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

سيدحميدرضا صادقي*[1]، مليحه مزين[2] و حميدرضا مرادي[3]
[1] دانشيار گروه مهندسي آبخيزداري دانشکده منابع طبيعي، دانشگاه تربيت مدرس، نور، مازندران، ايران
[2] دانش آموخته گروه مهندسي آبخيزداري دانشکده منابع طبيعي، دانشگاه تربيت مدرس، نور، مازندران و عضو هيات علمی دانشکده منابع طبيعی و محيط زيست بهبهان، دانشگاه شهيد چمران، ايران
[3] استاديار گروه مهندسي آبخيزداري دانشکده منابع طبيعي، دانشگاه تربيت مدرس، نور، مازندران، ايران
(تاريخ دريافت: ۸۳/۸/۱۶، تاريخ تصويب: ۸۵/۵/۱۵)

چکيده

محدوديت‌هاي مختلف مانند کافي نبودن ايستگاه‌هاي هيدرومتري، مشکل بودن جمع‌آوري داده‌هاي هيدرومتري، هزينه‌بر بودن جمع‌آوري آمار و اطلاعات مشاهده‌اي، استفاده از مدل‌هاي هيدرولوژي در برآورد هيدروگراف سيل را ايجاب مي‌کند. استفاده از داده‌هاي مربوط به بارندگي به‌دليل دقّت قابل قبول آن‌ها در اغلب مناطق فاقد ايستگاه هيدرومتري، يکي از گزينه‌هاي کاربردي در اين خصوص است. تحقيق حاضر درصدد بررسي امکان 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 کسيليان به مساحت ۶۶/۷۵ کيلومتر 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 اشکال مختلف رگرسيون دو و چندمتغيره بررسي شد. نتايج به‌دست آمده ضمن تأييد امکان تهيه هيدروگراف با استفاده از اجزاي هايتوگراف نشان داد که با داشتن مدت بارش مازاد مي‌توان به ساده‌ترين شکل هيدروگراف دست يافت، درحالي‌که با داشتن مدت و مقدار بارش مازاد و زمان وقوع بيشينه شدت ۱۵ دقيقه‌اي مي‌توان به کامل‌ترين شکل يک هيدروگراف در منطقه موردبررسی دسترسي پيدا کرد.

واژه‌هاي کليدي: هايتوگراف، هيدروگراف، مدل‌هاي بارندگي-رواناب، مدل‌هاي رگرسيوني، کسيليان و ايران

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

مقدمه

تهيه و اجراي طرح‌هاي مختلف مانند طرح‌هاي توسعه‌اي، طراحي سازه‌هاي هيدرولوژيكي و هيدروليكي و برنامه‌ريزي‌هاي مربوط به حفاظت آب و خاک، به مجموعه‌اي از اطلاعات مربوط به بارندگي و رواناب نياز دارد كه تهيه هيدروگراف و تعيين اجزاي آن بخش مهمي از اين كار را تشكيل مي‌دهد. تهيه هيدروگراف براي كليه رگبارهاي يک حوزه كار ساده‌اي نيست و نياز به صرف دقّت، هزينه و امكانات زياد دارد. محدوديت‌هاي مختلف مانند كافي نبودن ايستگاه‌هاي هيدرومتري، مشكل بودن جمع‌آوري داده‌هاي هيدرومتري از آبراهه‌هاي رتبه پايين كه عرصه‌هاي اصلي عمليات آبخيزداري هستند، همراه با هزينه‌بر بودن جمع‌آوري آمار و اطلاعات مشاهده‌اي ايجاب مي‌كند كه براي برآورد هيدروگراف سيلاب از مدل‌هاي هيدرولوژي در اين زمينه استفاده شود. با توجه به دسترسي آسان و بيش‌تر به آمار بارندگي، تهيه مدل هيدرولوژي مبتني بر مشخصه‌ها و اطلاعات بارندگي بسيار كاربردي و منطقي به‌نظر مي‌رسد.

