



محاسبه زمان تمرکز حوضه های آبخیز به روش ژئومورفولوژیکی

تورج سبزواری^۱، بهرام ثقفیان^۲، علی طالبی^۳

چکیده:

زمان پاسخ حوضه های آبخیز یکی از مهمترین پارامترهای مدل های بارندگی- رواناب می باشد که تخمین دقیق این زمان بر افزایش دقت تخمین سیلاب اثر مستقیم می گذارد. زمان تمرکز حوضه یکی از زمانهای پاسخ حوضه می باشد که در بسیاری از مدل های پیش بینی سیلاب به کار می رود. در این تحقیق با استفاده از اطلاعات ژئومورفولوژیکی حوضه از جمله مشخصات دامنه ها و نهرها، زمان پیمایش کلیه دامنه ها و نهرها با درجه بندی های مختلف محاسبه شده و یک تکنیک جدید برای محاسبه زمان تمرکز ارائه شده است. روش مزبور به این صورت است که کلیه مسیرهای حرکت آب در حوضه تا خروجی حوضه بر اساس اطلاعات ژئومورفولوژیکی مشخص گردیده و زمان پیمایش کلیه دامنه ها و نهرها در هر مسیر براساس روش موج سینماتیکی محاسبه می گردد. با توجه به اینکه احتمال حرکت آب در هر مسیر متفاوت می باشد لذا زمان تمرکز کل حوضه یک متوسط وزنی از زمان پیمایش کل مسیرها در نظر گرفته می شود. مقدار احتمال حرکت آب در هر مسیر به مشخصات ژئومورفولوژیکی بستگی دارد. زمان تمرکز بدست آمده از روش متوسط وزنی با زمان تمرکز دورترین نقطه فیزیکی (از لحاظ مسافت) و زمان تمرکز دورترین نقطه هیدرولوژیکی (از لحاظ زمان پیمایش) مقایسه گردیده است. در محاسبه زمان پیمایش دامنه ها و نهرها مقدار شدت متوسط بارندگی در طول بارندگی نیز در نظر گرفته شده است. مقادیر زمان تمرکز مدل پیشنهادی با فرمول های دیگر دانشمندان از جمله کریپچ، ایزارد-گوپتا، روش SCS، روش بهینه سازی زمان تمرکز مدل HEC-HMS و زمان تمرکز محاسبه شده از روی شکل هیدروگراف مشاهداتی و هایتوگراف بارندگی مقایسه گردیده و میزان خطای روش های مزبور مشخص گردیده است.

کلید واژه: زمان تمرکز- ژئومورفولوژیکی - حوضه آبخیز

^۱ - عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد استهبان Tooraj19@yahoo.com

^۲ - عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

^۳ - عضو هیئت علمی دانشگاه یزد، دانشکده منابع طبیعی



مقدمه

واحد های متعددی برای مشخصه های زمانی پاسخ حوضه وجود دارند. متداول ترین پارامترهای زمانی که در هیدرولوژی مورد استفاده قرار می گیرد شامل زمان تمرکز (time of concentration)، زمان تاخیر (Lag time)، زمان تعادل (time of equilibrium)، زمان اوج هیدروگراف (time of peak) و زمان پیمایش (travel time)، زمان پایه (time base) زمان فروکش (resident time) و زمان شروع رواناب سطحی (time of ponding) می باشند. مشخصه های زمانی قسمت مهمی از مدل سازی و طراحی هیدرولوژیکی را تشکیل می دهند. برای مثال وقتی در طراحی سیستم های فاضلاب شهری از فرمول منطقی استفاده می شود، برای محاسبه شدت بارندگی بحرانی به برآورد زمان تمرکز حوضه نیاز داریم، برای محاسبه هیدروگراف واحد اشنایدر به زمان تاخیر حوضه و در روش روندیابی سیل موج سینماتیکی به زمان تعادل حوضه که ارتباط نزدیکی با زمان تمرکز حوضه دارد نیاز داریم. برای استفاده از بسیاری از مدل های کامپیوتری مانند TR۲۰ و-hec hms نیازمند زمان تاخیر و تمرکز می باشیم. برای ساختن هیدروگراف با استفاده از روش کلارک (۱۹۴۵) نیز به زمان تمرکز و برای طراحی آبیاری سطحی به برآوردی از فرصت نفوذ است. به طور کلی در تمام آنالیزهای هیدرولوژیکی حداقل به یکی از پارامترهای زمان به عنوان ورودی نیاز است و در اکثر مواقع از یکی از دو پارامتر زمان تمرکز و زمان تاخیر استفاده می شود.

