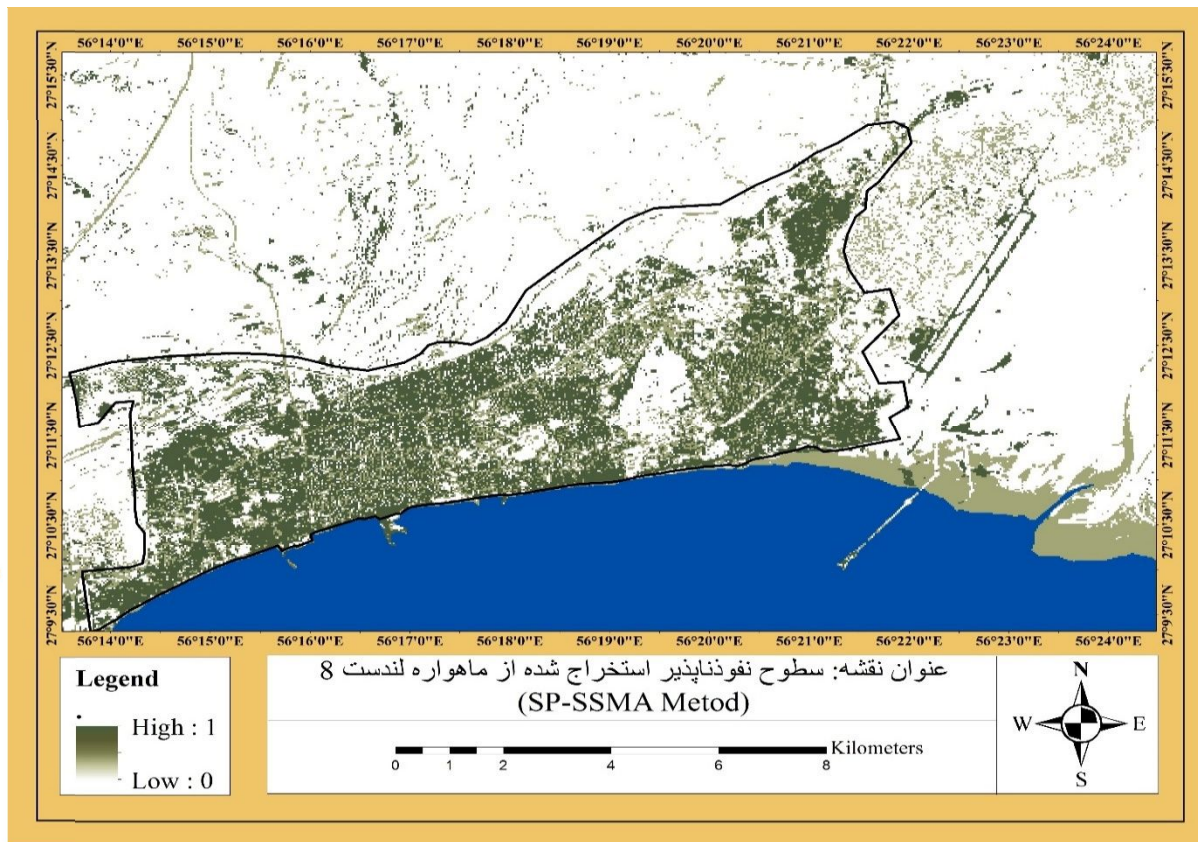
فصلنامه خنجراف و برنامه ریزی شهری چشم انداز آگرس (دوره ۱۳، شماره ۵، زمستان ۱۴۰۰)



شکل ۷: نقشه تغییرات کاربری اراضی در دوره زمانی ۱۳۶۴-۱۳۹۶

### استخراج سطوح نفوذناپذیر با استفاده از روش SP-SSMA:

در این پژوهش جهت استخراج سطوح نفوذناپذیر شهری از روش آنالیز ترکیب طیفی توسعه یافته در دامنه طیف (SP-SSMA)، استفاده گردید. در نهایت سطوح نفوذناپذیر شهری تفکیک و با استفاده از طبقه‌بندی آنالیز ترکیب طیفی خطی، سطوح نفوذناپذیر طبقه‌بندی شده‌اند و نتیجه کار مورد صحت سنجی (جدول ۶-۶)، قرار گرفت.



شکل ۸: نتیجه حاصل از جداسازی ضریب نفوذناپذیری برای ماهواره لندست به روش SP-SSMA

جدول ۶: نتیجه صحت سنجی نتایج به دست آمده از استخراج سطوح نفوذناپذیر ماهواره لندست

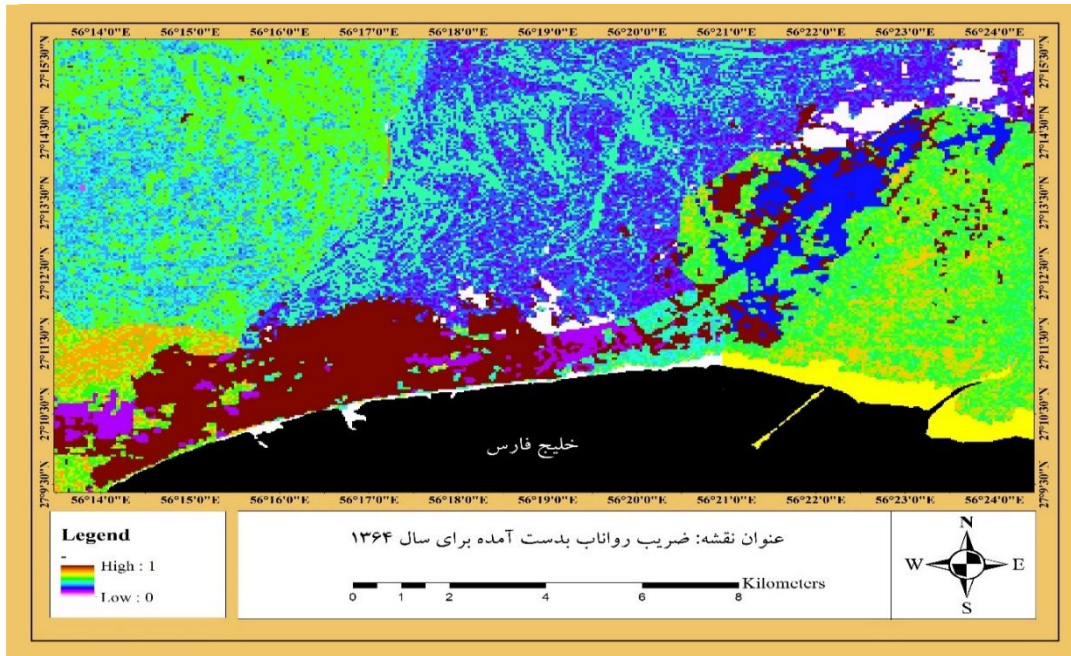
Assessment of Accuracy(Landsat OLI)					
Class	Overall Reference Point	Number of Classified	Number of true Classified	Prod Acc. %	User Acc. %
Impervious	100	95	93	97.89	93
Green	20	22	19	86.36	95
Soil	30	33	28	84	93.33
Overall Number	150	150	140		
Overall Accuracy= 93.33%					
Kappa Coefficient= 89.23%					

