



Modeling and investigation of the most important factors affecting the occurrence of floods in the Gorganrood watershed

Mohamad Sameei Paghale¹, Seyed Morteza Seyedian^{2*}, Abolhasan Fathabadi³, Nasrodin Jahantigh⁴

¹ Department of Range and Watershed Management, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Golestan, Iran.

² Department of Range and Watershed Management, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Golestan, Iran.

³ Department of Range and Watershed Management, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Golestan, Iran.

⁴ Watershed Administration of Golestan Province, Gonbad Kavous, Golestan, Iran.

Received: 19.02.2022; Accepted:30.04.2022

Abstract

The Objective of this research is to provide a model to calculate flood discharge values with a certain return period by using the geometric features of the watershed and by providing multivariable models. To understand flood occurrence in the Gorganrood watershed, we studied 11 hydrometric stations in Golestan province. We examined their data accuracy, adequacy, and homogeneity to identify influencing factors. After homogeneity and statistical adequacy tests, statistical distributions were fitted with three goodness of fit tests, including Kolmogorov-Smirnov, Anderson-Darling, and least squares tests. Instantaneous maximum discharge values for return periods of 2 to 100 years were determined for the selected stations and used as function parameters in the analysis. Various influential parameters, including physiographic factors, vegetation, land use, soil science, geology, and weather including 31 independent variables were selected in this research. Data analysis and flood modeling were done by the multivariate regression statistical method. Enter and Forward methods were used to enter the regression variables into the model and the most suitable equations between the independent factors and the function for different return periods by comparing statistical indicators including significance, correlation coefficient, determination coefficient, error percentage, mean error and standard error of estimation. The residual square root (error) was evaluated and selected.

In this way, flood regional models using the Enter method have higher accuracy and precision than the models obtained using the Forward method. In general, 13 variables out of 31 independent variables included in the multivariate regression test have been identified as the most important and influential factors in the occurrence of floods in the Gorganrood watershed. The effective variables include: Gravel's coefficient, percentage of the area of permeable formations, watershed slope, concentration time, watershed area, flow velocity, percentage of land area with a north direction, percentage of land area with a south direction, percentage of pasture land area, percentage of agricultural land area, percentage Waterway density is ranked 3, as are average annual temperature and maximum annual rainfall. By using these relationships (models), it is possible to obtain the values of the maximum instantaneous discharge with a return period of 2, 10, 5, 25, 50 and 100 years in the basins without statistics under the sub-basins of Gorganrood.

Keywords: Flood Peak Discharge, Gorganrood Watershed, Modeling, Linear Regression.

* Corresponding author, E-mail: seyedian@gonbad.ac.ir

Cite this article: Mohamad Sameei Paghale, Seyed Morteza Seyedian, Abolhasan Fathabadi, Nasrodin Jahantigh. (2024). Modeling and investigation of the most important factors affecting the occurrence of floods in the Gorganrood watershed. *Journal of New Approaches in Water Engineering and Environment*, 3(1), 123-136. <https://doi.org/10.22034/nawee.2024.433344.1059>





مدلسازی و بررسی مهمترین عوامل مؤثر بر وقوع سیلاب حوزه آبخیز گرگانرود

محمد سمیعی پاقلعه^۱، سیدمرتضی سیدیان^{۲*}، ابوالحسن فتح‌آبادی^۳، نصرالدین جهان تیغ^۴

^۱ دانش آموخته ارشد، گروه آموزشی مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران.

^۲ استادیار، گروه آموزشی مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران.

^۳ دانشیار، گروه آموزشی مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران.

^۴ کارشناس، اداره آبخیزداری استان گلستان، گنبد کاووس، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۲۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۲۸

چکیده

مطالعات هیدرولوژی در پروژه‌های آبی حائز اهمیت می‌باشد. هدف از این تحقیق ارائه مدلی برای محاسبه مقادیر دبی سیلاب با دوره بازگشت معین با استفاده از ویژگی‌های هندسی حوزه آبخیز و با ارائه مدل‌های چند متغیره می‌باشد. به منظور مدل‌سازی و شناخت عوامل تاثیر گذار در رخداد سیل در حوزه آبریز گرگانرود، وضعیت آماری تعداد ۱۱ ایستگاه هیدرومتری حوزه آبخیز گرگانرود واقع در استان گلستان و نیز صحت، کفایت و همگنی داده‌های آن‌ها، مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. پس از انجام آزمون‌های همگنی و کفایت آماری، برازش توزیع‌های آماری با سه آزمون نکویی برازش شامل آزمون‌های کولموگروف - اسمیرنوف، اندرسون - دارلینگ و کمترین مربعات انجام شد. مقادیر دبی حداکثر لحظه‌ای برای دوره‌های بازگشت‌های ۲ تا ۱۰۰ ساله ایستگاه‌های منتخب مشخص گردیده و به‌عنوان پارامترهای تابع در آنالیز مورد استفاده قرار گرفت. پارامترهای مختلف تاثیرگذار شامل عوامل فیزیوگرافی، پوشش گیاهی، کاربری اراضی، خاک‌شناسی، زمین‌شناسی و آب‌وهوا شامل ۳۱ متغیر مستقل در این تحقیق انتخاب شد. تجزیه و تحلیل اطلاعات و مدل‌سازی سیلاب به روش آماری رگرسیون چند متغیره انجام شد. برای ورود متغیرهای رگرسیونی به مدل، از روش Enter و Forward استفاده گردید و مناسب‌ترین معادلات بین عوامل مستقل و تابع برای دوره بازگشت مختلف، با مقایسه شاخص‌های آماری شامل معنی‌داری، ضریب همبستگی، ضریب تعیین، درصد خطا، میانگین خطا و خطای استاندارد برآورد یا ریشه مربعات باقیمانده (خطا) ارزیابی و انتخاب شد. مدل‌های منطقه‌ای سیلاب به روش Enter از دقت و صحت بالاتری نسبت به مدل‌های به دست آمده از روش Forward برخوردار می‌باشد. به‌طور کلی ۱۳ متغیر از ۳۱ متغیر مستقل وارد شده در آزمون رگرسیون چند متغیره به‌عنوان مهم‌ترین و تأثیرگذارترین عوامل در بروز سیلاب حوزه آبخیز گرگانرود شناسایی گردیده است. متغیرهای مؤثر شامل: ضریب گراولیوس، درصد مساحت سازندهای نفوذپذیر، شیب حوزه آبخیز، زمان تمرکز، مساحت آبخیز، سرعت جریان، درصد مساحت اراضی با جهت شمال، درصد مساحت اراضی با جهت جنوب، درصد مساحت اراضی مرتعی، درصد مساحت اراضی زراعی، درصد تراکم آبراهه با رتبه ۳، دمای متوسط سالانه و بارندگی حداکثر سالانه می‌باشد. با استفاده از این روابط (مدل‌ها) می‌توان مقادیر دبی حداکثر لحظه‌ای با دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله را در حوزه‌های فاقد آمار در زیر حوزه‌های گرگانرود به دست آورد.

کلیدواژه‌ها: دبی پیک سیل، حوزه آبخیز گرگانرود، مدل‌سازی، رگرسیون خطی.

* نویسنده مسئول: Emai:seyedian@gonbad.ac.ir

استناد: سمیعی پاقلعه، محمد؛ سیدیان، سیدمرتضی؛ فتح‌آبادی، ابوالحسن؛ جهان تیغ، نصرالدین (۱۴۰۳). مدل‌سازی و بررسی مهمترین عوامل مؤثر بر

وقوع سیلاب حوزه آبخیز گرگانرود. *رویکردهای نوین در مهندسی آب و محیط زیست*، ۳ (۱)، ۱۲۳-۱۳۶.

