

بررسی نقشه های برآورد خطر سیلاب ساحلی تهیه شده با مدل رقومی ارتفاع (DEM) و سامانه

اطلاعات جغرافیایی (GIS)، منطقه مورد مطالعه سواحل جنوب شرقی ایران

(استان سیستان و بلوچستان)

جلال کریمی، علی ناصری شوشتری زاده

چکیده

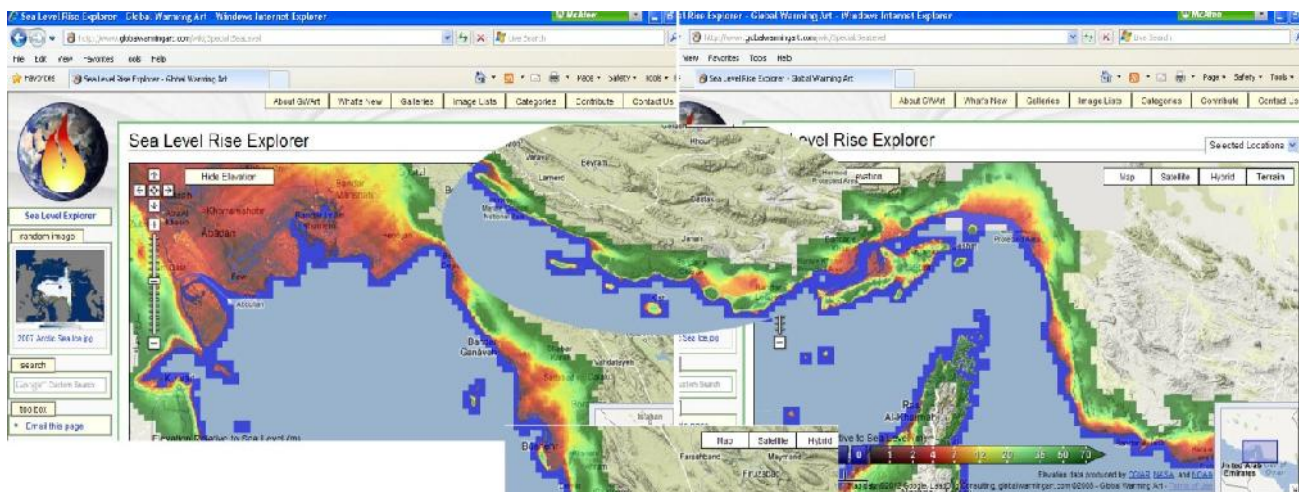
سواحل درگیر پیامدهای ناخوشایند مخاطرات محیطی هستند که با نوسانات سطح آب دریاها مرتبط است و خطرات ناشی از سیلابهای ساحلی بیش از پیش تهدید کننده می باشند و این مسئله ضرورت تهیه نقشه های ارزیابی خطر سیلاب با استفاده از سامانه های اطلاعات جغرافیایی (GIS) و ابزارهای نقشه سازی را ضروری تر می نماید. سواحل کشورمان در کرانه های دریای عمان نیز در معرض تهدید خطرات طوفانهای دریایی و سونامی می باشند. در این مقاله سعی شده تا ضمن شناسایی تهدیدات طوفانهای دریایی، دقت نقشه های ارزیابی خطر سیلاب ناشی از طوفانهای دریایی و سونامی در سواحل جنوب شرقی ایران نیز بررسی شود [۱]. در ابتدا ضمن بررسی کارهای مشابه انجام شده در جهان و نتایج آنها، وضعیت سواحل جنوب شرقی ایران و سیلابهای دریایی ناشی از طوفانها و سونامی، بطور مختصر شرح داده شده است. مدلسازی خطر سیلابهای ساحلی با استفاده از مدل های رقومی ارتفاع (DEM) تهیه شده از داده های SRTM، توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ (IRNCC25K) و ۱:۲۰۰۰ (IRNCC25K) سازمان نقشه برداری ایران انجام و خطاهای دو داده اول با داده های دقیقتر ۱:۲۰۰۰ مقایسه و ارزیابی گردیدند. نتایج مطالعه نشان داد که هر دوی داده های SRTM DEM و IRNCC25K DEM ارتفاعها را بیش از اندازه واقعی و خطرات را کمتر از اندازه واقعی نشان دادند. نتایج این مطالعه نشان داد که برای مدلسازی خطر سیلابهای ساحلی باید از داده های دقیق استفاده کرد و قبل از استفاده از داده ها دقت آنها را ارزیابی نمود.

