

## مطالعه رفتار بتن پارچه‌ای در کانال‌های روباز

محمد فیاض \*

استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه جامع امام حسین (ع).

سعید احمدی

پژوهشگر، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه جامع امام حسین (ع).

مهدی دهقان‌نژاد ثانی آبادی

دانشجو کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه ایوان کی.

### چکیده

بتن پارچه‌ای محصولی منحصر به فرد با سرعت اجرای بالا بوده که قابلیت جایگزینی با رویه‌های سنتی بتنی را دارد. با توجه به پارامترهای مقاومت مکانیکی این محصول و دوام مناسب در برابر عوامل خوردنده، یکی از کاربردهای نوین بتن پارچه‌ای استفاده از آن در پوشش کانال‌های آب است. در این تحقیق ابتدا جریان کانال‌های روباز تحت ۹ سناریو شبیه‌سازی شده و در هر یک از حالات ۳ رژیم مختلف جریان به همراه مدل‌سازی آشفتگی جریان با استفاده از نرم‌افزار Flow-3D مورد بررسی قرار گرفته است. قسمت‌هایی از بتن پارچه‌ای نظیر اتصالات می‌تواند منجر به تولید آشفتگی و اعمال تنش‌های بحرانی نماید. از این رو با استفاده از نرم‌افزار ABAQUS اجزای بتن پارچه‌ای و نواحی اتصال آن‌ها شبیه‌سازی و با اعمال نیروهای معادل‌سازی شده به سطح بتن و نواحی آسیب‌پذیر اتصال، میزان تنش‌های ایجاد شده بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهد تنش‌های ایجاد شده در مقایسه با ظرفیت تنش بتن پارچه‌ای بسیار کم است. ماکزیمم تنش‌های برشی ایجاد شده و همچنین ماکزیمم فشارهای هیدرو استاتیک به دست آمده نسبت به میزان مجاز بسیار پایین‌تر از تنش‌های تسلیم بتن پارچه‌ای است. به منظور صحت سنجی مطالعات هیدرولیک جریان و بتن از نتایج آزمایشگاهی متناظر استفاده شده است. با توجه بررسی اتصالات چسبی تحت بارهای وارده از سمت جریان کانال‌های روباز به سطح بتن پارچه‌ای، می‌توان نتیجه گرفت که تنش‌های ایجاد شده چسب را به مرز آسیب نمی‌رساند. با توجه به مقاومت فشاری ۴۰ مگا پاسکال، می‌توان نتیجه گرفت که در برابر فشارهای هیدرو استاتیک مقاومت لازم را داشته و لاینبتگ تا ۲۰ برابر نسبت به تنش‌های ایجاد شده در کف و دیواره مقاوم‌تر است.

واژه‌های کلیدی: لاینبتگ، کانال دوزنقه‌ای، تنش‌های برشی، فشار هیدرو استاتیک، بتن پارچه‌ای.

\* نویسنده مسئول: m.fayyaz@modares.ac.ir

## ۱- مقدمه

ژئوممبران می‌توان به این اشاره کرد در محل‌هایی که امکان ایجاد شیب به درستی میسر نبوده و هدر رفتن آب حایز اهمیت است قابل استفاده است [۸].

طبق مطالعات بهراملو در شرایط اقلیم سرد و تکنولوژی اجرایی موجود تلفات آب در پوشش سنگ و ملات در کانال‌های روباز حدود یک سوم تلفات پوشش بتنی است [۹]. همچنین با توجه به جدید بودن بتن پارچه‌ای که بیش از ۱۵ سال از عمر آن نگذشته است؛ تحقیقاتی بر روی ابعاد مختلف آن صورت گرفته است که در هر یک از این تحقیقات سعی شده است تا رفتار این نمونه بتن تحت شرایط مختلف بررسی شود. [۱۰]. هان و همکارانش با تهیه نمونه‌های آزمایشگاهی بر روی نمونه‌ها آزمون خمش انجام دادند که بهترین مقاومت مربوط به ضخامت ۳/۵ میلی‌متر متشکل از سیمان و بتن پارچه‌ای بود. ترتیب ۱۰/۵۱ مگا پاسکال مقاومت خمشی حاصل شد [۱۱].

برای کاهش انقباض ناشی از خشک‌شدگی نمونه‌های CC<sup>۱</sup> مدلی برای تأثیر پارچه سه‌بعدی ارائه کردند. آن‌ها علاوه بر این به خشک‌شدگی این محصول به‌طور مشخص پرداختند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که میزان کرنش ناشی از انقباض خشک‌شدگی در نمونه‌های CC<sup>۲</sup> که دارای الیاف سه‌بعدی هستند نسبت به CC<sup>۱</sup>‌های معمولی کمتر است و بیشترین تنش کششی در امتداد تار ژئوتکستایل مشاهده شد [۱۲]. در ادامه رامدیت و همکارانش برای بهبود خواص مکانیکی فرمولاسیون پودر سیمان خشک را مدنظر قرار دادند در ادامه مقاومت مکانیکی در مسیرهای تار و پود پارچه مورد آزمایش قرار دادند نتایج آن‌ها نشان داد که افزایش مقدار ریزی (پودری بودن) و نرمی سیمان باعث افزایش مقاومت مکانیکی زمان‌گیرش کاهش پیدا می‌کند. آن‌ها همچنین دریافتند که به‌جز ترکیب سیمان خاص سایر اجزا و خواص و الگوی هندسی لایه سه‌بعدی نیز به‌شدت در مقاومت‌های مکانیکی آن تأثیر می‌گذارد [۱۳]. جعفری و همکارانش استفاده از پوشش بتن پارچه‌ای را در تثبیت و نگهداری خاک‌ریزها و دیواره‌های خاکی موردبررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان می‌داد که نانولوله کربنی<sup>۲</sup> اصلاح‌شده با مولکول‌های پلی‌اتیلن با وزن مولکولی بالا<sup>۳</sup> با پارچه بتنی یک‌طرفه تقویت‌شده را می‌توان بر روی دیوار نگه‌دارنده با

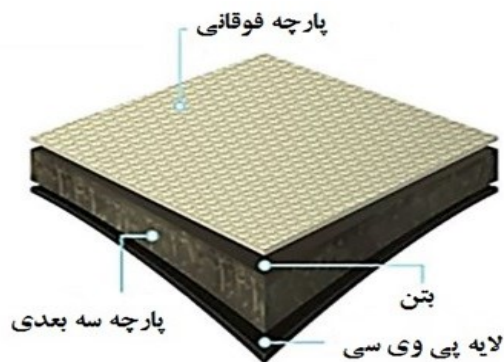
در راستای حفاظت و استفاده بهینه از منابع آب، افزایش بازدهی و کاهش تلفات آب در کانال‌های انتقال و توزیع اهمیت بسیاری دارد. از راهکارهای متداول در دنیا، افزایش بازده انتقال در کانال‌ها، پوشش‌دهی کانال است [۱]. طبق تحقیقات کریمی به بررسی آثار پوشش کانال بر اقتصاد کشاورزان و بهره‌وری آب پرداخت. نتایج مطالعه وی نشان داد پوشش‌دهی کانال سبب رونق اقتصادی برای کشاورزان می‌شود، به‌گونه‌ای که درآمد سالانه کشاورزان در برخی مناطق تا ۸۴ درصد رشد نشان داده است [۲]. میزان زیاد تلفات آب باعث شده است تا مطالعاتی در زمینه‌ی پوشش کف و دیواره کانال، ضریب زبری مانینگ، تعیین عمق بحرانی انجام گیرد تا تلفات آب در کانال‌های روباز به حداقل برسد. بنا به دلایل فنی - اقتصادی و ملاحظات اجرایی از جمله: کاهش تلفات آب، کاهش هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری، افزایش سرعت آب و کوچک شدن مقطع، جلوگیری از تخریب ناشی از عوامل فیزیکی و شیمیایی با مصالح مناسب کانال‌ها پوشش داده می‌شوند [۳]. در کانال‌های روباز پوشش‌های مختلفی از جمله بتنی، ژئوممبران، سنگی ملاتی و... استفاده می‌شود که هر کدام مزایا و معایب منحصر به فرد خود را دارا هستند [۳ و ۴ و ۵]. بتن پارچه‌ای پوششی نوین بوده که شامل یک کامپوزیت با خواص سیمانی ژئوستتیک ورقه‌ای است. با استفاده از فناوری بتن پارچه‌ای، در کمتر از ۲۴ ساعت سطح بتنی دلخواه ایجاد می‌شود [۶]. طبق مطالعات بهراملو و سیدان بر روی پوشش بتنی نشان می‌دهد که پوشش بتنی همیشه و در کلیه مناطق دارای منفعت اقتصادی نبوده و در مناطقی همانند همدان که دارای اقلیم سرد و دوره‌های ذوب و یخبندان طولانی پوشش بتنی با تکنولوژی و شرایط موجود فنی و اجرایی، به‌دلیل ترک‌خوردگی و تخریب قادر به کنترل تلفات مناسب آب نیست و اجرای آن از جنبه اقتصادی و فنی قابل توصیه نمی‌باشد [۷].

