



Estimating Number of Fatalities Resulted by Flash Floods in Residential Areas

M. Karbasi¹, A. Shokoohi^{2*} and B. Saghafian³

Abstract

Among different types of natural disasters in the world, floods and especially flash floods, are known as the most devastating hazard which cause serious damages and fatalities in residential areas. Importance of estimating the maximum possible number of fatalities due to flash floods in urban watersheds is undeniable in order to consider appropriate management plans to reduce the number of casualties and lives lost. Applying some global equations to Kan River watershed, located in the north of Tehran, led to this conclusion that their accuracy for estimating the number of human fatalities is not reliable and developing a regional relationship is essential. In this study, using hydraulic parameters such as depth and velocity, a regional and comprehensive equation was developed to estimate loss of life due to flash flood in residential areas. Comparing the outcomes of the developed regional equation with global equations showed that the proposed equation provides more accurate estimation of the number of fatalities in the study area. Finally, it can be concluded that for watersheds with high flood fatality potential developing a regional equation could be more accurate and practical than existing of general relationships and global models.

Keywords: Flash Flood, Human Fatality, Regional Model, Urban Watersheds.

Received: August 6, 2018

Accepted: December 1, 2018

تخمین تلفات جانی سیلاب‌های آبی در مناطق مسکونی

مهدی کرباسی^۱، علیرضا شکوهی^{۲*} و بهرام ثقفیان^۳

چکیده

در میان انواع بلایای طبیعی در جهان، سیل بعنوان ویرانگرترین عامل شناخته می‌شود و در میان انواع آنها، سیلاب‌های آبی در حوضه‌های آبریز مشرف بر مناطق شهری خطرناکترین نوع سیلاب محسوب می‌شوند. تخمین پتانسیل تلفات انسانی ناشی از سیلاب‌های حوضه‌های آبریز شهری، بمنظور اجرای برنامه‌های مدیریتی در راستای کاهش میزان تلفات، دارای اهمیت فراوانی می‌باشد. در مقایسه با اهمیت این موضوع آنچه که تاکنون ارائه شده است روابطی عمومی می‌باشد که براساس نتایج پژوهش حاضر از دقتی مناسب برای تخمین تلفات سیلاب ناگهانی حوضه مطالعاتی یعنی حوضه آبریزکن تهران برخوردار نمی‌باشند. در این مطالعه با برآورد میزان سیلاب به ازای دوره بازگشت‌های مختلف، پارامترهای هیدرولیکی مؤثر از قبیل سرعت و عمق سیلاب محاسبه شده و سپس رابطه‌ای جامع برای تعیین تلفات ناشی از وقوع سیلاب‌های آبی در مناطق مسکونی توسعه داده شد. مقایسه نتایج حاصل از رابطه توسعه یافته با نتایج روابط ارائه شده توسط سایر محققین، دقت بیشتر و خطای برآورد کمتر تلفات تخمین زده شده توسط رابطه منطقه‌ای بدست آمده در این تحقیق را نشان داد. در نهایت می‌توان بیان کرد که علیرغم وجود روابط عمومی جهت تخمین میزان تلفات انسانی، توسعه یک رابطه منطقه‌ای از طریق روش ارائه شده در این مقاله برای حوضه‌های با احتمال وقوع تلفات زیاد در زمان سیلاب‌های ناگهانی، بسیار عملی‌تر و دقیق‌تر می‌باشد.

کلمات کلیدی: سیلاب ناگهانی، تلفات جانی، مدل منطقه‌ای، حوضه آبریز شهری.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۷/۵/۱۵

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۷/۹/۱۰

1- Ph.D. Student, Department of Civil Engineering, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran.

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

3- Professor of Civil Engineering Department, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran.

*- Corresponding Author

۱- دانشجوی دکتری دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، گروه مهندسی عمران، تهران، ایران.

۲- استاد دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، گروه مهندسی آب، قزوین، ایران.

۳- استاد دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، گروه مهندسی عمران، تهران، ایران.

*- نویسنده مسئول
بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان تابستان ۱۳۹۸ امکانپذیر است.

Ghahroudi Tali et al. (2016) در مطالعه آسیب‌پذیری ناشی از سیلابهای شهری تهران از حوضه درکه تا کن این مناطق را آسیب‌پذیر در مقابل سیل اعلام کردند و عامل اصلی را بالا بودن سهم نسبی ساخت و سازها، بالا بودن نسبی تراکم مسکن و جمعیت، تغییر کاربری و وارد شدن به حریم رودخانه و بهره‌برداری نادرست از مسیله‌ها در معرض ناپایداری ناشی از سیلاب دانستند. Hooshyaripor et al. (2016) برای مدیریت سیل رودخانه کن دو روش سازه‌ای و غیر سازه‌ای را برای کاهش خسارات ناشی از سیل پیشنهاد و با استفاده از روشهای بهینه‌سازی بهترین روش را برای به حداقل رساندن آسیب‌پذیری منطقه پیشنهاد کردند. محققین مزبور در برآورد آسیب‌پذیری، خسارات فیزیکی در کاربری‌های مختلف نظیر خانه‌های مسکونی و زمین‌های کشاورزی را در نظر گرفته و برای برآورد خسارت از منحنی‌های عمق-خسارت استفاده نمودند. Sheshangosht et al. (2015) برای بهره‌وری بیشتر سیلابدشت رودخانه کن از رویکرد مدیریت جامع سیلاب در محیط GIS صحبت به عمل آورده و با پهنه‌بندی سیلاب در دشتهای سیلابی رودخانه کن محل بهینه برای ایجاد کاربری‌های مختلف را پیشنهاد نمودند. Golian et al. (2014) در بررسی سیلابهای بحرانی حوضه کن اثرات استفاده از سدهای اصلاحی در کاهش دبی و افزایش زمان رسیدن به اوج را ارزیابی نمودند. Nazemmahalleh and Ghahroudi Tali (2013) در ارزیابی مدیریت سیل شهر تهران به این نتیجه رسید که مدیریت سیلابهای شهری نیازمند استفاده از زهکشهای طبیعی مشرف بر شهر در ترکیب بهینه با شبکه‌های جمع‌آوری آبهای سطحی است. همانطور که ملاحظه می‌گردد علیرغم وقوع تلفات انسانی زیاد در ایران، بخصوص در سیلاب ناگهانی که بیشترین تلفات را بدلیل فرصت کم فرار از محدوده سیل‌زده داراست، تحقیقات محدود انجام شده به ارزیابی کلی خسارات مالی سیلاب در اطراف رودخانه‌ها پرداخته‌اند. لذا در این تحقیق به برآورد تلفات جانی ناشی از بروز سیلابهای آبی در مناطق مسکونی حوضه کن واقع در شمال تهران پرداخته شده است. در بخش‌های بعد نحوه استخراج مدل برآورد مرگ و میر و همچنین مقایسه نتایج حاصل از رابطه منطقه‌ای توسعه‌یافته با نتایج سایر محققین ارائه می‌گردد.