در اين زمينه تحقيقات اغلب با تمركز بر مدل‌هاي بارش-رواناب صورت گرفته است. در اين خصوص مي‌توان به تحقيقات ميميكو و رائو (۱۹۸۳) در تهيه مدل‌هاي منطقه‌اي خطي و غيرخطي ماهانه براي بعضي حوزه‌هاي آبخيز هند (۱۵)، ملچينگ (۱۹۹۱) در كاربرد مدل بارش-رواناب RORB در يک حوزه آبخيز در ايلينويز[1] مركزي (۱۴) و رادوان و همكاران (۱۹۹۹) در استفاده از سيستم NAM براي شش زير حوزه در حوزه آبخيز بلژينا ريور دندر[2] اشاره كرد (۱۶). صادقي و همكاران (۲۰۰۰) نيز ارتباط بين شدت، مدت و مقدار بارش را با حجم، اوج و زمان وقوع رواناب در حوزه آبخيز امامه با استفاده از معادلات پيايي بررسی كردند و به مدل‌هاي مناسب دست يافتند (۱۷). سيد و همكاران (۲۰۰۲) تحقيقي روي ويژگي‌هاي هندسي رگبارها و ارتباط آن با رواناب انجام دادند (۱۹). نتايج به‌دست آمده از اين تحقيق نشان داد كه پوشش منطقه‌اي رگبار به‌دليل عدم پوشش كامل حوزه، شاخص خوبي براي ارزيابي رواناب توليدي نيست. در حالي‌كه پوشش نقطه‌اي هسته رگبارهاي ۱۰ دقيقه‌اي بزرگ تر از ۲۵ ميلي‌متر بر ساعت عامل بهتري براي پيش‌بيني حجم رواناب و مقدار اوج ارزيابي شد. بن خالد و همكاران (۲۰۰۴) در تحقيق خود در الجزيره بر تاثير شاخص بارش پيشين[3] در ارتباط با مشاركت قسمت‌هاي مختلف حوزه آبخيز بر شكل هيدروگراف سيل تاكيد داشته‌اند (۱۰).

در ايران نيز عدل (۱۳۷۳) به‌منظور تهيه هيدروگراف واحد براي زيرحوزه‌هاي رودخانه كرج از مدل HEC-1 استفاده كرد كه در مجموع دبي اوج سيلاب‌هاي محاسبه شده با مقادير اندازه‌گيري‌شده در بارندگي‌هاي متفاوت مطابقت داشته است (۳). قائمي و مريد (۱۳۷۵) در يک مطالعه موردي ضمن معرفي شش عامل تاثيرگذار بر سيلاب شامل عمق بارندگي، زمان بارندگي، عمق برف انباشته شده، شيب و شكل حوزه، جنس زمين و پوشش گياهي و ارزش‌گذاري كمي آن‌ها با نظر كارشناسي، شدت سيل‌خيزي زيرحوزه‌هاي رودخانه كرخه را تعيين كردند (۴). مريد و همكاران (۱۳۷۶) براي شبيه‌سازی بارندگي-رواناب در استان هرمزگان مدل HEC-1 را براي تعدادي از سيل‌هاي مهم حوزه‌هاي آبخيز به‌كار گرفتند. بر اساس نتايج به‌دست آمده، مدل مذكور به‌طور مطلوبي امكان شبيه‌سازي بارندگي- رواناب در منطقه را داشته است (۶). ويسكرمي (۱۳۷۸) نيز مقدار رواناب براي هر زيرحوزه از آبخيز كشكان در استان لرستان را با استفاده از شاخص بارش پيشين به عنوان معياري براى بررسي رطوبت قبلي خاك در زمان وقوع رگبارهاي مختلف به دست آورد (۹). قهرائي (۱۳۷۹) به بررسي تاثيرپذيري هيدروگراف خروجي چندين حوزه در استان فارس با استفاده از الگو و گام زماني بارندگي و مدل رياضي پرداخت و نتايج كار با استفاده از

