تخمین رواناب حوضه های آبخیز بدون آمار با استفاده از روش آب نگار واحد مصنوعی بدون بعد ناش(طرح مطالعاتی:حوضه آجای و کسیلیان)

پویان کشتکاران[1*]، تورج سبزواری[2]، مهدی کرمی مقدم[3]

چکیده

تخمین رواناب حوضه های فاقد آمار سیلاب در جهت طراحی سازه های آبی بسیار اهمیت دارد. برآورد فراسنج های مدل‌های بارندگی-رواناب در بسیاری مواقع در این حوضه ها کار آسانی نبوده و آب شناس ها به دنبال روش‌های ساده تر با دقت مناسب جهت شبیه سازی رواناب حوضه‌ها می باشند. در این تحقیق، با ترکیب روش آب نگار واحد ناش وکلارک، با فرض تعداد مخازن ناش برابر پنج، مقدار ضریب ذخیره ناش(k) به صورت تابعی از زمان تمرکز ارائه گردیده است. براساس روش آب نگار واحد لحظه‌ای ناش، معادله‌ای بدون بعد جهت محاسبه آب نگار واحد مصنوعی حوضه‌های آبخیز ارائه گردیده است که تابعی از مساحت حوضه، و زمان تمرکز آن می‌باشد. روش مزبور جهت تخمین آب نگار رواناب مستقیم دو حوضه ی آبخیز کسیلیان در شمال ایران و آجای در هند مورد استفاده قرار گرفت. بر اساس نتایج، ضریب کارایی روش برای سه رویداد از چهار رویداد در نظر گرفته شده در حوضه ی کسیلیان بالای۰/۸۲ و برای چهار رویداد در حوضه ی آجای بین ۰/۷۸ تا ۰/۸۹بود که مقادیر مناسبی می باشند. میزان خطای مدل جهت تخمین اوج رواناب سطحی حوضه ی کسیلیان بین۵/۳ تا ۹/۷ متر مکعب بر ثانیه بود. مبه وسیله ی خطای اوج در چهار رویداد حوضه ی آجای ۷/۸ متر مکعب بر ثانیه می‌باشد. در نهایت، ارزیابی روش ارائه شده در دو حوضه ی معرف مناسب بود ولی نیازمند بررسی در حوضه های دیگر است.

واژه های کلیدی: آب نگار واحد بدون بعد، روش ناش، حوضه فاقد آمار، رواناب

---

[1] عضو هیئت علمی گروه مهندسی عمران دانشگاه آزاد اسلامی واحد استهبان، استهبان، ایران
Pouyan_keshtkaran@yahoo.com
[2] دانشیار گروه مهندسی عمران دانشگاه آزاد اسلامی واحد استهبان، استهبان، ایران
[3] استادیار، گروه کشاورزی، دانشگاه پیام نور، ایران

مقدمه

برای طراحی سازه های آبی در حوضه‌های فاقد آمار سیلاب، نیازمند به تخمین رواناب حوضه، براساس بارندگی طراحی، می‌باشد. همچنین، برای استفاده از روش های بارندگی-رواناب در این حوضه ها نیز به تخمین فراسنج های مدل برای حوضه و بارندگی نیازمندیم. امروزه با پیشرفت نرم افزارهای سامانه ی اطلاعات جغرافیایی GIS، مانند ARCGIS و الحاقیه‌های هیدرولوژیکی، تخمین فراسنج های مربوط به زمین ریخت شناسی نسبت به گذشته آسان تر شده، ولی نیازمند زمان و گاهی هزینه می باشند. بسیاری از آب شناس ها نیز این روش ها را نپسندیده و به دنبال روش‌های بارندگی-رواناب، با تخمین ساده تر فراسنج های آن ها هستند. مدل هایی که فراسنج های ورودی آن ها اطلاعاتی مانند مساحت، پوشش گیاهی، شیب آبراهه اصلی ، طول آبراهه اصلی یا زمان تمرکز حوضه می‌باشند، مورد توجه بیشتری قرار گرفته اند. چنین مدل‌هایی اندک بوده، و اخیراً در ایجاد و گسترش آن ها اقدام شده است. یکی از اهداف این تحقیق ارائه ی چنین مدلی می‌باشد.

انگاره ی آب نگار واحد، بیش از نیم قرن است که در جهت تخمین رواناب حوضه ها و طراحی سازه های آبی به کار رفته است. آب نگار واحد لحظه‌ای مخازن خطی، روش ناش و کلارک و روش های آب نگار واحد لحظه‌ای کاربرد وسیعی را در آب شناسی دارند(کلارک(۱۹۴۵)، دوگ (۱۹۵۹) و ناش (۱۹۶۰)).

مدل آب نگار واحد لحظه‌ای ارائه شده به وسیله ی ناش (۱۹۵۷، ۱۹۶۰) بر مبنای مخازن خطی آبشاری بود که یک حوضه ی آبخیز را به صورت یک گروه مخازن پی در پی در نظر می‌گیرد، که خروجی هر مخزن ورودی مخزن بعدی است. خروجی از مخزن آخر، آب نگار واحد لحظه‌ای کل حوضه می‌باشد. روش آب نگار واحد لحظه‌ای مربوط به زمین ریخت شناسی اخیراً کاربرد وسیعی در تخمین رواناب حوضه‌های بدون آمار داشته است(رودریگرز-ایتورب و والدز(۱۹۷۹)، لی وین(۱۹۹۷)، کومار و همکاران(۲۰۰۴،۲۰۰۷)، لی و چانگ(۲۰۰۵)، کومارو کومار(۲۰۰۸)، سبزواری(۲۰۱۰)، سبزواری و همکاران(۲۰۱۳) و چویی و همکاران(۲۰۱۱)).

