



## A Mathematical Model for Agricultural Flood Loss Estimation

Z. Ganji<sup>1</sup> and A. Shokoohi<sup>2\*</sup>

### Abstract

In Iran, the history of the scientific study of flood loss is not so long and is limited to structural losses. The calculation of agricultural losses due to flood are more difficult to assess, due to its dependence on plant type, plant's strength during flood period, and the coincidence of the flood occurrence with the plant growing stages. In this article, the required functions for determining the expected loss with respect to the most important hydraulic parameters and the plant's growing stages are presented for rice. In the case study the two factors of loss percent per growing stage ( $\beta$ ) and the probability of the coincidence of flood occurrence with different growing stages ( $\alpha$ ) were used to calculate the expected loss. The CCHE was used as the hydraulic model and all calculations were performed in GIS environment. Currently for any flood prone area, the flood loss is considered as 100%. While the outcomes of this research illustrates that flooding may even cause no loss and one may find points in the flood prone area where the loss is zero. The presented procedure can be used as a basis for determining the required criteria for flood risk management and developing a comprehensive insurance program against flood.

**Keywords:** Agricultural flood loss, Spatial and temporal loss functions, Weighted coefficient of growth, Probabilistic weighted coefficient, Flood, Rice.

Received: September 3, 2013

Accepted: July 8, 2014

## ارائه مدل ریاضی پیش‌بینی خسارت کشاورزی ناشی از سیل

زهرا گنجی نوروژی<sup>۱</sup> و علیرضا شکوهی<sup>۲\*</sup>

### چکیده

بررسی علمی خسارت ناشی از سیلاب در کشور ما قدمت چندانی ندارد و بیشتر به خسارتهای ساختمانی محدود می‌گردد. محاسبه خسارت کشاورزی به علت وابستگی به نوع گیاه، میزان مقاومت گیاه در هنگام بروز سیل، تطابق زمان رخداد سیل با یکی از دوره‌های رشد بسیار پیچیده‌تر از دیگر انواع خسارتهای می‌باشد. در این پژوهش، که بطور موردی روی برنج صورت گرفته است، توابع لازم برای تعیین خسارت محتمل بر حسب مهمترین پارامترهای هیدرولیکی مؤثر و برای دوره‌های مختلف رشد برنج بدست آورده شده است. در مطالعه موردی صورت گرفته از دو ضریب تأثیر (میزان خسارت بر حسب دوره رشد ( $\beta$ ) و احتمال همزمانی سیلاب با دوره‌های رشد ( $\alpha$ )) برای تعیین امید ریاضی خسارت استفاده شده است. مدل هیدرولیکی مورد استفاده، CCHE می‌باشد و محاسبات در محیط GIS صورت گرفته است. در حال حاضر خسارت برای هر منطقه سیل گرفته صددرصد در نظر گرفته می‌شود و خسارت وارده برحسب مساحت سیل گرفته و نوع محصول برآورد می‌گردد. یافته‌های تحقیق نشان می‌دهند که سیل گرفتن به معنای خسارت صددرصد نبوده و می‌توان نقاطی با خسارت صفر درصد را نیز در منطقه سیل زده یافت. روش مورد استفاده در این تحقیق می‌تواند زمینه‌ساز تعیین معیارهای لازم برای مدیریت سیلاب و بیمه محصولات کشاورزی باشد.

**کلمات کلیدی:** خسارت کشاورزی، توابع خسارت زمانی و مکانی، ضریب وزنی رشد، ضریب وزنی احتمالاتی، سیل، برنج.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۲ شهریور ۱۳۹۳

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۷ تیر ۱۳۹۳

1- Assistant Professor, Water Engineering Department, Faculty of Agriculture, Shahroud Industrial University, Shahroud, Iran.

2- Associate Professor, Water Engineering Department, Faculty of Engineering and Technology, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.  
Email: shokoohi@eng.ikiu.ac.ir

\*- Corresponding Author

۱- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران.

۲- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران

\*- نویسنده مسئول

سیل با استفاده از روش ارائه شده در محیط GIS صورت پذیرفت که نتایج آن در بخش‌های بعدی خواهد آمد.

## ۲- سابقه پژوهش مدل‌سازی خسارت سیلاب

تحقیقات بسیار اندکی در مورد پیش‌بینی یا برآورد خسارت کشاورزی انجام شده و توابع خسارت کشاورزی جز برای چند گیاه محدود مورد بررسی قرار نگرفته است. علاوه بر مسئله عدم وجود تابعی که بتواند ارتباطی کامل بین پارامترهای سیل و میزان خسارت را بصورت توزیعی برقرار کند، پیچیدگی نحوه تأثیر زمان رخداد سیل (که در تحلیل فراوانی سیل مدنظر قرار نمی‌گیرد ولی با توجه به زمان رشد گیاه در میزان خسارت کشاورزی مؤثر است) نیز بر مشکلات پیش‌بینی خسارت کشاورزی می‌افزاید. با توجه به این امر لازم است که از مجموعه دانش موجود در برآورد دیگر انواع خسارتها نظیر خسارت‌های ساختمانی نیز استفاده به عمل آید که در این بخش به مهمترین آنها اشاره خواهد شد.

Kalyanapu و همکاران با استفاده از یک مدل هیدرولیکی دو بعدی تلاش نمودند تا با استفاده از روش مونت کارلو نقشه‌ای بهتر و با عدم قطعیتی کمتر را برای مناطق سیل‌گیر بدست دهند. در این حالت و در مقایسه با روشهای قطعی مساحت مناطق پرخطر  $9/3$  درصد افزایش یافت (Kalyanapu et al., 2012). در یکی از آخرین کارهایی که توسط Solin برای تعیین میزان آسیب‌پذیری مناطق شهری انجام شده است وی توانست با توسعه اندکس‌های ترکیبی، بطور تقریب میزان حساسیت به وقوع سیل، مقاومت در مقابل آن و توانایی مقابله با مسائل بعد از سیلاب را کمی نماید (Solim, 2012). در تحقیقاتی ارزشمند Ahmad and Simonovic به اهمیت ریسک زمانی و مکانی و ترکیب این دو ریسک برای رسیدن به برآوردی مناسب از خسارت سیلاب پرداخته و سعی نمودند به کمک روش فازی عدم‌قطعیت‌های زمانی و مکانی ناشی از بکارگیری مدل Mike21 را تعیین نمایند (Ahmad and Simonovic, 2011). Middelmann-Fernandes نشان داد که استفاده مجزا از هر کدام از منحنی‌های خسارت - عمق و خسارت - سرعت برای برآورد خسارت ساختمانی میزان خسارت را کم برآورد نموده و بر استفاده ترکیبی از این منحنی‌ها برای برآورد واقعی‌تر میزان خسارت تاکید نمود (Middelmann-Fernandes, 2010). Dutta و همکاران در مطالعه‌ای که بر روی خسارت ساختمانی و برخی محصولات کشاورزی انجام دادند، ابتدا توسط یک مدل هیدرولوژیکی عمق آب را در نقاط مختلف حوضه برآورد کردند و سپس با ترکیب توابع عمق- خسارت و نقشه عمق- سیل، خسارت را محاسبه نمودند

