



مرکز بررسی اطلاعات و پژوهش

سازمان بنادر و دریانوردی به عنوان تنها مرجع حاکمیتی کشور در امور بندری، دریایی و کشتی‌رانی بازرگانی به منظور ایفای نقش مرجعیت دانشی خود و در راستای تحقق راهبردهای کلان نقشه جامع علمی کشور مبنی بر "حمایت از توسعه شبکه‌های تحقیقاتی و تسهیل انتقال و انتشار دانش و سامان‌دهی علمی" از طریق "استانداردسازی و اصلاح فرایندهای تولید، ثبت، داوری و سنجش و ایجاد بانک‌های اطلاعاتی یکپارچه برای نشریات، اختراعات و اکتشافات پژوهشگران"، اقدام به ارایه این اثر در سایت SID می‌نماید.



سازمان بنادر و دریانوردی





نهمین همایش بین المللی سواحل، بنادر و سازه های دریایی  
**ICOPMAS 2010**  
 10-8 آذر ماه ( تهران )



**مدلسازی بالاروی امواج در منطقه آب شویی ساحلی با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی**

عباس یگانه بختیاری ، استادیار ، دانشگاه علم و صنعت ایران ، [yeganeh@iust.ac.ir](mailto:yeganeh@iust.ac.ir)  
 توحید ساوالان پور ، دانشجوی کارشناسی ارشد ، دانشگاه علم و صنعت ایران ، [savalan@civileng.iust.ac.ir](mailto:savalan@civileng.iust.ac.ir)

**چکیده :**

منطقه سواش ساحلی یا آب شویی ساحلی دارای هیدرودینامیک بسیار پیچیده ای می باشد. یکی از پدیده های که در این هیدرودینامیک پیچیده نقش بازی می کند بالاروی امواج است، به عبارت دیگر میزان بالاروی امواج در منطقه سواش ساحلی در تخمین نحوه فرسایش ساحل و تغییر شکل پروفیل بستر بسیار مهم می باشد. روابط تجربی موجود عمدتاً بر اساس روش های برازشی بر روی داده های آزمایشگاهی ارائه شده، بنابراین می توان با استفاده از ابزارهای محاسباتی هوشمند و با کاربرد داده های موجود، مدل دقیقتری برای پیش بینی این پدیده ارائه نمود. روشهای محاسباتی نرم، نظیر شبکه های عصبی مصنوعی، روشهای غیرخطی هستند که در مواردی که سایر روش ها قادر نیستند روش محاسباتی دقیقی از مسئله ارائه دهند مورد استفاده قرار می گیرند. عدم نیاز به جزئیات کامل و دقیق مسئله، مهمترین مزیت روش های محاسباتی نرم می باشد. در این تحقیق با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی بالاروی امواج ناشی از باد در منطقه سواش ساحلی با به کارگیری داده های آزمایشگاهی آرنس (1981)، مس (1989)، و ندرمییر و استم (1992) و آرنس و همبا (1988) مدل سازی شده است که با نگاهی جامع تر نسبت به پدیده بالاروی امواج در منطقه آب شویی ساحلی با توجه به رخداد فرایندهای مشابه در هر دو حالت ساحل نفوذپذیر و نفوذناپذیر و با انتقال دانش بالاروی امواج با استفاده از اثرات نفوذپذیری و طیف چگالی انرژی موج و موارد دیگر، مطالعه و مدل سازی این پدیده در منطقه سواش ساحلی صورت گرفته است. در ابتدای شبیه سازی هر دسته داده با استفاده از پارامترهای ورودی مختلف، میزان تاثیر آنها بر مقادیر پیش بینی شده بدست آمده و بدین ترتیب پارامترهای حاکم و موثر بر پدیده بالاروی امواج شناسایی شدند و با استفاده از کل داده ها شامل بستر نفوذپذیر و نفوذناپذیر مدل سازی با شبکه های عصبی صورت گرفت و نتایج نشان داد که پارامترهای ورودی شاخص نوع شکست، نفوذپذیری، ارتفاع موج نسبی و شیب بستر دارای بیشترین اثر در مقادیر پیش بینی شده بالاروی امواج می باشند. در انتها همچنین نتایج نشان می دهد که دقت مدل های مبتنی بر شبکه عصبی بیشتر از روابط تجربی می باشد.

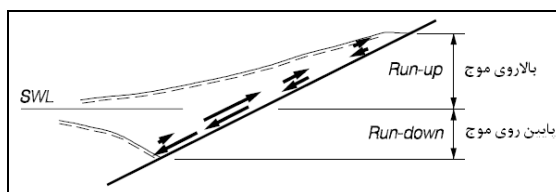
**واژه های کلیدی:** استهلاك انرژی، بالاروی امواج، منطقه سواش ساحلی، شبکه عصبی مصنوعی، شاخص نوع شکست.

**مقدمه :**

منطقه آب شویی یا سواش ساحلی<sup>1</sup> دارای هیدرودینامیک بسیار پیچیده ای می باشد که مطالعه آن در بررسی فرسایش سواحل از اهمیت به سزایی برخوردار است. منطقه سواش ساحلی قسمتی از ساحل می باشد که سطح آن به طور مداوم در معرض بالاروی و پایین روی امواج قرار دارد، به عبارت دیگر منطقه آب شویی، منطقه ای از ساحل می باشد که انرژی امواجی که به سمت ساحل می آیند از طریق بالاروی<sup>2</sup> و پایین روی<sup>3</sup> امواج در این منطقه مستهلک و یا منعکس می شود (شکل 1). میزان فاصله قائم میان بالاترین تراز سطح آب و تراز ایستایی به عنوان تراز بالاروی موج در منطقه آب شویی شناخته می شود. برای تخمین تغییرات تراز آب در منطقه سواش ساحلی معمولاً از تراز بالاروی موج با احتمال تجاوز 2% ( $R_{U2\%}$ ) استفاده می شود، به این معنی که میزان بالاروی که فقط 2% بالاروی های صورت گرفته از این مقدار بیشتر است. در اکثر موارد داده های اندازه گیری شده بلند مدت میزان بالاروی امواج موجود نمی باشد، از این رو روش های پیش بینی مبتنی بر مدلسازی

1. Swash Zone
2. Runup
3. Rundown

فیزیکی و شبیه‌سازی عددی تاکنون بیشتر برای پیش‌بینی بالاروی امواج استفاده شده است. مطالعات مدل‌سازی فیزیکی بر روی بالاروی امواج منظم و نامنظم و در حالت‌های بستر نفوذپذیر و نفوذناپذیر انجام یافته و روابطی بر اساس روش برازشی خطی و یا توانی بر روی داده‌های آزمایشگاهی ارائه شده است.

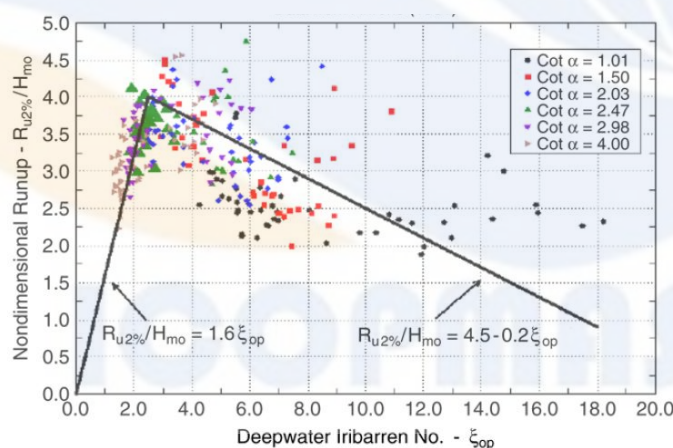


شکل 1) مقدار بالاروی و پایین‌روی موج در کناره ساحلی

مطالعات بالاروی امواج در منطقه سواش ساحلی از دو دیدگاه بستر نفوذپذیر و نفوذناپذیر مورد بررسی قرار گرفته است. در مطالعات بالاروی امواج بر روی شیب‌های نفوذناپذیر، منطقه ساحلی دارای بستری صاف و نفوذناپذیر می‌باشد و در حالت نفوذپذیر بستر دارای سطحی زبر از نوع سنگریزه‌ای و یا آرمورهای بتنی در دو حالت نفوذپذیر و نفوذناپذیر می‌باشند.