طبق تحقیقات قربانی و همکاران مقدار تلفات در کانال‌های ژئوممبران بسیار کمتر از پوشش‌های بتنی بوده اما به دلیل اینکه هنوز در کشور ایران تجربه‌های ساخت این پوشش‌ها کم است، اجرای این نوع پوشش دارای مشکلاتی است [۳]. فواید پوشش

<sup>3</sup> Ultra-high molecular weight polyethylene

<sup>1</sup> Concrete Canvas

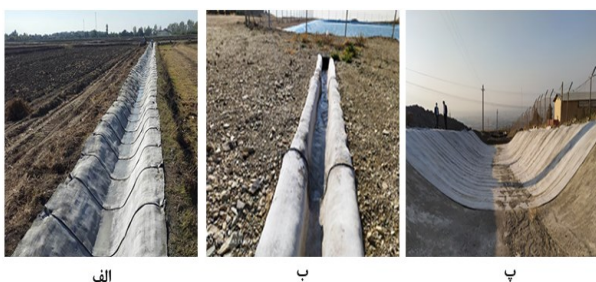
<sup>2</sup> Carbon nanotube



شکل ۱- نمای لایه‌های بتن پارچه‌ای



شکل ۲- اجرای لاینینگ کانال با بتن پارچه‌ای در جهان:  
الف) اسکاتلند، ب و پ) انگلستان، ت) روسیه، ج) کانادا  
چ) مالزی



شکل ۳- اجرای لاینینگ کانال با بتن پارچه‌ای در ایران  
الف) کانال گلستان، ب) کانال دانشگاه امام حسین (ع)،  
پ) کانال کرج

در این پژوهش ابتدا پارامترهای مکانیکی محصول مورد بررسی قرار گرفته و سپس مؤلفه‌های هیدرولیکی کانال که متأثر از محصول بتن پارچه‌ای ارزیابی شده است تا اندرکنش پوشش و جریان تعیین گردد. پارامتر مقاومت فشاری یکی از خصوصیات اصلی ارزیابی برای پوشش کانال است. آزمایش تعیین مقاومت فشاری یکی از حساس‌ترین آزمایش‌های می‌باشد. برای تعیین

ارتفاع بین ۳ تا ۱۰ متر اعمال کرد. همچنین فاصله منطقی بین تقویت کننده‌ها بین نیم متر تا یک متر است [۱۴].

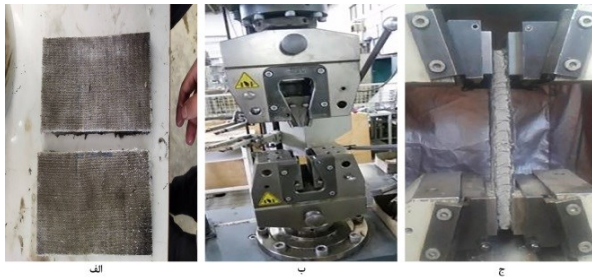
فرگوسن به تهیه نمونه آزمایشگاهی GCCM باسیمان هیبریدی در بین دولایه ژئوتکستایل پرداختند. روش کار آن‌ها بدین صورت بود که آب را بر روی سطح ژئوتکستایل بافته نشده اسپری نمودند تا به حد اشباع برسد، سپس نمونه‌های موردبررسی را درون استخر آب در دمای ۳۱ تا ۳۳ درجه سانتی‌گراد برای مدت‌زمان ۱، ۳، ۷ و ۲۸ روز نگهداری کردند. با توجه به میزان کم اختلاف مقاومت کششی ژئوتکستایل بافته‌شده در جهت تاروپود بتن پارچه‌ای، آزمون مقاومت کششی برای دو جهت طولی و عرضی با میزان بارگذاری ۱۰ میلی‌متر بر دقیقه انجام شد. با بررسی دیاگرام تنش- کرنش، ترک ایجادشده در نمونه‌های موردبررسی قرار گرفته باعث افت منحنی بعد از اوج اول شده است، و بعد از این مرحله ژئوتکستایل نقش مهمی در مقاومت بتن ایفا می‌کند تا به نقطه اوج دوم برسد. در جهت طولی بعد از اوج اول لایه ژئوتکستایل دچار جداشدگی از خمیر سیمان شده و به همین علت بعد از این نقطه نمودار دیاگرام تنش-کرنش طولی کاهش پیدا می‌کند [۱۳].

در این پژوهش محصول بتن پارچه‌ای به دلیل نصب آسان، اجرای سریع، کاهش هزینه نسبت به دیگر روش‌های لاینینگ انتخاب و مورد مطالعه قرار گرفته است. هدف از این تحقیق بررسی اثرات متقابل هیدرولیک کانال بر پوشش و اتصالات مربوطه در جریان‌های تکرارشونده به بتن پارچه‌ای حاوی رسوبات است. روش‌های مختلف اجرای این محصول شرایط متفاوتی در هیدرولیک جریان و نیروهای وارده از جریان به بتن پارچه‌ای ایجاد می‌نماید که مورد مطالعه قرار گرفته است.

## ۲- روش تحقیق

در شکل ۱ نمایی از لایه‌های بتن پارچه‌ای قابل مشاهده است. این محصول در سراسر جهان از جمله انگلستان، کانادا، اسکاتلند، روسیه و مالزی و غیره در کانال‌های روباز در حال استفاده می‌باشد (شکل ۲). در احداث یک کانال روباز پارامترهایی چون زبری ( $n$ )، مقاومت کانال در برابر سایش و ضربه، پرش هیدرولیکی و بلندشدگی بسیار حائز اهمیت می‌باشد.

به‌تازگی در کشور این محصول تولید گردیده و در برخی کانال‌ها با درجه‌بندی مختلف به عنوان پوشش اجرا شده است (شکل ۳).



شکل ۶- آزمایش کشش مستقیم

الف) نمونه‌های کشش مستقیم، ب) دستگاه آزمایش کشش یونیورسال، ج) نمونه در حال انجام آزمایش کشش مستقیم

جدول ۱- پارامترهای مکانیکی بتن پارچه‌ای

| مقدار | واحد | استاندارد    | خصوصیات مکانیکی      |
|-------|------|--------------|----------------------|
| ۳۰    | MPa  | EN 12390-3   | مقاومت ۲۸ روزه       |
| > ۴   | MPa  | ASTM D8058   | شکست اولیه ترک اولیه |
| > ۶   | MPa  | ASTM D8058   | شکست نهایی ترک نهایی |
| ۴     | kN   | EN ISO 12236 | مقاومت برشی استاتیکی |
| ۹۵    | %    | EN 12467     | ذوب یخبندان ۲۵۰ سیکل |

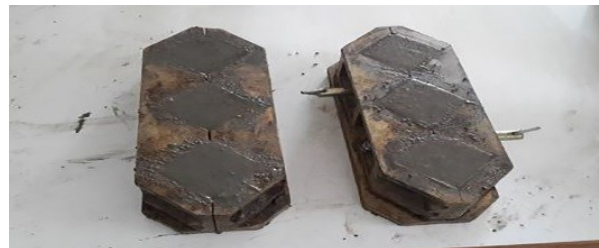
پارامتر زبری در طراحی کانال‌های روباز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این مساله حتی در مدلسازی عددی پدیده انتقال رسوب دارای اهمیت به سزایی است. این ضریب اثر زیادی بر روی نیمرخ سرعت جریان در کانال و همچنین میزان دبی عبوری از آن دارد [۱۸ و ۱۹]. از آنجا که در تخمین سرعت، دبی و مشخصات دیگر جریان در کانال‌های روباز، زبری نقش مهمی ایفا می‌کند، تعیین مناسب و بهینه آن همواره از اهمیت زیادی برخوردار بوده است. روابط متفاوت (مانند ضرایب مانینگ، شزی و داریسی - وایسباخ) برای محاسبه ضریب مقاومت جریان وجود دارد. یکی از مسائل جالب توجه در رابطه با زبری در کانال‌های روباز چگونگی توزیع زبری در کانال و تأثیر آن بر کمیت‌های مختلف جریان است. یکی از متداول‌ترین معادلات مقاومت برای جریان در کانال‌های روباز، رابطه مانینگ است. این معادله در سیستم SI به صورت رابطه (۱) می‌باشد [۲۰].