دسترسی به آب و وجود خاک مناسب باعث می‌شود که سیلابدشت‌ها علیرغم همه خطرات ناشی از سیل همواره به عنوان مناطق کشاورزی مورد بهره‌برداری قرار گیرند. سیل با طغیان رودخانه و جاری شدن آب در سیلابدشت باعث وارد آمدن خسارت به محصولات کشاورزی می‌شود که بخش مهمی از خسارت ناشی از سیل را شامل می‌گردد (Berning et al, 2000). خسارت کشاورزی ناشی از سیلاب می‌تواند با توجه به نوع گیاه و مرحله رشد آن از چند تا صد درصد متفاوت باشد. تخمین خسارت پس از رخداد سیل همواره یکی از چالش‌های مدیریت بحران و ریسک بوده و خواهد بود. پاسخ درست به این سؤال ساده که "رخداد سیل با یک دوره برگشت خاص چه خسارتی در منطقه ایجاد خواهد کرد؟" یکی از اولین و ضروری‌ترین اطلاعات لازم برای تصمیم‌گیری صحیح مدیران و مسؤولین منطقه جهت مدیریت سیل و نیز شرکت‌های بیمه جهت برنامه‌ریزی‌هایی از قبیل تعیین میزان حق بیمه و میزان پرداخت خسارت به ازای رخداد سیل است. غالباً معیار و روش مشخصی برای برآورد خسارت کشاورزی ناشی از سیل وجود ندارد و همانطور که در بخش بعدی دیده می‌شود سیل‌گرفتگی برابر با خسارت صددرصد فرض می‌شود. یکی از علل اصلی این نقصان، عدم وجود تابعی است که بتواند ارتباط بین پارامترهای فیزیکی سیل و میزان خسارت را برقرار نماید. پیش‌بینی خسارت و ترکیب "هیدرولیک سیل و توابع خسارت" به علت وابستگی خسارت کشاورزی به زمان رخداد سیل معمولاً پیچیده‌تر و مشکل‌تر از بقیه انواع خسارتها می‌باشد و شاید به همین دلیل روشی که بتواند برای برآورد توأم ریسک زمانی و مکانی، هیدرولیک سیل و توابع خسارت کشاورزی را با یکدیگر ترکیب کرده و احتمال رخداد متفاوت یک سیل با بزرگی معین را در هر یک از مراحل رشد مدنظر قرار دهد تا کنون ارائه نشده است.

با توجه به مباحث ذکر شده و نیازی که به پیش‌بینی خسارت کشاورزی برای تعیین ریسک مطلوب بخش کشاورزی جهت مدیریت صحیح سیلاب احساس می‌گردد، این تحقیق بر یافتن روشی برای تلفیق و اعمال اثر تغییرات زمانی وقوع سیل (در ارتباط با مراحل رشد گیاه) بر تغییرات مکانی پارامترهای فیزیکی مؤثر بر خسارت‌های ناشی از سیل متمرکز شده است. در این راستا جهت شبیه‌سازی سیل از مدل دوعبده CCHE استفاده گردیده است. همچنین از توابع خسارت زمانی و فیزیکی گیاه برنج که کشت غالب مناطق شمالی ایران بوده و محصولی استراتژیک می‌باشد به عنوان نمونه استفاده گردید. در نهایت ترکیب توابع خسارت و هیدرولیک

(Dutta et al, 2003). تحقیق Dutta از ارزشمندترین کارهای انجام شده در زمینه برآورد خسارت کشاورزی است ولی اولاً در این مطالعه، تابع خسارت-عمق برای محصولات کشاورزی در مراحل مختلف رشد توسعه داده نشده و ثانیاً اشاره‌ای به زمان رخداد سیل نمی‌گردد. Bernning و همکاران در تحقیقی که بر روی محصول نیشکر انجام دادند تابع عمق - خسارت را برای ماه‌های مختلف سال گسترش دادند. آنها به نوعی با این تحقیق اهمیت زمان رخداد سیل و بزرگی سیل را در میزان خسارت خاطرنشان کردند اما علاوه بر اینکه این توابع را با هیچ مدل هیدرولیکی ترکیب نکردند (عدم توجه به توزیع مکانی سیل) پیش‌بینی خسارت و نیز احتمال رخداد سیل در ماه‌های متفاوت سال را نیز مورد توجه قرار نداده‌اند (Bernning et al, 2000).

برای محققین ایرانی شاید مسئله هشدار سیل بیشتر از بقیه موارد جذاب بوده است (امیدوار و همکاران، ۱۳۸۴، خدایی و همکاران، ۱۳۸۵). در این میان مطالعات محدودی نظیر تنظیم منحنی فرمان سد با توجه به میزان خسارت کلی در پایین دست (ملک محمدی و همکاران، ۱۳۸۶)، بهره‌گیری از مدل‌های رقومی ارتفاعی با فرض خسارت صددرصد در هر سلول آب گرفته (مصباحی و همکاران، ۱۳۸۶) و همچنین موردی دیگر در خصوص استفاده از بیمه سیلاب در مناطق شهری (ملک محمدی و تجریشی، ۱۳۸۴) نیز گزارش شده است. وزارت نیرو نیز برای ارزیابی اولیه خسارتهای ناشی از سیل در پیش نویسی که ارائه نموده است از میان پارامترهای اثرگذار سیلاب به عمق جریان و برای محصولات کشاورزی به مدت زمان ماند جریان توجه می‌نماید. در این راهنما به درستی به اهمیت زمان رخداد سیلاب با توجه به دوره رشد گیاهان زراعی توجه شده است ولی هیچ‌راه حلی برای ارزیابی و تعیین خسارت با ترکیب خطرات زمانی و مکانی پیشنهاد نمی‌گردد (وزارت نیرو، ۱۳۸۵). تنها مطالعه‌ای که در ایران با عنوان تعیین خسارت کشاورزی ناشی از سیل صورت گرفته است مربوط می‌شود به حکمتی‌فر و همکاران. این محققین بجای تابع تراز- خسارت، به صورت ثابت به ازای هر سلول آب‌گرفته خسارتی معادل ۲۰۰۰ ریال (با توجه به محصولات قابل کاشت در منطقه) در نظر گرفته و در نتیجه با اجرای مدل هیدرولیکی و شمارش سلول‌های آب گرفته خسارت مورد انتظار منطقه مطالعاتی را بدست آوردند (حکمتی‌فر و همکاران، ۱۳۸۸).

