

مدل‌سازی بارش - رواناب حوضه آبریز کشکان براساس مدل‌های آماری

مهدی مهدی‌نسب: کارشناس ارشد جغرافیای طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد خرم‌آباد، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، خرم‌آباد، ایران *
حسین نگارش: دانشیار جغرافیای طبیعی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران
تقی طاوسی: دانشیار جغرافیای طبیعی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

وصول: ۱۳۹۱/۳/۱۰ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۲/۳۱، صص ۸۴-۶۷

چکیده

رواناب سطحی به آن قسمت از بارش گفته می‌شود که در امتداد سطح شیب زمین جاری و به صورت جریان سطحی یا زیر سطحی از حوضه خارج می‌گردد. مدل هیدرولوژیکی ساختاری است که بتواند با توجه به ویژگی‌های حوضه و عامل‌های موثر بر پدیده مورد نظر، تعامل و رفتار آن را با تقریب قابل قبولی نشان دهد. حوضه آبریز رودخانه کشکان یکی از زیرحوضه‌های مهم حوضه آبریز کرخه است. جهت انجام مدل‌سازی «بارش، رواناب»، از داده‌های ۱۴ رگبار در طی دوره آماری ۱۳۸۹-۱۳۶۰، در زیر حوضه پلدختر که دارای آب نمود لحظه‌ای است، استفاده شده است. سپس بر اساس پنج ویژگی‌های توپوگراف ۱۴ رگبار به عنوان متغیر مستقل و هفت ویژگی هیدروگراف به عنوان متغیر وابسته، به ارزیابی کارایی مدل‌های مختلف رگرسیون یک متغیره برای مدل‌سازی بارش رواناب و هم‌چنین به برآورد احتمال وقوع سیل با استفاده از روش سری‌های جزئی اقدام شده است. در این راستا تعداد ۳۰ سیل با دبی بیش از ۵۰۰ متر مکعب در ثانیه انتخاب و سپس بر اساس روش سری‌های جزئی به برآورد دبی سیل در بازه‌های زمانی ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ ساله مبادرت شده است. نتایج بررسی مدل‌سازی نشان داد که از میان انواع روش‌های رگرسیون یک متغیره، روش‌های خطی، مرکب و توانی دارای بیشترین تبیین برای مدل‌سازی بارش - رواناب می‌باشند. سپس بر اساس رگرسیون چند متغیره به ارزیابی یک مدل رگرسیونی بارش - رواناب پرداخته شده، برای واسنجی مدل تهیه شده از معیارها و شاخص‌های متعددی از جمله ضریب همبستگی، خطای استاندارد، خطای نسبی تخمین و تایید، درصد میانگین قدر مطلق خطا، میانگین نسبی مجذور مربعات خطا، میانگین مجذور مربعات خطا و میانگین قدر مطلق خطا استفاده شده است. R^2 به دست آمده نشان می‌دهد که ۰/۷۹۶ درصد رواناب در حوضه کشکان مربوط به سه عامل حداکثر شدت رگبار (MIS)، مقدار بارش مازاد (ASP) و مدت زمان بارش مازاد (DSP) است. نتایج روش سری‌های جزئی نشان داد که هر سال به احتمال ۹۹/۹۹ درصد سیلی با میزان دبی ۶۰۶/۳۲ متر مکعب به وقوع می‌پیوندد.

واژه‌های کلیدی: بارش - رواناب، مدل‌سازی، تولید رواناب، رگرسیون، حوضه آبریز رودخانه کشکان، سری‌های جزئی

مقدمه

جاری می‌شود و توسط رودها از حوضه‌ها خارج می‌شود، به این بخش از بارندگی که مقدار آن در رودخانه‌ها قابل اندازه‌گیری است، رواناب سطحی

هرگاه شدت بارندگی از ظرفیت نفوذ خاک بیشتر باشد، بخشی از بارندگی در سطح حوضه‌ها در امتداد شیب

حوضه آبریز این رودخانه به وسعت ۹۵۶۰ کیلومتر مربع در مجموع ۲۲/۴ درصد از کل حوضه رودخانه کرخه را شامل می‌شود، این رودخانه با طول ۲۹۰ کیلومتر و شیب ۲۶ درصد پرشیب‌ترین و سیل‌خیزترین زیر حوضه کرخه است (لشنی زند ۱۳۷۶: ۷۰).

میمیکو و راثو (۱۹۸۳) مدل ساده‌ای برای «بارش، رواناب» برای یک منطقه در هند ارائه دادند، این مدل را به صورت ارتباط خطی و غیر خطی و به صورت ماهانه برای بعضی حوضه‌های آبریز اجرا کرده‌اند. لوگان و تونگ (۱۹۸۵) در راستای دست‌یابی به مدل برآورد دبی جریان متوسط سالیانه در ۱۵ حوضه آبخیز نیوزلند، از پارامتر مساحت و طول آبراهه اصلی و متغیر بارندگی متوسط سالیانه استفاده نمودند.

هیس و استامی (۱۹۹۳) برای تحلیل منطقه‌ای سیلاب رودخانه‌های ایالت جورجیای آمریکا از آمار ۴۲۶ ایستگاه موجود در منطقه استفاده نمودند، در این بررسی با استفاده از روش تحلیل رگرسیون خطی چند متغیره بین پارامترهای فیزیکی و اقلیمی حوضه آبخیز با دبی‌های سیلابی حاصل از توزیع احتمالی پیرسون تیپ ۳، مدل‌های برآورد دبی سیلاب منطقه‌ای را ارائه کردند، هم‌چنین این تحقیق نشان داد که سطح حوضه معنی‌دارترین متغیر مرتبط با دبی سیلابی است.

شارفی و بوئند (۱۹۹۴) مدل‌های «بارش، رواناب» ۳ پارامتره AWBM و SFB را در استرالیا مطالعه کردند و

گویند (علیزاده، ۱۳۸۸: ۵۱۸). سیلاب ناشی از بارندگی است اما مطالعات نشان می‌دهد که بین این دو عامل رابطه خطی و مستقیمی وجود ندارد از جمله عوامل اصلی بر هم‌زننده این رابطه علاوه بر شرایط جغرافیای می‌توان به ویژگی‌های فیزیکی حوضه آبخیز اشاره کرد (Chai, et, al, 1995, 97). تنوع شرایط محیطی، بویژه آب و هوایی ایران، منجر به ایجاد رژیم‌های گوناگون تولید رواناب می‌شود (جباری و همکاران، ۱۳۸۵: ۲۹). از این رو کنترل و مبارزه با این پدیده و شناخت عوامل و پارامترهای موثر بر سیلاب اهمیت بسیار زیادی دارد. بعبارت دیگر قبل از هرگونه برنامه‌ریزی برای کنترل سیل، باید رفتار فرایندهای آن را شناخت (Smith, 1992: 25). مدل، نماینده ساده‌ای از نمونه اصلی یک ساختار است که همه ویژگی‌ها و رفتار آن را دارا است به این ترتیب مدل هیدرولوژیکی ساختاری است که بتواند با توجه به ویژگی‌های حوضه و عامل‌های موثر بر پدیده مورد نظر، تعامل و رفتار آن را با تقریب قابل قبولی نشان دهد (Fernando & Dayawardenea, 1998). روش‌های متعددی برای محاسبه‌ی رواناب براساس بارندگی توسط پژوهشگران مورد استفاده قرار می‌گیرد که بیشتر این روش‌ها به روابط آماری بین رواناب و بارندگی استوار است (خیام و مولوی ۱۳۸۳: ۷۷). رودخانه کشکان یکی از شعب مهم و پرآب رودخانه کرخه، که به لحاظ وسعت سومین زیر حوضه کرخه است.

