



نسخه از دور

GIS ایران

سنجش از دور و GIS ایران
Iranian Remote Sensing & GIS

سال دوازدهم، شماره اول، بهار ۱۳۹۹
Vol.12, No. 1, Spring 2020

73-86



Investigation of Intensity- Duration- Area of Rainfall and its Impact on Floods Using Radar Images (Case Study of the Flood on May 2014)

Parviz Panjehkoobi.^{1*}, Mohammad Jrayahni Parvari², Mehdi Javardi.³, Mohammad Reza Rahmanna.³

1. PhD Student of Climatology, Isfahan University, Isfahan, Iran
2. PhD Student of Meteorology, Azad University, Oloom Tahghighat, Tehran, Iran
3. Expert of Meteorology in Golestan Province, Golestan, Iran

Abstract

In this study, meteorological radar images were used to calculate intensity - amount and distribution of precipitation. Spatial resolution of 500 m radial and temporal resolution of 15 min were calculated. Floods in three basins of Sermo, Zrinigol and Ramian were studied. Results showed that intensity, duration and location of precipitation determined the amount of runoff in the basin. Flood time differed with the concentration and maximum runoff time of the basin. Investigating the radar images revealed that the maximum runoff in addition to the sum of precipitation on the basin was also dependent on the distribution of precipitation. If the sum and distribution of precipitation were consistent, intensity of flooding was significantly increased, if intensity and sum of precipitation were inconsistent, flood intensity was lower. Maximum runoff time was different in each basin depending on location of rainfall intensity and the distribution of rainfall. The results showed that use of radar data was more accurate than experimental methods to predict flood and maximum runoff.

Keywords: Radar, Runoff, Rainfall, Flood and Gorganrood.



نسخه آردو

GIS ایران

سنجش از دور و GIS ایران
Iranian Remote Sensing & GIS

۷۳-۸۶



واکاوی شدت-مدت-مساحت بارش و تأثیر آن در سیل، با استفاده از تصاویر و داده‌های رادار (مطالعه موردی: سیل هشتم خرداد ۱۳۹۳)

پرویز پنجه‌کوبی^{۱*}، محمد ریحانی پروری^۲، مهدی جاوردی^۳، محمدرضا رحمن‌نیا^۳

۱. دانشجوی دکتری آبی هواشناسی دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

۲. دانشجوی دکتری هواشناسی، دانشگاه آزاد واحد علوم تحقیقات، تهران، ایران

۳. کارشناس هواشناسی استان گلستان، گلستان، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۲/۲۰

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۴/۰۵

چکیده

در رابطه‌های تجربی برای محاسبه زمان تمرکز، شدت بارش حوضه یکنواخت فرض شده است. تغییرات در شدت، مدت و توزیع فضایی از ویژگی‌های ذاتی بارش‌های همرفتی شمرده می‌شود. در این پژوهش، با استفاده از تصاویر و داده‌های رادار هواشناسی، شدت و مقدار و پراکنش بارش، با تفکیک مکانی پانصد متر شعاعی و تفکیک زمانی پانزده دقیقه، محاسبه شد. سیل هشتم خرداد ۱۳۹۳ در سه حوضه سرمو، زرین‌گل و رامیان بررسی شد. ابتدا محدوده هریک از حوضه‌ها در محیط GIS به‌دست آمد و به‌صورت برنامه اجرایی برای نرم‌افزار رادار تعریف شد و سپس، به کمک تصاویر و داده‌های رادار هواشناسی، شدت و نحوه پراکنش بارش در حوضه‌های انتخابی واکاوی شد. نتایج نشان داد شدت، مدت و پراکنش بارش تعیین‌کننده مقدار رواناب حوضه بود. زمان سیل با زمان تمرکز و بیشینه رواناب حوضه اختلاف داشت. واکاوی تصاویر رادار نشان داد که بیشینه رواناب، علاوه بر مجموع بارش حوضه، به پراکنش بارش نیز مرتبط بود. اگر مجموع و پراکنش بارش هم‌سو بودند، شدت سیلاب افزایش و اگر شدت و مجموع بارش ناهم‌سو بودند، شدت سیلاب کاهش داشت. در پیش‌بینی زمان سیلاب و رواناب بیشینه، استفاده از داده‌های رادار دقتی بیشتر از روش‌های تجربی داشت.

کلیدواژه‌ها: رادار، رواناب، شدت بارش، سیل، گرگانرود.

* نویسنده مکاتبه‌کننده: گلستان، گرگان، میدان بسیج، سایت اداری، اداره کل هواشناسی. تلفن: ۰۱۷۳۲۴۸۰۲۶۵، ۰۹۱۲۵۲۳۴۲۲۳.

۱- مقدمه

حدود هزار دلار در سال هزینه دارد و این دلیلی برای به حداقل رساندن تعداد باران‌سنج‌ها در سطح زمین و عملیاتی کردن رادار است. کرانستون و بلک^۳ (۲۰۰۶) اظهار داشته‌اند رادار هواشناسی برآورد ناحیه‌ای از بارش را، در زمان واقعی، ارائه می‌دهد که دیده‌بانی ایستگاه‌های باران‌سنجی نمی‌تواند چنین کاری را انجام دهد و این چه بسا فرصتی مناسب را، برای توسعه و پیشرفت پیش‌بینی‌های جدید و بهبود تکنیک‌های نوین پیش‌بینی کاربردی، فراهم کند. درستی برآوردهای کمی بارش در پیش‌بینی سیل بسیار مهم است. پیش‌بینی و تعیین میزان کمی فرایندهای تولید رواناب و انتقال آن به نقطه خروجی حوضه آبریز اهمیت فراوان دارد. ویژگی‌های حوضه آبریز، در ارتباط با ویژگی طوفان، نقش تعیین‌کننده‌ای در قابلیت تولید رواناب زیاد سیل دارند.

مورنو^۴ و همکاران (۲۰۱۳) بیان کرده‌اند، در حال حاضر، رادار هواشناسی ابزار توانمندی در تهیه اطلاعات در دسترس و دارای درجه تفکیک زمانی و مکانی است. از نظر ورسینی^۵ (۲۰۱۲)، به‌طور کلی، تراکم شبکه باران‌سنج‌های خودکار بسیار اندک است و با رخدادهای سیل با تفکیک مکانی و زمانی کوتاه سازگار نیست. وانگ^۶ و همکاران (۲۰۰۹) رادار و باران‌سنج‌ها را رایج‌ترین ابزار جمع‌آوری داده‌های بارش می‌شمارند و این دو را، در کنار هم، برای برآورد و توزیع بارش در پهنه‌ای گسترده سودمند می‌دانند. به‌گفته کوون^۷ (۱۹۸۸)، رادار می‌تواند شبیه‌سازی رواناب را، با استفاده از نرم‌افزار، بهبود ببخشد.

۲- پیشینه پژوهش

پژوهش جیانونی^۸ و همکاران (۲۰۰۳) در حوضه آبریز رودخانه راپیدین نشان داد که ساختار طوفان و حرکت

رواناب یکی از مؤلفه‌های بیلان آب حوضه است که اهمیت بسیاری در آبخیزداری و مدیریت منابع آب دارد. پیش‌بینی و تعیین میزان کمی فرایندهای تولید رواناب و انتقال آن به نقطه خروجی حوضه آبریز دارای اهمیت خاصی است. در فرایند تبدیل بارش به رواناب سطحی، دو دسته از عوامل نقش دارند: عوامل اقلیمی و عوامل فیزیوگرافیکی حوضه. عوامل اقلیمی شامل نوع، شدت و تداوم بارش و نیز، توزیع مکان بارندگی می‌شود (علیزاده، ۱۳۹۱). عوامل فیزیوگرافیکی شامل نوع کاربری اراضی، جنس خاک، مساحت حوضه آبریز، شکل حوضه، ارتفاع، شیب، جهت و نوع شبکه زهکشی است. همه این عوامل هم در میزان حجم رواناب سطحی و هم در مقدار دبی اوج آن به‌نحوی مؤثرند؛ برای نمونه، هرچه تداوم بارندگی بیشتر باشد، ظرفیت نفوذ آب در خاک کمتر می‌شود و بنابراین، حجم رواناب افزایش می‌یابد. آنکوئین^۱ و همکاران (۲۰۱۰) عقیده دارند، زمانی که خاک اشباع از آب باشد، تغییرات بارش حرکات سیل را کنترل می‌کند. تغییرات شدید در شدت، مدت و توزیع فضایی از ویژگی‌های ذاتی بارش‌های رگباری ناشی از سلول‌های همرفتی محسوب می‌شود؛ بنابراین، سنجش ناحیه‌ای و دقیق آن‌ها با شبکه باران‌سنجی مشکل است زیرا سنجش باران‌سنج سنجشی نقطه‌ای است و نمی‌تواند میانگین بارش در سطح را نشان دهد. شرایط تشکیل و بزرگی سیل در هر مکانی یکسان نیست. یکی از راهکارهای مهم پیش‌بینی زمان رخداد سیل برآورد درست و به‌هنگام بارش است.

