

مدل سازی زمان رسیدن آلودگی فسژن اکسیم به حداکثر میزان در رواناب (مطالعه موردی: مناطق مجاور رودخانه کن و شمال سیل برگردان غرب تهران)

محمدجواد کاظمی^۱، صفا خزایی^{۲*}

۱- کارشناس ارشد، دانشگاه شهید بهشتی ۲- استادیار، دانشگاه جامع امام حسین (ع)

(دریافت: ۹۴/۰۴/۲۴، پذیرش: ۹۴/۰۸/۰۵)

چکیده

آلودگی آب ناشی از مواد شیمیایی به اشکال مختلف مانند بمب‌های شیمیایی، حملات تروریستی و اتفاقات ناخواسته یکی از نگرانی‌های اصلی جوامع بشری است. آلودگی‌های شیمیایی می‌تواند به دلیل نشت مواد آلاینده در سطح زمین یا بارندگی در زمان آلوده‌بودن هوا همراه با باران وارد آب شوند. هدف اصلی این تحقیق مدل‌سازی زمان رسیدن آلودگی آب‌های سطحی به حداکثر مقدار خود پس از ورود آلودگی شیمیایی به آن می‌باشد. در این تحقیق، پخش آلودگی شیمیایی ناشی از عامل تاول‌زای فسژن اکسیم با استفاده از نرم‌افزارهای ArcGIS و SWMM در کلیه مناطق مجاور رودخانه کن و شمال سیل برگردان غرب تهران مدل‌سازی شده است. نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که میزان حداکثر غلظت آلودگی به دوره بازگشت بارندگی، غلظت آلودگی و نیز جنس و شیب زمین بستگی دارد و همچنین، زمان رسیدن به حداکثر میزان آلودگی تقریباً ثابت و بین ۳ تا ۴ ساعت است.

کلید واژه‌ها: آلودگی شیمیایی، منابع آب، پخش آلودگی، سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی، SWMM

Modeling of Required Time to Reach the Maximum Phosgene Oxime Pollution in Runoff (Case Study: The Adjacent Areas of Kan River and North Flood Return of West Tehran)

M. J. Kazemi, S. Khazaei*

Imam Hossein University

(Received: 15/07/2015; Accepted: 27/10/2015)

Abstract

Water pollution caused by chemical materials in different forms such as chemical bombs, terrorist attacks, and reluctant events is one of the main concerns of human societies. Chemical pollutions can permeate into surface waters because of the release of pollutions on the ground or rainfall in the time of air pollution. The main objective of this study is to model the surface water pollution reaching its maximum level after entering the chemical pollution. In this study, diffusion of chemical pollution caused by phosgene oxime (blister agent) in all areas alongside to Kan River and the reverse flood area of the west of Tehran is modeled using ArcGIS and SWMM softwares. Based on the results, the maximum density of pollution depends on the return period of rainfall, the pollution density, and type and slope of the ground. Also, the time to reach the maximum pollution is almost constant between 3 to 4 hours.

Keywords: Chemical Pollution, Water Resources, Diffusion of Pollution, GIS, SWMM.

* Corresponding Author E-mail: skhazai@ihu.ac.ir

۱. مقدمه

ورود آن به آب میزان غلظت چه تغییری کرده و چه مدت‌زمان آلودگی در آب ادامه پیدا می‌کند تا در پایین‌دست از این آب استفاده نشود [۱].

جدول ۱. نمونه‌هایی از تهدیدهای شیمیایی آب آشامیدنی [۳]

| سال | کشور | نوع تهدید | توضیحات |
|------|---------|-------------|--|
| ۱۸۷۷ | آمریکا | انجام‌شده | آلوده شدن کانال آب با دینامیت در ایالت اوهایو |
| ۱۹۷۷ | آمریکا | انجام‌شده | آلوده کردن آب کارولینای شمالی با مواد شیمیایی ناشناخته |
| ۱۹۸۵ | آمریکا | تهدید روانی | آلوده کردن آب برخی شهرهای آمریکا با پتاسیم سیانید |
| ۱۹۹۲ | ترکیه | انجام‌شده | آلودگی مخزن آب در یک پایگاه نیروی هوایی در استانبول با پتاسیم سیانید |
| ۱۹۹۳ | ایران | تهدید روانی | آلوده کردن آب شهرهای غربی ایران |
| ۲۰۰۰ | بلژیک | انجام‌شده | آلوده شدن رودخانه موس با ۵۰۰۰ لیتر اسید سولفوریک |
| ۲۰۰۲ | ایتالیا | تهدید روانی | تهدید به آلوده کردن آب شهر رم به مواد شیمیایی سیانیدی |

امروزه استفاده از مواد شیمیایی و بیولوژیکی به اشکال مختلف مانند بمب‌های شیمیایی و بیولوژیکی، حملات تروریستی و اتفاقات ناخواسته به یکی از نگرانی‌های اصلی جوامع بشری تبدیل شده است. ورود این مواد به محیط زیست به شکل مایع و گاز، تاثیرات کشنده و زیان‌آوری بر روی انسان‌ها و سایر موجودات زنده می‌گذارد. همچنین وقوع مکرر آلودگی‌های ناگهانی آب خطرات زیادی را برای سلامت و ایمنی محیط زیست به وجود آورده است، بنابراین نیاز فراوانی برای مدل‌سازی و توسعه سیستم‌های هشداردهنده، واکنش سریع برای شرایط آلودگی نیاز است. میزان تاثیر برخی از این مواد با گذشت زمان کاهش می‌یابد ولی برخی دیگر در محیط پایدار می‌باشند. این مواد پس از استفاده در محیط باقی مانده و به اشکال مختلف وارد منابع آب می‌شوند [۱]. ورود این مواد می‌تواند به صورت یک حمله تروریستی با وارد کردن مواد شیمیایی به آب و یا نشست کردن مواد شیمیایی حاصل از حملات هوایی به سطح زمین و سپس ورود آن در زمان بارندگی به آب باشد [۲].

استفاده از مواد شیمیایی توسط برخی گروه‌های تروریستی در برخی از نقاط جهان همان چیزی است که تحت عنوان تروریسم شیمیایی نگرانی‌های زیادی در خصوص این پدیده به وجود آورده است. حمله با گاز سارین به یکی از ایستگاه‌های متروی شهر توکیو توسط فرقه ژاپنی آئوم شینریکیو در سال ۱۹۹۵ و یا حمله از طریق بسته پستی حاوی عامل سیاه‌زخم در واشنگتن در سال ۲۰۰۱ از موارد استفاده گروه‌های تروریستی از عوامل بیولوژیک و شیمیایی است، با این حال تاریخچه استفاده از مواد شیمیایی از سوی گروه‌های تروریستی گسترده نیست، البته توجه به نتایج دردناک آن سبب شده تا خطرات ناشی از تکرار این فجایع جدی گرفته شود [۳ و ۴]. استفاده از آب به‌عنوان هدف و ابزار جنگ و تروریسم سابقه طولانی مدتی دارد. در جدول (۱) نمونه‌هایی از این تهدیدها ارائه شده است.

