



## بررسی عرض ترک در تیرهای بتن آرمه

دکتر منوچهر بهرویان

عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی

### چکیده:

شناخت پهنای ترک از جنبه‌های عملی در سازه‌هایی که به روشی طرح می‌شوند تا نیروهای مؤثر نزدیک به نیروی ترک‌دهنده باشند، اهمیت زیادی پیدا می‌کند، از آنجائیکه مقادیر مختلف لنگر ترک‌خوردگی مقادیر مختلف پهنای ترک را به همراه دارند، بنابراین بررسی امکان طرح سازه‌ای که بتواند در ناحیه بار پیش بحرانی (محدوده بار ترک‌دهنده) عمل کند ضروری بنظر می‌رسد برای این هدف می‌بایستی روی اعضای ترک‌خورده آزمایش به عمل آورد. بنابراین برای بررسی پهنای ترک بدون وابستگی به لنگر ترک‌خوردگی این آزمایش انجام گرفت که مبتنی بر ساخت ۶ تیر با درصد آرماتورهای  $\rho=0.57\%$  و  $\rho=0.24\%$  بطوریکه دو ترک مصنوعی کوچک و بزرگ در هر تیر ایجاد و رفتار آنها با ترکهای طبیعی که بر اثر بارهای وارده بوجود آمده‌اند بررسی نموده که برخی از نتایج آن عبارتند از:

۱- بر خلاف فرضیات کلاسیک، در تیرهای با درصد آرماتور متوسط با افزایش بارهای بلندمدت تعداد ترکها افزایش و در نتیجه فاصله بین ترکها کاهش می‌یابد.

۲- افزایش پوشش جانبی باعث افزایش عرض ترک می‌گردد.

۳- حداکثر عرض ترکهای مصنوعی با ترکهای طبیعی بطورکلی در فاز بهره‌برداری تقریباً دارای یک مقدار بوده (به جز یک مورد)

### پیشگفتار:

بطور کلی محاسبه پهنای ترک به عوامل گوناگونی وابسته است که هر یک به تنهایی می‌تواند تأثیر زیادی در مقدار واقعی آن داشته باشد و از آنجائیکه آئین‌نامه بتن ایران مبتنی بر حالات حدی نهانی و بهره‌برداری می‌باشد در جایی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار خواهد بود که سازه بتن آرمه طوری طرح شود که نیروهای مؤثر نزدیک به نیروهای ترک‌دهنده باشند، از طرفی نتایج بدست‌آمده از تئوری، اعضای ترک‌خورده برای نیروهای پیش‌بحرانی شدیداً به لنگر ترک‌خوردگی وابسته هستند. جهت ارزیابی رفتاری ترک مستقل از لنگر ترک‌خوردگی نیاز به مدلی می‌باشد که از ابتدا دارای ترک باشد. در تیرهای با درصد آرماتور  $\rho=1\%$  نیروهای پیش‌بحرانی خیلی کمتر از نیروهای بهره‌برداری هستند ولی برای تیرهای با درصد آرماتور کم نیروهای پیش‌بحرانی نزدیک بارهای بهره‌برداری می‌باشند که رفتار اینگونه تیرها در محدوده پیش‌بحرانی عملاً دارای اهمیت می‌باشند.

مشخصات تیرها (نمای ۱ و ۲)

دوسری تیر که هر سری دارای ۳ تیر با مشخصات یکسان طرح گردید.

تیرهای BK-1، BK-2، BK-4 که با میلگردهای آجدار  $\phi 10$  مسلح شده با درصد آرماتور  $\rho=0.57\%$

تیرهای BK-5، BK-6، BK-7 که با میلگردهای آجدار 8 مسلح شده با درصد آرماتور  $\rho=0.24\%$

در هر تیر دو عدد ترک مصنوعی توسط طلق ایجاد شدند.

- ترک مصنوعی کوچک که تا ارتفاع میلگردهای کششی ادامه داشت.

- ترک مصنوعی بزرگ تا نصف ارتفاع تیر و گذشتن از میلگردهای کششی ادامه داشت.