### محاسبه ضریب رواناب با استفاده از مدل WetSpa

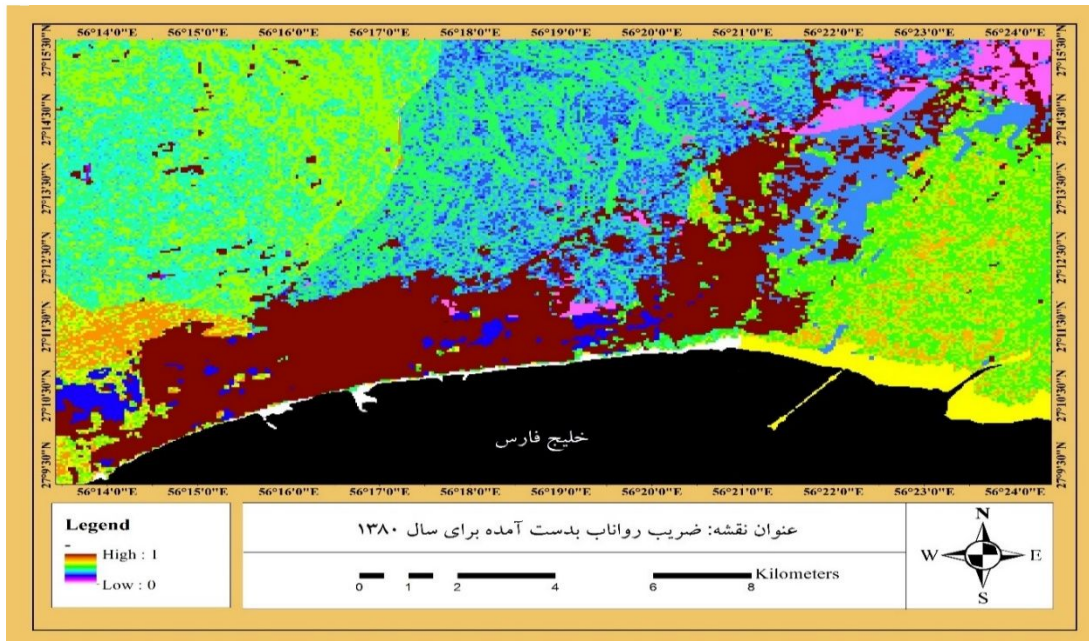
در این مرحله از پژوهش با استفاده از مدل ارتفاعی رقومی منطقه مورد مطالعه و همچنین نقشه بافت خاک و کاربری اراضی نسبت به محاسبه ضریب رواناب برای دوره‌های زمانی ۱۳۶۴، ۱۳۸۰ و ۱۳۹۶ اقدام شد. در مدل

هیدرولوژیکی WetSpa ضریب رواناب برای منطقه مورد مطالعه ما با توجه به درجه شیب و بافت خاک و نوع کاربری اراضی محاسبه شد که به‌طور هم‌زمان تأثیر سه پارامتر ذکر شده در نحوه محاسبه ضریب، اعمال می‌شود. نتایج حاصل از محاسبه ضریب رواناب در شکل‌های (۷، ۸ و ۹)، آورده شده است.

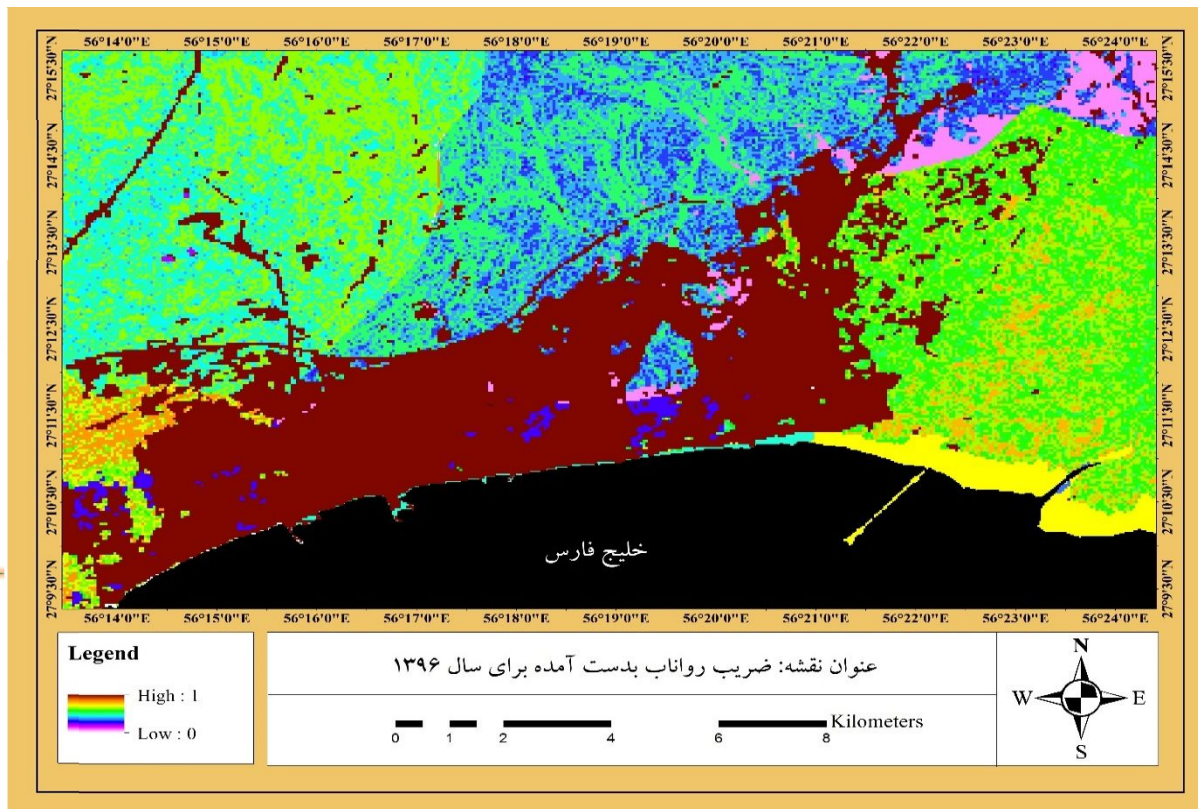
فصلنامه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری چشم‌انداز آگرس (دوره ۱۳، شماره ۵، زمستان ۱۳۹۰)



