Iranian Journal of
Rainwater Catchment Systems

مجله علمی سامانه‌های سطوح آبگیر باران

شاپا الکترونیکی: ۲۷۸۲-۱۵۳۱ شاپا چاپی: ۲۴۲۲-۵۹۷۰

تحلیل منطقه‌ای سیلاب به روش هیبرید در حوزه آبخیز دریاچه نمک

فریبا اسماعیلی[۱]، مهدی وفاخواه[۲*]، محمد طاوسی[۳]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس.

۲. استاد گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس.

۳. دانشجوی دکتری آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹

صفحات: ۸۵- ۷۷

نوع مقاله: علمی-پژوهشی

چکیده

روش تحلیل منطقه‌ای یک روش کارآمد برای برآورد دبی سیل در حوزه‌های آبخیز فاقد داده یا دارای آمار کوتاه‌مدت است. هدف از پژوهش حاضر ارزیابی روش هیبرید به‌منظور تحلیل منطقه‌ای سیلاب و تخمین حداکثر دبی سیلاب در حوزه آبخیز دریاچه نمک بوده است. برای این منظور ۱۶ ایستگاه هیدرومتری انتخاب و بر اساس مساحت پنج منطقه همگن تعیین شد. سه ایستگاه از مناطق مختلف همگن انتخاب و برای اعتبارسنجی مدل منطقه‌ای استفاده شد و با ۱۳ ایستگاه باقی‌مانده، معادلات هیبرید در دوره‌های بازگشت ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله برآورد شدند. نتایج نشان داد که صحت مدل‌های برآوردی در دوره‌های بازگشت مذکور با شاخص توافق (d) بیش از ۰/۸ قابل‌قبول است. هم‌چنین میزان ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) در دوره‌های بازگشت بالا بیش‌تر از دوره‌های بازگشت پایین است. به‌طوری‌که کم‌ترین میزان RMSE در دوره بازگشت دو ساله برابر ۱/۵۵ مترمکعب بر ثانیه و بیش‌ترین آن در دوره بازگشت ۱۰۰ ساله برابر ۱۴/۶۴ مترمکعب بر ثانیه برآورد شد.

کلمات کلیدی: تحلیل منطقه‌ای، دبی حداکثر سیلاب، مدل‌سازی، مناطق همگن، روش هیبرید.

مقدمه

تحلیل فراوانی سیل معمولاً برای برآورد مقادیر سیل با دوره‌های بازگشت مختلف در پروژه‌های کنترل سیلاب و طراحی سازه‌های آبخیزداری صورت می‌گیرد. به‌دلیل کمبود ایستگاه‌های آب‌سنجی و وجود نقص در داده‌های دبی ثبت‌شده در برخی مناطق، تحلیل منطقه‌ای سیلاب[۲] مورد استفاده قرار می‌گیرد (Haberlandt et al., 2008). انتقال اطلاعات هیدرولوژیکی حوزه آبخیز دارای آمار به حوزه آبخیز فاقد آمار یا دارای آمار ناقص و یا برآورد ویژگی‌های دبی حوزه‌های آبخیز بدون آمار با استفاده از انتقال اطلاعات از آبخیزهای دارای آمار، تحلیل منطقه‌ای نامیده می‌شود (خسروبیگی بزچلویی و وفاخواه، ۱۳۹۵).

در ارتباط با تحلیل منطقه‌ای سیلاب، پژوهش‌های متنوعی انجام شده است. نتایج به‌کارگیری روش رگرسیون چندمتغیره برای تحلیل منطقه‌ای سیلاب در مطالعات مختلف نشان می‌دهد که روش مورد استفاده در مقایسه با روش‌های ساده‌تر برآورد کم‌تری از دبی سیلاب دارد اما سیلاب‌های فصلی را به‌خوبی شبیه‌سازی می‌کند.(Pakdin et al., 2015; Ahn & Palmer, 2016; Zkhiri et al., 2017). در ایران، Sharifi Garmdareh و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از روش رگرسیون بردار پشتیبان (SVR)[۳] به تحلیل منطقه‌ای سیلاب در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران پرداختند. نتایج آن‌ها حاکی از دقت مناسب این روش در تخمین دبی سیلاب بود. هم‌چنین، Kim و همکاران (۲۰۱۹)

---

[1] Email: vafakhah@modares.ac.ir نویسنده مسئول: مهدی وفاخواه

[2]. Regional flood analysis

[3]. Support vector regression

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-15]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1401.10.2.6.7]

در پژوهشی خطر رخداد سیل تحت سناریوهای تغییر اقلیم را با توسعه روش‌های تحلیل منطقه‌ای سیلاب در کره جنوبی ارزیابی کردند. در مطالعات مختلف از مدل‌های یادگیری ماشین (Allahbakhshian-Farsani et al., 2021) و نیز از مدل‌های سلسه‌مراتبی بیزی (Sampaio & Costa, 2021) و از رویکرد گشتاورخطی (L-Moment) (Kapoor et al., 2021) برای تحلیل منطقه‌ای سیلاب استفاده کردند. در هر سه مطالعه نتایج مطلوب در تحلیل منطقه‌ای سیلاب به دست آمد. اخیراً در پژوهشی Khan و همکاران (۲۰۲۱) برای تخمین دبی حداکثر سالانه در پاکستان از روش‌های رگرسیونی و شبکه عصبی مصنوعی استفاده کردند. نتایج نشان داد روش‌های مذکور در تخمین دبی حداکثر سالانه دارای بیش‌تخمینی است.

