

# محاسبه ضریب رواناب حوضه آبریز با استفاده از رادار هواشناسی

## مطالعه موردی: حوضه باغو

پرویز پنجه کوبی<sup>۱</sup>

سید ابوالفضل مسعودیان<sup>۲</sup>

عبدالعظیم قانقرمه<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت مقاله: ۹۷/۰۵/۱۴

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۷/۰۸/۱۸

\*\*\*\*\*

### چکیده

ضریب رواناب از متغیرهای بسیار اثرگذار بر تشکیل و شدت سیل است. در این پژوهش به کمک مجموع بارش برآورد شده با رادار هواشناسی خزر شرقی، هشت مورد از سیل‌های حوضه‌ی آبریز باغو در فاصله‌ی سال‌های ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۵ واکاوی شد. ضریب رواناب با استفاده از ارتفاع بارش برآوردی رادار هواشناسی و ارتفاع رواناب اندازه‌گیری شده بدست آمد. تأثیر حجم و شدت بارش بر ضریب رواناب این سیل‌ها متفاوت بود. هرچه شدت بارش بیشتر بود، ارتفاع رواناب بیشتر و هیدرگراف سیل کشیده و نوک تیز بود. این مورد در نمودار ساعتی بارش برآوردی در فصل گرم سال کاملاً مشهود بود. تداوم بارش نیز باعث شد که به تناسب مقدار بارش، ضریب رواناب بزرگ‌تر و ارتفاع رواناب زیاد شد. در سیل‌های فصل سرد سال به دلیل فاصله‌ی زمانی کم بین بارش‌ها و افزایش رطوبت خاک حوضه، با توجه به مجموع و شدت بارش برآوردی رادار، ضریب رواناب بزرگ بود. توزیع بارندگی و فاصله بین بارش‌ها نیز تأثیر مثبتی در ضریب رواناب داشت و حجم رواناب، بیش از حد انتظار بود. نتایج این پژوهش نشان داد که برای تعیین دقیق ضریب رواناب باید تمام عوامل تأثیرگذار مانند شدت بارش، حجم بارش، مدت زمان بارش، وضعیت رطوبتی خاک قبل از بارش، پراکنش زمانی و مکانی بارش در یک سامانه‌ی بارشی، و فصل رخداد بارش، را در رواناب در نظر گرفت. برای تعیین ضریب رواناب حوضه بجای یک مقدار مشخص برای ضریب رواناب، بهتر است یک دامنه برای آن در نظر گرفت.

واژه‌های کلیدی: برآورد بارش، ضریب رواناب، رادار، حوضه باغو.

\*\*\*\*\*

۱- دانشجوی دکتری آب و هواشناسی دانشگاه اصفهان parvizpanj@gmail.com

۲- استاد آب و هواشناسی دانشگاه اصفهان (نویسنده مسئول) porcista@yahoo.ie

۳- استادیار آب و هواشناسی دانشگاه گلستان aghanghermeh@gmail.com

## ۱- مقدمه

هم در میزان حجم رواناب سطحی و هم در مقدار دبی اوج آن به نحوی مؤثرند. به عنوان مثال، هرچه تداوم بارندگی بیش تر باشد، ظرفیت نفوذ آب در خاک کاهش یافته و لذا باعث افزایش حجم رواناب می‌گردد. در زمانی که خاک اشباع از آب باشد، تغییرات بارش حرکات سیل را کنترل می‌کند (آنکوئین و همکاران، ۲۰۱۰: ۱۴۶). عموماً در حوضه‌های بزرگ، توزیع مکانی بارندگی یکسان نبوده و ممکن است بخشی از حوضه دارای بارش بیش از مقدار میانگین و بخش دیگر، کمتر از میزان بارندگی میانگین باشد و این محاسبه رواناب سطحی با استفاده از فرمول‌های تجربی را با خطا همراه خواهد کرد. بیش از یک قرن است که باران‌سنج به عنوان ابزار استاندارد سنجش بارش استفاده می‌شود. اندازه‌گیری بارش با باران‌سنج به عنوان بارش واقعی در سطح زمین فرض شده است. ابزارهای گوناگونی همراه با توسعه و پیشرفت تجهیزات و فناوری برای این منظور به کار گرفته شده است. بارش بطور مستقیم توسط باران‌سنج و بطور غیر مستقیم با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور اندازه‌گیری می‌شود. تمام بارش‌های برآورد شده حاوی عدم قطعیت هستند. در حالی که باران‌سنج‌ها مقدار واقعی بارشی که به سطح زمین رسیده را اندازه‌گیری می‌کنند که آنها نیز ممکن است شامل مقدار قابل توجهی تبعیض ناشی از پراکندگی نامنظم (که نتیجه‌ی آن برآورد کم بارش به ویژه در رخدادهایی با پراکندگی کم فضایی مانند رگبارهای همرفتی است)، موقعیت جغرافیایی، باد و دیگر دلایل مکانیکی، باشند (یلماز و همکاران، ۲۰۰۵: ۴۹۸). توزیع نامناسب فضایی باران‌سنج‌ها، امکان برآورد درست بارش را ناممکن می‌کند و اندازه‌های بارش در جاهای گوناگون دچار برآورد اشتباه می‌شود. البته با افزایش شمارگان باران‌سنج‌ها این مشکل برطرف می‌شود ولی این کار بسیار پرهزینه است. هزینه‌ی نصب و نگهداری باران‌سنج‌ها بسیار زیاد است. یک باران‌سنج با کنترل از راه دور، حدود ۱۰۰۰ دلار در سال هزینه دارد و این دلیلی برای به حداقل رساندن تعداد باران‌سنج‌ها در سطح زمین و عملیاتی کردن رادار است

رواناب به عنوان یکی از مؤلفه‌های بیلان آب حوضه، اهمیت زیادی در آبخیزداری و مدیریت منابع آب دارد. بحث رواناب و رابطه بارندگی-رواناب (rainfall-runoff) از مهم‌ترین و در واقع اساسی‌ترین موضوعات در هیدرولوژی آب‌های سطحی است. هرگاه شدت بارش از ظرفیت نفوذ آب به داخل خاک بیش تر باشد بخشی از آب حاصله از بارندگی در سطح حوضه باقی می‌ماند.

این آب پس از پر کردن گودی‌های سطح زمین که به آن‌ها چالاب گفته می‌شود در امتداد شیب زمین جریان می‌یابد و از طریق شبکه آبراهه‌ها و سپس رودخانه اصلی از حوضه خارج می‌شود. به این بخش از بارندگی که می‌توان مقدار آن را در رودخانه‌ها اندازه‌گیری کرد رواناب سطحی (surface run-off) می‌گویند (علیزاده، ۱۳۹۱: ۵۷۶). بطور کلی رواناب سطحی فوری در نتیجه ترکیب یک بارش شدید با زمین شیب‌دار و یا خاک اشباع شده است.

ضریب رواناب برای برآورد کلی و تعیین حجم کلی رواناب لازم و حیاتی است (هام و همکاران، ۲۰۱۳: ۱۲۹۳). پیش‌بینی و تعیین میزان کمی فرآیندهای تولید رواناب و انتقال آن به نقطه‌ی خروجی حوضه آبخیز از اهمیت خاصی برخوردار است. در فرآیند تبدیل بارش به رواناب سطحی، دو دسته عوامل، شامل پارامترهای اقلیمی و دیگری عوامل فیزیوگرافیکی حوضه نقش دارند. عوامل اقلیمی شامل نوع، شدت و تداوم بارش و نیز توزیع مکان بارندگی می‌باشد (علیچانی، ۱۳۹۱: ۴۹۸). پارامترهای فیزیوگرافیکی شامل نوع کاربری اراضی، جنس خاک، مساحت حوضه آبریز، شکل حوضه، ارتفاع، شیب، جهت و نوع شبکه زهکشی است. تغییرات این عوامل معمولاً در یک حوضه ثابت است و مقدار تغییرات آن‌ها بسیار ناچیز است. وقتی عوامل اقلیمی دارای تغییرات زیادی هستند، ممکن است مقادیر آن‌ها در فصول مختلف و حتی در بارش‌های مختلف با هم اختلاف داشته باشد، و حتی برخی از آن‌ها (شدت و پراکنش بارش) در طول یک سامانه بارشی هم متفاوت است. همه این عوامل

مکاران، ۲۰۱۰: ۱۰). هدف این پژوهش استفاده از داده‌های راداری برای برآورد مقدار بارش بر سطح حوضه است. با استفاده از داده‌های رادار می‌توان پراکنش بارش، مقدار، و شدت و ضعف بارش را بر فراز حوضه با دقت بالایی بدست آورد و با محاسبه داده‌های ساعتی و مجموع بارش، حجم کل آب ناشی از هر سامانه بارش را در محدوده حوضه بدست آورده و با مقایسه آن با مقدار رواناب اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های هیدرومتری، با دقت بیشتری (نسبت به روش‌های درون‌یابی) به ضریب رواناب دست یافت. در این زمینه پژوهش‌های زیادی انجام شده است. نتایج پژوهش کلازورا (۱۹۸۱) بیان‌گر بهبود روش ترکیب داده‌های بارشی رادار- باران‌سنج در برآورد بارش در یک ناحیه بزرگ بود و مشکلی که نیاز به حل شدن داشت، شناسایی بهترین روش برای استفاده از نسبت داده‌های باران‌سنج به رادار، بود (کلازورا، ۱۹۸۱: ۱۳۸۰). بنا به گفته‌ی زین‌هی (۲۰۱۱) کیفیت کلی بدست آمده با ادغام داده‌های بارشی رادار و باران‌سنج می‌تواند بهتر باشد نسبت به زمانی که داده‌ها از منبع تنها (رادار یا باران‌سنج) استفاده شود (زین‌هی، ۲۰۱۱: ۱۵). پژوهش مایپام و همکاران (۲۰۰۹) در حوضه رودخانه پینگ (Ping) تایلد نشان داد که دقت کلی هیدروگراف و پیشینه‌ی جریان برآورد شده با استفاده از داده‌های بارشی رادار (بارش روزانه، بارش ساعتی و بارش برآوردی ساعتی رادار) بطور کلی بیش‌تر از مقدار بارش روزانه باران‌سنج بود. بنابراین در بخش‌های بالایی رودخانه که پراکندگی باران‌سنج‌ها کم بود توانایی بارش رادار هواشناسی به عنوان ورودی اطلاعات به منظور بهبود دقت برآورد رواناب مورد تأیید بود (مایپام و همکاران، ۲۰۰۹: ۳۷۲۴). پژوهش لوپر و ویوکس (۲۰۱۲) نشان داد که مقادیر پیش‌بینی شده و مشاهده در مرحله‌ای که از داده‌های ترکیبی باران‌سنج-رادار استفاده شد نسبت به مرحله‌ای که از داده‌های بارش به تنهایی استفاده شد به هم نزدیک‌تر بودند. علاوه براین، خطای زمانی پیش‌بینی در مرحله‌ای که از داده‌های ترکیبی استفاده شده نسبت به مرحله داده‌های

