



## مدل های پیش بینی برای برآورد گرادیان خروجی و زیر فشار تحت تأثیر فیلتر پایین دست

میثم نوری<sup>۱\*</sup>، فرزین سلماسی<sup>۲</sup>، جواد پارسا<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> گروه مهندسی آب، دانشگاه ارومیه، تبریز، ایران

<sup>۲</sup> گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

### تاریخچه داوری:

دریافت: ۱۳۹۷-۰۲-۲۸

بازنگری: ۱۳۹۷-۰۳-۲۸

پذیرش: ۱۳۹۷-۰۴-۲۵

ارائه آنلاین: ۱۳۹۷-۰۴-۳۱

### کلمات کلیدی:

فیلتر

گرادیان هیدرولیکی

توزیع زیر فشار

روش المان محدود

روش های هوش مصنوعی

**خلاصه:** در مطالعه در مطالعه حاضر تأثیر فیلتر واقع در پایین دست سازه های آبی بر کاهش مقادیر زیر فشار و گرادیان خروجی مورد بررسی قرار گرفت. تأثیر پارامترهای موثر فیلتر از جمله طول و فاصله از پایین دست سازه و همچنین بار آبی بالادست مورد بررسی واقع شد. نتایج نشان داد همواره با طرح فیلتر با نسبت  $\frac{L}{H}$  به میزان ۰/۰۵۷، مقدار زیر فشار به میزان ۶۰ درصد در پایین دست و به میزان ۱۰ درصد در بالادست کاهش خواهد یافت و تأثیر فیلتر بر کاهش مقادیر زیر فشار در قسمت های انتهایی کف سازه قابل توجه می باشد. با افزایش طول فیلتر همواره گرادیان خروجی کاهش پیدا می کند و با فاصله گرفتن از پایین دست سازه، میزان تأثیر فیلتر بر کاهش گرادیان افزایش پیدا می کند. تأثیر طول فیلتر بر کاهش گرادیان همانند زیر فشار، با طرح فیلتر با نسبت  $\frac{L}{H}$  برابر با ۰/۰۵۷ مناسب (۶۵ درصد کاهش) و قابل ملاحظه می باشد که با افزایش طول، گرادیان با شیب کمتری کاهش پیدا می کند. در آخر، از مدل رگرسیونی و مدل های هوش مصنوعی شامل: شبکه توابع پایه شعاعی (RBF)، شبکه چند لایه پیشخور (MLP) و ماشین بردار پشتیبان (SVM) برای برآورد زیر فشار و گرادیان خروجی با وجود فیلتر استفاده شد. با مقایسه این مدل ها با استفاده از معیارهای RMSE، MAE و  $R^2$ ، مدل رگرسیونی به عنوان مناسب ترین مدل و SVM به عنوان ضعیف ترین مدل در برآورد زیر فشار و گرادیان معرفی شد.

### ۱- مقدمه

مطالعات مختلفی برای بررسی این پدیده ها و افزایش پایداری سازه ها صورت گرفته است. یکی از مواردی که طراحان و مهندسين مشاور در طراحی های خود برای کاهش زیر فشار و گرادیان خود مورد استفاده قرار می دهند طراحی فیلتر در پایین دست سازه ها می باشد که با توجه به تسهیل جریان و نفوذپذیری بالای مصالح فیلتر که حدود ۱۶ تا ۲۵ برابر درصد نفوذپذیری خاک حفاظت شده می باشد [۱] پایداری سازه را در برابر پدیده های ذکر شده افزایش می دهد.

خلیلی شایان و امیری تکلدانی [۲] در مطالعه ای که به صورت عددی و آزمایشگاهی صورت گرفته است، تأثیر دیواره سپری، بلانکت و زهکش ها را جهت کاهش نیروی زیر فشار، دبی نشت و گرادیان خروجی در پی سازه ها مورد بررسی قرار داده اند. نتایج حاصل از تحقیق آن ها نشان داده است که بهترین مکان قرارگیری زهکش

سازه های هیدرولیکی به منظور کنترل جریان در رودخانه ها و همچنین توزیع آب برای استفاده در آبیاری مزارع احداث می گردند. اغلب این سازه ها بر روی پی های آبرفتی نفوذپذیر واقع می شوند که در پی آن ها بسته به نفوذپذیری خاک زیرین، نشت صورت می گیرد. نشت صورت گرفته با تجمع در زیر سازه موجب افزایش نیروی زیر فشار<sup>۱</sup>، گرادیان خروجی<sup>۲</sup> و هم چنین فرسایش داخلی<sup>۳</sup> در پی سازه می گردد. پدیده های ذکر شده به نوبه خود موجب تخریب سازه و کاهش پایداری سازه می شوند که با توجه به اهمیت موضوع،

- 1 Uplift force
- 2 Exit Gradient
- 3 Piping

\* نویسنده عهده دار مکاتبات: meysamnouri71@gmail.com



یک مزیت بزرگ است که برای پیش‌بینی روابط به مقادیر ورودی و خروجی داده‌ها نیاز ندارد [۸]. یکی از ویژگی‌های کلاسیک هوش مصنوعی مدلهایی‌اند که قادر به تجزیه و تحلیل پویایی یا تصادفی بودن متغیرهای ورودی برای پیش‌بینی نشت‌اند، پس نتایج بهتری از سایر روش‌ها (تجربی و مدل‌های فیزیکی) دارند. بسیاری از محققان روش‌های هوش مصنوعی را در سدهای خاکی اعتبار سنجی کرده‌اند. تایفو<sup>۷</sup> و همکاران [۹] جریان داخل سدی در لهستان را به روش المان محدود و شبکه عصبی بررسی کرده‌اند و نتایج شبکه عصبی را مناسب توصیف کرده‌اند. احمد و ستار<sup>۸</sup> [۱۰] از برنامه‌نویسی بیان ژن (GEP) برای پیش‌بینی شکست سد استفاده کرده‌اند و نتایج نشان داده است مدل توسعه یافته بیان ژن دارای نتایج مناسبی نسبت به مدل‌های مبتنی بر اساس رگرسیون می‌باشد. درن و مرت تولن<sup>۹</sup> [۱۱] پایداری شیب سدهای خاکی را در مواقع زلزله به روش شبکه عصبی مورد بررسی قرار داده‌اند. آن‌ها با بررسی اقسام مختلف شبکه عصبی، GRNN<sup>۱۰</sup> را بهترین روش برآورد پایداری شیب سدهای خاکی عنوان کرده‌اند.

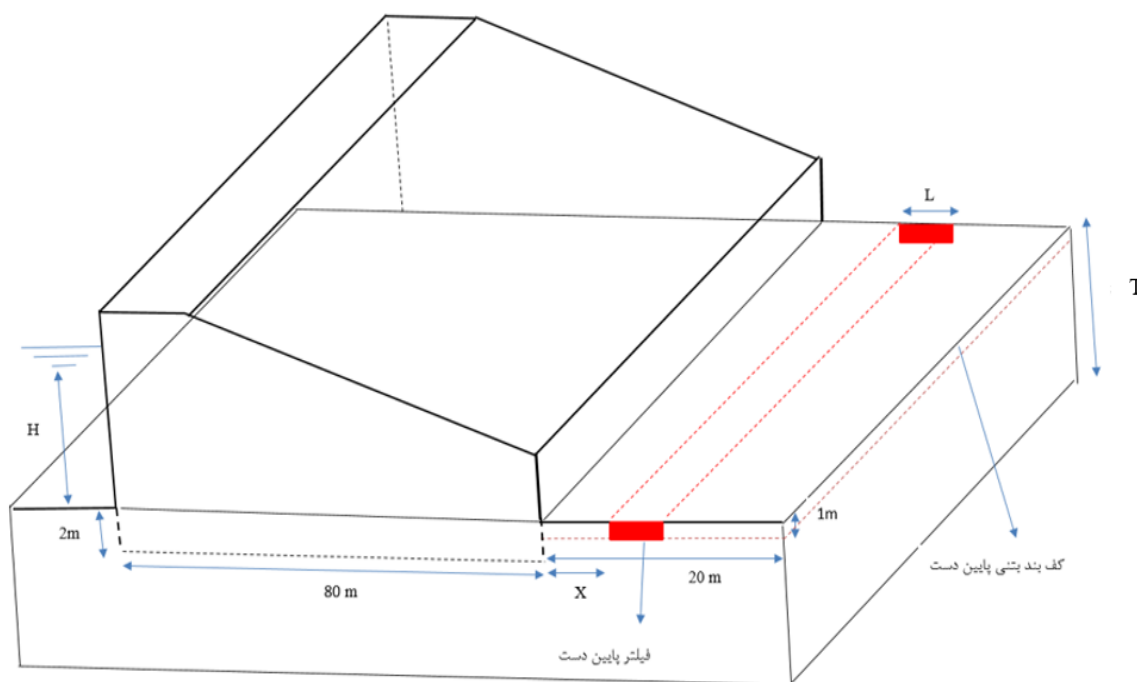
همان‌طور که در بخش قبلی ذکر شد مطالعاتی که در روی فیلتر و تاثیر آن بر زیرفشار و گرادیان خروجی صورت گرفته است، اغلب به صورت ترکیبی با پرده آب‌بند یا سازه‌های دیگر می‌باشد. در این مطالعه با بررسی فیلتر پایین دست که به صورت منفرد طراحی شده و به صورت ترکیبی با سازه‌های دیگر نمی‌باشد، اولاً سعی می‌شود که نحوه تاثیر فیلتر در موقعیت‌های مختلف بر زیر فشار و گرادیان خروجی مورد بررسی قرار گیرد و ثانیاً نقاط ضعف و قوت حاصل از تاثیر فیلتر نیز مشخص شود که با مشخص شدن کاستی‌های فیلتر، بتوان در باره طراحی سازه ترکیبی همراه با فیلتر به تصمیم‌گیری پرداخت. در نهایت با استفاده از خاصیت رگرسیونی و مدل‌های هوش مصنوعی SVM (ماشین بردار پشتیبان)، RBF (شبکه توابع پایه شعاعی)، MLP (شبکه‌های چند لایه پیشخور) سعی بر پیش‌بینی نتایج حاصل از مدل‌سازی فیلتر خواهد شد و با مقایسه نتایج مدل‌ها، مدلی که می‌تواند نتایج مناسبی در برآورد گرادیان خروجی و زیرفشار داشته باشد معرفی خواهد شد.