مهمترین داده‌های آزمایشگاهی در رابطه با بررسی بالاروی امواج بر روی بسترهای نفوذناپذیر توسط آرنس<sup>1</sup> [1](1981) و مس<sup>2</sup> [2](1989) به ثبت رسیده است که در نهایت روابط تجربی با استفاده از روش بهترین برازش خطی و یا توانی بین داده‌ها، ارائه نموده‌اند. آرنس [1](1981) داده‌های مقدار بالاروی امواج نامنظم بر روی بستر صاف و نفوذناپذیر که دارای شیب بین مقادیر  $1 \leq \cot \alpha \leq 4$  هستند را جمع‌آوری نمود که برگرفته شده از سه دسته داده مربوط به ون اورشوت و انگرمنند<sup>3</sup> [27](1968)، کمفیز و محمد<sup>4</sup> [28](1978) و آرنس [29](1979) می‌باشند و با استفاده از روش برازش خطی رابطه (1) را ارائه نمود که بر اساس ضرایبی از  $H_{mo}/gT_p^2$  می‌باشد و ضرایب  $C_1$ ،  $C_2$  و  $C_3$  با توجه به شیب بستر ارائه گردید. عدم بررسی و در نظر نگرفتن سایر پارامترها، محدوده شیب‌های تند و ضرایب برازشی متفاوت برای شیب‌های مختلف از نواقص این روابط می‌باشد.

$$\frac{R_{u2\%}}{H_{mo}} = C_1 + C_2 \left[ \frac{H_{mo}}{gT_p^2} \right] + C_3 \left[ \frac{H_{mo}}{gT_p^2} \right]^2 \quad (1)$$



شکل 2) داده‌های آرنس (1981) مربوط به بالاروی نسبی امواج نامنظم بر روی بستر صاف و نفوذناپذیر [1].

بجیس<sup>5</sup> [4](1974) معیار کمی برای تشخیص نوع شکست موج را با استفاده از مشخصات اولیه موج در آب عمیق (تیزی موج) و شیب بستر در قالب عدد آیرین<sup>6</sup> ( $\xi_o$ ) که پارامتر تشابه موج<sup>7</sup> و یا پارامتر شاخص نوع شکست موج نیز نامیده می‌شود به صورت رابطه (2) ارائه نمود:

1. Ahrens
2. Mase
3. Van Oorschot and d'Angremond
4. Kamphuis and Mohamed
5. Battjes
6. Deepwater Iribarren number
7. Surf Similarity parameter

$$\xi_o = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{(H_o/L_o)}} \quad (2)$$

که در آن  $H_o$  ارتفاع موج در آب عمیق،  $L_o$  طول موج در آب عمیق و  $\tan \alpha$  شیب بستر نسبت به راستای افق است. به عبارت دیگر زیرنویس صفر نشانگر مقدار پارامتر در آب عمیق است.

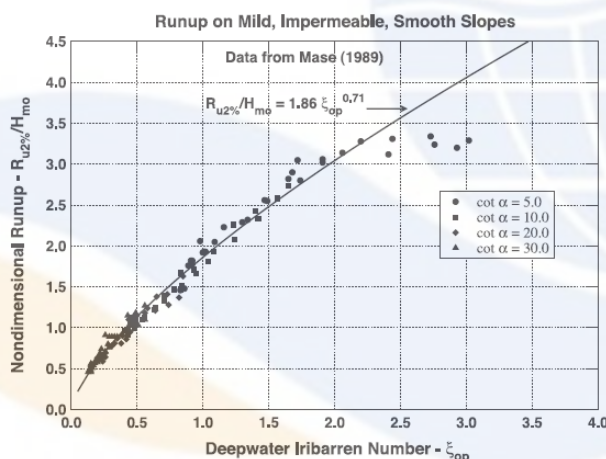
همچنین دو رابطه برای پیش بینی بالاروی امواج نامنظم در آئین نامه مهندسی ساحل (CEM) ارائه شده است. در این آئین نامه با استفاده از داده های آرنس (1981) دو رابطه 4 و 5 به منظور پیش بینی بالاروی امواج بر روی شیب صاف و نفوذناپذیر ارائه شده است که در شکل (5) نیز این روابط برازشی مشخص گردیده است [5].

$$\frac{R_{u2\%}}{H_{mo}} = 1.6 \xi_{op} \quad \text{for} \quad \xi_{op} \leq 2.5 \quad (4)$$

$$\frac{R_{u2\%}}{H_{mo}} = 4.5 - 0.2 \xi_{op} \quad \text{for} \quad 2.5 < \xi_{op} \leq 9.0 \quad (5)$$

مس (1989) [2] مطالعات تکمیلی را در ارتباط با بالاروی امواج نامنظم بر روی شیب صاف و نفوذناپذیر با شیب ملایم بین  $5 \leq \cot \alpha \leq 30$  به انجام رساند که در این راستا این پدیده در آزمایشگاه مدل گردید و داده های بالاروی و سایر پارامترها به ثبت رسید و نهایتاً با استفاده از بهترین برازش توانی بین این داده ها رابطه (2) را که دارای محدودیت است، ارائه گردید. روابط ارائه شده توسط مس (1989) [2] نیز عیناً نواقص روابط آرنس (1981) [1] را دارا بوده با این تفاوت که این روابط در شیب های ملایمی که خارج از محدوده داده های آرنس می باشد ارائه گردیده است.

$$\frac{R_{u2\%}}{H_{mo}} = 1.86 \xi_{op}^{0.71} \quad \text{for} \quad 0.007 \leq \frac{H_{mo}}{L_{op}} \quad (3)$$



شکل 2) داده های بالاروی امواج نامنظم بر روی شیب صاف و نفوذناپذیر (مس (1989) [2])

هیوز<sup>۲</sup> (2004) [7] با استفاده از داده های بالاروی امواج ثبت شده توسط گرانتام (1953) [17]، ساویل (1955) [18]، آرنس (1981) [1]، مس (1989) [2] که مربوط به امواج منظم و نامنظم بر روی شیب صاف و نفوذناپذیر بود و با به کارگیری یک پارامتر بدون بعد جدید به نام پارامتر جریان ممنتوم موج<sup>۳</sup> رابطه (6) را به منظور پیش بینی بالاروی موج ارائه نمود، که این پارامتر به نوعی نشان دهنده نیروی موج و دارای واحد نیرو می باشد. که ضریب  $CF(\alpha)$  بر اساس شیب بستر و روش برازشی محاسبه گردیده است نکته قابل توجه در رابطه ارائه شده، بی بعد ساختن بالاروی موج با تقسیم نمودن بر عمق بستر می باشد.

$$\frac{R}{h} = CF(\alpha) \left[ \frac{M_F}{\rho g h^2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

از طرف دیگر مطالعاتی در زمینه بالاروی امواج بر روی بستر نفوذپذیر نیز صورت گرفته است که مطالعات آرنس و همب<sup>۴</sup> (1988) [4] و

1. Coastal Engineering Manual (CEM)
2. Hughes
3. Wave Momentum Flux
4. Ahrens and Heimbaugh

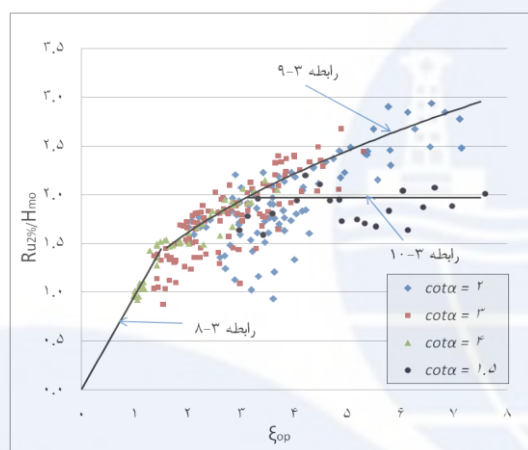
وندرمییر و استم<sup>1</sup> (1992) [3] از این دست می باشند که با بهره‌گیری از طیف وسیعی از داده‌های ثبت شده به روش مدلسازی آزمایشگاهی، اثر پارامترهای مختلف در میزان بالاروی امواج بر روی شیب‌های نفوذپذیر و نفوذناپذیر را مورد مطالعه قرار دادند که در آن اثرات نفوذپذیری، شیب بستر، عمق آب، شکل طیف موج، ارتفاع موج مؤثر و پریود متوسط موج را بطور جداگانه مورد بررسی قرار داده‌اند. در این مطالعات پارامترهای نفوذپذیری بستر و شاخص نوع شکست موج به عنوان مهمترین پارامترهای مؤثر در پدیده بالاروی موج بر روی شیب نفوذناپذیر و نفوذپذیر سنگریزه‌ای، معرفی گردیدند. وندرمییر و استم (1992) [3] با مدل سازی بالاروی امواج نامنظم در یک فلووم دریایی به مطالعه این پدیده پرداختند. آنها به منظور مدل سازی هم از بستر نفوذپذیر و هم از بستر نفوذناپذیر استفاده نمودند و روابط 7 و 8 را به منظور تخمین میزان بالاروی امواج نامنظم ارائه نمودند:

$$\frac{R_{u2\%}}{H_{mo}} = 0.96\xi_{om} \quad \text{for} \quad \xi_{om} \leq 1.5 \quad (7)$$

$$\frac{R_{u2\%}}{H_{mo}} = 1.17\xi_{om}^{0.46} \quad \text{for} \quad \xi_{om} \geq 1.5 \quad (8)$$

