

Flood Susceptibility Mapping Using SVM Model and the Impact of Sabzevar City Development on Increasing Flood Peak and its Damages

ARTICLE INFO

Article Type

Original Research

Authors

Sanaifard A.*¹ PhD,
Amirahmadi A.¹ PhD,
Zanganeh Y.¹ PhD

How to cite this article

Sanaifard A, Amirahmadi A, Zanganeh Y. Flood Susceptibility Mapping Using SVM Model and the Impact of Sabzevar City Development on Increasing Flood Peak and its Damages. Geographical Researches. 2022;37(1):1-13.

¹ Faculty of Geography and Environmental Sciences, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran

*Correspondence

Address: Iran, Razavi Khorasan, Sabzevar, Taleghani Street, Taleghani 40, No. 1/34. Postal Code: 9618773847.
Phone: +98 (915) 3715238
Fax: +98 (51) 44226220
Sanaiefard55@gmail.com

Article History

Received: August 21, 2021
Accepted: September 30, 2021
ePublished: January 22, 2022

ABSTRACT

Aims Flood forecasting is considered through land use and building density in most urban designs, whereas this method has not been very successful based on the experiences. This study aimed to propose a proper method for flood forecasting in Sabzevar city, emphasizing the relationship between the parameters of hydrological models, urban development, and the scenarios considered in the comprehensive plan of 2005-2006 in Sabzevar city.

Methodology This research is applied and descriptive-analytical in terms of the aim and method, respectively. The data were collected using documentary and field methods. The flood susceptibility map of Sabzevar city was prepared using the SVM model. The model was validated using the ROC curve. The basin's hydrology was studied using the Sabzevar Synoptic Meteorological Station data from 1358 to 1398. Urban hydrological models and Geographic Information System were used to predict the runoff during different urban development scenarios in the return periods of 2, 5, 10, and 25 years.

Findings Due to the higher building density, the susceptibility to flooding risk vulnerabilities is higher in districts 1, 2, and 3 of Sabzevar city ROC showed the acceptable validity of the SVM model (AUC=0.9123). Surface runoff forecasts for the return periods and different scenarios indicate that the channels are not proper for runoff transmission.

Conclusion It is very important to pay attention to the ratio of permeable and impermeable surfaces in comprehensive plans in order to prevent flooding. The SVM method is sufficiently compatible with Iranian conditions and can be used in similar conditions.

Keywords Urban Development; SVM Model; Flood; Urbanization; Flow Peak; Sabzevar

CITATION LINKS

[Amir Ahmadi A, et al; 2012] Icrozonation of flood risk in Sabzevar suburb with the aim of sustainable urban ...; [Alcántara-Ayala I; 2002] Geomorphology, natural hazards, vulnerability ...; [Asghari Moghadam M; 2005] Urban water and habitat ...; [Baghalani M; 2019] Identification of effective factors on the occurrence ...; [Campana NA, Tucci CEM; 2001] Predicting floods from urban development ...; [Cheraghi Qalehsari A, et al; 2020] Flood susceptibility mapping using ...; [Douglas I, et al; 2010] Urban pluvial flooding: a qualitative ...; [Darfashi KB, et al; 2020] Present the pattern in vulnerability level ...; [Fathalizadeh B, et al; 2020] Investigation of flood causes and ...; [Hosseini Y; 2013] Selecting a Method for Calculating the Annual ...; [Jensen SK, Doming JO; 1988] Extracting topographic structure from ...; [Kadaverugu A, et al; 2021] Quantification of flood mitigation services ...; [Li Q, Jiang X, Liu D; 2013] Analysis and modelling of flood risk ...; [Masri Alamdari P; 2021] Spatial analysis of flood risk in Ajabshir ...; [Mahmoodzadeh H, et al; 2015] Micro zonation of flood risk in tabriz ...; [Mujaddidi Rizehi H, et al; 2020] Efficiency of frequency model of combination ...; [Negarsh H, Shaheh Hosseini M; 2011] Investigation of methods of estimating ...; [Oliveri E, Santoro M; 2000] Estimation of urban structural flood damages ...; [Pfeifer LR, Bennett EM; 2011] Environmental and social predictors ...; [Rashidi M, Hosseinzadeh MM; 2019] The role of sub-basins overlooking the city in the ...; [Wahabzadeh AH, et al; 2017] Analyzing urban decentralization: the case ...; [Zanganeh Asadi M, et al; 2021] Evaluation of the efficiency of Victor, L-THIA and artificial neural ...; [Zysta Consulting Engineers; 2005] Detailed plan ...;

تهیه نقشه حساسیت به سیل با استفاده از مدل SVM و تاثیر توسعه شهر سبزوار بر افزایش پیک جریان سیل و خسارت ناشی از آن

ابوالقاسم سنائی‌فرد* PhD

دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

ابوالقاسم امیراحمدی PhD

دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

یعقوب زنگنه PhD

دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

چکیده

اهداف و زمینه‌ها: در بیشتر طراحی‌های شهری، پیش‌بینی سیل با بررسی کاربری اراضی و تراکم ساختمانی شکل می‌گیرد، با این حال، بر اساس تجربیات این روش چندان موفقیت‌آمیز نبوده است. هدف از این پژوهش، ارائه روش پیش‌بینی سیلاب در شهر سبزوار با تاکید بر رابطه بین پارامترهای مدل‌های هیدرولوژیکی و توسعه شهری و همچنین سناریوهای مطرح در طرح جامع سال ۸۵-۱۳۸۴-۸۵ بود.

روش‌شناسی: این پژوهش از نظر هدف کاربردی و از لحاظ روش، توصیفی-تحلیلی است. اطلاعات مورد نیاز به روش اسنادی و میدانی گردآوری شد. نقشه حساسیت سیلاب شهر سبزوار با استفاده از مدل SVM تهیه و نتایج مدل با استفاده از منحنی ROC اعتبارسنجی شد. هیدرولوژی حوضه با استفاده از آمار ایستگاه هواشناسی سینوپتیک سبزوار در بازه زمانی ۱۳۹۸-۱۳۵۸ بررسی شد. پیش‌بینی جریان‌های سطحی در سناریوهای مختلف توسعه شهری، با استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی شهری و سامانه اطلاعات جغرافیایی طی دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰ و ۲۵ ساله انجام شد.

یافته‌ها: بر اساس مدل SVM حساسیت آسیب‌پذیری در نواحی ۱، ۲، ۳ و ۴ شهر سبزوار به علت افزایش تراکم ساختمانی، بیشتر است. مقدار سطح زیر منحنی حاکی از برازش مناسب مدل SVM است ($AUC=0.9123$). یافته‌های حاصل از پیش‌بینی رواناب شهری نشان داده که کانال‌های موجود در شهر سبزوار توانایی انتقال رواناب را ندارند.

نتیجه‌گیری: توجه به نسبت سطوح قابل نفوذ و غیرقابل نفوذ در طرح‌های جامع به‌منظور پیشگیری از سیل‌گیری بسیار حایز اهمیت است. روش SVM به اندازه کافی با شرایط ایران سازگار بوده و می‌تواند در شرایط مشابه استفاده شود.

کلیدواژگان: توسعه شهری، مدل SVM، سیل، شهرنشینی، پیک جریان، سبزوار

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۷/۰۸

*نویسنده مسئول: Sanaeifard55@gmail.com

مقدمه

امروزه با روند افزایشی سریع تبدیل حوضه‌های آبخیز غیرشهری به شهری، و در نتیجه تغییر کاربری اراضی از حالت طبیعی (کشاورزی، مرتعی و جنگلی) به شهری (مسکونی، صنعتی، تجاری، ورزشی و جاده‌ها و معابر)، موضوع پیچیده‌ای تحت عنوان آبخیز شهری متولد شده است [Alcántara-Ayala, 2002]. این مسئله تاثیر نامطلوبی در هیدرولوژی مناطق شهری داشته و موجب تشدید سیلاب‌ها، افزایش آلودگی رواناب، افزایش ضریب رواناب و کاهش تغذیه آب‌های زیرزمینی می‌شود [Pfeifer & Bennett, 2011]. به بیان دیگر، تحولات هیدرولوژیک ناشی از شهرسازی و نحوه

کاربری اراضی حوضه‌های شهری را می‌توان به اختصار چنین خلاصه نمود:

۱- تغییر حجم کل رواناب؛ ۲- تغییر میزان تغذیه ناشی از بارش؛ ۳-

تغییر حداکثر آبدهی (پیک) سیلاب‌ها، و ۴- تغییر کیفیت آب اکثر شهرهای ایران که در خروجی حوضه‌ها بنا شده‌اند از جمله شهر سبزوار. افزایش سطوح نفوذناپذیر که ناشی از شهرسازی و احداث ساختمان بر خاک‌های نفوذپذیر است، طبعاً از سطوح نفوذپذیر حوضه که قادر به جذب بخشی از بارندگی است کاسته و در نتیجه بر حجم کل رواناب شهر افزوده است. سطوح روکش شده‌ی شهر، بام ساختمان‌ها و سطوح خیابان‌ها و پارکینگ همانند مانعی در برابر نفوذ آب باران به داخل خاک و تغذیه آب‌های زیرزمینی عمل می‌کنند و سبب می‌شوند که بخش بیشتری از بارندگی به رواناب‌های سطحی تبدیل شود [Asghari Moghadam, 2005]. بررسی آمار و اطلاعات خسارات ناشی از وقوع سیلاب در ایران و جهان بیانگر گستردگی صدمات ناشی از سیلاب به منابع طبیعی، انسانی و اقتصادی است.

مدل ماشین بردار پشتیبان (SVM) از الگوریتم‌های محبوب یادگیری ماشین است. مدل مذکور می‌تواند مشکلات غیر خطی را بهتر حل کند اما دقت آن بستگی زیادی به نقاط نمونه دارد. در این مطالعه از مدل SVM برای بررسی سیل استفاده شده است که یکی از دلایل این انتخاب، این است که از موضوعات ذهنی اجتناب می‌کند و تعیین وزن‌ها در روش‌های MCDA اتفاق می‌افتد [Li & Liu, 2013].