کلیدواژه: مدل رقومی ارتفاع (DEM)، دقت داده ها، تهیه نقشه خطر سیلاب، مدل رقومی ارتفاع SRTM، مدل رقومی ارتفاع IRNCC

۱- مقدمه

دلتاها و نواحی ساحلی امروزه سهم قابل توجهی از جمعیت جهان را در خود ساکن نموده اند و تراکم جمعیت نیز در این مکانها دائما در حال افزایش است (۱۰٪ جمعیت جهان تا ارتفاع ۱۰ متری از سطح دریاها زندگی می کنند که مساحت این ناحیه فقط ۲٪ از کل مساحت خشکی های کره زمین می باشد) [۱].

امروزه ابزارهای (تحت وب بهنگام) زیادی برای برآورد اثرات بالا آمدن سطح آب دریاها بر روی خشکیها که بطور ساده ای با در نظر گرفتن سطوح ارتفاعی مشخص نسبت به سطح آب موجود دریاها کار می کنند وجود دارند که بطور نمونه می توان به نقشه جهانی سیلابهای ساحلی (www.globalfloodmap.org) و سایت اکتشافی نقشه های بالا آمدن سطح آب دریاها (<http://www.globalwarmingart.com/wiki/Special:SeaLevel>) می توان اشاره کرد. این ابزارها عمدتاً برای نشان دادن اثرات بالا آمدن آب در مقیاس جهانی استفاده می شوند. بهرحال اینکه این ابزارها و داده های مورد استفاده آنها تا چه اندازه برای آنالیزهای فضایی بزرگ مقیاستر می توانند مورد استفاده قرار گیرند واضح و قابل پیش بینی نمی باشد.



شکل ۱- سایتها و ابزارهای اینترنتی در دسترس عموم که برای تخمین اثر بالا آمدن سطح آب دریاها بر روی سواحل طراحی شده اند: این سایتها و ابزارها همگی بر پایه استفاده از DEM و GIS می باشند.

۲- خطر سیلابهای ساحلی در جنوب شرقی ایران

سواحل جنوب شرقی ایران، در حاشیه دریای عمان بصورت اتفاقی و غیر معمول تحت تاثیر طوفان های استوایی قرار دارند و این در حالی است که این طوفان ها قادر به تولید امواج بزرگ هستند. در نواحی بسیاری در امتداد این خطوط ساحلی، بخصوص در بخش های شرقی و مرکزی، امواج ناشی از این طوفان ها شرایط غالب موج غالب را برای طراحی تشکیل داده و خیزاب ناشی از آن موجب آبگرفتگی نواحی ساحلی می شود. از شاخص ترین این طوفان ها می توان به طوفان گونو در سال ۲۰۰۷ میلادی اشاره کرد.

یکی از چالش های اصلی ارزیابی آبگرفتگی ساحل در دریای عمان ناشی از امواج طوفان و سونامی محدودیت وجود و دستیابی به داده های تاریخی می باشد. ندرت نسبی وقوع این نوع طوفان ها و نیز پدیده سونامی تنوع مکانی آنها نیز در این منطقه (بخصوص در دریای عمان) بر این امر دلالت دارد که یک بررسی ساده از وقایع تاریخی برای ارزیابی های آماری کافی نخواهد بود.

طبق مطالعات انجام شده در طرح پایش و مطالعات شبیه سازی سواحل کشور که توسط سازمان بنادر و دریانوردی ایران انجام شده است در طوفان مذکور ارتفاع موج شاخص در حالت بحرانی (با احتساب شرایط امواج اقیانوسی) به ۴,۳ متر رسیده که مقادیر پیش بینی شده برای دوره بازگشت های مختلف در جدول زیر ارائه می گردد.

