



ISC  
Islamic World Science Citation Center



# بسم الله الرحمن الرحيم

نوزدهمین کنفرانس ملی هیدرولیک ایران، ۲۷ و ۲۸ بهمن ۱۳۹۹

گواهی پذیرش مقاله

کد مقاله: H-00270-AB

بدینوسیله گواهی می‌شود مقاله با عنوان

مدل سازی سیلاب در خشک رود و بندسار با استفاده از مدل سلولی

و نویسنده (گان):

حجت بیبا، محمدرضا جعفرزاده

در نوزدهمین کنفرانس ملی هیدرولیک ایران که در تاریخ ۲۷ و ۲۸ بهمن ماه ۱۳۹۹ خورشیدی در دانشگاه فردوسی مشهد برگزار گردید، مورد پذیرش قرار گرفته و ارائه شده است. ضمن تشکر و قدردانی از همکاران نویسنده محترم، امیدواریم شاهد موفقیت روزافزون آنان در زمینه‌های گوناگون علم باشیم.

دکتر کامران داوری

دبیر اجرایی کنفرانس



دکتر علی تقی ضیائی

دبیر علمی کنفرانس

## مدل سازی سیلاب در خشک رود و بندسار با استفاده از مدل سلولی

حجت بینا<sup>۱</sup>، محمدرضا جعفرزاده<sup>۲</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران- آب و سازه های هیدرولیکی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- استاد گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

jafarzad@um.ac.ir

### خلاصه

کشاورزان اقلیم های خشک و نیمه خشک در مواجهه با مشکل کمبود آب، جهت آبیاری از آب بندهای کوتاهی بنام بندسار استفاده می کنند. استفاده از بندسار موجب تامین رطوبت خاک از طریق استحصال سیلاب و آب باران می شود. در این پژوهش حجم سیلاب ورودی و خروجی و ذخیره آبی در بندسار با استفاده از الگوریتم MODCEL که یک مدل هیدرولیکی است، برای دو منطقه در قانن مدل سازی می شود. بندسارها در منطقه اکبریه از حاشیه رودخانه و در منطقه ورزق بر مسیل ساخته شده اند. این سازه ها در هر دو منطقه در کاهش سیلاب موثر بودند و علی الخصوص در منطقه ورزق دبی اوج سیلاب کاهش و زمان رسیدن به آن افزایش قابل ملاحظه ای پیدا کرد.

کلمات کلیدی: استحصال سیلاب، بندسار، مدل سازی سیلاب، MODCEL

### ۱. مقدمه

بخش عمده ای از ایران دارای اقلیم خشک و نیمه خشک است. از مهمترین مشکلات این اقلیم کم آبی است. عامل کم آبی منجر به محدود شدن و کاهش یافتن فعالیت های کشاورزی می شود. کشاورزان از گذشته با استفاده از روش های متعدد با تدبیر بر مشکل کم آبی غلبه کرده و به گسترش کشاورزی پرداخته اند که یکی از آن ها احداث مجموعه خاکریزهای طولی در برابر جریان آب بنام بندسار است. این روش در استان های خراسان جنوبی، خراسان رضوی و خراسان شمالی مرسوم می باشد. بندسار به عنوان یک سازه سنتی جهت استحصال آب باران، رواناب سطحی و جریان های سیلابی شناخته می شود و در این روش از هدر رفتن جریان های سیلابی فصلی و موقتی به داخل کویر جلوگیری می شود. آبی که وارد بندسار می شود به تدریج در خاک نفوذ می کند و سبب تغذیه آب های زیر زمینی و ذخیره رطوبتی خاک می شود. با توجه به این که این سازه ها در مناطق خشک و نیمه خشک با دمای بالا احداث می شوند میزان تبخیر از آن ها قابل توجه است در نتیجه از ذخیره رطوبتی خاک کم می شود [۱]. بندسارها می توانند در مسیر آبراهه ها و جریان های سیلابی قرار بگیرند در این صورت ارتفاع خاکریز آن ها بیش تر و سرریز تعبیه شده بر روی آن بزرگتر است و جریان در بندسار بالادست از طریق سرریز وارد بندسار پایین دست می شود. به دلیل این که این نوع از بندسارها در مسیر مستقیم جریان های سیلابی قرار دارند باید دارای خاکریز با پایداری کافی باشند. نوع دیگری از بندسارها در کنار خشک رود یا با فاصله کمی از آن احداث می شوند و بوسیله یک بند انحرافی و کانال آب رسان، سیلاب به داخل آن ها هدایت می شود. بندسار در این نوع ممکن است دارای سرریز یا بدون سرریز باشد [۲].

نظری سامانی و همکاران در سال ۲۰۱۴ به معرفی، طبقه بندی، ساختار و مزایای دو روش بندسار و خوشاب جهت استحصال آب باران و رواناب در مناطق بیابانی پرداختند. آن ها بندسار را روشی مناسب برای تامین آب و حاصلخیزی خاک در مناطق خشک و کویری معرفی کردند [۳]. زانوبتی و همکاران در سال ۱۹۷۰ با معرفی یک مدل ریاضی بر پایه مفهوم سلول های جریان، سیلاب برحوضه رودخانه Mekong را مدل سازی کردند [۴]. کونژ در سال ۱۹۷۵ جریان در منطقه Mekong Delta را با استفاده از مدل شبه دو بعدی مدل سازی کرد [۵]. ماسکارنهاس و میگوئز در سال ۲۰۰۲ رفتار سیل شهری را بوسیله مدل سلولی جریان مورد مطالعه قرار دادند آن ها این مدل را برای روند سازی سیلاب شهر Joinville که یک شهر ساحلی در ایالت Santa Catarina در جنوب برزیل است به کار بردند [۶]. ماسکارنهاس و همکاران در سال ۲۰۰۷ میدان Edmundo Rego در ریودوژانیرو را به عنوان یک حوضچه ذخیره سازی با در نظر گرفتن هیدروگراف سیل ۲۰ ساله با مدل سلولی هیدرودینامیکی، هیدرولیکی شبیه سازی کردند. نتیجه نهایی کاهش دبی

