تهيه هيدروگراف با استفاده از اجزاي مختلف بارندگي در حوزه آبخيز كسيليان

سيدحميدرضا صادقي*[۱]، مليحه مزين[۲] و حميدرضا مرادي[۳]

[۱] دانشيار گروه مهندسي آبخيزداري دانشكده منابع طبيعي، دانشگاه تربيت مدرس، نور، مازندران، ايران

[۲] دانش آموخته گروه مهندسي آبخيزداري دانشكده منابع طبيعي، دانشگاه تربيت مدرس، نور، مازندران و عضو هيات علمى دانشكده منابع طبيعى و محيط زيست بهبهان، دانشگاه شهيد چمران، ايران

[۳] استاديار گروه مهندسي آبخيزداري دانشكده منابع طبيعي، دانشگاه تربيت مدرس، نور، مازندران، ايران

(تاريخ دريافت: ۸۳/۸/۱۶، تاريخ تصويب: ۸۵/۵/۱۵)

چكيده

محدوديت‌هاي مختلف مانند كافي نبودن ايستگاه‌هاي هيدرومتري، مشكل بودن جمع‌آوري داده‌هاي هيدرومتري، هزينه‌بر بودن جمع‌آوري آمار و اطلاعات مشاهده‌اي، استفاده از مدل‌هاي هيدرولوژي در برآورد هيدروگراف سيل را ايجاب مي‌كند. استفاده از داده‌هاي مربوط به بارندگي به‌دليل دقّت قابل قبول آن‌ها در اغلب مناطق فاقد ايستگاه هيدرومتري، يكي از گزينه‌هاي كاربردي در اين خصوص است. تحقيق حاضر درصدد بررسي امكان ارتباط بين ويژگي‌هاي مختلف هايتوگراف و هيدروگراف است تا با داشتن اطلاعات مربوط به بارندگي بتوان به هيدروگراف سيلاب و ويژگي‌هاي آن در حوزه معرف كسيليان به مساحت ۶۶/۷۵ كيلومتر مربع دست يافت. براي انجام تحقيق حاضر ۱۵ ويژگي از هايتوگراف، ۱۱ ويژگي از هيدروگراف و همچنين ۱۲ شاخص زماني رابط بين‌هايتوگراف و هيدروگراف براي ۴۹ رگبار مد نظر قرار گرفت. ارتباط بين اين متغيرها به صورت اشكال مختلف رگرسيون دو و چندمتغيره بررسي شد. نتايج به‌دست آمده ضمن تأييد امكان تهيه هيدروگراف با استفاده از اجزاي هايتوگراف نشان داد كه با داشتن مدت بارش مازاد مي‌توان به ساده‌ترين شكل هيدروگراف دست يافت، درحالي‌كه با داشتن مدت و مقدار بارش مازاد و زمان وقوع بيشينه شدت ۱۵ دقيقه‌اي مي‌توان به كامل‌ترين شكل يک هيدروگراف در منطقه موردبررسی دسترسي پيدا كرد.

واژه‌هاي كليدي: هايتوگراف، هيدروگراف، مدل‌هاي بارندگي-رواناب، مدل‌هاي رگرسيوني، كسيليان و ايران

نويسنده مسئول: تلفن: ۳-۶۲۵۳۱۰۱-۰۱۲۲ فاكس: ۶۲۵۳۴۹۹-۰۱۲۲ E-mail:sadeghi@modares.ac.ir

مقدمه

تهیه و اجراي طرح‌هاي مختلف مانند طرح‌هاي توسعه‌اي، طراحـــي ســـازه‌هـــاي هیـــدرولوژیکي و هیـــدرولیکي و برنامـه‌ریـزي‌هـاي مربـوط بـه حفاظـت آب و خـاک، بـه مجموعه‌اي از اطلاعات مربوط به بارندگي و رواناب نیاز دارد که تهیه هیدروگراف و تعیین اجزاي آن بخش مهمي از این کـار را تشـکیل مـي‌دهـد. تهیـه هیـدروگراف بـراي کلیـه رگبارهاي یک حوزه کار ساده‌اي نیسـت و نیـاز بـه صـرف دقّت، هزینه و امکانات زیاد دارد. محـدودیت‌هـاي مختلـف مانند کافي نبودن ایستگاه‌هاي هیدرومتري، مشـکل بـودن جمع‌آوري داده‌هاي هیدرومتري از آبراهه‌هـاي رتبـه پـایین که عرصه‌هاي اصلي عملیات آبخیزداري هستند، همراه بـا هزینه‌بر بودن جمع‌آوري آمار و اطلاعات مشاهده‌اي ایجـاب مي‌کند که براي برآورد هیـدروگراف سـیلاب از مـدل‌هـاي هیدرولوژي در این زمینه استفاده شود. با توجه به دسترسي آسان و بیش‌تر به آمـار بارنـدگي، تهیـه مـدل هیـدرولوژي مبتني بر مشخصه‌ها و اطلاعات بارندگي بسـیار کـاربردي و منطقي به‌نظر مي‌رسد.

در این زمینه تحقیقات اغلب با تمرکز بر مدل‌هاي بـارش-رواناب صورت گرفته است. در ایـن خصـوص مـي‌تـوان بـه تحقیقـات میمیکـو و رائـو (۱۹۸۳) در تهیـه مـدل‌هـاي منطقه‌اي خطي و غیرخطي ماهانه براي بعضـي حـوزه‌هـاي آبخیز هند (۱۵)، ملچینگ (۱۹۹۱) در کاربرد مدل بـارش-رواناب RORB در یک حوزه آبخیـز در ایلینـویز[۱] مرکـزي (۱۴) و رادوان و همکـاران (۱۹۹۹) در اسـتفاده از سیسـتم NAM براي شش زیر حوزه در حـوزه آبخیـز بلژینـا ریـور دندر[۲] اشـاره کـرد (۱۶). صـادقي و همکـاران (۲۰۰۰) نیـز ارتباط بین شدت، مدت و مقدار بارش را با حجـم، اوج و زمـان وقـوع روانـاب در حـوزه آبخیـز امامـه بـا اسـتفاده از معادلات پیاپي بررسی کردند و به مدل‌هاي مناسـب دسـت یافتنـــد (۱۷). ســـید و همکـــاران (۲۰۰۲) تحقیقـــی روي ویژگي‌هاي هندسي رگبارها و ارتبـاط آن بـا روانـاب انجـام دادند (۱۹). نتایج به‌دست آمده از این تحقیق نشان داد که پوشش منطقه‌اي رگبار به‌دلیل عدم پوشـش کامـل حـوزه، شـاخص خـوبي بـراي ارزیـابي روانـاب تولیـدي نیسـت. در حالي‌که پوشش نقطه‌اي هسته رگبارهـاي ۱۰ دقیقـه‌اي بزرگ تر از ۲۵ میلـي‌متـر بـر سـاعت عامـل بهتـري بـراي پیش‌بیني حجم رواناب و مقدار اوج ارزیابي شد. بن خالـد و همکـاران (۲۰۰۴) در تحقیـق خـود در الجزیـره بـر تـاثیر شاخص بارش پیشین[۳] در ارتباط با مشـارکت قسـمت‌هـاي مختلف حـوزه آبخیـز بـر شـکل هیـدروگراف سـیل تاکیـد داشته‌اند (۱۰).