تحقیقات بسیاری در زمینه مدل‌های کاربردی برای بررسی بحران سیلاب انجام شده است از جمله چرغی قلعه سری و همکاران [Cheraghi Qalehsari et al., 2020] در پژوهشی جهت شناسایی مناطق حساس به سیل‌گیری با استفاده از مدل ماشین بردار پشتیبان در حوضه نکارود، به این نتیجه دست یافتند که مدل مذکور دقت مناسبی در شناسایی پهنه‌های حساس سیلاب در منطقه مورد مطالعه دارد. مجددی ریزه‌ئی و همکاران [Mujaddidi et al., 2020] در پژوهشی در جهت شناسایی مناطق مستعد سیل با مدل ترکیبی نسبت فراوانی- ماشین بردار پشتیبان در حوضه کلات به این نتایج دست یافتند که مدل FR-SVM با سطح زیر منحنی ۰/۸۸۶۲ دقت و کارایی بهتری نسبت به مدل SVM دارد. فتحعلی زاده و همکاران [Fathalizadeh et al., 2020] در پژوهشی در حوضه آبریز زرنوزچای با استفاده از مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS و منطق فازی به این نتایج دست یافتند که مدل‌های مذکور کارایی بالای در شناسایی پهنه‌های سیل‌خیز و سیل‌گیر دارند. همچنین وجود سازندهای زمین‌شناسی و خاک‌های با نفوذپذیری اندک، شیب زیاد، فقدان یا ضعف پوشش گیاهی، زمان تمرکز و زمان تاخیر اندک از جمله مهم‌ترین دلایل بالا بودن رواناب و هدایت سریع رواناب‌های ناشی از بارش در زیرحوضه‌ها است. علمداری [Masri Alamdari, 2021] در پژوهشی در حوضه آبریز قلعه‌چای عجب‌شیر با استفاده از GIS و HEC-HMS به این نتایج دست یافت

شهر از سمت شمال به شهرستان جوبین و خوشاب، از شرق به شهرستان نیشابور، از جنوب به شهرستان کاشمر و از طرف غرب به شهرستان شاهرود از استان سمنان محدود است (شکل ۱). با توجه به تاثیر نوع پوشش گیاهی در میزان رواناب سطحی، بررسی کلی از اکولوژی گیاهی منطقه به عمل آمد. بر این اساس، منطقه مورد مطالعه به دلیل موقعیت جغرافیایی و آب و هوایی، نزدیکی به حاشیه شمال دشت کویر (جنوب غرب منطقه) وجود ارتفاعات نسبتاً بلند (رشته کوه‌های جغتای) و جریان رودهای شور (کال شور سبزوار) و دخالت‌های انسانی (کشت نهال تاغ به منظور تثبیت ماسه‌های روان در منطقه حارث‌آباد) دارای تنوعی از گیاهان از جمله درمنه، سنجد، خارشتر، گون، نی، اسپند و تلخان، اشنان، تاغ و گز است.

روش پژوهش

جهت برآورد میزان رواناب در حوضه‌های مورد مطالعه از دو روش جاستین و I.C.A.R استفاده شد. ضریب K که به ضریب جاستین معروف است طبق رابطه (۱) به دست می‌آید [Hosseini, 2013].

$$S = (h_{max} - h_{min}) / \sqrt{A} \quad (1)$$

$$R = W/A$$

$$K = (R (1.8T + 32)) / (S^{0.155} \times P^2)$$

که در این رابطه A مساحت منطقه (کیلومتر مربع)، h_{max} حداکثر ارتفاع منطقه (کیلومتر)، h_{min} حداقل ارتفاع منطقه (کیلومتر)، W آبدهی سالانه (میلیون متر مکعب)، P متوسط بارش سالانه در منطقه (سانتی متر)، T متوسط دمای سالانه هوا (سانتی گراد) است. با توجه به خصوصیات هیدرولوژیکی، شرایط اقلیمی، و همچنین موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه، ایستگاه سینوپتیک سبزوار به عنوان ایستگاه معرف جهت محاسبه ضریب K در فرمول جاستین در نظر گرفته شده است.

سپس با قراردادن پارامترها برای منطقه مورد مطالعه در رابطه (۲) و داشتن ضریب K مقدار رواناب سالیانه محاسبه شد.

$$R = K (S^{0.155} P^2) / (R (1.8T + 32)) \quad (2)$$

روش I.C.A.R

روش تجربی ICAR برای برآورد رواناب در منطقه مورد مطالعه استفاده شد. این روش توسط انجمن تحقیقات کشاورزی هند پیشنهاد شده است و طبق رابطه (۳) محاسبه می‌شود [Negarsh & Shaheh Hosseini, 2011].

$$Q = (1.511 \times P^{1.44}) / (T^{1.34} \times A^{0.063}) \quad (3)$$

که در این رابطه Q رواناب سالانه برحسب سانتی متر؛ P متوسط بارندگی حوضه برحسب سانتی متر؛ T متوسط درجه حرارت سالانه برحسب سانتیگراد و A سطح حوضه آبریز بر حسب کیلومتر مربع است. به منظور محاسبه مقادیر سیلاب منطقه مطالعاتی از روش‌های کریگر، دیکن، منحنی پوش و فولر استفاده شد. هر چهار رابطه جزو روابط تجربی هستند که در آن پارامتر مساحت، ضریب رابطه و دوره بازگشت (به روش فولر) به منظور محاسبه سیلاب به کار برده می‌شود [Negarsh & Shaheh Hosseini, 2011].

براین اساس، در این روابط اثر تمامی پارامترهای موثر در سیلاب به جز

که مدل مذکور می‌تواند منجر به شناسایی پهنه‌های با تولید رواناب بالاتر شده که گامی اساسی در راستای مهار و کنترل سیلاب در سرچشمه‌ها به شمار می‌رود. زنگنه /اسدی و همکاران [Zanganeh Asadi et al., 2021] در پژوهشی در استان خراسان رضوی با استفاده از مدل‌های ویکور، L-THIA و شبکه عصبی مصنوعی به این نتایج دست یافتند که مدل L-THIA با گامای ۰/۸ بیشترین مقدار همبستگی را با لایه‌های اولیه دارد و از دقت و کارایی بیشتری نسبت به دو مدل ویکور و شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی سیلاب برخوردار است. کادورگو و همکاران در پژوهشی با استفاده از شبیه‌سازی اثرات بیوفیزیکی NBS به این نتایج دست یافتند که مدل مذکور برای کاهش حجم رواناب می‌تواند برای اندازه‌گیری مزایای ملموس این اقدامات از نظر تنظیم آب و عمدتاً کنترل سیل شهری مفید باشد. این روش می‌تواند با تعیین NBS خاص، اهداف کمی برای کاهش رواناب را برای دستیابی به تاب‌آوری سیلاب ایجاد کند. تعیین کمی از مزایای اکوسیستم از نظر بیوفیزیکی و اقتصادی برای ادغام سرمایه طبیعی در برنامه‌ریزی سیاست‌ها بسیار مهم است [Kadaverugu et al., 2021]. ایویری و سانترو در تحقیقی اقدام به تخمین خسارت سیلاب شهری در منطقه پالرمو نموده و با استفاده از داده‌های فیزیکی، اقتصادی، هیدرولوژیک و هیدرولیک توانستند مجموع خسارات سیل را به دست آورند [Oliveri & Santoro, 2000]. داگلاس و همکاران در توصیف سیلاب شهری به این اصل رسیدند که تاثیر سیل بر مناطق شهری ناشی از تراکم جمعیت بالا و تبعات آن است. همچنین فاکتورهای طبیعی و دخالت انسان مانند تغییر کاربری اراضی، رشد جمعیت، شهرسازی و جاده‌سازی بر سیل تاثیرگذار است [Douglas et al., 2007]. صابری‌فر با مطالعه حوضه آبریز شمال تهران به بررسی تاثیر تغییر کاربری اراضی بر خصوصیات سیلاب در این حوضه‌ها پرداخته است. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داده که با افزایش شهرسازی، ضریب هزآب و حجم رواناب در حوضه‌های مورد مطالعه نزدیک به دو برابر افزایش یافته است [Saberifar, 2006].

بر اساس مطالعات، توسعه مناطق شهری در حوزه‌های آبخیز منجر به افزایش حداکثر دبی، کاهش زمان تمرکز و افزایش حجم رواناب می‌شود. با این حال، میزان این افزایش، و همچنین اندازه‌گیری آن هنوز در برنامه‌های مدیریت شهری در نظر گرفته نشده است. بنابراین، هدف از این پژوهش، تهیه نقشه حساسیت سیلاب و ارایه روش پیش‌بینی سیلاب در شهر سبزوار با تاکید بر رابطه بین پارامترهای مدل‌های هیدرولوژیکی و توسعه شهری و همچنین سناریوهای مطرح در طرح جامع سال ۸۵-۱۳۸۴ بود.

روش‌شناسی

موقعیت منطقه مورد مطالعه

شهرستان سبزوار بین $36^{\circ} 22' 30''$ تا $36^{\circ} 9' 7''$ عرض شمالی و $37^{\circ} 37' 30''$ و $57^{\circ} 46' 10''$ طول شرقی و ارتفاع ۹۷۰ متر از سطح دریا در ضلع شمال غربی استان خراسان رضوی واقع شده است. این

AUC از ۵٪ تا ۱ متغیر است که عدد یک بهترین دقت را دارد [Wahabzadeh et al., 2017]. در این پژوهش از منحنی مشخصه (ROC) برای ارزیابی صحت نقشه‌های پهنه‌بندی استفاده شده است.