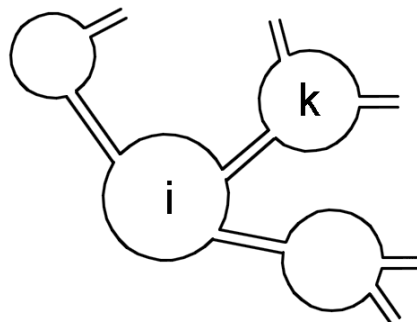
پیک سیلاب خروجی از میدان بود [۷]. میگوئز و همکاران در سال ۲۰۱۱ ضمن معرفی الگوریتم MODCEL به عنوان یک مدل ریاضی شبیه سازی جریان و یک ابزار مفید برای مدیریت سیستم های زهکشی به خصوص در سیلاب های شدید، با مطالعه موردی حوضه رودخانه Joana در شهر ریودوژانیرو در برزیل، مجموعه اقداماتی را برای کنترل سیل و کاهش دبی پیک سیلاب پیشنهاد دادند [۸]. میگوئز و همکاران در سال ۲۰۱۲ یک حوضه شهری در معرض سیلاب را با کمک الگوریتم MODCEL ارزیابی کردند. مطالعه موردی تحقیق آن ها حوضه رودخانه Guereague بود که در غرب شهر ریودوژانیرو و در همسایگی Jacarepagua است. نتایج مدل سازی نشان داد که بخش بزرگی از حوضه در معرض سیلاب هایی با اعماق ۰/۱۵ متر تا ۱/۵ متر می باشد. تراز سیل در مناطق بحرانی ممکن است از ۱/۵ متر هم فراتر رود [۹]. میگوئز و همکاران در سال ۲۰۱۷ برای نشان دادن قابلیت ها و توانایی های الگوریتم MODCEL، این مدل را با معیارهای پیشنهاد شده توسط آژانس محیط زیست بریتانیا محک زدند [۱۰]. بریتو و همکاران در سال ۲۰۱۸ در مورد نفوذ و جریان آب زیر زمینی ایجاد شده در حوضه آبریز روستایی تحقیق کردند. این جریان سهم قابل توجهی از هیدروگراف را تشکیل می داد. هدف مطالعه آن ها نمایش فرایند های نفوذ و گنجاندن جریان آب زیر زمینی در ساختمان MODCEL بود در نتیجه استفاده از این مدل برای شبیه سازی حوضه های روستایی ممکن شد [۱۱]. هدف از پژوهش حاضر مدل سازی جریان در خشک رودها و بندسارها براساس الگوریتم MODCEL به جهت روندیابی سیلاب ورودی و میزان ذخیره آبی از طریق نفوذ در این سازه سنتی می باشد تا نقش آن در استحصال سیلاب ارزیابی شود. برنامه مدل سازی در نرم افزار متلب نوشته شده است.

## ۲. مدل سلولی MODCEL

ساختار MODCEL برپایه مفهوم سلول های جریان است [۴]. به این طریق که حوضه مورد مطالعه به مجموعه ای از سلول ها تقسیم می شود که تبادل جریان بین آن ها با استفاده از قوانین هیدرولیکی مختلف بیان می شود. هر سلول می تواند یک تبدیل بارش-رواناب انجام دهد. مدل های ساده هیدرولوژیک برای انجام این کار در دسترس هستند. شبکه سلول ها یک مدل حلقه ای هیدرودینامیکی را تشکیل می دهد. در یک نمایش مکانی، جریان می تواند به صورت سطحی، کانالی و زیرزمینی برقرار باشد. این آرایش یک مدل شبه سه بعدی هیدرودینامیکی-هیدرولیکی-هیدرولوژیکی را تشکیل می دهد. هرچند که همه روابط در یک بعد نوشته می شوند. MODCEL بر پایه قانون پایستگی جرم، انرژی و مومنتوم استوار است. ارتباط هیدرولیکی برای جریان های سطحی براساس معادله دینامیکی سنت ونانت نوشته می شود. اصل بقای جرم برای هر سلول نوشته می شود. سلول ها به عنوان عناصر ذخیره سازی مدل عمل می کنند. توازن جرمی به تمام سلول ها اعمال می شود. بنابراین در هر گام زمانی مقدار ذخیره شده آب در هر یک از سلول ها به مبادله دبی بین هر سلول و سلول مجاور و سهم باران از طریق رواناب ارتباط دارد [۸].