تحلیل‌های کمی رواناب حوضه ی آبریز سعیدآبادچای مبادرت نمودند و به این نتیجه دست یافته اند که در اکثر موارد چند جمله ای های درجه سوم و دوم برازش بهتری نسبت به سایر معادلات نشان می‌دهند. صادقی و همکاران (۱۳۸۴) در مطالعه ای در مورد کارایی روش‌های مختلف تجزیه و تحلیل آماری در مدل سازی «بارش، رواناب» در حوضه آبریز کسلیان اقدام نمودند، نتایج آنها نشان داد که روش تجزیه و تحلیل عاملی موجب کاهش دقت می‌گردد. کبیر و همکاران (۱۳۸۶) در پژوهشی به مدل سازی بارش - رواناب موثر در استان گلستان براساس مدل نفوذپذیری ارائه شده توسط دیسکن و نازیمو پرداخته اند. رضایی مقدم و همکاران (۱۳۸۷) به تعیین بهترین مدل میزان رواناب حاصل از بارش در حوضه آبریز اوجان چای اقدام نمودند و نتایج آنها نشان داد که، در حدود ۷۰ درصد از مدل‌ها میزان رواناب برآورد شده بیشتر از رواناب مشاهداتی است. جوهکار سرهنگی و همکاران (۱۳۸۸) با استفاده از ویژگی‌های ژئومورفولوژی کمی، مورفومتری و با بکارگیری سیستم اطلاعات جغرافیایی به مدل سازی برآورد سیلاب در حوضه‌های آبی واقع در دامنه شمالی البرز مبادرت نمودند، نتایج پژوهش آنها نشان داد که دبی حداکثر لحظه ای بیشتر تابعی از مساحت، طول حداکثر و عرض مستطیل معادل حوضه‌ها است. صلواتی و همکاران (۱۳۸۹) به مدل سازی تولید رواناب بر اساس متغیرهای فیزیوگرافی و اقلیمی در حوضه‌های آبخیز

نتیجه گرفتند که مدل AWBM بهتر از مدل SFB رواناب را شبیه سازی می‌کند. باشا (۲۰۰۱) یک مدل ساده غیر خطی برای شبیه سازی پدیده «بارش، رواناب» براساس ارتباط غیر خطی ذخیره و میزان خروجی پیشنهاد نمود. اورادا (۲۰۰۲) برای دستیابی به اوج، حجم و زمان سیلاب روشی مناسب براساس تابع چگالی احتمال دو پارامتری در حوضه آبریز آشاموشان کانادا ارائه کردند. در ایران نیز قاسم پور (۱۳۷۴) مدل‌های منطقه ای برآورد دبی حداکثر لحظه ای سیلاب سالانه با دوره های بازگشت ۵ تا ۲۰۰ ساله برای منطقه غرب مازندران را ارائه داد. و سپس از طریق رگرسیون چندگانه، با روش های پیش رو و پس رو بین دبی با دوره های بازگشت مختلف به عنوان متغیر وابسته و خصوصیات فیزیوگرافی به عنوان متغیر مستقل به مدل سازی پرداخت، نتایج ایشان نشان داد که مساحت مهمترین پارامتر موثر در تولید سیلاب بوده است. وفاخواه (۱۳۷۸) در مطالعه ای روی شناخت عوامل موثر در سیلاب از روش تجزیه و تحلیل عاملی استفاده نمود و از این طریق کلیه عوامل موثر بروی سیلاب را به چند عامل اصلی کاهش داد. سوری (۱۳۸۰) در پژوهشی به برآورد حجم رواناب حوضه آبخیز رودخانه کشکان با استفاده از GIS اقدام و به این نتیجه دست یافته که ضریب همبستگی بین داده های محاسباتی و مشاهداتی (بارندگی و رواناب سالیانه) برای زیر حوضه های این منطقه بین ۹۷/۵ تا ۹۹/۵ درصد است. خیام و همکاران (۱۳۸۳) به بررسی

الشر، کوهدشت و پلدختر با مساحتی حدود ۳۳ درصد از کل استان عمدتاً در قالب حوضه مزبور گسترش یافته‌اند (لشنی زند، ۱۳۷۶: ۷۱). در این حوضه هفت شاخه آبراهه اصلی همیشگی و چندین شاخه ادواری، شبکه زهکشی آن را تشکیل داده‌اند (شکل شماره ۱). حداقل ارتفاع این حوضه از سطح دریا آزاد ۵۲۲ متر حداکثر ارتفاع ۳۵۰۳ متر است (شکل ۲).

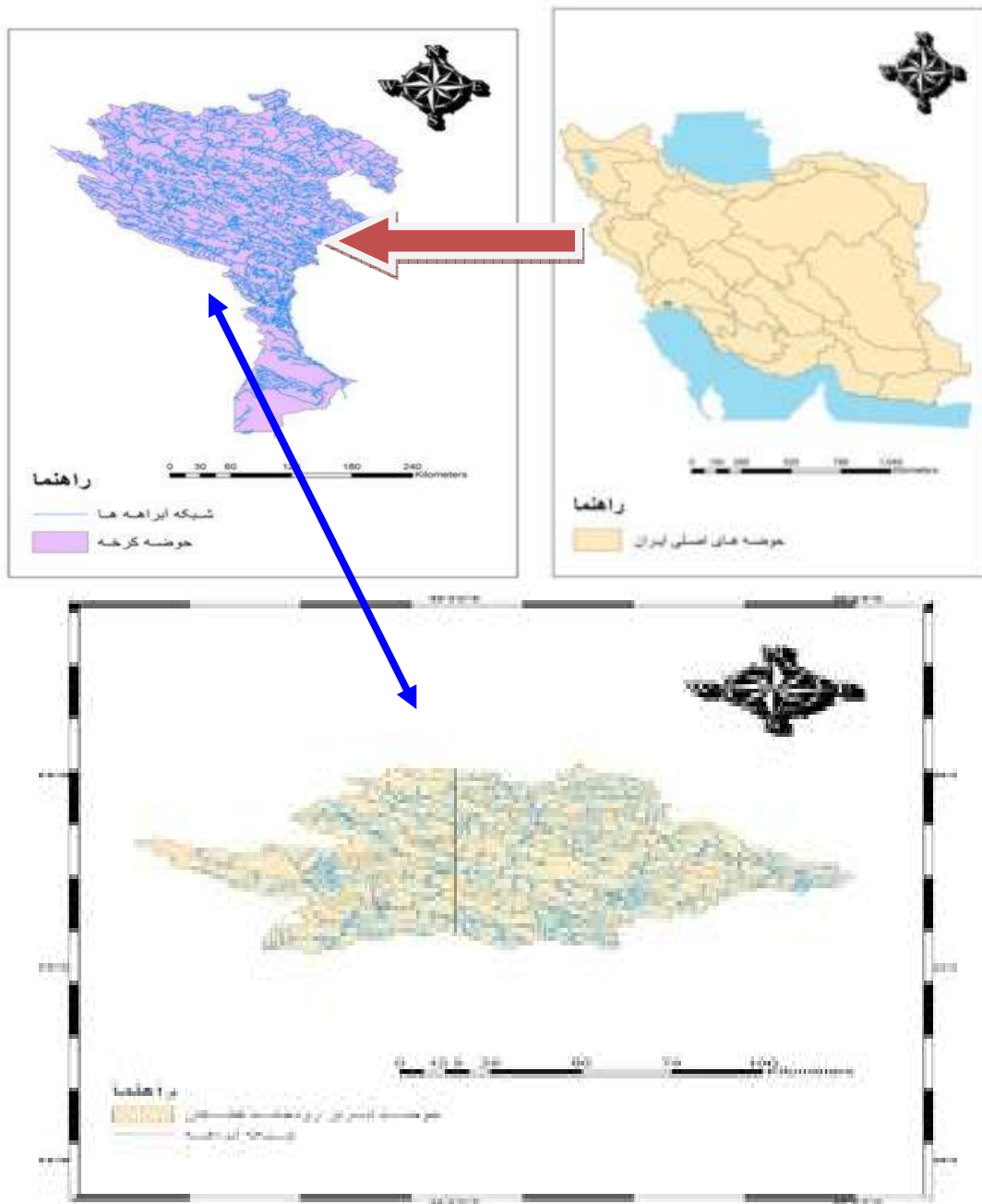
بر اساس روش آمبروزه، حوضه آبریز رودخانه کشکان را در محدوده اقلیم نیمه مرطوب سرد قرار می‌دهد. از نظر توزیع سازندهای زمین ساختی، حدود ۵۰ درصد سطح حوضه از سازندهای آبرفتی جدید، امیران و مشترک آسماری- شهبازان تشکیل شده است. توزیع کاربری اراضی حوضه شامل، جنگل ۴۵/۷۶ درصد، مرتع ۱۱/۲۴ درصد، کشاورزی ۳۹/۹۶ درصد و اراضی انسان ساخت ۱/۰۴ درصد است (مهدی نسب: ۱۳۹۰: ۶۹).