(سید و همکاران، ۲۰۰۲: ۳۷). رادار هواشناسی برآورد ناحیه‌ای از بارش در زمان واقعی ارائه می‌دهد که دیدبانی ایستگاه‌های باران‌سنجی نمی‌تواند آن را انجام دهد. و این می‌تواند یک فرصت مناسب برای توسعه و پیشرفت پیش‌بینی‌های جدید و بهبود تکنیک‌های جدید پیش‌بینی کاربردی را فراهم کند (کرانتون و بلک، ۲۰۰۶: ۵۱). درستی برآوردهای کمی بارش برای پیش‌بینی سیل بسیار مهم است. در حال حاضر رادار هواشناسی ابزار توانمندی برای تهیه اطلاعات قابل دسترس و با درجه تفکیک زمانی (۱۰ دقیقه) و مکانی (یک کیلومتر مربع) است. بطور کلی تراکم شبکه باران‌سنج‌های خودکار خیلی کم است و با رخدادهای سیل با تفکیک مکانی و زمانی کوتاه سازگار نیست (ورسینی، ۲۰۱۲: ۱۵۸). رادار و باران‌سنج‌ها رایج‌ترین ابزار جمع‌آوری داده‌های بارش هستند. رادار و باران‌سنج‌ها با هم، برای برآورد بارش و توزیع بارش در یک پهنه‌ی گسترده سودمند هستند (وانگ و همکاران ۲۰۰۹). برای سال‌ها هیدرولوژیست‌ها و مهندسی‌ن سعی کردند حجم بارش را بر فراز حوضه‌ی آبریز به وسیله درون‌یابی داده‌های نقطه‌ای بارش باران‌سنج‌های پراکنده شده در سطح حوضه برآورد کنند (بایونگ و همکاران ۲۰۰۷). ولی با پیدایش سیستم‌های رادار هواشناسی مانند وضوح بهتر پرتو، افزایش پرتوهای حساس به پارازیت، افزایش سرعت پیمایش رادار و تکنولوژی قطبش دوگانه، پیشرفت برآورد بارش رادار و کاربردهای آب‌شناسی-هواشناسی را به دنبال داشت (بورگا و همکاران ۲۰۰۰: ۲۲۶۹). به گفته‌ی گیانونی و همکاران (۲۰۰۲) ترکیب برآورد بارش رادار با درجه تفکیک بالا و مدل‌های آب‌شناختی کارایی زیادی برای پیش‌بینی سیل دارد. پژوهش درباره این کارایی نیاز به برآورد پیشرفته بارش رادار و مدل‌های آب‌شناختی دارد (گیانونی و همکاران، ۲۰۰۲: ۲۰۳). همچنین رادار می‌تواند شبیه‌سازی رواناب را با استفاده از نرم‌افزار بهبود ببخشد (نیکولاس کوون، ۱۹۸۸: ۱۷۴). رادارهای هواشناسی برای مدل‌سازی بارش‌های سنگین منطقه‌ای مناسب هستند و می‌توانند برای اهداف طراحی مدیریت آب و اعتبار بخشیدن به مدل‌های اقلیمی استفاده شوند (اوریم و

با یکی از بارش‌ها سازگاری خوبی داشت که این به دلیل عدم کفایت اطلاعات بارندگی ثبت شده در ایستگاه‌های هواشناسی بود (نشاط و صدقی، ۱۳۸۵: ۳۴). موسوی و همکاران (۱۳۷۸) در تخمین ضریب رواناب برای حوضه‌های دریای مازندران به این نکته اشاره دارند که مقادیر ضرایب رواناب بدست آمده از روش استدلالی-احتمالی، کم‌تر از روش‌های تجربی چاو و همکاران است و مقادیر بدست آمده در دبی پیشینه از روش استدلالی-احتمالی بهتر از روش چاو و همکاران است (موسوی و همکاران، ۱۳۷۸: ۱۷).

پژوهش محمدی‌ها و همکاران (۱۳۹۲) در واسنجی برآورد بارش رادار هواشناسی تهران نشان داد که مقادیر برآورد بارش رادار از مقادیر بارش باران‌سنج‌ها کم‌تر است. که این ناسازگاری میان رادار و باران‌سنج‌ها در اوج شدت بارش بیش‌تر است.

برای کم کردن این ناسازگاری فراسنج‌های  $a$ ،  $b$  رابطه‌ی لگاریتمی رادار ( $Z = aR^b$ ) برای بارش‌های این منطقه تصحیح شد که پس از تصحیح مقادیر بارش برآورد شده رادار، نسبت به داده‌های زمینی، از ۴۰٪ قبل از تصحیح به ۹۰٪ بعد از تصحیح رسید و این پژوهش نشان داد که با تصحیح فراسنج‌های رادار در هر نقطه و در هر فصل، برآورد بارش رادار به مقدار درست نزدیک‌تر می‌شود (محمدی‌ها و همکاران، ۱۳۹۲: ۲۰۳). میرزایی ارجنگی در رساله دکتری خود (۱۳۹۲) به این نکته اشاره دارد که داده‌های رادار هواشناسی پس از واسنجی توانایی رقابت با داده‌های نقطه‌ای بسط داده شده زمینی را دارد و می‌توان از آن‌ها در مطالعات مدل بارش-رواناب استفاده کرد.

میرزایی و رئوف (۱۳۹۳) به این نکته اشاره داشتند که مقادیر بدست آمده برای زمان تمرکز در روابط تجربی که از تعداد پارامترهای بیش‌تری استفاده می‌کنند به مقدار واقعی مطابقت خوبی دارد (میرزایی و رئوف، ۱۳۹۳: ۴۱۳). او جاقلو در پایان‌نامه کارشناسی ارشد (۱۳۹۴) با استفاده از داده‌های واسنجی شده رادار هواشناسی گیلان رواناب حوضه بلرود را شبیه‌سازی نمود.

تنهایی باران‌سنج ۸۰ درصد کاهش یافت (لوپرو و ویوکس، ۲۰۱۲: ۱۳۰). مارا و همکاران (۲۰۱۴) به این نکته تأکید داشتند که یک راه‌حل بالقوه برای محدودیت مشاهدات به وسیله جانمایی باران‌سنج‌ها، دیدبانی از راه دور و به ویژه برآورد بارش رادار هواشناسی است (مارا و همکاران، ۲۰۱۴: ۱۶۰۸). بایونگ و همکاران (۲۰۰۷) اظهار داشتند که بطور سنتی مدل‌های هیدرولوژیکی متکی به اندازه‌گیری نقطه‌ای بارش باران‌سنج‌ها بودند. پژوهش زهو و همکاران (۲۰۱۴) نشان داد که داده‌های رادار عملیاتی قادر به شبیه‌سازی مدل‌های هیدرولوژیکی با نتایج معقول از مدل‌هایی با ساختاری متفاوت بود (زهو و همکاران، ۲۰۱۴: ۲۶۹).

دونگ و همکاران (۲۰۰۸) با استفاده از مشاهدات زمینی و رادارهای هواشناسی توزیع سیل را در تایوان شبیه‌سازی کردند.

اوریم و همکاران (۲۰۰۹) با استفاده از رادار هواشناسی بارش‌های سنگین هلند را بررسی کرده و منحنی شدت-مدت-فراوانی را به دست آوردند. اوریم و همکاران، ۲۰۰۹: ۱) سامی و همکاران (۲۰۱۰) با استفاده از داده‌های بارش رادار جریان‌های سطحی را در حوضه ریواسکاندیدو (Rio Escondido) مکزیک شبیه‌سازی و اعتبارسنجی کردند. نتایج نشان داد که داده‌های بارش رادار با داده‌های اندازه‌گیری شده زمینی سازگار هستند (سامی و همکاران، ۲۰۱۰: ۵۵۹).

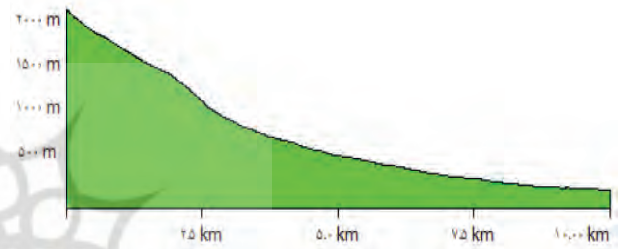
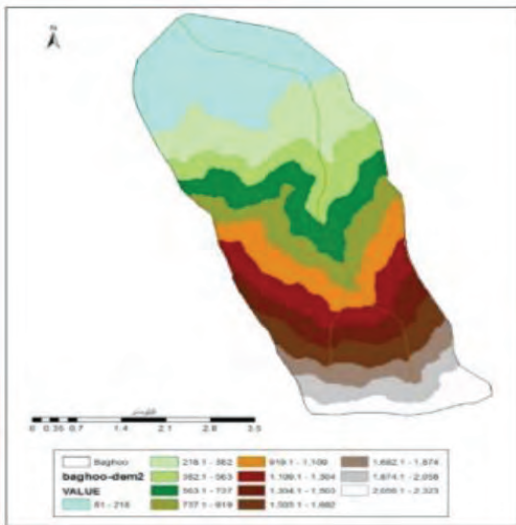
پژوهش زین هی (۲۰۱۱) نشان داد که کیفیت بارش مبتنی بر رادار نقش اساسی برای اجرای مدل‌های آب‌شناختی بازی می‌کند (زین هی، ۲۰۱۱: ۱۵).