<https://doi.org/10.22034/nawee.2024.433344.1059>



ناشر: دانشگاه گنبد کاووس. © نویسندگان

مقدمه

لزوم کاربرد هیدرولوژی در پروژه‌های تأسیسات آبی و ساختمانی موضوع مهمی می‌باشد. زیرا اجرای طرح‌های این گونه تأسیسات نیاز به مطالعات و تجزیه و تحلیل داده‌های آب‌های سطحی و زیرزمینی و همچنین مطالعات فیزیکی و مورفولوژیکی حوضه‌های آبخیز دارد. بنابراین هرگونه فعالیتی در اجرای طرح‌های کشاورزی و عمرانی می‌بایست همراه با مطالعات هیدرولوژی باشد (Seyedian et al., 2019). در این خصوص مسئله پیش‌بینی دبی‌های سیلابی حائز اهمیت خاصی است. سیل بدون شک یکی از مهم‌ترین بلایای طبیعی می‌باشد، که به‌عنوان مهیب‌ترین بلایای جوی در جهان شناخته شده است. بررسی شمار وقوع سیل در سال‌های اخیر نشان می‌دهد، دیگر سیل نه یک مصیبت اتفاقی نادر، بلکه پدیده‌ای فزاینده است، که در هر بار وقوع، خسارات فراوانی را اعم از جانی و مالی به بار می‌آورد. هر ساله سطح وسیعی از کشور تحت تأثیر طغیان آب رودخانه‌ها و جاری شدن سیلاب قرار گرفته و در اثر آن تأسیسات عمرانی، امکانات ارتباطی، زمین‌های کشاورزی، شهرها و روستاها تخریب می‌گردد (Seyedian et al., 2014). ضرورت مدل‌سازی سیلاب از جنبه‌های مختلفی قابل بحث است که از جمله آن‌ها بحث هشدار پیش از وقوع سیل است. از طریق مدل‌سازی‌های معتبر، می‌توان دامنه و میزان خسارات سیل را پیش‌بینی نمود (Bagherpour et al., 2017). همچنین این پیش‌بینی‌ها در طراحی و مدیریت سازه‌های مهار سیل نیز می‌تواند کمک‌کننده باشد. مدل‌سازی سیلاب می‌تواند اثرات سوء و پیامدهای سیل را محدود نموده و در پهنه‌بندی سیلاب‌دشت‌ها، مدیریت آن‌ها و نیز افزایش آگاهی جامعه در رابطه با ریسک سیل مؤثر واقع شود.

یکی از روش‌های متداول تعیین دبی سیلابی در نواحی بدون اطلاعات و داده‌های هیدرومتری استفاده از فرمول تجربی است. اما این فرمول‌ها عموماً برای مناطق خاصی ارائه و تنظیم شده‌اند و کاربرد آن‌ها در محل‌های دیگر نیاز به کالیبره کردن مدل داشته و با احتیاط زیاد بایستی همراه باشد. برای تعیین دبی، طراحی بیش از ۴۰ مدل مختلف در منابع در دسترس می‌باشد. اما هر یک از این مدل‌ها با توجه به شرایط منطقه مورد نظر تنظیم گردیده‌اند (Muterja et al., 2001) و اگر برای منطقه دیگری استفاده شود، ضرایب

آن‌ها با توجه به شرایط منطقه باید تعیین شود. یکی دیگر از مشکلات استفاده از فرمول‌های تجربی این است که این فرمول‌ها به‌طور صریح عامل دوره بازگشت را نشان نمی‌دهند. مدل‌سازی سیلاب در حقیقت ایجاد یک رابطه قابل قبول است بین مشخصه‌های فیزیوگرافی و دبی‌های سیلابی اندازه‌گیری شده در یک منطقه و بالاخره استفاده از این رابطه‌ها برای تخمین دبی‌های سیلابی زیر حوضه‌های فاقد آمار.

هدف از این تحقیق برقراری رابطه‌های منطقه‌ای بین خصوصیات فیزیوگرافی حوضه گرگانرود و دبی‌های سیلابی با دوره برگشت‌های مختلف می‌باشد. این رابطه در نهایت به کمک تجزیه و تحلیل آماری به مدل‌های منطقه‌ای تبدیل خواهند شد. در این تحقیق منابع جمع‌آوری داده‌های هیدرولوژیکی شناسایی شده، روش‌های تکمیل و تحویل داده‌ها فراگرفته می‌شود، علاوه بر این توزیع‌های آماری و روش پردازش توزیع و تناسب هر توزیع از طریق آزمون‌های آماری برقرار شده و با استفاده از روش‌های آماری رابطه رگرسیون بین مشخصات فیزیوگرافی و سیلاب با دوره‌های برگشت مختلف برقرار می‌گردد.

ادبیات موضوع و پیشینه پژوهش

۱. مطالعات داخلی

Mohammadi et al. (2007) در توصیف وقوع سیل در شرق استان گلستان در مردادماه ۱۳۸۰ نشان داد شدت بارندگی، نبود پوشش گیاهی مناسب، شیب بسیار تند، شکل حوزه آبریز و ... از جمله عوامل تأثیرگذار در تشدید وقوع سیل فوق بوده‌اند.

Mahdavi et al. (1997) پس از تحلیل فراوانی نقطه‌ای سیلاب‌ها در تعدادی از حوضه‌های آبخیز استان سمنان و برآورد دبی متوسط سیلاب، روابط همبستگی بین تابع و پارامترهای مستقل برقرار نمود و نهایتاً هفت مدل با پارامترهای مختلف و با دقت نسبتاً متفاوت به دست آمد.

Izadbakhsh et al. (2001) مدل‌های برآورد حداکثر دبی میانگین روزانه با برخورداری از ویژگی‌های فیزیوگرافیک برای حوزه‌های آبریز غرب ایران را مورد بررسی قرار دادند و مدل‌هایی با شکل‌ها و پارامترهای گوناگون از میان مدل‌های توانی، نمایی، خطی و لگاریتمی

و در شرایط آزمایشگاه، با بارش شبیه‌سازی شده مورد بررسی قرار دادند. حاصل تحقیق بیان می‌دارد که اختلاف آماری در مقدار رواناب و هدر رفت خاک در شیب ۲۰ درصد وجود ندارد و مقدار هدر رفت در سطوح با شیب ۵ درصد بیشتر است. Keshtkar et al. (2011) تراکم کاربری اراضی بر روی حوضه بررسی کردند و تأثیر تراکم کاربری اراضی بر روی بارش مؤثر را در حوضه‌های مدیریتانه ارزیابی کردند. Ahmed et al. (2023) با استفاده از فاکتورهای بارش سالیانه، ویژگی‌های خاک، درصد اراضی فاقد پوشش گیاهی، متوسط شیب و شاخص پوشش گیاهی نشان داد که مدل‌های رگرسیونی از روابط بین خصوصیات حوزه و جریان‌های کمینه برتری خوبی نسبت به سایر روش‌ها دارد. Hutapea et al. (2020) در بررسی سیلاب‌های شدید به این نتیجه رسید که غیر از حالت‌های محدود، سیلاب‌های شدید که در حوزه‌های بزرگ حادث می‌گردد، در نتیجه بارندگی بوده و تأثیر انسان در منطقه (پوشش گیاهی، خاک، توپوگرافی و بستر رودخانه) از اهمیت کمتری برخوردار بوده است. Gharib et al. (2018) بر اساس پژوهش‌های خود اظهار دارند که میزان رواناب رابطه مستقیمی با شیب دارد. Stamey et al. (2004) در یونان نشان داد که علاوه بر بارش متوسط سالانه و مساحت حوزه سه عامل شیب آبراهه اصلی، تراکم آبراهه‌ها و شاخص مربوط به خاک نقش بیشتری در ایجاد سیلاب دارند. Malvarez et al. (2022) تولید رسوب را در بوته‌زارهای نیمه‌خشک اسپانیا با استفاده از باران ساز موردبررسی قرارداد و نتیجه گرفت که شیب، پوشش گیاهی و نوع خاک به‌طور معنی‌داری بر مقدار رواناب و رسوب تأثیر دارد. همچنین، مقدار رواناب با هدر رفت خاک همبستگی مثبت دارد و بیش‌ترین مقدار رواناب و فرسایش در کرت‌های با شیب تند ایجاد می‌شود.

Kousali et al. (2022) تغییرات دبی ورودی به خلیج گرگان را بررسی کردند و نشان دادند عوامل اقلیمی تأثیر زیادی بر حجم جریان دارد. Steirou et al. (2019) تأثیر عوامل هواشناسی را بر روی سیلاب مورد بررسی قرار دادند. Sraj et al. (2000) مدلی برای پیش‌بینی سیلاب ارائه کرد. در مدل آن‌ها بارندگی سالانه مهم‌ترین پارامتر بر روی دقت نتایج بود. Bhat et al. (2019) پتانسیل ایجاد سیل را با استفاده از پارامترهای مورفولوژیک حوزه بررسی کردند.

انتخاب نمودند. آن‌ها مشاهده کردند که پارامترهای طول آبراهه اصلی، تراکم زهکشی و زمان تمرکز بیشترین تأثیر را در تولید دبی داشتند. Eimani and Enayati (2005) با در نظر گرفتن خصوصیات ژئومورفولوژیک حوزه‌های فشنند و بهجت‌آباد (واقع در استان‌های تهران و قزوین) به این نتیجه رسیدند که حوزه‌های با شیب زیاد و ضریب گراولویوس کمتر، ضریب سیل‌خیزی بیشتری دارا هستند.