### ۲.۱. انواع سلول های تعریف شده در مدل MODCEL

سلول رودخانه/کانال برای مدل سازی جریان در کانال های باز مورد استفاده قرار می گیرد. شکل مقطع عرضی آن مستطیلی است و ممکن است ساده یا مرکب باشد. سلول سطحی طبیعی برای سطوح طبیعی که رواناب در آن اتفاق می افتد استفاده می شود. این سلول در مقایسه با سلول رودخانه بزرگتر است. سلول مخزن برای شبیه سازی یک حوضه یا مخزن استفاده می شود و بوسیله منحنی سطح-حجم-ارتفاع معرفی می شود. انواع ارتباط دبی بین سلول ها با قوانین هیدرولیکی بیان می شود. استفاده از قوانین هیدرولیکی این امکان را می دهد که توزیع سیل در مناطق مختلف نشان داده شود [۸]. شکل ۱ نمایش شبه دو بعدی سلول های تعریف شده در مدل را نشان می دهد.



شکل ۱ - نمایش شبه دو بعدی سلول های تعریف شده در MODCEL

### ۲.۲. مدل هیدرودینامیکی

<sup>1</sup> Model of Cells

مدل هیدرودینامیکی از قانون بقای جرم و روابط هیدرولیکی به عنوان اجزای اصلی استفاده می کند. تغییرات تراز آب در یک سلول  $i$ ، در فاصله زمانی  $t$ ، با معادله پیوستگی به کار رفته برای سلول بیان می شود [۸].

$$A_{si} \frac{dZ_i}{dt} = P_i + \sum_k Q_{i,k} \quad (1)$$

که در آن  $Q_{i,k}$  دبی بین دو سلول  $i$  و  $k$ ،  $Z_i$  تراز سطح آب در مرکز سلول  $i$ ،  $A_{si}$  مساحت سطح آب برای سلول  $i$ ،  $P_i$  دبی مربوط به بارش بر سلول و  $t$  متغیر مستقل مربوط به زمان است. با گسسته سازی معادله ۱ داریم:

$$A_{si}^t \frac{Z_i^{t+1} - Z_i^t}{\Delta t} = P_i^{t+1} + \sum_k Q_{i,k}^{t+1} \quad (2)$$

فاصله زمانی گسسته با شاخص  $\Delta t$  نمایش داده می شود. زمان محاسباتی  $t+1$ ، موقعی که متغیرها مجهول هستند در نظر گرفته می شود. به عبارت دیگر در زمان  $t$ ، همه متغیرها معلوم هستند زیرا قبلاً محاسبه شده یا به صورت شرط اولیه داده شده اند. مساحت سطح آب،  $A_{si}$ ، که در معادله ۲ ظاهر می شود تابعی از تراز سطح آب معلوم  $Z_i^t$  است. شرط پایداری  $1 \ll \Delta A_{si}/A_{si}$  می باشد. میزان بارندگی  $P_i^{t+1}$  برای تمام بازه های زمانی، مشخص است.  $Z_i^{t+1}$  و  $Q_{i,k}^{t+1}$  مجهول هستند و مدل عددی به طور کامل ضمنی است. به منظور حل این معادله، دبی های مجهول به عنوان تابعی از تراز های آب در سلول  $i$  و همه سلول های همسایه  $k$  در نظر گرفته می شوند. بنابراین به منظور جلوگیری از حضور جمله غیرخطی در معادله ۲، از توسعه سری تیلور با در نظر گرفتن جمله های مرتبه اول استفاده می شود [۸].

$$Q_{i,k}^{t+1} = Q_{i,k}^t + \frac{\partial Q_{i,k}^t}{\partial Z_i} \Delta Z_i^{t+1} + \frac{\partial Q_{i,k}^t}{\partial Z_k} \Delta Z_k^{t+1} \quad (3)$$

با جایگذاری معادله ۳ در معادله ۲ داریم:

$$A_{si}^t \frac{\Delta Z_i^{t+1}}{\Delta t} = P_i^{t+1} + \sum_k Q_{i,k}^t + \sum_k \frac{\partial Q_{i,k}^t}{\partial Z_i} \Delta Z_i^{t+1} + \sum_k \frac{\partial Q_{i,k}^t}{\partial Z_k} \Delta Z_k^{t+1} \quad (4)$$

طبق معادله (۴)، دبی ها براساس زمان  $t$  نوشته شده اند که همه متغیرها معلوم هستند. متغیرهای مجهول  $\Delta Z_i^{t+1}$  و  $\Delta Z_k^{t+1}$  وابسته به سلول های  $i$  و  $k$  به ترتیب با ارتفاع سطح آب در  $Z_i^{t+1}$  و  $Z_k^{t+1}$  مرتبط هستند. سلول ها در یک مدل توپولوژیکی سازماندهی می شوند [۱۰].

### ۳.۲. قوانین دبی بین سلول ها

برای ارتباط دبی بین سلول ها از قوانین هیدرولیکی به شرح زیر استفاده می شود.

۱- ارتباط رودخانه/کانال: این ارتباط با جریان های رودخانه و کانال مرتبط می باشد و با جریان سطح آزاد مطابقت دارد. این ارتباط به یکی از دو صورت می تواند تعریف می شود.