پیش‌بینی رواناب

یکی دیگر از اهداف این تحقیق، پیش‌بینی رواناب سطحی مربوط به سناریوهای مختلف شهری با استفاده مدل‌های هیدرولوژیک شهری و سیستم اطلاعات جغرافیایی است. بر این اساس، ابتدا با استفاده از آمار سازمان‌های مسئول و مطالعات میدانی، رابطه بین عوامل هیدرولوژیک و توسعه شهری با کمک مدل‌های مرتبط تعیین شد. علاوه بر این، سطوح غیر قابل نفوذ از طریق روش‌های تجربی و نظری برآورد شد، و سپس زمان تراکم، میزان رواناب و همچنین زمان غلظت کانال تعیین شد. با توجه به ضرورت تعیین رواناب در حوضه‌های شهری و تفاوت آنها با مناطق روستایی، از مدل دیجیتالی زمین (DTM) پیشنهاد شده توسط جنسن و دومینگ [Jensen & Doming, 1988] استفاده شد. در این مدل، حوضه مورد مطالعه با استفاده از سلول‌های مربع شکل به اجزای کوچکتر با اندازه ۳۰ در ۳۰ متر تقسیم می‌شود. به منظور برآورد طراحی هیدروگراف، از منابع اطلاعاتی، سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و مدل‌های هیدرولوژیکی استفاده شد. اگرچه تعیین این عوامل و مولفه‌های مربوط به آنها به فرمول‌های آماری و محاسبات زیادی نیاز دارد، اما مطالعات انجام شده، امکان تخمین آنها براساس الگوریتم‌های آزمایش شده در مناطق دیگر را فراهم می‌کند [Amir Ahmadi, 2012].

تغییرات پوشش گیاهی در این حوضه تاثیر بسزایی در طغیان سیل دارد. درصد سطوح غیر قابل نفوذ (AINP) یک پارامتر مدل است و می‌تواند برای محاسبه میزان بارندگی موثر مورد استفاده قرار گیرد. در سطوح نفوذناپذیر، جریان رواناب تا رسیدن به کانال زهکشی، جریان سطحی نامیده می‌شود [Mahmoodzadeh et al., 2015]. در این مطالعه، از رابطه هورتون به منظور حذف مقدار آب ناشی از ذخیره در خاک استفاده شد. این رابطه به شرح زیر است:

$$I = I_b + (I_0 + I_b)e^{-kt} \quad (7)$$

در این مدل، I مقدار نفوذ، I₀ نفوذ مجازی، و I_b نفوذ نهایی را نشان می‌دهد. K یک عدد ثابت است و در نهایت t زمان را نشان می‌دهد. در این شرایط می‌توان میزان نفوذ (T) به آب‌های زیرزمینی را از طریق رابطه (۸) محاسبه کرد.

$$T = I_b + (1 - e^{-kt}) \quad (8)$$

که در آن T میزان نفوذ را نشان می‌دهد. رابطه (۹)، معادله

پیوستگی لایه بالایی خاک را نشان می‌دهد.

$$\frac{d_s}{st} = 1 - T \quad (9)$$

در این رابطه، S ذخیره‌سازی خاک را نشان می‌دهد. با استفاده از روابط (۸) و (۹) و ادغام در رابطه (۱۰) و همچنین قرار دادن متغیرهای شناخته شده ۱ و ۲ منجر به معادلات زیر خواهد شد.

$$\frac{d_s}{st} = 1 - t \quad (10)$$

مساحت، نظیر خصوصیات فیزیکی، شکل حوضه، کاربری اراضی، مشخصات خاک و غیره در ضریب تجربی C نهفته است.

مدل ماشین بردار پشتیبان (SVM)

در منطقه مطالعاتی ابتدا ۵۶ نقطه سیلابی پس از بررسی سیلاب‌های اخیر شناسایی و ثبت شد. به طور تصادفی ۷۰٪ نقاط (۴۱ نقطه سیل‌گیر) برای واسنجی و ۳۰٪ (۱۵ نقطه سیل‌گیر) برای ارزیابی مدل اختصاص داده شد. سپس احتمال وقوع سیل با استفاده از مدل ماشین بردار پشتیبان مدل‌سازی شد.

در یک مدل رگرسیون SVM لازم است وابستگی تابع متغیر وابسته (y) به مجموعه‌ای از متغیرهای مستقل (x) تخمین زده شود. مانند دیگر مسایل رگرسیونی، رابطه بین متغیرهای وابسته و مستقل توسط یک تابع معین f به علاوه یک مقدار اضافی نویز مشخص می‌شود.

$$y = f(x) + \text{noise} \quad (4)$$

در روش ε-SVM از توابع هسته‌ای (کرنل) به منظور جداسازی صفحات و بهینه‌سازی فواصل موجود بین داده‌های مشاهده‌ای و تخمینی استفاده می‌شود؛ اما در مدل V-SVM از روش برنامه‌ریزی غیر خطی برای کاهش خطای پیش‌بینی استفاده می‌شود. برای این مدل تابع خطا به صورت معادله (۵) تعریف می‌شود:

$$C = \sum_{i=1}^N \xi_i * + c \sum_{i=1}^N \xi_i * + \frac{1}{1} wT w \quad (5)$$

در نهایت، تابع تصمیم رگرسیون بردار پشتیبان غیرخطی به صورت رابطه (۶) است که کنترل‌کننده میزان نوسان تابع گوسی، همچنین کنترل‌کننده نتایج پیش‌بینی و تعمیم‌دهنده مدل SVM است [Amir Ahmadi et al., 2012].

$$b + = \sum_{i=1}^1 (-\partial i - \partial i *) k (X_i, X_j) f(x_i) \quad (6)$$

پس از رستری شدن و نرمال‌سازی کلیه نقشه‌ها، نقشه‌های نرمال شده ارزش‌گذاری شد. سپس لایه‌های مختلف با استفاده از مدل SVM وزن‌دهی شدند.

مدل‌سازی بر اساس دو مجموعه از مقادیر (صفر و یک) که صفر نبود سیل و یک نشان‌دهنده وقوع سیل است، انجام شد. پس از استانداردسازی کلیه نقشه‌ها، نقاط موجود سیل با استفاده از نقشه‌های استاندارد شده ارزش‌گذاری شدند. سپس تمامی لایه‌های مورد نظر با فرمت ASCII وارد نرم‌افزار R شدند تا بدین‌وسیله مقدمات تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر سیل‌خیزی با استفاده از مدل ماشین بردار پشتیبان فراهم شود.

اعتبارسنجی مدل

نتایج حاصل از مدل ماشین بردار پشتیبان با استفاده از پراکنش ۳۰٪ نقاط سیل‌خیز، توسط معیارهای مختلف ارزیابی همچون مجموع میانگین مربعات خطا RMSE، ضریب کاپا KC، منحنی مشخصه عملکرد سیستم ROC و منحنی میزان پیش‌بینی PRC با استفاده از نرم‌افزار R ارزیابی شد.

سطح زیر منحنی (AUC) بیانگر مقدار پیش‌بینی سیستم از طریق توصیف توانایی آن در تخمین درست وقوع سیلاب و عدم وقوع آن است. مناسب‌ترین روش، بیشترین سطح زیرمنحنی را داشته و مقدار

وقتی P از $Tt+1$ بزرگتر باشد، منحنی‌های ظرفیت نفوذ و بارندگی، منقطع خواهد بود و با استفاده از رابطه (۱۱) برای $P=I$ زمان تلاقی دو منحنی از طریق رابطه (۱۵) محاسبه می‌شود.

$$\Delta tx = -bln \frac{t_{t+1}-P_b}{S_t-P_b} \quad (15)$$

فاصله زمانی ($t, \Delta tx$) بر اساس (B) و فاصله زمانی ($tx, t+\Delta t$) بر اساس (A) محاسبه می‌شود در صورت نیاز به حجم نفوذ، این پارامتر محاسبه می‌شود [Campana & Tucci, 2001].

توزیع بارش

طراحی کلی باران با استفاده از منحنی‌های شدت، مدت زمان و فرکانس در ایستگاه سبزوار ارایه شده است. توزیع فضایی باران در سطح حوضه بر اساس یک واقعه حیاتی انتخاب شده از داده‌های تاریخی به دست آمد. طراحی کلی باران با استفاده از منحنی‌های شدت، مدت زمان و فرکانس در ایستگاه سبزوار ارایه شده است. توزیع فضایی باران در سطح حوضه بر اساس یک واقعه حیاتی انتخاب شده از داده‌های تاریخی به دست آمد. در منطقه مورد مطالعه بارندگی با یک خیز در اکتبر ماه نسبت به سپتامبر آغاز و تا ماه مه ادامه می‌یابد. پس این دوره خشکی فیزیکی به مدت ۴ الی ۵ ماه فرا می‌رسد که در ژوئن با یک افت شدید بارندگی کاهش می‌یابد و در اوت و سپتامبر به حداقل خود می‌رسد. در این تحقیق از روش SCS برای توزیع باران کلی بر اساس زمان استفاده شد. از روش SCS برای توزیع باران کلی بر اساس زمان استفاده شد.

$$S = \frac{-I_0^2}{\ln(I_0-I_b)} + \frac{-I_0}{\ln(I_0-I_b)} L \quad (11)$$

$$S = \frac{-I_0}{\ln h I_b} \quad (12)$$

که در آن $h=e-k$ است. e ، عدد نپر است. با توجه به میزان بارندگی (P) در فاصله زمانی t تا $t + \Delta t$ سه شرط وجود خواهد داشت، که کاملاً به میزان بارندگی در مقایسه با میزان نفوذ در زمان t بستگی دارد: الف) هنگامی که میزان بارندگی (P) بیش از میزان نفوذ باشد، می‌توان بارندگی موثر را از طریق ادغام معادله هورتون در بازه زمانی تعیین شده محاسبه کرد:

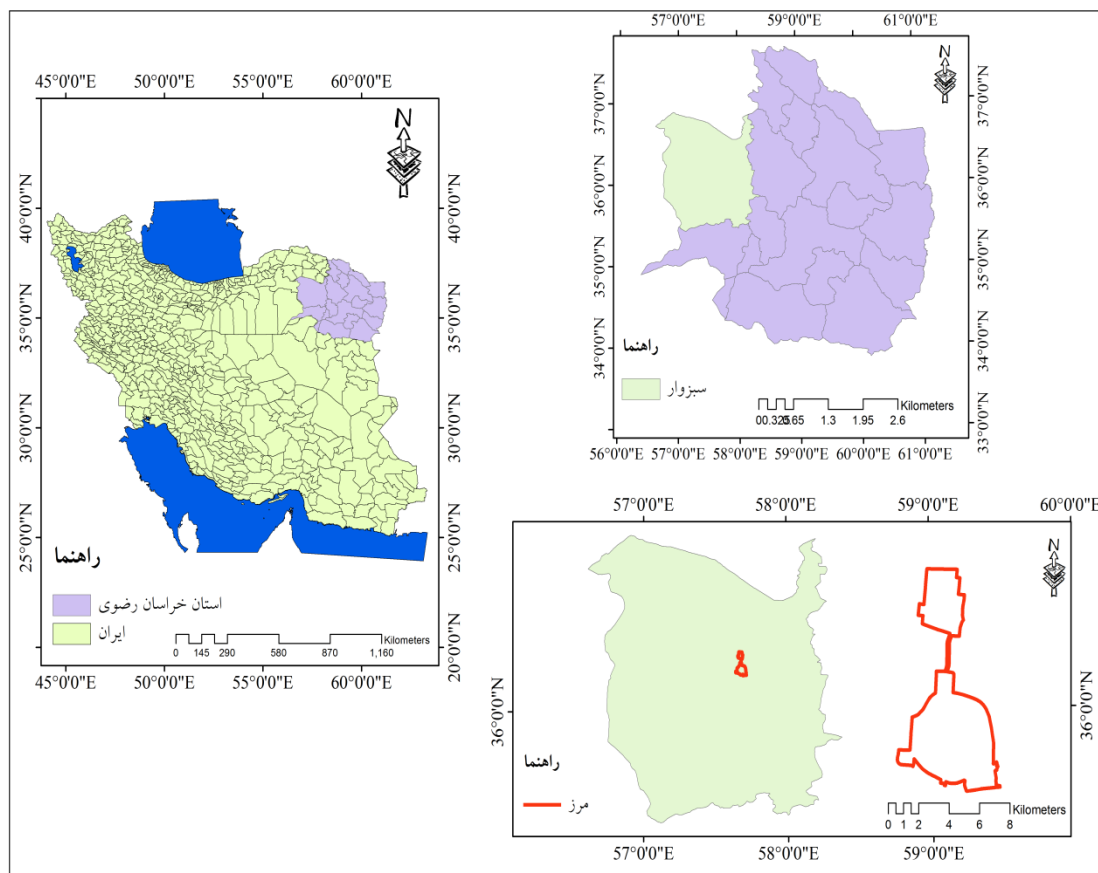
$$V = \Delta t(p-I_b) - \frac{(I_t-I_b)}{\ln h} (h^{\Delta t} - L) \quad (13)$$

که در آن $Tt+1, It+1, St+1$ را می‌توان از روابط (۸) و (۱۰) به دست آورد [Campana & Tucci, 2001].

ب) وقتی P کوچکتر از I_b باشد، تمام بارندگی نفوذ می‌کند و سهم رواناب صفر است. با جایگزینی رابطه (۱۰) در رابطه (۹) و جایگذاری $I=P$ منجر به موارد زیر خواهد شد:

$$St+1 = Ste^{\Delta t/b} + P_b(1 - e^{-\Delta t/b}) \quad (14)$$

که $b = \frac{-10}{L_n h L_n}$ با استفاده از رابطه (۱۵) محاسبه می‌شود. اگر $Tt+1$ بزرگتر از مقدار بارش باشد، فقط محاسبه $Tt+1$ از طریق معادله (۱۳) کافی است.



شکل ۱) موقعیت جغرافیایی شهرستان سبزوار

یافته‌ها

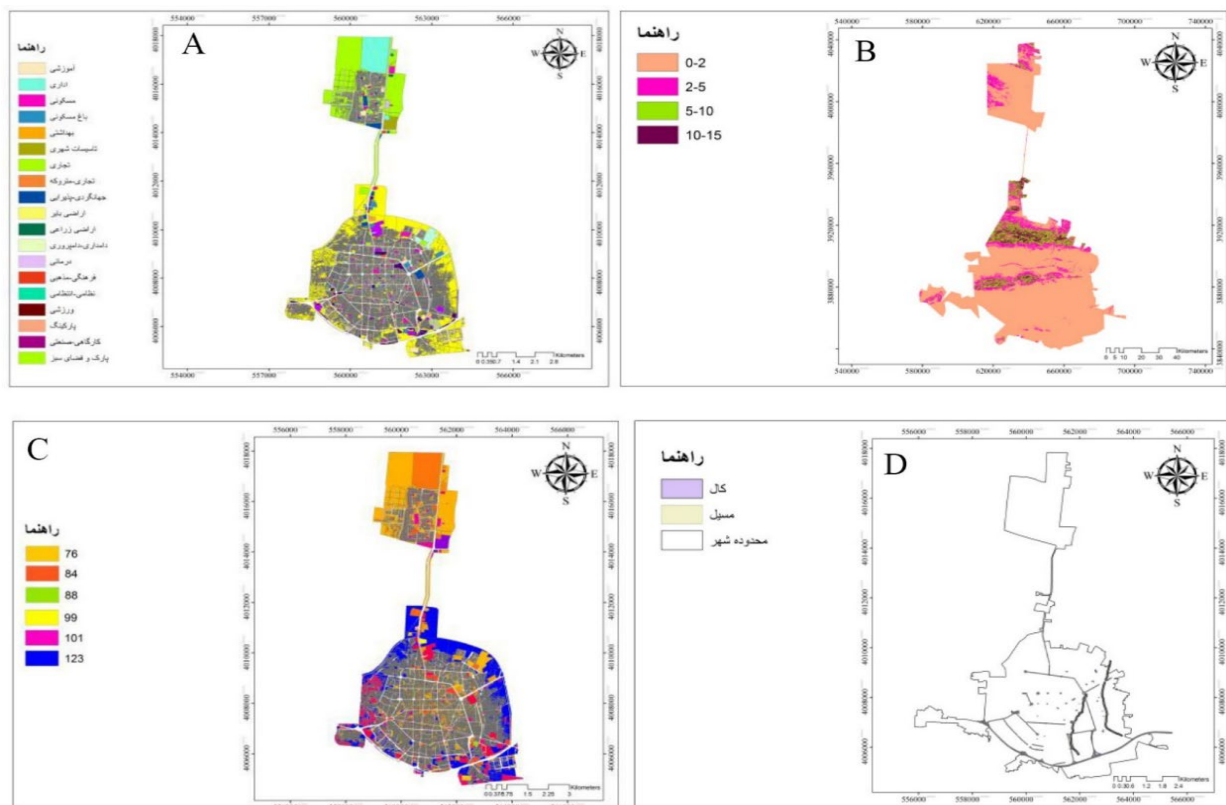
در این تحقیق، برای تهیه نقشه حساسیت سیلاب از پارامترهای شیب، ارتفاع، بارندگی، ضریب CN، پراکنش نقاط و پهنه‌های سیل‌خیز، موقعیت مسیل‌های شهری، تراکم مسکونی، نقشه رواناب، تراکم مسکونی، کاربری اراضی و نقشه فضاهای باز شهری استفاده شده است (جدول ۱). نقشه هر یک از عوامل مورد مطالعه در محیط ArcGIS تهیه شد (شکل ۲).

نقشه پهنه‌بندی سیلاب با مدل ماشین بردار پشتیبان نشان‌دهنده این است که نواحی محتمل حداکثر آسیب‌پذیری در پیرامون مسیل‌ها است (شکل ۳).

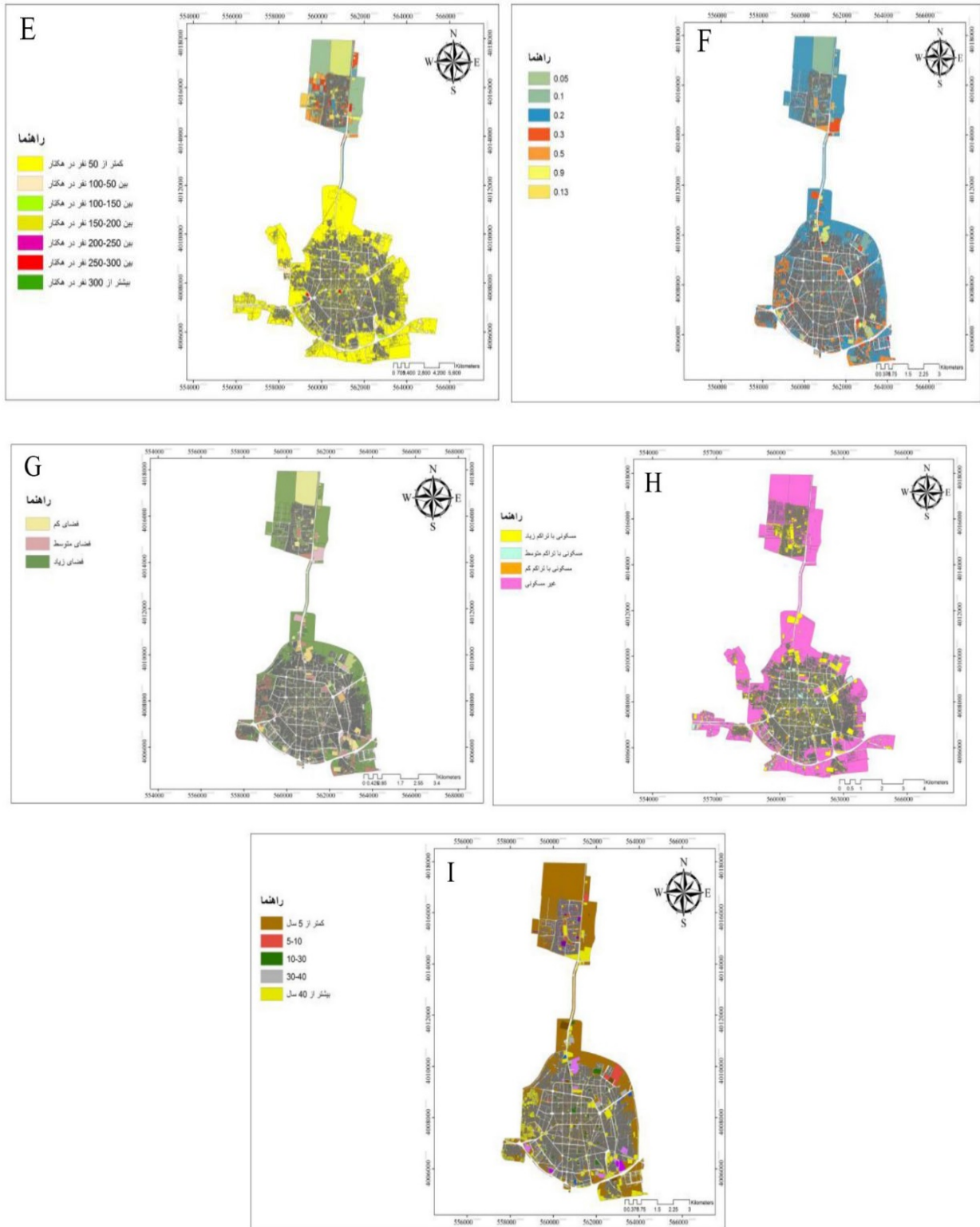
تعیین برآورد رواناب سطحی بر اساس روش جاستین و ICAR بیانگر این است که ارتفاع رواناب با مقدار بارش ۱۹۲ میلی‌متر و دمای ۱۳/۷ درجه سانتیگراد با استفاده از روش جاستین برابر ۱۵/۶ میلی‌متر، و با مقدار بارش ۱۹۶ میلی‌متر و دمای ۱۴/۸ درجه سانتیگراد با استفاده از روش ICAR برابر ۱۲/۳ میلی‌متر است. روش جاستین، ارتفاع رواناب را در سطح بالایی را ارایه داده است. روش جاستین با تغذیه آماری از ایستگاه‌های هیدرومتری به عنوان مناسب‌ترین روش در برآورد آینده پیشنهاد می‌شود.