توزیع نامناسب فضایی باران‌سنج‌ها امکان برآورد درست بارش را ناممکن می‌کند و در برآورد اندازه‌های بارش، در مکان‌های گوناگون، اشتباه رخ می‌دهد. البته، با افزایش شمارگان باران‌سنج‌ها، این مشکل برطرف می‌شود ولی این کار بسیار پرجز است. هزینه نصب و نگهداری باران‌سنج‌ها بسیار زیاد است. به‌بیان سید^۲ و همکاران (۲۰۰۲)، باران‌سنج دارای کنترل از راه دور

1. Anquetin

2. Seed

3. Cranston & Black

4. Moreno

5. Versini

6. Wang

7. Kouwen

8. Giannoni

سیل در حوضه‌هایی با اندازه‌های متفاوت است و مهارت پیش‌بینی سیل و زمان پیش‌بینی آن به ارتباط بین ویژگی‌های حوضه و بارش بازمی‌گردد. پنزی‌یرا^۱ و همکاران (۲۰۱۶)، با بهره‌گیری از ده سال داده‌های رادار، آستانه‌ی مجموع بارش را برای تهیه‌ی سیستم هشدار سریع در دامنه‌های آلپی سوئیس مطرح کردند. نتایج کار آن‌ها نشان داد مقادیر آستانه‌ها، با دوره‌ی زمانی و مناطق گوناگون، متفاوت است. در نهایت، با استفاده از داده‌های رادار، سیستم هشدار سریع برای استفاده‌ی کاربران بسیاری تهیه شد؛ بدین‌صورت که پیش از رسیدن مقدار مجموع بارش به مقدار آستانه، سطح هشدار مشخص و صادر می‌شود. موسوی و همکاران (۱۳۷۸: ۴۶)، در برآورد ضریب رواناب برای حوضه‌های دریای مازندران، به این نکته اشاره داشتند که مقادیر ضرایب رواناب به‌دست‌آمده طبق روش استدلالی - احتمالی کمتر از مقادیر حاصل از روش‌های تجربی چاو^۲ و همکاران و مقادیر به‌دست‌آمده در دبی بیشینه، با روش استدلالی-احتمالی، بهتر از مقادیر حاصل از روش چاو و همکاران بود. نشاط و صدقی (۱۳۸۵: ۲۴) در برآورد میزان رواناب، با استفاده از روش سازمان حفاظت خاک SCS و HSC-HMS و در حوضه‌ی باغ‌ملک استان خوزستان، به این نتیجه رسیدند که، به‌دلیل بروز شرایط متفاوت در زمان وقوع هر سیلاب، به‌خصوص شرایط شدت بارش، روش SCS توان تحلیل را ندارد و مشخص شد که تشکیل رواناب واقعی، تا حدودی، با روند محاسباتی روش SCS تفاوت داشت. میرزایی و رئوف (۱۳۹۳: ۴۰۸) به این نکته اشاره داشتند که مقادیر به‌دست‌آمده برای زمان تمرکز، در روابط تجربی که از تعداد پارامترهای بیشتری استفاده می‌کردند، مطابقت مطلوبی با مقدار واقعی دارد.

آن نقش مهمی در شناسایی توزیع زمانی بارش داشته‌اند و این عامل اولیه در شناسایی واکنش سیل‌های شدید محسوب می‌شد. اوریم^۱ و همکاران (۲۰۰۹)، با استفاده از رادار هواشناسی، بارش‌های سنگین هلند را بررسی کردند و منحنی شدت-مدت - فراوانی را به‌دست آوردند. آن‌ها بارش‌های رادار و تغییرات آن را استخراج و با داده‌های بارش زمینی مقایسه کردند. نتایج نشان داد، اگرچه درمورد دوره‌های طولانی‌مدت خطا زیاد بود؛ داده‌های رادار برای استخراج منحنی‌های شدت - مدت - فراوانی مناسب بودند. پژوهش لوپر و ویو^۲ (۲۰۱۲: ۱۳۰) نشان داد، در مرحله‌ای که از داده‌های ترکیبی باران‌سنج - رادار استفاده شد، مقادیر پیش‌بینی‌شده و مشاهده به هم نزدیک‌تر از مرحله‌ای بودند که فقط از داده‌های بارش استفاده شد. علاوه بر این، در مرحله‌ای که از داده‌های ترکیبی استفاده شد، خطای زمانی پیش‌بینی ۸۰٪ کمتر از زمانی بود که فقط داده‌های باران‌سنج به‌کار رفت. ترکیب برآورد بارش رادار با درجه‌ی تفکیک بالا و مدل‌های آب‌شناختی کارآیی بسیاری در پیش‌بینی سیل دارد. پژوهش درباره‌ی این کارآیی نیازمند برآورد پیشرفته‌ی بارش رادار و مدل‌های آب‌شناختی است (Giannoni et al., 2003). دونگ^۳ و همکاران (۲۰۰۸)، براساس مشاهدات زمینی و رادارهای هواشناسی توزیع سیل را در تایوان شبیه‌سازی کردند. الوچ^۴ و همکاران (۲۰۱۰)، با استفاده از داده‌های بارش رادار جریان‌های سطحی را، در حوضه‌ی ریو اسکاندیدو^۵ در مکزیک، شبیه‌سازی و اعتبارسنجی کردند. طبق نتایج، داده‌های بارش رادار با داده‌های اندازه‌گیری‌شده‌ی زمینی سازگار بود. پارک و هور^۶ (۲۰۱۲)، با پیش‌پردازش داده‌های رادار، یک روش کالیبراسیون اتوماتیک برای شرایط رطوبت اولیه پیشنهاد کردند که در تخلیه‌ی حوضه تأثیر داشت. مورنو و همکاران (۲۰۱۳)، طی واکاوی یازده حوضه‌ی کوهستانی منطقه‌ی کلرادو در دو طوفان فصل گرم، به این نتیجه رسیدند که بارش و ویژگی‌های حوضه‌ها مهم‌ترین عامل تعیین‌کننده‌ی پیش‌بینی

1. Overeem

2. Looper & Vieux

3. Dong

4. Eleuch

5. Rio Escondido

6. Park & Hur

7. Panziera

8. Chow

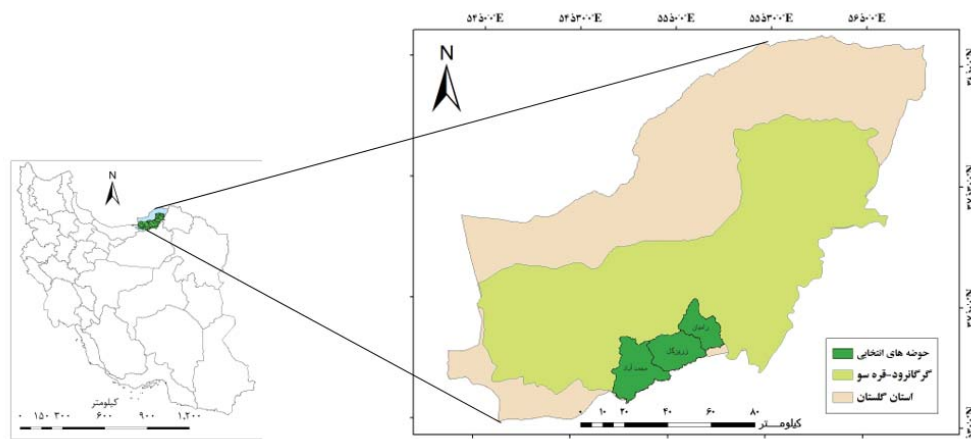
۳- داده‌ها و روش‌شناسی

این پژوهش در سه حوضه آبریز سرمو (محمدآباد)، زرین‌گل و رامیان، از زیرحوضه‌های گرگانرود در استان گلستان، انجام شد (شکل ۱). داده این پژوهش شامل مقدار رواناب سه حوضه نام‌برده، در تاریخ هشتم خرداد ۱۳۹۳، و داده‌های رادار امیرآباد مازندران بود که اولین مورد از اداره امور آب استان و دومی از اداره کل هواشناسی استان گلستان دریافت شد.