۲- مواد و روش تحقیق

۲-۱- محدوده مورد مطالعه

حوضه کن یکی از حوضه‌های شمالی تهران به‌شمار می‌رود که با حوضه آبخیز حصارک در غرب و حوضه آبخیز جاجرود در شمال و شمال شرق آبخیز سد کرج در شمال و شمال غربی، حوضه آبخیز وردیج در شرق و شهر تهران در جنوب، مرزبندی شده است. موقعیت

طبق سوابق تاریخی ثبت شده، سیلاب‌ها تلفات بسیاری را به جوامع بشری وارد کرده‌اند بطوریکه تحقیقات انجام یافته توسط یونسکو نشان می‌دهد که طغیان رودخانه‌ها تنها در آسیا همه ساله جان حدود ۱۷ میلیون نفر را در معرض خطر قرار می‌دهد. نمونه آن سیل ویرانگر پاکستان در سال ۲۰۱۰ بود که بیش از ۲۰ میلیون نفر را تحت تأثیر قرار داد و در جریان این سیلاب حدود ۲۰۰۰ نفر جان خود را از دست دادند (Kirsch et al., 2012). در ایران، مطابق آمار موجود در ۵۳ سال گذشته، بیش از ۱۲ هزار شهروند ایرانی (متوسط سالانه ۲۲۶ نفر) بر اثر سیلاب جان خود را از دست داده‌اند (Mehr News, 2012). یکی از مهم‌ترین عوامل تلفات بالا در زمان وقوع سیلاب‌های ناگهانی در رودخانه‌ها، عدم در نظر گرفتن ضوابط حریم و بستر رودخانه، عدم وجود معیارهای ساخت و ساز مقاوم در مقابل سیلاب در کنار حادث شدن پدیده سیلاب‌های ناگهانی در اثر بروز پدیده تغییرات اقلیم می‌باشد.

محققان مطالعه‌ای را جهت بررسی علل مرگ و میر در اثر وقوع سیلاب، بر اساس بررسی سیزده واقعه سیلاب که در اروپا و آمریکا رخ داده است، انجام دادند و بیان کردند که با توجه به ۲۴۷ مورد تلفات جانی، می‌توان علل مرگ و میر را در سه گروه اصلی؛ مرگ و میر ناشی از غرق‌شدگی (۶۷/۶٪ تلفات)، مرگ و میر ناشی از آسیب‌های فیزیکی (۱۱/۷٪ تلفات) و مرگ و میر ناشی از سایر عوامل (۲۰/۷٪ تلفات) تقسیم‌بندی کرد (Jonkman, 2005).

منابع موجود در مورد تلفات جانی ناشی از وقوع سیلاب ناگهانی جنبه‌های مختلفی را پوشش می‌دهند. در برخی از تحقیقات، نظیر تحقیقات جامعی که توسط Jonkman et al. (2008) انجام شده است، به بررسی و ارائه الگوی تلفات سیلاب ناگهانی در مقیاس جهانی پرداخته شده است. در برخی دیگر نظیر مطالعات Haynes et al. (2015) و Luu et al. (2017) آمار واقعی تلفات سیلاب جمع‌آوری و آنالیز شده است. در مطالعه برخی از محققین نظیر Brazdova and Riha (2014) نیز روابطی برای تخمین تعداد تلفات ارائه شده است و همچنین برخی محققین مانند De Bruijn et al. (2015) نقشه‌های خطرات تخریبی و تلفاتی سیلاب را ارائه کرده‌اند. در نهایت تأثیر ساخت‌گروه و سایر سازه‌ها جهت مقابله با سیلاب و کاهش میزان تلفات و خرابی‌ها نیز توسط محققینی دیگر ارائه شده است (Miller et al., 2015). همانطور که ذکر گردید مطالعات سیلاب و مخاطرات مرتبط با آن در ایران بیشتر معطوف به تعیین خطر سیل‌گیری بدون ارزیابی خسارت‌های وارده و در بهترین حالت برآورد تقریبی خسارت‌های فیزیکی سیلاب است.

پایین دست سولقان تقسیم شد. از بین این زیرحوضه‌ها، امامزاده داوود تندترین و کشار ملایم‌ترین شیب را دارند. رودخانه اصلی که کن نامیده می‌شود از سرشاخه‌های زیرحوضه طالون شروع می‌شود و تا پایین دست زیرحوضه سولقان که خروجی اصلی در آن واقع است، به طول ۲۴/۶۵ کیلومتر ادامه می‌یابد. متوسط بارندگی سالانه حوضه در دوره آماری ۳۰ ساله (۱۳۵۷-۱۳۸۷) ۴۱۴/۱۳ میلی‌متر می‌باشد. اطلاعات عمومی و حداکثر مقادیر سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف مربوط به زیرحوضه‌های کن در جدول ۱ ارائه شده است. ذکر این نکته حایز اهمیت است که مقادیر حداکثر سیلاب‌های ارائه شده در جدول ۱، با استفاده از روش SCS و مدل HEC-HMS بدست آمده و واسنجی مدل بر اساس سیلاب‌های ثبت شده در ایستگاه هیدرومتری سولقان انجام شده است.

۲-۲-۲- روابط جهانی مرتبط با مرگ و میر ناشی از سیل

بمنظور تخمین میزان پتانسیل نسبت تلفات، تا کنون روابط متعددی بر حسب مشخصه‌های هیدرولیکی سیلاب بویژه عمق و سرعت سیلاب ارائه شده است. در میان روابط موجود که به دو دلیل دقت و سادگی مقبولیت جهانی یافته‌اند می‌توان از روابط ۱ تا ۴ نام برد (Asselman and Jonkman, 2003; Jonkman et al., 2008):

جغرافیایی این حوضه در حد فاصل طول جغرافیایی ۱۰' ۵۱° تا ۲۳' ۵۱° و عرض جغرافیایی ۴۵' ۳۵° تا ۵۸' ۳۵° قرار دارد. منطقه کن به لحاظ نزدیکی به پایتخت و در برداشتن اماکن تفریحی و زیارتی مورد توجه است. حوضه آبخیز کن در یک منطقه کوهستانی با شیب‌های تند قرار دارد که ۷۵ درصد از کل آن شامل شیب‌های بسیار تند بوده و ارتفاع متوسط حوضه ۲۳۷۷ متر از سطح دریای آزاد است. مرتفع‌ترین نقطه حوضه با ۳۸۲۲ متر در زیر حوضه "امامزاده داوود (ع)" واقع شده است و پست‌ترین نقطه با ۱۳۲۷ متر در زیر حوضه "پایین دست سولقان" در شهر تهران قرار دارد.