Abdinejad et al. (2011) ارزیابی میزان تولید رواناب در واحدهای مارنی سازندهای زمین‌شناسی استان زنجان پرداختند که نتایج تحقیق نشان داد اثر واحدهای مارنی بر حجم و ضریب رواناب واحدهای کاری معنی‌دار بوده ولی اثر شیب و اقلیم بر این دو ویژگی معنی‌دار نیست. et al. (2016) Khorasandi در تحقیقی از دو مدل تحلیلی برای برآورد سیلاب حوزه آبخیز شهری استفاده کردند. یکی از مدل‌ها بر اساس ضریب رواناب بود و مدل دیگر با در نظر گرفتن عامل نفوذپذیری فرموله شد. برای اجرای این مدل‌ها یک حوزه آبخیز واقع در شهر تهران انتخاب گردید و برای مقایسه دو مدل، داده‌های بارش و سیلاب در حوزه آبخیز ثبت گردیدند. شاخص‌های ارزیابی بیانگر دقت هر دو مدل در محاسبه سیلاب شهری بودند.

Maleki et al. (2013) عوامل مؤثر بر سیل‌خیزی حوزه رازآور استان کرمانشاه را بررسی نمود. نتایج نشان داد شماره منحنی، مساحت و زمان تأخیر حوزه تأثیر زیادی بر دبی پیک دارد. با توجه به سیلاب‌های زیادی که در سال‌های اخیر در استان لرستان رخ داده، Maryanaji et al. (2018) پژوهشی جهت ایجاد رابطه‌ای بین بارش و سیل با تأکید بر عوامل اقلیمی انجام دادند. نتایج نشان داد خصوصیات بارش (مقدار و شدت) بیشترین نقش را در بروز سیل در منطقه ایفا می‌کند. Mokhtari et al. (2023) نشان دادند عوامل زیادی مانند بارش، شیب، پوشش و کاربری اراضی نقش مؤثری بر ایجاد سیل دارند. Shamkoueyan et al. (2023) بارش را در حوضه زشک شان‌دیز به عنوان مهم‌ترین عامل در ایجاد سیل معرفی کردند.

۲. مطالعات خارجی

Gomez and Nearing (2005) رواناب و هدر رفت خاک سطوح ناهموار و مسطح را در دو شیب ۵ و ۲۰ درصد

۲. روش تحقیق

به منظور مدل‌سازی و شناخت پارامترهای مؤثر در بروز سیل در حوزه آبریز گرگانرود؛ پس از شرح مشخصات و جامع‌یابی حوزه آبریز گرگانرود، وضعیت آماری ایستگاه‌های هیدرومتری و صحت، کفایت و همگنی داده‌ها، مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. در این تحقیق، ابتدا، دبی روزانه و حداکثر لحظه‌ای سیلاب، برای ۱۱ ایستگاه منتخب در منطقه مورد مطالعه با آزمون ران تست (Run Test) برای اطمینان از تصادفی بودن داده‌ها، آزمون گردید. برای اطمینان از مستقل بودن مقادیر دبی حداکثر لحظه‌ای، از آزمون توابع خود همبستگی یا روش ACF استفاده شد. پس از انجام آزمون‌های فوق و تأیید همگنی و عدم یکنواختی و تصادفی بودن داده‌ها برای تحویل و تکمیل آن‌ها، ماتریس همبستگی ایجاد گردید. در این ماتریس، ضریب همبستگی و سطوح معنی‌دار بودن دو به دو ایستگاه‌ها مشخص شد. با مشخص شدن ضریب همبستگی، متعاقب آن با استفاده از روابط رگرسیونی به دست آمده است. آمار ناقص بازسازی و تکمیل گردیده، سپس در ادامه کار به منظور بررسی انواع توزیع‌های آماری مربوطه در محیط نرم‌افزار EasyFit 5.6 Professional برازش توزیع‌های آماری با سه آزمون نکویی برازش شامل آزمون‌های کولموگروف - اسمیرنوف اندرسون - دارلینگ و کمترین مربعات انجام شده است. جهت برآورد سیلاب، مقادیر دبی‌های سیلابی ایستگاه‌های منتخب در سطوح احتمالات مختلف مشخص گردید و به‌عنوان متغیرهای تابع در تجزیه و تحلیل مورد استفاده قرار گرفت. عوامل مختلف تأثیرگذار از جمله عوامل فیزیوگرافی، پوشش گیاهی، کاربری اراضی، خاک‌شناسی، زمین‌شناسی و آب و هوا به‌عنوان متغیرهای مستقل در این تحقیق انتخاب شده است. تجزیه و تحلیل اطلاعات و مدل‌سازی سیلاب به روش آماری رگرسیون چند متغیره به کمک نرم‌افزار SPSS انجام شد. بدین ترتیب مناسب‌ترین معادلات بین عوامل مستقل و تابع با استفاده از روش رگرسیون چند متغیره برای دوره بازگشت مختلف، با مقایسه شاخص‌های آماری شامل معنی‌داری (Sig)، ضریب همبستگی (R)، ضریب تعیین (R^2)، درصد خطا (MSR)، میانگین خطا (MSE)، و خطای استاندارد برآورد (Std. Error of the Estimate) یا ریشه مربعات باقیمانده (خطا) ارزیابی و انتخاب شد. بدین ترتیب

Diakakis et al. (0000) به منظور کنترل سیل عوامل مؤثر بر آن را بررسی کرد. بررسی آن‌ها نشان داد عواملی مانند شیب، رطوبت خاک و نفوذپذیری تأثیر زیادی بر وقوع سیل دارند. Hong et al. (2018) تأثیر عواملی مانند بارندگی، کاربری، ارتفاع و نوع خاک را بر وقع سیلاب بررسی کردند.

روش‌شناسی پژوهش

در این بخش ابتدا به توصیف ویژگی‌ها و مشخصات منطقه مورد مطالعه پرداخته شده است. سپس گام‌های اساسی انجام این تحقیق ارائه شده است. ابتدا نحوه گردآوری اطلاعات از سازمان‌های ذی‌ربط توضیح داده شده، در بخش‌های دیگر به چگونگی پردازش اطلاعات جمع‌آوری شده پرداخته شده و در ادامه روش‌های مورد استفاده برای تجزیه و تحلیل، ارزیابی و شاخص‌های انتخاب نتایج نهایی توصیف شده است.

۱. معرفی منطقه مورد مطالعه

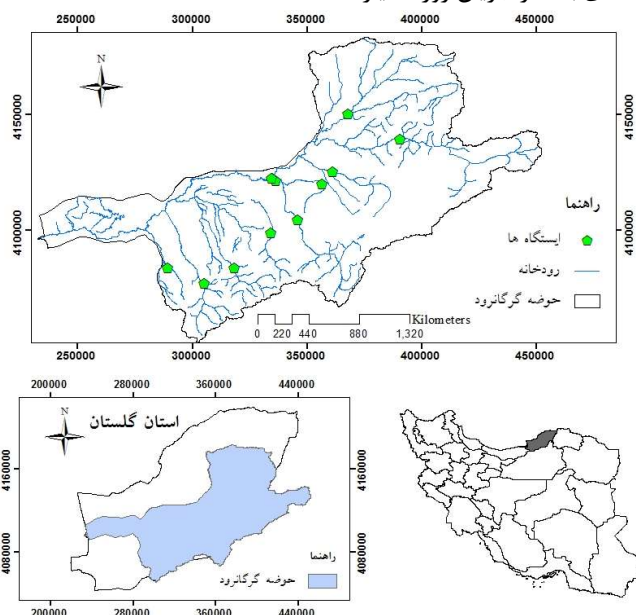
گرگانرود یکی از سه رودخانه استان گلستان به طول ۳۵۰ کیلومتر و حوضه آبریز آن با وسعتی معادل ۱۲۶۰۰ کیلومترمربع واقع گردیده است. از رودخانه‌های مهم حوضه آبریز دریای خزر است و در منطقه گرگان و دشت استان گلستان جریان دارد. بیشترین حجم آب استان گلستان در این رودخانه جریان دارد. این رودخانه از غربی‌ترین کوه‌های خراسان سرچشمه می‌گیرد و پس از عبور از مسیرهای پر پیچ و خم کوهستانی وارد منطقه کلانله می‌شود. تا این محل، عمق بستر آن زیاد است ولی به تدریج از میزان آن کاسته می‌شود. در نهایت از صحرای ترکمن و شمال گرگان می‌گذرد و وارد خلیج گرگان می‌شود. شاخه‌های اولیه آن به نام‌های قرناوه و مارس (زاو) پس از آنکه در شمال دهکده صوفیان به هم پیوستند در یازده کیلومتری شمال کلانله، رودخانه گرگان را تشکیل می‌دهند. رود گرگان سپس در جهت غرب جاری می‌شود و در مسیری پر پیچ و خم از شهرهای کلانله و گنبدکاووس می‌گذرد. شاخه‌های مهم خود را که همه آن‌ها از ارتفاعات البرز شرقی و دامنه‌های شمالی آن منشأ می‌گیرند، دریافت می‌کند.