همانطور که در رابطه رابطه 2-18 مشاهده می گردد حداکثر مقدار بالاروی نسبی برای حالت نفوذپذیر را 1/96 در نظر گرفتند.

$$\frac{R_{u2\%}}{H_{mo}} = 1.96 \quad (9)$$



شکل 5) داده‌های وندرمییر و استم (1992) [3] مربوط به بالاروی نسبی امواج نامنظم بر روی بستر نفوذپذیر سنگریزه‌ای

همچنین لوزدا و گیمنز (1981) [7]، آلسپ و همکاران (1985) [8] و کینگستون و مرفی (1996) [9] با استفاده از رابطه (10) با توجه به جنس بستر سنگریزه‌ای، تترپاد و آنتی فر ضرایب  $A$  و  $B$  را محاسبه نموده و روابطی را ارائه نمودند.

$$\frac{R_u}{H_s} = A[1 - \exp(B\xi)] \quad (3)$$

تمام روابط پیش بینی بالاروی امواج بر روی شیب‌های ساحلی بر مبنای پارامتر عدد آیرین و به عبارت دیگر شاخص نوع شکست می‌باشد که دارای ضرایبی برای شرایط مختلف بستر است، که دارای دقت قابل قبولی نیستند. این عدم قطعیت در داده‌های آزمایشگاهی منجر به عدم قطعیت و در نتیجه اعمال ضریب اطمینان بسیار بالاتری می‌شود.

در این تحقیق با نگاهی جامع تر نسبت به پدیده بالاروی امواج در منطقه آب‌شویی ساحلی با توجه به رخداد فرایندهای مشابه در هر دو حالت ساحل نفوذپذیر و نفوذناپذیر و با انتقال دانش بالاروی امواج با استفاده از اثرات نفوذپذیری و طیف چگالی انرژی موج و موارد دیگر، مطالعه و مدلسازی این پدیده در منطقه سواش ساحلی صورت گرفته است.

از طرف دیگر چنان که اشاره شد مطالعات آزمایشگاهی نمی‌توانند به طور کامل بالاروی امواج در منطقه سواش ساحلی را پیش‌بینی نمایند، از این رو لزوم انجام تحقیقات بیشتر در زمینه بالاروی امواج بیش از پیش با اهمیت جلوه می‌نماید. در واقع هدف انجام این مطالعه ارائه مدلی است که بتواند دقت بالاتر و جامعیت بیشتر هر دو شرایط بستر نفوذپذیر و نفوذناپذیر را تا حد امکان تامین نماید. از این رو می‌توان از روش‌های نرم که نیازی به شناخت دقیق پدیده ندارند استفاده نمود. از انواع روش‌های محاسباتی نرم می‌توان به روش فازی<sup>۲</sup>، شبکه عصبی مصنوعی<sup>۳</sup>، مدل

1. Van der Meer and Stam
2. Fuzzy Inference System
3. Artificial Neural Networks (ANN)

فازی-عصبی<sup>1</sup> و درخت تصمیم گیری اشاره نمود. روشهای نرم، نظیر شبکه‌های عصبی مصنوعی و شبکه‌های فازی، روشهای مدل‌سازی غیرخطی هستند که با طبیعت مسئله سازگارتر بوده و قادر به شبیه‌سازی مسائل پیچیده و از روش‌های نسبتاً جدید می‌باشند. از این روش‌ها زمانی بیشتر استفاده می‌شود که روشهای تحلیلی و عددی به خوبی قادر نیستند حل دقیقی از مسئله ارائه داده و یا روش‌های محاسباتی بسیار پیچیده‌ای وجود داشته باشد. در سالهای اخیر روش‌های نرم در پیش بینی بالاروی امواج مورد استفاده قرار گرفته است. بختیار و همکاران<sup>2</sup> (2008)[11] به بررسی بالاروی امواج در منطقه سواش ساحلی با استفاده از مدل سازی فازی و فازی-عصبی پرداخته‌اند و همچنین اردیک و همکاران<sup>3</sup> (2008)[12] به پیش بینی بالاروی امواج بر روی موج شکن با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی پرداخته است به این منظور وی از داده های وندرمیبر و استم(1992)[3] استفاده نموده است و چهار پارامتر شاخص نوع شکست، نفوذپذیری، شیب و شکل طیف انرژی موج را در نظر گرفته است.

در این مطالعه به منظور مدل سازی پدیده بالاروی امواج بر روی بستر نفوذناپذیر و نفوذپذیر در منطقه سواش ساحلی از داده های آرنس(1981)[1]، مس(1989)[2]، وندر میبر و استم(1992)[3] و آرنس و همبا(1988)[4] استفاده گردید که شبکه عصبی مورد استفاده از نوع پیش خور<sup>4</sup> و با الگوی آموزش پس انتشار خطا<sup>5</sup> می باشد، به منظور آموزش و صحت سنجی از 70٪ داده ها و از 30٪ مابقی داده ها به منظور تست شبکه استفاده شده است.

همچنین به منظور ارزیابی نتایج مدل در حالات مختلف و مقایسه با نتایج روابط تجربی، پارامترهای آماری خطا شامل بایاس ( $Bias$ )، مجذور میانگین مربعات خطا<sup>6</sup> ( $RMSE$ )، شاخص پراکندگی<sup>7</sup> ( $SI$ ) و ضریب همبستگی<sup>8</sup> ( $R$ ) به کار گرفته شده است.

### شبکه‌های عصبی مصنوعی

شبکه‌های عصبی مصنوعی یک روش محاسباتی است که از مطالعه مغز و نورون‌های انسان نشأت گرفته شده‌است، گرچه بسیاری از جزئیات این سیستم بیولوژیکی نادیده گرفته شده‌است. عدم نیاز به جزئیات کامل و دقیق مسئله مهمترین مزیت روش شبکه‌های عصبی مصنوعی نسبت به روشهای تجربی و سنتی می‌باشد. برای تجزیه و تحلیل یک سیستم پیچیده بوسیله روش شبکه‌های عصبی مصنوعی، نیاز به دانش کامل درباره سیستم مورد مطالعه نمی باشد. یک شبکه عصبی شامل چندین نورون متصل به هم می باشد که هر نورون شامل واحدهای مستقل محاسباتی می باشد که در شکل 2 نحوه عمل یک نورون نشان داده شده است [15] که به ازای ورودی‌های مختلف مقدار خروجی هر نورون از رابطه (23) محاسبه می گردد.

$$y = f \left[ \sum_{i=1}^n (x_i w_i) + \beta \right] \quad (23)$$

در رابطه فوق  $y$  مقدار خروجی نورون،  $x_1, x_2, x_n$  مقادیر ورودی،  $w_1, w_2, w_n$  اوزان ارتباطی،  $\beta$  مقدار بایاس و  $f$  تابع انتقال می باشد. تابع انتقال انواع مختلفی دارد که به عنوان مثال رابطه تابع انتقال سیگموئید به صورت زیر می باشد:

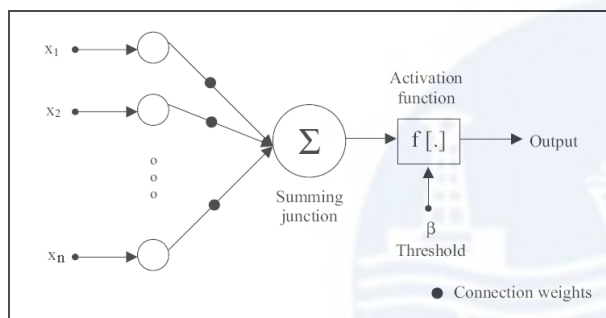
$$f[g(x)] = \frac{1}{1 + e^{-g(x)}} \quad (24)$$

هر شبکه عصبی مصنوعی دارای یک لایه ورودی، چند لایه میانی (لایه پنهان) و یک لایه خروجی می باشد که در هر لایه تعدادی گره وجود دارد. تعداد گره‌های لایه‌های ورودی و خروجی با توجه به پارامترهای ورودی و خروجی مشخص است، همچنین تعداد لایه‌های پنهان و تعداد گره‌های لایه‌های پنهان متغیر می باشند و روش خاصی برای محاسبه تعداد آنها وجود ندارد و برای رسیدن به بهترین مدل از روش سعی و خطا استفاده می شود، یکی از شبکه‌های عصبی مورد استفاده در این مطالعه در شکل 3 ملاحظه می شود، این نوع شبکه از نوع پیش خور<sup>13</sup> می باشد که دارای یک لایه ورودی، یک لایه خروجی و یک لایه پنهان می باشد. در این نوع شبکه سیگنال‌ها تنها در یک جهت حرکت می کنند و از ورودی به خروجی هیچ بازخوری (حلقه) وجود ندارد [15].

