



# بررسی قابلیت به کارگیری و ارزیابی روش‌های تهیه هیدروگراف واحد مصنوعی در برآورد سیلاب در حوزه آبخیز سیخوران استان هرمزگان

- جلال برخوردار، کارشناس ارشد پژوهشی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی هرمزگان
- عبدالرسول تلوری، عضو هیأت علمی مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیز داری
- نجفقلی غیاثی، عضو هیأت علمی مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیز داری
- حسین رستگار، کارشناس پژوهشی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی هرمزگان

تاریخ دریافت: آبان ماه ۱۳۸۳ تاریخ پذیرش: اردیبهشت ماه ۱۳۸۴

Email: Jbarkhordary@yahoo.com

### چکیده

این تحقیق با هدف تعیین قابلیت و کارایی هیدروگراف واحد مصنوعی (اشنا پدر، SCS، مثلثی و کلارک) در ارزیابی‌های هیدرولوژیک حوزه آبخیز سیخوران (استان هرمزگان) انجام گرفت بدین منظور هیدروگراف‌های واحد طبیعی و مصنوعی فوق‌الذکر با استفاده از داده‌های مورفولوژیکی، باران سنجی و هیدرومتری حوضه و توسل به تجزیه و تحلیل هیدرولوژیک تعیین شد و چهار روش ساخت هیدروگراف واحد مصنوعی، نسبت به هیدروگراف‌های واحد طبیعی (مشاهده‌ای) حوضه مورد مقایسه و بررسی قرار گرفت. مقایسه ظاهری چهار روش هیدروگراف واحد مصنوعی با طبیعی (مشاهده‌ای)، نشان داد که در اکثر موارد روش اشنا پدر از تطابق بهتری برخوردار می‌باشد. مقایسه آماری مقادیر میانگین خطای نسبی و میانگین لگاریتمی خطای نسبی دبی اوج، زمان رسیدن به دبی اوج و تطابق شکل محاسبه شده برای روش‌های مصنوعی، در روش اشنا پدر کمتر می‌باشد. بنابراین روش اشنا پدر برای برآورد هیدروگراف سیل در حوزه‌های فاقد آمار، که شرایط مشابه این حوزه را دارند پیشنهاد می‌گردد. با بررسی کارهای انجام شده قبلی به نظر می‌رسد که روش اشنا پدر در حوزه‌های کوهستانی پر شیب و روش‌های SCS و مثلثی در حوزه‌های دشتی و کم شیب برآورد بهتری را ارائه می‌نماید.

کلمات کلیدی: هیدروگراف واحد مصنوعی، ارزیابی هیدرولوژیکی، برآورد سیلاب، حوزه سیخوران، هرمزگان

Pajouhesh & Sazandegi No:71 pp: 57-65

**A study on ability of uses and assessment of synthetic unit hydrograph in flood estimation in Sikhoran watershed, Hormozgan province**

By: J. Barkhordari, Agricultural and Natural Resource Research Center, Hormozgan province A.Telvari, Soil Conservation and watershed Management Research Institute. N. Ghiassi, Soil Conservation and watershed Management Research Institute. H. Rastegar, Agricultural and Natural Resource Reserch Center. Hormozgan province.

In order to determine capability and efficiency of synthetic unit hydrograph (Snyder, SCS, Triangular & Clark) for flood simulation, This investigation was carried out in Sikhoran basin (Hormozgan province). For this propose, natural and synthetic unit hydrographs based on rainfall and runoff data were calculated and analyzed, and also comparison was made between the four methods and observed hydrograph. The visual comparison showed that Snyder method is better than the other three method and error of mean and mean relative logarithmic error of peak flow and time to peak and model efficiency is lower than the other methods. In previous investigations showed that Snyder method is suitable for mountainous basins with steep slope and SCS method and Triangular method are suitable for flat basins with slow slope as well.

**Key words:** Unit hydrograph, Snyder, SCS, Triangular, Clark, Evaluation, Sikhoran, Hormozgan

### مقدمه

با توجه به اهمیت هیدروگراف واحد، در تعیین و پیش بینی سیلاب رودخانه‌ها و طراحی سازه‌های آبی و کافی نبودن آمار ایستگاه‌های هیدرومتری حوضه‌های آبخیز استان، لزوم استفاده از هیدروگراف واحد مصنوعی در برآورد سیلاب رودخانه‌های فاقد آمار هیدرومتری مشهود می‌باشد. لذا به منظور آزمون کارایی روش مذکور در ارزیابی هیدرولوژیکی و شناخت تجربی و عینی نارسائی‌ها و نقاط ضعف احتمالی آن، این تحقیق پیشنهاد گردید. هدف از این تحقیق تحقیق پیشنهاد بهترین روش هیدروگراف واحد مصنوعی که بیشترین تطابق را با هیدروگراف‌های طبیعی داشته باشد. همچنین واسنجی و پیشنهاد بهترین روش محاسبه ضرایب روش‌های مصنوعی می‌باشد.

امید است نتایج این طرح گامی در جهت استفاده اصولی‌تر از روش و برآوردهای دقیقتر از سیلاب حوضه‌های فاقد آمار به‌ویژه مشابه حوضه سیخوران و طراحی سازه‌های آبی در استان هرمزگان باشد.

### موقعیت محل اجرا

حوضه آبخیز رودخانه سیخوران با وسعتی معادل ۱۳۵ کیلومتر مربع بخشی از حوضه آبخیز رودخانه جاماش می‌باشد. این حوضه بین طول‌های  $33^{\circ} 56'$  تا  $56^{\circ} 19'$  شرقی و عرض‌های  $27^{\circ} 50'$  تا  $27^{\circ}$  شمالی واقع است. که از شرق به حوضه آبخیز شمیل و از غرب به حوضه آبخیز کل منتهی می‌شود و از ارتفاعات بخوان و هماگ سرچشمه می‌گیرد. حداکثر ارتفاع حوضه، کوه هماگ با ۳۲۵۰ متر بلندی و حداقل ارتفاع، ۸۸۰ متر در محل خروجی حوضه قرار دارد.