$$v = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S_f^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

پارامتر پرش هیدرولیکی یا همان جهش هیدرولیکی هنگامی که در

میزان مقاومت فشاری ابتدا از ملات سیمانی محصول مطابق شکل ۴ نمونه‌گیری نموده و سپس تحت شرایط استاندارد EN 12390-3 [۱۵] مورد آزمایش قرار گرفت. طرح مخلوط ساخته شده مطابق با مقاله مصلحی و همکارانش در نظر گرفته شده است [۱۶]. در آزمایش مقاومت خمشی در واقع به صورت غیر مستقیم مقاومت کششی محصول را اندازه‌گیری می‌شود. در این آزمایش مقاومت محصول در برابر نیروهای عمودی وارد بر آن طبق استاندارد ASTM D8058 توسط دستگاه تست کشش یونیورسال<sup>۱</sup> سنجیده می‌شود [۱۷].

نمونه‌هایی مطابق شکل ۵ الف به ابعاد ۴×۱۶ سانتی متر برداشت نمونه و مورد آزمایش قرار می‌گیرد. همچنین آزمایش کشش مستقیم نیز طبق استاندارد EN ISO 12236 بر روی محصول انجام گردیده است. نحوه انجام آزمایش به این صورت می‌باشد که نمونه‌های ۱۰×۲۰ سانتی متری مطابق شکل ۶ الف هیه نمونه و تحت کشش مستقیم قرار می‌گیرد. در انتها نیز مقاومت محصول را در برابر ذوب و یخبندان طبق استاندارد EN 12467 مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. قابل ذکر است این آزمایش‌ها دانشگاه جامع امام حسین و دانشگاه شریف انجام شده است و نتایج تمام آزمایش‌ها در جدول ۱ ذکر شده است.



شکل ۴- نمونه‌گیری ملات برای آزمایش مقاومت فشاری



شکل ۵- مقاومت خمشی

الف) نمونه‌های مقاومت خمشی، ب) نمونه در حال انجام مقاومت خمشی

<sup>1</sup> universal

مدل‌سازی غیرخطی را دارا است [۲۴]. در نرم‌افزار FLOW-3D با استفاده از روش‌های مختلفی برای مدل‌سازی حرکت جریان‌ها برای حل عددی معادلات سه‌بعدی استفاده می‌کند. برای مدل‌سازی سطح آزاد جریان از روش VOF<sup>۱</sup> و جهت مدل‌سازی موانع جامد و هندسه مسئله از تکنیک<sup>۲</sup> FAVOR بهره می‌برد. معادلات مورد استفاده در این نرم‌افزار معادلات ناویر استوکس است و از پنچ مدل آشفتگی مختلف در حل جریان‌های آشفتنه استفاده می‌کند [۲۵]. با توجه به مسئله مورد بررسی، در مرحله اول ویژگی‌های جریان با استفاده از نرم‌افزار FLOW-3D مدل‌سازی شده است. سپس با استفاده از مدل اجزا محدود ABAQUS رفتار بتن پارچه‌ای در قبال نیروهای وارده مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. با توجه به این که در طبیعت، جریان آرام عملاً وجود ندارد و جریان به دو صورت انتقالی و آشفتنه هستند، لازم است تا نیروهای لزجت در نرم‌افزار نیز مدل‌سازی شوند. همچنین عدد رینولدز جریان در محدوده آشفتگی قرار خواهد گرفت. به‌طور کلی جریان برای سه فیزیک مختلف و متداول که در کانال‌ها رخ می‌دهد مدل‌سازی شده است:

- جریان در کانال دوزنقه‌ای
- جریان در بستر ریزی
- جریان در کانال دوزنقه‌ای دارای انحراف

همچنین جریان با توجه به عدد فرود به سه دسته بحرانی، فوق بحرانی و زیر بحرانی تقسیم‌بندی می‌شود. برای هر کدام از این سه هندسه کانال، هر سه حالت از لحاظ بحرانی بودن جریان مدل‌سازی خواهد شد. در مجموع به‌طور کلی می‌توان به ۳ مورد کلی و ۹ زیرمجموعه آن اشاره کرد. جدول ۲ نشان‌دهنده ۹ حالت کلی بررسی جریان در کانال‌های روباز است. همچنین در شکل ۷، هندسه کانال‌های مورد بررسی نشان داده شده است.

جدول ۲- سناریوهای مدل‌سازی جریان در کانال دوزنقه‌ای

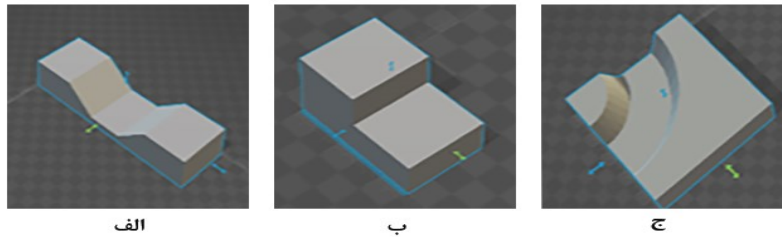
| کانال دارای انحراف    | بستر ریزی             | کانال دوزنقه‌ای       |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| رژیم جریان زیر بحرانی | رژیم جریان زیر بحرانی | رژیم جریان زیر بحرانی |
| رژیم جریان بحرانی     | رژیم جریان بحرانی     | رژیم جریان بحرانی     |
| رژیم جریان فوق بحرانی | رژیم جریان فوق بحرانی | رژیم جریان فوق بحرانی |

یک کانال روباز در بالادست جریان فوق بحرانی و در پایین دست جریان زیر بحرانی وجود داشته باشد در مقطعی میان این دو جریان پرش هیدرولیکی رخ می‌دهد که با استهلاك انرژی زیادی همراه است و انرژی آزاد شده می‌تواند منجر به تخریب پایین دست گردد [۲۱]. تحقیقات آزمایشگاهی نیز نشان داده است که زبری بستر جریان باعث ایجاد تغییراتی در مشخصات پرش هیدرولیکی و کاهش طول و عمق ثانویه پرش هیدرولیکی و افزایش استهلاك انرژی می‌شود. برای محاسبه پرش هیدرولیکی با توجه به عدد فرود و بازه‌های تعیین شده بر آن نوع پرش مشخص می‌شود [۲۱]. از دیدگاه نظری، مؤثرترین مقطع هیدرولیکی (مقطع بهینه) و اقتصادی برای کانال‌های پوشش شده و غیر فرسایشی که در آنها آب جریان دارد، مقطع نیم دایره است [۲۲]. یکی از مسائل مهم در مهندسی هیدرولیک مجاری روباز، داشتن دانش کافی در خصوص میزان تنش برشی و مقاومت هیدرولیکی ایجاد شده در برابر جریان است. متوسط تنش‌های برشی کانال‌های روباز را می‌توان با حل معادله‌های پیوستگی و ممتنم تعیین نمود [۲۳]. مدل‌سازی جریان با برنامه‌های متفاوتی از جمله Mike21, Delft-3D, HEC-RAS, FLOW-3D انجام می‌شود. در این میان نرم‌افزار FLOW-3D در مقایسه با سایر مدل‌های موجود در زمینه CFD دارای دامنه وسیعی از کاربردها است و با توجه به قابلیت بالای شبکه‌بندی انواع مرزهای سه‌بعدی با هندسه پیچیده را به راحتی شبیه‌سازی می‌نماید و همچنین قابلیت شبیه‌سازی اندرکنش سیال و سازه را دارد. همچنین برای مدل‌سازی ماده نیز می‌توان به ABAQUS, LS-DYNA, Autodyn و Diana اشاره کرد. در این پژوهش برای مدل‌سازی جریان از FLOW-3D و مدل‌سازی بتن پارچه‌ای از ABAQUS استفاده شده است که توانایی حل طیف گسترده‌ای از مسائل علمی و صنعتی، از مسائل ساده و دارای تحلیل خطی تا مباحث پیچیده

