تاثیر عوامل هندسی بر جزر و مد در خورهای طویل

علی کرمی خانیکی[1*] ، فاطمه ضیائیان[2]

۱- عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد فیزیک دریا، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات

چکیده

جزر و مد در خورها بدلیل تاثیر عوامل هندسی به مراتب پیچیده تر از دریاهای باز است. پدیده هایی نظیر انعکاس امواج جزر و مدی، seiche، اصطکاک بستر و تاثیر نیروی کوریولیس باعث تغییرات عمده در تراز سطح آب می گردد، طوریکه تغییرات تراز جزر و مد در خور ممکن است تا چند برابر تغییرات جزر و مد در دریای باز برسد. در این مقاله تاثیر عوامل هندسی نظیر طول، عرض و عمق خور بر تغییرات تراز جزر و مد در داخل خور طویل ماکرو- تایدال مورد بررسی قرار خواهد گرفت. بصورت خاص این تحقیق برای خور ماهشهر انجام گرفته است. در این تحقیق از روشهای تئوریک به همراه روشهای عددی بوسیله نرم افزارMIKE21 و اندازه گیری های میدانی بهره گرفته شده است. این تحقیق نشان می‌دهد که تغییر عرض خور تاثیری بر اختلاف فاز و تراز مد ندارد. همچنین کاهش عمق باعث افزایش اختلاف فاز و کاهش دامنه جزر و مد می‌شود، در حالیکه تغییر عمق تاثیری بر زمان مد و تراز مد ندارد. این تحقیق همچنین نشان می‌دهد که انتقال موج مد از دریا به داخل خور با تاخیر فاز همراه است. میزان این تاخیر فاز در نیمه عمیق کانال تقریبا ۱۰ دقیقه بازای هر کیلومتر و در نیمه کم عمق کانال حدود ۲۰ دقیقه بازای هر کیلو متر است. در مجموع می توان نتیجه گرفت که خور ماهشهر عموما رفتار خورهای طویل مستطیل شکل کم عمق و در قسمت دهانه، رفتار خورهای قیفی شکل را از خود نشان می دهد.

کلمات کلیدی: خور طویل، مدل سازی عددی، جزر و مد، خور ماهشهر، ماکروتایدال

Effects of Geometric Parameters on Tidal Behaviour of Long Estuaries

A. Karami Khaniki[1], F. Ziaeyan[2]

1- Assistant Professor, Departmet of Coastal Protection, Watershed Management Research Institute
2- Postgraduate Student, Science and Research Branch, Islamic Azad Uni.

Abstract

Tidal behavior of esturies is more complicated than open seas. It arises from the effects of geometrical parameters. Also other parameter such as wave reflection from the end of estuaries, sieche, bed friction and coriolis forces cause the water level changes in the esturies to be several times as in the open sea. This paper evalutes the effects of gemetric parameters (such as length, wide and depth), on the tidal behaviour of macro-tidal estuaris. It was done specifically for Mahshahr estuary, located in north west of Persian Golf. This research was done by using numerical simulation and field measuements. As a result, it can be said that: wide of estuary has no effect on phase and high tide elevation in the estuary. Also reduction of water depth causes the phase increament and reduction of tide amplitude, while it has no effect on high tide elevation in the estuary. It also shows that, flood wave transformation from sea into the estuary is associated with phase lag. The amount of this lag is about 10 and 20 minutes per kilometer of the channel

* نویسنده مسوول مقاله akk7239@yahoo.com

length in the deep part and shallow part of the estury, respectively. The results also show that Mahshar estuary to behave as a rectangular–shallow-long estuary.
Keywords: long estuary, tide, macro-tidal, Mahshahr estuary, numerical modeling

۱- مقدمه

در اکثر خورهای دنیا، جزر و مد به صورت روزانه، نیم روزانه و مختلط است. به طور کلی امواج جزر و مدی نیم روزانه را امواج پیشرونده و امواج جزر و مد روزانه را امواج ایستا نیز می‌نامند [۱]. درامواج پیشرونده، مولفه افقی حرکت ذرات آب در زیر قله موج در جهت حرکت موج جزر و مدی است و به عنوان جریان مدی یا سیلابی شناخته می‌شود و مقدار آن درست در زیر قله موج ماکزیمم است و به آن قدرت سیلاب می‌گویند. به طور مشابه، مولفه افقی حرکت ذرات آب در زیر قعر موج درجهت مخالف حرکت موج جزر و مدی است که به جریان جزری معروف است. دروسط فاصله زمانی بین یک مد با جزر بعد از آن (یا یک جزر با مد بعد از آن)، هیچ جریان افقی در زیر سطح تراز آب وجود ندارد (شکل ۱). این نقاط اسلک[1] نامیده می‌شوند. اگر بعد از اسلک مد شروع شود به آن اسلک مدی و اگر جزر شروع شود، به آن اسلک جزری می‌گویند.

وقتی یک موج پیشرونده به یک مانع مانند ساحل یا انتهای خور میرسد، بر روی خودش باز می‌تابد و یک موج ایستا را تشکیل می‌دهد. شکل ۲ نحوه تشکیل این موج ایستا را نشان می‌دهد. در موج حاصله نقاطی بین قله و قعر وجود دارند که در آنها هیچ بالاروی و یا پایین روی دیده نمی‌شود، این نقاط را گره می‌نامند. ذرات واقع در زیر گره‌ها دارای حرکت نوسانی افقی است، در حالیکه ذرات واقع در زیر شکم‌ها هیچگونه حرکت افقی ندارند.

شدت موج جزر و مدی در داخل خور تابع طول و عمق خور است. سرعت یک موج جزر و مدی در آبهای کم عمق عبارتست از :

$$C = {}^{L}/_{T} \qquad (۱)$$

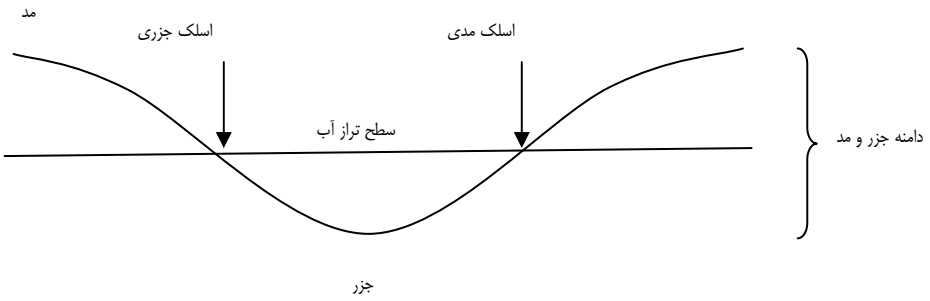
که در آن T دوره تناوب موج و L طول موج جزر و مدی است[۲]. با توجه به شکل۳، اگر گره موج ایستاده در مدخل خور قرار داشته باشد، مقدار دامنه جزر و مد خور به طور قابل توجهی تقویت خواهد شد (پدیده تشدید)، اما اگر محل شکم در مدخل خور باشد، افزایش دامنه زیاد نخواهد بود.

معمولا اصطکاک با کف بررسی جزر و مد را پیچیده تر می‌کند. یک موج جزر و مدی که به درون یک خور وارد می‌گردد، ضمن حرکت مستهلک می‌گردد. موج منعکس شده نیز ضمن حرکت به سمت دریا، دراثراصطکاک بستر مستهلک می‌شود. همانطور که در شکل ۴ نشان داده شده است، ترکیب امواج تابشی مستهلک شونده با امواج بازتابشی مستهلک شونده، موج جزر و مدی جدیدی را ایجاد می‌کند که بسیار پیچیده تر از موج جزر و مدی اولیه است. موج حاصل، یک موج ایستاده کامل نیست، بلکه دارای یک مولفه موج پیشرونده نیز هست.