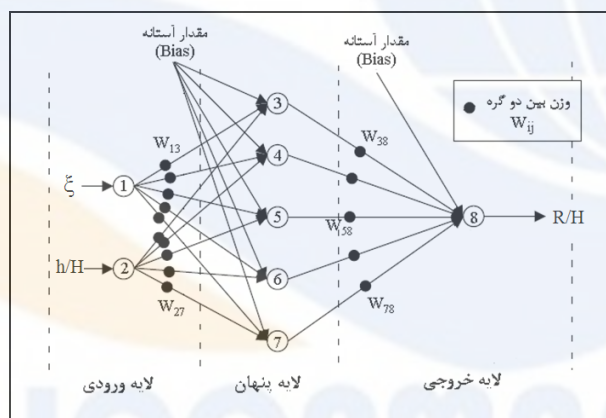
بدنه هر سلول عصبی از دو بخش تشکیل می‌شود، بخش اول را تابع ترکیب می‌گویند، وظیفه تابع ترکیب این است که تمام ورودی‌ها را ترکیب و یک عدد تولید می‌کند. در بخش دوم سلول تابع انتقال قرار دارد که به آن تابع تحریک نیز می‌گویند. رایج‌ترین انواع توابع تحریک بر پایه مدل‌های بیولوژیکی استوار گردیده است. در یک شبکه پیش‌خور، داده  $x_i$  در ابتدا وارد لایه ورودی می‌شود و سپس به لایه پنهان  $y_i$  انتقال

1. Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System (ANFIS)
2. Bakhtyar et al.
5. Erdik et al.
4. Feed Forward
5. Back Propagation
6. Root Mean Square Error (RMSE)
7. Scatter Index (SI)
8. Correlation Coefficient

می‌یابد. نورون‌های لایه پنهان بعد از ضرب اوزان هر مقدار ورودی  $w_{ij}$  در مقدار آن، این مقادیر را با هم جمع می‌نمایند و سپس مقدار بایاس  $b_j$  را به آن می‌افزایند (تابع ترکیب)،  $(net_j = \sum x_i w_{ij} - b_j)$  سپس این مقدار به تابع انتقال  $(f)$ ، که به منظور تولید خروجی توسط لایه پنهان مورد استفاده قرار می‌گیرد، انتقال می‌یابد  $(f(net)_j)$ . در واقع همان گونه که، یک سلول بیولوژیکی باید به سطح آستانه تحریک خاصی برسد تا یک سیگنال تولید کند، توابع تحریک نیز تا زمانی که ورودی‌های ترکیب شده و وزن‌دار شده به یک حد آستانه‌ای خاص نرسند مقدار خروجی نظیر بسیار کوچکی تولید می‌کنند. چندین نوع تابع انتقال در شبکه‌های عصبی مصنوعی مورد استفاده قرار می‌گیرد مانند توابع خطی، تانژانت سیگموئید، لگاریتم سیگموئید و غیره. وقتی ورودی‌های ترکیب شده به حد آستانه‌ای خاصی برسند، سلول عصبی تحریک شده و سیگنال خروجی تولید می‌کند. همین فرآیند ورود اطلاعات و ترکیب و انتقال آنها، در لایه خروجی نیز رخ می‌دهد، با مقایسه جواب خروجی شبکه با مقدار مطلوب مورد نظر بردار خطا محاسبه شده و این بردار با استفاده از الگوریتم‌های مختلف از قبیل پس انتشار خطا<sup>14</sup> از آخر به سمت ابتدای شبکه پخش شده، به طوریکه در سیکل بعد خطا کاهش یابد، به این فرآیند که در جهت کاهش خطای شبکه می‌باشد آموزش شبکه گفته می‌شود. به منظور آموزش شبکه عصبی الگوهای مختلفی وجود دارد که الگوریتم پس انتشار خطا از معروف‌ترین و پرکاربردترین الگوریتم‌ها می‌باشد [16].



شکل 2- نحوه عمل یک نورون در شبکه عصبی مصنوعی



شکل 3 - ساختار کلی شبکه عصبی مصنوعی پیش خور مورد استفاده در این مطالعه با یک لایه پنهان و 2 پارامتر ورودی

### پارامترهای موثر بر پدیده بالاروی امواج

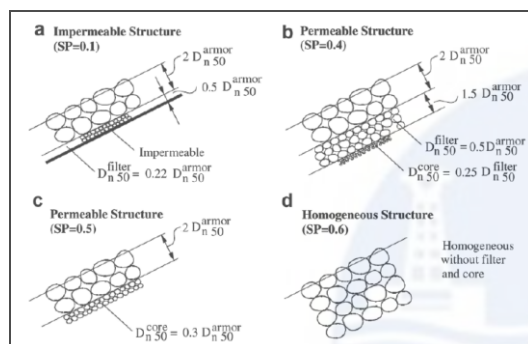
در این مطالعه تاثیر 5 پارامتر بدون بعد بر روی بالاروی امواج به وسیله شبکه های عصبی مصنوعی مورد بررسی قرار گرفت که شامل این موارد می باشند:

- 1- شاخص نوع شکست موج ( $\xi_{op}$ )
- 2- پارامتر فلاکس ممتهم موج ( $m$ )
- 3- شیب ساحل ( $cota$ )
- 4- ارتفاع موج نسبی ( $H/h$ )
- 5- نفوذپذیری ( $SP$ )

پارامتر شاخص نوع شکست نشان دهنده اثر ارتفاع موج و پرپود موج و شیب بستر می باشد و به نوعی نشان دهنده تاثیر بستر و موج می باشد. داده های آرنس (1981) [1] و مس (1989) [2] و همچنین روابطی که ارائه نمودند بر اساس ( $\xi_{op}$ ) می باشد که به منظور محاسبه آن از پرپود قله طیف ( $T_p$ ) استفاده شده است. از رابطه (1) به منظور محاسبه این پارامتر استفاده می شود که در این رابطه  $H_{mo}$  ارتفاع موثر موج بر

اساس آنالیز طیفی می باشد که به ارتفاع موج ممنتوم صفر<sup>1</sup> معروف می باشد.

نفوذپذیری<sup>2</sup> ( $SP$ ) از پارامترهای موثر بر پدیده بالاروی امواج می باشد. نفوذناپذیری بستر باعث افزایش میزان بالاروی امواج و افزایش نفوذپذیری بستر موجب کاهش بالاروی می گردد. زمانی که موج می شکند و بر روی بستر نفوذپذیر بالاروی انجام می شود، مقداری از انرژی موج که قرار است با بالاروی موج مستهلک شود با نفوذ در بستر از بین می رود و از این رو بستر نفوذپذیر بالاروی امواج را محدود می نماید. وندرمییر و استم(1992) مطالعات خود را هم بر روی بستر نفوذپذیر و هم نفوذناپذیر انجام دادند و به منظور ارائه مقادیر کمی برای این ویژگی کیفی از پارامتر نفوذپذیری  $SP$  که در شکل 4-5 مشخص است استفاده شده است. شکل 4-5 حالت های مختلف نفوذپذیری بستر را نشان می دهد که مقادیر مربوط به آن نیز ذکر شده است. حالت بستر  $a$  نفوذناپذیر و حالت بستر  $b$ ،  $c$  و  $d$  نفوذپذیر با مقادیر مختلف نفوذپذیری می باشند[3]. مطالعات وندرمییر و استم(1992) در سه حالت مختلف  $b$ ،  $c$  و  $a$  که در شکل مشخص می باشد، صورت گرفته است. از این رو به منظور استفاده از این پارامتر به عنوان پارامتر ورودی شبکه عصبی مصنوعی مقادیر عددی  $0/1$ ،  $0/5$  و  $0/6$  را برای حالات  $a$ ،  $c$  و  $d$  لحاظ می نماییم. همچنین داده های آرنس و همبا<sup>4</sup> (1988)[4] در حالت بستر نفوذپذیر به ثبت رسیده اند و از این رو مقدار  $SP$  برای این داده داده ها  $0/5$  در نظر گرفته شده است.