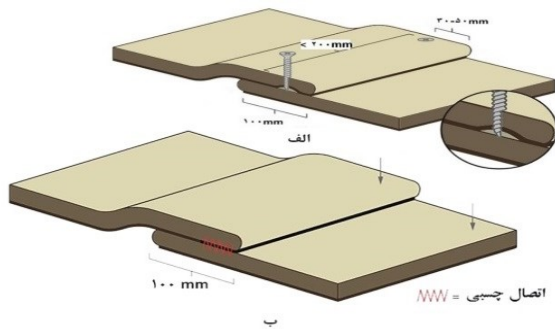
<sup>2</sup> Fractional Area-Volume Obstacle Representation

<sup>1</sup> Volume of Fluid

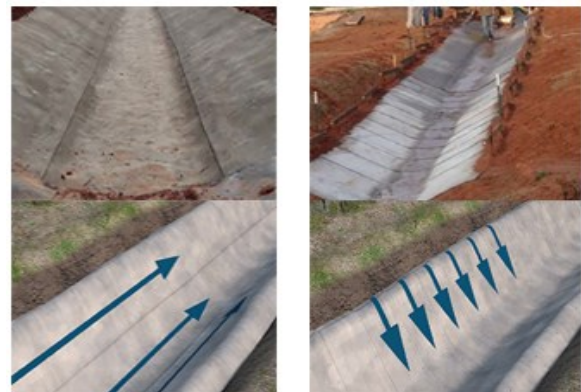




شکل ۷- هندسه کانال های بررسی شده الف) کانال دوزنقه‌ای با شیب بستر تقریباً افقی (ب) بستر ریزشی ج) کانال دارای انحراف مسیر به‌طور کلی مطابق شکل ۸ به دو روش اتصال طولی و عرضی پارچه‌ای صورت می‌گیرد. این روش به دو شکل چسبی و مکانیکی می‌توان کانال‌های آب را با بتن پارچه‌ای پوشش داد که نوع اتصال لایه‌های بتن تعیین‌کننده خواهد بود



شکل ۹- الف) اتصال مکانیکی (ب) اتصال چسبی اتصالات بتن پارچه‌ای



شکل ۸- الف) اتصال طولی بتن پارچه‌ای (ب) اتصال عرضی بتن پارچه‌ای

در این تحقیق برای اولین بار با توجه به مشخصات و جزئیات هر یک از اتصالات، تأثیر برخی از انواع جریان‌های کانال‌های روباز بر این اتصالات بررسی شده است. مشخصات بتن پارچه‌ای مورد استفاده در مدل‌سازی در جدول ۳ گزارش شده است [۶].

جدول ۳- مشخصات لایه‌های بتن پارچه‌ای [۲۶]

| پارچه تحتانی            | پارچه فوقانی            | لایه PVC                 |                                 |
|-------------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------------------|
| ۱/۳۸                    | ۱/۳۸                    | ۳/۱                      | چگالی (گرم بر سانتیمتر مکعب)    |
| ۷ × ۱۰ <sup>۱</sup> ,۳  | ۷ × ۱۰ <sup>۲</sup> ,۸۹ | ۴ × ۱۰ <sup>۱</sup> ,۸۳۳ | مدول بالک                       |
| ۳ × ۱۰ <sup>۱</sup> ,۳  | ۳ × ۱۰ <sup>۱</sup> ,۳  | ۳ × ۱۰                   | گرمای ویژه                      |
| .                       | .                       | .                        | خاصیت هدایت حرارتی              |
| ۶ × ۱۰ <sup>۳</sup> ,۷۶ | ۶ × ۱۰ <sup>۶</sup> ,۲۱ | ۳ × ۱۰ <sup>۸</sup> ,۹۶  | مدول برشی (کیلو پاسکال)         |
| ۵ × ۱۰ <sup>۴</sup> ,۴۳ | ۵ × ۱۰ <sup>۷</sup> ,۵۳ | ۴ × ۱۰ <sup>۱</sup> ,۶۳  | تنش شکست کشش اصلی (کیلو پاسکال) |

در بخش مدل‌سازی جریان و تعیین تنش‌های برشی از آزمایش تومینگا که در سال ۱۹۸۹ صورت گرفته است استفاده شده است. همچنین برای صحت سنجی مدل‌سازی بتن پارچه‌ای از آزمایش

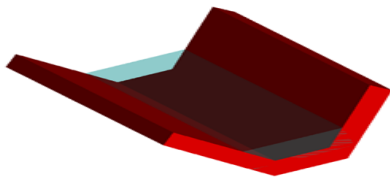
### ۳- صحت سنجی مدل‌سازی

با توجه به استفاده از دو نرم‌افزار FLOW-3D و ABAQUS لازم است دو نمونه آزمایش مرتبط به هر نرم‌افزار مدل‌سازی شود.

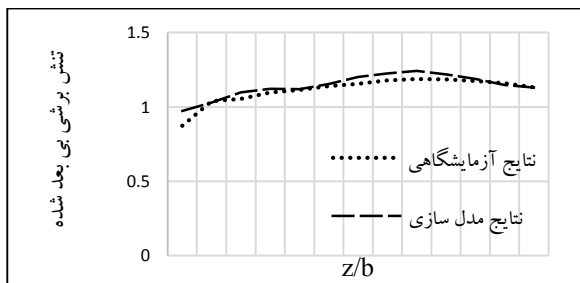
نرم‌افزار FLOW-3D با آزمون آزمایشگاهی تطابق قابل قبول را دارا است و حداکثر اختلاف به ۷٪ می‌رسد. همچنین نمونه مدل‌سازی شده کانال در شکل ۱۱ قابل رؤیت است.

جدول ۴- مشخصات آزمایش مدل‌سازی شده مقطع دوزنقه‌ای [۲۷]

| مشخصات                          | مقدار |
|---------------------------------|-------|
| عدد فرود                        | ۰/۳۲  |
| زاویه دیواره کانال              | ۶۰    |
| عدد رینولدز                     | ۴E۶/۳ |
| حداکثر سرعت (سانتیمتر بر ثانیه) | ۳۹/۳۶ |
| سرعت متوسط (سانتیمتر بر ثانیه)  | ۳۰/۰۹ |
| عرض کانال (سانتیمتر)            | ۲۴/۸  |
| عمق جریان (سانتیمتر)            | ۱۱    |
| دبی (لیتر بر ثانیه)             | ۱۰/۵۵ |



شکل ۱۱- نمونه مدل‌سازی شده کانال دوزنقه‌ای

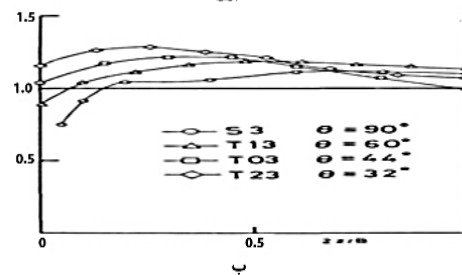
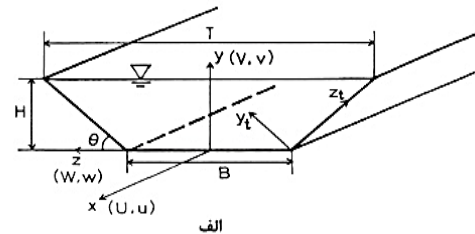


شکل ۱۲- مقایسه نتایج مدل‌سازی نرم‌افزاری و آزمایشگاهی

کانال دوزنقه‌ای

جهت صحت سنجی نرم‌افزار ABAQUS آزمون چهار نقطه‌ای ژانگ استفاده گردید. آزمایش یانگ یک آزمون خمش چهار نقطه‌ای با استفاده از جک هیدرولیکی با سرعت ۱ میلی‌متر بر دقیقه است. این آزمایش بر روی یک نمونه بتن پارچه‌ای صورت گرفته است. شکل ۱۳ نشان‌دهنده نتایج آزمون خمش و دیاگرام آزمون خمش به همراه ابعاد آزمون است. ابعاد نمونه بتن پارچه‌ای موردبررسی دارای ۲۷۰ میلی‌متر طول، ۱۵ میلی‌متر ضخامت لایه‌ها

ژانگ که آزمون خمش ۴ نقطه‌ای بر روی نمونه بتن پارچه‌ای صورت گرفته استفاده شده است. آزمون آزمایشگاهی تومینگا<sup>۱</sup> در سال ۱۹۸۹ که بر روی نحوه مدل‌سازی تعیین تنش برشی در کانال‌های روباز دوزنقه‌ای صورت گرفته است. نتایج آزمایش و شماتیک مدل بررسی شده تومینگا در شکل ۱۰ قابل مشاهده است.