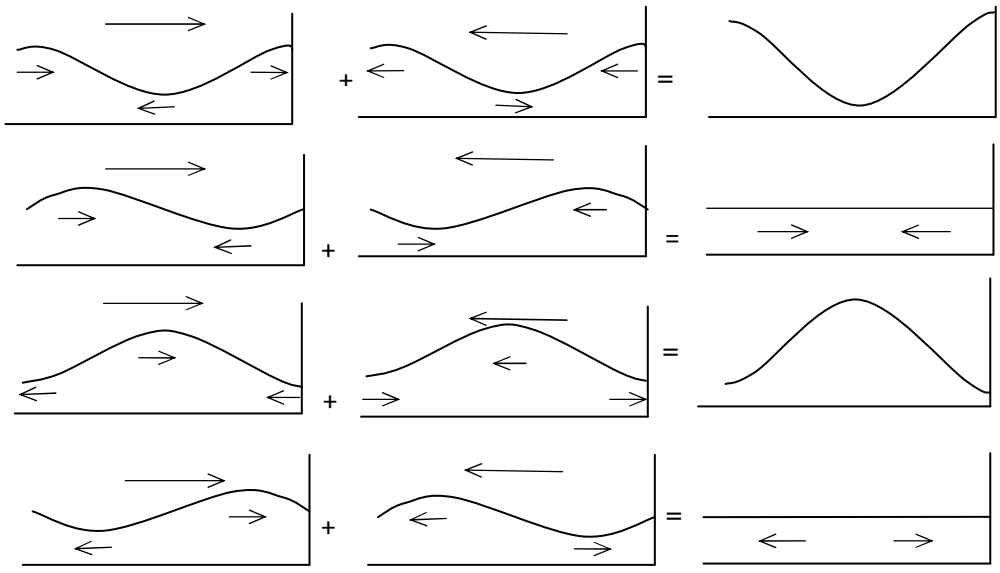
یکی از فاکتور های تاثیر گذار بر جزر و مد، نیروی کوریولیس ناشی از گردش زمین به دور خود می‌باشد. این نیرو در استوا صفر و در بین عرضهای ۵۰ تا۶۰ درجه بر جهت جریان عمود است. جهت این نیرو در نیمکره شمالی به صورت ساعتگرد و در نیمکره جنوبی پادساعتگرد می‌باشد [۲].

اگر دامنه جزر و مد به مقدار عمق خور نزدیک باشد، به دلیل اثرات آب کم عمق، سرعت انتشار در مد به طور قابل توجهی از سرعت آن در جزر بیشتر است. به همین دلیل امواجی که به خور وارد می‌شوند، بیشتر از امواجی است که از خور خارج می‌شوند. به این پدیده پمپاژ آب به داخل خور می‌گویند[۳].

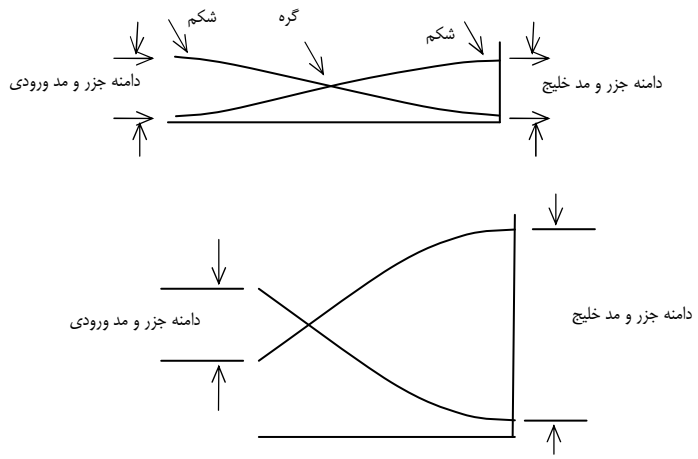
باریک شدن مقطع خور در انتهای آن نیز عامل دیگری برای افزایش دامنه جزر و مد در خور می‌باشد. انتشار جزر و مد در داخل یک خور تحت تاثیر عوامل ژئومتریک بستر بخصوص عمق آب در هر مقطع است.



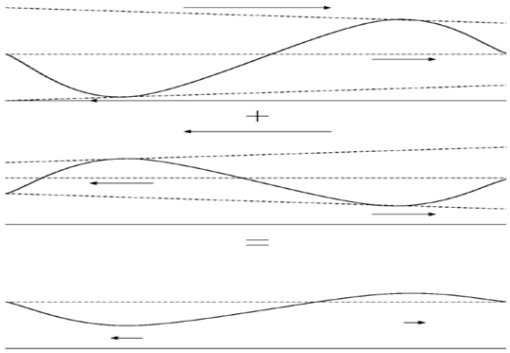
شکل ۱- امواج جزر و مدی پیشرونده



شکل ۲- نحوه شکل گیری امواج ایستاده در خور



شکل ۳- افزایش دامنه جزر و مد ناشی از پدیده تشدید



شکل ۴- استهلاک موج جزر و مدی در داخل خور

عمق آب در چند کیلومتر اول دهانه خور در نحوه انتشار جزر و مد در درون خور بسیار موثر است. هر گونه تغییری در دهانه خور می تواند رفتار جزر و مد را در طول دهانه آن تحت تاثیر قرار دهد [۴].

طول، عرض و عمق آب در خور در انتشار جزر و مد در آن موثر است. از نظر شکل، خورها را می توان به سه دسته کلی شامل: خورهای مستطیلی، خورهای قیفی شکل و خورهای دریاچه‌ای دسته بندی کرد [۵].

خورهای مستطیلی، کانالهای باریک و کم عمقی هستند که عرض و عمق آنها نسبتا ثابت است و غالبا بستری ماسه ای دارند. طبیعت کم عمق کانال، تشدید را تقویت می کند، اما موج حاصل از این تشدید انرژی خود را در ورودی کانال توسط اصطکاک در بستر ماسه ای و کم عمق کانال از دست می دهد. در این خورها چنانچه دهانه خور عمیق باشد، میرایی اولیه اتفاق نمی افتد. خورهای قیفی شکل، عموما دهانه هایی عمیق و عریض دارند، اما در امتداد خشکی دامنه جزر و مد کانال کمتر می شود. در این کانالها نیز مانند کانال های کم عمق، تشدید ارتفاع دامنه جزر و مد را بیشتر تقویت می کند. این گونه خورها معمولا میرایی اولیه را نشان نمی دهند و در عوض دامنه جزر و مدی در سمت دریا را تقویت می کنند. خورهای دریاچه ای توسط پهنه جزر و مدی که بوسیله یک کانال نسبتا باریک (که به آن کانال جزر و مدی گویند) به دریا وصل است. دریاچه های جزر و مدی میرایی شدیدی دارند، طوریکه در فاصله ۱ تا ۵ کیلومتری از دهانه، دامنه جزر و مد به چند سانتیمتر کاهش می یابد. در جدول ۱ مشخصات انواع خورها ارائه شده است [۲].

معادلات پیوستگی و حرکت را برای خورها می توان به صورت زیر نوشت [۲]:

$$b\frac{\partial \eta}{\partial t}+\frac{\partial Q}{\partial x}=0 \qquad (۲)$$

$$\frac{1}{A}\frac{\partial Q}{\partial t}+g\frac{\partial \eta}{\partial x}-gi_b+g\frac{Q|Q|}{C^2A^2R}=0 \qquad (۳)$$

در معادلات فوق Q مساحت مقطع، b عرض خور، R شعاع هیدرولیکی، C ضریب شزی، η پروفیل سطح آب، g شتاب گرانش، Q دبی خور و i_b شیب بستر است. با فرض ثابت بودن اصطکاک می توان معادله (۳) را به صورت زیر نوشت:

$$\frac{1}{A}\frac{\partial Q}{\partial t}+g\frac{\partial \eta}{\partial x}-gi_b+mQ=0 \qquad (۴)$$

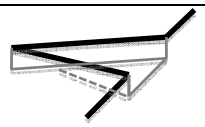
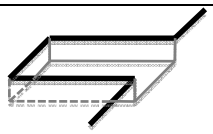
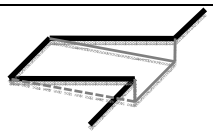
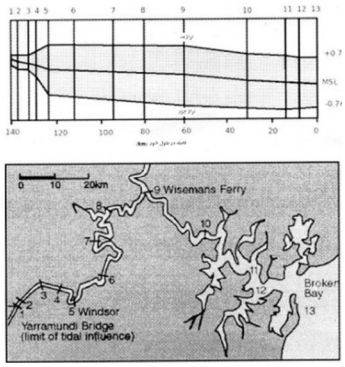
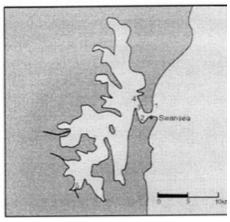
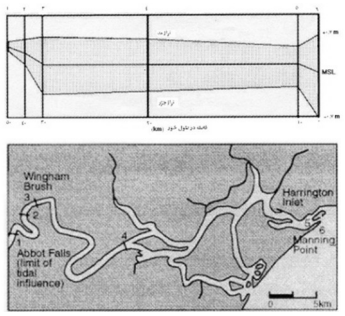
$$m=\frac{8g\widehat{Q}}{3\pi C^2A^2R} \qquad (۵)$$

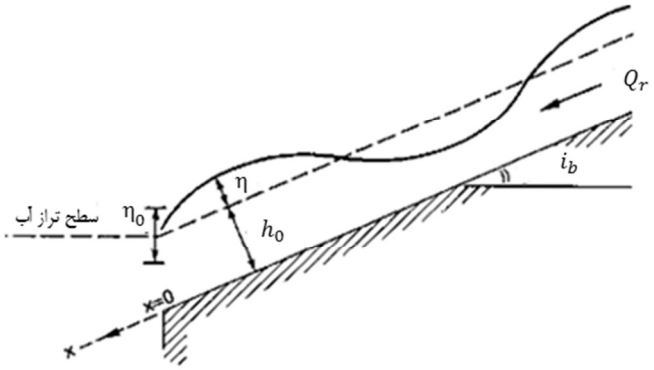
که در آن $m=\frac{8g\widehat{Q}}{3\pi C^2A^2R}$ دبی در دهانه خور است. از حل معادلات (۲)، (۳) و (۴) پروفیل سطح آب بصورت زیر بدست می آید:

$$\eta=\widehat{\eta_0}e^{(\mu x)}\cos(\omega t+kx) \qquad (۶)$$

در معادله فوق، $\eta=\widehat{\eta_0}e^{(\mu x)}\cos(\omega t+kx)$ پروفیل اولیه سطح آب در دهانه خور، Ω فرکانس زاویه ای، k عدد موج و t زمان است.