قسمت اعظم حوضه سیخوران را مناطق کوهستانی تشکیل می‌دهد که قسمت‌های شمال و غرب بر روی دامنه‌های ارتفاعات، پوشش متوسطی از درختچه‌های جنگلی دیده می‌شود و در قسمت‌های مرکزی و اطراف رودخانه، مناطق مسکونی و اراضی کشاورزی قرار دارد. در قسمت‌های شرق و جنوب شرق حوضه پوشش گیاهی بسیار ضعیف تا لخت می‌باشد. زه‌کشی منطقه توسط یک رودخانه اصلی بنام هماگ انجام می‌شود که آبراهه‌های دیگر به آن می‌پیوندند. رودخانه سیخوران به‌علت وجود چندین چشمه آهکی در شمال و شرق حوضه دارای آب پایه نسبتاً ثابت و دائمی است. رودخانه سیخوران پس از عبور از ایستگاه

هیدرومتری سیخوران بنام رودخانه ماشاری به رودخانه جاماش و از آنجا به خلیج فارس می‌ریزد. حوضه سیخوران دارای یک ایستگاه هیدرومتری در خروجی و یک ایستگاه باران سنجی ثابت در نزدیکی خروجی حوضه می‌باشد همچنین یک ایستگاه باران سنج ذخیره‌ای در روستای هماگ بالا که تقریباً در مرکز حوضه می‌باشد مستقر است.

### سابقه تحقیق

موسوی در تحقیقی که در حوضه آبخیز پلاسجان از سر شاخه‌های زاینده رود با وسعت ۱۵۷۸ کیلومتر مربع و تیپ نسبتاً دشتی انجام داده است نتیجه گرفته است که میانگین درصد اختلاف دبی اوج محاسبه شده در روش اشنایدر نسبت به مشاهده شده ۲۲/۱ درصد و در روش‌های SCS و مثلثی ۲۳/۱۶ درصد می‌باشد بنابراین روش اشنایدر دارای دبی اوج محاسبه شده نزدیک‌تر به مقادیر مشاهده شده می‌باشد (۵).

بهادری خسرو شاهی نیز در تحقیق خود در حوضه آبخیز رودخانه جاجرود با وسعت حدود ۱۷۷۴ کیلومتر مربع و تیپ کوهستانی نتیجه گرفته است که هیدروگراف واحد اشنایدر در مقایسه با SCS و سایر موارد تجربی از هماهنگی مطلوبی برخوردار و قابل استفاده است (۱).

عباسی همچنین در تحقیقی که در حوضه‌های معرف امامه و کسلیان در ناحیه جنوبی و شمالی البرز با وسعت‌های  $37/2$  و  $66/7$  کیلومتر مربع انجام داده است از مقایسه درصد اختلاف دبی اوج هیدروگراف محاسبه‌ای و مشاهده‌ای و مجموع مربع خطاهای هیدروگراف‌های محاسبه‌ای و مشاهده‌ای مشخص کرده است که در حوضه امامه روش مثلثی و در حوضه کسلیان روش اشنایدر بهترین جواب را بدست می‌دهد (۴).

زمان شاه محمدی نیز در تحقیق خود که در حوضه خرسان واقع در بخش جنوبی حوضه آبریز کارون با وسعت ۸۹۰۰ کیلومتر مربع تیپ نسبتاً دشتی (بیش از نیمی از سطح حوضه واحدهای اراضی مسطح و غیر کوهستانی در بر می‌گیرد) انجام داده است. به این نتیجه رسیده است در برآورد پیک سیلاب هر سه روش اشنایدر، SCS و مثلثی در یک سطح اطمینان هستند و روش SCS با خطای کمتری نسبت به دیگر روش‌های (اشنایدر SCS و مثلثی) هیدروگراف سیلاب‌های حوضه را برآورد می‌نماید (۳).

همچنین در تحقیقی که در ۹ حوضه آبخیز استان‌های زنجان، گیلان، مازندران و تهران با مساحت‌های متفاوت، توسط رضایی انجام گرفته روش

Ct: ضریب مربوط به شیب حوزه  
L: طول رودخانه اصلی به کیلومتر  
Lca: فاصله مرکز ثقل حوزه تا نقطه خروجی به کیلومتر  
تاخیر بر حسب ساعت  
S: شیب متوسط حوزه (m/m)  
Lca: فاصله مرکز ثقل حوزه تا نقطه خروجی به کیلومتر  
W50, W75: پهنه هیدروگراف واحد اشنایدر در ۵۰ و ۷۵ درصد  
دبی اوج

### روش SCS و مثلثی

در این دو روش برای تعیین هیدروگراف واحد مصنوعی کافی است که زمان رسیدن به دبی اوج و مقدار دبی اوج محاسبه شود. مختصات نقاط هیدروگراف واحد از جدول نمودار بدون بعد که برای این منظور تهیه شده است به دست می آید. روابط موجود در هیدروگراف واحد بدون بعد که می توان برای سادگی امر به صورت مثلثی نیز در نظر گرفته شود به قرار زیر است:

$$Q_p = \frac{0.208A}{t_p} \quad (9)$$

$$t_p = D/2 + t_1 \quad (10)$$

$$t_1 = 0.6t_c \quad (11)$$

$$D = 0.133tc \quad (12)$$

$$t_b = 2.66t_p \quad (13)$$

Qp: دبی اوج (متر مکعب بر ثانیه)

tl: زمان تاخیر به ساعت

A: مساحت حوزه (هکتار)

tp: زمان رسیدن به دبی اوج (ساعت)

tb: زمان پایه هیدروگراف (ساعت)

D: زمان مؤثر بارش (ساعت)

برای حل معادلات مربوط به هیدروگراف واحد بدون بعد محاسبه زمان تمرکز حوزه (tc) لازم است. در این تحقیق زمان تمرکز از روش های تجربی موجود محاسبه شده و با زمان تمرکز به دست آمده از هیدروگراف های مشاهده شده مورد مقایسه قرار گرفت تا مناسب ترین روش تجربی ارائه گردد.