مدل‌ها و از سری برنامه‌های HEC می‌باشد که توسط مرکز مهندسی هیدرولوژی (HEC) وابسته به مهندسی ارتش آمریکا توسعه داده شده است. این مدل از روش فراوانی برای محاسبه خسارت سالانه مورد انتظار استفاده کرده و برای مقادیر خاص سیل، خسارت را محاسبه و سپس تابع احتمال تجاوز- خسارت را به دست می‌آورد. شاید یکی از مهمترین اشکالات FDA علاوه بر گرفتن تابع خسارت از کاربر آن باشد که برای برآورد خسارت سیل هیچ‌گونه توزیع زمانی را در نظر نمی‌گیرد (HEC\_FDA, 2008; FEMA, 2008; Smith and Greenaway, 1988). HAZUS نرم‌افزاری است که توسط اداره مدیریت حوادث اضطراری (FEMA) و برای محاسبه خسارت مستقیم ساختمانی ناشی از سیل در آمریکا گسترش داده شده است. این نرم‌افزار از آمار سیل‌های گذشته به همراه آمار جمعیت، خانه‌ها و ماشین‌ها و غیره استفاده کرده و تابع عمق-خسارت را برای مناطق مختلف آمریکا برای برآورد خسارت ساختمانی با جزئیات زیاد و به تفصیل به دست می‌آورد. این نرم‌افزار روی توابع خسارت متمرکز شده و خسارت سالانه محتمل را برآورد نمی‌کند و بنابراین علاوه بر توزیع زمانی، توزیع مکانی سیل را نیز مورد توجه قرار نمی‌دهد و در آن مدولی برای ترکیب هیدرولیک سیل و خسارت پیش‌بینی نشده است. ANUFLOOD (FEMA, 2008) نیز که توسط مرکز مطالعات منابع و محیط زیست دانشگاه بین‌المللی استرالیا (CRES) ارائه گردیده، برای ارزیابی خسارت وارد بر داراییهای مسکونی و صنعتی بر پایه منحنی‌های عمق سیلاب-خسارت توسعه یافته است (Smith and Greenaway, 1988). بطور کلی می‌توان گفت که تقریباً در همه مدل‌های ارائه شده تا کنون، احتمال رخداد سیل در زمان‌های مختلف مدنظر قرار نگرفته است.

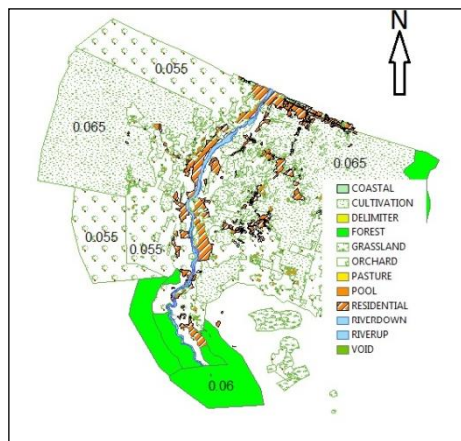
بدین ترتیب می‌توان اذعان داشت که در اکثر تحقیقات صورت گرفته، توزیع زمانی و مکانی سیل و ترکیب آنها کمتر مورد توجه محققین بوده و این در حالی است که زمان رخداد سیل می‌تواند از صفر تا صد درصد در میزان خسارت مؤثر باشد. در این راستا و با توجه به همه مسائل فوق‌الذکر در این مطالعه سعی شده است روشی جهت پیش‌بینی خسارت کشاورزی با توجه به توزیع زمانی و مکانی سیل ارائه گردد.

### ۳- مواد و روش‌ها

پیش‌بینی خسارت کشاورزی ناشی از یک سیل با بزرگی معین برای یک گیاه خاص، وابسته به احتمال رخداد سیل در هر یک از مراحل

نرم‌افزارهای موجود برآورد خسارت مثل HAZUS، ANUFLOOD و ESTDAM نیز اغلب برای خسارت‌های ساختمانی و صنعتی طراحی شده‌اند. FDA یکی از مهم‌ترین این

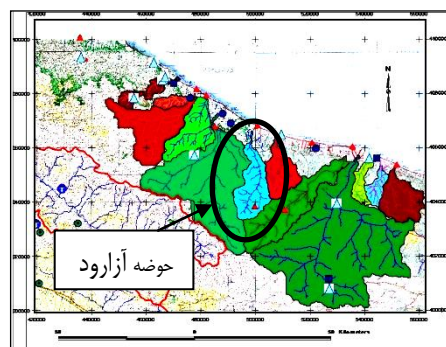
مدل هیدرولیکی مورد استفاده در این پژوهش مدل CCHE می‌باشد. CCHE یک مدل دویعدی برای شبیه‌سازی جریانهای غیرماندگار و آشفته، انتقال رسوب و ارزیابی کیفیت آب می‌باشد. هدف از طراحی این مدل، پیش‌بینی بستر رودخانه و فرسایش ساحلی، انتقال مائند و کیفیت آب است ولی می‌توان از آن برای ارزیابی اثرات هیدرولیکی سازه‌ها، طراحی سازه‌های جدید در مسیر رودخانه، تغییرات مورفولوژی رودخانه و غیره نیز استفاده کرد. استفاده از CCHE علیرغم توانمندی شبیه‌سازی زمان ماند در سیلابدشت‌ها، برای شبیه‌سازی جریان در این بستر با مشکلاتی روبرو است که می‌تواند با معرفی ترکیبی از توپوگرافی سیلابدشت و رودخانه به جای توپوگرافی رودخانه حل گردد. بزرگترین مشکل در این راستا، عدم تطابق مقیاس نقشه آبراهه و سیلابدشت و لذا دقت برداشت آنها می‌باشد. توضیح بیشتر آن که تعداد نقاط برداشت شده برای آبراهه که معمولاً با مقیاس ۱:۱۰۰۰ نقشه‌برداری می‌شود، ۴۰ برابر تعداد نقاط برداشتی نقشه‌های معمول برای سیلابدشتها با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ می‌باشد. در مطالعه حاضر جهت رفع این مشکل نقشه‌های ۱:۱۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰ در محیط GIS با هم ترکیب شده و سپس با ساختن نقشه رقومی (Digital Elevation Model) و درونیابی، نقاط لازم برای شبکه‌بندی در مدل تأمین گردید. مدل CCHE می‌تواند زبری بستر را هم به صورت ضریب زبری مانینگ و هم با استفاده از فرمول‌های محاسبه زبری بستر شبیه‌سازی کند. در این مطالعه جهت شبیه‌سازی زبری بستر از ضریب زبری مانینگ استفاده شده است.



شکل ۲ - کاربری اراضی منطقه آزارود و ضرایب مانینگ برای هر نوع از کاربری اراضی

رشد گیاه، توپوگرافی منطقه، مساحت زیر کشت آن محصول در منطقه، مقاومت فیزیکی گیاه در مقابل سیل و قیمت آن محصول می‌باشد. بنابراین پیش‌بینی خسارت کشاورزی نیازمند تحلیل فراوانی سیل در منطقه، شبیه‌سازی هیدرولیکی سیل با توجه به توپوگرافی، تعیین توابع خسارت فیزیکی تک تک گیاهان منطقه مورد مطالعه و میزان سرمایه‌گذاری کشاورز در هر یک از مراحل رشد گیاه می‌باشد. در این بخش ابتدا به نحوه تحصیل هر یک از عوامل بالا پرداخته و در نهایت برای پیش‌بینی خسارت کشاورزی با در نظر گرفتن احتمال رخداد سیل در هر یک از مراحل رشد گیاه، روشی برای ترکیب عوامل فوق با یکدیگر ارائه می‌گردد.