جدول ۱) پارامترهای استفاده شده جهت تهیه نقشه حساسیت سیل

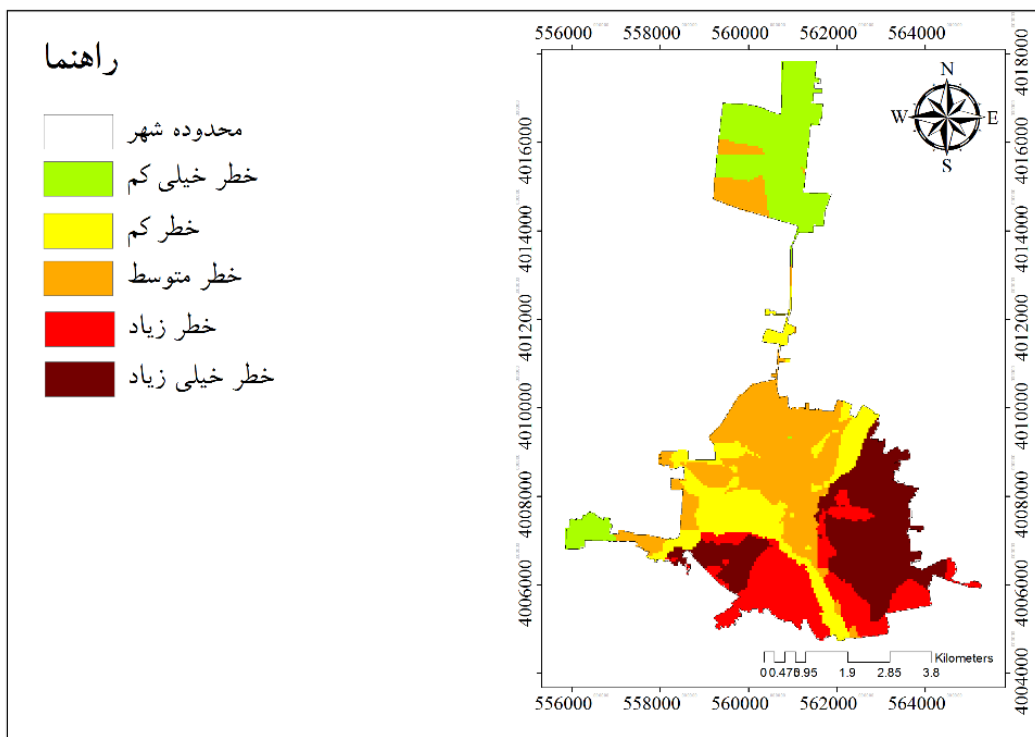
پارامتر	منابع استخراج داده‌ها	نوع داده GIS	مقیاس
شیب	نقشه توپوگرافی سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح	Vector	۱:۵۰۰۰۰
شیب	DEM	Grid	۱۲/۵ متر
کاربری اراضی	نقشه کاربری اراضی طبیعی و شهری (سازمان منابع طبیعی استان خراسان رضوی)	Vector	۱:۱۰۰۰۰۰
شناسایی نقاط سیل‌خیز	نرم افزار گوگل ارث	Grid	۳۰×۳۰
تشخیص پهنه‌های سیل‌خیز و بررسی محدوده شهری	ماهواره ALOS-PALSAR	Grid	۳۰×۳۰
بارندگی	داده‌های هواشناسی ایستگاه‌های سینوپتیک	Grid	۳۰×۳۰
بارندگی	داده‌های آماری هیدرولوژیکی و اقلیمی ایستگاه‌های باران سنجی	Grid	۳۰×۳۰
مسیل‌های شهر (کال‌ها)	نقشه اتوکد شهر سبزوار	DXF-DWG	۱:۲۰۰۰
نقشه CN	نقشه کاربری اراضی طبیعی و شهری (سازمان منابع طبیعی استان خراسان رضوی)، نقشه خاک (سازمان آبخیز داری استان خراسان رضوی) و تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸+ ETM (دانلود از سایت USGS)	Grid	۳۰×۳۰
ضریب رواناب	نقشه توپوگرافی سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح	Vector	۱:۵۰۰۰۰
تراکم جمعیت و تراکم مسکونی	نقشه اتوکد شهر سبزوار	DWG-DXF	۱:۲۰۰۰
فضای باز شهری	نقشه اتوکد شهر سبزوار	DWG-DXF	۱:۲۰۰۰



شکل ۲) کاربری اراضی (A)، شیب به درجه (B)، ضریب CN (C)، مسیل‌های شهر (D)، تراکم جمعیت، تراکم جمعیت (E)، ضریب رواناب (F)، کلاسه‌های فضای باز شهری (G)، تراکم مسکونی (H)، قدمت ابنیه (I)

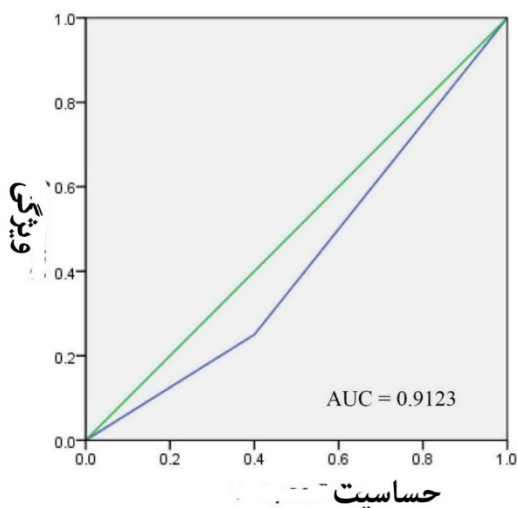


ادامه شکل ۲) کاربری اراضی (A)، شیب به درجه (B)، ضریب CN (C)، مسیل‌های شهر (D)، تراکم جمعیت، تراکم جمعیت (E)، ضریب رواناب (F)، کلاسه‌های فضای باز شهری (G)، تراکم مسکونی (H)، قدمت ابنیه (I)



شکل ۳ نقشه حساسیت به سیل با استفاده از مدل SVM

همچنین، نتایج اعتبارسنجی مدل ماشین بردار پشتیبان با استفاده از سطح زیر منحنی ۰/۹۱۲۳ است که صحت قابل قبولی را ارایه می‌دهد (شکل ۴).



شکل ۴ محدوده زیر منحنی ROC

جهت برآورد مقادیر سیلاب، با روش کریگر و فولر به دلیل استفاده از ایستگاه‌های مبنای یکسان به منظور کالیبراسیون، از روش منحنی پوش و دیکن استفاده شد. نتایج محاسبات در جدول ۳ قید شده است.

به ویژه مسیلهایی که با دریافت میزان آب و دبی بیشتر از مناطق بالادست خود، مناطق شهری را با خطر سیل‌گیری مواجه می‌سازند. بر اساس نتیجه حاصل از پهنه‌بندی حساسیت سیلاب، میزان آسیب‌پذیری در نواحی ۱، ۲ و ۳ شهر سبزوار به علت بالا بودن تراکم ساختمانی بیشتر است. هم‌پوشانی نقشه پهنه‌بندی و نقشه کاربری اراضی شهری حاکی از این است که بیشترین مساحت کاربری منطقه، کاربری مسکونی و معبر است و به دلیل قدمت قدیمی ساخت و سازها، مساحت بافت نوساز که دارای ویژگی‌های پایداری و نفوذپذیری است، کمتر است.

طی فرایند مدل‌سازی، ۳۰٪ داده‌های آزمایشی برای فرایند اعتبارسنجی استفاده شد. ضریب K، معیار ROC و PRC نشان‌دهنده رابطه معنادار بین واقعیت و مدل‌های آموزش دیده است. طبق نتایج ارزیابی مدل‌ها در جدول ۲ مقدار RMSE در واسنجی و اعتبارسنجی در مدل SVM خطای کمی را نشان می‌دهد (جدول ۲).