**روش کلارک:** برای محاسبه هیدروگراف واحد کلارک عملیات زیر باید انجام گیرد.

**الف- محاسبه زمان تمرکز:** که از یکی از فرمول های تجربی استفاده می گردد (۵).

**ب- محاسبه مساحت های بین خطوط هم زمان تمرکز (Isocoron) حوزه:** در این مرحله از معادلات ۱۶ و ۱۷ استفاده گردید.

SCS تطابق خوبی را نسبت به روش اشنایدر در ساخت هیدروگراف واحد به دست آورده ولی در اکثر موارد میزان دبی حداکثر لحظه ای را نسبت به دبی مشاهده شده کمتر نشان داده است این نکته نشان می دهد که تفاوت در خصوصیات حوضه ها باعث تغییر تطابق روش های ساخت هیدروگراف واحد مصنوعی می شود (۶،۵)  
Kilgore در سال ۱۹۹۷ در حوزه آبخیزی به مساحت ۱۱۵۳ هکتار در منطقه ویرجینیای آمریکا، نتایج یک روش هیدروگراف واحد مصنوعی (SDUH) با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی را با نتایج چهار روش اشنایدر SCS، مثلثی و کلارک و هیدروگراف های مشاهده ای مورد مقایسه قرار داده و نتیجه گرفته است بهترین برآورد دبی اوج و زمان رسیدن به دبی اوج و تطابق مربوط به روش SDUH می باشد (۱۰).

### مواد و روش ها

برای انجام این تحقیق از اطلاعات حوزه آبخیز، بارندگی، سیلاب و تجزیه و تحلیل آنها به شرح ذیل مورد استفاده قرار گرفته است.

- تهیه پارامترهای فیزیوگرافی حوزه (مساحت، محیط، طول آبراهه اصلی، فاصله مرکز ثقل حوزه تا خروجی و...)
- انتخاب ۱۰ مورد هیدروگراف سیلاب مشاهده شده و هیتوگراف های مولد آن و استخراج داده های آنها از روی گراف
- تهیه هیدروگراف واحد مصنوعی حوزه با چهار روش مصنوعی که به شرح ذیل می باشد:

### روش اشنایدر

بر اساس روش اشنایدر برای هر حوزه می توان مشخصات نقطه ای را از هیدروگراف بدست آورد که از روی آنها بتوان هیدروگراف واحد حوضه را رسم کرد. این مشخصات شامل: زمان تاخیر حوضه (tl)، زمان بارندگی (tD)، دبی اوج (Qp) زمان رسیدن به دبی اوج (Tp) و زمان پایه هیدروگراف (Tb) می باشد که با استفاده از معادلات ذیل محاسبه می گردد.

$$t_1 = Ct(L * Lca)^{0.3} \quad (1)$$

$$Ct = \frac{0.6}{\sqrt{s}} \quad (2)$$

$$t_D = t_1 / 5.5 \quad (3)$$

$$Q_p = C_p * A / t_1 \quad (4)$$

$$T_b = 24(3 + t_1 / 8) \quad (5)$$

$$T_p = t_D / 2 + t_1 \quad (6)$$

$$W_{50} = 0.23A^{1.08} / Q_p^{1.08} \quad (7)$$

$$W_{75} = 0.13A^{1.08} / Q_p^{1.08} \quad (8)$$

rel.error: خطای نسبی در هر برآورد (مقدار آن هرچه کمتر باشد نشانه دقت بهتر مدل در برآورد می باشد)  
 qs: مقدار محاسبه شده  
 qpo: مقدار مشاهده شده  
 n: تعداد واقعه

MARE: میانگین خطای نسبی در کل وقایع (مقدار آن هرچه کمتر باشد نشانه دقت بهتر مدل در برآورد می باشد)

$$LMARE = \frac{\sum_{i=1}^n |\log_{10} |rel.error||}{n} \quad (25)$$

LMARE: میانگین لگاریتم خطای نسبی در کل وقایع (با توجه به اینکه در اکثر مواقع مقدار منفی می باشد مقدار آن هرچه بیشتر باشد نشانه دقت بهتر مدل در برآورد می باشد)

آماره دیگری که در منابع مختلف برای ارزیابی مدل های هیدروگراف واحد پیشنهاد شده ضریب بدون بعد تطابق مدل ( $R^2$ ) می باشد که با استفاده از معادلات زیر برای هر یک از وقایع (سیلاب) محاسبه می شود و مقدار  $R^2$  بین ۱ تا -۱ می باشد به طوری که اگر مقدار میانگین  $R^2$  برابر یک باشد نشانه تطابق کامل هیدروگراف مشاهده ای و محاسبه شده می باشد.

$$R^2 = \frac{F_0^2 - F^2}{F_0^2} \quad (26)$$

$$F_0^2 = \sum_{i=1}^n [q_0(t) - \bar{q}_0]^2 \quad (27)$$

$$F^2 = \sum_{i=1}^n [q_0(t) - q_s(t)]^2 \quad (28)$$

$q_0(t)$ : مقدار مشاهده شده در زمان t

$q_s(t)$ : مقدار محاسبه شده در زمان t

$\bar{q}_0$ : میانگین مقادیر مشاهده شده برای زمان های مختلف

n: تعداد جفت داده مورد مقایسه در یک واقعه سیلابی

### نتایج و بحث

در این طرح ۱۰ مورد سیلاب که هیتوگراف بارش هم زمان آن در اختیار بوده تهیه گردید. که با در نظر گرفتن حجم بارش آنها و دبی اوج هیدروگراف مشاهده ای به دو دسته ۵ تایی تقسیم گردید. یکی از دسته های ۵ تایی سیلاب (سیلاب های شماره ۱، ۴، ۶، ۹، ۱۰) برای واسنجی ضرایب روش های مصنوعی هیدروگراف واحد و دسته ۵ تایی دیگر (سیلاب های شماره ۲، ۳، ۵، ۷، ۸) برای آزمون روش های مصنوعی مورد استفاده قرار گرفت.