تیر	عمر بتن (روز)	f(MPa)	f <sub>r</sub> (MPa)	Ec(MPa)
BK-1	65	20.0	2.82	22361
BK-2	70	41.8	4.07	32326
BK-4	72	37.9	3.88	30781
BK-5	70	40.3	4.00	31741
BK-6	71	37.3	3.85	30536
BK-7	77	30.5	3.50	27673

### اندازه‌گیری:

اندازه‌گیری کرنش بتن در سطح آرماتوهای اصلی و در ناحیه فشاری تیر توسط سنسورهای پایه‌ای، فنری و قیاسی انجام گرفت. سیگنال از سنسور قیاسی مستقیماً به کامپیوتر انتقال داده شده با دقت اندازه‌گیری ۰/۰۰۱ میلی‌متر بود. پهنای ترک توسط میکروسکوپ دستی با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. اندازه‌ها در دو طرف کناری تیر در شش سطح برای کلیه ترکهای ایجادشده خوانده و سطوح ۱ تا ۶ جهت تغییرات پهنای ترک مصنوعی بزرگ در نظر گرفته شد. علاوه بر آن در کنار هر دو ترک مصنوعی دگمه‌های فلزی تعبیه‌شده تا به عنوان مبنای تغییرات با دقت ۰/۰۰۱ میلی‌متر اندازه‌گیری شوند. افتادگی تیر توسط سنسور ساعتی با حداقل دقت ۰/۰۱ میلی‌متر خوانده شد. کلیه اطلاعات کسب شده مستقیماً به کامپیوتر وارد گردید تا بررسی شوند.