روش هیبرید[1] بر اساس روش ایستگاه-سال است (وفاخواه و مقدم‌نیا، ۱۳۹۸). در ارتباط با روش هیبرید مطالعات متعددی در حوزه‌های آبخیز کشور به تحلیل منطقه‌ای سیلاب با این روش پرداختند. در این پژوهش‌ها دقت روش هیبرید در دوره‌های بازگشت کم، بالا بوده و در مناطق فاقد داده کافی یک روش قابل‌اعتماد توصیه شده است (چاوشی بروجنی و همکاران، ۱۳۷۸؛ محسنی‌ساروی و همکاران، ۱۳۸۲؛ میرزاحسینی و همکاران، ۱۳۸۹). در پژوهش دیگر محمدی خشوئی و همکاران (۱۳۹۶) کارایی روش‌های تحلیل منطقه‌ای سیلاب در حوضه‌های اصفهان-سیرجان و دشت یزد-اردکان بررسی شد؛ که نتایج نشان داد بهترین روش برای تحلیل منطقه‌ای در این مناطق روش تحلیل همبستگی کانونی (CCA) است. به‌طور مشابه، پایروند و همکاران (۱۳۹۸)، سه روش تحلیل منطقه‌ای شامل سیل شاخص، رگرسیون چند متغیره و هیبرید را در ۲۰ حوضه در البرز مرکزی به کاربردند. نتایج نشان داد که روابط برقرار شده در مناطق همگن دارای خطای کم‌تری نسبت به مناطق همگن‌نشده است.

در پژوهش‌های متعدد طی سال‌های اخیر مدل‌های الگوریتم درخت تصمیم‌گیری M5، مدل‌های ویکور، L-THIA، شبکه عصبی مصنوعی، روش گشتاورهای خطی، گشتاورهای معمولی و بیشینه درست‌نمایی را به‌منظور تحلیل منطقه‌ای سیلاب به کاربردند. نتایج حاکی از تخمین قابل‌قبول دبی سیلاب با استفاده از روش‌های مذکور بوده است (اسمعلی‌گیساوندانی و همکاران، ۱۳۹۶؛ زنگنه اسدی و همکاران، ۱۴۰۰؛ محمدی و همکاران، ۱۳۹۹). با توجه به آن‌چه گفته شد و. به سبب وقوع سیلاب‌های ویران‌گر در سال‌های اخیر و اهمیت مدیریت، کنترل و پیش‌بینی سیلاب به‌خصوص در مناطق فاقد آمار، در پژوهش حاضر به‌منظور تحلیل منطقه‌ای سیلاب از روش هیبرید استفاده و کارایی این روش در تخمین دبی سیلاب با دوره بازگشت‌های ۲، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله ارزیابی شده است.