#### ۱- واسنجی ضرایب

هیدروگراف های واحد مصنوعی دارای ضرایبی هستند که نقش اساسی در برآورد سیلاب در حوزه های فاقد آمار دارد و به منظور واسنجی این ضرایب بایستی در حوزه های دارای آمار و اطلاعات سیلاب واسنجی شود. در روش اشنایدر مقادیر ضرایب Ct, Cp و زمان پایه هیدروگراف واحد

$$\frac{A_t}{A} = 1.414 \left(\frac{t}{t_c}\right)^{1.5} \quad \text{for } t \leq t_c \quad (16)$$

$$\frac{A_t}{A} = 1 - 1.414 \left(1 - \frac{t}{t_c}\right)^{1.5} \quad \text{for } t \geq t_c \quad (17)$$

A: مساحت کل حوزه به کیلومتر مربع

At: مساحت تجمعی مناطقی از حوزه با زمان تمرکز کمتر از t ساعت

t: نسبتی از زمان تمرکز حوزه به ساعت

t\_c: زمان تمرکز کل حوزه به ساعت

ج- محاسبه ضریب ثابت K: برای محاسبه این ضریب ابتدا از روش های تجربی استفاده گردید و با مقادیر مشاهده ای مقایسه گردید. یکی از مناسب ترین معادلات تجربی برای محاسبه ضریب ثابت K توسط لنیزلی به صورت زیر ارائه شده است (۶).

$$K = bl \left(\frac{A}{S_c}\right)^{0.5} \quad (19)$$

b = ضریبی است که بین ۰/۰۴ تا ۰/۰۷۵ تشخیص داده شده است

L = طول آبراهه اصلی بر حسب مایل

A = مساحت حوزه بر حسب مایل مربع

S\_c = شیب آبراهه اصلی بر حسب درصد

د- با داشتن ( $\Delta t$ ) و ضریب k ضریب c از فرمول زیر بدست می آید.

$$C = 2\Delta t / 2k + \Delta t \quad (20)$$

ه- محاسبه  $O_i$  مقدار دبی هیدروگراف واحد لحظه ای با استفاده از فرمول زیر:

$$O_i = C I_i + (1-c)O_{i+1} \quad (21)$$

و- تبدیل هیدروگراف واحد لحظه ای به هیدروگراف واحد  $\Delta t$  ساعته با استفاده از فرمول زیر:

$$Q_i = 0.5(O_{i-1} + O_i) \quad (22)$$

#### ۴- ارزیابی

ارزیابی و مقایسه روش های هیدروگراف واحد مصنوعی به دو روش مقایسه ظاهری Visual Comparison و مقایسه آماری Statistical Comparison به کمک آماره های ذیل انجام گردید (۷، ۹).

$$rel.error = \frac{q_s - q_{po}}{q_{po}} \quad (23)$$

$$MARE = \frac{\sum_{i=1}^n |rel.error|}{n} \quad (24)$$

## ۲- ارزیابی و مقایسه روش‌های هیدروگراف واحد مصنوعی

Stephenson و Green (۹) پیشنهاد کردند که به منظور ارزیابی و مقایسه هیدروگراف‌ها لازم است که علاوه بر مقایسه مقدار دبی اوج و زمان رسیدن به دبی اوج، هیدروگراف‌ها طوری جابه‌جا شوند تا مقادیر دبی اوج بر هم منطبق شود و تک تک دبی‌های هیدروگراف مصنوعی با مقادیر دبی نظیر آن در هیدروگراف مشاهده‌ای مورد ارزیابی و مقایسه قرار گیرد.

### مقایسه ظاهری Visual Comparison

کمیته کاری ASCE توصیه کردند که برای مقایسه هیدروگراف‌های مشاهده‌ای و برآورد شده، از دو روش مقایسه ظاهری و آماری می‌توان استفاده نمود.

مقایسه ظاهری هیدروگراف‌های مشاهده‌ای و برآورد شده، یک درک سریع و ارزیابی کلی از دقت روش‌های استفاده شده در تهیه هیدروگراف واحد ارائه می‌دهند. در حقیقت، نتایج روش مقایسه ظاهری، قابل نمایش و واضح‌تر از روش آماری می‌باشد (۳)

شکل‌های ۱ الی ۵ مقایسه ظاهری هیدروگراف سیلاب‌های مشاهده‌ای و برآورد شده با چهار روش مصنوعی را ارائه می‌نماید. مقایسه ظاهری هیدروگراف‌های محاسبه شده با روش‌های مصنوعی با هیدروگراف مشاهده‌ای، نشان می‌دهد که روش اشنایدر هماهنگی مطلوب‌تری در برآورد سیلاب با هیدروگراف مشاهده‌ای دارد.