حوضه سرمو از سه زیرحوضه محمدآباد، السستان و سیاه‌مرزکوه تشکیل شده است. حوضه زرین‌گل از سه حوضه زرین‌گل، شیرین‌آباد و سیاه‌رودبار تشکیل شده است. حوضه رامیان شامل سه زیرحوضه رامیان، جوزچال و ویرو می‌شود. در این پژوهش، ابتدا، فایل محیط (پلی‌گون) حوضه‌ها و زیرحوضه‌ها در نرم‌افزار GIS (ساج)

فراخوانی شد و محیط و مساحت آن‌ها به‌دست آمد. نقشه رقومی ارتفاع حوضه‌ها (DEM) نیز استخراج شد و با استفاده از این نقشه، ارتفاع و شیب و شبکه رودخانه حوضه‌ها و طول رودخانه اصلی حوضه‌ها به‌دست آمد.

برای هر حوضه، یک ایستگاه هیدرومتری به‌منزله نقطه اندازه‌گیری رواناب مشخص شد. برای اندازه‌گیری رواناب، سه ایستگاه هیدرومتری سرمو، زرین‌گل و رامیان انتخاب شد. با استفاده از فرمول‌های تجربی و با احتساب زمان خروج رواناب از ایستگاه هیدرومتری منتخب حوضه، زمان تمرکز حوضه‌ها و زیرحوضه‌ها به‌دست آمد. سپس، به کمک نرم‌افزار GIS، مختصات فایل نقطه‌ای پیرامون حوضه‌ها محاسبه شد. این مختصات به‌صورت برنامه اجرایی برای نرم‌افزار رادار نوشته شد (شکل ۲).



شکل ۱. نمایش محدوده پژوهش

```

xml version="1.0"?>
able2d refid="area" >
able1d refid="area" >
ame>Ramian-30min</name>
e11 refid="threshold06" > 10.0 15.0 20.0</cell>
e11 refid="threshold12" > 20.0 30.0 40.0</cell>
e11 refid="threshold24" > 30.0 45.0 60.0</cell>
e11 refid="threshold72" > 70.0 100.0 130.0</cell>
e11 refid="lon" >55.0901967837 55.0910893528999 55.092855634 ..... 55.0901967837 55.0901967837</cell>
e11 refid="lat" >36.98457529 36.9883224702999 36.9933618506999 .....| 36.98457529 36.98457529</cell>
table1d>
table2d>
    
```

شکل ۲. فایل نمونه‌ای از برنامه اجرایی نرم‌افزار رادار برای محاسبه رواناب، در محدوده هر یک از زیرحوضه‌ها

۲۳/۲ کیلومتر، میانگین شیب آن ۰/۹٪ و زمان تمرکز آن تا نقطه خروجی آب از ایستگاه هیدرومتری، به سه روش کالفرنیا و کرپیچ و چاوه، به ترتیب، ۱/۹ و ۱/۷۸ و ۱/۷۴ است؛ ۲. حوضه الستان که طول رودخانه اصلی آن ۳۴/۵ کیلومتر، میانگین شیب آن ۰/۶٪ و زمان تمرکز آن تا نقطه خروجی آب از ایستگاه هیدرومتری به سه روش کالفرنیا، کرپیچ و چاوه، به ترتیب، ۳/۰۲ و ۲/۷۶ و ۲/۸ ساعت است؛ ۳. حوضه سیاه‌مرزکوه که طول رودخانه اصلی آن ۳۰/۸ کیلومتر، میانگین شیب آن ۰/۸٪ و زمان تمرکز آن تا نقطه خروجی آب از ایستگاه هیدرومتری به سه روش کالفرنیا، کرپیچ و چاوه، به ترتیب، ۲/۳۹ و ۲/۲۲ و ۲/۲ ساعت است. میانگین ارتفاع بارش تا ساعت ۱۴، در حوضه محمدآباد، ۸/۴ میلی‌متر بود که، با توجه به پوشش گیاهی و فصل رخداد بارش، این مقدار بارش صرف مرطوب کردن خاک حوضه و فرایند گیرش برگ شد (جدول ۱). در ساعت ۱۴، پراکنش بارش به‌گونه‌ای بود که مناطق دارای بارش شدید در فاصله دور از خروجی قرار داشت؛ بنابراین، نقش چندانی در رواناب نداشت (شکل ۵).

بدین ترتیب، محیط هریک از حوضه‌ها و زیرحوضه‌ها برای رادار تعریف شد. پس از اجرای این برنامه در محیط نرم‌افزار رادار و با استفاده از داده‌های خام رادار، میانگین ارتفاع بارش و مجموع و میانگین رواناب حوضه‌ها و زیرحوضه‌ها، با فاصله زمانی یک‌ساعته، به دست آمد. با استفاده از حجم رواناب برآوردی رادار و استفاده از تصاویر رادار، مقدار و نحوه پراکنش و شدت بارش در ساعات متفاوت سامانه بارشی حاصل شد. با توجه به حجم رواناب برآوردی رادار در ساعات گوناگون، نمودار رواناب هریک از حوضه‌ها مشخص و با مقدار رواناب اندازه‌گیری‌شده، مقایسه شد و نتایج مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

۴- یافته‌های پژوهش

۴-۱- حوضه سرمو

سرمو از زیرحوضه‌های گرگانرود محسوب می‌شود؛ مساحت آن ۳۹۷ کیلومترمربع و محیط آن ۹۸ کیلومتر است. این حوضه از سه زیرحوضه تشکیل شده است: ۱. حوضه محمدآباد که طول رودخانه اصلی آن

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
SdName : 04KZRE250D-ZW0-0000.vol																	
Date : Thu May 29 2014																	
Time : 14:30:25																	
Start : @2014-05-29T13:30:25																	
Interval : @0 d, @1 h, @0 m																	
Name : Alestan																	
Size : 123.750000																	
Average Rain : 11.432649																	
Total Rain : 11.432649																	
Average Runoff : 392.997294																	
Total Runoff : 1414790.259741																	
Description : Lon																	
Values : 54.816032,54.816889,54.817650,54.820472,54.822285,54.825694,54.831751,54.836650,54.842638,54.847284,54.853938,54.857889,54.859948,54.864635,54.870040,E																	
Description : Lat																	
Values : 36.740090,36.741489,36.743275,36.745007,36.746810,36.750173,36.754063,36.756163,36.758072,36.761300,36.761321,36.759568,36.757826,36.757910,36.757303,E																	
Name : Mohamadabad																	
Size : 153.000000																	
Average Rain : 24.183477																	
Total Rain : 24.183477																	
Average Runoff : 1027.797766																	
Total Runoff : 3700071.957991																	
begin(cell)																	
Description : Lon																	
Values : 54.795548,54.799495,54.805963,54.810078,54.820293,54.824285,54.824589,54.828368,54.831576,54.835484,54.842404,54.847562,54.851968,54.858418,54.864550,E																	
Description : Lat																	
Values : 36.829669,36.829184,36.829489,36.831239,36.838122,36.839758,36.836881,36.834037,36.832602,36.830226,36.827422,36.831263,36.834145,36.836966,36.839916,E																	
Name : Siyamarzkuh																	
Size : 169.000000																	
Average Rain : 0.69315																	
Total Rain : 0.69315																	
Average Runoff : 32.539555																	
Total Runoff : 117142.399190																	
begin(cell)																	
ID : lon																	
Description : Lon																	
Values : 54.816032,54.816492,54.817271,54.817210,54.817421,54.817769,54.818312,54.818338,54.820075,54.819876,54.820140,54.820413,54.821932,54.823198,54.824761,E																	
Description : Lat																	
Values : 36.740090,36.738793,36.737898,36.734721,36.731604,36.729898,36.728680,36.727749,36.725737,36.722436,36.721030,36.719265,36.716656,36.714595,36.711785,E																	
end(cell)																	
2014052914302500.rsa																	