۱- Illinois

۲- Belgina River Dender

۳- Antecedent Precipitation Index, API

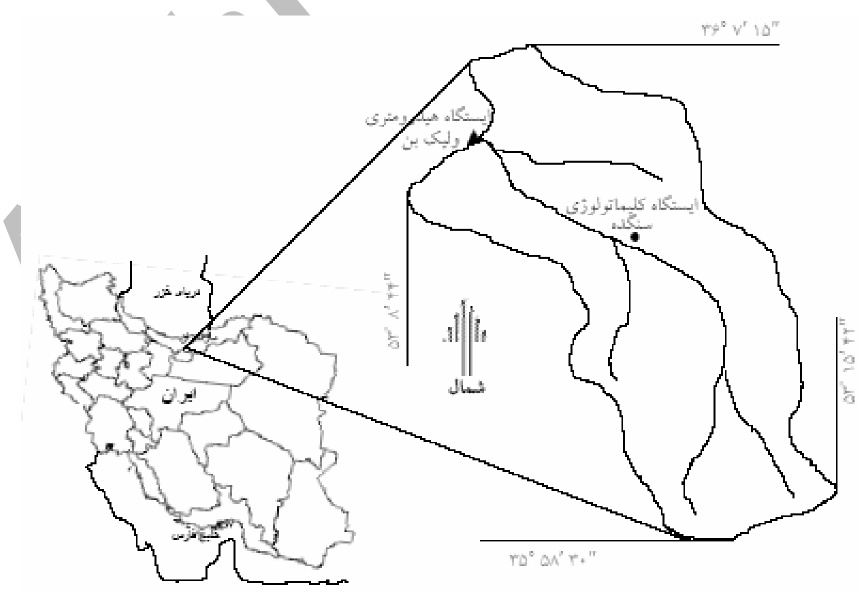
روش‌هاي كمي و كيفي مناسب مورد ارزيابي موفقيت‌آميز قرار گرفت (۵).

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 کسيليان 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 بین هایتوگراف 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 اجزاي هایتوگراف، اجزاي هیدروگراف سیل و شاخص هاي زماني رابط بین هایتوگراف و هیدروگراف دیگر نیز بوده است. اجزاي هایتوگراف شامل مقدار بارش کل، دوام بارش کل، مقدار بارش مازاد، مرکز ثقل بارش مازاد، مرکز ثقل هایتوگراف 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. اجزاي 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% ، عرض ۵۰% 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 انتهاي هایتوگراف تا نقطه عطف، مرکز ثقل هایتوگراف تا مرکز ثقل هیدروگراف، مرکز ثقل هایتوگراف تا اوج هیدروگراف، انتهاي هایتوگراف تا مرکز ثقل هیدروگراف، انتهاي هایتوگراف تا اوج هیدروگراف و ابتداي هایتوگراف تا ابتداي هیدروگراف بود که به‌منظور تعیین موقعیت زماني هیدروگراف نسبت به هایتوگراف 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 بین هایتوگراف 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 (۱۵عـدد) از روش آمـاري تجزيه و تحليل عامل اصلي[1] استفاده شد. سپس روش‌هـاي معمول انجام آزمون رگرسيون چند متغيره شامل گـام بـه گام[2]، پيش‌رو[3] و پس‌رو[4] مورد استفاده قرار گرفـت. بـه‌ايـن ترتيب براي هـر متغيـر وابسـته يـک، دو يـا چنـد رابطـه 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 بـالاتر به عنوان مدل‌هاي نهايي در اين مرحله برگزيده شـدند (۷). سپس انتخاب نهايي مدل‌ها، با استفاده از سه معيار خطاي نسـبي[5]، مجـذور ميـانگين مربعـات خطـا[6] و ضـريب كارايي[7](۱۲) بر اساس روابط زير صورت گرفت:

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

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

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

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 بـه‌دسـت آمـد. همچنـين خطـاي نسبي براي ۹ سـري از داده‌هـا، كنـار گذاشـته شـده بـراي اعتبارسنجي مدل‌ها، محاسبه شـد. در نهايـت روابطـي كـه خطاي نسبي تخمين آن‌هـا كـم‌تـر از ۴۰ درصـد و خطـاي نسبي تأييد آن‌ها كم‌تر بود، به‌عنـوان مـدل‌هـاي معتبـر و برتر انتخـاب شـد (۱۱). همچنـين شـرط ضـريب كـارآيي بزرگ‌تر و نزديک به يک و مجـذور ميـانگين مربعـات خطـا نزديک‌تر به صفر براي نهايي‌سازي مـدل‌هـا اسـتفاده شـد (۱۲). براي تأييد مدل‌ها از روش كيفي نيز استفاده شد. در اين روش با رسم هيدروگراف هـاي تخمينـي و مشـاهده‌اي روي يک محور مختصات، اين دو نمودار به لحاظ ظـاهري و تطابق اجزاي مهم آن‌ها ماننـد دبـي اوج، زمـان تـا اوج، زمان پايه و شكل كلي با يک‌ديگر مقايسه شدند.

