تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال دوازدهم، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۵
Volume 12, No. 2, Summer 2016 (IR-WRR)
۱۳-۲۳

محاسبه اثرعدم قطعیت تابع دبی-احتمال در برآورد ریسک خسارت کشاورزی ناشی از سیل با استفاده از روش مونت‌کارلو

زهرا گنجی نوروزی[۱]، علیرضا شکوهی[۲*] و ویجی پی سینگ[۳]

چکیده

تحلیل ریسک به علت استفاده از مدل‌های ریاضی برای برآورد مخاطرات از یک‌طرف و آسیب‌پذیری از طرف دیگر همواره در معرض خطا است. این خطا هم به دلیل عوامل ورودی و هم به دلیل ساختار مدل، می‌تواند عدم قطعیت معنی‌داری را بر خروجی مدل جهت تصمیم‌سازی اعمال نماید. تحلیل ریسک زمانی که با مقوله موجودات زنده سروکار پیدا می‌نماید به علت وابستگی ماهوی این نوع مسائل به تغییرات زمانی و مکانی پیچیده‌تر از حالت‌های دیگر می‌باشد. این تحقیق به تحلیل تأثیر عدم قطعیت تابع دبی-احتمال در برآورد ریسک زمانی و مکانی سیل برای منطقه آزارود در حوالی تنکابن مازندران با استفاده از روش مونت‌کارلو می‌پردازد. جهت شبیه‌سازی سیل از مدل یک بعدی HEC-RAS استفاده گردیده است. همچنین از توابع خسارت زمانی و فیزیکی گیاه برنج به عنوان نمونه استفاده گردید و سپس ترکیب توابع خسارت و هیدرولیک سیل در محیط GIS صورت پذیرفت. در نهایت پس از تلفیق ریسک زمانی و مکانی خسارت، عدم قطعیت تابع دبی-احتمال در محاسبه ریسک منظور گردید. نتایج نشان داد که خسارت سالانه مورد انتظار کشاورزی (AGEAD) با در نظر گرفتن عدم قطعیت تابع دبی-احتمال از ۱/۸ درصد به ۱/۹ درصد تغییر می‌کند و عدم قطعیت ناشی از تابع مزبور برابر با ۵/۵ درصد می‌باشد.

کلمات کلیدی: عدم قطعیت، مونت‌کارلو، تابع دبی-احتمال، ریسک زمانی و مکانی، خسارت کشاورزی.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۴/۱۲/۱۳
تاریخ پذیرش مقاله: ۹۵/۳/۱۲

۱- استادیار گروه سازه‌های آبی دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران.
۲- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.
۳- استاد گروه مهندسی آب، دانشگاه A&M تگزاس، کالج استیشن، امریکا.
*- نویسنده مسئول

Evaluating the Effect of Discharge - Probability Function Uncertainty on the Risk of Agricultural Loss due to Flood Using Monte Carlo Method

Z. Ganji Nowrouzi [1], A. Shokoohi[2] and V.P. Singh[3]*

Abstract

Risk analysis, because of employing mathematical models for evaluating confronted hazards and also pertinent vulnerability, introduces errors in results. The source of mentioned errors could be input data (components) and/or model structure which will impose meaningful uncertainty upon the model output. Present research investigates the effect of uncertainty of discharge-probability function on flood temporal and spatial risk assessment. The Monte Carlo method was engaged for uncertainty analysis and the Azaroud watershed in southern part of the Caspian Sea was selected as the case study. The study was based on temporal and physical loss functions of rice, while HEC-RAS provided the required hydraulic information. Combining loss functions and flood hydraulics in a GIS framework led to Agricultural Expected Annual Damage (AGEAD). Finally the uncertainty of discharge-probability function was introduced to AGEAD which caused it to increase from %1.8 to %1.9. Based on the achieved results, the contribution of probability-discharge function uncertainty in rising up the agricultural expected annual damage was 5.5 %.

Keywords: Uncertainty, Monte Carlo, Discharge-probability Function, Spatial and temporal risk, Agricultural loss.

Received: March 3, 2016
Accepted: June 1, 2016

1- Assistant Professor of Water Structure Dept., Shahroud University of Technology, Shahroud, Iran
2- Professor of Water Engineering Dept. Faculty of Engineering and Technology, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran. Email: shokoohi @eng.ikiu.ac.ir
3- Professor of Department of Water Engineering, Texas A&M University, College Station, USA
*- Corresponding Author

۱- مقدمه

در بررسی ریسک خسارت سیل از آنجا که ریسک ذاتاً یک مفهوم احتمالاتی می‌باشد، تشریح آن بدون بررسی عدم قطعیت امکان‌پذیر نخواهد بود (USACE, 1996). عدم قطعیت موجود در هر پدیده به دو دسته تقسیم می‌شود: عدم قطعیت دانش[۱] و عدم قطعیت طبیعی[۲]. عدم قطعیت دانش شامل عدم قطعیت‌هایی است که به علت کمبود دانش در مدل‌سازی پدیده ناشی می‌شود. عدم قطعیت طبیعی ناشی از ذات تصادفی بودن پارامترهای دخیل در آن پدیده می‌باشد. جهت محاسبه عدم قطعیت موجود در پدیده‌ها با توجه به ماهیت پدیده، میزان پیچیدگی مسأله و داده‌های در دسترس می‌توان از روش‌های متفاوتی استفاده کرد. این روش‌ها به سه دسته تقسیم می‌شوند: روش‌های تحلیلی مثل روش استخراج تابع توزیع و تکنیک‌های تبدیل انتگرالی، روش‌های تقریبی مثل روش تخمین مرتبه اول تغییرات[۳] و روش تخمین نقطه‌ای هار[۴] و روش‌های شبیه‌سازی مثل روش مونت‌کارلو (Tung and Yen, 2005). در روش‌های تحلیلی که دقیق‌ترین روش محاسبه عدم قطعیت می‌باشد، گشتاورهای آماری به صورت تحلیلی مورد محاسبه قرار می‌گیرند اما استفاده از روش‌های تحلیلی در آنالیز عدم قطعیت برای حالت‌های محدودی پاسخ مناسب می‌دهد و در اکثر حالات به علت پیچیدگی مسأله مورد بررسی یا موجود نبودن توابع چگالی احتمال نمی‌توان از این روش‌ها استفاده کرد. به همین علت بهره‌گیری از روش‌های تقریبی یا شبیه‌سازی توسط محققین اجتناب‌ناپذیر می‌گردد (Tung, 1993). واقعیت آن است که انتخاب هر یک از این روش‌ها بستگی به اطلاعات موجود از متغیرهای تصادفی و روابط ریاضی موجود در بین متغیرها دارد. با توجه به ماهیت ریسک، جهت برآورد عدم قطعیت استفاده از روش‌های شبیه‌سازی اجتناب‌ناپذیر است. از طرفی استفاده از روش‌های شبیه‌سازی برای محاسبه ریسک به علت محاسبات پی در پی آن بسیار پیچیده و مستلزم محاسبات حجیم است. این پیچیدگی باعث شده در اکثر موارد در پروژه‌ها، عدم قطعیت به صورت صریح در فرمول‌بندی و ارزیابی طرح‌ها دیده نشود بلکه بجای آن با انتخاب ضرایب ایمنی به صورت تجربی و یا با تأمین ارتفاع آزاد به صورت ضمنی آن را به حساب آورند. این روش برخورد با عدم قطعیت‌ها علاوه بر اینکه از دقت بسیار کمی برخوردار است، هیچ دیدی از میزان عدم قطعیت یا سهم هر کمیت در آن به دست نمی‌دهد. در حالیکه می‌توان با تحلیل کمی ریسک با در نظر گرفتن عدم قطعیت، این عدم قطعیت‌ها را توصیف کرده و امکان ارزیابی اثرات آن را فراهم آورد. در بحث تجزیه و تحلیل عدم قطعیت، روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو که اساس آن تولید داده‌های تصادفی بر مبنای توزیع آماری آن‌ها می‌باشد، دارای اهمیت خاصی بوده و مورد توجه محققان می باشد. با توجه به ماهیت ریسک خسارت کشاورزی که از ترکیب توابع هیدرولوژیکی، هیدرولیکی و اقتصادی به دست می‌آید و دارای تابعی صریح نیست، جهت برآورد تأثیر عدم قطعیت تابع دبی–احتمال (که یکی از مهم‌ترین پارامترهای دخیل در پدیده ریسک می‌باشد) بر میزان عدم قطعیت ریسک برآورد شده، در این تحقیق از روش مونت کارلو (Tung and Yen, 2005) استفاده شده است.