شکل ۹: نقشه ضریب رواناب محاسبه‌شده برای سال ۱۳۶۴



شکل ۱۰: نقشه ضریب رواناب محاسبه‌شده برای سال ۱۳۸۰



شکل ۱۱: نقشه ضریب رواناب محاسبه‌شده برای سال ۱۳۹۶

### تأثیر تغییر کاربری اراضی بر ضریب رواناب

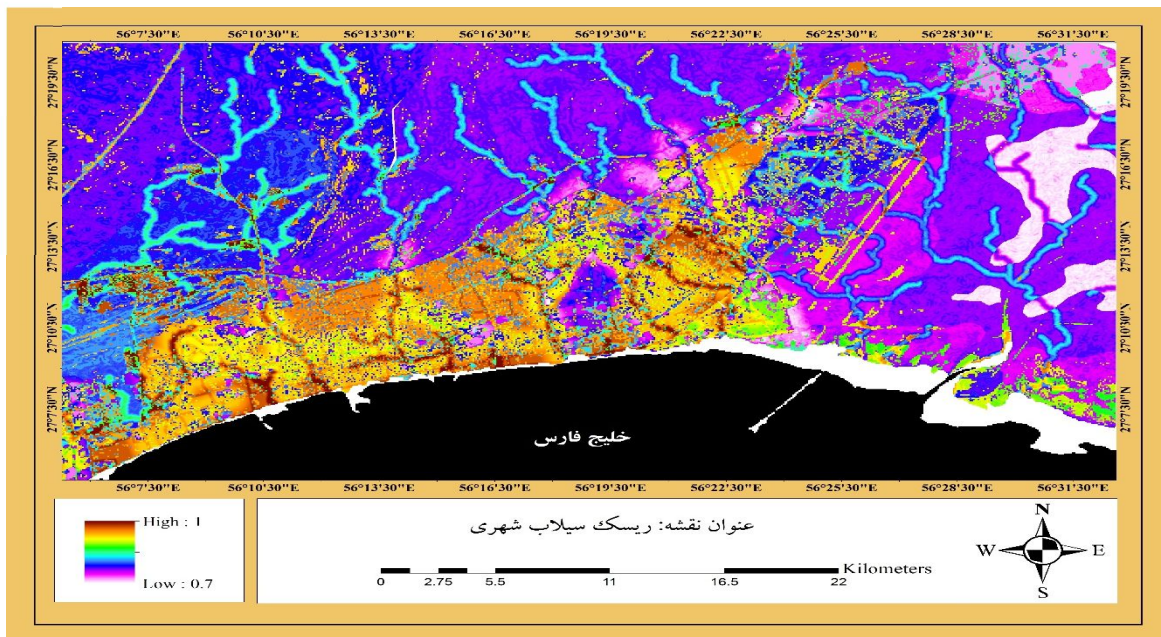
نقشه‌های ضریب رواناب محاسبه‌شده برای دوره‌های زمانی مورد مطالعه (شکل ۸-۹ و ۱۰)، نشان‌دهنده آن است که تغییرات در ضریب رواناب وجود داشته است. آنچه اهمیت دارد مقدار تغییر و همچنین تغییر در کلاس‌های طبقه‌بندی است که تعیین‌کننده نقش تغییرات کاربری اراضی، در افزایش یا کاهش ضریب رواناب است. آنچه در رابطه با تغییرات کاربری و تأثیر آن بر روی ضریب رواناب اهمیت دارد، این است که تأثیر تغییرات به صورت افزایشی بوده است یا باعث کاهش در میانگین ضریب رواناب شده است.

شهر بندرعباس از جمله شهرهای است که توسعه فیزیکی آن در طی ده‌های اخیر به واسطه افزایش جمعیت و وجود مراکز بزرگ صنعتی، تجاری، آموزشی و غیره به شکل بی‌رویه‌ای افزایش یافته است. نتایج تحقیق حاضر نیز نشان داد که درصد فضای اشغال‌شده شهری توسط مناطق ساخته‌شده در طی این سال‌ها از میزان ۸/۷۱ درصد در سال ۱۳۶۴ به ۲۱/۱۱ درصد در سال ۱۳۹۶ رسیده است. این افزایش فضای اشغال‌شده شهری بنا بر آنچه قبلاً بیان شد تأثیر مستقیمی بر ویژگی‌های مربوط به رواناب دارد که بارزترین تأثیر آن بر ضریب رواناب سطحی می‌باشد یعنی متناسب با توسعه شهرنشینی همان‌طور که انتظار می‌رود افزایش قابل ملاحظه‌ای در ضریب رواناب ملاحظه می‌شود.