جهت کاهش زیرفشار، قرارگیری آن در یک سوم طول کف از ابتدای کف‌بند و بهترین موقعیت آن برای کاهش گرادیان، قرارگیری آن در دو سوم طول کف‌بند از ابتدای کف‌بند می‌باشد. امسی لقلین و احمد [۳] نشت در سواحل کانال‌ها را در صورت وجود فیلتر و شمع فولادی<sup>۱</sup> در کف کانال به صورت عددی مورد مطالعه قرار داده‌اند. مطالعات آن‌ها نشان داده است که قرارگیری فیلتر موجب کاهش ۷۲ درصدی زیرفشار خواهد شد. فاروغ و اسمیت<sup>۲</sup> [۴] نحوه طراحی سازه‌های آبی با وجود ۲ پرده آب‌بند و ۱ یا ۲ فیلتر بین آن‌ها را به صورت تحلیلی مورد بحث و مطالعه قرار داده‌اند. محققین مطالعه ذکر شده ضمن ارائه روابط تحلیلی برای محاسبه گرادیان و زیرفشار، وجود فیلتر با کم‌ترین طول را موجب کاهش زیرفشار و گرادیان خروجی بیان کرده‌اند. کمار و همکاران<sup>۳</sup> [۵] در مطالعه‌ای به بررسی تاثیر فیلتر واقع شده در بین دو پرده آب‌بند بر روی مقادیر زیرفشار و گرادیان خروجی پرداخته‌اند. نتایج حاصل از مطالعات کومار و همکاران نشان داده است که با تغییر موقعیت قرارگیری فیلتر در کف‌بند از بالادست به پایین‌دست، زیر فشار در پایین‌دست کاهش و در بالادست افزایش خواهد یافت. عبدالهادی و همکاران<sup>۴</sup> [۶] به منظور مطالعه پایداری سازه‌های آبی در برابر گرادیان خروجی و زیرفشار به بررسی تأثیر بلانکت رسی، پرده آب‌بند و ترانشه‌رسی پرداخته‌اند که بررسی‌های آن‌ها نشان داده است که ترانشه رسی<sup>۵</sup> کم‌ترین تأثیر و پرده آب‌بند بیش‌ترین تأثیر بر کاهش گرادیان و زیر فشار را دارا می‌باشد.

اخیراً تکنیک‌های هوش مصنوعی<sup>۶</sup> در مسائل مرتبط با آب استفاده شده‌اند. این تکنیک‌ها ساده اما قوی هستند و می‌توانند فرآیندهای غیر خطی پیچیده را به آسانی اداره کنند، به طور مثال در مبحث جریان در خاک اشباع و غیراشباع به جای حل معادلات دیفرانسیلی حاکم (معادله ریچاردز)، با داشتن سطح آب بالادست و پایین‌دست و همچنین دبی نشت می‌توان مدل را آموزش داد و بدون حل معادله ریچاردز، نشت را برآورد کرد [۷]. در مسائلی که به طور کامل غیر پارامتری هستند، تکنیک‌های هوش مصنوعی

- 1 Sheet pile
- 2 Farouk and smith
- 3 kumar
- 4 Abdulhadi
- 5 Clay Trench
- 6 Artificial Intelligent

- 7 Tayfu
- 8 Ahmed and Sattar
- 9 Derin and Tolon
- 10 General regression neural network



شکل ۱. سازه هیدرولیکی مورد مطالعه در این تحقیق  
 Fig. 1. The studied hydraulic structure in this study

جدول ۱. بازه تغییر پارامترهای موثر در مطالعه انجام شده

Table 1. The range of effective parameters changes in this study

$L$ (طول فیلتر) متر	۸-۵-۳-۲-۱
$X$ (فاصله از پایین دست) متر	۸-۵-۳-۲-۱
$H$ (هد آب بالادست) متر	۳۵-۲۵-۱۵

نظیر خاک و سنگ تهیه شده است و قادر است جریان را در دو حالت اشباع و غیر اشباع مدل کند. در نرم افزار SEEP/W امکان استفاده از تمام شرایط مرزی ممکن از قبیل هدکل، هد فشار، دبی و همچنین شرایط خروج آب از مدل در یک مسأله تراوش وجود دارد [۱۲].

#### ۲-۱- اعتبارسنجی روش المان محدود

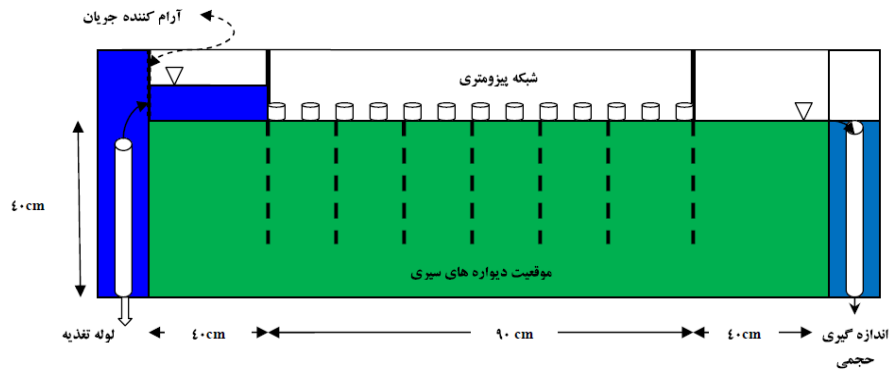
نرم افزار SEEP/W یکی از نرم افزارهای پرکاربرد در زمینه نشت محسوب می شود که مطالعات وسیعی توسط این نرم افزار صورت گرفته است که همین کاربردهای مختلف، نشان از موفقیت آمیز بودن نتایج حاصل از آن را دارد.

خلیلی شایان و امیری [۱۳]، در مطالعه ای مقدار نشت از پی

#### ۲- مواد و روش ها

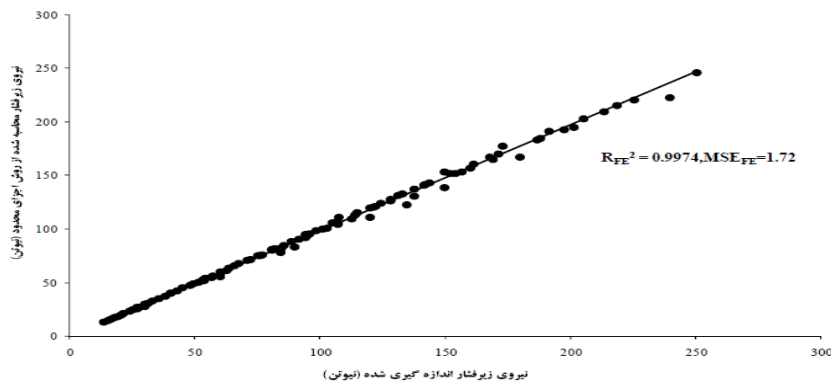
نمونه مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است. همان طور که در شکل ۱ مشخص است در این مطالعه مطابق با آنچه که در طراحی ها در واقعیت رخ می دهد در پایین دست سازه هیدرولیکی، کف بند بتنی به طول ۲۰ متر و ضخامت ۱ متر وجود دارد که این کف بند به نوبه خود می تواند برای کنترل جوشش در پایین دست و همچنین کاهش گرادیان خروجی مفید باشد در حالی که موجب افزایش تجمع آب زیر سازه نیز می شود که باعث افزایش نیروی زیر فشار خواهد شد. فیلتر پایین دست نیز به ضخامت ۱ متر در داخل کف بند بتنی جاسازی خواهد شد که  $X$  فاصله فیلتر از پایین دست،  $L$  طول فیلتر و  $T$  ضخامت پی آبرفتی می باشد. پارامترهای متغیر در جدول ۱ نشان داده شده اند.

ضریب نفوذپذیری برای خاک پی سازه  $3 \times 10^{-5}$  متر بر ثانیه و برای مصالح فیلتر ۲۰ برابر مصالح خاک حفاظت شده و  $0/0006$  متر بر ثانیه در نظر گرفته شد [۱]. برنامه کامپیوتری که مدل سازی ها در این مطالعه توسط آن صورت می گیرد نرم افزار SEEP/W 2012 می باشد. این نرم افزار، مبتنی بر روش المان محدود می باشد که برای مدل سازی تراوش و توزیع فشار آب منفذی در محیط های متخلخل



شکل ۲. نمایی از ابعاد مدل آزمایشگاهی انجام شده برای محاسبه توزیع زیر فشار [۱۳]

Fig.2. Schematic of the performed experimental model dimensions to calculate of uplift distribution



شکل ۳. مقایسه نتایج حاصل از روش المان محدود و مدل های آزمایشگاهی برای محاسبه توزیع زیر فشار [۱۳]

Fig. 3. Comparison of the Finite element method and experimental models results for calculation of uplift distribution

نتایج حاصل از نرم افزار SEEP/W و نتایج آزمایشگاهی را در برآورد توزیع زیر فشار مورد مقایسه قرار می دهد. همان طور که شکل ۳ نشان می دهد توزیع زیر فشار حاصل از مطالعات آزمایشگاهی با نتایج حاصل از نرم افزار المان محدود کاملاً با هم مطابقت دارند به طوری که میانگین مربعات خطا  $MSE = 1.72$  به دست آمده است، در نتیجه استفاده از آن در مطالعات می تواند نتایج قابل قبولی در بر داشته باشد. هم چنین سازمان مهندسی ارتش آمریکا (USBR) به عنوان یک سازمان معتبر در اصول طراحی سازه های آبی، در نشریات خود که برای راهنمایی طراحان ارائه می کند در سال ۲۰۱۴ در نشریه و دفترچه راهنمای خود مدل سازی ها را توسط نرم افزار SEEP/W انجام داده و استفاده از این نرم افزار را در مدل سازی ها توصیه کرده است [۱۴].