استان کردستان پرداختند و نتایج بدست آمده آنها بیانگر تغییرپذیری متغیرها و اهمیت آنها در تعیین دبی با دوره‌های بازگشت و ماه‌های مختلف داشت. بحث رواناب و رابطه «بارش، رواناب» از مهم ترین و اساسی ترین موضوع در هیدرولوژی آب های سطحی است. زیرا که برآورد رواناب حاصل از بارش های جوی پایه و مبنای مطالعات بسیاری از طرحهای مختلف توسعه و بهره برداری از منابع آب را تشکیل می‌دهد.

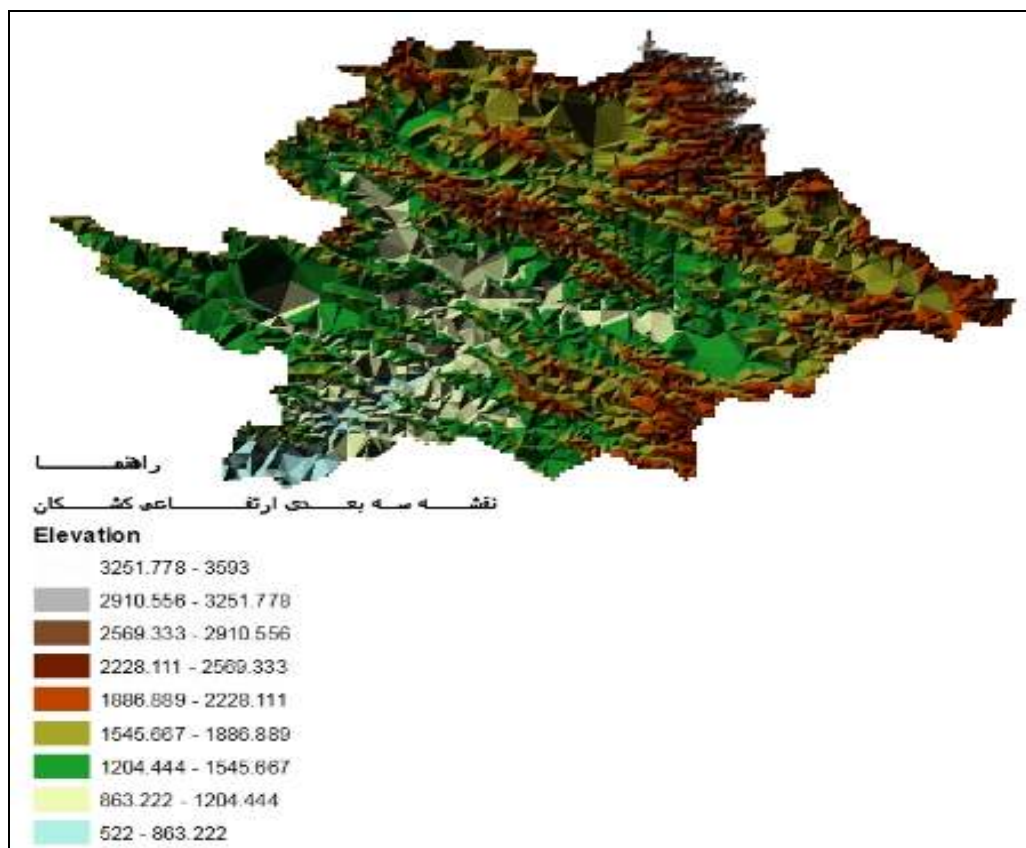
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز رودخانه کشکان یکی از زیرحوضه‌های مهم حوضه آبریز کرخه است. حوضه آبریز کشکان از نظر موقعیت جغرافیایی در محدوده ۴۷ درجه و ۱۲ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۵۹ دقیقه طول شرقی و ۳۳ درجه و ۸ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۲ دقیقه عرض شمالی قرار دارد. این حوضه به لحاظ تقسیمات سیاسی تماماً در استان لرستان قرار گرفته و شهرستان های خرم‌آباد،



شکل (۱) موقعیت جغرافیایی حوزه آبریز رودخانه کشکان در حوزه‌های اصلی کشور و حوزه کرخه



شکل (۲) نقشه سه بعدی ارتفاعی حوضه کشکان

روش پژوهش

به علت وسعت بسیار زیاد حوضه آبریز کشکان و عدم کفایت داده‌ها از لحاظ طول دوره آماری جهت انجام مدل سازی بارش - رواناب از داده‌های ۱۴ بارش شدید روزانه در طی دوره آماری ۱۳۸۹-۱۳۶۰، در زیر حوضه پلدختر که دارای آب نمود لحظه ای است استفاده شده است. ابتدا داده‌ها مورد نظر از بانک اطلاعات رایانه ای و دفاتر آمار سازمان آب منطقه ای استان لرستان گردآوری شد و در نرم افزار SPSS آزمون‌های آماری (همگنی داده‌ها و بازسازی داده‌های ناقص و آزمون کفایت داده‌ها) بر روی داده‌های بارش

و دبی صورت گرفته است. سپس همانطور که در مطالعات هیدرولوژیکی علاوه بر داشتن داده‌های طولانی مدت بارش، داده‌های بارش باید از توزیع نرمال تبعیت کنند، به همین دلیل غالباً داده‌های مورد استفاده را با یک توزیع آماری برازش می‌دهند. در این پژوهش جهت تعیین بهترین تابع توزیع احتمال برای بارش ماههای مختلف در نرم افزار SPSS از آزمون One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test استفاده شده است. در این آزمون داده‌های بارش سالیانه از توزیع نرمال تبعیت می‌کنند (جدول شماره ۱).

جدول (۱) محاسبه توزیع نرمال داده‌های بارش سالیانه ایستگاه پلدختر بر اساس آزمون K.S

ایستگاه پلدختر	One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test
۲۹	تعداد داده‌ها
۳۹۵/۳	میانگین داده‌ها
۱۲۷/۴	انحراف معیار داده‌ها
۰/۱۵۱	مطلق ترین
۰/۱۵۱	مثبت انتهایی
-/۰۷۰	اختلاف منفی
۰/۸۱۱	کولموگروف اسمیرنوف Z
۰/۵۲۶	Asy mp.sig(2-tailed)

آزمون داده‌ها: توزیع نرمال است.

سیل از یکدیگر، باید حداقل ۳ برابر مدت زمانی باشد که دبی سیل از مرحله شروع تا رسیدن به دبی نقطه اوج هیدروگراف لازم دارد. دوماً مقدار دبی پس از سیلاب اول و قبل از شروع سیل دوم به کمتر از $\frac{1}{3}$ دبی اوج سیل اول رسیده باشد (مهدوی، ۱۳۸۶: ۸۹).

برای بدست آوردن شدت بارندگی در حوضه مورد مطالعه از روش قهرمان که روش مناسبی برای تخمین مقدار بارندگی با زمان تداوم پانزده دقیقه تا بیست ساعت با دوره بازگشت های ۲ تا ۱۰۰ سال است از رابطه (۱) استفاده نموده و ضمناً جهت محاسبه بارندگی یک ساعته با دوره بازگشت ۱۰ سال از رابطه (۲) استفاده شده است.

رابطه (۱)

$$P^t = (0.4525 + 0.2472)$$

$$\times \ln(T - 0.6) \times (0.3/1 + (0.6184 \times t^{0.44})) \times$$

$$P_{10}^1$$

برای مدل سازی بارش - رواناب بر اساس ۵ ویژگی هایتوگراف شامل: مدت بارش، مقدار بارش، مدت بارش مازاد، مقدار بارش مازاد و حداکثر شدت رگبار ۳۰ دقیقه‌ای به عنوان متغیر مستقل و ۷ ویژگی هیدروگراف شامل: حجم رواناب، ارتفاع رواناب، زمان پایه، زمان دبی اوج، حداکثر دبی اوج، دبی نقطه عطف و زمان نقطه عطف به عنوان متغیر وابسته، به انتخاب بهترین مدل بر اساس رگرسیون یک متغیره بر اساس روش‌های: خطی، لگاریتمی، توان دو، توان سه، مرکب، نمایی، توانی و منحنی رشد پرداخته شده است. جهت برآورد احتمال وقوع سیل بر اساس روش سری‌های جزیی از داده‌های ۳۰ سیل شدید روزانه بیش از $500m^2$ در طی دوره آماری ۱۳۹۰-۱۳۶۰، در زیر حوضه پلدختر استفاده شده است دراین پژوهش سیلهای را انتخاب کرده‌ایم که اولاً سیل متصل به سیل قبلی نباشد. بدین منظور فاصله زمانی بین نقطه اوج دو

رابطه (۲)

X: متوسط ماکزیمم بارندگی ۲۴ ساعته بر حسب میلی متر

$$P_{10}^1 = 0.8 \times X^{1.1374} \times Y^{-0.3072}$$

که در این روابط

Y: متوسط بارندگی سالانه بر حسب میلی متر

T: دوره بازگشت به سال

رابطه (۳) $I = \frac{P}{t}$ (قهرمان و سپاسخواه، ۱۳۶۹). شدت

t: مدت دوام بارندگی بر حسب ساعت

بارش‌های کوتاه مدت در زمانهای مذکور برآورد گردید (جدول ۲).