در ایران نیز عـدل (۱۳۷۳) بـه‌منظـور تهیـه هیـدروگراف واحد براي زیرحوزه‌هـاي رودخانـه کـرج از مـدل HEC-1 استفاده کرد که در مجموع دبي اوج سیلاب‌هـاي محاسـبه شده با مقادیر اندازه‌گیـري‌شـده در بارنـدگي‌هـاي متفـاوت مطابقت داشته است (۳). قـائمي و مریـد (۱۳۷۵) در یـک مطالعه موردي ضـمن معرفـي شـش عامـل تـاثیرگـذار بـر سیلاب شامل عمق بارندگي، زمان بارنـدگي، عمـق بـرف انباشته شده، شیب و شکل حوزه، جنس زمین و پوشـش گیاهي و ارزش‌گذاري کمي آن‌ها با نظر کارشناسي، شدت سیل‌خیزي زیرحوزه‌هاي رودخانـه کرخـه را تعیـین کردنـد (۴). مرید و همکاران (۱۳۷۶) براي شبیه‌سـازی بارنـدگي-رواناب در استان هرمزگان مدل HEC-1 را بـراي تعـدادي از سیل‌هاي مهم حوزه‌هاي آبخیز به‌کار گرفتند. بـر اسـاس نتایج به‌دست آمده، مدل مذکور بـه‌طـور مطلـوبي امکـان شبیه‌سازي بارندگي- رواناب در منطقه را داشته اسـت (۶). ویسکرمي (۱۳۷۸) نیز مقدار رواناب براي هـر زیـرحـوزه از آبخیز کشکان در استان لرسـتان را بـا اسـتفاده از شـاخص بارش پیشین به عنوان معیاري برای بررسي رطوبـت قبلـي خاك در زمان وقوع رگبارهاي مختلف بـه دسـت آورد (۹). قهرائي (۱۳۷۹) به بررسي تاثیرپذیري هیدروگراف خروجي چندین حوزه در استان فارس با استفاده از الگو و گام زماني بارندگي و مدل ریاضي پرداخت و نتایج کـار بـا اسـتفاده از

۱- Illinois

۲- Belgina River Dender

۳- Antecedent Precipitation Index, API

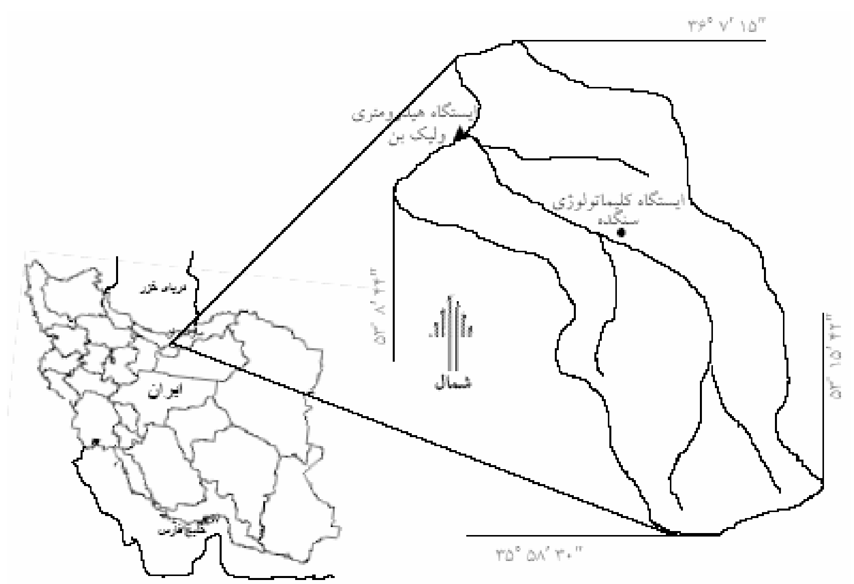
روش‌هاي كمي و كيفي مناسب مورد ارزيابي موفقيت‌آميز قرار گرفت (۵).

بررسي تحقيقات صورت‌گرفته در اين زمينه نشان مي‌دهد كه در خصوص تهيه هيدروگراف با استفاده از اجزاي مختلف بارندگي در حوزه‌هاي آبخيز كار زيادي صورت نگرفته است، ازاين رو هدف از انجام اين تحقيق پيدا كردن مدل يا مدل‌هاي مناسب براي تعيين مهم ترين عامل تعيين‌كننده اجزاي مختلف هيدروگراف با استفاده از خصوصيات بارندگي در حوزه آبخيز كسيليان است. فرضيه مورد نظر در اين بررسي را مي‌توان در امكان تعيين مشخصه‌هاي هيدروگراف با استفاده از اطلاعات قابل حصول از هايتوگراف‌ها دانست.

مواد و روش‌ها

منطقه موردبررسی حوزه معرف كسيليان واقع در دامنه شمالي سلسله جبال البرز در استان مازندران است و بين ″۳۰ ′۵۸ °۳۵ و ″۱۵ ′۷ °۳۶ عرض شمالي و ″۴۴ ′۸ °۵۳ و ″۴۲ ′۱۵ °۵۳ طول شرقي و در ۱۸ كيلومتري شرق پل سفيد واقع شده است. مرز جنوبي حوزه معرف كسيليان از ارتفاعات ۲۷۰۰ متري شروع و بعد از ارتفاعات مياني حوزه با كاربري جنگل، به دره آبرفتي- مسكوني ختم مي‌شود. پايين‌ترين حد ارتفاعي حوزه از سطح دريا ۱۱۰۰ متر و مساحت حوزه ۶۶/۷۵ كيلومتر مربع است.