در منطقه آلوده ممکن است در زمان حمله و یا پس از مدتی بارندگی اتفاق بیافتد و آلودگی را از هوا یا سطح زمین در خود حل و وارد آب کند. هنگام بارندگی آلودگی به تدریج در آب حل شده و آب‌های سطحی را آلوده می‌نمایند. این آب به مناطق پائین دست رفته و به مصارف مختلف از جمله شرب، کشاورزی، دامداری و صنایع می‌رسد که خطرات جانی و مالی زیادی دارد. اما اگر آلودگی به صورت وارد کردن مستقیم مواد شیمیایی با هدف خراب‌کاری باشد، میزان خسارت در صورت عدم کنترل به موقع می‌تواند بسیار گسترده باشد [۲ و ۵]. با توجه به اثرات این مواد سمی، باید مشخص شود که پس از

در این مطالعه مدل‌سازی گسترش آلودگی عامل تاول‌زای فسژن اکسیم^۱ (CX) به‌عنوان نمونه‌ای از آلودگی شیمیایی مورد بررسی قرار می‌گیرد. لازم به توضیح است عوامل تاول‌زا عواملی هستند که چشم‌ها، شش‌ها و پوست را تحت تاثیر قرار می‌دهند. این عوامل در حالت مایع و بخار می‌توانند موجب سوختگی و تاول در هر قسمت از بدن که با آن تماس حاصل می‌نمایند (چه داخلی و چه خارجی) شوند. این عوامل در مقادیر اندک نیز موثر هستند و با تاخیر ایجاد مسمومیت و تلفات می‌کنند [۵-۷].

هدف اصلی این تحقیق مدل‌سازی زمان رسیدن آلودگی آب به حداکثر مقدار خود پس از ورود آلودگی شیمیایی به آن است. لازم به توضیح است که حداکثر مقدار آلودگی از مهمترین پارامترهای قابل بررسی است که بر روی زندگی موجودات تاثیر حیاتی دارد. همچنین با تعیین این زمان می‌توان برنامه‌ریزی مناسبی جهت اقدامات مدیریت بحران و پدافند غیرعامل در منطقه ارائه نمود. در این راستا تحقیقات محدودی انجام شده است. در تحقیق [۸] تاثیر اعداد بدون بعد پکلت^۲ و کورانت^۳ بر روند حل عددی پخش آلودگی و مقایسه آن با روش‌های تحلیلی مورد بررسی قرار گرفته است. بر اساس نتایج حاصل از این تحقیق، روش‌های تحلیلی و عددی از انطباق بالایی

^۱Phosgene Oxime

^۲Peclet Number

^۳Courant Number

دقت کارایی و اطمینان بالایی دارند پیشنهاد شده است تا نتایج دقیق‌تر و مطمئن‌تری به‌دست آید.

در مطالعه‌ای کیفیت رواناب‌ها با استفاده از نرم‌افزار SWMM در حوضه‌های شهری پیش‌بینی شده است. در این مطالعه اکسیژن خواهی شیمیایی، مواد معلق جامد کل، نیتروژن کج‌دال کل و سرب به‌عنوان پارامترهای کیفی بررسی شده است. نتایج پیش‌بینی‌شده توسط مدل با نتایج مشاهده‌شده در واقعیت همبستگی خوبی داشته است [۱۵]. همچنین در یک مطالعه دیگر که به مدل‌سازی کمی و کیفی رواناب‌ها در حوضه‌های شهری با استفاده از SWMM پرداخته شده است، بررسی کیفیت رواناب، پارامترهای سفر کل و مواد معلق جامد کل بررسی شده است [۱۶]. در این مطالعه، پس از انجام مدل‌سازی، اعتبارسنجی برای صحت داده‌ها صورت پذیرفته و اطلاعات به‌دست‌آمده با اطلاعات مدل‌شده به‌خوبی تطابق داشته است.

به‌دلیل دقت بالای محاسبات و مدل‌سازی در روش استفاده همزمان از هر دو سیستم GIS و نرم‌افزارهای مدل‌سازی تخصصی هزینه‌های نمونه‌برداری میدانی و اعتبارسنجی کاهش می‌یابد و می‌توان برای پروژه‌های خاص اعتبارسنجی انجام داد.

در یک مطالعه انجام‌شده در آمریکا جهت تعیین نرم‌افزارهای مناسب برای مدل‌سازی پخش آلودگی رواناب‌های شهری [۱۷]، نشان می‌دهد که چهار نرم‌افزار (SWMM, HSPF, STORM, USGS) برای مناطق با مقیاس بزرگ بهترین انتخاب می‌باشند. در این مدل‌ها داده‌های میدانی برای کالیبراسیون بهتر مورد استفاده قرار می‌گیرد و الزاماً نیاز به این داده‌ها نیست. از این میان، نرم‌افزار SWMM از انعطاف‌پذیری بالایی برخوردار است زیرا قادر به دریافت مشخصات حوضه، مشخصات فیزیکی و شیمیایی نوع آلاینده و شرایط بارندگی است بنابراین نتایج پیش‌بینی‌شده با نتایج اندازه‌گیری‌شده هماهنگی خوبی دارد. در این مطالعه ۸ شهر از شهرهای مختلف آمریکا با این نرم‌افزارها مورد بررسی قرار گرفته است که از بین این‌ها نرم‌افزار SWMM به‌دلیل قابلیت بالا از نتایج بهتری برخوردار بوده است.

بررسی‌های انجام‌شده در مطالعه حاضر نشان می‌دهد تاکنون تحقیقات اندکی در زمینه پخش آلودگی در آب انتشار یافته است که به زمان رسیدن حداکثر میزان آلودگی پرداخته اند، هرچند بررسی و مقایسه روش‌های مدل‌سازی تحلیلی و عددی پخش آلودگی‌هایی که به‌صورت یکباره وارد آب می‌شوند در چند تحقیق انجام شده است. در این تحقیق نحوه پخش آلودگی ناشی از ورود مواد آلاینده شیمیایی که بر روی سطح زمین نشست است و در زمان بارندگی وارد آب می‌شوند

برخوردار هستند. همچنین در تحقیق [۹] انتقال و پخش آلودگی نفتی در بخش شمالی خلیج فارس شبیه‌سازی شده است. در این پژوهش تاثیر جریان‌های ترموهالاینی^۱ و جریان‌های ناشی از باد به‌عنوان عوامل اصلی موثر در پخش آلودگی بررسی شده است. استفاده از سیستم GIS و نرم‌افزارهای مدل‌سازی در زمینه‌های مختلف برای پیش‌بینی و مدیریت بحران امری نوظهور می‌باشد. در یک تحقیق یک سیستم واکنش اضطراری در حوادث ناگهانی آلودگی آب بر اساس ادغام فن‌آوری سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)^۲ و مدل‌های هیدرولیک کیفیت پیشنهاد شده است [۱۰]. در تحقیق مذکور، به منظور ارائه هشدار زودهنگام و واکنش اضطراری در حادثه‌های اتفاقی آلودگی آب در منطقه سد ژیانگ جی^۳ بر روی رودخانه یانگ‌تسه، با استفاده از تجزیه و تحلیل فضایی و قابلیت تجسم سه‌بعدی در GIS، انتشار آلاینده محاسبه و نتایج شبیه‌سازی تجزیه و تحلیل شده است. در یک تحقیق دیگر نیز برخی آلودگی‌های ناشی از فاضلاب در خلیج ترمایکوس^۴ واقع در شمال یونان با استفاده از منطق فازی مدل‌سازی شده است [۱۱]. در این مطالعه زمان رسیدن آلودگی به یک حد تعادل در کل ساحل بین ۸۰ تا ۲۸۰ ساعت تخمین زده شده است. بر اساس نتایج این تحقیق، زمان رسیدن به غلظت ثابت در کل ساحل به غلظت آلاینده ورودی بستگی داشته است.