کومار و همکاران(۲۰۰۷)، با ارائه روش آب نگار واحد لحظه‌ای مربوط به زمین ریخت شناسی، بر مبنای مدل ناش و کلارک به گسترش معادلات آب نگار واحد لحظه‌ای مربوط به زمین ریخت شناسی پرداخته و در نهایت مدل مزبور را برای اطلاعات حوضه ی آجای در هند مورد بررسی قرار دادند. نتایج مدل نشان داد که روش مربوط به زمین ریخت شناسی ناش و کلارک قابلیت مناسبی را در تخمین رواناب حوضه های آبخیز دارند.

سبزواری و همکاران(۲۰۱۳) یک مدل مربوط به زمین ریخت شناسی ارائه نموده اند که شکل تصحیح شده ی مدل مربوط به زمین ریخت شناسی ارائه گردیده به وسیله ی لی و چانگ(۲۰۰۵) می باشد. مدل آن ها قابلیت تخمین رواناب سطحی و زیرسطحی کل حوضه ی آبخیز را داشت. مدل مزبور بر اساس زمان پیمایش سطحی و زیر سطحی دامنه های حوضه ساخته شده است. مدل مزبور برای تخمین رواناب سطحی و زیر سطحی حوضه ی آبخیز کسیلیان به کار گرفته شد.

سالاری جزی(۲۰۰۹)، آب نگار واحد لحظه ای زمین ریخت اقلیم شناسی، بر مبنای روش کلارک (GCIUH-CLARK)و آب نگارآب نگار واحد لحظه ای مربوط به زمین ریخت شناسی، بر مبنای روش ناش (GIUH-NASH) را برای حوضه ی آبخیز کسیلیان در استان مازندران در شمال ایران را به کار گرفت. فراسنج های مربوط به زمین ریخت شناسی به وسیله ی GIS استخراج گردید. رواناب سطحی مستقیم با استفاده از روش های ترکیبی بدون نیاز به داده های تاریخی بارش-رواناب به دست آمد. افزون بر آن، رواناب سطحی مستقیم با استفاده از نرم افزار HEC-HMS با مدل انتقال کلارک، و همچنین روش ناش، محاسبه گردید. از سه معیار برای مقایسه روش های کلارک وGCIUH-CLARK ، و همچنین روش ناش و GIUH-NASH با داده های مشاهداتی بهره گرفته شد. نتایج نشان دهنده ی کارایی نسبی روش های ترکیبی در براورد آب نگار سیلاب بود.

در زمینه تخمین فراسنج های مدل ناش می توان به تحقیقات احمد وهمکاران (۲۰۱۰)، ناش(۱۹۵۹)، باردوسی(۲۰۰۷) اشاره نمود. اصلانی و همکاران (۲۰۱۵) روش واسنجی الگوریتم ژنتیک پیوسته را به منظور تخمین فراسنجهای مدل مفهومی ناش مورد استفاده قرار

دادند، کارایی این روش با به کارگیری فراسنج های تخمینی در شبیه سازی وقایع مختلف بارندگی–رواناب واقع در حوضه ی کسیلیان دراستان مازندران مورد ارزیابی قرار گرفت. معیارهای ارزیابی و نتایج نشان می دهند، که مدل ارائه شده قادر به تخمین فراسنج های مدل ناش با قابلیتی خوب می باشد.

موسوی حسینی و همکاران(۲۰۰۶)، دو روش حداقل مربعات معمولی و الگوریتم ژنتیک دو- دویی را به منظور تخمین فراسنج های مدل مفهومی ناش (n, k) مورد استفاده قرار داده اند. کارایی این دو روش با به کارگیری فراسنج های تخمینی در شبیه سازی هفت واقعه ی بارندگی-رواناب واقع در حوضه هنگ چی در شمال تایوان مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل از معیارهای نکوئی برازش در مورد نتایج هر دو مدل نشان دادند که مدل الگوریتم ژنتیک قادر به بهبود معیار ضریب کارایی، و کاهش ضریب تغییرات و خطای بده اوج مدل نسبت به روش حداقل مربعات، می باشد.

در این تحقیق قصد بر آن است فراسنج های مدل ناش، به روشی ساده تر و با دقتی مناسب محاسبه گردند. ضمنا یک مدل آب نگار واحد مصنوعی بدون بعد جهت تخمین آب نگار واحد حوضه‌های آبخیز فاقد آمار ارائه گردید. در نهایت مدل پیشنهادی برای دوحوضه آبخیز آجای در هند و کسیلیان در ایران مورد ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

آب نگار واحد لحظه ای ناش

ناش (۱۹۵۷) فرض کرد که یک حوضه آبخیز را می توان به صورت یک سامانه، شامل n مخزن متوالی یکسان، که ورودی مخزن اول برابر واحد، و خروجی هر مخزن، ورودی مخزن دیگر است، در نظر گرفت. شکل ۱ طرح واره ای از روش آب نگار واحد لحظه ای ناش را نشان می دهد.

با در نظر گرفتن کلیه ی شرایط مذکور، خروجی از مخزن n ام پاسخ حرکت واحد یا آب نگار واحد لحظه ای حوضه آبخیز می باشد که با معادله ی (۱) نشان داده می‌شود:

$$u(t)=\frac{1}{k\,\Gamma(n)}(t/k)^{n-1}e^{-t/k} \qquad (۱)$$

که در آن n تعداد مخازن، k ثابت ذخیره ی ناش، t زمان و Γ تابع گاما که یک تابع انتگرالی است. شکل ۲ آب نگار واحد لحظه ای استخراج شده از مدل ناش را نشان می دهد.