شکل ۳. نمونه فایل خروجی رواناب برآوردی رادار در زیرحوضه‌ها

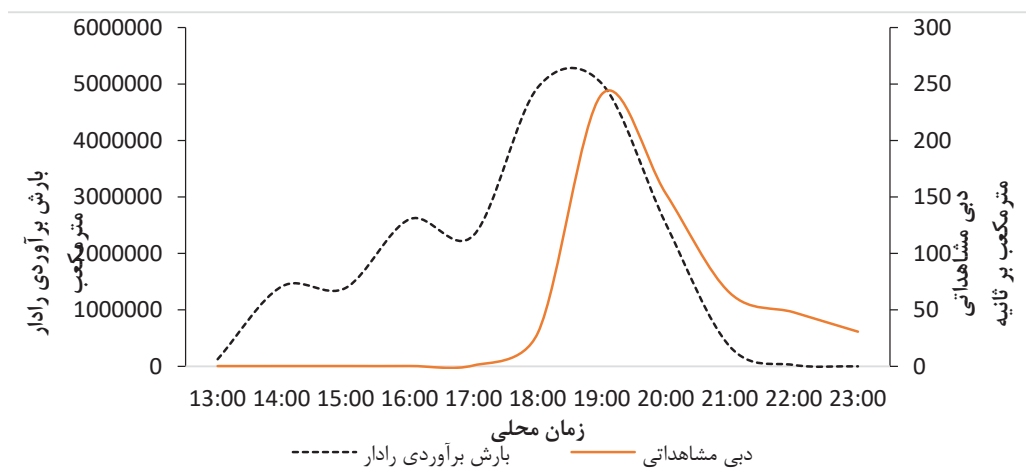
خروجی عبور کند. هیدروگراف حوضه افزایش ۲۹/۵ مترمکعب بر ثانیه را، طی ساعت ۱۸، نشان داد (شکل ۴). افزایش بارشی که، ساعت ۱۷، در نزدیکی نقطه خروجی و در ساعت‌های ۱۵ و ۱۶، در فاصله دور از خروجی رخ داده بود باعث افزایش دبی در ساعت ۱۸ شد.

مجموع بارش ساعت ۱۸، در حوضه محمدآباد، حدود ۳/۲ میلیون مترمکعب بود و مناطق پربارش آن در فاصله‌ای دورتر از خروجی قرار داشت که، برای عبور از خروجی، به زمان بیشتری نیاز بود. بنابراین، بخش عمده‌ای از آن در ساعت ۱۹ از خروجی گذر کرد. درصد بسیاری از بارش ساعت ۱۹ این حوضه نیز، که در فاصله نزدیک خروجی رخ داد، با اختلاف زمانی کمتر از یک ساعت، از خروجی گذر کرد. علاوه بر این، بارش‌هایی که در ساعات ۱۶ و ۱۷ در دو حوضه السستان و سیاه‌مرزکوه رخ داد، با توجه به زمان تمرکز این دو حوضه، در ساعت ۱۹ از خروجی عبور کرد. بنابراین، ترکیب ساعت‌های ۱۸ و ۱۹ حوضه محمدآباد و ساعت‌های ۱۶ و ۱۷ دو حوضه السستان و سیاه‌مرزکوه باعث افزایش دبی شد.

در ساعت ۱۵ نیز، هرچند در حجم و ارتفاع بارش حوضه محمدآباد افزایش اندکی دیده شد؛ چون مناطق پربارش دور از خروجی قرار داشت، رواناب حاصل از آن با تأخیر بیش از یک ساعت از خروجی گذر کرد. بنابراین، در این ساعت هم، هیچ افزایشی در رواناب حوضه دیده نشد. در ساعت ۱۶، پراکنش و مقدار بارش حوضه محمدآباد مانند ساعت پیش بود و مناطق پربارش در فاصله دور از نقطه خروجی قرار داشت. به علاوه، مقدار و ارتفاع بارش افزایش مطلوبی در حوضه السستان داشت که، با توجه به زمان تمرکز این حوضه، در ساعت ۱۶، افزایشی در دبی حوضه نداشت (شکل ۵). حجم و ارتفاع بارش، در ساعت ۱۷ و در حوضه محمدآباد، افزایش داشت (جدول ۱) و پراکندگی آن به گونه‌ای بود که مناطق پربارش در فاصله نزدیک به نقطه خروجی حوضه قرار داشت. هرچند زمان تمرکز حوضه محمدآباد ۱/۸ ساعت محاسبه شد؛ چون پراکنش بارش با شدت زیاد در فاصله نزدیک خروجی قرار گرفت، انتظار بر این بود که در زمانی کوتاه‌تر از

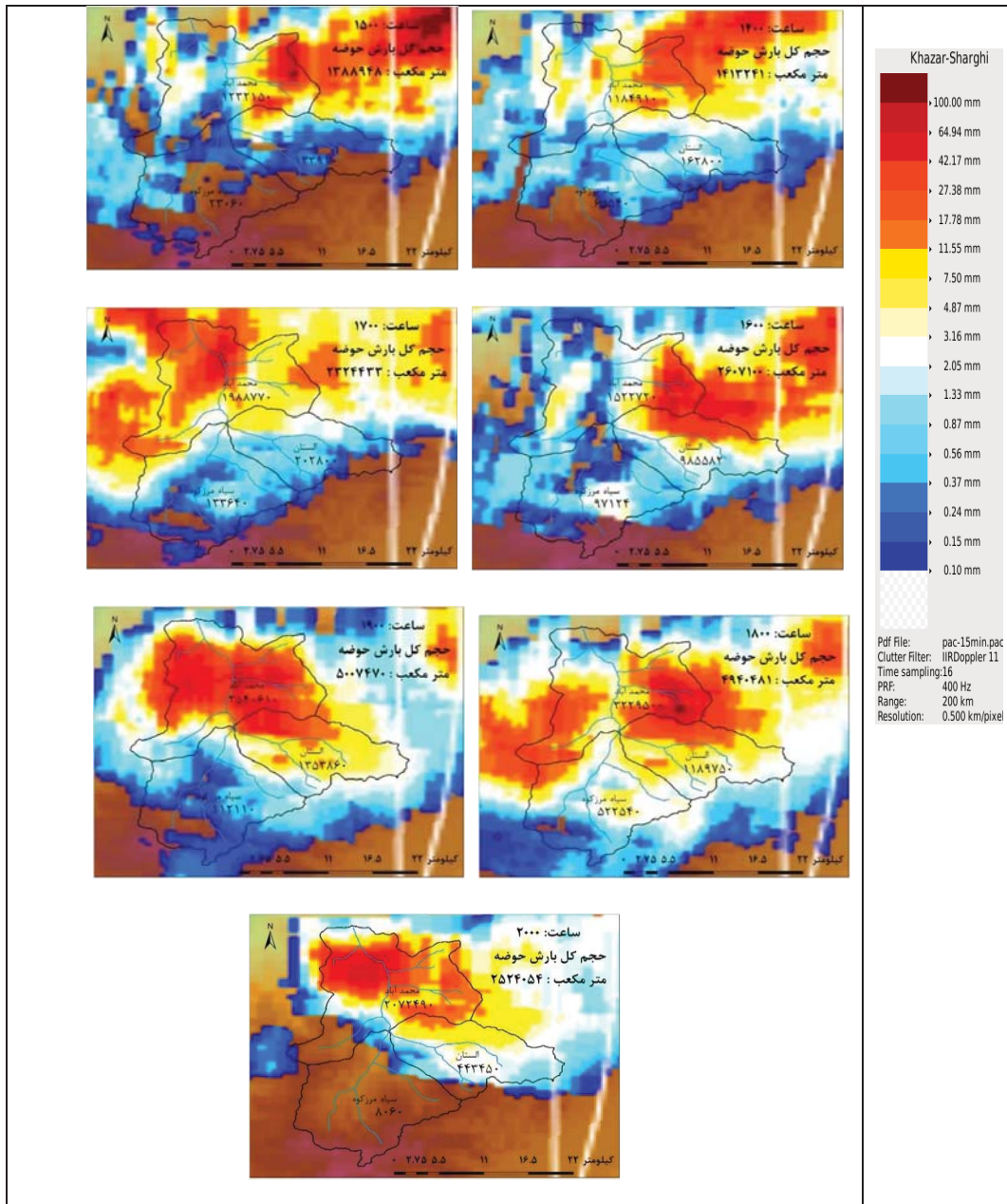
جدول ۱. میانگین ارتفاع بارش برآوردی رادار در سطح زیر حوضه‌های سرمو برحسب میلی‌متر