نتايج

بـه‌منظـور رسـيدن بـه مـدل‌هـاي مناسـب بـراي تهيـه هيدروگراف با استفاده از اجزاي هـايتوگراف، ارتبـاط بـين متغيرهاي مسـتقل (اجـزاي‌هـايتوگراف) و وابسـته (اجـزاي هيدروگراف) به شكل‌هاي مختلـف بررسـي شـد. سـپس از ميان روابط به‌دست آمده براي هر متغير وابسته، بـا توجـه بـه ضـريب همبسـتگي، خطـاي نسـبي تخمـين و تأييـد، مجذور ميانگين مربعات خطا و ضريب كارآيي، مـدل‌هـاي نهايي براي حوزه آبخيز كسيليان به‌همراه شاخص‌هاي كمي ارزيابي عملكرد آن‌ها شامل ضريب تبيين، خطاي تخمـين و تأييد به شرح ارائه شده در جدول ۱ انتخاب شدند.

همان‌طور كه در بخش قبل گفته شد، پـيش از اقـدام بـه آزمون رگرسيون خطي چند متغيره، روش تجزيه و تحليل عاملي روي متغيرهاي مستقل، براي كـاهش تعـداد آن‌هـا اجرا شد. با اجراي اين روش چهار عامل به دست آمد كه از هر كدام يک متغير با بيش‌ترين ضريب همبستگي به‌عنـوان نماينده آن عامل انتخاب شد. نتايج حاصل از روش تجزيه و تحليل عاملي نشان داد كه دربيش‌تر مـوارد سطـح 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 بوده و در ساير موارد نيز كاهش تعداد متغيرهاي مستقل موجب كاهش دقّت شده است، به‌طوري كه ضريب همبستگي به‌جز در دو مورد از ۲۵ درصد تجاوز نكرد. در ادامه تحقيق از رگرسيون خطي چندمتغيره به سه روش گام به گام، پيش‌رو و پس‌رو استفاده شد. بررسي نتايج نشان داد كه رگرسيون به روش گام به گام و پيش‌رو نتايج يكساني داد. همچنين درصد خطاي تخمين متغيرهاي زمان تا اوج، دبي اوج و دبي نقطه عطف با وجود معني‌دار بودن رابطه و حتّي زياد بودن ضريب همبستگي بالا بوده و به همين دليل استفاده از آن‌ها در تخمين متغيرهاي نامبرده از دقّت خوبي برخوردار نخواهد بود. از طرفي، براي اين متغيرها به روش رگرسيون دو متغيره نيز رابطه‌اي با خطاي قابل قبول به‌دست نيامد. براي حل اين مشكل از معادلات پياپي استفاده شد (۱۷)، بدين ترتيب كه روابط دوتايي بين خود متغيرهاي وابسته بررسي شد تا با محاسبه متغيرهاي وابستة داراي مدل‌هاي منطقي به مدل‌هاي مناسب براي محاسبه اين سه متغير دست يافت. مدل‌هاي به‌دست آمده براي اين سه متغير نيز در جدول ۱ ارائه شده‌اند. تأييد به صورت كيفي نيز با روي هم انداختن هيدروگراف‌هاي مشاهده‌اي و تخميني و مقايسه چشمي‌براي هشت رگبار انجام شد (شكل ۲).

بحث

بررسي جدول ۱ نشان مي‌دهد كه براي همه متغيرهاي وابسته به‌جز شش مورد فاصله زماني وقوع نقطه عطف پس از اوج، فاصله زماني بين انتهاي بارش كل تا نقطه عطف، مركز ثقل بارش كل تا مركز ثقل هيدروگراف، مركز ثقل بارش كل تا اوج هيدروگراف، مركز ثقل بارش مازاد تا مركز ثقل هيدروگراف و مركز ثقل بارش مازاد تا اوج هيدروگراف مقادير ثابتي به‌ترتيب برابر با ۰/۱۹، ۶/۱۹، ۹/۸۸، ۷/۲۳، ۹/۷۹ و۷/۱ ساعت روابط مشخص به‌دست آمد. با توجه به تعاريف اين متغيرها (۷) نشان مى دهد كه مقدار اين متغيرها براي يک حوزه آبخيز به نسبت ثابت است، از اين رو تخمين اعداد ثابت از طريق مدل‌هاي به-دست آمده نيز منطقي به‌نظر مي‌رسد.