همچنین در تحقیق تاثیر هیدرولوژی زمین بر کیفیت آب‌های سطحی با استفاده از آنالیزهای فضایی و آماری و به کمک نرم‌افزار GIS مورد بررسی قرار گرفته است [۱۲]. نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که هنگام بارندگی هیدرولوژی زمین تاثیر بسزایی بر میزان نیتروژن و فسفر و کلیرفم‌ها دارد. همچنین، نتایج آماری و مدل‌سازی با یکدیگر انطباق داشته و میزان نیتروژن و فسفر در مناطق شهری بیش از زمین‌های دیگر افزایش داشته است. همچنین در تحقیق مشابهی از سیستم GIS و نرم‌افزارهای دو و سه‌بعدی برای پیش‌بینی و مدل‌سازی آلودگی جهت کنترل شرایط بحرانی در سد ژیانگ جی استفاده شده است [۱۳].

در یک تحقیق نیز ۱۰ مورد آلودگی به‌عنوان نمونه برای مقایسه عملکرد مدل‌های ساده و پیچید برای مدل‌سازی پخش آلودگی در آب‌های سطحی مورد بررسی قرار گرفته است [۱۴]. استفاده از مدل‌های پیچیده مانند SWMM برای حوضه‌های با مساحت بالا، آلودگی‌ها و شرایط محیطی مختلف که نیاز به

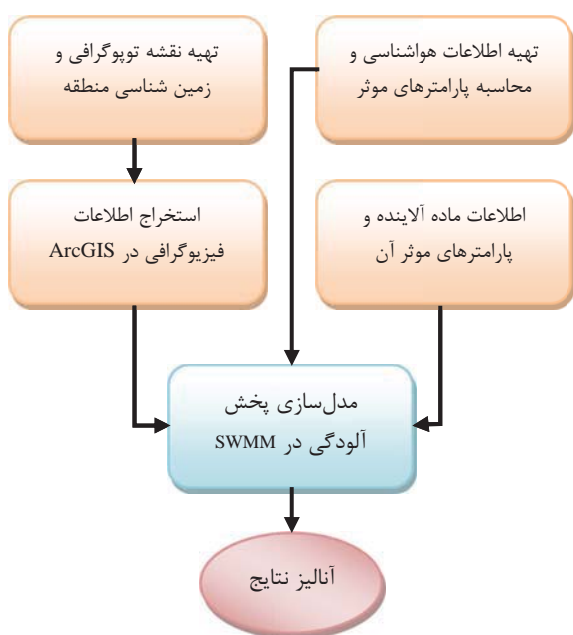
¹Thermohaline Circulation

²Geographic Information System

³Xiangjia

⁴Thermaikos

فراریت ۱۸۰۰ mg/m³ در گروه خود بسیار سمی است. دُز متوسط کشنده یا LD₅₀^۲ این ماده از طریق جذب پوستی برابر ۲۵ mg/kg تخمین زده شده است. این عامل می‌تواند در لباس‌ها و لاستیک نسبت به عوامل دیگر با سرعت بسیار بیش‌تری نفوذ کند و بر پوست، چشم، و ریه‌ها تاثیر گذارد. ضایعات پوستی، شبیه به حالت ناشی از یک نوع اسید قوی است. تخریب پوستی سریع موجب می‌شود که پوست بیش‌تر تحت تاثیر قطرات عامل بر روی پوست قرار گیرد که به‌صورت بالقوه کشنده است. فسژن اکسیم همچنین به‌عنوان یک سم ریوی نیز طبقه‌بندی شده است [۷].



شکل ۱. فرایند مدل‌سازی زمان رسیدن آلودگی آب‌های سطحی به حداکثر مقدار خود پس از ورود آلودگی شیمیایی

۲-۳ معرفی منطقه مورد مطالعه

در این مطالعه، کلیه مناطق مجاور رودخانه کن (حدود ۸۰ کیلومتر مربع) و شمال سیل برگردان غرب تهران (در حدود ۷۰ کیلومتر مربع) که به این دو زهکش تخلیه می‌شوند و ناحیه‌ای در حدود ۱۵۰ کیلومتر مربع را در بر می‌گیرند، به‌عنوان حوضه مورد مطالعه در نظر گرفته شده است. این حوضه شامل ۱۱ زیر حوضه کوهستانی و ۳۲ زیر حوضه شهری است (شکل ۲). مجموع مساحت حوضه‌های کوهستانی برابر ۲۸۶/۵ کیلومتر مربع و مجموع مساحت‌های حوضه‌های شهری برابر ۱۴۷/۲۴ کیلومتر مربع است که در مجموع مساحت کل حوضه برابر ۴۳۳/۷۴ کیلومتر مربع می‌باشد. ارتفاع متوسط زیرحوضه‌ها از ۱۱۱۶ تا ۲۶۷۳ متر از سطح دریا متغیر بوده و به‌طور متوسط

مدل‌سازی می‌شود. همچنین پخش آلودگی‌های ناشی از ورود آلودگی شیمیایی به‌صورت یکباره و زمان‌ماند و غلظت‌های آن در زمان‌های مختلف مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۲. روش تحقیق

۲-۱. مدل‌سازی

شکل (۱) فرایند مدل‌سازی زمان رسیدن آلودگی آب‌های سطحی به حداکثر مقدار خود پس از ورود آلودگی شیمیایی به آن را نشان می‌دهد. در فرایند مدل‌سازی، اطلاعات فیزیوگرافی منطقه از طریق مدل‌سازی منطقه توسط سامانه اطلاعات جغرافیایی ArcGIS تهیه می‌شود. جهت مدل‌سازی منطقه، پهنه‌بندی منطقه بر اساس نقشه توپوگرافی و زمین‌شناسی منطقه از نظر جنس زمین، کاربری آن، شیب منطقه و سایر اطلاعات انجام می‌شود. پس از پهنه‌بندی اطلاعات مربوط به خصوصیات فیزیوگرافی منطقه از قبیل مساحت، محیط و شیب اراضی حوضه، طول و شیب سیلاب‌روی هر زیرحوضه (اصلی)، موقعیت مرکز ثقل و ارتفاع متوسط حوضه، درصد سطوح نفوذناپذیر اراضی و CN^۱ (شماره منحنی) از هریک از زیر حوضه‌ها استخراج می‌گردد. برای محاسبه CN از رابطه (۱) استفاده می‌شود [۱۸].

$$CN = 92 \times LG\% + 90 \times LR\% + 92 \times LM\% + 92 \times LE\% + 98 \times LO\% \quad (1)$$

در رابطه بالا، LG، LR، LM، LE و LO به‌ترتیب کاربری‌های فضای سبز، فضای مسکونی، فضای نظامی، فضای آموزشی و سایر فضاها می‌باشند. با تعیین مشخصات فیزیوگرافی، اطلاعات مورد نیاز برای محاسبه سیلاب‌های شهری به‌دست می‌آید. در مرحله بعد، با استفاده از اطلاعات هواشناسی منطقه فاکتورهای موثر از قبیل شدت، زمان و دوره بازگشت بارندگی محاسبه می‌گردد. در مرحله بعد، بر اساس اطلاعات استخراج شده از منطقه و اطلاعات مربوط به آلودگی شیمیایی، مدل‌سازی پخش آلودگی مورد نظر توسط نرم‌افزار SWMM انجام می‌گردد. در مرحله پایانی، با تجزیه و تحلیل نتایج حاصله زمان حداکثر میزان آلودگی محاسبه می‌گردد.