در این مطالعه گیاه برنج به عنوان گیاه مورد مطالعه جهت استخراج تابع خسارت کشاورزی و حوضه آزارود جهت منطقه مطالعاتی انتخاب گردید. آزارود از رودخانه‌های مستقل زیرحوضه چالوس است که از کوه‌های واقع در ۴۰ کیلومتری جنوب شرقی شهر تنکابن سرچشمه می‌گیرد و در نهایت به دریای مازندران می‌ریزد. دو ایستگاه هیدرومتری دینارسرا و نشتارود به ترتیب در بالادست و پایین دست این رودخانه قرار دارند. شکل ۱ موقعیت این حوضه و محل ایستگاه‌ها را نشان می‌دهد. بر اساس داده‌های موجود، دو ایستگاه دینارسرا و نشتارود به ترتیب دارای ۲۷ سال و ۱۰ سال داده‌برداری می‌باشند. با داشتن سیلابهای لحظه‌ای برای ایستگاه دینارسرا، فراوانی سیلابها در رودخانه آزارود مطابق جدول ۱ به دست آمده است.



شکل ۱ - موقعیت حوضه مورد مطالعه

جدول ۱ - سیلابهای حدی رودخانه آزارود ( $m^3/s$ )

| دوره بازگشت (سال) |        |        |        |       |       |       | نوع معادله | ایستگاه                   |
|-------------------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|------------|---------------------------|
| ۵۰۰               | ۲۰۰    | ۱۰۰    | ۵۰     | ۲۵    | ۱۰    | ۵     |            |                           |
| ۲۶۵/۲۵            | ۱۹۴/۷۳ | ۱۵۲/۸۴ | ۱۱۸/۶۷ | ۹۰/۸۱ | ۶۱/۴۴ | ۴۳/۳۶ | ۲۲/۸۳      | Generalized Extreme Value |

$$D_j = IC_t + NR \quad (2)$$

که در آن  $D_j$  خسارت مستقیم وارد به محصول،  $IC_t$  هزینه سرمایه‌گذاری صورت گرفته تا زمان  $t$   $NR$  درآمد خالص (درآمد منهای همه هزینه‌ها)،  $z$  واقعه سیل و  $t$  تاریخ سیل می‌باشد.  $IC_t$  و  $NR$  برحسب دوره رشد متفاوت بوده و لذا رابطه (۲) برحسب دوره رشد قابل تفکیک می‌باشد. از روی معادله ۲ معادله خسارت مستقیم محصول در دوره نشا به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$D_j = PC_t \quad (3)$$

که در آن  $D_j$  خسارت مستقیم محصول (برنج) از واقعه  $z$  و  $PC_t$  هزینه‌های آماده سازی محصول شامل آماده سازی ابتدایی برای کشت، بذریاشی (نشا)، کوددهی، آفت کشی و نیروی کارگری می‌باشد که تا زمان  $t$  از سال صورت گرفته است.  $NR$  به این علت که کشاورز فرصت کشت مجدد را دارد جزء خسارات وارده محسوب نمی‌شود. در دوره‌های ساقه‌زنی و خوشه‌دهی هزینه‌هایی نظیر وجین، آبیاری و مراقبت از محصول به  $PC_t$  افزوده می‌شود و لذا خسارت در این مراحل را از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$D_j = PC_t + NR \quad (4)$$

نهایتاً در مرحله درو، پتانسیل خسارت بیشترین مقدار بوده و از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$D_{ij} = GV_i - HC_i \quad (5)$$

که در آن  $GV_i$  قیمت محصول و  $HC_i$  هزینه درو می‌باشد. در این مطالعه تابع خسارت زمانی ( $TDLF$ ) برای محصول برنج در اثر وقوع واقعه‌ای که کل محصول را از بین ببرد در هر مرحله، به صورت درصدی از حاصل جمع کل درآمد خالص به دست نیامده و هزینه‌های صورت گرفته برای محصول تا زمان  $t$  نسبت به مرحله برداشت بیان می‌شود. می‌توان فرم ریاضی تابع فوق را برای تمام مراحل به صورت زیر نشان داد.

$$TDLF = \beta_i \quad \text{و} \quad i = a, s, c, h \quad (6)$$

که در آن  $\beta$  درصد خسارت برای هر مرحله از رشد نسبت به مرحله برداشت،  $i$  اندیس نشان دهنده مراحل نشا، ساقه‌زنی، خوشه‌دهی و درو می‌باشند. ترتیب نشان دهنده مراحل نشا، ساقه‌زنی، خوشه‌دهی و درو می‌باشند. تابع فیزیکی خسارت، میزان خسارت وارد بر گیاه را در مقابل پارامترهای فیزیکی سیل مانند عمق، سرعت، زمان ماندابی و غیره به دست می‌دهد. اغلب محققین گذشته تابع خسارت را در مورد هر نوع خسارتی با پارامتر عمق یا سرعت سیل ارتباط می‌دادند. حال آنکه برای بررسی اندرکنش پیچیده جریان و گیاه، تنها عمق و سرعت کافی نیست و پارامترهای هیدرولیکی دیگر و یا ترکیب آنها برای تعیین میزان خسارت و نهایتاً شکست ساقه گیاه مورد نیاز

جهت واسنجی مدل از داده‌های دبی- اشل در دو ایستگاه دینار سرا در بالادست و نشتارود در پایین دست رودخانه آزارود استفاده شده است. برای کالیبره کردن ضریب مانینگ در سیلابدشت، از آنجا که هیچ نوع داده‌ای اعم از عمق، مساحت سیل گیر یا حتی عکس هوایی از منطقه وجود ندارد، از مساحت تقریبی سیل گیر ۲۵ ساله با پرسش از اهالی و مسئولین منطقه آزارود بر مبنای پرسش‌نامه‌ها و اسناد موجود استفاده شده است. شکل ۲ کاربری غالب منطقه و همچنین ضرایب زبری تعیین شده برای چند منطقه را بصورت نمونه نشان می‌دهد.