براي متغيرهاي زمان پايه، حجم رواناب، مركز ثقل هيدروگراف، عرض ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد، انتهاي بارش كل تا مركز ثقل هيدروگراف، انتهاي بارش كل تا دبي 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 سه و براي دو مورد انتهاي بارش مازاد تا نقطه عطف و انتهاي بارش مازاد تا مركز ثقل هيدروگراف به شكل چند متغيره تواني است.

نتايج كاربرد دو كميت جذور ميانگين مربعات خطا (RMSE) و ضريب كارآيي (QE) براي ۹ واقعه در مرحله تاييد با ميانگين به‌ترتيب حدود ۰/۵۷ و ۰/۶ و واقع در دامنه قابل قبول فرآيند مدل‌سازي (۱۲) نيز دلالت بر امكان شبيه سازي هيدروگراف با استفاده ازهايتوگراف دارد كه با ديدگاه صادقي و همكاران (۲۰۰۰) در حوزه آبخيز امامه و قهرائي (۱۳۷۹) در استان فارس در اين خصوص همسوست. همچنين بررسي خطاها نشان مي‌دهد كه درصد خطاي تخمين در روابط چند متغيره از ۱/۷۴ تا ۱۶۶ و در روابط دو متغيره از ۲/۵ تا ۴۵۲ تغيير مي‌كند. درصد خطاي تاييد نيز در روابط چند متغيره از ۴/۳۹ تا ۳۴۳۸ و در روابط دومتغيره از ۱/۱۶ تا ۱۸۵۱ تغيير مي‌كند. دقّت در مدل‌هاي به‌دست آمده (جدول ۱) نشان مي‌دهد كه دامنه خطاي نسبي در مرحله واسنجي و تأييد به‌ترتيب ۷/۹۳ تا ۴۵۲/۹۷ درصد و ۲/۷۳ تا ۴۳/۶۵ درصد و كم‌ترين و بيش‌ترين خطاي تخمين نيز به‌ترتيب مربوط به متغير فاصله زماني بين انتهاي بارش مازاد تا دبي اوج و زمان وقوع مركز ثقل هيدروگراف نسبت به ابتداي آن است. همان گونه كه از روابط نهايي‌شده در جدول ۱ استنباط مي‌شود، كلّيه روابط به‌دست آمده بين اجزاي بارندگي و رواناب در حوزه مورد بررسی به‌صورت تواني است كه دلالت بر سرشت غيرخطي ارتباط اين دو مقوله با يک‌ديگر دارد و با يافته‌هاي سينگ (۱۹۹۲) همسوست.