مقدار زمان اوج معادله ی ناش $t_p = k\,(n-1)$، و زمان نقطه عطف $t_f = k\,(n-1+\sqrt{n-1})$ است که از برابری مشتق اول و دوم معادله ی ناش با صفر محاسبه می گردند. برای تخمین رواناب یک حوضه با فرض معلوم بودن فراسنج های مدل ناش(k,n)، باید ابتدا آب نگار واحد لحظه‌ای از معادله ۱ محاسبه گشته، سپس آب نگار واحد محاسبه شود، و ماتریس بارش مازاد در ماتریس آب نگار واحد ضرب گردد تا آب نگار رواناب مستقیم[4] محاسبه شود. این روش در بیشتر تحقیقات مربوط به مدل سازی روش ناش انجام می‌شود، ولی در این تحقیق معادله ای ارائه می گردد که در آن آب نگار واحد ناش مستقیماً به کار گرفته می‌شود. برای اجرای این منظور، نیازمند به تخمین فراسنجهای مدل ناش می باشیم که در بخش بعدی به توضیح آن پرداخته می شود.

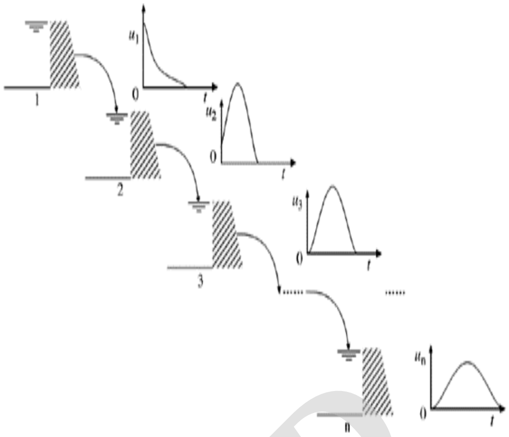
تخمین فراسنج های مدل ناش

برای استفاده از مدل ناش، تخمین فراسنج های مدل یک نیاز می‌باشد. مقادیر n وk که به ترتیب شمار مخازن، و ضریب ذخیره ی ناش، که از جنس زمان پیمایش می باشند. این مقادیر در حوضه های آبخیز مختلف متفاوت بوده، و حتی در یک حوضه مشخص از یک رویداد بارندگی به رویداد دیگر هم مقادیر nو k تخمین زده می شوند، و این عامل خود باعث پیچیدگی تخمین این دو فراسنج برای یک حوضه ی آبخیز می گردد.

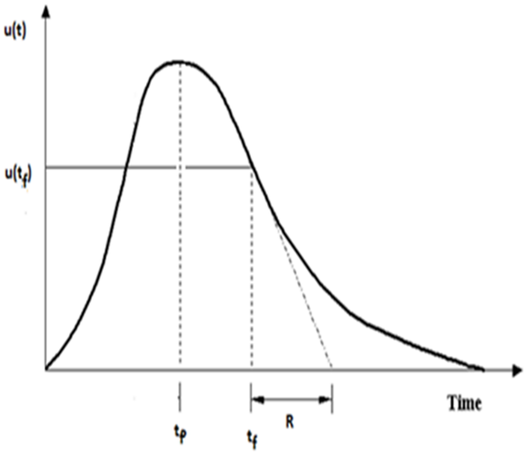
اینکه یک حوضه ی آبخیز از چند مخزن پی در پی در یک رویداد رواناب تشکیل شده، و ضریب ذخیره ی هر مخزن یا زمان پیمایش آن چه اندازه می باشد، سؤالی است که پژوهشگران زیادی در طول سال های گذشته در مورد آن تحقیق می کنند و هنوز جای بررسی بیشتری دارد. حوضه های آبخیز به دو دسته تقسیم می شوند: حوضه های دارای آمار رواناب و حوضه‌های بدون آمار. در حوضه‌های دارای آمار سیلاب، برای یافتن مقدار فراسنج

---

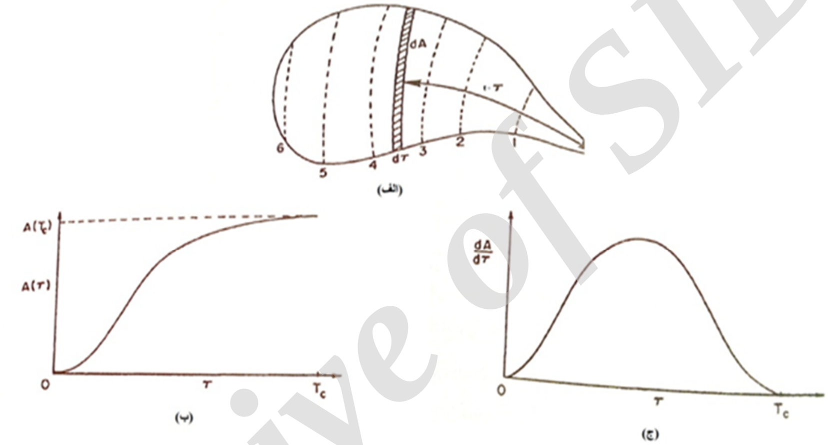
[4] direct runoff hydrograph



شکل۱- طرح واره ای از مخازن پی در پی در روش ناش



شکل۲- آب نگار واحد لحظه ای ناش.



شکل۳- (الف) نمودار های همزمانی های حوضه، (ب) نمودار زمان- مساحت (TAD) و (ج) منحنی زمان –فاصله –مساحت (TAC).

های مدل ناش از روش گشتاور استفاده می گردد، با داشتن باران نگار بارش مازاد و آب نگار رواناب مستقیم مقادیر nو k محاسبه می شوند. قابل توجه است، که وقتی یک حوضه دارای آمار سیلاب است برای طراحی سازه‌های آبی به طور مستقیم از همان آمار واقعی با کاربرد روش‌های آماری استفاده گردیده و نیازی به مدل‌های بارندگی رواناب مانند ناش نمی باشد؛ لذا این مدل ها به طور خاص بیشتر در حوضه‌های فاقد آمار کاربرد دارند.