سدهای خاکی را با وجود پرده آب بند<sup>۱</sup> در پی سد به روش آزمایشگاهی مورد مطالعه قرار داده اند. عرض داخلی مدل برابر ۱۸ سانتی متر بوده و دیواره های سپری به عمق ۳۰، ۲۵، ۲۰، ۱۵، ۱۰، ۵ و ۲/۵ سانتی متر به طور منفرد در موقعیت های انتهای بالادست، انتهای پایین دست و در فاصله های ۰/۵۵، ۰/۷، ۰/۸۵، ۱/۰ و ۱/۱۵ متر از ابتدای فلوم جابه جا گردیده است. خاک مورد استفاده در فلوم از نوع ماسه ساحلی بوده است که بدترین نوع خاک برای پایداری سازه های آبی محسوب می شود. در مجموع به تعداد ۱۱۰ آزمایش در حالت های مختلف بار آبی بالادست، عمق و موقعیت دیواره های سپری انجام شده است. در هر مورد توزیع زیر فشار در طول کف بند با استفاده از قرائت بار آبی در شبکه پیزومتری موجود برداشت گردیده است. شکل ۲ محیط آزمایشگاهی خلیلی شایان و امیری را نشان می دهد. هم چنین شکل ۳

2 United States Bureau of Reclamation

1 Cutoff Wall

## ۲-۲- شبکه توابع پایه شعاعی (RBF)

پس از انتشار می‌گویند. نحوه‌ی عمل پرسپترون چند لایه‌ای مشابه پرسپترون تک لایه‌ای است. به این صورت که الگویی به شبکه عرضه می‌شود و خروجی آن محاسبه می‌گردد، مقایسه خروجی واقعی و خروجی مطلوب باعث می‌گردد که ضرایب وزنی شبکه تغییر یابد به طوری که در مراحل بعد خروجی صحیح‌تری حاصل شود. وقتی به شبکه آموزش ندیده‌ای الگویی عرضه شود خروجی‌های تصادفی تولید می‌کند. ابتدا باید تابع خطایی تعریف شود که تفاوت خروجی واقعی و خروجی مطلوب را نشان دهد [۱۶].

## ۲-۴- ماشین بردار پشتیبان (SVM)

اولین کاربرد این روش در مسائل آب توسط دی بایک<sup>۱</sup> و همکاران [۱۷] با شبیه‌سازی بارش-رواناب ارائه شد. ماشین بردار پشتیبان یک سیستم یادگیری کارآمد بر مبنای تئوری بهینه‌سازی مقید است که از اصل استقرای کمین سازی خطای ساختاری استفاده کرده و منجر به یک جواب بهینه کلی می‌گردد. در مدل رگرسیون بردار پشتیبان تابعی مرتبط با متغیر وابسته  $y$  که خود تابعی از چند متغیر مستقل  $x$  است، برآورد می‌شود. مشابه سایر مسائل رگرسیونی فرض می‌شود رابطه میان متغیرهای مستقل و وابسته با تابع جبری مانند  $f(x)$  به علاوه مقداری اغتشاش خطای مجاز ( $\varepsilon$ ) مشخص شود.

$$f(x) = W^T \cdot \phi(x) + b \quad (۲)$$

$$y = f(x) + noise \quad (۳)$$

چنانچه  $W$  بردار ضرایب،  $b$  ثابت مشخصه‌های تابع رگرسیونی،  $\phi(x)$  نیز تابع کرنل باشد، آنگاه هدف پیدا کردن فرم تابعی برای  $f(x)$  است. این مهم با واسنجی مدل ماشین بردار پشتیبان توسط مجموعه‌ای از نمونه‌ها (مجموعه واسنجی) محقق می‌شود. برای محاسبه  $W$  و  $b$  لازم است تابع خطا معادله ۴ در مدل ماشین بردار پشتیبان رگرسیونی با در نظر گرفتن شرایط مندرج (قیود) در معادله ۵ بهینه شود.

$$W^T \cdot \phi(x_i) + b - y_i \leq \varepsilon + \varepsilon_i^* \quad (۴)$$

$$\frac{1}{2} W^T \cdot w + c \sum_{i=1}^n \varepsilon_i + c \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^* y_i - W^T \cdot \phi(x_i) - b \leq \varepsilon + \varepsilon_i \quad (۵)$$

$$\varepsilon_i, \varepsilon_i^* \geq 0, i = 1, 2, \dots, N$$

شبکه RBF یک شبکه سه لایه است؛ که لایه ورودی یک بافر است. لایه دوم یا لایه مخفی، نگاشتی غیرخطی از فضای ورودی به فضایی با ابعاد بزرگتر است که امکان جداسازی خطی الگوها را میسر می‌سازد. لایه خروجی، مجموع وزنی ساده با خروجی خطی است. اگر هدف از RBF تقریب تابع باشد، این خروجی مناسب است. اما اگر هدف دسته بندی الگوها باشد، باید از تابع سیگموئید استفاده نمود. ویژگی منحصر به فرد شبکه RBF فرایند انجام شده در لایه مخفی است. اگر الگوها در فضای ورودی، خوشه‌ها را تشکیل دهند و اگر مرکز این خوشه‌ها شناخته شده باشد، فاصله تا مرکز خوشه قابل محاسبه است. سنجش مسافت به صورت غیرخطی انجام می‌شود. بنابراین، اگر الگو در ناحیه نزدیک مرکز خوشه باشد، مقدار آن نزدیک به یک خواهد بود. در اطراف این ناحیه، مقدار مذکور به شدت کاهش می‌یابد. این ناحیه اطراف مرکز خوشه متقارن است، به گونه‌ای که تابع غیرخطی شناخته شده که معمول‌ترین تابع آن، تابع گوسین است. مسافت از مرکز خوشه‌ها به صورت مسافت اقلیدسی محاسبه می‌گردد. وزن‌های ورودی به هر نرون در لایه مخفی، مختصات مرکز خوشه است. بنابراین، زمانی که یک نرون، الگوی ورودی نظیر  $X$  را دریافت می‌کند، مسافت از مرکز خوشه از رابطه ۱ به دست می‌آید:

$$r_j = \sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - w_{ij})^2} \quad (۱)$$

این شبکه در مقایسه با شبکه MLP به نرون بیشتری نیاز دارد؛ اما طراحی آن سریع‌تر از شبکه MLP می‌باشد. با تعداد نرون کافی می‌توان هر تابع منطقی را به طور تقریبی نشان داد.

## ۲-۳- شبکه چند لایه پیشخور (MLP)

شبکه‌های چند لایه پیشخور (Multi-layer perceptron) یکی از مهم‌ترین ساختارهای شبکه‌های عصبی مصنوعی می‌باشد. این شبکه‌ها شامل مجموعه‌ای از واحدهای حسی (نرون‌های پایه) می‌باشند که متشکل از یک لایه ورودی، یک یا چند لایه پنهان و یک لایه خروجی می‌باشند. سیگنال ورودی در خلال شبکه و در مسیری رو به جلو به صورت لایه به لایه منتشر می‌شود. این نوع شبکه‌ها معمولاً با عنوان پرسپترون چندلایه نامیده می‌شوند [۱۵]. قاعده فراگیری پرسپترون چند لایه را «قاعده کلی‌دیتا» یا قاعده

رگرسیون و مدل‌های هوشمند از شاخص‌های زیر استفاده شد. در روابط ارائه شده  $O_i$  و  $P_i$  مقادیر مشاهده شده و برآورد شده گرادیان و زیر فشار،  $N$  تعداد برآوردها،  $\bar{O}$  و  $\bar{P}$  میانگین مقادیر مشاهده شده و برآورد شده می‌باشد. مقادیر  $RMSE$  و  $MAE$  هرچه به صفر و مقدار  $R^2$  هرچه به ۱ نزدیک‌تر باشند نشان دهنده کارایی مدل می‌باشد.

(۷) جذر میانگین مجموع مربع خطاها:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}$$

(۸) میانگین قدر مطلق خطاها:

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |(P_i - O_i)|$$

(۹) ضریب تعیین:

$$R^2 = \frac{\left[ \sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O}_i)(P_i - \bar{P}_i) \right]^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O}_i)^2 \sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P}_i)^2}$$

### ۳- نتایج و بحث

برای بررسی نحوه تاثیر فیلتر پایین دست در توزیع زیرفشار و گرادیان خروجی، با استفاده از نرم‌افزار کامپیوتری به روش المان محدود، با تغییر پارامترهای موثر حدود ۱۰۰ مدل با شرایط مختلف مدل‌سازی شد. ۶۰٪ نتایج ورودی به شبکه عصبی برای آموزش، ۱۵٪ برای اعتبار سنجی و ۲۵٪ برای تست در نظر گرفته شد. در مدل هوشمند MLP برای بررسی بیشتر از دو تابع انتقالی Tan h و Axon و Linear Axon استفاده شد.

#### ۳-۱- تاثیر فیلتر بر توزیع زیر فشار

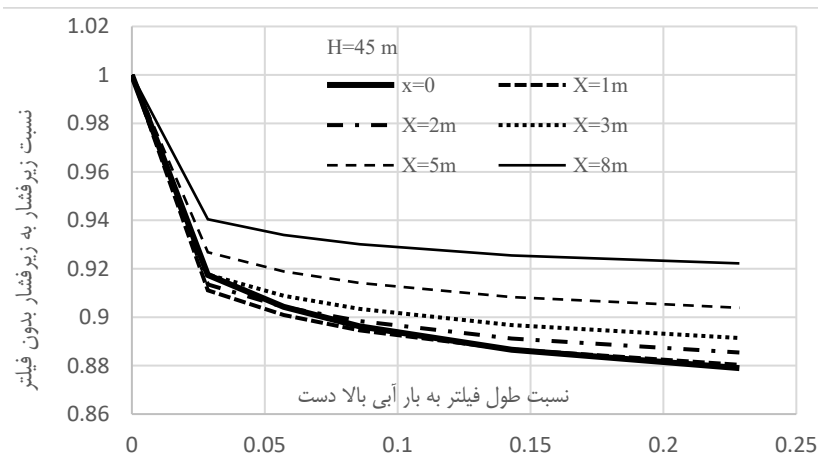
برای بررسی تاثیر فیلتر بر مقادیر زیرفشار و نحوه توزیع آن در موقعیت‌های مختلف کف سازه، طرح‌های مختلف از طول و موقعیت فیلتر اجرا شد. شکل ۴ تاثیر فاصله فیلتر از پایین دست و طول‌های مختلف فیلتر را بر مقدار زیرفشار نشان می‌دهد. تاثیر فیلتر بر روی مقادیر زیرفشار در شکل ۴ کاملاً مشخص است. همان‌طور که در شکل دیده می‌شود با ایجاد فیلتر، زیرفشار افت شدیدی نسبت به زمانی که فیلتر وجود ندارد پیدا می‌کند، پس طراحی فیلتر می‌تواند