دقت برآورد سیل طرح مستقیماً به دقت برآورد مشخصه های زمانی پاسخ حوضه بستگی دارد. عوامل موثر بر روی مشخصه های زمانی را می توان به گروه های زیر تقسیم کرد:

۱- عوامل فیزیوگرافی شامل مساحت، شکل و هندسه، شیب، مشخصه های توپوگرافی سطح، پوشش گیاهی و نوع استفاده از زمین
۲- مشخصات بارندگی شامل شدت در زمان و مکان، مدت بارندگی و جهت رگبار ۳ عوامل دیگر مانند شرایط رطوبتی خاک قبل از بارش، مشخصات نفوذ، سرعت باد و شرایط اقلیمی.

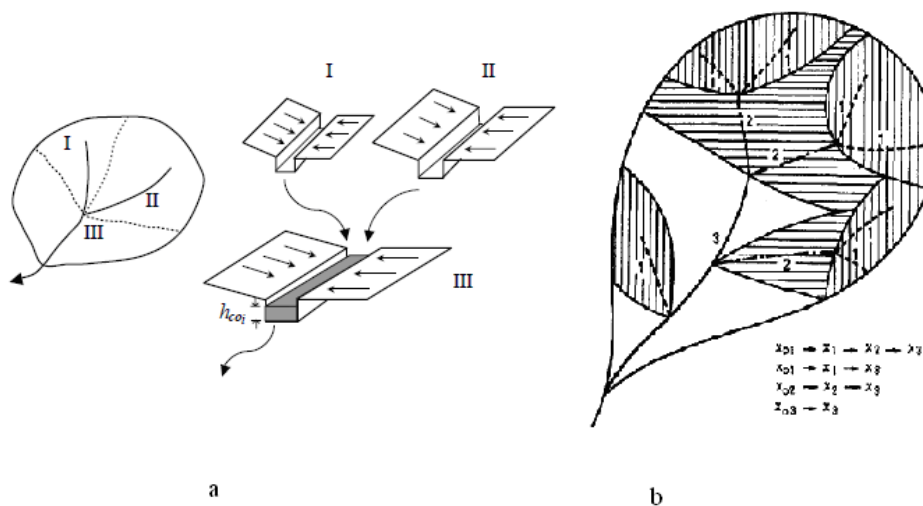
(Meynink (۱۹۷۸ با انجام آزمایش هایی در حوضه ۵ کیلومترمربعی در استرالیا نشان داد اگر زمان تمرکز برآورد شده حوضه نیم برابر یا دو برابر تغییر داده شود یا محاسبه شود، این تغییر موجب ایجاد اختلافی به میزان ۱.۶۴ یا ۰.۴۸ برابر در دبی اوج می گردد. ارائه معادلاتی برای در نظر گرفتن شکل پلان حوضه به هیدرولوژیست ها بسیار ضروری می باشد. مشخصه های



زمانی یک حوضه عموماً ثابت نیستند و صرفاً ثابت فرض می شوند. زمان تمرکز حوضه نیز تابعی از زمان می باشد و با تغییرات شدت بارندگی محاسبه آن پیچیده تر می شود ولی به طور کلی مدل هایی که شدت متوسط بارندگی را در نظر می گیرند بهتر به نظر می آیند.

۲- مشخصات ژئومورفولوژیکی حوضه

از جمله مشخصات ژئومورفولوژیکی یک حوضه می توان به مشخصات دامنه ها (Hillslopes) و نهرهای (Streams) یک حوضه اشاره نمود. امروزه با پیشرفت علم GIS می توان یک حوضه را به زیر حوضه های کوچکتر تقسیم نموده و بعضی از اطلاعات دامنه ها و نهرها مانند طول دامنه، طول نهر، شیب دامنه و نهر و مساحت دامنه ها برای درجه بندی های (Orders) مختلف را محاسبه نمود. شکل (۱-a) یک حوضه آبخیز با درجه نهایی $\Omega = 3$ را نشان می دهد.