مساحت و محیط حوضه کن تا خروجی مورد مطالعه (محل تقاطع رودخانه کن با اتوبان همت) به ترتیب برابر با ۲۱۶ کیلومتر مربع و ۷۴ کیلومتر است. در شکل ۱ موقعیت حوضه کن در استان تهران به همراه زیرحوضه‌های منطقه کن و رودخانه‌های اصلی آن نشان داده شده است.

۲-۲-۲- روش تحقیق

۲-۲-۱- تعیین دبی سیلابی زیرحوضه‌ها در محدوده مطالعاتی

منطقه مورد مطالعه به ۱۰ زیر حوضه اصلی به نام‌های طالون، رندان، سنگان، کشار، امامزاده داوود، دوآب، هریاس، کن میانی و سولقان و

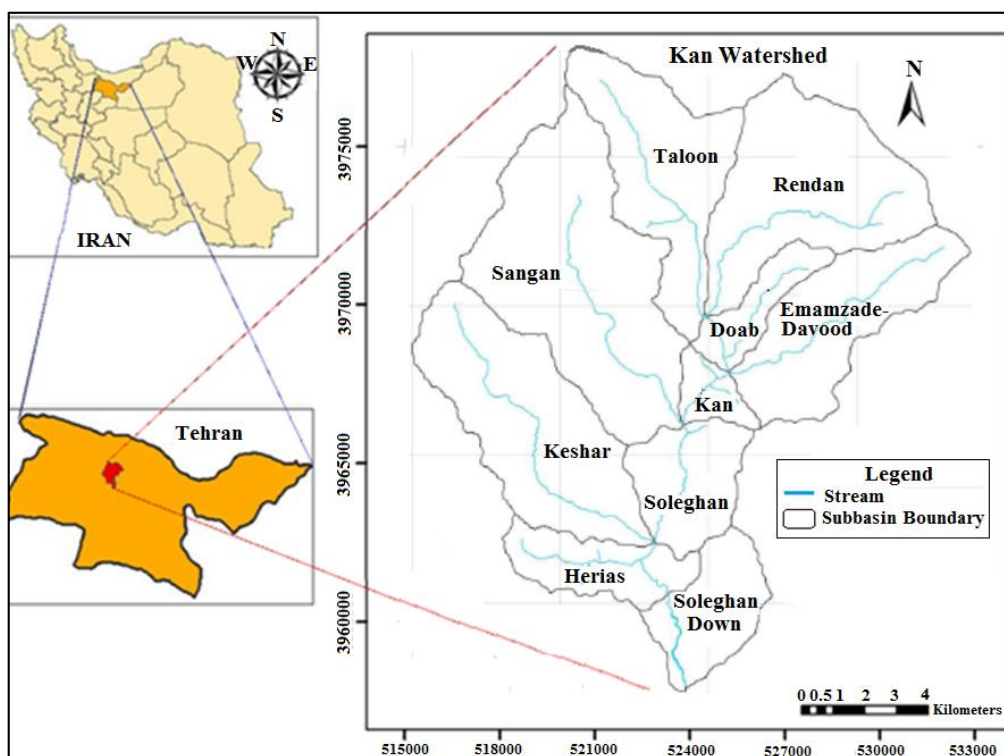


Fig. 1- Location of Kan watershed, its sub-basins and main rivers

شکل ۱- موقعیت حوضه کن در استان تهران به همراه زیرحوضه‌ها و رودخانه‌های اصلی آن

تحقیقات منابع آب ایران، سال پانزدهم، شماره ۱، بهار ۱۳۹۸

Volume 15, No. 1, Spring 2019 (IR-WRR)

Table 1- General information and peak flood values of Kan watershed sub- basins

جدول ۱- اطلاعات عمومی و حداکثر مقادیر سیلاب مربوط به زیرحوضه‌های کن

Sub basin	Area (Km ²)	Residential Area (Km ²)	Population	peak discharge of floods							
				T=2	T=5	T=10	T=25	T=50	T=100	T=200	T=500
Soleghan-Sofla	12.9	1.438	----	7	13	18	26	33	40	45	52
Rendan	33.6	0.068	223	9	14	18	24	28	33	37	42
Sangan	47.4	0.339	767	11	18	22	30	35	41	46	53
Soleghan	13.7	0.538	2200	7	13	18	27	34	42	47	55
Keshar	34.8	0.136	724	13	24	34	49	62	77	85	100
Middle-Kan	4.4	0.007	----	3	4	5	7	8	9	10	12
Herias	11.4	0.0109	30	6	12	16	24	30	37	41	44
Emamzade_Davood	23.8	0.161	520	7	12	14	19	22	26	29	33
Doab	7.2	0.0091	----	3	5	7	9	10	12	13	16
Taloon	26.6	0.16	196	8	12	15	20	24	28	31	36

و ناپایداری اصطکاکی (سرخوردن). آنها به عنوان مثال به این نتیجه رسیدند که سرخوردن در ترکیب جریان کم عمق و سرعت زیاد مقدم بر مرگ ناشی از واژگون شدن انسان در سیلاب رخ می‌دهد. روابط ارائه شده برای مقادیر بحرانی سرعت و عمق که منجر به ناپایداری انسان در جریان سیلابی می‌گردد عبارتند از:

$$h_c = \frac{C_M^2}{C_F^2} = \cos(\alpha) \frac{L}{\mu} \quad V_c = \frac{C_F \cdot m^{0.5}}{C_M} \quad (5)$$

$$C_M = (2g \cdot \frac{\cos(\alpha)L}{C_D B \rho})^{0.5} \quad C_F = \frac{2\mu g}{C_D B \rho}$$

در رابطه فوق α زاویه کج شدگی فرد، L (m) قد شخص، m (kg) جرم شخص، B (m) متوسط عرض بدن، ρ (kg/m³) چگالی مایع، g (m/s²) شتاب جاذبه، μ ضریب اصطکاک، C_D ضریب نیروی کششی، h_c ارتفاع بحرانی و V_c سرعت بحرانی می‌باشد. شکل ۲ برای شرایط متوسطی برابر با $\alpha = 75^\circ$; $g = 9.81 \text{ m/g}^2$; $L = 1.75 \text{ m}$; برای $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ و $C_D = 1.1$; $B = 0.4 \text{ m}$; $\mu = 0.5$ ارائه شده است (Jonkman and Penning-Rowse, 2008).