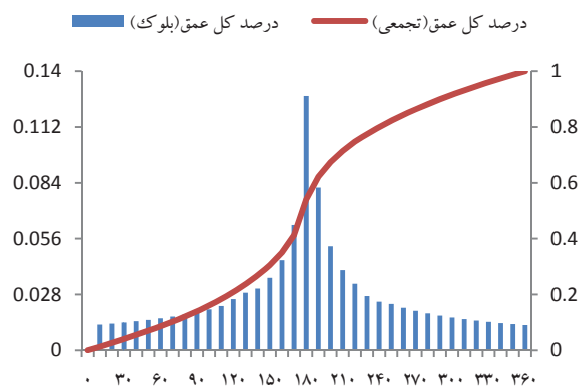
۲-۲. عامل شیمیایی مورد مطالعه

عامل تاول‌زای فسژن اکسیم در دمای محیط مایع است. این ترکیب در آب قابل حل بوده (یا انحلال‌پذیری ۷۰ درصد) و با

^۲Lethal Dose

^۱Curve Number

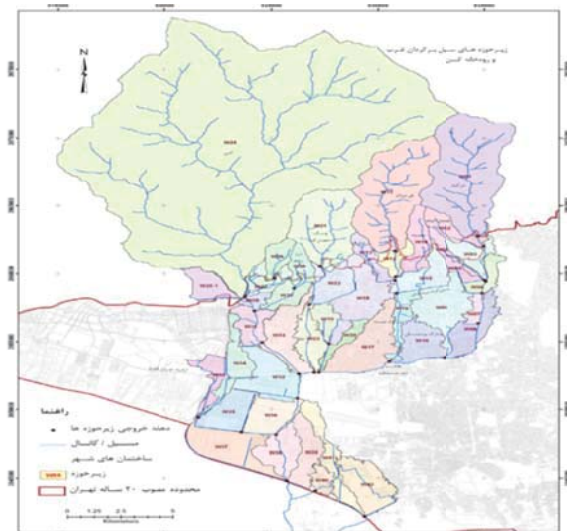
ساعت، میزان بارندگی در تداوم‌های ۱۰ دقیقه تا ۶ ساعت تعیین و میزان بارش در هر گام زمانی منتخب با بلوک‌های بارش محاسبه گردید. برای تعیین عمق کل بارش در هر زیرحوضه شهر تهران، ارتفاع متوسط هر زیرحوضه در نظر گرفته شده، بارش با تداوم کل ۶ ساعت مربوط به نقطه‌ای با همان ارتفاع از روی منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی بارش‌های کوتاه مدت شهر تهران استخراج گردید و مقدار به‌دست‌آمده به این طریق به‌عنوان بارش یکنواخت در کل سطح حوضه اعمال شد. رابطه میان عمق بارندگی و مساحت تحت پوشش باران به‌ازای تداوم‌های ۳۰ دقیقه تا ۲۴ ساعت به‌دست آمده و به‌صورت نمودار شکل (۳) ارائه شده است.



شکل ۳. الگوی زمانی بارش به روش بلوک مصنوعی از روی نمودار IDF. [۱۹].

در این مطالعه حوضه به پنج کاربری، فضای سبز، مسکونی، نظامی، آموزشی، و سایر طبقه‌بندی شده است (شکل ۴). شکل (۵) نیز پهنه‌بندی خاک زیر حوضه از نظر هیدرولوژیک را نشان می‌دهد. با استفاده از رابطه (۱) مقادیر فقدان بر حسب میلی‌متر محاسبه گردید. با ضرب عدد ۲۴ در شدت بارش ۲۴ ساعته برای دوره‌های بازگشت مختلف، عمق بارش ۲۴ ساعته محاسبه گردید و با کسر مقادیر فقدان متناسب با هر دوره بازگشت، مقادیر عمق رواناب محاسبه شد. سپس با تقسیم عمق رواناب ۲۴ ساعته به عمق بارش ۲۴ ساعته مقادیر ضرایب رواناب متناسب با دوره‌های بازگشت مختلف محاسبه شد. شکل‌های (۶) و (۷) مقادیر ضرایب رواناب ۴۳ زیرحوضه مربوط به حوضه سیل برگردان غرب و کن را در دو دوره بازگشت ۲ و ۵ سال نشان می‌دهند. شکل (۸) نیز درصد سطوح نفوذناپذیر کنونی حوضه سیل برگردان غرب و کن را نشان می‌دهد.

اختلاف ارتفاع متوسط برابر ۱۵۵۷ متر است [۱۹].



شکل ۲. حوضه سیل برگردان غرب و کن و کانال‌های اصلی و نقاط اتصال شبکه [۱۹].

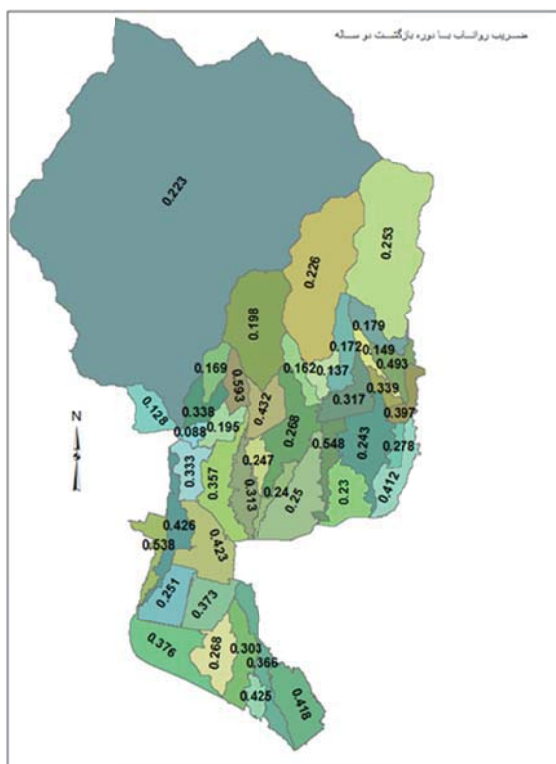
۳. نتایج و بحث

در این تحقیق، حوضه‌بندی توسط نرم‌افزار WMS و با استفاده از قابلیت‌های نرم‌افزار ArcGIS ایجاد گردیده است. در این تکنیک، ابتدا جهت حرکت در کانال‌های اصلی و فرعی مشخص گردیده و بعد شبکه سیلاب‌روی شهری نیز بر روی همان نقشه قرار گرفته و از روی جهت حرکت رواناب، حوضه سرویس هر کانال مشخص شده است. لازم به توضیح است حوضه‌های کم‌تر از ۰/۱ کیلومتر مربع با نزدیک‌ترین حوضه کناری ادغام شده و حوضه‌های بزرگ‌تر از ۲۰ کیلومتر مربع با توجه به همگنی کاربری اراضی به حوضه‌های کوچک‌تر از ۲۰ کیلومتر مربع تفکیک شده‌اند. همچنین با استفاده از مدل‌سازی منطقه توسط ArcGIS، اطلاعات فیزیوگرافی زیرحوضه‌ها شامل مساحت، محیط، طول، فاکتور شکل، ارتفاع متوسط حوضه، شیب اراضی حوضه، میزان اراضی رو به جنوب، میزان اراضی رو به شمال، مرکز ثقل x، مرکز ثقل y، فاصله مرکز ثقل تا خروجی حوضه، شیب مرکز ثقل تا خروجی، طولانی‌ترین مسیر حرکت آب، شیب طولانی‌ترین مسیر حرکت آب، حداکثر طول کانال، شیب طولانی‌ترین کانال، زمان تمرکز-کریپ (دقیقه)، زمان تمرکز-روش سرعت^۱ SCS دقیقه به‌دست آمد. سپس این اطلاعات به همراه ویژگی‌های هواشناسی محاسبه‌شده منطقه وارد نرم‌افزار SWMM گردید و مدل‌سازی هیدرولوژی منطقه انجام گردید.