حوزه آبخيز كسيليان به‌دليل واقع شدن در دامنه شمالي البرز پوشش غالب جنگلي دارد. اقليم حوزه مطابق با طبقه بندي دومارتن در محدوده نيمه‌مرطوب تا بسيار مرطوب قرار دارد (۲). حوزه آبخيز كسيليان داراي سه ايستگاه كليماتولوژي و ۹ ايستگاه باران‌سنجي است. آمار ايستگاه كليماتولوژي سنگده واقع در ارتفاع ۱۳۷۰ متري از سطح دريا و در نزديكي مركز حوزه به‌دليل طول و صحت آماري بيش‌تر براي تحقيق حاضر استفاده شده است. ايستگاه هيدرومتري حوزه در ارتفاع ۱۲۰۰ متر از سطح دريا و در نزديكي روستاي وليك‌بن قرار دارد و مجهز به پارشال فلوم بتني، اشل و ليمنوگراف است كه مي‌تواند دبي را تا حدود ۲۰ متر مكعب بر ثانيه اندازه‌گيري كند (۱). اطلاعات مورد استفاده در اين تحقيق مربوط به اين دو ايستگاه است. شكل ۱ سيماي كلي منطقه به‌همراه موقعيت ايستگاه‌هاي هواشناسي و هيدرومتري حوزه را نشان مي‌دهد.



شکل ۱- نقشه حوزه آبخیز کسیلیان و موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری

اطلاعات مورد نیاز براي این تحقیق شامل هایتوگراف هر رگبار و هیدروگراف جریان ناشي از آن طي دوره آماري ۱۳۵۴ تا ۱۳۷۶ از منابع مختلف جمع‌آوري شد. موجودیت هایتوگراف و هیدروگراف مربوط به هر رگبار، اطمینان از وابستگي هیدروگراف به رگبار انتخابي و همچنین منفرد و نسبتاً زنگوله‌اي شکل بودن هیدروگراف‌ها به‌عنوان ملاک‌هاي مورد نظر در انتخاب رگبارها مد نظر قرار گرفت. به‌این ترتیب ۴۹ رگبار براي آغاز این تحقیق به‌دست آمد که به‌ترتیب از ۴۰ و ۹ عدد آن در واسنجي و تأیید مدل‌ها استفاده شد.

در مرحله بعد به‌منظور دستیابي به مشخصه‌هاي اصلي هیدروگراف و همچنین موقعیت زماني آن نسبت به وقوع بارش، از بررسي ارتباط بین‌هایتوگراف و هیدروگراف استفاده شده و در این زمینه ۳۸ مشخصه براي هر رگبار تعیین و محاسبه شد. این شاخص‌ها علاوه بر لحاظ بسیاري از موارد منظور در شناسایي توزیع‌هاي زماني رگبارهاي مولد سیلاب در برخي از حوزه‌هاي آبخیز رودخانه کارون (۸)، شامل سه دسته کلي اجزای هایتوگراف، اجزای هیدروگراف سیل و شاخص هاي زماني رابط بین‌هایتوگراف و هیدروگراف دیگر نیز بوده است. اجزای هایتوگراف شامل مقدار بارش کل، دوام بارش کل، مقدار بارش مازاد، مرکز ثقل بارش مازاد، مرکز ثقل‌هایتوگراف کل بارش، شدت متوسط بارش، بیشینه شدت ۳۰ دقیقه‌اي رگبار، زمان وقوع بیشینه شدت ۳۰ دقیقه‌اي رگبار، بیشینه شدت ۱۵ دقیقه‌اي رگبار، زمان وقوع بیشینه شدت ۱۵ دقیقه‌اي رگبار، مقدار بارش در چارک اول، دوم، سوم و چهارم و دوام بارش مازاد بوده است. اجزای هیدروگراف سیل شامل زمان پایه، حجم رواناب، ارتفاع رواناب، مرکز ثقل هیدروگراف، دبي اوج، زمان تا اوج، نقطه عطف، زمان وقوع نقطه عطف پس از اوج بود و عرض ۲۵% ، عرض۵۰% و عرض ۷۵% هیدروگراف نیز پس از جدا کردن آب پایه محاسبه شدند.

شاخص‌هاي زماني رابط بین هایتوگراف و هیدروگراف نیز یک بار بین هایتوگراف کل بارش و هیدروگراف رواناب مستقیم و یک بار نیز بین هایتوگراف مربوط به بارش مازاد و هیدرگراف رواناب مستقیم محاسبه شد و شامل فاصله زماني بین انتهاي‌هایتوگراف تا نقطه عطف، مرکز ثقل‌هایتوگراف تا مرکز ثقل هیدروگراف، مرکز ثقل‌هایتوگراف تا اوج هیدروگراف، انتهاي‌هایتوگراف تا مرکز ثقل هیدروگراف، انتهاي‌هایتوگراف تا اوج هیدروگراف و ابتداي‌هایتوگراف تا ابتداي هیدروگراف بود که به‌منظور تعیین موقعیت زماني هیدروگراف نسبت به‌هایتوگراف مولّد آن مورد استفاده قرار گرفته است.

در مرحله بعد به‌منظور تعیین ارتباط بین متغیرهاي مستقل و وابسته از رگرسیون دومتغیره[1] و چند متغیره[2] استفاده شد. در رگرسیون دومتغیره، ارتباط بین تک تک متغیرهاي وابسته شامل ۱۱ ویژگي هیدروگراف و همچنین ۱۲ شاخص زماني رابط بین‌هایتوگراف و هیدروگراف، با متغیرهاي مستقل شامل ۱۵ ویژگي ازهایتوگراف به شکل دوتایي بررسي شد. روابط دوتایي بین متغیرها در حالت‌هاي خطي، لگاریتمي، معکوس، معادله درجه دو، معادله درجه سه، ترکیبي، تواني، حالت S ، مدل منحني رشد و مدل نمایي بررسي شد.

براي تعیین ارتباط خطي بین متغیرهاي مستقل و وابسته، رگرسیون خطي چندمتغیره نیز مورد استفاده قرار گرفت. در این مرحله به‌منظور تأیید آزمون رگرسیون و بررسي فرضیه‌هاي مرتبط آزمون نرمال بودن داده‌هاي مستقل و وابسته با استفاده از آزمون کلموگروف- اسمیرونف[3]، آزمون همگني واریانس خطاها با استفاده از رسم نمودار مقادیر خطاي استاندارد شده در مقابل مقادیر پیش‌بیني استاندارد شده، آزمون عدم خودهمبستگي بین خطاها با استفاده از آماره دوربین-واتسون[4]، آزمون نرمال بودن خطاها با استفاده از آزمون کلموگروف- اسمیرونف و تحلیل نقاط پرت با استفاده از آماره تشخیص[5] انجام گرفت (۱۳).