در معادلات بالا  $C$  عددی صحیح و مثبت است که عامل تعیین جریمه در هنگام رخ دادن خطای واسنجی مدل است.  $\phi(x)$  تابع کرنل،  $N$  تعداد نمونه‌ها و دو مشخصه  $\varepsilon_i^*$  و  $\varepsilon_i$  متغیرهای کمبود هستند. در نهایت، تابع رگرسیون بردار پشتیبان را می‌توان به فرم زیر بازنویسی کرد:

$$f(x) = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot \phi(x_i^T) \cdot \phi(x) + b \quad (۶)$$

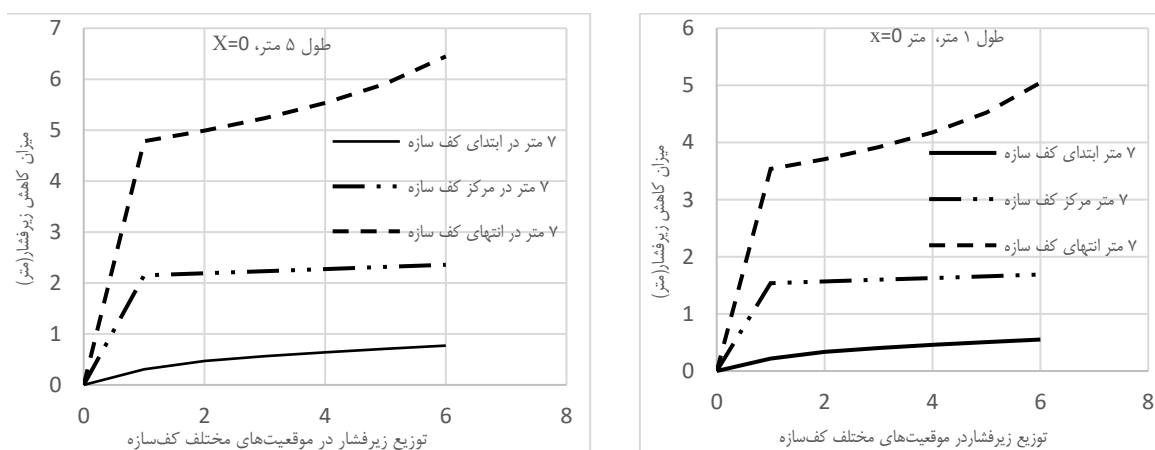
در معادله ۶،  $\alpha_i$  میانگین ضرایب لاگرانژی است. محاسبه  $\phi(x)$  در فضای مشخصه آن ممکن است بسیار پیچیده باشد. برای حل این مشکل روند معمول در مدل رگرسیون بردار پشتیبان انتخاب یک تابع کرنل است. ماشین بردار پشتیبان معمولاً با سه تابع کرنل  $RBF$ ، چند جمله‌ای درجه  $d$  و خطی مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱۸ و ۱۹].

در مطالعه ارائه شده به منظور محاسبه زیرفشار یا به عبارتی محاسبه نحوه توزیع زیرفشار، با توجه به طول سازه که ۸۰ متر در نظر گرفته شده است، در هر ۰/۵ متر از کف سازه مقادیر زیرفشار محاسبه شد و در کل طول سازه در ۱۶۰ نقطه مقادیر زیرفشار به دست آمد، تا به درستی در مورد توزیع زیرفشار و تاثیر فیلتر بر توزیع آن در نقاط مختلف بحث شود. همچنین مقادیر گرادیان خروجی نیز در انتهای کف بند بتنی که می‌تواند حوضچه آرامش سازه نیز باشد در سه نقطه به صورت میانگین محاسبه شد. در ارائه نتایج سعی شده است که از نسبت‌های بی بعد استفاده شود و گاهی نیز برای روشن شدن مطلب نسبت‌های دارای بعد استفاده شده است. در مدل‌سازی‌ها نیز از المان‌های نیم‌متری به شکل مربعی و مثلثی استفاده شد و همچنین بار آبی بالادست به همراه فشار صفر در پایین دست به عنوان شرط مرزی لحاظ شدند. در نهایت با استفاده از نتایج خروجی مدل‌ها که توسط مقایسه با کار آزمایشگاهی اعتبار سنجی شده‌اند، از مدل‌های هوش مصنوعی و خاصیت رگرسیونی برای برآورد مقدار زیرفشار و گرادیان در زیر سازه هیدرولیکی در صورت وجود فیلتر در پایین دست سازه استفاده شد. مدل‌های هوش مصنوعی که در این مطالعه، استفاده شده‌اند عبارت‌اند از  $MLP$ ،  $SVM$  و  $RBF$ . به عبارتی هرکدام از مدل‌ها و یا رابطه رگرسیونی که بتواند مقادیر خروجی نزدیک به خروجی مدل‌سازی‌ها ارائه کند می‌تواند در طراحی فیلتر پایین دست توسط مهندسين کاربرد داشته باشد. برای مقایسه نتایج رابطه



شکل ۴. تأثیر فاصله فیلتر از پایین دست سازه و طول فیلتر بر مقادیر زیر فشار

Fig. 4. Effect of filter distance from downstream and filter length on uplift force values



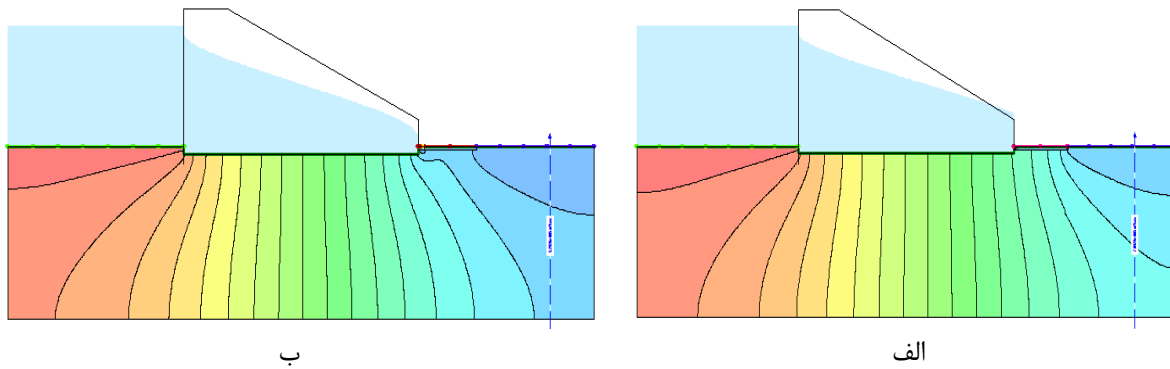
شکل ۵. نحوه کاهش زیر فشار تحت تأثیر فیلتر در موقعیت‌های مختلف کف سازه

Fig. 5. Uplift force reduction values under the influence of filter in different positions of structure floor

متری فیلتر بیش‌ترین کاهش زیر فشار را در پی دارد و در فیلترهای طولانی می‌توان فیلتر را بدون فاصله احداث کرد. به عبارتی وجود فیلتر با نفوذپذیری بالا نسبت به نفوذپذیری مصالح خاک حفاظت شده، می‌تواند آبی که در اثر نشت در زیر سازه جمع شده است را به سمت خروج از پی آبرفتی هدایت کند و با کاهش تجمع نشت در زیر سازه، موجب کاهش زیر فشار خواهد شد.

اما نکته بسیار مهم که باید به آن توجه شود نحوه تأثیر فیلتر بر زیر فشار در موقعیت‌های مختلف کف سازه می‌باشد. در واقع باید نحوه توزیع زیر فشار در طول سازه مشخص شود و پی‌بردن به این نکته مشخص می‌کند که آیا سازه مکمل دیگری هم‌چون پرده آب‌بند لازم است یا نه؟ با دقت بر شکل ۵ می‌توان به این نکته پی‌برد.

در کاهش زیر فشار بسیار تأثیرگذار باشد. علاوه بر این می‌توان گفت که با افزایش طول فیلتر همواره زیر فشار کاهش پیدا خواهد کرد که مقدار این کاهش تا طول ۲ متر ( $L/H=0.044$ ) کاملاً محسوس بوده و در طول‌های بیش‌تر از دو متر، زیر فشار به صورت تدریجی کاهش پیدا می‌کند. بنابراین می‌توان طول ۲ متر را به عنوان طول بهینه فیلتر عنوان کرد. از طرفی در رابطه با تأثیر فاصله فیلتر از پایین‌دست بر مقادیر زیر فشار، می‌توان عنوان کرد با افزایش فاصله فیلتر از پایین‌دست سازه، تأثیر فیلتر بر کاهش زیر فشار کم‌تر خواهد شد، به نحوی که شکل ۴ نشان می‌دهد در فاصله ۸ متری مقادیر زیر فشار بیش‌ترین مقدار خود را دارد. پس افزایش فاصله بیش از یک متر در طراحی فیلتر توصیه نمی‌شود. در طول‌های کم‌تر فیلتر، فاصله ۱



شکل ۶. الف: زیرفشار در مدل اجرا شده بدون فیلتر ب: زیرفشار در مدل اجرا شده با فیلتر  
 Fig. 6. (a) Uplift force in model without filter and (b) Uplift force in model with filter

داشت. لازم به ذکر است منظور از میزان کاهش زیرفشار در شکل ۵، اختلاف بین زیرفشار در نقاط و شرایط مشابه با فیلتر و بدون فیلتر است. شکل ۶ (الف و ب) نمونه‌ای از مدل‌های اجرا شده می‌باشند که تفاوت تأثیر فیلتر در ابتدا و انتهای کف سازه بر مقادیر زیرفشار را نشان می‌دهند و تاییدکننده نکات ذکر شده می‌باشند.