### برنامه بارگذاری

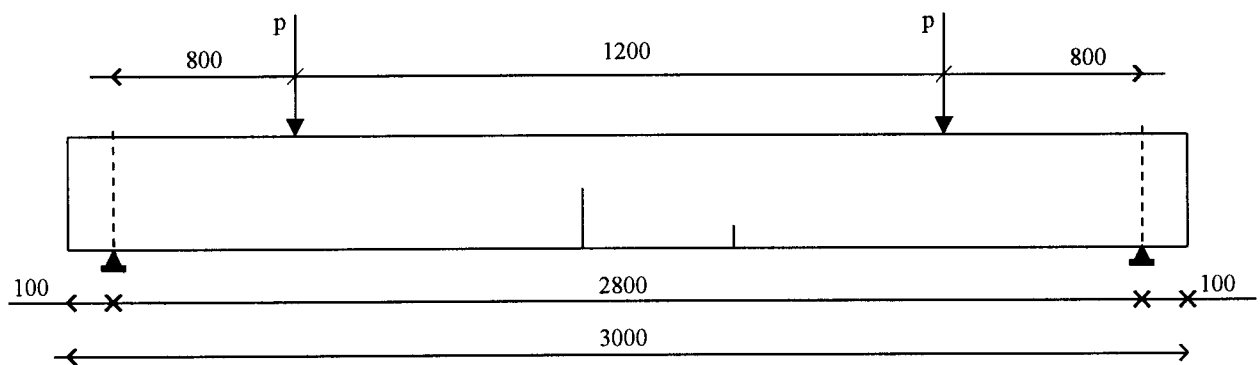
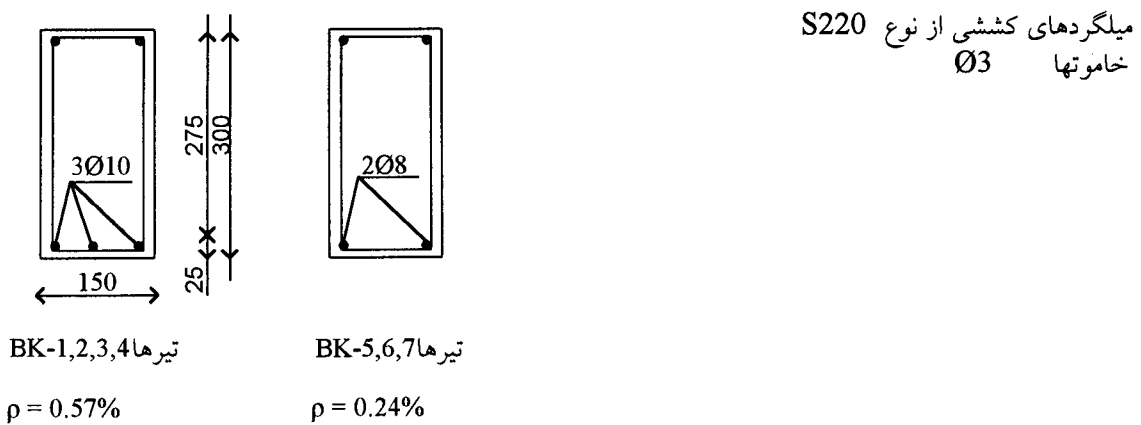
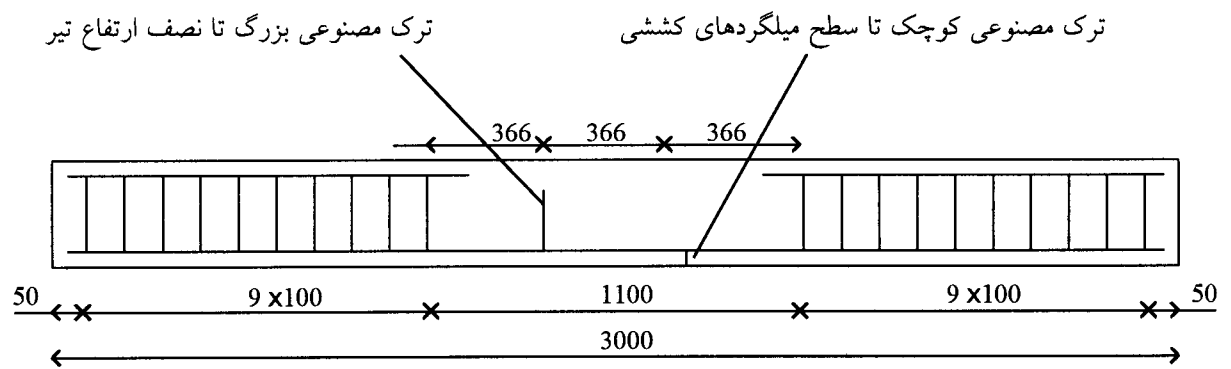
برنامه بارگذاری تیر در نمای شماره ۳ ارائه گردیده است. اولین اطلاعات ثبت‌شده مربوط به حالتی بود که تیر فقط تحت وزن خود بدون بار خارجی قرار داشت و حدود 1kNm لنگر در بین نیروهای متمرکز در تیر بوجود می‌آورد سپس قبل از ترک‌خوردگی تیر ۲ تا ۳ بار تحت بار قرارداده و اطلاعات ثبت گردید آنگاه لنگر ترک‌خوردگی را بطوری که بتوان یک ترک مشاهده نمود اعمال نموده و سپس باربرداری کرده و عرض ترکهای طبیعی و مصنوعی را بررسی و ثبت گردید حدود ۱۰ سیکل بارگذاری و باربرداری اعمال نموده و کلیه عرض ترکها ثبت و بررسی شدند و سپس بار به اندازه‌ای افزایش داده تا فاز بهره‌برداری بدست آید (تنش فولاد کششی حدود 350 MPa) و سپس مجدداً ۱۰ سیکل بارگذاری اعمال و رفتارهای ترکها بررسی و نهایتاً بار را تا فاز نهائی ادامه تا خرابی پدید آید.