تخمین دو فراسنج ناش، در حوضه‌های فاقد آمار، که بحث اصلی این تحقیق است، کار ساده‌ای نبوده و برای این منظور روش های متفاوتی ارائه شده اند. روش ناش مربوط به زمین ریخت شناسی یک از این روش ها است، که براساس اطلاعات مربوط به زمین ریخت شناسی حوضه به تخمین فراسنجهای ناش می‌پردازد. در این روش باید اطلاعاتی مانند نقشه های رقومی حوضه(DEM) وجود داشته باشند و با استفاده از نرم افزاهای GIS این اطلاعات استخراج گردند، که ساختن DEM، یا تهیه و پردازش آن ها نیازمند وقت و هزینه زیاد می‌باشد، به طوری که بعضی از آب شناس ها به دنبال روش‌های ساده تر با دقت مناسب می‌باشند.

هان و همکاران (۱۹۹۴) با مقایسه نتایج آب نگار واحد لحظه ای بدون بعد ناش با آب نگار واحد بدون بعد scs مقدار n=4.77 را برای حوضه های آبخیز پیشنهاد نمودند. ایشان متوجه شدند که مقدارn=4.77 نتایج خوب و نزدیکی را به واقعیت ارائه می‌دهد. سینگ(۲۰۰۰) نیز یک مدل آب نگار واحد بدون بعد گاما را ارائه نمود. نامبرده نتایج این مدل را برای n=4.7 با آب نگار واحد بدون بعد SCS مقایسه کرد که نتایج مناسبی حاصل شد.

نتایج مربوط به آب نگار واحد لحظه‌ای بدون بعد ناش به ازای n=5 به آب نگار واحد بدون بعد سازمان SCS بسیار نزدیک است.

مطابق شکل ۲، ضریب ذخیره ی کلارک(R) برابر است با بده در نقطه ی عطف(t_f) تقسیم بر شیب منحنی آب نگار جریان در همین نقطه؛ لذا، مقدار ضریب ذخیره ی R به صورت معادله ی ۲ محاسبه می گردد:

$$R=-\frac{u(t)}{\frac{du}{dt}}\bigg|_{t=t_f}=\frac{k(n-1+\sqrt{n-1})}{\sqrt{n-1}} \qquad (۲)$$

اگر معادله ی ۱ و مشتق آن را در رابطه ی ۲ قرار دهیم، ضریب ذخیره ی کلارک تابعی از فراسنج های n و k محاسبه می گردد. این معادله رابطه ی بین فراسنج های مدل کلارک و ناش را نشان می دهد.

در مدل کلارک (۱۹۴۵) نمودار ستونی زمان مساحت به عنوان ورودی سامانه ی $(I(t)=dA_t/dt=TAC(t))$، وتابع ذخیره در سامانه به صورت $S(t)=Ru(t)$، در نظر گرفته می شوند؛ لذا، براساس معادله ی پیوستگی حاکم بر یک سامانه خطی می توان نوشت:

$$I(t)=O(t)+\frac{dS(t)}{dt}\Rightarrow\frac{dA_t}{dt}=u(t)+R\frac{du(t)}{dt} \qquad (۳)$$

که در آن A سطح حوضه، و TAC تابع منحنی زمان-فاصله-مساحت می‌باشد. شکل ۳ منحنی زمان-فاصله-مساحت و نمودار زمان-مساحت را، که انتگرال TAC در سامانه پیوسته می‌باشند، نشان می‌دهد.

اگر معادله های ۱ و ۲ را در معادله ی ۳ قرار دهیم، تابع پیوسته زمان-فاصله-مساحت یک حوضه ی آبخیز(TAC) به صورت زیر محاسبه می گردد:

$$TAC(t)=\frac{t\exp(-t/k)(t/k)^{(n-1)}}{tk\Gamma(n)}+\frac{\exp(-t/k)(t/k)^{(n-1)}}{tk\Gamma(n)} \qquad (۴)$$

$$\left[\left(k(n-1)(\sqrt{n-1}+1)\right)-\left(t(\sqrt{n-1}+1)\right)\right]$$

معادله ۴ تابع زمان-فاصله-مساحت حوضه ی آبخیز می‌باشد. TACتابعی از فراسنج های مدل ناش بوده و به مقادیر n ،kو زمان بستگی دارد. مقادیر این تابع بین ۰ تا ۱ تغییر کرده و اگر در مساحت حوضه ضرب گردد منحنی زمان-مساحت محاسبه می شود.

نمودار زمان مساحت حوضه، انتگرال منحنی زمان مساحت بوده و حالت تجمعی دارد. مساحت در نمودار زمان-مساحت در زمان تمرکز حوضه برابر با مساحت حوضه است(شکل ۳- ب) لذا می توان گفت که:

$$\int_0^{T_c} TAC(t)\ dt=1 \qquad (۴)$$

اگر معادله ی ۳ را در معادله ی ۴ قرار داده، مقدار n=5 در نظر گرفته شود، و معادله ی ۴ را حل کنیم، مقدار $T_c=4.25k$ جواب معادله می باشد؛ لذا می توان ضریب k را از معادله ی زیر محاسبه کرد:

$$k=T_c/4.25 \qquad (۵)$$

مقدار n=5، و ضریب ذخیره ی ناش $k=T_c/4.25$ فراسنج های مدل ناش برای حوضه-های فاقد آمار می باشند. زمان تمرکز کلیه ی حوضه ها بر اساس اطلاعاتی مانند طول آبراهه اصلی، شیب آبراهه و پوشش گیاهی برای کلیه ی حوضه های آبخیز قابل محاسبه می باشد.