انواع مختلف دانه بندی و مقادیر نفوذپذیری های متناظر با دانه بندی لایه آرمور

همانطور که ملاحظه شد با توجه به رابطه شاخص نوع شکست موج (رابطه 4-8) این پارامتر شامل شیب بستر نیز می باشد اما به دلیل تاثیری که امواج بر روی یکدیگر دارند، و به عبارت دیگر مقدار بالاروی موج ممکن است متقارن با بازگشت مولفه قبلی موج شده و لذا از حیث ارتفاعی محدود گردد و همچنین ممکن است تشدید دو مؤلفه موج به دنبال یکدیگر موجب افزایش ارتفاع بالاروی موج روی کناره ساحلی گردد. به منظور در نظر گرفتن این اثر امواج می توان از پارامتر شیب ساحل به عنوان نماینده این پدیده استفاده نمود زیرا با افزایش و کاهش شیب بستر این تاثیر امواج بر روی یکدیگر تغییر می نماید[11].

پارامتر ارتفاع موج نسبی ( $H/h$ ) نیز تاثیر عمق آب قبل از رسیدن موج به سازه و ارتفاع موج را نشان می دهد که به عنوان یک پارامتر بدون بعد مورد استفاده قرار می گیرد. عمق آب تاثیر زیادی در شکست موج دارد بطوریکه هنگامی که ارتفاع موج زیاد شود و یا عمق آب کاهش یابد موج می شکند.

هیوز<sup>4</sup> (2004)[7] با استفاده از داده های بالاروی امواج ثبت شده توسط گرانتم(1953)[17]، ساویل(1955)[18]، آرنس(1981)[11]، مس (1989)[2] که مربوط به امواج منظم و نامنظم بر روی شیب صاف و نفوذناپذیر بود و با به کارگیری یک پارامتر بدون بعد جدید به نام پارامتر جریان ممنتوم موج<sup>5</sup>، یک فرمول جدید برای پیش بینی بالاروی موج ارائه نمود که این پارامتر به نوعی نشان دهنده نیروی موج و دارای واحد نیرو می باشد، این دانشمند روابط تجربی 4-9، 4-10 و 4-11 را به منظور محاسبه این پارامتر ارائه نمود. در این مطالعه با استفاده از همین روابط تجربی این پارامتر محاسبه گردید و به منظور ارزیابی و نحوه تاثیر این پارامتر، به عنوان یک پارامتر ورودی به شبکه وارد گردید.

$$m = \left( \frac{M_F}{\rho g h^2} \right)_{\max} = A_0 \left( \frac{h}{g T^2} \right)^{-A_1} \quad A_0 = 0.6392 \left( \frac{H}{h} \right)^{2.0256} \quad A_1 = 0.1804 \left( \frac{H}{h} \right)^{-0.391} \quad (23)$$

1. Energy-Based Zeroth-Moment Wave Height

2. Structure Permeability (SP)

3. Ahrens and Heimbaugh

<sup>4</sup> Hughes

<sup>5</sup> Wave Momentum Flux



| انواع داده      | $\xi_{op}$             | $cota$  | $(H/h)$             | $m$                 | SP                 |
|-----------------|------------------------|---------|---------------------|---------------------|--------------------|
| آرنس            | $\sim 18/21$<br>$1/22$ | 1 ~ 4   | -                   | -                   | 0/1                |
| مس              | 0/13 ~ 3/02            | 5 ~ 30  | $\sim 0/26$<br>0/06 | $\sim 0/50$<br>0/18 | 0/1                |
| وندرمیبر و استم | 1/05 ~ 8/87            | 1/5 ~ 4 | $\sim 1/48$<br>0/06 | $\sim 3/43$<br>0/01 | 0/1 ، 0/5 و<br>0/6 |
| آرنس و همبا     | 1/35 ~ 8/8             | 2 ~ 4   | 0/13 ~ 1/1          | $\sim 1/97$<br>0/06 | 0/1                |
| کل داده ها      | $\sim 18/21$<br>0/13   | 1 ~ 30  | $\sim 1/48$<br>0/06 | $\sim 3/43$<br>0/01 | 0/1 ، 0/5 و<br>0/6 |

### مدل سازی بالاروی امواج

چنان که اشاره گردید بالاروی امواج در منطقه سواش ساحلی از دو دیدگاه سواحل نفوذناپذیر و سواحل نفوذپذیر قابل بررسی می باشد. در دیدگاه نخست بستر ساحل دارای سطحی صاف، غیرقابل نفوذ می باشد و در دیدگاه دوم بستر ساحل دارای سطحی زیر پوشیده از انواع سنگریزه و یا حتی آرمورهای بتنی جهت جلوگیری از فرسایش بستر می باشد. در این مطالعه با استفاده از تمام داده‌ها پدیده بالاروی امواج در منطقه سواش ساحلی مدل گردید که شامل هم بستر نفوذپذیر و هم بستر نفوذناپذیر می باشد.

در مدل سازی ابتدا تمام پارامترهای ورودی به صورت مستقل وارد شبکه گردید (یعنی یک شبکه تنها با یک پارامتر ورودی) و مدل سازی با آموزش شبکه که به وسیله داده های آموزش انجام می گیرد، صورت گرفت. پس از اتمام مدل سازی، شبکه تست گردیده و پارامترهای آماری حاصل از مرحله تست شبکه محاسبه گردید و بهترین شبکه با یک پارامتر ورودی و تعداد لایه پنهان و تعداد نورون مشخص انتخاب گردید. این مرحله میزان تاثیر پارامتر ها را به صورت مستقل نشان می دهد و اینکه یک پارامتر به صورت مستقل چقدر قادر خواهد بود شبکه عصبی را آموزش بدهد. پرواضح است که در این مرحله پارامترهایی می توانند بیشترین تاثیر را در پیش بینی بالاروی امواج داشته باشند که بتوانند به تنهایی توصیف خوبی از پدیده داشته باشند.

پس از اتمام این مرحله که مدل سازی با یک پارامتر ورودی بود در مرحله بعد پارامترهای ورودی را به 2 پارامتر ورودی افزایش می دهیم و همانند مرحله اول تمام حالات ممکن که 2 پارامتر ورودی از جمع چند پارامتر ورودی می توانند در کنار هم قرار بگیرند را در نظر می گیریم و مدل سازی را انجام می دهیم، در این مرحله نیز بهترین شبکه با استفاده از پارامترهای آماری خطا انتخاب می گردد. مراحل به همین ترتیب با افزایش یک پارامتر ورودی در هر مرحله پیش می رود تا به حالتی که تمام پارامترهای ورودی با هم به شبکه وارد گردند. به عنوان مثال اگر 3 پارامتر ورودی داشته باشیم، در مرحله اول 3 شبکه عصبی با هر یک از پارامترها ساخته می شود، در مرحله دوم تنها دو حالت وجود دارد که بتوان از جمع این 3 پارامتر ورودی 2 زوج ورودی به شبکه وارد کرد، پس در نتیجه دو شبکه عصبی با دو پارامتر ورودی ساخته می شود و در مرحله آخر تمام پارامترها با هم به شبکه وارد می گردد که یک شبکه عصبی مصنوعی با 3 پارامتر ورودی است.

پس از اتمام تمام مراحل شبکه عصبی برتر تمام مراحل انتخاب می گردد و با هم مقایسه می شوند که در نهایت یک شبکه عصبی مصنوعی با تعداد پارامتر ورودی، تعداد لایه و تعداد نورون مشخص به عنوان شبکه برتر انتخاب می گردد. در انتها نیز با استفاده از داده های مرحله تست و همچنین رابطه تجربی ارائه شده مربوط به همان داده، به پیش بینی بالاروی امواج با استفاده از رابطه تجربی می پردازیم و پارامترهای آماری خطای این روابط را محاسبه می گردد و نتایج آن با نتایج شبکه عصبی برتر مقایسه می شود.

### مدل سازی بالاروی امواج با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی

اکثر سواحل دارای شیبی ملایم می باشند و بستر آنها که عمدتاً از ماسه تشکیل شده نفوذناپذیر می باشد. همچنین سواحل سنگی با شیب تند نیز وجود دارد که با توجه به اندازه این سنگها و خلل و فرج داخل آنها می توانند نفوذپذیر فرض گردند، در سالهای اخیر نیز به منظور محافظت از سواحل در برابر آب شستگی و فرسایش از روش های سنگ چینی و آرمورهای بتنی نیز استفاده می شود، از این رو می توان از چهار دسته داده ذکر شده به منظور مدل سازی بالاروی امواج بر روی منطقه سواش ساحلی در منطقه سواش ساحلی استفاده نمود.