است. لذا باید ایستگاه‌هایی انتخاب شوند که در طول سال‌های ثبت مقادیر دبی جریان رودخانه‌ها، دارای آمار جریان بوده و تا حد ممکن نقص آماری نداشته باشند. از این رو از بین بیش از ۵۰ ایستگاه هیدرومتری در استان گلستان تعداد ۱۱ ایستگاه انتخاب گردید که نقشه پراکنش آن‌ها در شکل ۱ آورده شده است.

مهم‌ترین عوامل مؤثر در سیل حوزه آبریز گرگانود مشخص شده است.

۲. تحلیل فراوانی جریان و معرفی ایستگاه‌های هیدرومتری مورد بررسی

در این تحقیق وجود حداقل ۳۶ سال آمار اندازه‌گیری دبی به‌عنوان اولین معیار در نظر گرفته شد. از طرف دیگر جهت برآورد دبی حداکثر لحظه‌ای به آمار جریان روزانه نیاز



شکل ۱. نقشه موقعیت حوزه گرگانود و ایستگاه‌های هیدرومتری در استان گلستان و ایران

مشخصات مربوط به ایستگاه‌های هیدرومتری موجود در حوزه آبریز گرگانود در جدول ۱ درج گردیده است.

جدول ۱. موقعیت جغرافیایی و مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری منتخب

ردیف	رودخانه	ایستگاه	مختصات جغرافیایی		ارتفاع	سال تأسیس	مساحت (هکتار)
			utm _x	utm _y			
۱	خرمالو	نوده	۳۴۵۷۸۴	۴۱۰۴۵۲۰	۲۸۰	۱۳۵۰	۸۴۰
۲	چهل چای	لزوره	۳۵۶۵۵۹	۴۱۲۰۱۳۳	۱۹۰	۱۳۶۴	۸/۲۶۰
۳	اوغان	گالیکش	۳۶۱۰۸۶	۴۱۲۵۳۴۶	۲۵۰	۱۳۵۰	۳/۴۰۴
۴	محمدآباد	سرمو	۳۰۵۲۵۷	۴۰۷۶۷۵۹	۵۰۰	۱۳۶۱	۵.۳۹۳
۵	دوغ	تنگراه	۳۹۰۲۸۸	۴۱۳۹۴۷۱	۳۳۰	۱۳۵۱	۷.۱۷۹۱
۶	قره سو	ارازکوسه	۳۳۶۱۱۱	۴۱۲۱۴۱۳	۳۴	۱۳۴۴	۱.۱۶۷۸
۷	قره چای	رامیان	۳۳۴۲۴۶	۴۰۹۸۷۵۵	۲۰۰	۱۳۴۵	۳۹۲
۸	گرگانود	تمر- گرگان	۳۶۷۵۸۴	۴۱۵۰۵۰۴	۱۳۲	۱۳۴۴	۸.۱۵۲۴
۹	جعفرآباد	تقی‌آباد- گرگان	۲۸۹۰۶۰	۴۰۸۳۴۸۸	۱۰۰	۱۳۵۰	۵.۱۱۴
۱۰	زرینگل	زرین گل	۳۱۸۳۱۵	۴۰۸۳۷۲۹	۲۸۰	۱۳۴۸	۹.۳۳۴
۱۱	گرگانود	گنبد	۳۳۴۴۱۲	۴۱۲۲۳۹۰	۳۶	۱۳۴۵	۲.۵۳۱۰

مأخذ: برگرفته از مهندسین مشاور کنکاش عمران

۳. روش مدل‌سازی سیلاب و تعیین روابط رگرسیون چندگانه برای حوزه آبخیز گرگانرود

در این مرحله اقدام به انجام رگرسیون چند متغیره شد. داده‌های دبی حداکثر لحظه‌ای ایستگاه‌های هیدرومتری به‌عنوان متغیر وابسته و داده‌های فیزیوگرافی، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، اقلیمی و هیدرولوژی به تعداد ۳۱ پارامتر به‌عنوان متغیرهای مستقل وارد مدل رگرسیون چند متغیره می‌شوند. ضرایب مربوط به هر متغیر شدت اثر آن را در تولید رواناب بیان می‌کند. رایج‌ترین روش برآورد مدل رگرسیونی روش گام‌به‌گام می‌باشد (معظمی، ۱۳۸۶). در این روش ابتدا متغیری که بیشترین ضریب همبستگی معمولی را با متغیر وابسته دارد در صورتی که آماره F آن بیشتر از F از پیش تعیین شده (F برای ورود) باشد، وارد معادله می‌شود. متغیرهای بعدی نیز به همین ترتیب وارد مدل می‌شوند ولی با ورود هر متغیر جدید کلیه متغیرهای موجود در معادله مورد بررسی قرار می‌گیرند و اگر هر کدام از آن‌ها سطح معنی‌داری خود را از دست داده باشند از مدل خارج می‌شوند. این عمل تکرار می‌شود و در پایان عملیات هیچ متغیری که دارای سطح معنی‌داری کمتر از سطح تعیین شده باشد در معادله حضور نخواهد داشت.

۴. ارزیابی و انتخاب مدل برآورد منطقه‌ای سیلاب برای آبخیز رودخانه‌های گرگان رود

از آنجایی که مدل‌های برآورد منطقه‌ای سیلاب تقریباً همیشه دارای خطا می‌باشند. بنابراین بعد از انجام رگرسیون چند متغیره و تهیه رابطه رگرسیونی مناسب، این مدل‌ها باید مورد آزمون قرار گیرند. برای آزمون معنی‌دار بودن هر یک از ضرایب معادله رگرسیون، از آزمون t استفاده می‌شود. معنی‌دار بودن یک ضریب در معادله رگرسیونی به این معنی است که متغیر مستقل مربوطه می‌تواند به‌طور معنی‌داری قسمتی از تغییرات در متغیر وابسته را بیان کند. برای بررسی چگونگی برازش معادله بر داده‌ها از معیارهای مختلفی از جمله R^2 (ضریب تعیین)، MAE (میانگین قدر مطلق خطا) و $RMSE$ (مجذور میانگین مربعات خطا) استفاده شد.

یافته‌های پژوهش

نتایج تجزیه و تحلیل ضرایب همبستگی بین پارامترهای مورد بررسی و مقادیر دبی حداکثر لحظه‌ای با دوره بازگشت‌های ۲ الی ۱۰۰ ساله و همچنین مقدار دبی حداکثر لحظه‌ای سالانه مربوط به حوزه‌های مورد بررسی به شکل ماتریسی در جدول ۲ نشان داده شده‌اند.

جدول ۲. ضریب همبستگی پیرسون بین پارامترها و دبی حداکثر لحظه‌ای سالانه و دبی حداکثر لحظه‌ای با دوره بازگشت‌های مختلف

	Q	۲qmax	۵qmax	۱۰qmax	۲۵qmax	۵۰qmax	۱۰۰qmax
حداکثر ارتفاع (متر)	Hmax	۴۵۰۰	۸۲۳۰	۸۰۳۰	۸۰۶۰	۸۲۲۰	۸۳۷۰
حداقل ارتفاع (متر)	Hmin	۲۱۸۰	۵۷۳۰	۵۷۷۰	۵۴۴۰	۵۴۶۰	۴۳۷۰
طول آبخیز (کیلومتر)	Lw	۶۳۵۰	۳۶۶۰	۳۵۴۰	۳۱۷۰	۲۹۱۰	۱۹۸۰
محیط آبخیز (کیلومتر)	P	۶۱۲۰	۶۷۷۰	۷۰۸۰	۷۰۱۰	۷۴۷۰	۶۸۲۰
مساحت آبخیز (کیلومترمربع)	Ar	۸۴۲۰	۶۴۰۰	۶۶۵۰	۶۶۱۰	۷۱۷۰	۶۷۲۰
ضریب گراولوس	CG	۷۳۱۰	۸۸۳۰	۸۳۹۰	۸۳۵۰	۷۹۲۰	۸۰۴۰
طول آبراهه اصلی (کیلومتر)	Lr	۶۳۶۰	۸۹۸۰	۸۶۴۰	۸۶۰۰	۸۵۲۰	۸۶۳۰
شیب آبراهه اصلی (درصد)	Sr	۲۹۹۰	۶۱۹۰	۶۴۱۰	۶۳۱۰	۶۷۷۰	۶۴۹۰
زمان تمرکز (ساعت)	Tc	۷۰۸۰	۵۲۶۰	۵۲۴۰	۴۸۷۰	۴۸۱۰	۳۷۷۰
سرعت جریان (متر بر ثانیه)	V	۴۶۵۰	۶۴۸۰	۶۷۸۰	۷۰۲۰	۷۹۸۰	۸۳۹۰
شیب آبخیز (درصد)	Sw	۴۹۰۰	۶۱۵۰	۶۳۰۰	۶۰۲۰	۶۰۹۰	۴۹۹۰
درصد مناطق مسطح	Asp	۸۴۵۰	۶۵۰۰	۶۴۰۰	۶۱۱۰	۶۱۲۰	۵۲۷۰
درصد مساحت اراضی با جهت شمال	Asn	۳۴۴۰	۸۵۴۰	۸۶۰۰	۸۵۹۰	۸۸۲۰	۸۶۳۰
درصد مساحت اراضی با جهت جنوب	Ass	۵۳۸۰	۵۳۳۰	۵۳۳۰	۵۰۹۰	۵۱۳۰	۴۳۴۰