### توابع خسارت

دو نوع تابع خسارت برای هر محصول کشاورزی قابل تعریف می‌باشد: تابع خسارت زمانی (Time Function; TDLF) و تابع وابسته (Dependent Loss) که بر پایه پتانسیل خسارت هر محصول در طی سال تولید می‌شود و اهمیت زمان رخداد سیل را نشان می‌دهد و تابع فیزیکی خسارت (Physical Loss Function; PLF) که خسارت وارد بر گیاه مشخص را در هر مرحله از رشد بر اساس پارامترهای فیزیکی سیل به دست می‌دهد و اهمیت بزرگی سیل را در ایجاد خسارت مشخص می‌کند. تابع خسارت کل (Total Loss Function; TLF) از حاصلضرب دو تابع فوق به دست می‌آید. بنابراین پیش‌بینی خسارت کشاورزی، نیازمند تعیین پتانسیل خسارت محصول در طی سال ( $TDLF$ )، داده‌های فصلی فراوانی اثرات فیزیکی سیل و مقاومت گیاه در هر دوره از رشد در مقابل اثرات فیزیکی سیل ( $PLF$ ) می‌باشد. پتانسیل خسارت یک محصول مشخص در طی سال، از زمان کاشت تا درو متغیر است. توابع خسارت محصول به صورت یک رابطه از پتانسیل سرمایه‌گذاری و درآمد خالص برای هر محصول در زمانهای مختلف به دست می‌آید. پتانسیل کل خسارت کشاورزی را می‌توان از رابطه زیر بدست آورد (USACE, 1998):

$$D_{ij} = IC_{it} + NR_t + OC_{ij} \quad (1)$$

که در آن  $D$  میزان خسارت،  $IC$  هزینه سرمایه‌گذاری،  $NR$  درآمد خالص (درآمد منهای همه هزینه‌ها) و  $OC$  خسارت وارده به زمینهای وابسته، تأسیسات، نهادهای زهکش، جاده‌های کشاورزی، ساختمانهای بیرونی و غیره می‌باشد.  $i$  نوع محصول،  $z$  واقعه سیل و  $t$  تاریخ سیل می‌باشد. اگر در این معادله خسارت وارد به تأسیسات کشاورزی و دیگر خسارات غیرمستقیم به صورت جداگانه یا به صورت درصدی از خسارت محصول بیان شود و مطالعه برای یک محصول خاص صورت گیرد معادله ۱ به صورت زیر ساده می‌شود:

است (گنجی و همکاران، ۱۳۹۱). در همین راستا در تحقیقی که گنجی و همکاران برای تعیین تابع خسارت کشاورزی برای گیاه برنج انجام داده‌اند، علاوه بر بررسی هر یک از دو پارامتر عمق و سرعت به تنهایی، تأثیر پارامترهای حاصل ضرب عمق و سرعت، عدد فرود، عدد رینولدز و تنش برشی را نیز در برآورد میزان خسارت مورد بررسی قرار دادند. با توجه به تفاوت میزان خسارت بر حسب دوره رشد گیاه، آنها ارتباط بین میزان خسارت و پارامترهای سیل را برای چهار مرحله مختلف پس از نشاء، ساقه‌زنی، خوشه‌دهی و درو برقرار کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که جهت تخمین خسارت کشاورزی از بین کلیه پارامترهای مورد بررسی، پارامتر برتر عدد رینولدز و تابع لگاریتمی زیر بهترین تابع می‌باشد (Ganji et al., 2012):

$$PLF_i = a \ln(Re) - b \quad \text{و} \quad i = a, s, c, h \quad (7)$$

که در آن  $PLF$  میزان خسارت وارد به گیاه به صورت درصد،  $Re$  عدد رینولدز،  $i$  معرف مرحله رشد گیاه و  $a$  و  $b$  ضرایبی هستند که برای مراحل مختلف رشد توسط آزمایش مشخص می‌شود.

#### ترکیب توابع خسارت زمانی و فیزیکی با هیدرولیک سیل

تخمین خسارت پس از رخداد یک حادثه و جبران آن همواره یکی از چالش‌های مدیران جهت مدیریت بحران و ریسک مترتب بر آن می‌باشد. غالباً معیار و روش مشخصی برای برآورد خسارت علی‌الخصوص خسارت کشاورزی ناشی از سیل وجود ندارد و سیل‌گرفتنی برابر با خسارت صددرصد فرض می‌شود که با واقعیت‌های موجود تطابق ندارد. این امر به علت عدم وجود تابعی است که بتواند ارتباط بین پارامترهای فیزیکی سیل و میزان خسارت را برقرار نماید و در عین حال بتواند توزیع مکانی خسارت را شبیه‌سازی نماید. در تحقیق حاضر سیل‌گرفتنی معادل با خسارت صددرصد نبوده و از معادله ۷ به عنوان تابع فیزیکی خسارت برای گیاه برنج استفاده شده است. این تابع ارتباط بین پارامتر فیزیکی سیل (عدد رینولدز) و میزان خسارت وارد بر گیاه برنج را برای مراحل مختلف رشد به درصد نشان می‌دهد. در ابتدا الگوریتم مورد استفاده مدل برای حالتی که زمان وقوع سیلاب مشخص است طراحی شده و سپس برای حالتی که زمان رخداد سیلاب نامشخص بوده و امکان رخداد آن در هر مرحله از رشد گیاه وجود داشته باشد توسعه داده می‌شود.

شکل ۳ روندنمای روش توسعه داده شده برای تعیین خسارت کشاورزی ناشی از سیل معین  $Q$  در زمان معین  $t$  می‌باشد و شکل ۴ روش پیشنهادی برای محاسبه خسارت کشاورزی ناشی از یک سیل

با دوره برگشت معین با زمان رخداد نامعین را نشان می‌دهد. در این روندنما  $\alpha_i = \frac{N_i}{N}$  نسبت احتمال رخداد سیل در هر مرحله از رشد،  $N$  متوسط تعداد سیلابهای ثبت شده در یک سال هیدرولوژیکی و  $N_i = N_a, N_s, N_c, N_h$  متوسط تعداد رخداد سیل در زمان منطبق با هر مرحله از رشد گیاه می‌باشد. اکنون می‌توان تأثیر احتمال رخداد سیل در هر مرحله از رشد را با ضرب  $\alpha_i$  در  $TLF_i$  محاسبه و خسارت کل ( $TLF$ ) را از معادله زیر به دست آورد:

$$TLF = \sum_{i=a}^h (TLF_i \times \alpha_i) \quad (8)$$

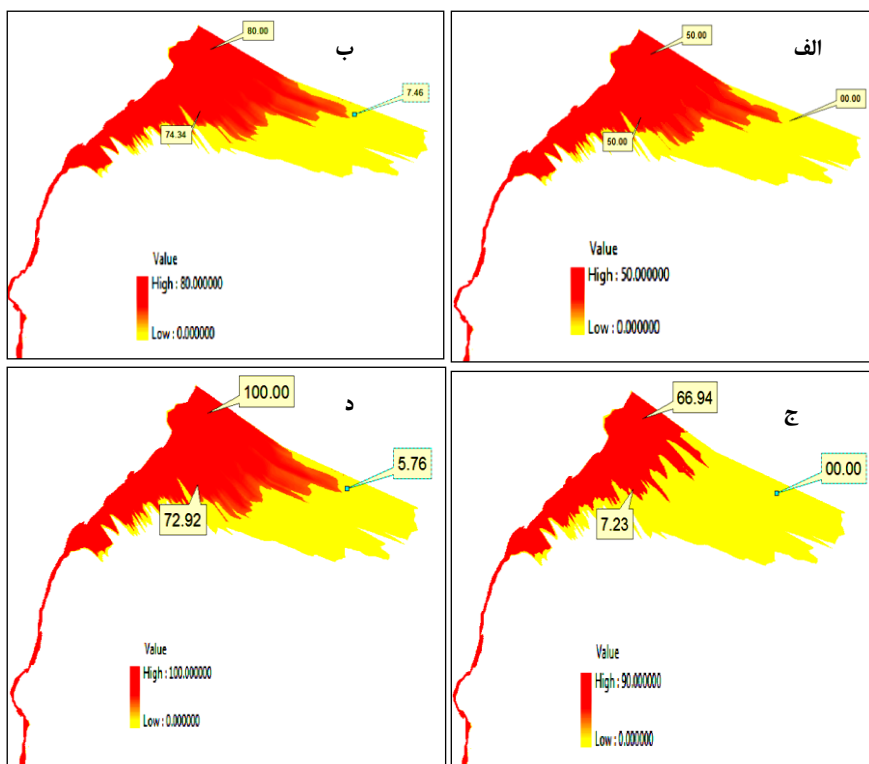
معادله ۸ معرف ریسک زمانی و مکانی فعالیت‌های کشاورزی به ازای رخداد سیلی با فراوانی معین و شانس رخداد در کل دوره رشد می‌باشد. در صورت در دست نبودن اطلاعات سیل در دوره‌های رشد فرض می‌شود که احتمال رخداد سیل در هر یک از مراحل رشد گیاه از توزیع یکنواخت پیروی می‌کند، سپس برای محاسبه  $\alpha_i$  از این توزیع به صورت تصادفی نمونه‌گیری می‌شود و محاسبات تا ثابت شدن خسارت کل ادامه می‌یابد.

#### ۴- نتایج

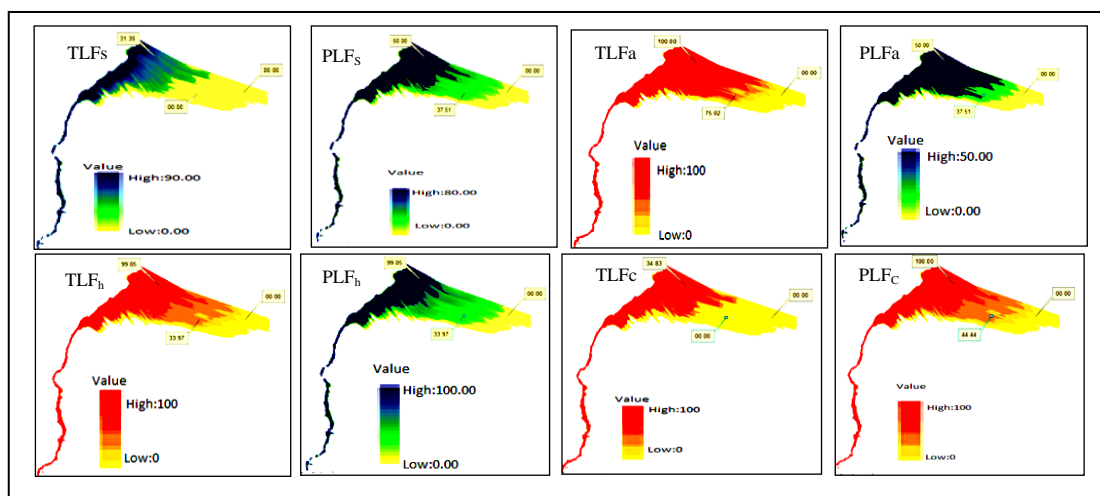
در این بخش ابتدا تابع خسارت زمانی برای گیاه برنج استخراج شده و سپس به عنوان نمونه، خسارت کشاورزی برای منطقه آزارود برای رخداد سیلی با بزرگی ۱۹۵ مترمکعب بر ثانیه در مراحل مختلف رشد با استفاده از روش ارائه داده شده در الگوریتم شکل ۳ با یکدیگر مقایسه می‌گردد و در نهایت خسارت ناشی از وقوع سیل با احتمال رخداد  $0.02$  با استفاده از روش ارائه شده در الگوریتم شکل ۴ پیش‌بینی می‌شود. شکل ۵- الف مراحل مختلف رشد را نسبت به زمان نشان می‌دهد. همانطوری که دیده می‌شود در منطقه آزارود از دهه آخر اسفند تا ۱۵ فروردین بذر برنج را در خزانه، آماده نشاء کرده و نشاءکاری از دهه سوم فروردین شروع شده و تا اواخر اردیبهشت ادامه می‌یابد. دوره ساقه‌زنی از اواخر اردیبهشت تا اوایل تیر ماه و دوره خوشه‌دهی از دهه دوم خرداد تا اوایل مرداد ماه خواهد بود. معمولاً ۲۰ روز پس از خوشه‌دهی خوشه‌ها کاملاً رسیده و آماده درو می‌شوند. بنابراین دوره درو از اوایل تیر ماه تا اواخر مرداد ماه ادامه می‌یابد. اگر یک واقعه معین سیل در زمان برداشت برنج رخ دهد و بزرگی آن به اندازه‌ای باشد که کل محصول را از بین ببرد خسارت وارد به کشاورز ۱۰۰ درصد خواهد بود ولی اگر همین واقعه در زمان نشاء، ساقه‌زنی و خوشه‌دهی اتفاق بیفتد، خسارت وارد به کشاورز ۱۰۰ درصد نخواهد بود. بر این اساس حاصل جمع هزینه‌های صورت‌گرفته تا زمان برداشت برنج (درو) و درآمد خالص برابر با ۱۰۰ درصد فرض

انتخاب می‌تواند باعث تحمیل هزینه‌های غیرضروری بر سیستم یا محافظت کمتر از حد ضرورت برای منطقه و در نتیجه ایجاد خسارات ناشی از آن گردد.

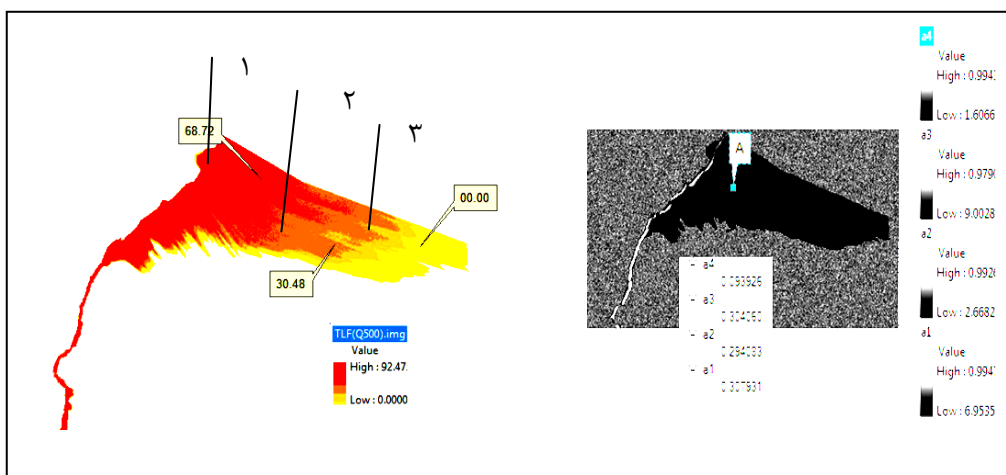
نتایج نشان می‌دهد که علاوه بر سطح سیل‌گرفتنگی، خسارت در یک نقطه مشخص که در دو دوره بازگشت مختلف زیر آب رفته بسیار متفاوت است. بنابراین انتخاب دوره بازگشت بهینه جهت مدیریت سیل یا تعیین بیمه از اهمیت بسزایی برخوردار است و اشتباه در این