الف) اگر از معادله دینامیکی سنت و نانت به صورت کامل استفاده شود. با در نظر گرفتن مقطع عرضی مستطیلی با کف ثابت و سلول  $i$  در بالادست نتیجه می شود [۱۰]:

$$Q_{i,k}^t = \frac{Q_{i,k}^{t-1} - g A_{i,k}^t \Delta t \cdot \frac{Z_k^t - Z_i^t}{\Delta x}}{1 - 2 \cdot \frac{(A_{i,k}^t - A_{i,k}^{t-1})}{A_{i,k}^t} - \frac{Q_{i,k}^{t-1}}{A_{i,k}^{t-1} \cdot A_{i,k}^t} \cdot \frac{(A_k^t - A_i^t)}{\Delta x} \cdot \Delta t + g \cdot A_{i,k}^t \cdot \frac{Q_{i,k}^{t-1} \cdot n^2}{A_{i,k}^{t-1} \cdot A_{i,k}^t (R_{i,k}^{t-1} \cdot R_{i,k}^t)^3} \cdot \Delta t} \quad (5)$$

که  $B_{i,k}$  عرض سطح جریان بین سلول های  $i$  و  $k$ ،  $A_{i,k}$  سطح مقطع عرضی مرطوب شده جریان بین سلول های  $i$  و  $k$ ،  $R_{i,k}$  شعاع هیدرولیکی سطح مقطع عرضی جریان بین سلول های  $i$  و  $k$ ،  $n$  ضریب زبری مانینگ و  $x$  و  $t$  متغیرهای مستقل به ترتیب مکانی و زمانی هستند. پارامترهای  $n$ ،  $A_{i,k}$  و  $R_{i,k}$  نمایانگر مقطع جریان بین سلول های  $i$  و  $k$  هستند و از طریق یک روش وزن دهی بین تراز های آب سلول های  $i$  و  $k$  محاسبه می شوند.

ب) اگر از جمله های اینرسی در معادله سنت و نانت صرف نظر شود از فرمول مانینگ - استریکلر استفاده می شود [۵]:

$$(6)$$

$$\phi(\bar{Z}_{i,k}) = \frac{K(\bar{Z}_{i,k})}{\sqrt{\Delta x}} = \frac{A_{i,k} \cdot R_{i,k}^{2/3}}{n \cdot \sqrt{\Delta x}}$$

که  $n$  ضریب زبری مانینگ،  $A_{i,k}$  مساحت مقطع عرضی جریان بین سلول های  $i$  و  $k$ ،  $R_{i,k}$  شعاع هیدرولیکی مقطع جریان بین سلول های  $i$  و  $k$ ،  $\bar{Z}_{i,k} = \alpha Z_i + (1-\alpha)Z_k$  متوسط وزنی تراز بین تراز های دو سلول  $i, k$  و تابع  $K$ ،  $K = K(\bar{Z}_{i,k}) = K(Z_i, Z_k)$  به عنوان فاکتور انتقال مقطع جریان بین دو سلول  $i$  و  $k$  تعریف می شود. ضریب وزنی  $\alpha$  در معادله ۶ برای یک جفت معین از سلول ها ثابت می باشد.  $\bar{Z}_{i,k}$  نتیجه درونیابی خطی بین تراز های  $Z_i$  و  $Z_k$  در مراکز سلول های  $i$  و  $k$  است. فرمول دبی به تابع علامت (قراردادی سازگار با توجه به جهت جریان) بستگی دارد و به صورت زیر نوشته شود [۵]:

$$Q_{i,k} = \text{sign}(Z_k - Z_i) \cdot \phi \cdot \sqrt{|Z_k - Z_i|} \quad (7)$$

۲- ارتباط جریان های سطحی: برای مدل سازی این نوع از جریان ها از فرمول ۷ استفاده می شود.

۳- ارتباط از نوع سرریزی: جاده ها یا خاکریزها یک مرز با افت هد قابل توجه بین دو سلول تشکیل می دهد. در این مورد از فرمول دبی کلاسیک برای سرریزهای لبه پهن استفاده می شود. جریان بر روی سرریز می تواند آزاد یا مستغرق باشد. مثلاً برای جریان خروجی از مخزن با فرض  $Z_i < Z_k$  (سلول  $i$  بالادست) و شرایط جریان آزاد از سرریز از معادله زیر استفاده می شود [۵].

$$Q_{i,k} = \mu \cdot b \cdot \sqrt{2g} \cdot (Z_i - Z_w)^{3/2} \quad (8)$$

که  $b$  عرض موثر سرریز،  $Z_w$  تراز ارتفاعی سرریز،  $Z_i$  تراز آب مخزن بالادست و  $\mu$  یک ضریب دبی می باشد.

۴- ارتباط روزنه: این ارتباط بیانگر فرمول کلاسیک جریان از طریق روزنه است.

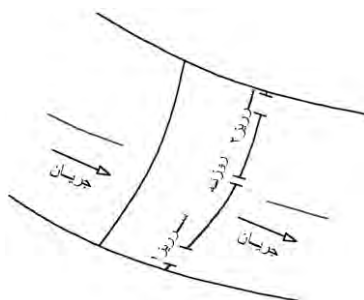
$$Q(h) = m A_0 \cdot \sqrt{2g} \cdot \sqrt{(Z_i - Z_r)} \quad (9)$$

که  $A_0$  سطح مقطع روزنه،  $Z_i$  تراز آب مخزن،  $Z_r$  تراز قرارگیری روزنه در مخزن و  $m$  ضریب ثابت تخلیه روزنه می باشد.

۵- ارتباط مخزن: جریان از طریق روزنه یا سرریز بین مخازن برقرار می شود. عملکرد مخزن در ابعاد مختلف سرریز و روزنه و جانمایی متفاوت آن ها در شرایط طراحی بررسی می شود [۱۰].