شکل ۱۰- الف) شماتیک مقطع دوزنقه‌ای آزمایشگاهی تومینگا  
ب) نتایج آزمایش تومینگا در مدل‌سازی تنش برشی کانال دوزنقه‌ای

تمام آزمایش‌ها تومینگا و همکارانش در فلوم کج به طول ۱۲/۵ متر و مقطع ۴۰ در ۴۰ سانتی‌متر انجام گردیده است. جنس کف کانال از آهن رنگ شده است و جداره‌های کانال موردبررسی از شیشه ساخته شده است که ضریب مانینگ برای آن ۰/۰۱ است. جدول ۴ اطلاعات تکمیلی آزمایش مورد بررسی را نشان می‌دهد. برای بررسی مدل‌سازی نرم‌افزاری آزمون تومینگا T13 مورد استفاده قرار گرفته است که به طور مشخص شرایط کلی آن در جدول زیر نمایش داده شده است [۲۷].

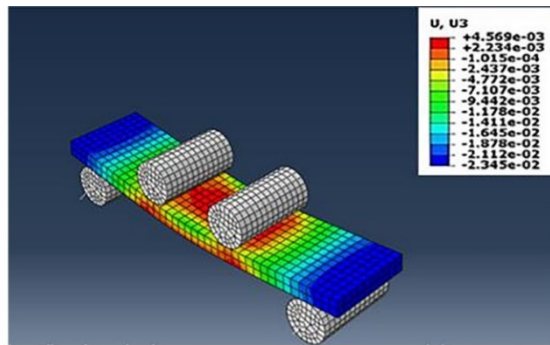
جهت بی‌بعد سازی نتایج تنش برشی برای مقایسه با نتایج آزمایشگاهی ابتدا لازم است تا مقادیر تنش به تنش برشی متوسط که از رابطه ۲ محاسبه شده است تقسیم شوند. که به این شرح است:

$$\tau_0 = \rho g R_h S_f \quad (2) [28]$$

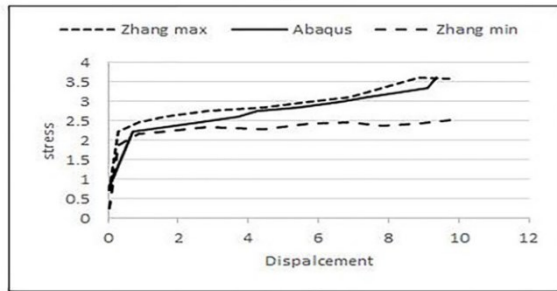
نمودار ۱ نشان‌دهنده نتایج مدل‌سازی نرم‌افزاری FLOW-3D با نتایج آزمون آزمایشگاهی است، نتایج نشان می‌دهد مدل‌سازی

<sup>1</sup> Tominga

و ۸۰ میلی متر عرض است. همچنین بتن مورد استفاده دارای ۳۷ مگا پاسکال مقاومت فشاری است.



الف

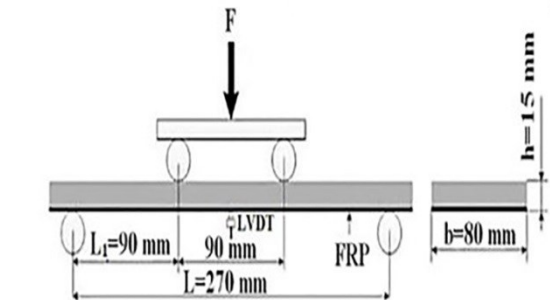


ب

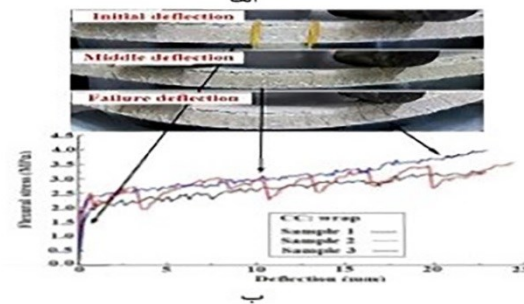
شکل ۱۴- الف) نمونه مدل سازی شده آزمایش ژانگ در نرم افزار آباکوس ب) مقایسه نتایج مدل سازی نرم افزاری و نتایج آزمایشگاهی ژانگ در آزمون خمش

زمان کلی محاسبات ۱۰ ثانیه در نظر گرفته شده است. فشار سیال به صورت هیدرو استاتیک مدل سازی شده است. تعداد بلوک محاسباتی ۱ عدد که بر روی ژئومتریک کانال قرار گرفته است نوع شبکه بندی محاسباتی کارترین و برای کانال دوزنقه ای دارای انحراف از شبکه بندی سیلندریکال استفاده شده است. تعداد شبکه بندی محاسباتی در میدان حل ۲۰۰۰۰۰ بلوک و مرزهای دیواره کانال و کف کانال از جنس دیوار و همچنین مرز خروجی به صورت outflow در نظر گرفته شده است. مرز سطح کانال (سطح جریان آزاد) در حالت تقارن مدل سازی شده است. برای بررسی نتایج فشار سیال به دست آمده سه گره محاسباتی در ابتدا، انتها و میانه مسیر کانال در نظر گرفته شده است. این گره ها دارای این ویژگی هستند: در مسیر جریان قرار دارند، اولین گره بعد از کف کانال در نظر گرفته شده اند (در جهت عمق)، در جهت عرضی در میانه کانال قرار گرفته اند. ضریب مانینگ برای کانال های با پوشش بتن پارچه ای تحت دو روش اجرا به صورت عرضی و طولی برابر با ۰/۰۱۲ است [۲۹].

شرایط کلی کانال ها به طور خلاصه در جدول ۲ قابل مشاهده است. علت در نظر گرفتن کانال با مقطع دوزنقه ای، پر کاربرد بودن این



الف



ب

شکل ۱۳- الف) دیاگرام آزمایش خمش ۴ نقطه ای ژانگ

ب) شکل نتایج آزمون خمش ژانگ بر روی بتن

پارچه ای [۱۲]

نحوه مدل سازی نرم افزاری آزمون خمش در شکل ۱۴ الف نشان داده شده است. شکل ۱۴ ب مقایسه نمودار تنش خمشی و تغییر جابجایی مدل سازی آباکوس بتن پارچه ای با نتایج آزمون آزمایش خمش چهار نقطه ای ژانگ که در سال همان طور که مشاهده می شود، حد بالا و حد پایین نتایج آزمایشگاهی مشخص شده است. نتایج مدل سازی نشان دهنده دقت مناسب مدل سازی است.

#### ۴- مدل سازی و نتایج

برای هریک از حالات مختلف شرایط زیر برای هندسه کانال ها در نظر گرفته شده است:

کف کانال با عرض ۱/۲ متر است، زاویه کانال نسبت به افق ۶۰ درجه است، طول کانال مدل سازی شده ۲ متر است، مدل سازی در سه حالت بحرانی، فوق بحرانی و زیر بحرانی صورت گرفته است و عمق جریان ۰/۳ متر در نظر گرفته شده است. مدل آشفستگی مورد استفاده از روش RNG در نظر گرفته شده است. مدل سازی مورد استفاده برای سطح آزاد سیال VOF در نظر گرفته شده است.