آب نگار واحد لحظه ای حوضه(u(t)) براساس معادله ی ۱ محاسبه می گردد، برای محاسبه ی آب نگار واحد حوضه(h(t)) از معادله ی زیر استفاده می‌شود:

$$h(t)=\int_{t-\Delta t}^{t}u(t)\ dt\cong0.5\{u(t-\Delta t)+u(t)\} \qquad (۶)$$

که در آن dt گام زمانی آب نگار می باشد. اگر معادله ی ۱ را در معادله ی ۶ قرار دهیم، مقدار h(t)، به ازای مقادیر n=5 و $k=T_c/4.25$، به صورت تابع زیر محاسبه می گردد:

$$h(t)=\left[\frac{102(\frac{t}{t_c})+216.8(\frac{t}{t_c})^2+307(\frac{t}{t_c})^3+325.3(\frac{t}{t_c})^4+24}{24\exp(4.25(\frac{t}{t_c}))}\right]_{t-\Delta t}^{t} \qquad (۷)$$

قابل توجه است که معادله ی ۶ برای مقادیر مختلف n و k حل تحلیلی نداشته و برای محاسبه ی آب نگار واحد حوضه همیشه از حل عددی استفاده شده، و معادله ی ۷ حل تحلیلی معادله ی ۶، به ازای مقادیر n=5 می باشد، که این معادله یکی از مهمترین دستاوردهای تحقیق حاضر است، که عملاً مقدار آب نگار واحد حوضه را به صورت تابع بدون بعد ارائه نموده است. این تابع بدون بعد، فقط تابعی از نسبت زمان به زمان تمرکز حوضه بوده و به فراسنج های دیگر حوضه ارتباطی ندارد. اگر معادله ی (۷) در A۲.۷۸ ضرب گردد واحد بده های آب نگار، مترمکعب بر ثانیه خواهد شد.

اگر اندازه های این تابع در مقادیر باران نگار بارش مازاد با کاربرد روش پیچش محاسبه گردد مقدار آب نگار رواناب مستقیم حوضه محاسبه می شود، که این آب نگار به خصوص اوج آن مبنی طراحی سازه های آبی می‌باشد.

منطقه مورد مطالعه

در این تحقیق از اطلاعات یک حوضه آبخیز داخل ایران و یک حوضه آبخیز خارج از ایران استفاده گردید. حوضه ی آبخیز آجای در شمال هندوستان با مساحت ۱۱۹۱.۴ کیلومتر مربع با طول جغرافیایی23°57'N و 24°37'N و عرض جغرافیایی 86°16'E و 86°57'E می-باشد. طول رودخانه اصلی ۸۲/۱۸ کیلومتر و مبه وسیله ی زمان تمرکز حوضه ی آجای ۱۰ ساعت در نظر گرفته شده است(کومار و همکاران، ۲۰۰۷).

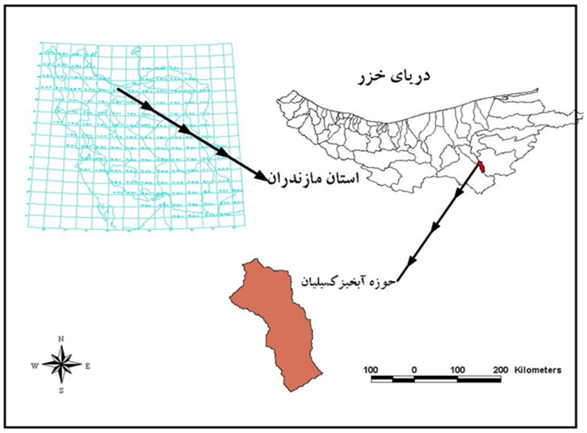
حوضه ی آبخیز کسیلیان با مساحت ۶۶/۷ کیلومتر مربع در استان مازندران و در حدود مختصات جغرافیایی طول $53^\circ10'$ و $53^\circ18'$ و عرض $35^\circ07'$ و $35^\circ58'$ قرار دارد که در منطقه ی زمین ساختی البرز واقع شده، اقلیم آن بر اساس نقشه ی اقلیمی ایران معتدل خزری است و رود اصلی آن تالار سربند است. طول آبراهه ی اصلی ۱۶/۵ کیلومتر، و متوسط شیب آبراهه ۱۳درصد می‌باشد. این حوضه، معرف مناطق وسیعی از قسمتهای کوهستانی و جنگلی شمال البرز محسوب می شود. کل سطح حوضه کسیلیان از جنگل، مرتع و زمین زراعی پوشیده شده است. ایستگاه آب سنجی ولیک بن، در انتهای حوضه، رواناب مشاهداتی حوضه را ثبت می‌کند. متوسط زمان تمرکز حوضه ۵ ساعت در نظر گرفته شده است. شکل ۴ موقعیت حوضه ی کسیلیان را در شمال ایران نشان می‌دهد(سبزواری و همکاران، ۲۰۱۳).