مواد و روش‌ها

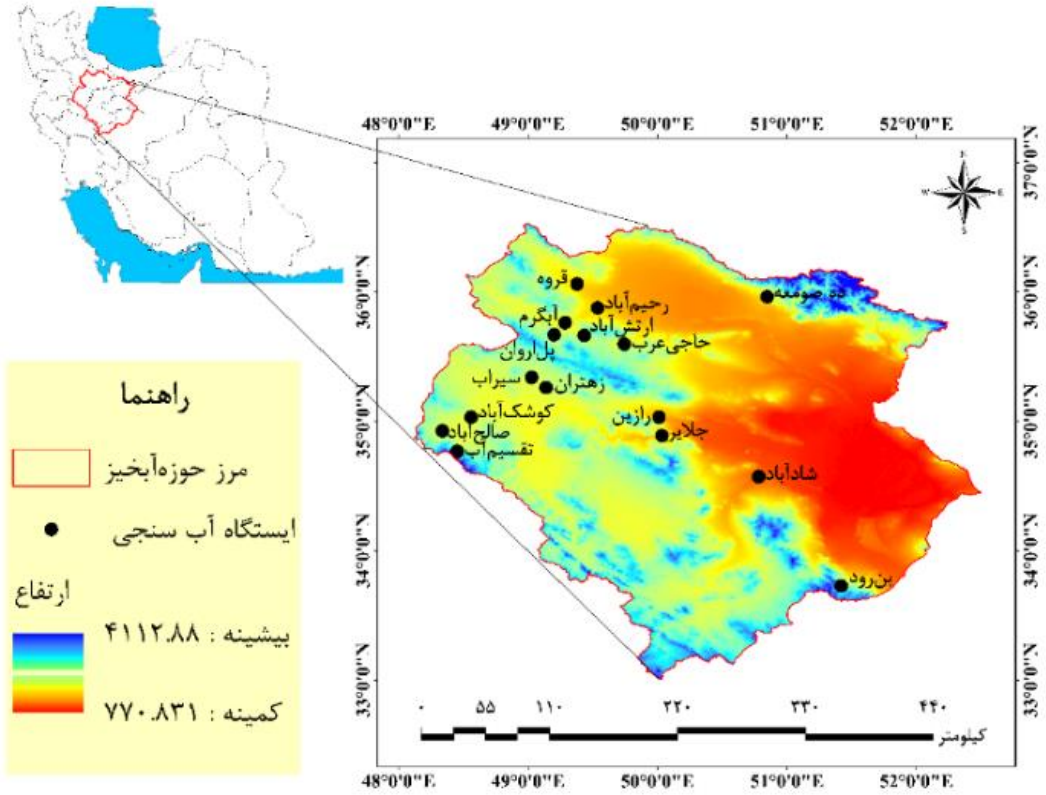
منطقه موردمطالعه

حوزه آبخیز دریاچه نمک در طول جغرافیایی '۰۰ °۴۸ تـا '۰۰ °۵۳ شرقی و عرض جغرافیایی '۰۰ ° ۳۳ تا '۰۰ °۳۶ شـمالی با مساحت ۹۲۵۵۰ کیلومترمربع واقع شده اسـت (شکل ۱). حداکثر ارتفاع حوضه حدود ۴۳۱۵ متر در شمال دیزین در قله کوه پالن گردن و حداقل ارتفاع حدود ۷۹۵ متر در نزدیکی دریاچه نمک و بارندگی متوسط سالانه در این حوزه آبخیز حدود ۲۵۰ میلی‌متر است.

[1]. Hybrid method

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-15]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1401.10.2.6.7]



شکل (۱): موقعیت حوزه آبخیز دریاچه نمک در ایران و موقعیت ایستگاه‌های آب‌سنجی در سطح حوزه آبخیز

جمع‌آوری اطلاعات و انجام مراحل روش هیبرید

آمار دبی حداکثر لحظه‌ای ایستگاه‌های موجود در حوزه آبخیز دریاچه نمک از سامانه سازمان مدیریت منابع آب ایران (http://wrs.wrm.ir/amar) دریافت شد. ایستگاه‌هایی که دارای آمار منظم بودند انتخاب شدند. بر اساس آمار موجود ۱۶ ایستگاه انتخاب شد که سه ایستگاه برای واسنجی کنار گذاشته شد. در جدول (۱) اطلاعات ایستگاه‌های منتخب قابل مشاهده است. سپس، بر اساس سال‌های آماری مرتب شدند. نواقص آن‌ها با استفاده از ایجاد یک رابطه رگرسیونی بین دبی حداکثر و دبی حداکثر لحظه‌های تکمیل شدند. با توجه به همبستگی مطلوب مساحت با متوسط دبی حداکثر لحظه‌ای سیلاب (۵۷ درصد) از این متغیر استفاده شد (چاوشی، ۱۳۷۶).

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-15]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1401.10.2.6.7]