جدول ۲ نتایج واسنجی و اعتبارسنجی مدل SVM

اعتبارسنجی			
PRC	ROC	Kappa	RMSE
۰/۸۲۵۱	۰/۹۱۲۳	۰/۷۸۹۱	۰/۳۴۸۱
واسنجی			
PRC	ROC	Kappa	RMSE
۰/۷۶۱۲	۰/۹۱۲۳	۰/۷۶۵۴	۰/۲۳۱۶

هیدرولیکی و معیار محاسبه و وضعیت مرز قسمت تحتانی بر اساس سطح آب، ثابت شد. تنظیمات با استفاده از دو قسمت انجام شد. سه رویداد انتخاب شده برای حوضه‌های ثانویه شامل پارامترهای هیدرولوژیک است که با استفاده از فاکتورهای فوق‌الذکر به دست آمد. اثرات توسعه شهری، از طریق شبیه‌سازی رفتار حوضه برای مراحل موجود و همچنین آینده ارزیابی شد و خطر طغیان برای هر سناریوی شهری طی ۳۰ سال گذشته در نظر گرفته شد. این نتایج با استفاده از بارندگی با دوره بازگشت ۲۵ و ۵۰ سال محاسبه شد. شکل ۵ بیانگر برآورد بالقوه طغیان سیلاب برای ۴ سناریوی مختلف در منطقه مورد مطالعه است. بر این اساس، بارندگی‌های سنگین با دوره بازگشت ۲۵ و ۵۰ ساله محاسبه شده‌اند.

پیش‌بینی زمان تمرکز حوضه مورد بررسی در شهر سبزوار در شکل ۶ ارائه شده است. در این تجزیه و تحلیل، سه سناریو شامل: الف) شرایط روستایی قبل از توسعه شهری؛ ب) شرایط موجود؛ و ج) شرایط پیش‌بینی شده، در یک طرح جامع در نظر گرفته شده است. از آنجایی که یکی از اهداف این پروژه تعیین نقاط مناسب برای تخلیه سیلاب است، از این رو براساس نقشه شیب شهر سبزوار که از طریق توپوگرافی منطقه به دست آمد، مسیر سیلاب مشخص شد (شکل ۷). مسیر سیلاب خط‌القعر بوده و رواناب در آن جریان پیدا می‌کند. در واقع نقاط تخلیه سیلاب مشخص شده، نقاطی هستند که پایین‌ترین ارتفاع را در محدوده شهری دارد و در این شکل نقطه شماره ۱، از اتصال دو مسیر سیلاب به وجود آمده است که مناسب‌ترین نقطه برای تخلیه سیلاب بوده است.

جدول ۳ برآورد سیلاب منطقه مطالعاتی بر اساس روابط مختلف در دوره بازگشت‌های مختلف

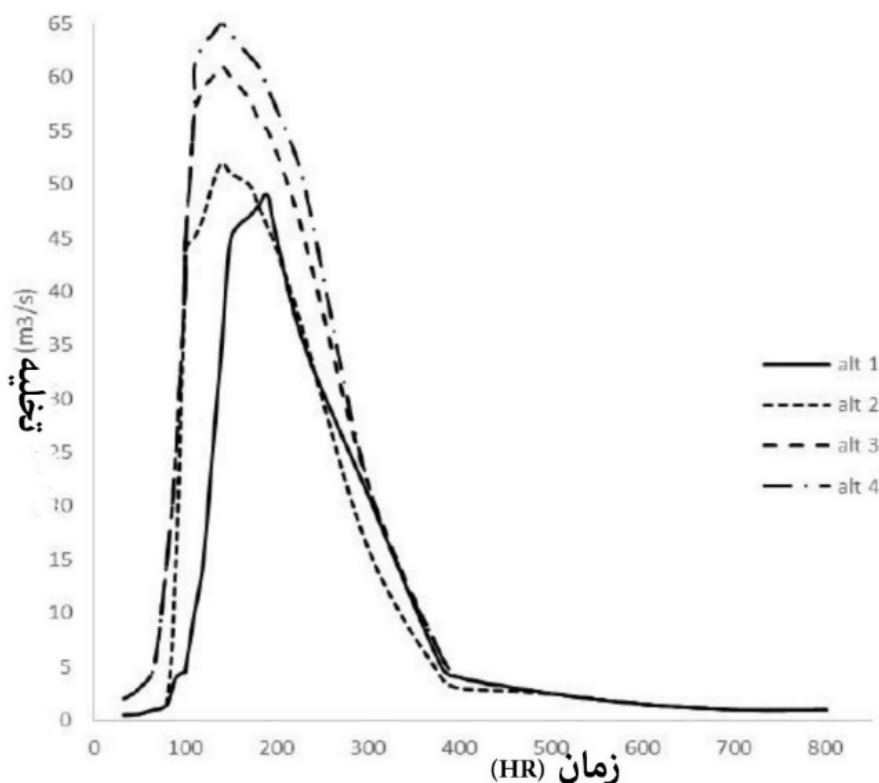
دوره بازگشت (سال)	منحنی پوش کریگر	منطقه‌ای فولر	نقطه‌ای دیگن	نقطه‌ای
۲	۴۸/۳	۲۸/۴	۹۶/۶	۱۶۱/۸
۵	۵۳/۶	۴۳/۷	۸۷/۹	۱۷۵/۳
۱۰	۶۸/۵	۵۱/۶	۹۴/۲	۱۷۱/۸
۲۵	۵۱/۶	۳۰/۹	۹۸/۳	۱۲۴/۱
۵۰	۶۳/۱	۷۳/۲	۱۷۸/۱	۱۵۸/۳

بر اساس اطلاعات کاربری اراضی شهری که در طرح جامع ۱۳۸۴ در نظر گرفته شده است، ۲۵٪ از مساحت اراضی شهری به خیابان‌ها و کوچه‌ها و ۷۵٪ به کاربری ساختمانی اختصاص یافته است، با توجه به اینکه اطلاعات جدیدی در مورد قسمت‌های فوق و سایر قسمت‌ها در دسترس نیست؛ بنابراین، در اینجا به آمار و اطلاعات طرح جامع شهری سال ۱۳۸۴ اکتفا می‌نماییم [Zysta Consulting Engineers, 2005].

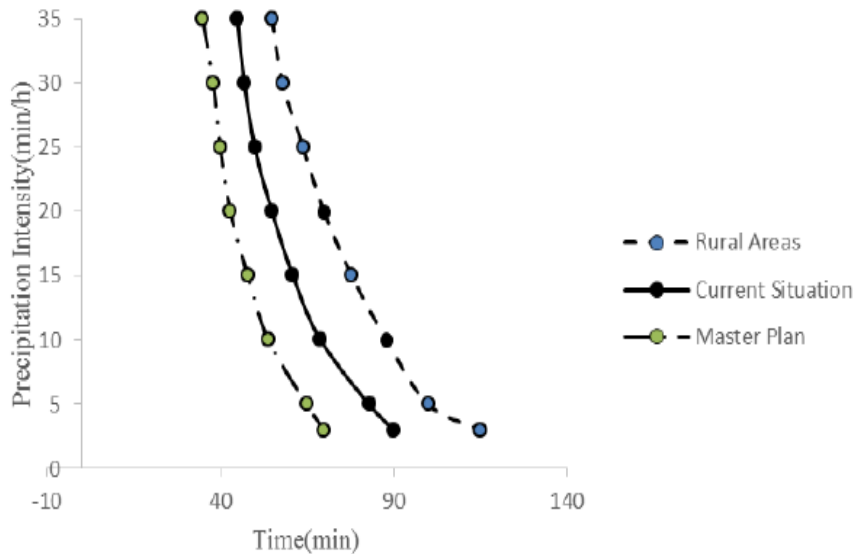
مطالعه هیدرولوژی حوضه مورد نظر در دوره ۱۳۵۸ تا ۱۳۹۸ با استفاده از آمار ایستگاه سینوپتیک سبزوار انجام شده است. با توجه به اینکه اندازه‌گیری دقیق جریان‌ها صورت نگرفته، از آمار مناطق مشابه استفاده شده است. تنظیم مدل در دو مرحله انجام شد:

الف) تنظیم مدل هیدرولوژیک برای حوضه‌های ثانویه: در این مرحله، سه رویداد بارشی در زیرحوضه مورد بررسی انتخاب شد و از اطلاعات آنها برای برآورد و ارزیابی پارامترهای مدل استفاده شد.

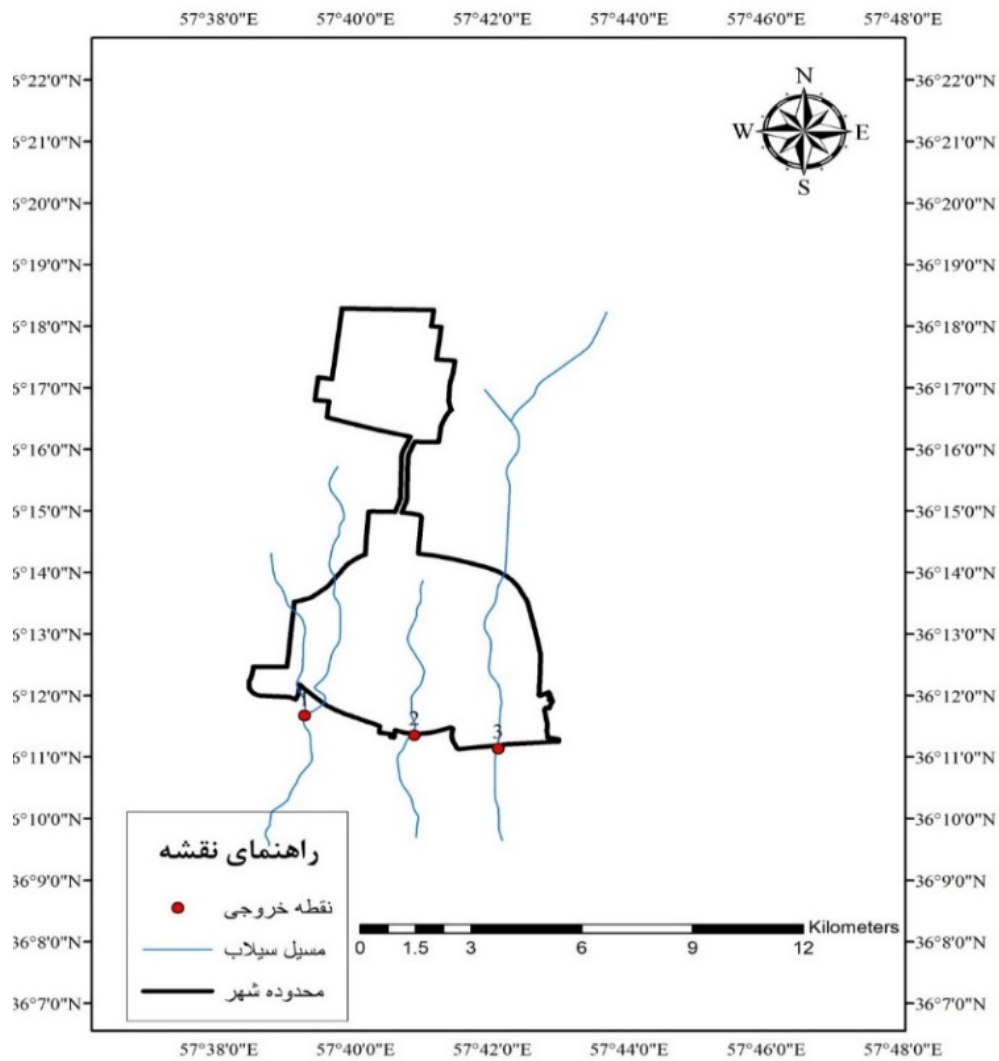
ب) تنظیم مدل هیدرولوژیک برای کل حوضه. وضعیت اطراف شهر در قسمت جنوبی با استفاده از مقیاس