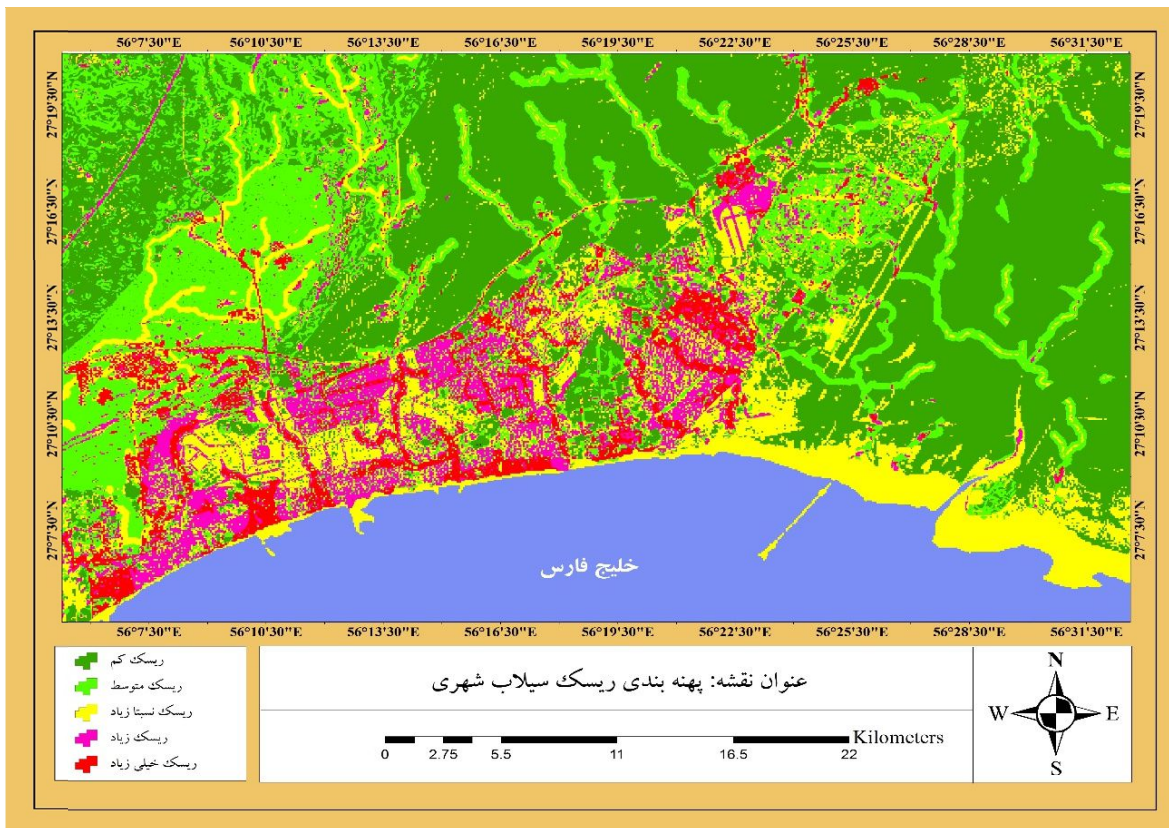
به طوری که میانگین آن از ۰/۵۸ در سال ۱۳۶۴ به میزان ۰/۶۴ در سال ۱۳۸۰ و ۰/۷۰ در سال ۱۳۹۶ رسیده است. نتایج بررسی تغییرات کاربری نشان‌دهنده آن است که حداکثر تغییرات در کاربری اراضی شهری بوده است که این مهم به عنوان عامل اصلی افزایش سطوح نفوذناپذیر شهری نقش بسیار مهمی در افزایش ضریب رواناب در منطقه مورد مطالعه داشته است و می‌توان گفت عامل اصلی افزایش ضریب رواناب در منطقه مورد مطالعه تغییر در کاربری اراضی خاک (زمین موات) و تبدیل آن به کلاس کاربری شهری و افزایش سطوح نفوذناپذیری به واسطه آن است که این عامل نیز با تغییرات در زهکشی طبیعی حوزه و افزایش ساخت و ساخت شهری و کاهش نفوذپذیری و فضای باز و کاهش پوشش گیاهی همراه است که دست‌به‌دست هم داده و خطر سیلاب شهری را به طور فراوانی افزایش خواهند داد.

### نقشه ریسک سیلاب شهری

با توجه به ضرایب به دست آمده از مقایسات زوجی، ضریب هر کدام از لایه‌ها در محیط GIS، اعمال شد. در نهایت نقشه ریسک آب‌گرفتگی با توجه به معیارهای در نظر گرفته شده به دست آمد. مقادیر با عدد بالاتر نشان‌دهنده نقاط دارای ریسک بالاتر هستند و نواحی دارای مقادیر کمتر ریسک پایین‌تری دارند. همچنین نقشه به دست آمده، بر حسب شدت خطر، به ۵ طبقه ناحیه‌ای شامل نواحی دارای ریسک کم، ریسک متوسط، ریسک نسبتاً زیاد، ریسک زیاد و نواحی دارای ریسک خیلی زیاد طبقه‌بندی خواهد شد.