### ۳. حوضه مطالعاتی

برای مدل سازی توزیع جریان سیلابی بر بندسار، مناطق وُرزق با عرض و طول جغرافیایی به ترتیب ۳۳ درجه و ۳۸ دقیقه شمالی و ۵۹ درجه و ۱۹ دقیقه شرقی و با میانگین ارتفاع حدود ۱۶۰۴ متر مطابق شکل ۲ و اکبریته در ۳۳ درجه و ۴۱ دقیقه شمالی و ۵۹ درجه و ۶ دقیقه شرقی و با میانگین ارتفاع حدود ۱۵۵۰ متر مطابق شکل ۳ از روستاهای شهر قاین در خراسان جنوبی در نظر گرفته شدند. بندسارهای منطقه وُرزق بر بستر و در مسیل عریض احداث شده اند و بندسارهای منطقه اکبریته از ساحل رودخانه خشک آبخیزی می کنند. خشک رود در بالادست به دو شاخه تقسیم می شود در ساحل هر شاخه بندسارهایی جهت آبخیزی احداث شده است. شکل شماتیک آبخیزی هر دو نوع بندسار نیز ترسیم شده است.

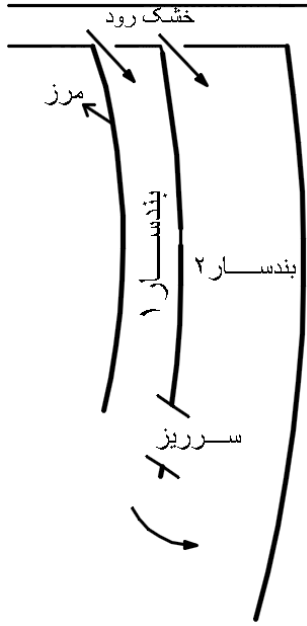


(ب)



(الف)

شکل ۲- الف) پلان بندسارهای منطقه وُرزق ب) شکل شماتیک آبخیزی از آبراهه عریض



(ب)



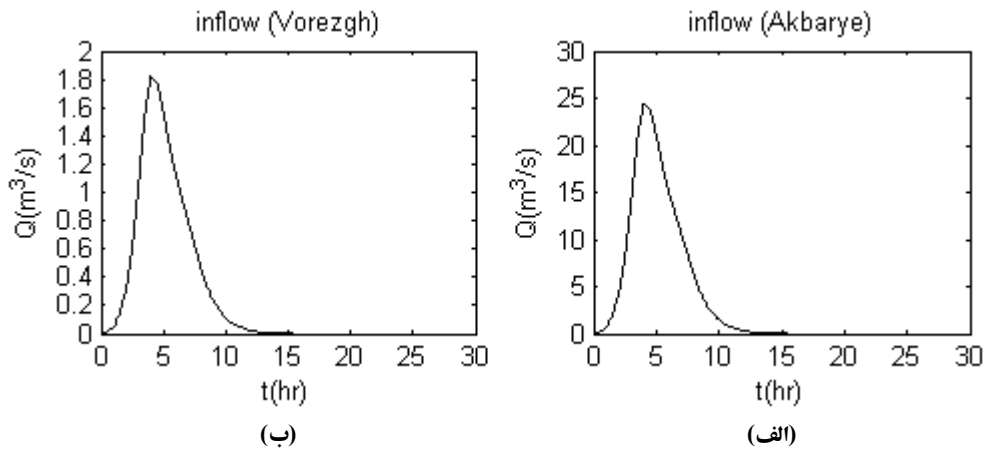
(الف)

شکل ۳- الف) پلان بندسارهای منطقه اکبری (ب) شکل شماتیک آبیگری از رودخانه

#### ۴. مدل هیدرولوژیکی

##### ۴.۱. هیدروگراف ورودی

آمار ۳۵ سال بارش منطقه جمع آوری شد و از روش های احتمالاتی گامبل و لوگ پیرسون نوع سه، بارش طرح دوساله منطقه محاسبه شد با توجه به بحرانی تر بودن مقدار بدست آمده از روش لوگ پیرسون نوع سه از آن برای محاسبه هیدروگراف طرح استفاده شد و با استفاده از روش SCS هیدروگراف های طرح دو ساله جهت مدل سازی برای هر منطقه (مطابق شکل ۴) بدست آمد.



شکل ۴- هیدروگراف طرح دوساله الف) منطقه اکبری (ب) منطقه وُزُوق

##### ۴.۲. مدل نفوذ و تبخیر

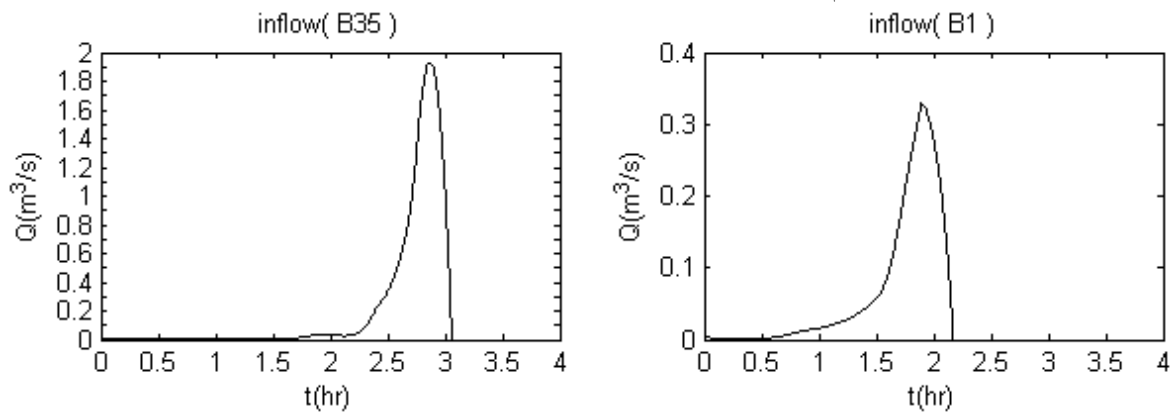
در این تحقیق از مدل هورتون برای مدل سازی نفوذ استفاده شد، سرعت نفوذ اولیه  $210 \text{ mm/hr}$ ، سرعت نفوذ نهایی  $32/4 \text{ mm/hr}$  و پارامتر ثابت کاهش سرعت نفوذ،  $2/7 \text{ hr}^{-1}$  در نظر گرفته شد [۱۲]. برای مدل سازی تبخیر، فرمول تجربی زیر به کار گرفته شد [۱۳].