### مقایسه آماری Statistical Comparison

در این مرحله به منظور مقایسه هیدروگراف‌های مشاهده‌ای با هیدروگراف‌های برآورد شده به‌وسیله چهار روش هیدروگراف واحد مصنوعی (اشنایدر، SCS، مثلثی و کلارک) خصوصیات مختلف آنها از جمله مقادیر دبی اوج، زمان رسیدن به دبی اوج و میزان تطابق (مقایسه داده‌های دبی مشابه در دو حالت مشاهده‌ای و محاسبه‌ای) آنها از نظر آماری مورد مقایسه قرار گرفت.

نیاز به واسنجی دارد. که با داشتن پارامترهای فیزیوگرافی حوزه (طول آبراهه اصلی، فاصله مرکز ثقل حوزه تا خروجی و مساحت) و مقادیر دبی اوج، زمان تاخیر هیدروگراف‌های مشاهده‌ای و استفاده از معادلات (۴ و ۱) ضرایب واسنجی شده بدست آمد. پارامترهای مورد نیاز جهت تهیه روش‌های هیدروگراف واحد مصنوعی اشنایدر، SCS مثلثی در ابتدا با استفاده از فرمول‌های تجربی محاسبه گردید و سپس این پارامترها با استفاده از اطلاعات ۵ مورد سیلاب ثبت شده واسنجی گردید و میانگین ۵ مورد به‌عنوان پارامترهای واسنجی شده مورد استفاده قرار گرفت. نتایج حاصل از واسنجی ضرایب روش‌های تهیه هیدروگراف واحد مصنوعی در جدول شماره ۱ ارائه گردیده است

جدول شماره ۱ مقایسه پارامترهای واسنجی و محاسبه شده برای روش‌های هیدروگراف واحد مصنوعی

پارامتر	واحد	محاسبه شده با فرمول	واسنجی شده
Ct	-	۲/۳	۰/۴
Cp	-	۰/۶۲	۰/۴۸
fb	ساعت	۷/۵	۹/۸۱
tc	ساعت	۲/۷۳	۳/۵۹
CN		۸۲/۶	۷۴/۲
K	ساعت	۲/۲۲	۲/۲۲

Ct: ضریب مربوط به شیب حوزه (روش اشنایدر)

Lca: فاصله مرکز ثقل حوزه تا نقطه خروجی به کیلومتر (روش اشنایدر)

Tb: زمان پایه هیدروگراف واحد اشنایدر

c: زمان تمرکز حوزه به ساعت در روش SCS

K: ضریب ثابت در روش کلارک

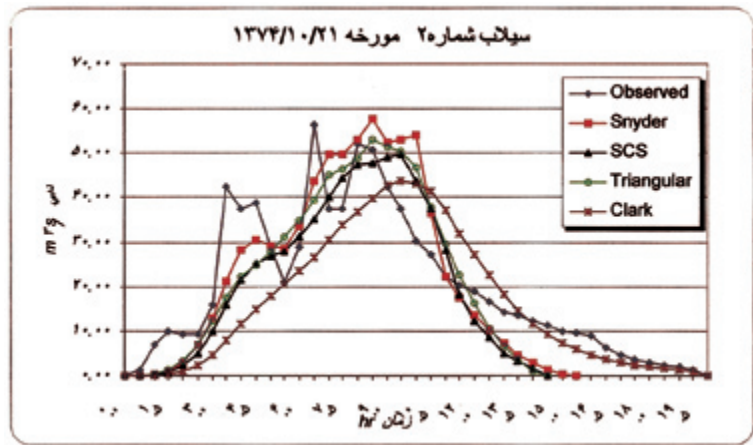
جدول شماره ۲- مقادیر دبی اوج مشاهده شده و برآورد شده با چهار روش مورد بررسی

مقادیر دبی بر حسب متر مکعب بر ثانیه					شماره سیلاب
روش کلارک	روش مثلثی	روش SCS	روش اشنایدر	مشاهده شده	
۵۶/۳	۵۷/۸	۵۰/۵۶	۵۳/۱	۴۳/۷۵	۲
۱۲/۲۳	۱۴/۱۵	۱۲	۱۱/۵	۸/۸۵	۳
۱۰۵/۵	۱۰۷/۸۹۶	۸۹	۸۵	۶۲	۵
۴/۳۵	۴/۷۵	۳/۶	۳/۲	۲/۳۵	۷
۶۸/۴۵	۹۹/۶	۱۰۴/۶۲	۱۴۰/۹۲	۱۸۶/۸	۸

### مقدار دبی اوج Peak Flow Rate

مقادیر دبی اوج برآورد شده به وسیله چهار روش هیدروگراف واحد و مقادیر مشاهده شده به صورت خلاصه در جدول ۲ ارائه گردیده است.

مقادیر خطای نسبی هر یک از روش‌ها در جدول ۳ ارائه شده است. میانگین خطای نسبی (MARE) نشان می‌دهد که از میان چهار روش هیدروگراف بهترین برآورد دبی اوج با روش اشنایدر بدست می‌آید. مقادیر روش SCS از نظر میانگین خطای نسبی در رده دوم می‌باشد. ولی بیشترین خطای برآورد مقادیر دبی اوج مربوط به روش کلارک می‌باشد. همچنین میانگین لگاریتمی خطای نسبی، چهار روش در برآورد دبی اوج نشان می‌دهد که روش اشنایدر کمترین خطا و روش کلارک بیشترین خطا را در برآورد دبی اوج هیدروگراف سیل دارد.