نشاط و صدقی (۱۳۸۵) در برآورد میزان رواناب با استفاده از روش سازمان حفاظت خاک SCS و HSC-HMS در حوضه آبخیز باغ‌ملک استان خوزستان به این نتیجه رسیدند که به دلیل بروز شرایط مختلف در زمان وقوع هر سیلاب به خصوص شرایط شدت بارش، روش SCS توان تحلیل را ندارد و نشان داد که تشکیل رواناب واقعی تا حدودی با روند محاسباتی روش SCS تفاوت داشت و همچنین نتایج واسنجی در مورد شماره منحنی (SN) فقط



## ۲- مشخصات حوضه آبریز

حوضه‌ی باغو از زیرحوضه‌های خلیج گرگان محسوب می‌شود. مساحت آن ۲۴/۵ کیلومتر مربع و محیط آن ۲۳/۱ کیلومتر، طول رودخانه اصلی آن ۱۰ کیلومتر است. بیش‌ترین ارتفاع رودخانه اصلی ۲۰۸۰ و کم‌ترین ارتفاع آن ۸۰ متر است. شیب متوسط رودخانه ۲۰ درصد است (نگاره ۱).  
۱). زمان نقطه تمرکز حوضه به سه روش کالیفرنیا، کریچ و چاو به ترتیب ۰/۷۳، ۰/۶۷ و ۰/۶۸ ساعت بدست آمد. ضریب فشردگی (گراویلیوس) آن ۱/۳۱ است.



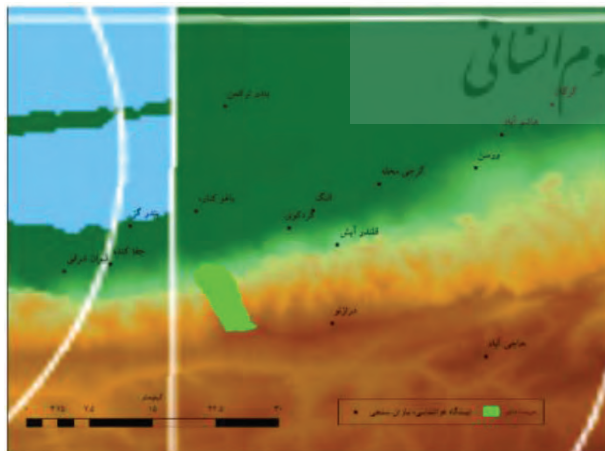
نگاره ۳: نقشه ارتفاعی و شبکه رودخانه‌ای حوضه باغو

## ۳- داده‌ها و روش‌ها

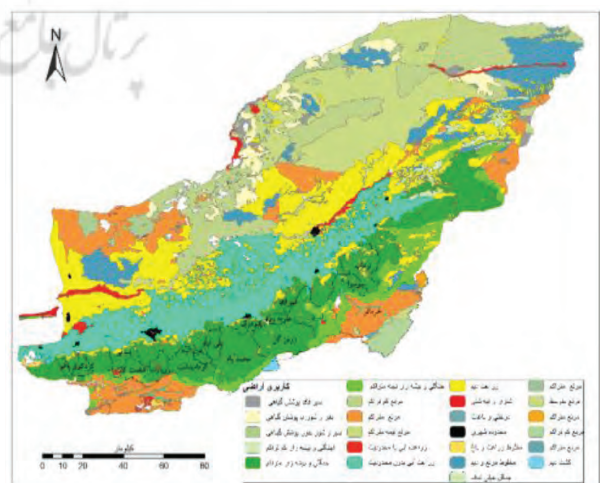
داده‌های مورد استفاده در این پژوهش شامل ۱- داده‌های رادار خزر شرقی که از اداره کل هواشناسی استان گلستان دریافت شد ۲- داده‌های بارش و تبخیر روزانه‌ی ایستگاه‌های هواشناسی پیرامون حوضه (بندرگز، بندرترکمن، هاشم‌آباد و گرگان- نگاره ۴) که از اداره کل هواشناسی استان گلستان دریافت شد ۳- داده‌های مقادیر دبی سیل‌های حوضه آبریز باغو که از اداره امور آب استان گلستان دریافت شد.

نگاره ۱: نیم رخ ارتفاع و شیب رودخانه اصلی حوضه باغو

نقشه کاربری اراضی استان گلستان نشان داد (نگاره ۲) که تمام مساحت حوضه دارای پوشش جنگلی متراکم است. عمده این جنگل شامل درختان برگ‌ریز است. شیب حوضه در بالادست بیش‌تر از سایر مناطق است.



نگاره ۴: موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های باران‌سنجی و هواشناسی نسبت به حوضه باغو



نگاره ۲: نقشه کاربری اراضی استان گلستان-حوضه باغو

پردازش داده‌های رادار توسط نرم‌افزار Rainbow انجام می‌شود. این نرم‌افزار که به همراه نصب رادار هواشناسی در اختیار کاربران اصلی (ادارات کل هواشناسی که در محدوده برد مفید رادار هستند) قرار دارد. این نرم‌افزار در آغاز با استفاده از دریافت پرتوهای بازگشتی و به وسیله الگوریتم‌های ویژه‌ای که به همین منظور و با توجه به جانمایی و محل نصب رادار تعریف شده است، اهداف هواشناسی را از اهداف غیر هواشناسی جدا می‌کند. که نتیجه‌ی این فرآیند به عنوان داده‌های خام شناخته می‌شود. سپس این داده‌های خام را به صورت فرآورده‌هایی در قالب تصاویر رنگی که برای کاربران به راحتی قابل درک است نمایش می‌دهد. و همچنین این نرم‌افزار داده‌های خام رادار را به داده‌هایی با فرمت‌های مختلف که توسط بسیاری از نرم‌افزارهای آماری و مهندسی (اکسل، متلب، ساج و....) قابل خواندن است، تبدیل می‌کند.

ساعتی بر فراز حوضه بدست آمد (نگاره ۶). در پایان هر بارش، مجموع کل بارش برآوردی رادار بر فراز حوضه جداگانه بدست آمد. و مجموع رواناب خروجی آن که توسط ایستگاه هیدرومتری باغو که در همان بازه‌ی زمانی اندازه‌گیری شده بود نیز بدست آمد و در رابطه‌ی ضریب رواناب بکار گرفته شد (رابطه ۱).

در عمل ضریب رواناب بعنوان درصدی از بارندگی که به رواناب تبدیل می‌شود، از رابطه‌ی (۱) بدست می‌آید

$$C = \frac{R}{P} \quad \text{رابطه ۱}$$

که در آن C ضریب رواناب، P ارتفاع بارندگی و R ارتفاع رواناب مستقیم است (علیزاده، ۱۳۹۱: ۵۱۰).

حجم کل رواناب اندازه‌گیری شده هر بارش حوضه بدست آمد و بر مساحت آن تقسیم شد که نتیجه‌ی آن ارتفاع رواناب اندازه‌گیری شده حوضه بود و مجموع بارش برآوردی رادار، مربوط به کل بارش بدست آمد و بر مساحت حوضه تقسیم شد. بدین ترتیب ارتفاع کل بارشی که باعث سیل شده بود نیز بدست آمد. بنابراین با داشتن مقدار کل رواناب اندازه‌گیری شده و مقدار کل بارش برآوردی رادار، ضریب رواناب هر بارش از رابطه ۱ بدست آمد. بدین ترتیب با این روش برای ۸ مورد سیل که در فاصله سال‌های

به کمک نرم‌افزار سنجش اطلاعات جغرافیایی (ساج) GIS مختصات نقطه‌ای محدوده حوضه‌ی آبریز بدست آمد. پوشه مختصات جغرافیایی نقطه‌ای محیط حوضه توسط نرم‌افزار Rainbow رادار فراخوانی شده و محدوده حوضه برای رادار تعریف شد (نگاره ۵). سپس با استفاده از نرم‌افزار Rainbow مجموع بارش یک

```

?>xml version="1.0"?>
>table2d refid="area" >
>table1d refid="area" >
> name=Baghoo<name>
> cell refid="threshold06" > 10.0 15.0 20.0</cell>
> cell refid="threshold12" > 20.0 30.0 40.0</cell>
> cell refid="threshold24" > 30.0 45.0 60.0</cell>
>cell refid="threshold72" > 70.0 100.0 130.0</cell>
> cell refid="lon" >54.0327661521 54.0465830913 54.0307712971 54.0327661521</cell>
> cell refid="lat" >36.7342935098 36.7322292807 36.7332717441 36.7342935098</cell>
>table1d<
>table2d<
    
```

نگاره ۵: نمونه‌ی فایل مختصات نقطه‌ای جهت

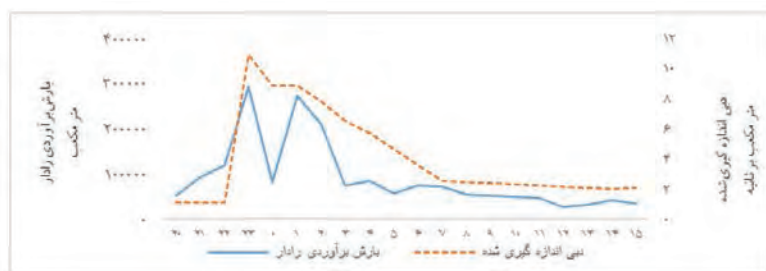
مشخص نمودن پیرامون حوضه به نرم‌افزار

Rainbow

نگاره ۶: نمونه فایل خروجی بارش و رواناب برفراز حوضه (باغو) توسط نرم‌افزار Rainbow

```

File : rawdata\KZRE-P-04KZRE250D-ZVW0-0000.vol\2012-07-16 2012071621002000dBZ.vol
Date : Mon Jul 16 2012
Time : 22:00:20
Name : Kibazir-Station (Passive)
Longitude : 53.386670
Latitude : 36.835280
Wavelength : 0.0532
Beam width : 0.97
PRF : @400.000000
Range : @200.000000
Start : @2012-07-16T21:00:20
Interval : @0 d, @1 h, @0 m
Miss Time : @0 d, @0 h, @0 m
type : PAC
Description : Rainoff
begin table1d 3
Description : RSA Area
Name : Baghoo
Size : 29 750000
Average Rain : 3.675423
Total Rain : 3.675423
Average Runoff : 30.373290
Total Runoff : 100943.843431
Description : Lon
Values : 54.032766,54.046583,54.051669,.....,54.024193,54.030771,54.032766
end( cell )
Description : Lat
Values : 36.734294,36.732229,36.730925,.....,36.725668,36.733272,36.734294
end( table1d )
end( table2d )
    
```



نگاره ۷: نمودار بارش برآوردی رادار و دبی اندازه‌گیری شده سیل ۲۷ تیرماه ۱۳۹۱

بنابراین در زمان رخداد سیل خاک حوضه نسبتاً خشک بود. شروع بارش شدید بر روی خاک خشک با پوشش جنگلی متراکم باعث شد که درصدی از بارش برای مرطوب کردن خاک حوضه و گیرش برگ درختان مصرف شد. بنابراین با توجه به حجم بارش، حجم رواناب این سیل کم و ضریب رواناب آن کوچک بود.