برای تخمین تعداد تلفات سیلاب لازم است سه مرحله زیر را پیمو:

- ۱- تعیین محدوده و مشخصات هیدرولیکی سیلاب نظیر عمق و سرعت
 - ۲- تعیین تعداد افراد در معرض خطر سیلاب
 - ۳- تخمین میزان تلفات اتفاق افتاده نسبت به افراد در معرض خطر سیلاب (تعیین F_D)
- بمنظور تخمین میزان تلفات با استفاده از مدل منطقه‌ای و براساس راهکار فوق‌الذکر، مراحل زیر بترتیب انجام شدند:
- ✓ واسنجی و صحت‌سنجی مدل هیدرولوژیکی (HEC-HMS) و هیدرولیکی (HEC-RAS) با استفاده از هیدروگراف‌های مشاهده‌ای در ایستگاه سولقان

Mizutani, 1985 – Isewan typhoon : F_D (۱)

$$= 10^{(2h - \frac{11}{3})} \quad F_D \leq 1$$

Mizutani, 1985 – Jane typhoon : F_D

$$= 10^{(h - 5.5)} \quad F_D \leq 1$$

Waarts, 1992 : $F_D(h) = 0.665 \cdot 10^{-3} e^{1.16h} \quad F_D \leq 1$ (۲)

Boyd et al., 2005: F_D (۳)

$$= \frac{0.34}{(1 + \exp(20.37 - 6.18h))}$$

Asselman and Jonkman, 2003 $f(h)_{rise} = 9.18 \cdot 10^{-4} \cdot e^{1.52h} \quad f(h)_{rise} \leq 1$ (۴)

در روابط فوق:

F_D = نسبت مرگ و میر که عبارت است از تعداد تلفات تقسیم بر کل افراد در معرض خطر، h = عمق جریان بر حسب متر و $f(h)_{rise}$ = نسبت افرادی که در اثر بالا آمدن سریع جریان آب در حدی بیشتر از ۱ m/hr خواهند مرد، می‌باشند.

۲-۳- ضوابط مورد استفاده در توسعه مدل منطقه‌ای (این تحقیق)

در ارزیابی پتانسیل مرگ و میر در هنگام بروز سیلاب، در موفق‌ترین و پرکاربردترین معادلات (نظیر معادلات ۱ تا ۳) عموماً از عمق جریان استفاده شده است. در تحقیق حاضر از نظریه‌ای استفاده شده است که Jonkman and Penning-Rowse (2008) ارائه نموده‌اند. در تئوری توسعه یافته توسط این دو محقق به این نکته توجه شده است که هر دو عامل سرعت و عمق، به تنهایی و همچنین در ترکیبی بحرانی، بیش از هر عامل دیگری در مرگ و میر ناشی از سیلاب مؤثر می‌باشند. در ارزیابی به عمل آمده توسط این دو محقق دو عامل اصلی برای ناپایداری انسان وجود دارد: ناپایداری گشتاوری (واژگون شدن)

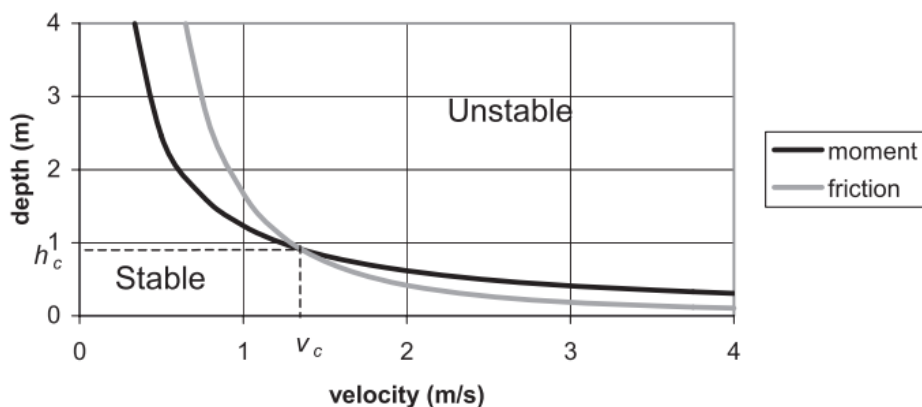


Fig. 2- Theoretical boundaries for moment and friction instability (after Jonkman and Penning-Rowsell, 2008)

شکل ۲- محدوده‌های تئوری برای ناپایداری گشتاوری و لغزشی (برگرفته از Jonkman and Penning-Rowsell, 2008)

سولقان در فروردین ۱۳۷۵، دو واقعه در فروردین ۱۳۸۲ و نهایتاً اسفند ۱۳۸۳ انجام شد. شکل ۳ سیلاب مورخ فروردین ماه ۱۳۷۵ و برازش مناسب هیدروگراف‌های واسنجی شده دو مدل هیدرولوژیکی و هیدرولیکی را نشان میدهد. جدول ۲ نیز دقت ارزیابی هیدروگراف واسنجی شده با استفاده از معیار نش- ساتکلیف را برای مدل هیدرولوژیکی در حدی قابل قبول بدست می‌دهد. مقدار ضریب نش برای مدل هیدرولیکی نیز در همان محدوده مدل هیدرولوژیکی بدست آمد.

۳-۲- تعیین نقشه‌های سیلابی و نمودار تأثیر پارامترهای هیدرولیکی روی میزان تلفات

با توجه به آمار تلفات جانی حوضه، مشخص گردید که ۵ روستای رندان، تالون، امامزاده داوود، سنگان و سولقان بیشترین میزان تلفات جانی را تا کنون داشته‌اند و در سایر مناطق حوضه کن تعداد تلفات ناچیز بوده است. بنابراین نتایج تحقیق مربوط به این ناحیه ارائه می‌گردد. همانطور که در قسمت ۲-۲ ارائه شد، اولین گام پس از واسنجی و صحت‌سنجی مدل هیدرولیکی تهیه نقشه پهنه سیلابی، عمق و سرعت جریان سیلابی می‌باشد. در شکل ۴ پهنه، عمق و سرعت سیلاب ۵۰۰ ساله (بهمراه محدوده ناپایدار این سیلاب در مجاورت منطقه مسکونی سولقان بعنوان نمونه ارائه شده است.

✓ تعیین پهنه سیلابی حاصل از شبیه‌سازی سیلاب با دبی حداکثر هیدروگراف با دوره بازگشت‌های مختلف ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۵۰۰ ساله (طبق جدول ۱)
 ✓ تعیین محدوده مسکونی سیل گرفته با ادغام لایه‌های محدوده مسکونی و پهنه سیلابی در GIS
 ✓ تعیین عمق و سرعت جریان برای هر پهنه سیلابی
 ✓ تعیین محدوده‌های مسکونی سیل گرفته ناپایدار با در نظر گرفتن رابطه عمق و سرعت بحرانی (رابطه ۵) برای شرایط ناپایداری انسان

✓ برآورد جمعیت کل در هر محدوده مسکونی بعنوان جمعیت در معرض سیلاب

در توسعه مدل تلفات انسانی، توزیع جمعیت افراد در معرض خطر در تمامی محدوده‌های مسکونی یکنواخت در نظر گرفته شد. صحت‌سنجی این فرضیه در قسمت نتایج و بحث ارائه خواهد شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- کالیبراسیون مدل‌های هیدرولیکی و هیدرولوژیکی مورد استفاده