در این مدل سازی از تمام داده های مس(1989)، آرنس و همبا (1988) و وندرمیبر و استم(1992) استفاده شده است، داده های آرنس(1981) [1] همانطور که ذکر گردید از سه مطالعه متفاوت جمع آوری گردیده است، که از این 3 مطالعه تنها دسترسی به داده های مربوط

به مطالعه کمفیز و محمد<sup>1</sup> (1978) [25] میسر گردید، که از مجموع 271 داده آرنس (1981) [1] 40 داده از این مطالعه مورد استفاده قرار گرفته است. به دلیل اینکه 271 داده آرنس (1981) [1] که در اختیار داریم تنها دو پارامتر ورودی شاخص نوع شکست و شیب بستر را دارا می باشند لذا از آنجایی دو دسته داده دیگر پارامترهای بیشتری را دارا می باشند، از این رو در این مدل سازی از 120 داده مس (1989)، 261 داده وندرمیر و استم (1992)، 68 داده آرنس و همبا (1988) و 40 داده کمفیز و محمد که جزء داده های آرنس (1981) [1] می باشند و جزئیات بیشتری از آزمایش را دارا می باشند استفاده می نماییم، که در کل 489 داده می باشد و از 70٪ داده ها که 342 داده می باشد به منظور آموزش و صحت سنجی و از 147 داده باقی مانده به منظور تست شبکه استفاده گردید. داده های ورودی شامل شاخص نوع شکست موج ( $\zeta_{op}$ )، میزان نفوذپذیری ( $SP$ )، شیب بستر ( $cota$ )، ارتفاع موج نسبی ( $H/h$ )، پارامتر فلاکس ممنتم موج ( $m$ ) می باشد. محدوده پارامترهای مورد استفاده در جدول 5-10 درج گردیده است.

محدوده پارامترهای ورودی کل داده ها

| انواع داده   | محدوده پارامتر                      |
|--------------|-------------------------------------|
| $\zeta_{op}$ | 0/13 ~ 18/21                        |
| $cota$       | 30, 20, 10, 5, 4, 3, 2/5, 2, 1/5, 1 |
| $H/h$        | 0/06 ~ 1/48                         |
| $m$          | 0/01 ~ 3/43                         |

با توجه به اینکه مجموعاً 5 پارامتر ورودی بی بعد جهت آموزش و آزمون مدل شبکه عصبی مصنوعی وجود دارد بنابر این مدل سازی بالاروی امواج در منطقه آب شویی ساحلی در 5 مرحله صورت می گیرد و در هر مرحله تمام ترکیب حالات ممکن در نظر گرفته و بهترین نتیجه هر مرحله انتخاب گردیده است. نتایج مدلسازی بالاروی امواج در منطقه آب شویی ساحلی با استفاده از کل داده ها در جدول 5-11 درج گردیده است.

جدول 56) مقایسه نتایج پیش بینی بالاروی امواج در منطقه سواش ساحلی با مدل ANN و روابط تجربی.

| R     | SI    | RMSE  | Bias   | تعداد نرون لایه پنهان | پارامترهای ورودی |        |        |   |        |
|-------|-------|-------|--------|-----------------------|------------------|--------|--------|---|--------|
|       |       |       |        |                       | $\zeta_{op}$     | SP     | H/h    | m | $cota$ |
| 0/971 | 8/72  | 0/144 | -0/013 | 5                     | $\zeta_{op}$     | SP     | H/h    | m | $cota$ |
| 0/965 | 8/96  | 0/151 | -0/013 | 7                     | $\zeta_{op}$     | SP     | H/h    | m | -      |
| 0/945 | 10/84 | 0/185 | -0/004 | 5                     | $\zeta_{op}$     | SP     | $cota$ | - | -      |
| 0/925 | 12/59 | 0/233 | -0/013 | 5                     | $\zeta_{op}$     | $cota$ | -      | - | -      |
| 0/699 | 24/56 | 0/406 | -0/005 | 4                     | $\zeta_{op}$     | -      | -      | - | -      |
| 0/870 | 18/04 | 0/289 | 0/084  |                       | روابط تجربی      |        |        |   |        |

در مرحله نخست بهترین نتیجه شامل پارامتر شاخص نوع شکست می باشد که در شکل 5-9 الف نتایج آن مشخص است. در مرحله دوم نتایج مدل ارائه شده توسط شبکه عصبی به منظور پیش بینی بالاروی امواج در منطقه آب شویی ساحلی با زوج پارامتر ورودی شیب بستر و شاخص نوع شکست موج  $\zeta_{op} - cota$  نتایج رضایت بخشی را حاصل نموده است. در بخش قبل ورودی  $\zeta_{op}$  به صورت مستقل ضریب همبستگی برابر  $R = 0.699$  داشته است حال آنکه با افزودن پارامتر شیب بستر این مقدار به  $R = 0.925$  افزایش یافته است. نتایج این مرحله در مقایسه با نتایج روابط تجربی که ضریب همبستگی برابر  $R = 0.870$  را نتیجه داده است رضایت بخش تر می باشد.

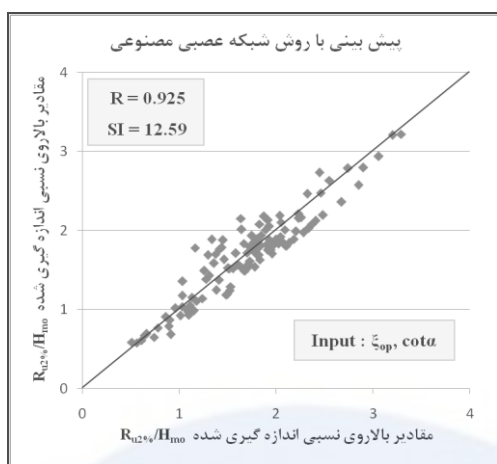
نتایج برتر شبکه عصبی مصنوعی در مرحله سوم با 3 پارامتر ورودی در جدول 5-11 نشان داده شده است. ملاحظه می گردد که سیر صعودی افزایش دقت و کاهش پراکندگی پیش بینی پدیده بالاروی امواج در منطقه آب شویی ساحلی با مدل شبکه عصبی مصنوعی با افزایش تعداد پارامترهای ورودی همچنان ادامه دارد. با افزودن پارامتر نفوذپذیری به زوج پارامتر ورودی مرحله قبل  $\zeta_{op} - cota$  باعث افزایش ضریب همبستگی از مقدار  $R = 0.925$  به مقدار  $R = 0.945$  گردیده است و همچنین شاخص پراکندگی از مقدار  $SI = 12.59$  به مقدار  $SI = 10.84$  کاهش یافته است. زیرا نفوذپذیری از عواملی است که بالاروی امواج را تحت تاثیر زیادی قرار می دهد، به دلیل اینکه بر روی شیب های نفوذپذیر مقداری از نیروی موج به وسیله نفوذ در بستر مستهلک می شود و مابقی انرژی به وسیله بالاروی بر روی شیب مستهلک می شود، از

<sup>1</sup> Kamphuis and Mohamed

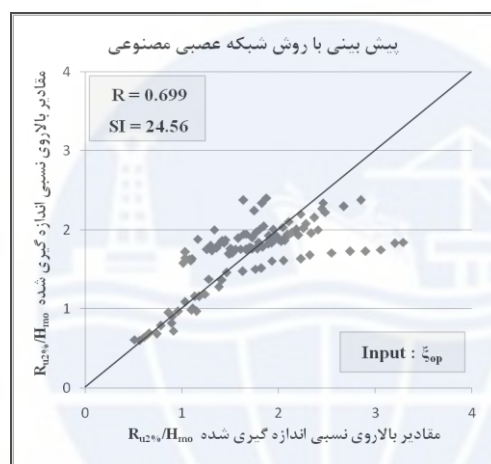
این رو بر روی شیب های نفوذپذیر بالاروی کمتری نسبت به بستر نفوذناپذیر با همان شرایط رخ خواهد داد، که این خود نشان از اهمیت این پارامتر بر روی پدیده بالاروی امواج دارد.

در مورد پیش بینی با رابطه تجربی دانستن این نکته ضروری است که به منظور مدلسازی پدیده بالاروی امواج از چهار دسته داده استفاده گردید که برای هر دسته داده برای محدوده های مختلف روابط متفاوتی ارائه شده است، به منظور پیش بینی با روابط تجربی به این گونه عمل شده است که بالاروی هر داده با رابطه تجربی ارائه شده برای همان داده و محدوده، پیش بینی شده است. به عنوان مثال برای داده وندرمیبر و استم(1992) در حالت نفوذناپذیر از رابطه ارائه شده برای این حالت توسط وندرمیبر و استم(1992) استفاده شده است.