نمودار تغییرات بارش این سیل، دارای دو مقدار بیشینه بود. ولی تغییرات دبی فقط یک مقدار بیشینه را نشان داد. حجم بارش رادار در بیشینه‌ی اول (ساعت ۲۳:۰۰ محلی) ۲۹۱۱۸۹ متر مکعب و دبی اندازه‌گیری شده ۱۰/۹ متر مکعب بر ثانیه بود. در بیشینه‌ی دوم (ساعت ۰۱:۰۰ محلی) حجم بارش رادار ۲۷۰۹۵۴ متر مکعب و دبی ۸/۸ متر مکعب بر ثانیه بود. بین مجموع بارش و دبی در این دو مقدار تناسب برقرار نبود. برای یافتن علت این اختلاف، واکاوی بیش‌تری روی داده‌های دقیقه‌ای رادار انجام شد. تصاویر و داده‌ها مجموع ۱۵ دقیقه‌ای بارش رادار را نشان داد (نگاره‌های ۸ تا ۱۵) که بارش بیشینه‌ی اول با شدت بیش‌تری بود و این بخش‌هایی از حوضه با شدت بسیار زیادی بود و این بخش‌های پربارش، به خروجی حوضه نزدیک بود و دبی حوضه سریع‌تر به آن واکنش داد. همچنین در دقایق اول اندازه‌گیری دبی بود مجموع بارش ۲۲:۰۰ تا ۲۲:۱۵ و ۲۲:۱۵ تا ۲۲:۳۰ (نگاره‌های ۸ و ۹) با شدت زیادی بود که با توجه به زمان تمرکز ۴۲ دقیقه‌ای حوضه، در ساعت ۲۳:۰۰ که دبی اندازه‌گیری و ثبت شد، تأثیر مثبتی بر افزایش رواناب داشت. ولی در بیشینه‌ی دوم شدت بارش کم‌تر بود. پراکنش بارش با شدت کم‌تر ولی در مساحت بیش‌تری از حوضه پخش بود و هم‌اینکه نحوه پراکنش به شکلی بود که

در حوضه باغور رخ داده بود ضرایب رواناب بدست آمد.

#### ۴- نتایج و بحث

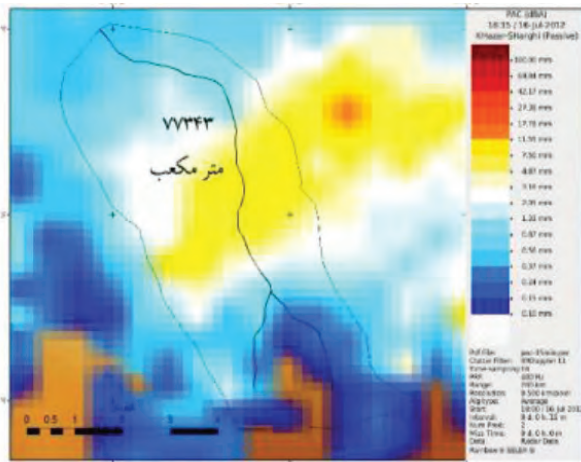
##### ۴-۱- سیل ۲۷/۰۴/۹۱

روند تغییرات ساعتی برآورد بارش رادار برای این سیل (نگاره ۷) نشان داد افزایش ناگهانی در شدت بارش رخ داد و حجم بارش بر فراز حوضه از حدود ۵۰ هزار به ۳۰۰ هزار متر مکعب در ساعت افزایش یافت که این امر باعث افزایش چشم‌گیر رواناب از حدود یک مترمکعب به بیش از ۱۰ مترمکعب در ثانیه شد. افزایش ۶ برابری در حجم بارش باعث افزایش ۱۰ برابری در رواناب شد. در این مدت رادار، مجموع بارشی که بر فراز حوضه را ۱۹۴۰۳۴۹ متر مکعب برآورد کرد. متوسط ارتفاع بارش حوضه ۷۹/۲ میلی‌متر بدست آمد. و حجم روانابی که در حوضه اندازه‌گیری شد، ۲۹۳۴۷۲ متر مکعب بود و متوسط ارتفاع رواناب حوضه ۱۰/۴ میلی‌متر محاسبه شد. بنابراین ضریب رواناب حوضه برای این بارش ۰/۱۳۲ بدست آمد.

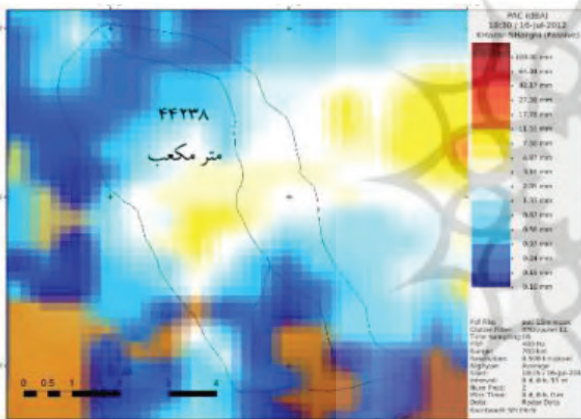
واکاوی بارشی ایستگاه‌های پیرامون حوضه نشان داد که روز ۲۲ تیر در ایستگاه‌های النگ، لیوان‌شرقی، باغ‌کناره، بندرگز، کردکوی، گرجی‌محله و بندرترکمن به ترتیب ۶، ۱۰، ۱۱، ۱۳، ۴، ۳ و ۱۴ میلی‌متر باران ثبت شده است. مجموع تبخیر از ۲۲ تا ۲۷ تیرماه ۱۳۹۱ در چهار ایستگاه بندرگز، بندرترکمن، هاشم‌آباد و گرگان به ترتیب ۱۵/۵، ۲۸/۶، ۲۷/۵ و ۲۶/۴ میلی‌متر بوده است و تا ۱۵ روز قبل از آن هم بارشی در ایستگاه‌های پیرامون حوضه ثبت نشده بود.



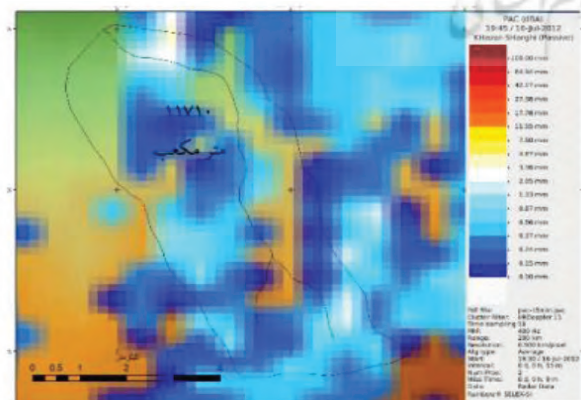
از خروجی حوضه فاصله بیش‌تری داشت و در دقایق پایانی اندازه‌گیری دبی بود (نگاره‌های ۱۴ و ۱۵). درصد زیادی از بارش بین ۴۵ دقیقه تا ۱ بامداد، در زمان اندازه‌گیری دبی (ساعت ۱) هنوز به محل خروج حوضه نرسیده بود. و تأثیر زیادی بر افزایش رواناب این ساعت نداشت و تأثیر آن در افزایش رواناب ساعت ۲ بیش‌تر بود. به همین دلیل با توجه به اینکه مجموع بارش این مقدار بیشینه ساعت ۲۳:۰۰ و ۱:۰۰ اختلاف زیادی با هم نداشت ولی مجموع بارش از ساعت ۲۲:۰۰ تا ۲۳:۰۰ تأثیر بیش‌تری بر رواناب داشت.