### نتایج آزمایش

در هر طرف تیر حدود ۴۰ ترک ایجاد شد که پهنای آنها در ۶ سطح ارتفاع اندازه‌گیری شد. روی هم مجموعه اطلاعات ثبت‌شده در حدود چندین هزار می‌رسد که مطالب زیر فقط بخش مهمی از آنها می‌باشد.

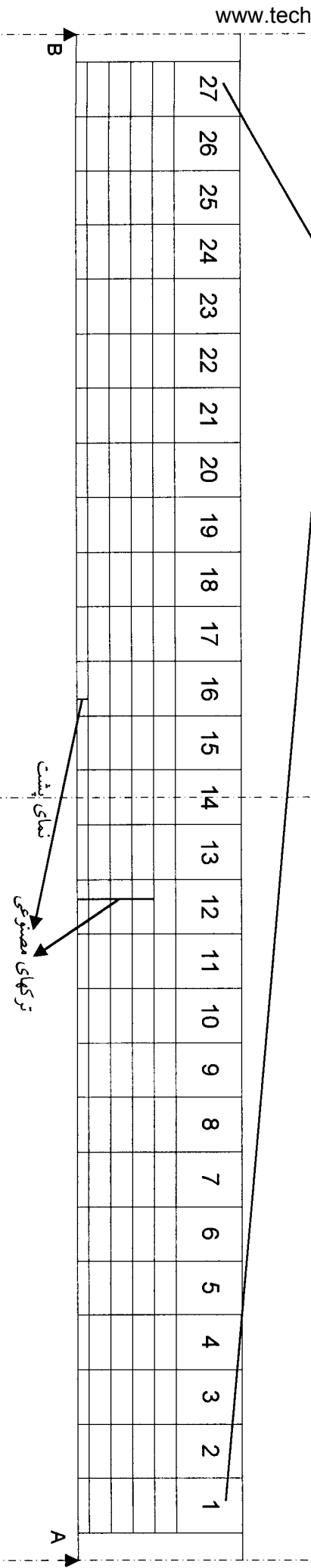
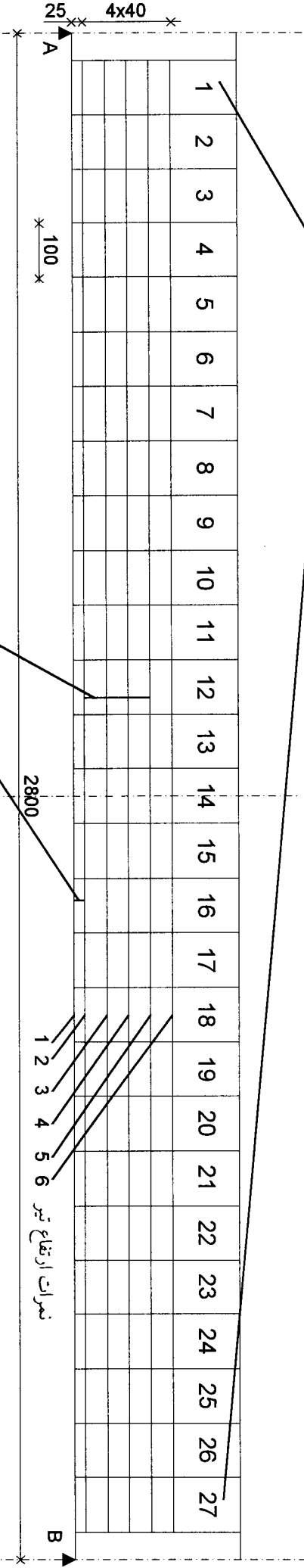
- تیرهای BK-1, BK-2, BK-3 با  $p=0.57\%$  تقارن نتایج بدست‌آمده از سمت جلو و پشت تیرها و همچنین هماهنگی تغییر شکلها بسیار رضایت‌بخش بود. پهنای ترک بیشتر از آنچه که پیش‌بینی می‌شد نشان داد.

ترک مصنوعی کوچک هیچ تفاوتی با ترکهای طبیعی نداشت و متعلق به گروه ترکهای پهن بود ولی پهنای آن هیچگاه بزرگتر از پهن‌ترین ترک طبیعی نبود. (نمای ۴)