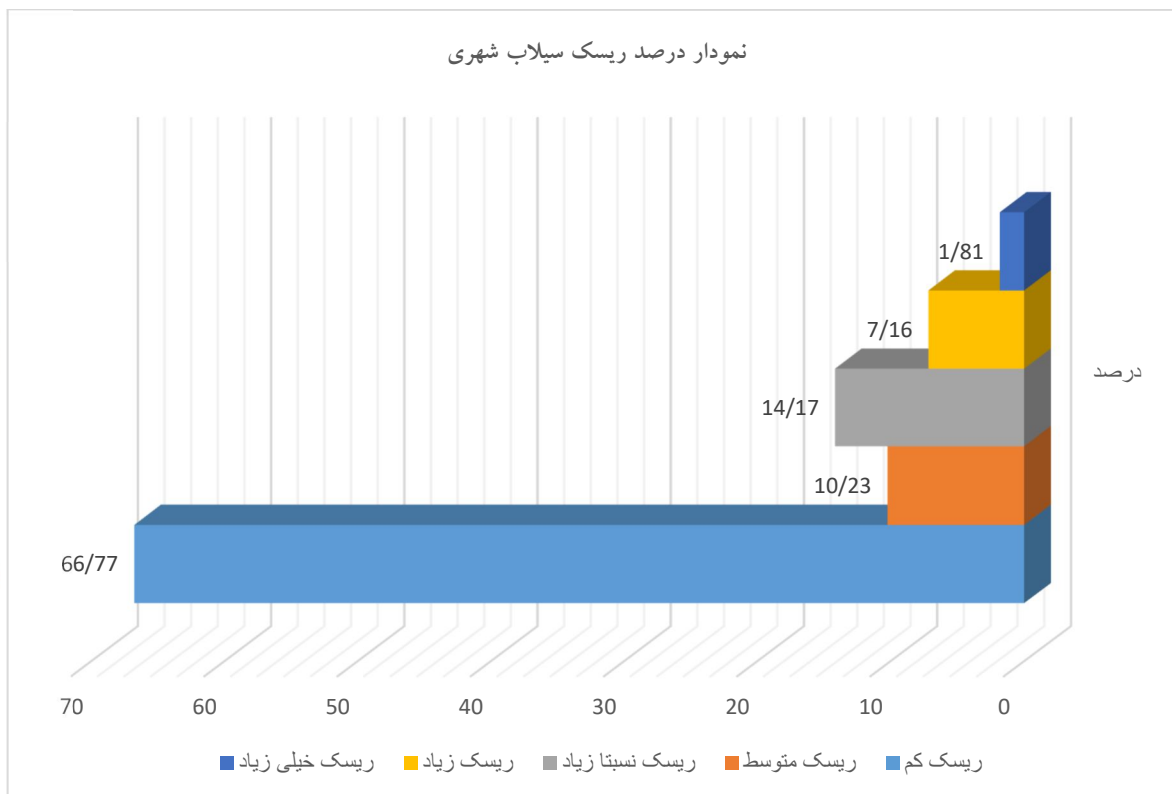


شکل ۱۲: نقشه ریسک سیلاب شهری محاسبه شده برای شهر بندرعباس



شکل ۱۳: نقشه پهنه بندی ریسک سیلاب در شهر بندرعباس

با توجه به ارزش‌گذاری انجام‌شده در مرحله قبل نقشه پهنه بندی سیلاب شهری در پنج کلاس تولید شد، که عبارت‌اند از: مناطق دارای بیشترین پتانسیل آب‌گرفتگی، طبقه‌بندی‌شده با عنوان گروه با ریسک خیلی زیاد که مساحتی معادل  $3/44$  کیلومترمربع از محدوده مطالعاتی را به خود اختصاص داده است، مناطق با ریسک آب‌گرفتگی زیاد که مساحت آن  $13/62$  کیلومترمربع است، مناطق با ریسک آب‌گرفتگی نسبتاً زیاد که مساحت آن  $26/93$  کیلومترمربع است، مناطق با ریسک آب‌گرفتگی متوسط با مساحت  $19/44$  کیلومترمربع و مناطق با ریسک آب‌گرفتگی کم که بدلیل اینکه در حوضه‌های بیرون از شهری قرار دارد و عمدتاً زمین موات است، دارای بیشترین مساحت که مقدار آن  $126/88$  کیلومترمربع است. اینکه بیشتر مناطقی که دارای ریسک کم سیل‌خیزی هستند در بیرون از حوضه شهری قرار دارند خود بیانگر این نکته است که شهر و شهرنشینی به‌واسطه افزایش سطوح نفوذناپذیر یکی از عوامل اصلی افزایش خطر سیل و بالا رفتن ریسک آب‌گرفتگی و رواناب شهری است. نتایج مقایسه میزان ریسک خطر در منطقه مورد مطالعه در (نمودار-۱)، نشان داده‌شده است.



نمودار ۱: درصد ریسک سیلاب در منطقه مورد مطالعه

با توجه به نتایج بدست آمده از نقشه پهنه بندی (شکل-۱۲)، بیشترین مقدار سیلاب با ریسک بالا، در مناطق شهری وجود دارد که بسته به عوامل تأثیر گذار مقدار آن تشدید و افزایش می یابد. همانطور که از نتایج به دست آمده از نقشه پهنه بندی ریسک سیلاب (شکل-۱۲)، برای شهر بندرعباس قابل مشاهده است منطقه جنوب شرقی شهر بندرعباس و محدوده های شهرک گلشهر جنوبی به عنوان مناطق با ریسک بالا و بسیار بالای آب گرفتگی مشخص شده است. همچنین نتایج حاصل از پهنه بندی، نشان دهنده آبگرفتگی شدید بلوار رسالت جنوبی و همچنین شهرک آزادگان، است که در پهنه بندی ریسک سیلاب انجام شده در پژوهش حاضر این مناطق با ریسک بالای آبگرفتگی مشخص شده است.