تحلیل نتایج

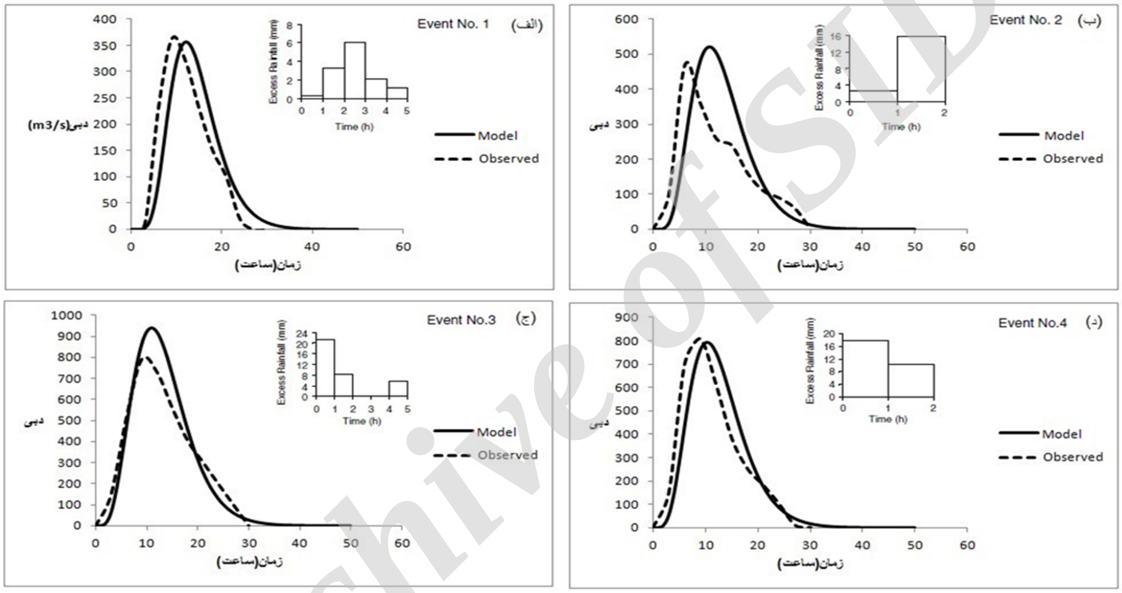
برای تخمین رواناب سطحی حوضه‌های آبخیز آجای و کسیلیان از مدل بارندگی-رواناب جدیدی به نام آب نگار واحد مصنوعی بدون بعد ناش استفاده گردید. اطلاعات مورد نیاز این مدل عبارتند از: باران نگار بارش مازاد، مساحت حوضه و زمان تمرکز حوضه ؛ روند تحقیق به این صورت است که ابتدا بر اساس زمان تمرکز حوضه ضریب ذخیره هر مخزن(k) از معادله ی k=Tc/4.25 محاسبه گشته و مقدار n=5 برای دو حوضه در نظر گرفته می شود. یک تابع بدون بعد ارائه می گردد، که مقادیر آب نگار واحد را برای یک حوضه با مساحت و زمان تمرکز مشخص را محاسبه می کند.

قابل توجه است که معمولاً مقادیر ضرایب مدل ناش n و k برای رویداد های مختلف باید محاسبه گردد، و n=5 روشی است که در حوضه های فاقد آمار رواناب و اطلاعات مربوط به DEM می باشد. n=5 یک مقدار متوسط است که برخی از محققین آن را گزارش نموده اند که مبنای این تحقیق قرار گرفت. اگر در حوضه مقادیر متوسط این دو فراسنج موجود باشد، می‌توان از آن ها در محاسبات آب نگار واحد لحظه ای ناش استفاده کرد.

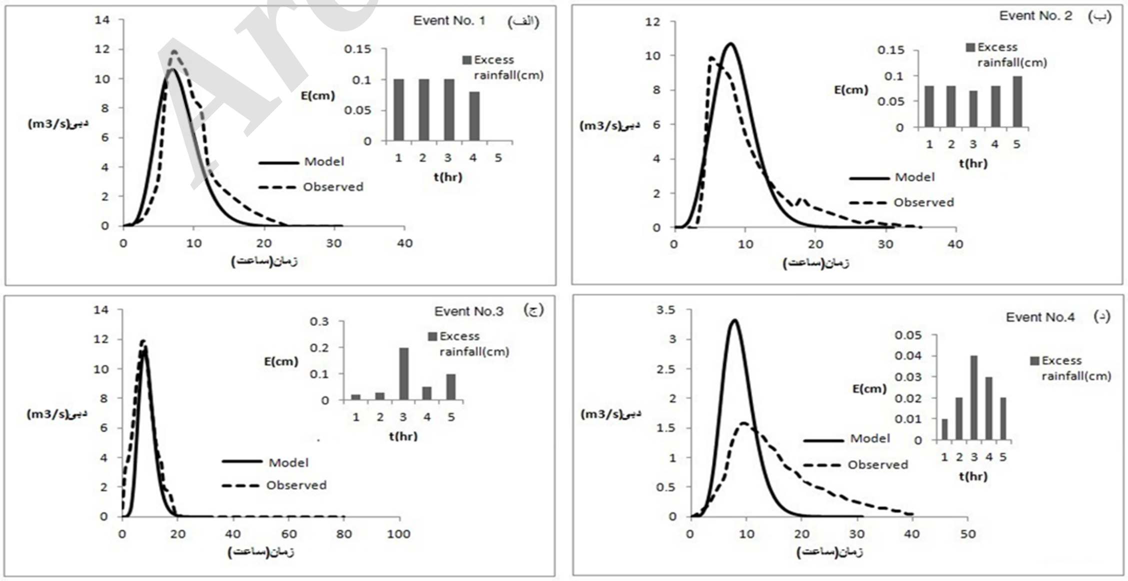
در نهایت، اگر مقادیر باران نگار بارش مازاد در آب نگار واحد پیچش گردد، مقادیر آب نگار رواناب مستقیم حوضه به دست می‌آیند. برای این منظور، یک شناسه در نرم افزار متلب نوشته شد که کلیه ی مراحل مزبور را انجام می‌دهد. مقادیر باران نگار بارش مازاد ۴ رویداد


دریای خزر
استان مازندران
حوزه آبخیز کسیلیان
N
W
E
S
100 0 100 200 Kilometers

شکل۴- حوضه آبخیز کسیلیان در ایران.