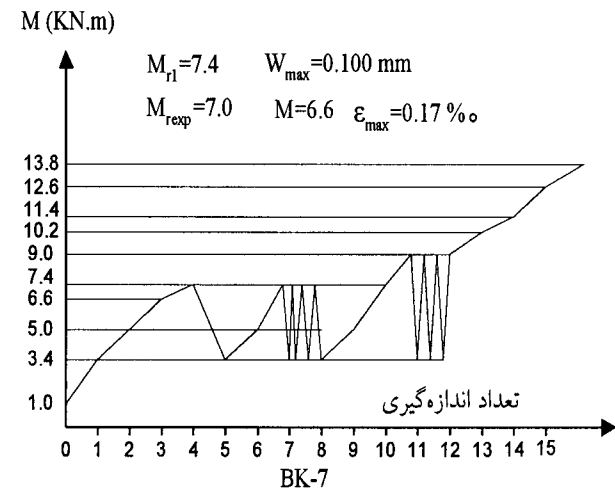
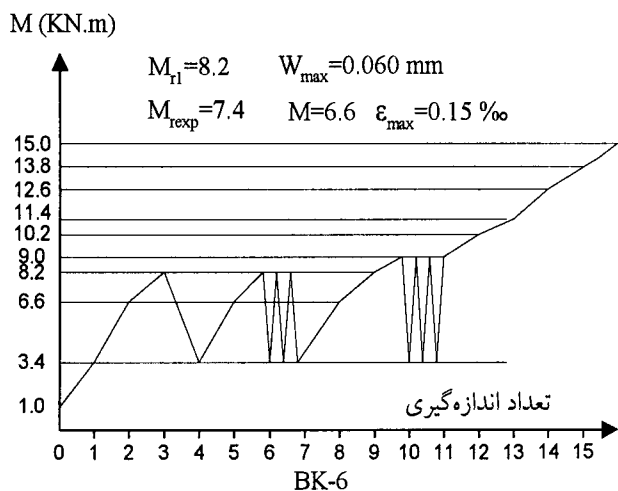
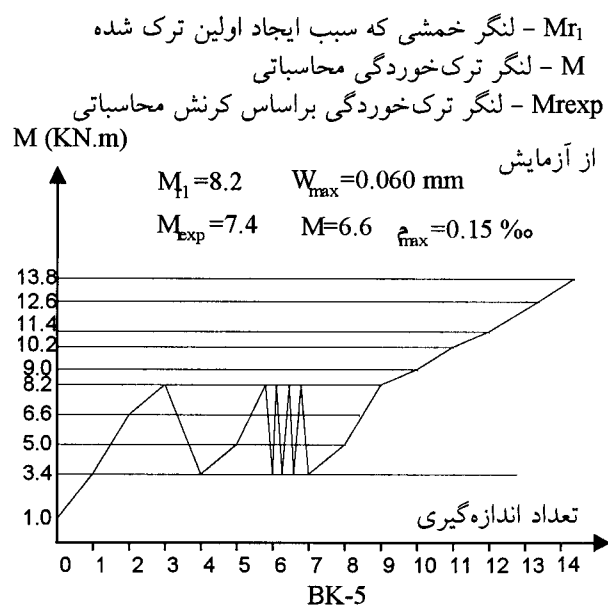
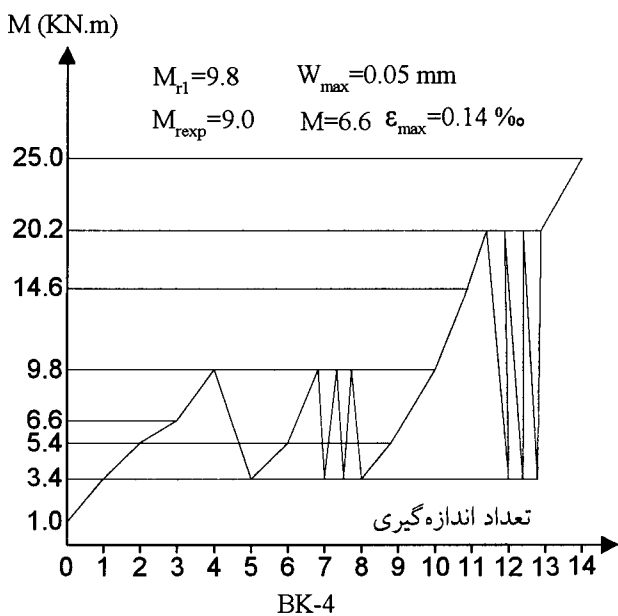
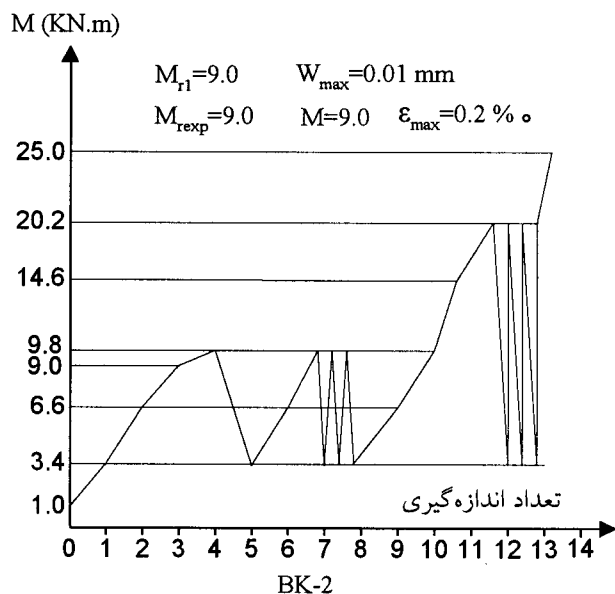
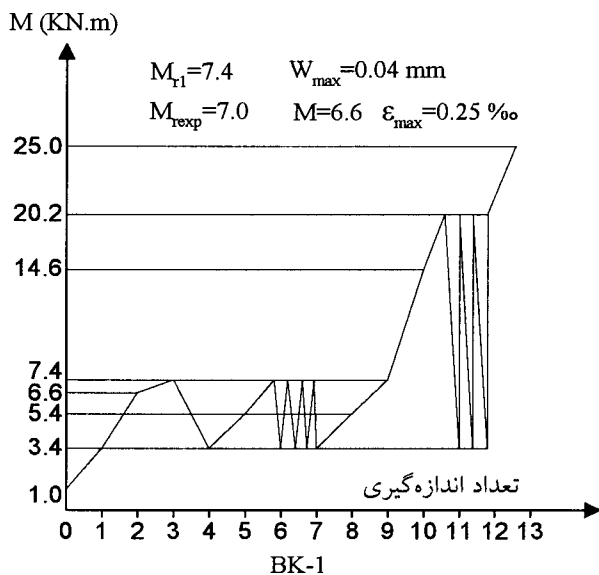