جدول ۱- تقسیم بندی انواع خورها از نظر شکل هندسی

نوع خور		شکل	خصوصیات
خور کوتاه	قیفی شکل		در خورهای کوتاه: - تراز آب در داخل خور تقریبا ثابت است - شکل موج جزر و مد با رابطه امواج ایستا بیان می گردد. - پیشروی آب به داخل خور با افزایش تراز سطح آب توام است.
	مستطیل با عمق ثابت		
	مستطیل با عمق متغیر		
خور طویل	قیفی شکل		در خورهای طویل و عمیق قیفی شکل: -دهانه هایی عمیق و عریض دارند و هر جه به سمت خشکی برویم، عرض کانال باریکتر می شود. این نوع خور دامنه جزر و مد را تقویت می کند و میرایی اولیه را نشان نمی دهند. دامنه جزر و مدی فقط هنگام رسیدن به انتهای خور بدلیل اثرات اصطکاکی بستر میرا می شود. در خورهای طویل و کم عمق قیفی شکل: -انتقال موج جزر و مدی به داخل خور با استهلاک موج بدلیل اصطکاک همراه است اما همگرایی ناشی از کاهش عرض باعث تمرکز انرژی و نهایتا ثابت ماندن دامنه جزر و مد می گردد. موج حاصل یک موج ایستا است. -در این حالت موج برگشتی بدلیل اصطکاک و واگرایی انرژی ناشی از افزایش عرض سریعا مستهلک شده و عملا وجود نخواهد داشت.
	دریاچه ای		-اینگونه دریاچه ها توسط پهنه جزر و مدی که بوسیله یک کانال نسبتا باریک به اقیانوس(که به آن کانال جزر و مدی) گویند وصل است. - عمق آب دریاچه همیشه بیشتر از کانال است - در نزدیکی دهانه میرایی شدیدی دارند.
	مستطیلی		-کانالهای باریک وکم عمق با عرض و عمق ثابتندکه میرایی اولیه درآنها رخ نمی دهد. - در خورهای عمیق و مستقیم خیلی طویل : اصطکاک مهم نیست، بنابراین انتقال موج به داخل خور بدون تاخیر و استهلاک صورت می گیرد. در این حالت موج بدون داشتن انعکاس، از رابطه موج پیشرونده تبعیت می کند. - در خورهای عمیق و مستقیم با طول متوسط : اصطکاک مهم نیست، بنابراین امواج به داخل خور منتقل شده و از انتهای آن منعکس می گردد. این پدیده باعث ایجاد امواج ایستا می گردد. چنانچه $L = Lt/4$ ، پدیده تشدید اتفاق خواهد افتاد. - در خورهای کم عمق و مستقیم با طول متوسط : انتقال موج به داخل خور با استهلاک همراه است. در صورت عدم استهلاک کامل، موج باقیمانده از انتهای خور منعکس می گردد. اصطکاک بستر باعث ایجاد اختلاف فاز می گردد. میزان فاز بین صفر درجه (بدون اصطکاک) و ۴۵ درجه (اصطکاک زیاد) خواهد بود.



شکل ۵- امواج جزر و مدی در خورها

در رابطه (۶) داریم:

$$\mu = \frac{mA}{(1+a)^{0.5} C_0 \sqrt[2]{2}} \quad (۷)$$

$$k = \frac{\omega(1+a)^{0.5}}{C_0 \sqrt[2]{2}} \quad (۸)$$

$$a = \left(1 + \frac{m^2 A^2}{\omega^2}\right)^{0.5} \quad (۹)$$

$$c_0^2 = \frac{gA}{b} \quad (۱۰)$$

همانطورکه مشاهده می شود، جواب معادله به صورت یک موج پیشرونده است که دامنه آن در امتداد محور x (در جهت طول رودخانه) به صورت نمایی کاهش می یابد.

سرعت انتشار در این حالت از رابطه زیر بدست می آید:

$$c = \frac{L}{T} = \frac{\omega}{k} = \frac{\sqrt[2]{2}}{(1+a)^{0.5}} C_0 \quad (۱۱)$$

با توجه به معادلات فوق، دبی خور در هر مقطع به صورت زیر بدست می آید:

(۱۲)

$$Q = Q_r - \frac{bw\widehat{\eta_0}}{\mu^2 + k^2} e^{(\mu x)} [k \cos(\omega t + kx) - \mu \sin(\omega t + kx)]$$

که در آن Q_r دبی پایه خور است که نوسانات جزر و مدی را تقویت می کند [۶].

عطاری و همکاران، با استفاده از مدل هیدرودینامیک MIKE11 به بررسی خور جزر و مدی ماهشهر پرداختند. در این تحقیق، جهت بررسی ده کیلومتر پایانی خور بندر ماهشهر با توجه به وجود جریان یک بعدی در مجرا، مدل هیدرودینامیک MIKE11 انتخاب گردید [۶].

در تحقیق دیگری نژاد علیرضایی و همکاران، به بررسی تاثیر عوامل هندسی کانال بر دامنه جزر و مد پرداختند. برای این منظور کانال خوران در شمال جزیره قشم مورد مطالعه قرار گرفت [۷]. در این تحقیق از برنامه MIKE21 استفاده شد و منطقه طرح در سه حالت با شرایط مرزی مختلف (وضعیت فعلی منطقه، شرایط خور کوتاه و شرایط خوربلند و شرایط دریای باز)، مورد بررسی قرار گرفت. نتیجه این تحقیق نشان داد که در حالتی که انتهای تنگه خوران در محل باسعیدو بسته شود، ارتفاع جزر و مد در این قسمت از کانال تا حدود قابل ملاحظه ای کاهش می یابد [۷].

در تحقیق حاضر با استفاده از تحلیل داده های میدانی و مدلسازی عددی بوسیله نرم افزار MIKE21 به بررسی تاثیر عوامل هندسی بر جزر و مد در خور ماهشهر پرداخته شده است.

۲- مواد و روشها

۲-۱- منطقه طرح

خور موسی بعنوان آبراهه دسترسی به خور ماهشهر و بندر امام خمینی در آبهای ساحلی خوزستان واقع شده است. خور قناقه، خور دورق، خور ماهشهر، خور زنگی، خور مریموس و چند خور دیگر در ادامه خور موسی قرار دارند. شکل۶ خور ماهشهر در شمالی ترین قسمت خور موسی در طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۱۳

دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۳۳ دقیقه را نشان می دهد[۸].

۲-۲- عملیات اندازه گیری

در این تحقیق از داده های اندازه گیری جزر و مد که توسط شهرداری ماهشهر در سال ۱۳۸۶ انجام گرفت، استفاده شده است [۸]. دراین اندازه گیری دو ایستگاه جزر و مد سنجی ثابت (اشل) در محلهای پادگان سپاه و پل لوله ای نصب گردید. تراز جزر و مد در ایستگاه پادگان سپاه به مدت ۳۲ روز از ۸۶/۱۱/۲۱ تا ۸۶/۱۲/۲۲ و در ایستگاه پل لوله ای به مدت ۳۳ روز از ۸۶/۱۱/۲۵ تا ۸۶/۱۲/۲۸ اندازه گیری و ثبت گردید. بمنظور دستیابی و شناخت ناهمواری های بستر در خور ماهشهر، عملیات عمق یابی در کانال دسترسی تا شهر ماهشهر و قسمتهای داخل دریا تا اسکله سپاه انجام شد. برای قسمت دریایی خور نقشه توپوگرافی بستر با مقیاس ۱:۲۰۰ و برای قسمت کانال دسترسی پروفیل های مقاطع به فاصله حدود ۲۰۰ متر با مقیاس ۱:۲۰۰ برداشت گردید.

۲-۳- مدل مورد استفاده

مدل ریاضی MIKE21 یکی از معتبرترین مدلهای عددی در زمینه تحلیل پدیده‌های دریایی است. این برنامه کامپیوتری که توسط موسسه هیدرولیک دانمارک پایه‌ریزی و توسعه یافته‌است، دارای قابلیت‌های محاسباتی و گرافیکی بالایی در زمینه مدل کردن پدیده‌های مربوط به خورها، دریاچه ها، نواحی کم‌عمق ساحلی، خلیج ها و دریاها می‌باشد. این نرم‌افزار سیستم جامعی برای مدل کردن جریان های - آزاد دو بعدی می باشد. این نرم افزار دارای مدولهای مختلفی است که در این تحقیق از مدول HD که مربوط به محاسبات هیدرولیک جریان می باشد، استفاده شده است [۳].