۲- سابقه تحقیقات

علیرغم تحقیقات بسیار زیادی که در زمینه عدم قطعیت و روش‌های برآورد آن صورت گرفته است، در مورد عدم قطعیت ریسک خسارت و محاسبه تأثیر عدم قطعیت پارامترهای دخیل در عدم قطعیت خروجی، تحقیقات چندانی صورت نگرفته است. یکی از علل این امر ابهامی است که در مفهوم ریسک وجود دارد چنانکه هنوز در علم آب محققان به تعریفی دقیق، جامع و واحد از ریسک دست نیافته‌اند. شاید علت اصلی این قضیه وجود اختلاف در برداشت طراحان و تصمیم‌گیران از مفهوم ریسک باشد (Hsu et al., 2011) زیرا تمرکز بر اینکه چه مسئله ای در یک پروژه مهم است از دیدگاه آنها می‌تواند کاملا متفاوت باشد (Hsu et al., 2012). یکی دیگر از علت‌های عدم پرداختن محققان به این مسأله، پیچیدگی ترکیب توابع هیدرولوژیکی، هیدرولیکی، اقتصادی و همچنین پیچیدگی آنالیز ریسک زمانی و مکانی به طور همزمان است. بنابراین حتی برآورد ریسک زمانی و مکانی خسارت ناشی از سیل بدون در نظر گرفتن عدم قطعیت نیز هنوز با مشکلات جدی روبرو است. از جمله تحقیقات خوبی که در سالهای اخیر در زمینه ریسک انجام شده است می‌توان به کار لی و همکاران اشاره نمود که به ریسک مرکب جوامع انسانی و محصولات کشاورزی در کنار هم پرداخته‌اند و به پیچیدگی تحلیل عدم قطعیت در این شرایط اذعان نموده‌اند (Li et al., 2012).

در ادامه برخی از تحقیقاتی که به بررسی عدم قطعیت‌ها در علم آب پرداخته‌اند آورده شده است:

Tung (1993) تحقیقی را با هدف آنالیز عدم قطعیت برای جابجایی گودال‌های بستر رودخانه‌ها انجام دادند. در این تحقیق از روش‌های آنالیز عدم قطعیت FOVE، شبیه‌سازی مونت‌کارلو و روش تخمین نقطه‌ای هار استفاده شده است. براساس نتایج بدست آمده، روش تخمین نقطه‌ای هار مقادیر بزرگتری نسبت به دو روش دیگر ارائه نمود که این امر پیش‌بینی محافظه‌کارانه‌تری را نسبت به دو روش دیگر مطرح می‌کند.

Hochrainer – Stigler et al. (2014) از روش هیبرید برای ارزیابی ریسک سیل در اروپا استفاده کردند. این محققین با محاسبه خسارت در دوره برگشت‌های مختلف عملاً میزان عدم قطعیت در محاسبات خود را به عدم قطعیت موجود در محاسبه دوره بازگشت‌های سیلابها محدود نمودند. Brody et al. (2013) در مطالعه خود نشان دادندکه حریم سیل ۱۰۰ ساله در مناطق شهری بـــزرگ با توجه به عدم قطعیـــت‌های موجود تقسیم‌بندی درستـــی بـــرای تصمیم‌گیری برای مقابله با خطر سیل نیست. Gates and Al-Zahrani (2002) به تشریح پارامترهای آماری متغیرهای جریان در مجاری روباز با روش مونت‌کارلو در ۱۰ کیلومتر از رودخانه کلمبیا پرداخته و ضریب تغییرات سرعت جریان را در حدود ۰/۶ تا ۰/۱۸ و ضریب تغییرات عمق جریان را بین ۰/۰۴ تا ۰/۱۳ برآورد نموده‌اند. نتایج این تحقیق نشان داد که هندسه مقطع به خصوص مقیاس و پارامتر شکل از مهم‌ترین فاکتورهای تعیین‌کننده عدم قطعیت سرعت جریان و شیب آبراهه مهمترین فاکتور تعیین کننده عدم قطعیت عمق جریان می‌باشند. نتایج تحقیقات نشان می‌دهد روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو در زمینه خروجی سیستم‌های مدیریتی پیچیده، سازگاری خوبی با روش‌های تخمین عدم قطعیت معمول برای سیستم‌های خطی و سیستم‌هایی کـــه عـــدم قطعیـــت کوچـــکی دارنـــد، دارا می‌باشد (Christos and Yeung, 2001). ریوزو و همکاران برای محاسبه عدم قطعیت در مدل‌سازی کیفیت آب، ترکیب روش مونت‌کارلو و شبکه عصبی را پیشنهاد کردند. ساختار روش پیشنهاد شده سه قسمت اساسی دارد: مدل عددی کیفیت آب، تکنیک روش عصبی و روش شبیـــه‌سازی مونت کارلو (Rui Zou et al., 2002). Hansen and Bari (1996) به تحلیل عدم قطعیت پروفیل سطح آب در بسترهای زبر به روش FOVE پرداخته و بیان داشته‌اند که چگونه می‌توان عدم قطعیت موجود در طبیعت مسأله را به کمیت درآورد. آن‌ها همچنین برای تعیین حســـاسیت پارامترهای مؤثر از آنالیز حساسیت استفاده نمودنـــد. Lian and Chie Yen (2003) ۵ روش آنالیز عدم قطعیت اعم از روش FOVE، روش‌های تخمین نقطه‌ای (هار و روزنبلات)، روش LHS و روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو را بر روی ظرفیت عبور سیل کالورت با یکدیگر مقایسه کردند. نتایج نشان داد که اکثر روش‌های محاسباتی از روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو ساده‌تر بوده و قابل استفاده هستند. Hosseini (2000) با استفاده از داده‌های یک سد پاره‌سنگی تجزیه و تحلیل عدم قطعیت روی روابط جریان در محیط متخلخل را انجام داد. وی در این تحقیق با انجام سه روش تخمین مرتبه اول تغییرات و روش تخمین نقطه‌ای هار روی سه رابطه جریان در محیط متخلخل، روابطی را که دارای کمترین و بیشترین عـدم قطعیت هستند، مشخص کرد. در مطالعه‌ای Aronica et al. (2012) بحث می‌نمایندکه استفاده از روشهای تحلیل قطعی در مطالعات مربوط به تحلیل ریسک سیلاب ناشی از پیچیدگی شرایط مرزی این مدلها می‌باشد و در عین حال به مخاطرات ناشی از در نظر نگرفتن عدم قطعیت در این مطالعات صحه می‌گذارند. این تحقیق نیز مانند اکثر تحقیقات موجود که البته زیاد هم نیستند به مسئله بروز خسارت مالی و جانی ناشی از بروز سیلاب در مناطق شهری می‌پردازد.

با توجه به تحقیقاتی که در مورد عدم قطعیت پدیده‌ها صورت گرفته دیده می‌شود که محققین با توجه به ماهیت مسأله از روش‌های متنوعی جهت محاسبه عدم قطعیت استفاده می‌نمایند. در مسائل مربوط به آب، به علت متنوع بودن متغیرهای دخیل در پدیده، توابع چگالی احتمال صریح و ساده که قابل انتگرال‌گیری باشند وجود نداشته و بنابراین استفاده از روش‌های تحلیلی مرسوم نیست. در این ارتباط با توجه به ماهیت پیچیده تحلیل ریسک خسارت که ترکیبی از توابع هیدرولوژیکی، هیدرولیکی و اقتصادی بوده و فرمولی صریح برای آن وجود ندارد علیرغم حجم وسیع محاسبات در روش شبیه‌سازی به خصوص برای پدیده‌ای مانند ریسک که خود پدیده پیچیده‌ای است، چاره‌ای جز استفاده از روش‌های شبیه‌سازی وجود ندارد. از میان روشهای شبیه‌سازی، روش مونت‌کارلو در مسائل پیچیده بیشتر مورد توجه محققین بوده و به عنوان مبنای مقایسه روش‌ها قرار می‌گیرد. یکی از علل این توجه، تکرارهای فراوانی است که روش مونت‌کارلو از پدیده تولید می‌کند. این مزیت باعث می‌شود که تمام محدوده متغیر تصادفی پوشش داده شده و در حقیقت به ازای همه احتمال‌های ممکن نمونه‌هایی از پدیده مورد نظر تولید گردد. از طرفی با این روش در مسائل پیچیده و غیرخطی با تولید پارامترهای ورودی، همواره می‌توان پارامتر خروجی را تولید نمود. بنابراین هرچند در این روش تعداد محاسبات و تکرارها زیاد است ولی با توجه به پیشرفت کامپیوترها و علم برنامه نویسی محدودیت کاربرد ندارد.

۳- مواد و روش‌ها

برای تحلیل عدم قطعیت ناشی از تابع دبی-احتمال بر نتایج تحلیل خسارت در ابتدا لازم است که در حالت قطعی ریسک خسارت که در اینجا محدود به خسارت کشاورزی می‌گردد تحلیل گردد. تحلیل ریسک خسارت کشاورزی ناشی از سیل در یک منطقه نیازمند تحلیل فراوانی سیل، شبیه‌سازی سیل به ازای دوره برگشت‌های متفاوت، توابع خسارت فیزیکی و زمانی تک تک گیاهان منطقه، ارائه روشی

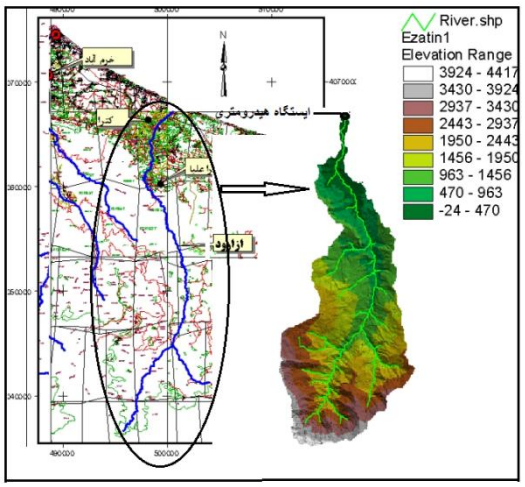
جهت پیش‌بینی خسارت کشاورزی به ازای هر دوره برگشت و بالاخره ارائه روشی جهت آنالیز ریسک زمانی و مکانی می‌باشد. در این بخش پس از اشاره‌ای کوتاه به نحوه تحصیل هر یک از عوامل بالا، روشی جهت ارزیابی تأثیر عدم قطعیت تابع دبی – احتمال در میزان عدم قطعیت ریسک خسارت کشاورزی ارائه می‌گردد.

۳-۱- منطقه مطالعاتی

از آنجا که گیاه برنج بیشترین مساحت زیر کشت مناطق شمالی ایران را تشکیل می‌دهد در این مطالعه گیاه برنج به عنوان گیاه مورد مطالعه جهت استخراج تابع خسارت کشاورزی و حوزه آزارود جهت آنالیز مکانی سیل، انتخاب گردید. آزارود از رودخانه‌های زیرحوزه چالوس است که ایستگاه هیدرومتری دینارسرا در بالادست آن دارای ۲۶ سال داده‌برداری بوده و بستر تثبیت شده رودخانه در محل این ایستگاه داده‌های آن را از اطمینان خوبی برخوردار می‌کند. ایستگاه هیدرومتری نشتارود نیز در پایین دست رودخانه دارای ۱۰ سال داده‌برداری می‌باشد. شکل ۱ نمایی از این حوزه و محل ایستگاه هیدرومتری را برای این رودخانه نشان می‌دهد.

۳-۲- تعیین توابع خسارت کشاورزی

با توجه به اینکه دو عامل سرمایه‌گذاری صورت گرفته و مقاومت گیاه در هر مرحله از رشد گیاه متفاوتند دو نوع تابع خسارت قابل تعریف است: تابع خسارت زمانی (*TDLF*) و تابع خسارت فیزیکی (*PLF*). تابع خسارت کل از حاصل‌ضرب این دو تابع به دست می‌آید (Ganji and Shokoohi, 2014؛Shokohi and Ganji, 2013).



شکل ۱- موقعیت ایستگاه هیدرومتری و حوزه آزارود

تـوابع خسارت زمانی بیانگر تغییرات پتانسیل یک محصول در طـــی سال می‌باشند. این توابع به صورت یک رابطه از تاریخ رخداد واقعه در مقابل پتانسیل سرمایه‌گذاری و درآمد خالص برای هر محصول به دست می‌آیند و اهمیت زمان رخداد سیل را نشان می‌دهند. 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 حاصل‌جمع 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.

$$TDLF = \beta_i \quad \text{و} \quad i = a,s,c,h \qquad (۱)$$

که در آن β درصد خسارت برای هر مرحله از رشد نسبت به مرحله برداشت، i اندیس نشان دهنده مرحله رشد گیاه و a,s,c,h به ترتیب نشان‌دهنده مرحله نشا، ساقه‌زنی، خوشه‌دهی و درو می‌باشد (Ganji and Shokoohi, 2014؛Shokohi and Ganji, 2013).

تابع فیزیکی خسارت، میزان خسارت وارد بر گیاه را در مقابل پارامترهای فیزیکی سیل مانند عمق، سرعت، زمان ماندابی و غیره به دست می‌دهد و اهمیت بزرگی سیل را در ایجاد خسارت مشخص می‌کند. جهت تخمین خسارت کشاورزی ناشی از سیل برای محصول برنج، می‌توان از رابطه زیر استفاده کرد

$$PLF_i = A\ln(Re) - B \quad \text{و} \quad i = a,s,c,h \qquad (۲)$$

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 (Ganji et al., 2012).

از آنجا که توابع خسارت معمولا با یکی از پارامترهای فیزیکی سیل از جمله عمق و سرعت سیل مرتبط می‌شوند، جهت محاسبه هر گونه خسارتی الزامی است که این پارامترها در هر نقطه از حوزه برآورد گردند. در مطالعه حاضر برای نیل به این هدف از مدل HEC-RAS استفاده شد.

۳-۳- تحلیل زمانی و مکانی ریسک خسارت کشاورزی

خسارت کشاورزی بر خلاف دیگر انواع خسارت مانند جانی یا ساختمانی وابسته به زمان رخداد سیل است. بنابراین لازم است احتمال رخداد هر سیل با دوره برگشت معین (احتمال رخداد خاص) در هر یک از مراحل رشد نیز مدنظر قرار گیرد. برای این منظور می‌توان جهت پیش‌بینی خسارت کشاورزی ناشی از سیل معین Q

بدین‌ترتیب عمل کرد: ۱- تحلیل فراوانی سیل بر اساس فصل رشد گیاه ۲- با فرض رخداد سیل مورد نظر در هر مرحله از رشد، DEM خسارت فیزیکی (PLF_i) برای آن مرحله با استفاده از DEM رینولدز و توابع خسارت فیزیکی در مراحل مختلف رشد به دست می‌آید. ۳- محاسبه DEM خسارت کل (TLF) که برای هر مرحله به صورت $TLF_i = PLF_i \times \beta_i$ به دست می‌آید. ۴- بـرای هر نقطه از حوزه، α_iها (نسبت احتمال رخداد سیل در هر مرحله رشد به احتمال رخداد سیل در کل دوره رشد) بر اساس توزیع یکنواخت و به صورت تصادفی چنان تعیین می‌شوند که مجموع آنها برابر ۱ باشد. (تولید چهار DEM از α_i به گونه‌ای که مجموع آنها در هر پیکسل برابر ۱ باشد) ۵- تأثیر احتمال رخداد سیل در هر مرحله از رشد در DEM خسارت کل برای آن مرحله که با ضرب α_i در TLF_i به دست می‌آید.۶- محاسبه خسارت کل به ازای رخداد سیل با دوره برگشت معین با استفاده از رابطه $TLF = \sum_{i=a}^{h} (TLF_i \times \alpha_i)$ ۷- مراحل ۴ تا ۶ تکرار می‌شود و این تکرار تا زمان ثابت شدن TLF ادامه می‌یابد (Ganji and Shokoohi, 2014).

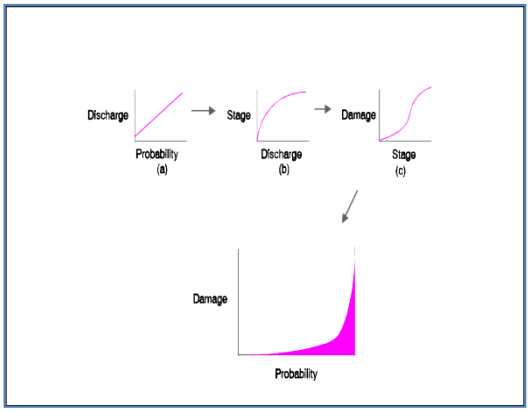
الف- استفاده از مفهوم EAD و روش محاسبه آن

ریسک از حاصل‌ضرب احتمال رخداد واقعه و نتایج حاصل از آن به دست می‌آید (USACE, 1996). بنابراین طبق پیشنهاد راهنمای انجمن منابع آب آمریکا WRC[۵] جهت تعیین خسارتی که بتواند معرف خسارت ناشی از همه سیل‌ها در منطقه باشد (ریسک خسارت‌پذیری)، می‌توان از مفهوم خسارت سیل مورد انتظار سالانه EAD[۶] استفاده کرد (Ganji and Shokoohi, 2014). طبیعتاً مقدار خسارت سالانه مورد انتظار، مساوی با انتگرال تابع احتمال تجمعی خسارت سالانه است که معمولاً به هیچ صورتی در دسترس نبوده و استفاده از روش تحلیلی را غیرممکن می‌کند اما می‌توان به عنوان یک گزینه برای انتگرالگیری، EAD را با استفاده از روش نمونه‌گیری و تبدیـل اطلاعـات اقتصادی، هیدرولیکی و هیدرولوژیکی در دسترس مانند آنچه در شکل ۲ نشان داده شده، به دست آورد. این روند نمونه‌گیری تا ثابت شدن EAD ادامه می‌یابد (USACE, 1996).

ب-استفاده از مفهوم AGEAD

از آنجا که خسارت کشاورزی بر خلاف سایر انواع خسارت در مراحل مختلف رشد متفاوت بوده و به زمان رخداد سیل وابسته است محاسبه خسارت کشاورزی موردانتظار سالانه AGEAD[۷] و در واقع آنالیز ریسک آن پیچیده‌تر می‌گردد.

در این حالت لازم است اولاً: به جای تحلیل فراوانی سالانه سیـل، تحلیل فراوانی سیل بر اساس فصل رشد گیاه مورد نظر صورت گیرد و ثانیاً: احتمال رخداد هر مقدار Q با یک احتمال رخداد معین مانند P_r در مراحل مختلف رشد مدنظر قرار گیرد. (به بخش ۳-۴ مراجعه شود).



شکل۲- نمایش نحوه تبدیلات مورد استفاده در روش معمول محاسبه خسارت محتمل سالانه (USACE, 1996).

با توجه به آنکه انتگرال گیری از تابع احتمال-خسارت با نمونه‌گیری از فضای این تابع مشکل و وقت‌گیر است می‌توان به پیشنهاد اداره مهندسی ارتش آمریکا جهت محاسبه EAD از دبی‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و۵۰۰ ساله به جای نمونه‌گیری تصادفی و تکرار مراحل تا ثابت شدن EAD استفاده نمود (HEC-FDA, 2008). براین اساس و با اقتباس از این ایده می‌توان جهت محاسبه AGEAD نیز روش انتگرال‌گیری را به این‌صورت ساده کرد: ۱- گسترش تابع دبی- احتمال بر اساس تحلیل فراوانی سیل برای فصل رشد گیاه مورد مطالعه ۲-استخراج دبی‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و۵۰۰ ساله ۳- محاسبه نقشه رقومی خسارت کل (TLF) با استفاده از مراحل ۲ تا ۷ روش ارائه شده در بخش ۳-۴- محاسبه AGEAD از فرمول زیر:

$$AGEAD = \sum_{i=2}^{500} P_{ri} \times TLF_i \qquad (۳)$$

که در آن TLF_i ، نقشه رقومی خسارت کل به ازای هر دوره برگشت و Pr_i احتمال رخداد مربوط به آن می‌باشد. مراحل محاسبه AGEAD با استفاده از روش فوق در شکل ۳ قابل ملاحظه است.

۳-۴- بررسی عدم قطعیت در خسارت کشاورزی

۳-۴-۱- منابع عدم قطعیت در خسارت کشاورزی

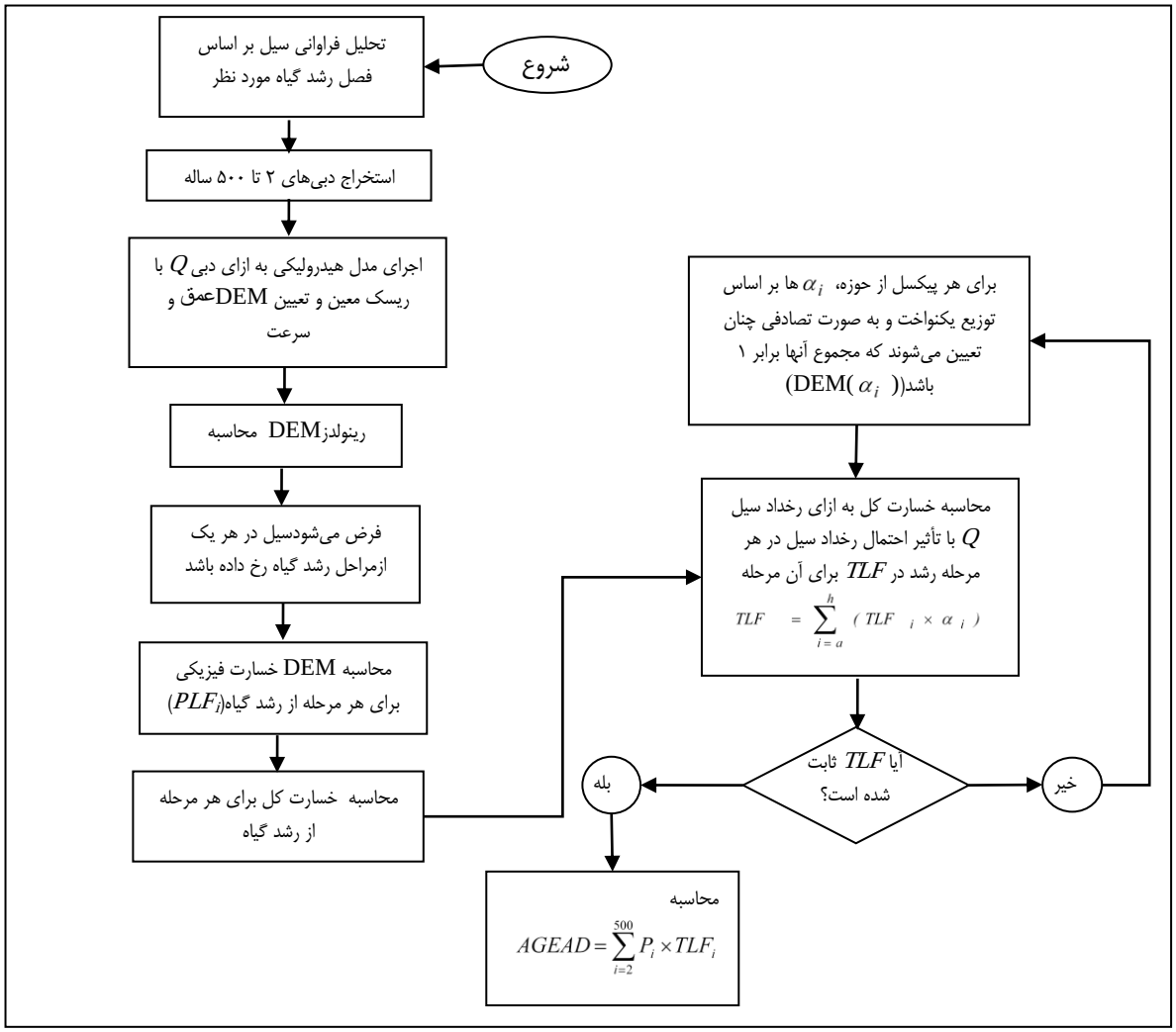
پس از محاسبه ریسک خسارت کشاورزی، لازم است عدم قطعیت موجود در پارامترهای آن مورد بررسی قرار گیرد. عدم قطعیت موجود

در هر پدیده به دو دسته تقسیم می‌شود. عدم قطعیت ناشی از کمبود دانش در آن پدیده و عدم قطعیت ناشی از تصادفی بودن پارامترهای دخیل در آن. برهمین اساس تخمین خسارت کشاورزی یک منطقه بر اساس اطلاعاتی صورت می‌گیرد که دارای هر دو نوع عدم قطعیت می‌باشد. این عدم قطعیت‌ها شامل موارد زیر است:

الف- عدم قطعیت موجود در وقایع هیدرولوژیک آینده که شامل دبی جریان و بارندگی است. در تحلیل تابع دبی-احتمال علاوه بر عدم قطعیت مذکور عدم قطعیت انتخاب توزیع آماری و مقادیر پارامترهای توزیع نیز اضافه می‌شوند. ب- عدم قطعیت ناشی از اجرای مدل هیدرولیکی که می‌تواند ناشی از تخمین نادرست فاکتور زبری باشد. ج- عدم قطعیت موجود در توابع برآورد خسارت فیزیکی.
در این تحقیق، به بند الف و نحوه محاسبه آن پرداخته می‌شود.

۳-۴-۲- محاسبه عدم قطعیت

استفاده از ضرایب ایمنی در طرح‌ها بدون اطلاع کافی از میزان کمی عدم قطعیت خروجی، ممکن است هزینه طرح‌ها را به شدت بالا برده یا از دقت طراحی کاسته و طرح را با شکست مواجه سازد. در حالیکه می‌توان با تحلیل کمی ریسک با در نظر گرفتن عدم قطعیت، توصیف بهتری از مخاطرات را بدست داد و ضرایب ایمنی را در محدوده‌ای قابل قبول ارائه نمود. همچنین محاسبه سهم هر کمیت در میزان عدم قطعیت خروجی از اهمیت خاصی برخوردار است زیرا به مدیران و محققین دید کافی از نحوه برخورد با مسأله داده و به آنها کمک می‌کند که میزان دقت لازم در برآورد هر یک از پارامترها را در ارزیابی کلی ریسک مدنظر قرار دهند. بر این اساس می‌توان گفت که با برآورد ریسک با دقت مورد نیاز می‌توان در هزینه‌ها صرفه‌جویی نمود.



شکل ۳ - مراحل محاسبه خسارت کشاورزی سالانه مورد انتظارAGEAD

از آنجا که استفاده از روش‌های تحلیلی محاسبه ریسک و عدم قطعیت در طرح‌های کاهش خسارت به علت ماهیت پیچیده خسارت که از ترکیبی از توابع هیدرولوژیکی، هیدرولیکی و اقتصادی به دست می‌آید، امکان‌پذیر نمی‌باشد، جهت توصیف عدم قطعیت‌های موجود می‌توان از روش‌هایی مانند روش نمونه‌گیری از سیل سالانه استفاده کرد (USACE, 1996).

در این روش خسارت سالانه مورد انتظار (EAD) توسط روش ارائه شده در شکل ۲ محاسبه می‌شود، با این تفاوت که در هر مرحله، یک جزء به عنوان خطای (ε) پیش‌بینی به دبی، تراز و خسارت اضافه می‌شود. نمی‌توان این خطا را پیش‌بینی کرد، تنها می‌توان آن را توصیف کرد. برای توصیف این خطا یک توزیع احتمالی به خطا برازش داده شده و در هر مرحله، یک نمونه تصادفی از توزیع احتمالی آن خطا انتخاب می‌گردد. برای این کار فرضیاتی ضروری است: ۱- خطا در هر تابع تصادفی است. ۲- خطاها در پیش‌بینی خسارت، در سیل‌های متوالی به هم وابسته نیستند. گامهای این روش به صورت زیر است (USACE, 1996).

الف- نمونه‌گیری از تابع دبی- احتمال برای تولید سیل. به این ترتیب که یک عدد تصادفی بین ۰ و ۱ به عنوان نماینده احتمال تجاوز از دبی ماکزیمم سالانه انتخاب می‌گردد و دبی ماکزیمم سالانه متناظر با آن احتمال از تابع احتمال قرائت می‌شود. ب- یک جزء تصادفی برای نمایش عدم قطعیت در تابع احتمال-دبی اضافه می‌گردد. این جزء اضافی، نشان دهنده عدم قطعیت پیش‌بینی دبی برای احتمال تجاوز معین در گام «الف» می‌باشد. این کار توسط توسعه یک تابع احتمال که عدم قطعیت را توصیف می‌کند و نمونه‌گیری ازآن امکان‌پذیر است، انجام می‌شود. ج- تراز متناظر با "دبی+ خطا از گام «ب»" پیدا می‌شود. د- یک جزء تصادفی برای نمایش عدم قطعیت در پیش‌بینی تراز برای دبی معین اضافه می‌گردد. برای انجام این کار، لازم است تابع چگالی احتمال خطای تراز تعریف گردد و خسارت متناظر با "تراز + خطا از گام «د»" تعیین می‌گردد. ه- یک جزء تصادفی که بیانگر عدم قطعیت در پیش‌بینی خسارت به ازای یک تراز معین است به نتیجه حاصل از بخش "ه" اضافه می‌شود. برای این کار باید تابع چگالی احتمال برای خطای خسارت تعریف گردد. با نمونه‌گیری از تابع مزبور یک عدد تصادفی برای بیان احتمال خطای خسارت تولید می‌شود، و این مقدار به نتایج گام «و» اضافه می‌شود. ی- گامهای «الف» تا «ه» تکرار شده و تا زمانی که متوسط خسارت ثابت شود، ادامه می‌یابد. در نهایت آماره‌های مورد نیـــاز تخمین خسارت مثل میانگین که همان خسارت سالانه مـــورد انتظار است، محاسبه می‌شود.

۳-۵- محاسبه AGEAD با در نظرگرفتن عدم قطعیت تابع دبی- احتمال

زمانی که دبی‌های اوج سالانه در ایستگاه هیدرومتری ثبت شده باشد، می‌توان بر داده‌ها یک توزیع آماری برازش داده و از این تابع میانگین، برای تحلیل‌های مبتنی بر ریسک استفاده کرد. اما پیش‌بینی‌های صورت گرفته توسط این تابع دارای عدم قطعیت می‌باشد که ناشی از عدم دانش کافی در مورد توزیع و پارامترهای توزیع می‌باشد. به عبارت بهتر عدم قطعیت تابع احتمال-دبی ممکن است ناشی از عدم انتخاب درست تابع توزیع یا به علت عدم قطعیت موجود در پارامترهای توزیع ناشی از خطای نمونه‌گیری باشد. استفاده از روش پیشنهاد شده توسط USACE که در بخش ۳-۴-۲ به آن اشاره شد، نیازمند برازش یک تابع توزیع بر خطای موجود در هر یک از پارامترهای دخیل (ازجمله تابع دبی-احتمال) در محاسبه EAD می‌باشد. چنین تابعی معمولاً به علت عدم وجود اطلاعات کافی در هیچ یک از طرح‌های آبی قابل دسترسی نمی‌باشد. بنابراین در مواردی مانند خسارت کشاورزی سالانه مورد انتظار که از ترکیبی از توابع متعدد به دست می‌آید استفاده از روش‌هایی مانند آنچه در ادامه می‌آید اجتناب‌ناپذیر است.

الف-تشکیل باند اطمینان و نمونه‌گیری از آن

اگر بتوان برای هر یک از پارامترهای توزیع، احتمال اینکه آن پارامتر بین محدوده بالا و پایین مشخصی قرار گیرد را تعیین کرد می‌توان امکان توصیف عدم قطعیت تابع فراوانی را فراهم آورد. در این روش جهت توصیف عدم قطعیت ناشی از تابع احتمال-دبی در محاسبه AGEAD، می‌توان یک محدوده اطمینان حول تابع احتمال-دبی ایجاد کرده و به جای نمونه‌گیری از تابع توزیع احتمال-دبی، به صورت تصادفی از این محدوده نمونه‌گیری کرد و سایر مراحل محاسبه AGEAD را مانند بخش ۳-۳-ب تکرار نمود. به این ترتیب عدم قطعیت ناشی از تابع احتمال-دبی در محاسبه AGEAD مدنظر قرار می‌گیرد.

ب-استفاده از شبیه‌سازی مونت‌کارلو

در این روش، جهت نمونه‌گیری از تابع احتمال-دبی از شبیه‌سازی مونت‌کارلو به صورت زیراستفاده می‌گردد: ۱- بر اساس توزیع برازش داده شده به دبی‌های اوج فصل رشد گیاه و پارامترهای توزیع مذکور و با استفاده از روش توضیح داده شده در بخش ۳-۳-ب، AGEAD

محاسبه می‌گردد. ۲- بر اساس توزیع مذکور و پارامترهای آن، ۱۰۰۰ دبی به صورت تصادفی تولید می‌شود و مجددا به داده‌های تولید شده یک تابع توزیع احتمال برازش داده می‌شود که پارامترهای آن می‌تواند با پارامترهای توزیع اولیه متفاوت باشد. ۳- با جایگزینی تابع دبی-احتمال با پارامترهای جدید به جای تابع دبی-احتمال اولیه در مرحله ۱، محاسبات تکرار می‌گردد و AGEAD جدید محاسبه می‌گردد.

۴-مرحله ۲ و ۳ تا ثابت شدن متوسط AGEADها تکرار می‌گردد. در صورتی‌که با ۱۰۰۰ بار نمونه‌گیری متوسط AGEADها ثابت نشود مرحله ۲ یک‌بار دیگر تکرار می‌شود. این تعداد نمونه‌گیری در همه موارد در مطالعه حاضر کفایت داشته است.

۴- نتایج

همانطور که در قسمت‌های پیشین ذکر شد هدف از این تحقیق محاسبه میزان عدم قطعیتی است که تابع احتمال-دبی در برآورد ریسک خسارت کشاورزی ایجاد می‌کند. برای نیل به این هدف در این بخش ابتدا ریسک خسارت کشاورزی ناشی از سیل در منطقه آزارود برای گیاه برنج توسط روش ارائه شده برآورد می‌گردد. سپس با استفاده از روش مونت کارلو و تکرار برآورد ریسک به تعداد ۱۰۰۰ بار از داده‌های تولید شده توسط توزیع مورد نظر در محیط GIS ریسک خسارت کشاورزی با در نظر گرفتن عدم قطعیت تابع دبی-احتمال محاسبه می‌گردد.

۴-۱-تحلیل زمانی و مکانی ریسک خسارت کشاورزی برای گیاه برنج در منطقه آزارود

اولین مرحله تحلیل ریسک، تحلیل فراوانی سیل برای منطقه مورد نظر و محاسبه بزرگی سیل برای احتمال رخدادهای متفاوت می‌باشد. جهت این امر کافی است تابع دبی-احتمال برای ایستگاه دینارسرا را به دست آورد. برای انتخاب نوع تابع چگالی احتمال قابل برازش بر هر نوع از داده‌ها عوامل زیادی دخیل می‌باشند. یکی از مواردی که به کارشناس کمک می‌نماید تا به انتخاب بهترین تابع توزیع احتمال بپردازد مشخصه‌های آماری داده‌های مورد مطالعه می‌باشد. بر این اساس سعی شده است تا مهمترین آماره‌های مربوط به سیلابهای حداکثر لحظه‌ای بدست آورده شود. جداول ۱ و۲ آماره‌های مربوط به داده‌های سیلابی رودخانه آزارود را نشان می‌دهند.

با داشتن سیلابهای لحظه‌ای با طول دوره مناسب اکنون می‌توان به تحلیل فراوانی سیلابها به منظور دستیابی به سیلابهای طراحی اقدام نمود. در این راستا از نرم‌افزار Easy fit استفاده به عمل آمده است. این نرم افزار ۶۱ عدد از معروفترین توزیع‌ها از جمله نرمال، لوگ نرمال، پیرسون، لوگ پیرسون، گاما، بتا و غیره را مورد ارزیابی قرار داده و بر اساس سه شاخص کولموگروف اسمیرنوف، اندرسون دارلینگ و کای-اسکوور بهترین توزیع‌ها را معرفی می‌کند. در تحقیق حاضر آزمون نکویی برازش بر اساس شاخص کولموگروف اسمیرنوف صورت پذیرفته و بهترین توزیع توزیعی است که شاخص کولموگروف اسمیرنوف آن کمتر باشد. بر این اساس توزیع GEV بهترین توزیع در بین ۶۱ توزیع برازش داده شده می‌باشد. نتیجه حاصله برای ایستگاه دینارسرا در جدول شماره ۳ آورده شده است.

جدول ۱- آماره‌های اصلی مربوط به داده‌های سیلابی رودخانه آزارود

Sample size	Range	Mean	Variance	Std.Deviation	CV	Std.Error	Skewness
۲۶	۱۱۸	۳۱	۷۹۰	۲۸	۰.۹۰۴	۵.۵۱	۲.۰۲

جدول ۲- آماره‌های مربوط به توزیع دهک‌های داده‌های سیلابی رودخانه آزارود (m3/sec)

Min	٪۵ Quantile	٪۱۰ Quantile
۳.۷۰	۴.۰۲	۶.۰۰
(Q1)٪۲۵	(Median)٪۵۰	(Q3)٪۷۵
۱۳.۵۰	۲۳.۷۵	۳۳.۳۶
٪۹۰ Quantile	٪۹۵ Quantile	Max
۸۸.۳۲	۱۱۰.۳۲	۱۲۲

جدول ۳- سیلابهای حدی رودخانه آزارود

دوره بازگشت			
۲	۵	۱۰	۲۵
۲۲/۸۳	۴۳/۳۶	۶۱/۴۴	۹۰/۸۱
دوره بازگشت			
۵۰	۱۰۰	۲۰۰	۵۰۰
۱۱۸/۶۷	۱۵۲/۸۴	۱۹۴/۷۳	۲۶۵/۲۵

در این مرحله با استفاده از نرم‌افزار HECRAS هیدرولیک سیل برای دوره برگشت‌های ۲ تا ۵۰۰ ساله برای منطقه آزارود شبیه‌سازی

گردید. در مرحله بعد لازم است خسارت کشاورزی ناشی از رخداد سیل با دوره برگشت‌های دو تا پانصد ساله (TLF) پیش‌بینی گردد. برای این منظور از تابع خسارت زمانی که در معادله ۱ فرم ریاضی آن آمده است استفاده گردید. میزان β در این فرمول برای مراحل نشا، ساقه‌زنی، خوشه‌دهی و درو برای گیاه برنج به ترتیب برابر ۵۰٪، ۸۰٪، ۹۰٪ و ۱۰۰٪ در نظر گرفته شد (Ganji and Shokoohi, 2014). قابل ذکر است که این نسبت‌ها با پرسش از کشاورزان محلی و مسؤلین بخش کشاورزی به صورت مطالعات میدانی استخراج گردیده است (Shokoohi and Ganji, 2013). همچنین جهت محاسبه نقشه رقومی خسارت فیزیکی معادله ۲ مورد استفاده واقع گردید که ضرایب A و B برای مراحل مختلف رشد در جدول شماره ۴ نشان داده شده است.

جدول ۴- ضرایب a و b برای مراحل مختلف رشد گیاه برنج (Ganji et al., 2012)

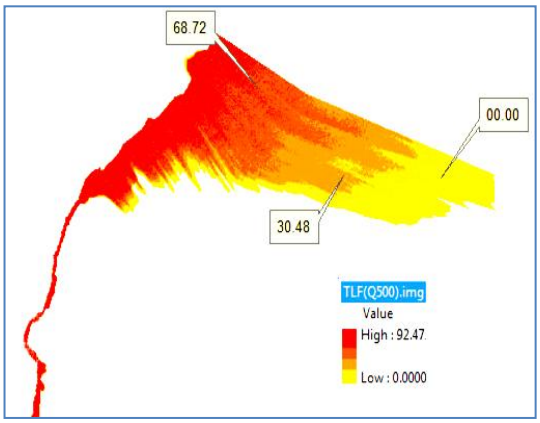
مرحله رشد	A	B
پس از نشا	۰/۰۰۶	-۱۴۵/۰۷
ساقه زنی	۰/۰۰۲۳	-۴۶/۱۱
خوشه‌زنی	۰/۰۰۰۸	-۴۲/۵۴
درو	۰/۰۰۱۹	-۴۱/۲۵

با در دست داشتن توابع خسارت زمانی و فیزیکی و استفاده از روش ذکر شده در بخش ۳-۳ نقشه رقومی *TLF* برای هر دوره برگشت به دست می‌آید. به عنوان نمونه نقشه رقومی *TLF* برای دبی ۵۰۰ ساله در شکل ۴ نشان داده شده است.

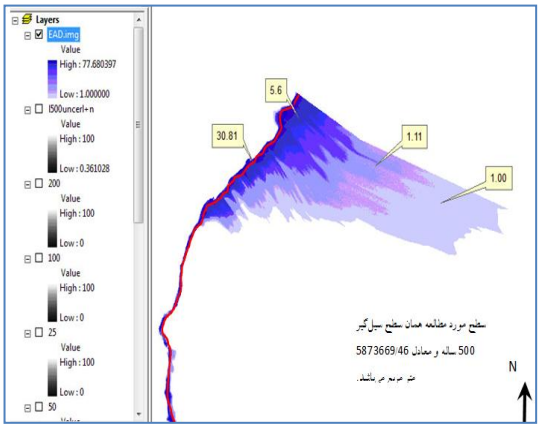
در نهایت با در دست داشتن نقشه رقومی *TLF* برای دبی‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۵۰۰ ساله و استفاده از روش ارائه شده در بخش ۳-۳-ب می‌توان خسارت کشاورزی مورد انتظار سالانه AGEAD که در واقع همان ریسک خسارت کشاورزی ناشی از سیل در این منطقه است را به دست آورد. شکل ۵ نقشه رقومی AGEAD را برای منطقه آزارود و گیاه برنج نشان می‌دهد. متوسط AGEAD در سطح سیل‌گیر ۵۰۰ ساله (یعنی منطقه‌ای به وسعت ۵۸۷۳۶۶۹.۴۶ مترمربع) برابر با ۱/۸ درصد می‌باشد. این بدان مفهوم است که سالانه در منطقه‌ای به وسعت ۵۸۷ هکتار خسارتی که از سیل محتمل است ۱/۸ درصد قیمت برنجی است که در این منطقه کشت می‌شود.

۴-۲- محاسبه ریسک خسارت وارد بر برنج با در نظر گرفتن عدم قطعیت تابع احتمال-دبی

می‌توان به وسیله هر یک از دو روش مذکور در بند ۳-۵ عدم قطعیت در تخمین خسارت سالانه را توصیف کرد اما از آنجا که تشکیل باند اطمینان نیازمند داده‌های اندازه‌گیری شده بسیار زیادی است که در منطقه آزارود مانند بسیاری از مناطق دیگر در دسترس نمی‌باشد در این مطالعه علیرغم حجم وسیع محاسبات از روش مونت‌کارلو جهت شبیه‌سازی عدم قطعیت استفاده به عمل آمده است. لازم به ذکر است که با استفاده از این روش هم عدم قطعیت پارامترهای توزیع و هم عدم قطعیت تابع توزیع مد نظر قرار می‌گیرد. با استفاده از روش توضیح داده شده در بند ۳-۵-ب جهت محاسبه AGEAD با در نظر گرفتن عدم قطعیت، در هر مرحله بر اساس توزیع GEV (که به عنوان توزیع برتر تابع احتمال-دبی برگزیده شده است) ۱۰۰۰ دبی به صورت تصادفی تولید شده و مجددا به داده‌های تولید شده یک تابع توزیع احتمال برازش داده می‌شود و دبی‌های ۲ تا ۵۰۰ ساله از روی توزیع جدید استخراج می‌گردد.

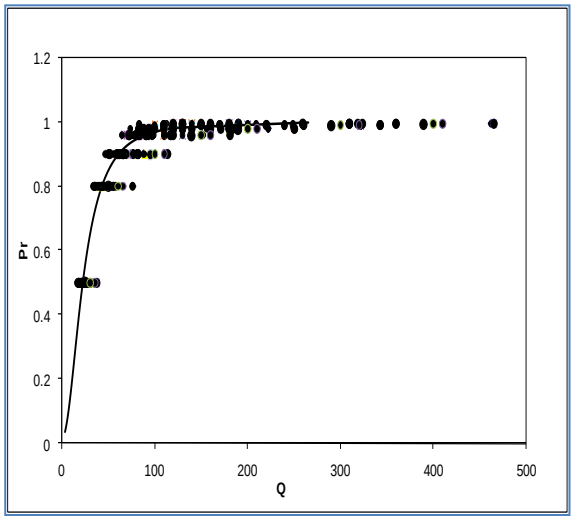


شکل ۴- نقشه رقومی TLF برای دبی ۵۰۰ ساله

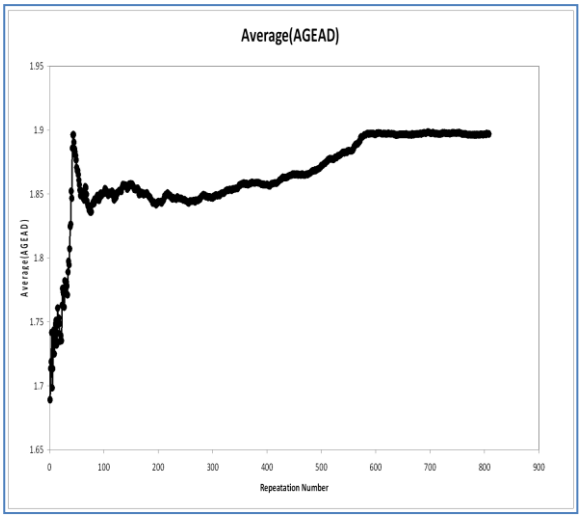


شکل ۵- نقشه رقومی AGEAD برای دبی ۵۰۰ ساله

شکل ۶ برخی از دبی‌های تولید شده توسط روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو را نشان می‌دهد. با این روش به یک باند اطمینان هم برای تابع دبی- احتمال ایجاد می‌گردد. سپس به ازای هر تابع توزیع تولید شده و دبی‌های استخراج شده از روی تابع مذکور، AGEAD جدید با استفاده از دبی‌های جدید (۲ تا ۵۰۰ ساله) محاسبه می‌گردد و این روش تا ثابت شدن AGEAD ادامه می‌یابد.شکل ۷ میزان متوسط AGEAD با در نظر گرفتن عدم قطعیت در تابع احتمال-دبی و تعداد تکرارهای موردنیاز تا ثابت شدن محاسبات را نشان می‌دهد.



شکل۶- باند اطمینان تولید شده برای تابع دبی-احتمال



شکل ۷- محاسبه AGEAD با در نظر گرفتن عدم قطعیت موجود در تابع دبی-احتمال

شکل ۷ نشان می‌دهد که AGEAD، با در نظر گرفتن عدم قطعیت تابع دبی- احتمال ۱/۹ درصد برای منطقه‌ای به وسعت ۵۸۷۳۶۶۹/۴۶ مترمربع می‌باشد که ۰/۱ بیشتر از عدد AGEAD بدون در نظر گرفتن این عدم قطعیت می‌باشد. بنابراین عدم قطعیت ناشی از تابع دبی-احتمال ۵/۵٪ می‌باشد.

۵- نتیجه‌گیری

هر پدیده هیدرولیکی توسط یک مدل ریاضی شبیه‌سازی می‌گردد. بنابراین خروجی مورد نظر، هم به علت عدم قطعیت‌های موجود در برآورد پارامترهای ورودی و هم به علت عدم قطعیت مدل دارای عدم قطعیت خواهد بود. بررسی عدم قطعیت‌های موجود در هر پدیده اعم از عدم قطعیت کلی خروجی یا میزان عدم قطعیت هر یک از پارامترهای دخیل در پدیده می‌تواند درک درستی از میزان خطاها به طراحان داده و دقت لازم برای برآورد هر کدام از پارامترهای ورودی را تعیین نماید. به این ترتیب بررسی عدم قطعیت هر پارامتر ورودی در میزان عدم قطعیت خروجی، می‌تواند از افزایش هزینه‌ها به علت جمع‌آوری داده‌ها با دقتی بیشتر از میزان مورد نیاز یا برآورد خروجی با عدم قطعیت زیاد به علت برآورد پارامترهای دخیل با دقت کمتر از میزان مورد نیاز، جلوگیری نماید. بر این اساس هدف تحقیق حاضر کمی کردن تأثیر میزان عدم قطعیت تابع دبی- احتمال ، که یکی از منابع مهم عدم قطعیت در برآورد ریسک خسارت سیل باشد، در عدم قطعیت ریسک خسارت کشاورزی ناشی از سیل می‌باشد. جهت نیل به این هدف گیاه برنج که بیشترین سطح زیر کشت مناطق شمالی ایران را تشکیل می‌دهد به عنوان گیاه مورد مطالعه و منطقه آزارود که از مناطق سیل‌خیز این منطقه می‌باشد، به عنوان منطقه مورد مطالعه مورد بررسی قرار گرفت. همچنین جهت شبیه‌سازی هیدرولیکی سیل با احتمال رخدادهای متفاوت از نرم‌افزار HECRAS و جهت ترکیب توابع خسارت و هیدرولیک سیل به منظور آنالیز ریسک از محیط GIS استفاده گردید. در نهایت برای کمی کردن میزان عدم قطعیت از روش مونت‌کارلو برای تولید داده و شبیه‌سازی تابع توزیع دبی- احتمال استفاده شده و با ترکیب روش مونت‌کارلو و روش محاسبه خسارت سالانه مورد انتظار کشاورزی (AGEAD) که همان ریسک خسارت کشاورزی ناشی از سیل می‌باشد میزان عدم قطعیت تابع دبی-احتمال در برآورد ریسک خسارت کشاورزی ناشی از سیل برای گیاه برنج در منطقه آزارود برآورد گردید. نتایج نشان می‌دهد که متوسط ریسک خسارت کشاورزی در وسعت سیل ۵۰۰ ساله (منطقه‌ای به وسعت ۵۸۷ هکتار) بدون در نظر گرفتن عدم قطعیت برابر با ۱.۸ درصد می‌باشد. این رقم با در نظر گرفتن عدم قطعیت تابع دبی-احتمال به ۱.۹ درصد افزایش می‌یابد که با توجه به وسعت منطقه می‌تواند در مناطق

نزدیک رودخانه رقم قابل ملاحظه‌ای باشد این ریسک در مناطق سیل‌گیر دور از رودخانه برخلاف باور عمومی و روش‌های مرسوم برآورد خسارت و تعیین ریسک معادل صفر بدست آمده است. در این مطالعه متوسط عدم قطعیت ایجاد شده توسط تابع دبی–احتمال به تنهایی ۵/۵ درصد می‌باشد. بنابراین دقت در برآورد تابع دبی–احتمال جهت برآورد ریسک خسارت کشاورزی ناشی از سیل و در نتیجه جهت مدیریت سیل در هر منطقه‌ای که بخش قابل توجهی از کاربری اراضی آن را کشاورزی تشکیل می‌دهد از نکاتی است که باید بیشتر مورد توجه قرار گیرد. همچنین جهت برآورد حق بیمه‌های خسارت کشاورزی ناشی از سیل نیز می‌بایستی تابع دبی–احتمال با دقت بیشتری تعیین گردد.

پی‌نوشت‌ها

1- Knowledge Uncertainty
2- Natural Variability
3- First-Order Variance Estimation Method Harr
4- U.S. Water Resources Council
5- Expected Annual Flood Damage
6- Agriculture Expected Annual Damage

۷- مراجع

Aronica GT, Franza F, Bates PD, Neal JC (2012) Probabilistic evaluation of flood hazard in urban areas using Monte Carlo Simulation. Hydrological Processes 26:3962-3972

Brody SD, Blessing R, Sebastian A, Bedient P (2013). Delineating the reality of flood risk and loss in southeast Texas. Natural Hazards Review ASCE 10:89-97

Ganji Z, Shokoohi A (2014) A mathematical model for agricultural flood loss estimation. Iran Water Resources Research 10(3):1-13

Ganji, Z, Shokoohi A, Samani J MV (2012) Developing an agricultural flood loss estimation function (case study: rice). Natural Hazard 64:405-419

Gates K, Al-Zahrani MA (2002) Spatiotemporal stochastic open-channel flow. J. of Hydraulic Engineering ASCE 122(11):641-661

Hansen D, Bari R (1996) Uncertainty in water profile of buried stream flowing under coarse material. Journal of Hydraulic Engineering ASCE 128(8):761-773

HEC-FDA (2008) Flood damage reduction analysis. User manual version 1.2.4, Us Army Corps of for Water Resources Hydrologic Engineering Center, 374 p

Hochrainer-Stigler S, Lugeri N, Radziejewski M (2014) Up-scaling of impact dependent loss distributions: a hybrid convolution approach for flood risk in Europe. Nat Hazards 70:1437-1451

Hosseini SM (2000) Statistical evaluation of the empirical equation that estimate hydraulic parameters flow through rockfil. Stochastic Hydraulics 2000 eds. Wang ZY, Hu, SX, Balkema, Rotterdam, 916p

Hsu WK, Huang PC, Chen CW, Chang CC, Hung DM, Chiang WL (2011) An integrated flood risk assessment model for property insurance industry in Taiwan. Nat Hazards 58(3):1295–1309

Hsu WK, Tseng CP, Chiand WL, Chen CW (2012) Risk and uncertainty analysis in the planning stages of a risk decision-making process. Nat Hazards 61:1355–1365

Li K, Wu S, Dai E, Xu Z (2012) Flood loss analysis and quantitative risk assessment in china. Nat. Hazards, 63:737-760

Lian Y, Chie Yen B (2003) Comparison of risk calculation methods for a culvert. J. of Hydraulic Engineering ASCE 129(2):140-152

Papadopoulos CE, Yeung H (2001) Uncertainty estimation and Monte Carlo simulation method. Flow Measurement and Instrumentation 12:291–298

Shokoohi A, GAnji Z (2013) Non-structural management of floodplains using agricultural flood loss estimation. Irrigation and Water Engineering 12:83-94

Tung and Yen (2005) Hydrosystem engineering uncertainty analysis, McGraw-Hill, New York, 285p.

Tung YK (1993) Uncertainty and reliability analysis. In: Water Resources Handbook, Chapter 7, ed. Mays, L. W. McGraw-Hill, New York

USACE (1996) Risk-based analysis for flood damage reduction studies. Manual No. 1110-2-1619, 63 p.

Yeh KC, Tung Y K (1993) Uncertainty and sensitivity analysis of Pit-Migration model. Journal of Hydraulic Engineering ASCE 119:262-283

Zou R, Lung W, Guo H (2002). Neural network embedded Monte Carlo approach for water quality modeling under input information uncertainty. Journal of Computing in Civil Engineering 16(2):135-142