ساعت ۲۰	ساعت ۱۹	ساعت ۱۸	ساعت ۱۷	ساعت ۱۶	ساعت ۱۵	ساعت ۱۴	
۱۴/۰	۲۴/۲	۲۲/۶	۱۸/۰	۱۰/۷	۱۰/۸	۸/۴	حوضه محمدآباد
۳/۷	۱۱/۴	۱۰/۳	۲/۳	۸/۶	۲/۲	۱/۴	حوضه السستان
۰/۵	۰/۶	۳/۳	۱/۱	۰/۶	۰/۴	۰/۴	حوضه سیاه‌مرزکوه



شکل ۴. نمودار دبی و حجم بارش برآوردی رادار برای بارش هشتم خرداد ۱۳۹۳ در حوضه سرمو

واکاوی شدت- مدت- مساحت بارش و تأثیر آن در سیل ...



شکل ۵. نمایش پراکنش بارش حوضه سرمو، از ساعت ۱۴:۰۰ تا ۲۰:۰۰، سیل روز هشتم خرداد ۱۳۹۳

مترمکعب بر ثانیه بود که حاصل باقی‌مانده بارش حوضه محمدآباد، در ساعت ۲۰، بارش ساعت ۱۹ و نیز درصدی از بارش ساعت ۱۸ در دو حوضه السستان و سیاه‌مرزکوه شمرده می‌شد.

در ساعت ۲۰، دبی به ۱۵۳ مترمکعب در ثانیه رسید که نتیجه ترکیب درصدی از بارش ساعت ۱۹ حوضه محمدآباد، در فاصله‌ای دورتر از حوضه، و بارش‌های ساعت‌های ۱۷ و ۱۸ دو حوضه السستان و سیاه‌مرزکوه بود. دبی حوضه، در ساعت ۲۱، برابر با ۶۵

۲-۴- حوضه زرین گل

این حوضه از زیرحوضه‌های گرگانرود، با مساحت ۳۳۵ کیلومتر مربع و محیط ۸۱/۴ کیلومتر و از سه زیرحوضه تشکیل شده است: ۱. حوضه زرین گل کوچک که طول رودخانه اصلی آن ۱۴/۲ کیلومتر، میانگین شیب آن ۱۰٪ و زمان تمرکز آن تا نقطه خروجی آب از ایستگاه هیدرومتری به سه روش کالفرنیا، کرپیچ و چاو، به ترتیب، ۱/۲۵ و ۱/۱۶ و ۱/۱۶ ساعت است؛ ۲. حوضه شیرین آباد که طول رودخانه اصلی آن ۲۳/۳ کیلومتر، میانگین شیب آن ۸/۳٪ و زمان تمرکز آن تا نقطه خروجی از ایستگاه هیدرومتری به سه روش کالفرنیا، کرپیچ و چاو، به ترتیب، ۱/۹۷ و ۱/۸ و ۱/۸۳ ساعت است؛ ۳. حوضه سیاه رودبار که طول رودخانه اصلی آن ۲۸/۳ کیلومتر، میانگین شیب آن ۸/۸٪ و زمان تمرکز آن تا نقطه خروجی از ایستگاه هیدرومتری به سه روش کالفرنیا، کرپیچ و چاو، به ترتیب، ۲/۲۳ و ۲/۰۵ و ۲/۰۸ ساعت است.

پراکنش بارش در ساعت ۱۴، در حوضه کوچک زرین گل، به صورتی بود که بیشتر مناطق پربارش در مجاورت خروجی حوضه قرار داشت؛ بنابراین، با فاصله زمانی کوتاهی، از خروجی عبور کرد و در همان ساعت، مقدار دبی حوضه به ۳۱ مترمکعب بر ثانیه افزایش یافت. البته حجم کل بارش حوضه زرین گل بزرگ حدود ۳/۲ میلیون مترمکعب بود و چون بارش در مناطق دورتر و با شدت کمتری رخ داد؛ بدین ترتیب، تأثیر چندانی در افزایش رواناب ساعت ۱۴ نداشت (شکل ۷).

مجموع بارش حوضه بزرگ زرین گل در ساعت ۱۵ در حدود ۷/۶ میلیون مترمکعب بود ولی، به همان نسبت، افزایشی در رواناب دیده نشد (شکل ۳ و ۴) که علت آن نحوه پراکنش بارش بود. حدود ۵/۴ میلیون

مترمکعب بارش فقط در حوضه زرین گل کوچک رخ داد اما بیشتر این حجم در فاصله دوری از خروجی بود که به زمان بیشتری نیاز داشت تا به نقطه خروجی حوضه برسد. حدود ۲/۲ میلیون مترمکعب نیز در دو حوضه سیاه رودبار و شیرین آباد بارید که از نقطه خروجی حوضه فاصله زیادی داشت و برای گذر از خروجی، احتیاج به زمانی حدود دو ساعت داشت (شکل ۷).

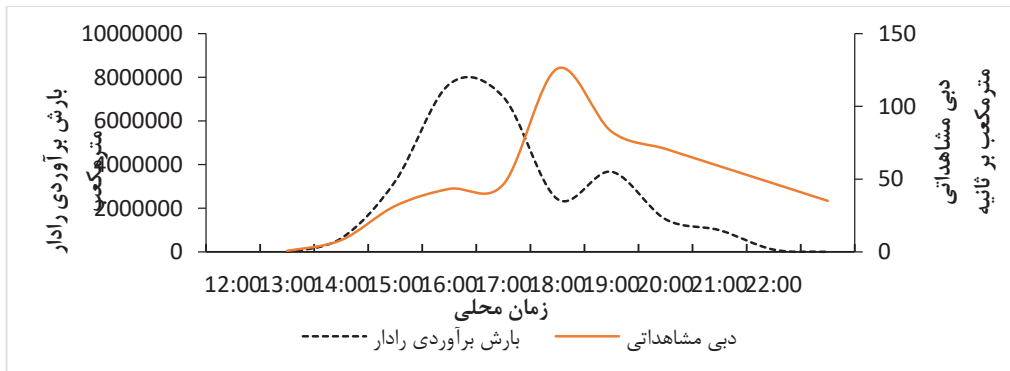
در ساعت ۱۶، با وجود اینکه مجموع حجم بارش حوضه زرین گل بزرگ حدود ۷ میلیون مترمکعب بود؛ دبی با اندکی افزایش به حدود ۴۶ مترمکعب بر ثانیه رسید. با تمرکز بر تصویر رادار (شکل ۷)، که نحوه پراکنش و مجموع بارش این ساعت را نشان می‌داد، علت این اختلاف بیشتر نمایان شد. میانگین ارتفاع بارش در این ساعت، در سه حوضه زرین گل کوچک و شیرین آباد و رودبار، به ترتیب، ۱۵/۹ و ۱۹/۶ و ۲۴/۲ میلی متر بود (جدول ۲) که نشان از پراکنش یکنواخت بارش در کل حوضه دارد. همچنین، بیشتر میزان بارش در حوضه زرین گل کوچک در فاصله‌ای دور از خروجی حوضه رخ داد و تأثیری در افزایش دبی ساعت ۱۶ این حوضه نداشت.