۲-۴- روش تحلیل داده های جزر و مد

روش های گوناگونی برای تجزیه و تحلیل و معرفی الگوی کشندی ارائه شده اند، که بعضی از آنها عبارتند از: تجزیه و تحلیل هارمونیکی اطلاعات کشندی با استفاده از بسط سری فوریه، روش غیرهارمونیکی۳، روش تجزیه و تحلیل حرکت متقابل۴، روش آدمیرالیتی۵، روش بین المللی۶ روش برزیلی۷، و مدل های هیدرولیکی کشند (معادلات هیدرودینامیک). در میان روشهای فوق، روشهای آدمیرالتی و بین المللی از مقبولیت بیشتری بر خوردار است. در روش آدمیرالتی، چهار مولفه اصلی جزر و مد لحاظ می شود، در حالیکه در روش بین المللی بیش از سی مولفه جزر و مد در محاسبات محاسبه می شود. به همین دلیل در این تحقیق از روش بین المللی برای آنالیز جزر و مد استفاده شد.

۳- نتایج

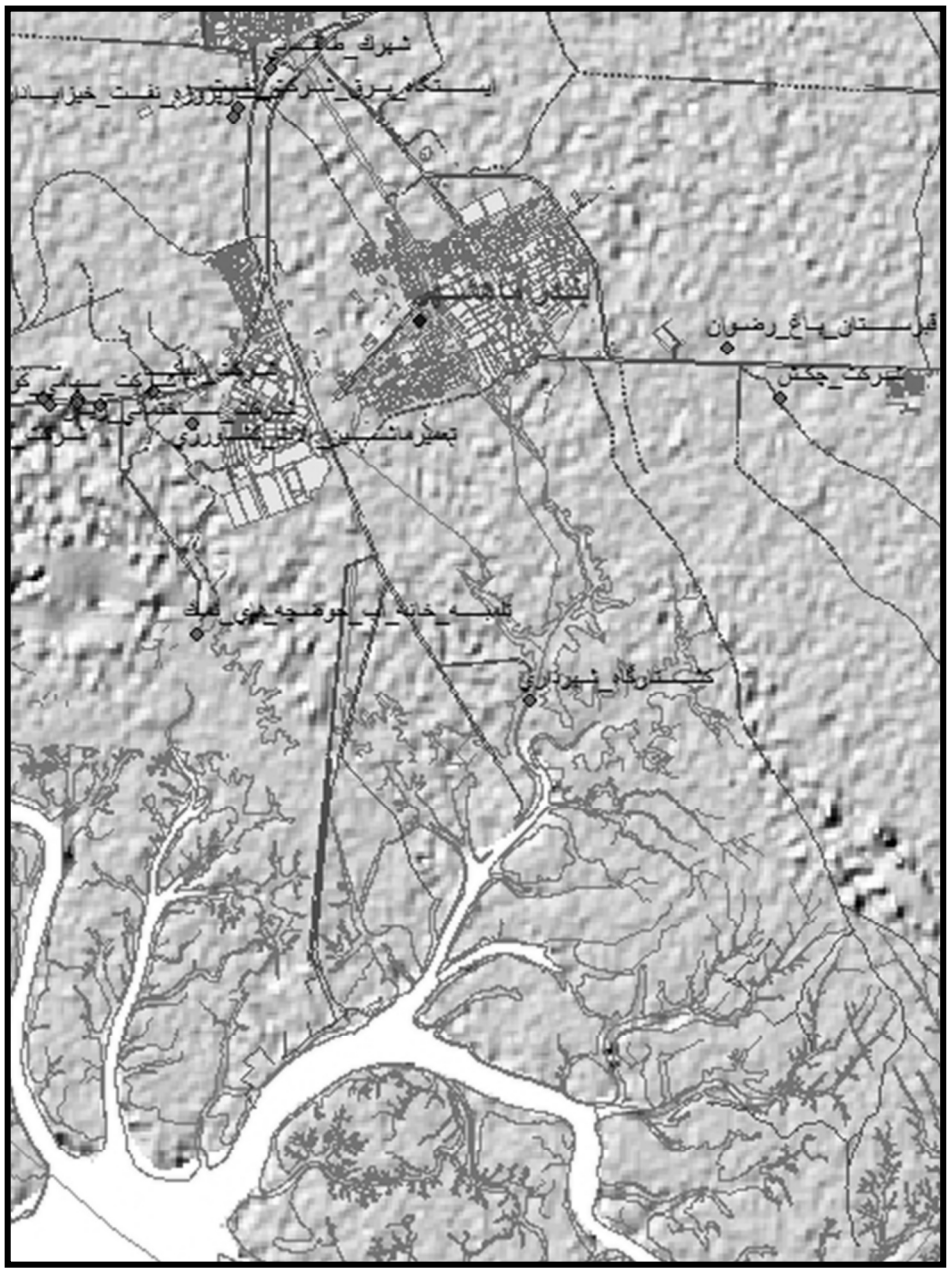
۳-۱- نتایج اندازه گیری میدانی

تراز جزر و مد در ایستگاه پادگان سپاه به مدت ۳۲روز از ۸۶/۱۱/۲۱ تا ۸۶/۱۲/۲۲ و در ایستگاه پل لوله‌ای به مدت ۳۳ روز از ۸۶/۱۱/۲۵ تا ۸۶/۱۲/۲۸ اندازه گیری و ثبت گردید. شکل ۷ داده های اندازه گیری شده را برای دو ایستگاه بصورت مقایسه‌ای نشان می دهد. برای تحلیل داده های تراز آب، ابتدا با استفاده از روش IOS مقادیر مولفه های جزر و مد محاسبه گردید که نتیجه آن برای ایستگاه پادگان سپاه و پل لوله‌ای در جدول ۲ آمده است. همچنین سایر پارامترهای جزر و مد شامل مولفه تشکیل دهنده و دامنه جزر و مد بشرح جدول ۳ بدست آمد [۸].

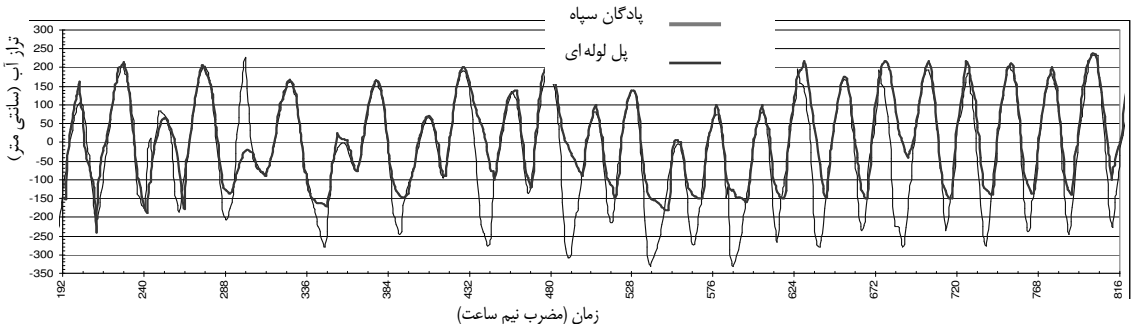
۳-۲- نتایج مدلسازی عددی

برای بررسی وضعیت جزر و مد در خور ماهشهر و تاثیر تغییرات عمق و عرض خور بر تراز جزر و مد، مدول HD برنامه MIKE21 برای پنج گزینه مختلف بشرح جدول ۴ اجرا گردید. در شکل ۸ توپوگرافی مورد استفاده در مدل نشان داده شده است. در هر گزینه توپوگرافی مربوطه و نوسانات ۲۵ روزسطح آب در ایستگاه سپاه بعنوان داده‌های ورودی به برنامه داده شد و مقادیر جریان، دبی و عمق آب در هر نقطه از شبکه ۲۵ متری مدل در گامهای زمانی۲ ثانیه محاسبه گردید که نتایج آن در شکل ۹ آمده است. به منظور بررسی

تاثیر پارامترهای هندسی شامل عرض و عمق خور بر تراز جزر و مد، تغییرات تراز آب در دو نقطه در طول کانال شامل پل لوله‌ای و پل کشتارگاه با یکدیگر مقایسه شدند که نتایج آن در شکلهای ۱۰ و ۱۱ ارائه گردیده است. همچنین در شکلهای ۱۲ تا ۱۶ تغییرات تراز آب درنقاط مختلف خور بصورت سری های زمانی با یکدیگر مقایسه شده است.