### بحث و نتیجه گیری

متأسفانه موضوع سیل شهری و مدیریت و کاهش خسارات ناشی از آن در کشور مورد توجه جدی قرار نگرفته است. در شهر بندرعباس نیز به همین گونه است به طوری که رشد و گسترش سریع شهر در دهه های اخیر بدون توجه به امر سیل و تشدید سیلاب شهری صورت گرفته است؛ که این مسئله موجب شد که در پژوهش روبرو با



استفاده از سنجش‌ازدور ابتدا میزان تغییرات کاربری اراضی و گسترش فیزیکی شهر مطالعه گردد و به دنبال آن برآورد سطوح نفوذناپذیر شهری انجام گیرد و سپس با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی با تلفیق پارامترهای به‌دست آمده و همچنین دیگر پارامترهای تأثیرگذار، نقشه تأثیرگذاری شرایط سیل خیزی منطقه (ارتفاع رواناب)، و گسترش شهر بر میزان رواناب و ریسک‌پذیری آن در برابر سیلاب شهری و آب‌گرفتگی معابر مشخص شود که با شناخت عوامل ایجاد و تشدید خطر ابتدا می‌توان نسبت به مدیریت و کنترل میزان اثرگذاری در امر برنامه‌ریزی شهری برای سال‌های آینده توجه کرد و سپس با شناسایی مناطق دارای ریسک بالا از نظر آب‌گرفتگی در بحث مدیریت و کنترل بحران متمرکز واقع شده و در امر برنامه‌ریزی و طراحی مدل‌های دفع و کنترل رواناب و جلوگیری از آب‌گرفتگی معابر به برنامه ریزان و مدیران شهری کمک کرد. لازم به ذکر است یکی از عوامل مهم در ارتباط با شهر که سیلاب شهری و میزان رواناب حاصل از بارندگی را بشدت افزایش می‌دهد، سطوح نفوذناپذیر شهری هستند که در اکثر شهرهای ایران بدون توجه به نقش آنها در ایجاد سیلاب و بدون در نظر گرفتن شرایط زهکشی طبیعی سال‌به‌سال بر مقدار آن‌ها افزوده می‌شود.

در مجموع عواملی که در تولید یا تقویت سیلاب در شهر بندرعباس مؤثر هستند، عبارت‌اند از:

الف- جغرافیایی طبیعی و شرایط آب و هوایی خاص منطقه: در این مورد چند دسته عامل مهم تأثیرگذارند عامل اول مربوط به توپوگرافی منطقه هست. شهر بندرعباس که در جنوب استان هرمزگان واقع شده است از شمال به ارتفاعات و کوه‌ها و از جنوب به خلیج فارس منتهی می‌شود، بنابراین شیب عمومی شهر در راستای شمال به جنوب است. بخش وسیع و قابل توجهی از شهر از جمله محله سورو در جنوب غربی شهر و جنوب خیابان امام خمینی حدفاصل خور نایبند (شیلات) و خور گورسوزان و جنوب محله نخل ناخدا دارای سطحی هموار بوده و تغییرات ارتفاعی پهنه‌های ذکر شده نسبت به سطح دریا بسیار جزئی می‌باشد. عامل شیب منجر به عدم حرکت آب به پایین دست می‌گردد و در نتیجه انباشت آب بسیار زیاد و ماندگاری بالای آن در یک نقطه مشاهده می‌گردد. دومین عامل مربوط به خصوصیات خاکشناسی منطقه می‌باشد. بافت‌های سنگین خاک منطقه که دارای هدایت هیدرولیکی پایینی می‌باشند مانع از نفوذ آب به لایه‌های درونی خاک می‌گردند و آب باران به‌صورت رواناب سطحی جاری می‌گردد. سومین عامل نیز مربوط به خصوصیات آب‌وهوایی منطقه است بارش‌های منطقه بندرعباس (شکل-۱۴)، به‌واسطه رگباری بودن شدید و کوتاه‌مدت می‌باشند به‌طوری‌که خاک و سیستم‌های جمع‌آوری آب فرصت کافی برای جذب و یا دفع این آب‌ها را نداشته و آب باران خیلی سریع به شکل رواناب سطحی جاری می‌گردد.

ب- عوامل دیگر که امکان ریسک سیلاب شهری و آب‌گرفتگی معابر را در شهر بندرعباس تقویت کرده است مربوط به تغییرات کاربری اراضی سریع (شکل-۷ و جدول-۶) و بدون توجه به زهکشی طبیعی زمین است که این عامل به‌نوبه خود ابتدا با گسترش سطوح نفوذناپذیر شهری از یک طرف و از طرف دیگر برهم زدن شیب طبیعی منطقه به‌واسطه ایجاد ساختمان‌ها و خیابان و گذرگاه‌ها به‌عنوان مانعی در مقابل هدایت آب ناشی از بارندگی به

## برآورد رواناب شهری و پهن‌بندی آن با استفاده از تحلیل فضایی در شهر بندرعباس

درون مسیل‌های طبیعی موجود در داخل شهر عمل کرده و آب‌گرفتگی را تشدید می‌کند. لازم به ذکر است که مورد دیگر در این رابطه که می‌توان به آن اشاره کرد، مربوط به سیستم‌های جمع‌آوری دفع آب‌های سطحی. این سیستم‌ها به واسطه ظرفیت پایین یا عدم کفایت، توانایی دفع سریع حجم بالای آب را نداشته و سریع سرریز شده و آب گرفتگی در سطح خیابان‌ها را افزایش می‌دهند.

بطور خلاصه موارد یاد شده نشان دهنده آن است که آب‌گرفتگی و سیلاب در شهر بندرعباس در درجه اول ناشی از ویژگی‌های توپوگرافیک و طبیعی منطقه از یک طرف و همچنین نوع و پراکنش بارش (شکل-۱۴)، از طرف دیگر و افزایش جمعیت شهر (جدول-۶)، و توسعه کالبدی شهر (شکل-۷)، بدون توجه به سیستم‌های مناسب جمع‌آوری و دفع رواناب است که نتایج نشان داد به دلیل افزایش سطوح نفوذناپذیر، ضریب رواناب از مقدار میانگین ۰/۵۶ به ۰/۷۰، افزایش داشته است. همچنین نتایج حاصل از پهنه‌بندی نشان داد که ۱/۸۱ درصد از محدوده مورد مطالعه دارای ریسک بسیار بالای آب‌گرفتگی و ۷/۱۶ درصد دارای ریسک زیاد و ۱۴/۱۷ درصد دارای ریسک نسبتاً زیاد و ۱۰/۲۳ درصد دارای ریسک متوسط و ۶۶/۷۷ درصد دارای ریسک کم می‌باشد.