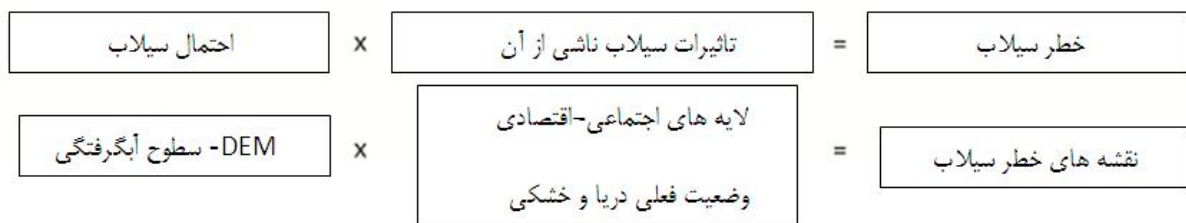
جدول ۱- مقادیر پیش بینی شده ارتفاع موج شاخص در حالت بحرانی برای دوره بازگشت های مختلف در سواحل دریای عمان

طول	عرض	دوره بازگشت (سال)			
		۱۰	۲۵	۵۰	۱۰۰
جغرافیایی	جغرافیایی				
۶۱,۵	۲۵,۰	۴,۳	۵,۷	۷,۰	۸,۳

علاوه بر امواج طوفان، سواحل دریای عمان در معرض وقوع سونامی نیز می باشند. مکران گسلی است که در دریای عمان وجود دارد و حدود ۹۰۰ کیلومتر طول دارد که به موازات سواحل کشور ما "ایران" و "عمان" کشیده شده است. این گسل در سال ۱۹۴۵ میلادی فعال شده به گونه ای که در پاکستان چند هزار کشته برجای گذاشته است. البته ۸۰ تا ۹۰ سال قبل از سال ۱۹۴۵ (۱۸۵۵ تا ۱۸۶۵) نیز این گسل فعال شده بود. با توجه به گسترش شهرها و مناطق شهری و سواحل اگر این گسل فعال شود میزان خسارت به مراتب بیش از گذشته خواهد بود. آخرین سونامی کشور در سال ۱۹۴۵ میلادی یعنی ۶۵ سال پیش اتفاق افتاده است و باید تاکید شود که قطعا این جریانها دارای دوره بازگشت هستند و احتمال فعالیت مجدد آن وجود دارد [۲].

۲-۱- دیدگاه سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)

بطور کلی، تهیه نقشه خطر سیلاب ساحلی با استفاده از یک دیدگاه پرکاربرد عمومی که نسبت به ارزیابی خطر سیلابها وجود دارد انجام می شود که در شکل ۱ نشان داده شده است [۵]. احتمال حوادث مخاطره آمیزی مانند سیلاب ساحلی می تواند پیامدهای بالقوه ناگواری برای دارایی های اجتماعی - اقتصادی و اکولوژیکی داشته باشد که این تعیین کننده میزان خطر سیلاب ساحلی می باشد. در مورد ارزیابی خطر سیلاب با استفاده از GIS، سه نوع داده مکانی مورد نیاز می باشد تا بتوان مدل های تعیین خطر سیلاب های ساحلی را پیاده نمود (شکل ۲).



شکل ۲ - معادله مفهومی برآورد میزان خطر و تهیه نقشه پهنه بندی خطر سیلاب ساحلی

بیشتر ارزیابی ها و برآوردهای خطر سیلاب در نواحی ساحلی با استفاده از مدل های رقومی ارتفاع و تخمین میزان خطر بالا آمدن سیلاب بر بالای سطح مبنای ارتفاعی تراز آب در منطقه مورد نظر می باشد. ابعاد پیکسل و دقت مدل رقومی ارتفاع برای ارزیابی درست خطر سیلاب حیاتی می باشد. زیرا این داده ها وضعیت هر نقطه از ساحل را در سناریوهای مختلف سیلابهای شبیه سازی شده تعیین می کنند که آیا به زیر سیلاب خواهند

رفت یا نه. بطور کلی DEM های در دسترس عمومی شامل SRTM DEM با دقت ۹۰ متر و ASTER GDEM با دقت ۳۰ متر می باشند که در سالهای ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹ میلادی تهیه شده اند و به هرحال اندازه پیکسل و دقت این DEM ها کم می باشد. ولی بعلت رایگان و آماده بودن جهت مدلسازی، کاربرد وسیعی پیدا کرده اند. اما استفاده از این داده ها برای ارزیابی خطر سیلاب در نواحی ساحلی بعلت خطاهای آنها در حال بازنگری می باشد.