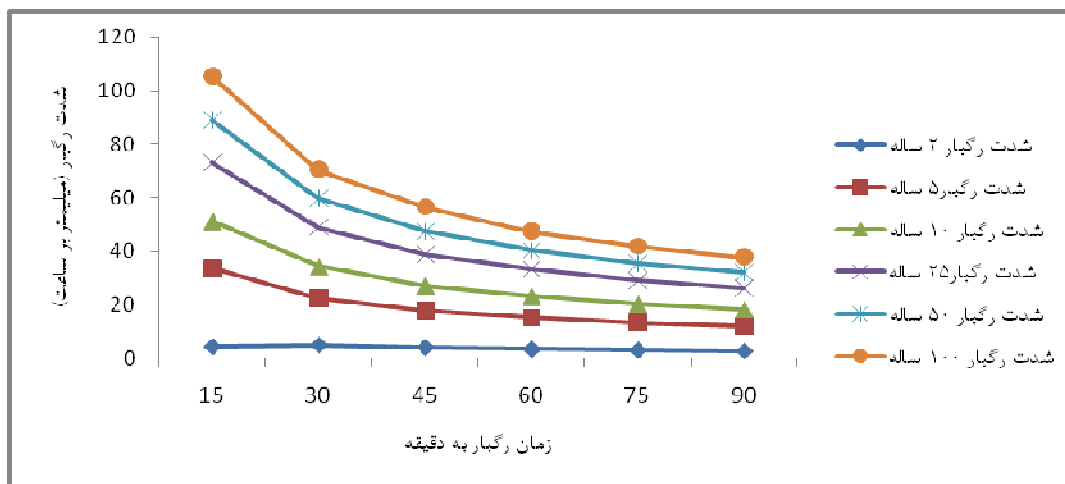
P: مقدار بارندگی با دوام t ساعت و دوره T سال بر

حسب میلی متر

P_{10}^1 : بارندگی یک ساعته با دوره بازگشت ده سال

جدول (۲) مقدار و شدت و فراوانی رگبارهای کوتاه مدت زیر حوضه پلدختر

زمان تداوم به ساعت	با دوره بازگشت مختلف ارتفاع بارندگی (میلیمتر)						شدت رگبار (میلیمتر بر ساعت) با دوره بازگشت مختلف					
	۲	۵	۱۰	۲۵	۵۰	۱۰۰	۲	۵	۱۰	۲۵	۵۰	۱۰۰
۰/۲۵	۱/۱	۸/۴	۱۲/۸	۱۸/۳	۲۲/۳	۲۷/۴	۴/۴	۳۳/۶	۵۱/۲	۷۳/۲	۸۹/۲	۱۰۵/۶
۰/۵۰	۲/۵	۱۱/۳	۱۷/۲	۲۴/۵	۲۹/۹	۳۵/۳	۵	۲۲/۶	۳۴/۴	۴۹	۵۹/۸	۷۰/۶
۰/۷۵	۳/۰۷	۱۳/۵	۲۰/۴	۲۹/۲	۳۵/۶	۴۲/۰۴	۴/۰۹	۱۸	۲۷/۲	۳۸/۹	۴۷/۴	۵۶/۵
۱	۳/۴	۱۵/۳	۲۳/۱	۳۳/۰۳	۴۰/۳	۴۷/۵	۳/۴	۱۵/۳	۲۳/۱	۳۳/۰۳	۴۰/۳	۴۷/۵
۱/۲۵	۳/۸	۱۶/۸	۲۵/۴	۳۶/۳	۴۴/۳	۵۲/۳	۳/۰۴	۱۳/۴	۲۰/۳	۲۹	۳۵/۴	۴۱/۸
۱/۵۰	۴/۱	۱۸/۲	۲۷/۵	۳۹/۳	۴۸	۵۶/۶	۲/۷	۱۲/۱	۱۸/۳	۲۶/۲	۳۲	۳۷/۷



شکل (۳) شدت رگبارهای ۱۵ دقیقه ای تا ۹۰ دقیقه ای زیر حوضه پلدختر

مقدار دبی سیل با دوره بازگشت مورد نظر بر اساس

رابطه (۵) محاسبه می‌شود:

$$Q_{tr} = q_0 + \beta \ln I + \beta \ln T \quad (۵)$$

مقادیر متوسط دبی سیلابی را رابطه (۶) برآورد می‌کند:

برای برآورد احتمال وقوع سیل بر اساس روش

سری‌های جزئی با در نظر گرفتن توزیع اکسپونانسیل،

مقدار β از رابطه (۴) بدست می‌آید.

$$\beta = qi - q_0 = \sum_{i=1}^N \frac{(qi - q_0)}{M} \quad (۴)$$

میانگین نسبی مجذور مربعات خطا، میانگین مجذور مربعات خطا و میانگین قدر مطلق خطا انجام گرفته است.

یکی از مفروضاتی که در رگرسیون مدنظر قرار می‌گیرد، استقلال خطاها از یکدیگر است. در صورتی که فرضیه استقلال خطاها رد شود و خطاها با یکدیگر همبستگی داشته باشد امکان استفاده از رگرسیون وجود ندارد. برای بررسی استقلال مانده‌ها از همدیگر می‌توان از آزمون دورین- واتسون استفاده کرد، اگر مقدار به دست آمده بین ۱/۵ تا ۲/۵ باشد می‌توان تقریباً به استقلال مانده‌ها از همدیگر پی برد (بابازاده و جاوری، ۱۳۸۸: ۱۰۳). به منظور بررسی استقلال خطاها از یکدیگر از آزمون دورین- واتسون استفاده شده است (رابطه ۷).

$$DW = \frac{\sum (e_t - e_{t-1})^2}{\sum e_t^2} \quad \text{رابطه (۷)}$$

در این رابطه e_t میزان اختلال یا خطا در دوره زمانی T (برای مثال سال) و e_{t-1} میزان اختلال یا خطا در دوره زمانی قبل T است.

میانگین خطا (MBE) این تست عبارت است از میانگین انحراف مقادیر حساب شده از مقادیر اندازه گیری شده، علامت مثبت و منفی آن نشان دهنده این است که مقادیر برآورده شده به ترتیب بیشتر از یا کمتر از مقادیر اندازه گیری شده هستند (رابطه ۸).

$$MBE = \sum_{i=1}^n \frac{SI - CI}{n} \quad \text{رابطه (۸)}$$

میانگین قدر مطلق خطا (MAB) که بر اساس رابطه شماره (۹) برآورد می‌گردد:

$$MAB = \sum_{i=1}^n \frac{|(SI - CI)|}{n} \quad \text{رابطه (۹)}$$

$$Q = q + \beta \ln \lambda + 0/5772(\beta) \quad (۶)$$

(مهدوی، ۱۳۸۶: ۸۹-۹۰)

رگرسیون یکی از مدل‌های ریاضی و آماری است که توصیف ترسیمی همبستگی بین دو متغیر را بیان می‌کند (مهدوی و همکاران، ۱۳۸۵). ضریب تعیین یا R^2 معیاری برای اندازه گیری کفایت مدل رگرسیونی است و در همه تحقیقات رگرسیونی کاربرد گسترده ای دارد. چون نمی‌توان به مقدار مطلوب R^2 برای مدل‌های زیر مجموعه رگرسیون دست یافت از مقدار رضایت بخش R^2 استفاده می‌گردد (رمضانی و سلطانی، ۱۳۸۲: ۲۴۳). مدل‌های رگرسیونی منطقه ای، مدت‌هاست برای پیش بینی مقادیر سیلاب مورد استفاده قرار می‌گیرند این روش، از مدل‌های پیچیده باران- رواناب بهتر بوده است (Steding, 1992: 1041). کراف و رانتز پس از مطالعه روش‌های گوناگون تحلیل منطقه ای سیلاب، دریافته‌اند که تکنیک رگرسیون پیش بینی کننده بهتری نسبت به روش شاخص سیلاب یا برازش توزیع‌های فراوانی نظری بر داده‌های ثبت شده تاریخی است (Viessman, 1989: 1082).