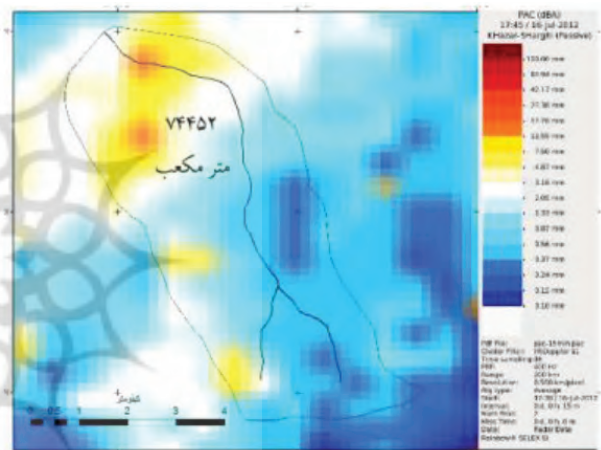
نگاره ۱۰: مجموع و نحوه پراکنش بارش رادار از ساعت ۲۲:۳۰ تا ۲۲:۴۵



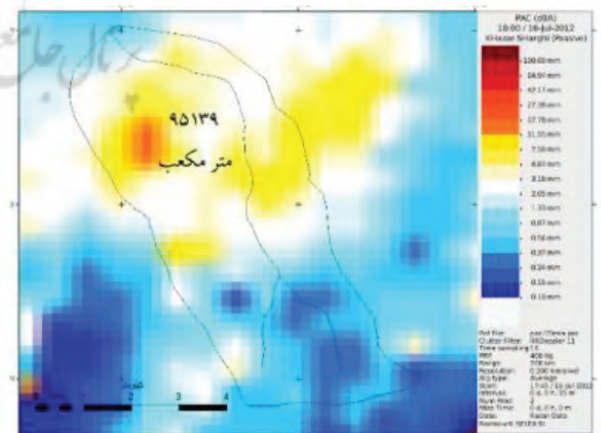
نگاره ۱۱: مجموع و نحوه پراکنش بارش رادار از ساعت ۲۲:۴۵ تا ۲۳:۰۰



نگاره ۱۲: مجموع و نحوه پراکنش بارش رادار از ساعت ۰:۰۰ تا ۰:۱۵



نگاره ۸: مجموع و نحوه پراکنش بارش رادار از ساعت ۲۲:۱۵ تا ۲۲:۰۰



نگاره ۹: مجموع و نحوه پراکنش بارش رادار از ساعت ۲۲:۳۰ تا ۲۲:۱۵

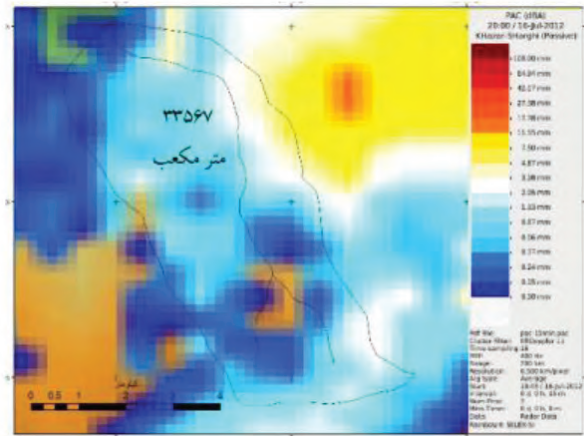


۴-۲- سیل ۹۱/۰۶/۱۲

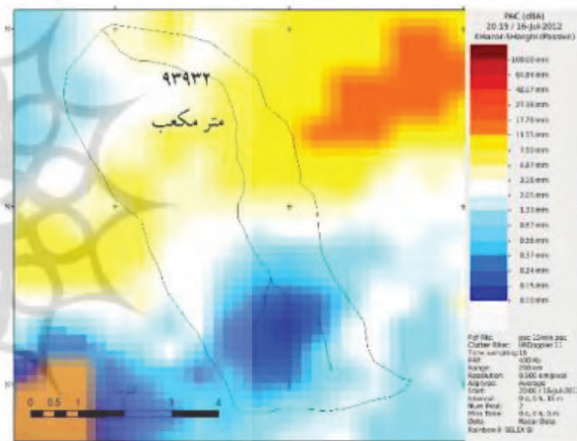
نموار تغییرات ساعتی بارش این سیل (نگاره ۱۶) نشان داد که شروع بارش ناگهانی و شدید بود و سپس با شدت متوسط چند ساعت ادامه یافت و در بطور کلی بارش نسبتاً شدید به مدت ۵ ساعت ادامه داشت که شروع شدید بارش، موجب افزایش ناگهانی در رواناب شد. شروع بارش به افزایش رواناب همخوانی داشت. در مجموع کل بارش برآوردی رادار برای این سیل ۱۸۰۶۶۰۶ متر مکعب بود. متوسط ارتفاع بارش آن ۷۳/۸ میلی‌متر بدست آمد. مجموع رواناب برابر با ۱۷۰۵۸۲ متر مکعب بود که متوسط ارتفاع رواناب آن ۶/۹ میلی‌متر بدست آمد. بنابراین ضریب رواناب حوضه برای این سیل ۰/۰۹۴ بود. در روز ۲ شهریور در ایستگاه‌های النگ، لیوان شرقی، باغونکاره و گرجی محله به ترتیب ۱۹، ۹، ۳ و ۱۰ میلی‌متر بارش ثبت شده بود. مجموع تبخیر از ۲ تا ۱۱ شهریور در چهار ایستگاه بندرگز، بندرترکمن، هاشم‌آباد و گرگان به ترتیب ۵۸/۰، ۷۶/۷، ۶۷/۷ و ۷۱/۶ میلی‌متر بود. بنابراین در زمان رخداد سیل، خاک حوضه خشک بود. شروع بارش شدید بر روی خاک خشک که پوشش جنگلی متراکمی هم داشت باعث مصرف درصدی از این بارش برای مرطوب نمودن خاک حوضه و گیرش برگ درختان شد و در نتیجه افزایش رواناب آن کم و ضریب رواناب کوچک بود.

۴-۳- سیل ۹۱/۰۷/۲۲

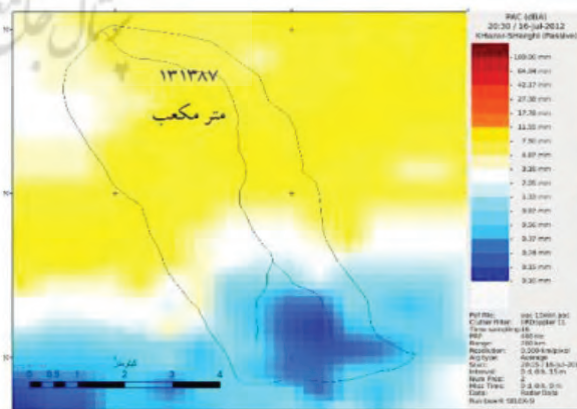
نمودار تغییرات بارش برآوردی رادار برای این سیل (نگاره ۱۷) نشان داد که این سامانه بارشی شدید نبود ولی تداوم داشت. متوسط شدت بارش (حجم بارش بین ۶۰ هزار تا ۱۰۰ هزار مترمکعب بر ساعت) به مدت ۱۲ ساعت ادامه داشت که در بعد از شش ساعت از شروع این بارش رواناب به اوج خود رسید. با توجه به شدت متوسط بارش برآوردی رادار، اوج رواناب اندازه‌گیری شده نیز متوسط بود. در مدت این سیل مجموع بارش برآوردی رادار ۱۶۹۱۱۱۹ متر مکعب بود و متوسط ارتفاع بارش آن



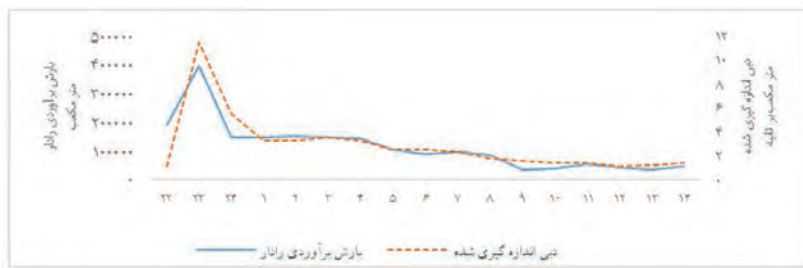
نگاره ۱۳: مجموع و نحوه پراکنش بارش رادار از ساعت ۰:۱۵ تا ۰:۳۰



نگاره ۱۴: مجموع و نحوه پراکنش بارش رادار از ساعت ۰:۳۰ تا ۰:۴۵

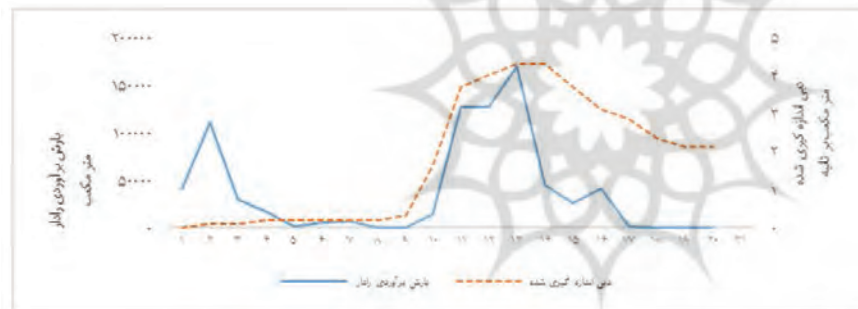
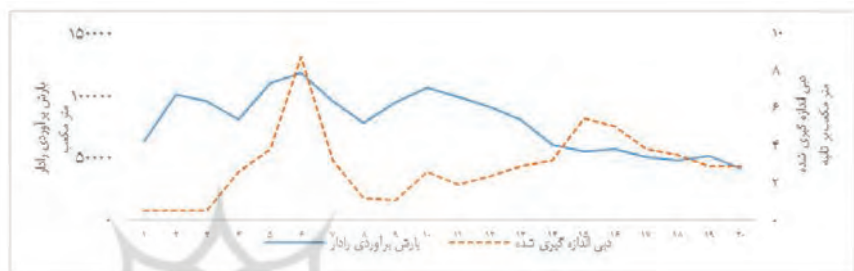


نگاره ۱۵: مجموع و نحوه پراکنش بارش رادار از ساعت ۰:۴۵ تا ۱:۰۰



نگاره ۱۶: نمودار بارش برآوردی رادار و دبی اندازه‌گیری شده سیل ۱۲ شهریور ۱۳۹۱

نگاره ۱۷: نمودار بارش برآوردی رادار و دبی اندازه‌گیری شده سیل ۲۲ مهرماه ۱۳۹۱



نگاره ۱۸: نمودار بارش برآوردی رادار و دبی اندازه‌گیری شده سیل ۲۲ اسفند ۱۳۹۲

و در ادامه با تداوم بارندگی باعث افزایش رواناب شد. بنابراین با توجه به حجم بارش، مقدار رواناب این سیل کم و ضریب رواناب آن کوچک بود.

#### ۴-۴- سیل ۹۲/۱۲/۲۲

نمودار تغییرات ساعتی بارش برآوردی رادار برای بارش این سیل شدت بارش متوسط نشان داد (نگاره ۱۸) که افزایش ناگهانی آن موجب افزایش نسبی رواناب حوضه شد. مجموع بارش برآوردی رادار برای این سیل ۷۵۷۲۵۵ متر مکعب بود که متوسط ارتفاع بارش آن ۳۰/۱ میلی‌متر بود. در همین مدت مجموع رواناب حوضه ۱۲۸۲۴۲ متر مکعب بود و متوسط ارتفاع رواناب حوضه ۴/۹ بود. بنابراین ضریب رواناب حوضه برای این سیل ۰/۱۶۸ بود. بارشی

۶۹/۰ میلی‌متر بدست آمد.