۲-۲- مقایسه DEM ها در منطقه مورد مطالعه سواحل جنوب شرقی ایران

منطقه مورد مطالعه در سواحل استان سیستان و بلوچستان ایران انتخاب شد تا تاثیر برآوردهای خطر سیلاب ساحلی و عواقب ناشی از آن را برپایه مدل های رقومی ارتفاع که در دسترس عموم قرار دارند با داده های دقیقتر، مقایسه نماید. در این مطالعه، مدلسازی وضعیت سیلابهای ساحلی از دیدگاه موسوم به "وان آب" مطالعه شده اند. برای مشخص کردن مرز تماس هیدرولوژیکی و تعیین نواحی که به زیر آب خواهند رفت، سطوح ارتفاعی از DEM که مطابق سطح پیش بینی شده در پروژه است را انتخاب و نتایج را بررسی نمودیم.

این شبیه سازی به دو روش قابل انجام است، با و بدون لایه سطح تماس. در روش با استفاده از لایه سطح تماس، تنها سلولهای شبکه که مقادیر ارتفاعی آنها پایینتر از ارتفاع پروژه است و نیز در مجاورت سایر سلولهای شبکه تحت تاثیر سیل یا آبهای بازی که نشاندهنده تهدید مستقیم زیر آب رفتن هستند انتخاب می شوند. در روش دوم (بدون استفاده از لایه سطح تماس) فقط مقادیر ارتفاعی پایینتر از لایه تعیین شده در پروژه که در یک فاصله معین از خط ساحل می باشند مشخص و بعنوان نواحی تحت تاثیر سیلاب مشخص می شوند. شبیه سازی با استفاده از سطح تماس، به نظر مناسبتر می آید زیرا سیلابهای ساحلی تنها بر خشکیهای مجاور خود تاثیر مستقیم دارند. در این مطالعه نیز از روش اول استفاده شد.

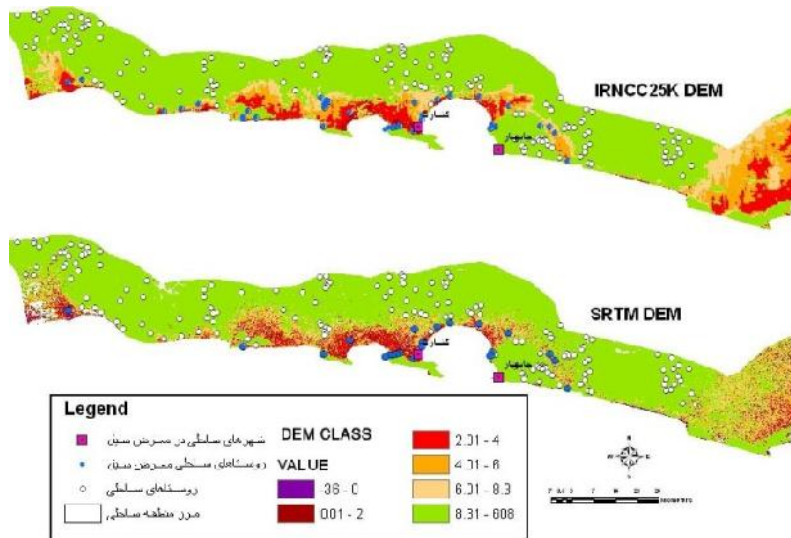
۲-۳- مقیاس افقی و عمودی در نواحی ساحلی کم ارتفاع سیستان و بلوچستان و شهرهای چابهار و کنارک