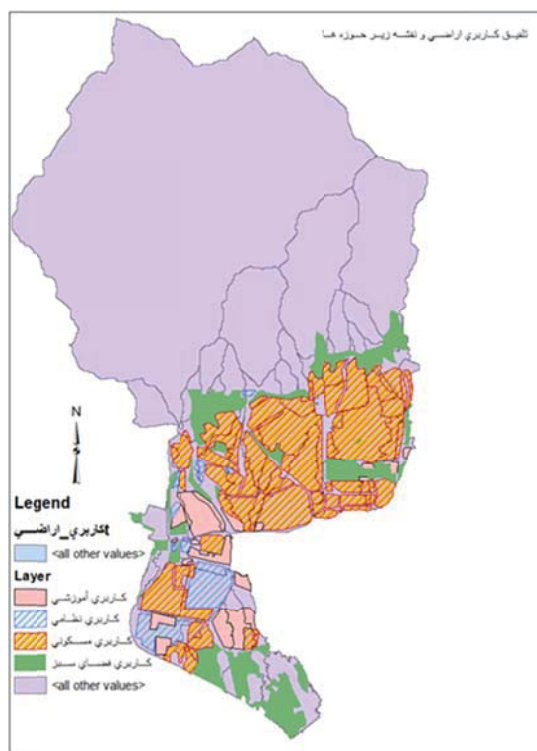
با استفاده از منحنی‌های IDF^۲ در یک بارش با تداوم ۶

^۱ Soil Conservation Service

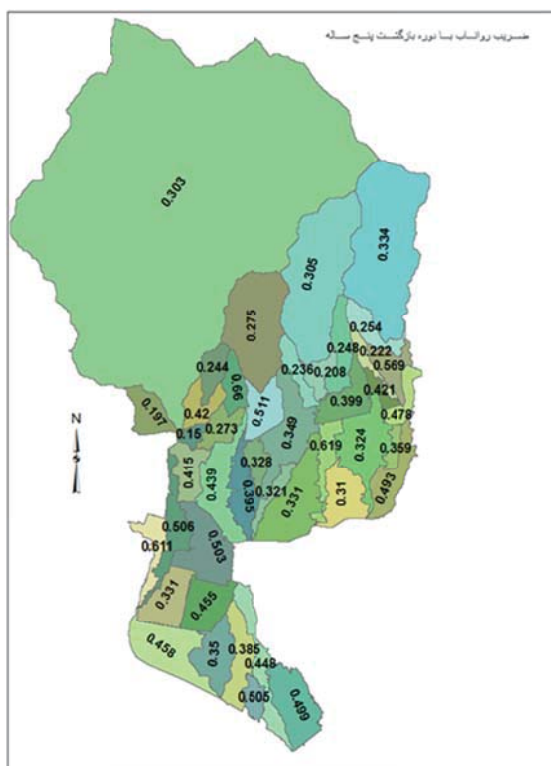
^۲ Intensity- Duration- Frequency



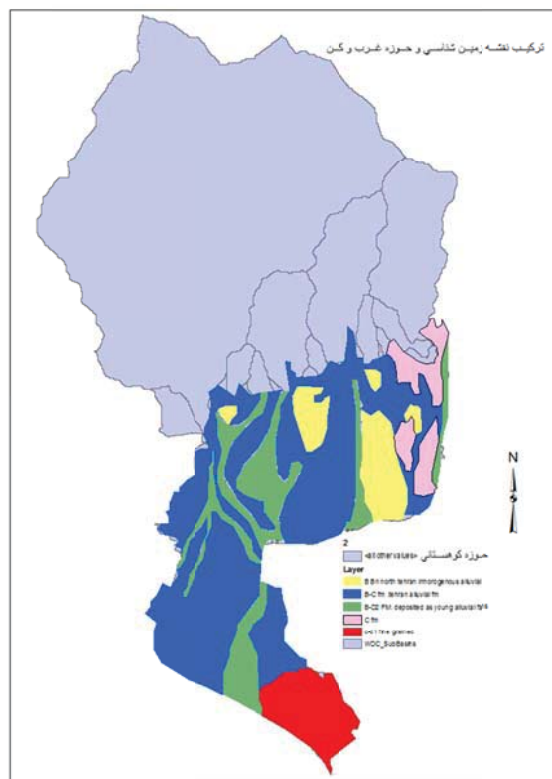
شکل ۶. ضریب رواناب زیر حوضه ها با دوره بازگشت ۲ سال



شکل ۴. نقشه کاربری اراضی و زیر حوضه های سیل برگردان غرب و کن ۵ سال



شکل ۷. ضریب رواناب زیر حوضه ها با دوره بازگشت ۵ سال

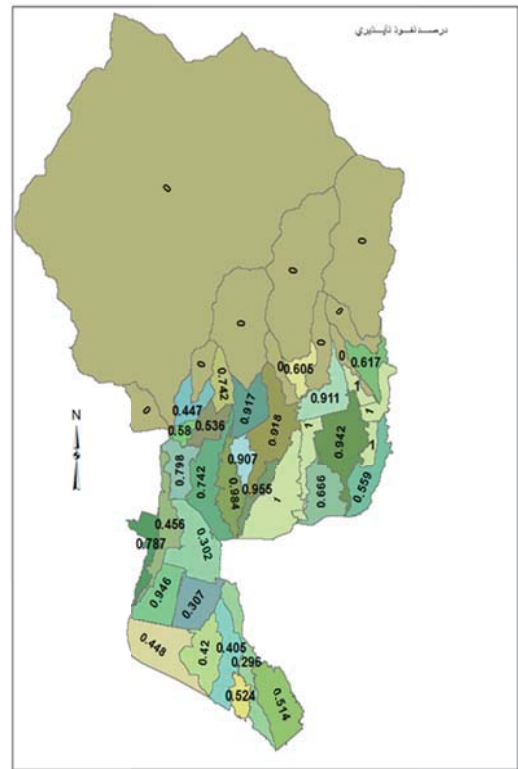


شکل ۵. پهنه بندی خاک زیر حوضه از نظر هیدرولوژیک

بارندگی چون در ابتدای بارندگی بخشی از باران صرف خیس کردن زمین و نفوذ کردن در آن می‌شود، اندک زمانی طول می‌کشد تا باران بر روی سطح زمین جاری شود. پس از جاری شدن رواناب آلودگی‌های شیمیایی سطح زمین نیز به تدریج و با توجه به مقدار نشسته شده و میزان انحلال پذیری آن در رواناب حل شده و همراه جریان به حرکت در می‌آید. هر چقدر شدت بارندگی بیش‌تر باشد میزان انحلال افزایش یافته و شیب نمودار با شیب تندتری افزایش می‌یابد. همچنین اگر میزان آلودگی زیاد باشد میزان وارد شده به آب نیز زیاد خواهد بود. با توجه به نمودارهای حاصل از این مطالعه، غلظت‌های متفاوت آلودگی وارده و شدت بارندگی تاثیر اندکی در زمان رسیدن به حداکثر میزان آلودگی دارد.