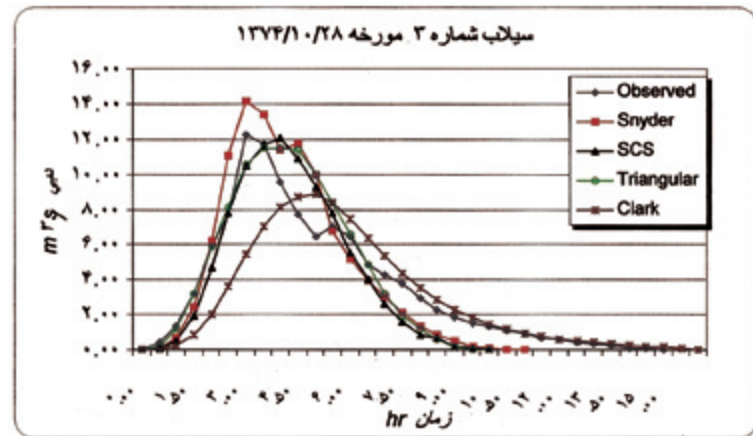


شکل ۱ - هیدروگراف سیلاب شماره ۲ به صورت مشاهده‌ای و برآورد شده

### زمان رسیدن به دبی اوج Time to peak

مقادیر زمان رسیدن به دبی اوج برآورد شده بوسیله چهار روش هیدروگراف واحد و مقادیر مشاهده شده به صورت خلاصه در جدول ۴ ارائه گردیده است.

مقادیر خطای نسبی همراه با میانگین و میانگین لگاریتم هر یک از روش‌ها در جدول ۵ ارائه شده است. میانگین خطای نسبی (MARE) و میانگین لگاریتم خطای نسبی روش‌ها نشان می‌دهد که از میان چهار روش هیدروگراف واحد کمترین میزان خطا در زمان رسیدن به دبی اوج مربوط به روش اشنایدر و مثلثی و بیشترین میزان خطا در زمان رسیدن به دبی اوج مربوط به روش کلارک می‌باشد.

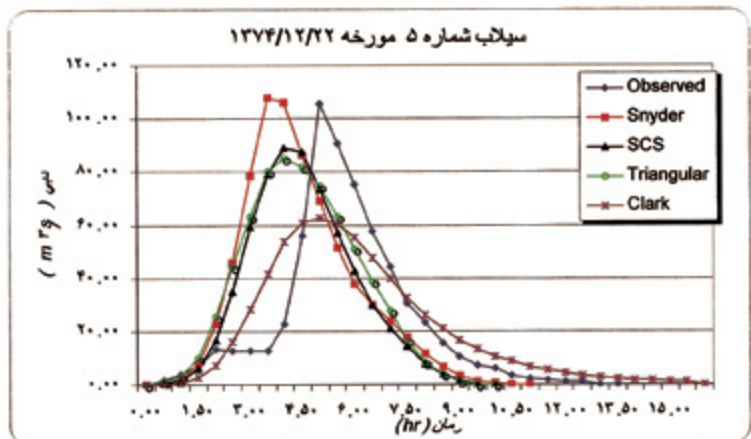


شکل ۲ - هیدروگراف سیلاب شماره ۳ به صورت مشاهده‌ای و برآورد شده

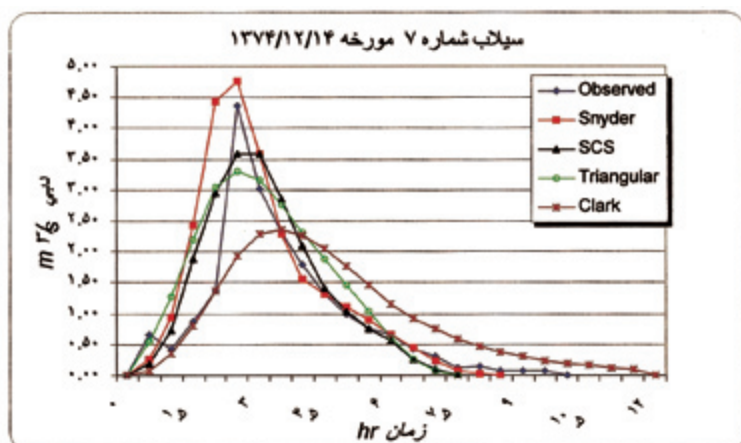
### انطباق شکل هیدروگراف‌ها

به منظور ارزیابی و مقایسه هیدروگراف‌ها لازم است که علاوه بر مقایسه مقدار دبی اوج و زمان رسیدن به دبی اوج، هیدروگراف‌ها را جابه‌جا کنیم تا مقادیر دبی اوج بر هم منطبق شود و تک تک هیدروگراف مصنوعی با مقادیر دبی نظیر آن در هیدروگراف مشاهده‌ای مورد ارزیابی و مقایسه قرار گیرد (۷).

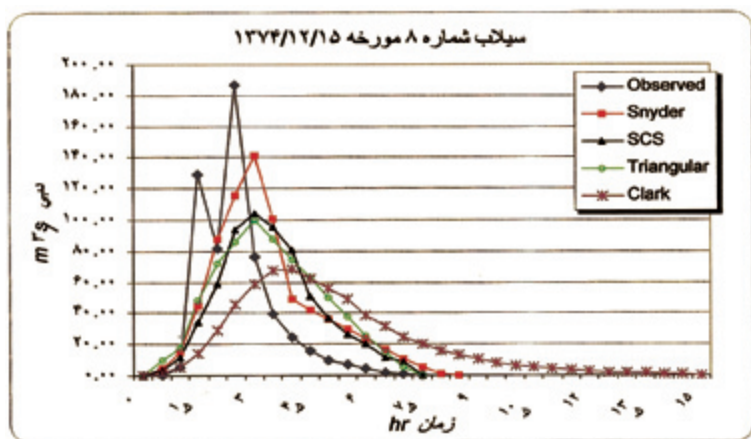
بدین منظور پس از انطباق هر یک از هیدروگراف‌های واحد مصنوعی و مشاهده‌ای میزان تطابق ( $R^2$ ) دبی‌های هیدروگراف هر یک از روش‌های هیدروگراف واحد مصنوعی محاسبه شد که خلاصه نتایج در جدول ۶ ارائه گردیده است. کمترین میزان تطابق شکل مربوط به روش SCS می‌باشد. اما در روش دیگر از نظر میزان تطابق مشابه می‌باشند. اما در مجموع اختلاف روش‌های مصنوعی از نظر تطابق ( $R^2$ ) مقدار ناچیزی می‌باشد.