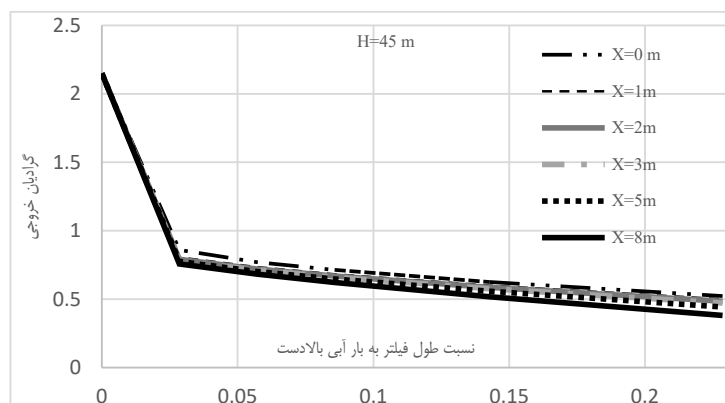
### ۳-۲- تأثیر فیلتر پایین دست سازه بر مقادیر گرادیان خروجی

با اشاره به این که در اکثر طرح‌های اجرا شده واقعی، در پایین دست سازه‌ها کف‌بند بتنی برای حفاظت سازه طراحی می‌شود، در این مطالعه نیز همانند آنچه که در واقعیت موجود است سازه طراحی شده دارای کف‌بندی به طول ۲۰ متر در پایین دست می‌باشد. باید توجه شود آنچه که در این مطالعه به عنوان کف‌بند از آن یاد می‌شود می‌تواند حوضچه آرامش سازه باشد که پایداری آن نیز بسیار مهم می‌باشد. وجود این کف‌بند یا حوضچه آرامش سازه، گرادیان خروجی انتهای سازه را کنترل کرده و سازه از نظر گرادیان و نیروی موثر آن پایدار می‌باشد. اما گرادیان خروجی در انتهای کف بند یا حوضچه آرامش نیز باید کنترل شود که در این مطالعه برای بررسی تأثیر فیلتر پایین دست سازه بر گرادیان خروجی، گرادیان خروجی در سه گره عمودی در انتهای کف بند بتنی محاسبه شد و در محاسبات و تحلیل‌ها میانگین گرادیان این سه نقطه لحاظ شد. شکل ۷ چگونگی تأثیر فیلتر بر گرادیان خروجی را نشان می‌دهد.

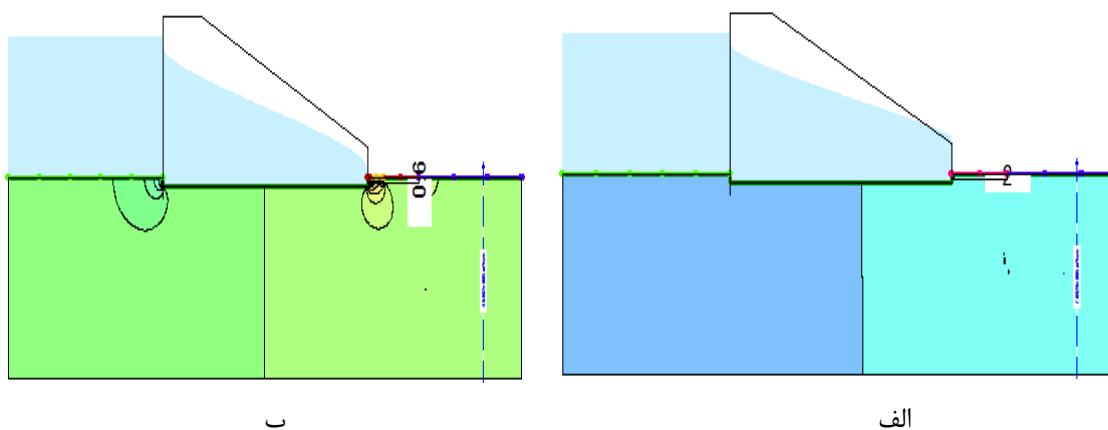
با توجه به شکل ۷، طراحی فیلتر حتی با کم‌ترین طول، گرادیان را در مقایسه با نمونه بدون فیلتر به شدت کاهش می‌دهد. همان‌طور که در شکل مشخص است با افزایش طول فیلتر همواره مقدار گرادیان

همان‌طور که شکل ۵ نشان می‌دهد فیلتر با کم‌ترین طول تأثیر بسزایی در کاهش زیرفشار دارد که در طول‌های بیش‌تر، در ابتدای کف و مرکز کف میزان کاهش به یک نسبت ثابتی ادامه پیدا می‌کند، ولی در قسمت انتهایی سازه هرچه که به انتها نزدیک می‌شویم مقدار کاهش زیرفشار بیش‌تر می‌شود. به عبارتی طراحی فیلتر پایین دست هرچند زیرفشار در کل طول سازه را کاهش می‌دهد، اما در ابتدای کف سازه و مرکز کف سازه میزان کاهش زیر فشار خیلی کم‌تر از میزان کاهش زیر فشار در انتهای سازه است و هرچه از ابتدای کف سازه به سمت انتهای سازه نزدیک می‌شویم میزان تأثیر فیلتر قابل ملاحظه می‌شود. هم‌چنین با توجه به شکل ۵ نکته بسیار مهم دیگری که می‌توان به آن اشاره کرد، این است که با افزایش طول فیلتر میزان کاهش زیرفشار در ابتدای سازه تغییر قابل ملاحظه‌ای ندارد. در حالی که افزایش طول فیلتر، موجب کاهش نسبتاً قابل ملاحظه‌ای از مقادیر زیرفشار در مرکز کف سازه و موجب کاهش نسبتاً زیادی از مقادیر زیرفشار در انتهای کف سازه می‌شود. علت این امر را می‌توان اینگونه عنوان کرد که فیلتر با نفوذپذیری مشخص قادر به این نخواهد بود که مقدار نشت تجمع یافته در فواصل دور در بالادست را به سمت خروج از پایین دست هدایت کند و تأثیر آن در تخلیه نشت در فواصل نزدیک آن خواهد بود، بنابراین این می‌توان بیان داشت در حالی که تأثیر فیلتر بر کاهش زیرفشار در پایین دست سازه می‌تواند پایداری سازه را تضمین کند اما در بالادست نمی‌توان با اطمینان از ایجاد پایداری توسط فیلتر بحث کرد. پس اگر قرار بر طراحی ترکیبی فیلتر با سازه دیگر باشد، با توجه به مطالعات صورت گرفته طراحی پرده آب بند در بالادست سازه به همراه فیلتر پایین دست نتایج مناسبی در بر خواهد





شکل ۷. تاثیر فاصله فیلتر از پایین دست و طول فیلتر بر گرادیان خروجی  
 Fig. 7. Effect of filter distance from downstream and filter length on exit hydraulic gradient values



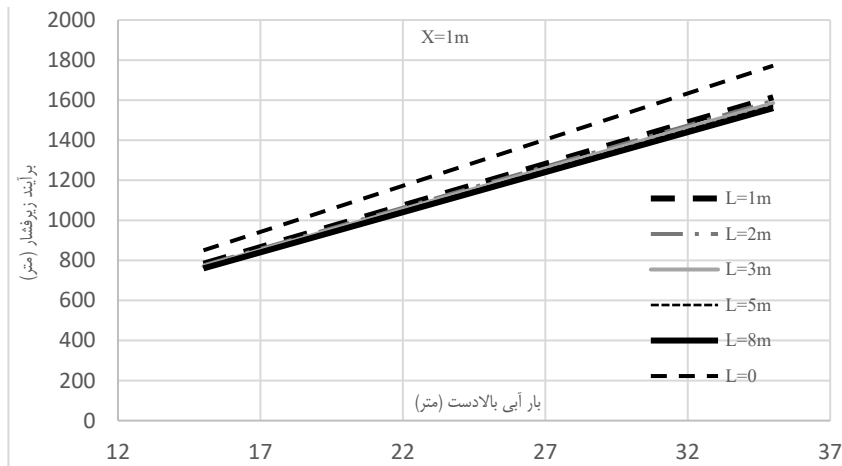
شکل ۸. الف: گرادیان خروجی در مدل اجرا شده بدون فیلتر ب: گرادیان خروجی در مدل اجرا شده با فیلتر به طول ۲ متر در فاصله ۲ متر از پایین دست  
 Fig. 8. (a) Exit hydraulic gradient in model without filter and (b) Exit hydraulic gradient in model with 2 m filter located at a distance of 2 m from downstream

است. به عبارتی در طراحی‌ها باید دقت شود که تاثیر فیلتر بر هر دو عامل مناسب باشد. شکل ۸ نیز نمونه‌ای از مدل‌های اجرا شده را نشان می‌دهد که در آن تاثیر فیلتر بر گرادیان خروجی نشان داده شده است، به طوری که در اشکال، گرادیان با برچسبی در انتهای کف بند مشخص شده است.

### ۳-۳- تاثیر هد آب بر عملکرد فیلتر پایین دست در کاهش گرادیان و زیر فشار

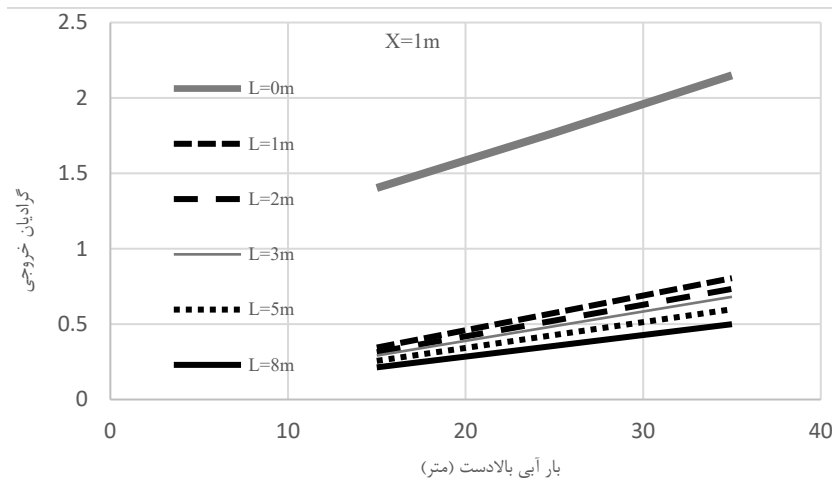
یکی از مهم‌ترین عواملی که بر کارکرد سازه‌ها تاثیر می‌گذارد هد آب بالادست سازه‌های هیدرولیکی می‌باشد. در واقع باید اطلاعات دقیقی درباره نحوه اثر هد آب بر گرادیان، زیر فشار و هم چنین نحوه تاثیر فیلتر بر کاهش آن‌ها در اختیار باشد که در شکل ۹ تاثیر هد آب