بعد از تأیید تمامي‌فرضیه‌هاي مذکور اقدام به انجام رگرسیون بین متغیرهاي وابسته و مستقل شد. به منظور

۱- Bivariate

۲- Multivariate

۳- Kolmogrov-Smirnov

۴- Durbin-Watson

۵- Case wise Diagnostics

كاهش تعداد متغيرهاي مستقل (۱۵عدد) از روش آماري تجزيه و تحليل عامل اصلي[1] استفاده شد. سپس روش‌هاي معمول انجام آزمون رگرسيون چند متغيره شامل گام به گام[2]، پيش‌رو[3] و پس‌رو[4] مورد استفاده قرار گرفت. بهاين ترتيب براي هر متغير وابسته يک، دو يا چند رابطه به‌دست آمد. از ميان روابط به‌دست آمده، با توجه به درجه آزادي n-۲ مدل‌هايي كه ضريب تبيين آن‌ها در سطح ۱ و ۵ درصد به‌ترتيب مساوي يا بزرگ‌تر از ۰/۱۶ و ۰/۰۹۶ بود، انتخاب (۷) و سرانجام مدل‌هاي با ضريب همبستگي بالاتر به عنوان مدل‌هاي نهايي در اين مرحله برگزيده شدند (۷). سپس انتخاب نهايي مدل‌ها، با استفاده از سه معيار خطاي نسبي[5]، مجذور ميانگين مربعات خطا[6] و ضريب كارايي[7](۱۲) بر اساس روابط زير صورت گرفت:

$$RE = 100\left|\frac{Q_o - Q_e}{Q_o}\right| \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{n}^{i=1}(Q_o - Q_e)^2}{n}} \quad (2)$$

$$QE = \frac{\frac{1}{n}\sum_{n}^{i=1}(Q_o - \bar{Q}_o)^2 - \frac{1}{n}\sum_{n}^{i=1}(Q_o - Q_e)^2}{\frac{1}{n}\sum_{n}^{i=1}(Q_o - \bar{Q}_o)^2} \quad (3)$$

كه در آن‌ها RE خطاي نسبي، RMSE مجذور ميانگين مربعات خطا، QE ضريب كارايي، Q_o مقدار مشاهده‌اي دبي، $\bar{Q}_o$ ميانگين مقادير مشاهده‌اي دبي، Q_e مقدار تخميني دبي و n تعداد مشاهدات است.

براي انتخاب مدل‌هاي نهايي در اين مرحله خطاي نسبي تخمين براي كليه روابط به‌دست آمد. همچنين خطاي نسبي براي ۹ سري از داده‌ها، كنار گذاشته شده براي اعتبارسنجي مدل‌ها، محاسبه شد. در نهايت روابطي كه خطاي نسبي تخمين آن‌ها كم‌تر از ۴۰ درصد و خطاي نسبي تأييد آن‌ها كم‌تر بود، به‌عنوان مدل‌هاي معتبر و برتر انتخاب شد (۱۱). همچنين شرط ضريب كارآيي بزرگ‌تر و نزديک به يک و مجذور ميانگين مربعات خطا نزديک‌تر به صفر براي نهايي‌سازي مدل‌ها استفاده شد (۱۲). براي تأييد مدل‌ها از روش كيفي نيز استفاده شد. در اين روش با رسم هيدروگراف هاي تخميني و مشاهده‌اي روي يک محور مختصات، اين دو نمودار به لحاظ ظاهري و تطابق اجزاي مهم آن‌ها مانند دبي اوج، زمان تا اوج، زمان پايه و شكل كلي با يک‌ديگر مقايسه شدند.

نتايج

به‌منظور رسيدن به مدل‌هاي مناسب براي تهيه هيدروگراف با استفاده از اجزاي هايتوگراف، ارتباط بين متغيرهاي مستقل (اجزاي‌هايتوگراف) و وابسته (اجزاي هيدروگراف) به شكل‌هاي مختلف بررسي شد. سپس از ميان روابط به‌دست آمده براي هر متغير وابسته، با توجه به ضريب همبستگي، خطاي نسبي تخمين و تأييد، مجذور ميانگين مربعات خطا و ضريب كارآيي، مدل‌هاي نهايي براي حوزه آبخيز كسيليان به‌همراه شاخص‌هاي كمي ارزيابي عملكرد آن‌ها شامل ضريب تبيين، خطاي تخمين و تأييد به شرح ارائه شده در جدول ۱ انتخاب شدند.

همان‌طور كه در بخش قبل گفته شد، پيش از اقدام به آزمون رگرسيون خطي چند متغيره، روش تجزيه و تحليل عاملي روي متغيرهاي مستقل، براى كاهش تعداد آن‌ها اجرا شد. با اجراي اين روش چهار عامل به دست آمد كه از هر كدام يک متغير با بيش‌ترين ضريب همبستگي به‌عنوان نماينده آن عامل انتخاب شد. نتايج حاصل از روش تجزيه و تحليل عاملي نشان داد كه دربيش‌تر موارد سطح معني‌دار

۱- Principle Component Analysis

۲- Stepwise

۳- Forward

۴- Backward

۵- Relative Error

۶- Root Mean Square of Error

۷- Coefficient of Efficiency

بودن آزمون بيش از ۵ درصد بـوده و در سـاير مـوارد نيـز كاهش تعداد متغيرهاي مستقل موجب كاهش دقّت شـده است، به‌طوري كه ضريب همبستگي به‌جـز در دو مـورد از ۲۵ درصد تجاوز نكرد. در ادامه تحقيق از رگرسـيون خطـي چندمتغيره بـه سـه روش گـام بـه گـام، پـيش‌رو و پـس‌رو استفاده شد. بررسي نتايج نشان داد كه رگرسيون بـه روش گام به گام و پيش‌رو نتـايج يكسـاني داد. همچنـين درصـد خطاي تخمين متغيرهاي زمان تا اوج، دبي اوج و دبي نقطه عطف با وجود معنـي‌دار بـودن رابطـه و حتّـي زيـاد بـودن ضريب همبستگي بالا بـوده و بـه همـين دليـل اسـتفاده از آن‌ها در تخمين متغيرهاي نامبرده از دقّت خوبي برخـوردار نخواهد بود. از طرفي، براي اين متغيرها به روش رگرسيون دو متغيره نيز رابطه‌اي با خطاي قابل قبول به‌دسـت نيامـد. براي حل اين مشكل از معادلات پياپي استفاده شـد (۱۷)، بدين ترتيب كه روابط دوتايي بين خود متغيرهـاي وابسـته بررسي شد تا با محاسبه متغيرهاي وابستة داراي مدل‌هـاي منطقي به مدل‌هاي مناسب براي محاسبه ايـن سـه متغيـر دست يافت. مدل‌هاي به‌دست آمده براي اين سه متغير نيز در جدول ۱ ارائه شده‌اند. تأييد به صورت كيفي نيز بـا روي هـم انـداختن هيـدروگراف‌هـاي مشـاهده‌اي و تخمينـي و مقايسه چشمي‌براي هشت رگبار انجام شد (شكل ۲).