شکل (۹-ب) میزان آلودگی در طی ۶ ساعت پس از بارندگی با دوره بارندگی با بازگشت ۵ ساله و غلظت آلودگی ۵ میلی‌گرم بر لیتر را نشان می‌دهد. در این نمودار زمان رسیدن به حداکثر مقدار افزایش یافته است و همچنین میزان غلظت آلاینده نیز به بیش از ۱/۴ میلی‌گرم بر لیتر رسیده است. همان‌طور که در این نمودار مشخص است در زمان سه ساعت و بیست دقیقه میزان آلاینده به همان اندازه قبلی یعنی حدود یک میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. این افزایش غلظت به دلیل افزایش طول دوره بازگشت بارندگی از ۲ سال به ۵ سال می‌باشد که به تبع آن شدت بارندگی نیز افزایش یافته و در نتیجه رواناب بیش‌تری جاری شده و میزان بیش‌تری از آلاینده را در خود حل کرده است. پس از رسیدن به حداکثر مقدار آلاینده در زمان ۴ ساعت به دلیل افزایش دبی رواناب و کاهش میزان آلاینده باقی‌مانده در سطح زمین از غلظت آلاینده به تدریج کاهش می‌یابد تا به ۱ میلی‌گرم بر لیتر برسد. نرم‌افزار SWMM تا ۶ ساعت پس از بارندگی را می‌تواند مدل‌سازی نماید ولی با توجه به این‌که پس از ساعت چهارم دیگر آلاینده به مقدار زیادی وارد آب نشده و نیز آلاینده در حجم رواناب زیادی حل می‌شود با گذشت زمان میزان غلظت آن به تدریج کاهش می‌یابد و در نهایت به عدد بسیار ناچیزی می‌رسد.

پس از رسم نمودارهای میزان آلودگی با بارندگی با دوره بازگشت ۵ ساله و غلظت ۵ میلی‌گرم بر لیتر نمودار مربوط به همین میزان آلودگی با دوره بازگشت ۱۰ ساله مطابق شکل (۹-ج) رسم گردید. همان‌طور که در این شکل مشخص است میزان غلظت آلاینده به بیش از ۲ میلی‌گرم بر لیتر افزایش یافته است. در ابتدای بارندگی نیز میزان حل شدن آلاینده در آب با شیب تندتری همراه است و پس از نیم ساعت شیب آن کاهش می‌یابد. در ابتدای بارندگی به دلیل این‌که آب حاصل از بارندگی فرصت نفوذ در زمین را نداشته و بر روی سطح باقی می‌ماند،



شکل ۸. درصد سطوح نفوذ ناپذیر کنونی زیر حوضه های سیل برگردان غرب و کن

بیشترین زمان تمرکز مربوط به حوضه درکه و به اندازه ۵۰ دقیقه است. با توجه به اینکه سرعت در کانال‌ها برابر ۰/۸ تا ۱/۱ متر بر ثانیه محاسبه شده و طول جریان ۱۷۷۲۸ متر است، با در نظر گرفتن سرعت متوسط یعنی ۰/۹۵ متر بر ثانیه زمان تمرکز حوضه ۶ ساعت محاسبه شد. سپس با استفاده از منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی و به کمک روش بلوک‌های متناوب، الگوی محلی بارش تعیین گردید (شکل ۹).

غلظت مواد شیمیایی حاصل از آلودگی هوا که وارد آب می‌شوند بین ۱-۱۰ میلی‌گرم بر لیتر است. این میزان به دلیل دوره‌های بازگشت و شدت بارندگی متفاوت، با غلظت‌های مختلف وارد جریان آب شده و در زمان‌های متفاوتی به حداکثر مقدار خود می‌رسد. میزان شدت و زمان رسیدن با نوع آلودگی‌ها نیز تغییر می‌کند زیرا میزان حل شدن و سایر مشخصات فیزیکی و شیمیایی آن‌ها با هم متفاوت است. در شکل (۹-الف) در مدت زمان سه ساعت و بیست دقیقه میزان آلودگی CX به حداکثر مقدار خود پس از بارندگی رسیده است. میزان آلودگی با شیب صعودی افزایش یافته و پس از سه ساعت و بیست دقیقه به حداکثر میزان خود می‌رسد پس از آن دوباره کاهش یافته و شیب نزولی پیدا می‌کند. در ابتدای بارندگی آلودگی شیمیایی نشسته شده در سطح زمین و موجود در هوا در باران و رواناب حل شده و به مرور وارد آب می‌شود. هنگام

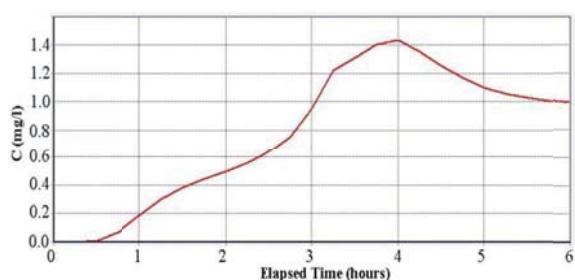
است. میزان حداکثر غلظت آلاینده افزایش و به ۲ میلی‌گرم بر لیتر رسیده است. زمان شروع ورود آلودگی به آب کاهش یافته و کم‌تر از ۲۰ دقیقه رسیده است. این کاهش می‌تواند به دلیل افزایش میزان آلودگی در سطح زمین بوده که به سرعت در آب حل شده و وارد جریان آب شده است. شیب نمودار تقریباً به صورت یکنواخت بوده و به کندی افزایش پیدا می‌کند.

تغییرات مربوط به غلظت آلاینده با میزان ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر و بارندگی با دوره بازگشت ۵ ساله در نمودار شکل (۹-ب) نشان داده شده است. همان‌طور که از این نمودار مشخص است با افزایش طول دوره بازگشت شدت و میزان ورود آلاینده به آب در ساعت اولیه افزایش پیدا می‌کند و همچنین میزان حداکثر آلاینده بیشتر می‌شود. همچنین زمان ورود آلاینده به آب نیز کاهش یافته است. میزان حداکثر آلودگی به بیش از ۳ میلی‌گرم بر لیتر رسیده است و پس از آن کاهش می‌یابد.

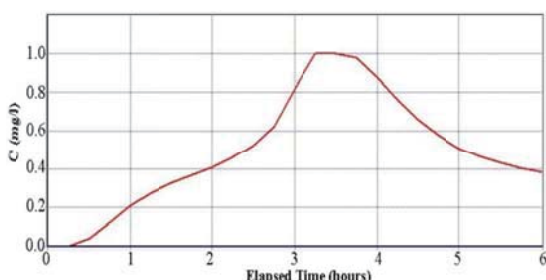
وقتی آب در سطح با آلاینده در تماس باشد و آن را فرا گیرد زمان کافی بر حل کردن آلاینده را خواهد داشت و در نتیجه میزان غلظت ورودی به رواناب نیز بیشتر خواهد بود.