مقطع در کانال‌های روباز و همچنین اجرای بسیار آن با سطح بتن پارچه‌ای در نقاط مختلف دنیا است [۲۸]. ضوابط طراحی کانال‌های روباز و استانداردهای طراحی اعم از کنترل سرعت و دبی، بیشترین نوسانات در نزدیکی عدد ۱ فرود است، در نتیجه در محدوده این رژیم جریان، کانال با یک ابعاد ثابت و تغییر در سرعت در کانال‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج تنش برشی، میزان فشار و شرایط جریان که در جداول ۵، ۶ و ۷ بیان گردیده از نتایج مدل

FLOW-3D، هیدرو دینامیک برداشت شده است. جدول ۵ نشان‌دهنده ویژگی‌های جریان در کانال‌های مورد بررسی را نشان می‌دهد. در جدول ۷ میزان تنش‌های برشی ایجاد شده در کانال‌های روباز دوزنقه‌ای در سه هندسه مورد بررسی نمایش داده شده است. مطابق جدول، بیشترین میزان تنش‌های برشی در رژیم فوق بحرانی در کانال دوزنقه‌ای دارای انحراف رخ داد. بیشترین میزان تنش برشی ایجاد شده است که حدود ۲۸۵ پاسکال است.

جدول ۵- شرایط جریان در سه رژیم مختلف مورد بررسی

| نوع رژیم جریان | فوق بحرانی | بحرانی | زیر بحرانی |
|----------------|------------|--------|------------|
| سرعت جریان     | ۲          | ۱/۶۲   | ۱/۲        |
| عدد فرود       | ۱/۲۵       | ۱      | ۰/۷۴       |
| عدد رینولدز    | ۵۹۵۵۸      | ۵۴۶۷۵  | ۴۳۳۹۲      |

جدول ۶- میزان فشار وارده از سمت سیال بر سطح بتن پارچه‌ای بر حسب پاسکال

| هندسه کانال رژیم جریان | کانال دوزنقه‌ای با شیب بستر تقریباً افقی | بستر ریزشی | کانال دارای انحراف |
|------------------------|--|------------|--------------------|
| زیر بحرانی             | ۵۸۰۱                                     | ۱۹۰۰۲      | ۲۸۸۷               |
| بحرانی                 | ۸۰۷۴                                     | ۱۴۳۳۱      | ۲۷۳۵۳              |
| فوق بحرانی             | ۱۰۴۴۹                                    | ۱۱۷۶۷      | ۴۶۲۸۵              |

جدول ۷- میزان تنش برشی ایجاد شده بر سطح بتن پارچه‌ای بر حسب پاسکال

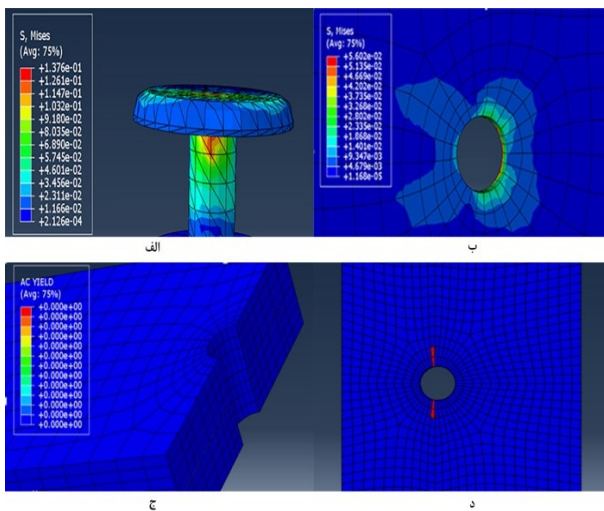
| هندسه کانال رژیم جریان | کانال دوزنقه‌ای با شیب بستر تقریباً افقی | بستر ریزشی | کانال دارای انحراف |
|------------------------|--|------------|--------------------|
| زیر بحرانی             | ۴۲/۱۳۸                                   | ۰/۳۲       | ۴/۸۹۴              |
| بحرانی                 | ۴۵/۸۲۵                                   | ۰/۳۶       | ۱۵۲/۳۰             |
| فوق بحرانی             | ۶۵/۰۰۴                                   | ۰/۳۶       | ۲۸۴/۵۴             |

مدل‌سازی بتن پاچه‌ای و لایه‌های آن به شرح زیر است: مقاومت استوانه‌ای بتن الیافی که در میان لایه‌های بتن پارچه‌ای مورداستفاده قرار گرفته است ۴۰ مگا پاسکال است. این مقاومت با توجه به مطالعات مصلحی و همکارانش [۱۷] انتخاب شد. البته قابل ذکر است مقاومت نمونه خارجی شرکت کنوس ۳۰ مگا پاسکال است [۲۶] همچنین مقاومت کششی آن ۵ مگا پاسکال است [۲۸ و ۲۹]. مدل‌سازی آسیب بتن در نرم‌افزار آباکوس، با روش آسیب پلاستیک بتن<sup>۱</sup> صورت گرفته است. جهت مدل‌سازی رفتار بتن از روش آسیب خمیری بتن استفاده شده است که تطابق پذیری مناسبی

نسبت به رفتار فشاری و کششی بتن پارچه‌ای دارد. مدل‌سازی الیاف بتن از تعریف کامپوزیت و نحوه قرارگیری لایه‌های الیاف با زاویه ۹۰ درجه و ضخامت ۱/۵ میلی‌متر مدل‌سازی شده است و شکست آن با در ناحیه الاستیک مدل‌سازی شده است. مدل‌سازی لایه پی‌وی‌سی، با توجه به بازه قرارگیری تنش شکست در دسته پی‌وی‌سی نرم قرار گرفته و از روش تنش نهایی استفاده شده است. همچنین در بخش اتصالات نواحی تماس در حالت ایده آل در نظر گرفته شده است. یکی از مکانیزم‌های رایج گسیختگی در پوشش‌های بتنی تحت تنش‌های چرخه‌ای پدیده خستگی می‌باشد که در

<sup>1</sup> Concrete damage plasticity

مقاومت برشی ۴۰۰ مگا پاسکال و ناحیه اتصال با سوراخ‌هایی به قطر ۱۲ میلی‌متر طراحی شده گرفته شده است. که تحت تنش‌های برشی سیکلی به مقدار ۳۰۰ پاسکال و نیروهای فشاری ۰/۴۶ مگا پاسکال قرار گرفته است. همچنین با قرار دادن دو ترک در جهت عرضی در دو طرف ناحیه تمرکز تنش، میزان رشد ترک در بتن کنترل شده است که با توجه به نیروهای وارده این ترک‌ها رشد نداشته است. همچنین تحلیل‌ها نشان از به تسلیم نرسیدن هیچ کدام یک از لایه‌های بتن پارچه‌ای حکایت دارد.



شکل ۱۴ - میزان تنش‌های ایجاد شده در نواحی اتصال مکانیکی (الف) تنش ایجاد شده در پیچ اتصال (ب) تنش ایجاد شده در صفحه بتن پارچه‌ای در ناحیه تمرکز تنش سوراخ (ج) میزان رشد ترک در بتن پارچه‌ای با توجه به روش XFEM (د) میزان آسیب و تسلیم لایه‌های مختلف بتن

اتصال چسبی با چسب‌های گرما ذوب بانرژی شکست ۴۰۰ ژول بر میلی‌متر مربع مدل‌سازی شده است. ناحیه چسب به صورت سرتاسری و با عرض ۸ سانتی‌متر طبق دستورالعمل‌های اجرایی بتن پارچه‌ای مدل‌سازی شده است. ضخامت لایه چسب ۰/۰۰۵ در نظر گرفته شده است و رفتار چسب به صورت traction-separation مدل‌سازی شده است. فرض بر ایده آل بودن ناحیه چسبناک است. برای بررسی اتصال چسب، تنش‌های ایجاد شده در شکل ۱۵ نشان داده شده است. ماکزیمم تنش ایجاد شده ۰/۰۳۹۴ مگا پاسکال است که با توجه به میزان تنش‌های نهایی چسب مقداری کم محسوب می‌شود. همچنین با بررسی پارامترهای آسیب چسب مشاهده می‌شود که ناحیه چسب به مرحله آسیب