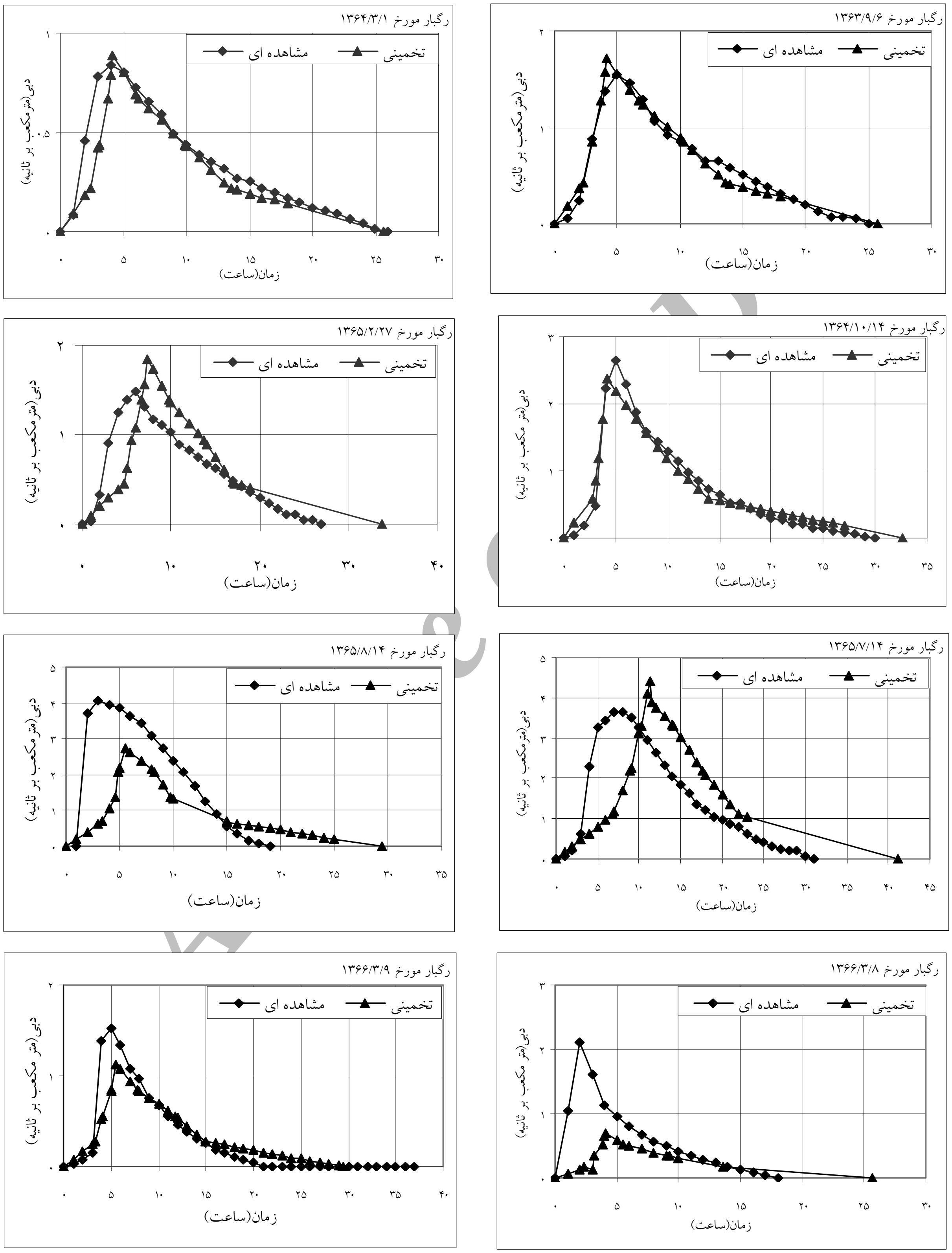
با بررسي هيدروگراف‌هاي مشاهده‌اي و تخميني در شكل ۲ مشاهده مي‌شود كه هيدروگراف‌هاي مشاهده‌اي مربوط به فصل سرد سال هم‌خواني بيش‌تري با هيدروگراف تخميني دارد، درحالي‌كه در مورد هيدروگراف‌هاي دو فصل بهار و تابستان اين هم‌خواني كم‌تر به چشم مي‌خورد. علّت اين مسئله را مي‌توان در نزول قسمتي از بارش در فصل سرد به‌صورت برف و ذوب آن در فصل گرم در اثر ريزش باران گرم روي آن و همچنين تاثير شرايط رطوبت پيشين خاک 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 نوک 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 تفكيک 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)	$t_b = ۳۳/۷۷T_e^{./۱۹۷}$	۰/۳۱	۲۲/۸۳	۳۹/۱۰
(۵)	$V = ۵۴۹۵/۴۱^{۱/۴۳T_e - ./۳۸T_e^۲ + ./.۳T_e^۳} + ۲۲۱۷۰$	۰/۳۲	۱۶/۸۴	۷/۱۳
(۶)	$C_h = ۱۱/۶۶T_e^{./۳۱}$	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)	$W_{۵۰\%} = ۷/۳۳ + ۲/۶۸\log(t_{i\max ۱۵} + ۰/۱)$	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)	$t_{eP_e-Q_f} = ۲۴/۶^{۰/۳۴\log(P_e - ۰/۳۲) - ۰/۴۷\log(C_{p_e} - ۰/۱۱) + ۰/۱۳\log(C_p - ۰/۳۲) - ۰/۱۳\log(t_{i\max ۳۰} + ۰/۱) - ۰/۰۱۶C_۳} - ۱۲$	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)	$t_{eP_e-C_h} = ۱۵/۱۳^{-۰/۱۵\log(C_{p_e} - ۰/۱۱) + ۰/۱۷\log(C_p - ۰/۳۲) - ۰/۱۲\log(t_{i\max ۳۰} + ۰/۱) - ۰/۰۱۹C_۳} - ۴/۷$	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 $(t_{i\max 30})$، زمان وقوع بیشینه شدت ۱۵ دقیقه‌ای رگبار $(t_{i\max 15})$، 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% $(W_{25\%})$، عرض۵۰% $(W_{50\%})$ و عرض۷۵% 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 میلی‌متر، شدت به میلی‌متر 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 هيدروليک 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 (4^{th} 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