بحث

بررسي جدول ۱ نشان مي‌دهد كه بـراي همـه متغيرهـاي وابسته به‌جز شش مورد فاصله زماني وقوع نقطه عطف پس از اوج، فاصله زماني بين انتهاي بارش كل تـا نقطـه عطـف، مركز ثقل بارش كل تا مركز ثقل هيدروگراف، مركـز ثقـل بارش كل تا اوج هيدروگراف، مركـز ثقـل بـارش مـازاد تـا مركز ثقـل هيـدروگراف و مركـز ثقـل بـارش مـازاد تـا اوج هيدروگراف مقادير ثابتي به‌ترتيـب برابـر بـا ۰/۱۹، ۶/۱۹، ۹/۸۸، ۷/۲۳، ۹/۷۹ و۷/۱ ساعت روابط مشخص به‌دسـت آمد. با توجه به تعاريف اين متغيرها (۷) نشان مى دهد كـه مقدار اين متغيرها براي يک حوزه آبخيـز بـه نسـبت ثابـت است، از اين رو تخمين اعداد ثابت از طريق مدل‌هـاي بـه-دست آمده نيز منطقي به‌نظر مي‌رسد.

براي متغيرهـاي زمـان پايـه، حجـم روانـآب، مركـز ثقـل هيدروگراف، عرض ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصـد، انتهـاي بـارش كل تا مركز ثقل هيدروگراف، انتهاي بـارش كـل تـا دبـي اوج، ابتداي بارش كل تا ابتداي هيدروگراف، انتهاي بارش مازاد تا دبي اوج و ابتداي بارش مازاد تا ابتداي هيدروگراف، رابطه به‌دست آمده به شكل دومتغيره تواني و درجه سـه و براي دو مورد انتهاي بارش مازاد تـا نقطـه عطـف و انتهـاي بارش مازاد تا مركز ثقل هيدروگراف به شكل چنـد متغيـره تواني است.

نتايج كاربرد دو كميـت مجـذور ميـانگين مربعـات خطـا (RMSE) و ضريب كارآيي (QE) براي ۹ واقعه در مرحله تاييد با ميـانگين بـه‌ترتيـب حـدود ۰/۵۷ و ۰/۶ و واقـع در دامنه قابل قبول فرآيند مـدل‌سـازي (۱۲) نيـز دلالـت بـر امكان شبيه سازي هيدروگراف با استفاده ازهايتوگراف دارد كه با ديدگاه صادقي و همكـاران (۲۰۰۰) در حـوزه آبخيـز امامه و قهرائي (۱۳۷۹) در استان فـارس در ايـن خصـوص همسوست. همچنين بررسي خطاها نشان مي‌دهد كه درصد خطاي تخمين در روابط چند متغيره از ۱/۷۴ تـا ۱۶۶ و در روابط دو متغيره از ۲/۵ تا ۴۵۲ تغيير مي‌كند. درصد خطاي تاييد نيـز در روابـط چنـد متغيـره از ۴/۳۹ تـا ۳۴۳۸ و در روابط دومتغيره از ۱/۱۶ تا ۱۸۵۱ تغيير مي‌كنـد. دقّـت در مدل‌هاي به‌دست آمده (جدول ۱) نشان مي‌دهد كه دامنـه خطاي نسبي در مرحله واسنجي و تأييد به‌ترتيـب ۷/۹۳ تـا ۴۵۲/۹۷ درصـد و ۲/۷۳ تـا ۴۳/۶۵ درصـد و كـم‌تـرين و بيش‌ترين خطاي تخمين نيز بـه‌ترتيـب مربـوط بـه متغيـر فاصله زماني بين انتهاي بـارش مـازاد تـا دبـي اوج و زمـان وقوع مركز ثقل هيـدروگراف نسـبت بـه ابتـداي آن اسـت. همان گونه كه از روابط نهـايي‌شـده در جـدول ۱ اسـتنباط مي‌شود، كلّيه روابط به‌دست آمده بـين اجـزاي بارنـدگي و رواناب در حوزه مورد بررسى به‌صورت تواني است كه دلالت بر سرشت غيرخطي ارتباط اين دو مقوله با يک‌ديگر دارد و با يافته‌هاي سينگ (۱۹۹۲) همسوست.