شکل ۶- موقعیت خور ماهشهر در داخل خور موسی



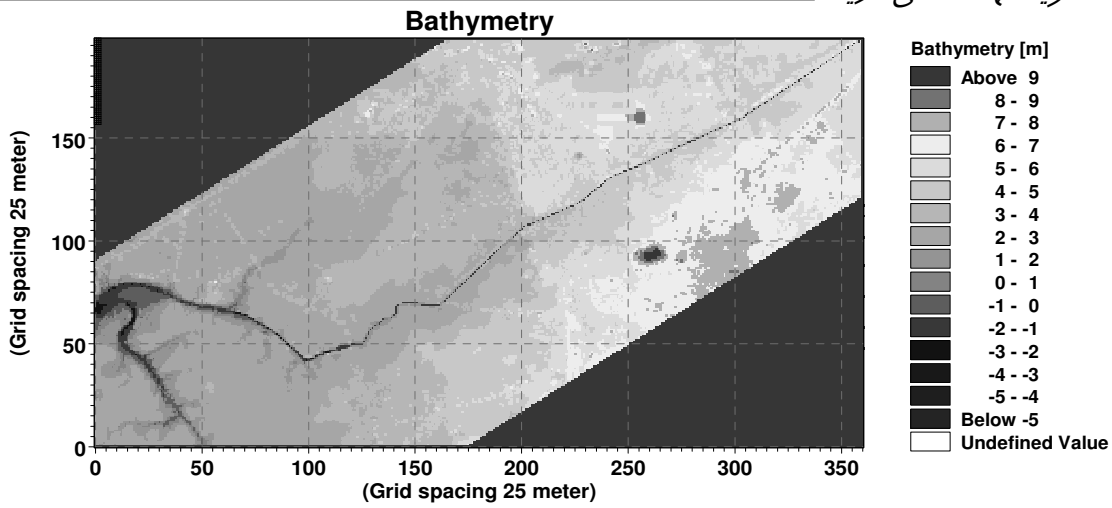
شکل ۷ – قسمتی از مقادیر اندازه گیری شده تراز سطح آب در ایستگاه های پل لوله‌ای و پادگان سپاه

جدول ۲- مولفه های جزر و مدی برای ایستگاههای مورد بررسی

ایستگاه پل لوله ای			ایستگاه پادگان سپاه		
فاز (درجه)	دامنه جزر و	مولفه (متر)	فاز(درجه)	دامنه جزر مدی(متر)	مولفه (متر)
۳۴۴/۰۹	۱/۲۲۹۱	M2	۳۳۶/۸۲	۱/۵۴۰۳	M2
۷۸/۲۲	۰/۶۶۰۷	S2	۶۰/۸۲	۰/۷۰۶	S2
۲۹۳/۳	۰/۳۱۷۳	O1	۳۲۶/۷۶	۰/۴۹۷۵	K1
۰	۰/۲۷۰۴	Z0	۲۶۷/۱۷	۰/۲۹۵۲	O1
۱۱۴/۰۱	۰/۲۴۹۴	MSF	۱۶۹/۸۶	۰/۱۹۴۴	MS4
۳۳۱/۳۱	۰/۲۱۵۶	K1	۹۳/۶۶	۰/۱۸۱۹	M4
۳۵۸/۲۸	۰/۱۶۳	N2	۱۶۱	۰/۱۷۹۸	MSF
۱۲۰/۶۹	۰/۱۱۱۷	2Q1	۳۲۲/۸۳	۰/۱۷۸۲	N2
۳۴۹/۹۴	۰/۱۰۸۷	MK3	۳۵	۰/۱۲۵۸	MK3
۲۹۹/۳۷	۰/۰۹۵۳	Q1	۰	۰/۱۰۶۱	Z0
۳۰۱/۹۱	۰/۰۹۱۱	SK3	۵۰/۳۸	۰/۰۷۲۸	J1
۱۹۹/۶۵	۰/۰۹۰۱	MO3	۱۵۰/۴۱	۰/۰۶۳۴	2Q1
۳۱۱/۷۷	۰/۰۷۹۸	NO1	۲۸۸/۶۲	۰/۰۶۲۹	Q1
۹۵/۱۸	۰/۰۷	OO1	۲۴۷/۰۸	۰/۰۵۸۲	M6
۱۳۹/۷	۰/۰۵۴۶	2MS6	۳۲۷/۶۴	۰/۰۵۵۳	2MS6
۶۴/۲۷۷۰	۰/۰۴۱۴	M3	۳۰۱/۲۵	۰/۰۵۲۲	NO1
۲۳۵/۲	۰/۰۳۷۳	J1	۱۵۴/۵۳	۰/۰۴۷۶	MN4
۱۴۵/۲۶	۰/۰۳۶۲	ETA2	۳۴۲/۴۷	۰/۰۴۴۳	2MK5
۳۰۴/۳۲	۰/۰۳۵۸	UPS1	۳۵۶/۸۹	۰/۰۳۰۴	S4
۲۴۶/۳۶	۰/۰۲۷۴	MN4	۲۴۴/۹۷	۰/۰۳۰۹	M3
۷۵/۱۷	۰/۰۲۴۹	M6	۶۶/۸۴	۰/۰۲۵۶	OO1
۱۳۳/۹	۰/۰۲۴۷	2MN6	۱۸۵/۱۹	۰/۰۲۴۱	2SM6
۲۳۹/۰۴	۰/۰۲۱۹	M4	۶۵/۰۴	۰/۰۲۳۷	UPS1

جدول ۳ ـ مقایسه دامنه جزر و مد و فاکتور شکل در دو ایستگاه پل لوله‌ای و پادگان سپاه

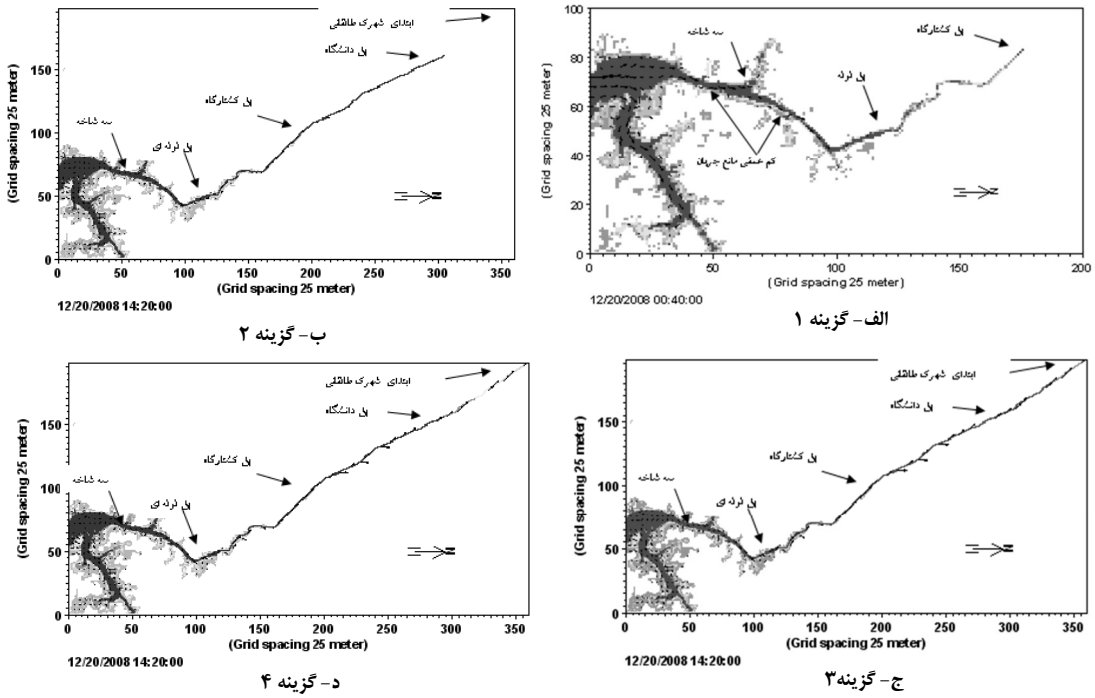
ایستگاه	F	RANGE(cm)	HW (cm)	LW (cm)
پل لوله ای	۰/۳۰	۵۲۴	+۲۸۴	-۲۴۰
پادگان سپاه	۰/۳۸	۵۷۶	+۲۴۳	-۳۳۳



شکل ۸- نمونه توپوگرافی مورد استفاده در مدل

جدول ۴- مشخصات مدل های اجرا شده

گزینه	نام مدل	توضیح
۱	Bat-25m-initial	توپوگرافی اولیه
۲	Bat-25m-SlopeUni	بستر خور از سمت دریا تا محل پل دانشگاه با شیب ۰/۰۰۰۵ لایروبی شده است.
۳	Bat-25m-SlopeShahrak-D1.2m	بستر خور از سمت دریا تا محل شهرک طالقانی با شیب ۰/۰۰۰۵ و با عمق متوسط ۱/۲ متر لایروبی شده است.
۴	Bat-25m- SlopeShahrak-D1.8m	بستر خور از سمت دریا تا محل شهرک طالقانی با شیب ۰/۰۰۰۵ و با عمق متوسط ۱/۸ متر لایروبی شده است.
۵	Bat-25m- SlopeShahrak-D1.2m-b50	بستر خور از سمت دریا تا محل شهرک طالقانی با شیب ۰/۰۰۰۵ و با عمق متوسط ۱/۲ متر لایروبی و عرض حدفاصل پل لوله ای