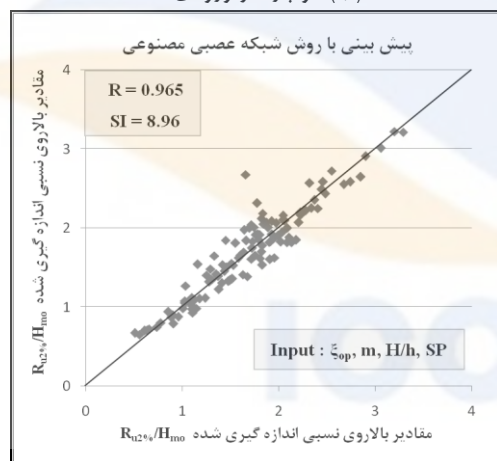
در مرحله چهارم با در نظر گرفتن 4 پارامتر ورودی که در جدول 5-11 نیز مشخص است مدل سازی انجام می پذیرد و همانطور که از نتایج مشخص است نتایج بهبود می یابد. در مرحله پایانی مدل سازی با شبکه عصبی مصنوعی با استفاده از تمام پارامترهای ورودی صورت گرفت که نتایج آن در جدول 5-11 مشاهده می گردد که نتایج این پیش بینی بالاروی امواج بهترین نتیجه در بین تمام مراحل می باشد. اما باید توجه کرد که اختلاف این نتایج با نتایج مدل برتر مرحله قبل بسیار ناچیز می باشد و به عبارتی نتایجی یکسان را ارائه نموده اند. همچنین لازم به ذکر است که تمام شبکه های عصبی مصنوعی ساخته شده در حالت یک لایه پنهان بهترین نتیجه را حاصل نموده اند.



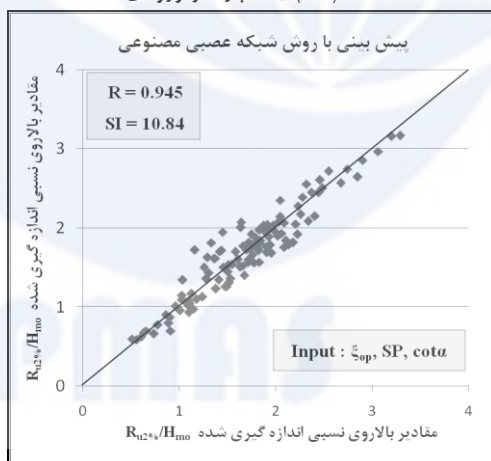
(ب) دو پارامتر ورودی



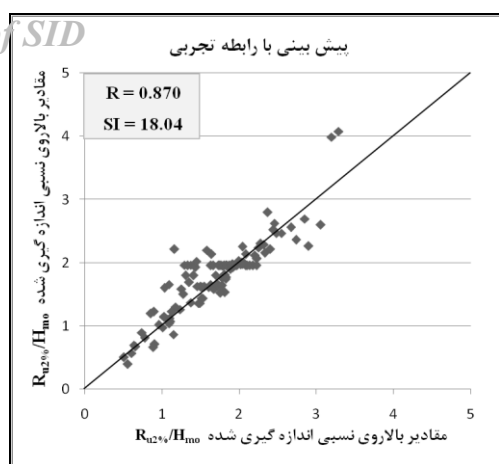
(الف) یک پارامتر ورودی



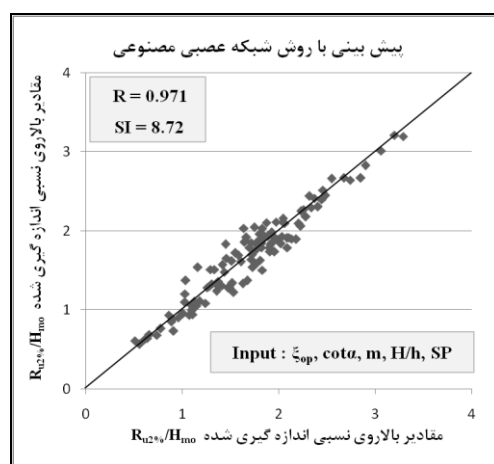
(ت) چهار پارامتر ورودی



(پ) سه پارامتر ورودی



رابطه تجربی (ج)



پنج پارامتر ورودی (ث)

شکل (1-1) مقایسه مقادیر بالاروی نسبی امواج با مدل ANN و روابط تجربی با استفاده از تمامی داده ها.

همانطور که در بخش های قبل ذکر گردید و در شکل 5-5 نیز مشخص می باشد داده های مس (1989) از گستردگی کافی برخوردار نمی باشند. این داده ها در محدوده  $\xi_{op} \leq 3.1$  قرار دارند که با توجه به تعریفی که از نوع شکست در فصل دوم ارائه گردید شکست موج از نوع شیرجه ای و ریزشی می باشد و همانند نتیجه ای که آرنس (1981) [1] عنوان نموده بود در این محدوده با افزایش شاخص نوع شکست، بالاروی امواج نسبی نیز افزایش می یابد. با دقت در شکل 5-5 مشاهده می گردد که با افزایش شاخص نوع شکست و در محدوده  $\xi_{op} > 2.5$  رفتار داده های بالاروی امواج تغییر می نماید منطقه انتقال می باشد که در این منطقه نوع شکست تغییر می کند و این داده ها نسبتاً به برآزش توانی منحرف گشته اند. چند درصد پیش بینی بهتر شبکه عصبی مصنوعی نسبت به رابطه تجربی مربوط به داده های  $\xi_{op} > 2.5$  می باشد. شبکه عصبی مصنوعی در زمان آموزش با استفاده از داده های آموزش که در این محدوده قرار داشته توانسته این انتقال نوع شکست را آموزش ببیند و در پیش بینی خود اعمال نماید.

شکل 5-5 مقایسه مقادیر اندازه گیری شده بالاروی نسبی امواج در مقابل پیش بینی شده به وسیله مدل ANN و رابطه تجربی با استفاده از داده های مس (1989) را نشان می دهد. مشاهده می شود که اکثر داده ها بر روی خط بهترین پیش بینی می باشند غیر از 2 داده که باعث شده شاخص پراکندگی برابر 13/96 حاصل گردد. این دو داده در همان منطقه انتقال توضیح داده شده قرار دارند، همانطور که مشاهده می نمایید شبکه عصبی توانسته به خوبی این نقص را برطرف گرداند و بالاروی امواج را پیش بینی نماید.

## 1-1-2- مدل سازی بالاروی امواج با استفاده از داده های وندرمیر و استم (1992)

کل داده های ثبت شده توسط این دو دانشمند 261 داده می باشد که در دو حالت نفوذپذیر و نفوذناپذیر به ثبت رسیدند. مانند مدل های پیشین در این بخش نیز از 70% داده ها که 183 داده می باشد به منظور آموزش و صحت سنجی و از 30% باقی مانده یعنی 78 داده به منظور تست شبکه استفاده گردیده است. از آنجایی که اطلاعات بدست آمده از نتایج آزمایشات وندرمیر و استم (1992) [3] کامل است، از 7 پارامتر به عنوان پارامتر ورودی استفاده گردیده است. که عبارتند از:

در مرحله مدل سازی با یک پارامتر ورودی، بهترین نتایج مربوط به پارامتر شاخص نوع شکست ( $\xi_{op}$ ) می باشد که تنها این پارامتر از مجموع 7 پارامتر توانست به عنوان یک پارامتر ورودی تفسیری نسبی از پدیده بالاروی امواج به عنوان پارامتری ورودی برای شبکه عصبی مصنوعی داشته باشد. در مرحله دوم زوج ورودی شاخص نوع شکست ( $\xi_{op}$ ) و نفوذپذیری ( $SP$ ) بهترین جواب را حاصل نمودند، پارامتر نفوذپذیری ( $SP$ ) که در مرحله اول با دقت بسیار پایین  $R=0.055$  و  $SI=22.13$  به تنهایی پیش بینی بالاروی امواج را نموده بود، زمانی که با پارامتر شاخص نوع شکست به عنوان 2 پارامتر ورودی به شبکه وارد می گردد توانست نتایج بهتری را نسبت به بهترین نتیجه مرحله قبل که دارای  $R=0.751$  بود رقم بزند و این مقدار را به  $R=0.861$  افزایش دهد، وندرمیر و استم (1992) [3] نیز نفوذپذیری را به عنوان یکی از مهمترین عوامل معرفی نمودند و در ارائه روابط تجربی از آن استفاده نمودند، البته این پارامتر به عنوان یک پارامتر در روابط وارد نگردید بلکه برای حالت نفوذپذیر با وجود روابط 3-8 و 3-9 رابطه 3-10 را به عنوان حداکثر مقدار بالاروی امواج برای حالت نفوذپذیر در نظر گرفتند.

مدل برتر مرحله سوم، شبکه عصبی با سه ورودی شاخص نوع شکست موج ( $\xi_{op}$ )، شیب موج شکن ( $cot\alpha$ ) و ارتفاع موج نسبی ( $H/h$ ) که نتایج پیش بینی بالاروی امواج نسبت به مرحله قبل بهبود یافته است.