مدل‌های با ضریب همبستگی معنی دار در سطح ۱ و ۵ درصد و به ترتیب مساوی یا بزرگتر از ۰/۷۰۸ و ۰/۵۷۲ با درجه آزادی متناسب مورد استفاده در مرحله واسنجی و تهیه مدل، از بین آنها مدل‌های با ضریب تبیین بالاتر به عنوان مدل نهایی انتخاب شده‌اند (صلواتی و همکاران، ۱۳۸۹: ۸۷). برای ارزیابی مدل‌های تهیه شده با استفاده از معیارها و شاخص‌های متعددی از جمله ضریب همبستگی، خطای استاندارد، خطای نسبی تخمین و تایید، درصد میانگین قدر مطلق خطا،

Ye = مقدار تخمینی متغیر وابسته (صلواتی و همکاران، ۱۳۸۹: ۸۷).

بحث

بررسی نتایج رگرسیون یک متغیره بین متغیر مستقل حداکثر شدت رگبار و متغیر وابسته حجم رواناب نشان می‌دهد که روش خطی، با میزان خطای تخمین ۱۷/۱۸ درصد و خطای تایید به میزان ۲۷/۸۷ درصد، روش مرکب با میزان خطای تخمین ۰/۴۳۱ درصد و خطای تایید ۱/۷۹ درصد و روش توانی با میزان خطای تخمین ۱/۶ درصد و خطای تایید ۳/۵۰ درصد دارای بیشترین تبیین در مدل سازی «بارش، رواناب» هستند. میزان خطای تخمین بین دو متغیر مستقل حداکثر شدت رگبار و متغیر وابسته حجم رواناب در انواع روش های رگرسیون یک متغیره بین ۰/۴۳۱ تا ۹۱/۴۵ درصد و میزان خطای تایید آنها بین ۳/۵۰ تا ۶۸/۳۴ درصد بوده است (جدول ۳). از نتایج ارائه شده مشاهده می‌شود که خطای های تخمین و تأیید انواع روش های رگرسیون یک متغیره به دلیل روش های آماری مورد استفاده دارای دامنه تغییرات بالایی هستند

میانگین مجذور مربعات خطا (RMSE) این تست اطلاعاتی در مورد عملکرد کوتاه مدت روابط ارائه می‌دهد و برای این منظور انحراف واقعی بین مقدار محاسبه و مقدار اندازه گیری شده کمتر باشد مدل عملکرد بهتری خواهد داشت (رابطه ۱۰).

رابطه (۱۰)

$$RMSE = \left\{ \sum_{i=1}^n \frac{(S_i - C_i)^2}{n} \right\}^{\frac{1}{2}}$$

میانگین نسبی مجذور مربعات خطا (RRMSE)

رابطه (۱۱)

$$RRMSE = \left\{ \sum_{i=1}^n \left(\frac{S_i - C_i}{N \cdot S_i} \right)^2 \right\}$$

درصد میانگین قدر مطلق خطا (MADEV)

رابطه (۱۲)

$$MADEV = 100 \times \frac{\sum_{i=1}^n \frac{|(S_i - C_i)|}{S_i}}{N}$$

در این روابط S_i مقادیر اندازه گیری شده و C_i مقادیر برآورد شده و N تعداد اندازه گیری شده است.

خطای نسبی تخمین و تایید (RE)

$$\text{رابطه (۱۳)} \quad RE = \left| \frac{Y_0 - Y_e}{Y_e} \right| \times 100$$

که در این رابطه:

RE = درصد خطای نسبی

Y_0 = مقدار مشاهده ای متغیر وابسته

جدول (۳) نتایج رگرسیون یک متغیره بین متغیر مستقل حداکثر شدت رگبار و متغیر وابسته حجم رواناب حوضه آبریز کشکان

روش	معادله	R^2	β	SIG	خطای تخمین	خطای تایید	مجدور میانگین مربعات
خطی	$227(MIS) + Y = -168$ 992.13676	۰/۴۹۴	-۰/۷۰۳	۰/۰۳۳	۱۷/۱۸	۲۷/۸۷	۲۵/۹۷
لگاریتمی	$544(MIS) + Y = -6541$ 80.31048	۰/۵۲۹	-۰/۷۲۷	۰/۱۹۴	۴۹/۵۳	۳۰/۸۷	۲۵/۵۱
توان دو	$896(MIS) + Y = -3465$ $9.618(MIS)^2 + 75542.43$	۰/۸۲۹	$13/792 - 14/483$	۰/۱۷۳	۸۳/۰۹	۵۱/۴۶	۲۱/۹۲
توان سه	$650(MIS) + Y = -1860$	۰/۸۳۱	$7/096 - 7/775$	۰/۱۶۰	۹۱/۴۵	۶۸/۳۴	۲۱/۸۵

						$43.393(MIS)^2 + 55953.0$	
۰/۳	۱/۷۹	۰/۴۳۱	۰/۰۰۰	۰/۵۰۱	۰/۴۷۸	$979(MIS) + 16559.Y = 0$	مرکب
۰/۲۹	۳/۵۰	۱/۶	۰/۰۷۵	-۰/۷۱۵	۰/۵۱۱	$844(MIS) + .Y = -0$ 783.155519	توانی
۰/۲۸	۲۹/۵۴	۴۰/۶۷	۰/۱۵۵	۰/۷۳۸	۰/۵۴۴	$027.486(MIS) + 8.Y = 34$	منحنی رشد
۰/۳	۲۷/۸۷	۴۹/۲۰	۰/۱۹۶	-۰/۶۹۱	۰/۴۷۸	$022(MIS) + .Y = -0$ 102.16559	نمایی

بر اساس (جدول ۴) R^2 به دست آمده نشان می‌دهد که عامل حداکثر شدت رگبار (MIS)، مقدار بارش مزاد (ASP) و مدت زمان بارش مزاد (DSP) است ۰/۷۹۶ درصد رواناب در حوضه کشکان مربوط به سه

جدول (۴) نتایج مدل رگرسیونی چند متغیره مدل سازی رواناب

Model	ضرب همبستگی	ضرب تعیین	ضرب تعیین تعدیل شده	خطای معیار تخمین
۱	۰/۸۷۲	۰/۷۹۶	۰/۸۴۴	۷۳۴/۱۸۴۲۲
A= متغیرهای مستقل MIS, ASP, DSP				
B= رواناب: متغیر وابسته				

جدول (۵) تحلیل واریانس رگرسیون متغیر وابسته رواناب

مدل	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	آزمون F	سطح معناداری
رگرسیون	۳/۱۰۰	۱۳	۶۲۰۰۸۱۹/۱۳۱	۱۱/۵۰۴	۰/۰۰۰
باقیمانده	۲/۱۰۲	۱۴	۵۳۹۰۲۶/۷۶۴		
کل	۵/۲۰۲	۱۴			

A= متغیرهای مستقل MIS, ASP, DSP

B= رواناب: متغیر وابسته

جدول (۶) میانگین و انحراف معیار باقیمانده‌ها رواناب

تعداد	انحراف معیار	میانگین	حداکثر	حداقل
۱۴	۸۳۹/۴۲۷۵۱	۱/۰۶۱۱	۲/۴۳۸۰	-۳/۳۱۲۹
۱۴	۶۹۱/۲۱۱۷۸	۰/۰۰۰۰۰	۲/۰۸۲۸۱	-۱/۲۵۵۳۸
۱۴	۱/۰۰۰	۰/۰۰۰	۱/۶۴۰	-۱/۶۵۹
۱۴	۰/۹۴۱	۰/۰۰۰	۲/۸۳۷	-۱/۷۱۰