درصد مساحت اراضی با جهت شرق	Ase	۴۷۳.۰	۶۱۹.۰	۶۴۹.۰	۶۴۲.۰	۶۵۵.۰	۶۳۰.۰	۵۸۶.۰
درصد مساحت اراضی با جهت غرب	Asw	۵۸۴.۰	۷۳۴.۰	۷۵۰.۰	۷۳۵.۰	۷۴۷.۰	۷۳۵.۰	۶۶۹.۰
تراکم زهکشی آبراهه‌های با رتبه ۱	۱sd	۶۰۹.۰	۷۲۲.۰	۷۵۱.۰	۷۴۱.۰	۷۵۱.۰	۷۲۴.۰	۶۶۴.۰
تراکم زهکشی آبراهه‌های با رتبه ۲	۲sd	۵۰۷.۰	۸۲۹.۰	۸۱۹.۰	۸۰۹.۰	۷۸۲.۰	۷۵۶.۰	۷۳۸.۰
تراکم زهکشی آبراهه‌های با رتبه ۳	۳sd	۱۳۳.۰	۷۲۳.۰	۷۱۱.۰	۷۰۱.۰	۶۷۴.۰	۶۳۷.۰	۶۳۶.۰
تراکم زهکشی آبراهه‌های با رتبه ۴	۴sd	۱۶۹.۰	۳۱۵.۰	۳۱۴.۰	۲۹۸.۰	۲۸۳.۰	۲۴۲.۰	۲۲۷.۰
تراکم زهکشی آبراهه‌های با رتبه ۵	۵sd	۵۴۸.۰	۳۴۷.۰	۳۳۱.۰	۳۱۳.۰	۲۹۲.۰	۲۶۱.۰	۲۵۰.۰
درصد مساحت اراضی جنگلی	fo	۶۶۵.۰	۷۷۰.۰	۷۶۴.۰	۷۵۳.۰	۷۲۶.۰	۶۹۱.۰	۶۷۹.۰
درصد مساحت اراضی مرتعی	rg	۶۱۹.۰	۵۸۴.۰	۵۸۰.۰	۵۶۹.۰	۶۱۳.۰	۶۵۱.۰	۵۷۲.۰
درصد مساحت اراضی زراعی	ag	۴۰۴.۰	۶۵۲.۰	۶۸۰.۰	۶۹۱.۰	۷۴۲.۰	۷۰۹.۰	۷۴۵.۰
درصد مساحت سایر کاربریها	Od	۳۸۰.۰	۶۹۱.۰	۷۱۹.۰	۶۹۷.۰	۶۶۶.۰	۵۷۲.۰	۵۳۰.۰
درصد مساحت سازندهای نفوذپذیر	Gp	۱۷۰.۰	۶۷۷.۰	۷۰۷.۰	۶۸۴.۰	۶۳۴.۰	۵۵۶.۰	۵۲۰.۰
درصد مساحت سازندهای کربناته	Gc	۲۴۷.۰	۴۰۴.۰	۳۹۹.۰	۳۶۲.۰	۳۴۲.۰	۲۸۲.۰	۲۵۷.۰
شاخص خشکی دومارتن	de	۶۸۰.۰	۳۰۴.۰	۳۱۴.۰	۳۱۸.۰	۳۵۷.۰	۳۴۲.۰	۳۵۲.۰
دمای متوسط ساندنه (درجه سانتیگراد)	Tmean	۳۰.۸.۰	۸۸۲.۰	۸۰۲.۰	۷۸۷.۰	۷۳۴.۰	۷۵۶.۰	۷۶۹.۰
بارندگی متوسط سالانه (میلیمتر)	Rmean	۵۷۴.۰	۳۵۱.۰	۳۴۹.۰	۳۴۹.۰	۳۶۶.۰	۳۵۸.۰	۳۴۸.۰
بارندگی حداکثر سالانه (میلیمتر)	Rmax	۵۹۸.۰	۴۹۵.۰	۴۹۴.۰	۴۹۷.۰	۵۷۵.۰	۶۱۶.۰	۵۸۳.۰

رتبه ۴، تراکم زهکشی آبراهه‌های با رتبه ۵، درصد مساحت سازندهای کربناته، شاخص خشکی دومارتن و بارندگی متوسط سالانه (میلی‌متر) در حد کمتر از ۵۰ درصد و بعضاً تا ۱۳/۳ درصد همبستگی وجود دارد.

به‌طور کلی ۱۰ متغیر از ۳۱ متغیر مستقل وارد شده در آزمون رگرسیون چند متغیره به‌عنوان مهم‌ترین و تأثیرگذارترین عوامل در بروز سیلاب حوزه آبخیز گرگان رود شناسایی گردیده است. این عوامل عبارتند از: ضریب گراولیوس (CG)، شیب حوزه آبخیز (sw)، درصد مساحت سازندهای نفوذپذیر (Gp)، سرعت جریان (V)، درصد مساحت اراضی با جهت شمال (Asn)، درصد مساحت اراضی با جهت جنوب (Ass)، درصد مساحت اراضی مرتعی (rg)، درصد تراکم آبراهه‌ها با رتبه ۳ (Sd3)، متوسط بارندگی سالانه (Rmean) و بارندگی حداکثر سالانه (Rmax) می‌باشد.

در جدول ۳ مدل‌های منطقه‌ای سیلاب برای دوره بازگشت-های ۲ تا ۱۰۰ سال به دو روش مختلف نشان داده شده است.

مطابق جدول نتایج ضریب همبستگی پیرسون بین پارامترها و دبی حداکثر لحظه‌ای سالانه و دبی حداکثر لحظه‌ای با دوره بازگشت‌های مختلف با پارامترهای مورفومتری حوزه نشان می‌دهد دبی حداکثر لحظه‌ای سالانه و دبی حداکثر لحظه‌ای با دوره بازگشت‌های مختلف با پارامترهای زیادی از قبیل: حداکثر ارتفاع (متر)، محیط آبخیز (کیلومتر)، مساحت آبخیز (کیلومترمربع)، ضریب گراولیوس، طول آبراهه اصلی (کیلومتر)، شیب آبراهه اصلی (درصد)، زمان تمرکز (ساعت)، سرعت جریان (متر بر ثانیه)، شیب آبخیز (درصد)، درصد مناطق مسطح، درصد مساحت اراضی با جهت شمال، درصد مساحت اراضی با جهت جنوب، درصد مساحت اراضی با جهت شرق، درصد مساحت اراضی با جهت غرب، تراکم زهکشی آبراهه‌های با رتبه ۱، تراکم زهکشی آبراهه‌های با رتبه ۲، تراکم زهکشی آبراهه‌های با رتبه ۳، درصد مساحت اراضی جنگلی، درصد مساحت اراضی مرتعی، درصد مساحت اراضی زراعی، درصد مساحت، سایر کاربری‌ها، درصد مساحت سازندهای نفوذپذیر، دمای متوسط سالانه (درجه سانتی‌گراد) و بارندگی حداکثر سالانه (میلی‌متر) از ۵۰ درصد تا ۸۹,۹ درصد در سطح ۹۵ درصد همبستگی وجود دارد و با پارامترهای از قبیل حداقل ارتفاع (متر)، طول آبخیز (کیلومتر)، تراکم زهکشی آبراهه‌های با