با توجه به نتایج به دست آمده از بارندگی‌های با دوره بازگشت ۲، ۵ و ۱۰ ساله و غلظت آلاینده ورودی به رواناب مشخص است که هر چقدر دوره بازگشت بارندگی بیشتر و یا شدت و زمان بارندگی بیشتر باشد میزان آلاینده با غلظت بیشتری وارد رواناب خواهد شد و زمان تقریبی رسیدن به حداکثر میزان آلودگی بین ۳ الی ۴ ساعت خواهد شد. در ادامه تاثیر غلظت آلاینده بر روی میزان حداکثر مقدار و زمان رسیدن به آن نقطه بررسی خواهد شد.

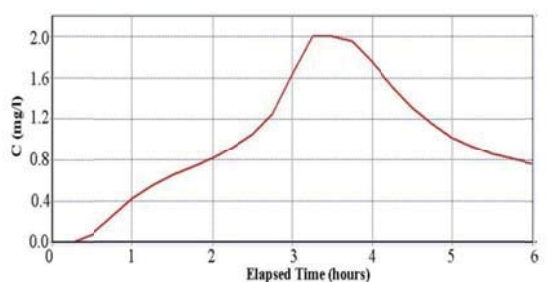
شکل (۹-د) نمودار حاصل از بارندگی با دوره بازگشت ۲ ساله و غلظت ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر را نمایش می‌دهد. زمان رسیدن به حداکثر مقدار مانند شرایط قبلی بین ۳ تا ۴ ساعت



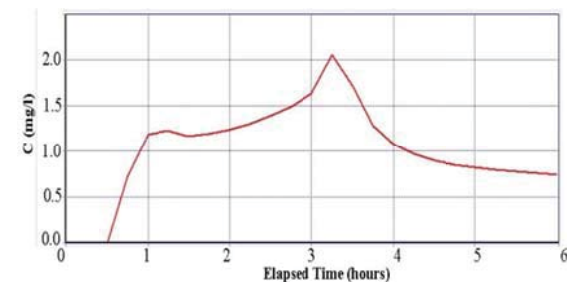
(ب)



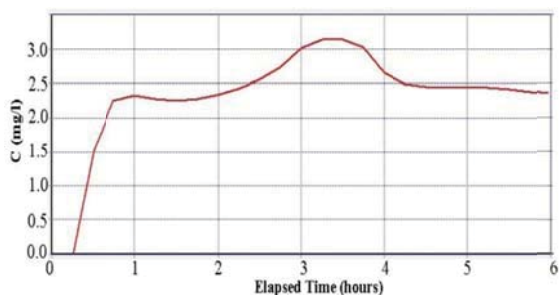
(الف)



(د)



(ج)



(ه)



(و)

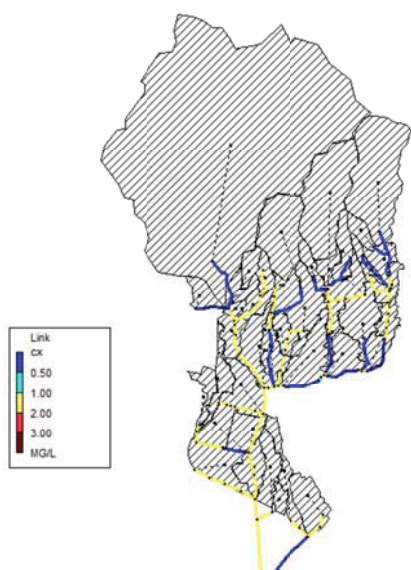
شکل ۹. نمودارهای حاصل پخش آلودگی فسژن اکسیم در آب. (الف) غلظت ورودی ۵ mg/l و بارندگی با دوره بازگشت ۲ ساله. (ب) غلظت ورودی ۵ mg/l و بارندگی با دوره بازگشت ۵ ساله. (ج) غلظت ورودی ۵ mg/l و بارندگی با دوره بازگشت ۱۰ ساله. (د) غلظت ورودی ۱۰ mg/l و بارندگی با دوره بازگشت ۲ ساله. (و) غلظت ورودی ۱۰ mg/l و بارندگی با دوره بازگشت ۵ ساله. (ه) غلظت ورودی ۱۰ mg/l و بارندگی با دوره بازگشت ۱۰ ساله.

تاثیر دوره بارندگی با بازگشت ۱۰ ساله نیز بر روی غلظت آلاینده جریان نیز بررسی شد و مطابق شکل (۹-۵) زمان رسیدن به حداکثر مقدار همان ۳ تا ۴ ساعت به دست آمد ولی میزان حداکثر آلاینده به ۴ میلی‌گرم بر لیتر رسید. شیب نمودار غلظت آلاینده در ابتدای بارندگی به دلیل حجم زیاد آب در دسترس برای حل شدن آلودگی افزایش یافته است.

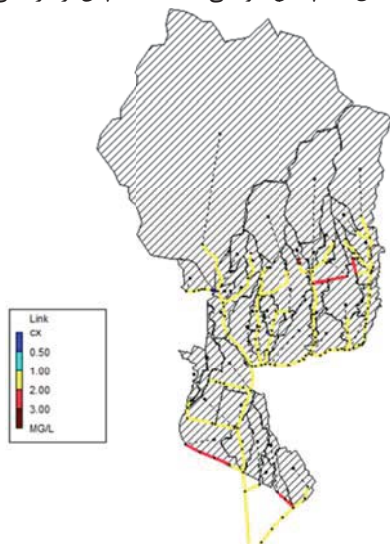
شدت آلودگی در همه کانال‌ها در یک زمان با یکدیگر برابر نیست. شدت آلودگی در حوضه‌هایی که زمین نفوذناپذیر دارند بیشتر از زمین‌ها نفوذناپذیر بوده و در مدت زمان کوتاه‌تری به غلظت‌های بالا رسیده‌اند. در حوضه‌های شهری آلودگی شدت بیشتری دارد زیرا سطح زمین نفوذناپذیر است. همچنین در زمین‌هایی که شیب آن‌ها بالا بوده و سرعت جریان بالایی دارند، آلودگی با شدت بیشتری وارد کانال‌ها شده و زودتر به حداکثر مقدار خود رسیده‌اند.

شکل (۱۰) میزان شدت آلودگی در یک ساعت اول بارندگی را نشان می‌دهد. در این ساعت در حوضه شهری آلودگی غلظت بالایی دارد. در شکل (۱۱)، ۲ ساعت پس از بارندگی اولین کانال‌هایی که به حد قرمز رسیده‌اند مربوط به حوضه شهری و زمین با شیب بالا است. شکل (۱۲) میزان شدت آلودگی در کانال‌ها پس از ۴ ساعت را نشان می‌دهد که در برخی قسمت‌ها به حداکثر مقدار خود رسیده‌اند. با توجه این شکل مشخص می‌شود که در همه کانال‌ها آلودگی به حداکثر میزان خود نخواهد رسید. رسیدن به حداکثر مقدار آلودگی علاوه بر شدت بارندگی و دوره بازگشت بارندگی، به فیزیوگرافی منطقه بستگی داشته و برای پیش‌بینی آلودگی باید پارامترهای فیزیوگرافی و پارامترهای بارندگی به صورت همزمان مورد بررسی قرار گیرند.