شکل ۵- آب نگار رواناب مستقیم حوضه ی آجای.



شکل ۶- آب نگار رواناب مستقیم حوضه ی کسیلیان.

شحوضه ی آجای بر اساس تحقیق کومار و همکاران(۲۰۰۷) در نظر گرفته شده اند، در حوضه ی آبخیز کسیلیان، مقادیر بارش مازاد بر اساس مدل نفوذ SCS-CN محاسبه شده اند(سبزواری و همکاران، ۲۰۱۳).

مدل پیشنهادی برای چهار رویداد مختلف در حوضه ی آجای به کار گرفته شد. شکل ۵ آب نگار رواناب مستقیم را بر اساس مدل آب نگار واحد بدون بعد را برای حوضه ی آبخیز آجای نشان می دهد. همچنین، نتایج مدل بدون بعد برای چهار رویداد مختلف به تاریخ های ۱۳۶۹/۶/۱۱(رویداد۱)، ۱۳۷۰/۳/۳(رویداد ۲)، ۱۳۷۳/۷/۳۰(رویداد۳) و ۷۲/۳/۱۴(رویداد ۴) حوضه ی آبخیز کسیلیان در شکل ۶ قابل مشاهده است.

جدول ۱ مقادیر حداکثر رواناب مستقیم محاسبه شده و مشاهداتی را در دو حوضه ی معرف نشان می‌دهد.

برای بررسی کارایی مدل پیشنهادی از سه معیار *خطای جذر میانگین* مربعها(RMSE)، ضریب کارایی مدل (EFF)و خطای اوج رواناب ($EQ_p(\%)$) به صورت معادلات زیر استفاده شده است:

$$RMSE=\left[\frac{1}{m}\sum_{t=1}^{m}[Q_O(t)-Q_M(t)]^2\right]^{0.5} \tag{۸}$$

$$EFF=\frac{\sum_{t=1}^{m}[Q_O(t)-\overline{Q}]^2-\sum_{t=1}^{m}[Q_O(t)-Q_s(t)]^2}{\sum_{t=1}^{m}[Q_O(t)-\overline{Q}]^2}\times 100 \tag{۹}$$

$$EQ_p(\%)=100\times[Q_{pM}-Q_{po}]/Q_{po} \tag{۱۰}$$

که در آن ها $Q_O(t)$ بده ی مشاهداتی، $Q_M(t)$ بده ی محاسباتی مدل، $\overline{Q}$ متوسط بده ی مشاهداتی در هر رویداد، Q_{pM} بده ی اوج مدل و Q_{po} بده ی اوج مشاهداتی رویداد می باشد. هرچه مقدار ضریب کارایی مدل (EFF) به عدد یک نزدیکتر و مقادیر RMSE و EQ% کوچکتر باشند، مدل از کارایی و توانایی بالاتری نسبت به تخمین دقیق تر رواناب حوضه برخوردار است.

جدول ۲ مقادیر سه عامل بررسی کارایی مدل برای دو حوضه ی معرف را نشان می‌دهد.

براساس اطلاعات مطابق با جدول ۲، مقدار ضریب کارایی EFF برای سه رویداد ۱تا ۳ حوضه ی آبخیز کسیلیان بین ۰/۸۲۷ تا ۰/۸۴۳ قرار دارند. مقدار خطای اوج در این سه رویداد بین ۵/۳تا ۹/۷۰ می باشد.. درطراحی سازه های آبی، مقدار خطای اوج از اهمیت بالایی برخوردار است. در این حوضه شبیه رویداد شماره چهار نامربوط، و مقدار خطای اوج ۱۱۲٪ درصد بود، که در آن بده حدود ۲ برابر پیش بینی شد.

رویداد های ۳ و۴ حوضه ی آجای دارای ضریب کارایی بالای ۰/۸۴ که مقادیر مناسبی بودند، و برای رویداد ۱ ، ۰/۲۷ بود، که مقدار مناسبی نبود. خطای اوج مدل در سه رویداد زیر ده درصد است؛ که بسیار مناسب بوده و در رویداد ۳، ۱۶ می باشد که تقریباً قابل قبول است. براساس نتایج دو حوضه، مدل آب نگار واحد بدون بعد ناش از ارزش نیکوئی برخوردار است؛ پیشنهاد می‌گردد که این مدل در حوضه‌های آبخیز به کار گرفته شود.

جدول۱- مقادیر اوج رواناب مشاهداتی و محاسباتی(متر مکعب بر ثانیه) مدل برای دو حوضه ی آجای و کسیلیان.

آجای(مدل)	آجای(مشاهداتی)	کسیلیان (مدل)	کسیلیان(مشاهداتی)	رویداد
۳۵۷/۳	۳۶۳/۲	۱۰/۶	۱۱/۷۶	۱
۵۱۹/۵	۴۶۸/۴	۱۰/۷	۹/۴۹	۲
۹۳۸	۷۹۲	۱۱/۲	۱۱/۸۵	۳
۷۸۹/۸	۸۰۸/۴	۳/۳	۱/۵۷	۴

نتیجه گیری کلی و پیشنهادها

در این تحقیق یک مدل آب نگار واحد مصنوعی بدون بعد برای تخمین رواناب حوضه‌های آبخیز ارائه گردید. این مدل تابعی از زمان تمرکز حوضه می‌باشد. با ضرب ماتریس بارش مازاد حوضه در ماتریس آب نگار واحد مصنوعی، رواناب مستقیم حوضه محاسبه می‌گردد.

جدول ۲- مقادیر ضرایب EFF ، RMSE وEQ دو حوضه ی معرف آجای وکسیلیان.

