

## ارزیابی واکنش هیدرولوژیکی زیرحوضه آبریز اسلامشهر با استفاده از موج سینماتیک در بستر GIS

محمود ذاکری نیری

دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اسلامشهر، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، اسلامشهر، ایران. Zakeri@iaau.ac.ir

### چکیده

در تصمیم‌گیری‌های مدیریت شهری، بررسی مسائل هیدرولوژیکی از اهمیت خاصی برخوردار است. هیدروگراف رواناب خروجی آبریز در حوضه‌های شهری، یکی از ابزار مورد استفاده در این بررسی‌ها است. در این تحقیق با استفاده از محیط نرم‌افزاری GIS، رفتار حوضه‌های هندسی و واقعی مورد بررسی قرار گرفته و با بهره‌گیری از محیط MATLAB معادلات موج سینماتیک برای تعیین زمان تعادل حوضه کدنویسی شده و با استفاده از مدل بارش- رواناب توزیعی حاصل، رفتار حوضه مورد بررسی قرار گرفته است. در بررسی حوضه هندسی، نتایج حاصل مدلسازی با یک سری از نتایج آزمایشگاهی مورد مقایسه قرار گرفته و در نهایت، مشخص گردید نتایج مدل ارائه شده با دقت بسیار بالایی با نتایج آزمایشگاهی مطابقت دارد. در مرحله بعد، حوضه واقعی (زیرحوضه آبریز اسلامشهر) مورد ارزیابی قرار گرفته و با تعیین خطوط هم‌پیمایش در این حوضه، منحنی TA (زمان- مساحت) برای این حوضه متناظر با شدت بارش‌های مختلف به دست آمد.

واژگان کلیدی: مدل بارش- رواناب، موج سینماتیک، حوضه آبریز اسلامشهر، GIS

### مقدمه

نشان داده شده است که اگر زمان تمرکز برآورد شده حوضه نصف گردد و یا دو برابر تغییر داده شود، موجب ایجاد اختلافی برابر  $0/48$  یا  $1/64$  برابر در دبی اوج سیلاب می‌گردد (Meynink, 1987). در مطالعه دیگر راه‌حلی تحلیلی برای یک مدل هیدرولیکی جریان موج سینماتیک بر روی حوضه با صفحه V شکل تحت بارش یکنواخت، در مدت محدود و برای یک جریان خروجی خطی جانبی که با دبی سطحی حوضه یک پارامتر بی‌بعد زمان ( $\lambda$ ) به‌عنوان یک اندازه از نرخ زمان پاسخگو (زمان تعادل جریان) برای زمان پاسخگوی حوضه (زمان تعادل صفحه) معرفی شده است. در این تحقیق دریافت شده است که مقادیر بزرگ  $\lambda$  سبب تاخیر در زمان رسیدن پیک سیلاب و کاهش دامنه آن می‌شود و برای مقادیر کوچک

پیش‌تر رابطه بین زمان تعادل، ویژگی‌های حوضه و ویژگی‌های بارش به‌صورت تحلیلی برای هندسه‌های ساده استخراج شده است. برای مثال، با استفاده از روش خطوط مشخصه، زمان تعادل حوضه به دست آمده است (Lighthill and Witham, 1955). همچنین با استفاده از همان روش، شکل انتگرالی برای زمان تعادل در صفحات همگرا و واگرا حاصل شده است (Ahiralioglu, 1964). دقت برآورد سیلاب مستقیماً به دقت برآوردهای مشخصه‌های زمانی پاسخ حوضه بستگی دارد. با انجام آزمایش‌هایی در یک حوضه با مساحت ۵ کیلومتر مربع،

در دیگر بررسی، مدلی با الگوریتم بر پایه GIS معرفی شده که بر پایه داده‌های رقمی ارتفاعی برای تعیین جهت جریان و نقشه جریان تجمعی به کار می‌رود. در مدل پیشنهادی تحقیق مذکور، با استفاده از نقشه‌های استخراج‌شده و سایر داده‌های فیزیکی، نقشه‌های زمان پیمایش سینماتیکی، نمودار زمان-مساحت و هیدروگراف رواناب جزئی و کلی، در قالب یک مدل توزیعی شکل می‌گیرد (Saghafian, 2000).