جدول ۳. مدل‌های برآورد شده منطقه‌ای سیلاب

دوره بازگشت	مدل‌های منطقه‌ای سیلاب	روش
۲	$q2=9.568+1.241 *Gp$	Forward
	$q2=14.774+1.115 *Gp-0.311 *Asn$	Forward
۵	$q2=36.608+186.473 *CG+5.223 *V-0.391 *Sw-0.48 *Asn-0.43 * Ass+11.656 *sd3-0.233 *Rg-0.278 *Tmean-0.018 *Rmax$	ENTER
	$q5=70.141+125.985 * CG+9.438 *V-1.308 *Sw-1.31 *Asn-0.455 *Ass+20.009 * sd3-0.318 *Rg+1.966 *Tmean-0.04 *Rmax$	ENTER
۱۰	$q10=115.347+111.8 * CG+10.05 *V-2.015 *Sw-2.339 *Asn-0.568 *Ass+39.717 * sd3-0.293 *Rg+3.494 *Tmean-0.06 *Rmax$	ENTER
	$q10=78.784+0.013 *Ar-0.016 *Hmax$	Forward
۲۵	$q25=190.203-0.032 * Hmax-2.194 *Asn$	Forward
	$q25=227.111-18.579 * CG-3.403 *V-2.114 *Sw-3.852 *Asn-0.713 *Ass+54.512 *sd3+0.098 *Rg+2.333 *Tmean-0.061 *Rmax$	ENTER
۵۰	$q50=251.199-0.063 * Hmax+1.306 *ag$	Forward
	$q50=515.322+310.835 * CG-20.031 *V-0.181 *Sw-6.382 *Asn-0.898 *Ass+35.68 *sd3+0.057 *Rg-6.049 *Tmean-0.151 *Rmax$	ENTER
۱۰۰	$q100=713.166+927.697 *CG-50.686 *V-1.071 *Sw-10.189 *Asn-3.464 *Ass+175.075 *sd3+1.518 *Rg-15.411 *Tmean-0.08 *Rmax$	ENTER
	$q100=468.172-0.127 *-0.127$	Forward

است. R^2 نیز ضریب تعیین بین مقادیر دبی مشاهداتی دبی پیش بینی شده می‌باشد که بالا بودن آن دقت مدل را نشان می‌دهد به هر حال مدل‌های ارائه شده توسط این برازش رگرسیونی به صورت زیر خواهد بود.

ارزیابی مدل‌های رگرسیونی برازش شده در جدول ۴ آورده شده است. جهت ارزیابی نتایج مدل‌سازی از معیارهای ارزیابی ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب همبستگی (R) استفاده شد. RMSE بزرگی خطا را نشان می‌دهد و هرچه مقدار آن کوچک‌تر باشد دقت مدل بالاتر

جدول ۴. خلاصه نتایج معیارهای ارزیابی مدل‌های بدست آمده از برازش آزمون رگرسیون چند متغیره برای دبی حداکثر لحظه ای با دوره بازگشت‌های ۲ الی ۱۰۰ ساله

دوره بازگشت	Model	R	R^2	RMSE	Sig	Durbin-Watson
۲	۱F	.۹۵۳ ^a	.۹۰۶	۴.۱۴۰۳۲	... ^b	
	۲F	.۹۷۵ ^b	.۹۵۱	۳.۱۹۷۲	... ^c	۲.۲۸۶
	۱E	۱.۰۰۰ ^a	۱	.	...^b	۱.۱۳۷
۵	۱F	.۸۴۴ ^a	.۷۱۲	۱۳.۴۱۵۳۸	... ^{۲b}	۲.۰۸۵
	۱E	۱.۰۰۰ ^a	۱	.	...^b	۱.۸۳
	۱F	.۸۱۷ ^a	.۶۶۷	۲۳.۵۸۸۷۲	... ^{۴b}	
۱۰	۲F	.۹۲۵ ^b	.۸۵۶	۱۶.۶۰۸۸۴	... ^{۱c}	۲.۴۱۸
	E۱	۱.۰۰۰ ^a	۱	.	...^b	۸۹۵.۰
۲۵	۱	.۹۱۸ ^a	.۸۴۳	۲۴.۰۹۴۵۶	... ^b	

	۲	.۹۶۵ ^b	.۰۹۳۲	۱۷.۰۱۳۷۸	....^c	۰.۶۸۹
	۱E	۱.۰۰۰ ^a	۱	.	....^b	۲.۴۴۴
	۱F	.۸۸۸ ^a	.۰۷۸۹	۵۰.۱۲۶۹۹	... ^{۱b}	
۵۰	۲F	.۹۴۱ ^b	.۰۸۸۶	۳۹.۲۷۷۵۲	....^c	۲.۲۱۵
	۱E	۱.۰۰۰ ^a	۱	.	....^b	۰.۸
۱۰۰	۱F	.۹۲۹ ^a	.۰۸۶۳	۶۷.۷۶۹۰۹	....^b	۰.۹۱۳
	۱E	۱.۰۰۰ ^a	۱	.	....^b	۰.۵۵۷

مقادیر دبی محاسباتی بر اساس روش ENTER و Forward برای هر حوضه در جدول ۵ و ۶ آورده شده است.

جدول ۵. مقادیر دبی محاسباتی با دوره بازگشت های مختلف ایستگاههای مورد مطالعه بر اساس مدل های منطقه ای سیلاب به روش

ENTER

دوره بازگشت	no	lz	ga	sa	tan	arz	ra	tam	tagh	zar	gon
۲	۱۷.۴	۸.۱۴	۱۳.۸	۶.۱۲	۶.۵	۱۸.۴	۲۲.۱	۲۰.۱	۹.۲۱	۱۴.۲	۵۰.۰
۵	۳۳.۵	۴.۲۳	۲۷.۶	۷.۲۷	۳۸.۰	۳۶.۹	۴۱.۴	۶۰.۲	۳.۵۲	۲۳.۹	۸۱.۱
۱۰	۵۳.۶	۰.۳۰	۵۱.۹	۵.۴۴	۶۸.۱	۵۶.۸	۵۶.۶	۹۸.۹	۰.۸۹	۳۱.۹	۱۲۴.۲
۲۵	۹۴.۹	۲.۴۶	۱۲۸.۸	۸.۷۲	۱۲۲.۵	۹۶.۰	۷۹.۸	۱۴۵.۶	۰.۱۴۵	۴۵.۸	۱۷۴.۲
۵۰	۱۴۳.۲	۰.۱۵۴	۳۳۵.۰	۸.۱۱۰	۱۲۴.۱	۱۴۴.۹	۱۰۳.۰	۱۸۳.۱	۳.۲۲۹	۵۳.۷	۳۱۷.۲
۱۰۰	۲۲۱.۱	۶.۶۶	۴۳۴.۱	۲.۱۶۶	۱۷۶.۶	۲۰۹.۹	۱۳۲.۹	۲۰۹.۲	۱.۳۵۴	۶۱.۰	۴۹۱.۷

جدول ۶. مقادیر دبی محاسباتی با دوره بازگشت های مختلف ایستگاههای مورد مطالعه بر اساس مدل های منطقه ای سیلاب به روش

Forward

دوره بازگشت	Model	no	lz	ga	sa	tan	arz	ra	tam	tagh	zar	gon
۲	۱	۱۸.۰	۸.۱۱	۱۶.۴	۹.۹	۹.۹	۱۴.۴	۱۶.۸	۲۰.۶	۰.۱۵	۲۱.۰	۵۲.۷
	۲	۱۷.۳	۸.۱۰	۱۷.۵	۱.۱۳	۱۳.۳	۱۸.۴	۱۶.۷	۲۰.۸	۵.۱۷	۱۷.۱	۵۰.۷
۵	۱	۲۸.۰	۶.۳۰	۳۰.۷	۷.۲۸	۴۹.۰	۴۷.۶	۳۰.۴	۴۵.۸	۸.۲۹	۳۱.۶	۹۱.۲
	۱	۴۳.۲	۴.۴۷	۴۷.۴	۳.۴۴	۷۶.۴	۷۴.۳	۴۷.۰	۷۱.۴	۱.۴۶	۴۹.۰	۱۴۳.۳
۱۰	۲	۵۵.۴	۲.۴۲	۸۱.۱	۵.۲۲	۷۳.۳	۵۴.۶	۴۱.۹	۸۷.۹	۷.۴۰	۳۶.۹	۱۴۷.۰
	۱	۱۱۶.۲	۲.۷۴	۱۷۶.۲	۰.۲۸	۱۰۳.۶	۵۸.۳	۷۴.۲	۱۵۱.۰	۶.۷۲	۵۷.۴	۱۷۷.۰
۲۵	۲	۱۰۶.۹	۶.۶۷	۱۶۴.۰	۱.۶۱	۱۱۹.۷	۹۳.۰	۷۸.۰	۱۴۰.۹	۸.۹۳	۴۱.۰	۱۶۸.۲
	۱	۱۹۱.۸	۸.۱۱۹	۲۹۴.۷	۶.۴۰	۱۷۰.۲	۹۲.۶	۱۱۹.۸	۲۵۱.۵	۰.۱۱۷	۹۱.۰	۲۹۶.۰
۵۰	۲	۱۹۹.۱	۶.۱۴۹	۲۴۷.۱	۶.۲۴	۱۸۷.۳	۱۰۴.۸	۱۲۲.۱	۲۱۹.۳	۳.۹۱	۸۹.۷	۳۵۹.۱
	۱	۲۷۷.۷	۷.۱۵۰	۴۵۹.۳	۰.۱۱	۲۳۹.۶	۱۰۲.۷	۱۵۰.۷	۳۸۳.۱	۸.۱۴۵	۹۹.۹	۴۶۱.۶