آجای			کسیلیان			
EQ%	RMSE	EFF	EQ%	RMSE	EFF	رویداد
۱/۶	۶۴/۵	۰/۷۸	۹/۷۰	۱/۵۳	۰/۸۴۳	۱
۷/۷	۱۲۷/۵	۰/۲۷	۸/۶۸	۱/۲۲	۰/۸۲۳	۲
۱۶	۹۳/۳	۰/۸۹	۵/۳۰	۲/۵۰	۰/۸۲۷	۳
۶/۲	۱۱۷/۷	۰/۸۴	۱۱۲	۰/۷۷	--	۴

مدل پیشنهادی برای دوحوزه آبخیز کسیلیان در ایران و آجای در کشور هندوستان مورد ارزیابی قرار گرفت. ضریب کارایی مدل برای پنج رویداد از هشت رویداد دو حوضه بالای ۰/۸۲، و مقدار خطای متوسط اوج رواناب در دو حوزه برابر با ۷/۹ بوده است، که مقادیر مناسب و قابل قبولی به شمار می روند. بهتر است که این مدل نیز در حوضه‌های آبخیز دیگر در ایران مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرد.

تشکر و قدردانی: این تحقیق قسمتی از یک طرح پژوهشی در دانشگاه آزاد اسلامی واحد استهبان است که بودجه تحقیقاتی آن به وسیله ی این دانشگاه تأمین شده است.

منابع

1) Ahmad, M.M., Ghumman, A.R., Ahmad, S. 2010. Estimation of a unique pair of Nash model parameters: an optimization approach. Water resources management. 24(12): 2971-2989.

2) Aslani, M., Fazl-Avali, R. and Ahmadi-Zadeh, M. 2015. Determination of the parameters of the conceptual model of Nash by the use of automatic calibration in the Kasselian Basin. Watershed Management Research. 6 (12): 21-28 (In Persian).

3) Bárdossy, A. 2007. Calibration of hydrological model parameters for ungauged catchments. Hydrology and Earth System Sciences Discussions. 11(2): 703-710.

4) Choi, Y.J., Lee, G., Kim, J. 2011. Estimation of the Nash model parameter based on concept of geomorphologic dispersion. J. Hydrol. Eng. 16(10):806–817.

5) Clark, C. O. 1945. Storage and unit hydrograph. Trans. ASCE, 110: 1419–1446.

6) Dooge, J. C. I. 1959. A general theory of the unit hydrograph. J. Geophys. Res. 64(2): 241–256.

7) Hann, C.T., Barfield, B.J. and Hayes, J.C. 1994. Design hydrology and sedimentology for small catchments. Academic Press. San Diego. 588.

8) Kumar, A., Kumar, D. 2008. Predicting direct runoff from hilly watershed using geomorphology and stream-order law ratios: case study. J. Hydrol. Eng. 13(7):570–576.

9) Kumar, R., Chatterjee, C., Singh, R.D., Lohani, A.K., Kumar, S. 2007. Runoff estimation for an ungauged catchment using geomorphologic instantaneous unit hydrograph (GIUH) models. Hydrol. Process. 21(14):1829–1840.

10) Kumar, R., Chatterjee, C., Singh, R.D., Lohani, A.K., Kumar, S. 2004. GIUH based Clark and Nash models for runoff estimation for an ungauged basin and their uncertainty analysis. Int. J. River Basin Manag. 2(4):281–190.

11) Lee, K.T., Chang, C.H. 2005. Incorporating subsurface-flow mechanism into geomorphology-based IUH modeling, J. Hydrol. 311:91–105.

12) Lee, K.T., Yen, B.C. 1997. Geomorphology and kinematic-wave based hydrograph derivation. J. Hydrol. Eng. ASCE. 123(1):73–80.

13) Mousavi-Hosseini, M., Zahrayi, B. and Hourfar, A. 2006. Estimation of Parameters of Conceptual Model of Nash by Using Genetic Algorithm and Normal Least Squares. Iranian Water Resources Research. 2(2): 10-12 (In Persian).

14) Nash, J.E. 1957. The form of the instantaneous unit hydrograph. International Association of Scientific Hydrology Publication. 45(3):114–121.

15) Nash, J.E. 1959. Systematic determination of unit hydrograph parameters. Journal of Geophysical Research. 64:111-115.

16) Nash, J.E. 1960. A unit hydrograph study with particular reference to British catchments. P. I. Civil Eng. 17:249–282.

17) Rodriguez-Iturbe, I., Valdes, J.B. 1979. The geomorphologic structure of hydrologic response. Water Resour. Res. 20(7):914–920.

18) Sabzevari, T. 2010. Development of catchments geomorphological instantaneous unit hydrograph based on surface and subsurface flow response of complex hillslopes. PhD. Thesis. Islamic Azad University. Tehran. Iran.

19) Sabzevari, T., Fattahi, M.H., Mohammadpour, R., Noroozpour, Sh. 2013. Prediction of surface and subsurface flow in catchments using the GIUH, under publication. Journal of Flood Risk Management. 6(2):135–145.

20) Sabzevari, T., Noroozpour, Sh. and Jamishi, M. 2014. Calculation of time-area diagrams of watersheds using Nash unit's hydrograph. Water Resources Engineering. 22: 37-50 (In Persian).

21) Salari-Jazi, M., Adib, A., Mahmoudian-Shoushtari, M. and Akhond-Ali, A.M. 2009. Analysis of GIUH-NASH and GCIUH-CLARK models in Kasselian Basin. Eight th International Congress on Civil Engineering. Shiraz (In Persian).

22) Singh, S.K. 2000. Transmuting synthetic unit hydrograph into gamma distribution. Journal of Hydrologic Engineering. 5(4):380-385.