این تحقیق لحاظ شده است. برای تعریف دامنه نوسان بارگذاری در نرم‌افزار آباکوس از دامنه بارگذاری سیکلی استفاده شده است که به ترتیب دامنه مدنظر برای بارهای هیدرو استاتیکی وارد شده و همچنین نیروهای تنش برشی وارده به کف و دیواره کانال تعریف شده است. نحوه رشد و انتشار ترک نیز به روش XFEM با تعریف خواص تماسی ایجاد شده است. شرایط مرزی نیز به لبه‌های مدل اعمال شده است. برای تعریف رفتار خستگی سطوح از قانون Paris استفاده شده است که این قانون بیان‌گر نرخ رشد ترک به تعداد سیکل متناسب با تغییرات انرژی است تابع شکست با استفاده از رابطه ۳ تعریف می‌شود. که در آن N تعداد سیکل بارگذاری، c1 و c2 ضرایب مربوط به خواص ماده هستند و شرط بزرگ‌تر مساوی یک، شرط آغاز ترک است. همچنین قانون power law نیز با استفاده از رابطه ۴ قابل تعریف است.

$$f = \frac{N}{c_1 \Delta G^{c_2}} \geq 1.0 \quad (3)$$

$$\frac{G_{equiv}}{G_{equivC}} = \left(\frac{G_I}{G_{IC}}\right)^{a_m} + \left(\frac{G_{II}}{G_{IIC}}\right)^{a_n} + \left(\frac{G_{III}}{G_{IIIC}}\right)^{a_o} \quad (4)$$

که در آن G1, G2 و G3 انرژی مداهای کرنش اول، دوم و سوم هستند و G1c, G2c و G3c انرژی کرنش بحرانی مداهای اول، دوم و سوم هستند. در واقع قانون پاریس بیان‌کننده نرخ رشد طول ترک به تعداد سیکل‌های بارگذاری شده متناسب با تغییرات نسبی انرژی آزاد شده است که رابطه آن برای مواد ترد که دارای ترک هستند که رابطه ۵ نمایش‌دهنده آن است:

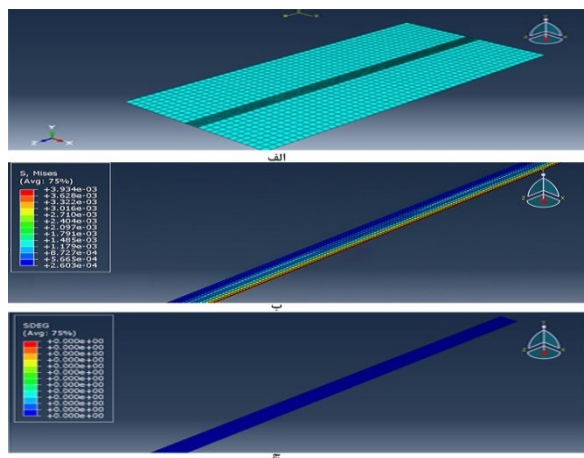
$$\frac{da}{dN} = c_3 \Delta G^{c_4} \quad (5)$$

که در آن da نرخ رشد ترک، dN تعداد سیکل بارگذاری، ΔG تغییرات نرخ انرژی آزاد شده و c3 و c4 نیز ثابت‌های مرتبط به ماده مدنظر هستند. رابطه ۶ عکس‌العمل یک قطعه بارگذاری شده در یک سیکل بارگذاری با دوره تناوب t است و تابع u بر حسب زمان است. دوره تناوب 2pω است.

$$\bar{u}(t) = u_0 + \sum_{k=1}^n [u_k^s \sin k\omega t + u_k^c \cos k\omega t] \quad (6)$$

در مجموعه شکل‌های ۱۴ نتایج تحلیل نرم‌افزاری اتصالات مکانیکی به همراه ناحیه تمرکز تنش لایه سوراخ شده بتن پارچه‌ای قابل مشاهده است. اتصال مکانیکی با پیچ‌های فولادی ضدزنگ با

مقاومت بتن پارچه‌ای است و این خصوصیات مکانیکی پاسخگوی کانال بوده است.



شکل ۱۵- نتایج تحلیل اتصال چسبی الف) شکل قرارگیری لایه ها به همراه ناحیه چسب و مش بندی ب) نتایج تنش ایجاد شده در ناحیه چسب ج) میزان آسیب وارد شده به لایه چسب

نمی‌رسد. جهت مدل‌سازی آسیب در ناحیه المان‌های چسبناک نیز از روش mode independent جهت مدل شکست استفاده شده است. همچنین با در اختیار داشتن ضریب پوآسن و مدول یانگ می‌توان مدول برشی چسب را نیز محاسبه کرد.

$$G = \frac{E}{2 * (1 + \nu)} \quad (7)$$

در جدول ۸ مقدار تنش‌های ایجاد شده در منطقه اتصال بتن پارچه‌ای که تحت تأثیر نیروهای سیال عبوری در کانال روباز قرار گرفته است نشان داده شده است. مقدار تنش‌های ایجاد شده حاکی از آن است که هیچ‌یک از المان‌های مورد بررسی به روند آسیب نخواهد رسید. همچنین میزان تنش‌های ایجاد شده از حد تنش آستانه برای ایجاد آسیب‌های خستگی کمتر بوده و این پدیده در اتصالات رخ نخواهد داد. نتایج مدل‌سازی نشان داده است که میزان تنش‌ها و فشارهای وارده به بتن پارچه‌ای بسیار کمتر از

جدول ۸ - مقدار تنش‌های ایجاد شده در هر یک از نواحی اتصال

| نواحی مورد بررسی                       | تنش ایجاد شده (مگا پاسکال) |
|--|----------------------------|
| ناحیه سوراخ اتصال مکانیکی بتن پارچه‌ای | ۰/۰۶                       |
| پیچ فولادی                             | ۰/۱۳                       |
| لایه چسب                               | ۰/۰۳۹۴                     |

گرفت. نتایج حاصل شده به شرح زیر است.

- با توجه به نتایج تحلیل در نرم‌افزار flow-3D ماکزیمم تنش‌های برشی وارده در سه حالت بررسی شده حدود ۳۰۰ پاسکال و فشار ماکزیمم به دست آمده ۰/۰۴۶ مگا پاسکال است. نتایج تحلیل نشان می‌دهد که تنش‌های ایجاد شده در بتن پارچه‌ای در این حالت حدود ۰/۰۶ مگا پاسکال است.
- بررسی‌ها نشان می‌دهد باینکه بتن پارچه‌ای از مقاومت کششی حدود ۱-۱/۲ مگا پاسکال است اما پوشش خوبی جهت لاینینگ کانال به حساب می‌آید. المان‌های مورد بررسی تحت بارگذاری به شکست نخواهند رسید.
- با توجه بررسی اتصالات چسبی تحت بارهای وارده از سمت جریان‌های کانال‌های روباز به سطح بتن پارچه‌ای، می‌توان نتیجه گرفت که تنش‌های ایجاد شده چسب را به مرز آسیب نمی‌رساند.

## ۵- نتایج

در این پژوهش نیروهای وارده بر پوشش کانال که سطح آن با پوشش بتن پارچه‌ای پوشیده شده است مورد بررسی قرار گرفته است. جهت مدل‌سازی نیروهای وارده از ۹ حالت متداول استفاده شده است. با توجه به دستورالعمل‌های موجود بهترین رژیم جریان برای کانال‌های روباز، رژیم جریان زیر بحرانی با حدود عدد فرود ۰/۸ است. برای بررسی بیشتر رژیم جریان‌های فوق بحرانی و بحرانی نیز بررسی شد. تغییر کوچک انرژی مخصوص در نزدیکی نقطه بحرانی، تفاوت بین عمق‌های جایگزین را به شدت زیاد می‌کنند. همین امر، موجب نوسان شدید در سطح آب خواهد شد. در نتیجه در بحرانی‌ترین حالت‌های ممکن جریان جهت بررسی مقاومت پوشش بتن پارچه‌ای مورد بررسی قرار گرفت. همچنین نواحی اتصال پوشش بتن پارچه‌ای در کانال‌های روباز، آسیب‌پذیرترین نواحی هستند و اجزا اتصال نیز مورد بررسی قرار

Fasertechnik GmbH & Co. KG, (www.naue.com)

[9] Behramlu, R, Evaluation of leakage losses in stone-lined irrigation canals in cold regions and its impact on water resource reserves, Iranian Irrigation and Drainage Journal, winter2011, Number 2, Volume 5, 141-150. (In Persian)

[10] Teklo, M. Sarvari, M., 2015, Fabric concrete, 4th International Congress on Civil Engineering, Architecture and Urban Development, Tehran, Permanent Conference Secretariat, Shahid Beheshti University. (In Persian)

[11] Han, F., Chen, H., Jiang, K., Zhang, W., Lv, T. and Yang, Y., 2014. Influences of geometric patterns of 3D spacer fabric on tensile behavior of concrete canvas. *Construction and Building Materials*, 65, pp.620-629.