شکل ۳ - هیدروگراف سیلاب شماره ۵ به صورت مشاهده‌ای و برآورد شده



شکل ۴ - هیدروگراف سیلاب شماره ۷ به صورت مشاهده‌ای و برآورد شده



شکل ۵ - هیدروگراف سیلاب شماره ۸ به صورت مشاهده‌ای و برآورد شده

نتایج تحقیقات انجام شده در مناطق مختلف در زمینه ارزیابی روش‌های هیدروگراف واحد مصنوعی نشان می‌دهد که نمی‌توان استفاده از روش‌های تهیه هیدروگراف واحد مصنوعی را به صورت منطقه‌ای توصیه نمود. چرا که تفاوت خصوصیات حوضه‌ها است که باعث تغییر در تطابق روش‌های ساخت هیدروگراف واحد می‌شود. ولی از روی نتایج این تحقیق و تحقیقات مشابه انجام گرفته در مناطق دیگر می‌توان استنباط نمود که روش اشنایدر نزدیک‌ترین برآورد را از دبی اوج واقعی حوضه در اکثر مناطق ارائه می‌نماید. در زمینه قابلیت روش‌های هیدروگراف واحد مصنوعی در ساخت هیدروگراف سیلاب در مناطق مختلف به نظر می‌رسد که روش اشنایدر در حوضه‌های کوهستانی مشابه حوزه سیخوران (هرمزگان)، جاجرود (تهران) و کسلیان (البرز شمالی) بهترین برآورد را دارد و روش‌های SCS و مثلثی در حوضه‌های نیمه دشتی و هموار مشابه حوزه خرسان (کارون جنوبی) برآورد بهتری را ارائه می‌نماید. لذا در حوضه‌های فاقد آمار هیدرومتری برای انتخاب روش مصنوعی برآورد هیدروگراف واحد مصنوعی، در حوضه‌های با تیپ کوهستانی روش اشنایدر و در حوضه‌های با تیپ دشتی و کم شیب روش‌های SCS و مثلثی مناسب

### نتیجه‌گیری و پیشنهادات

از واسنجی ضرایب روش‌های مصنوعی تهیه هیدروگراف واحد در حوزه سیخوران و نتایج تحقیقات قبلی می‌توان نتیجه گرفت که در حوضه‌های با شیب زیاد مقدار Ct بشدت کاهش یافته و مقدار Cp افزایش می‌یابد و در استفاده از مقادیر توصیه شده باید احتیاط کرد.

- محاسبه زمان پایه هیدروگراف واحد اشنایدر برابر با ۳-۵ برابر زمان رسیدن به دبی اوج نزدیک‌ترین برآورد به واقعیت را ارائه می‌نماید.

در روش SCS و مثلثی پس از واسنجی مقدار شماره منحنی CN مشخص گردید که محدوده‌ای بین ۸۴ تا ۶۷ دارا می‌باشند. و متوسط واسنجی شده ۷۴/۹ و اما مقدار محاسبه شده ۸۲/۶ بدست آمد. چنانچه بنا به پیشنهاد دادخواه (۲۱) به جای استفاده از مجموع رطوبتی پنج روز قبل از مجموع بارندگی سه روز قبل (به دلیل میزان خشکی محیط در مناطق جنوبی کشور) استفاده گردد. تفاوت شماره منحنی برآورد شده و مشاهده شده کاهش می‌یابد.

برای محاسبه زمان تمرکز از فرمول‌های مختلف استفاده گردید که نزدیک‌ترین برآورد به مقدار واسنجی شده از روش SCS بدست آمد. این روش به جهت اینکه پارامترهای بیشتری را به‌ویژه شماره منحنی CN حوزه را در نظر می‌گیرد جواب بهتری می‌دهد.

در روش کلارک نتیجه واسنجی ضریب K نشان داد که مقدار واسنجی شده با مقدار محاسبه شده با معادله لینزلی تطابق کامل دارد که حاکی از توانایی خوب معادله مذکور در برآورد ضریب K در منطقه می‌باشد.

از ارزیابی و مقایسه خصوصیات هیدروگراف‌های برآورد شده توسط چهار روش مصنوعی با هیدروگراف‌های مشاهده‌ای می‌توان نتیجه گرفت که مقایسه ظاهری هیدروگراف سیلاب‌های مشاهده‌ای و برآورد شده با چهار روش مصنوعی نشان می‌دهد که در اکثر موارد بهترین هماهنگی بین هیدروگراف مشاهده‌ای و محاسبه‌ای در روش اشنایدر دیده می‌شود. همچنین میانگین خطای نسبی (MARE) و میانگین لگاریتمی خطای نسبی (LMARE) دبی اوج نشان داد که بهترین برآورد دبی اوج با روش اشنایدر بدست می‌آید.

میانگین خطای نسبی (MARE) و میانگین لگاریتمی خطای نسبی (LMARE) زمان رسیدن به دبی اوج روش‌ها نیز نشان داد که از میان چهار روش هیدروگراف واحد کمترین میزان خطا در زمان رسیدن به دبی اوج مربوط به روش اشنایدر می‌باشد. از نظر تطابق شکل ( $R^2$ ) هیدروگراف‌های محاسبه‌ای و مشاهده‌ای، میزان خطا در روش SCS کمتر می‌باشد. اما میزان ضریب تطابق شکل ( $R^2$ ) در چهار روش تقریباً نزدیک بهم می‌باشد.