$$E=0.35(e_s-e_d)(0.5+U_2/100) \quad (10)$$

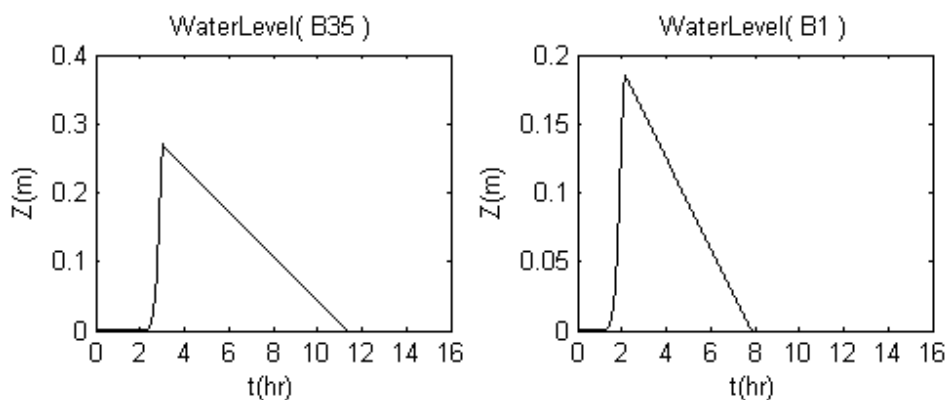
که  $(e_p - e_h)$  اختلاف فشار بخار اشباع و فشار بخار واقعی  $1/96$  (میلی متر جیوه) محاسبه شد و سرعت متوسط باد  $U_2$  در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین  $161/09$  (مایل بر روز) در نظر گرفته شد.

## ۵. نتایج و بحث

از بندسارهای منطقه اکبری برای مطالعه انواع کنارآبراهه ای استفاده شد. جهت مدل سازی جریان در این منطقه هیدروگراف سیل دوساله به عنوان شرط مرزی به آن وارد شد. پس از برقراری جریان سیلاب در خشک رود، بندداران منطقه به آبخیزی اقدام می کنند. کشاورزان با حضور خود در زمان آبخیزی بندسار، جریان ورودی به آن را کنترل می کنند. پس از آبخیزی بندسار به مقدار کافی، بنددار اقدام به بستن جریان ورودی می کند تا سبب آسیب به بندسار نشود و همچنین بندداران پایین دست بتوانند از جریان سیلاب استفاده کرده بندسارهای خود را تغذیه کنند. در این تحقیق براساس هیدروگراف سیل ورودی و مساحت هر بندسار مدیریت بهینه سیلاب به گونه ای انجام گرفت که همه بندها تغذیه شوند تا بندسارهای پایین دست برای استفاده از جریان سیل با مشکل مواجه نشوند. بنابراین فرض بر آن است که جریان ورودی از خشک رود پس از رسیدن تراز آب در پشت هر بندسار به ۱۰ سانتی متر در یک بازه زمانی ۱۵ دقیقه ای کاملاً متوقف شود. ارتفاع بندسارها  $0/95$  متر می باشد و در هر یک از آن ها سرریزی در ارتفاع ۵۰ سانتی متر با عرض ۳ متر احداث شده است بطوریکه اگر تراز آب پشت بندسار، بالاتر از سرریز شد آب مازاد به بندسار بعدی هدایت شود تا از مخاطرات تخریب ناشی از روگذری بند خاکی جلوگیری شود. در شکل های ۵ و ۶ هیدروگراف و تراز آب از خشک رود به بندسارهای B1 و B35 در ابتدا و انتهای محدوده مطالعاتی به عنوان نمونه ترسیم شده است. در نمودارهای شکل ۷ هیدروگراف های جریان در ایستگاه های R2 و R3 (پس از مجموعه بندسارها مطابق شکل ۳) در دو حالت با و بدون بندسار ترسیم شده است.