[12] Zhang, F., Chen, H., Li, X., Li, H., Lv, T., Zhang, W. and Yang, Y., 2017. Experimental study of the mechanical behavior of FRP-reinforced concrete canvas panels. *Composite Structures*, 176, pp.608-616.

[13] Jongvivatsakul, P., Ramdit, T., Ngo, T.P. and Likitlersuang, S., 2018. Experimental investigation on mechanical properties of geosynthetic cementitious composite mat (GCCM). *Construction and Building Materials*, 166, pp.956-965.

[14] Jafari, H., Atrchian, M. and Daghigh, Y., Dynamic Response of Buried Pipelines Retrofitted with Concrete Canvas Panels Under Blast Loading. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, pp.1-15. (In Persian)

[15] "EN12390\_3", BS EN 12390-3 (2009). Testing hardened concrete, Compressive strength of test specimens. London. BS EN 12390- 9

[16] Moslehi M, fayyaz M, Ahmadi S. Polyvinyl Chloride Composite Paste for Coating in Concrete Canvas Structure with Casting Technology: Preparation and Characterization. *MCEJ* 2023; 23 (2). (In Persian)

[17] "ASTM D8058", Standard Test Method for Determining the Flexural Strength of a Geosynthetic Cementitious Composite Mat (GCCM) Using the Three-Point Bending Test, 2019.

[18] Ferguson, R., Time to abandon the Manning equation *Earth Surf. Proces. Landf*35. (2010 ).

[19] SUMER, B MUTLU(2013 ). "LECT URE NOTES ON TURBULENCE", Technical University of Denmark.

[20] Akan, A. O . *OpenChannelHydraulics* .: ElsevierScience,2011.

[21] Daneshfraz, R., najibi, R, Laboratory investigation of hydraulic jump in sudden narrowing with rough bed, 2022, Scientific

- جهت اطمینان بیشتر به روش x fem ترک‌هایی در کناره‌های مناطق تمرکز تنش صفحات بتن پارچه‌ای ایجاد شد و سپس تحت بارگذاری سیکلی تحلیل شد که با توجه میزان تنش شکست، ترک‌ها نیز در شرایط موردبررسی رشد نخواهد کرد.
  - در بحث فشار نیز با توجه به مقاومت فشاری بالای بتن پارچه‌ای که حدود ۴۰ مگا پاسکال است، می‌توان نتیجه گرفت که در برابر فشارهای هیدرو استاتیک مقاومت لازم را داراست. این با توجه به میزان تنش فشاری و کششی بتن، نتیجه‌گیری می‌شود که در این حالت سطح بتن تا حدود ۲۰ برابر نسبت به تنش‌های ایجادشده در کف و دیواره کانال مقاوم‌تر است.
- با توجه به بررسی‌ها، نتایج نشان‌دهنده آن است که هیچ‌کدام از لایه‌ها و الیاف بتن پارچه‌ای تحت بارهای سیال آسیب نخواهد دید و به شکست نخواهد رسید.

## ۶- مراجع

[1] Fernald, A.G., Baker T.T., and Guldan S. J. 2007. Hydrologic, riparian, and agroecosystem functions of traditional acequia irrigation systems. *Journal of Sustainable Agriculture*. 30(2): 147-171.

[2] Karimi M., 2011. Study the effect of channels lining on water productivity and economy of farmers in Razavi Khorasan Province, Iran. *International Journal of Agricultural Crop Science*. 3(2): 55-60. (In Persian)

[3] Ghorbani, F., Roshanfekar, A., Fathi Moghadam, M., Tavaklizadeh, A., 2015, evaluation of concrete and geosynthetic coatings (geomembranes) in canals. (In Persian)

[4] Ramzanpour A, Shah Nazari M, *Concrete Technology*, Alam and Sanat Publications, 1999. (In Persian)

[5] Shilton, J. Application and updating of technical specifications of concrete mixtures, *Concrete Technology Magazine* No. 2, 2003. (In Persian)

[6] Fayyaz, M., Gurbannejad A. and Khosravi F., Numerical study of the damage caused to the shell made of fabric concrete under the influence of close blast, 2017. (In Persian)

[7] Lashkar-Ara, B., Fathi-Moghadam, M., Shafai-Bajestan, M. and Jael, A., 2010. Boundary shear stresses in smooth channels. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 8, pp.132-136.

[8] "Hydraulic Engineering", 2000, Naue

- Research Journal of Modares Civil Engineering, Volume 22, Number 6. (In Persian)
- [22] Inteziri, A., Samadi, A., Keshavarz, H., Open channels, 2013. (In Persian)
- [23] Pope, N.D., Widdows, J. and Brinsley, M.D., 2006. Estimation of bed shear stress using the turbulent kinetic energy approach—a comparison of annular flume and field data. *Continental Shelf Research*, 26(8), pp.959-970.
- [24] Lashkarara, B., Fathi-Moghadam, M., Mohammad Wali Samani, H. 2010. 'Wall and bed shear stress in
- [25] Lashkarara, B. Fathi Moghadam, F. Mohammad Wali Samani, H. smooth rectangular channels', *Irrigation Sciences and Engineering*, 33(2), pp. 43-52. (in Persian)
- [26] Concrete Canvas Ltd. "Concrete Canvas"; <http://www.concretcanvas.com>, 2005, accessed 22 July 2012.
- [26] Julio-Betancourt GA, Hooton RD. Study of the Joule effect on rapid chloride permeability values and evaluation of related electrical properties of concretes. *Cement and concrete research*. 2004 Jun 1; 34(6):1007-15.
- [27] Hydraulic book of open channels, Osman Akan, 2006 Tominaga, A., Nezu, I., Ezaki, K. and Nakagawa, H., 1989. Three-dimensional turbulent structure in straight open channel flows. *Journal of hydraulic research*, 27(1), pp.149-173.
- [28] Ji, Z. *Hydrodynamics and Water Quality: Modeling Rivers, Lakes, and Estuaries* 2008.
- [29] [http://ivt\\_abacusdoc.ivt.ntnu.no:2080/v6.14/books/usi/default.htm](http://ivt_abacusdoc.ivt.ntnu.no:2080/v6.14/books/usi/default.htm).



## Study of Concrete Canvas Behavior in Open Channels Flow

M. Fayyaz \*

Assistant Professor, Faculty of Civil Engineering, Imam Hossein University.

S. Ahmadi

Researcher, Faculty of Civil Engineering, Imam Hossein University.

M. Dehghan Nezhad Sani Abadi

MD student, Ivanki University, Iran.

### Abstract

Severe hydraulic gradients in open channels cause severe bed erosion and problems caused by sedimentation. Fabric concrete is a unique product with high execution speed that can replace traditional concrete surfaces. According to the mechanical resistance parameters of this product, along with good durability against corrosive factors, one of the applications of fabric concrete is to use it on the surface of canals and water course culverts. In this research, first, the flow of open channels in trapezoidal section is simulated under 9 scenarios, which include 3 common channel geometries in the state of a straight path, a path with bends and deviations, and finally, a channel path with a change in height at the bottom of the channel. In each of the states, 3 different flow regimes have been investigated along with flow turbulence modeling using flow-3d software. Parts of fabric concrete, such as joints, can lead to the production of chaos and the application of critical stresses. Therefore, by using ABAQUS software, fabric concrete components and their connection areas have been modeled, and by applying forces equated to the concrete surface and vulnerable connection areas, the amount of created stresses has been checked. The results show that the created stresses are very low compared to the tensile and compressive stress capacity of fabric concrete. The maximum shear stresses created under the investigated conditions as well as the maximum hydrostatic pressures obtained are much lower than the permissible amount of fabric concrete stresses, in such a way that it does not enter the threshold range of critical stresses. In order to validate the hydraulic studies of flow and concrete, the relevant laboratory results have been used.

**Keywords:** Covering of open channels, trapezoidal channel, shear stresses, hydrostatic pressure, Concrete Canvas.

---

\* Corresponding Author: m.fayyaz@modares.ac.ir