شکل (۱)- حوضه آبخیز درجه ۳ و مسیرهای مختلف حرکت آب ونحوه تشکیل نهرها

(x_{oi} دامنه با درجه i و x_j نهر با درجه j)

با درجه بندی حوضه به روش استراهلر مسیرهای مختلف حرکت آب از دامنه ها به سمت نهرها و سپس خروجی حوضه مشخص می گردد (شکل ۱-a). مطابق شکل ۱ برای یک حوضه آبخیز درجه $\Omega = 3$ ، چهار ($2^{\Omega-1} = 4$) مسیر حرکت آب



وجود دارد. برای حوضه با درجه ماکزیمم Ω برای هر مسیر (W_s) به صورت زیر، زمان تمرکز مسیر برابر مجموع زمان پیمایش کل دامنه و نهرهای روی مسیر است که به صورت زیر محاسبه می شود:

$$x_{0i} \rightarrow x_i \rightarrow x_j \rightarrow \dots \rightarrow x_{\Omega}$$
$$T_{W_s} = T_{x_{0i}} + T_{x_i} + T_{x_j} + \dots + T_{x_{\Omega}} \quad (1)$$

T_{W_s} : زمان تمرکز مسیر W_s ، T_{x_i} : زمان پیمایش کانال i ام، $T_{x_{0i}}$: زمان پیمایش دامنه i ام

احتمال اینکه یک قطره آب در مسیر W_s قرار گیرد از رابطه زیر محاسبه می گردد:

$$P(W_s) = P_{0A_i} \cdot P_{x_{0i}x_i} \cdot P_{x_ix_j} \cdot \dots \cdot P_{x_kx_{\Omega}} \quad (2)$$

که در آن:

$P(W_s)$: احتمال جریان در مسیر W_s ، P_{0A_i} : نسبت سطح i ام به سطح کل حوضه، $P_{x_{0i}x_i}$: احتمال انتقال جریان از دامنه

i ام به کانال i ام، $P_{x_ix_j}$: احتمال انتقال جریان از کانال i ام به کانال j ام.

مقدار احتمال $P_{x_ix_j}$ از رابطه زیر محاسبه می گردد:

$$P_{x_ix_j} = \frac{N_{ij}}{N_i} \quad (3)$$

که در آن N_{ij} تعداد نهرهای با درجه i که به نهر با درجه j وارد میگردد و N_i تعداد کل نهر با درجه i . مقادیر احتمالات بالا بر اساس معادله ۳ و اطلاعات ژئومورفولوژیکی نهرها که از GIS محاسبه می گردد تعیین می گردد.

۳- محاسبه زمان پیمایش دامنه ها

مطابق شکل (۲-b) در محل برخورد دو دامنه یک نهر ایجاد می شود. اگر یک دامنه را به صورت صفحه ای صاف و موازی

در نظر بگیریم، زمان پیمایش دامنه تابعی از شدت بارندگی موثر، طول دامنه، شیب و ضریب مانینگ می باشد که از معادله

زیر محاسبه می گردد:



(Henderson and Wooding, 1964)

$$T_{x_{oi}} = \left(\frac{n_0 \bar{L}_{oi}}{S_{oi}^{-1/2} i_e^{m-1}} \right)^{1/m} \quad (4)$$

که در آن \bar{L}_{oi} : طول متوسط صفحه \bar{A}_i ، \bar{S}_{oi} : شیب متوسط صفحه \bar{A}_i ، n_0 ضریب مانینگ و i_e شدت بارندگی اضافی.