بحث

(متر)، زمان تمرکز، مساحت آبخیز (کیلومترمربع)، ضریب گراولیسوس، سرعت جریان (متر بر ثانیه)، شیب آبخیز (درصد)، درصد مساحت اراضی با جهت شمال، درصد مساحت اراضی با جهت جنوب، درصد مساحت اراضی

طبق نتایج جداول حاصل از برآزش آزمون رگرسیون چند متغیره، تمامی شاخصها کارایی مدل های به دست آمده تأیید و تمامی ۱۳ متغیر مستقل شامل: حداکثر ارتفاع

رخداد سیل در چند حوضه خشک و مدیترانه‌ای در عربستان سعودی، عمان و آمریکا یک رابطه تجربی ارائه کرد. رابطه ارائه شده نشان داد دبی پیک سیلاب ارتباط مستقیمی با شیب و مساحت حوزه دارد. (Shahabi et al. (2021) نیز تأثیر شیب بر رخدادهای سیل ایران را بررسی کردند. تأثیر معکوس ارتفاع بر شدت سیلاب توسط Zand et al. (2017) نشان داده شده است که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد.

نتیجه‌گیری

برآورد دبی حداکثر لحظه‌ای رودخانه یک ابزار مهم در مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب و محیط‌زیست می‌باشد. در حوضه‌هایی که دارای آمار محدود ثبت شده می‌باشند برآورد دبی حداکثر لحظه‌ای رودخانه به‌مراتب دارای پیچیدگی بالاتر است. در این پژوهش از روش رگرسیون چند متغیره جهت تهیه مدل محاسبه دبی حداکثر لحظه‌ای رودخانه، در حوضه‌های فاقد آمار استفاده شده است. در این تحقیق از ۳۱ پارامتر مرتبط به حوزه آبخیز استفاده گردید که در نهایت با آزمون رگرسیون چندگانه این میزان پارامتر به ۱۳ پارامتر مؤثرتر کاهش یافت که در مدل‌های تهیه شده و جداول نتایج رگرسیون چندگانه جهت تعیین مدل‌سازی دبی حداکثر لحظه‌ای با دوره بازگشت مختلف قابل مشاهده می‌باشد.

به‌طور کلی ۱۳ متغیر مستقل از ۳۱ متغیر مستقل وارد شده در آزمون رگرسیون چند متغیره به‌عنوان مهم‌ترین و تأثیرگذارترین عوامل در بروز سیلاب حوزه آبخیز گرگان رود شناسایی گردیده است. به‌طوری‌که مدل‌ها یا روابط به‌دست‌آمده هر کدام یک تا نه متغیر مستقل تأثیرگذار را شامل می‌گردد. روابط به‌دست‌آمده بیانگر آن است که دبی حداکثر لحظه‌ای سالانه و دبی حداکثر لحظه‌ای با دوره بازگشت‌های مختلف تحت تأثیر پارامترهای زیادی از قبیل: حداکثر ارتفاع (متر)، مساحت آبخیز (کیلومترمربع)، ضریب گراولیس، درصد سازندهای نفوذپذیر، سرعت جریان (متر بر ثانیه)، شیب آبخیز (درصد)، زمان تمرکز، درصد مساحت اراضی با جهت شمال، درصد مساحت اراضی با جهت جنوب، درصد مساحت اراضی مرتعی، درصد مساحت اراضی زراعی، دمای متوسط سالانه (درجه سانتی‌گراد) و بارندگی حداکثر

مرتعی، درصد مساحت اراضی زراعی، درصد مساحت سازندهای نفوذپذیر، دمای متوسط سالانه (درجه سانتی‌گراد) و بارندگی حداکثر سالانه (میلی‌متر)، به‌عنوان مؤثرترین و مهم‌ترین عوامل ایجاد سیل در حوزه آبخیز گرگان رود از لحاظ آماری معنی‌دار می‌باشد.

نتایج این پژوهش نشان داد که مساحت حوضه با دبی پیک سیلاب رابطه‌ای مستقیم دارد. این موضوع توسط محققین زیادی نشان داده شده است. به عنوان مثال تحقیقات (Fu et al. (2008 در ۲۰ حوزه مختلف در چین یک رابطه تجربی بین مساحت و دبی پیک سیلاب ارائه کرد. همچنین (Jahangir et al. (2019 نشان داد مساحت حوضه در بیشتر حوضه‌های ایران، یکی از عوامل مؤثر بر ایجاد سیلاب است. همچنین تأثیر بارش زیاد بر تولید سیلاب در بسیاری از تحقیقات بررسی شده و نتایج آن مشابه تحقیق حاضر می‌باشد. (Liu et al. (2017 با بررسی عوامل مؤثر بر حداکثر دبی سیلاب در جنوب غربی چین نشان داد در بین عوامل بررسی شده (ارتفاع، نوع خاک، شیب، فعالیت‌های انسانی و بارش سنگین) مهم‌ترین عامل در ایجاد سیلاب بارش سنگین می‌باشد. (Tang et al. (2021 نیز نشان داد بارش سنگین یکی از پنج عامل مؤثر بر ایجاد سیلاب می‌باشد. قویدل ۲۰۱۹ نیز سیلاب‌های مخرب در مناطق جنوب غربی ایران را به بارش سنگین روزانه مربوط دانستند. (Lashkari et al. (2020 با بررسی بارش‌های سنگین در جنوب ایران به این نتیجه رسیدند که سیلاب‌های شدید توسط بارش‌های سنگین رخ می‌دهد.

نتایج این پژوهش نشان داد بین مساحت اراضی مرتعی و دبی پیک سیلاب رابطه عکس وجود دارد. (Machado et al. (2019) نیز به منظور کنترل سیلاب در سالوادور، عوامل مؤثر بر سیل را بررسی کردند. نتایج نشان داد ۹۹/۳ درصد سیل‌های رخ داده در سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۳ در مناطقی بوده که زمین فاقد پوشش گیاهی است. (Khosravi et al. (2016) با استفاده از تکنیک AHP در رودخانه هراز نشان دادند پوشش گیاهی یکی از عوامل مؤثر بر سیلاب حوزه می‌باشد.

در این تحقیق رابطه مستقیمی بین شیب حوزه و دبی پیک سیلاب وجود دارد. در تحقیقات زیادی به این موضوع اشاره شده است. (El-Hames et al. (2012) با مطالعه ۷۶

Enter بیشتر است زیرا در این مدل‌ها از تعداد پارامترهای بیشتری استفاده شده است. در این روش تعداد ۹ متغیر و در روش Forwad تعداد ۱ تا ۳ متغیر در مدل‌ها مشارکت دارند. از طرفی مقادیر معیارهای ارزیابی از جمله ضریب همبستگی و ضریب تعیین در فرمول‌های به‌دست‌آمده برای دبی حداکثر لحظه‌ای در دوره بازگشت‌های مختلف نشان دهنده دقت بیشتر این روش می‌باشد.

پیشنهادهایی به منظور توسعه پژوهش فعلی به شرح زیر ارائه می‌گردد.

- ۱- بررسی پارامترهای زمین‌شناسی، کاربری و ... در منطقه مورد مطالعه و امکان استفاده از آن‌ها برای افزایش دقت مدل‌های برآوردی
- ۲- استفاده از سایر روش‌های رگرسیونی چندگانه (غیرخطی) برای تبیین روابط منطقه‌ای
- ۳- بررسی سایر روش‌های خوشه‌بندی و انتخاب بهترین روش برای تعیین مناطق همگن

سالانه (میلی‌متر) قرار دارد. پارامترهای مذکور به‌عنوان مؤثرترین و مهم‌ترین عوامل ایجاد سیل در حوزه آبخیز گرگان رود شامل پارامترهای طبیعی و غیرطبیعی حوزه‌های آبخیز محسوب می‌شوند.

