

## تأثیر عوامل هندسی بر جزر و مد در خورهای طویل

علی کرمی خانیکی<sup>۱\*</sup>، فاطمه ضیائیان<sup>۲</sup>

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 تأثیر عوامل هندسی به مراتب پیچیده تر از دریاهاى باز است. پدیده‌هایی نظیر انعکاس امواج جزر و مدی، seiche، اصطکاک بستر و تأثیر نیروی کوریولیس باعث تغییرات عمده در تراز سطح آب می‌گردد، طوریکه تغییرات تراز جزر و مد در خور ممکن است تا چند برابر تغییرات جزر و مد در دریای باز برسد. در این مقاله تأثیر 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 افزار MIKE21 و اندازه گیری های میدانی بهره گرفته شده است. این تحقیق نشان می‌دهد که تغییر عرض خور تأثیری 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 تأثیری بر زمان مد و تراز مد ندارد. این تحقیق همچنین نشان می‌دهد که انتقال موج مد از دریا به داخل خور با تأخیر فاز همراه است. میزان این تأخیر فاز در نیمه عمیق کانال تقریباً ۱۰ دقیقه بازای هر کیلومتر و در نیمه کم عمق کانال حدود ۲۰ دقیقه بازای هر کیلومتر است. در مجموع می‌توان نتیجه گرفت که خور ماهشهر عموماً رفتار خورهای طویل مستطیل شکل کم عمق و در قسمت دهانه، رفتار خورهای قیفی شکل را از خود نشان می‌دهد.

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<sup>1</sup>, F. Ziaeyan<sup>2</sup>

1- Assistant Professor, Department of Coastal Protection, Watershed Management Research Institute

2- Postgraduate Student, Science and Research Branch, Islamic Azad Uni.

## Abstract

Tidal behavior of estuaries 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, seiche, bed friction and coriolis forces cause the water level changes in the estuaries to be several times as in the open sea. This paper evaluates the effects of geometric parameters (such as length, wide and depth), on the tidal behaviour of macro-tidal estuaries. It was done specifically for Mahshahr estuary, located in north west of Persian Gulf. This research was done by using numerical simulation and field measurements. 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 increment 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 estuary, respectively. The results also show that Mahshahr estuary to behave as a rectangular-shallow-long estuary.

**Keywords:** long estuary, tide, macro-tidal, Mahshahr estuary, numerical modeling

## ۱- مقدمه

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.

معمولاً اصطکاک با کف بررسی جزر و مد را پیچیده تر می کند. یک موج جزر و مدی که به درون یک خور وارد می گردد، ضمن حرکت مستهلک می گردد. موج منعکس شده نیز ضمن حرکت به سمت دریا، در اثر اصطکاک بستر مستهلک می شود. 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 می کند 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 فاکتورهای تاثیر گذار بر جزر و مد، نیروی کوریولیس ناشی از گردش زمین به دور خود می باشد. این نیرو در استوا صفر و در بین عرضهای ۵۰ تا ۶۰ درجه بر جهت جریان عمود است. جهت این نیرو در نیمکره شمالی به صورت ساعتگرد و در نیمکره جنوبی پادساعتگرد می باشد [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 می شوند، بیشتر از امواجی است که از خور خارج می شوند. به این پدیده پمپاژ آب به داخل خور می گویند [۳].

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

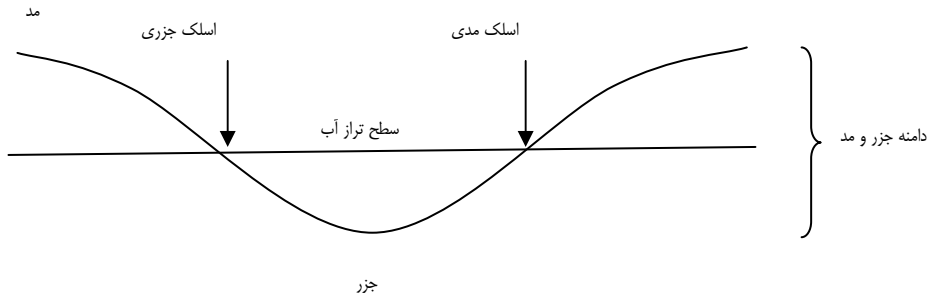
در اکثر خورهای دنیا، جزر و مد به صورت روزانه، نیم روزانه و مختلط است. به طور کلی امواج جزر و مدی نیم روزانه را امواج پیشرونده و امواج جزر و مد روزانه را امواج ایستا نیز می نامند [۱]. در امواج پیشرونده، مولفه افقی حرکت ذرات آب در زیر قله موج در جهت حرکت موج جزر و مدی است و به عنوان جریان مدی یا سیلابی شناخته می شود و مقدار آن درست در زیر قله موج ماکزیمم است و به آن قدرت سیلاب می گویند. به طور مشابه، مولفه افقی حرکت ذرات آب در زیر قعر موج در جهت مخالف حرکت موج جزر و مدی است که به جریان جزری معروف است. در وسط 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<sup>۱</sup> نامیده می شوند. اگر بعد از اسلک مد شروع شود به آن اسلک مدی و اگر جزر شروع شود، به آن اسلک جزری می گویند.

وقتی یک موج پیشرونده به یک مانع مانند ساحل یا انتهای خور میرسد، بر روی خودش باز می تابد و یک موج ایستا را تشکیل می دهد. شکل ۲ نحوه تشکیل این موج ایستا را نشان می دهد. در موج حاصله نقاطی بین قله و قعر وجود دارند که در آنها هیچ بالاروی و یا پایین روی دیده نمی شود، این نقاط را گره می نامند. ذرات واقع در زیر گره ها دارای حرکت نوسانی افقی است، در حالیکه ذرات واقع در زیر شکم ها هیچگونه حرکت افقی ندارند.

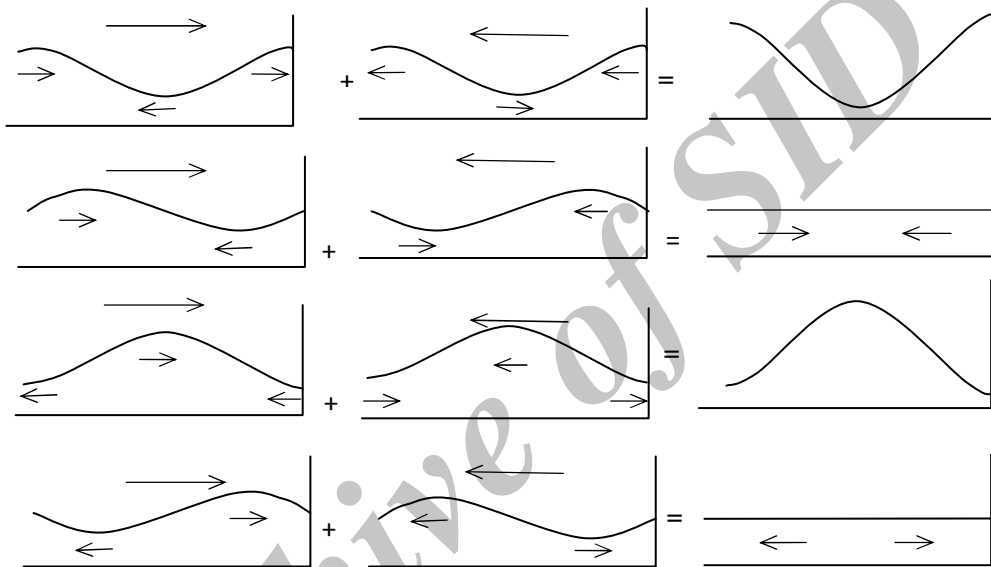
شدت موج جزر و مدی در داخل خور تابع طول و عمق خور است. سرعت یک موج جزر و مدی در آبهای کم عمق عبارتست از:

$$C = L/T \quad (1)$$

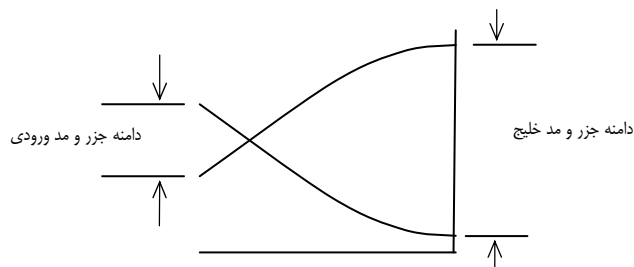
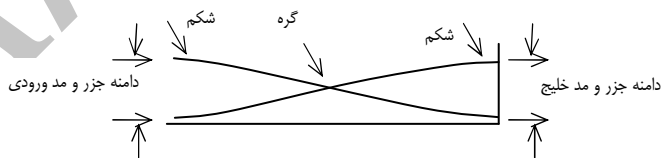
که در آن  $T$  دوره تناوب موج و  $L$  طول موج جزر و مدی است [۲]. با توجه به شکل ۳، اگر گره موج ایستاده



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

جزر و مدی که بوسیله یک کانال نسبتا باریک (که به آن کانال جزر و مدی گویند) به دریا وصل است. دریاچه‌های جزر و مدی میرایی شدیدی دارند، طوریکه در فاصله ۱ تا ۵ کیلومتری از دهانه، دامنه جزر و مد به چند سانتیمتر کاهش می‌یابد. در جدول ۱ مشخصات انواع خورها ارائه شده است [۲].

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

$$b \frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{1}{A} \frac{\partial Q}{\partial t} + g \frac{\partial \eta}{\partial x} - g i_b + g \frac{Q|Q|}{C^2 A^2 R} = 0 \quad (3)$$

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

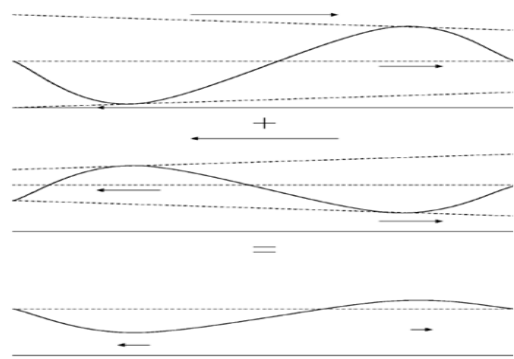
$$\frac{1}{A} \frac{\partial Q}{\partial t} + g \frac{\partial \eta}{\partial x} - g i_b + mQ = 0 \quad (4)$$

$$m = \frac{8g\bar{Q}}{3\pi C^2 A^2 R} \quad (5)$$

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

$$\eta = \hat{\eta}_0 e^{(\mu x)} \cos(\omega t + kx) \quad (6)$$

در معادله فوق،  $\eta = \hat{\eta}_0 e^{(\mu x)} \cos(\omega t + kx)$  پروفیل اولیه سطح آب در دهانه خور،  $\Omega$  فرکانس زاویه ای،  $k$  عدد موج و  $t$  زمان است.



شکل ۴- استهلاک موج جزر و مدی در داخل خور

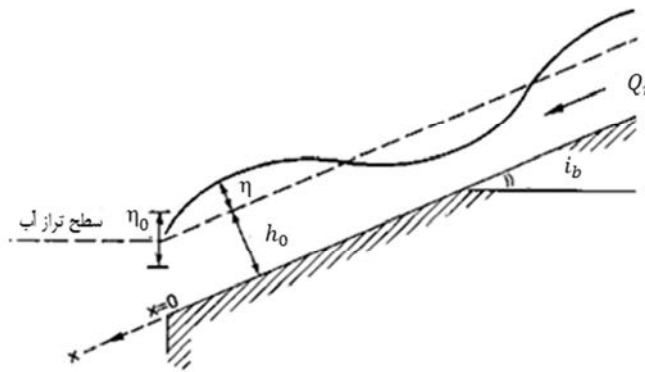
عمق آب در چند کیلومتر اول دهانه خور در نحوه انتشار جزر و مد در درون خور بسیار موثر است. هر گونه تغییری در دهانه خور می‌تواند رفتار جزر و مد را در طول دهانه آن تحت تاثیر قرار دهد [۴].

طول، عرض و عمق آب در خور در انتشار جزر و مد در آن موثر است. از نظر شکل، خورها را می‌توان به سه دسته کلی شامل: خورهای مستطیلی، خورهای قیفی شکل و خورهای دریاچه‌ای دسته‌بندی 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 می‌کند، اما موج حاصل از این تشدید انرژی خود را در ورودی کانال توسط اصطکاک در بستر ماسه ای و کم عمق کانال از دست می‌دهد. در این خورها چنانچه دهانه خور عمیق باشد، میرایی اولیه اتفاق نمی‌افتد. خورهای قیفی شکل، عموما دهانه‌هایی عمیق و عریض دارند، اما در امتداد خشکی دامنه جزر و مد کانال کمتر می‌شود. در این کانالها نیز مانند کانال‌های کم عمق، تشدید ارتفاع دامنه جزر و مد را بیشتر تقویت می‌کند. این گونه خورها معمولا میرایی اولیه را نشان نمی‌دهند و در عوض دامنه جزر و مدی در سمت دریا را تقویت می‌کنند. خورهای دریاچه‌ای توسط پهنه

جدول ۱- تقسیم بندی انواع خورها از نظر شکل هندسی

نوع خور	شکل	خصوصیات
قیفی شکل		
خور کوتاه	عمق ثابت مسططیل با	در خورهای کوتاه: - تراز آب در داخل خور تقریباً ثابت است - شکل موج جزر و مد با رابطه امواج ایستا بیان می گردد. - پیشروی آب به داخل خور با افزایش تراز سطح آب توأم است.
	عمق متغیر مسططیل با	
قیفی شکل		در خورهای طویل و عمیق قیفی شکل: - دهانه هایی عمیق و عریض دارند و هر چه 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 استهلاك موج بدلیل اصطکاک همراه است اما همگرایی ناشی از کاهش عرض باعث تمرکز انرژی و نهایتاً 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 سریعاً مستهلک شده و عملاً وجود نخواهد داشت.
خور دریاچه ای		- اینگونه دریاچه ها توسط پهنه جزر و مدی که بوسیله یک کانال نسبتاً 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.
مسططیلی		- کانالهای باریک و کم عمق با عرض و عمق ثابتند که میرایی اولیه در آنها رخ نمی دهد. - در خورهای عمیق و مستقیم خیلی طویل : اصطکاک مهم نیست، بنابراین انتقال موج به داخل خور بدون تاخیر و استهلاك 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 استهلاك همراه است. در صورت عدم استهلاك 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

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 خور بلند 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 مدل سازی 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 قنایه، خور دورق، خور ماهشهر، خور زنگی، خور مریموس و چند خور دیگر در ادامه خور موسی قرار دارند. شکل ۶ خور ماهشهر در شمالی ترین قسمت خور موسی در طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۱۳

در رابطه (۶) داریم:

$$\mu = \frac{mA}{(1+a)^{0.5} C_0^2 \sqrt{2}} \quad (7)$$

$$k = \frac{\omega(1+a)^{0.5}}{C_0^2 \sqrt{2}} \quad (8)$$

$$a = \left(1 + \frac{m^2 A^2}{\omega^2}\right)^{0.5} \quad (9)$$

$$C_0^2 = \frac{gA}{b} \quad (10)$$

همانطور که 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:

$$c = \frac{L}{T} = \frac{\omega}{k} = \frac{\sqrt{2}}{(1+a)^{0.5}} C_0 \quad (11)$$

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

$$(12)$$

$$Q = Q_r - \frac{bw\hat{\eta}_0}{\mu^2 + k^2} e^{(\mu x)} [k \cos(\omega t + kx) - \mu \sin(\omega t + kx)]$$

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

استفاده از بسط سری فوریه، روش غیرهارمونیک<sup>۳</sup>، روش تجزیه و تحلیل حرکت متقابل<sup>۴</sup>، روش آدمیرالیتی<sup>۵</sup>، روش بین المللی<sup>۶</sup> روش برزیلی<sup>۷</sup>، و مدل های هیدرولیکی کشند (معادلات هیدرودینامیک). در میان روشهای فوق، روشهای آدمیرالیتی و بین المللی از مقبولیت بیشتری بر خوردار است. در روش آدمیرالیتی، 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 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. شکل ۷ داده های اندازه گیری شده را برای دو ایستگاه بصورت مقایسه ای 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 لوله ای 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، مدل 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 روز سطح آب در ایستگاه سپاه بعنوان داده های ورودی به برنامه داده شد و مقادیر جریان، دبی و عمق آب در هر نقطه از شبکه ۲۵ متری مدل در گامهای زمانی ۲ ثانیه محاسبه گردید که نتایج آن در شکل ۹ آمده است. به منظور بررسی

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]. در این اندازه گیری دو ایستگاه جزر و مد سنجی ثابت (اشل) در محل های 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 قسمت های داخلی 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

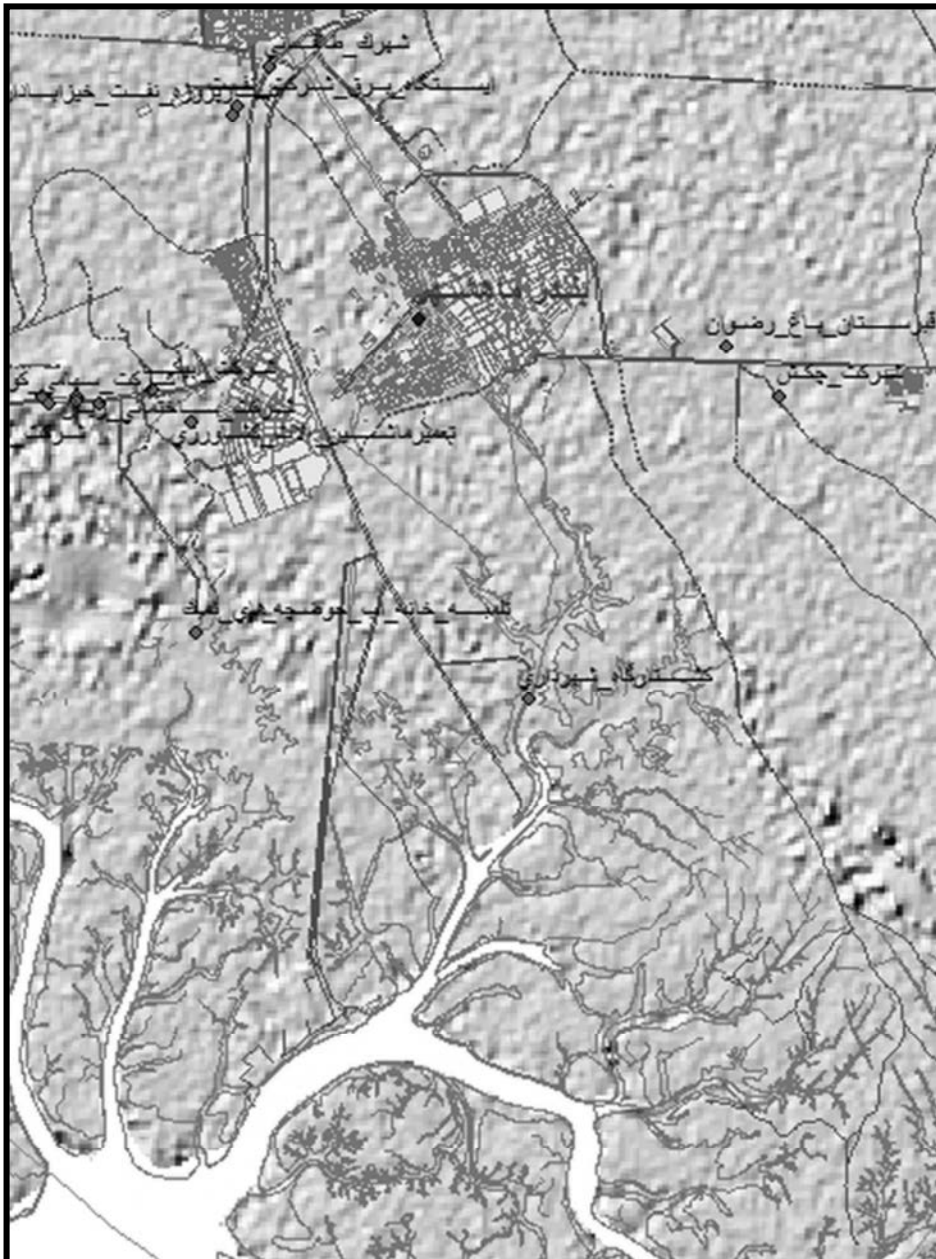
مدل ریاضی MIKE21 یکی از معتبرترین مدل های عددی در زمینه تحلیل پدیده های دریایی است. این برنامه کامپیوتری که توسط موسسه هیدرولیک دانمارک پایه ریزی و توسعه یافته است، دارای قابلیت های محاسباتی و گرافیکی بالایی در زمینه مدل کردن پدیده های مربوط به خورها، دریاچه ها، نواحی کم عمق ساحلی، خلیج ها و دریاها می باشد. این نرم افزار سیستم جامعی برای مدل کردن جریان های آزاد دو بعدی می باشد. این نرم افزار دارای مدل های مختلفی است که در این تحقیق از مدل 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 هارمونیک اطلاعات کشندی با

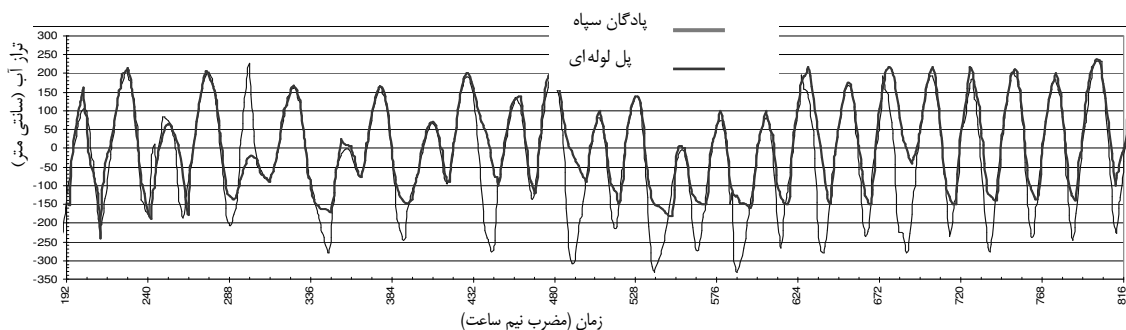
گردیده است. همچنین در شکل‌های ۱۲ تا ۱۶ تغییرات تراز آب در نقاط مختلف خور بصورت سری های زمانی با یکدیگر مقایسه شده است.

تأثیر 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



شکل ۶- موقعیت خور ماهشهر در داخل خور موسی





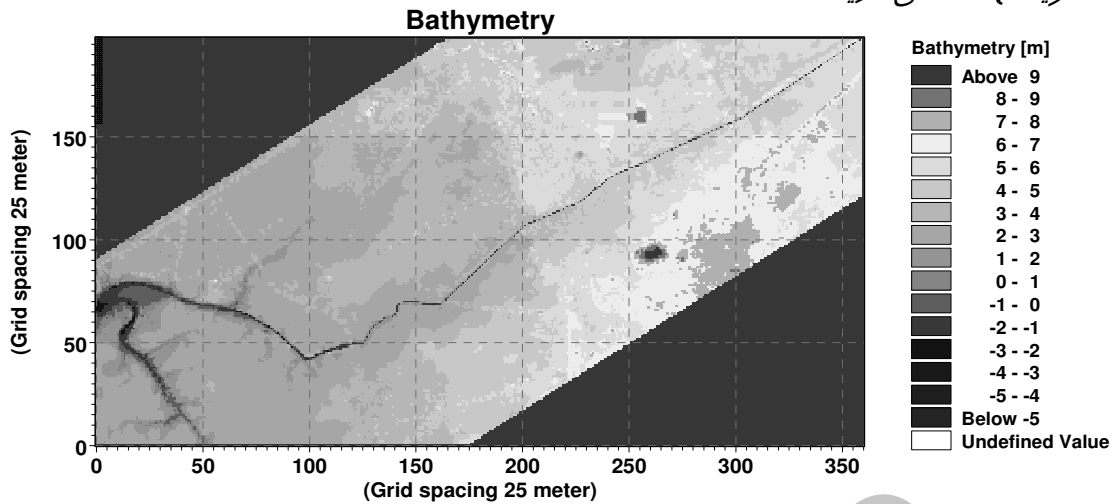
شکل ۷ - قسمتی از مقادیر اندازه گیری شده تراز سطح آب در ایستگاه های پل لوله‌ای و پادگان سپاه

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

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

جدول ۳ - مقایسه دامنه جزر و مد و فاکتور شکل در دو ایستگاه پل لوله ای و پادگان سپاه

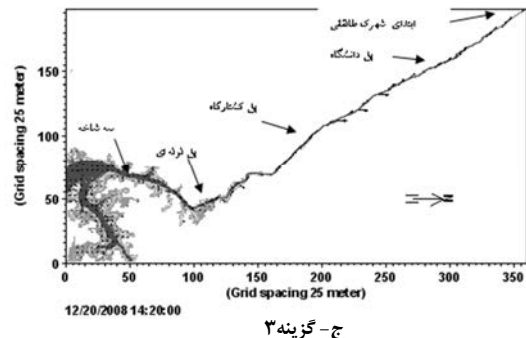
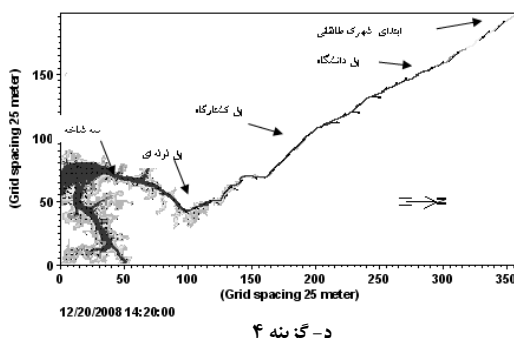
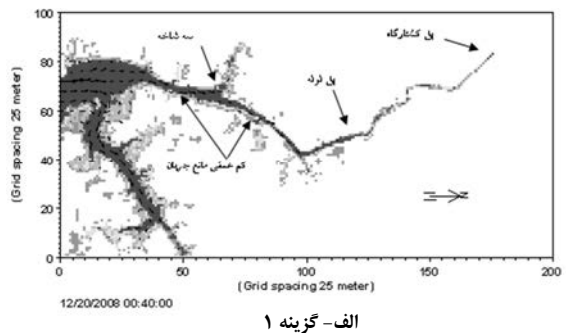
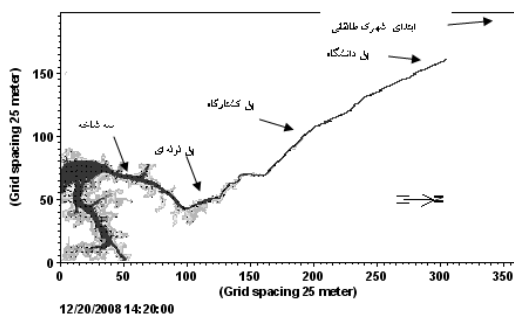
LW (cm)	HW (cm)	RANGE(cm)	F	ایستگاه
-۲۴۰	+۲۸۴	۵۲۴	۰/۳۰	پل لوله ای
-۳۳۳	+۲۴۳	۵۷۶	۰/۳۸	پادگان سپاه



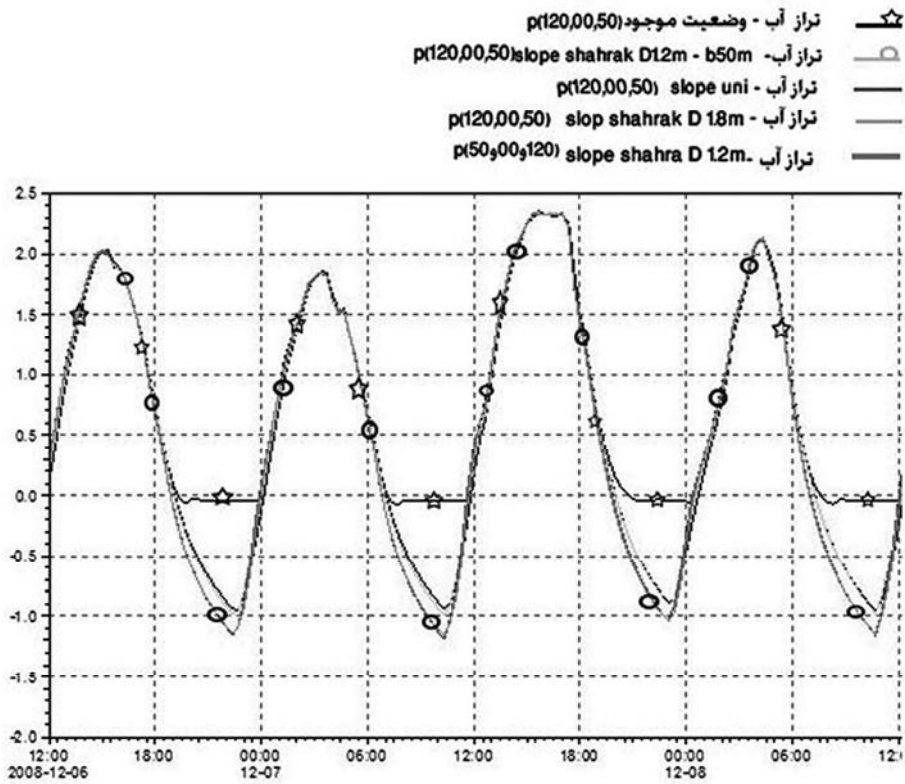
1/1/2003 12:00:00 AM, Time step: 0, Layer: 0  
شکل ۸- نمونه توپوگرافی مورد استفاده در مدل

جدول ۴- مشخصات مدل های اجرا شده

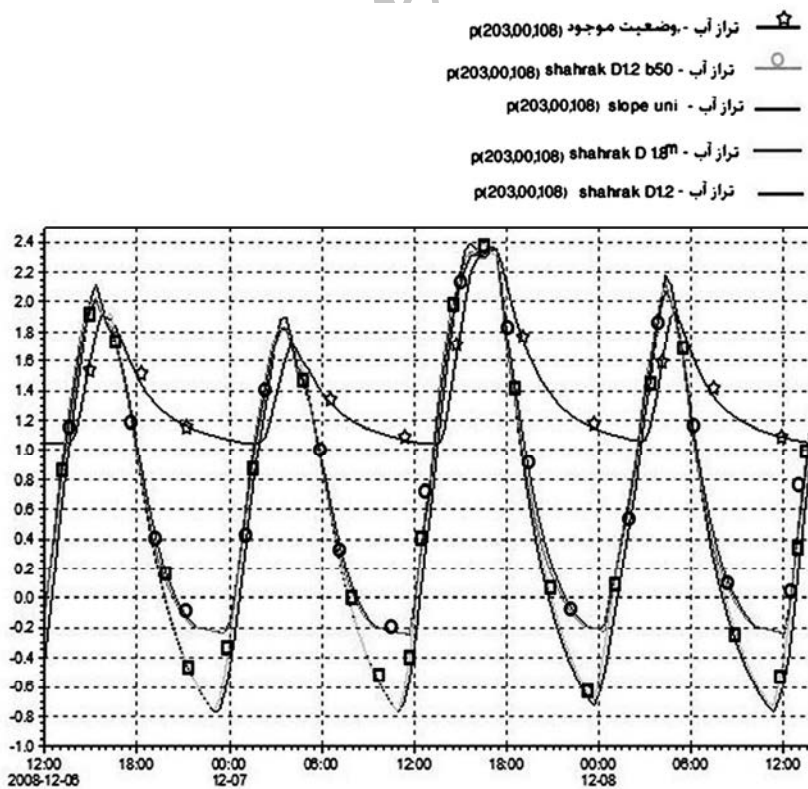
گزینه	نام مدل	توضیح
۱	Bat-25m-initial	توپوگرافی اولیه
۲	Bat-25m-SlopeUni	بستر خور از سمت دریا تا محل پل دانشگاه با شیب $0/0005$ لایروبی شده است.
۳	Bat-25m-SlopeShahrak-D1.2m	بستر خور از سمت دریا تا محل شهرک طالقانی با شیب $0/0005$ و با عمق متوسط $1/2$ متر لایروبی شده است.
۴	Bat-25m- SlopeShahrak-D1.8m	بستر خور از سمت دریا تا محل شهرک طالقانی با شیب $0/0005$ و با عمق متوسط $1/8$ متر لایروبی شده است.
۵	Bat-25m- SlopeShahrak-D1.2m-b50	بستر خور از سمت دریا تا محل شهرک طالقانی با شیب $0/0005$ و با عمق متوسط $1/2$ متر لایروبی و عرض حدفاصل پل لوله ای



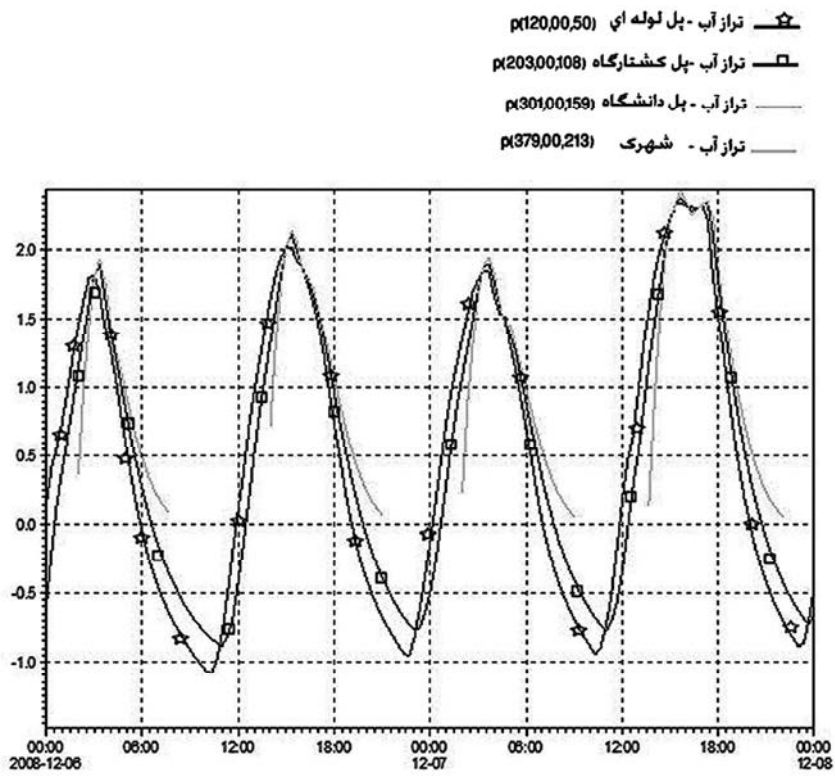
شکل ۹- عمق آب و سرعت جریان برای گزینه های مختلف



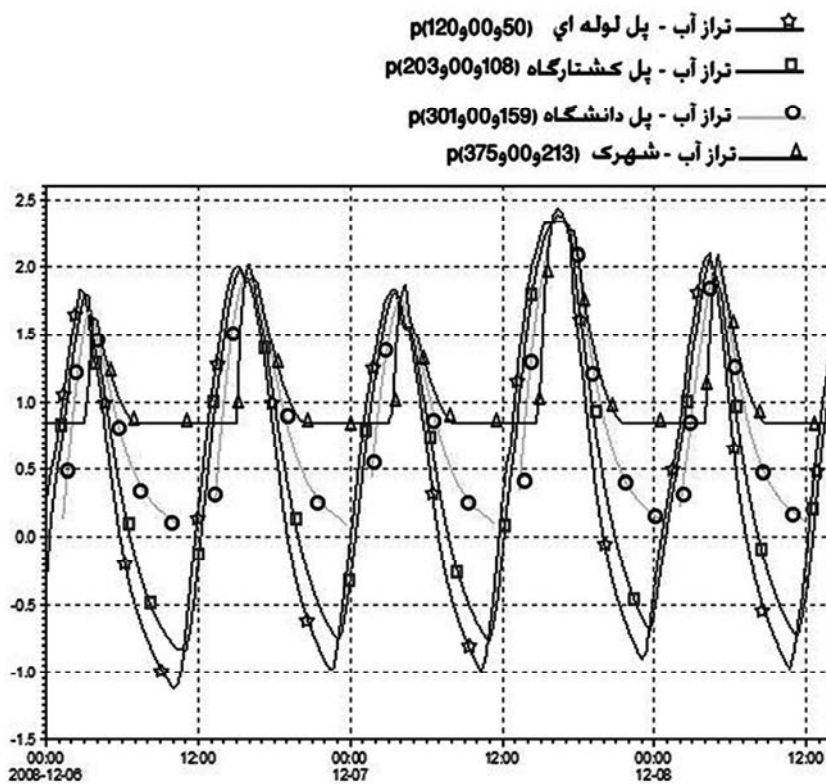
شکل ۱۰- مقایسه تراز سطح آب گزینه های مختلف در ایستگاه پل لوله ای



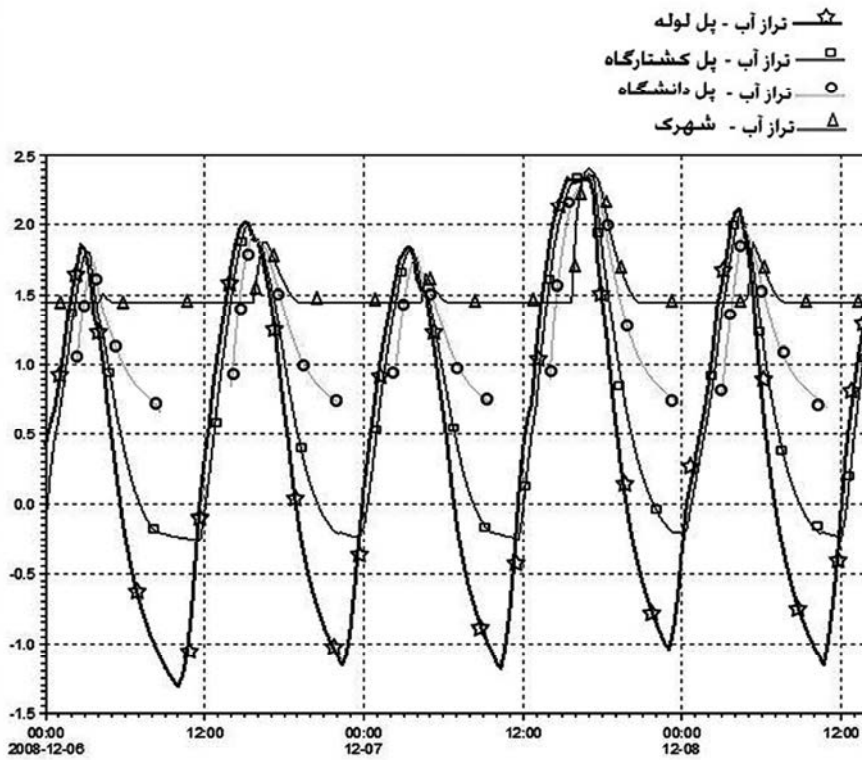
شکل ۱۱- مقایسه تراز سطح آب برای گزینه های مختلف در ایستگاه پل کشتارگاه



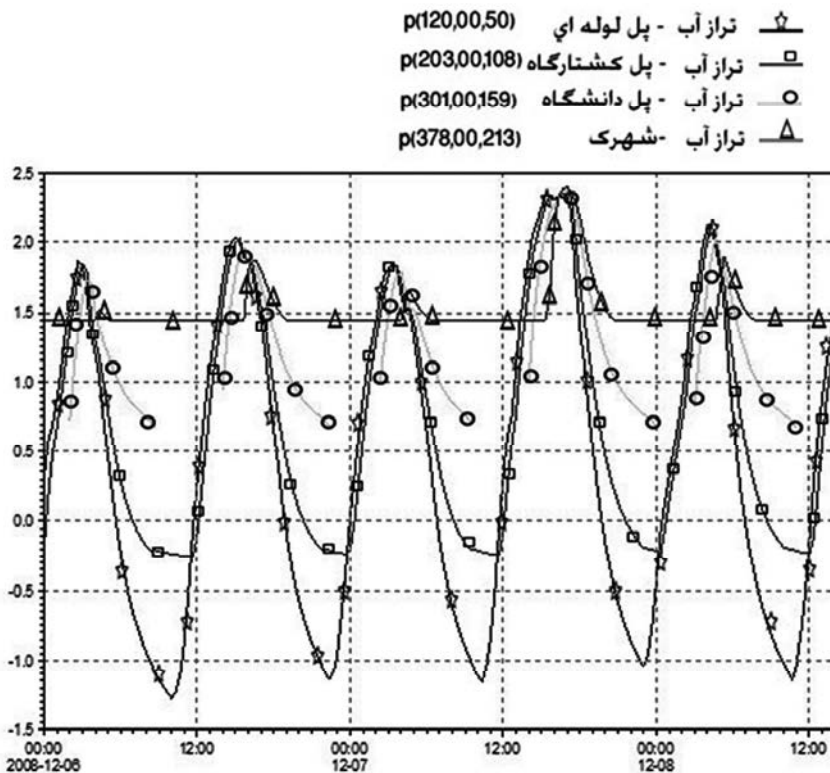
شکل ۱۲- مقایسه تراز سطح آب در نقاط مختلف برای گزینه ۲ (SlopeUni.)



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)

تراز جزرها متوسط <sup>۱۶</sup>	- 1.043 m
متوسط جزرهای بلند <sup>۱۷</sup>	-1.314 m
حداقل تراز جزر <sup>۱۸</sup>	-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 می‌توان گفت:
- عرض بر اختلاف فاز در جزر و مد بی‌تاثیر 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 ۱/۸ متر در شکل‌های ۹ و ۱۰ می‌توان گفت:
- کاهش عمق باعث افزایش اختلاف فاز می‌شود. بعبارت دیگر کاهش عمق باعث به تعویق افتادن زمان جزر می‌شود. 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 می‌توان گفت:
- انتقال موج مد از دریا به داخل خور با تاخیر فاز همراه است. میزان این تاخیر فاز در نیمه عمیق کانال تقریباً 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.

#### 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 می‌توان در تاخیر در تخلیه خور بدلیل شیب کم خور و وجود موانع برای جریان برگشتی دانست.
- ۲- جزر و مد در هر دو ایستگاه عمدتاً نیم روزانه است.
- ۴- در زمان وقوع مه‌کشند<sup>۸</sup> در هر شبانه روز یک کشند بلند و یک کشند کوتاه اتفاق می‌افتد، در حالیکه در زمان وقوع کهکشند<sup>۹</sup> ارتفاع هر دو کشند تقریباً 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 می‌توان در عدم تخلیه کامل خور جستجو کرد که عمدتاً 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 <sup>۱۰</sup>	+2.983 m
متوسط مدهای بلند <sup>۱۱</sup>	+1.964 m
متوسط تراز مدها <sup>۱۲</sup>	+1.534m
متوسط تراز مدهای کوتاه <sup>۱۳</sup>	+1.207 m
متوسط تراز سطح آب <sup>۱۴</sup>	+0.270 m
متوسط تراز جزرهای کوتاه <sup>۱۵</sup>	-0.813 m

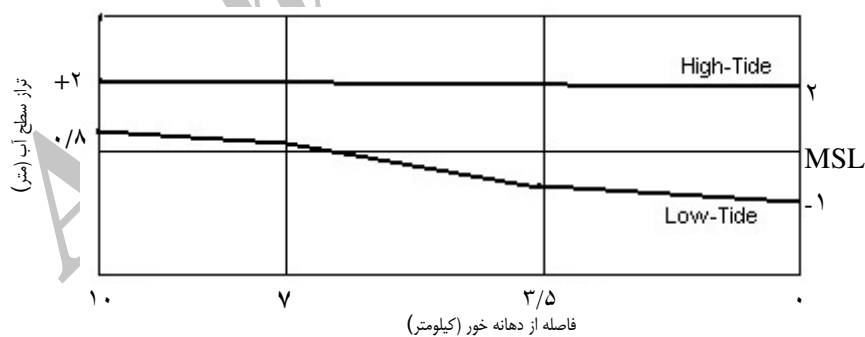
- با نفوذ جزر و مد به داخل کانال خور دامنه آن کاهش می یابد (که نشاندهنده تعیین کننده بودن اصطکاک و کم عمقی خور است). همینطور میرایی اولیه در دهانه خور وجود ندارد (که نشاندهنده عدم وجود واگرایی بعد از دهانه می باشد). دامنه جزر و مد فقط هنگام رسیدن به انتهای خور میرا می شود که موید کم عمقی و اصطکاک بیشتر در این قسمت از کانال می باشد. به طور مثال دامنه جزر و مد در پل کشتارگاه که تقریباً 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 عموماً رفتار خورهای طویل مستطیل شکل کم عمق و در قسمت دهانه رفتار خورهای قیفی شکل را از خود به نمایش می گذارد.

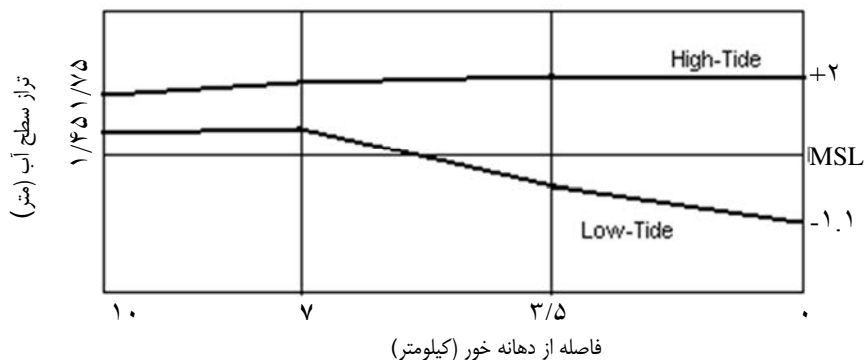
- تقریباً برای همه گزینه ها با عمق ها و عرضهای مختلف، هر چه از دهانه خور به سمت انتهای خور حرکت می کنیم، تراز جزر افزایش و تراز مد کاهش می یابد. البته میزان افزایش تراز جزر به مراتب بیش از کاهش تراز مد است. به عبارت دیگر هر چه به انتهای خور نزدیکتر می شویم دامنه جزر و مد کاهش می یابد. این کاهش دامنه 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.



شکل ۱۶- تغییرات دامنه جزر و مد برای گزینه ۲



شکل ۱۷- تغییرات دامنه جزر و مد برای گزینه ۳



شکل ۱۸- تغییرات دامنه جزر و مد برای گزینه ۴

## ۵- منابع

- 1-Mahmoodian Shoostari, 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-Nejadalirezadee, 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)

## تشکر و قدردانی

از جناب آقای مسعود خواجه احمد عطاری و پرسنل مهندسی مشاور پارس آب سرزمین که ما را در جمع آوری داده 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