مجموع رواناب اندازه‌گیری شده ۲۰۴۹۹۱ متر مکعب بود و متوسط ارتفاع رواناب آن ۸/۳ میلی‌متر بود. بنابراین ضریب رواناب حوضه برای این سیل ۰/۱۲ بدست آمد.

واکاوی بارشی نشان داد که در ۱۵ روز قبل از رخداد سیل، هیچ بارش در پیرامون حوضه ثبت نشده بود. مجموع تبخیر ۱۵ روز قبل از بارش، در چهار ایستگاه بندرگز، بندرترکمن، هاشم‌آباد و گرگان به ترتیب ۵۸/۹، ۷۵/۹، ۷۳/۸ و ۶۹/۰ میلی‌متر بود. بنابراین خاک حوضه خشک بود. همچنین پوشش جنگلی حوضه در این موقع از سال تراکم خوبی داشت. که این عوامل باعث شد، بارش در چند ساعت نخست سامانه، ایجاد رواناب نداشت و در فرآیند مرطوب نمودن خاک حوضه و گیرش برگ درختان مصرف شد.

**فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)**  
 محاسبه ضریب رواناب حوضه آبریز با استفاده از رادار ... / ۲۱۹

رواناب حوضه ۳/۸ میلی‌متر بود. بنابراین ضریب رواناب این سیل حوضه برابر با ۰/۰۸۴ بود. ۱۵ روز قبل از این سیل، هیچ بارشی در حوضه و پیرامون آن ثبت نشده بود. بنابراین در زمان رخداد سیل، خاک حوضه رطوبت زیادی نداشت. همچنین شروع بارش با شدت نسبتاً زیاد بر روی خاک خشک حوضه موجب شد که درصدی از این بارش صرف مرطوب کردن خاک حوضه شود و در فرآیند تشکیل رواناب نقشی نداشت که این موجب شد رواناب کاهش یافته و ضریب رواناب کوچک باشد.

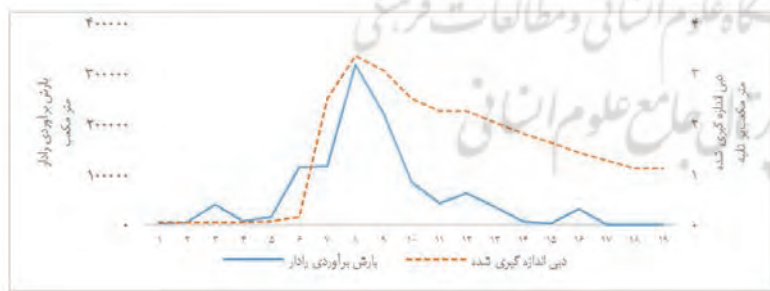
**۶-۴- سیل ۹۴/۱۱/۱۹**

نوسانات زیادی در بارش برآوردی رادار برای این سیل وجود داشت (نگاره ۲۰). متوسط بارش این سامانه شدید نبود. بنابراین رواناب ایجاد شده نسبت به سیل‌های قبلی نیز کم‌تر بود. تداوم بارش این سامانه زیاد بود که از ویژگی‌های بارش زمستانه است. نکته جالب هیدروگراف این سیل همخوانی آن با نوسانات شدت بارش برآوردی رادار بود. همچنین به دلیل تداوم بارش با شدت متوسط، هیدروگراف سیل پهن بود و برعکس سیل‌های تابستانه که هیدروگراف کشیده بود. در بازوی پایین‌رونده هیدروگراف

که چند ساعت قبل در حوضه رخ داد، موجب مرطوب شدن خاک حوضه شد و با افزایش شدت بارش در ساعات بعدی، افزایش چشم‌گیر رواناب اتفاق افتاد. همچنین پوشش جنگلی حوضه در این موقع از سال تراکم کمی داشت. به همین دلیل مجموع رواناب سیل زیاد و ضریب رواناب بزرگ بود.

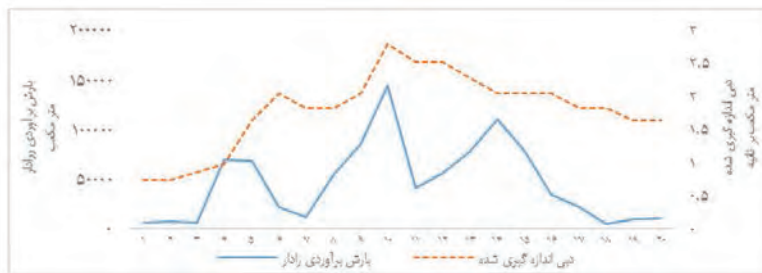
**۴-۵- سیل ۹۴/۰۸/۲۳**

نمودار تغییرات بارش برآوردی رادار برای بارش این سیل، افزایش و کاهش ناگهانی بارش را نشان داد (نگاره ۱۹). همزمان با افزایش شدت بارش، رواناب نیز افزایش نسبی یافت. افزایش رواناب کم‌تر از حد انتظار بود. چون افزایش خوبی در مقدار بارش برآوردی رادار دیده شد. و درصد زیادی از این افزایش بارش برآوردی رادار در بازوی پایین‌رونده هیدروگراف سیل دیده شد. زیرا با کاهش شدت بارش، کاهش کمی در حجم رواناب ایجاد شد. که دلیل آن به واکاوی بیش‌تری نیاز دارد. مجموع بارش برآوردی رادار برای بارش این سیل ۱۰۹۵۱۹۹ متر مکعب بود. متوسط ارتفاع بارش آن ۴۴/۷ میلی‌متر بود. مجموع رواناب حوضه برابر با ۹۲۹۹۵ متر مکعب بود و متوسط



نگاره ۱۹: نمودار بارش برآوردی رادار و دبی اندازه‌گیری شده سیل ۲۳ آبان ماه ۱۳۹۴

نگاره ۲۰: نمودار بارش برآوردی رادار و دبی اندازه‌گیری شده سیل ۱۹ بهمن ماه ۱۳۹۴



زمان کوتاهی به اشباع رسید. و باعث افزایش رواناب و ضریب رواناب این سیل شد.

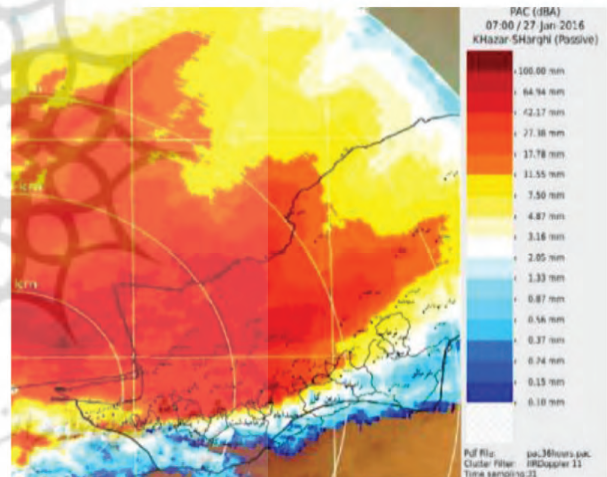
#### ۴-۷- سیل ۹۵/۰۱/۲۹

نمودار تغییرات ساعتی بارش برآوردی رادار نشان داد که شدت بارش این سامانه زیاد بود (نگاره ۲۲). ریزش ۴۰۰ هزار مترمکعب بارش در یک ساعت برای حوضه کوچک باغو، بسیار زیاد است. واکنش حوضه به این شدت بارش افزایش چشم‌گیر رواناب بود. همخوانی رواناب با بارش برآوردی رادار از نکات جالب هیدروگراف این سیل بود. همچنین به دلیل افزایش ناگهانی در شدت بارش، هیدروگراف سیل کشیده بود. در مجموع بارش برآوردی رادار برای این سیل ۲۰۷۲۱۴۰ متر مکعب بود. متوسط ارتفاع بارش برآوردی رادار ۸۴/۵ میلی‌متر بود. در همین مدت مجموع رواناب حوضه ۳۸۴۸۶۱ متر مکعب بود. متوسط ارتفاع رواناب حوضه ۱۵/۷ میلی‌متر بود. با این حساب ضریب رواناب حوضه برای این سیل، ۰/۱۸۶ بود. در این سامانه‌ی بارشی، شروع بارش با شدت کم‌تری بود که باعث اشباع شدن خاک حوضه در چند ساعت نخست سامانه شد و افزایش بیش‌تر شدت بارش در ادامه، موجب افزایش رواناب و بزرگی ضریب رواناب این سیل شد. البته حجم زیاد بارش نیز در افزایش رواناب و بزرگی ضریب رواناب نقش مثبتی داشت.

#### ۴-۸- سیل ۹۵/۰۶/۱۷

تغییرات بارش برآوردی رادار برای بارش این سیل یک افزایش شدت بارش را در آغاز سامانه نشان داد. که به تناسب آن رواناب حوضه نیز افزایش نسبی یافت. تناسب تغییرات دبی با شدت بارش برآوردی رادار از نکات جالب این سیل بود. این نمودار تأثیر چگونگی پراکنش بارش را در ایجاد رواناب بیان کرد. در مجموع بارش برآوردی رادار برای این سیل ۹۳۲۷۹۳ متر مکعب بود. متوسط ارتفاع بارش برآوردی ۳۹/۹ میلی‌متر بود. مجموع رواناب اندازه‌گیری شده حوضه

با وجود این که بارش برآوردی کاهش شدید داشت، مقدار رواناب زیاد بود. یک دلیل آن مربوط به جریان آب زهکشی است که پس از اشباع شدن خاک و بعد از پایان بارش ادامه داشت. در مجموع بارش برآوردی رادار برای این سیل ۱۱۶۳۵۱۴ متر مکعب بود. متوسط ارتفاع بارش آن ۴۷/۵ میلی‌متر بدست آمد. مجموع رواناب حوضه ۱۷۴۵۰۰ متر مکعب بود و متوسط ارتفاع رواناب حوضه ۶/۶ میلی‌متر بود. بنابراین ضریب رواناب حوضه برای این سیل ۰/۱۴ بود. با توجه به حجم بارش برآوردی ضریب رواناب بزرگ‌تر بود. با توجه به اینکه این سیل در فصل زمستان رخ داد و در این فصل پوشش گیاهی ضعیف است و همچنین به دلیل اینکه در روز ۷ بهمن بارش نسبتاً خوبی در حوضه رخ داد (نگاره ۲۱).