آقای مک گرانهان مطالعه ای درمورد برآورد جمعیت جهان که در مناطق ساحلی کم ارتفاع زندگی می کنند انجام داده است. در این مطالعه او برآوردی از تعداد جمعیت جهان در ناحیه ساحلی که با ارتفاع ۵ یا ۱۰ متری از سطح دریا زندگی می کنند به تفکیک کشورها داشته است. این مطالعه براساس داده های SRTM و داده های جمعیتی GRUMP انجام شده است [۶]. مفهوم نواحی ساحلی کم ارتفاع که ایشان به آن اشاره می کند، درمقیاس جهانی با نقشه های موجود در سایت اینترنتی بالا آمدن سطح آبهای جهان که بصورت در لحظه قابل دسترسی است قابل مقایسه است (شکل ۱).

ارزیابی خطر سیلاب می تواند در سطوح مقیاس افقی و عمودی مختلفی انجام شود. ارزیابی می تواند شامل سهم قابل توجهی از جمعیت جهان که در دلتاهای کم ارتفاع زندگی می کنند باشد یا فقط برآورد احتمال سیل گرفتنی یک بندرگاه کوچک را شامل شود. این دو مقیاس مطالعه برای این مطالعه، استفاده شدند تا تاثیر استفاده از مدل های رقومی ارتفاع عمومی را در برآوردهای خطر سیلابهای ساحلی مشخص کنند و میزان دقت و انطباق این داده های عمومی را تعیین کنند. استان سیستان و بلوچستان در مقیاس بزرگ افقی و شهرهای چابهار و کنارک در مقیاس کوچکتر افقی مورد نظر ما هستند که با مقیاسهای عمودی تا ارتفاع ۸,۳ متر از سطح دریا بعنوان منطقه ساحلی کم ارتفاع و سطوح آبگرفتگی ناشی از برکشند طوفان و سونامی متناسب با آن مطالعه شدند (شکل شماره ۳). این دو منطقه مورد مطالعه بدین جهت انتخاب شدند، زیرا اغلب مقیاسهای مطالعاتی ارزیابی خطر سیلاب که قبلا در جهان استفاده شده بود مانند اینها بودند.

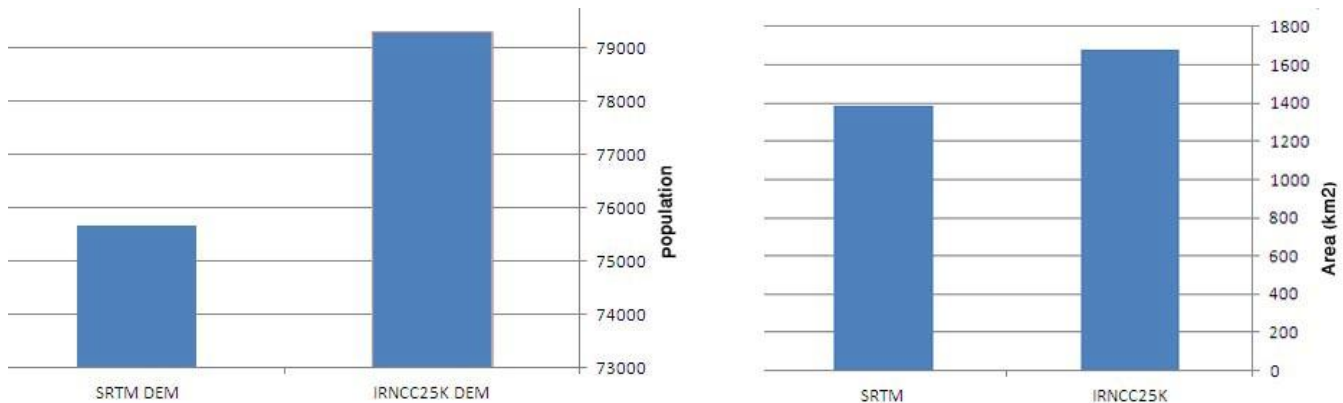
برای این دو مقیاس افقی، از DEM تهیه شده از داده های عمومی SRTM، و DEM تهیه شده از نقشه های ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه برداری کشور (IRNCC25K) و DEM تهیه شده از نقشه های هیدروگرافی ۱:۲۰۰۰ سازمان مذکور (IRNCC2K) استفاده شد. در مقیاس عمودی نیز با توجه به مطالعات و سوابق موجود، ارتفاع موج ۸,۳ متر بعنوان گزینه مناسب برای مطالعه سواحل تحت پوشش احتمالی انتخاب شد.