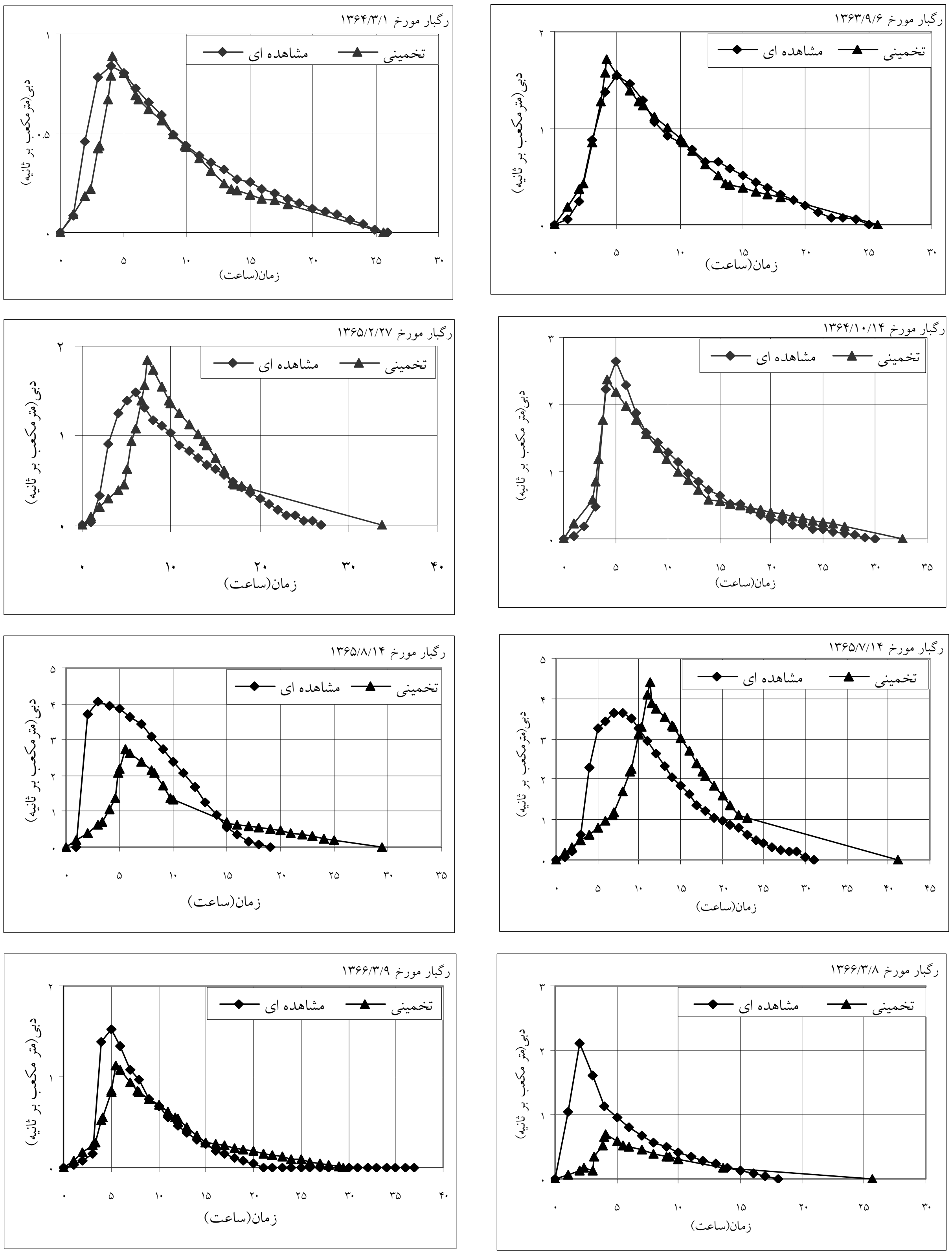
با بررسي هيدروگراف‌هاي مشاهده‌اي و تخميني در شكل ۲ مشاهده مي‌شود كه هيدروگراف‌هاي مشاهده‌اي مربوط به فصل سرد سال هم‌خواني بيش‌تري با هيدروگراف تخميني دارد، درحالي‌كه در مورد هيدروگراف‌هاي دو فصل بهار و تابستان اين هم‌خواني كم‌تر به چشم مي‌خورد. علّت اين مسئله را مي‌توان در نزول قسمتي از بارش در فصل سرد به‌صورت برف و ذوب آن در فصل گرم در اثر ريزش باران گرم روي آن و همچنين تاثير شرايط رطوبت پيشين خاك و مطابق با يافته‌هاي بن خالد و همكاران (۲۰۰۴) در الجزيره و ويسكرمي (۱۳۷۸) در استان لرستان جست وجو كرد كه موجب اختلاف زياد بين هيدروگراف مشاهده‌اي و تخميني مي‌شود. شدت‌هاي زيادي بارندگي نيز در فصل گرم مي‌تواند دليل ديگر عدم هم‌خواني باشد. در واقع، شدت زياد بارندگي موجب واكنش سريع حوزه و تهيه هيدروگراف مشاهده‌اي نوك تيز شده، درحالي‌كه اين موضوع در مدل‌سازي مد نظر قرار نگرفته است.

با توجه به نتايج اين تحقيق مي‌توان گفت كه هدف از انجام اين تحقيق دست يافتن به هيدروگراف سيلاب با استفاده از اجزاي هايتوگراف بوده است. در اين تحقيق ۱۵ ويژگي هايتوگراف و ۱۱ ويژگي هيدروگراف، همچنين ۱۲ شاخص زماني رابط بين هايتوگراف و هيدروگراف براي ۴۹ رگبار مد نظر قرار گرفت و تعيين شد. از بخش اول اطلاعات براي تخمين خصوصيات هيدروگراف و از شاخص هاي زماني براي تعيين موقعيت زماني هيدروگراف نسبت به هايتوگراف استفاده شد. با بررسي ارتباط رگرسيوني به صورت دو متغيره و چند متغيره، اين تحقيق توانست براي همه متغيرهاي وابسته به مدل قابل قبولي دست يابد و پاسخگوي فرضيه تعريف شده مبني بر امكان تعيين مشخصه‌هاي هيدروگراف با استفاده از اطلاعات قابل حصول ازهايتوگراف‌ها باشد. براي رسيدن به هيدروگراف سيلاب با داشتن فقط مدت بارش مازاد مي‌توان به ساده‌ترين شكل آن (هيدروگراف مثلثي) دست يافت، درحالي‌كه با داشتن مدت بارش مازاد، مقدار بارش مازاد و زمان وقوع بيشينه شدت ۱۵ دقيقه‌اي مي‌توان به كامل ترين شكل هيدروگراف دسترسي پيدا كرد. همچنين در جمع‌بندي نهايي مي‌توان گفت كه عدم دستيابي به متغيرهاي مؤثر مشابه بر خصوصيات سيلاب و هم‌چنين ديدگاه‌هاي يكسان در نتايج به‌دست آمده در مقايسه با يافته‌هاي ساير محقّقان در ديگر حوزه‌هاي آبخيز دلالت بر نوآوري روند انجام تحقيقات در زمينه استخراج هيدروگراف از هايتوگراف دارد، از اين رو انجام تحقيقات منطقه‌اي و محلي در اين زمينه تأكيد مي‌شود. بررسي كارآيي مدل‌هاي تهيه شده در ساير حوزه‌هاي آبخيز، بررسی تاثير خصوصيات زماني و مكاني رگبارها بر خصوصيات هيدروگراف سيلاب و تفكيك نقش و عملكرد برف در شكل‌دهي هيدروگراف سيلاب در تحقيقات بعدي پيشنهاد مي‌شود.