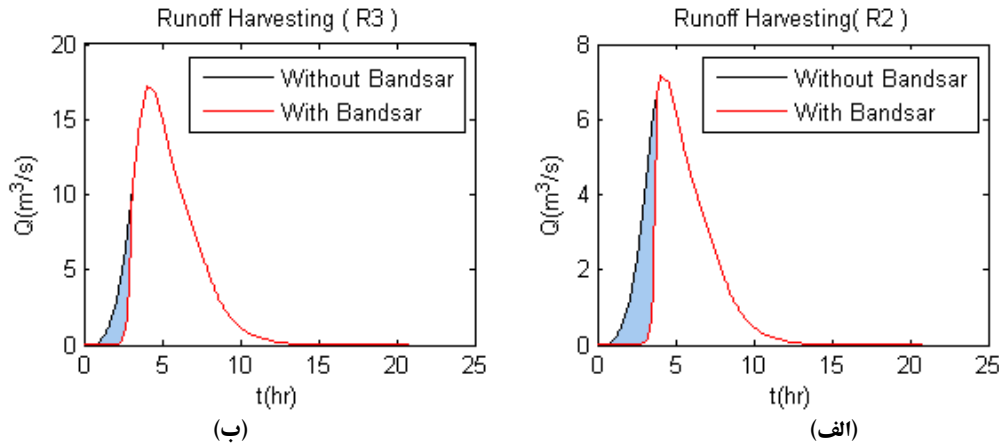


شکل ۵- هیدروگراف های جریان ورودی از خشک رود به بندسارهای B1 و B35 از آغاز سیلاب



شکل ۶- تراز های ارتفاعی آب شکل گرفته در بندسارهای B1 و B35

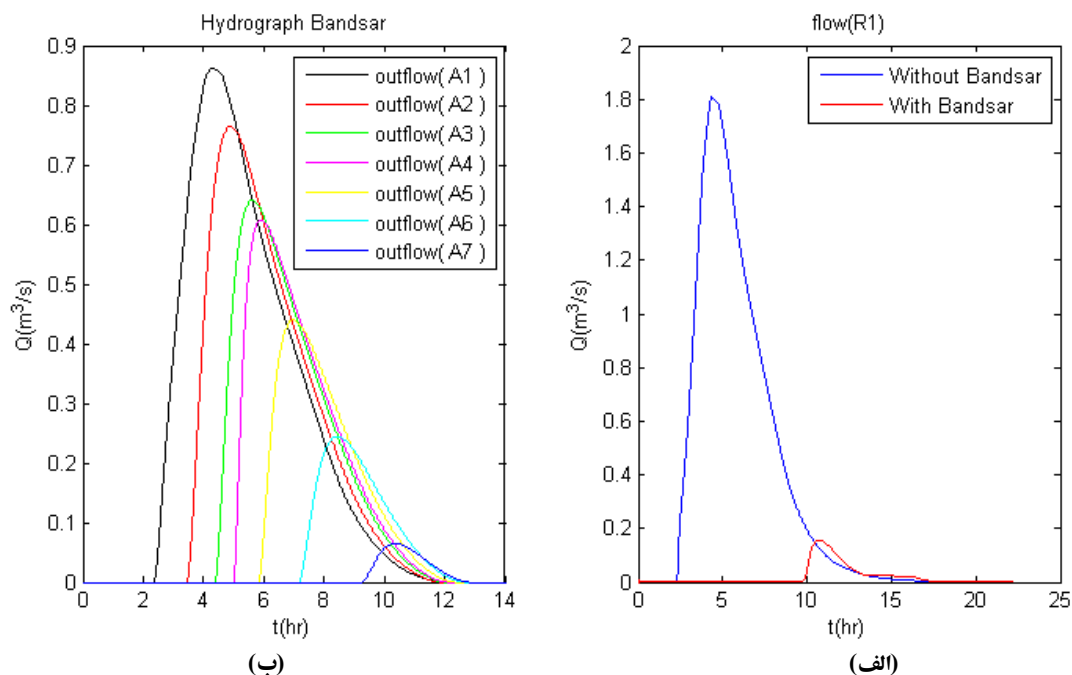
بندسار B35 در پایین دست است بنابراین دیرتر آبخیزی می شود و چون مساحت بیش تری دارد حجم سیلاب دریافتی آن زیادتر است. در شکل ۶ تراز آب در هر دو بندسار در مدت نسبتاً کوتاهی به حداکثر خود می رسد اما پس از آن به سبب نفوذ به تدریج به طور تقریباً خطی با شیب ملایمی کاهش پیدا می کند. اما نظر بر آنکه بندسارها ظرف چند ساعت اول از آغاز سیلاب پر می شوند در کاهش دبی اوج سیلاب نقشی ندارند.



شکل ۷- الف) هیدروگراف های جریان در ایستگاه R2 ب) هیدروگراف های جریان در ایستگاه R3

حجم کل سیلاب ورودی به منطقه اکبری از هیدروگراف شکل ۴-الف معادل ۳۶۸۶۶۱ مترمکعب تخمین زده می شود که از این مقدار ۱۱ درصد توسط بندسارها ذخیره می گردد و با نفوذ به داخل خاک، زمین را مستعد کشت دیم می کند. کارایی بندسارهای منطقه اکبری در استحصال سیلاب شامل کاهش حجم سیلاب در ایستگاه های R2 و R3 می باشد. در نتیجه حجم سیلاب به ترتیب ۲۰ درصد و ۸ درصد ( مطابق قسمت رنگ شده بین دو منحنی در شکل ۷) در حضور بندسار کاهش پیدا می کند.

بندسارهای منطقه وُرزق در مسیر آبراهه ای عریض قرار گرفته اند به این صورت که بندهای پایین دست از طریق سرریز بند بالادست آبیگری می شوند. جهت مدل سازی جریان در این منطقه هیدروگراف سیل دو ساله به عنوان شرط مرزی به آن وارد شد و دو سرریز در ارتفاع ۰/۳ متری با عرض ۲ متر و یک روزنه به قطر ۰/۲ متر در کف برای هر بندسار در نظر گرفته شد. ارتفاع بندسارها در حدود ۱ متر بود. کارایی بندسارهای منطقه وُرزق در استحصال سیلاب شامل کاهش حجم، کاهش دبی اوج و افزایش زمان رسیدن به دبی اوج در ایستگاه R1 (مطابق شکل ۲) بررسی شد. در شکل ۸-الف هیدروگراف های جریان در ایستگاه R1 در دو حالت با و بدون بندسار ترسیم شده است. به علت وجود مخازن متعدد پشت هر بندسار اختلاف اوج هیدروگراف و نیز زمان رسیدن سیلاب به ایستگاه R1 در حالت با و بدون بندسار قابل ملاحظه است. در شکل ۸-ب هیدروگراف های خروجی از سرریزها کشیده شده است. هر مخزن در کاهش دبی بندسار تاثیر دارد.