شکل ۶- الف- مدل رقومی خسارت برای رخداد سیل ۲۰۰ ساله در اواخر فروردین تا اواخر اردیبهشت  
 ب- مدل رقومی خسارت برای رخداد سیل ۲۰۰ ساله در اواخر اردیبهشت تا اوایل تیر ماه  
 ج- مدل رقومی خسارت برای رخداد سیل ۲۰۰ ساله از اواسط خرداد تا اواسط مرداد ماه  
 د- مدل رقومی خسارت برای رخداد سیل ۲۰۰ ساله در اوایل تیر ماه تا اواخر مرداد



شکل ۷ نقشه‌های خسارت فیزیکی و خسارت کل در مراحل مختلف رشد برای دبی ۵۰۰ ساله



شکل ۸- الف مقادیر  $\alpha_a$ ،  $\alpha_s$ ،  $\alpha_c$  و  $\alpha_h$  برای یک شکل ۸-ب نقشه رقومی خسارت کل (TLF) به ازای رخداد سیل ۵۰۰ ساله نقطه در یکی از تکرارها

جدول ۲- خلاصه نتایج پیش‌بینی خسارت (%) برای سیل‌های ۲ تا ۵۰۰ ساله

| Q <sub>500</sub> | Q <sub>200</sub> | Q <sub>100</sub> | Q <sub>50</sub> | Q <sub>25</sub> | Q <sub>10</sub> | Q <sub>5</sub> | Q <sub>2</sub> |                   |
|------------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|-------------------|
| ۸۱/۴۳            | ۷۵/۰۷            | ۷۴/۲۲            | ۷۲/۶۵           | ۶۷/۱۰           | ۶۰/۵۴           | ۳۸/۰۵          | ---            | خسارت در نقطه (۱) |
| ۶۷/۳۲            | ۴۰/۷۵            | ۱۹/۴۷            | ۰۰/۰۰           | ---             | ---             | ---            | ---            | خسارت در نقطه (۲) |
| ۳۰/۵۵            | ۰۰/۰۰            | ۰۰/۰۰            | ---             | ---             | ---             | ---            | ---            | خسارت در نقطه (۳) |

محصولی خاص یعنی برنج در قالب یک مدل ریاضی ارائه نماید. مقاله حاضر از نتایج تحقیقات پیشین مؤلفین برای تعیین تابع خسارت فیزیکی ناشی از وقوع سیل استفاده می‌برد. این تابع برخلاف کارهای پیشین اثر همزمان سرعت و عمق جریان در قالب عدد رینولدز را برای محاسبه میزان تخریب ناشی از وقوع سیل در هر مرحله از رشد گیاه برنج بکار می‌بندد. خسارت وارده بر کشاورز، یعنی از دست رفتن سرمایه‌ای که از بین رفته و فرصت‌هایی که دیگر برای سرمایه‌گذاری در دسترس نیست، برای لحاظ داشتن این مهم، ضریب تأثیری موسوم به  $\beta$  تعریف شد که می‌تواند برحسب درصدی از کل هزینه‌های انجام شده تا مرحله درو، خسارت فیزیکی محاسبه شده را به عامل سرمایه پیوند دهد. از حاصلضرب این ضریب از نقشه خسارت فیزیکی، نقشه خسارت مادی بالقوه در هر نقطه از منطقه مورد مطالعه بدست می‌آید. بدیهی است که رخداد سیل در هر یک از دوره‌های رشد می‌تواند خسارتی متفاوت را بوجود آورد. برای رسیدن به پاسخ این سؤال که میزان واقعی خسارت در زمان رشد گیاه چقدر می‌تواند باشد، لازم است که ضریب وزنی احتمال رخداد سیل مورد نظر (خطر مورد نظر) محاسبه گردد. محاسبه این ضریب ( $\alpha$ ) نیازمند داشتن اطلاعات هیدرولوژیکی کافی است که در منطقه مطالعاتی این پژوهش مانند بسیاری از نقاط دیگر وجود ندارد. برای

## ۵- نتیجه‌گیری

سالهاست که برای تعیین خسارت‌های ملموس و مستقیم ساختمانی برنامهریزی شده و حداقل در کشورهای پیشرفته تا حدودی به راه‌حلهایی برای پیش‌بینی، پیش‌گیری، پرداخت حق بیمه و پرداخت خسارت دست یافته‌اند. به جرأت می‌توان گفت چنین امری در بخش کشاورزی دیده نمی‌شود. شاید علت این امر پیچیدگی محاسبه خسارت کشاورزی باشد. این پیچیدگی را می‌توان به مشکلاتی همچون وابستگی همزمان میزان خسارت به بزرگی سیلاب و توپوگرافی مؤثر بر پارامترهای سیل در شکست و تخریب محصول، مشکل تطابق زمان وقوع سیلاب و زمان کشت و کار، تفاوت‌های موجود در گونه‌های مختلف گیاهی از منظر مقاومت در مقابل تخریب ناشی از حرکت جریان سیلابی، تفاوت موجود در مقاومت ساقه و ریشه یک گونه گیاه در دورانهای مختلف رشد، تنوع هزینه‌های صورت گرفته بر حسب زمان رشد و نهایتاً عدم وجود داده‌های هیدرولوژیکی کافی در زمان‌های مورد نظر از جهت تطابق با دوره رشد گیاه نسبت داد. تحقیق حاضر اولین فکر در این زمینه نیست ولی اولین تحقیقی است که به طور مستقیم حل برخی از مشکلات فوق‌الذکر را هدف خود قرار داده و توانسته است در نهایت الگوریتمی را برای تعیین و پیش‌بینی خسارت کشاورزی برای



حل این مشکل با فرض برابری شانس رخداد سیل در هر یک از دوره‌های رشد، ضریب وزنی مزبور با نمونه‌گیری تصادفی از توزیع یکنواخت با شرط آنکه مجموع ضرایب برای یک نقطه در کل دوره رشد برابر یک گردد، تولید شد. خسارت کل برای هر نقطه در این حالت امید ریاضی خسارتهای حاصله از ضرب متوالی خسارت فیزیکی در ضرایب  $\alpha$  و  $\beta$  است.