محاسبه‌ها و معادله‌های ارائه‌شده، قابلیت خوبی در تخمین دبی حداکثر لحظه‌ای با دوره بازگشت‌های مختلف رودخانه داشته است. این مدل‌ها به‌ازای پارامترهای اقلیمی شامل متوسط بارش سالانه و حداکثر بارندگی سالانه و دمای ماهانه و پارامترهای فیزیوگرافی مقدار دبی حداکثر لحظه‌ای رودخانه را برای دوره بازگشت‌های مختلف به‌خوبی تخمین می‌زند. ارزیابی نتایج به‌دست‌آمده از مدل‌های مذکور نشان می‌دهد که هرچه تعداد متغیرهای مستقل در مدل‌ها بیشتر گردیده دقت مدل‌سازی افزایش یافته است. نتایج حاصل از مقایسه مقادیر دبی‌های محاسباتی از طریق مدل‌های منطقه‌ای به روش Enter و Forwad بیانگر آن است که دقت و صحت مقادیر دبی‌های محاسباتی به روش

منابع

- Abdinejad P., Feyznia S., Peyrovan H., Fayyazi F., Ahabani A. 2011. Evaluating the amount of runoff production in marl units of geological formations in Zanjan province using a rain machine. *Iran-Watershed Management Science & Engineering*, 5(17), pp. 33-46 (In Persian).
- Ahmed A., Yildirim G., Haddad KH., Rahman A. 2023. Regional Flood Frequency Analysis: A Bibliometric Overview. *Water*, 15(9), pp. 78-92.
- Bagherpour M., Seyedian S.M., Fathabadi A., Mohammadi A. 2017. Study of Mann-Kendall test performance in detecting the series of autocorrelation. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 11(36), pp. 11-21 (In Persian).
- Bhat M.S., Alam A., Ahmad. 2019. Flood hazard assessment of upper Jhelum basin using morphometric parameters. *Environmental Earth Science*, 78(54), pp. 34-51.
- Diakakis M., Deligiannakis G., Pallikarakis A., Skordoulis M. 2016. Factors controlling the spatial distribution of flash flooding in the complex environment of a metropolitan urban area. The case of Athens 2013 flash flood event. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 18, pp. 171-180.
- Eimani M., Enayati M. 2005. The relationship between the geomorphological characteristics of basins and the possibility of flooding. *Geographical research*, 54(1), pp. 45-59 (In Persian).
- El-Hames A.S. 2012. An empirical method for peak discharge prediction in ungauged arid and semiarid region catchments based on morphological parameters and SCS curve number. *Journal of Hydrology*, 456, pp. 94-100.
- Fu S., Wei X., Zhang G. 2008. Estimation of peak flows from small watersheds on the Loess Plateau of China. *Hydrological Processes*, 22(21), pp. 4233-4238.
- Gharib M. Ahmadi H. 2018. Providing a method for determining the flood producing regions based on the relationship between flooding index and morphometric. *Water and Soil Resources Conservation*, 7(4), pp. 87-102 (In Persian).
- Gómez J.A., Nearing M.A. 2005. Runoff and sediment losses from rough and smooth soil surfaces in a laboratory experiment. *Catena*, 59(3), pp. 253-266.
- Hong H., Panahi M., Shirzadi A., Ma T., Liu J., Zhu A., Chen W., Kougiyas I., Kazakis N. 2018. Flood susceptibility assessment in Hengfeng area

- coupling adaptive neuro-fuzzy inference system with genetic algorithm and differential evolution. *Science of The Total Environment*, 621, pp. 1124-1141.
- Hutapea S., Maas A., Jayadi R. 2020. Biophysical Characteristics of Deli River Watershed to Know Potential Flooding in Medan City, Indonesia. *Journal of Rangeland Science*, 10(3), pp. 316-327.
- Izadbakhsh M., Eslamian S., Mousavi F. 2001. Models for estimating the maximum average daily discharge with physiographic features for the catchment areas of western Iran. *Journal of Agricultural Sciences and Techniques and Natural Resources*, 5(2), pp. 1-13 (In Persian).
- Jahangir M.H., Reineh S.M.M., Abolghasemi M. 2019. Spatial predication of flood zonation mapping in Kan River Watershed, Iran, using artificial neural network algorithm. *Journal of Weather and Climate Extremes*, 25, pp. 100215.
- Keshtkar A.R., Mahdavi M., Salajegheh A., Ahmadi H., Sadoddin A., Ghermezcheshmeh B. 2011. Exploring the relationship between land use and surface water quality using multivariate statistics in arid and semi-arid regions. *Desert*, 16(2011), pp. 33-38.
- Khorsandi Z., Mahdavi M., Salajegheh A., Eslamian S. 2016. Runoff Estimation of Urban Catchment Using URBS-UH Model (Case Study Baharestan City). *Range and Watershed Management*, 69(1), 39-50 (In Persian).
- Khosravi K., Pourghasemi H.R., Chapi K., Bahri M. 2016. Flash flood susceptibility analysis and its mapping using different bivariate models in Iran: A comparison between Shannon's entropy, statistical index, and weighting factor models. *Journal of Environmental Monitoring and Assessment*, 188(12), pp. 1-21.
- Kousali M., Salarijazi M., Ghorbani KH. 2002. Estimation of non-stationary behavior in annual and seasonal surface freshwater volume discharged into the Gorgan bay, Iran. *Natural Resource Research*, 31, pp. 835-847.
- Lashkari H., Mohammadi Z., Jafari M. 2020. Investigation on dynamical structure and moisture sources of heavy precipitation in south and southwest of Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 13(21), pp. 1-15.
- Liu Y., Yuan X., Guo L., Huang Y., Zhang X. 2017. Driving force analysis of the temporal and spatial distribution of flash floods in Sichuan Province. *Journal of Sustainability*, 9(9), pp. 1527.
- Machado R.A.S., Oliveira A.G., Lois-González R.C. 2019. Urban ecological infrastructure: The importance of vegetation cover in the control of floods and landslides in Salvador/Bahia, Brazil. *Journal of Land Use Policy*, 89, pp. 104180.
- Mahdavi M., Hashemi A.A. 1997. Determining the average flood discharge based on the physical factors of basins in Semnan province. *Journal of Research and construction*, 26(2), pp. 78-91.
- Maleki A., Hasadi H., Pirouzi Najad N. 2013. Estimation of amount of Peak Discharge and the Introduction of Flooding Model in Razavar Watershed. *Geography and planning*, 46(17), pp. 223-239 (In Persian).
- Malvarez G., Navas F. Luis del Rio J. 2022. Assessment and projections of sediment budget resilience in Marbella, Spain. *Frontier in Marin Science*, 9(2022), pp. 17-31.
- Maryanaji Z. Ramezani A. 2018. Analysis of the effect of factors affecting flooding in Hamadan province using Shannon entropy model and GIS. *Hydrogeomorphology*, 23(6), pp. 185-207.
- Mohammadi A., Mosaedi A. Alaghmand S. 2007. Effect of east-Golestan agust 2001 flood on the morphology of Madarsoo river. *Journal of Agriculture Science and Natural Resources*, 14(1), pp. 24-33.
- Mokhtari L.G.H., amirahmadi A., fakoor M. 2023. Analysis of factors affecting flooding in Jajarm county. *Arid Region Geographic Studies*, 13(50), pp. 58-75 (In Persian).
- Muterja K.N. *Applied Hydrology*. MC Graw Hill. 2001.
- Seyedian S.M., Bagherpour M., Fathabadi A. Mohammadi A. 2019. Runoff prediction using black and gray box models. *Iran-Water Resources Research*, 14(5), pp. 204-219 (In Persian).
- Seyedian S.M., Soleimani M. Kashani M. 2014. Predicting streamflow using data-driven model and time series. *Iranian journal of Ecohydrology*, 1(3), pp. 167-179 (In Persian).
- Shamkoueyan H., Davary K., Fereshteh poor M. 2023. Assessing Flood Susceptibility by Adopting Remote Sensing Techniques and Fuzzy-AHP Method (Case Study: Zoshk Watershed, Shandiz). *Iranian Water Research Journal*, 16(4), pp. 36-49 (In Persian).
- Šraj M., Viglione A., Parajka J., Blöschl G. 2016. The influence of non-stationarity in extreme hydrological events on flood frequency estimation. *Journal of Hydrology and hydromechanics*, 64(4),

98-112.

Stamey T.C., G.W. 2004. Techniques for Estimating Magnitude Frequency of Floods in Rural Basins in Georgia. Water Resources investigation Report 93-4016, USGS Publications.

Steirou E., Gerlitz L., Apel H., Sun X., Merz B. 2019. Climate influences on flood probabilities across Europe. Hydrological Earth System Sciences, 23, pp. 1305–1322.

Tang J., Li Y., Cui S., Xu L., Hu Y., Ding S., Nitivattananon V. 2021. Analyzing the spatiotemporal dynamics of flood risk and its driving factors in a coastal watershed of southeastern China.

Journal of Ecological Indicators, 121, pp. 107134.

Wang C., Du S., Wen J., Zhang M., Gu H., Shi Y., Xu H. 2017. Analyzing explanatory factors of urban pluvial floods in Shanghai using geographically weighted regression. Journal of Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 31(7), pp. 1777-1790.

Zand M., Samaei R. 2017. Investigation on Amount and Intensity of Rainfalls in Flood Generation in Khorramabad Basin. Nivar, 41(96), pp. 1-8 (In Persian).