شکل ۸- الف) هیدروگراف های جریان در ایستگاه R1 ب) هیدروگراف های خروجی از سرریز بندسارها



بندسارهای منطقه وُرزق کارایی ۹۵ درصد را با استحصال ۲۵۸۷۰ مترمکعب از حجم کل سیلاب نشان می دهند.

## ۶. نتیجه گیری

در این پژوهش نقش بندسارها بعنوان سازه های سنتی در کنترل سیلاب خشک رودها مطالعه شد. جریان ورودی، خروجی و ذخیره آبی در بندسارها با استفاده از الگوریتم MODCEL مدل سازی شد. عملکرد بندسارهای دو منطقه اکبری و وُرزق در قائل در سیلاب های دو ساله بررسی شدند. مجموعه بندسارهای اکبری از حاشیه رودخانه تغذیه می کردند و بندسارهای وُرزق مستقیماً از مسیل آبگیری می کردند. و نتیجه گیری شد که بندسار، بسته به چگونگی آبگیری و حجم ذخیره، می تواند در کاهش حجم سیلاب، دبی اوج هیدروگراف و زمان رسیدن به آن موثر باشد. بندسارهایی که از حاشیه رودخانه آبگیری می کنند سریعتر به دبی اوج میرسند اما بندسارهای واقع در مسیل زمان رسیدن به دبی اوج را بطور قابل توجهی به تاخیر می اندازند. آب ذخیره شده در بندسار به تدریج در زمین نفوذ می کند و محیط مناسبی را جهت کشت دیم فراهم می سازد.

## ۷. مراجع

۱. عرب خدری، م. و کمالی، ک. (۱۳۹۶). بندسار: روش سنتی حفاظت خاک و آب برای کشاورزی سیلابی. نشر آموزش کشاورزی، چاپ اول.
۲. اکبری، م.، دستورانی، م.ت. و عباسی، ع.ا. (۱۳۹۴). بررسی ساختار بندسارها به عنوان سازه های سنتی استحصال آب باران در مناطق خشک و نیمه خشک (مطالعه موردی: منطقه جنوب سبزوار). چهارمین همایش ملی سامانه های سطوح آبگیر باران، مشهد، ایران، ۲۸ و ۲۹ بهمن.
3. Nazari Samani, A.A., Khalighi, S., Arabkhedri, M. and Farzadmehr, J. (2014). Indigenous knowledge and techniques of runoff harvesting (Bandsar and Khooshab) in arid and semi arid regions of iran, Journal of water resource and protection, 6,784-792
4. Zanobetti, D., Lorgeré, H., Preissman, A., and Cunge, J.A. (1970). Mekong Delta Mathematical Program construction, Journal of the Waterways, Harbors and Coastal Engineering Division, 96(2), 181-199.
5. Cunge, J.A. (1975). Two-Dimensional modeling of flood plains, In: Mahmood, K. and Yevjevich, V. (editor), Unsteady Flow In Open Channels. Water Resources Publications. Volume II.
6. Mascarenhas, F.C.B. and Miguez, M.G. (2002). Urban flood control through a mathematical cell model, International water resources, 27(2), 208-218.
7. Mascarenhas, F.C.B., Miguez, M.G., Magalhaes, L.P.C. and Prodanoff, J.H.A. (2007). Comparison of different multifunctional landscapes approaches for flood control in developing countries, Computacional Hydraulic Laboratory, Federal University, Rio de Janeiro, Brazil, 83-90.
8. Miguez, M.G., Mascarenhas, F.C.B. and Verol, A.P. (2011). MODCEL: A mathematical model for urban flood simulation and integrated flood control design. Convegno Nazionale Di Idraulica Urbana, Venezia, Italy, 21 - 24 giugno.
9. Miguez, M.G., Verol, A.P., Mascarenhas, F.C.B., Santos, R.B. and Martingil, M.C. (2012). Compensatory techniques on urban drainage for flood control with the aid of mathematical modelling: a case study in Rio de Janeiro city, WIT Transactions on The Built Environment, 122, doi:10.2495/UW120201.
10. Miguez, M.G., Battemarco, B.P., Sousa, M.M.D., Rezende, O.M., Verol, A.P. and Gusmaroli, G. (2017). Urban flood simulation using MODCEL-An alternative quasi-2D conceptual model, journal of water, 9, 445, doi:10.3390/w9060445.
11. Brito, P.L.C., Miguez, M.G. and Azevedo, J.P.S. (2018). Baseflow representation module on MODCEL, Revista Brasileira de Recursos Hidricos Brazilian journal of water resources, Porto Alegre, Brazil
12. Chow, V. T, Maidment, D.R., Mays, L.W. (1988). Applied Hydrology, McGraw-Hill Book Company, New York.

۱۳. علیزاده، الف. (۱۳۸۹). اصول هیدرولوژی کاربردی، موسسه چاپ و انتشارات آستان قدس رضوی، چاپ سی ام.