و پس از تعیین این دو مقیاس افقی و عمودی، نوبت به مشخص کردن میزان دارایی های انسانی و اقتصادی در معرض تهدید می رسد که در این مطالعه با توجه به داده های موجود، صرفا به مساحت ناحیه ساحلی و تعداد جمعیت شهر ها و روستاهایی که در معرض خطر بودند توجه شد. این داده های جمعیتی از نتایج سرشماری سال ۱۳۸۵ مرکز آمار و وزارت کشور ایران اخذ شده است.



شکل ۳: مقایسه DEM های مورد استفاده برای مدل سازی تاثیر سیلاب ساحلی بر شهرها و روستاهای ساحلی سیستان و بلوچستان

داده های SRTM DEM و DEM تهیه شده توسط سازمان نقشه برداری ایران (IRNCC) با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ و اندازه پیکسل ۹۰ متر استفاده شد و نیز از DEM تهیه شده توسط نهاد اخیر با مقیاس ۱:۲۰۰۰ و اندازه پیکسل ۲ متر بعنوان یک داده نسبتاً صحیح زمینی جهت مقایسه استفاده شد. این ناحیه مطالعاتی شامل مناطق پرجمعیت شهری و روستایی مانند شهر چابهار و کنارک و یک سری از سواحل کم جمعیت است که ارزیابی خطر سیلاب نیز در هر ناحیه متفاوت می باشد و برای بدست آوردن دقت بهتر در مناطق پر جمعیت از داده های دقیقتر با مقیاس ۱:۲۰۰۰ استفاده شد و آمار خطاهای ناشی از استفاده از هر کدام از DEM ها مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۴).



شکل ۴: مقایسه مساحت نواحی ساحلی و تعداد جمعیت تحت تاثیر سیلاب در مدل سازی با استفاده از DEM ها

۴-۲- مقایسه داده های مختلف در نواحی ساحلی خلیج چابهار

برای مدل سازی یک طوفان دریایی یا امواج سونامی فرضی را که به سواحل برخورد می کند در نظر گرفتیم. برکشند طوفان دریایی در سواحل با توجه به شدت آن می تواند متفاوت باشد و این در ارتباط با دوره بازگشت آن می باشد. ارتفاع برکشند طوفان با تراکم تعداد طوفانها ارتباط مستقیم دارد. برای سواحل استان سیستان و بلوچستان و بخصوص بندر چابهار دوره بازگشت برکشند طوفان و سونامی، مطالعه و استخراج شده است. با مشخص کردن ارتفاع موج مذکور بر روی این DEM ها ما می توانیم گسترش عمودی و افقی سیلاب را در این نواحی ساحلی مشخص و مطالعه کنیم. آمار تفاوت های ارتفاعی بین این داده ها با استفاده از آمار خطاها قابل بررسی است که با در نظر گرفتن داده های DEM تهیه شده از داده های هیدروگرافی ۱:۲۰۰۰ (IRNCC25K) بعنوان داده های صحیح زمینی و مقایسه سایر داده ها با آن قابل انجام است. تفاوتها در برآورد محدوده تحت پوشش سیلاب با استفاده از اندازه گیری خطاها قابل انجام می باشد. این اندازه گیری خطاها بعنوان وسیله ای برای تعیین دقت ارتفاعی DEM ها استفاده شد. این خطاها با مقایسه مقادیر هر پیکسل با مقادیر واقعی محاسبه شدند. آمار خطاها برای نواحی ساحلی مورد مطالعه براساس نمونه های انتخابی محاسبه گردید.