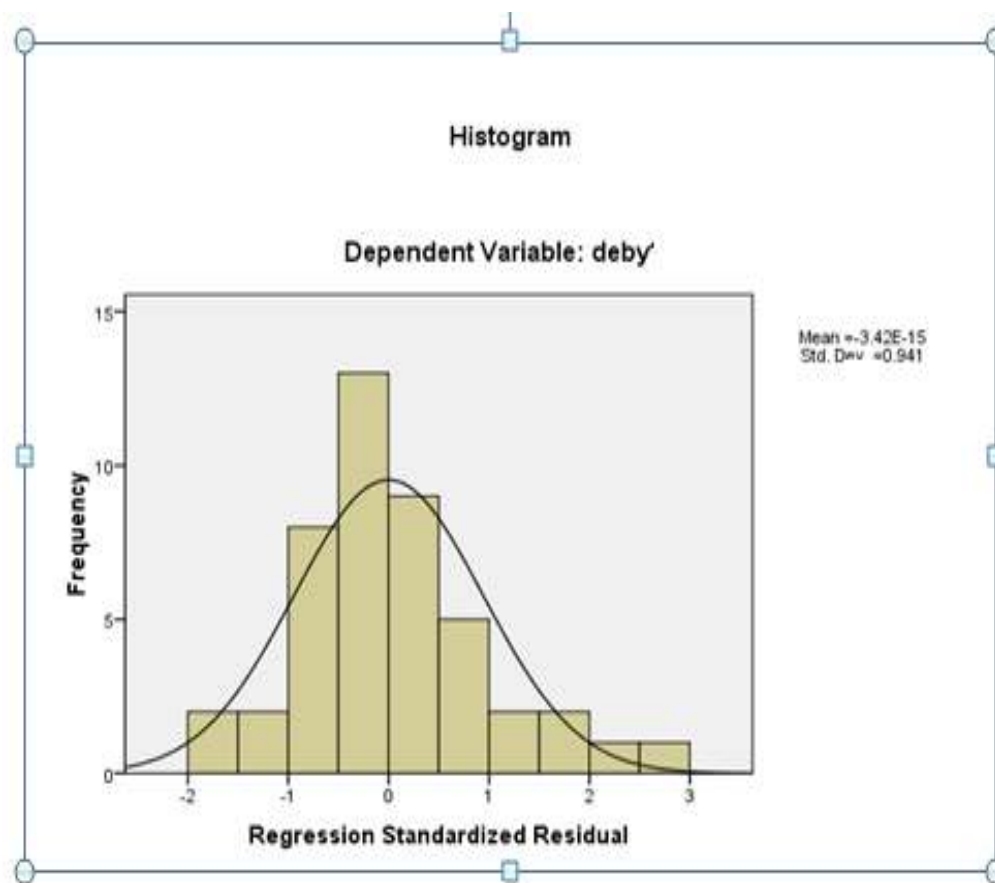
B= رواناب: متغیر وابسته

شده برای تفسیر مناسب تر است با توجه به جدول خلاصه آماره‌های تحلیل (شماره ۴)، ضریب تعیین تحلیل نشان می‌دهد که ۸۴ درصد از رواناب در حوضه

تفاوت ضریب تعیین و ضریب تعیین تعدیل شده می‌تواند ناشی از حجم نمونه و تعداد متغیرها باشد. در صورتی که نمونه کوچک باشد، ضریب تعیین تعدیل

مستقل تبیین می‌شود. سطر Residual یا باقیمانده‌ها بیانگر میزان تغییرات متغیر وابسته است که توسط سایر عوامل تبیین می‌شود. مشاهده می‌شود که توزیع خطاها تقریباً نرمال است، و از طرفی مقدار همبستگی متغیره‌ها که برابر با $0/872$ است. بنابراین می‌توان از رگرسیون استفاده نمود. مقدار میانگین ارائه شده در سمت نمودار بسیار کوچک (صفر) و انحراف معیار نزدیک به یک است (جدول ۶).

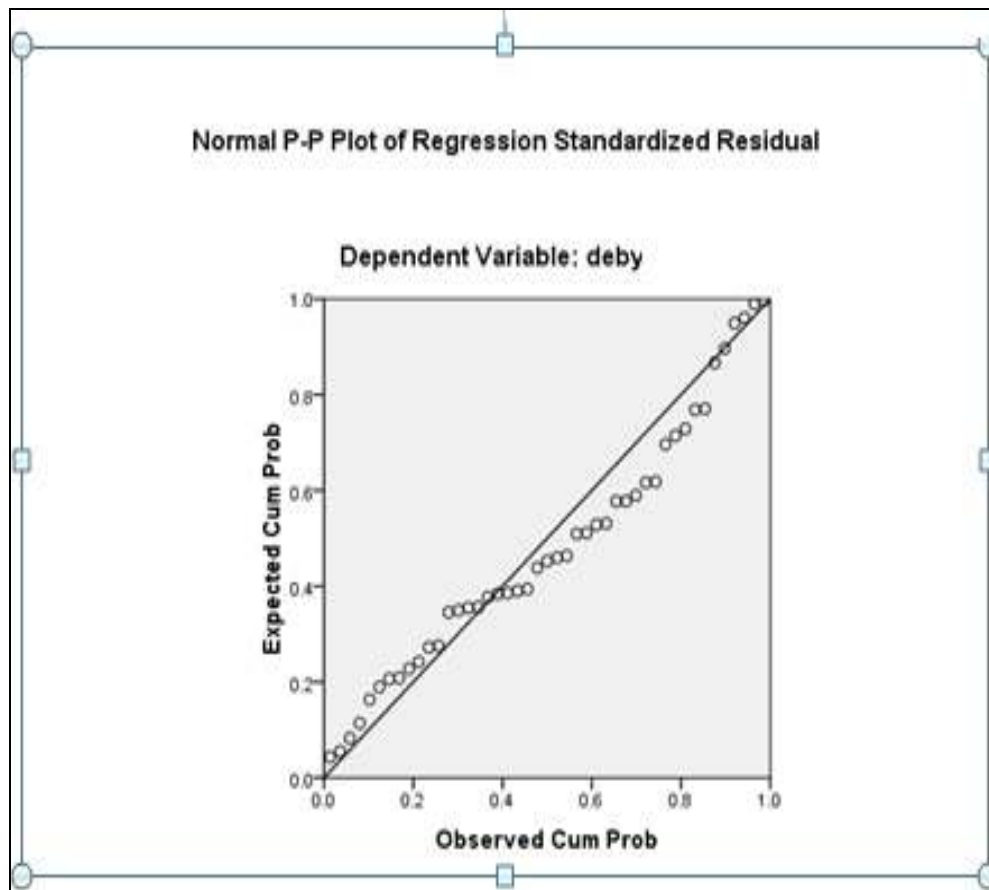
کشکان توسط سه متغیر مستقل حداکثر شدت رگبار (MIS)، مقدار بارش مازاد (ASP) و مدت زمان بارش مازاد (DSP) است. جدول تحلیل واریانس رگرسیون به منظور بررسی قطعیت وجود رابطه خطی بین متغیره‌هاست. چون Sig برابر با صفر است و کمتر از ۵ درصد است بنابراین فرض خطی بودن رابطه بین متغیره‌ها تایید می‌شود. یا به عبارتی بین متغیر وابسته و متغیره‌های مستقل رابطه خطی وجود دارد (جدول ۵). همچنین در جدول (۶)، سطر Regression بیانگر میزان تغییرات متغیر وابسته است که از طریق متغیره‌های



شکل (۴) توزیع نرمال داده‌های باقیمانده رواناب

شده آن تقریباً یکسان است. بنابراین می‌توان گفت فرض نرمال بودن توزیع باقی مانده‌ها برای متغیر وابسته صادق است.

شکل (۴) نمودار هیستوگرام متغیر وابسته یعنی رواناب حوضه کشکان را نشان می‌دهد که توزیع داده‌ها برای باقی مانده‌ها نرمال است. به عبارت دیگر نحوه پراکندگی رواناب حوضه کشکان و داده‌های برآورد



شکل (۵) توزیع پراکنش داده‌های اندازه گیری شده نسبت به برآورد شده رواناب

رابطه (۱۴)

$$Y = 1529.196 + 3.265(\text{MIS}) - 0.207(\text{ASP}) + 273.595(\text{DSP})$$

در این معادله رگرسیونی: رواناب (Y)، حداکثر شدت رگبار (MIS) مدت بارش مازاد (DSP)، مقدار بارش مازاد (ASP) است.