مدل شبکه عصبی برتر حاصل در مرحله چهارم که با چهار پارامتر ورودی شاخص نوع شکست موج ( $\xi_{op}$ )، نفوذپذیری ( $SP$ )، شیب بستر ساحل ( $cot\alpha$ ) و ارتفاع موج نسبی ( $H/h$ ) مدل گردیده است، بهترین نتیجه این مدل سازی در مقایسه با کل 7 مرحله می باشد که پارمترهای آماری خطا  $R=0.917$  و  $SI=8.99$  را نتیجه داده است حال آنکه مقادیر پارامترهای آماری روابط تجربی وندرمییر و استم (1992)  $R=0.800$  و  $SI=14.35$  می باشد. از مجموع 21 مدل ساخته شده در مرحله 4، 15 مدل نتایجی بهتر از رابطه تجربی داشته اند.

تا مرحله چهار با افزایش پارامترهای بدون بعد به تعداد پارامترهای ورودی شبکه عصبی دقت شبکه افزایش و خطا کاهش می یافت، اما از این مرحله به بعد با افزایش تعداد پارامترها دقت نسبت به شبکه عصبی مدل شده با چهار پارامتر ورودی کاهش می یابد. ملاحظه می گردد که در مرحله 5 با افزودن پارامتر بی بعد اندازه نسبی دانه های لایه آرمور به ترکیب 4 پارامتر مرحله قبل که بهترین نتایج را داشت نه تنها باعث افزایش دقت شبکه و پیش بینی بهتر نشده است بلکه دقت شبکه را کاهش داده است، البته این کاهش زیاد نبوده و می توان گفت که نتایج تقریباً یکسان می باشند. در مرحله 6 که پارامتر فلاکس ممتنم موج ( $m$ ) نیز به مدل وارد گردیده است نتایج تغییر چندانی نمی کند. مرحله 7 مرحله ای است که تمام پارامترهای ورودی به شبکه وارد می گردد، به عبارتی شبکه دارای 7 پارامتر ورودی می باشد همانطور که در جدول 5-8 ملاحظه می گردد در این مرحله نسبت به مرحله قبل ضریب همبستگی 2 درصد کاهش و شاخص پراکندگی 7٪ افزایش می یابد.

شکل 5-6 برترین مدل های شبکه عصبی مصنوعی در مراحل هفت گانه در پیش بینی بالاروی امواج در منطقه آب شویی ساحلی به علاوه پیش بینی با روابط تجربی ارائه شده توسط وندر مییر و استم (1992) را نشان می دهد. در شکل 5-6 نتایج بهترین مدل ساخته شده جهت پیش بینی بالاروی امواج بر روی بستر نفوذپذیر آب شویی ساحلی با استفاده از داده های وندر مییر و استم (1992) نشان داده شده است که پراکندگی کمتر و دقت پیش بینی بالا می باشد. شکل 5-6 نتایج پیش بینی بالاروی امواج به وسیله روابط تجربی ارائه شده توسط وندر مییر و استم (1992) را نشان می دهد، ملاحظه می گردد که تعدادی از داده های دارای مقادیر پیش بینی شده بالاروی نسبی برابر 1/97 می باشند، این مقادیر مربوط به شیب نفوذپذیر می باشد که وندرمییر و استم (1992) مقدار حداکثر 1/97 را برای این شرایط تعیین نمودند. شکل 5-7 روند افزایش دقت شبکه با افزایش تعداد پارامترهای ورودی را نمایش می دهد که ملاحظه می شود در حالت 4 پارامتر ورودی بهترین نتیجه حاصل شده است.

### 1-1-3- مدل سازی نهایی بالاروی امواج بر روی شیب های نفوذپذیر

در این بخش داده های آزمایشگاهی آرنس و همبا<sup>1</sup> (1988) [4] که تعداد آنها 68 داده می باشد علاوه بر داده های وندرمییر و استم (1992) برای مدل سازی نهایی بالاروی امواج در شیب های نفوذپذیر استفاده می گردد. در تحقیق حاضر پارامترهای بی بعد ذیل شامل: شاخص نوع شکست موج ( $\xi_{op}$ )، میزان نفوذپذیری ( $SP$ )، شیب بستر ( $cot\alpha$ )، ارتفاع موج نسبی ( $H/h$ ) و پارامتر فلاکس ممتنم موج ( $m$ )، به عنوان پارامترهای بی بعد ورودی به مدل شبیه ساز شبکه عصبی مصنوعی استخراج شده است.

نتایج مدل سازی نهایی بالاروی امواج بر روی بستر نفوذپذیر با مدل شبکه عصبی مصنوعی در جدول 5-9 به صورت نزولی از بهترین نتیجه تا بدترین نتیجه مرتب و ارائه گردیده است. با افزودن داده های آزمایشگاهی آرنس و همبا<sup>1</sup> (1988) ملاحظه می گردد که همانند مدل سازی در بخش قبلی بر روی شیب های نفوذپذیر بهترین نتیجه با چهار پارامتر ورودی شاخص نوع شکست موج ( $\xi_{op}$ )، میزان نفوذپذیری ( $SP$ )، شیب بستر ( $cot\alpha$ )، ارتفاع موج نسبی ( $H/h$ ) حاصل می گردد. شکل 5-8 نتایج بهترین مدل شبکه عصبی مصنوعی در بخش و همچنین نتایج پیش بینی با روابط تجربی را نشان می دهد.

### 7- مراجع:

- [1] Ahrens JP. Irregular wave runup on smooth slopes. CETA No. 81-17. U.S. Army corps of engineers. Ft. Belvoir (VA): Coastal Engineering Research Center. 1981. 57

<sup>1</sup> Ahrens and Heimbaugh

<sup>2</sup> Ahrens and Heimbaugh

- [2] Mase, H. 1989. "Random Wave Runup Height on Gentle Slope," Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, Vol 115, No. 5, pp 649-661.
- [3] Van Oorschot, J. H. , and d'Angremond, K. (1968). "The effect of wave energy spectra on wave run-up." Proc. 11th Coast. Engrg. Conf. , Vol. 11, ASCE, New York, N. Y. , 886-900.
- [4] Kamphuis, J.W. , and Mohamed, M. , "Runup on Irregular Waves on Plane, Smooth Sloop," Journal of the Waterway, Port, Coastal, and Ocean Division, Vol, 104, No, WW2, may 1978.
- [5] Ahrens, J.P. , "Irregular Wave Runup, "Proceedings of the conference on Coastal Structures '79 ,American Society of Civil Engineers, Vol, 11, 1979, pp. 998-1019.
- [6] Van Der Meer, J.W., Stam, C.-J.M., 1992. Wave runup on smooth and rock slopes of coastal structures. Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, vol. 118, no. 5. American Society of Civil Engineers, pp. 534-550.
- [7] Burcharth HF, Hughes SA. Fundamentals of design. In: S. Hughes (editor.), Coastal Engineering Manual (CEM), Part VI. Design of coastal project elements. Engineer manual. Washington (DC): U.S. Army Corps of Engineers; 2002. 1110-2-1100 [Chapter VI-5].
- [8] Granthem, K.N., 1953. A model study of wave run-up on sloping structures, Technical Report, Series 3, Issue 348, Institute of Engineering Research, University of California, Berkeley, California.
- [9] Saville Jr., T., 1955. Laboratory data on wave run-up and overtopping on shore structure, Technical Memorandum No. 64, Beach Erosion Board, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, DC.
- [10] Ahrens, J. P., and Heinbaugh, M. S. 1988a. "Approximate Upper Limit of Irregular Wave Runup on Riprap," Technical Report CERC-88-5, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Coastal Engineering Research Center, Vicksburg, MS.
- [11] Van Der Meer, J.W., Stam, C.-J.M., 1992. Wave runup on smooth and rock slopes of coastal structures. Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, vol. 118, no. 5. American Society of Civil Engineers, pp. 534-550.
- [12] Losada, M. A., Gimenez-Curto, L. A., 1981. Flow characteristics on rough permeable slopes under wave action. Coastal Engineering. 4, 187-206.
- [13] Allsop, N. W. H., Hawkes, P. J., Jackson, F. A., Franco, L., 1985. Wave runup on steep slopes model tests under random waves. Hydraulic Research Wallingford. Report SR2.
- [14] Kingston K., Murphy J., 1996. Thematic report: Wave runup/rundown, MAST II report.
- [15] R.Bakhtyar, A.Yeganeh Bakhtiary, A. Ghaheri. Application of neuro-fuzzy approach in the prediction of run-up in swash zone.J Applied Ocean Research. 22 April 2008.
- [16] Erdik, T., et al., Artificial neural networks for predicting maximum wave runup on rubble Expert Systems with Applications (2008), doi:10.1016/j.eswa.2008.07.049.

[36] منہاج، ب (1382) "هوش محاسباتی، مبانی شبکه های عصبی"، انتشارات دانشگاه امیر کبیر، چاپ سوم

[37] البرزی، م. (1380) "آشنایی با شبکه های عصبی"، انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف .