

مطالعه و بررسی جریان‌های زیرکش در سواحل جنوبی دریای خزر

بی‌تا صالح‌پور¹، وحید چگینی²

1- کارشناس ارشد فیزیک دریا، کارشناس دفتر امور مهارت‌های پیشرفته، سازمان آموزش فنی و حرفه ای کشور

2- دکترای مهندسی ساحل و سازه های دریایی، مرکز ملی اقیانوس شناسی

چکیده

جریان زیرکش¹، یک جریان نزدیک بستر و رو به دریاست که انتقال جرم توده آب "رو به ساحل"² را جبران می‌کند این جریان به دلیل نقش مؤثر خود در انتقال رسوب، در سال‌های اخیر مورد توجه خاص قرار گرفته است.

طبق مطالعات انجام شده توسط Svendsen and Hansen (1988)، تحقیق در مورد جریان زیرکش از دو دیدگاه قابل بررسی است: دیدگاه اول به انتخاب مناسب شرایط مرزی برای جریان زیرکشی و دیدگاه دوم به تعیین تنش برشی میانگین بستر می‌پردازد. در این مقاله شیوه نخست به کار رفته است. در خلال محاسبات، مشخصات لایه مرزی و بستر، انتقال جرم توده آب و سرعت‌های جریان زیرکش برای مقاطع و عمق‌های مورد نظر محاسبه شده است. نتایج نشان می‌دهند که انتقال جرم توده آب عمود بر ساحل و سرعت‌های جریان زیرکش، از ساحل به سمت دریا کاهش می‌یابد و نیز همگرایی میان نتایج و داده‌های تجربی از ساحل به سمت دریا افزایش می‌یابد.

کلمات کلیدی: جریان زیرکش، انتقال، رسوب، تنش برشی، لایه مرزی.

مقدمه

دریا جاری می‌گردد. نتایج پژوهشی نشان داده‌اند که جریان زیرکش، حاصل تفاوت موضعی میان تنش تابشی³ و تغییر فشار و خیز آب می‌باشد. در منطقه شکست، اختلال حاصل از شکست امواج از سطح تا کف گسترش می‌یابد، به طوری که انرژی جنبشی در همه سطوح میان کف و سطح ایجاد می‌شود. در چنین محیطی، جریانی نظیر جریان زیرکش، تنش‌های برشی عظیمی تولید می‌کند که سبب توقف جریان می‌شود. بنابراین وجود جریان زیرکش منوط به فرآیند رانشی قدرتمندی است که موجب تولید نیروی خالص وارد بر هر ذره سیال در جهت دریا سو می‌گردد.

از آنجا که جریان زیرکش جریانی قوی و مؤثر در انتقال جرم و حرکت عمود بر کرانه رسوبات (انتقال رسوب) است، در شکل‌دهی بستر و ساحل نقش به سزایی دارد. حفاظت از سواحل و ساخت سازه‌های دریایی طی سال‌های اخیر در کشور ما مورد توجه

محیط زیست نزدیک ساحل، زیستگاه ارزشمندی برای حیات ساحلی و دریایی فراهم می‌آورد؛ ضمن اینکه بسیاری از فعالیت‌های انسانی اعم از صنعتی و تفریحی را حمایت می‌کند. مدیریت چنین مناطقی نیاز به دانش فیزیکی و زیست محیطی دارد. بنابراین مشاهده، کمیت‌نمایی و شبیه‌سازی منطقه ساحلی حایز اهمیت است. یکی از مهمترین فرآیندها در محیط زیست ساحلی حرکت رسوبات است که بر زیستگاه‌ها، کیفیت و ناصافی آب، زمین شیمیایی زیستی و شکل‌شناسی مؤثر است. فرآیند انتقال رسوب به بازخورد دینامیکی ناشی از برهم‌کنش هیدرودینامیک بستر و خواص رسوب بستگی دارد. جریان زیرکش یکی از جریاناتی که بر حرکت رسوب و شکل‌شناسی ساحل تاثیرگذار می‌باشد جریان زیرکش است. جریان زیرکش، یک جریان زیر سطحی است که از شکست امواج روی یک سطح شیب‌دار به وجود می‌آید و به سوی

1. Undertow
3. Radiation stress

2. Shoreward

است. و بر سر اینکه یکی از دو شرط باید پیوستگی بر انتگرال عمق باشد توافق کلی وجود دارد. برای تعیین شرط دیگر پیشنهادات متعددی مطرح شده است.

Dally (1980) و Borecki (1982) شرط بدون لغزش در بستر، در ترکیب با لایه مرزی و در حضور جریان یکنواخت با لزجت گردابی یکسان را مطرح نمودند. Svendsen (1984) همان شیوه را با سرعت جریان یکنواخت (مثبت) در بالای لایه مرزی به کار گرفت و برای نیمرخ جریان سرعت محدودی را به دست آورد.

اما Hansen و Svendsen (1984) سرعت‌های جریان منفی بزرگی (حتی بسیار نزدیک به بستر) را اندازه‌گیری کردند. Nadaoka و Kondoh (1982) به همین شیوه عمل کردند. آنچه را که Hansen و Svendsen پیشنهاد کردند، می‌توانست با فرض اینکه لایه مرزی دارای لزجت گردابی V_{tb} و بسیار کوچکتر از لزجت گردابی در بالای لایه مرزی است توضیح داده شود.

Stive و Wind (1986) شرط عدم لغزش در بستر را حذف نموده و با تعیین تنش برشی τ_s در تراز ناوه موج جایگزین نمودند و سرعت‌های منفی بزرگی را به دست آوردند. از سوی دیگر Svendsen (1987) همان شرط عدم لغزش را برای حل مسأله در نظر گرفت، با این فرض که لزجت گردابی در لایه مرزی بستر از خارج این لایه به مراتب کوچکتر باشد.

مبانی نظری

اصولاً بحث چرخش ساحلی، سه بعدی است. اما Borecki (1982) چرخش دو بعدی را مورد بحث قرار داد و به این منظور از نظریه موج سینوسی استفاده نمود. در این مقاله نیز با حذف مؤلفه‌های

قرار گرفته است. بنابراین موضوع انتقال رسوب در محافل علمی، جایگاه ویژه‌ای یافته است. در این تحقیق ایجاد جریان زیرکش در منطقه جنوبی دریای خزر مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور، از میان بنادر ایرانی واقع در جنوب دریای خزر، دو بندر انزلی از غرب و گرگان از شرق به دلیل موجود بودن اطلاعات مربوط به منطقه شکست موج و سرعت جریان، انتخاب و مشخصات جریان‌های زیرکش در آنها محاسبه گردیده است. شایان ذکر است که اطلاعات مورد نیاز برای انجام محاسبات از منبع شماره (2) اخذ شده است.

مروری بر تحقیقات انجام شده

اولین بار Johnson (1919) توصیف و تعریف جامعی از جریان زیرکش به عنوان جریان عمود بر کرانه و در مقابل جریان‌های موازی ساحل ارائه داد. سپس Bird (1968) این پدیده را به اختصار توصیف کرد.