خروجی کاهش پیدا می‌کند، به نحوی که تا طول ۲ متر میزان کاهش کاملاً محسوس بوده و با شیب تندی اتفاق می‌افتد. اما با افزایش طول به بیش از ۲ متر، هرچند همواره با کاهش گرادیان رو به رو هستیم اما میزان این کاهش قابل توجه نیست. نکته دیگری که می‌توان با توجه به شکل به آن اشاره کرد این است که هر چند افزایش فاصله فیلتر تاثیر چندانی بر کاهش گرادیان خروجی ندارد ولی می‌توان عنوان کرد با افزایش فاصله فیلتر از پایین دست همواره گرادیان خروجی کاهش می‌یابد (عکس توزیع زیر فشار) به طوری که کم‌ترین مقدار گرادیان خروجی را با وجود فیلتر در فاصله ۸ متری شاهد هستیم. باید دقت نمود که هرچند با افزایش فاصله، گرادیان کم می‌شود اما در طول‌های کم فیلتر پایین دست که مقادیر زیر فشار کاهش مناسبی دارد (مانند طول ۱ و ۲ متر) توزیع گرادیان در فاصله‌های مختلف تقریباً یکسان



شکل ۹. تأثیر هد آب بر عملکرد فیلتر در کاهش مقادیر زیر فشار

Fig. 9. Effect of water level on the performance of filter in uplift force reduction



شکل ۱۰. تأثیر هد آب بر عملکرد فیلتر در کاهش مقادیر گرادیان خروجی

Fig. 10. Effect of water level on the performance of filter in exit hydraulic gradient reduction

فیلتر گرادیان خروجی در هر سه هد مورد مطالعه، بیش تر از ۱ بوده و به عبارتی سازه ناپایدار خواهد بود که امکان تخریب آن وجود دارد. ولی با ایجاد فیلتر، گرادیان خروجی به شکل قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد و مقدار آن به کم تر از ۱ می‌رسد. همانطور که در شکل ۱۰ مشخص است با افزایش هد آب گرادیان خروجی با شیب زیادی افزایش پیدا می‌کند که وجود فیلتر از شیب افزایش گرادیان می‌کاهد. در مقادیر هد کم، تاثیر طول‌های مختلف تقریباً یکسان خواهد بود، اما در هد آب بیش تر، افزایش طول فیلتر موثر تر خواهد بود به نحوی که در هد ۴۵ متر، با افزایش طول مقادیر گرادیان خروجی همواره کاهش خواهد یافت که میزان این کاهش به ازای هر متر افزایش

بر مقادیر زیر فشار نشان داده شده است. با توجه به شکل ۹ مطابق انتظار مشاهده می‌شود که همواره با افزایش هد آب، زیر فشار با شیب تندی افزایش می‌یابد. همان طور که اشاره شد بیش ترین تاثیر را بر کاهش زیر فشار، فیلتر با طول ۱ و ۲ متر دارد و افزایش طول بیش از آن تاثیر قابل ملاحظه‌ای ندارد. با افزایش هد آب تاثیر فیلتر بر کاهش زیر فشار افزایش می‌یابد به نحوی که در هد ۴۵ متر با وجود فیلتر، میزان کاهش زیر فشار در مقایسه با مدل بدون فیلتر بیش تر از میزان کاهش آن در هد ۱۵ متری است.

شکل ۱۰ نیز تأثیر هد آب بر عملکرد فیلتر در کاهش مقادیر گرادیان خروجی را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود در مدل بدون

جدول ۲. تاثیر فیلتر در کاهش زیر فشار با افزایش با آبی بالادست

Table 2. Effect of upstream water level increase on the performance of filter in uplift force reduction

موقعیت نقاط	زیر فشار بدون فیلتر (B) (متر)	زیر فشار با فیلتر (A) (متر)	B-A (متر)	زیر فشار بدون فیلتر (C) (متر)	زیر فشار با فیلتر (D) (متر)	C-D (متر)	زیر فشار بدون فیلتر (E) (متر)	زیر فشار با فیلتر (F) (متر)	E-F (متر)
	هد ۱۵ متر (L=X=1)			هد ۲۵ متر (L=X=1)			هد ۳۵ متر (L=X=1)		
۷ متر ابتدایی کف سازه	۱۶/۱۰۱	۱۶	۰/۰۹۹	۲۵/۵۰۳	۲۵/۳۳۵	۰/۱۶۷	۳۴/۹۰۶	۳۴/۶۶۹	۰/۲۳۶
	۱۵/۶۱۷	۱۵/۴۶۳	۰/۱۵۳	۲۴/۶۹۷	۲۴/۴۳۹	۰/۲۵۸	۳۴/۷۷۸	۳۳/۴۱۴	۰/۳۶۳
	۱۵/۳۳۹	۱۵/۱۵۴	۰/۱۸۴	۲۴/۲۳۴	۲۳/۹۲۷	۰/۳۱	۳۳/۱۳۱	۳۲/۶۹۴	۰/۴۳۶
	۱۵/۱۱۲	۱۴/۹۰۱	۰/۲۱۰	۲۳/۸۵۵	۲۳/۵۰۳	۰/۳۵۲	۳۲/۶۰۱	۳۲/۱۰۴	۰/۴۹۶
	۱۴/۹۱۱	۱۴/۶۷۸	۰/۲۳۲	۲۳/۵۲۱	۲۳/۱۳۱	۰/۳۹	۳۲/۱۳۴	۳۱/۵۸۴	۰/۵۴۹
	۱۴/۷۲۸	۱۴/۴۷۵	۰/۲۵۳	۲۳/۲۱۷	۲۲/۷۹۲	۰/۴۲۴	۳۱/۷۰۸	۳۱/۱۰۹	۰/۵۹۸
	۱۴/۵۵۸	۱۴/۲۸۶	۰/۲۷۲	۲۲/۹۳۴	۲۲/۴۷۷	۰/۴۵۶	۳۱/۳۱۱	۳۰/۶۶۸	۰/۶۴۳

جدول ۳. مقایسه مدل های استفاده شده برای برآورد زیر فشار

Table 3. Comparison of the used models for estimation of uplift force

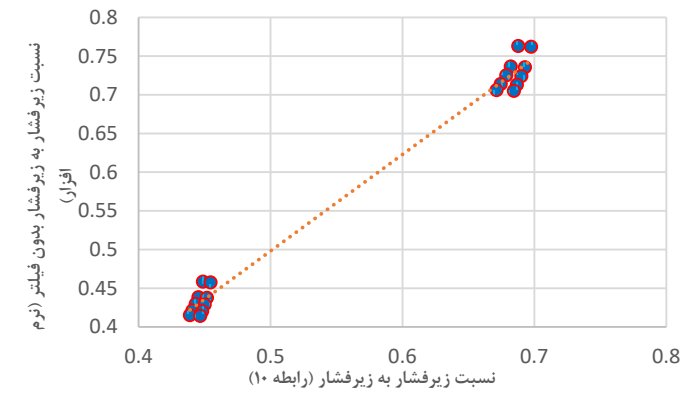
مدل	R <sup>2</sup>	RMSE	MAE
رابطه رگرسیونی	۰/۹۹۱	۰/۰۳۵	۰/۰۴۵
MLP- Linear Axon	۰/۸۷۱	۰/۱۳۲	۰/۱۲۵
MLP- Tan h Axon	۰/۹۹۰	۰/۰۵۶	۰/۰۴۵
SVM	۰/۴۱۹	۰/۱۸۲	۰/۱۵۱
RBF	۰/۴۴۳	۰/۲۸۲	۰/۲۶۶

نظر گرفته شدند. هم چنین در مدل MLP برای بررسی بیش تر از دو تابع انتقالی Tan h Axon و Linear Axon استفاده شد. رابطه رگرسیونی که برای برآورد زیر فشار ارائه شد به صورت رابطه ۱۰ می باشد. جدول ۳ با استفاده از معیارهای RMSE، MAE و R<sup>2</sup> مدل های مورد استفاده برای برآورد زیر فشار را مورد مقایسه قرار می دهد. شکل ۱۱ نیز مقایسه نتایج مدل ها را به صورت ارائه نمودارهایی نشان می دهد.

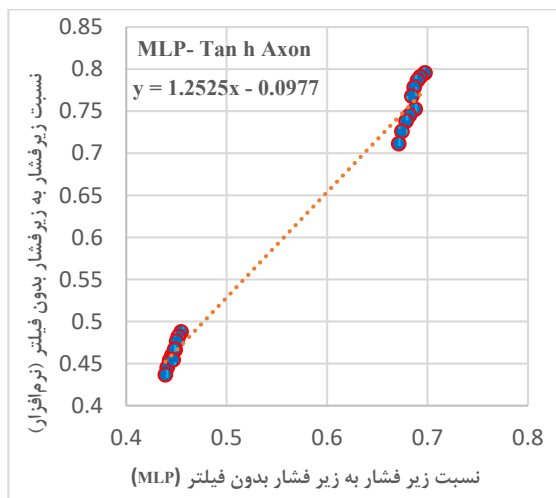
در طول فیلتر قابل ملاحظه خواهد بود (بر خلاف هد آب ۱۵ متر). در جدول ۲ نیز سعی شده است تغییر میزان تاثیر فیلتر بر کاهش زیر فشار، با افزایش هد آب نشان داده شود. جدول ۲ بیان گر این نکته است که با افزایش هد آب تأثیر فیلتر در کاهش مقدار زیر فشار بیش تر خواهد شد. به عبارتی با افزایش هد آب، نیروی زیر فشار در کف سازه همان طور که در جدول مشخص است افزایش می یابد و به سبب این افزایش کارایی فیلتر در کاهش زیر فشار نیز افزایش می یابد، هر چند که افزایش کارایی فیلتر، افزایش زیر فشار ناشی از بیش تر شدن هد آب را جبران نخواهد کرد. هم چنین مشاهده می شود با پیش روی به سمت پایین دست میزان کاهش زیر فشار افزایش خواهد یافت.