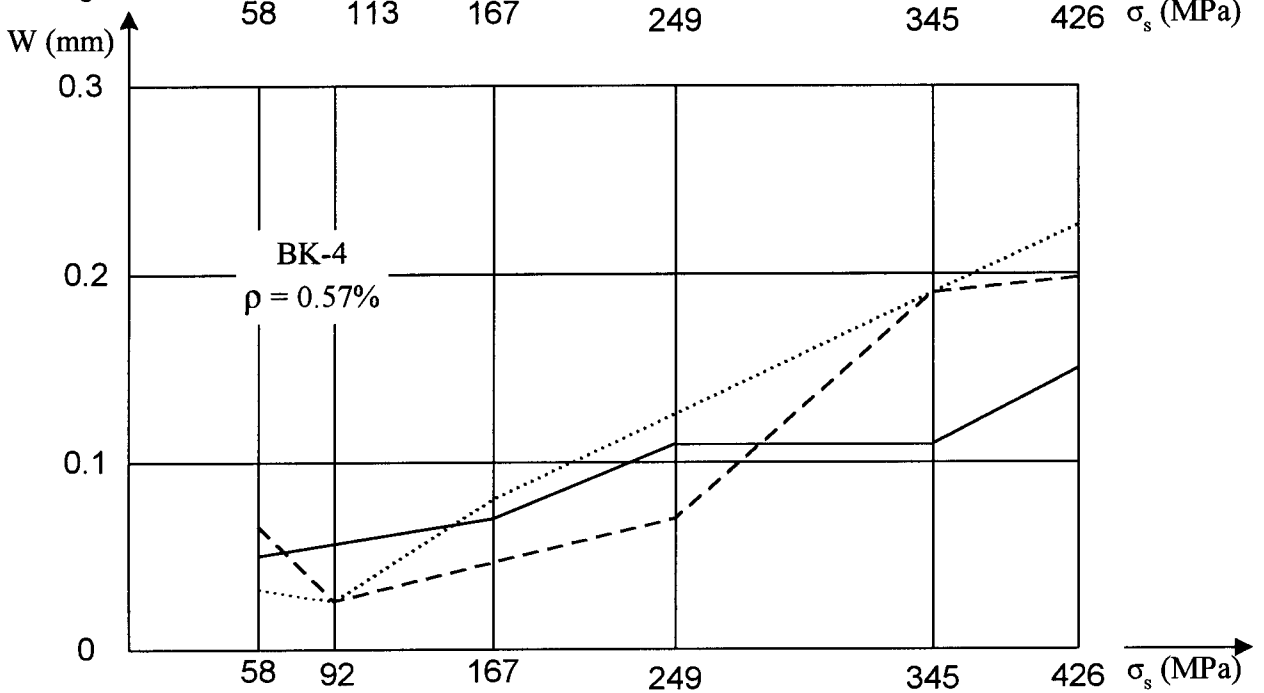
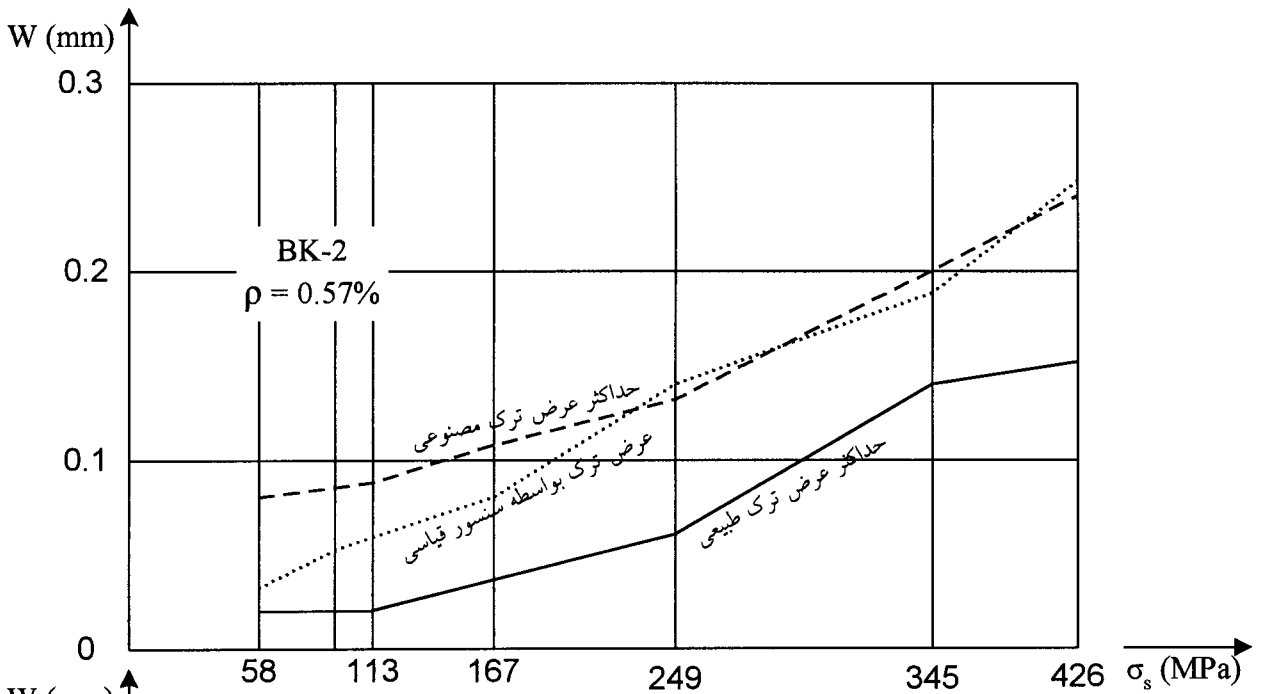
