

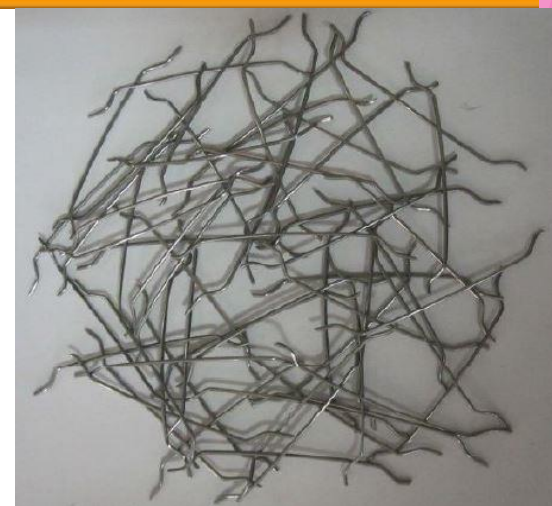
سَمِيعُ الْغُيُوبِ



انجمن تونل ایران با همکاری پژوهشکده سازندگی خاتم الانبیاء (ص) برگزار می‌کند

وبینار علمی

تجربیات اجرای تونل های سگمنتی در ایران (با
نگاهی بر کاربرد الیاف فولادی در سگمنت ها)

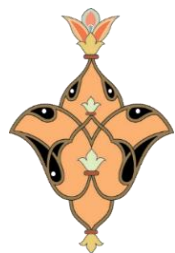


ارائه دهنده و بینار علمی

مهدی خرقانی

معاون پژوهش پژوهشکده سازندگی خاتم الانبیاء

و کتری مکانیک سنگ



فهرست مطالب:

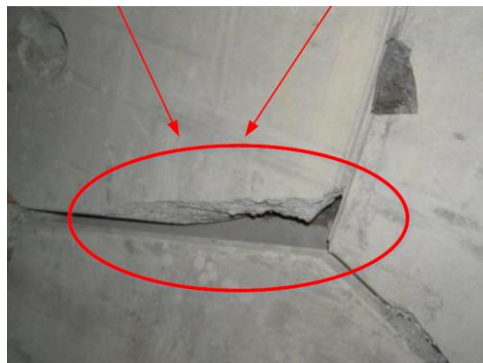
۱. مقدمه و طرح موضوع
۲. اجزای و انواع سازه سگمندی تونل ها
۳. موضوعات و چالش های مهم در تونل های سگمندی ایران
۴. الیاف فولادی و کاربرد آن در مهندسی
۵. تونل های داخل ایران با سگمنت الیاف فولادی
۶. تونل های خارج ایران با سگمنت و پوشش الیاف فولادی
۷. تجربیات اجرایی و کاربردی بتن الیاف فولادی در تونل های سگمندی ایران
۸. نتیجه گیری کلی در مورد تاثیر استفاده از الیاف فولادی در نگهداری تونل ها

مقدمه و طرح موضوع

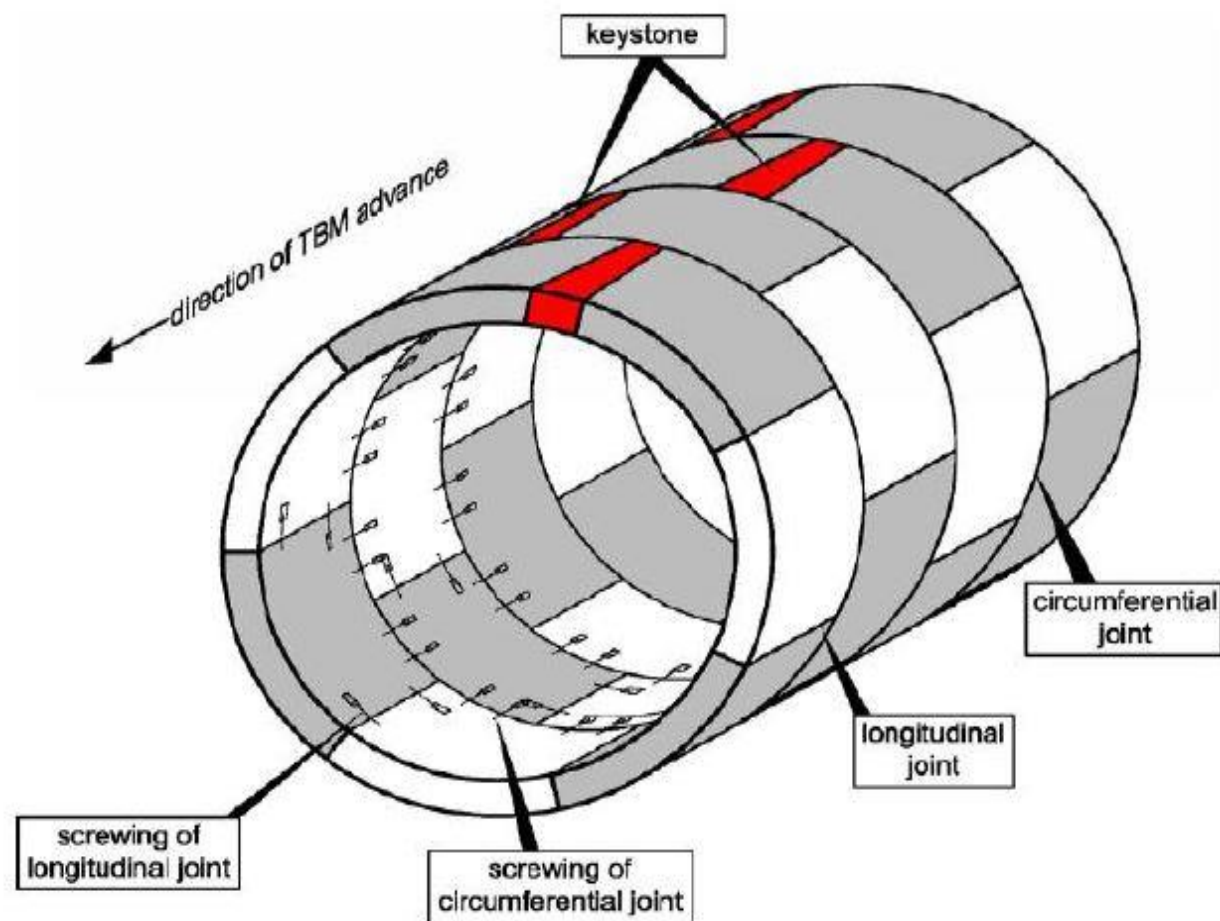
- پروژه های تونلسازی جزء پروژه های ملی و زیرساختی یک کشور می باشند، که هزینه های بالایی صرف اجرای آن ها می شود. یکی از مهمترین مواردی که هزینه های تونل های سگمنتی را تحت تاثیر قرار می دهد هزینه آرماتور موجود در بتن ها می باشد، با توجه به پیشرفت مهندسی سازه ای در سراسر دنیا و لزوم استفاده از تکنولوژی های به روز جهت کاهش هزینه ها موضوع جایگزینی الیاف فولادی به جای آرماتور در ایران نیز مطرح شده است.

با توجه به تجربیات استفاده از الیاف فولادی در پوشش سگمنتی تونل ها، هزینه های نیروی انسانی و هزینه های مصرف فولاد و زمان انجام پروژه کاهش یافته و دوام بتن و مقاومت سازه تونل افزایش می یابد.

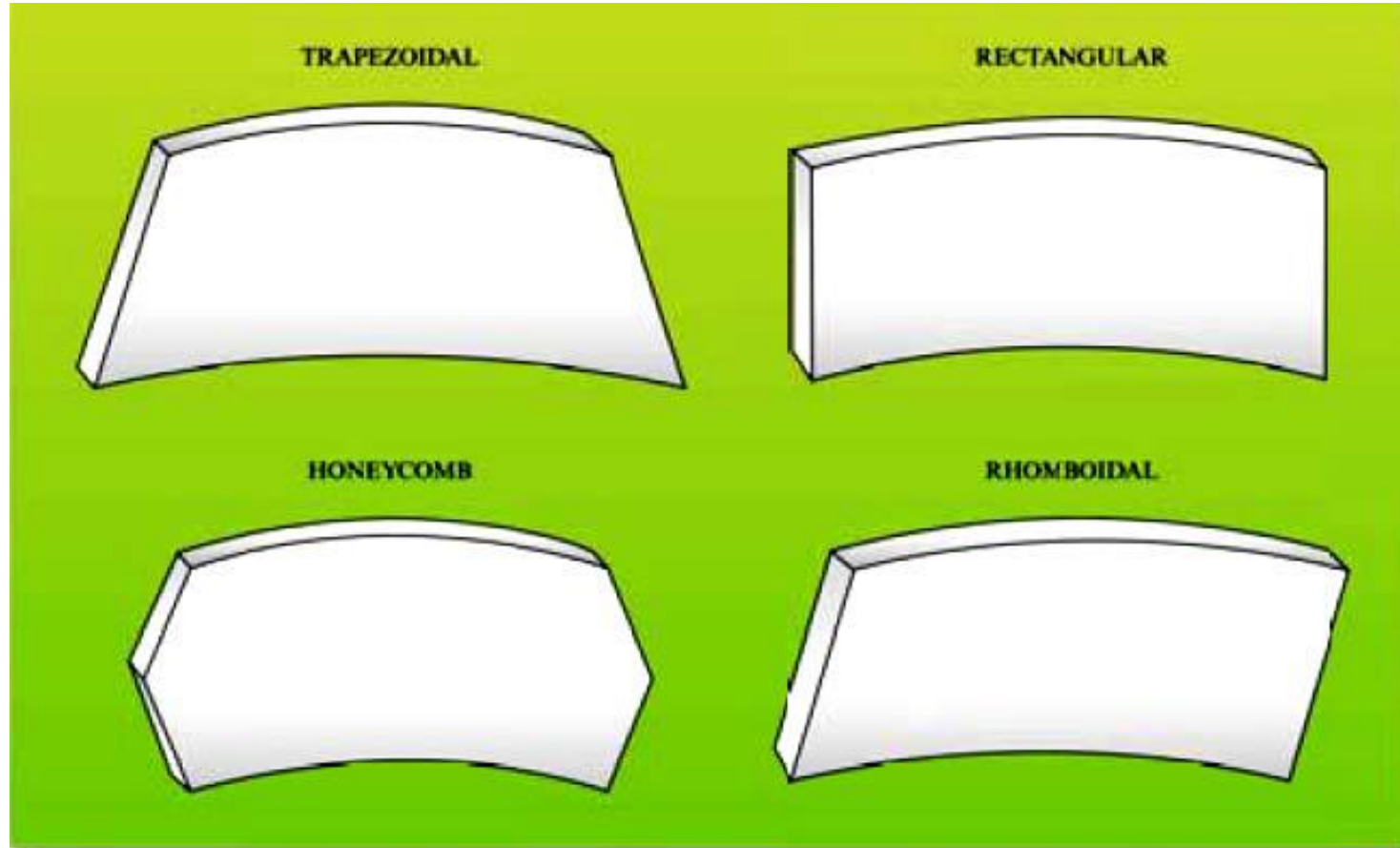
- همچنین یکی دیگر از مزایای الیاف فولادی در داخل سگمنت ها، توزیع آن در تمام بخش های سگمنت و بتن بوده و در نتیجه باعث کاهش آسیب لب پریدگی در حین حمل و نصب سگمنت ها می شود.



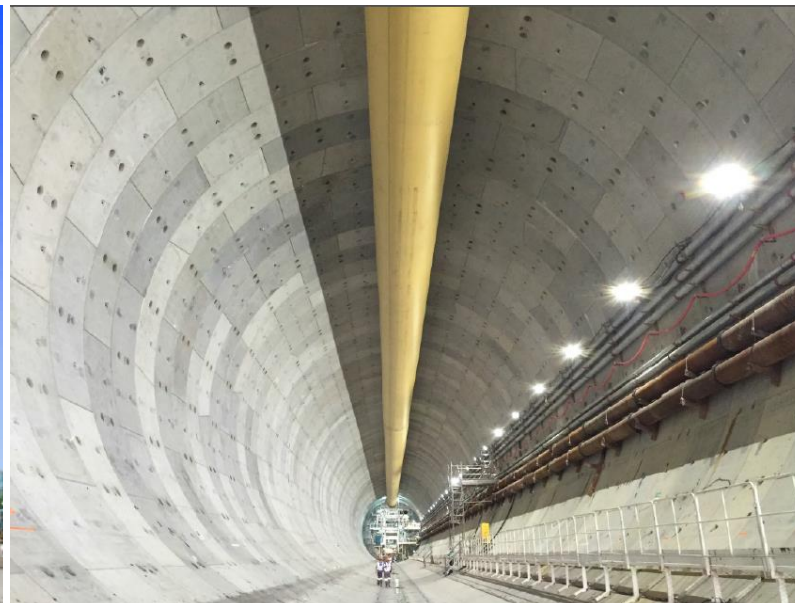
اجزای پوشش سگمنتی تونل



انواع شکل سگمنت های بتنی



وظایف سگمنت های بتنی پیش ساخته

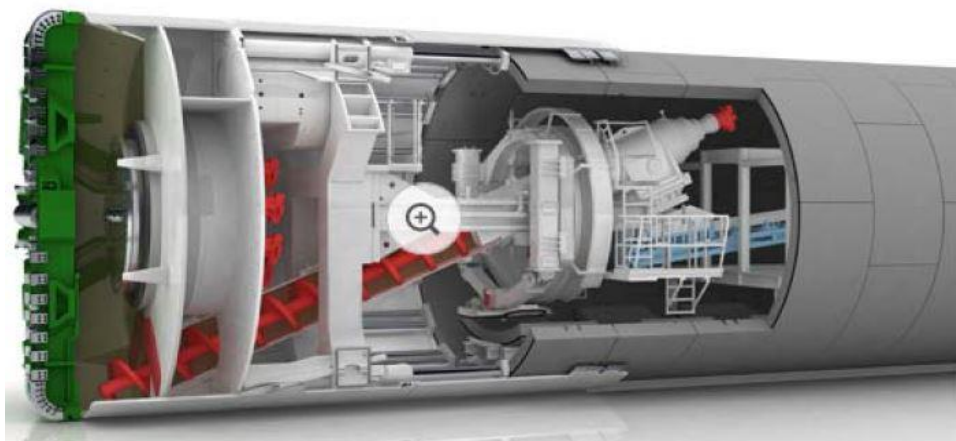


۱. نگهداری تونل در مقابل بارهای ناشی از زمین و آب

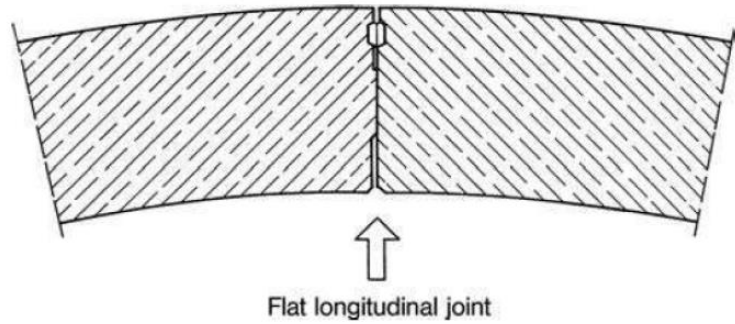
۲. ایجاد تکیه گاهی جهت اتکای جک های دستگاه TBM

۳. جلوگیری از ورود آب به داخل تونل به همراه گسگت

۴. به عنوان پوشش نهایی در تونل های مکانیزه سپری

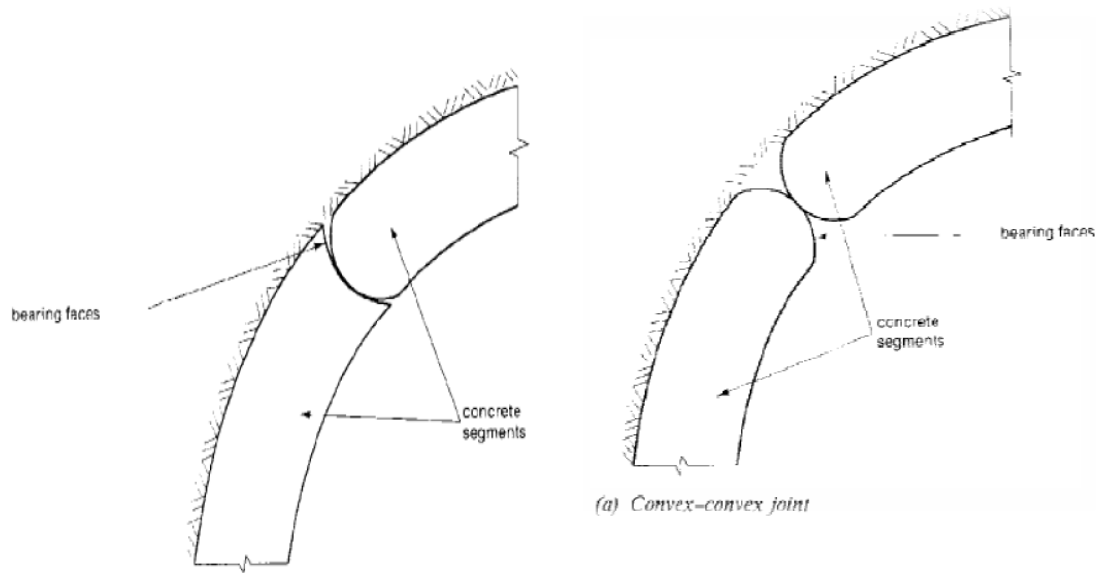


انواع کلی شکل درزه های سگمنتی



۱. درزه مسطح یا تخت

۲. درزه محدب - محدب



۳. درزه محدب - مقعر

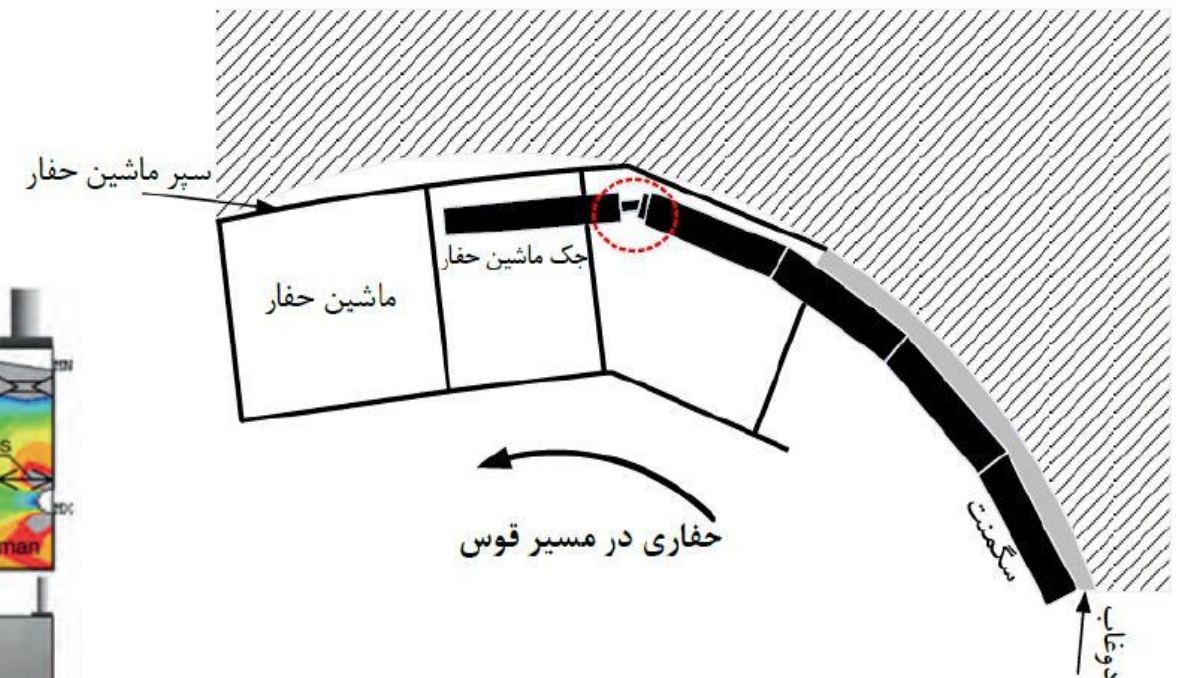
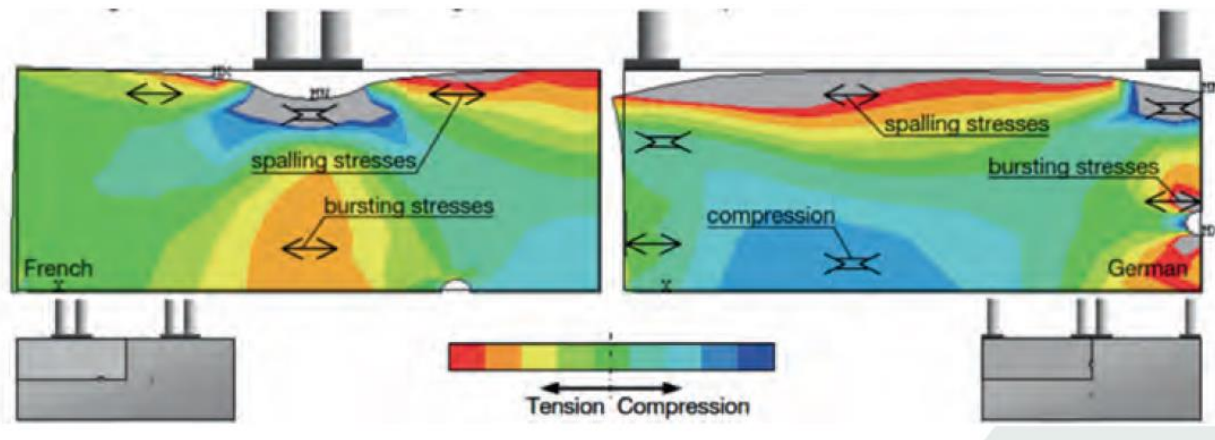
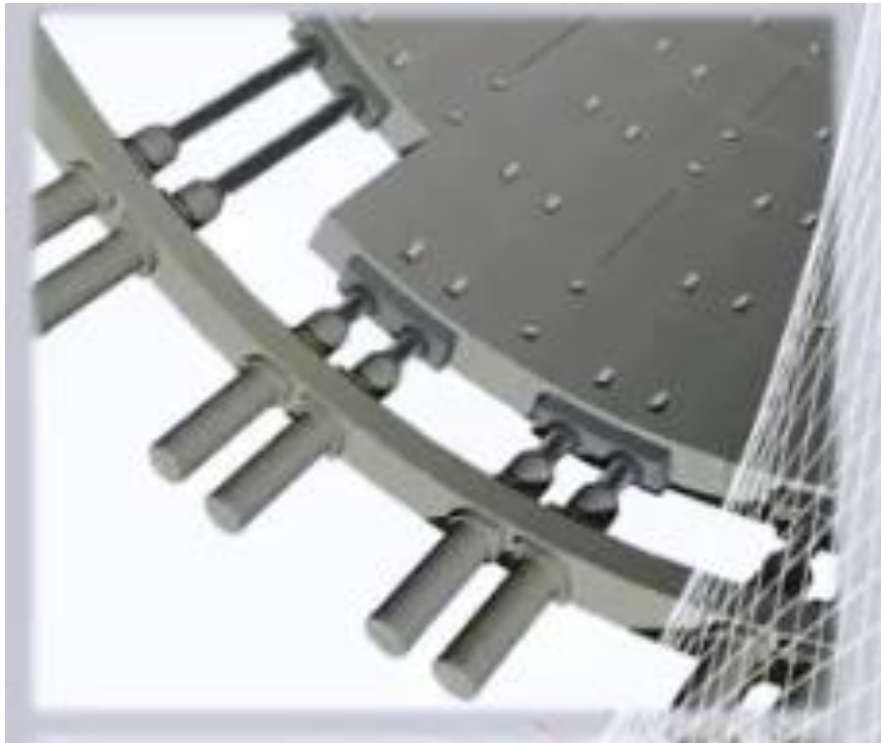
چالش های مهم در تونل های سگمنتی ایران

- ▶ ترک و آسیب سگمنت ها در حین حمل و نقل و نصب کردن
- ▶ ترک و آسیب سگمنت ها در اثر نیروی جک ماشین حفاری TBM
- ▶ آسیب سگمنت ها در اثر شرایط زمین مچاله شونده و گسلش
- ▶ نفوذ آب به داخل تونل از درزه های سگمنت ها
- ▶ تغییرشکل سگمنت ها و در رفتن سگمنت از حالت رینگی
- ▶ تغییرشکل سگمنت ها در اثر تزریق نا متقارن پشت سگمنت
- ▶ تاثیر چیدمان سگمنت ها در ترک و آسیب سگمنت ها
- ▶ تاثیر سبد سگمنت و مرحله عمل آوری و طرح اختلاط و یا **توزیع الیاف فولادی در آسیب سگمنت** (موارد ناشی در کارخانه سگمنت)

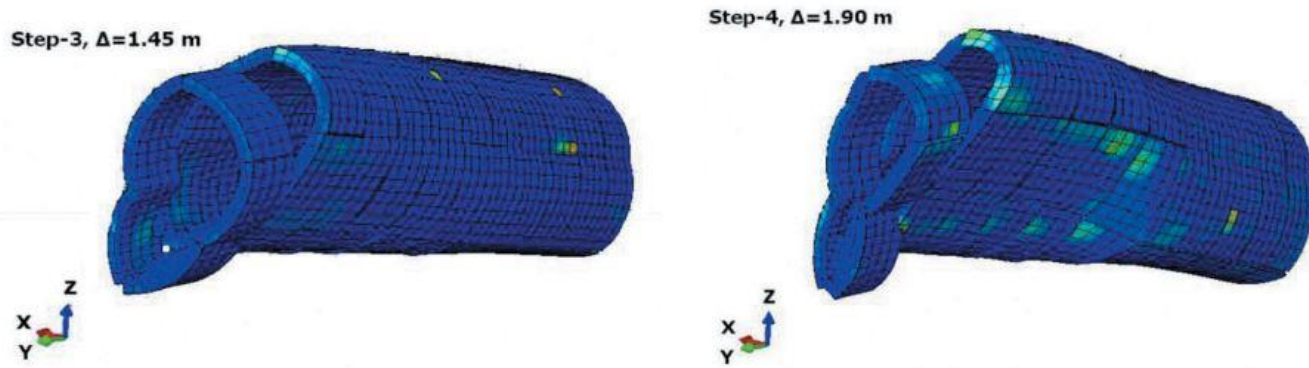
ترک و آسیب سگمنت ها در حین حمل و نقل، دیو و نصب کردن



ترک و آسیب سگمنت ها در اثر نیروی جک ماشین حفاری



آسیب سگمنت ها در اثر شرایط زمین مچاله شونده و گسلش



تونل آب در ایتالیا



نفوذ آب به داخل تونل از درزه های سگمنت ها

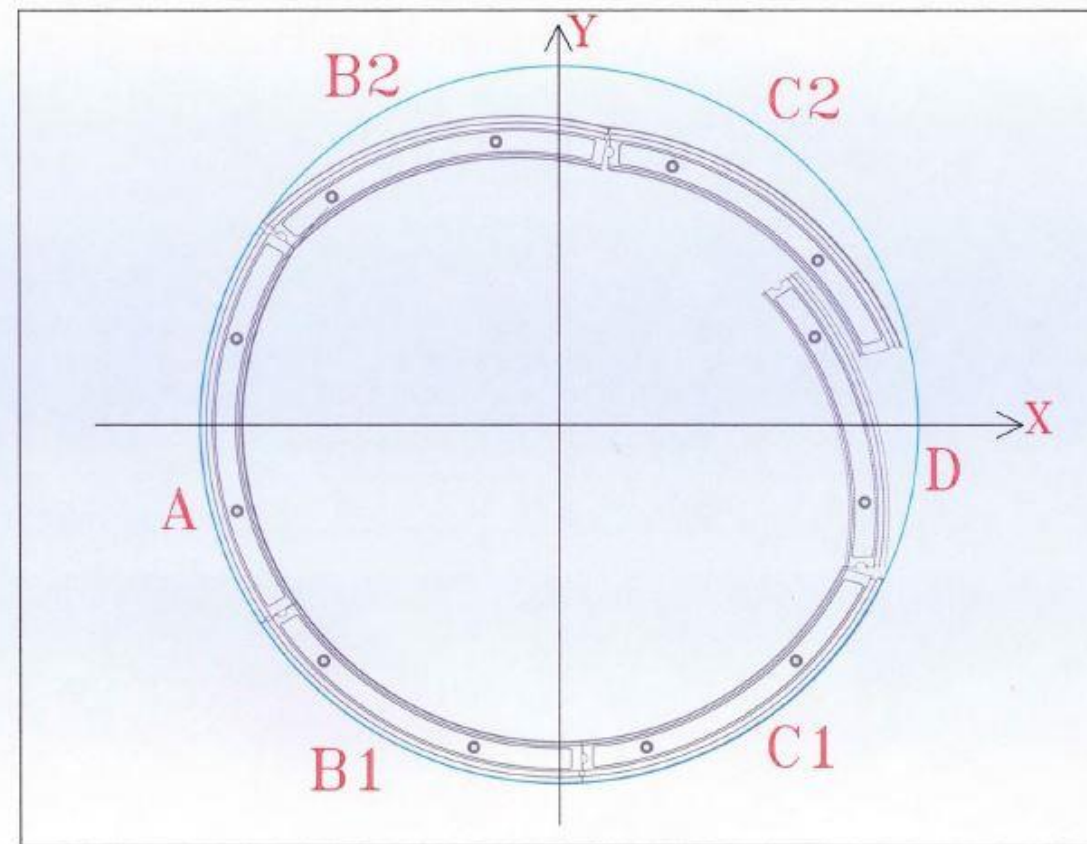


نفوذ آب به داخل تونل از درزه های سگمنت ها



تونل انتقال آب بازی دراز

تغییر شکل سگمنت ها و در رفتن سگمنت از حالت رینگی



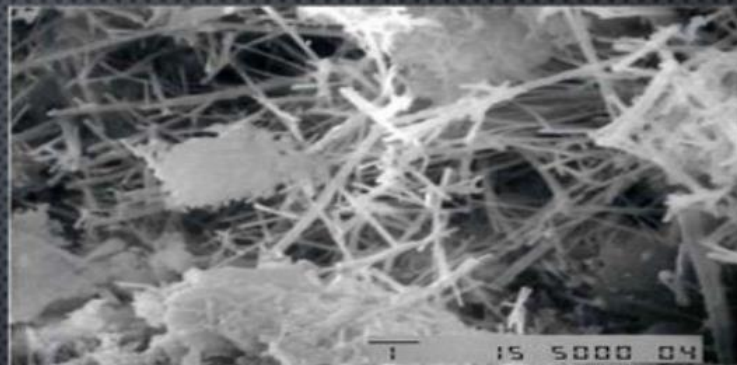
انواع الیاف های مسلح کننده در بتن

DIFFERENT TYPES OF FIBER

Steel Fiber



Natural Fiber



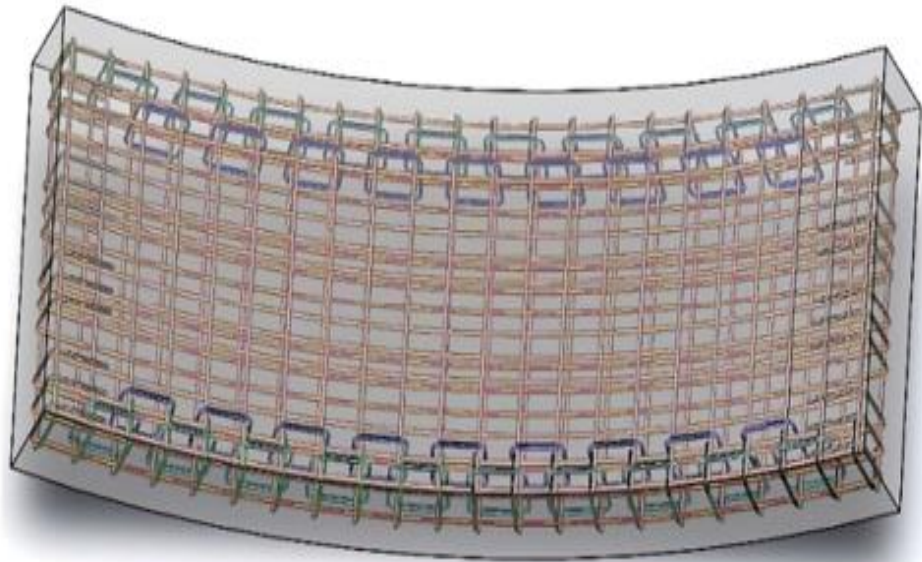
Glass Fiber



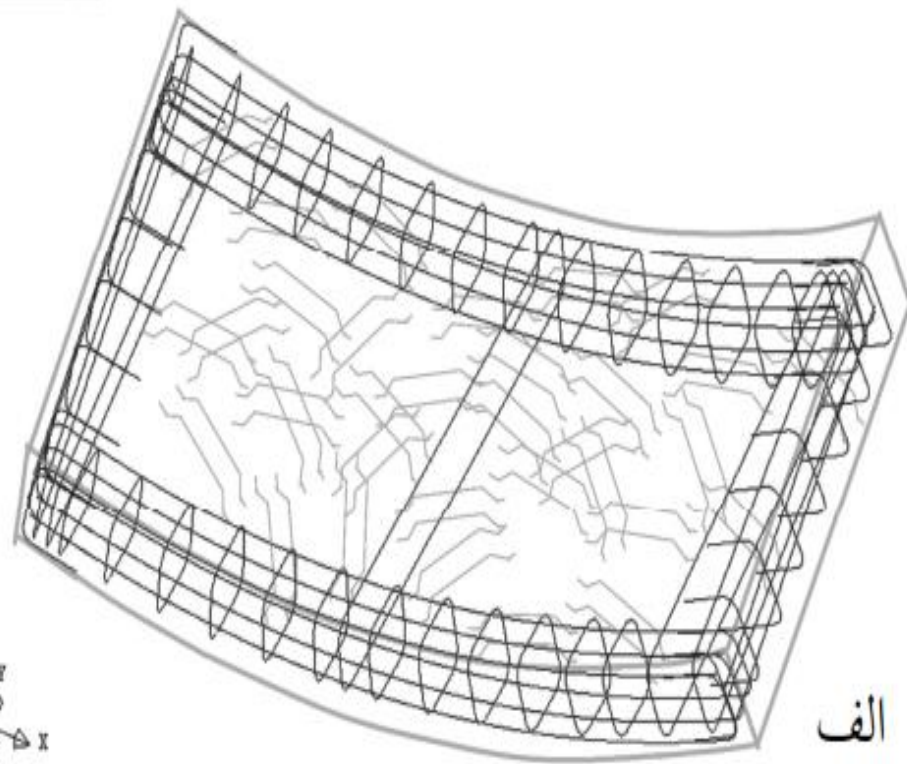
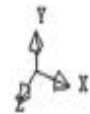
Synthetic Fiber



مقایسه شماتیک سگمنت بتنی مسلح معمولی و سگمنت بتنی مسلح الیافی



ب.



الف

الیاف فولادی و کاربرد آن در مهندسی

الیاف فولادی بخشی از ماتریکس بتن هستند که بتن را به یک مصالح کامپوزیت تبدیل می کند، در واقع این الیاف باعث توزیع یکنواخت مسلح سازی و مقاومت سازه بتنی می شود و برعکس میلگرد مقاومت در نواحی مشخصی ایجاد نمی گردد. در افزایش مقاومت کششی بتن نیز تاثیر بسیار موثرتری از میلگرد دارد.



کف های صنعتی ساخته شده از بتن الیافی فولادی در دوره بهره برداری در انگلستان



نمونه از اجرای بتن الیاف فولادی در روسازی راه در آمریکا



استفاده از بتن الیاف فولادی برای ساخت تراورس در راه آهن انگلستان



بتن ریزی دال کامپوزیت حاوی الیاف فولادی روی عرشه فولادی سبک



پنل های پیش ساخته بتن حاوی الیاف فولادی



مخازن و لوله های ساخته شده با الیاف فلزی



Oil separators



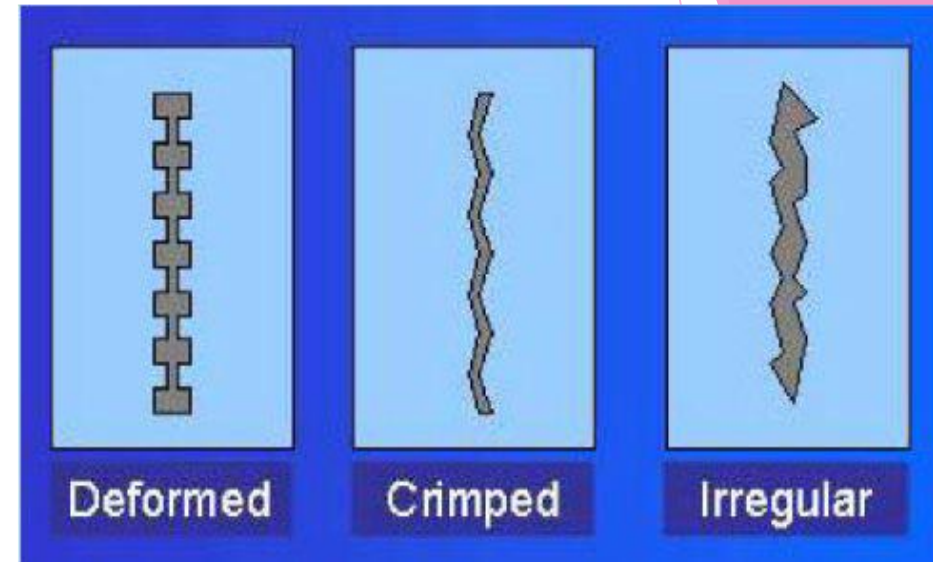
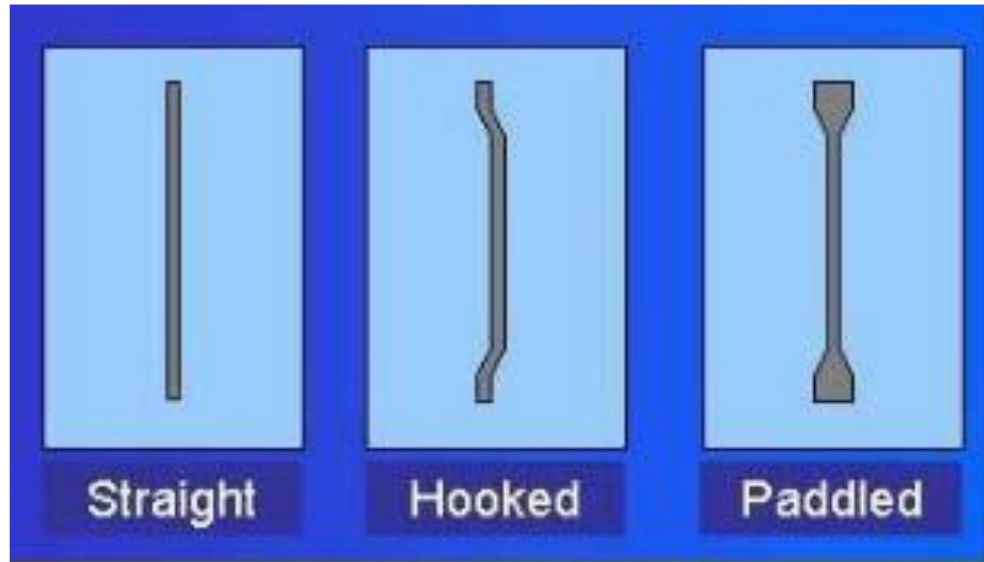
Chimney elements



Sewer pipes



انواع الیاف فولادی



۶۷/۱ درصد از نوع الیاف سرکج
۹/۱ درصد از نو الیاف مستقیم
۹/۱ درصد الیاف با تغییر شکل مکانیکی
۷/۹ درصد الیاف چین خورده
۶/۶ درصد الیاف با شرایط انتهایی دیگر
۰/۲ درصد سایر

تحلیل های آماری در جهان

انواع الیاف های فولادی از لحاظ هندسه و شکل

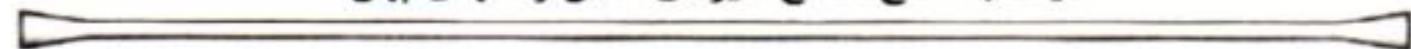
الیاف صاف (سطح مقطع دایره‌ای، مستطیلی و یا اشکال دیگر)



الیاف دندانه‌دار با سطح مضرس



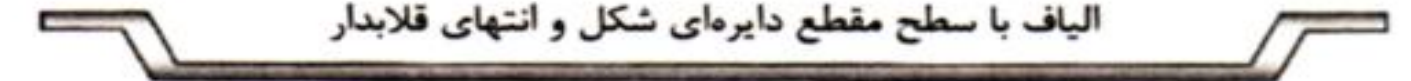
الیاف با سطح مقطع دایره‌ای شکل و انتهای پهن



الیاف با سطح مقطع دایره‌ای شکل و انتهای دکمه مانند



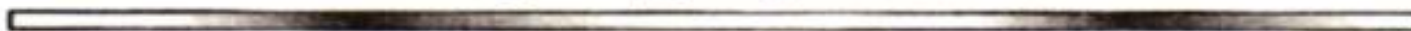
الیاف با سطح مقطع دایره‌ای شکل و انتهای قلابدار



الیاف موجدار (سطح مقطع دایره‌ای، مستطیلی و یا اشکال دیگر)



الیاف تابیده با سطح مقطع چندضلعی (جدید)



انواع الیاف فولادی

THE JAPANESE SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS (**JSCE**) HAS CLASSIFIED STEEL FIBERS BASED ON SHAPE OF THEIR CROSS-SECTION.

- **TYPE I** – SQUARE SECTION
- **TYPE II** – CIRCULAR SECTION
- **TYPE III** – CRESCENT SECTION

الیاف فولادی در سگمنت تونل ها

- ▶ سطح مقطع تونل هایی که در سراسر دنیا در آن برای لاینر از الیاف فولادی استفاده شده است بین ۴۰ تا ۹۰ متر مربع بوده است که عمدتاً در تونل های ریلی بوده است.
- ▶ ضخامت تونل هایی که در سراسر دنیا در آن برای لاینر از الیاف فولادی استفاده شده است بین ۱۸ تا ۴۵ سانتی متر بوده است.

مزایا:

جلوگیری از گسترش ترک ها قبل نصب و حین نصب و کاهش spalling بتن
افزایش مقاومت کششی و خمشی و فشاری بتن
هزینه کمتر نسبت به میلگرد
سرعت بالای ساخت و نصب نسبت به میلگرد
افزایش مقاومت در مقابل خستگی و آتش

الیاف فولادی استفاده شده در پوشش تونل های ایرانی



تونل انتقال آب پم شیر

الیاف فولادی استفاده شده در پوشش تونل های ایرانی



تunnel انتقال آب پم شیر

الیاف فولادی استفاده شده در پوشش تونل های ایرانی



تونل انتقال آب پم شیر ▶

الیاف فولادی استفاده شده در پوشش تونل های ایرانی



تunnel انتقال آب پم شیر

الیاف فولادی استفاده شده در پوشش تونل های ایرانی



تunnel انتقال آب پم شیر ▶

الیاف فولادی استفاده شده در پوشش تونل های ایرانی

شرکت صنایع مفتولی زنجان			تولید کننده الیاف
فولاد کربنی			جنس الیاف
 Diameter = 0.80 (mm)	قطر الیاف: ۰/۸ میلی متر		
 Length = 50 (mm)	طول الیاف: ۵۰ میلی متر طول باز شده الیاف (Developed length): ۵۵ میلی متر		
	شکل هندسی الیاف: دو سر خم (Hook End)		
BS EN 14889-12006 و ASTM A820-2011			استانداردهای تولید
حداکثر کرنش در زمان گسیختگی	مقاومت کششی	مدول الاستیسیته	پارامترهای مکانیکی (مقادیر پیش بینی شده)
کمتر از ۴٪	بیشتر ۹۵۰ مگاپاسکال	بیشتر از ۲۰۰ گیگاپاسکال	مقدار

▶ تونل انتقال آب پم شیر

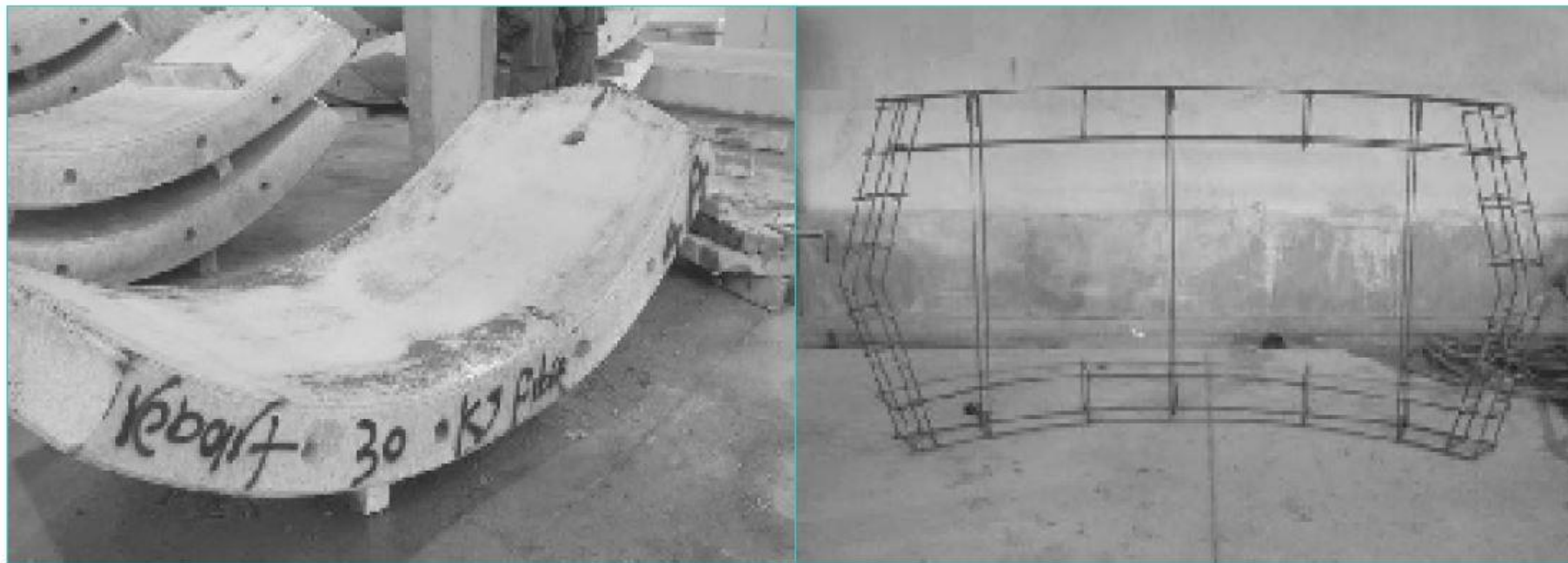
الیاف فولادی استفاده شده در پوشش تونل های ایرانی



▶ تونل انتقال آب کانی سیب یا گلاس

الیاف فولادی استفاده شده در پوشش تونل های ایرانی

▶ تونل انتقال آب قم رود (سگمنت الیاف فولادی به صورت آزمایشی ساخته شد و اجرا نشد)



الیاف فولادی استفاده شده در پوشش تونل های ایرانی

▶ تونل انتقال آب قم رود (سگمنت الیاف فولادی به صورت آزمایشی ساخته شد و اجرا نشد)



دلایل استفاده از الیاف فولادی در تونل چم شیر و کانی سيب

- ❖ کاهش هزینه‌های ساخت سگمنت
- ❖ افزایش کیفیت سگمنت و کاهش لب‌پریدگی آن
- ❖ کاهش مصرف آرماتور و فواید محیط زیستی آن
- ❖ افزایش طول عمر سازه از بابت افزایش مقاومت در برابر خوردگی و

تست های آزمایشگاهی بتن الیاف فولادی تونل چم شیر



تست های آزمایشگاهی بتن الیاف فولادی تونل چم شیر



تست های آزمایشگاهی بتن الیاف فولادی تونل چم شیر



آزمایش های انجام شده برای سگمنت الیاف فولادی



آزمایش های انجام شده برای سگمنت الیاف فولادی



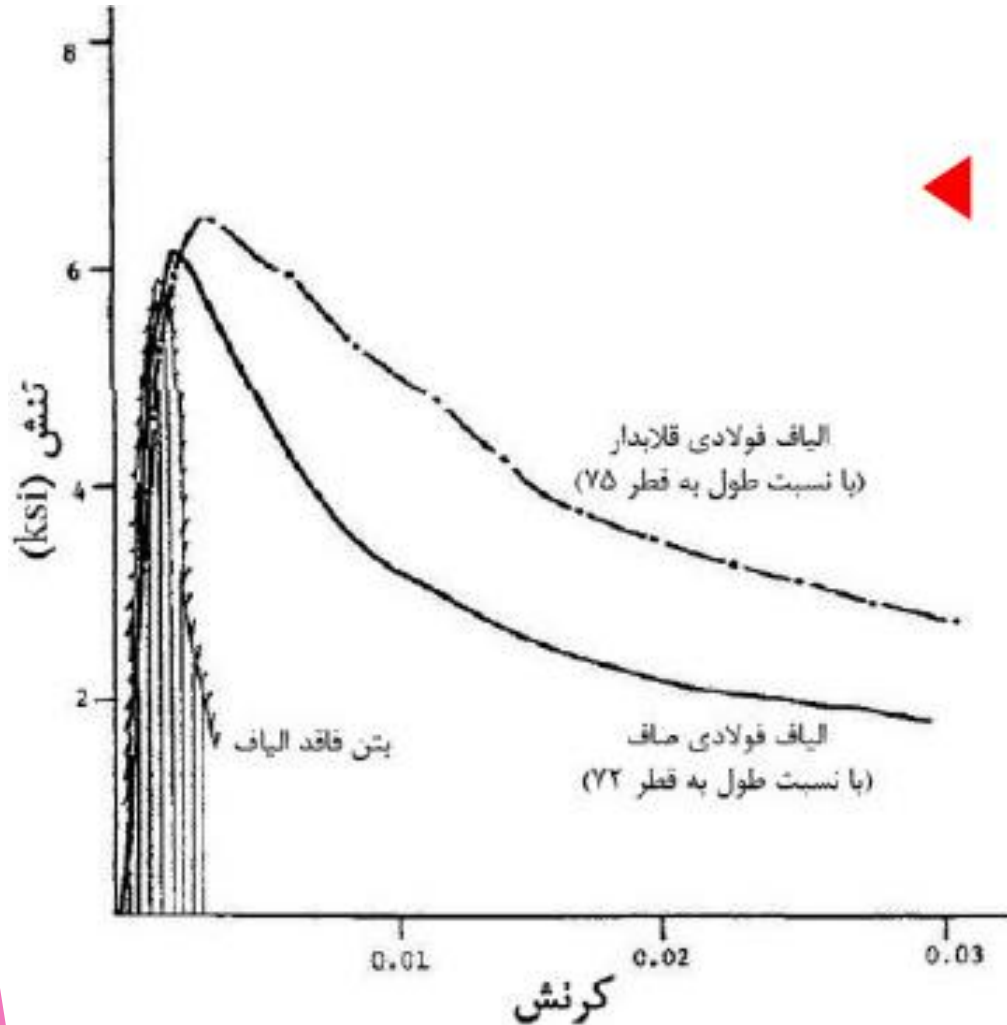
آزمایش های انجام شده برای سگمنت الیاف فولادی



منحنی تنش - کرنش بتن الیاف فولادی در آزمایش مقاومت فشاری

▶ تست مقاومت فشاری

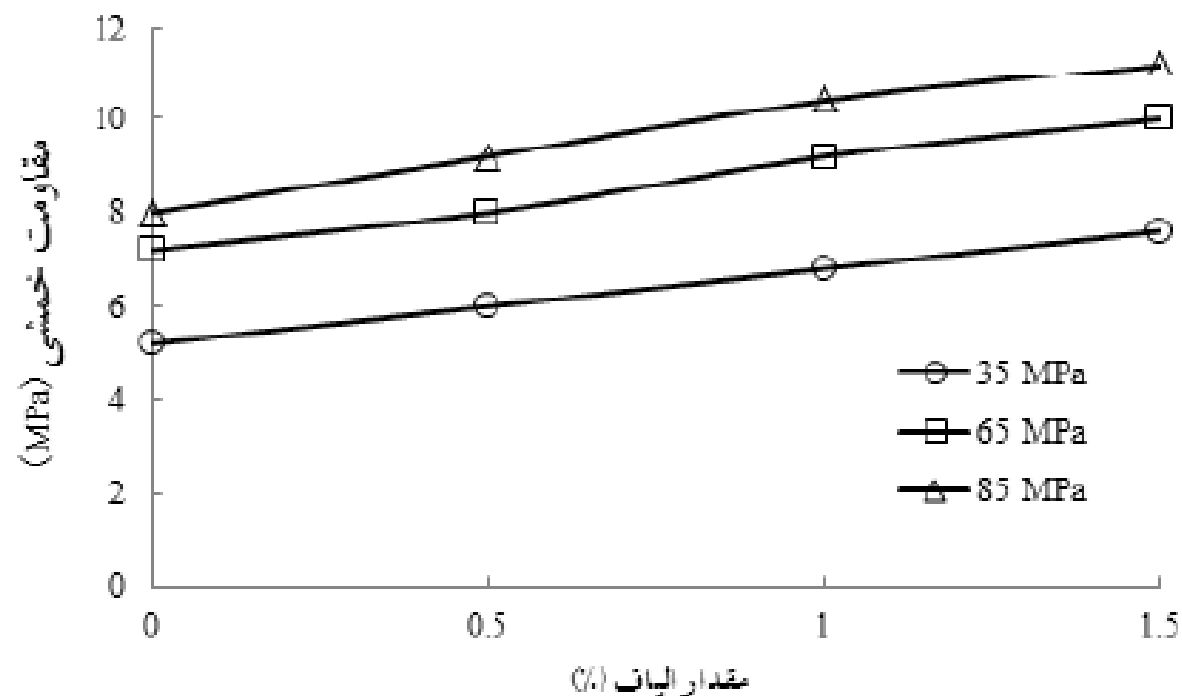
افزایش ۱۵ درصدی مقاومت فشاری با افزودن ۱/۵ درصد حجمی الیاف فولادی



منحنی تنش - تغییر مکان بتن الیاف فولادی در آزمایش مقاومت خمشی

تست خمشی

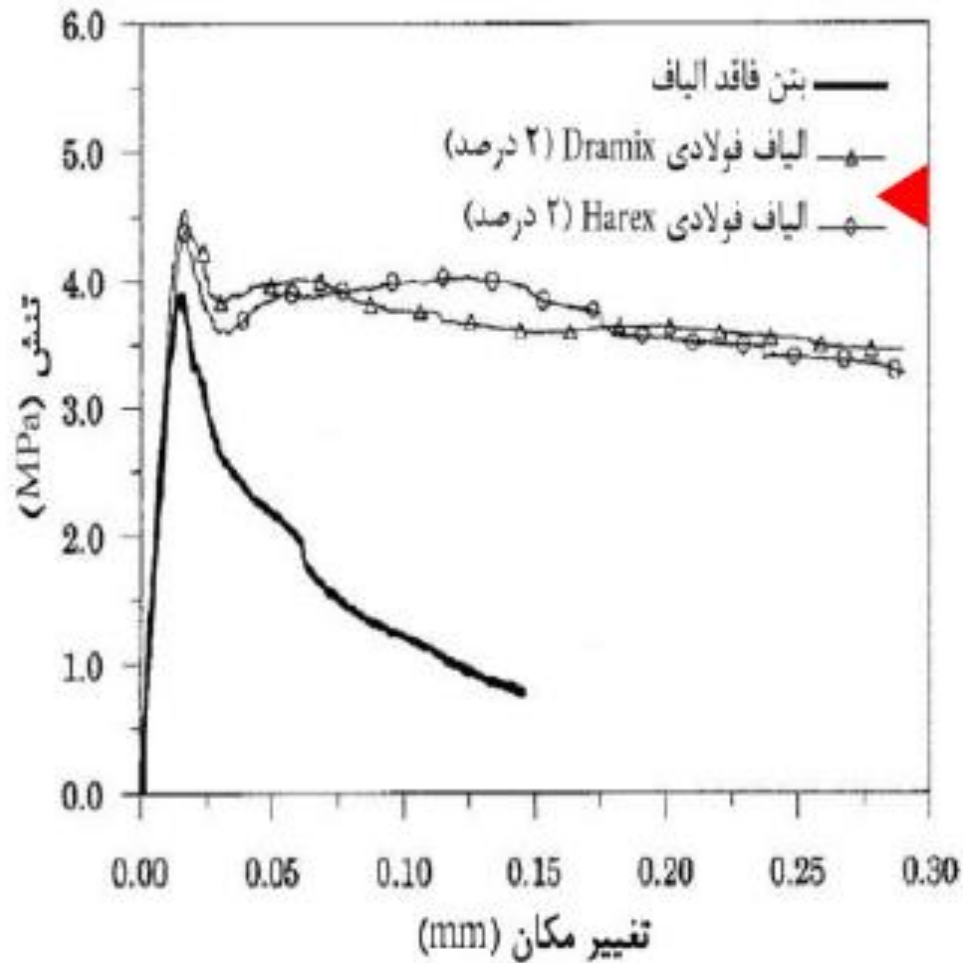
اثر افزودن الیاف فولادی به میزان ۱/۵ درصد حجمی در رده‌های ۳۵، ۶۵ و ۸۵ مگاپاسکال، مقاومت خمشی به ترتیب در حدود ۳۹، ۴۶ و ۴۰ درصد می‌باشد.



منحنی تنش - تغییر مکان بتن الیاف فولادی در آزمایش مقاومت کششی

▶ تست کششی

افزایش ۴۰ درصدی مقاومت کششی با افزودن ۱/۵ درصد حجمی الیاف فولادی



تونل های احداث شده با لاینینگ سگمنتی بتنی الیافی

Tunnel name	Year	Country	Function	D_i , ft (m)	h , in. (m)	D_i/h	Steel fiber content, lb/yd ³ (kg/m ³)	Reinforcing bars used
Metrosud	1982	Italy	Subway	19 (5.8)	12 (0.30)	19.3	NA*	No
Fanaco	1989	Italy	Water supply	10 (3.0)	8 (0.20)	15.0	NA*	No
Heathrow Baggage Handling	1993	England	Service	15 (4.5)	6 (0.15)	30.0	50 (30)	No
Heathrow Express	1994	England	Railway	18.7 (5.7)	9 (0.22)	25.9	50 (30)	No
Napoli metro	1995	Italy	Subway	19 (5.8)	12 (0.30)	19.3	67 (40)	No
Lesotho Highlands	1995	South Africa	Water supply	15 (4.5)	12 (0.30)	15.0	84 (50)	No
Hachinger	1998	Germany	Water supply	7.2 (2.2)	7 (0.18)	12.2	NA*	No
Second Heinenoord	1999	Netherlands	Road	25 (7.6)	14 (0.35)	21.7	NA*	No
Jubilee Line	1999	England	Subway	15 (4.5)	8 (0.20)	22.3	50 (30)	No
Trasvases Manabi (La Esperanza)	2001	Ecuador	Water supply	11.5 (3.5)	8 (0.20)	17.5	50 (30)	No
Essen	2001	Germany	Subway	24 (7.3)	14 (0.35)	20.9	NA*	No
Sorenberg	2002	Switzerland	Gas pipeline	12.5 (3.8)	10 (0.25)	15.2	67 (40)	No
Canal de Navarra	2003	Spain	Water supply	17.7 (5.4)	10 (0.25)	21.6	NA*	No
Oënzberg-TBM	2003	Switzerland	Railway	37.4 (11.4)	16 (0.40)	28.5	50 (30)	Yes
Oënzberg-Shield	2003	Switzerland	Railway	37.4 (11.4)	16 (0.40)	28.5	100 (60)	No

تونل های احداث شده با لاینینگ سگمنتی بتنی الیافی

Barcelona Metro Line 9 – Can Zam Stretch	2003	Spain	Subway	35.8 (10.9)	14 (0.35)	31.1	100 (60)	Yes
Hofoldingen Stollen	2004	Germany	Water supply	9.5 (2.9)	7 (0.18)	16.1	67 (40)	No
Heathrow Express Extension (HexEx)	2005	England	Railway	18.7 (5.7)	9 (0.22)	25.9	50 (30)	No
San Vicente	2006	U.S.	Water supply	10.5 (3.2)	7 (0.18)	17.8	50 (30)	No
Heathrow– SWOT	2006	England	Water supply	9.5 (2.9)	8 (0.20)	14.5	50 (30)	No
Barcelona Metro Line 9 – Stretch I	2006	Spain	Subway	27.6 (8.4)	13 (0.32)	26.3	50 (30) and 42 (25)	Yes
Lötschberg	2007	Switzerland	Pilot	14.8 (4.5)	9 (0.22)	20.5	NA*	No
Valencia Metro Line 1	2007	Venezuela	Subway	27.6 (8.4)	16 (0.40)	21.0	67 (40)	Yes
Channel Tunnel Rail Link Tunnel	2007	England	Railway	23.5 (7.15)	14 (0.35)	20.4	50 (30)	No
Gold Coast Desalination Plant	2008	Australia	Water supply	11.2 (3.4)	8 (0.20)	17.0	60 (35)	No
Big Walnut Sewer	2008	U.S.	Waste water	12 (3.7)	9 (0.23)	16.1	60 (35)	Yes
Heathrow – PiccEx	2008	England	Subway	14.8 (4.5)	6 (0.15)	30.0	50 (30)	No
Hobson Bay	2009	New Zealand	Wastewater	12 (3.7)	10 (0.25)	14.8	67 (40)	No
Sao Paulo Metro Line 4	2009	Brazil	Subway	27.6 (8.4)	14 (0.35)	24.0	60 (35)	No

تونل های احداث شده با لاینینگ سگمنتی بتنی الیافی

Copenhagen District Heating Tunnel	2009	Denmark	Water supply	13.8 (4.2)	12 (0.30)	14.0	60 (35)	No
Docklands Light Railway (DLR) Extension	2009	England	Railway	17.4 (5.3)	10 (0.25)	21.2	NA*	No
Fontsanta-Trinitat Interconnection	2010	Spain	Water supply	17 (5.2)	8 (0.20)	26.0	42 (25)	Yes
Clem Jones – Clem 7	2010	Australia	Road	36.7 (11.2)	16 (0.40)	28.0	62 (37)	Yes
Ems-Dollard Crossing	2010	Germany-Netherlands	Gas pipeline	9.8 (3.0)	10 (0.25)	12.0	NA*	No
City West Cable Tunnel (CWCT)	2010	Australia	Power cable	8.2 (2.5)	8 (0.20)	12.5	NA*	No
Adelaide Desalination Plant	2010	Australia	Water supply	9.2 (2.8)	8 (0.20)	14.0	60 (35)	No
FGC Terrassa	2010	Spain	Railway	19.7 (6.0)	12 (0.30)	20.0	42 (25)	Yes
Brightwater East	2011	U.S.	Wastewater	16.7 (5.1)	10 (0.26)	19.6	60 (35)	No
Brightwater Central	2011	U.S.	Wastewater	15.4 (4.7)	13 (0.33)	14.2	67 (40)	No
Brightwater West	2011	U.S.	Wastewater	12.1 (3.7)	10 (0.26)	14.2	60 (35)	No
East side CSO	2011	U.S.	Wastewater	22 (6.7)	14 (0.36)	18.6	NA*	No
Victorian Desalination Plant	2011	Australia	Water supply	13.1 (4.0)	9 (0.23)	17.4	NA*	No
Monte Lirio	2012	Panama	Water supply	10.5 (3.2)	10 (0.25)	12.8	67 (40)	No
Pando	2012	Panama	Water supply	9.8 (3.0)	10 (0.25)	12.0	67 (40)	No
El Alto	2013	Panama	Water supply	19 (5.8)	14 (0.35)	16.6	67 (40)	No
Wehrhahn	2014	Germany	Subway	27.2 (8.3)	12 (0.30)	27.7	67 (40)	No
STEP Abu Dhabi Lot T-02	2014	UAE	Wastewater	20.7 (6.3)	11 (0.28)	22.5	67 (40)	Yes
Grosvenor Coal Mine	2014	Australia	Mining	23 (7.0)	14 (0.35)	19.7	60 (36)	No
San Francisco Central Subway	2014	U.S.	Subway	17.8 (5.4)	11 (0.28)	19.4	45 (27)	Yes
Blue Plains Tunnel	2015	U.S.	Wastewater	23 (7.0)	14 (0.35)	19.7	60 (36)	No
Lee Tunnel Sewer	UC [†]	England	Wastewater	23.6 (7.2)	14 (0.35)	20.6	NA*	No
Brenner Base Tunnel	UC [†]	Austria	Railway	18.4 (5.6)	8 (0.20)	28.0	NA*	Yes

الیاف فولادی استفاده شده در پوشش تونل های غیر ایرانی

نمونه های شاخص

Tunnel	Country	Type of tunnel	Completion time	Length (km)	Tunnel section (m2)	Final lining thickness (cm)	Brief geology
CTRL (Connection to St. Pancras Station)	U.K.	Railway	2004	2	40.2	35	London Clay
Oenzberg Tunnel	Switzerland	Railway	2003	3.16	102.7	40	Molasse
Hofoldingen Stollen tunnel	Germany	Hydraulic	2004	17.5	8.6	18	Hard Conglomerates
STEP (Strategic Tunnel enhancement Programme)	U.A.E (Abu Dhabi)	Hydraulic	2012	15.6	31.2	28	Claystones & Mudstones Siltstones Gypsum
Barcelona Metro (Line 9) - Can Zam stretch	Spain	Railway	2003	3.9	93.3	35	Granodiorites

*NA: Not available.

†UC: Under construction.

الیاف فولادی استفاده شده در پوشش تونل های خارجی

Tunnel	Country	Type of tunnel	Completion time	Length (km)	Tunnel section (m2)	Final lining thickness (cm)	Brief geology
Sao Paulo Metro (Line 4)	Brazil	Railway	2009	1.2	55.4	35	Weathered Gneiss
Clem Jones Tunnel	Australia	Motorway	2010	4.8	102	40	Volcanic Ash Metamorphic rocks
Gold Coast Desalination Tunnels	Australia	Hydraulic	2008 (planned)	4.2	9.1	30	Sandstones & Mudstones

Metro line 3	Singapor	Railway	2013	-	-
--------------	----------	---------	------	---	---

الیاف فولادی استفاده شده در پوشش تونل های خارجی



تجربیات بتن الیاف فولادی در تونل های سگمنتی ایران

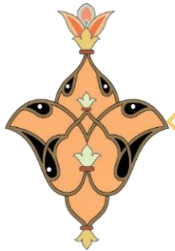
- ▶ از بین رفتن لب پریدگی سگمنتها به سبب پخش یکنواخت الیاف فولادی در بتن و ایجاد مخلوط همگن بتنی.
- ▶ کاهش نیروی انسانی و فضای مورد نیاز برای احداث کارخانه به سبب حذف شبکه آرماتور.
- ▶ کاهش چشم گیر مصرف نیروی برق مورد نیاز برای کارخانه.
- ▶ افزایش مقاومت سگمنت در برابر آتش سوزی وعدم پوسته شدن آن در برابر شوکهای حرارتی.
- ▶ صرفه جویی کلی در زمان و هزینه های تولید سگمنت.
- ▶ جهت رسیدن به حالت بهینه معمولا ترکیبی از الیاف و چارچوب آرماتور در بتن سگمنتی استفاده شده است.

نتیجه گیری کلی

- ▶ در بتن های الیاف فولادی تحت شرایطی جهت رسیدن به یک حالت بهینه از نظر هزینه و مقاومت بهتر است از حالت های مختلف همچون الیاف فولادی خالی یا الیاف فولادی به همراه آرماتور در بتن استفاده کرد و با توجه به تجربیات مهندسان پروژه و تست ها می تواند تشخیص داده شود.
- ▶ مقایسه نتایج آزمایش مختلف نشان می دهد که میزان الیاف ۴۰ کیلوگرم بر متر مکعب قطر ۰/۸ میلی متر حالت بهینه ای از نظر مهندسی می باشد.
- ▶ نتایج تجربی نشان می دهد که توزیع الیاف و جهت گیری آن داخل ملات سگمنت بسیار مهم و تاثیرگذار بوده و در زمان ویبره به این مسئله بسیار باید توجه داشت، در نتیجه نیاز به مهندسان و متخصصان اجرایی ماهر جهت استفاده از بتن الیافی می باشد.
- ▶ در بتن های الیاف فولادی سگمندی به منظور بهبود کارایی بتن از افزودنی های فوق روان کننده استفاده شود و در تونل چم شیر از ماده روان کننده فرکوپلاست استفاده شده است.



انجمن تونل ایران با همکاری پژوهشکده سازندگی خاتم الانبیاء (ص) برگزار می‌کند



پایان