جدول (۱): مشخصات ایستگاه‌های مورداستفاده

نام ایستگاه	طول جغرافیایی (UTM)	عرض جغرافیایی (UTM)	مساحت	ارتفاع	طول دوره آماری	متوسط دبی حداکثر سیلاب
تقسیم آب	۲۶۷۰۱۲	۳۸۵۰۰۷۰	۴۲	۲۰۶۵	۳۱	۱۰/۹۷
بن رود	۵۳۸۹۱۰	۳۷۳۱۹۳۰	۵۷/۵	۱۹۷۶	۲۸	۴/۵۲
پل اروان	۳۳۷۱۹۳	۳۹۴۸۵۱۹	۱۰۱/۲	۱۷۸۵	۳۱	۱۶/۸۴
ده صومعه	۴۸۶۲۹۸	۳۹۷۹۵۸۳	۳۶۰	۱۴۱۰	۲۶	۱/۴۸
ارتش آباد	۳۵۸۳۰۸	۳۹۴۷۵۵۶	۴۲۹	۱۷۳۵	۲۹	۲۱/۷۰
حاجی عرب	۳۸۶۲۲۹	۳۹۳۹۷۷۹	۵۵۰	۱۶۴۸	۳۴	۲۹/۵۵
رازین	۴۰۹۸۹۱	۳۸۷۶۸۴۰	۱۵۳۴/۱۵	۱۲۹۰	۴۰	۳۵/۱۰
قروه	۳۵۳۹۹۸	۳۹۹۱۸۵۰	۱۸۹۵	۱۴۲۴	۳۹	۴۷/۴۷
آبگرم	۳۴۵۱۳۰	۳۹۵۸۷۴۰	۲۶۶۶/۷۴	۱۵۴۸	۴۱	۷۷/۱۷
کوشک‌آباد	۲۷۷۴۸۹	۳۸۷۹۱۵۷	۲۵۸۳	۱۶۸۴	۳۳	۴۰/۹۷
رحیم‌آباد	۳۶۸۰۱۴	۳۹۷۱۰۴۰	۴۱۳۲/۳۴	۱۳۹۰	۳۶	۱۰۷/۰۶
شادآباد	۴۸۰۰۱۹	۳۸۲۵۴۸۹	۱۳۷۸۵/۳	۱۰۰۰	۳۲	۶۲/۲۹
جلایر	۴۱۱۸۴۸	۳۸۶۰۹۸۰	۱۷۴۱۷/۸۹	۱۱۸۲	۳۵	۶۶/۷۶
*صالح‌آباد	۲۵۶۹۱۶	۳۸۶۷۹۳۳	۱۹۱	۱۷۷۷	۳۳	۱۳/۶۰
*سیراب	۳۲۰۷۹۴	۳۹۱۲۲۷۴	۳۶۰	۱۷۹۰	۲۹	۱۲/۵
*زهتران	۳۳۰۷۱۲	۳۹۰۳۳۸۷	۴۹۵	۱۷۶۶	۲۹	۲۱/۰۴

* ایستگاه‌های مورداستفاده در مرحله اعتبارسنجی

تعیین مناطق همگن

به‌منظور تحلیل منطقه‌ای باید منطقه مورد مطالعه به مناطق همگن تقسیم شود. نتایج تحلیل منطقه‌ای، در صورتی معتبر خواهد بود که منطقه مورد بررسی همگن باشد. با تقسیم منطقه به نواحی همگن، از داده‌های ایستگاه‌های موجود با دقت بیش‌تری می‌توان در مناطق فاقد داده یا دارای آمار کوتاه‌مدت در هر منطقه همگن استفاده نمود. تقسیم منطقه همگن بر اساس مهم‌ترین خصوصیات حوزه آبخیز که بر خصوصیات سیلاب مؤثر است صورت می‌گیرد، بنابراین از سطح حوضه که مهم‌ترین خصوصیت حوضه است، برای تعیین مناطق همگن استفاده می‌شود. برای این منظور ایستگاه‌ها بر اساس سطح محدوده هرکدام از کوچک به بزرگ مرتب‌شده و بر اساس رابطه (۱) گروه‌بندی شدند.

$$J \leq \frac{N_f}{100} \qquad (۱)$$

که در آن، J بیشینه تعداد طبقات و N_f مجموع تعداد ایستگاه سال آمار موجود است.

روش هیبرید

روش هیبرید یکی از روش‌های تحلیل منطقه‌ای سیلاب است که بر اساس روش ایستگاه سال است. روش هیبرید مانند انواع مدل‌هایی که در روش‌های مختلف تحلیل منطقه‌ای سیلاب استفاده شده، به‌صورت رابطه (۲) است.

$$Q_t = \alpha A^a B^b C^c \dots M^m \qquad (۲)$$

که در آن α مقدار ثابت، Q_t دبی با دوره بازگشت معین، A و B و C متغیرهای مستقل حوضه و a و b و c مؤلفه‌های رگرسیون هستند.

از مزایای روش هیبرید نسبت به سایر روش‌های تحلیل منطقه‌ای سیلاب می‌توان به این مورداشاره کرد که با ترکیب داده‌های مشاهداتی آمار طولانی‌مدت در مناطق همگن به دست می‌دهد که برازش توزیع‌های آماری با آن بهتر انجام‌گرفته و از دقت بالاتری برخوردار است و نیازی به برون‌یابی روابط به‌دست‌آمده برای برآورد دبی‌های نادر مثل

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-15]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1401.10.2.6.7]

۱۰۰ ساله را ندارد (میرزاحسینی و همکاران، ۱۳۸۹). درروش هیبرید پس از تعیین مناطق همگن میانگین وزنی سطح در هر منطقه همگن از رابطه (۳) محاسبه شد.

$$\bar{A}_i = antilog\left[\frac{\sum_{j=1}^{g}\sum_{k=1}^{h} LogA_{ijk}}{gh}\right] \quad (۳)$$

که در آن، $\bar{A}_i$ میانگین وزنی سطح محدوده ایستگاه‌ها در منطقه همگن i، A_{ijk} سطح در ایستگاه j و طبقه i و در ایستگاه-سال k، i تعداد گروه همگن (fو...و۲و۱=i)، j تعداد ایستگاه‌های موجود در هر گروه همگن (g و...و۲و۱=j)، k تعداد سال‌های ایستگاه j در گروه همگن i (hو...و۲و۱=k) (چاوشی بروجنی و اسلامیان، ۱۳۷۸).