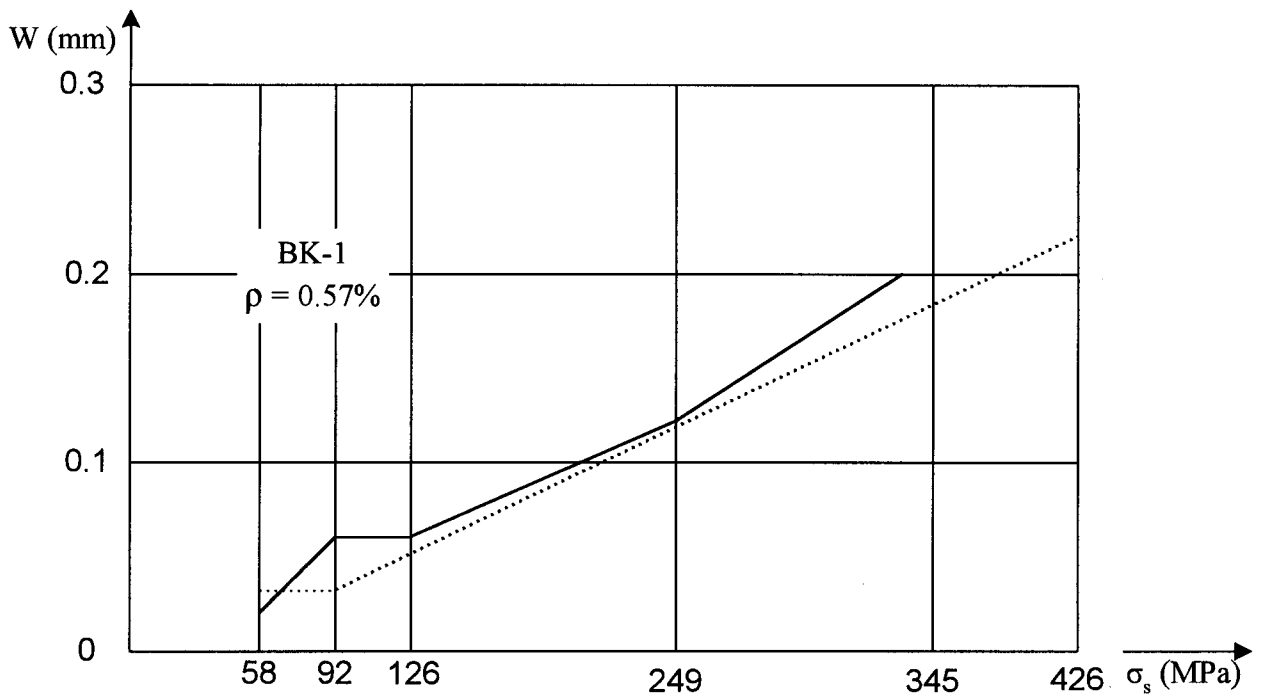
نمای ۱- مشخصات کلی تیرها