فصل نهم: تحلیل فضایی رواناب شهری (دوره ۱۳، شماره ۵، زمستان ۱۴۰۰)

نام حوزه آبریز: طایر		کد حوزه آبریز: 2812										نام ایستگاه: بندرعباس				کد ایستگاه: 2801320310	
سال آبی	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	جمع سالانه	حد اکثر 24 ساعته	روزهای بارانی		
61-62	0	8.2	19	0	21.6	29	44.7	0	0	0	25.5	0	148	25.5	16		
62-63	0	0	1.5	0.9	2	26	0.2	0	0	0	0.5	0	31.1	23.5	8		
63-64	0	0	47.5	17.5	0	4	0	0	0	0	0	0	69	23	10		
64-65	0	0	26	10	5.5	30.5	5.5	0	0	0	0	0	77.5	24	13		
65-66	0	0	50	0	3	78.5	79.5	0	5.5	0	0	0	216.5	73	18		
66-67	0	0	0	20	92	31.5	37	0	0	0	0	0	180.5	72.5	10		
67-68	0	0	0	9	20	13.5	2.5	9.5	0	0	0	0	54.5	13	16		
68-69	21	0	84	9.5	90.5	16.5	10.5	0	0	0	0	0	232	50.5	24		
69-70	0	0	0	25	66	114.5	0	0	0	0	0	0	205.5	53	14		
70-71	0	0	84.5	65.5	120.5	8	0	0	0	0	2	0	280.5	54.5	30		
71-72	0	6	12	167	182	0	0	0	0	0	0	1	368	71	25		
72-73	0	0	0	24.8	10.9	3.9	7.9	1.5	0.8	0	0	0	49.8	24.8	15		
73-74	12	0	0.3	6.4	40.5	3.5	13.5	0	0	13.8	0	0	90	18.7	20		
74-75	9.7	0	104.7	100.7	61.4	166	51.1	0	0	1.4	0	0	495	68.7	46		
75-76	0	0	0	35.2	30.2	68	63.3	14	0	0	0	0	210.7	25.5	18		
76-77	18.6	106.8	34	75.2	68.7	22.5	4.5	0	0	0	0	0	330.3	59.5	27		
77-78	0	0	0	61.5	24	10.5	0	0	0	0	0	0	96	43.5	11		
78-79	4	0	3.5	116.1	0	0	0	0	0	4	0	0	127.6	82.5	5		
79-80	5.5	0	46	26	0	0	0	0	0	0	0	0	77.5	39	6		
80-81	0	0	3.5	26.6	0	12	0	0	0	0	0	0	42.1	13.1	8		
81-82	60	0	14	5.5	13.5	25.5	0	0	0	0	0	0	118.5	12	17		
82-83	0	0	6	8.5	7.5	0	0	0	0	0	0	0	22	8.5	3		
83-84	0	0	6	40	68	59.5	0	0	0	1	0	0	174.5	40.5	16		
84-85	0	0	0	0	0	72	0	0	0	0	0	0	72	45	6		
85-86	0	0	43	16	39.5	0	0	0	20	0	0	0	118.5	24	14		
86-87	0	0	0	59	7	0	0	0	0	0	0	0	66	22	10		
87-88	0	0	25	21.5	7	107.9	0	0	0	0	0	0	161.4	47	17		
88-89	0	0	17.5	1	3	14.5	0	0	0	0	0	0	36	10.5	10		

شکل-۱۴: اطلاعات اقلیمی مربوط به بارش در شهر بندرعباس (منبع: اداره کل هواشناسی استان هرمزگان)

## منابع

- ۱- اسماعیلی علویجه، الهام؛ کریمی، سعید؛ علوی پور، فاطمه، (۱۳۹۶). ارزیابی مناطق شهری در برابر سیل شهری با استفاده از منطق فازی (مطالعه موردی: منطقه ۲۲ تهران)، فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره ۱۹، شماره سوم، پاییز ۱۳۹۶.
- ۲- ایمانی، بهرام؛ پورخسروانی، محسن؛ (۱۳۹۶). تحلی فضایی پهنه های مخاطره آمیز شهرستان اردبیل، نشریه جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، سال ۲۸، شماره ۲، صص ۱۰۹-۱۲۸.
- ۳- امیراحمدی، ا؛ بهمن‌پار، ا؛ ابراهیمی، م، (۱۳۹۱). ریزپهنه‌بندی خطر سیلاب در محدوده شهر سبزوار در راستای توسعه و پایداری شهری. فصل‌نامه آمایش محیط، ۱۶، ۳۲-۱۷.
- ۴- اصغری‌پور، حسین، (۱۳۸۷). تصمیم‌گیری چند معیاره. چاپ پنجم، دانشگاه تهران، ۳۹۸.
- ۵- حسین پور، ابولقاسم؛ پور اصغریان، آرزو؛ کوهپایه، نواب، (۱۳۹۳). تحلیل بارش در حوزه آبخیز ساحلی و جزایر استان هرمزگان، فصلنامه علمی هواشناسی استان هرمزگان-لوار، شماره ۲۰- سال پنجم.
- ۶- دریا باری، سیدجمال‌الدین؛ لطفی، حیدر، (۱۳۹۰). مدیریت و سامان دهی اسکانه های غیر رسمی در شهر بندرعباس، فصلنامه جغرافیای سرزمین، علمی-پژوهشی، سال هشتم، شماره ۲۹.
- ۷- سپهر، عادل؛ کاویان، راحیل، (۱۳۹۳). طبقه‌بندی تحمل پذیری مناطق شهری کلان شهر مشهد به مخاطرات محیطی با استفاده از برنامه‌ریزی خطی تعامل تناوبی سیموس (Simous). جغرافیا و مخاطرات محیطی. سال سوم، شماره نهم، صص ۱۲۵-۱۴۱.
- ۸- سلاجقه، ع؛ فروتن، ا؛ مهدوی، م؛ احمدی، ح؛ شریفی، ف؛ ملک محمدی، ب، (۱۳۹۱). آب و فاضلاب، شماره ۱، ۲۳-۴۷، ۵۶-۴۷.
- ۹- صفاری، امیر؛ سامان‌پور، فرزانه؛ موسی‌پور، جعفر، (۱۳۹۰). ارزیابی آسیب‌پذیری مناطق شهری در برابر خطر سیل با استفاده از منطق فازی در منطقه ۳ تهران. تهران: تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۲۰، ۱۲۹-۱۵۰.
- ۱۰- شعبانی‌نیا، حسن؛ متولی، صدرالدین؛ جانباز قبادی، غلامرضا؛ خالدی، شهریار؛ (۱۳۹۹). برآورد مقادیر ارتفاع رواناب و دبی حداکثر با استفاده از تلفیق مدل های اتومات سلولی و SCS (مطالعه موردی: حوضه آبخیز لاریج رود)، مجله مخاطرات محیط طبیعی، دوره ۹، شماره ۲۴، صص ۷۹-۹۸.
- ۱۱- صابری فر، رستم؛ شکری، هومر؛ (۱۳۹۸). پهنه بندی سیل در شهر بیرجند، مجله آمایش سرزمین، دوره ۱۱، شماره اول، صص ۱۷۸-۱۵۹.
- ۱۲- علیزاده، امین، (۱۳۹۰). اصول هیدرولوژی کاربردی. مؤسسه چاپ و انتشارات آستان قدس رضوی، چاپ سی و دوم، ص ۲۱۹ و ۵۳۹.
- ۱۳- علوی پناه، سیدکاسم، (۱۳۸۲). کاربرد سنجش‌ازدور در علوم زمین. انتشارات دانشگاه تهران.
- ۱۴- قنوتی، عزت‌الله؛ کرم، امیر؛ آقاعلیجانی، مرضیه، (۱۳۹۱). ارزیابی و پهنه بندی خطر رخداد سیل در حوضه فرحزاد (تهران) با استفاده از مدل فازی. مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۲۳، شماره ۴، صص ۱۲۱-۱۳۸.
- ۱۵- کرم، امیر؛ درخشان، فرزانه، (۱۳۹۱). پهنه‌بندی سیل‌خیزی، برآورد سیلاب و ارزیابی کانال‌های دفع آب سطحی در حوضه‌های شهری. فصلنامه جغرافیای طبیعی، ۱۶.