نگاره ۲۱: تصویر مجموع بارش برآوردی رادار برای بارش

روز ۷ بهمن ۱۳۹۴

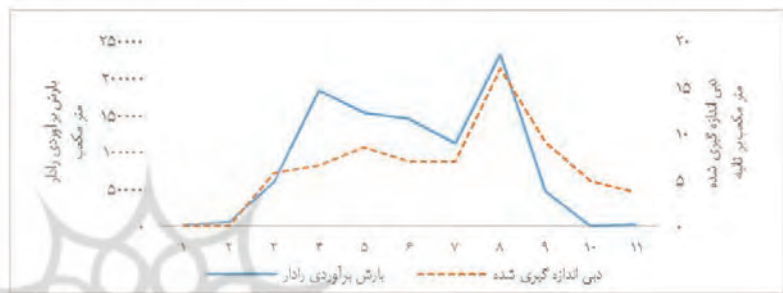
مجموع بارش از روز ۷ تا ۱۸ بهمن در ایستگاه‌های النگ، لیوان شرقی، باغوکناره، بندرگز، حاجی‌آباد، درازنو، کردکوی و گرجی محله به ترتیب ۳۰، ۲۴، ۱۸، ۲۳، ۱۲، ۱۲، ۳۰ و ۳۳ میلی‌متر ثبت شد. متوسط بارش این ایستگاه‌ها ۲۳ میلی‌متر بود. مجموع تبخیر ۷ تا ۱۹ بهمن در چهار ایستگاه بندرگز، بندرترکمن، هاشم‌آباد و گرگان به ترتیب ۱۲/۳، ۱۴/۶، ۱۳/۸ و ۱۱/۶ میلی‌متر بود. در نتیجه در زمان رخداد سیل، خاک حوضه کاملاً مرطوب بود که با بارش کم و در





نگاره ۲۲: نمودار بارش برآوردی رادار و دبی اندازه‌گیری شده سیل ۲۹ فروردین ۱۳۹۵

نگاره ۲۳: نمودار بارش برآوردی رادار و دبی اندازه‌گیری شده سیل ۱۷ شهریور ۱۳۹۵



جدول ۱: حجم رواناب اندازه‌گیری شده و برآوردی رادار - ضریب رواناب برآوردی

تاریخ (شمسی)	حجم رواناب اندازه‌گیری شده (متر مکعب)	حجم بارش برآوردی رادار (متر مکعب)	ارتفاع رواناب اندازه‌گیری شده (میلی متر)	ارتفاع بارش برآوردی رادار (میلی متر)	شدت بارش (میلی متر بر ساعت)	ضریب رواناب
۹۱/۰۴/۲۶	۲۵۷۲۰۵	۱۹۴۰۳۴۹	۱۰/۴	۷۹/۲	۳/۸	۰/۱۳۲
۹۱/۰۶/۱۲	۱۷۰۵۸۲	۱۸۰۶۶۰۶	۶/۹	۷۳/۸	۴/۸	۰/۰۹۴
۹۱/۰۷/۲۲	۲۰۴۹۹۱	۱۶۹۱۱۱۹	۸/۳	۶۹/۰	۳/۲	۰/۱۲
۹۲/۱۲/۲۲	۱۲۸۲۴۲	۷۵۷۲۵۵	۴/۹	۳۰/۱	۱/۷	۰/۱۶۹
۹۴/۰۸/۲۳	۹۲۹۹۵	۱۰۹۵۱۹۹	۳/۸	۴۴/۷	۲/۸	۰/۰۸۴
۹۴/۱۱/۱۹	۱۷۱۵۰۰	۱۱۶۳۵۱۴	۶/۶	۴۷/۵	۱/۳	۰/۱۴
۹۵/۰۱/۲۹	۳۸۴۸۶۱	۲۰۷۲۱۴۰	۱۵/۷	۸۴/۵	۴/۲	۰/۱۸۶
۹۵/۰۶/۱۷	۲۳۳۲۹۴	۹۳۲۷۹۳	۹/۹	۳۹/۹	۳/۲	۰/۲۴۷
میانگین	۲۰۵۴۵۹	۱۴۳۲۳۷۲				۰/۱۴۳

بارش در ایستگاه‌های النگ، لیوان شرقی، باغونکانه، بندرگز، حاجی‌آباد، درازنو، کردکوی و گرجی محله به ترتیب ۶۳، ۸۸، ۸۵، ۸۵، ۴۰، ۹۷، ۸۵ و ۷۳ میلی‌متر ثبت شد. متوسط بارش این ایستگاه‌ها ۷۷ میلی‌متر بود. مجموع تبخیر از ۱۳ الی ۱۷ شهریور ۹۵، در چهار ایستگاه بندرگز، بندرترکمن، هاشم‌آباد و گرگان به ترتیب ۱۵/۶، ۲۴/۶، ۱۷/۲

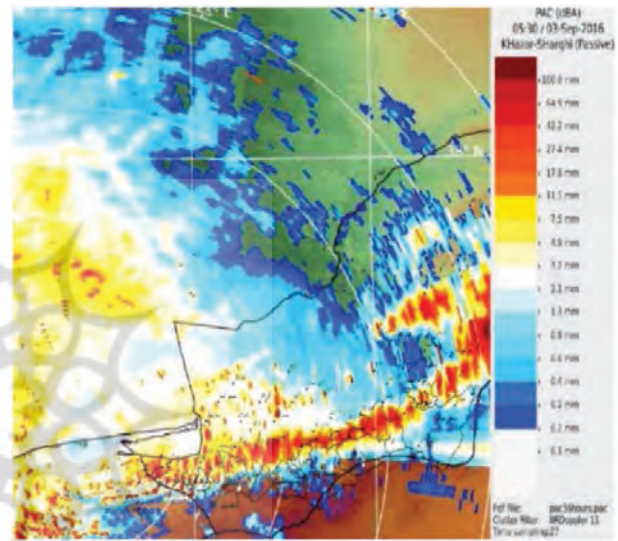
۲۳۳۲۹۴ مترمکعب و متوسط ارتفاع رواناب حوضه ۹/۹ میلی‌متر بود. بنابراین ضریب رواناب حوضه برای این سیل ۰/۲۴۷ بود. ضریب رواناب این سیل بزرگ بود. واکاوی داده‌های بارشی ایستگاه‌های پیرامون حوضه نشان داد که ۴ روز قبل از سیل، بارش نسبتاً شدیدی در منطقه رخ داده بود (نگاره ۲۳) که باعث افزایش رطوبت خاک حوضه شد.

### ۵- نتیجه گیری

ویژگی های هندسی یا ژئومتری (مساحت، محیط، شکل حوضه، ارتفاع حوضه، پستی و بلندی ها، طول آبراهی اصلی، عرض متوسط حوضه و ..... ) برای هر حوضه نسبتاً ثابت بوده و نشان دهندهی وضع ظاهری حوضه است (علیزاده، ۱۳۹۱: ۴۹۸). ولی عوامل اقلیمی و هواشناسی در یک سال متغیر است. و تأثیر آن ها بر رواناب حوضه کاملاً مشهود است. از جمله مهم ترین عوامل اقلیمی که در ضریب رواناب تأثیر دارند، شدت، مدت، حجم و چگونگی پراکنش بارش است. که تأثیر هر یک از این عوامل در بارش های مورد مطالعه این پژوهش مشاهده شد. با توجه به تراکم کم ایستگاه های زمینی، امکان دستیابی به حجم واقعی بارش بر فراز حوضه امکان پذیر نیست و داده های مجموع بارش حوضه که توسط رادار هواشناسی بدست آمد در توضیح تغییرات رواناب حوضه سودمند بود. همچنین اطلاع از چگونگی پراکنش بارش و تغییرات شدت بارش در بازه های زمانی کمتر از یک ساعت و تأثیر آن در بیشینه ی دبی و تغییرات هیدروگراف سیل بسیار مهم است (بخصوص در حوضه های کوچک). که این موضوع که تأثیر پراکنش بارش که با چه شدتی و در چه زمانی و در کجای حوضه باشد، در سیل ۹۱/۰۴/۲۷ واکاوی شد و به کمک تصاویر رادار به روشنی بیان شد.

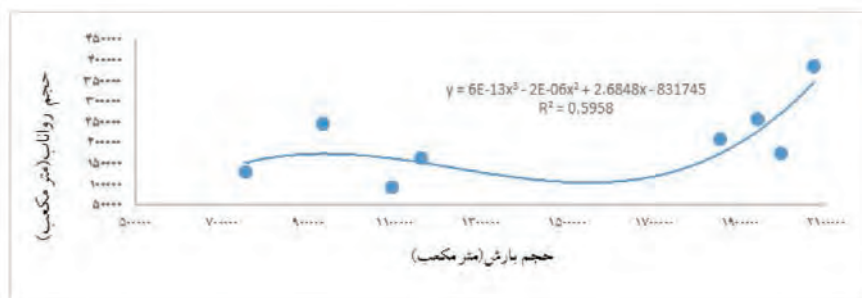
در این حالت کلی مقایسه حجم رواناب با حجم بارش برآوردی رادار نشان داد که با افزایش حجم بارش، حجم رواناب افزایش یافت (نگاره ۲۵). در عین حال اثر

و ۱۹/۵ میلی متر بود. بنابراین در زمان رخداد سیل، خاک حوضه هنوز مرطوب بود. همچنین چگونگی پراکنش زمانی بارش طوری بود که شروع بارش، با شدت کم تر بود که باعث افزایش رواناب شد ولی رواناب به نسبت بارش کم تر بود و مقداری از آن صرف اشباع شدن خاک حوضه شد و در ادامه، افزایش شدت بارش، باعث افزایش چشم گیر رواناب شد.