مهم‌ترین نتایج حاصل از این تحقیق عبارتند از:

- آب‌گرفتگی هیچگاه معادل خسارت نیست.

- آب‌گرفتگی هیچگاه معادل خسارت صددرصد نمی‌باشد.

- توپوگرافی تعیین کننده بزرگی پارامترهای اثرگذار سیلاب بر مقاومت گیاه در مقابل خم‌شدگی و شکستگی و لذا یکی از مهمترین عوامل تعیین کننده میزان خسارت می‌باشد. براین اساس مدل ریاضی مورد استفاده باید بتواند صورت توزیعی مقادیر پارامترهای سیلاب را حداقل برای بحرانی‌ترین مرحله وقوع سیلاب یعنی در نقطه اوج برآورد نماید.

- استفاده از مدل CCHE به عنوان یک مدل دوبعدی، می‌تواند پارامترهای سیلاب را در بستر سیلابی شبیه‌سازی نماید. به علت کمبود داده‌های مورد نیاز مدل و مشکلات موجود در آن برای ساخت بستر هندسی جریان در سیلابدشت‌ها و همچنین تعیین شرایط مرزی، استفاده از CCHE در مطالعات هیدرولیک سیلابدشت‌ها توصیه نمی‌شود. در مطالعاتی که به زمان ماند سیلاب در پهن‌دشت سیلابی نیاز است استفاده از مدل دوبعدی اجباری به نظر می‌رسد. در مطالعات حاضر که ماند جریان برای برنج خسارتی را بوجود نمی‌آورد، از هر مدل یک‌بعدی که ساختار شبکه سلولی را می‌پذیرد می‌توان استفاده نمود.

- الگوریتم پیشنهادی در این تحقیق که برای اولین بار ارائه می‌گردد می‌تواند با در نظر گرفتن شرایط فیزیکی گیاه در هر دوره رشد، با در نظر گرفتن میزان سرمایه‌گذاری و موقعیت جغرافیایی استقرار گیاه، خسارت محتمل را بدست دهد.

- الگوریتم پیشنهادی در این تحقیق در شرایط کمبود داده، با استفاده از روش‌های نمونه‌گیری احتمالاتی می‌تواند با حل مشکلات مربوط به اندازه‌گیری جریان در زمان مورد نظر، برای هر نقطه‌ای که از حداقل امکانات آماربرداری برخوردار باشد مورد استفاده قرار گیرد

- میزان خسارت ناشی از یک سیل معین که در زمانهای متفاوت سال رخ داده، در نقاط مختلف حوضه از صفر تا صددرصد متغیر است. با توجه به استفاده از نقشه‌های رستری در محیط GIS می‌توان برای هر سلول از نقشه میزان خسارت را تعیین و بر این اساس به تهیه نقشه ریسک کشاورزی بر مبنای زون‌بندی مناطق برحسب میزان خسارت وارده پرداخت.

## ۶- مراجع

امیدوار ب، امامی ک، خدایی ه، حکمتی فرح (۱۳۸۴). سیستم‌های پیش‌بینی هشدار سیلاب و نقش آن در مدیریت بحران. اولین کنفرانس بین‌المللی مدیریت جامع بحران در حوادث غیرمترقبه. تهران. ایران.

حکمتی فرح، نظریه‌ها م، گیوه‌چی س (۱۳۸۸) ارزیابی خسارات کشاورزی ناشی از سیلاب با استفاده از مدل‌سازی ARC View و HEC-RAS. مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست، سال یازدهم، شماره ۴.

خدایی ه، کبارفرد م، مظفری ج (۱۳۸۵) پیش‌بینی و هشدار، ابزاری کارا برای همزیستی با سیلاب. کارگاه فنی همزیستی با سیلاب. تهران، ایران.

گنجی ز، شکوهی ع، سامانی ج (۱۳۹۰) تعیین عمق و سرعت جریان سیلابی در آستانه شکست گیاهان زراعی و محاسبه موقعیت برش در آنها با استفاده از آنالیز تحلیلی و آزمایشگاهی، مطالعه موردی؛ برنج. مجله هیدرولیک، دوره ششم، شماره اول.

ملک محمدی ب، تجریشی م (۱۳۸۴) تعیین نرخ بیمه سیل در مناطق شهری. صنعت بیمه سال ۱۴، شماره ۵۵.

ملک محمدی ب، زهرایی ب، کراچیان ر، ضیایی ا (۱۳۸۶) تلفیق مدل بهینه‌سازی کنترل سیلاب در مخازن سدها با مدل پهنه‌بندی تعیین خسارت در رودخانه پایین دست. ششمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشگاه شهر کرد، ایران.

وزارت نیرو (۱۳۸۵) راهنمای ارزیابی خسارت سیلاب. پیش‌نویس نشریه شماره ۲۹۶-الف، دفتر استانداردها و معیارهای فنی، معاونت پژوهشی و مطالعات پایه، شرکت مدیریت و منابع آب ایران.

Ahmad SS, Simonovic SP (2011) A three-dimensional fuzzy methodology for flood risk analysis. Journal of Flood Risk Management 4(1): 53-74.

- estimating probability weighted flood risk. *Journal of Flood Risk Management* 5(1): 37-48.
- Kang JL, Su MD, Chang LF (2005) Loss Functions and Framework For Regional Flood Damage Estimation in Residential Area. *Journal of Marine Science and Technology* 13(3): 193-199.
- Middelmann-Fernandes MH (2010) Flood damage estimation beyond stage–damage functions: an Australian example. *Journal of Flood Risk Management* 3(1): 88-96.
- Smith DI, Greenaway M (1988) The Computer Assessment of Urban Flood Damage: ANUFLOOD. Technical Report, Desktop Planning, Melbourne, Hargreen, Australia.
- Solin L (2012) Spatial variability in the flood vulnerability of urban areas in the headwater basins of Slovakia. *Journal of Flood Risk Management* 5(4): 303-320.
- US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center (1985). *Agricultural Flood Damage Analysis User's Manual*. 172 pages.
- Berning C, Viljoen MF, Plessis LD (2000) Loss functions for sugar-cane: Depth and duration of inundation as determinants of extent of flood damage. *Water SA* 26(4): 527-530.
- Dutta D, Herath S, Musiake K (2003) A mathematical model for flood loss estimation. *Journal of Hydrology* 277:24–49.
- FEMA: Department of Homeland Security Federal Emergency Management Agency Mitigation Division Washington, D.C. (2008). *HAZUS: Multi-Hazard Loss Estimation Model Methodology-Flood Model Technical Manual*. National Institute of Building Sciences Washington, D.C.
- Ganji Z, Shokoohi A, Vali Samani JM (2012) Developing an agricultural flood loss estimation function (case study: rice). *Natural Hazards* 64:405-419.
- HEC-FDA (2008) *Flood Damage Reduction Analysis. User Manual. Version 1.2.4*, Us Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center.
- Kalyanapu AJ, Judi DR, McPherson TN (2012) Monte Carlo-based flood modelling framework for