کالیبراسیون مدل‌های هیدرولوژیکی (HEC-HMS) و هیدرولیکی (HEC-RAS) با استفاده از هیدروگراف‌های مشاهده‌ای در ایستگاه

Table 2- Evaluating Hydrologic model performance via Nash-Sattcliffe coefficient

جدول ۲- ارزیابی عملکرد مدل هیدرولوژیکی با استفاده از ضریب نش- ساتکلیف

Flood occurrence date	April 1996	April 2003 (1 st flood)	April 2003 (2 nd flood)	March 2005
Nash- Sutcliffe coef.	0.7	0.63	0.51	0.31

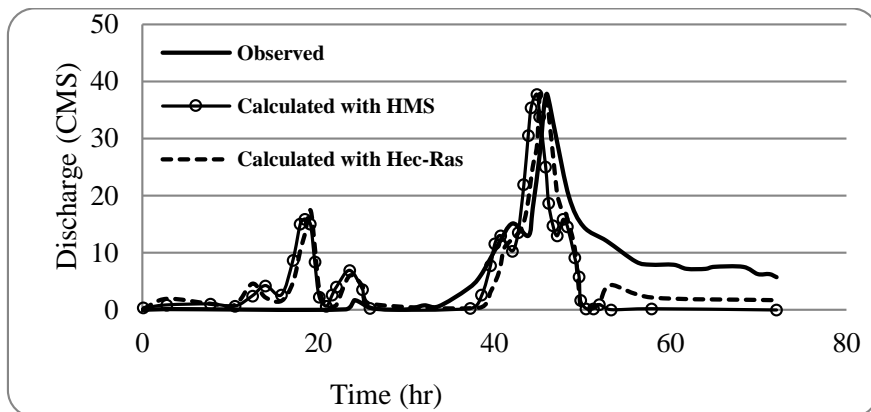


Fig. 3- Calibration of HEC-HMS and HEC-RAS using observed flood data in Soleghan station (April 1996)
 شکل ۳- واسنجی مدل‌های HEC-RAS و HEC-HMS با توجه به سیلاب مشاهده‌ای در ایستگاه سولقان (فروردین ۱۳۷۵)

افزایش می‌یابد. علت این امر می‌تواند این امر باشد که در سیلاب‌های کوچکتر، هندسه مقاطع در مجاورت نواحی مسکونی بگونه‌ای است که توانایی عبور سیلاب را داراست و به ندرت با افزایش مقدار جریان تا محدوده سیل ۱۰۰ ساله، سیلاب وارد دشت سیلابی شده و باعث ایجاد تلفات می‌گردد. بیشتر بودن میزان تلفات در برخی نواحی نسبت به سایر مناطق (علیرغم کمتر بودن عمق و سرعت سیلاب در آن ناحیه نسبت به سایر نواحی)، می‌تواند به علت بیشتر بودن جمعیت و ساخت و ساز غیرقانونی بیشتر در آن ناحیه در حریم رودخانه باشد.

با فرض توزیع یکنواخت جمعیت ساکن برای هر محدوده در کل بخش سیل‌زده (افراد در معرض خطر) و همچنین عدم تفاوت میزان مرگ و میر در شب و روز، میزان مرگ و میر بدست آمد. همانطور که در شکل‌های ۵ و ۶ (تأثیر پارامترهای هیدرولیکی عمق و سرعت متوسط جریان بر روی میزان تلفات) مشخص است، با افزایش هر یک از پارامترهای مشخصه جریان (عمق و سرعت)، تعداد تلفات در ابتدا تا سیلاب با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله با تغییرات اندک و شیب بسیار ملایم زیاد می‌شود اما با افزایش بیشتر مقدار جریان، تلفات با شیب تندی

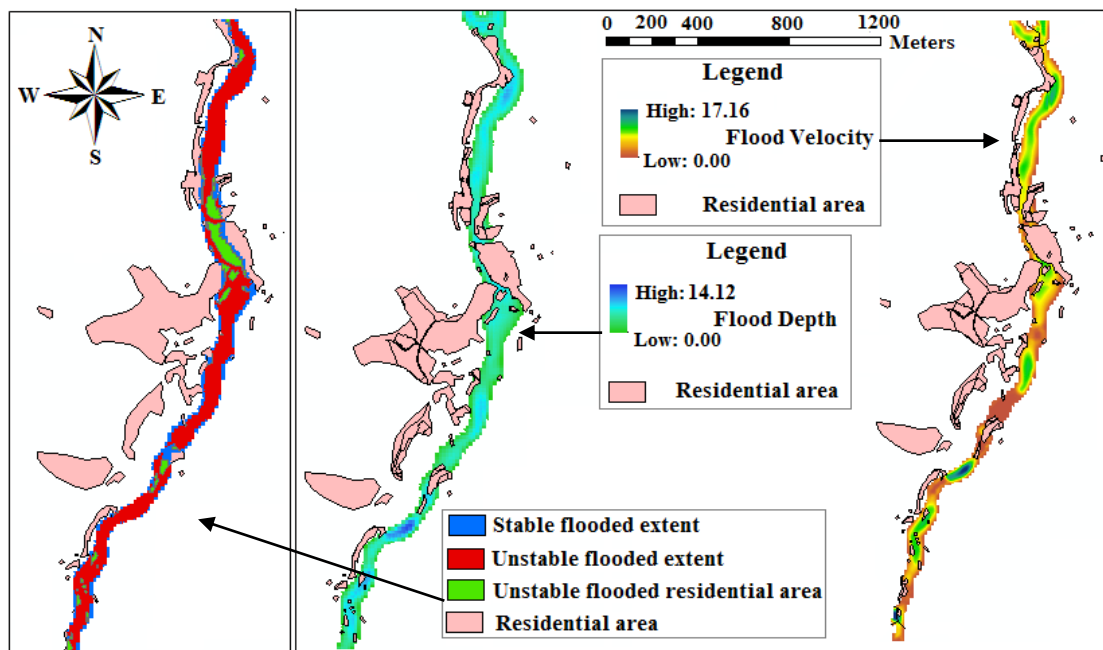


Fig. 4- 500-year flood depth and velocity extent as well as unstable flooded residential areas in Soleghan

شکل ۴- پهنه عمق و سرعت سیلاب ۵۰۰ ساله به‌همراه محدوده ناپایدار این سیلاب در مجاورت سولقان

