



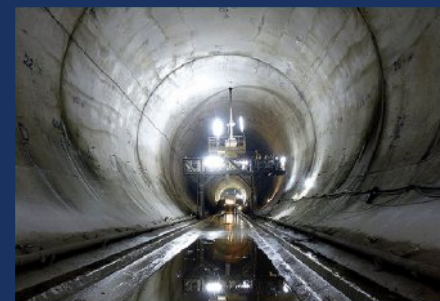
کمیته حفاری مکانیزه انجمن تونل ایران
با همکاری شرکت سابیر و شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران

استفاده از الیاف فلزی در ساخت سگمنت تونل

(مطالعه موردی: پروژه تونل چم شیر)

ارائه دهندگان: آقایان مهندسین
محمد خسرو تاش، مجید مشهد میقانی، علی اکبر صابری،
مصطفی روان بخش، مسعود خسرو تاش

تیر ماه ۱۳۹۳



چرا کاربرد بتن الیافی در تولید سگمنت تونل چمشیر مورد توجه قرار گرفت

- کاهش هزینه های تولید سگمنت (هزینه های مستقیم و غیرمستقیم)
- بهبود کیفیت پوشش تونل از بابت کاهش لب پریدگی و ترمیم سگمنت
- ترویج تکنولوژی کاربرد بتن الیافی در پروژه های تونلی که پیامدهای مثبت فراوانی به همراه خواهد داشت که علاوه بر کاهش هزینه ها و بهبود کیفیت می توان به موارد زیر نیز اشاره نمود:
- کاهش مصرف متریال فولادی (آرماتور یا الیاف در بتن) که از جنبه اقتصاد کلان و ملاحظات محیط زیستی قابل توجه است.
- حمایت از تولید الیاف فولادی در داخل کشور
- زمینه سازی برای بهره گیری از فواید متعدد بتن الیافی در سایر پروژه های تونلی ، مثل افزایش مقاومت پوشش تونل در مقابل آتش سوزی ، تاثیر مثبت کاربرد الیاف فولادی نسبت به آرماتور از نظر اثرات القای مغناطیسی ، افزایش طول عمر سازه از بابت افزایش مقاومت در برابر خوردگی و

مروری بر مزایای استفاده از الیاف فولادی در تولید بتن

۱	افزایش مقاومت فشاری	۱۳	کاهش انقباض خمیری در بتن تازه
۲	افزایش مقاومت خمشی	۱۴	افزایش وزن مخصوص بتن تازه و سخت شده
۳	افزایش مقاومت کششی	۱۵	افزایش مقاومت سطحی بتن در مقابل سایش های هیدرولیکی
۴	افزایش مقاومت برشی	۱۶	مقاومت قابل توجه در مقابل بارهای سیکلی و ناگهانی
۵	افزایش توان باربری اعضای بتنی و تحمل تغییر شکل های بالا	۱۷	مقاومت در مقابل پدیده کاویتاسیون سازه های آبی
۶	کاهش عوارض ترک خوردگی بتن	۱۸	کاهش نفوذ پذیری بتن
۷	افزایش طاقت بتن	۱۹	کاهش تنش های حرارتی بتن
۸	افزایش ضریب ارتجاعی بتن	۲۰	افزایش ظرفیت جذب انرژی بتن
۹	افزایش دوام بتن	۲۱	کاهش هزینه و دستمزد تولید بتن و کاهش نیروی انسانی
۱۰	بهبود رفتار بتن تحت خستگی	۲۲	قابلیت کشش عالی
۱۱	افزایش مقاومت بتن در مقابل بارهای ضربه ای	۲۳	مقاومت در مقابل تورق
۱۲	کاهش در جمع شدگی بتن	۲۴	قابلیت باربری زیاد بعد از ترک خوردگی

ملاحظات مطرح در کاربرد بتن الیافی در تولید سگمنت تونل چم شیر

ملاحظات اقتصادی : کاهش هزینه های مستقیم و غیر مستقیم تولید سگمنت ، قیمت خرید الیاف فولادی در مقایسه با آرماتور، قیمت خرید دستگاه اختلاط الیاف با بتن، نرخ تولید روزانه سگمنت، کاهش تعداد پرسنل و

ملاحظات فنی : تعیین عیار مصرف الیاف، رفتار الیاف از بابت خوردگی و طول عمر سگمنت، توزیع یکنواخت الیاف، عملکرد سازه ای در برابر بارهای مختلف حین تولید و حمل و نصب، تفاوت کیفیت الیاف تولید داخل و خارج، و

ملاحظات اجرایی : بسته بندی و حمل الیاف فولادی، نحوه اضافه کردن آن به بتن ، روش برداشتن سگمنت از قالب و

بعد از تصمیم گیری برای تولید بتن الیافی، با هماهنگی کارفرما اقداماتی به ترتیب زیر انجام شد:

- بررسی کفایت فنی الیاف تولید داخل
- انجام آزمایشات روی نمونه های بتن آزمایشگاهی با همکاری دانشگاه تهران
- انجام آزمایشات روی نمونه های بتن آزمایشگاهی در کارگاه تونل چمشیر
- تولید سگمنت با بتن الیافی (و تست تمام مقیاس سگمنت)
- تولید انبوه سگمنت
- بهینه سازی طرح سگمنت و روش تولید آن در حین اجرا

مشخصات فنی الیاف فولادی خارجی

طبق طرح پیشنهادی مشاور ایرانی

PRODUCT DATA SHEET

BEKAERT



Dramix®



- **Description:** Dramix® fibres are filaments of wire, deformed and cut to lengths, for reinforcement of concrete, mortar and other composite materials. Dramix® RC-80/60-BN is a cold drawn wire fibre, with hooked ends, and glued in bundles.



- **Tensile strength:**
 - on the wire: minimum 1050 N/mm²
 - low carbon conforms to: - DIN 17 140-D9
 - EN 10016-2 - C9D
- **Coating:** None
- **Technical data:**

مشخصات فنی الیاف فولادی خارجی

طبق طرح پیشنهادی مشاور خارجی

MACCAFERRI

TECHNICAL DATA SHEET

Rev. 02, Date 01.10.2012

WIRAND® FIBRE FF3 HS

DESCRIPTION:

Wirand cold drawn steel wire fibre FF3HS, for structural concrete reinforcement



NOMINAL DIMENSION:

- Diameter D: 0.75 mm
- Length L: 50 mm
- Aspect ratio L/D: 67
- Number of fibre/Kg 5.700



Figure 1

MECHANICAL PROPERTIES:

R_m (Nominal tensile strength of the wire): 1500 MPa
 Dl (ultimate strain) < 4%

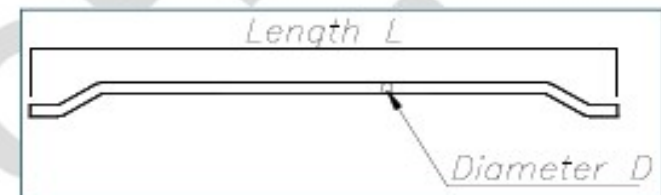


Figure 2

مشخصات فنی الیاف فولادی داخلی

طبق کاتالوگ شرکت سازنده ایرانی

صنایع مفتولی زنجان (سهامی خاص)
ZANJAN WIRE INDUSTRIES CO.

خواص مکانیکی:



Diameter (mm)	Tensile Strength(R_M) (N/mm ²)	Modulus of elasticity (N/mm ²)	Ultimate strain (DI)
0.6	Type A: >700 Type B: >1200	200000	< 4%
0.80	>950	200000	< 4%
1.00	>950	200000	< 4%
1.20	>900	200000	< 4%

* Modulus of elasticity shall be calculated using the stress and deformation at 10% and 30% of R_m

استانداردهای تولید:

ASTM A820:2011 ❖

BS EN 14889-1:2006 ❖

بسته بندی:

❖ در پاکت های 15Kg بسته بندی می گردد.



گواهینامه ها:

❖ گواهینامه فنی از مرکز تحقیقات راه و مسکن و شهرسازی

❖ SGS



دفتر مرکزی: میر داماد شرقی، شماره ۱۱۲
تلفن: ۲۲۲۲۴۶۴۹ - ۲۲۲۷۵۰۴۰
کارخانه: کیلومتر ۱۶ جاده تاکستان-همدان
تلفن: ۵۷۷۲۳۰۰۰-۳

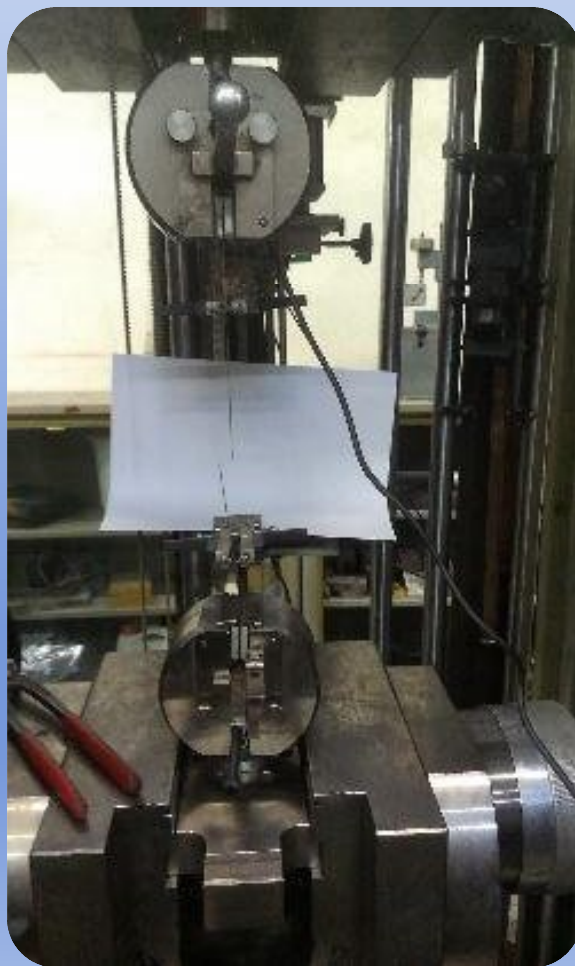




مشخصات الیاف فولادی مورد استفاده در سگمنت تونل چم شیر

شرکت صنایع مفتولی زنجان			تولید کننده الیاف
فولاد کربنی			جنس الیاف
	قطر الیاف: ۰/۸ میلی متر		ابعاد هندسی
	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 ۰.۴٪	بیشتر ۹۵۰ مگاپاسکال	بیشتر از ۲۰۰ گیگاپاسکال	مقدار

انجام تست کشش الیاف فولادی تولید داخل در آزمایشگاه مقاومت مصالح دانشکده مکانیک دانشگاه امیر کبیر



درخواست انجام تست کشش الیاف فولادی تولید داخل از دانشگاه امیرکبیر
(آزمایشگاه مقاومت مصالح دانشکده مکانیک)

جنس الیاف			فولاد کربنی (با درصد بسیار جزئی از عناصری مثل منگنز، نیکل، کرم، مس و .. جمع این عناصر کمتر از ۱ درصد)		
روش تولید			با کشیدن میلگردهای بدون آج (قطر حدود ۵ میلیمتر) به روش سرد، به تدریج در چند مرحله، میلگردها به سیم های نازک تبدیل شده و سپس سیم ها به صورت قطعاتی با هندسه خاص بریده می شوند.		
ابعاد هندسی			قطر الیاف : 0.8 میلیمتر		
			طول الیاف : ۵۰ میلیمتر طول باز شده الیاف (Developed Length) : 55 میلیمتر		
			شکل هندسی الیاف : دو سر خم (Hook End)		
استانداردهای تولید			ASTM A820-2011 و BS EN 14889-12006 و ISIRI 14491		
پارامترهای مکانیکی (مقادیر پیش بینی شده)			مدول الاستیسیته	مقاومت کششی	حداکثر کرنش در زمان گسیختگی
			بیشتر از 200 گیگاپاسکال	بیشتر از 1050 مگاپاسکال	کمتر از 4%

نتایج تست کشش الیاف فولادی تولید داخل در دانشگاه امیرکبیر (آزمایشگاه مقاومت مصالح دانشکده مکانیک)



بسمه تعالی

دانشگاه صنعتی امیر کبیر (پلی تکنیک تهران)
آزمایشگاه مقاومت مصالح

تاریخ: ۱۳۹۳/۰۷/۱۵ ...

شماره: R.۹۳۰۵۲۲۰۵ ...

پیوست:

نام متقاضی: شرکت سایبر

نوع آزمون: کشش

شرایط محیطی: دما: ۲۴ درجه سانتیگراد رطوبت: ۲۳ درصد

مشخصات نمونه	مدول الاستیسیته (kN/mm ²)	تنش 0.2% (N/mm ²)	تنش تسلیم (N/mm ²)	تنش نهایی (N/mm ²)	درصد ازدیاد طول تنش نهایی (%)	درصد ازدیاد طول شکست (%)
مفتول فولادی به قطر 0.78 میلیمتر	195.5	1390.1	1397.9	1514.9	1.99	2.3

Dramix®



• Tensile strength:
- on the wire: minimum 1050 N/mm²

نتایج آنالیز شیمیایی الیاف فولادی در آزمایشگاه رازی با هدف مقایسه با الیاف فولادی داخلی

گزارش نتایج آزمون

مرکز پژوهش متالورژی و آلیاژهای خاص

موضوع: تست الیاف فولادی

نشانی: تهران، چهارمیدان، کوچه میرزا، پلاک ۳۳۹

نام قطعه یا نمونه: الیاف فولادی Dramix ساخت شرکت Bekaert

شماره مرجع مشتری: ۸۷۰-۵۹۳۶۲

تاریخ: ۱۳۹۲/۱۲/۰۶

شماره پیگیری: ۳۹۲-۵-۱

شماره ویرایش: ۱

تاریخ دریافت نمونه: ۱۳۹۲/۱۲/۰۱

تاریخ تایید مالی: ۱۳۹۲/۱۲/۰۱

تاریخ انجام آزمون: ۱۳۹۲/۱۲/۰۱

صفحه: ۱ از ۱

شرایط محیطی آزمایشگاه: دما: ۲۵°C رطوبت: ۳۰٪ پیوست:

نمونه گیری توسط مشتری انجام گرفته است

آزمون تعیین ترکیب شیمیایی به روش آنالیز شیمیایی

استاندارد مرجع آزمون: ASTM E 350(12) , ASTM E 1019(11)

درصد وزنی عناصر موجود در نمونه به شرح زیر است:

عناصر	درصد وزنی	عناصر	درصد وزنی	عناصر	درصد وزنی	عناصر	درصد وزنی
C	0.15	S	0.03	Si	0.03	P	0.01
Mn	0.48	Cu	0.07	Ni	0.03	Mo	<0.01
Cr	0.04	Fe	Rem	-	-	-	-

نمونه های فلزی گرام مورد تایید است. تحلیل نام نمونه با قطعه ارسالی در حیطه مسئولیت این مرکز نمی باشد. باقیمانده نمونه های مورد آزمون حداکثر به مدت یک ماه نگهداری خواهد شد.

در صورت نیاز به خدمات و یا به صورت مکتوب به مدیر آزمایشگاه اعلام فرمایید. نحوه ارتباط مستقیم با مدیر عامل: تلفن: ۰۲۱-۳۹۸۱۵۵۳۳ یا Email: jafarian@razi-center.net می باشد.

آدرس: تهران، چهارمیدان، کوچه میرزا، پلاک ۳۳۹، واحد ۲۱، اداره مخصوص صنایع، دروازه های سرخه حصار، خیابان فرستادن، پلاک ۸، تلفن: ۰۲۱-۳۹۸۱۵۵۳۳

شماره: ۰۲۱-۳۹۸۱۵۵۳۳

مرکز پژوهش متالورژی و آلیاژهای خاص

واحد آزمایشگاه ها

نتایج آنالیز شیمیایی الیاف فولادی تولید داخل
که قابل مقایسه با نمونه تولیدی درامیکس می باشد

IR-TCI 10:54 75%

Message steel fiber.pdf

ZANJAN WIRE INDUSTRIES CO.

ترکیب شیمیایی

نوع اول (بر اساس تست رپپورت وایرود اولیه)

عنصر	C	Si	Mn	S	P	Ni	Al	Co
درصد	0.06-0.1	0.84-.91	1.43-1.49	0.007-0.016	0.01-0.017	0.01-0.02	0.002-0.006	0.02-0.04

نوع دوم (بر اساس تست رپپورت وایرود اولیه)

عنصر	C	Si	Mn	S	P	Ni	Cr	Cu
درصد	0.06-0.07	0.15-0.18	0.45-0.48	0.014-0.17	0.009-0.017	0.02-0.01	0.03	0.01-0.02

تاثیر الیاف در افزایش پارامترهای مقاومتی بتن

- مقاومت فشاری
- مقاومت برشی
- مقاومت خمشی
- مقاومت کششی
- ظرفیت باربری

۱. تاثیر الیاف در افزایش پارامترهای مقاومتی بتن

فهرست مطالب

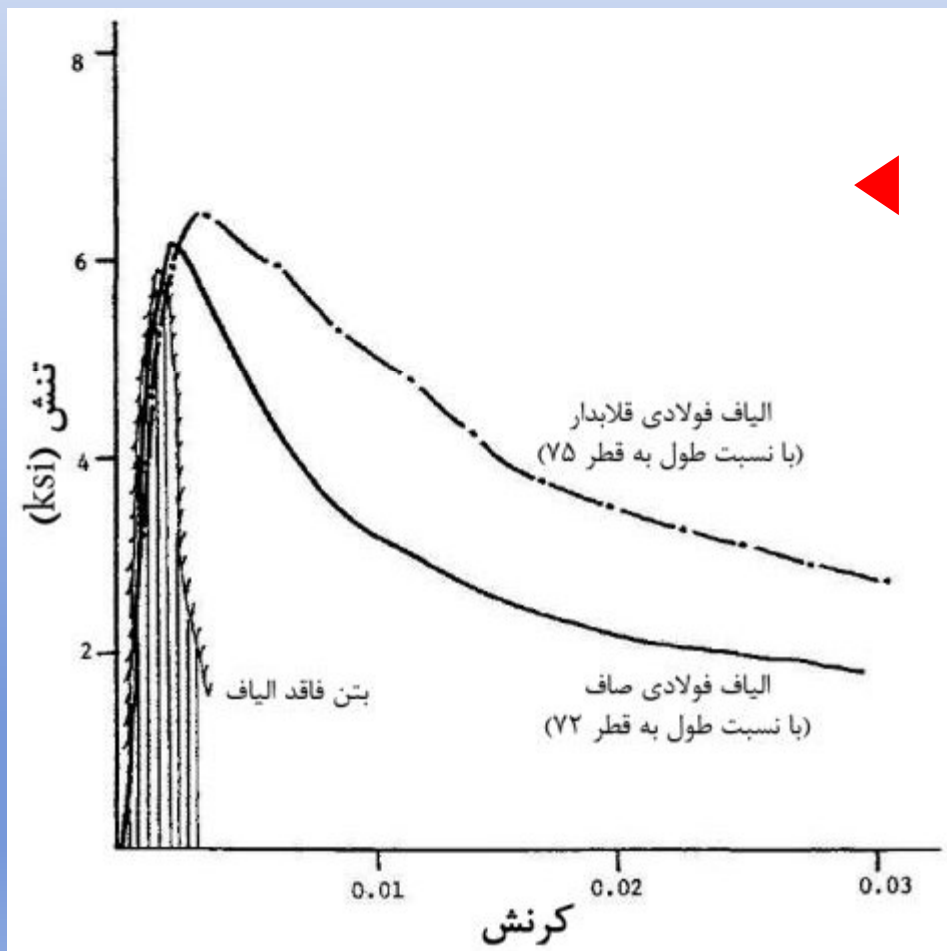
۱. تاثیر الیاف در افزایش پارامترهای مقاومتی بتن
۲. تاثیر الیاف در مشخصات بتن تازه
۳. استانداردهای تست بتن الیافی (نمونه های آزمایشگاهی)
- دستیابی به طرح اختلاط بتن الیافی سگمنت تونل چمشیر
- مشخصات فنی الیاف فولادی
- آزمایشات انجام شده در مرحله تهیه طرح اختلاط بتن الیافی تونل چمشیر
- روشهای طراحی سگمنت براساس بتن الیافی
- طراحی سگمنت تونل چمشیر با بتن الیافی

تاثیر الیاف در افزایش پارامترهای مقاومتی بتن

- مقاومت فشاری
- مقاومت برشی
- مقاومت خمشی
- مقاومت کششی
- ظرفیت باربری

۱. تاثیر الیاف در افزایش پارامترهای مقاومتی بتن

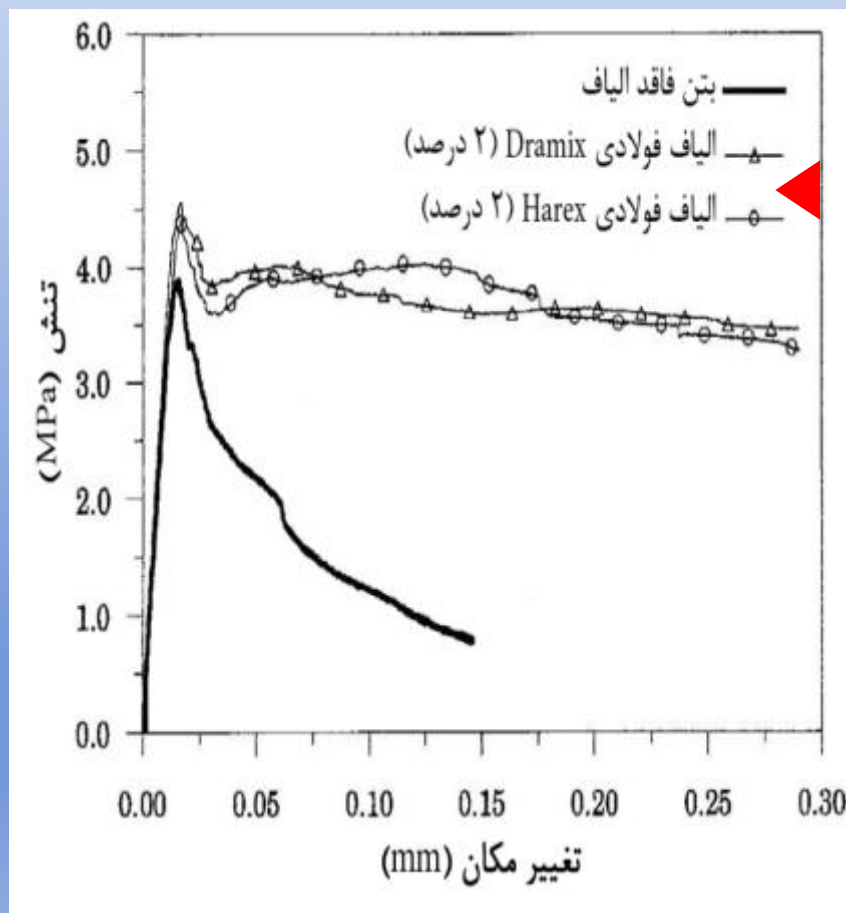
منحنی تنش - کرنش بتن الیاف فولادی در آزمایش مقاومت فشاری



افزودن الیاف فولادی تا میزان ۱/۵ درصد حجمی، مقاومت فشاری را تا ۱۵ درصد افزایش می‌دهد.

۱. تاثیر الیاف در افزایش پارامترهای مقاومتی بتن

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

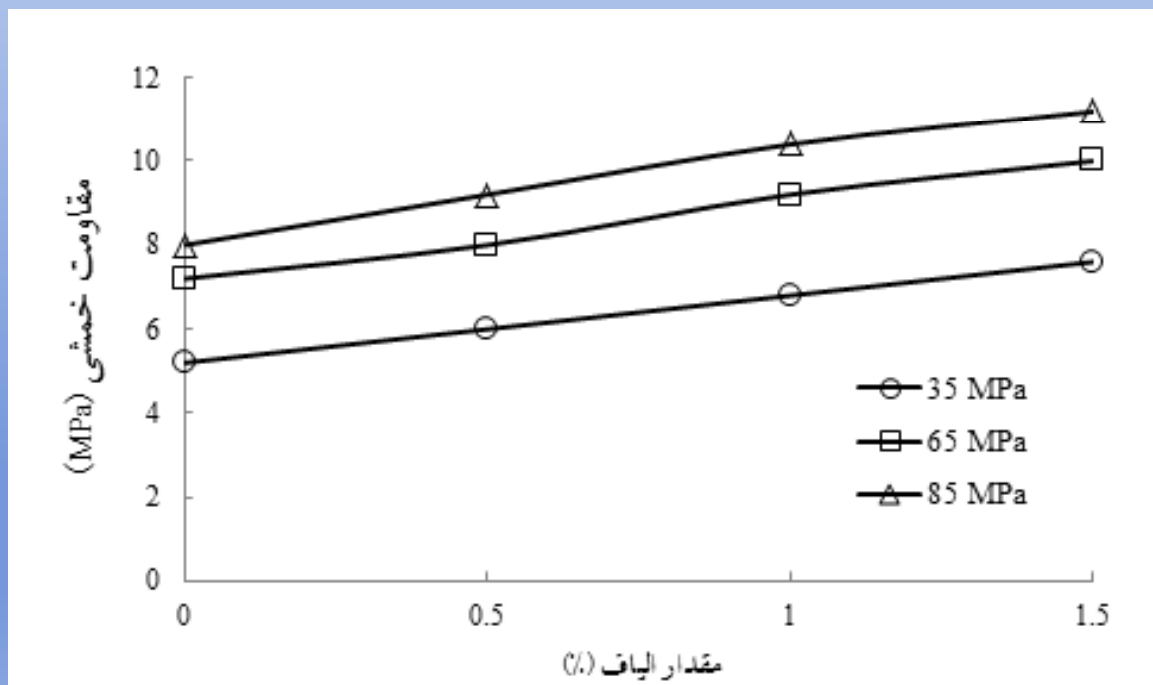


افزودن الیاف فولادی تا
میزان ۱/۵ درصد حجمی،
مقاومت کششی را تا ۴۰
درصد افزایش می دهد.

۱. تاثیر الیاف در افزایش پارامترهای مقاومتی بتن

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

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



۱. تاثیر الیاف در افزایش پارامترهای مقاومتی بتن

تاثیر الیاف در مشخصات بتن تازه

- کارپذیری بتن الیافی
- اسلامپ بتن الیافی
- تراکم پذیری بتن الیافی
- ویبره بتن الیافی
- پرداخت سطح بتن الیافی
- توزیع یکنواخت الیاف در بتن
- آب انداختگی بتن الیافی
- مقدار هوا در بتن الیافی

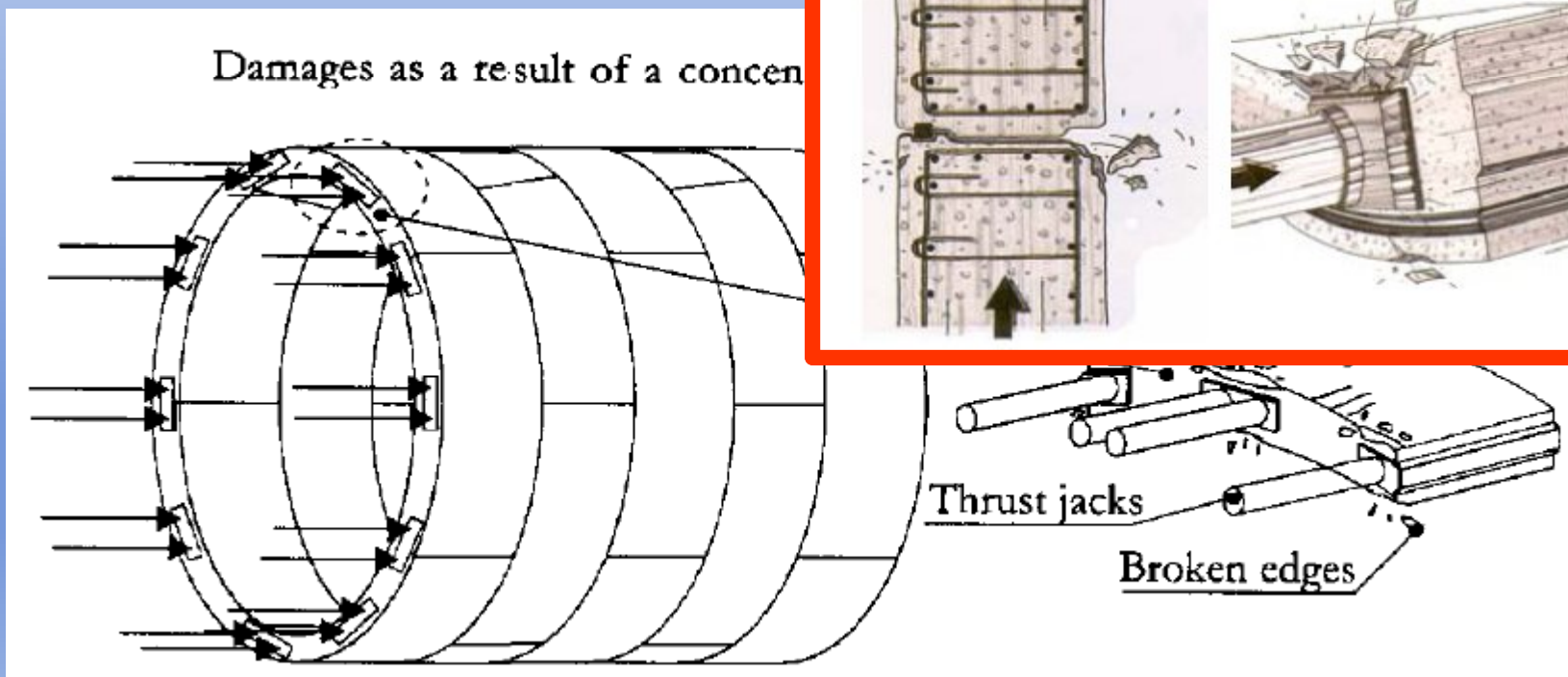
پارامترهای تاثیر گذار در مشخصات بتن تازه الیافی

- تاثیر اختلاط مناسب (گلوله شدن الیاف در بتن)
- تاثیر شکل و سایز الیاف در مشخصات بتن تازه الیافی
- تاثیر درصد حجمی یا وزنی الیاف در مشخصات بتن تازه الیافی
- تاثیر کاربرد همزمان الیاف پلیمری با الیاف فولادی
- تاثیر کاربرد افزودنی ها (روان کننده و)

مزایای بهره گیری از الیاف فولادی به جای آرماتور

لب پر شدن سگمنت در لبه های سگمنت در حین اعمال فشار از جکهای تراست:

با استفاده از الیاف فولادی چنین آسیبهایی کاهش خواهد یافت.

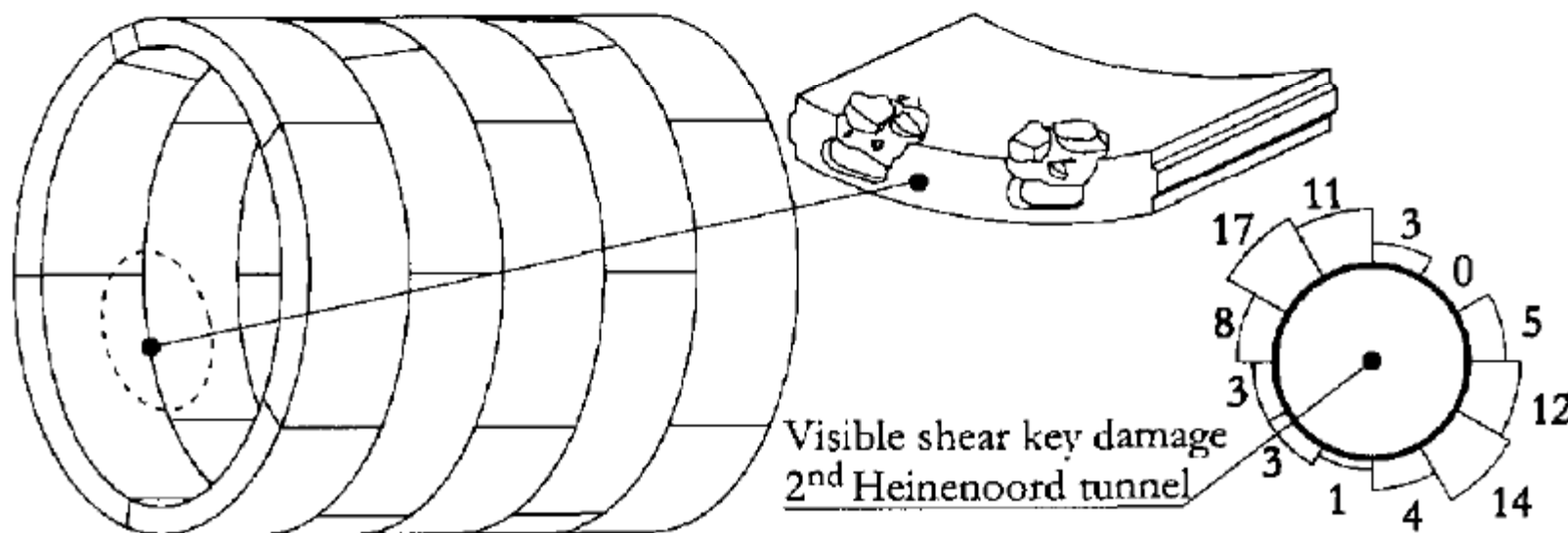


ویژگی های خاص کاربرد بتن الیافی در تولید سگمنت تونل

مزایای بهره گیری از الیاف فولادی به جای آرماتور

آسیب دیدن سگمنت در محل اتصالات:
با استفاده از الیاف فولادی این مورد آسیب ها کاهش می یابد.

Observed circular joint connection damages



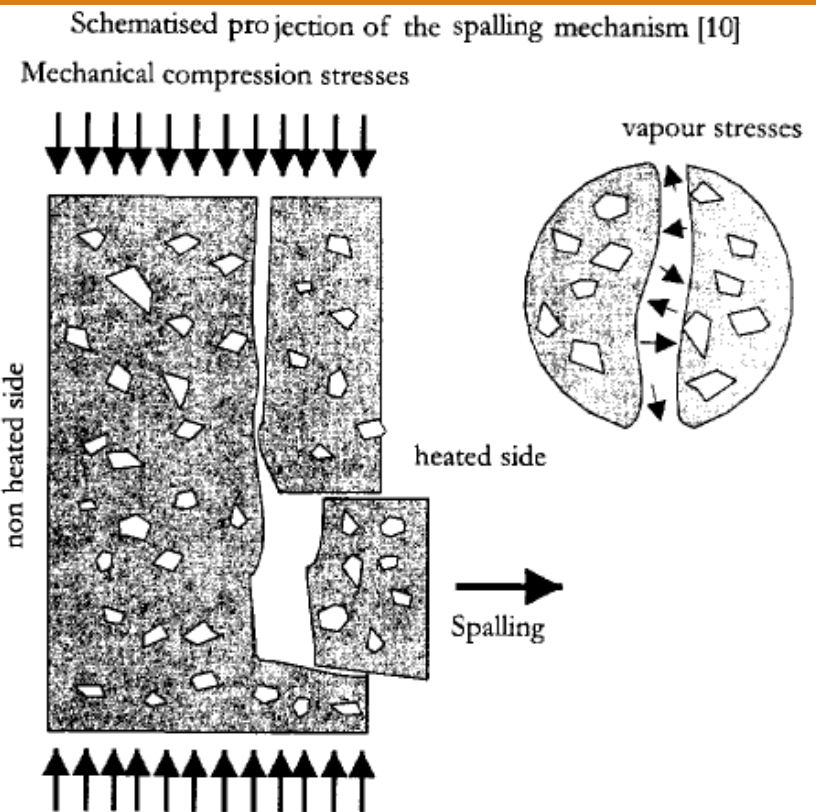
ویژگی های خاص کاربرد بتن الیافی در تولید سگمنت تونل

Fire resistance

Another very important aspect of a lining is its fire resistance. Roughly, fires can be divided into cellulose fires such as occurring with wooden materials or office furniture, etc. This type of fire starts mostly slowly and reaches a maximum temperature of 1000°C . The other type are hydrocarbon fires which develop very quickly and are able to reach temperatures over 1300°C [10]. Infrastructure tunnels maybe subjected to this type of fire. As a result of fire the concrete can spall, which means that parts of concrete come off explosively

بررسی مقاومت بتن الیافی در مقابل
آتش سوزی که یکی از راهکارهای
مقابله با آن استفاده از الیاف پلی
پروپیلن است.

ویژگی های خاص کاربرد بتن الیافی در تولید سگمنت تونل



کدهای ASTM مرتبط با بتن الیافی

عنوان استاندارد	کد استاندارد
مشخصات الیاف فولادی برای استفاده در بتن الیافی	A 820/A 820M
روش آزمایش برای بدست آوردن متوسط مقاومت باقیمانده در بتن‌های الیافی	C 1399
روش آزمایش طاقت خمشی بتن الیافی (بارگذاری در مرکز پانل دایره‌ای شکل)	C 1550
روش آزمایش عملکرد خمشی بتن الیافی (با استفاده تیرهای تحت بارگذاری سه نقطه‌ای)	C 1609/C 1609M

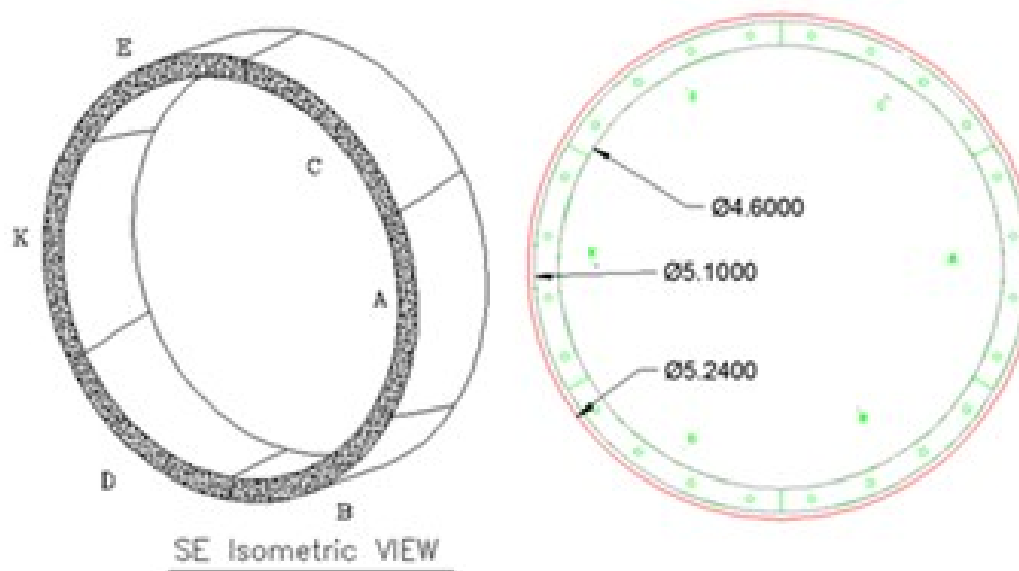
ویژگی ها و مشخصات دستگاه HK S-124

Single shield Hard-rock	نوع دستگاه
شرکت هرنگشت آلمان	سازنده
۵/۳ متر	قطر حفاری
۸ متر	طول شیلد
۱۳۰ متر	طول کل دستگاه
۱۲ عدد	تعداد جک های تراست
۱۵ عدد	تعداد گنتری ها





نمای باز شده جدار خارجی سگمنت در Plan (Developed view extrados)



مقطع عرضی تونل و نمای سه بعدی یک رینگ سگمنت

۸. طراحی سگمنت تونل چمشیر با بتن الیافی

مراحل طراحی سگمنت



طرح اولیه اختلاط بتن الیافی پروژه تونل چم شیر

نوع مصالح		دانه بندی و مشخصات	وزن مصالح در یک متر مکعب بتن Kg/m ³
Steel Fiber	الیاف فولادی	طبق کاتالوگ محصولات شرکت صنایع مفتولی زنجان	30 kg/m ³
sand	ماسه	0-6 mm	1085
GRAVEL	شن نخودی	6-9.5 mm	343
GRAVEL	شن بادامی	9.5-19 mm	348
CEMENT	سیمان	TYPE2	450
WATER	آب	NORMAL	155 lit
ADMIXTURE WRA	افزودنی	فوق روان کننده	3.2

۴. دستیابی به طرح اختلاط بتن الیافی سگمنت تونل چمشیر

نبود کد مرجع برای طراحی الیاف فولادی مورد نیاز در طرح سگمنت تونل

The Lee Tunnel's segments were designed utilising UnPS's extensive experience in steel fibre reinforced concrete linings (reaching back to the Heathrow Baggage Tunnel in 1994), however due to the lack of design codes for steel fibre reinforcement, the design was validated by full scale physical modelling at the Building Research Establishment, in Watford.

متاسفانه استاندارد مبنای
طراحی الیاف فولادی وجود
ندارد و طراحی براساس
مدلسازی مقیاس واقعی
کنترل و تأیید شده است (در
مرکز تحقیقات ساختمان
واتفورد)

برخی مشخصات الیاف پیشنهادی در گزینه های مطرح

Maccaferri

FF3HS specifications according to Maccaferri

Properties	FF3HS
Diameter	0.75 mm
Length	50 mm
Aspect ratio (L/D)	67
Tensile strength of the wire	> 1500 MPa

4 Equivalent shear strength

The design value of the increase in shear strength due to steelwire fibres:

τ_{fd} (N/mm²) - (material safety factor included).

The contribution of concrete and stirrups must be added to this contribution of the wire fibres.

Dramix® RC-80/60-BN

$f_{ctm,fl}$ (1) ▶	3,7 (C20/25) (2)	4,3 (C25/30)	4,8 (C30/37)	5,3 (C35/45)	5,8 (C40/50)
Dosage ▼	τ_{fd}	τ_{fd}	τ_{fd}	τ_{fd}	τ_{fd}
20	0,18	0,22	0,24	0,27	0,30
25	0,21	0,25	0,28	0,31	0,35
30	0,24	0,29	0,32	0,35	0,40
35	0,26	0,31	0,35	0,38	0,43
40	0,28	0,34	0,37	0,41	0,47
45	0,30	0,36	0,40	0,44	0,50
50	0,31	0,38	0,42	0,46	0,52

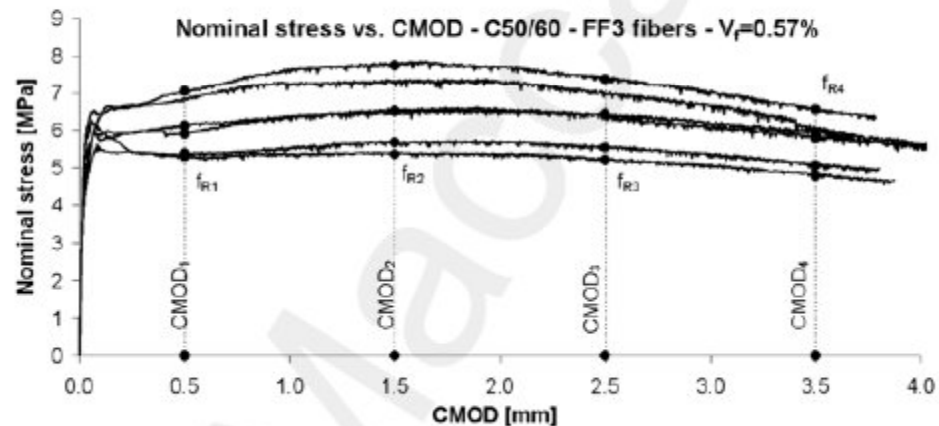
(1) $f_{ctm,fl}$ – mean flexural tensile strength of plain concrete (N/mm²).

(2) Concrete class corresponding with $f_{ctm,fl}$ according to EN 1992-1-1.

Boxed value [0,5] is replaced by the value 0,6 in formula (3.1).

Please also consult the Dramix® guideline

نمونه ای از آزمایشهای آزمایشگاهی برای بررسی رفتار بتن الیافی و کاربرد آن در سگمنت



SFRC beam tested to EN 14651 (left) and recorded flexural performance data (right)

Table 1 - Comparison of SFRC and Steel Bar Reinforced Concrete Segments in Singapore

	Steel Bar Reinforced Concrete Segments	Steel Fibre Reinforced Concrete Segments
Design	• Building code, Singapore Standard CP65, is used for design • Large concrete cover (40mm) is required for durability reason	• No national design code for steel fibre reinforced concrete yet. Only design guides are available • Steel fibre is multi-directional and evenly distributed throughout the section
Manufacturing	• Care manufacture and placing of the steel cages are required • Requires large land storage area • Inefficient production rate • Multiple handling of steel cages	• No fabrication of steel cage is necessary. Steel fibres are added in the mix at the batch plant • No obstruction in the mould • Increased speed of production • Less labour needed • Less land required for storage
Handling and Erection	• Care must be exercised in demoulding, transportation and erection as any cracks will compromise the durability • Segments repairs required to comply with durability specifications	• Vacuum pads should be used in handling and lifting to minimise damage • Minor damage will not compromise the durability • Steel fibres provide better protection to edges of the segments



بلند کردن سگمنتهای
الیافی از قالب با استفاده از
VACUUM PADS

اطلاعات کلی مبنای محاسبات اقتصادی کاربرد الیاف فولادی در بتن سگمنت

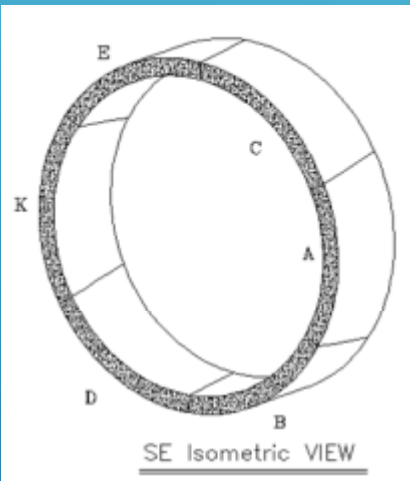
مشخصات کلی تونل و سگمنت		
4.6	قطر تمام شده تونل (متر)	1
25	ضخامت سگمنت (سانتیمتر)	2
1.2	طول یک رینگ سگمنت (متر)	3
7050	طول تونل (متر)	4
5875	تعداد رینگ سگمنت در کل طول تونل	5
4.6	حجم بتن مصرفی در یک رینگ سگمنت (مترمکعب)	6
26855	حجم بتن مصرفی تولید سگمنت در کل تونل (مترمکعب)	7

نکات کلیدی

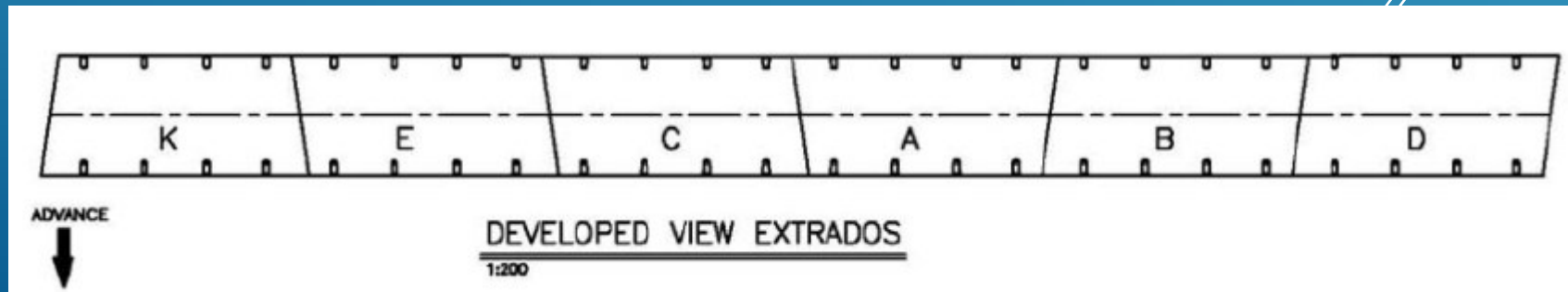
▶ استفاده از الیاف تولید خارج حتی با عیار ۳۰ کیلوگرم در مترمکعب بتن توجیه اقتصادی ندارد.

▶ استفاده از الیاف تولید ایران با چند چالش قابل توجه مواجه است، اولاً سابقه قبلی در این نوع کاربرد ندارند. دوماً کاتالوگ آنها فاقد فرمولهای توصیه محاسباتی برای طراحی است. فقط می توانند از نظر شکل هندسی و مقاومت مکانیکی و متریال، مشابه برخی تولیدات خارجی ارائه کنند.

▶ در اکثر پروژه هایی که در دنیا از الیاف فولادی استفاده شده، بدلیل نبود کد مرجع رسمی برای طراحی، علاوه بر تستهای آزمایشگاهی، آزمونهای بزرگ مقیاس زیادی انجام داده اند که تامین تجهیزات آنها در داخل کشور و راه اندازی آنها زمانبر بوده و نیاز به همکاری مراکز تحقیقاتی دانشگاهی دارد.



ب- سازه سگمنت بتنی تونل	
نوع سگمنت	Universal
ابعاد سازه سگمنت	ضخامت: ۲۵ سانتیمتر
	طول (در راستای تونل): ۲/۱ متر
	طول قوس (بر روی آکس داخلی): ۶/۲ متر
مشخصات تکمیلی	هر رینگ کامل، شامل ۶ سگمنت (با ترکیب ۶+۰)



اهمیت موضوع طرح بتن الیافی

- اولین طرح سگمنت بتنی (مورد استفاده در حفاری مکانیزه) با تکنولوژی الیاف فولادی در ایران
- حمایت از تولیدکنندگان داخل کشور در بخش تولید الیاف فولادی
- زمینه سازی برای استفاده از بتن الیافی در سایر پروژه های داخلی در حال اجرا
- کاهش هزینه های تولید سگمنت از طریق کاهش هزینه های تسلیح سگمنت و هزینه های تولید سگمنت (ساخت و نصب سبد آرماتوری)
- افزایش طول عمره مفید تونل ها از طریق بهبود کیفیت بتن سگمنت و افزایش دوام آن در برابر شرایط محیطی و کاهش لب پریدگی سگمنت ها و کاهش هزینه های ترمیم، که به مفهوم صرفه جویی اقتصادی می باشد.
- سازگاری با توسعه پایدار کشور از بابت مصرف کمتر آهن در پروژه های تونلی و بالتبع آن، آلودگی کمتر زیست محیطی ناشی از مصرف کمتر آهن و افزایش طول عمر سازه
- بهبود شرایط ایمنی پوشش تونل ها در مواجهه با آتش سوزی
- کاهش جریان های الکتریکی القایی نامطلوب ناشی از حرکت قطارها در تونل های مترو

مقادیر مقاومت مشخصه بتن الیافی پروژه تونل چم شیر

ردیف	پارامتر	واحد	سن نمونه	شکل نمونه	ابعاد نمونه	مقدار
۱	مقاومت فشاری بتن	MPa	۲۸ روزه	استوانه‌ای	قطر ۱۵ سانتیمتر و طول ۳۰ سانتیمتر	40
۲	مقاومت کششی بتن	MPa	۲۸ روزه	استوانه ای	قطر ۱۵ سانتیمتر و طول ۳۰ سانتیمتر	4.1
۳	مقاومت خمشی	MPa	۲۸ روزه	منشوری	ابعاد ۱۰ در ۱۰ در ۵۰ سانتیمتر	6

فعالیت های خاص انجام شده در پروژه چم شیر

طرح بتن الیافی



قالب های سگمنت، استقرار یافته در کارخانه
تولید سگمنت



نمونه ای از سگمنت های بتن الیافی تولید
شده در کارخانه سگمنت تونل چم شیر

فعالیت های خاص انجام شده در پروژه چم شیر

طرح بتن الیافی

آزمایش مقاومت خمشی و کششی بر
 روی نمونه های بتن
 (آزمایشگاه مصالح ساختمانی دانشگاه تهران)



فعالیت های خاص انجام شده در پروژه چم شیر

طرح بتن الیافی

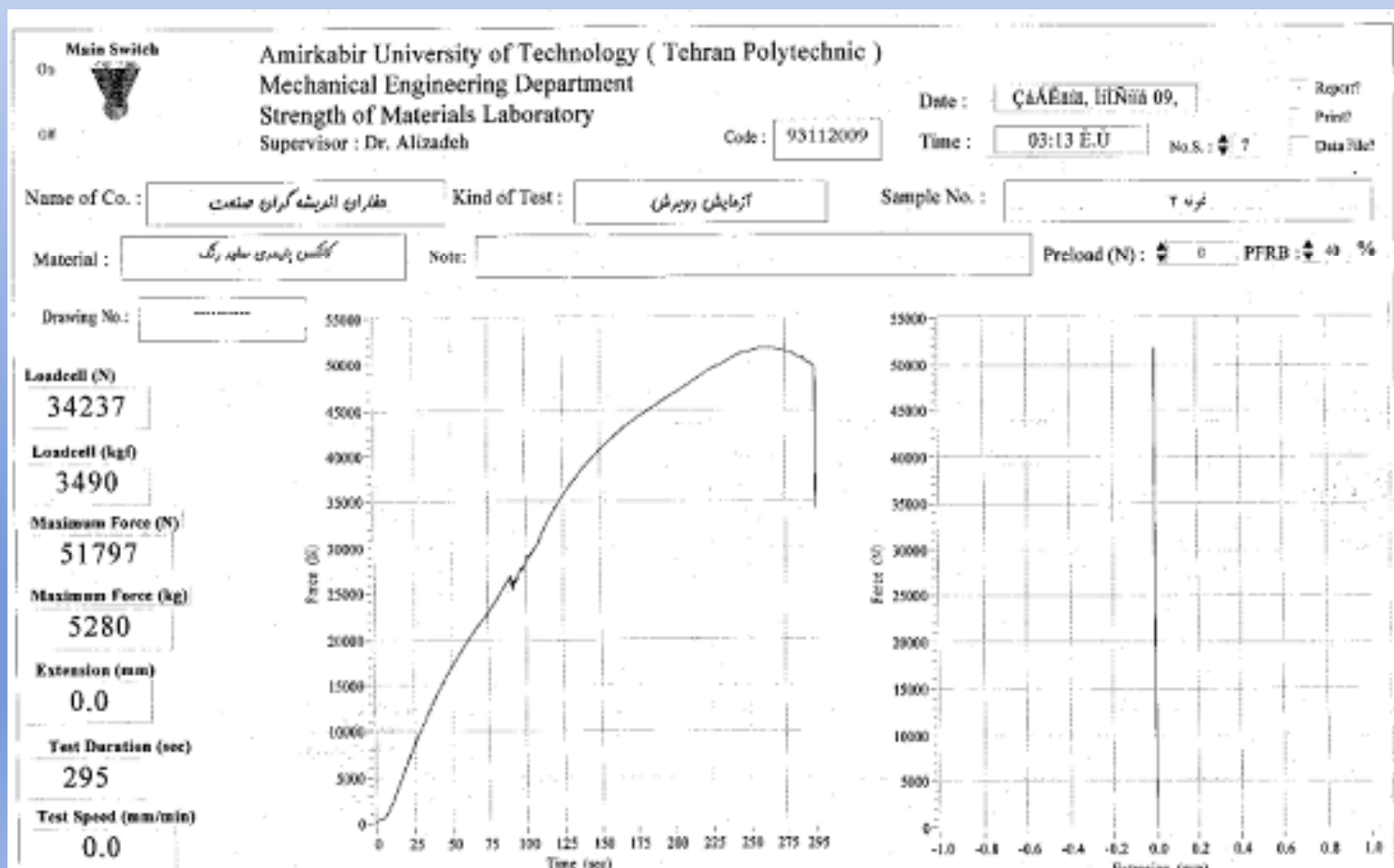


نمونه شکسته شده در تست برزیلی (نمونه پس از رسیدن به Peak مقاومتی خود، به طور کامل از وسط جدا نگردید، بلکه با توجه به وجود الیاف فولادی، هنوز ظرفیت باربری قابل توجهی از خود نشان داد. پس از اتمام آزمایش، نمونه با اعمال نیروی زیاد و به عمد، به ۲ تکه تقسیم شد)

نتایج تست کانکس داول تولید داخل در آزمایشگاه مقاومت مصالح دانشکده مکانیک دانشگاه امیر کبیر

تاریخ: 1393/11/20 شماره: 93112009 پیوست: نمودارهای آزمایش		دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران) دانشکده مهندسی مکانیک آزمایشگاه مقاومت مصالح			
تاریخ: 1393/11/20 ساعت: 03:42		نام متقاضی: هفازان انرژی گران صنعت نوع آزمایش: آزمایش دوپرش نوع جنس: لاکس پلیمری سفید رنگ			
ملاحظات	نیروی اعمالی	شماره نقشه	نام نمونه	ردیف	
Note	Applied Load (kN)	Drawing No	Specimen Name	ردیف	
	48.89	-----	نمونه ۴	۱	
	51.80	-----	نمونه ۲	۲	
	49.29	-----	نمونه ۳	۳	

نتایج تست کانکس داول تولید داخل در آزمایشگاه مقاومت مصالح دانشکده مکانیک دانشگاه امیر کبیر



تنظیمات آزمون خمس

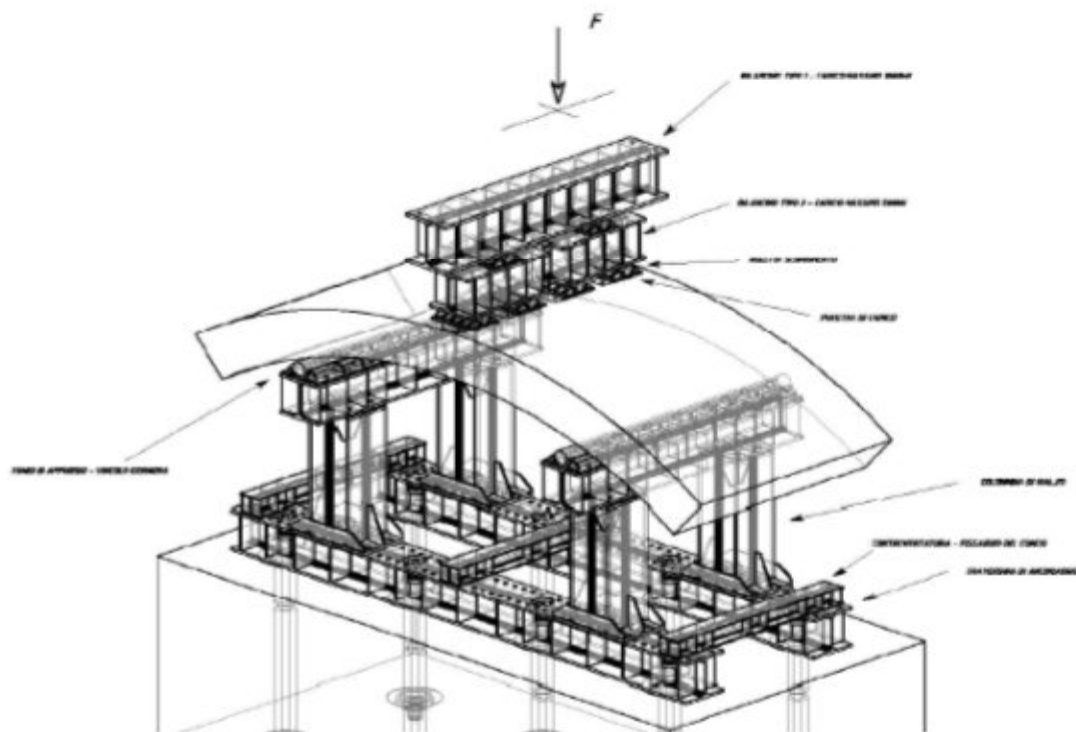


Fig. 4 – Flexural test set-up



ابزار بندی برای اندازه گیری جابجایی



2 LVDTs

Displacement transducer 3

Displacement transducer 1

Displacement transducer 2

Fig. 5 – Measure instrumentation

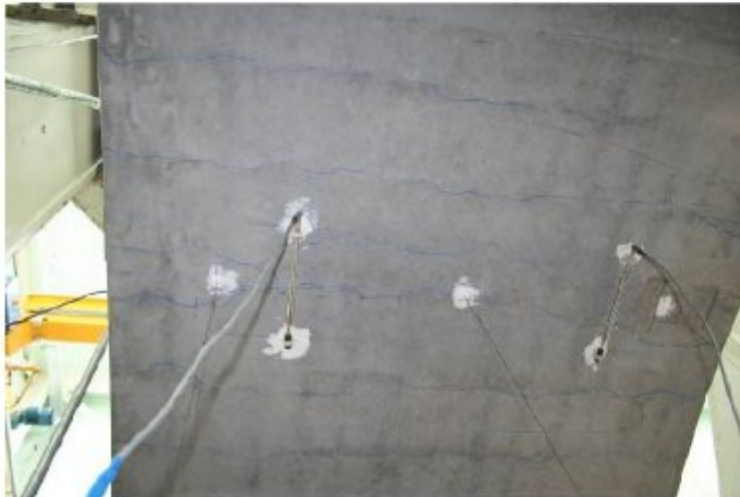
تنظیمات آزمون بار نقطه-ای



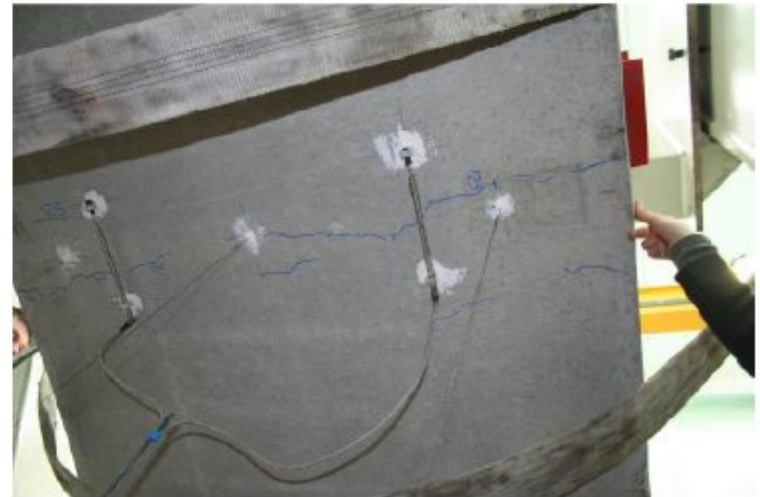
Fig. 6 – Point load test set up



مونیتورینگ الگوی ترکها و رفتار آنها در سگمنت معمولی با سگمنت تولید شده با الیاف



Traditional RC



FRC

Crack patterns close to the failure

Real-Scale Structural Testing: In-Plane Compression



Marco di Prisco

POLITECNICO DI MILANO

بررسی تست های انجام شده

- طرح اولیه اختلاط بتن، آزمون مقاومت فشاری و کششی غیر مستقیم یا برزلی (آزمایشگاه بتن کارگاه تصفیه خانه ششم تهران)
- آزمون مقاومت خمشی، کششی و فشاری بتن (انستیتو مصالح ساختمانی دانشگاه تهران)
- مقاومت فشاری بتن (آزمایشگاه بتن کارگاه چم شیر)
- ایجاد نمونه اره بر - Saw cut (آزمایشگاه بتن کارگاه تصفیه خانه ششم تهران)
- آزمون مقاومت خمشی بتن (آزمایشگاه شرکت خاک آزما)

آزمون مقاومت خمشی (دانشگاه تهران)





آزمون مقاومت خمشی (خاک آزما)



نتایج تست بتن الیافی تونل چمشیر

در آزمایشگاه انستیتو مصالح ساختمانی دانشکده فنی دانشگاه تهران

جدول ۲-۶- مشخصات الیاف فولادی مورد استفاده طبق اعلام کارفرما

۵۰	طول (mm)
۱	قطر (mm)
۵۰	نسبت طول به قطر (نسبت ظاهری)
۳۲۲۰	تعداد الیاف در هر کیلوگرم
> ۹۵۰	مقاومت کششی (MPa)
۲۰۰	مدول الاستیسیته (GPa)

نتایج تست بتن الیافی تونل چمشیر

در آزمایشگاه انستیتو مصالح ساختمانی

دانشکده فنی دانشگاه تهران



در بتن‌های حاوی الیاف فولادی بهتر است به منظور بهبود کارایی بتن از افزودنی‌های فوق روان‌کننده استفاده شود. در این پروژه نیز کارایی مورد نیاز بتن با استفاده از ماده افزودنی فرکوپلاست P10-3R تولید شرکت شیمی ساختمان تأمین شده است. این نوع افزودنی بر پایه پلی‌کربوکسیلات بوده و میزان مصرف آن طبق توصیه شرکت سازنده ۰/۲ الی ۱/۶ درصد وزن سیمان می‌باشد.

نتایج تست بتن الیافی تونل چمشیر

در آزمایشگاه انستیتو مصالح ساختمانی دانشکده فنی دانشگاه تهران

جدول ۷-۲- جزئیات طرح اختلاط پیشنهاد شده توسط کارفرما

اجزاء بتن	ماسه	شن نخودی (۹/۵ - ۵ میلیمتر)	شن بادامی (۹/۵ - ۱۹ میلیمتر)	سیمان	آب	فوق روان کننده
وزن اجزاء (kg/m ³)	۱۰۸۵	۳۳۶	۳۵۰	۴۵۰	۱۴۸/۵	۳/۰۶۰

نتایج تست بتن الیافی تونل چمشیر

در آزمایشگاه انستیتو مصالح ساختمانی دانشکده فنی دانشگاه تهران

جدول ۲-۸- مقادیر اسلامپ، وزن مخصوص و درصد هوای اندازه گیری شده در هر یک از مخلوط های بتنی

طرح	اسلامپ (cm)	وزن مخصوص (kg/m^3)	درصد هوا
بتن فاقد الیاف	۱۳	۲۴۳۹	۰/۹
بتن حاوی الیاف فولادی	۹/۵	۲۴۶۶	۱/۹



شکل ۲-۳- بتن تازه حاوی الیاف فولادی

نتایج تست بتن الیافی تونل چمشیر در آزمایشگاه انستیتو مصالح ساختمانی دانشکده فنی دانشگاه تهران

دستگاه آزمایش تعیین مقاومت فشاری تک محوری



نتایج تست بتن الیافی تونل چمشیر

در آزمایشگاه انستیتو مصالح ساختمانی دانشکده فنی دانشگاه تهران

جدول ۳-۱- مقاومت فشاری بتن فاقد الیاف

متوسط مقاومت فشاری بتن (MPa)	مقاومت فشاری آزمون‌های مکعبی بتن (MPa)			سن بتن (روز)
۵۰/۸	۵۰/۶	۵۰/۲	۵۱/۷	۷
۵۵/۹	۵۶/۱	۵۶/۶	۵۵/۱	۲۸

جدول ۳-۲- مقاومت فشاری بتن حاوی الیاف فولادی

متوسط مقاومت فشاری بتن (MPa)	مقاومت فشاری آزمون‌های مکعبی بتن (MPa)			سن بتن (روز)
۵۵/۲	۵۴/۶	۵۵/۷	۵۵/۳	۷
۶۰/۳	۶۱/۳	۶۱/۱	۵۸/۴	۲۸



شکل ۳-۲- آزمایش تعیین مقاومت کشش برزیلی

جدول ۳-۳- مقاومت کششی برزیلی بتن فاقد الیاف

متوسط مقاومت کششی برزیلی بتن (MPa)	مقاومت کششی برزیلی آزمون‌های استوانه‌ای بتن (MPa)		سن بتن (روز)
۲/۶	۲/۶	۲/۶	۷
۳/۰	۳/۱	۲/۹	۲۸

جدول ۳-۴- مقاومت کششی برزیلی بتن حاوی الیاف فولادی

متوسط مقاومت کششی برزیلی بتن (MPa)	مقاومت کششی برزیلی آزمون‌های استوانه‌ای بتن (MPa)		سن بتن (روز)
۴/۲	۴/۲	۴/۳	۷
۵/۳	۵/۴	۵/۳	۲۸



انستیتو مصالح ساختمانی دانشگاه تهران

آزمایشگاه مصالح ساختمانی



تعیین مدول الاستیسیته آزمون‌های استوانه‌ای بتن بر اساس استاندارد ASTM C469

شماره آزمایش:	C469-930411	نوع بتن:	نامشخص
نوع آزمایش:	تعیین مشخصات: ☒ کنترل کیفیت: ☐	رده بتن:	نامشخص
تاریخ انجام آزمایش:	۹۳/۰۴/۲۸ و ۹۳/۰۴/۰۷	نام کارفرما:	شرکت سایر
کد نمونه:	TR-111 (نمونه ارسالی توسط کارفرما)	کد پروژه:	۶۲۵

ردیف	تاریخ آزمایش	سن آزمون (روز)	قطر آزمون (mm)	ارتفاع آزمون (mm)	سطح مقطع آزمون (mm ²)	جرم آزمون (kg)	جرم مخصوص (kg/m ³)	مدول الاستیسیته (GPa)	مقاومت فشاری (MPa)
۱	۹۳/۰۴/۰۷	۷	۱۵۳	۳۰۲	۱۸۳۸۵	۱۳/۵۱۵	۲۴۳۴	۲۹/۵	۶۵/۱
۲	۹۳/۰۴/۲۸	۲۸	۱۵۴	۳۰۳	۱۸۶۲۷	۱۳/۶۲۴	۲۴۱۴	۳۷/۹	۸۳/۶

سرپرست انستیتو مصالح ساختمانی

محمد شکرچی زاده





انستیتو مصالح ساختمانی دانشگاه تهران

آزمایشگاه مصالح ساختمانی



تعیین ضریب انتشار یون کلرید در بتن بر اساس استانداردهای NT BUILD 443 و ASTM C114

شماره آزمایش: NT BUILD-930411 نوع آزمایش: تعیین مشخصات: ☒ کنترل کیفیت: ☐ تاریخ آغاز آزمایش: ۹۳/۰۴/۲۲ کد نمونه: TR-107	شرایط قرارگیری نمونه: قرارگیری به مدت ۳ ماه در محلول NaCl با غلظت ۱۶۵ گرم بر لیتر نام کارفرما: شرکت سایر کد پروژه: ۶۲۵
---	--

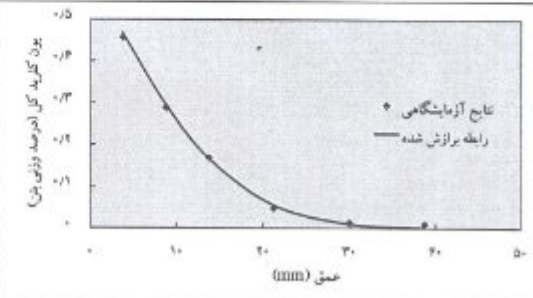
$$C(x, t) = C_s \left(1 - \operatorname{erf} \frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right)$$

$$\operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt$$

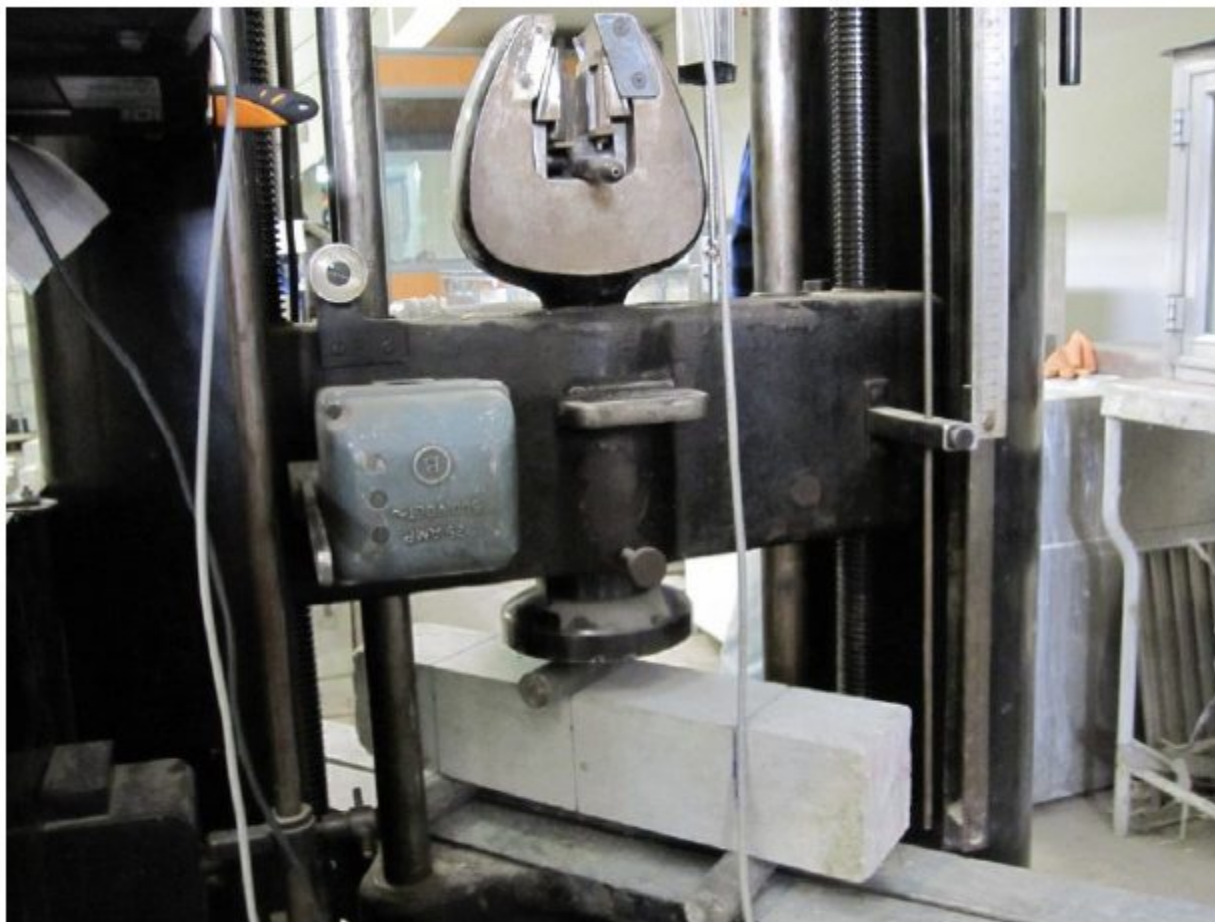
در این روابط: x (m) فاصله از سطح بتن
 t (s) زمان
 C_s (%) مقدار کلر سطحی
 D (m²/s) ضریب انتشارپذیری یون کلرید

ردیف	نام پروبیل	عمق از سطح بتن (میلیمتر)	یون کلرید کل (%)	یون کلرید کل (٪) کل (رابطه)
۱	TR-107-ST-1	۴	۰/۴۵۷	۰/۴۶۷
۲	TR-107-ST-2	۹	۰/۲۸۸	۰/۲۹۵
۳	TR-107-ST-3	۱۴	۰/۱۶۷	۰/۱۶۶
۴	TR-107-ST-4	۲۱	۰/۰۴۸	۰/۰۵۵
۵	TR-107-ST-5	۳۰	۰/۰۱۴	۰/۰۱۰
۶	TR-107-ST-6	۳۹	۰/۰۱۰	۰/۰۱۱

۰/۶۱۰۷	مقدار کلر سطحی (٪)
۱/۰۱۱ × ۱۰ ^{-۱۲}	ضریب انتشارپذیری یون کلرید (m ² /s)
۰/۹۹۸	ضریب رگرسیون یا R ²



تایید آزمایشگاهی
رابطه برازش شده



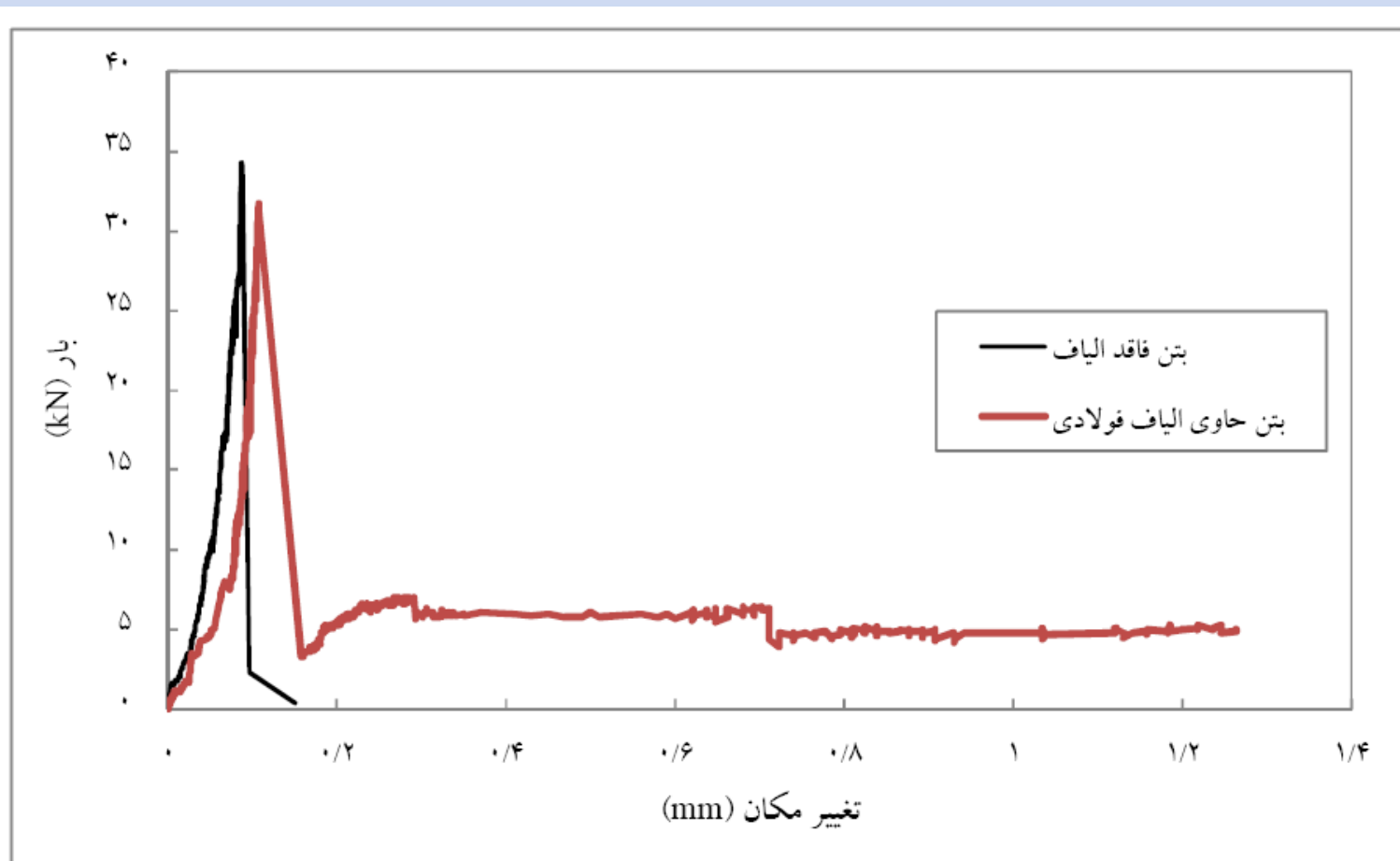
شکل ۳-۳- آزمایش تعیین مقاومت خمشی به روش تک نقطه‌ای

جدول ۳-۵- مقاومت خمشی بتن فاقد الیاف

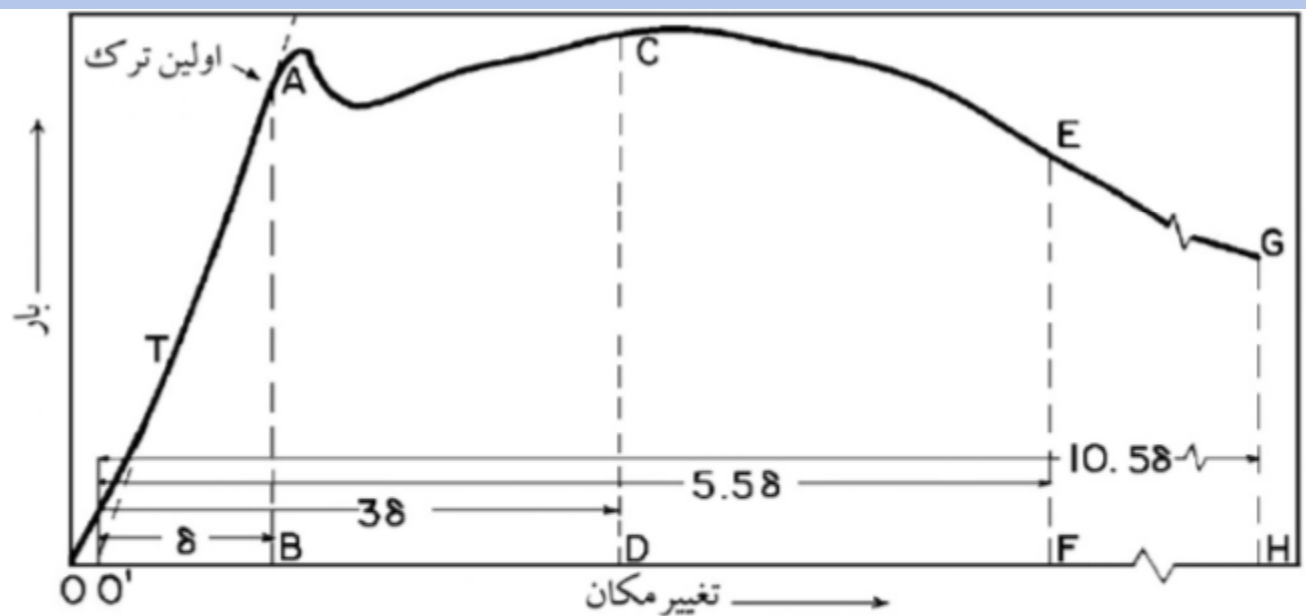
متوسط مقاومت خمشی بتن (MPa)	مقاومت خمشی آزمون‌های منشوری بتن (MPa)		سن بتن (روز)
۴/۳	۴/۳	۴/۲	۷
۴/۶	۴/۸	۴/۵	۲۸

جدول ۳-۶- مقاومت خمشی بتن حاوی الیاف فولادی

متوسط مقاومت خمشی بتن (MPa)	مقاومت خمشی آزمون‌های منشوری بتن (MPa)		سن بتن (روز)
۷/۳	۷/۳	۷/۲	۷
۷/۶	۷/۶	۷/۶	۲۸



شکل ۳-۴- منحنی‌های بار- تغییر مکان تحت خمش مربوط به آزمون‌های بتنی حاوی الیاف فولادی و فاقد الیاف



شکل ۳-۵- محاسبه شاخص های طاقت بتن الیافی با استفاده از منحنی بار- تغییر مکان

جدول ۳-۷- شاخص‌های طاقت محاسبه شده بر اساس استاندارد ASTM C1018 برای بتن حاوی الیاف فولادی

شاخص	نحوه محاسبه	مقدار
I_5	نسبت مساحت زیر منحنی تا تغییر مکان ۳ برابر تغییر مکان اولین ترک به مساحت تا تغییر مکان اولین ترک	۲/۶۰
I_{10}	نسبت مساحت زیر منحنی تا تغییر مکان ۵/۵ برابر تغییر مکان اولین ترک به مساحت تا تغییر مکان اولین ترک	۳/۶۳
I_{20}	نسبت مساحت زیر منحنی تا تغییر مکان ۱۰/۵ برابر تغییر مکان اولین ترک به مساحت تا تغییر مکان اولین ترک	۵/۵۹
$R_{5,10}$	$20(I_{10} - I_5)$	۲۰/۷
$R_{10,20}$	$10(I_{20} - I_{10})$	۱۹/۶



شکل ۳-۶- آزمایش تعیین مدول الاستیسیته

جدول ۳-۸- مدول الاستیسیته بتن حاوی الیاف فولادی و فاقد الیاف

مدول الاستیسیته (GPa)	سن بتن (روز)	
۳۱/۵	۷	بتن فاقد الیاف
۳۹/۱	۲۸	
۳۱/۶	۷	بتن حاوی الیاف فولادی
۳۹/۵	۲۸	

جلسه پرسش و پاسخ