۴- محاسبه زمان پیمایش در نهرها

Lee and Yen ۱۹۹۷ معادله زیر را برای محاسبه زمان پیمایش یک نهر با درجه \bar{A}_i را ارائه نمود. مقدار زمان پیمایش در یک نهر به میزان دبی ورودی در بالادست نهر و به میزان دبی جریان ورودی از دو صفحه جانبی بستگی دارد.

$$T_{xi} = \frac{B_i}{2q_L \bar{L}_{oi}} \left[\left(h_{coi}^{1.667} + \frac{2q_L n_c \bar{L}_{oi} \bar{L}_{ci}}{B_i \bar{S}_{ci}^{1/2}} \right)^{0.60} - h_{coi} \right] \quad (5)$$

که در آن h_{coi} عمق آب در نهر با درجه \bar{A}_i از معادله زیر محاسبه می گردد:

$$h_{coi} = \left[\frac{q_L n_c (N_i \bar{A}_i - AP_{oi})}{N_i B_i \bar{S}_{ci}^{1/2}} \right]^{0.60} \quad (6)$$

که در آن B_i : عرض نهر با درجه \bar{A}_i ، n_c ضریب مانینگ نهر، \bar{A}_i : مساحت متوسط در درجه \bar{A}_i ، \bar{S}_{ci} : شیب کانال \bar{A}_i ، q_L همان شدت بارندگی اضافی می باشد.

۵- زمان تمرکز کل حوضه

زمان تمرکز حوضه زمانی است که دورترین قطره حوضه از لحاظ هیدرولوژیکی طول می کشد تا به خروجی حوضه برسد. وقتی از کلمه دورترین استفاده می شود بسیاری از هیدرولوژیست ها، فاصله مکانی را مبنا قرار می دهند و در ذهن تداعی می شود که طولانی ترین مسیر حوضه باید دارای زمان پیمایش بزرگتری باشد. در تعریف زمان تمرکز، دورترین نقطه از لحاظ هیدرولوژیکی مد نظر است که مفهوم هیدرولوژیکی زمان پیمایش کل یک مسیر است که بیشترین مقدار باشد. با توجه به اینکه یک حوضه دارای مسیرهای مختلف می باشد و هر مسیر نیز دارای یک احتمال می باشد لذا در این تحقیق زمان تمرکز یک حوضه را مطابق سه تعریف زیر مورد مقایسه قرار می دهیم:



الف) زمان تمرکز حوضه برابر زمان تمرکز مسیری که زمان تمرکز بیشتری داشته باشد (از لحاظ هیدرولوژیکی).

ب) زمان تمرکز کل حوضه برابر متوسط وزنی زمان تمرکز کلیه مسیرهای حوضه باشد. این زمان تمرکز از معادله زیر

محاسبه می شود:

$$\bar{t}_c = t_{c_{WS1}} P_{WS1} + t_{c_{WS2}} P_{WS2} + \dots + t_{c_{WSN}} P_N \quad (7)$$

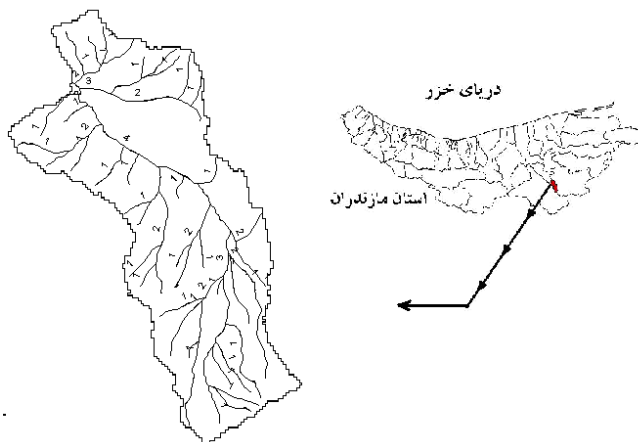
N تعداد کل مسیرهای یک حوضه مطابق شکل (۱) می باشد و $t_{c_{WSi}}$ زمان تمرکز مسیر i ام که از معادله ۱ و P_{WSi} احتمال مسیر i ام که از معادله ۲ محاسبه می گردد.

ج) زمان تمرکز حوضه برابر زمان تمرکز طولانی ترین مسیر حوضه باشد (از لحاظ فیزیکی).

۶- طرح مطالعاتی (حوضه آبخیز کسلیان)

حوزه آبخیز کسلیان با مختصات طولهای جغرافیایی 53° و 18° تا 53° و 30° شرقی و عرض جغرافیایی 35° و 58° تا 36° و 7° شمالی داخل رشته کوههای البرز مرکزی در شمال ایران قرار دارد (جنوب دریای خزر). این حوزه از شمال به کوههای ستیک و چهار تب با 1100 و 1790 متر ارتفاع، از جنوب به کوههای میروزاد و گلراد با 2700 و 3349 متر ارتفاع، از غرب به کوه گتوجا با 2043 متر ارتفاع از شرق به کوه چهار تب با 1613 متر ارتفاع محدود می گردد.

شکل (۳) حوضه آبریز مزبور و شبکه آبراهه ها را براساس روش استراهلر را نشان می دهد.





شکل (۳) - حوضه آبخیز کسلیان و درجه بندی حوضه

مشخصات ژئومورفولوژیکی حوضه که توسط الحاقیه های هیدرولوژیکی نرم افزار ARCVIEW محاسبه شده است به صورت جدول ۱ می باشد.

جدول (۱): مشخصات ژئومورفولوژیکی حوضه آبخیز کسلیان

درجه نهر	تعداد در هر درجه	کل مساحت زهکشی شده در هر درجه	کل طول نهرها در هر درجه	متوسط مساحت	متوسط طول	متوسط شیب نهر	متوسط شیب دامنه	احتمال دامنه ها
i	N_i	$A_i \text{ km}^2$	$L_i(\text{km})$	$\bar{A}_i \text{ km}^2$	$\bar{L}_i (\text{km})$	S_{ci}	S_{oi}	PO_{ai}
۱	۴۲	۳۸.۴۲۶	۶۷.۲۶	۰.۹۱۵	۱.۶۰	۰.۲۴۰۷	۰.۳۴۵	۰.۵۶۹۷
۲	۱۱	۵۲.۹۴۱	۱۹.۷	۴.۸۱۳	۱.۷۹	۰.۰۶۹۶	۰.۲۹۷	۰.۲۱۵۲
۳	۳	۶۲.۲۴۵	۷.۴۰	۲۰.۷۵	۲.۴۵	۰.۰۴۷۰	۰.۲۶۳	۰.۱۳۸
۴	۱	۶۷.۸	۴.۶۵	۶۷.۸	۴.۶۵	۰.۰۰۸۲	۰.۲۶۱	۰.۰۷۷۱

$$P_{x1x2}=0.881; P_{x1x3}=0.0476; P_{x1x4}=0.0714; P_{x2x3}=0.818; P_{x2x4}=0.182.$$

جدول (۲) مسیرهای حرکت آب بر اساس شبکه آبراهه های نشان داده شده در شکل (۳) حوضه آبخیز کسلیان را نشان می دهد. با توجه به اینکه این حوضه از درجه ماکزیمم $\Omega = 4$ می باشد لذا $8 (2^{4-1})$ مسیر جریان مشخص گردیده است.

احتمال حرکت آب در هر مسیر و زمان تمرکز مسیر و طول فیزیکی مسیر نیز محاسبه شده است.

مقدار زمان تمرکز برای چهار رویداد بارندگی-سیلاب ۱۱/۶/۶۹، ۳۰/۷/۷۳، ۱۴/۳/۷۲ و ۳/۳/۷۰ که هایتوگراف بارندگی و

هیدروگراف سیلاب حوضه مشخص بود محاسبه گردید. جدول (۲) زمان تمرکز مسیرهای مختلف حوضه را براساس شدت

بارندگی اضافی بارندگی ۱۱/۶/۶۹ (mm/hr^{۳.۶۴}) را نشان می دهد.



همایش ملی مدیریت بحران آب
The National Conference on Water Crisis Management
دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت، اسفندماه ۱۳۸۸



جدول (۲) - مشخصات مسیرهای فیزیوگرافی حوضه آبخیز کسلیان

(بر اساس بارندگی و سیلاب تاریخ ۱۱/۶/۶۹)

طول کل مسیر (کیلومتر)	زمان تمرکز مسیر(ساعت)	احتمال هر مسیر	نهر ۴ X	نهر ۳ X	نهر ۲ X	نهر ۱ X	دامنه X01	مسیر ۱
۱۰.۸	۳.۴	۰.۳	۱	۰.۶۶۷	۰.۸۶۷	۱	۰.۵۶۹۷	مسیر ۱
۶.۱	۳.۱	۰.۲	۱	۰.۳۳۳	۰.۸۶۷	۱	۰.۵۶۹۷	مسیر ۲
۹.۰	۳.۱	۰.۰	۱	۱	۰.۰۳۳	۱	۰.۵۶۹۷	مسیر ۳
۶.۵	۲.۹	۰.۱	۱	۱	۰.۱	۱	۰.۵۶۹۷	مسیر ۴
۹.۳	۳.۵	۰.۱	۱	۱	۰.۶۶۷	۱	۰.۲۱۵	مسیر ۵
۶.۸	۳.۳	۰.۱	۱	۱	۰.۳۳۳	۱	۰.۲۱۵	مسیر ۶
۷.۷	۴.۴	۰.۱	۱	۱	۱	۱	۰.۰۹۲	مسیر ۷
۵.۲	۴.۰	۰.۱	۱	۱	۱	۱	۰.۰۵۸	مسیر ۸

بر اساس جدول (۲) طولانی ترین مسیر حرکت آب مسیر ۱ (دامنه ۱، نهر ۱، نهر ۲، نهر ۳ و نهر ۴) با طول ۱۰.۸ کیلومتر می باشد که

زمان تمرکز این مسیر ۳.۱ ساعت می باشد. ماکزیمم زمان تمرکز مربوط به مسیر ۷ (دامنه ۳، نهر ۳ و نهر ۴) با طول ۷.۷ کیلومتر و



زمان تمرکز ۴.۴ ساعت می باشد. وقتی به شکل (۲) نگاه می کنیم به نظر می رسد که مسیر ۱ باید زمان تمرکز بیشتری داشته باشد در صورتی که مسیر ۷ دارای زمان تمرکز بزرگتری است و طبق تعریف زمان تمرکز، زمان تمرکز مسیر ۷ به عنوان زمان تمرکز کل حوضه در نظر گرفته می شود. اگر زمان تمرکز کل حوضه را متوسط وزنی زمان تمرکز کلیه مسیرها در نظر بگیریم براساس معادله (۷) زمان تمرکز متوسط حوضه ۳.۲ ساعت می باشد.

۷- صحت یابی

برای صحت یابی نتایج بدست آمده از روش ژئومورفولوژیکی نتایج بدست آمده را برای ۴ رویداد بارندگی در سطح حوضه کسلیان را با معادلات ارائه شده توسط محققین دیگر از جمله Izzard-Gupta (۱۹۸۹)، سازمان scs، (۱۹۷۰) Eegleson، Kirpich، و همچنین زمان تمرکز بدست آمده از روی شکل های توگراف و هیدروگراف سیلاب مستقیم (که این روش از دقت بالاتری برخوردار است) و همچنین زمان تمرکز بهینه سازی شده توسط نرم افزار Hec-hms براساس روش scs مقایسه می گردد. معادلات ارائه شده توسط دانشمندان مزبور مطابق جدول ۳ می باشد.

جدول (۳)- معادلات ارائه شده جهت محاسبه زمان تمرکز حوضه های آبریز

Eegleson (۱۹۷۰)	$t_c = \frac{0.933}{i^{0.4}} \left(\frac{nL}{\sqrt{S}} \right)^{0.6}$
-----------------	--



SCS	$t_c = 0.00526 \frac{L^{0.8}}{S^{0.5}} \left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0.7}$
Kirpich	$t_c = 0.0078 \left(\frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0.77}$
Izzard-Gupta(۱۹۸۹)	$t_c = \frac{(0.024i^{1/3} + 878k/i^{2/3})L^{2/3}}{C^{2/3}H^{1/3}}$

مقدار زمان تمرکز را می توان از روی شکل های توگراف بارندگی و هیدروگراف سیلاب مشاهداتی محاسبه نمود. زمان بین مرکز ثقل بارندگی موثر و نقطه‌ی عطف بازوی پایین رونده‌ی هیدروگراف رواناب مستقیم، زمان تمرکز نام دارد. گاهی نیز به فاصله‌ی زمانی بین زمان پایان بارندگی موثر و نقطه‌ی عطف بازوی پایین رونده‌ی هیدروگراف رواناب مستقیم، زمان تمرکز اطلاق می شود .