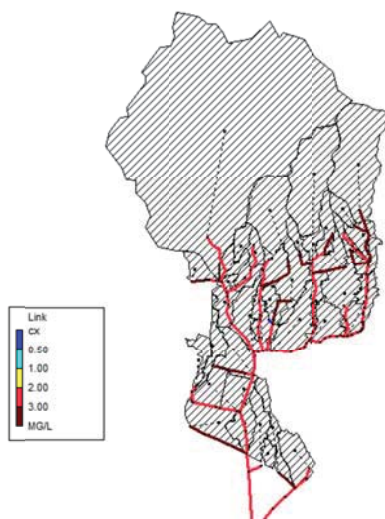
نتایج مطالعه‌ای که برای پیش‌بینی و محاسبه تغییرات غلظت پارامتر فسفر کل و شاخص پرمنگنات مورد بررسی قرار گرفته است [۱۳]، نشان می‌دهد فسفر کل پس از ۷ ساعت به بیش‌ترین مقدار کل خود می‌رسد، که با توجه شرایط هیدرولیکی و نوع آلودگی با مطالعه حاضر متفاوت بوده و بیش‌تر می‌باشد. سایر مطالعات مشابه انجام‌شده به بررسی میزان آلاینده‌ها در رواناب پرداخته است. نتایج آن‌ها نشان داده است که آلودگی رواناب‌ها در زمان بارندگی بیش‌تر از حد مجاز بوده و باید میزان آلودگی را در آن‌ها کاهش داد سپس این رواناب‌ها را وارد سفره‌های آب زیرزمینی نمود.



شکل ۱۰. پخش آلودگی یک ساعت پس از بارندگی



شکل ۱۱. پخش آلودگی ۲ ساعت پس از بارندگی



شکل ۱۲. پخش آلودگی ۴ ساعت پس از بارندگی

۴. نتیجه گیری

آلودگی ناشی از مواد شیمیایی که بر روی سطح زمین نشسته و با مرور زمان به همراه رواناب وارد جریان آب می‌شود به تدریج از غلظت آن کاسته و بر میزان آن افزوده می‌شود. میزان غلظت آلودگی پس از رسیدن به حداکثر مقدار به دلیل کاهش میزان آن بر روی سطح زمین و همچنین افزایش حجم آب کاهش می‌یابد. هدف اصلی این تحقیق مدل‌سازی زمان رسیدن آلودگی آب‌های سطحی به حداکثر مقدار خود پس از ورود آلودگی شیمیایی به آن بود. در فرایند پیشنهادی مدل‌سازی، بر اساس داده‌های توپوگرافی زمین‌شناسی و به کمک ArcGIS اطلاعات فیزیوگرافی منطقه تعیین می‌شود و سپس بر اساس پارامترهای موثر هواشناسی منطقه در نرم‌افزار SWMM مدل‌سازی انجام می‌گردد. در این تحقیق به‌عنوان یک مطالعه موردی، نحوه پخش آلودگی شیمیایی فسژن اکسیم در کلیه مناطق مجاور رودخانه کن و شمال سیل‌برگردان غرب شهر تهران مدل‌سازی شد و نمودارهای حاصل از پخش آلودگی در آب با غلظت ورودی ۵ و ۱۰ mg/l در بارندگی‌هایی با دوره بازگشت ۵ و ۱۰ ساله، از زمان شروع تا زمان تمرکز بارندگی و همچنین نقشه‌های پخش آلودگی در زمان‌های یک، دو و چهار ساعت پس از بارندگی ارائه گردید. نتایج تجربی حاصل نشان داد که زمان رسیدن به حداکثر میزان آلودگی تقریباً ثابت و بین ۳ تا ۴ ساعت می‌باشد و همان‌طور که مطالعات قبلی نیاز اشاره کرده‌اند این زمان به دوره بازگشت بارندگی و غلظت آلودگی و همچنین جنس زمین و شیب منطقه بستگی دارد و تقریباً مستقل از غلظت اولیه مواد شیمیایی ورودی است.

۵. مراجع

- [9] Hajrasoliha, O.; Hasanzade, E.; Rezaee Latifi, A.; Nohegar, A. "Numerical Simulation of the Transmission and Distribution of Oil Contamination in the Northern Part of the Persian Gulf"; in National Conference Exploitation of the Sea, 2012, January 15 (In Persian).
- [10] Zhang, B.; Qin, Y.; Huang, M.; Sun, Q.; Li, S.; Wang, L.; Yu, C. "SD-GIS-Based Temporal-Spatial Simulation of Water Quality in Sudden Water Pollution Accidents"; Comput. Geosci. 2011, 37, 874-882.
- [11] Mimpas, H.; Anagnostopoulos, P.; Ganoulis, J. "Modelling of Water Pollution in the Thermaikos Gulf with Fuzzy Parameters"; Ecol. Model. 2001, 142, 91-104.
- [12] Tong, S. T. Y.; Chen, W. "Modeling the Relationship between Land Use and Surface Water Quality"; J. Environ. Manag. 2002, 66, 377-393.
- [13] Rui, Y.; Shen, D.; Khalid, S.; Yang, Z.; Wang, J. "GIS-Based Emergency Response System for Sudden Water Pollution Accidents"; Physics and Chemistry of the Earth Parts A/B/C, 2015, 79-82, 115-121.
- [14] Chandler, R. "Simple and Complex Storm Water Pollutant Load Models Compared"; Watershed Protection Techniques. 1996, 2, 364-368.
- [15] Chow, M. F.; Yusop, Z.; Toriman, M. E. "Modelling Runoff Quantity and Quality in Tropical Urban Catchments Using Storm Water Management Model"; Int. J. Environ. Sci. Tech. 2012, 9, 737-748.
- [16] Tsihrintzis, V. A.; Hamid, R. "Runoff Quality Prediction from Small Urban Catchments Using SWMM"; Hydrological Processes. 1998, 12, 311-329.
- [17] Donigian, A. S.; Huber, W. C. "Modeling of Nonpoint Source Water Quality in Urban and Non-Urban Areas"; Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development, US Environmental Protection Agency, 1991.
- [18] Akan, A. O.; Houghtalen, R. "Urban Hydrology, Hydraulics, and Storm Water Quality: Engineering Applications and Computer Modeling"; John Wiley & Sons, 2003.
- [19] Parsa, V. "Runoff Coefficient of the Watershed Basins Using Simulation Models STORM-CAD and EPA-SWMM in GIS"; MSc. Thesis, University of Shahid Beheshti, Tehran, 2013.
- [1] Hemond, H. F.; Fechner, E. J. "Chemical Fate and Transport in the Environment"; Elsevier, 2014.
- [2] Richardt, A.; Blum, M. M. "Decontamination of Warfare Agents: Enzymatic Methods for the Removal of B/C Weapons"; John Wiley & Sons, 2008.
- [3] Gupta, R. C. "Handbook of Toxicology of Chemical Warfare Agents"; Academic Press, 2015.
- [4] Lifton, R. J. "Destroying the World to Save It"; Springer, 2007.
- [5] Goldman, M.; Dacre, J. C. "Lewisite: Its Chemistry, Toxicology, and Biological Effects; In Reviews of Environmental Contamination and Toxicology"; Springer, 1989.
- [6] Department of the Army "Military Chemistry and Chemical Compound"; Field Manual 3-9, 1975.
- [7] Ellison, D. H. "Handbook of Chemical and Biological Warfare Agents"; CRC Press, 2007.
- [8] Zare, M.; Hoseini, S. A. "Numerical Modeling of Movement and Distribution of Pollutants in Surface Water Using High-Precision Numerical Schemes"; in Second Conference of Water, 2009, March 11 (In Persian)