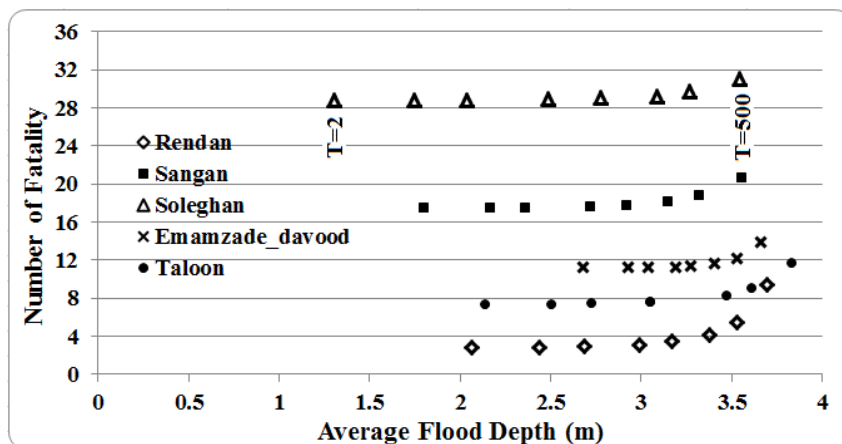


Fig. 5- Effect of flood depth on the number of fatalities in Kan sub-basins

شکل ۵- تأثیر تغییر عمق متوسط جریان در محدوده هر یک از روستاهای حوضه آبریز کن روی تعداد تلفات ایجاد شده

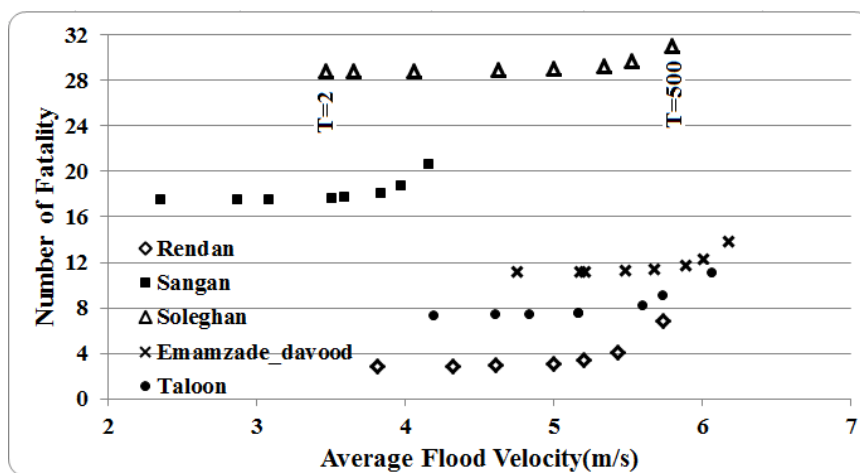


Fig. 6- Effect of flood velocity on the number of fatalities in Kan sub-basins

شکل ۶- تأثیر تغییر سرعت متوسط جریان در محدوده هر یک از روستاهای حوضه آبریز کن روی تعداد تلفات ایجاد شده

مفید واقع گردید ملاحظه نمایی بودن رابطه تلفات و پارامترهای هیدرولیکی برای محدوده‌های مسکونی منطقه مورد مطالعه (شکل‌های ۵ و ۶) بود. با توجه به موارد فوق‌الذکر رابطه ۶ بمنظور تخمین تعداد تلفات سیلاب در هر یک از محدوده‌های مسکونی بدست آمد:

$$N.F = 5.786(0.578h)(0.5924V)(e^{3.755A}) \quad (6)$$

$$R^2=0.97$$

در رابطه فوق N.F تعداد تلفات سیلاب در هر منطقه، h عمق متوسط جریان سیلابی (متر)، V سرعت متوسط جریان سیلابی (متر بر ثانیه) و A مساحت محدوده مسکونی در معرض خطر سیلاب (کیلومتر مربع) می‌باشد. مقایسه تعداد تلفات تخمین زده شده و تعداد تلفات موجود بر اساس مدل هیدرولیکی واستجی شده) در شکل ۷ ارائه شده است. همانطور که در این شکل مشخص است دقت برآورد تلفات در حوضه آبریز کن، مناسب ($R^2=0.97$) بوده است.

۳-۳- توسعه مدل منطقه‌ای برای تخمین میزان پتانسیل تلفات جانی سیل

به منظور توسعه رابطه جهت تخمین میزان تلفات در حوضه آبریز کن سعی شد معادله‌ای بدست آید که تا حد ممکن ساده بوده و برای رعایت اصل خست در مدل‌سازی تعداد پارامترهایش به کمتر از ۵ پارامتر محدود گردد (Beven, 1989). براین اساس و با توجه مطالعات پیشین که منتخب آنها در معادلات ۱ تا ۴ ملاحظه گردید، پارامترهای هیدرولیکی نظیر عمق، سرعت، حاصل ضرب عمق در سرعت و دبی سیلاب به عنوان مؤثرترین پارامترها در نظر گرفته شدند. در ادامه مطالعه بر روی حوضه کن و مشاهده این امر که تعداد تلفات در هر محدوده با توجه به سطح و جمعیت هر ناحیه متفاوت است، پارامتر مساحت منطقه مسکونی هر حوضه نیز در توسعه مدل مرگ و میر مد نظر قرار گرفت. نکته مهمی که در توسعه رابطه منطقه‌ای مورد نظر

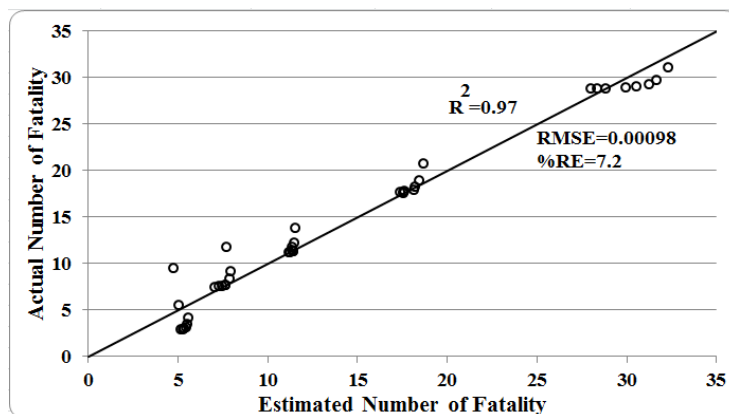


Fig. 7- Comparison of actual and estimated number of fatalities in Kan watershed

شکل ۷- مقایسه تعداد تلفات تخمین زده شده و تعداد تلفات موجود در حوضه آبریز کن

ارائه شده برای تخمین تعداد تلفات، انجام گردید و تقریباً همان نتایج جدول ANOVA برای مدل ارائه شده (جدول ۳) را تأیید نمود. نتایج این آنالیز براساس مقادیر R^2 و میزان خطاهای RE و RMSE (طبق روابط ۷ و ۸) در جدول ۴ ارائه شده است. این نتایج نشان می‌دهد که به ترتیب پارامترهای عمق، سرعت جریان و مساحت محدوده مسکونی بیشترین تأثیر را در دقت تخمین تعداد تلفات دارند:

$$RE\% = \frac{N.Fact - N.Fest}{N.Fact} \times 100 \quad (7)$$

$$RMSE = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (N.Fact - N.Fest)^2}}{E} \times 100 \quad (8)$$

در روابط فوق N.Fact و N.Fest بترتیب تعداد تلفات واقعی و تخمینی سیلاب می‌باشند.