۱۶- گیوی، مجید؛ علی پور، سمیره؛ نظری، صفیه؛ اقامتی گشتی، رضا، (۱۳۹۴). بررسی عوامل مؤثر بر جلب مشارکت شهروندان در توسعه پایدار شهری (مورد مطالعه: شهر بندرعباس)، فصلنامه علمی-پژوهشی علوم اجتماعی دانشگاه آزاد اسلامی واحد شوشتر، سال نهم، شماره چهارم، پیاپی (۳۱)، زمستان ۱۳۹۴.

۱۷- مهدوی، محمد؛ (۱۳۸۱). هیدرولوژی کاربردی، انتشارات دانشگاه تهران، جلد دوم، صفحه ۴۳۹.

18-Correia, E.N., Saraiva, M.G., Silva, F.N., Romos, I., (1999). **Floodplain Management in Urban Development Area. Part II. GIS-Based Flood Analysis and Urban Growth Modeling.** February 1999, Volume 13, Issue 1, pp: 23-37.

19-Das, S. (2019). **Geospatial mapping of flood susceptibility and hydro-geomorphic response to the floods in Ulhas basin, India.** Remote Sensing Applications: Society and Environment, 14, 60-74.

20-Fernandez, D.S., Lutz, M., (2010). **Urban Flood Hazard Zoning in Tucuman Provice, Argentina, Using GIS and Multicriteria Decision Analysis.** Research Engineering Geology, 111: 90-98.

21-Kumar, S., Arya, D., Vojinovic, D. S., (2013). **Modeling of urban growth dynamics and its impact on surface runoff characteristics.** Computers, Environment and Urban Systems, 41, 124-135.

22-Mind'je, R., Li, L., Amanambu, A. C., Nahayo, L., Nsengiyumva, J. B., Gasirabo, A., & Mindje, M. (2019). **Floodsusceptibility modeling and hazard perception in Rwanda.** International Journal of Disaster Risk Reduction, 101211.

23-Muller, A., Reiter, J., Weiland, U., (2011). **Assessment of urban vulnerability towards floods using an indicator-based approach-a case study for Santiago de Chile.** Natural Hazards and Earth System Sciences, 11, 2107-2123.

24-Mishra, S., Tyagi, J., Singh, V., & Singh, R. (2006). **SCS-CN-based modeling of sediment yield.** Journal of Hydrology, 324(1-4), 301-322

25-Maksimovic, C., (2001). **Urban drainage in specific climates.** UNESCO IHP, Technical.

26-Pradhan, B., Hagemann, U., Shafapour Tehrany, M., Prechtel, N., (2014). **an easy to use ArcMap based texture analysis program for extraction of flooded areas From TerraSAR-X satellite image.** Comput. Geosci. 63, pp 34-43.

27-Singh, V. P., (1996). **Hydrology of disasters, Water Science and Technology library.** Kluwer Academic publishers.

28-Youssef, A. M., & Hegab, M. A. (2019). **Flood-Hazard Assessment Modeling Using Multicriteria Analysis and GIS: A Case Study Ras Gharib Area, Egypt.** In Spatial Modeling in GIS and R for Earth and Environmental Sciences (pp. 229-257):Elsevier.

29-Yu, P.S., Yang, T., Chen, S.J., (2001). **Comparison of uncertainty analysis methods for a distributed rainfall- runoff model.** Journal of Hydrology, 244: 43-59.

30-Zhang, H., Ma, W., Wang, X., (2008). **Rapid urbanization and implication for flood risk management in hinterland if the pearl river delta china: The Foshan Study:** Sensors Publisher ISSN, 1424-8220.

31-Zhan, X., & Huang, M.-L. (2004). **ArcCN-Runoff: an ArcGIS tool for generating curve number and runoff maps.** Environmental modelling & software, 19(10), 875-879.