دبی حوضه، در ساعت ۱۷، با افزایش چشمگیری به ۱۲۶ مترمکعب بر ثانیه رسید (شکل ۳). علت آن ترکیب حجم زیادی از بارشی بود که، در ساعت ۱۶، در حوضه زرین گل کوچک باریده بود و با توجه به زمان تمرکز و نحوه پراکنش بارش، نیاز به زمان داشت تا از خروجی بگذرد (در ساعت ۱۷، از خروجی عبور کرد). همچنین، درصد زیادی از بارشی که در دو حوضه شیرین آباد و سیاه رودبار در ساعت‌های ۱۶ و ۱۵ باریده بود، طی ساعت ۱۷، از خروجی حوضه عبور کرد؛ بنابراین، مجموع این بارش‌ها باعث افزایش دبی ۱۲۶ مترمکعب، در ساعت ۱۷، شد (شکل ۶ و ۷).

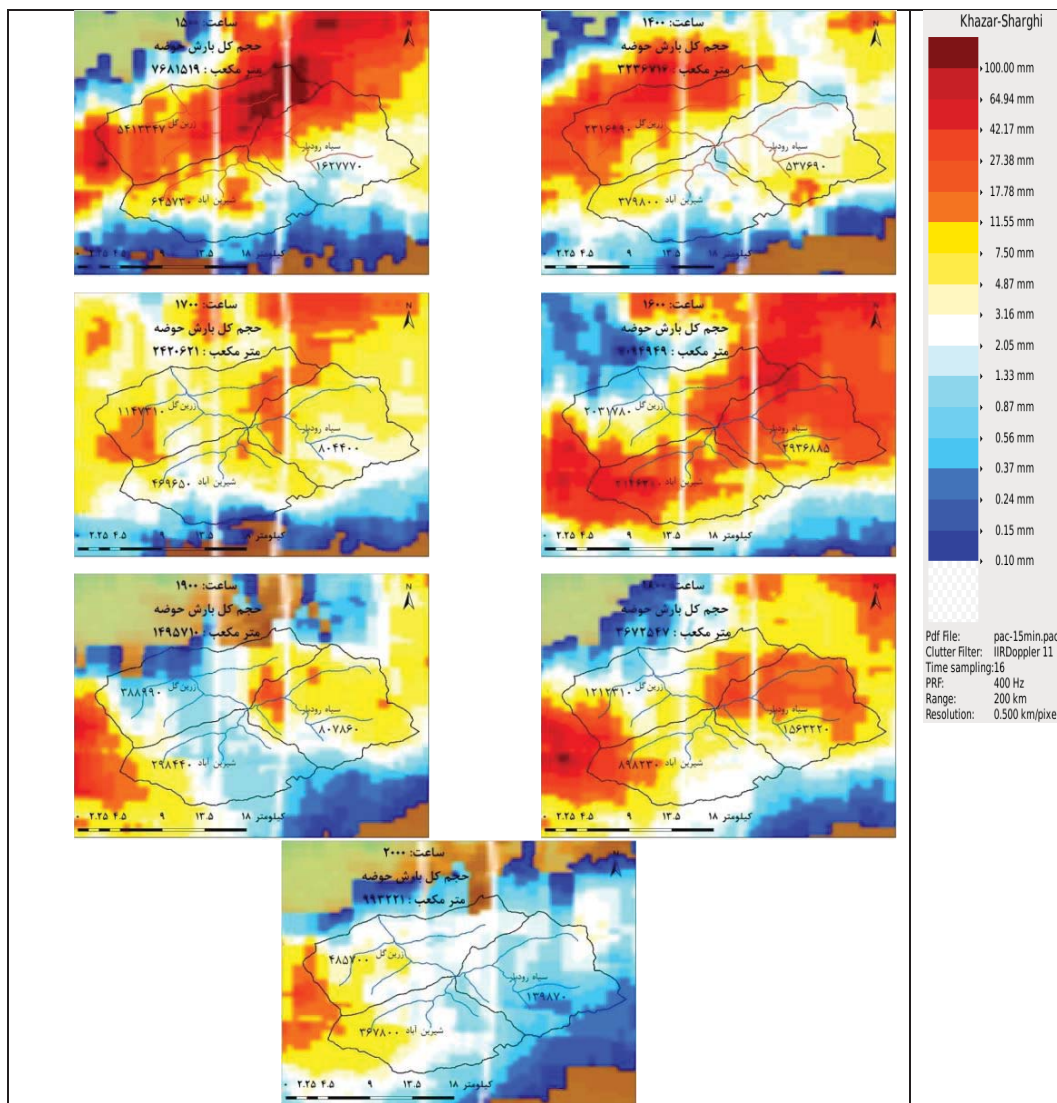
جدول ۲. میانگین ارتفاع بارش برآوردی رادار در سطح زیرحوضه‌های زرین گل، برحسب میلی متر

ساعت ۲۰	ساعت ۱۹	ساعت ۱۸	ساعت ۱۷	ساعت ۱۶	ساعت ۱۵	ساعت ۱۴	
۳/۷	۳/۰	۹/۵	۱۲/۰	۱۵/۹	۴۲/۳	۱۷/۵	حوضه زرین گل
۳/۳	۲/۷	۸/۲	۵/۸	۱۹/۶	۷/۵	۳/۳	حوضه سیاه رودبار
۱/۱	۶/۶	۱۲/۸	۸/۹	۲۴/۲	۲۰/۰	۴/۳	حوضه شیرین آباد

واکاوی شدت- مدت- مساحت بارش و تأثیر آن در سیل ...



شکل ۶. نمودار دبی و حجم بارش برآوردی رادار برای بارش هشتم خرداد ۱۳۹۳ در حوضهٔ زرین گل



شکل ۷. نمایش پراکنش بارش حوضهٔ زرین گل از ساعت ۱۴:۰۰ تا ۲۰:۰۰، سیل هشتم خرداد ۱۳۹۳

در ساعت ۱۵، بارش در حوضه رامیان کوچک شدت زیادی داشت و میانگین ارتفاع آن ۵۱/۲ میلی‌متر و حجم آن ۵/۱ میلیون مترمکعب بود. در دو حوضه وپرو و جوزچال، ارتفاع بارش ۲۲/۲ و ۱۳/۸ میلی‌متر بود (جدول ۳). البته درصد زیادی از این بارش در مناطق دور از خروجی حوضه رخ داد که، برای گذر از خروجی حوضه و ایجاد رواناب، به زمان نیاز بود؛ بنابراین، به نسبت حجم بارش این حوضه، دبی افزایش نیافت و به حدود ۶۱ مترمکعب بر ثانیه رسید (شکل ۸).

در ساعت ۱۶، حجم کل بارش حوضه مانند ساعت ۱۵ بود؛ با این تفاوت که پراکنش آن، در سرتاسر حوضه، تقریباً یکنواخت بود (شکل ۹). ارتفاع بارش در سه حوضه رامیان کوچک و وپرو و جوزچال، به ترتیب، ۳۰/۳ و ۲۳/۲ و ۱۸/۸ میلی‌متر بود (جدول ۳). همچنین، شدت بارش در مناطق نزدیک به خروجی، در حوضه رامیان کوچک، کمتر بود؛ بنابراین، درصد زیادی از بارش ساعت ۱۶ در این حوضه در تشکیل دبی این ساعت دخیل نبود. دبی مشاهده شده در ساعت ۱۶ (۲۳/۶ مترمکعب بر ثانیه) حاصل باقی مانده بارش ساعت ۱۵ حوضه رامیان کوچک شمرده می‌شد که در مناطق دورتر از خروجی رخ داده بود.