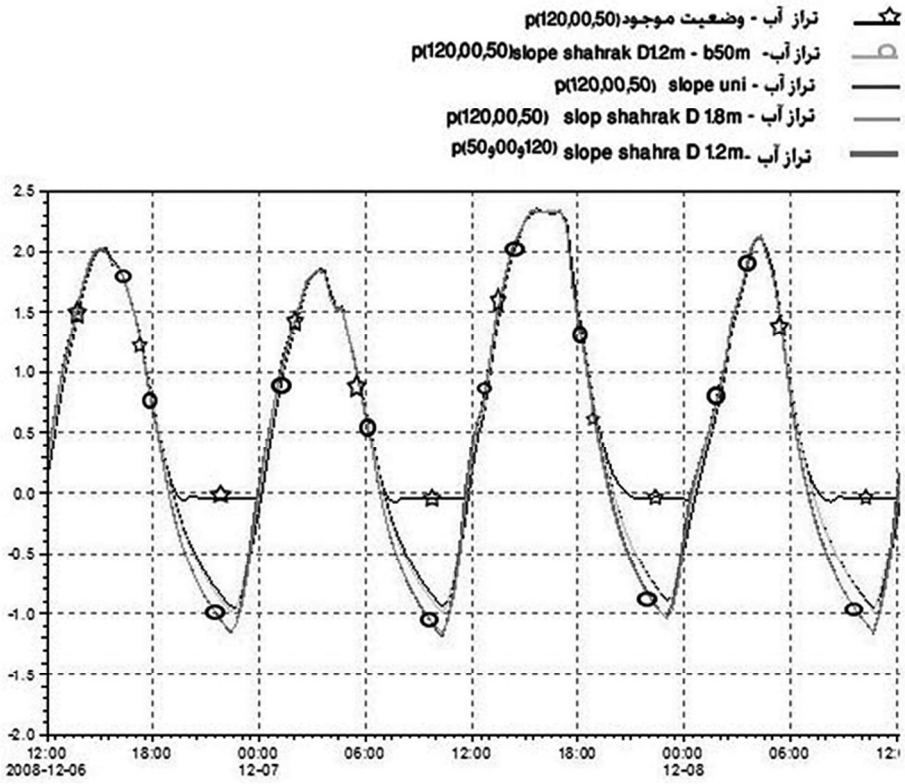
ب- گزینه ۲

الف- گزینه ۱

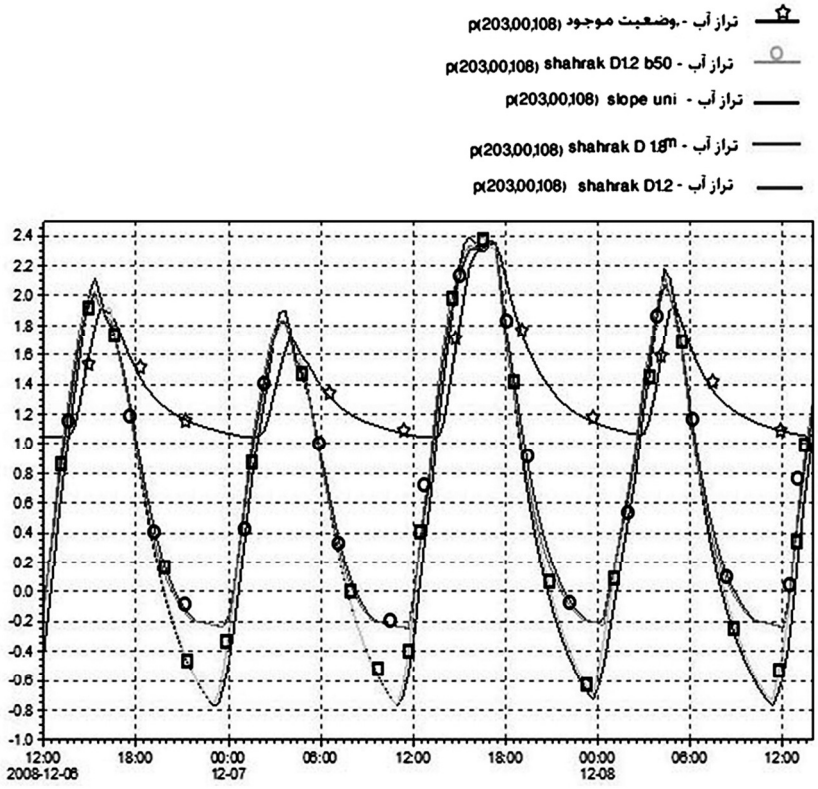
د- گزینه ۴

ج- گزینه۳

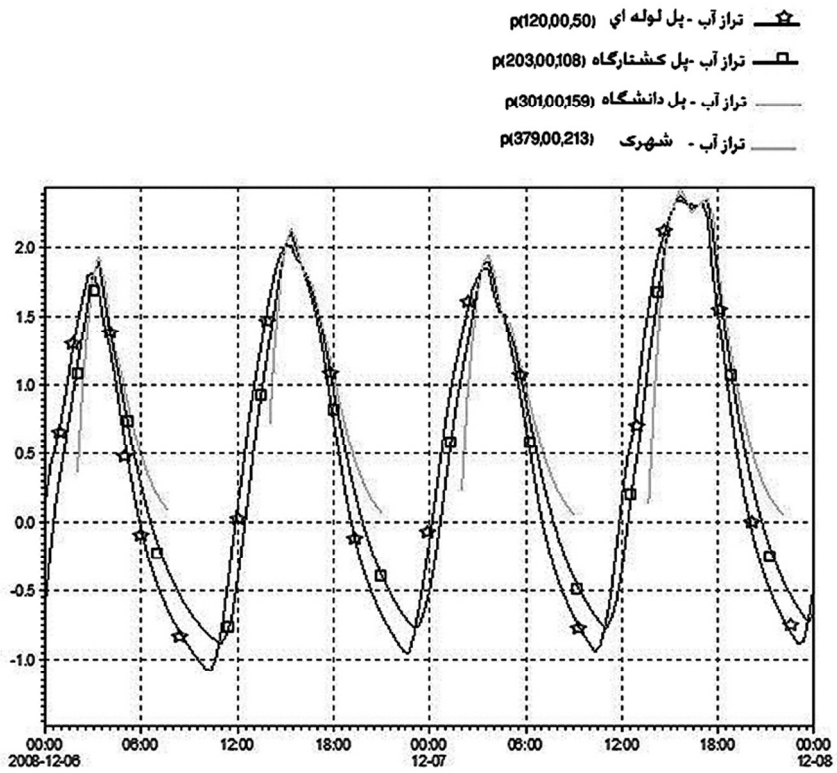
شکل ۹- عمق آب و سرعت جریان برای گزینه های مختلف



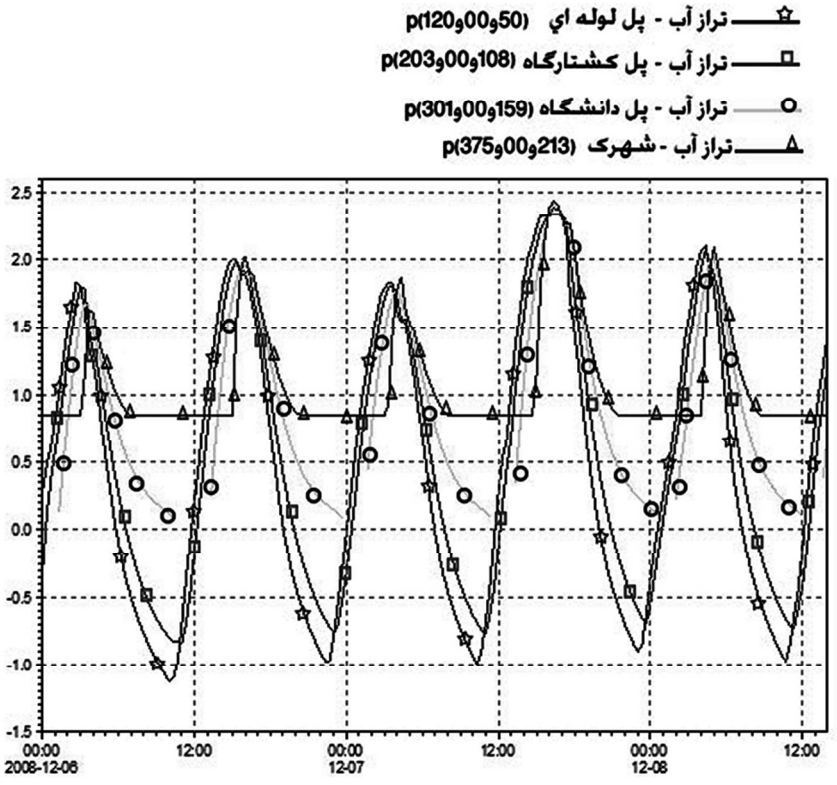
شکل ۱۰- مقایسه تراز سطح آب گزینه های مختلف در ایستگاه پل لوله ای