نگاره ۲۴: تصویر مجموع بارش برآوردی رادار برای بارش ۱۳ شهریور ۱۳۹۵

در این سامانه ی بارشی، مرطوب بودن خاک حوضه، موجب شد که رواناب افزایش ناگهانی داشته باشد و در مقایسه با بارش های مشابه به تناسب حجم بارش، مقدار و درصد رواناب بیش تر بود.



نگاره ۲۵: مقایسه حجم بارش برآوردی رادار با حجم رواناب اندازه گیری شده

بر رواناب بود. بدون شک عوامل زیادی در رواناب نقش دارند که از دید این پژوهش دور مانده‌اند. انشاءالله ادامه این پژوهش توسط علاقه‌مندان و اساتید این رشته انجام شود.

### منابع و مأخذ

۱. اداره کل امور آب استان گلستان، بخش مطالعه آب‌های سطحی، واحد آمار، ۱۳۹۵.
۲. اداره کل هواشناسی استان گلستان، معاونت توسعه و پیش‌بینی، واحد آمار، ۱۳۹۵.
۳. اداره کل هواشناسی استان مازندران، معاونت فنی و شبکه ایستگاه‌ها، اداره رادار، ۱۳۹۵.
۴. اوجاقلو شهابی، س، ۱۳۹۴، ارزیابی داده‌های بارش رادار هواشناسی در شبیه‌سازی رواناب حوضه بلرود، دانشکده کشاورزی دانشگاه گیلان، رساله کارشناسی ارشد.
۵. سازمان هواشناسی کشور، معاونت فنی، اداره کل مهندسی و تجهیزات، اداره شبکه رادار، ۱۳۹۴.
۶. علیزاده، امین، ۱۳۹۱، اصول هیدرولوژی کاربردی، دانشگاه امام رضا(ع)، چاپ سی و چهارم (ویرایش ششم).
۷. محمدی‌ها، ا، معماریان، م ح و ریحانی پروری، م، ۱۳۹۲، ارزیابی برآوردهای رادار هواشناسی تهران از کمیت بارش به روش Z-R برای سه رویداد بارش سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۱، مجله فیزیک زمین و فضا، دوره ۳۹، شماره ۲، ۱۳۹۲.
۸. موسوی، ف، جمشیدنژاد، ج، اسلامیان، و رستم افشار، ن، ۱۳۷۸، تخمین ضریب رواناب برای تعدادی از حوضه‌های دریای مازندران، علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، جلد سوم، شماره ۲.
۹. میرزایی ارجنگی، ی، ۱۳۹۲، ارزیابی داده‌های بارش حاصله از رادار هواشناسی و کاربرد آنها در مدل بارش- رواناب، دانشگاه شهید چمران- دانشکده مهندسی آب، پایان نامه دکتری.
۱۰. میرزایی، س. س. رثوف، م. ۱۳۹۳، مقایسه معادلات تجربی و روش تجزیه هیدروگراف سیلاب در برآورد زمان تمرکز، مطالعه موردی: حوضه آتسگاه- استان اردبیل، نشریه علمی-

بارش‌های کم حجم در افزایش حجم رواناب کوچک است و برای بارش‌های پر حجم، حجم رواناب به صورت نمایی افزایش می‌یابد. نتیجه آن که چون حوضه به دلیل پوشش جنگلی توان نگهداشت زیادی دارد بارش‌های کمک حجم توان تولید حجم زیادی از رواناب را ندارند مگر آن که حوضه از پیش مرطوب شده باشد. به محض این که حجم بارش از توان نگهداشت حوضه فزونی بگیرد حجم رواناب به صورت نمایی افزایش می‌یابد و حوضه توان سیل‌خیزی زیادی پیدا می‌کند. بنابراین برای یک حوضه نمی‌توان یک عدد ثابت به عنوان ضریب رواناب در نظر گرفت، بهتر است برای هر حوضه یک دامنه‌ی تغییرات مشخصی را در نظر گرفت.

به این نکته باید توجه کرد که هر سیل با توجه به شدت بارش، چگونگی پراکنش زمانی و مکانی بارش، تداوم بارش، تغییرات شدت بارش طی بارندگی، فواصل بین بارش‌ها و فصل بارش ضریب رواناب مختص به خود را دارد. با توجه به شدت و ضعف و ترکیب عوامل مختلف و تأثیرگذار بر رواناب، ممکن است مقدار رواناب بارش‌های مشابه با هم اختلاف داشته باشد. یافته‌های این پژوهش همچنین نشان داد که سیل‌های فصل گرم که با شروع ناگهانی و شدید بارش همراه بودند دارای هیدروگراف کشیده و نوک تیز بودند. سیل‌های فصل زمستان که بارش آن‌ها از شدت کمتری برخوردار بود و تداوم بیشتری داشت دارای هیدروگراف پهن بود. دامنه تغییرات ضریب رواناب بدست آمده در هشت سیل بررسی شده در حوضه باغو بین ۸ تا ۲۵ درصد بود. اینکه چه عددی برای رواناب این حوضه درست یا نادرست است نیازمند تحقیقات زیادی می‌باشد.

از جمله اینکه تحقیقات میدانی و اندازه‌گیری بارش و رواناب در مسافت و مساحت‌های کوچک‌تر و دوره آماری طولانی‌تر و با تعداد سیل‌های بیشتر انجام شود. انجام این کار نیازمند زمان زیاد و از آن مهم‌تر هزینه بسیار زیادی برای جمع‌آوری داده‌های زمینی می‌باشد. هدف این پژوهش دستیابی به الگوی اولیه برای عوامل تأثیرگذار

- Sriwongsitanon.N,2009; Runoff estimation using radar and rain gage data, 18th World IMACS / MODSIM Congress, Cairns, Australia 13-17 July 2009; 3719-3725.
21. Marra. F, E.I. Nikolopoulos. J. D. Creutin. M. Borga.; 2014; Radar rainfall estimation for the identification of debris-flow occurrence thresholds; Journal of Hydrology 519; 1607-1619.
22. Nicholas. Kouwen.; 1998, Water flood, Micro-Computer Based Flood Forecasting System Based on Real-Time Weather Radar; Canadian Water Resources Journal; 62-77.
23. Overeem, A. Buishand. T.A. and Holleman, I. , 2009, Extreme rainfall analysis and estimation Of depth-duration-frequency curves using weather radar, Water Resources Reserch, Vol. 45: 1-15.
24. RB5-Manuals- Rainbow Training Manual, 2012
25. RB5-Manuals-Ranbow\*. Products & Algorithms Release 5.37.0 -2013-04-01 .
26. Sami, E. Alin. C. Khalidou. B. 2010, Validation and use of rainfall radar data to simulate water flows in the Rio Escondido basin, Stoch Environ Res Risk Assess, Vol.24:559-565.
27. Seed. A, Siriwardena. L, X. Sun, P. Jordan, J. Elliott; 2002; On the Calibration of Australian Weather Radars; Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology, (Technical Report 02/7,2002).
28. Versini P.A, 2012; Use of radar rainfall estimates and forecasts to prevent flash flood in real time by using a road inundation warning system, Journal of Hydrology 416-417 (2012) 157-170.
29. Wang. p, Smeaton. A. Lao. S, Connor. E. Ling. Y. Connor.N ,2009, Short-Term Rainfall Nowcasting: Using Rainfall Radar Imaging Eurographics Ireland.
30. Xin He,2011. Weather radar based quantitative precipitation estimation in modeling of catchment hydrology, PhD thesis, University of Copenhagen.
31. Yilmaz K.K, Hogue. S, Gupta. H.V, Wagener. T; 2005; Intercomparison of Rain Gauge, Radar, and Satellite-Based Precipitation Estimates with Emphasis on Hydrologic Forecasting; Journal of Hydrometeorology.; Vol 6; 497-517.
- پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز، جلد ۶، شماره ۴، ۱۳۸۵-۴۰۷.
۱۱. نشاط، ع. صدقی، ح. ۱۳۸۵، برآورد میزان رواناب با استفاده از روش سازمان HEC-HMS و مدل (SCS) حفاظت خاک در حوضه آبخیز باغ ملک- استان خوزستان، مجله علمی-پژوهشی علوم کشاورزی، سال دوازدهم، شماره ۴.
12. Ahm. M, Thorndahl. S, Rasmussen. M. R and Bass. L., 2013, Estimating sub catchment runoff coefficients using weather radar and a downstream runoff sensor; water science & technology ;1293-1299echnology.
13. Anquetin. S, Braud. I, Vannier. O., Viallet. P. Boudevillain. B., Creutin. J.D Manus.C,2010; Sensitivity of the hydrological response to the variability of rainfall fields and soils for the Gard 2002 flash-flood event, Journal of Hydrology 394 (2010) 134-147.
14. Borga. M, Anagnostou. E.N, Frank. E, 2000, On the use of real-time radar rainfall estimates for flood prediction in mountainous basins, Journal of Geophysical Research, Vol. 105, NO. D2,2269-2280.
15. Byung. S, Kim., Jun. B, Hong, Hung. S, Kim, Seok. Y, Yoon, 2007, Combining radar and rain gauge rainfall estimates for flood forecasting using conditional merging method. World Environmental and Water Resources Congress 2007.
16. Cranston. M. D and Black. A.R, 2006; Flood warning and the use of weather radar in Scotland: a study of flood events in the Ruchill Water catchment, Meteorology. Appl. 13, 43-52.
17. Dong-Sin, S. Ming-Hsu, L. Ray-Shyan, W. (2008), Distributed Flood Simulations with Coupling Gauge Observations and Radar-rainfall Estimates, Water Resources Manage, Vol 22:843-859.
18. Giannoni. A, Smith. A. S, Zhang.Y, Roth.G ,2003; Hydrologic modeling of extreme floods using radar rainfall estimates, Advances in Water Resources 26. 195-203.
19. Looper J.P, Vieux. B.E,2012; An assessment of distributed flash flood forecasting accuracy using radar and rain gauge input for a physics-based distributed hydrologic model; Journal of Hydrology 412-413 ,114-132.
20. Mapiam. P.P., Sharma. A, Chumchean. S and