شکل ۵) تخمین سیلاب برای چهار سناریوی مختلف در شهر سبزوار



شکل ۶) پیش‌بینی زمان تمرکز در شرایط مختلف حوضه



شکل ۷) نقشه مسیر سیلاب و نقاط خروجی برای تخلیه سیلاب

به اهداف واقعی خود برسد و در واقع، هجوم مهاجران به این شهر و تشکیل سکونت‌گاه‌های غیررسمی منجر به ساختار فعلی شهر، بدون در نظر گرفتن محدودیت‌های شبکه زهکشی شده است [Saberifar, 2013]. در نتیجه، در حال حاضر، حداکثر میزان کاربری اراضی مسکونی در شهر مشاهده می‌شود. اگرچه مساحت اراضی قابل نفوذ در هر منطقه پیش‌بینی شده است، اما مساحت این فضاها محدود است. در نتیجه، به نظر می‌رسد که این طرح به گسترش مساحت اراضی غیر قابل نفوذ، توجهی نداشته و این امر منجر به مشکلات مرتبط با تخلیه ایمن رواناب شهری شده است.

بر اساس مطالعات طرح جامع سال ۸۵-۱۳۸۴، میانگین تراکم ساختمانی مسکونی در سطح شهر حدود ۹۷٪ بوده که میزان این شاخص در هسته اصلی شهر ۸۴٪ است (شکل ۹). در مورد نحوه توزیع میانگین تراکم ساختمانی در نواحی هسته اصلی شهر، کمترین تراکم به نواحی ۱۰، ۸، ۷ و ۶ اختصاص یافته که در حاشیه جنوبی شهر استقرار یافته‌اند. همچنین بیشترین میانگین تراکم نیز به نواحی ۱، ۵ و ۲ اختصاص دارد که در بخش مرکزی شهر واقع شده‌اند. بیشترین نقاط آسیب‌پذیر منطبق بر شبکه‌های غرب به شرق و بالعکس هستند، که شیب طبیعی جریان آبراه‌ها را قطع کرده‌اند و مانع عبور شبکه جریان آبراه‌ها بر بستر شیب شمال به جنوب منطقه می‌شوند. در مناطق با غلبه‌ی بافت فرسوده، آسیب‌پذیری با کیفیت زیاد مساحت بیشتری به خود اختصاص داده است، به طوری که بیش از ۶۰٪ مساحت بافت فرسوده در این محدوده پراکنده شده که در برنامه‌ریزی مدیریت سیلاب و مخاطرات آن باید مد نظر قرار گیرد، همچنین سهم رواناب در این قسمت زیاد است. نتایج پژوهش با نتایج درفشی و همکاران [Darfashi et al, 2020]، باقلانی و همکاران [Baghalani et al, 2019]، رشیدی و همکاران [Rashidi & Hosseinzadeh, 2019] مطابقت دارد.

طبق نتایج، برای همه دوره‌های بازگشت تحت مطالعه و سناریوهای مختلف، کانال‌های موجود در شهر سبزوار توانایی انتقال رواناب را ندارند. تنها استثنا در این زمینه، سیل‌های شدید با دوره بازگشت ۲۵ سال است که در سناریوهای ۲ و ۳ رخ می‌دهد. در این حالت اکثر خیابان‌ها دچار آبگرفتگی می‌شوند. این شرایط طغیان عمدتاً به دلیل وجود پل‌های خاصی است که معابر آب معمولی را مسدود می‌کند. نتایج زیر واضح است:

۱- در سناریوهایی که توسعه شهری برنامه‌ریزی شده در نظر گرفته شود، رواناب بین ۲۰٪ تا ۵۰٪ در مناطق پایین دست افزایش می‌یابد.

۲- تنظیم مقررات برای در نظر گرفتن فضاهای باز در مناطقی که برای ساخت و ساز استفاده می‌شود، می‌تواند این اثر را تا ۵٪ کاهش دهد.

۳- به‌سازی پل‌ها و هدایت مناطق شهری به سمت مناطق اطراف می‌تواند از وقوع سیل با یک دوره بازگشت ۲۵ ساله جلوگیری کند. این روش می‌تواند برای شناسایی اثرات سایر مقرراتی که برای جلوگیری از سیلاب طراحی شده‌اند، استفاده شود.

هدف از این تحقیق، تهیه نقشه حساسیت سیلاب و نیز ارایه مدلی برای پیش‌بینی سیلاب با تاکید بر رابطه بین پارامترهای مدل‌های هیدرولوژیکی و توسعه شهری و همچنین سناریوهای مطرح در طرح جامع سال ۸۵-۱۳۸۴ در شهر سبزوار بود.

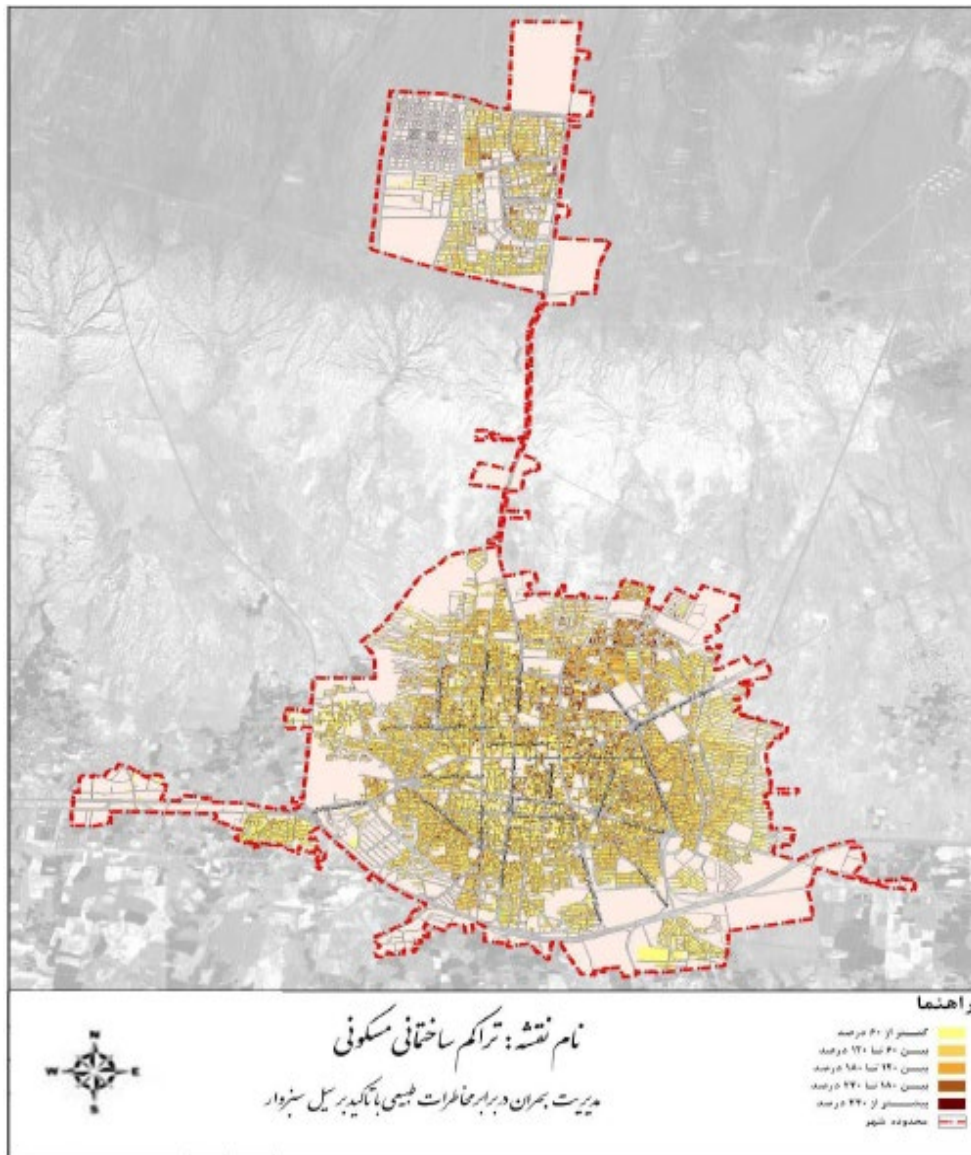
بر اساس نتایج، تغییرات در سطوح مساحتی کمتر، تاثیر زیادی در مقدار خروجی مدل، یعنی دبی اوج سیل دارد. افزایش کمیت مساحت یک منطقه، باعث کاهش اثر آن بر دبی اوج سیل می‌شود. بر اساس این تحقیق، پارامترهای دوره بازگشت و به‌خصوص مساحت و ضریب منطقه‌ای برآورد دبی اوج لحظه‌ای، تاثیر زیادی در برآورد دبی لحظه‌ای در حوضه‌های فاقد آمار یا ایستگاه‌هایی که به هر دلیلی از آمار کافی برخوردار نیستند، دارد. تاثیر تغییرات ضریب در دبی لحظه‌ای منطقه‌ای در مساحت‌های بالا بسیار زیاد است، به طوری که تاثیر تغییرات این ضریب بیشتر از تاثیر تغییرات عامل مساحت است. در حالی که تاثیر فاکتور مساحت، در مساحت‌های کمتر در مقدار دبی لحظه‌ای قابل ملاحظه است. اگرچه تنها عامل موثر بر مقدار حداکثر دبی سیلاب، مساحت نیست و عوامل دیگری از قبیل شیب، ارتفاع، عوامل اقلیمی، شیب آبراهه اصلی، طول آبراهه، پوشش گیاهی و غیره در مقدار آن موثر هستند، برخی از این عوامل اغلب به مساحت حوضه و نیز به هم وابسته‌اند. لذا به منظور کنترل سیلاب منطقه مطالعاتی می‌توان از آمار حداکثر لحظه‌ای ایستگاه‌ها بهره گرفت. بر این اساس، اگر سیلاب در یک منطقه رخ دهد از اطلاعات موجود می‌توان برای رودخانه‌هایی که در همان منطقه واقع شده‌اند استفاده کرد و بزرگی سیلاب‌ها را در هر نقطه مورد نظر برآورد نمود.