در ساعت ۱۷، دبی حوضه با افزایش چشمگیری به ۳۶۷ مترمکعب بر ثانیه رسید (شکل ۵). دلیل این افزایش ترکیب بارش ساعت ۱۶ در حوضه رامیان کوچک بود؛ در واقع، به دلیل پراکنش بارش، درصد زیادی از حجم ۳/۶ میلیون مترمکعبی بارش ساعت ۱۶ حوضه یادشده، با یک ساعت تأخیر، از خروجی حوضه گذشت. همچنین، پراکنش بارش ساعت ۱۷ در این حوضه هم به گونه‌ای بود که مناطق پربارش در نزدیک خروجی حوضه قرار داشتند و طی کمتر از یک ساعت،

باقی مانده بارش‌های تقریباً یکنواختی که در سرتاسر حوضه طی ساعات ۱۶ تا ۱۷ باریده بود نیز دلیل دبی ۸۳ مترمکعب حوضه در ساعت ۱۸ بود. به دلیل اینکه، از ساعت ۱۶ تا ۲۰، بارش با شدت تقریباً یکنواختی در سرتاسر حوضه رخ داد؛ به تدریج، از آن خارج شد و با توجه به کاهش نسبی مقدار بارش، دبی حوضه نیز با شیب ملایمی کاهش یافت.

۴-۳- حوضه رامیان

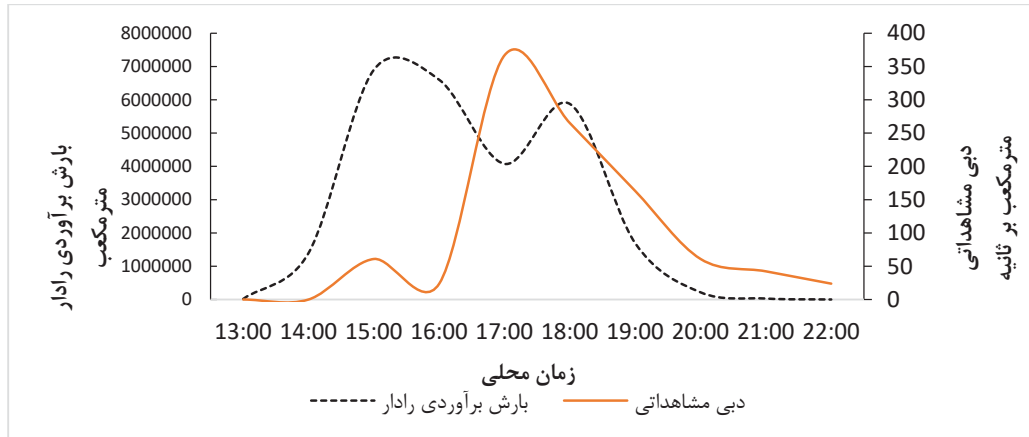
این حوضه از زیرحوضه‌های گرگانرود است؛ مساحت آن ۲۴۵ کیلومترمربع و محیط آن ۸۰/۴ کیلومتر است و شامل این سه زیرحوضه می‌شود: ۱. حوضه رامیان کوچک که طول رودخانه اصلی آن ۱۸/۴ کیلومتر، میانگین شیب آن ۹/۸٪ و زمان تمرکز آن تا نقطه خروجی آب از ایستگاه هیدرومتری به سه روش کالفرنیا، کریچ و چاو، به ترتیب، ۱/۵۴ و ۱/۴۱ و ۱/۴۳ ساعت است؛ ۲. حوضه وپرو که طول رودخانه اصلی آن ۲۶/۲ کیلومتر، میانگین شیب آن ۷/۲٪ و زمان تمرکز آن تا نقطه خروجی آب از ایستگاه هیدرومتری به سه روش کالفرنیا، کریچ و چاو، به ترتیب، ۲/۲۸ و ۲/۱ و ۲/۱۲ ساعت است؛ ۳. حوضه جوزچال که طول رودخانه اصلی آن ۲۹/۹ کیلومتر، میانگین شیب آن ۷٪ و زمان تمرکز آن تا نقطه خروجی آب از ایستگاه هیدرومتری به سه روش کالفرنیا، کریچ و چاو، به ترتیب، ۲/۵۳ و ۲/۳۳ و ۲/۳۶ ساعت است.

در ساعت ۱۴، بارش در بیشتر نقاط حوضه آغاز شد. در حوضه وپرو، شدت آن اندکی بیشتر بود ولی، در مجموع، شدت بارش به قدری نبود که باعث ایجاد رواناب در حوضه شود (جدول ۳) زیرا، در مناطق نزدیک به خروجی حوضه، شدت کمتری داشت (شکل ۹).

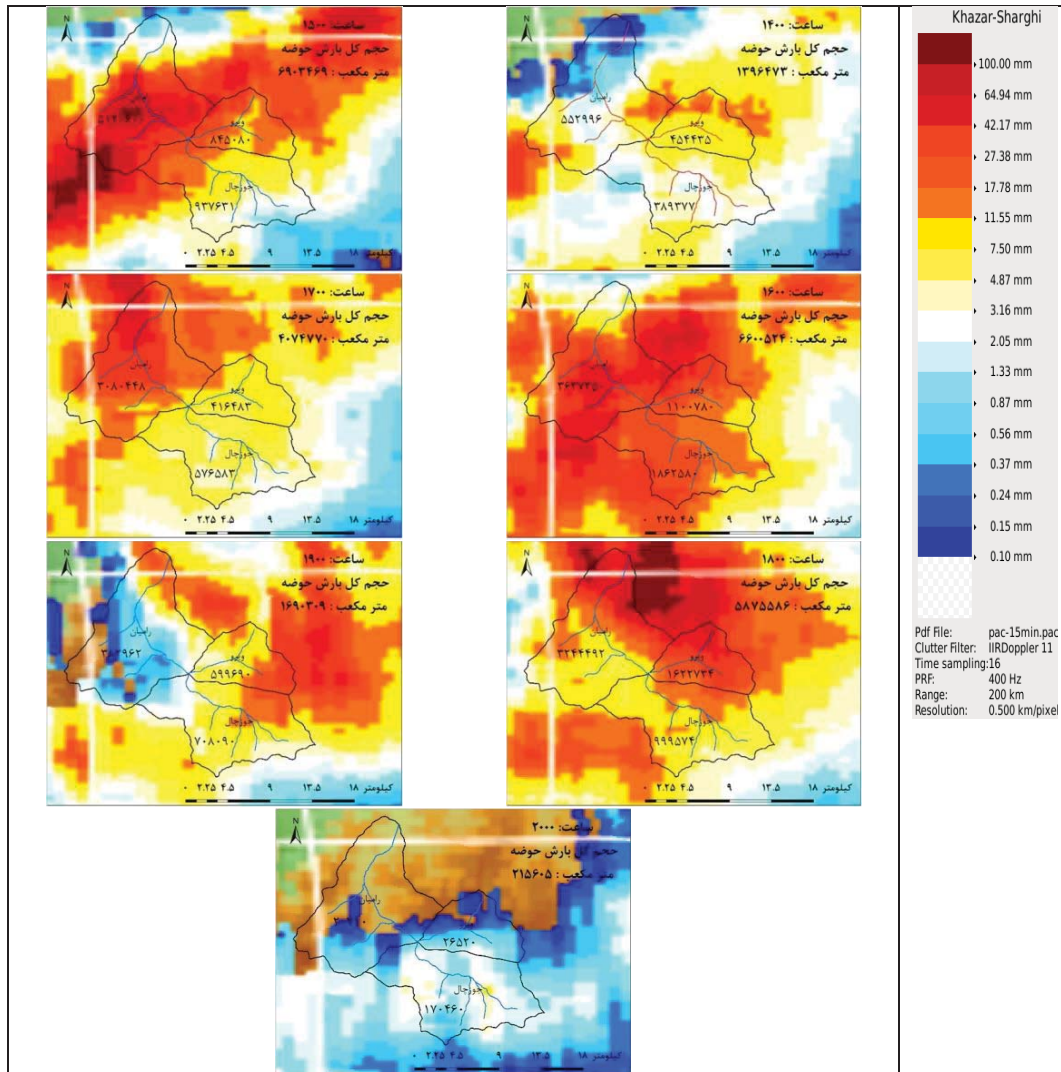
جدول ۳. میانگین ارتفاع بارش برآوردی رادار در سطح زیرحوضه‌های رامیان، برحسب میلی‌متر

ساعت ۲۰	ساعت ۱۹	ساعت ۱۸	ساعت ۱۷	ساعت ۱۶	ساعت ۱۵	ساعت ۱۴	
۰/۲	۲/۳	۲۶/۳	۳۳/۵	۳۰/۳	۵۱/۲	۴/۷	حوضه رامیان
۰/۶	۱۲/۶	۳۳/۳	۱۱/۵	۲۳/۲	۲۲/۲	۹/۷	حوضه وپرو
۱/۷	۷/۱	۹/۸	۷/۶	۱۸/۸	۱۳/۸	۴/۰	حوضه جوزچال

واکاوی شدت- مدت- مساحت بارش و تأثیر آن در سیل ...