پس از تعیین مناطق همگن میانگین وزنی مساحت برای هر منطقه همگن محاسبه شد. اولین مرحلـه از فرآینـد تکـرار بـرای پـارامتر سـطح حوضه با استاندارد کردن دبی‌های کمینـه سالیانه شـروع می‌شود (رابطه ۴).

$$S_{ijk} = \frac{Q_{ijk}}{\bar{A}^b_{ijk}} \quad (۴)$$

که در آن S_{ijk} دبی کمینه استاندارد k در ایستگاه j و در طبقه I، Q_{ijk} دبی کمینه سالیانه k در ایستگاه j و در طبقه I، $\bar{A}^b_{ijk}$ میانگین وزنی سـطح k در ایسـتگاه j و در طبقـه I است.

مقادیر S_{t_i} (جریان کمینـه بـا دوره بازگشـت t) در هـر طبقه با استفاده از یک فرمول توزیـع تجربـی به کمک نرم‌افزار EasyFit ۵.۵ تعیـین می‌شود. جهـت به دست آوردن مقـادیر دبـی کمینـه در دوره بازگشت t در هر طبقه می‌بایست مقدار S_{t_i} به‌دست آمده طبق رابطه (۵) غیراستاندارد کرد.

$$Q_{t_i} = S_{t_i}\left(\bar{A}^b_i\right) \quad (۵)$$

که در آن Q_{t_i} دبی سیلاب به دوره بازگشت t در گروه همگن i، S_{t_i} دبی اوج استاندار گروه همگن i در دوره بازگشت t و $\bar{A}_i$ میانگین وزنی سطح در گروه همگن i است. میانگین وزنی سطح در طول هر تکرار ثابت است اما مقادیر b تغییر می‌کند تا این‌که b ثابت شود. توان b در هر دوره بازگشت و در هر تکرار از رابطه (۶) به‌دست آمد:

$$b_t = \frac{\sum_{i=1}^{f}\bar{A}_i Q_{t_i} - \frac{\left[\sum_{i=1}^{f}\bar{A}_i \sum_{i=1}^{f} Q_{t_i}\right]}{f}}{\sum_{i=1}^{f}\bar{A}_i^2 - \frac{\left[\sum_{i=1}^{f}\bar{A}_i\right]^2}{f}} \quad (۶)$$

با قرار دادن مقدار b_t در رابطه (۴) تکرار دوم آغاز می‌شود و این رون آن‌قدر تکرار می‌شود تا مقدار b ثابت شود که معمولاً پس از یک یا دو تکرار ثابت می‌شود. پس از محاسبه توان متغیر مساحت، لازم است ضریب ثابت α (رابطه ۲) برای معادله هر دوره بازگشت محاسبه شود.

ارزیابی عملکرد روش هیبرید

با قرار دادن مساحت ایستگاه‌های مورداستفاده در اعتبارسنجی، در روابط به‌دست‌آمده برای هر دوره بازگشت و مقایسه دبی‌های تخمینی با مقادیر مشاهده‌ای عملکرد روش هیبرید ارزیابی می‌شود. به‌منظور اعتبارسنجی در این پژوهش از دو شاخص مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) و شاخص توافق (d)[1] استفاده شد. مقادیر d بین صفر و یک هستند هر چه شاخص بـه یـک نزدیک‌تر باشـد، بـین مقـادیر مشاهده‌ای و پیش‌بینی‌شده همـاهنگی بیش‌تری وجـود دارد.

[1]. Index of Agreement

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-15]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1401.10.2.6.7]

نتایج و بحث

بر اساس مساحت و با استفاده از رابطه (۱) منطقه مورد مطالعه به پنج ناحیه همگن تقسیم شد. سپس متوسط وزنی مساحت برای هر ناحیه همگن محاسبه شد (جدول ۲).

جدول (۲): مناطق همگن و مقادیر متوسط وزنی مساحت هر ناحیه همگن

منطقه همگن	ایستگاه	متوسط وزنی مساحت (km^2)
۱	تقسیم آب، بن‌رود، پل‌اروان	۶۲/۶۹
۲	ده‌صومعه، ارتش‌آباد، حاجی‌عرب	۴۴۸/۰۷
۳	رازین، قروه	۱۷۰۲/۷۰
۴	آبگرم، کوشک‌آباد، رحیم‌آباد	۲۹۶۱/۱۱
۵	شادآباد، جلایر	۱۵۵۷۳/۵۷