#### مواد و روش‌ها

روش مورد استفاده این تحقیق در تعیین زمان تعادل حوضه بر پایه معادلات هیدرولیکی و نه صرفاً معادلات هیدرولوژیکی قرار گرفته است. به منظور تعیین زمان تعادل، حوضه با دو فاز کانال (آبراهه) و فاز دامنه فرض شده است. از آنجا که هدف کلی این تحقیق، استفاده از روندیابی توزیعی در محاسبه زمان تعادل و رواناب است، با در نظر گرفتن حوضه به صورت شبکه سلولی، نقش هر سلول در تعیین زمان تعادل در نظر گرفته شده است.

#### بحث و نتایج

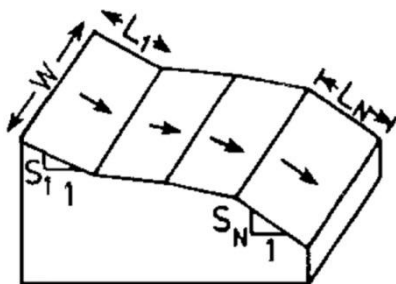
با فرض حوضه با دو فاز کانال و دامنه، زمان پیمایش در هر کدام از فازها برای تک تک سلول‌ها محاسبه شده و با مجموع این دو زمان حاصل، زمان پیمایش تا خروجی حوضه برای هر نقطه از حوضه تعیین می‌گردد. در فاز کانال با بهره‌گیری از معادله‌ی مانینگ، سرعت در کانال محاسبه شده و طول مسیر عبوری بر سرعت به دست آمده تقسیم شده و مقدار آن که برابر زمان پیمایش است، حاصل می‌شود. سرعت حاصل برای هر سلول کانال مطابق معادله (۱-۲) حاصل می‌گردد (Melesse and Graham, 2003).

$$V_c = \left[ \frac{1}{n} \left( \frac{Q}{B} \right)^{\frac{2}{3}} \right]^{\frac{3}{5}} \quad (1-2)$$

$\lambda$ ، جریان متمایل به خروجی حوضه است (Wooding, 1965b, 1966).

در مطالعات مختلف مجزا بودن دو جریان (جریان کانال و جریان دامنه‌ای) ادعا شده و بیان شده است که باید به عنوان اجزای پی‌درپی مورد بررسی قرار گیرد (Yen, 1982). در یک بررسی با فرض مجزا بودن فازهای جریان، به دو صورت جریان کانال و جریان دامنه‌ای، تکنیکی برای محاسبه زمان تعادل حوضه با فرض توزیعی بودن مدل، پیشنهاد شده است. در این تحقیق از دورترین مسیر جریان تا خروجی حوضه با مفهوم هیدرولیکی به جای دورترین مسیر جریان با مفهوم هندسی استفاده شده است (Saghafian and Julien, 1995). روش پیشنهادی برای محاسبه زمان تعادل برای حوضه پرشیب نیمه خشک Macks Creek (Cline 1988) با مساحت ۳۲/۲ کیلومتر مربع در جنوب غرب آیداهو در ایالات متحده به کار برده شد. دریافت شده است که اولین بار که این مسیر مشخص گردد، برای سایر بارش‌های یکنواخت توزیعی نیز باقی خواهد ماند و زمان تعادل به طور عکس با شدت بارش (به توان ۰/۴) تغییر خواهد کرد. همچنین، برای بارش غیریکنواخت متمرکز شده در بالادست حوضه، دورترین سلول هیدرولیکی به یک سلول متفاوت، به دوری تقریباً نصف فاصله‌ی دورترین نقطه هندسی جابجا می‌شود. در این بارش توزیع یافته ویژه، زمان تعادل ۱۵ درصد کوتاه‌تر از زمان تعادل در حالت فرض میانگین شدت بارش فضایی، معین شده است. مقادیر پارامتر  $\lambda$  (همان‌طور که پیشتر ارائه شده بود (Wooding, 1965a)) ۰/۲۵ و ۰/۲ تهیه گردیده که مطابق انتظار برای بارش یکنواخت و غیریکنواخت امتحان شده است. نتیجه دیگر، چیرگی نسبی مقدار کم  $\lambda$  جریان دامنه‌ای در مقایسه با جریان کانال در حوضه Macks Creek است.

در مطالعه دیگر، رابطه‌ای برای تعیین زمان تعادل پیشنهاد شده که می‌تواند برای تخمین زمان تمرکز (زمان تعادل)، برای یک صفحه که در معرض یک بارش مازاد یکنواخت و با جریان ثابت بالادست قرار دارد، مورد استفاده قرار گیرد. از نتایج این مطالعه دریافت می‌شود که رابطه‌ی به دست آمده، زمانی معتبر است که مدت بارش مازاد، بیش از زمان تمرکز باشد (Wong, 1995).



شکل ۱- حوضه آبخیز

تهیه فایل های مورد نظر

مدل ارائه شده در این تحقیق نیاز به داده های فیزیولوژیکی مختلفی دارد که آماده سازی هر یک از این فایل ها می تواند توسط نرم افزارهای مختلف سنجش از دور صورت گیرد. به طور کلی اولین فایل مورد نیاز مدل، فایل مدل رقومی ارتفاعی (DEM) است. با استفاده از این فایل جهت شیب هر سلول مشخص می گردد. پس متناظر با این جهات، آبراهه ها مشخص می گردند و نهایتاً می توان شبکه آبراهه ای اصلی را تعیین نمود و با استفاده از فایل شبکه آبراهه، فاز کانال و فاز دامنه را از هم مجزا نمود. در این تحقیق برای تعریف حوضه های هندسی ساده، DEM آن ها متناظر با ویژگی های حوضه تعریف شده است. شکل سه بعدی حوضه هندسی مورد بررسی در این تحقیق، در محیط MATLAB مطابق شکل (۲) تهیه شده است.

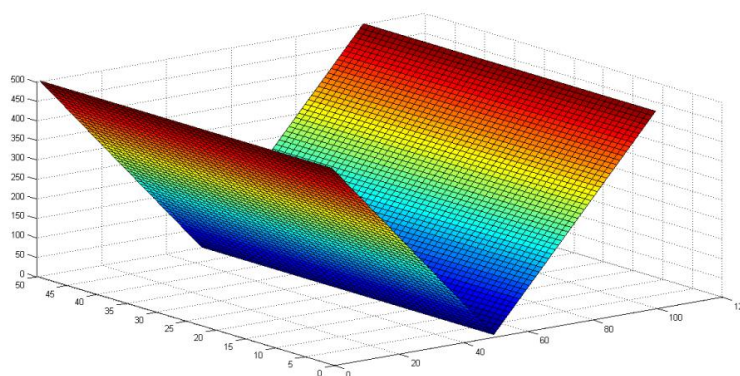
در فاز دامنه نیز زمان تعادل از رابطه ی (۲-۲) استفاده گردیده و با فرض آبخیزی بودن مسیر در فاز دامنه، معادله مذکور به شکل رابطه ی (۳-۲) و (۴-۲) تبدیل می گردد.

$$t_e = \frac{n^{0.6} L^{0.6}}{i^{0.4} S^{0.3}} \quad (2-2)$$

$$t_e = \frac{\sum_{j=1}^N \left( \frac{n_j i}{\sqrt{S_j}} \right)^{0.6} (Z_j^{1.6} - Z_{j-1}^{1.6})}{\sum_{j=1}^N i (Z_j - Z_{j-1})} \quad (3-2)$$

$$Z_j = \sum_{m=1}^j L_m \quad (4-2)$$

که در عبارات فوق،  $n$  ضریب مانینگ،  $L$  طول مسیر تا خروجی بر حسب متر،  $i$  شدت بارش بر حسب متر بر ثانیه،  $S$  شیب کف،  $Q$  دبی زهکشی شده به سلول کانال از بالادست بر حسب متر مکعب بر ثانیه،  $B$  عرض کانال بر حسب متر،  $V_c$  سرعت جریان در کانال بر حسب متر بر ثانیه و  $t_e$  زمان پیمایش تا خروجی حوضه بر حسب ثانیه است.  $Z_j$  حاصل جمع تعداد سلول هایی است که تشکیل مسیر آبخیزی را می دهند. شکل (۱)، مفهوم این نوع حوضه را نشان می دهد.



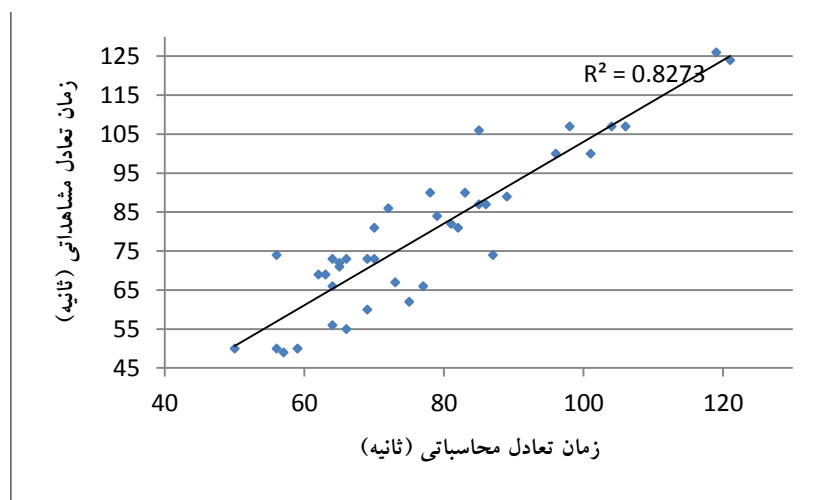
شکل ۲- حوضه کتاب باز شبکه بندی شده (محیط MATLAB)

۱۲/۲ متر و شیب یک طرفه‌ی صفحات به سمت کانال بوده است. کانال مورد نظر نیز دارای طول ۱۲/۲ (برابر عرض صفحات) بوده است. کل حوضه از جنس آلومینیوم بوده و در سیستم آزمایشگاهی حوضه (WES) در دانشگاه ایلینویز تحت بارش‌هایی با شدت ثابت و مقادیر مختلف مورد آزمایش قرار گرفته است. مطابق هر حالت آزمایش شده با ترکیب متفاوتی از سه متغیر ذکر شده، زمان تعادل حاصل گردیده است. مطابق این داده‌های آزمایشگاهی، مدل پیشنهادی نیز در حالات مختلف اجرا و نتایج نظیر هر حالت آزمایشگاهی از ترکیب سه متغیر، حاصل گردید. به منظور اجرای مدل، مقادیر ضرایب مانینگ در صفحات و کانال برابر فرض شد و با کالیبراسیون این مقادیر، مقدار بهینه به دست آمد و با استفاده از آن مدل اجرا گردید و مقادیر زمان تعادل در هر حالت نظیر مدل آزمایشگاهی، به دست آمد. گراف موجود در شکل (۳)، همبستگی نتایج آزمایشگاهی و مدل پیشنهادی را نشان می‌دهد. همچنین مطابق داده‌های موجود، میانگین خطای نتایج آزمایشگاهی و مدل، برابر ۹ درصد (دقت ۹۱ درصد) حاصل گردیده است که نشان‌دهنده دقت بالای مدل در تعیین زمان تعادل (زمان تمرکز) حوضه‌ی V شکل است.

پس از تهیه فایل‌های مورد نیاز شامل فایل DEM، فایل شیب (Slope)، فایل جهت جریان (Flow Direction)، فایل جریان تجمعی (Flow Accumulation)، فایل آبراهه‌ها (Stream) و فراخوانی فایل‌ها به نرم‌افزار MATLAB، شدت بارش و ضریب زبری مانینگ در حوضه‌ی مورد مطالعه برای مدل تعریف گردیده و با اجرای مدل، زمان پیمایش برای هر سلول از حوضه تعیین گردید. به عبارت دیگر زمان لازم برای رسیدن جریان از هر سلول حوضه به سلول خروجی حوضه به دست آمده است. با تعیین زمان پیمایش سلول‌ها و دسته‌بندی آن‌ها به بازه‌ی زمانی مورد نظر، نمودار زمان-مساحت حاصل گردید.

### اجرای مدل

به منظور بررسی نتایج مدل در تعیین زمان تعادل، از نتایج آزمایشگاهی موجود در تحقیق (Melching and Liang, 2012) استفاده شد. نتایج، حاصل از آزمایش‌های متفاوت در حوضه‌ی V شکل آزمایشگاهی با تغییرات در مقادیر شیب صفحات جانبی، شیب کف کانال و شدت بارش می-باشد. حوضه‌ی مورد آزمایش به صورت یک حوضه V شکل نفوذناپذیر، با دو صفحه جانبی با طول و عرض



شکل ۳- نمودار همبستگی نتایج حاصل از مدل پیشنهادی و نتایج آزمایشگاهی در حوضه‌ی V شکل

### مدلسازی حوضه آبریز اسلامشهر

در مرحله دوم تحقیق، ناحیه اسلامشهر به عنوان بخشی از حوضه رود کرج به عنوان یک حوضه واقعی مورد بررسی قرار گرفت. زیرحوضه آبریز اسلامشهر واقع در شهرستان اسلامشهر و در حوالی میانی شمال غرب فلات مرکزی قرار گرفته است (سالاری و صیادی، ۱۳۹۳).

شهرستان اسلامشهر با موقعیت جغرافیایی  $51^{\circ} 22' 30''$  و

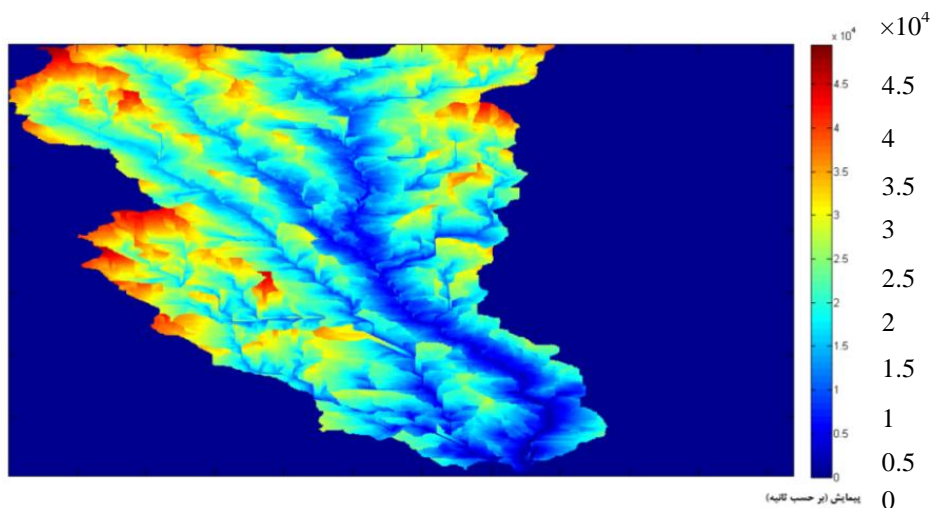
$51^{\circ} 10' 0''$ ، طول شرقی و در  $34^{\circ} 42' 30''$  و  $27^{\circ} 30''$  عرض شمالی از شمال به تهران، از شرق و جنوب به شهرستان ری، از غرب به رباط کریم و در شمال به شهرستان شهریار محدود می‌گردد. بازه مورد مطالعه در ناحیه بین تقاطع رودخانه کرج با شهر اسلامشهر تا خروجی رودخانه از این شهر بوده است. شکل‌های (۴) و (۵) به ترتیب موقعیت شهر اسلامشهر و رودخانه کرج را در استان تهران نشان می‌دهد.



مطابق مراحل انجام شده در مدلسازی حوضه هندسی، برای حوضه آبریز اسلامشهر نیز مراحل لازم با استفاده از فایل‌های تهیه‌شده از نقشه DEM منطقه و ایجاد سایر نقشه‌ها در محیط GIS و ایزوله نمودن منطقه و تعریف

حوضه آبریز، فایل‌های حاصل در نرم‌افزار MATLAB

وارد شده و با استفاده از مدل تهیه‌شده در این نرم‌افزار، نقشه خطوط هم‌پیمایش مطابق شکل (۶) تهیه گردید.

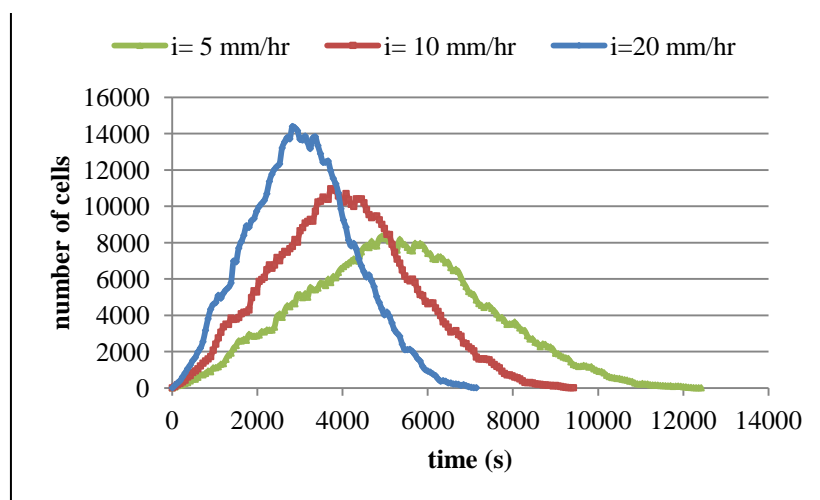


زمان پیمایش (بر حسب ثانیه)

شکل ۵- نقشه خطوط هم‌پیمایش در حوضه آبریز اسلامشهر

حوضه‌ی آبریز اسلامشهر، مطابق شکل (۷) به دست آمده است.

بر اساس شدت بارش‌های مختلف، منحنی‌های هم‌پیمایش متفاوت به دست می‌آید. منحنی زمان-مساحت برای سه مقدار شدت بارش ۵، ۱۰ و ۲۰ میلی‌متر بر ساعت در



شکل ۶- منحنی‌های زمان مساحت برای شدت بارش‌های مختلف در حوضه آبریز اسلامشهر

از نمودارهای موجود در شکل (۷) می‌توان دریافت که افزایش شدت بارش، باعث کاهش زمان پیک منحنی زمان-مساحت شده و به همین ترتیب کاهش شدت بارش، کشیدگی منحنی زمان-مساحت را در پی دارد. لازم به ذکر

است با استفاده از نقشه‌های خروجی GIS و توجه به توپوگرافی منطقه، شکل حوضه به صورت کشیده مشخص

گردید. لذا می توان نتایج مدل حاضر را به این نوع شکل نسبت داد و اشکال دیگر را مورد بررسی و نهایتاً اثر شکل را بر نمودار زمان-مساحت حاصل مشاهده نمود.

### نتیجه گیری

در این تحقیق ابتدا حوضه هندسی V شکل (کتاب باز) مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج مدل با نتایج یک مدل آزمایشگاهی با حالات مختلف از لحاظ شیب های صفحات جانبی و شیب کانال و بارش های مختلف مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج این قیاس حاکی از بالا بودن دقت مدل بود.

در مرحله بعد به بررسی حوضه آبریز واقعی (حوضه آبریز اسلامشهر) پرداخته شد. با استفاده از محیط GIS فایل های مربوط به حوضه آبریز اسلامشهر برای مدل آماده گردید. و پس از مدل سازی، نتایج مدل به صورت نقشه ی زمان پیمایش نقاط مختلف حوضه به دست آمد. با استفاده از این فایل منحنی زمان-مساحت (TA) متناظر با هر شدت بارش تعیین گردید. با استفاده از فایل نهایی می توان هیدروگراف رواناب خروجی را متناظر با بارش ثبت شده، تهیه نمود.

در این بررسی به منظور ساده سازی و عدم برخورد با خطاهای احتمالی، فرضیاتی در مراحل مختلف مدل سازی لحاظ شده است؛ که در کنار مزایای حاصل، اثراتی را نیز به دنبال دارد که قابل بررسی است. به عنوان مثال، در مدل مورداستفاده در این تحقیق فرض گردیده است که تبخیر و تعرق وجود ندارد. همچنین در محیط نرم افزار GIS در مرحله پیش از تهیه فایل جهت شیب، می بایست گودال های کوچک موجود در نقشه را پر (Fill) نمود تا پیوستگی خطوط جریان به طور کامل صورت پذیرد. حال آنکه در واقعیت این گودال ها وجود داشته و نقش خود را در ذخیره موقتی رواناب و تاخیرات در مقادیر هیدروگراف حاصل را دارا خواهند بود.

### تقدیر و تشکر

در اینجا از زحمات و همکاری های مستمر معاونت محترم پژوهش دانشگاه آزاد اسلامی واحد اسلامشهر کمال تشکر و قدردانی به عمل می آید.

### منابع

-سالاری، م. و صیادی، م.، (۱۳۹۳)، "علل ماسه دهی در چاه های آب آشامیدنی شهرستان اسلامشهر"، فصل نامه علمی پژوهشی زمین شناسی محیط زیست، سال هشتم، شماره ۲۶، صص ۶۷-۸۲.

-Chow, V.T., Maidment, D.R., Mays, L.W., (1988), "Applied Hydrology", McGrawHill.

-Liang, J. and Melching, C. S., (2012), "Comparison of Computed and Experimentally Assessed Times of Concentration for a V-Shaped Laboratory Watershed", Journal of Hydrologic Engineering, 17, p. 1389-1396.

-Lighthill, M and Whitham, G (1955), "Kinematic Wave", Proceeding of the Royal Society, Series A, v. 229, p. 281-316.

-Melesse, A. M., Graham, W. D. and Jordan, J.D., (2003), "Spatially distributed watershed mapping and modeling: GIS-Based storm runoff response and hydrograph analysis: part2", Journal of Spatial Hydrology, Vol.3, No.2. p. 1-28.

-Saghafian, B., Julien, P. Y., and Rajaie, H., (2000), "A Spatial Travel-Time Method for Watershed Routing", 4th International Conference on Integrating GIS and Environmental Modeling.

-Saghafian, B., and Julien, P.Y., (1995), "Time to equilibrium for spatially variable watersheds", Journal of Hydrology, 172, p. 231-245.

-Wong, T. S. W., (1995), "Time of concentration formulae for planes with upstream inflow", Hydrological Sciences Journal, 40, 5, p. 663-666.

-Wooding, R. A., (1965a), "A hydraulic model for the catchment -stream problem: 1. Kinematic wave theory", Journal of Hydrology, Vol. 4, p. 21-37.

-Wooding, R. A., (1965b), "A hydraulic model for the catchment -stream problem: 2. Numerical solutions", Journal of Hydrology, Vol. 4, p. 21-37.

-Wooding, R. A., (1966), "A hydraulic model for the catchment -stream problem: 3. Comparison with runoff observations", Journal of Hydrology, Vol. 4, p. 21-37.

## **Assessment of Islamshahr Watershed Environmental Reaction by Kinematic Wave Theory in GIS Base**

**Mahmoud Zakeri Niri**

1-Young Researchers and Elite Club, Islamshahr Branch, Islamic Azad University

### **Abstract**

Hydrologic problems are important in urban management. Hydrograph is an efficient tool in this management. In this paper behavior of synthetic and real watershed is studied. In first equations of Kinematic Wave Theory have coded in MATLAB and finally by achieved model in MATLAB and use of GIS, reaction of watershed have assessment. In real watershed state, computed results have compared with a set of laboratory data (Observed Results). Comparison showed accuracy in regression. In second step, Islamshahr Watershed as a real watershed has assessment and by making isochrones, Time-Area curve was result by variety in rainfall intensity.

**Keywords:** Rainfall-Runoff Model, Kinematic Wave, Islamshahr Watershed, GIS.