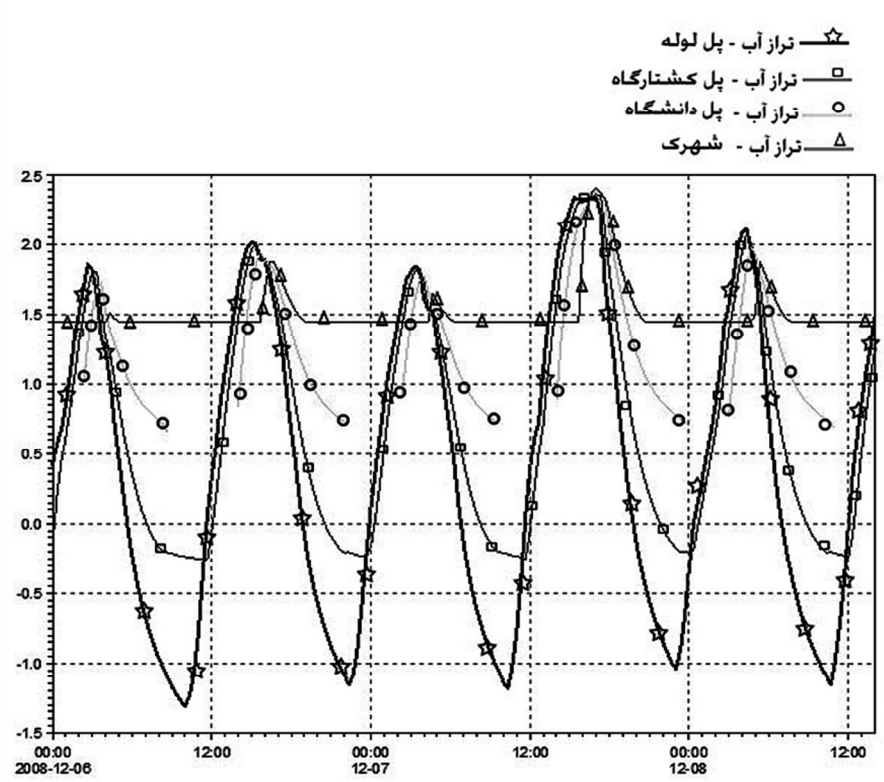
شکل ۱۱- مقایسه تراز سطح آب برای گزینه های مختلف در ایستگاه پل کشتارگاه



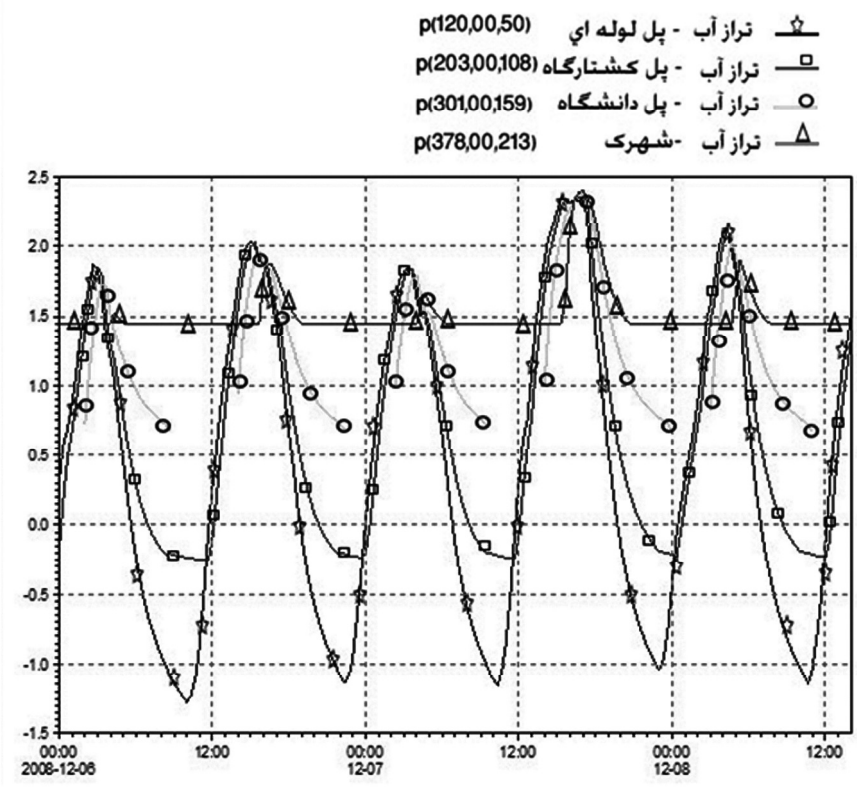
شکل ۱۲- مقایسه تراز سطح آب در نقاط مختلف برای گزینه ۲ (SlopeUni.)



شکل ۱۳- مقایسه تراز سطح آب در نقاط مختلف برای گزینه ۳ (SlopeShahrak-D1.8m)



شکل ۱۴- مقایسه تراز سطح آب در نقاط مختلف برای گزینه ۴ (SlopeShahrak-D1.2m)



شکل ۱۵- مقایسه تراز سطح آب در نقاط مختلف برای گزینه ۵ (SlopeShahrak-D1.2m-b50m)

۴- تحلیل نتایج و نتیجه گیری

۴-۱- مشخصات جزر و مد در خور ماهشهر

۱- وقوع جزر کامل در ایستگاه پل لوله‌ای ۱ تا ۳ ساعت نسبت به دهانه خور تاخیر دارد. علت این تاخیر را می توان در تاخیر در تخلیه خور بدلیل شیب کم خور و وجود موانع برای جریان برگشتی دانست.

۲- جزر و مد در هر دو ایستگاه عمدتا نیم روزانه است.

۴- در زمان وقوع مه کشند [۸] در هر شبانه روز یک کشند بلند و یک کشند کوتاه اتفاق می‌افتد، در حالیکه در زمان وقوع کهکشند[۹] ارتفاع هر دو کشند تقریبا با هم برابرند.

۵- هر چه از دهانه خور ماهشهر به سمت انتهای آن پیش می‌رویم از دامنه جزر و مد کاسته می‌شود، طوریکه دامنه جزر و مد در پادگان سپاه ۵۷۶ سانتیمتر و در پل لوله‌ای ۵۲۴ سانتیمتر بدست آمده است. در هر دو ایستگاه تراز مد بر یکدیگر منطبق است، در حالیکه تراز جزر در ایستگاه پادگان سپاه ۵۰ تا ۱۵۰ سانتیمتر پایین تر از ایستگاه پل لوله‌ای است. علت این مساله را می توان در عدم تخلیه کامل خور جستجو کرد که عمدتا ناشی از شیب کم و وجود موانع در داخل خور و نیز ورود فاضلاب به خور با دبی حدود ۲۰۰ لیتر در ثانیه می‌باشد.

۶- دامنه جزر و مد در خور ماهشهر بسیار بیشتر از خور موسی و بندر امام خمینی است.

۷- مولفه های O1, K1,S2,M2 بترتیب بیشترین سهم را در جزر و مد منطقه دارند.

۸- برای منطقه طرح، پارامترهای کاربردی جزر و مد بشرح زیر محاسبه گردید:

جدول ۵- مقادیر پارامترهای جزر و مدی در خور ماهشهر

پارامترهای های جزر و مدی	مقادیر (متر)
حداکثر تراز مد[۱۰]	+2.983 m
متوسط مدهای بلند[۱۱]	+1.964 m
متوسط تراز مدها[۱۲]	+1.534m
متوسط تراز مدهای کوتاه[۱۳]	+1.207 m
متوسط تراز سطح آب[۱۴]	+0.270 m
متوسط تراز جزرهای کوتاه[۱۵]	-0.813 m
تراز جزرها متوسط[۱۶]	- 1.043 m
متوسط جزرهای بلند[۱۷]	-1.314 m
حداقل تراز جزر[۱۸]	-2.043m

۴-۲- تاثیر ابعاد هندسی خور بر جزر و مد

۴-۲-۱- تاثیر عرض خور بر جزر و مد

با استفاده از شکلهای ۹ و ۱۰ می توان گفت:

- عرض بر اختلاف فاز در جزر و یا مد بی تاثیر است.
- تغییر عرض خور تاثیری بر تراز مد ندارد.
- افزایش عرض پایین دست خور تاثیری بر تراز مد در بالادست آن ندارد.