جدول ۱- بهترین مدل‌های به‌دست آمده برای حوزه آبخیز کسیلیان

رابطه	مدل	ضریب تبیین	خطا (%)	
			تخمین	تایید
(۴)	$t_b = ۳۳/۷۷T_e^{۰/۱۹۷}$	۰/۳۱	۲۲/۸۳	۳۹/۱۰
(۵)	$V = ۵۴۹۵/۴۱^{۱/۴۳T_e - ۰/۳۸T_e^۲ + ۰/۰۳T_e^۳} + ۲۲۱۷۰$	۰/۳۲	۱۶/۸۴	۷/۱۳
(۶)	$C_h = ۱۱/۶۶T_e^{۰/۳۱}$	۰/۲۷	۴۵۲/۹۷	۴۱/۸۲
(۷)	$Q_P = ۱/۰۰۰۲^{(\log(V-۲۲۱۷۰))^{۰/۹۱۹۸}} + ۰/۵۶$	۰/۷۵	۳۴/۱	۲۵/۹۴
(۸)	$t_p = ۰/۲۶۱۹C_h^{۱.۳۶۰۳}$	۰/۸۱	۳۱/۱۶	۱۹/۱۹
(۹)	$Q_f = ۰/۲۲^{۲/۱۲\log(Q-۰/۳۲) - ۰/۰۹(\log(Q-۰/۳۲))^۲ + ۰/۰۱(\log(Q-۰/۳۲))^۳} + ۰/۳$	۰/۸۶	۳۵/۰۰	۴۰/۰۰
(۱۰)	$t_{Qf} = ۰/۱۹$	-	-	-
(۱۱)	$W_{۰/۲۵\%} = ۱۰/۸۲ + ۱/۵۸T_e$	۰/۱۷	۳۸/۵۰	۴۳/۶۵
(۱۲)	$W_{۵۰\%} = ۷/۳۳ + ۲/۶۸\log(t_{i\max۱۵} + ۰/۱)$	۰/۱۳	۳۶/۶	۱۹/۹۴
(۱۳)	$W_{۷۵\%} = ۳/۳۸۴۲ \times ۱/۴۷۷۶^{\log(P_e - ۰/۳۲)}$	۰/۱۵	۴۹/۴	۳۵/۵۳
(۱۴)	$t_{eP-Q_f} = ۶/۱۹$	–	–	–
(۱۵)	$t_{C_p-C_h} = ۹/۸۸$	–	–	–
(۱۶)	$t_{C_p-Q_p} = ۷/۲۳$	–	–	–
(۱۷)	$t_{eP-C_h} = ۲/۴۵^{-۰/۲۱C_۳ + ۰/۰۴C_۳^۲ - ۰/۰۰۳C_۳^۳} - ۵$	۰/۲۶	۲۴/۲۳	۱۲/۷۶
(۱۸)	$t_{eP-Q_p} = ۲۰/۷۶^{-۰/۰۰۹P} - ۱۱/۷$	۰/۱۱	۲۴/۴۷	۵/۱۸
(۱۹)	$t_{sP-sH} = ۲۰/۰۲^{۰/۰۹T_e - ۰/۰۶T_e^۲ + ۰/۰۱T_e^۳} - ۲۰$	۰/۲۶	۹/۵۶	۲/۷۳
(۲۰)	$t_{eP_e-Q_f} = ۲۴/۶^{۰/۳۴\log(P_e - ۰/۳۲) - ۰/۴۷\log(C_{p_e} - ۰/۱۱) + ۰/۱۳\log(C_p - ۰/۳۲) - ۰/۱۳\log(t_{i\max۳۰} + ۰/۱) - ۰/۰۱۶C_۳} - ۱۲$	۰/۴۴	۹/۱۹	۲۳/۶۳
(۲۱)	$t_{C_{p_e}-C_h} = ۹/۷۹$	-	-	-
(۲۲)	$t_{C_{p_e}-Q_p} = ۷/۱$	-	-	-
(۲۳)	$t_{eP_e-C_h} = ۱۵/۱۳^{-۰/۱۵\log(C_{p_e} - ۰/۱۱) + ۰/۱۷\log(C_p - ۰/۳۲) - ۰/۱۲\log(t_{i\max۳۰} + ۰/۱) - ۰/۰۱۹C_۱} - ۴/۷$	۰/۲۷	۱۵/۹۵	۸/۲۶
(۲۴)	$t_{eP_e-Q_p} = ۲۷/۰۶^{۰/۹۸۳^{C_۳}} - ۱۶/۳$	۰/۱۸	۷/۹۳	۴/۷۵
(۲۵)	$t_{sP_e-sH} = ۱۶/۶۹^{۰/۱۳T_e - ۰/۰۸T_e^۲ + ۰/۰۱T_e^۳} - ۱۸$	۰/۲۸	۱۳/۴۶	۲/۹۷

که در آن‌ها مقدار بارش کل (P)، مقدار بارش مازاد (P_e)، مرکز ثقل بارش مازاد (C_{p_e})، مرکز ثقل هایتوگراف کل بارش (C_p)، زمان وقوع بیشینه شدت ۳۰ دقیقه‌ای رگبار $(t_{i\max30})$، زمان وقوع بیشینه شدت ۱۵ دقیقه‌ای رگبار $(t_{i\max15})$، مقدار بارش در چارک سوم (C_3)، دوام بارش مازاد (T_e)، زمان پایه (t_b)، حجم رواناب (V)، ارتفاع رواناب (Q)، مرکز ثقل هیدروگراف (C_h)، دبی اوج (Q_p)، زمان تا اوج (t_p)، نقطه عطف (Q_f)، زمان وقوع نقطه عطف پس از اوج (t_{Qf})، عرض ۲۵% $(W_{25\%})$، عرض ۵۰% $(W_{50\%})$ و عرض ۷۵% هیدروگراف $(W_{75\%})$، انتهای بارش کل تا نقطه عطف (t_{eP-Q_f})، مرکز ثقل بارش کل تا مرکز ثقل هیدروگراف $(t_{C_p-C_h})$، مرکز ثقل بارش کل تا اوج هیدروگراف $(t_{C_p-Q_p})$، انتهای بارش کل تا مرکز ثقل هیدروگراف (t_{eP-C_h})، انتهای بارش کل تا اوج هیدروگراف (t_{eP-Q_p})، ابتدای بارش کل تا ابتدای هیدروگراف (t_{sP-sH})، انتهای بارش مازاد تا نقطه عطف $(t_{eP_e-Q_f})$، مرکز ثقل بارش مازاد تا مرکز ثقل هیدروگراف $(t_{C_{p_e}-C_h})$، مرکز ثقل بارش مازاد تا اوج هیدروگراف $(t_{C_{p_e}-Q_p})$، انتهای بارش مازاد تا مرکز ثقل هیدروگراف $(t_{eP_e-C_h})$، انتهای بارش مازاد تا اوج هیدروگراف $(t_{eP_e-Q_p})$، ابتدای بارش مازاد تا ابتدای هیدروگراف (t_{sP_e-sH}) است. کلیه مقادیر بارندگی به میلي‌متر، شدت به میلي‌متر بر ساعت، دبی به مترمکعب بر ثانیه، حجم سیلاب به مترمکعب و شاخص‌های زمانی به ساعت بیان شده‌اند.