جدول ۳- مقدار خطا نسبی دبی اوج برای چهار روش هیدروگراف واحد مصنوعی

شماره سیلاب	روش اشنایدر	روش SCS	روش مثلثی	روش کلارک
۲	۰/۰۳	۰/۱۰	۰/۰۶	۰/۲۲
۳	۰/۱۶	۰/۰۲	۰/۰۶	۰/۲۸
۵	۰/۰۲	۰/۱۶	۰/۱۹	۰/۴۱
۷	۰/۰۹	۰/۱۷	۰/۲۶	۰/۴۶
۸	۰/۲۵	۰/۴۴	۰/۴۷	۰/۶۳
MARE	۰/۱۱	۰/۱۸	۰/۲۱	۰/۴۰
LMARE	-۱/۱۵	-۰/۹۳	-۰/۸۲	-۰/۴۳

جدول ۴- مقادیر زمان رسیدن به دبی اوج مشاهده شده و محاسبه شده (hr)

شماره سیلاب	مشاهده شده	روش اشنایدر	روش SCS	روش مثلثی	روش کلارک
۲	۶/۵	۸/۵	۹/۵	۸/۵	۹/۵
۳	۳	۳	۴	۳/۵	۵
۵	۵	۲/۵	۴	۴	۵
۷	۲/۵	۲/۵	۲/۵	۲/۵	۳/۵
۸	۲/۵	۳	۳	۳	۴

جدول ۵- میزان خطای نسبی در زمان رسیدن به دبی اوج برای چهار روش هیدروگراف واحد مصنوعی

سیلاب شماره	روش اشنایدر	روش SCS	روش مثلثی	روش کلارک
۲	۰/۳۱	۰/۴۶	۰/۳۱	۰/۴۶
۳	۰/۰۰	۰/۳۳	۰/۱۷	۰/۶۷
۵	۰/۳۰	۰/۲۰	۰/۱۴	۰/۴۳
۷	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۴۰
۸	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۶۰
MARE	۰/۱۶	۰/۲۴	۰/۱۷	۰/۴۳
LMARE	-۰/۳۲	-۰/۴۷	-۰/۵۷	-۰/۳۰

جدول ۶- ضریب تطابق شکل هریک از هیدروگراف‌های محاسبه شده و مشاهده‌ای

روش کلارک	روش مثلثی	روش SCS	روش اشنایدر	شماره سیلاب
۰/۴	۰/۱۸	-۰/۵۸	-۰/۱۳	۲
۰/۴۵	۰/۶۶	۰/۳۳	۰/۶۸	۳
۰/۶۶	۰/۷۴	۰/۸۲	۰/۸۶	۵
۰/۵۶	۰/۵۶	۰/۷	۰/۲۶	۷
۰/۴	۰/۵۵	۰/۶	۰/۷۸	۸
۰/۵	۰/۵	۰/۴	۰/۵	میانگین



- ۴ - عباسی علی اکبر ۱۳۷۱؛ تهیه و کالیبراسیون مدل کامپیوتری برآورد رواناب برای حوضه‌های کوچک . پایان نامه کارشناسی ارشد دانشکده عمران دانشگاه صنعتی شریف
- ۵ - علیزاده . امین، ۱۳۸۰؛ اصول هیدرولوژی کاربردی . انتشارات دانشگاه امام رضا (ع) چاپ سیزدهم صتا ۴۴۸
- ۶ - موسوی . ف. ۱۳۷۷؛ بررسی و آزمون تطابق هیدروگراف واحد مصنوعی و طبیعی در حوضه آبخیز زاینده رود (زیر حوضه پلاسجان) مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان ص ۹۳ تا ۱۰۷
- ۷ - نجفی محمد رضا، ۱۳۸۱؛ سیستم‌های هیدرولوژیکی مدل بارندگی-رواناب انتشارات دانشگاه تهران، ج ۲

- 8-ASCE 1993; Task Committee of the Watershed Management Committee. Criteria for evaluation of watershed models. J. Irrig. Drainage Eng. 119(3):429-443.
- 9- Green, I. R. A. and D. Stephenson. 1986; Criteria for comparison of single event models. Hydrological Sci. J. 31(3):395-411.
- 10-Kilgore.J.L 1997; Development and evaluation of a GIS-based spatially distribution unit hydrograph model, Msc thesis in biological system engineering ,The faculty of the Virginia Politechnic Institute and State University, p.160

می‌باشد. همچنین در پروژه‌هایی که هدف برآورد دبی اوج می‌باشد دقیق‌ترین برآورد با روش اشنایدر بدست می‌آید.

### قدردانی و تشکر

بدین‌وسیله از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی هرمزگان به‌خاطر در اختیار قرار دادن امکانات مورد نیاز این تحقیق و آقای دکتر علی اکبر عباسی به‌خاطر راهنمایی‌های ارزشمندشان تشکر و قدردانی می‌نمایم .

### پاورقی‌ها

#### 1- Spatially Distributed Unit Hydrograph

#### منابع مورد استفاده

- ۱ - بهادر خسرو شاهی، فیروز، ۱۳۷۰؛ بررسی قابلیت به‌کارگیری هیدروگراف واحد در تعیین سیلاب‌ها، مجموعه مقالات اولین کنفرانس هیدرولوژی ایران . مهاباد . تهران ص ۲۰۶ تا ۲۹۹.
- ۲ - دادخواه منوچهر ۱۳۷۷؛ بررسی روش شماره منحنی جهت برآورد هرز آب در حوضه آبخیز امامه لتیان مجله منابع طبیعی ایران جلد ۵۱ شماره ۱ ص ۵۷ تا ۶۷.
- ۳ - زمان شاه محمدی ۱۳۷۳؛ قابلیت به‌کارگیری روش‌های تهیه هیدروگراف واحد مصنوعی در حوضه خرسان . پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تهران