شکل ۸. نمودار دبی و حجم بارش برآوردی رادار برای بارش هشتم خرداد ۱۳۹۳، در حوضه رامیان



شکل ۹. نمایش پراکنش بارش حوضه رامیان از ساعت ۱۴:۰۰ تا ۲۰:۰۰، سیل روز هشتم خرداد ۱۳۹۳

مطلوبی به پراکنش بارش و تغییرات شدت بارش داشت که، در تصاویر و داده‌های رادار، به‌خوبی نشان داده شد. به‌نظر می‌رسد، برای پیش‌بینی مقدار رواناب در ساعات متفاوت، باید به شدت و مدت و پراکنش بارش برآوردی رادار هواشناسی توجه و بر آن تمرکز بیشتری داشت. استفاده از داده‌ها و تصاویر رادار در پیش‌بینی زمان رخداد سیل بسیار سودمند است.

۶- منابع

علیزاده، ا.، ۱۳۹۱، **اصول هیدرولوژی کاربردی**، مشهد: انتشارات آستان قدس رضوی، چاپ سی‌وچهارم (ویرایش ششم).

موسوی، ف.، جمشیدنژاد، ج.، اسلامیان، س.، رستم افشار، ن.، ۱۳۷۸، **تخمین ضریب رواناب برای تعدادی از حوضه‌های دریای مازندران**، علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، جلد ۳، شماره ۲، صص. ۱۹-۱.

میرزایی، س.، رئوف، م.، ۱۳۹۳، **مقایسه معادلات تجربی و روش تجزیه هیدروگراف سیلاب در برآورد زمان تمرکز، مطالعه موردی: حوضه آتشفشان-استان اردبیل**، مهندسی و مدیریت آبخیز، جلد ۶، شماره ۴، صص. ۴۱۴-۴۰۷.

نشاط، ع.، صدقی، ح.، ۱۳۸۵، **برآورد میزان رواناب با استفاده از روش سازمان HEC-HMS و مدل (SCS) حفاظت خاک در حوضه آبخیز باغ‌ملک-استان خوزستان**، علوم کشاورزی، سال ۱۲، شماره ۴، صص. ۷۹۸-۷۸۷.

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), PP. 134-147.

این بارش به خروجی رسید. بخش زیادی از بارش ساعات ۱۵ و ۱۶ در دو حوضه ویرو و جوزچال نیز، به‌تناسب پراکنش بارش ساعت ۱۷، از حوضه گذر کرد (شکل ۹) و باعث افزایش معتنا به دبی حوضه شد (شکل ۸). پراکنش شدت بارش، طی ساعات ۱۵ و ۱۶، دور از خروجی حوضه و در ساعت ۱۷، نزدیک خروجی حوضه بود؛ همه این موارد، با هم، در ساعت ۱۷ از خروجی گذر کرد و باعث افزایش چشمگیر دبی شد.

درصدی از بارش ساعت ۱۷ که در مناطق دورتر از خروجی حوضه رامیان کوچک رخ داد و مقداری از بارش ساعت ۱۸ حوضه رامیان کوچک نیز که در مناطق نزدیک خروجی به‌وقوع پیوست با باقی‌مانده بارش‌های ساعات ۱۵ و ۱۶ در دو حوضه ویرو و جوزچال ترکیب شد و همگی، در ساعت ۱۸، از خروجی حوضه گذر کرد و موجب دبی ۲۶۵ مترمکعب بر ثانیه در این ساعت شد (شکل ۸ و ۹). دبی حوضه، در ساعت ۱۹، به ۱۶۳ مترمکعب بر ثانیه رسید که نتیجه باقی‌مانده بارش ساعت ۱۸ حوضه رامیان، دورتر از خروجی، و بارش ساعت ۱۸ در دو حوضه ویرو و جوزچال و نیز، درصد اندکی از باقی‌مانده بارش ساعت ۱۷ حوضه‌های ویرو و جوزچال بود.

۵- نتایج

در روش‌های تجربی برای به‌دست‌آوردن زمان تمرکز حوضه، شدت بارش کل حوضه، از ابتدا تا پایان بارش، یکنواخت در نظر گرفته شده است. اما با توجه به ماهیت تغییرپذیری بارش، این فرض باعث برآورد اشتباه در زمان رخداد بیشینه رواناب خواهد شد. این پژوهش، به‌کمک تصاویر رادار، نحوه پراکنش و شدت بارش را نشان داد و داده‌های پوششی رادار نیز مقدار بارش در حوضه را، در فاصله زمانی یک‌ساعته، محاسبه کرد. نتایج مقایسه نمودار دبی مشاهداتی و حجم بارش برآوردی نشان داد که نحوه تغییرات و زمان رخداد بیشینه رواناب، با توجه به زمان تمرکز محاسباتی، هم‌خوانی ندارد. نمودار دبی مشاهداتی وابستگی

- Cranston, M.D. & Black, A.R., 2006, **Flood Warning and the Use of Weather Radar i Scotland: A Study of Flood Events in the Ruchill Water Catchment**, Meteorol. Appl. 13, PP. 43-52.
- Dong-Sin, S., Ming-Hsu, L. & Ray-Shyan, W., 2008, **Distributed Flood Simulations with Coupling Gauge Observations and Radar-rainfall Estimates**, Water Resour. Manage., Vol. 22, PP. 843-859.
- Eleuch, S., Carsteanu, A., Bâ, K., Magagi, R., Goïta, K. & Diaz, C., 2010, **Validation and Use of Rainfall Radar Data to Simulate Water Flows in the Rio Escondido Basin**, Stoch. Environ. Res. Risk Assess, Vol. 24, PP. 559-565.
- Giannoni, A., Smith, A.S., Zhang, Y. & Roth, G., 2003, **Hydrologic Modeling of Extreme Floods Using Radar Rainfall Estimates**, Advances in Water Resources, 26, PP. 195-203.
- Kouwen, N., 1988, **Watflood, Micro-Computer Based Flood Forecasting System Based on Real-Time Weather Radar**, Canadian Water Resources Journal, 13(1), PP. 62-77.
- 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, PP. 114-132.
- Moreno, H.A., Vivoni, E.R. & Gochis, D.G., 2013, **Limits to Flood Forecasting in the Colorado Front Range for Two Summer Convection Periods Using Radar Nowcasting and a Distributed Hydrologic Model**, Journal of Hydrometeorology, 14(4), PP. 1075-1097.
- Overeem, A., Buishand, T.A. & Holleman, I., 2009, **Extreme Rainfall Analysis and Estimation of Depth-duration-frequency Curves Using Weather Radar**, Water Resources Reserch, Vol. 45, PP. 1-15.
- Panziera, L., Gabella, M., Zanini, S., Hering, A., Germann, U. & Berne, A., 2016, **A Radar-based Regional Extreme Rainfall Analysis to Derive the Thresholds for a Novel Automatic Alert System in Switzerland**, Hydrology. Earth System., 20, PP. 2317-2332.
- Park, J.H. & Hur, Y.T., 2012, **Development and Application of GIS Based K-DRUM for Flood Runoff Simulation Using Radar Rainfall**, Journal of Hydro-environment Research, 6, PP. 209-219.
- Seed, A., Siriwardena, L., Sun, X., Jordan, P. & Elliott, J., 2002, **On the Calibration of Australian Weather Radars**, Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology, (Technical Report 02/7/2002).
- 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), PP. 157-170.
- Wang, p., Smeaton, A., Lao, S., Connor, E., Ling, Y. & Connor, N., 2009, **Short-term Rainfall Nowcasting: Using Rainfall Radar Imaging**, Eurographics Ireland.