در هر دوره بازگشت مقدار b_t از طریق ایجاد رگرسیون بین دبی اوج و متوسط وزنی نواحی همگن، محاسبه شد (جدول ۳). سپس معادلات هیبرید برای هر دوره بازگشت برآورد شد (جدول۴). توان متغیر سطح با افزایش دوره بازگشت، افزایش‌یافته است. درواقع تأثیر متغیر سطح در حداکثر دبی سیل با افزایش دوره بازگشت، افزایش می‌یابد. درواقع تأثیر متغیر سطح در حداکثر دبی سیل با افزایش دوره بازگشت، افزایش می‌یابد که جز این انتظار نمی‌رود زیرا میزان دبی حداکثر سیل با افزایش دوره بازگشت و کاهش احتمال رخداد واقعه سیل، افزایش می‌یابد؛ بنابراین در دوره بازگشت‌های پایین توان متغیر سطح نزدیک به صفر است و عملاً تأثیری در برآورد دبی ندارد درحالی‌که در دوره بازگشت‌های بالاتر تأثیر متغیر سطح افزایش می‌یابد. دراین‌باره ملکی‌نژاد و پورمحمدی (۱۳۹۳) به نتایج مشابه دست یافتند.

جدول (۳): مقدار توان b_t در تکرار نهایی برای مساحت (A)

دوره بازگشت	۲	۵	۱۰	۲۵	۵۰	۱۰۰
تکرار اول	۰/۰۰۱	۰/۰۰۶	۰/۰۰۹	۰/۰۱۲	۰/۰۱۳	۰/۰۱۳
تکرار نهایی	۰/۰۰۱	۰/۰۰۵	۰/۰۰۷	۰/۰۰۹	۰/۰۰۹	۰/۰۱۰

جدول (۴): معادلات برآوردی از روش هیبرید

دوره بازگشت	معادله
۲	$Q_2 = 6\ A^{0.001}$
۵	$Q_5 = 30\ A^{0.005}$
۱۰	$Q_{10} = 55\ A^{0.007}$
۲۵	$Q_{25} = 80\ A^{0.009}$
۵۰	$Q_{50} = 100\ A^{0.009}$
۱۰۰	$Q_{100} = 115\ A^{0.01}$

به‌منظور اعتبارسنجی مدل‌های برآوردی، دبی با دوره بازگشت‌های مختلف برای سه ایستگاه صالح‌آباد، سیراب و زهتران که در مدل‌سازی از آن‌ها استفاده‌نشده بود، محاسبه شد درنهایت شاخص‌های آماری d و RMSE محاسبه شد (جدول ۵). همان‌طور که در معادلات قابل‌مشاهده است ضریب α با افزایش دوره بازگشت به‌طور چشم‌گیری افزایش‌یافته است. به‌طوری‌که مقدار آن از دوره بازگشت ۲ تا ۱۰۰ سال به ترتیب از ۶ تا ۱۱۵ افزایش‌یافته است. درواقع می‌توان گفت مقادیر دبی برآوردی به‌شدت تحت تأثیر ضریب ثابت α است. ؛ ابراین محاسبه دقیق این ضریب

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-15]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1401.10.2.6.7]

بسیار اهمیت دارد. در این مورد طاوسی و وفاخواه (۱۴۰۰) نیز به نتایج مشابه را ارائه و اهمیت ضریب ثابت معادلات هیبرید را بیان نمودند. درروش هیبرید، خطا مدل در دوره بازگشت‌های پایین‌تر کم‌تر از دوره بازگشت‌های بالاتر بود. در حقیقت دقت مدل هیبرید برای تحلیل منطقه‌ای سیلاب در دوره بازگشت‌های پایین‌تر، بیش‌تر است به‌طوری‌که در دوره بازگشت دوساله مقدار شاخص RMSE کم‌ترین مقدار و برابر ۱/۵۵ مترمکعب بر ثانیه به دست آمد که با نتایج (Hosseini & Khaleghi, 2018) مطابقت دارد و به‌طورکلی در همه دوره بازگشت‌ها نتایج قابل قبولی به دست داد.

جدول (۵): نتایج اعتبارسنجی مدل‌های هیبرید

دوره بازگشت / شاخص خطا	۲	۵	۱۰	۲۵	۵۰	۱۰۰
d	۰/۸۳	۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۹۶	۰/۹۵	۰/۹۵
RMSE	۱/۵۵	۲/۶۷	۵/۶۱	۱۰/۲۷	۱۲/۷۸	۱۴/۶۴

نتیجه‌گیری

روش هیبرید از روش‌های کارآمد تحلیل منطقه‌ای سیلاب است که در این پژوهش از آن استفاده شد. این روش در مناطق با کمبود داده و تعداد کم ایستگاه‌های آب‌سنجی مناسب است. اولین گام در تحلیل منطقه‌ای سیلاب تعیین مناطق همگن است؛ بنابراین بر اساس مساحت، پنج منطقه همگن تعیین شد. سپس توان متغیر مساحت بر اساس روش هیبرید برای دوره بازگشت ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله محاسبه شد. درنهایت اعتبارسنجی مدل‌های برآوردی با استفاده از آمار سه ایستگاهی که در مدل‌سازی از آن استفاده‌نشده بود، با محاسبه شاخص‌های آماری RMSE و d انجام شد. نتایج نشان داد دقت مدل‌های برآوردی در دوره بازگشت‌های مذکور قابل‌قبول است اما میزان خطا این روش در دوره بازگشت‌های بالا نسبت به دوره بازگشت پایین بیش‌تر بود به‌طوری‌که کم‌ترین میزان RMSE در دوره بازگشت دوساله برابر ۱/۵۵ مترمکعب بر ثانیه و بیش‌ترین آن در دوره بازگشت ۱۰۰ ساله برابر ۱۴/۶۴ مترمکعب بر ثانیه برآورد شد. به‌طورکلی تحلیل منطقه‌ای سیلاب به روش هیبرید در مناطق بدون آمار یا دارای نقص در آماره ثبت‌شده، به‌منظور تخمین حداکثر دبی سیلاب توصیه می‌شود.

منابع

۱. اسمعلی‌گیساوندانی، ح.، ع. م. آخوندعلی، م. زارعی و م. تقیان (۱۳۹۶) تحلیل منطقه‌ای سیلاب با مقایسه مدل‌های الگوریتم درخت تصمیم‌گیری M5 و رگرسیونی. علوم و مهندسی آبیاری، ۴۰(۴): ۱۸۳-۱۹۵.

۲. پایروند، و.، ع. سلاجقه، م. مهدوی و م. ع. زارع چاهوکی (۱۳۹۸) بررسی و مقایسه روش‌های تحلیل منطقه‌ای سیلاب در منطقه البرز مرکزی. مرتع و آبخیزداری، ۶۳(۲)، ۱۳۱-۱۸.

۳. چاوشی بروجنی، س. و س. اسلامیان (۱۳۷۸) تخمین دبی سیل با تناوب مختلف در حوضه آبخیز زاینده‌رود طبق روش منطقه‌ای هیبرید. مجله تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی دانشگاه صنعتی اصفهان، ۳(۳)، ۱-۱۲.

۴. چاوشی، س. (۱۳۷۶) منطقه‌ای کردن برآورد دبی حداکثر سیلاب در مناطق خشک طبق روش هیبرید. پایان‌نامه کارشناسی ارشد بیابان‌زدایی، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه صنعتی اصفهان.

۵. خسروبیگی بزچلویی، س. و م. وفاخواه (۱۳۹۵) تحلیل منطقه‌ای منحنی تداوم جریان در حوزه آبخیز دریاچه نمک. پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، ۷(۱۴)، ۲۳۶-۲۲۸.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-15]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1401.10.2.6.7]

۶. زنگنه اسدی، م. ع.، ا. امیراحمدی و م. ناعمی تبار (۱۴۰۰) ارزیابی کارایی مدل‌های ویکور، L-THIA و شبکهٔ عصبی مصنوعی در تحلیل منطقه‌ای سیلاب (مطالعهٔ موردی: استان خراسان رضوی). اکوهیدرولوژی، ۸(۱): ۸۹-۱۰۸.

۷. طاوسی، م. و م. وفاخواه (۱۴۰۰) مقایسه رویکردهای مختلف تعیین ضریب ثابت معادلات تحلیل منطقه‌ای سیلاب به روش هیبرید،دومین کنفرانس بین‌المللی و پنجمین کنفرانس ملی صیانت از منابع طبیعی و محیط‌زیست،اردبیل، https://civilica.com/doc/1248957.

۸. محسنی‌ساروی، م.، ح. روحانی، ع. تلوری و غ. ر. زهتابیان (۱۳۸۲) تحلیل فراوانی منطقه‌ای سیلاب به روش هیبرید در شرق و شمال شرق ایران. مجله منابع طبیعی ایران، ۵۶(۲): ۱۶۵-۱۷۵.

۹. محمدی خشوئی، م.، م. ملکی نژاد و م. ت. دستورانی (۱۳۹۶) مقایسه روش‌های تحلیل منطقه‌ای برآورد دبی پیک سیل (مطالعه موردی:حوزه‌های اصفهان-سیرجان و دشت یزد-اردکان). مرتع و آبخیزداری، ۷۰(۲)، ۵۱۵-۵۲۹.

۱۰. محمدی، م.، م. ر. اختصاصی و ع. طالبی (۱۳۹۹) مقایسه کارآیی گشتاورهای معمولی، خطی و بیشینه درست‌نمائی در تحلیل منطقه‌ای سیل. خشک بوم،۱۰(۲): ۷۹-۹۷.

۱۱. ملکی نژاد، ح. و س. پورمحمدی (۱۳۹۳) بررسی روش‌های برآورد دبی اوج سیل در قالب تحلیل منطقه‌ای در حوضه‌های کم داده. دانش آب‌وخاک، ۲۱(۱)، ۱۱۵-۱۲۵.

۱۲. میرزاحسینی، م.، م. محسنی ساروی و م. غ. زهتابیان (۱۳۸۹) ارزیابی روش هیبرید جهت تحلیل منطقه‌ای جریان کمینه در استان مازندران. نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران، ۱(۱): ۱-۹.

۱۳. وفاخواه، م. و ع. ر. مقدم نیا (۱۳۹۸) کنترل سیلاب. انتشارات دانشگاه تربیت مدرس، ۳۸۷ص.

14. Ahn K. H. and Palme R. (2016) *Regional flood frequency analysis using spatial proximity and basin characteristics: Quantile regression vs. parameter regression technique.* Journal of Hydrology, *540, 515-526.*
15. Allahbakhshian-Farsani P., Vafakhah M., Khosravi-Farsani H. and Hertig E. (2021) *Regional flood frequency analysis through some machine learning models in semi-arid regions.* Water Resources Management, *34(9), 2887-2909.*
16. Haberlandt U., Ebner von Eschenbach A. D. and Buchwald I. (2008) *A space-time hybrid hourly rainfall model for derived flood frequency analysis.* Hydrology and Earth System Sciences, *12(6), 1353-1367.*
17. Hosseini S. H., Khaleghi M. R., Jami H. and Baygi S. (2018) *Comparison of hybrid regression and multivariate regression in the regional flood frequency analysis: A case study in Khorasan Razavi province.* Environmental Health Engineering and Management Journal, *5(2), 93-100.*
18. Kapoor R., Kumar R. and Kumar M. (2021) *Development of Regional Flood Frequency Relationships for Gauged and Ungauged Catchments of Upper Narmada and Tapi Subzone 3 (c).* In Hydrological Extremes, *61-73.*
19. Khan M. S. R., Hussain Z. and Ahmad I. (2021) *Regional Flood Frequency Analysis, Using L-Moments, Artificial Neural Networks and OLS Regression, Of Various Sites of Khyber-Pakhtunkhwa, Pakistan.* Applied Ecology and Environmental Research, *19(1), 471-489.*
20. Kim N. W., Lee J. Y., Park D. H. and Kim T. W. (2019). *Evaluation of future flood risk according to RCP scenarios using a regional flood frequency analysis for ungauged watersheds.* Water, 11(5), 992.
21. Pakdin M., Gholami A., Zandian F., Mollaee M. and Shirzadi F. (2015) *Regional flood frequency analysis. Intervational conference on Economics.* management and social sciences, 14-14 April.
22. Sampaio J. and Costa V. (2021) *Bayesian regional flood frequency analysis with GEV hierarchical models under spatial dependency structures.* Hydrological Sciences Journal, *66(2021). 422-433.*
23. Sharifi Garmdareh E., Vafakhah M. and Eslamian S. S. (2018) *Regional flood frequency analysis using support vector regression in arid and semi-arid regions of Iran.* Hydrological sciences journal, *63(3), 426-440.*

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-15]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1401.10.2.6.7]

24. Zkhiri W., Tramblay Y., Hanich L. and Berjamy B. (2017) *Regional flood frequency analysis in the High Atlas mountainous catchments of Morocco.* Natural Hazards, *86(2), 953-967.*

Hybrid Regional Flood Analysis in the Namak Lake Watershed

Fariba Esmaeili [1], Mehdi Vafakhah[*2] , Mohammad Tavosi[3]

1. M.Sc. Student of Watershed Management, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University.
2. Professor, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University.
3. Ph.D. Student in Watershed Management, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University.

Received: 2022/08
Accepted: 2022/12

Abstract

Regional Flood Frequency Analysis (RFFA) is an efficient method in flood discharge estimation in ungauged watersheds or with short-term statistics. The purpose of the present study is to evaluate the hybrid method in RFFA and maximum flood discharge estimation in the Namak Lake watershed, Iran. For this purpose, 16 hydrometric stations were selected. The selected hydrometric stations were then divided into five homogeneous areas based on watershed area. Three stations from different homogeneous regions were selected and used for validating the RFFA model, and with remaining 13 stations, the hybrid equations were estimated at 2, 5, 10, 25, 50, and 100-year return periods. The results showed that the accuracy of the RFFA models in the mentioned return periods are acceptable with the agreement index (d) more than 0.8. Root Mean Square Error (RMSE) in high return periods is also more than in low return periods. So that the lowest RMSE in the two-year return period was equal to 1.55 $m^3 s^{-1}$ and the highest in the 100-year return period was estimated at 14.64 $m^3 s^{-1}$.

Keywords: Regionalization, Peak flood discharge, Modeling, Homogeneous areas, Hybrid method.

*Corrsponding author :vafakhah@modares.ac.ir

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-15]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1401.10.2.6.7]