### ۳-۴- برآورد زیر فشار و گرادیان با وجود فیلتر توسط رگرسیون و مدل های هوش مصنوعی

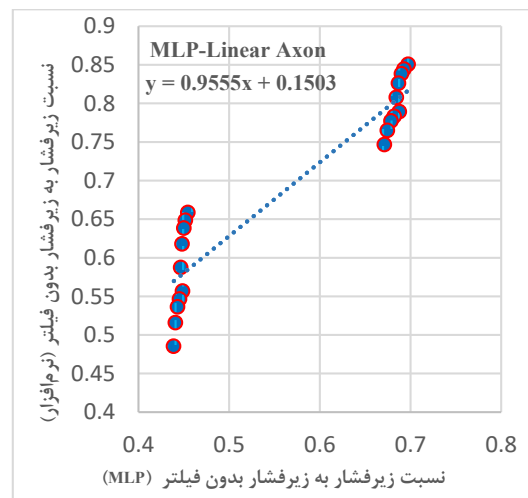
برای برآورد گرادیان خروجی و زیر فشار از خاصیت رگرسیونی و هم چنین مدل های هوشمند استفاده شد. ۶۰٪ ورودی ها به عنوان آموزش، ۲۵٪ به عنوان تست و ۱۵٪ به عنوان اعتبار سنجی در



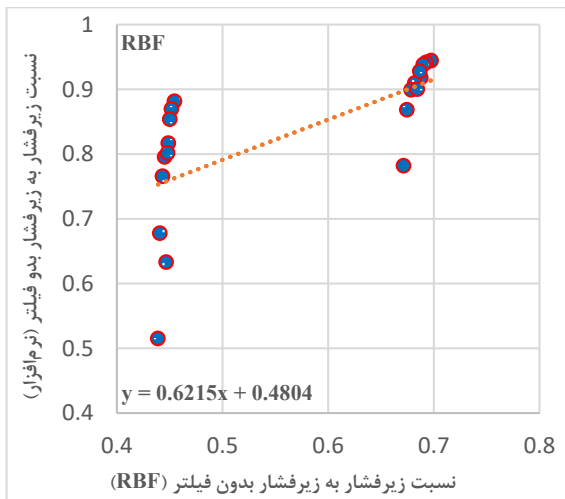
الف: مقایسه نتایج نرم افزار و نتایج رابطه (۱۰) در برآورد زیر فشار



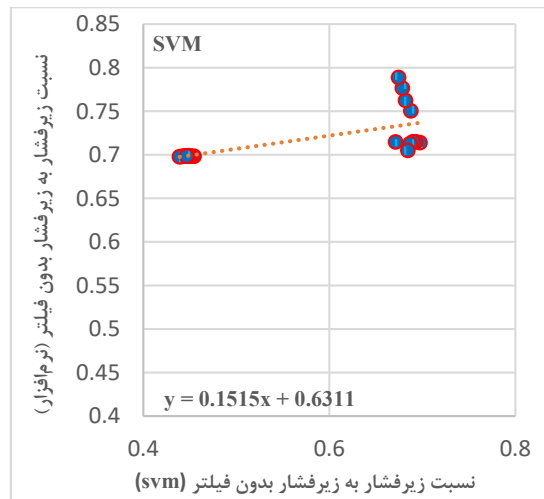
پ: مقایسه نتایج نرم افزار و نتایج مدل MLP- Tan h AXON در برآورد زیر فشار



ب: مقایسه نتایج نرم افزار و نتایج مدل MLP- Linear Axon در برآورد زیر فشار



ت: مقایسه نتایج نرم افزار و نتایج مدل RBF در برآورد زیر فشار



ت: مقایسه نتایج نرم افزار و نتایج مدل SVM در برآورد زیر فشار

شکل ۱۱. مقایسه نتایج نرم افزار و مدل های بکار برده شده در برآورد زیر فشار

Fig. 11. Comparison of software results and the used models results in estimation of uplift force: (a) Comparison of software results and Eq. 10 results in estimation of uplift force ; (b ) Comparison of software results and MLP – Linear Axon model results in estimation of uplift; (c ) Comparison of software results and MLP – Tan h Axon model results in estimation of uplift; (d) Comparison of software results and SVM model results in estimation of uplift; (e) Comparison of software results and RBF model results in estimation of uplift

جدول ۴. مقایسه مدل‌های استفاده شده برای برآورد گرادیان خروجی

Table 4. Comparison of the used models for estimation of exit hydraulic gradient

مدل	R <sup>2</sup>	RMSE	MAE
رابطه رگرسیونی	۰/۹۳۱	۰/۰۴۷۸	۰/۰۴۱
MLP- Linear Axon	۰/۸۳۵	۰/۰۹۰	۰/۰۶۹
MLP- Tan h Axon	۰/۹۱۸	۰/۰۵۶	۰/۰۴۵
SVM	۰/۱۰۶	۰/۱۶۱	۰/۱۳۴
RBF	۰/۸۹۶	۰/۰۵۲	۰/۰۴۴

و این مطالعه استفاده از رابطه رگرسیونی را در طراحی فیلتر برای کنترل گرادیان و زیرفشار در سازه‌های هیدرولیکی پیشنهاد می‌کند. علاوه بر موارد ذکر شده، آن چه که مشخص است مدل ماشین بردار پشتیبان (SVM) هم در بخش گرادیان خروجی و هم در بخش زیرفشار ضعیف‌ترین نتایج را به دنبال داشته است. اما مدل شبکه توابع پایه شعاعی علی رقم نتایج ضعیف در برآورد زیرفشار، در برآورد گرادیان خروجی تطابق مناسبی را ارائه داده است.

علت پراکندگی نقاط در شکل ۱۱، استفاده از سه بار آبی مختلف در مدل سازی‌ها می‌باشد و با توجه به این که زیرفشار تحت تاثیر مستقیم بار آبی بالادست می‌باشد، این مورد در شکل ۱۱ به خوبی نمایان است. البته در بخش تست مدل‌سازی توسط شبکه عصبی، مقادیر دو بار آبی در قسمت تست قرار گرفته است که به همین علت نقاط در دو ناحیه خاص پراکنده شده اند.

#### ۴- نتیجه‌گیری

در مطالعه حاضر با تغییر پارامترهای موثر فیلتر واقع در پایین دست سازه که عبارت‌اند از طول فیلتر و فاصله فیلتر از پایین دست، نحوه تاثیر فیلتر بر توزیع زیرفشار و گرادیان بررسی شد. با بررسی تاثیر طول فیلتر بر مقادیر زیرفشار، مشخص شد که فیلتر با کم‌ترین طول افت شدیدی در مقدار زیرفشار را در پی دارد و مناسب‌ترین طول فیلتر برای کاهش زیرفشار، استفاده از نسبت طول فیلتر به هد آب به اندازه ۰/۰۵۷ خواهد بود. هرچند که با افزایش طول همواره زیرفشار کاهش می‌یابد اما طول‌های بیش‌تر به سبب تاثیر کم‌تر، از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه نخواهد بود. همچنین با بررسی فاصله فیلتر و نحوه تاثیر آن، مشخص شد با افزایش فاصله فیلتر، میزان

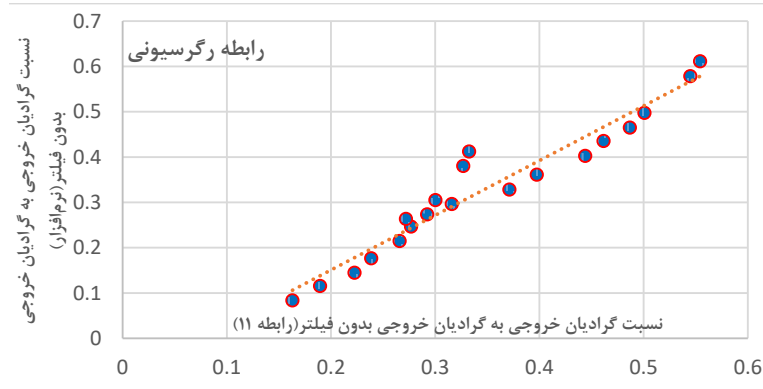
$$\frac{Uplift}{Uplift(withoutfilter)} = (X/H)^{-0.002} + (0.15)(L/H)^{-0.538} + (-0.139)(T/H)^{1.226} \quad (10)$$

با توجه به شکل ۱۱ و جدول ۳ می‌توان اینگونه بیان کرد که استفاده از خاصیت رگرسیونی و رابطه رگرسیونی ارائه شده، نزدیک‌ترین نتایج را به نتایج نرم‌افزار دارد و در طراحی‌ها می‌توان از رابطه رگرسیونی برای طرح فیلتری که موجب کم‌ترین زیرفشار در سازه شود استفاده کرد. مدل‌های ماشین بردار پشتیبان و شبکه توابع پایه شعاعی حاوی نتایج مناسبی در برآورد زیرفشار نیستند. هم چنین با استفاده از دو تابع انتقالی مختلف در مدل MLP، نتایج ارائه شده در جدول ۳ و شکل ۱۱، نشان دهنده این موضوع است که استفاده از تابع انتقال Tan h Axon نتایج بهتری در مقایسه با استفاده از تابع انتقال Linear Axon دارد، به طوری که استفاده از این تابع انتقالی تقریباً مطابق با نتایج رابطه رگرسیونی می‌باشد.

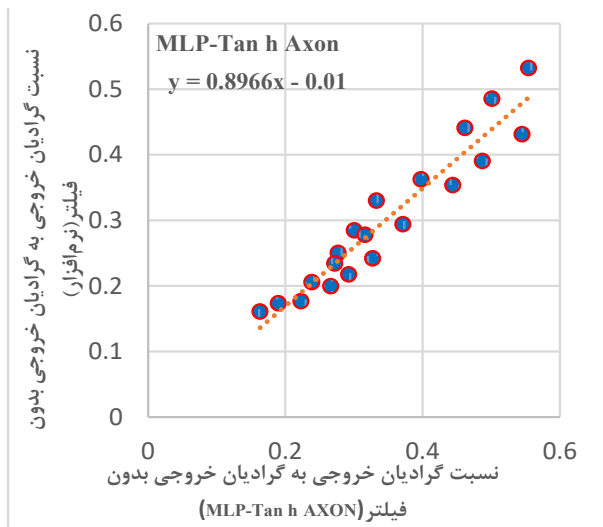
در رابطه با گرادیان خروجی و برآورد مقادیر گرادیان در صورت طرح فیلتر، جدول ۴ و شکل ۱۲ برای مقایسه مدل‌های بررسی شده ارائه شده است. رابطه رگرسیونی برای محاسبه گرادیان خروجی در صورت وجود فیلتر، به صورت رابطه ۱۱ می‌باشد.

$$ExitGradient = (L/H)^{-0.117} + (X/H)^{-0.064} + (-0.007)(T/H)^{2.316} - 1.92 \quad (11)$$