به لحاظ تجربی نخستین بار Bagnold (1940) جریان زیرکش را بررسی نمود و سپس تحلیل کیفی آن از سوی Dyhr-Nielson و Sorenson (1970) مطرح شد. آنها این پدیده را به صورت جملات گشتاور و تکانه (اندازه حرکت) تنش‌های تابشی و نیروهای فشار توصیف کردند.

در سال‌های اخیر جریان زیرکش به صورت گسترده‌ای مورد بررسی قرار گرفته و موجب روشن شدن مسائل بسیاری شده است. البته همچنان مسائل حل نشده‌ای در خصوص این جریان‌ها باقی است که یکی از مسائل حل نشده، انتخاب شرایط مرزی مناسب برای حل نیمرخ جریان و تعیین تنش برشی میانگین بستر τ_b می‌باشد. برای تعیین نیمرخ جریان بنا به ضرورت دو شرط مرزی مورد نیاز

$$b_b = -\frac{H^2}{8} \frac{k}{\sinh(2kd)} \quad (4)$$

$$K = \frac{1}{1 + \left(\frac{8}{3}\delta^2\right)}$$

$$\delta = \frac{H}{b+d} = \frac{H}{D}$$

و معمولاً $\delta = .73$ در نظر گرفته می‌شود.

در رابطه (2) $\bar{\tau}_b$ از ترکیب جریان زیرکش با مدل لایه مرزی که توسط Svendsen (1987) ارائه گردیده است به دست می‌آید. به علاوه مقدار τ_b به ارتفاع ξ_0 که برای منطقه گذار میان لایه مرزی و جریان زیرکش انتخاب شده بستگی دارد. بدیهی است قبل از به کارگیری تعریف جریان زیرکش در ترکیب با مدل افزایش ارتفاع موج- خیزآب، تعیین شرایط مرزی مناسب برای جریان زیرکش ضرورت دارد. بر اساس ایده وجود لایه مرزی نوسانی نازک در بستر، راه حلی توسط Svendsen (1987) ارائه گردید که در شکل (1) ترسیم شده است.

موازی ساحل جریان، پدیده‌های دو بعدی مورد بررسی قرار می‌گیرند. رابطه میان مدل‌های ساحلی و توصیف جریان را می‌توان با در نظر گرفتن رابطه تکانه (اندازه حرکت) عمود بر ساحل تشریح نمود. در یک مسأله دو بعدی و در حضور جریان خالص میانگین، رابطه اندازه حرکت عمود بر ساحل به صورت زیر است.

(1)

$$\frac{ds_{xx}}{dx} + \rho \frac{d}{dx} \left(\frac{\bar{Q}^2}{h} \right) + \rho gh \frac{db}{dx} + \bar{\tau}_b = 0$$

در صورت صفر بودن جریان خالص میانگین (که یکی از شرایط تحقیق حاضر است):

(2)

$$\frac{ds_{xx}}{dx} + \rho gh \frac{db}{dx} + \bar{\tau}_b = 0$$

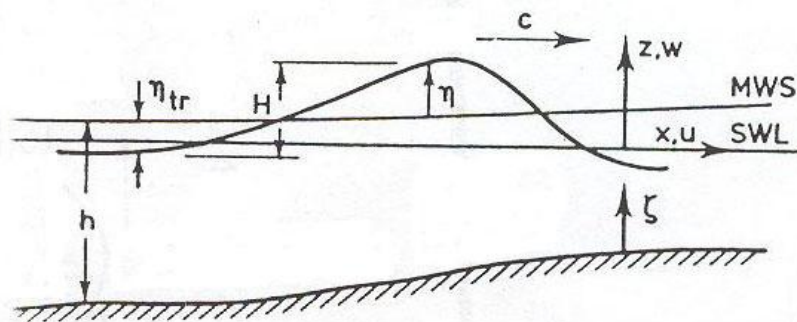
که در آن b خیزآب موج می‌باشد که با رابطه زیر تعریف می‌شود:

(3)

$$b = K(d_b - d) + b_b$$

در این رابطه b_b فروآب

ناشی از موج در نقطه شکست، d_b عمق آب در نقطه شکست، d عمق آب در نقطه مورد نظر در ناحیه شکست و K مقدار ثابت است.



شکل شماره 1- طرحی از تعاریف

بر اساس تحلیل Svendsen (1987)، از اندازه‌گیری‌های اختلال در منطقه شکست، V_t مستقل از مختصات عمودی فرض می‌شود. در لایه مرزی، جریان ترکیبی است از جریان یکنواخت $u_s(\xi)$ که توسط

در این شیوه، لزجت گردابی تا ارتفاع ξ_0 در بالای بستر، ثابت و رابطه $V_{tb} > V_t$ برقرار می‌باشد. که در آن V_t ، لزجت گردابی است که در بالای لایه مرزی میان بستر و تراز پای موج به کار می‌رود.

همچنین تعاریف زیر مورد استفاده قرار گرفته است:

$$(6)$$

$$A = \frac{\alpha_1 d_r}{v_t \sqrt{gh}} \quad r = \frac{v_t \xi_0}{v_{tb} d_r}$$

$$(7)$$

$$y = \frac{\xi}{d_r}$$

$$(8)$$

$$u_s = u_s(\xi) \quad u'_s = \left(\frac{\partial u_s(\xi)}{\partial \xi} \right)_{\xi=\xi_0}$$

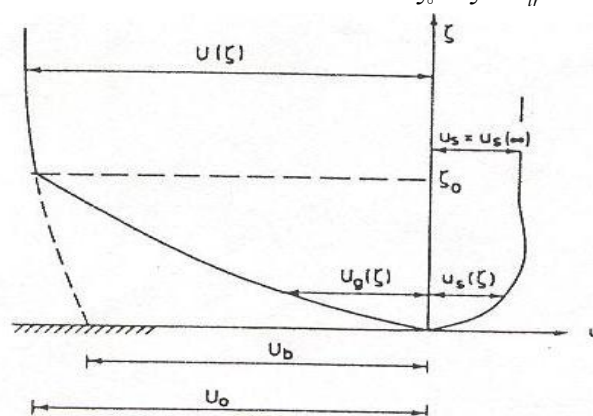
که d_r به کمک منبع شماره (16) قابل اندازه‌گیری است.

حرکت نوسانی القا شده است و جریانی که توسط جریان زیرکش در بالای لایه مرزی ایجاد می‌شود. در بالای تراز ξ_0 از لایه مرزی، با سرعت u_0 و تنش برشی $\bar{\tau}_b$ پیوستگی سرعت و تنش برشی ایجاد می‌کند که دو بخش جریان با هم ترکیب شوند. با حل مسأله، خارج از لایه مرزی رابطه زیر به دست می‌آید:

$$(5)$$

$$\frac{u - u_b}{\sqrt{gh}} = \frac{1}{2} A y^2 + \frac{2}{2r+1} \left(\frac{u_m}{\sqrt{gh}} - \frac{1}{6} A - \frac{u_s - u'_s \xi_0}{\sqrt{gh}} \right) y$$

$$\xi_0 < \xi < d_r$$



شکل شماره 2- طرحی توصیفی از ترکیب لایه مرزی و جریان زیرکشی

موج، $\sigma = \frac{2\pi}{T}$ فرکانس زاویه‌ای می باشد.

از منبع شماره (20) داریم:

$$(12)$$

$$u_m = \frac{1}{d_r} \int_0^{d_r} u(\xi) d\xi$$

سرعت u_b بستر به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$(13)$$

$$\frac{u_b}{\sqrt{gh}} = \frac{1}{2r+1} \left[r \left(\frac{2u_m}{\sqrt{gh}} - \frac{1}{3} A \right) + \frac{u_s - u'_s \xi_0}{\sqrt{gh}} \right] + \alpha \left(y_0^2 + \frac{v_{tb}}{v_t} \right)$$

در رابطه (6)، α_1 نیروی رانش در واحد حجم برای جریان زیرکش می‌باشد. و مقدار آن میان پای موج و بستر، ثابت است.

$$(9)$$

$$\alpha_1 = \frac{\partial}{\partial x} (\overline{u_w^2} - \overline{w_w^2} + u^2 + gb)$$

همچنین u_w و w_w به ترتیب مؤلفه‌های افقی و عمودی حرکت نوسانی و u سرعت جریان زیرکشی است.

$$(10)$$

$$u_w = a\sigma \frac{\text{Cosh}k(d+z)}{\text{Sinh}k} \text{Cos}(kx - \sigma t)$$

$$w_w = a\sigma \frac{\text{Sinh}k(d+z)}{\text{Sinh}kd} \text{Sin}(kx - \sigma t) \quad (11)$$

$a = \frac{H}{2}$ دامنه موج، $k = \frac{2\pi}{L}$ عدد

از منبع شماره (19) برای لزجت گردابی بستر داریم:

$$(15) \quad \frac{\gamma_b}{h\sqrt{gh}} \cong 0.08 f_w^2 \frac{(H/h)^2}{kh}$$

از رابطه (5) تنش برشی کل در تراز بستر به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$(16) \quad \frac{\bar{\tau}_b}{\rho \alpha_1 d_r} = \frac{u_o - u_s}{\sqrt{gh}} \frac{1}{rA} - \frac{1}{2} y_o + \frac{\nu_b}{\alpha_1 d_r} \left(\frac{\partial u_s}{\partial \xi} \right)_{\xi=0}$$

شکل (4) اندازه‌گیری‌های

Svendsen، Hansen را برای $\frac{\bar{\tau}_b}{\rho \alpha_1 d_r}$ با

مقدار $\kappa_n = 1$ (میلی‌متر) نشان می‌دهد.

که در آن شرط $y_o = \frac{\xi_o}{d_r} \ll 1$

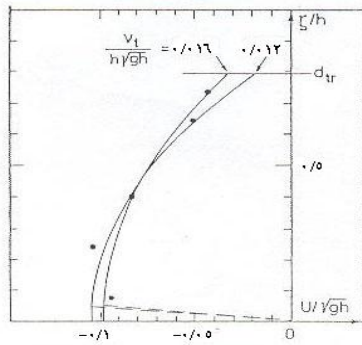
متناظر با لایه مرزی نازک است. شکل‌های (3) الف- د باز نمایی از نیم رخ جریان زیرکش می‌باشد. چنان که بیان شد رابطه (13) نیز نشان می‌دهد که u_b مجموع دو توزیع اساسی است، که عبارتند از جریان یکنواخت $(\xi) u_s = u_s$ که رو به ساحل است و توزیع رو به دریا که با جریان زیرکش ایجاد می‌شود. در این محاسبات، برای ξ_0 دو مقدار δ_w و $\delta_w/2.5$ فرض شده و f_w و δ_w که به ترتیب ضخامت لایه مرزی و عامل اصطکاک می‌باشند از منبع شماره (22) به صورت زیر تعریف می‌شوند:

(14)

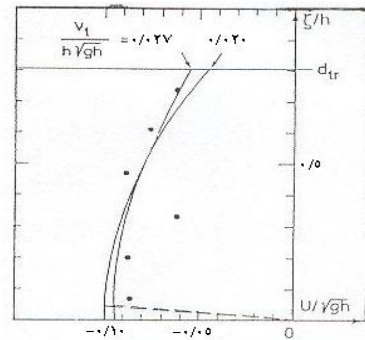
$$\sigma_w = 0.072 \left(\frac{\kappa_n}{A} \right)^{0.25}$$

$$f_w = e^{-6+5.2 \left(\frac{\kappa_n}{A} \right)^{0.19}}$$

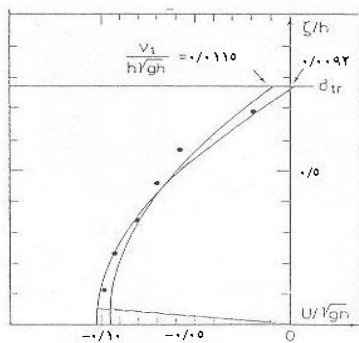
که κ_n ، زبری بستر و A دامنه ذره نوسانی در بستر براساس نظریه خطی می‌باشد.



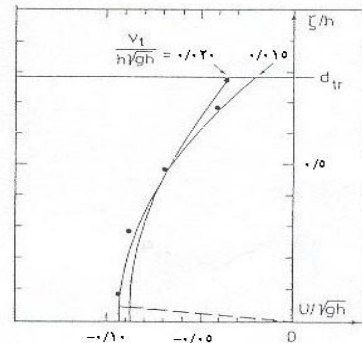
ب- حالت $\frac{h_0}{h_{0B}} = 0.094$



الف- حالت $\frac{h_0}{h_{0B}} = 0.728$

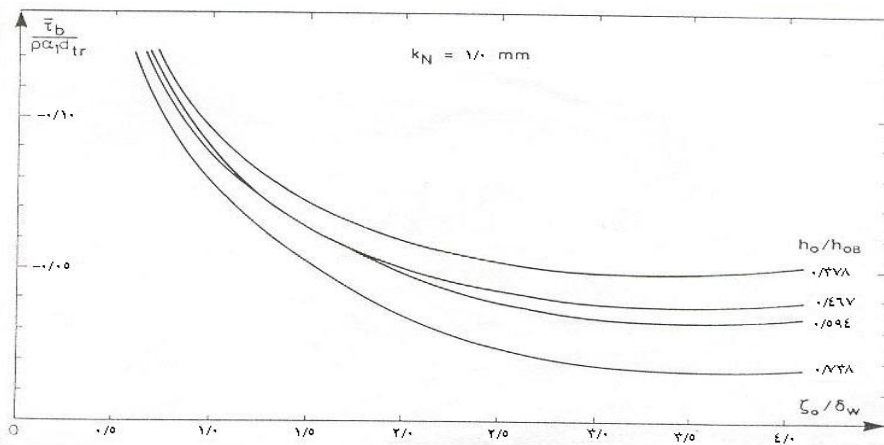


د- حالت $\frac{h_0}{h_{0B}} = 0.378$



ج- حالت $\frac{h_0}{h_{0B}} = 0.467$

شکل شماره 3- مقایسه میان جریان زیرکشی محاسبه شده از رابطه (3) و جریان زیرکشی اندازه گیری شده توسط Hansen and Svendsen (1984)



شکل شماره 4- $\frac{\bar{\tau}_b}{\rho \alpha_1 d_{tr}}$ بر حسب $\frac{\xi_0}{\delta_w}$

روش کار

زیرکش در بندر انزلی (ایستگاه اول) (جدول 1) و بندر گرگان (جدول 2) به صورت نمونه در این مقاله ارائه شده است. در انجام

از میان سه بندر انزلی، نوشهر و گرگان، محاسبات مربوط به انتقال جرم و سرعت جریان

نیروی رانش و جریان زیرکشی محاسبه شده‌اند. خروجی برنامه نوشته شده (شکل‌های 5-10) سرعت جریان زیرکشی را در فواصل مختلف از ساحل نشان می‌دهد. شکل‌های (11) و (12) مقایسه مقادیر محاسبه شده جریان زیرکشی و مقادیر تجربی آن (منتج از منبع شماره (2)) را نشان می‌دهد. پیش بینی می‌شود:

1- براساس اندازه‌گیری‌های تجربی مقدار انتقال رسوب عمود بر ساحل با فاصله گرفتن از خط ساحلی کاهش یابد.

2- لزجت گردابی با افزایش عمق بر حسب نتایج منبع شماره (20) کاهش یابد.

3- تنش برشی براساس منبع شماره (20) با افزایش مقدار κ_n افزایش یابد.

4- مقدار تنش برشی با افزایش مقدار ξ_0 کاهش یابد.

5- مقدار تنش برشی با دور شدن از ساحل و با افزایش عمق کاهش یابد.

مهمترین نتایج به دست آمده از این تحقیق عبارتند از:

1- با توجه به نتایج محاسبات انجام شده، مقدار انتقال رسوب عمود بر ساحل به ناحیه دور از ساحل کاهش می‌یابد.

2- لزجت گردابی با افزایش عمق، روند نزولی می‌یابد که با نتایج Hansen و Svendsen (1984) و شکل (3) مطابقت دارد.

3- از آنجا که محاسبات در دو حالت $\kappa_n = 0.5, 2mm$ و نیز $\xi_0 = \sigma_w$ و $\xi_0 = 2/5 \sigma_w$ انجام شده است، نتایج نشان می‌دهند که حالت $\kappa_n = 0.5mm$ و $\xi_0 = 2/5 \sigma_w$ بیشترین همگرایی را با داده‌های تجربی دارند و چنانچه محاسبات برای مقادیر کوچکتر κ_n و مقادیر بزرگتر ξ_0 تکرار شود،

محاسبات از روابط ذکر شده قبلی و نرم افزار MATLAB استفاده شده است.

درخصوص تعیین پارامترهای جدولی، ابتدا به ازای فواصل افقی از ساحل و با به کارگیری هر دو شیوه، از برون‌یابی و درون‌یابی برای تعیین عمق استفاده شده و به منظور دستیابی به اعداد دقیق تر، محاسبات با فواصل ده متری از ساحل تا عمق مورد نظر انجام شده است. سپس به بهره‌گیری از مشخصات آب عمیق به عنوان اطلاعات ورودی از منبع و با استفاده از رابطه

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \text{Tangh}\left(\frac{2\pi d}{L}\right)$$

سایر مشخصات موج از جمله طول و ارتفاع موج محاسبه گردیده‌اند. استفاده از روابط ذکر شده از ضخامت لایه مرزی و عامل اصطکاک به صورت نمونه در دو حالت متفاوت κ_n سختی بستر (0.5, $\kappa_n = 2mm$) محاسبه شده است (ضمناً هر حالت κ_n شامل دو وضعیت σ_w $\xi_0 = 2/5 \sigma_w$ و $\xi_0 = \sigma_w$ می‌باشد).

تحت شرایط مذکور و با استفاده از روابط حاصل از ترکیب لایه مرزی با جریان زیرکشی از منبع شماره (8)، لزجت گردابی بستر V_r محاسبه شده است. آخرین پارامتر جدول M که انتقال جرم آب عمود بر ساحل است، نیز با توجه به رابطه زیر به دست می‌آید:

$$M = \frac{1}{8} \left(\frac{H^2}{\left(\frac{d}{g}\right)^{0.5}} \right)$$

بحث و نتیجه‌گیری

به علاوه، با استفاده از روابط نوشته شده در این مقاله و منبع شماره (1)، تنش تابشی،

نتایج Hansen و Svendsen مطابقت دارد.

6- طبق محاسبات انجام شده و نتایج فوق، سختی بستر در دریای خزر حدود 5/ میلی‌متر و تراز فوقانی لایه مرزی آن - ξ_0 - 2/5 برابر ضخامت لایه مرزی نوسانی تخمین زده می‌شود ($\sigma_w = 2/5$).

همگرایی دو نتیجه افزایش خواهد یافت.

4- محاسبات نشان می‌دهند که با افزایش مقدار K_n ، مقدار تنش برشی نیز زیاد می‌شود.

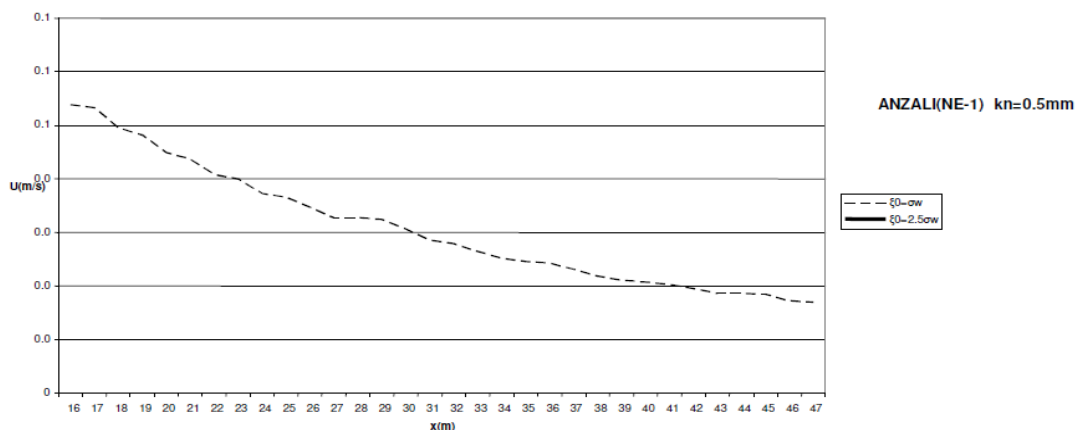
5- محاسبات نشان می‌دهند که با افزایش مقدار ξ_0 و نیز با دور شدن از ساحل، مقدار تنش برشی بستر کاهش می‌یابد که با

جدول شماره 1- انزلی امواج شمال شرقی- ایستگاه اول

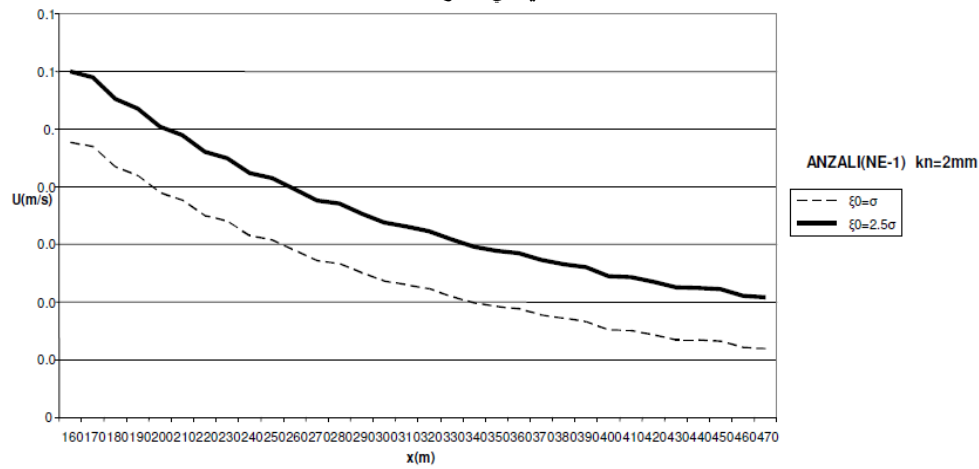
| Ks= 2mm | | | Ks= 1mm | | | Ks= 5/0 mm | | | M(m2/s) | d(m) | x(m) |
|---------------|--|---------------------------------------|---------------|--|---------------------------------------|---------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------|--------|------|
| $\delta_w(m)$ | $\tau_b(N/m^2)$ $\xi_0 = 2/5\delta_w$ | $\tau_b(N/m^2)$ $\xi_0 = \delta_w$ | $\delta_w(m)$ | $\tau_b(N/m^2)$ $\xi_0 = 2/5\delta_w$ | $\tau_b(N/m^2)$ $\xi_0 = \delta_w$ | $\delta_w(m)$ | $\tau_b(N/m^2)$ $\xi_0 = \delta_w$ | $\tau_b(N/m^2)$ $\xi_0 = \delta_w$ | | | |
| 0/0127 | -1/1328 | -2/6935 | 0/0107 | -0/8974 | -2/1383 | 0/009 | -0/7464 | -1/782 | 0/1825 | 2/5 | |
| 0/0126 | -1/1001 | -2/6099 | 0/0106 | -0/8712 | -2/0707 | 0/0089 | -0/7242 | -1/7246 | 0/1806 | 2/5781 | 160 |
| 0/0123 | -1/0562 | -2/5128 | 0/0104 | -0/8345 | -1/9896 | 0/0087 | -0/6924 | -1/6541 | 0/1791 | 2/6563 | 170 |
| 0/0122 | -1/0225 | -2/4304 | 0/0102 | -0/8068 | -1/9218 | 0/0086 | -0/6687 | -1/5959 | 0/1719 | 2/7344 | 180 |
| 0/0119 | -0/9849 | -2/3464 | 0/01 | -0/7755 | -1/8519 | 0/0084 | -0/6416 | -1/5353 | 0/1679 | 2/8125 | 190 |
| 0/0118 | -0/9552 | -2/2739 | 0/0099 | -0/7511 | -1/7925 | 0/0083 | -0/6208 | -1/4844 | 0/1642 | 2/8906 | 200 |
| 0/0116 | -0/9221 | -2/2 | 0/0097 | -0/737 | -1/731 | 0/0082 | -0/597 | -1/4311 | 0/1606 | 2/9688 | 210 |
| 0/0114 | -0/8965 | -2/1371 | 0/0096 | -0/7028 | -1/6795 | 0/0081 | -0/5792 | -1/3872 | 0/1573 | 3/0469 | 220 |
| 0/0112 | -0/8674 | -2/0717 | 0/0095 | -0/6786 | -1/6225 | 0/0079 | -0/5583 | -1/3401 | 0/1540 | 3/1250 | 230 |
| 0/0111 | -0/8448 | -2/0161 | 0/0093 | -0/6602 | -1/5797 | 0/0078 | -0/5427 | -1/3015 | 0/1511 | 3/2031 | 240 |
| 0/0109 | -0/8208 | -1/9608 | 0/0092 | -0/6403 | -1/5341 | 0/0077 | -0/5256 | -1/262 | 0/1481 | 3/2813 | 250 |
| 0/0108 | -0/7967 | -1/9054 | 0/0091 | -0/6205 | -1/4885 | 0/0076 | -0/5086 | -1/2228 | 0/1454 | 3/3594 | 260 |
| 0/0106 | -0/7784 | -1/8599 | 0/009 | -0/6057 | -1/4515 | 0/0075 | -0/496 | -1/1914 | 0/1429 | 3/4375 | 270 |
| 0/0105 | -0/7577 | -1/8123 | 0/0088 | -0/5886 | -1/4112 | 0/0074 | -0/4813 | -1/1575 | 0/1403 | 3/5156 | 280 |
| 0/0104 | -0/738 | -1/7664 | 0/0087 | -0/5723 | -1/3744 | 0/0073 | -0/4674 | -1/1252 | 0/1379 | 3/5938 | 290 |
| 0/0102 | -0/7212 | -1/7255 | 0/0086 | -0/5587 | -1/3412 | 0/0072 | -0/4559 | -1/097 | 0/1357 | 3/6719 | 300 |
| 0/0101 | -0/7054 | -1/6873 | 0/0085 | -0/5458 | -1/3110 | 0/0072 | -0/4449 | -1/0704 | 0/1335 | 3/75 | 310 |
| 0/01 | -0/6886 | -1/6484 | 0/0084 | -0/532 | -1/278 | 0/0071 | -0/433 | -1/0429 | 0/1314 | 3/8281 | 320 |
| 0/0099 | -0/6726 | -1/6109 | 0/0083 | -0/5189 | -1/2473 | 0/007 | -0/4218 | -1/0166 | 0/1294 | 3/9063 | 330 |
| 0/0098 | -0/6584 | -1/5766 | 0/0082 | -0/5074 | -1/2195 | 0/0069 | -0/4121 | -0/9931 | 0/1275 | 3/9844 | 340 |
| 0/0097 | -0/6461 | -1/5465 | 0/0081 | -0/4974 | -1/1951 | 0/0068 | -0/4036 | -0/9723 | 0/1257 | 3/0625 | 350 |
| 0/0095 | -0/6324 | -1/5144 | 0/008 | -0/4816 | -1/1686 | 0/0067 | -0/394 | -0/9497 | 0/1238 | 4/1406 | 360 |
| 0/0094 | -0/6184 | -1/4819 | 0/0079 | -0/4747 | -1/1421 | 0/0067 | -0/3842 | -0/927 | 0/1221 | 4/2188 | 370 |
| 0/0093 | -0/6034 | -1/4476 | 0/0079 | -0/4625 | -1/1141 | 0/0066 | -0/3738 | -0/9032 | 0/1205 | 4/2996 | 380 |
| 0/0092 | -0/6005 | -1/4356 | 0/0078 | -0/4604 | -1/105 | 0/0065 | -0/3723 | -0/8959 | 0/1189 | 3/3750 | 390 |
| 0/0091 | -0/5854 | -1/4022 | 0/0077 | -0/4479 | -1/0773 | 0/0065 | -0/3615 | -0/872 | 0/1174 | 4/4531 | 400 |
| 0/009 | -0/5742 | -1/3757 | 0/0076 | -0/4388 | -1/0557 | 0/0064 | -0/3538 | 0/8537 | 0/1159 | 4/5313 | 410 |
| 0/009 | -0/5633 | -1/35 | 0/0075 | -0/4299 | -1/0348 | 0/0063 | -0/3462 | 0/8359 | 0/1145 | 4/6094 | 420 |
| 0/0089 | -0/5547 | -1/3285 | 0/0075 | -0/423 | -1/0177 | 0/0063 | -0/3405 | 0/8215 | 0/1132 | 4/6875 | 430 |
| 0/0088 | -0/5463 | -1/308 | 0/0074 | -0/4163 | -1/001 | 0/0062 | -0/3348 | 0/8075 | 0/1118 | 4/7656 | 440 |
| 0/0087 | -0/5362 | -1/2843 | 0/0073 | -0/4079 | -0/9816 | 0/0061 | -0/3276 | 0/7909 | 0/1105 | 4/8438 | 450 |
| 0/0086 | -0/5282 | -1/2648 | 0/0072 | -0/4014 | -0/9658 | 0/0061 | -0/3222 | 0/7775 | 0/1093 | 4/9212 | 460 |

جدول شماره 2- گرگان، امواج شمال غربی

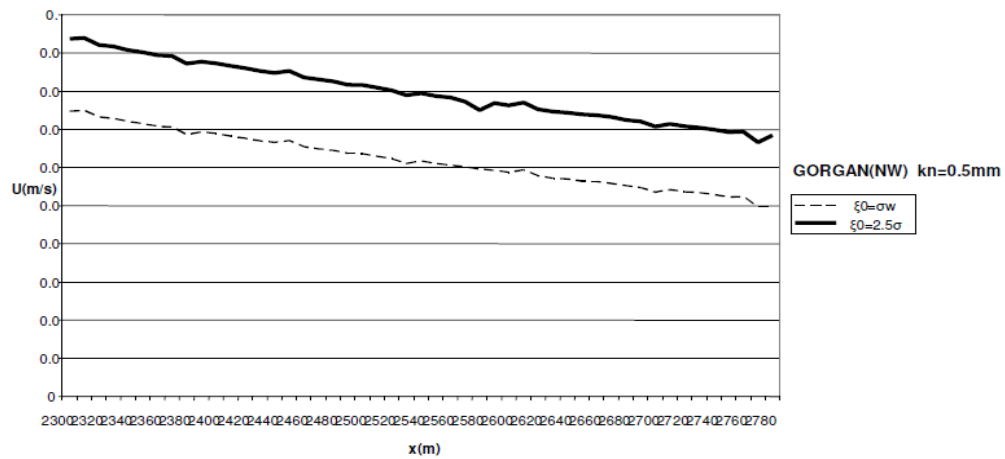
| $K_s=2\text{mm}$ | | | $K_s=1\text{mm}$ | | | $K_s=5/0\text{mm}$ | | | | | |
|------------------|--|---------------------------------------|------------------|--|---------------------------------------|--------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|----------------------|--------|------|
| $\delta_w(m)$ | $\tau_b(N/m^2)$ $\xi_o = 2/5\delta_w$ | $\tau_b(N/m^2)$ $\xi_o = \delta_w$ | $\delta_w(m)$ | $\tau_b(N/m^2)$ $\xi_o = 2/5\delta_w$ | $\tau_b(N/m^2)$ $\xi_o = \delta_w$ | $\delta_w(m)$ | $\tau_b(N/m^2)$ $\xi_o = \delta_w$ | $\tau_b(N/m^2)$ $\xi_o = \delta_w$ | M(m ² /s) | d(m) | x(m) |
| 0/0124 | -1/0028 | -2/4274 | 0/0104 | -0/7898 | -0/9183 | 0/0087 | -0/6541 | -1/5921 | 0/1851 | 2/98 | |
| 0/0123 | -0/9995 | -2/4175 | 0/0104 | -0/7871 | -0/9202 | 0/0087 | -0/6517 | -1/5852 | 0/1844 | 2/993 | 2300 |
| 0/0123 | -0/9932 | -2/4044 | 0/0103 | -0/7818 | -1/899 | 0/0087 | -0/647 | -1/5752 | 0/1837 | 3/006 | 2310 |
| 0/0123 | -0/989 | -2/3935 | 0/0103 | -0/7783 | -1/89 | 0/0087 | -0/644 | -1/5675 | 0/1831 | 3/0189 | 2320 |
| 0/0122 | -0/9835 | -2/3808 | 0/0103 | -0/7738 | -1/8794 | 0/0087 | -0/6401 | -1/5583 | 0/1825 | 3/0319 | 2330 |
| 0/0122 | -0/9789 | -3/3693 | 0/0103 | -0/7699 | -1/87 | 0/0086 | -0/6368 | -1/5502 | 0/1819 | 3/0448 | 2340 |
| 0/0122 | -0/9738 | -3/3574 | 0/0102 | -0/7657 | -1/86 | 0/0086 | -0/6331 | -1/5416 | 0/1813 | 3/0578 | 2350 |
| 0/0122 | -0/9699 | -3/3472 | 0/0102 | -0/7625 | -1/8517 | 0/0086 | -0/6304 | -1/5345 | 0/1807 | 3/0707 | 2360 |
| 0/0121 | -0/9624 | -2/3316 | 0/0102 | -0/7563 | -1/8386 | 0/0086 | -0/625 | -1/5231 | 0/1801 | 3/0837 | 2370 |
| 0/0121 | -0/9593 | -2/3219 | 0/0102 | -0/7539 | -1/8311 | 0/0086 | -0/6231 | -1/5169 | 0/1796 | 3/0967 | 2380 |
| 0/0121 | -0/9551 | -2/3114 | 0/0102 | -0/7504 | -1/8224 | 0/0085 | -0/6201 | -1/5094 | 0/1791 | 3/1096 | 2390 |
| 0/0121 | -0/9502 | -2/2997 | 0/0101 | -0/7464 | -1/8127 | 0/0085 | -0/6166 | -1/501 | 0/1785 | 3/1226 | 2400 |
| 0/012 | -0/9458 | -2/289 | 0/0101 | -0/7427 | -1/8039 | 0/0085 | -0/6135 | -1/4934 | 0/1779 | 3/1355 | 2410 |
| 0/012 | -0/9412 | -2/278 | 0/0101 | -0/7389 | -1/7947 | 0/0085 | -0/6101 | -1/4855 | 0/1773 | 3/1485 | 2420 |
| 0/012 | -0/9370 | -2/2677 | 0/0101 | -0/7355 | -1/7862 | 0/0085 | -0/6072 | -1/4782 | 0/1768 | 3/1614 | 2430 |
| 0/0119 | -0/9346 | -2/26 | 0/01 | -0/7335 | -1/78 | 0/0084 | -0/6055 | -1/4729 | 0/1762 | 3/1744 | 2440 |
| 0/0119 | -0/9292 | -2/2487 | 0/01 | -0/7289 | -1/7702 | 0/0084 | -0/6014 | -1/4642 | 0/1756 | 3/1874 | 2450 |
| 0/0119 | -0/925 | -2/2383 | 0/01 | -0/7254 | -1/7617 | 0/0084 | -0/5984 | -1/4569 | 0/175 | 3/2003 | 2460 |
| 0/0118 | -0/9209 | -2/2282 | 0/01 | -0/722 | -1/7533 | 0/0084 | -0/5955 | -1/4497 | 0/1745 | 3/2123 | 2470 |
| 0/0118 | -0/916 | -2/217 | 0/0099 | -0/718 | -1/744 | 0/0084 | -0/5921 | -1/4416 | 0/1739 | 3/2262 | 2480 |
| 0/0118 | -0/9127 | -2/2084 | 0/0099 | -0/7153 | -1/737 | 0/0083 | -0/5898 | -1/4356 | 0/1734 | 3/2392 | 2490 |
| 0/0118 | -0/9082 | -2/1977 | 0/0099 | -0/7116 | -1/7282 | 0/0083 | -0/5866 | -1/428 | 0/1729 | 3/2521 | 2500 |
| 0/0117 | -0/9038 | -2/1873 | 0/0099 | -0/708 | -1/7196 | 0/0083 | -0/5835 | -1/4206 | 0/1723 | 3/2651 | 2510 |
| 0/0117 | -0/8986 | -2/1758 | 0/0098 | -0/7036 | -1/71 | 0/0083 | -0/5797 | -1/4122 | 0/1718 | 3/2781 | 2520 |
| 0/0117 | -0/8957 | -2/1672 | 0/0098 | -0/7014 | -1/7033 | 0/0083 | -0/5797 | -1/4068 | 0/1714 | 3/291 | 2530 |
| 0/0117 | -0/8914 | -2/1569 | 0/0098 | -0/6978 | -1/6948 | 0/0083 | -0/5748 | -1/3994 | 0/1709 | 3/304 | 2540 |
| 0/0116 | -0/18876 | -2/1476 | 0/0098 | -0/6947 | -1/6871 | 0/0082 | -0/5721 | -1/3928 | 0/1704 | 3/3169 | 2550 |
| 0/0116 | -0/9174 | -2/1896 | 0/0098 | -0/7204 | -1/7239 | 0/0082 | -0/5946 | -1/4262 | 0/1699 | 3/3299 | 2560 |
| 0/0114 | -0/839 | -2/0574 | 0/0096 | -0/6525 | -1/6081 | 0/008 | -0/5347 | -1/3215 | 0/1694 | 3/3428 | 2570 |
| 0/0116 | -0/8764 | -2/1202 | 0/0097 | -0/6855 | -1/6645 | 0/0082 | -0/5642 | -1/3734 | 0/1689 | 3/3558 | 2580 |
| 0/0115 | -0/8723 | -2/1105 | 0/0097 | -0/6821 | -1/6565 | 0/0082 | -0/5613 | -1/3665 | 0/1684 | 3/3687 | 2590 |
| 0/0115 | -0/8707 | -2/1048 | 0/0097 | -0/6808 | -1/6519 | 0/0081 | -0/5602 | -1/3626 | 0/1679 | 3/3817 | 2600 |



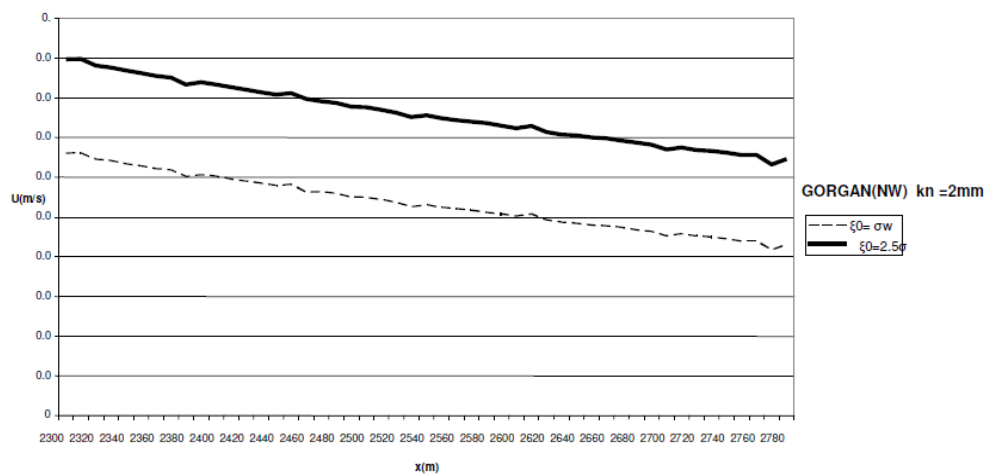
شکل شماره 5- سرعت جریان زیرکش در انزلی امواج شمال شرقی ایستگاه اول $Kn=0/5$ میلی-متر



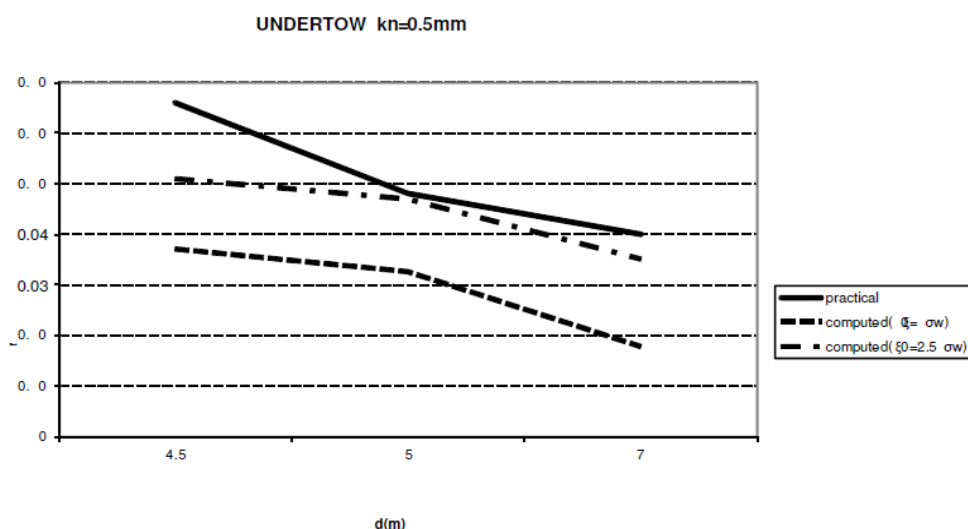
شکل شماره 6- سرعت جریان زیرکش در انزلی امواج شمال شرقی، ایستگاه اول $Kn=2$ میلی متر



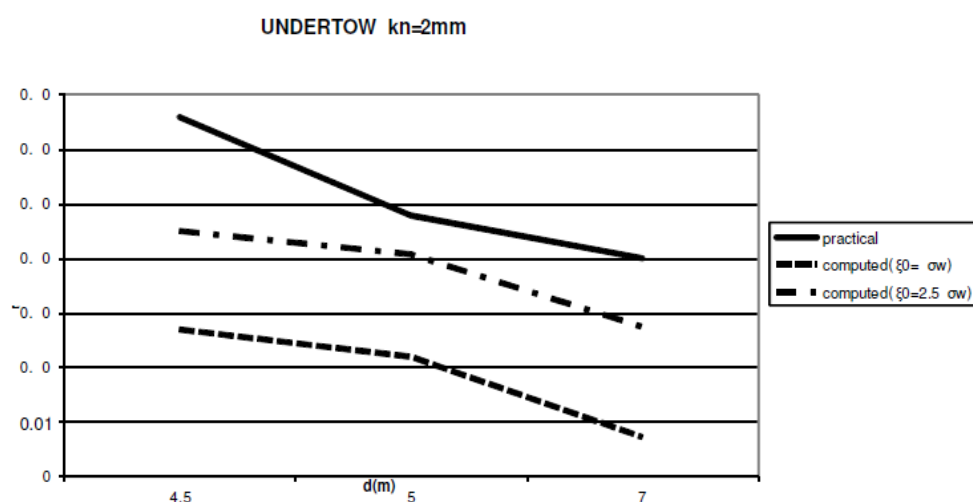
شکل شماره 7- سرعت جریان زیرکش در گرگان امواج شمال غربی، $Kn=0/5$ میلی-متر



شکل شماره 8- سرعت جریان زیرکش در گرگان امواج شمال غربی، $Kn=2mm$ میلی متر



شکل شماره 9- مقایسه جریان زیرکشی بندرانزلی، امواج شمال شرقی، $Kn=0/5$ میلی متر



شکل شماره 10- مقایسه جریان زیرکشی در بندر انزلی امواج شمال شرقی، $Kn=2$

3- چگینی، وحید.، 1377.، مجموعه کتاب‌های مهندسی دریا، چاپ اول، جلد اول، نظریه‌های موج، انتشارات شرکت تحقیقات جهاد آب و آبخیزداری تهران، 301 صفحه.

- 4- Bagnold, R. A., 1940. "Beach formation by waves, some model experiments in a wave tank". J. Inst. Civ. Eng., 15: 27-52.
- 5- Bird, E. C. F., 1969. Coasts. M. I. T., Press, Cambridge, Mass., Xiv+246 pp.
- 6- Bolanos, R. Thorne, P. D. Wolf, J. (2012). "Comparison of measurements and models of bed stress, bed forms and suspended

منابع

- 1- صالح پور، بی تا.، 1382.، انتقال جرم آب عمود بر ساحل در نواحی کم عمق در سواحل جنوبی دریای خزر، پایان نامه کارشناسی ارشد فیزیک دریا، دانشکده علوم دریایی و اقیانوسی خرمشهر، دانشگاه شهید چمران اهواز، 155 صفحه.
- 2- پورمندی، امیر حسین.، 1377.، شارش آب و نمک در سواحل جنوبی دریای خزر، پایان نامه کارشناسی ارشد فیزیک دریا، دانشکده علوم دریایی و اقیانوسی خرمشهر، دانشگاه شهید چمران اهواز، 148 صفحه.

- 15- Stive, M. J. F. and Wind, H. G., 1986. "Cross-shore means flow in the surf zone". Coastal Eng., 10:325-340.
- 16- Svendsen, I. A., 1984. "Wave heights and set-up in a surf zone". Coast. Eng., 8, 303-329.
- 17- Svendsen, I. A., 1984. "Mass flux and undertow in a surf zone". Coastal Eng., 8:347-365.
- 18- Svendsen, I. A., 1987. "Analysis of surf zone turbulence". To appear in J. Geophys. Res.
- 19- Svendsen, I. A., Schaffer, H. A. and Buhr Hansen, J., 1987. "The interaction between the undertow and the boundary layer flow on a beach". J. Geophys. Res., 92 (C11): 11845-11856.
- 20- Svendsen, I. B. and Buhr Hansen, J., 1988. "Cross-shore currents in surf-zone modeling". Coastal Eng., 12:23-42.
- 21- Svendsen, I. A., Buhr Hansen and Heming A. Schaffer, 1987. "Analysis of cross-shore circulation on a beach". Coastal Hydrodynamics, New York pp 508-520.
- 22- Van Rijn, Leoc, 1989. "Sediment transport by currents and waves". Delf Hydraulics, Hand book, Report H 461, Ch. 2, p45.
- 23- Van Rijn, Leoc, 1990. "Principal of fluid flow and surface waves in rivers, estuaries, seas, and oceans". Delf Hydraulics. Ch 8-9 pp. 150-335.
- sediments under combined currents and waves". Coastal Eng., 62:19-30.
- 7- Borecki, O. S., 1982. "Distribution of wave-induced momentum fluxes over depth and application within the surf-zone". Ph. D. Dissertation, Civil Eng., Univ. of Delaware.
- 8- Dally, W. R., (1980), "A numerical model for beach profile evolution". Master thesis, Dept. of Civ. Eng., Univ. of Delaware.
- 9- Dyhr-Nielsen, M. and Sorensen, T., 1970. "Sand transport phenomena on coasts with bars". Proc. 12th Coastal Eng. Conf., Washington, D. C., Chap. 54, pp. 855-866.
- 10- Hansen, J. Buhr and Svendsen, I. A., 1984. "A theoretical and experimental study of undertow". Proc. 19th Int. Conf. Coastal Eng., Houston, ch. 151, pp. 2246-2262.
- 11- Johnson, D. W., 1919. "Shore Processes and Shore Line Development". Facsimile reproduction 1972, Hafer Publishing Company, New York.
- 12- Nadaoka, k., and T. Konoh 1982. "Laboratory measurements of velocity field structure in the surf zone by LDV". Coast. Eng. Jpn., 25, 125-146.
- 13- Nielsen, P., (2009). Coastal and estuarine processes. World Scientific: Advanced Series on Ocean Engineering, 29, p.343.
- 14- Soulsby, R. L., (1997). Dynamics of Marine Sands. Thomas Telford, London, UK, p. 249.