۴-۲-۲- تاثیر عمق خور بر جزر و مد

همچنین با مقایسه دو عمق ۱/۲ متر و ۱/۸متر در شکلهای ۹ و ۱۰ می توان گفت:

- کاهش عمق باعث افزایش اختلاف فاز می‌شود. بعبارت دیگر کاهش عمق باعث به تعویق افتادن زمان جزر می شود. این را می‌توان ناشی از صعوبت تخلیه خور در حالت جزر در عمق کم دانست.
- تغییر عمق تاثیری بر زمان مد ندارد.
- تغییر عمق خور تاثیری بر تراز مد ندارد.
- افزایش عمق خور با کاهش تراز جزر همراه است (میزان کاهش برای خور ماهشهر در ایستگاه پل کشتارگاه حدود ۴۰ سانتیمتر است.). در حالیکه بر تراز مد تاثیری ندارد. بعبارت دیگر افزایش عمق باعث افزایش دامنه جزر و مد می‌شود.
- با افزایش عمق، میزان نفوذ بیشتر جزر و مد در طول بیشتر شده، ولی دامنه جزر و مد در یک نقطه خاص تغییر چندانی نمی‌کند .

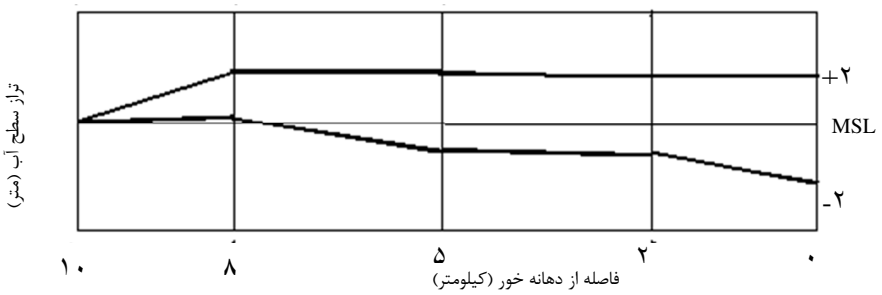
۴-۲-۳- تغییرات تراز جزر و مد در طول خور

با استفاده از شکلهای ۱۲ تا ۱۵ می توان گفت:

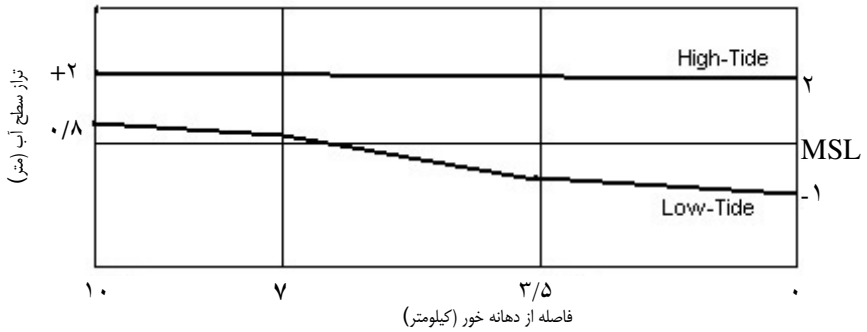
- انتقال موج مد از دریا به داخل خور با تاخیر فاز همراه است. میزان این تاخیر فاز در نیمه عمیق کانال تقریبا ۱۰ دقیقه بازای هر کیلو متر و در نیمه کم عمق کانال حدود ۲۰ دقیقه بازای هر کیلومتر است. میزان دقیق تر اختلاف فاز مربوط به هر گزینه در جدول ۵ آمده است.

- تقریبا برای همه گزینه ها با عمق ها و عرضهای مختلف، هر چه از دهانه خور به سمت انتهای خور حرکت می کنیم، تراز جزر افزایش و تراز مد کاهش می یابد. البته میزان افزایش تراز جزر به مراتب بیش از کاهش تراز مد است. به عبارت دیگر هر چه به انتهای خور نزدیکتر می شویم دامنه جزر و مد کاهش می یابد. این کاهش دامنه برای خور ماهشهر حدود ۱۰ درصد در هر کیلومتر از طول خور (معادل ۱۰ سانتیمتر کاهش بازاء هر یک کیلومتر طول کانال) بوده است. این کاهش دامنه را می توان بدلیل استهلاک انرژی ناشی از اصطکاک بستر دانست. تغییرات دامنه جزر و مد در طول خور برای هر یک از گزینه ها در شکلهای ۱۶ تا ۱۸ آمده است.

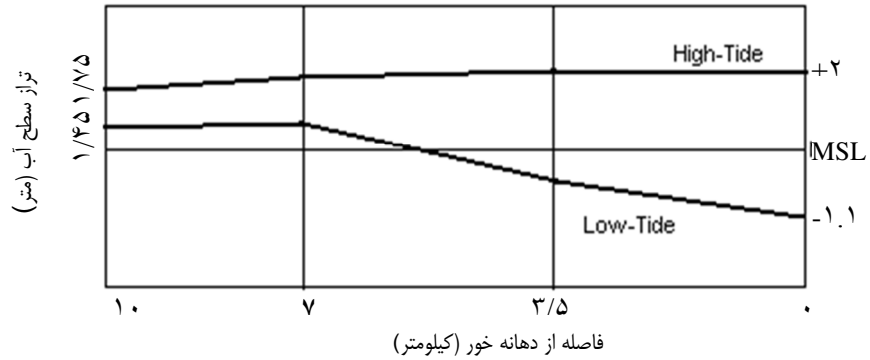
- با نفوذ جزر و مد به داخل کانال خور دامنه آن کاهش می یابد (که نشاندهنده تعیین کننده بودن اصطکاک و کم عمقی خور است). همینطور میرایی اولیه در دهانه خور وجود ندارد (که نشاندهنده عدم وجود واگرایی بعد از دهانه می باشد). دامنه جزر و مد فقط هنگام رسیدن به انتهای خور میرا می شود که موید کم عمقی و اصطکاک بیشتر در این قسمت از کانال می باشد. به طور مثال دامنه جزر و مد در پل کشتارگاه که تقریبا در نیمه خور است، ۴۰٪ کمتر از مقدار آن قبل از دهانه خور است.
- با توجه به آنچه گفته شد می توان نتیجه گرفت که خور ماهشهر عموما رفتار خورهای طویل مستطیل شکل کم عمق و در قسمت دهانه رفتار خورهای قیفی شکل را از خود به نمایش می گذارد.



شکل ۱۶- تغییرات دامنه جزر و مد برا ی گزینه ۲



شکل ۱۷- تغییرات دامنه جزر و مد برا ی گزینه ۳



شکل ۱۸- تغییرات دامنه جزر و مد برا ی گزینه ۴

تشکر و قدردانی

از جناب آقای مسعود خواجه احمد عطاری وپرسنل مهندسین مشاور پارس آب سرزمین که ما را در جمع آوری دا ده ها کمک کردند، نهایت تشکر را داریم.

کلید واژگان

1-Slack
2-Form Factor
3-Non-Harmonic Method
4-Response
5-Admiralty Method
6-IOS
7-Franco
8-Neap Tide
9-Spring Tide
10-HWL
11-MHHWL
12-MHWL
13-MLHWL
14-MSL
15-MHLWL
16-MLWL
17-MLLWL
18-LWL

۵- منابع

1-Mahmoodian Shooshtari, M., (2007), Tidal Hydraulics, Chamran University Publications, Ahvaz, Iran. (In Persian)
2-Leo C. Van Rijn., (1990), Principles of Fluid Flow and Surface Waves In Rivers, Estuaries, Seas And Oceans, Aqua Publications, Netherlands
3-Steacy, D. H., (2006), Understanding Tides, National Oceanic and Atmospheric Administration, National Ocean Service, USA.
4-McDowell, D.M., Oconnor,B.A., (1977), Hydraulic Behavior of Estuaries, MacMillan Press Ltd, Presented at, http://203.3.195.251/estuaries/factsheets/physical/intro.shtml
5-Leo C. Van Rijn., (1990), Principles of Fluid Flow and Surface Waves In Rivers, Estuaries, Seas And Oceans, Aqua Publications, Netherlands
6-Khajeh Ahmad Attari, M., Fathi Moghadam, M., Yazdanparast, S., (1388), Investigation tidal estuary with hydrodynamic model MIKE 21, 8th conference river engineering. (In Persian)
7-Nejadalirezaee, A., Karami Khaniki, (1390), Effects of Geometric Parameters on Tidal Height of Gheshm Channel, Thesis, Science and Research Branch, Islamic Azad University (In Persian).
8-Pars-Ab-Sarzamin consulting Engineers., (2008), Development of Mahshar Estuary, Mahshahr Municipality, Mahshar, Iran. (In Persian)