۲-۵- تجزیه و تحلیل آمار خطاهای ارتفاعی DEM های مورد استفاده

آمار خطای داده های SRTM و IRNCC25K با استفاده از سه تابع خطای میانگین ریشه مربعات (RMSE)، میانگین خطا (ME) و انحراف معیار (SD) محاسبه گردید. RMSE برای اندازه گیری تطابق یک سری از داده ها با داده های واقعی صحیح، بطور وسیعی کاربرد پیدا کرده و بعنوان شاخص استاندارد دقت نقشه ها بکار می رود. شاخص ME نیز بعنوان یک شاخص مهم برای ارزیابی دقت ارتفاعی استفاده می شود زیرا وضعیت توزیع داده ها را نسبت به داده های واقعی بصورت بیش از انتظار و یا کمتر از انتظار نشان می دهد. شاخص SD نیز اطلاعاتی در مورد نحوه پراکنش خطاها فراهم می کند و نشان می دهد که بزرگی و نحوه توزیع خطا در هر کدام از داده ها چقدر می باشد.

با توجه به حجم زیاد داده ها برای مقایسه دقت مجبور شدیم که از یک سری نمونه داده ها برای این منظور استفاده کنیم که نتایج آن در ادامه می آید. بر همین اساس برای مقایسه نواحی کم ارتفاع ساحلی مشخص شده بر روی داده های SRTM و IRNCC25K و نیز IRNCC2K با در نظر گرفتن نمونه های مناسب جهت مقایسه استفاده شد. نتایج نشان داد که نواحی کم ارتفاع برآورد شده از استفاده از داده ای IRNCC2K، ۲ برابر بیشتر از نواحی مشابه در داده های SRTM و ۱٫۵ برابر بیشتر از داده های IRNCC25K است.

پس از محاسبه آمار خطاها، ما با مقادیر بزرگی در مورد همه شاخص های آماری مربوطه مواجه شدیم. برای داده های SRTM DEM مقدار میانگین خطاها ۴٫۲ متر و برای داده های IRNCC25K DEM این مقدار ۳٫۷ متر می باشد. معنای این مقادیر این است که هر دوی داده های DEM کوچک مقیاس ارتفاع را برای کل سواحل استان سیستان و بلوچستان بیشتر در نظر گرفته اند. از منظر مقیاس افقی این مطالعه، RMSE هر دوی داده های فوق نیز که مقادیر ۱۱٫۳ و ۹٫۳ متر است نیز حتی بزرگتر از دامنه ارتفاع موج مدل (۸٫۳ متر) بدست آمد. برای SRTM DEM مقدار SD نیز ۱۰٫۸ و برای داده های IRNCC25K DEM مقدار ۹٫۵ بدست آمد که نشاندهنده وضعیت بهتر داده های دومی می باشد.

۳- نتیجه گیری و پیشنهاد

این مطالعه نشان داد که برای ارزیابی خطر سیلاب و تهیه نقشه های آن باید توجه ویژه ای به داده های پایه مورد استفاده نمود. استفاده از داده های دقیق نتایج بهتر و دقیقتری را در پی خواهد داشت و برای استفاده از داده های در دسترس عموم همانند SRTM DEM باید بررسی های لازم را در مورد دقت آنها قبل از استفاده در مدلسازی انجام داد.

بطور کلی می توان نتیجه گیری کرد که هر دوی داده های SRTM DEM و IRNCC25K DEM ارتفاعها را بیش از اندازه واقعی و خطرات را کمتر از اندازه واقعی برای کلیه سطوح ارتفاعی نشان می دهند و این برای مناطق پرجمعیت با یک ضریب بیش از ۲٫۵ برابری برای مناطق تحت پوشش سیل و جمعیت انسانی متاثر شده ناشی از آن مشخص شد. برای همه سطوح ارتفاعی مشخص شده، دقت داده های IRNCC25K DEM نسبت به SRTM DEM بهتر بود و نتایج نزدیکتری به IRNCC2K DEM نشان می داد.