جدول ۳ نتیجه ارزیابی ضرایب رابطه توسعه یافته به کمک نرم‌افزار SPSS را نشان می‌دهد. کمتر بودن مقادیر درجه معنی‌داری (پارامتر Sig) ارائه شده در این جدول از ۰/۰۵ نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌گردد رابطه ارائه شده توانسته است تعداد تلفات در حوضه آبریز کن را با دقت معنی‌داری (سطح اطمینان بیشتر از ۹۵٪) تخمین بزند. جدول مزبور همچنین نشان می‌دهد که با توجه به اینکه ضریب Beta برای پارامتر h بیشترین مقدار مثبت را دارد، عمق متوسط جریان در میان تمامی پارامترها از اهمیت بیشتری در تخمین میزان تلفات حوضه کن برخوردار است.

آنالیز حساسیت به روش حذف تک پارامتری برای رابطه رگرسیونی

Table 3- The statistical information of independent variables of Eq. (6) using SPSS

جدول ۳- اطلاعات آماری متغیرهای مستقل رابطه (۶) با استفاده از آنالیز رگرسیونی مدل SPSS

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	Sig.	
	B	Std. Error	Beta		
(Constant)	37.68	1.439		.704	
1	A	0.76	1.653	0.392	.000
	h	-17.98	.255	0.893	.004
	v	2.11	.924	0.518	.000

شکل ۸ مقایسه‌ای بین نرخ تلفات (نسبت تعداد تلفات به جمعیت در معرض خطر) واقعی و نرخ تلفات تخمین زده شده با استفاده از سایر روابط ارائه شده تا کنون، و همچنین رابطه پیشنهادی این تحقیق را ارائه می‌کند. همانطور که ملاحظه می‌گردد رابطه پیشنهادی در این تحقیق تخمین دقیق‌تری از نرخ تلفات نسبت به سایر روابط ارائه شده توسط محققین مختلف را بدست می‌دهد. جدول ۴ مقادیر دقت و خطای تخمین روابط مختلف در تعیین تعداد تلفات در حوضه آبریز کن را نشان می‌دهد.

Table 4- Single-parameter sensitivity analysis of Eq. (6) for Kan watershed

جدول ۴- آنالیز حساسیت به روش حذف تک پارامتری رابطه ۶ برای حوضه آبریز کن

Unconsidered parameters	RMSE	RE%	R ²
h	0.0062	154.2	0.42
V	0.0059	105.9	0.71
A	0.0023	44.37	0.8

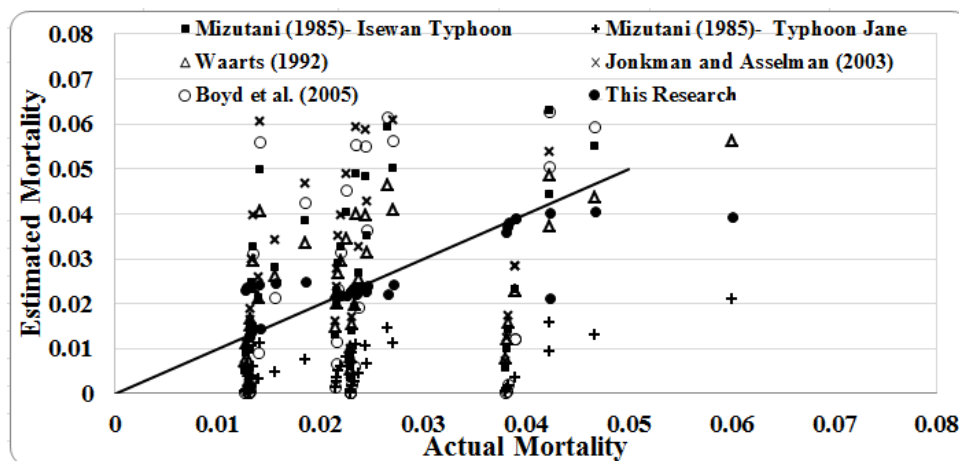


Fig. 8- Comparison of developed equation with previously presented equations to estimate mortality due to flash floods in Kan watershed

شکل ۸- مقایسه بین نرخ تلفات تخمین زده شده و نرخ تلفات واقعی سیلاب ناگهانی با استفاده از روابط مختلف در حوضه کن

Table 4- Accuracy and Error of different Equations for estimating mortality due to flash flood in Kan watershed

جدول ۴- مقادیر دقت و خطای تخمین روابط مختلف در تخمین تعداد تلفات سیلاب ناگهانی حوضه آبریز کن

Researcher	Accuracy and Errors of estimation		
	R ²	RE%	RMSE
This Research	0.97	-7.262	0.00098
Mizutani (1985)- Isewan Typhoon	0.25	-12.311	0.00261
Mizutani (1985)- Typhoon Jane	0.29	79.624	0.00340
Waarts (1992)	0.23	-5.126	0.00203
Jonkman and Asselman (2003)	0.25	-36.782	0.00333
Boyd et al. (2005)	0.18	13.064	0.00336

ناگهانی، نشان دهنده تعداد کم روابط و در عین حال دقت نه چندان مناسب روابط کلی ارائه شده می‌باشد. بنابراین اهمیت توسعه یک رابطه منطقه‌ای تلفات جانی بر حسب تمامی پارامترهای مؤثر هیدرولیکی، بویژه برای حوضه‌های با پتانسیل بالای تلفات سیلاب از جمله حوضه کن تهران، غیر قابل انکار می‌باشد. در این تحقیق با استفاده از پارامترهای هیدرولیکی (از قبیل سرعت و عمق متوسط سیلاب بدست آمده از مدل هیدرولیکی Hec-Ras با جریان دائمی و به ازای مقادیر حداکثر دبی هیدروگراف سیلاب‌های با دور بازگشت مختلف حاصل از مدل هیدرولوژیکی Hec-Hms) رابطه منطقه‌ای نسبتاً جامعی برای تعیین تلفات ناشی از وقوع سیلاب‌های آنی در مناطق مسکونی منطقه کن تهران توسعه داده شد. جدول ضرائب رگرسیونی رابطه توسعه یافته در نرم‌افزار SPSS و آنالیز حساسیت رابطه مزبور نشان داد که پارامتر عمق سیلاب بیشترین تأثیر را در افزایش دقت تخمین تلفات جانی در رابطه فوق داشته است. مقایسه نتایج حاصل از رابطه توسعه یافته با

دقت در مقادیر جدول ۳ نشان می‌دهد که رابطه Mizutani (1985) بیشترین دقت و کمترین مقدار خطای تخمین نرخ تلفات در حوضه آبریز کن را بعد از رابطه پیشنهادی در این تحقیق داراست. همچنین با توجه به جدول فوق می‌توان دریافت که تفاوت خطای تخمین روابط مختلف با یکدیگر می‌تواند نشان از تاثیر مختلف عوامل متعدد در تخمین تلفات جانی در هر منطقه‌ای نسبت به منطقه دیگر باشد که این امر لزوم توسعه روابط تخمین تلفات در مناطق مسکونی، به‌منظور دستیابی به مقادیر دقیق‌تر تلفات و همچنین شناسایی مناطق بحران‌زا را بیان می‌کند.