از مشکلات فیزیکی و کالبدی شهر سبزوار مسیله آب‌گرفتگی معابر عمومی در مواقع بارندگی است؛ زیرا سیستم جمع‌آوری آب‌های سطحی به صورت جامع به‌عنوان مسیله مهمی در طراحی شهری در نظر گرفته نشده است و هر ساله هزینه‌های زیادی صرف ترمیم و تعویض شبکه جمع‌آوری آب‌های سطحی می‌شود. تمامی کوچه‌ها و خیابان‌های شهر سبزوار به عنوان جامعه آماری مدنظر قرار گرفته است که با تهیه چک‌لیست و بازدیدهای میدانی و تجزیه و تحلیل داده‌ها، وضعیت معابر بررسی شده است. با توجه به عدم کفایت محل تخلیه برای دفع ایمن سیلاب‌های شهری، رواناب‌های ناشی از بارندگی در داخل شبکه به‌ویژه در قسمت‌های انتهایی آن انباشته و متراکم می‌شود و پس از تکمیل ظرفیت مجاری انتقال، باعث پخش آب در سطح شهر در مناطق گود و کم‌ارتفاع می‌شود که تحت پوشش سیستم زهکشی شهری قرار دارند. بنابراین، با توجه به عدم رعایت اصول مهندسی در شهرسازی، با پدیده‌ای به نام سیل انسان‌ساز مواجه هستیم؛ همچنان که این پدیده در بارندگی اوایل بهار ۱۳۹۸، سبب وقوع سیلاب‌های شهری در مناطق مختلف شهر سبزوار شد (شکل ۸).

بررسی‌ها نشان می‌دهد که طرح جامع شهر سبزوار [Zysta Consulting Engineers, 2005] نتوانسته است در این زمینه



شکل ۸) آب گرفتگی بلوار فرید خراسانی شهر سبزوار



شکل ۹) تراکم ساختمانی در سطح شهر سبزوار

analysis of urban areas at flood risk Case study: Regions 10 and 22 of Tehran. Journal of Emergency Management. 9(1):5-16. [Persian]

- Fathalizadeh B, Abedini M, Rajabi M (2020). Investigation of flood causes and hazards in Zanuzchay catchment using HEC-HMS hydrological model and fuzzy logic. Quantitative Geomorphological Research. 9(1):134-155. [Persian]

- Hosseini Y (2013). Selecting a Method for Calculating the Annual Estimation of a Drain Basin by Examining Various Methods for Estimating the Annual Flow (Jaroo Basin). First National Conference on Drainage in Sustainable Agriculture. 2013, February 27: Tarbiat Modares University. [Persian]

- Jensen SK, Doming JO (1988). Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis. Photogrammetric Engineerin and Remote Sensing. 54(11):1593-1600.

- Kadaverugu A, Nageshwar Rao C, Viswanadh GK (2021). Quantification of flood mitigation services by urban green spaces using InVEST model: A case study of Hyderabad city, India. Modeling Earth Systems and Environment. 7:589-602.

- Li Q, Jiang X, Liu D (2013). Analysis and modelling of flood risk assessment using information diffusion and artificial neural network. Water SA. 39(5):634-648.

- Masri Alamdari P (2021). Spatial analysis of flood risk in Ajabshir tea castle catchment using GIS and HEC-HMS. Quantitative Geomorphological Research. 10:93-111. [Persian]

- Mahmoodzadeh H, Emamykya V, Rasouli AA (2015). Micro zonation of flood risk in tabriz suburb with using analytical hierarchy process. Geographical Research Quarterly. 30(1):167-180. [Persian]

- Mujaddidi Rizehi H, Habibnejad R, Pradhan B (2020). Efficiency of frequency model of combination ratio - support vector machine in identifying flood prone areas of Kalat watershed. Echo Hydrology. 7. [Persian]

- Negarsh H, Shaheh Hosseini M (2011). Investigation of methods of estimating annual discharge and estimating floods in Tigh Ab watershed of Khash city. Geography Space. 11:255-282. [Persian]

- Oliveri E, Santoro M (2000). Estimation of urban structural flood damages: the case study of Palermo. Urban Water. 2(3):223-234.

- Pfeifer LR, Bennett EM (2011). Environmental and social predictors of phosphorus in urban streams on the Island of Montréal, Québec. Urban Ecosystems. 14:485-499.

- Rashidi M, Hosseinzadeh MM (2019). The role of sub-basins overlooking the city in the occurrence of urban floods in Izeh (Khuzestan). Geography and Environmental Hazards. 29:25-42. [Persian]

- Wahabzadeh AH, Mirki Sh, Shirzadi A (2017). Landslide Sensitivity Zoning with GIS and Comparing the Efficiency of Logistic Regression Methods and Frequency Ratio (Case Study: Cheshidar Watershed, Kurdistan). Journal of Geographic Information System Application and Remote Sensing in Planning. 8:11-21. [Persian]

- Zanganeh Asadi M, Amir Ahmadi A, Naemi Tabar M (2021). Evaluation of the efficiency of Victor, L-THIA and artificial neural network models in regional flood analysis (Case study: Khorasan Razavi province). Echo Hydrology. 8:108-89. [Persian]

- Zysta Consulting Engineers (2005). Detailed plan (improvement and renovation) of Sabzevar. Sabzevar: Sabzevar Municipality; [Unknown cited]. Available from: Not Found [Persian]

مدل SVM دارای صحت کافی بوده و به دلیل سازگاری با شرایط ایران، می‌تواند در شرایط مشابه استفاده شود. صحت نتایج مدل هیدرولوژیک پیشنهادی در این تحقیق، نسبتاً مطابق با ارقام ثبت شده واقعی بوده است. توسعه شهر سبزوار از قسمت میانی حوضه آغاز شده و به تدریج به قسمت‌های بالا و پایین، توسعه یافته است. این شرایط، خطر خسارات ناشی از سیل را در مناطق مسکونی، افزایش داده است. طرح جامع شهری سال ۸۵-۱۳۸۴ در این شهر بدون توجه به تاثیرات شبکه زهکشی و تحولات برنامه‌ریزی شده تهیه شده است. لذا، در مطالعات آینده تخمین سطوح نفوذپذیر متناسب با سطوح غیر قابل نفوذ با در نظرگیری شرایط موجود، باید مورد توجه قرار گیرد.

تشکر و قدردانی: از خانم ناعمی که در تنظیم این مقاله همکاری داشته‌اند صمیمانه تقدیر و تشکر می‌شود.

تاییدیه اخلاقی: موردی برای گزارش وجود ندارد.

تعارض منافع: مقاله مستخرج از رساله دکترای *ابوالقاسم سنائی‌فرد* و با راهنمایی *ابوالقاسم امیراحمدی* و *یعقوب زنگنه* است.

سهم نویسندگان: *ابوالقاسم سنائی‌فرد* (نویسنده اول)، روش‌شناس *پژوهشگر اصلی/نگارنده بحث/تحلیلگر داده* (۵۰٪)؛ *ابوالقاسم امیراحمدی* (نویسنده دوم)، *پژوهشگر کمکی/نگارنده بحث/تحلیلگر داده* (۳۰٪)؛ *یعقوب زنگنه* (نویسنده سوم)، *نگارنده مقدمه/پژوهشگر کمکی/نگارنده بحث/تحلیلگر داده* (۲۰٪).

منابع مالی: -

منابع

- Amir Ahmadi A, Behniafar A, Ebrahimi M (2012). Icrozonation of flood risk in Sabzevar suburb with the aim of sustainable urban development. Environmental Based Territorial Planning (Amayesh). 5(16):32-17. [Persian]

- Alcántara-Ayala I (2002). Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries. Geomorphology. 47(2-4):107-124.

- Asghari Moghadam M (2005). Urban water and habitat (Hydrological studies in urban planning) (Urban hydrology). 1st ed. Tehran: Sara Publications. [Persian]

- Baghalani M, Rostami N, Tavakoli M (2019). Identification of effective factors on the occurrence of urban floods in Ilam watershed. 11(2):523-536. [Persian]

- Campana NA, Tucci CEM (2001). Predicting floods from urban development scenarios: Case study of the Dilúvio Basin, Porto Alegre, Brazil. Urban Water. 3(1-2):113-124.

- Cheraghi Qalehsari A, Habibnejad Roshan M, Roshan SH (2020). Flood susceptibility mapping using a support vector machine models (SVM) and geographic information system (GIS). Journal of Natural Environmental Hazards. 9(25):61-80. [Persian]

- Douglas I, Garvin S, Lawson N, Richards J, Tippett J, White I (2010). Urban pluvial flooding: a qualitative case study of cause, effect and nonstructural mitigation. Journal of Flood Risk Management. 3(2):112-125.

- Darfashi KB, Adeli SF, Malek Mohammadi B (2020). Present the pattern in vulnerability level zoning and