دقت داده های ارتفاعی (توپوگرافی) علاوه بر دقت عمودی و افقی به تعداد و نحوه پراکنش نقاط ارتفاعی برداشت شده نیز مرتبط می باشد که در مورد داده های SRTM DEM برای هر ۹۰ متر مربع یک نقطه و برای IRNCC25K DEM مطابق با نظر سازمان تولید کننده آن (سازمان نقشه برداری کشور) برای هر ۱۰ متر مربع یک نقطه می باشد. اما با توجه به نتایج این مطالعه دقت داده های IRNCC25K DEM کمتر از انتظار مشخص شد که لازم است در این خصوص تحقیقات بیشتری صورت بگیرد. لزوم تهیه داده های دقیق (مقیاس بزرگتر از ۱:۵۰۰۰) برای مناطق شهری و پرجمعیت ساحلی بیش از پیش نمایان شده است که با توجه به ارتفاع و استحکام ساختمانهای مسکونی شهری و روستایی، مدلسازی سیلابهای ساحلی خاص خود را لازم می نماید. در این مطالعه صرفاً وضعیت توپوگرافی کلی بستر شهرها و مناطق مسکونی ساحلی مد نظر قرار گرفته است که برای مدلسازی دقیق خطر سیلابهای ساحلی ناکافی می باشد و لذا مطالعات و تحقیقات بیشتری را نیاز دارد. از سوی دیگر در برخی نواحی ساحلی این منطقه، مشخص شد که شهرها و روستاهای پرجمعیتی در یک سطح ارتفاعی کاملاً خطرناک از نظر خطر سیلاب ساحلی قرار دارند و در مجاورت آنها نیز تا فاصله افقی زیادی مناطق مرتفع جهت پناهگاه موقت در هنگام هجوم سیلاب وجود ندارد (بعنوان مثال شهر کنارک و روستاهای مجاور آن). لذا پیشنهاد می گردد ضمن انجام مطالعات بیشتر در این خصوص، ایجاد پناهگاههای مرتفع مسکونی که بتواند در مواقع خطر پذیرای جمعیت انسانی ساکن در این مناطق ساحلی باشد مورد نظر قرار گیرد. ایجاد سامانه های هشدار سیلابهای دریایی و سونامی نیز بسیار ضروری و حیاتی به نظر می رسد.

در پایان لازم است ذکر شود که این مطالعه فقط برای یک قسمت کوچک از سواحل تحت تاثیر سیلابهای دریایی و با داده های محدود انجام شده است و لازم است برای کلیه سواحل در معرض خطر این مطالعات با داده های بیشتر و دقیقتر انجام پذیرد تا بتواند ابعاد دقیق خطرات سیلابهای ساحلی را برای ساکنین این مناطق مشخص و تعیین نماید.

۴- مراجع:

1. Sande, BV., (2011), Sensitivity Of Coastal Flood Risk Assessments To Digital Elevation Models: Case Study Lagos State,

Nigeria, CoastGIS 2011 Conference, 6-8 September 2011 – Oostende, Belgium, Abstracts 17, pages 42-49.

2. سازمان بنادر و دریانوردی، ۱۳۹۰، مطالعات پروژه ملی پایش و شبیه سازی سواحل کشور
3. Reuter, A. Nelson, E. Guevara (2008). Hole-filled seamless SRTM data V4, International Centre for Tropical Agriculture.
4. Demirkesen, A. C., Evrendilik, F., Berberoglu, S. (2007). "Coastal Flood Risk Analysis Using Landsat-7 ETM+ Imagery and SRTM DEM: A Case Study of Izmir, Turkey." Environmental Monitoring and assessment 131: 293-300.
5. De Roo, A., Barredo, J., Lavalle, C., Bodis, K., Bonk, R. (2007). Potential Flood Hazard and Risk Mapping at Pan-European Scale. Digital Terrain Modelling. R. J. Peckham, Jordan,
6. McGranahan, G., Balk, D., Anderson, B. (2007). "The rising tide: assessing the risks of climate change and human settlements in low elevation coastal zones." Environment & Urbanization 19 METI & NASA (2009). Website: <http://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp>.
7. Martini, F., Loat, R., Ed. (2007). Handbook on good practices for flood mapping in Europe, EXCIMAP; European exchange circle on flood mapping.