یکی دیگر از روش های تعیین زمان تمرکز استفاده از تکنیک بهینه سازی مدل HEC-HMS می باشد. روش مزبور به این صورت است که با تغییر مقدار زمان تاخیر (Lag time) در روش SCS در برنامه HEC-HMS به پیش بینی سیلاب پرداخته و نتیجه را با هیدروگراف مشاهداتی مقایسه می نمائیم. زمان تاخیر بهینه زمانی است که هیدروگراف مشاهداتی با پیش بینی شده بسیار نزدیک گردد. مقدار زمان تمرکز در روش SCS ۱.۶۷ برابر زمان تاخیر می باشد. نتایج بدست آمده برای زمان تمرکز کل حوضه کسپلیان بر اساس روش های مختلف برای ۴ بارندگی معرف مطابق جدول زیر می باشد:

جدول (۴)- زمان تمرکز حوضه کسپلیان به روش های مختلف بر حسب ساعت

تاریخ سیلاب	شدت بارندگی اضافی mm/hr	روش SCS	Kirpich	Eegleson(۱۹۷۰)	Izzard- Gupta	روش بهینه سازی HEC-HMS	زمان تمرکز از روی شکل هیدروگراف
----------------	----------------------------	---------	---------	----------------	------------------	---------------------------	------------------------------------



وزنی	فیزیکی	هیدرولوژیکی					
۲.۹۹	۲.۶۳	۳.۴۵	۷.۳۶۶	۵.۴۷	۱۴۱.۴۷	۱۳.۶۳	۵.۰۳

بر اساس نتایج بدست آمده روش دورترین نقطه فیزیکی و به دنبال آن روش وزنی کمترین خطای زمان تمرکز را دارا می باشند. به طور کلی روش های scs و $Kirpich$ تابعی از شدت بارندگی نبوده و مقادیر ثابتی را نشان می دهند. روش $Eagleson$ با توجه به اینکه شدت بارندگی را در نظر می گیرد ولی مقادیر بسیار بزرگی را برای زمان تمرکز محاسبه می نماید.

روش میانگین وزنی ارائه شده در این تحقیق هر چند نیازمند اطلاعات ژئومورفولوژیکی بسیاری می باشد ولی زمان تمرکز حوضه را به صورت بسیار دقیق تری محاسبه می نماید و در کارهای حرفه ای در هیدرولوژی پیشنهاد می گردد.

۸- منابع

- ۱-Eagleson, P. S. (۱۹۷۰) Dynamic Hydrology. McGraw-Hill, New York, USA.
- ۲-Henderson, F.M. and Wooding, R.A., ۱۹۶۴. Overland flow and groundwater flow from a steady rain of finite duration, Journal of Geophysical research, ۶۹(۸):۱۵۳۱-۱۵۴۰.
- ۳-Kirpich, T.P., ۱۹۴۰. Time of concentration of small agriculture watersheds. Civil engineering(New York), vol. ۱۰, No.۶, p.۳۶۲.
- ۴-Lee KT, Chang C-H. ۲۰۰۵. Incorporating subsurface-flow mechanism into geomorphology-based IUH modeling. Journal of Hydrology ۳۱۱: ۹۱-۱۰۵.
- ۵-Lee, K. T., and Yen, B. C. _۱۹۹۷_. "Geomorphology and kinematic-wavebased hydrograph derivation." J. Hydraul. Eng., ۱۲۳_۱_, ۷۳-۸۰.
- ۶-Meynink, W.J.C., ۱۹۷۸. Catchment time response .project ۴۴/۱۹۷۷, ۳۲ p., Darling Downs institute of advance education, Australia.
- ۷-Sangdeh rainfall station's statistics, Mazandaran province meterological station., ۲۰۰۵.
Hydrologic Modelling System HEC-HMS, Applications Guide, December ۲۰۰۲.
- ۸-U.S. Department of Agriculture, Soil Conservation Service. ۱۹۷۵. Urban hydrology for small watersheds. Technical Release ۵۵. Chester, PA: U.S. Department of Agriculture, Soil Conservation Service. ۹۱ p.



همایش ملی مدیریت بحران آب
The National Conference on Water Crisis Management
دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت، اسفندماه ۱۳۸۸



۹-ValikBen hydrometric station's statistics. Mazandaram province regional water corporation, ۲۰۰۷.