مطابق شکل ۵ مقادیر احتمال تجمعی مورد انتظار باقی مانده‌ها به مقادیر متناظر توزیع نرمال نزدیک اند. بنابراین فرض نرمال بودن باقی مانده‌ها برای مدل رگرسیونی رد نمی‌شود. معادله رگرسیونی چند متغیره بین متغیر وابسته رواناب و متغیرهای مستقل بر اساس رابطه (۱۴) برآورد می‌گردد:

جدول (۸) مقایسه نتایج بدست آمده توسط مدل با مقادیر اندازه گیری شده دبی در حوضه کشکان و مقادیر خطاها

تاریخ وقوع رگبار	میزان رگبار به میلیمتر	دبی اندازه گیری شده بر حسب متر معکب در ثانیه	دبی برآورد شده توسط مدل رگرسیونی بر حسب متر معکب در ثانیه
۱۳۶۳ آذر	۵۰	۴۵۱/۵۸	۴۱۴/۶۵
۱۳۶۶ دی ۳	۷۰	۶۱۴/۰۲	۶۲۸/۶
۱۳۶۸ آذر ۲۱	۴۴	۴۱۳/۱۶	۳۶۹/۴
۱۳۶۹ دی ۲۴	۶۷	۵۱۳/۳۰	۴۷۶/۸
۱۳۷۱ دی ۱۷	۶۶	۵۳۴/۳۶	۴۹۰/۵
۱۳۷۲ بهمن ۳	۵۹	۴۳۱/۴	۳۷۸
۱۳۷۴ فروردین ۳	۵۰	۵۳۲	۴۸۵
۱۳۷۵ فروردین ۹	۶۵	۶۲۳/۶	۵۸۱/۹
۱۳۷۶ آبان ۱۳	۵۰	۵۰۹/۹	۴۶۳/۵
۱۳۸۰ آذر ۱۳	۵۹	۶۴۱/۸	۵۸۹/۵
۱۳۸۳ اسفند ۲۲	۴۳	۷۱۳	۶۷۱
۱۳۸۴ بهمن ۱۵	۹۸	۱۰۰۰/۵	۸۹۰/۶
۱۳۸۵ فروردین ۷	۶۷	۸۰۲	۷۳۵/۶
۱۳۸۸ آذر ۴	۴۳	۶۵۴	۵۸۶
			۰/۰۰۶۴۸
			۲۹/۹۸۷۶
			۱۶۸/۹۷
			۵/۹۷
			۰/۷۸۹
			۷/۸۷
			$MBEm^2$
			$MABm^2$
			$RMSEm^2$
			RRMSE
			MADEV(0/0)
			RE

داده‌های مربوط به بارش یک ناحیه به اندازه کافی و مناسب باشند، به عنوان یک روش ساده و سریع بکار برده می شوند.

روش‌های آماری جهت برآورد داده‌های حد فرین ازمنداول ترین و قابل اطمینان ترین روشها محسوب می شوند، روشهای آماری به خصوص در مواقعی که

جدول (۹) تجزیه و تحلیل احتمال وقوع سیلاب‌های بیش از دبی مبنا $500m^2$ در بازه‌های زمانی مختلف بر اساس روش

سری‌های جزئی

درصد احتمال وقوع	۱	۱	۵	۱۰	۲۰	۵۰	۹۰	۹۹/۹۹
دوره بازگشت به سال	۲۰۰	۱۰۰	۵۰	۲۵	۱۰	۵	۲	۱
LnT	۵/۲۹۸	۴/۶۰۵	۳/۹۱۲	۳/۲۱۸	۲/۳۰۲	۱/۶۰۹	۰/۶۹۳	۰
$\beta \times LnT$	۹۷۵/۹	۸۴۸/۲	۷۲۰/۵	۵۹۲/۹	۴۲۴/۱	۲۹۶/۴	۱۲۷/۶	۰
دبی پیش بینی شده m^2	۱۴۷۵/۹۵	۱۳۴۸/۲۷	۱۲۲۰/۵	۱۰۹۲/۹	۹۲۴/۱۳	۷۹۶/۴۵	۶۲۷/۶	۶۰۶/۳۲
$\beta = 184.2$								
$\gamma = 1$								
$Qa = 500m^2$			$M=30$			$Ln\lambda = 0$		
$N=30$								

نتایج پیش بینی احتمال وقوع سیل‌های بالاتر از دبی m^2 ۵۰۰ براساس روش سری‌های جزیی در بازه‌های زمانی مختلف نشان می‌دهد که به احتمال ۹۹/۹۹ درصد هر سال سیلی به میزان دبی لحظه ای m^2 ۶۰۶/۳۲ به وقوع می‌پیوندد. هر چند با افزایش دوره بازگشت احتمال وقوع کم می‌شود ولی هر ۲۰۰ سال یکبار در حوضه پلدختر سیلی با دبی لحظه ای m^2 ۱۴۷۵/۹۵ اتفاق می‌افتد (۹).

نتیجه گیری

مدیریتی که در کشور ما و اغلب کشورهای در حال توسعه دنبال می‌شود، مدیریت بحران است. به دلیل اینکه شناخت کافی نسبت به خدمات و سرویس‌های آب و هوایی ندارند و همیشه صبر می‌کنند تا حادثه رخ دهد بعد مدیریت بحران می‌کنند. مدل‌های پیش بینی رواناب در بسیاری از برنامه‌های کاربردی منابع آب مانند کنترل سیل، مدیریت خشکسالی، عملیات تأمین آب و برق، عملیات بهینه سازی مخزن و طراحی‌های مختلف سازه‌های هیدرولیکی مفید می‌باشند. پیش بینی رواناب معمولاً از طریق توسعه مدل‌های پیش بینی بارش - رواناب که با استفاده از داده‌های هیدرولوژیکی و اقلیمی است صورت می‌گیرد. بحث رواناب و رابطه «بارش، رواناب» از مهم ترین و اساسی ترین موضوع در هیدرولوژی آب‌های سطحی است. از آنجا که تاکنون رابطه جهانی واحدی برای پیش بینی دقیق حجم رواناب ناشی از بارش ارائه نشده است، در مناطق مختلف آزمایش‌ها و پروژه‌های تحقیقاتی متعددی به منظور استخراج روابط «بارش، رواناب» بر اساس شرایط محلی انجام شده و در نتیجه روابط میان حجم

«بارش، رواناب» توسط فرمول‌های تجربی و نیمه تجربی بیان شده است. مدل‌های رگرسیونی، مدتهاست برای پیش بینی مقادیر سیلاب مورد استفاده قرار می‌گیرند این مدلها، از مدل‌های پیچیده باران - رواناب بهتر می‌باشند. تحقیق حاضر با هدف‌های بررسی کارایی مدل‌های مختلف رگرسیون یک متغیره برای مدلسازی بارش - رواناب، ارائه یک مدل رگرسیونی چند متغیره برای مدلسازی بارش - رواناب و برآورد احتمال وقوع سیلاب بر اساس روش سری‌های جزیی در حوضه آبریز رودخانه کشکان صورت گرفته است. بررسی وضعیت فیزیوگرافی، زمین ساختی و خاکشناسی این حوضه بیانگر پتانسیل بسیار بالا تولید رواناب در مدت زمان کوتاه و افزایش توان سیل خیزی آن است. در این پژوهش از معیارهای ضریب همبستگی، خطای استاندارد، خطای نسبی تخمین و تایید، درصد میانگین قدر مطلق خطا، میانگین نسبی مجذور مربعات خطا، میانگین مجذور مربعات خطا و میانگین قدر مطلق خطا جهت ارزیابی مدل بکار گرفته شدند. بررسی نتایج مربوط به ۲۸۰ مدل تهیه شده برای ارزیابی مدل‌های مختلف رگرسیون یک متغیره، نشان می‌دهد که روشهای خطی، مرکب و توانی دارای بیشترین تبیین برای مدلسازی «بارش، رواناب» می‌باشند. بیشترین ضریب تبیین بین متغیرها مربوط به مدل‌های رگرسیونی یک متغیره مدت زمان بارش و متغیر وابسته زمان رسیدن به دبی نقطه عطف است. میزان خطای تایید بین ۰/۹۸۷ تا ۱۴۳/۱۷ درصد و میزان خطای تخمین بین ۰/۴۳۱ تا ۱۲۶/۵۴ درصد در نوسان بوده است. نتایج بدست آمده بر عدم امکان تهیه