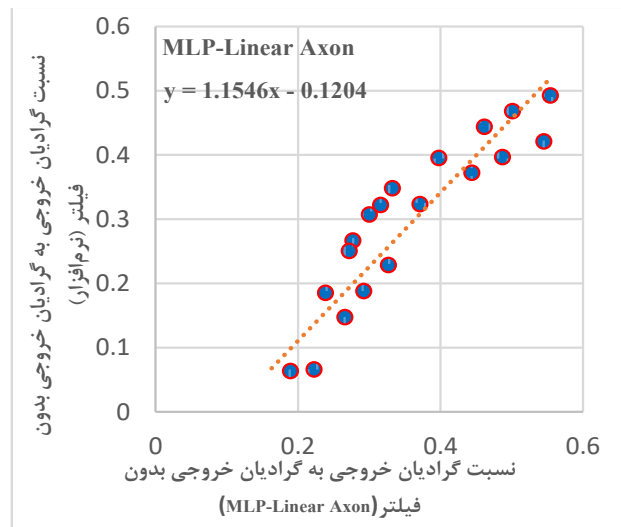
شکل ۱۲ و جدول ۴ بیان‌گر دقت بالای مدل رگرسیونی و MLP- Linear Axon در برآورد مقادیر گرادیان خروجی می‌باشد که در برآورد زیرفشار نیز این دو مدل نتایج مشابهی ارائه دادند. البته نتایج حاصل از رابطه رگرسیونی تطابق بسیار خوبی با نتایج نرم‌افزار دارد



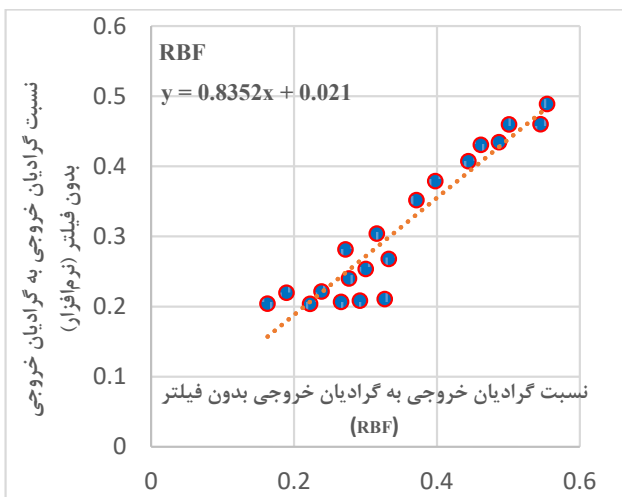
الف: مقایسه نتایج نرم افزار و نتایج رابطه (۱۱) در برآورد گرادیان خروجی



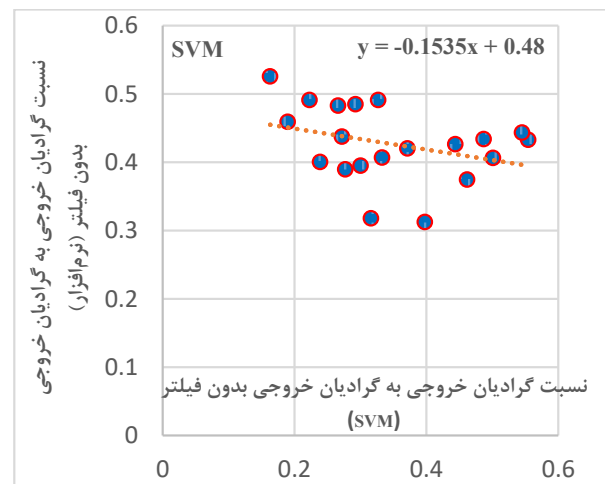
پ: مقایسه نتایج نرم افزار و نتایج مدل MLP- Tan h AXON در برآورد گرادیان خروجی



ب: مقایسه نتایج نرم افزار و نتایج مدل MLP- Linear Axon در برآورد گرادیان خروجی



ت: مقایسه نتایج نرم افزار و نتایج مدل RBF در برآورد گرادیان خروجی



ث: مقایسه نتایج نرم افزار و نتایج مدل SVM در برآورد گرادیان خروجی

شکل ۱۲. مقایسه نتایج نرم افزار و مدل های بکار برده شده در برآورد گرادیان خروجی

Fig. 12. Comparison of software results and the used models results in estimation of exit hydraulic gradient: (a) Comparison of software results and Eq. 11 results in estimation of exit gradient; (b) Comparison of software results and MLP - Linear Axon model results in estimation of exit gradient; (c) Comparison of software results and MLP - Tan h Axon model results in estimation of exit gradient; (d) Comparison of software results and SVM model results in estimation of exit gradient; (e) Comparison of software results and RBF model results in estimation of exit gradient

- With Intermediate Filters, Journal of Hydraulic Engineering, 112(3) (1986) 206-219.
- [6] W.H. AL-Musawi, A.-H.K. Shukur, A.A.A. Al-Delewy, Optimum Design of Control Devices for Safe Seepage under Hydraulic Structures, in, 2006.
- [7] F. Salmasi, M. Nouri, Effect of upstream semi-impervious blanket of embankment dams on seepage, ISH Journal of Hydraulic Engineering, 25(2) (2019) 143-152.
- [8] D. Petković, M. Gocic, S. Trajkovic, S. Shamshirband, S. Motamedi, R. Hashim, H. Bonakdari, Determination of the most influential weather parameters on reference evapotranspiration by adaptive neuro-fuzzy methodology, Computers and Electronics in Agriculture, 114 (2015) 277-284.
- [9] G. Tayfur, D. Swiatek, A. Wita, V.P. Singh, Case Study: Finite Element Method and Artificial Neural Network Models for Flow through Jeziorsko Earthfill Dam in Poland, Journal of Hydraulic Engineering, 131(6) (2005) 431-440.
- [10] A.M.A. Sattar, Gene expression models for prediction of dam breach parameters, Journal of Hydroinformatics, 16(3) (2013) 550-571.
- [11] D.N. Ural, M. Tolon, Slope Stability during Earthquakes: A Neural Network Application, in: GeoCongress 2008, 2008, pp. 878-885.
- [12] SEEP/W. Seepage Modeling with SEEP/W. Geo-Slope International Ltd, Calgary, 2012.
- [13] H. Khalili Shayan. E. Amiri Tokaldany, experimental and Numerical investigation of bligh and lane creep theorem in prediction of diversion dams uplift, 10th Iranian hydraulic conference, 2011.
- [14] USBR, Embankment dams, Department of interior bureau of reclamation, 2014.
- [15] S. Haykin, Neural Networks, A Comprehensive Foundation, Prentice-Hall Inc.NJ, 1999.
- [16] V.P. N. Deghani, S. Khanmohammadi, assessment of MLP and RBF model in prediction of Monthly evaporation, in: 2th National Conference on Sustainable development Agriculture and Healthy

زیرفشار افزایش خواهد یافت و مناسبترین فاصله که کمترین مقادیر زیرفشار را در پی خواهد داشت، طراحی فیلتر در فاصله‌ای به نسبت فاصله فیلتر به بار آبی بالادست برابر با  $0/028$  می‌باشد. نکته دیگر این که تاثیر فیلتر بر کاهش زیرفشار در پایین دست کف سازه بیش تر از تاثیر آن در بالادست کف سازه می‌باشد. در رابطه با گرادیان خروجی با توجه به این که مقادیر زیر فشار در انتهای حوضچه آرامش (کف بند بتنی) سازه محاسبه شد، با افزایش طول فیلتر، همواره گرادیان کم خواهد شد که طول بهینه برای کاهش گرادیان استفاده از نسبت طول فیلتر به هد آب به اندازه  $0/057$  خواهد بود. هم چنین با افزایش فاصله میزان کاهش گرادیان، بیش تر خواهد شد (عکس توزیع زیر فشار). طبق نکات ذکر شده، وجود فیلتر از نقطه نظر گرادیان خروجی پایداری سازه را فراهم می‌کند اما در رابطه با توزیع زیرفشار، ایجاد فیلتر در پایین دست کف سازه به طور مناسبی موجب کاهش زیر فشار می‌شود در حالی که تاثیر آن بر کاهش زیرفشار در بالادست کف سازه نمی‌تواند موجب پایداری سازه گردد و اگر استفاده از سازه مکمل دیگری ممکن باشد، طبق نتایج این مطالعه و هم چنین مطالعات انجام گرفته در رابطه با پرده آب بند، ایجاد پرده آب بند در بالادست سازه توصیه می‌شود. در نهایت از مدل رگرسیونی و مدل‌های هوش مصنوعی برای برآورد زیرفشار و گرادیان خروجی استفاده شد و نتایج حاصل از مقایسه مدل‌ها، مدل و رابطه رگرسیونی به عنوان مناسبترین مطالعه در برآورد زیرفشار و گرادیان معرفی شد.

## مراجع

- [1] R. Hasan, Embankment Dams, 2004.
- [2] H. Khalili Shayan, E. Amiri-Tokaldany, Effects of blanket, drains, and cutoff wall on reducing uplift pressure, seepage, and exit gradient under hydraulic structures, International Journal of Civil Engineering, 13(4) (2015) 486-500.
- [3] S. Mcloughlin, A. Ahmed, Seepage under Hydraulic Structures Provided with an Intermediate Filter, in, 2012.
- [4] M. Farouk, I. Smith, Design of hydraulic structures with two intermediate filters, Applied Mathematical Modelling, 24 (2000) 779-794.
- [5] A. Kumar, B. Singh, A.S. Chawla, Design of Structures

- classification, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 11(5) (2009) 352-359.
- [19] B. Guo, S.R. Gunn, R.I. Damper, J.D.B. Nelson, Customizing Kernel Functions for SVM-Based Hyperspectral Image Classification, IEEE Transactions on Image Processing, 17(4) (2008) 622-629.
- Environment, Iran, 2013.
- [17] Y.B. Dibike, D.P. Solomatine, River flow forecasting using artificial neural networks, Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere, 26(1) (2001) 1-7.
- [18] T. Kavzoglu, I. Colkesen, A kernel functions analysis for support vector machines for land cover

**HOW TO CITE THIS ARTICLE**

*M. Nouri, F. Salmasi, J. Parsa, Prediction models for estimation of exit hydraulic gradient and uplift pressure under the influence of downstream filter, Amirkabir J. Civil Eng., 51(6) (2020) 1129-1144.*

**DOI:** [10.22060/ceej.2018.14461.5661](https://doi.org/10.22060/ceej.2018.14461.5661)