۴- نتیجه گیری

متأسفانه علیرغم وقوع تلفات انسانی زیاد در ایران، بعنوان پیامد ناشی از سیلاب ناگهانی، هنوز بررسی این پدیده به میزان کافی انجام نشده است. مرور تحقیقات انجام شده در مورد تخمین تلفات جانی سیلاب

Hajat S, Ebi K L, Kovats S, Menne B, Edwards S, Haines A (2003) The human health consequences of flooding in Europe and the implications for public health. *Journal of Environmental Science and Public Health* 1(1):13-21

Haynes K, Coates L, de Oliveira F D, Gissing A, Bird D, van den Honert R, Radford D, D'Arcy R, Smith C (2015) An analysis of human fatalities from flood hazards in Australia, 1900-2015. In: *Floodplain Management Association National Conference*, 19-22 May, Australia

Honma Y, Yabe R (2015) Mathematical analysis of road blocking to improve evacuation time from tsunami. In: *Proceedings of 14th International Symposium on New Technologies for Urban Safety of Mega Cities in Asia (USMCA2015)*, 29-31 October, Nepal

Hooshyaripor F, Yazdi J, Eftekhari M, Javadi F, Sheshangosht S (2016) Flood management in Kan River basin using a simulation optimization approach. *Journal of Experimental Research in Civil Engineering* 3(1):73-89

Jonkman S N (2001) Flood risks: an investigation into the applicability of risk assessments. MSc Thesis, TU Delft

Jonkman S N (2005) Global perspectives of loss of human life caused by floods. *Journal of Natural Hazards* 34:151-175

Jonkman S N (2007) Loss of life estimation in flood risk assessment—theory and applications. Ph.D. Thesis, Delft University

Jonkman S N, Penning-Rowsell E (2008) Human instability in floods flows. *Journal of the American Water Resource Association* 44(4):1-11

Jonkman S N, Vrijling J K, Vrouwenvelder A C W M (2008) Methods for the estimation of loss of life due to floods: a literature review and a proposal for a new method. *Journal of Natural Hazard* 46(3):353-389

Luu Ch, Von Meding J, Kanjanabootra S (2017) Analysing flood fatalities in Vietnam using national disaster database and tree-based methods. *Journal of Natural Hazards Earth System Sciences, Discuss*, 155

Matsuo K, Natania L, Yamada F (2011) Flood and evacuation simulations for urban flooding. In: *5th International Conference on Flood Management*, 27-29 September, Tsukuba, Japan

Mehr News. Last access (2018) <https://www.mehrnews.com/news/1718334>

Miller A, Jonkman S N, Van Ledden M (2015) Risk to life due to flooding in post-Katrina New Orleans.

نتایج روابط ارائه شده توسط سایر محققین، دقت بیشتر و خطای برآورد کمتر تلفات را در رابطه منطقه‌ای توسعه یافته در این تحقیق نشان داد. بنابراین می‌توان بیان کرد که علیرغم وجود روابط متعدد جهت تخمین میزان تلفات، برای حوضه‌های با احتمال وقوع تلفات زیاد در زمان سیلاب‌های ناگهانی، توسعه یک رابطه منطقه‌ای سودمندتر از روابط کلی موجود می‌باشد.

۵- مراجع

Asselman N E M, and Jonkman S N (2003) Consequences of floods: the development of a method to estimate the loss of life. Delft Cluster Publication, DC1-233-7, 27p

Beven K (1989) Changing ideas in hydrology-The case of physically based models. *Journal of Hydrology* 105:157-172

Boyd E (2005) Toward an empirical measure of disaster vulnerability: storm surges, New Orleans, and Hurricane Betsy. In: *4th UCLA conference on public health and disasters*, 1-4 May, Los Angeles

Brazdova M, Riha J (2014) A simple model for the estimation of the number of fatalities due to floods in central Europe. *Journal of Natural Hazards Earth System Sciences* 14(1):663-1676

De Bruijn K M, Klijn F, van de Pas B, Slager C T J (2015) Flood fatality hazard and flood damage hazard: combining multiple hazard characteristics into meaningful maps for spatial planning. *Journal of Natural Hazards Earth System Sciences* 15:1297-1309

Di Mauro M, De Bruijn K M, Meloni M (2012) Quantitative methods for estimating flood fatalities: towards the introduction of loss-of-life estimation in the assessment of flood risk. *Journal of Natural Hazards* 63:1083-1113

Ghahroudi Tali M, Majidi Heravi A, Abdoli A (2016) Vulnerability due to urban flood (Case study; Tehran, Darakeh to Kan). *Geography and Natural Hazards* 17:21-35

Ghahroudi Tali M, Nezammahaleh M (2013) *Urban flooding management using the natural drainage system case study: Tehran, capital of Iran. Floods: From risk to opportunity*. Japan: IAHS Publications, 470p

Golian S, Ahmadi A, Salarian N (2014) The assessment of hydrologic performance of check dams on flood control in Kan River basin. *Journal of Watershed Engineering and Management* 6(3):258-268

- Klijn&Schweckendiek (Eds.). Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-0-415-62144-1
- Vrouwenvelder A C W M, Steenhuis C M (1997) Water flood defense systems, calculation of the number of victims in various scenarios. Report TNO 97-CON-R0332
- Waarts P (1992) Method for determining the number of deaths due to inundation. Report TNO B-91-1099
- WHO (World Health Organization) (2002) Floods: climate change and adaptation strategies for human health. WHO, Copenhagen
- Journal of Natural Hazards Earth System Sciences 15:59-73
- Sheshangosht S, Eftekhari M, Hooshyaripour F, Ghalkhani H, Koohian-Afzal F (2015) Methodology of floodplain optimum usage with integrated flood management aspect and GIS approach (Case study: Kan basin). Geospatial Engineering Journal 6(3):43-52
- Tagg A F, Kolen B, Leenders J, Chen H, Powell D (2013) The use of traffic modeling to inform a flood evacuation policy for Lincolnshire and Norfolk. Comprehensive Flood Risk Management –