منابع

- مدل قابل اعتماد از دیدگاه آماری برای برخی از متغیرها به سبب تغییرپذیری متغیرهای مستقل و یا شدت تأثیر اثر آن بر فرایند «بارش، رواناب» دلالت داشته است. به دلیل تأثیر سایر عوامل بر روی فرایند «بارش، رواناب» مدل‌های تهیه شده دارای تغییرپذیری بالای هستند. دامنه خطای زیاد در این پژوهش مؤند ضرورت انتخاب دقیق رگبارها و دسته بندی آنها از لحاظ نوع بارش و یا زمان وقوع آنهاست. نتیجه مدل رگرسیونی چند متغیره برای مدل سازی بارش- رواناب نشان می‌دهد که 0.796 درصد رواناب در حوضه کشکان مربوط به سه عامل حداکثر شدت رگبار (MIS)، مقدار بارش مازاد (ASP) و مدت زمان بارش مازاد (DSP) است. نتایج تجزیه و تحلیل سیلاب بر اساس روش سری‌های جزئی نشان می‌دهد که ۲۰۰ سال یکبار در حوضه کشکان سیلی با دبی لحظه ای $1475/95 \text{ m}^3$ اتفاق می‌افتد. پیشنهادهای موردی در راستای تحقیق:
- انجام تحقیقات مختلف با محوریت ارزیابی دقیق عمل کرد مدل‌های تهیه شده با شواهد و قرائن منطقه‌ای.
 - توسعه و تعمیم مطالعات مشابه با استفاده از آمار و اطلاعات دقیق تر و جامع تر در استان لرستان.
 - بررسی امکان منطقه ای سازی مدل های تهیه شده به حوضه‌های آبخیز واقع در استان‌های همجوار.
 - بهره گیری از سایر شیوه‌های مدل سازی مبتنی بر روش های استفاده از شبکه عصبی مصنوعی، منطق فازی.
- بابازاده، سید احمد، جاوری، مجید، (۱۳۸۸)، "تحلیل رگرسیونی داده‌های اقلیمی با استفاده از ایستگاه‌های انتخابی ایران"، مجله جغرافیا و برنامه ریزی منطقه ای، پیش شماره پاییز و زمستان: ۹۵-۱۰۷.
- جباری، ایرج، عارفی، محمد رضا، (۱۳۸۵)، "برآورد عمق رواناب حوضه بدون ایستگاه کیوتولانه کنگاور با استفاده از یک رویداد بارش"، مجلات با موضوعات علوم. ۱۲(۴۸): ۲۹-۴۸.
- جوکار سرهنگی، عیسی، امیراحمدی، ابوالقاسم، نیکزاد، اسحاق، (۱۳۸۸)، "مدل سازی برآورد سیلاب حوضه‌های آبی دامنه شمالی البرز مرکزی با استفاده از ویژگی‌های ژئومورفولوژی و مورفومتری و بکارگیری سیستم اطلاعات جغرافیایی"، مجله جغرافیا و برنامه ریزی (دانشگاه تبریز)، ۱۴(۲۹): ۱۴۱-۱۶۲.
- خیام، مقصود، مولوی، احد، (۱۳۸۳)، "تحلیل های کمی رواناب حوضه ی آبریز سعیدآباد چای"، مجله جغرافیا و توسعه. ۲ (۳): ۷۳-۸۸.
- رضایی مقدم، محمد حسین، ثقفی، مهدی، مولوی، احد (۱۳۸۷)، "تعیین بهترین مدل میزان رواناب حاصل از باش (مطالعه موردی: حوضه آبریز اوجان چای)"، مجله جغرافیا و برنامه ریزی (دانشگاه تبریز)، ۱۳ (۲۵): ۱۳۱-۱۴۸.
- سوری، علی، (۱۳۸۰)، "نظیرسازی هیدروکلیماتولوژی مدل‌های بارش- رواناب در حوضه‌های آبریز جنوب غرب"، پایانامه دکتری جغرافیای طبیعی، تحت

کبیر، آتسا، نورا، نادر، نجفی نژاد، علی، (۱۳۸۶)، "مدلسازی بارش-رواناب موثر مطالعه موردی حوضه کچیک استان گلستان"، مجله کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۴(۳): ۶۸-۸۲.

لشنی زند، مهران، (۱۳۷۶)، "تحقیقی در مورد فرسایش مراتع حوضه آبخیز کشکان در ارتباط با میزان شدت بارندگی"، پایانامه کارشناسی ارشد جغرافیای طبیعی، اساتید راهنما دکتر محمد حسین رامشت و دکتر محمد رضا کویانی، دانشگاه اصفهان. ص ۱۹۱.

مهدوی، محمد، (۱۳۸۶)، "هیدرولوژی کاربردی"، جلد دوم، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ ششم.

مهدوی، مسعود، طاهرخانی، مهدی، (۱۳۸۵)، "کاربرد آمار در جغرافیا"، نشر قومس، تهران.

مهدی نسب، مهدی، (۱۳۹۰)، مدل سازی بارش - رواناب حوضه کشکان بر اساس مدل‌های آماری، پایانامه کارشناسی ارشد اقلیم شناسی، اساتید راهنما دکتر حسین نگارش و دکتر تقی طاوسی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان.

وفاخواه، مهدی، (۱۳۷۸)، "شناخت عوامل موثر در سیلاب به منظور مهار آنها با استفاده از تجزیه و تحلیل عاملی در رودخانه حوضه قرچای"، پژوهش سازندگی، صص ۷۵ تا ۷۲.

Basha H.A. 2000. Simple non linear rainfall-runoff model, Journal of Hydraulic Engineering. 19(75): 2-18.

Chai X. Hong Z. shun G. 1995. ; Relationship between flood and forest, vegetation in zheyia cession, acted , agriculture. 13(49):87-100.

راهنمایی دکتر هوشنگ قائمی، ، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

صادقی، سید حمید، مرادی، حمید رضا، مزین، ملیحه، و وفاخواه، مهدی، (۱۳۸۴)، "کارآیی روش‌های مختلف تجزیه و تحلیل آماری در مدلسازی بارش - رواناب حوضه آبریز کسلیان"، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۲(۳): ۸۱-۹۰.

صلواتی، بهار، صادقی، حمید رضا، تلوری، عبدالرسول، (۱۳۸۹)، "مدل سازی تولید رواناب حوضه های آبخیز استان کردستان با استفاده از متغیرهای فیزیوگرافی و اقلیمی"، نشریه آب و خاک، ۲۴(۱): ۸۴-۹۶.

علیزاده، امین، (۱۳۸۸)، "اصول هیدرولوژی کاربردی"، چاپ بیست و ششم، انتشارات دانشگاه امام رضا(ع)، مشهد.

قاسم پور، فرنوش، (۱۳۷۴)، "تجزیه و تحلیل منطقه ای سیلاب در غرب مازندران (چالوس-رامسر)"، پایانامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، استاد راهنما دکتر امین علیزاده، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

قنبرپور محمد رضا. امیری مریم. و غلامی شعبانعلی، (۱۳۸۷)، "ارزیابی مدل های پیش بینی دبی ماهانه بر پایه تحلیل سری های زمانی بررسی موردی حوضه آبریز کرخه"، مجله منابع طبیعی ایران. ۶۱ (۱): ۴۳-۵۵.

قهرمان، بیژن، سپاسخواه، علی رضا، (۱۳۶۹)، " تخمین باران یک ساعته ده ساله برای تعیین روابط شدت مدت- تناوب بارندگی در ایران"، کنگره بین المللی مهندسی راه و ساختمان ایران، دانشگاه شیراز.

- Dingman S L. 1994.: physical Hydrology, McGraw – Hall, 129 pp.
- Fernando,d.a.k,dayawardenea.w, .1998. runoff for recasting using rbf network with ols algorithm,j, hydrologic engineering.3.
- Lawgun, N. and Toong A.R.1985. Regional flood- frequency analysis of small catchments in North Auckland and Coromandel (New Zealand), journal of Hydrology (New Zealand)24 (2): 64-76.
- Mimikou,m,and Rao,A.R.1983. Regional monthly rainfall-runoff model.journal of water Resources planning and management ,109,75-93
- Smith,K..1992.: environmental hazards, assessing risks and reducing disaster, routledge.254.
- Stamy T.C., and Hess G.W. 1993. Techniques for estimating magnitude and frequency of floods in rural basins in Georgia. Water Resources Investigation Report 93-4016, USGS Publication , 94P
- Stedinger I. R, Vogel R. M, Foufoule-Georgiou.1992. Frequency analysis of extreme events, Hamed D. R(Ed chief)Hand book of hydrology, Mc Graw-Hill – Inc., Newyork USA.
- Sharifi,f,and M.J.boyd (1994): A comparison of the sfband AWB rainfall – runoff models.23-Viessman W. JR, - 29-Viessman W. JR, Lewis G.L.L Knapp J.W.,1989. Introduction to hydrology, delhi Press, Happev and Row Publishers.