شکل ۲- هیدروگراف مشاهده‌ای و تخمینی رگبارهای مورد بررسی در حوزه آبخیز کسیلیان

منابع

۱- سازمان تحقيقات منابع آب، ۱۳۷۸-۱۳۵۰. گزارش‌هاي آماري حوزه آبخيز كسيليان.

۲- سعادتي، ح. ۱۳۸۰. بررسي اثرات كاربري اراضي بر روي شبيه‌سازي دبي روزانه با استفاده از مدل SWAT (مطالعه موردي:حوزه معرف كسيليان)، پايان‌نامه كارشناسي‌ارشد گروه مهندسي آبخيزداري دانشگاه تربيت مدرس، ۱۲۱ص.

۳- عدل، ا. ۱۳۷۳. ارزيابي هيدرولوژيكي آبهاي سطحي در حوضه رودخانه كرخه تا سد اميركبير با كاربرد نرم افزار HEC-1، مجله عمران دانشگاه صنعتي شريف:۷۵-۹۱.

۴- قائمي، ه. و مريد، س. ۱۳۷۵. مدل سيل‌خيزي زيرحوزه‌هاي كرخه، نيوار، ۳۰: ۸۵-۹۳.

۵- قهرائي، م.ر.، ۱۳۷۹. تبيين الگوي زماني بارندگي و بررسي تاثير گام زماني بارندگي بر هيدروگراف خروجي حوزه، پايان‌نامه كارشناسي‌ارشد آبياري و زهكشي دانشگاه شيراز، ۱۳۵ص.

۶- مريد، س.، قائمي، ه. و ميرابوالقاسمي، ه. ۱۳۷۶. ارزيابي مدل HEC-1 در تشابه سازي بارندگي-رواناب در استان هرمزگان، اولين كنفرانس هيدروليك ايران:۳۳۳ -۳۴۴.

۷- مهدوي، م. ۱۳۷۷. هيدرولوژي كاربردي، جلد دوم، چاپ سوم، انتشارات دانشگاه تهران، ۲۳۴ ص.

۸- نيسي، ي.، ۱۳۷۵. شناسايي توزيع‌هاي زماني رگبارهاي مولد سيلاب در حوضهٔ آبريز خرسان (بارز)، پايان‌نامه كارشناسي ارشد آبياري و زهكشي دانشگاه شهيد چمران اهواز، ۱۸۹ص.

۹- ويسكرمي، ا. ، ۱۳۷۸. بررسي روابط مربوط به كاهشهاي هيدرولوژيك جهت تعيين هيدروگراف سيلاب در حوزه آبخيز كشكان (لرستان)، پايان‌نامه كارشناسي‌ارشد آبخيزداري دانشگاه علوم كشاورزي و منابع طبيعي گرگان، ۱۲۷ص.

10- Benkhaled, A., Remini, B. and Mhaigue, M., 2004. Influence of antecedent precipitation index on the hydrograph shape, *In:* Proceedings of the British Hydrological Society Conference, Imperial College London, 12-16 July 2004: 81-87.

11- Das, G., 2000. Hydrology and soil conservation Engineering, Asoke K. Ghosh, Prentic-Hall of India, 489pp.

12- Green, I.R.A. and Stephenson, D., 1986. Criteria for comparison of single event models. Hydrological sciences Journal, 31:395-411.

13- Hair, J.F., Anderson, R.E., Tatham, R.L. and Black, W.C., 1995. Multivariate data analysis (4th edition). Prentice Hall, upper Saddle River, New Jersey, USA, 745pp.

14- Melching, C.S., 1991. Output reliability as guide for selection of rainfall-runoff models. Journal of Water Recourses Planning and management, 117(3): 383-393.

15- Mimikou, M. and Rao, A.R., 1983. Regional monthly rainfall-runoff model. Journal of Water Resource Planning and Management, 109(1): 75-93.

16- Radwan, M., Willems, P. and Berlamont, J., 1999. Rainfall-runoff modeling as part of integrated watershed management. International Workshop on Modeling of Transport Processes in Soils, Leuven, Belgium, November 1999.

17- Sadeghi, S.H.R., Singh, J.K. and Das, G., 2000. Rainfall-Runoff Relationship Model for Amameh watershed in Iran, *In:* Proceedings International Conference on Integrated Water Resources Management, New Delhi. India: 796-804.

18- Singh, V.P., 1992. Elementary Hydrology, Prentic–Hall, India, 973p.

19- Syed, K.H., Goodrich, D.C., Myers, D.E. and Sorooshian, S., 2002. Spatial characteristics of thunderstorm rainfall fields and their relation to runoff, Journal of Hydrology, 271:1-21.

Development of Hydrograph using Different Rainfall Components in Kasilian Watershed

S. H. R. Sadeghi*[1], M. Mozayyan[2] and H. R. Moradi[3]
[1] Head and Associate Professor, Dept. of Watershed Management Engineering, College of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares Univ., Noor, Mazandaran, I.R. Iran
[2] Former M.Sc. Student, Dept. of Watershed Management Engineering, College of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares Univ., Noor, Mazandaran, Iran and presently Academic Staff, Shahid Chamran University, College of Natural Resources and Environmental Sciences of Behbahan, I.R. Iran
[3] Assistant Professor, Dept. of Watershed Management Engineering, College of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares Univ., Noor, Mazandaran, I.R. Iran
(Received 6 November 2005, Accepted 6 August 2006)

Abstract

Various limitations, including the insufficient number of hydrometric stations, difficulty in collecting hydrometric data and high cost of data and information collection, requires using hydrologic models to estimate flood hydrographs. Application of rainfall data in un-gauged areas is a feasible option owing to their acceptable accuracy. This research is aimed at examining the possibility of integrating characteristics of hyetographs and hydrographs in order to develop the flood hydrograph and recognize its characteristics in Kasilian region with an area of 66.75 sq km, based on the available rainfall data. For this purpose, 15 characteristics of the hyetograph, 11 characteristics of the hydrograph and 11 characteristics of a time index connecting hyetograph and hydrograph for 49 storms were considered. The relationships were investigated using bivariate and multivariate regressions. Results showed hydrographs may be produced based on components of hyetographs, and as well developing simplest form of hydrographs only by the duration of excess rainfall. An almost perfect hydrograph can be produced by calculating the duration and amount of excess rainfall and occurrence time of 15 minutes maximum intensity

Key words: Hyetograph, Hydrograph, Rainfall-Runoff models, Regression models, Kasilian, Iran

* Corresponding author: Tel: 0122-6253101-3 Fax: 0122-6253499 E-mail: sadeghi@modares.ac.ir