# قسمتهای مختلف سنسورهای قیاسی سری ۱



نمای ۲- شبکه‌های مورد استفاده برای ثبت عرض ترکها و وضعیت آنها





- تیرهای BK-5, BK-6, BK-7 با  $p=0.24\%$  همانند تیرهای سری قبل نتایج بدست آمده خیلی رضایت بخش بوده است. مقایسه ترکهای بدست آمده با ترکهای مصنوعی در نمای شماره ۴ نشان داده شده است. در طی آزمایشات مشاهده شده که پهنای ترک مصنوعی بزرگ گاهی در پایین سطح آرماتور کششی و گاهی در بالای آن بیشترین مقدار را داشت.

### آنالیز نتایج

- در کلیه تیرها در اطراف ترک مصنوعی بزرگ در طی آزمایشات هیچگونه ترک ایجاد نگردید زیرا در اطراف آن از ابتدا ناحیه‌ای وجود دارد که تنش کششی بتن خیلی کوچک می‌باشد بنابراین ترک بعدی حدود ۱۰ سانتی‌متر بر ترک مصنوعی بزرگ ایجاد می‌شد.

- برای تیرهای با  $p=0.24\%$  پهنای ترک مصنوعی بزرگ عموماً در حد ترکهای طبیعی است.

- برای تیرهای با  $p=0.57\%$  که با بتن قوی ساخته شده پهنای ترک مصنوعی بزرگ بوضوح بزرگتر از ترکهای طبیعی می‌باشد ولی در بتن‌های ضعیف این موضوع دیده نشد.

### نتیجه‌گیری

۱- برخی از نتایج این تحقیق و دیگر تحقیقات با تئوری کلاسیک ترک خوردگی (مانند EC-nr2 و ACI) مغایرت دارند.

۲- مطابق فرضیه کلاسیک در تیرهای با درصد آرماتور متوسط با افزایش بار یا تحت بار بلند مدت ترکها به سمت بالا امتداد پیدا می‌کنند و عرض آنها بیشتر می‌شود ولی تعداد آنها ثابت می‌باشند ولی در آزمایشات مشاهده شد که با افزایش بار با گذشت زمان تعداد ترکها بیشتر و در نتیجه فاصله کمتر می‌شود.

۳- پوشش جانبی تیر همچنین در عرض ترک مؤثر است. یعنی با افزایش پوشش بتن جانبی تیر عرض ترکها نیز نسبت به حالت معمول افزایش می‌یابد.

۴- چون محاسبه عرض ترک مبتنی بر آنالیز مقطع در فاز II (فاز بهره‌برداری) می‌باشد به همین دلیل از نقطه نظر تئوری ترکهای طبیعی و مصنوعی باید دارای یک عرض باشند و آزمایشات نیز این مطلب را تأیید می‌کند ولی حداقل یک مورد ناهماهنگی دیده شد و آنکه در یک تیر پهنای ترک مصنوعی بزرگ بطور چشمگیر بیشتر از پهنای ترکهای طبیعی بود. در حالیکه عرض ترک مصنوعی کوچک در بیشتر اوقات کمتر از عرض ترکهای طبیعی بود.

برخی از مراجع:

- Rusch H, Rehm G: "Versuche mit Betonformstahlem" Teil I, Deutscher Ausschus Stalbeton, Heft 140, Berlin 1963
- Saliger R: Tłumaczenie z niemieckiego (Bukowskiego) "Nowa Teoria Żelbetu na Podstawie Okształcenia 'Plastycznych przy Złamania", PWT Warszawa 1952
- Leonhard F: Volesungen uber Massivbau, Vierter Teil, Springer- Verlag, Berlin- Heidelberg- New York 1978
- Lloyd I.P., Rejali H.M., Kesler C.E: Crack Control in One- Way Slabs Reinforced Width Defremed Welded Wire Fadric ACI Jornal, May 1969, Str. 851-862

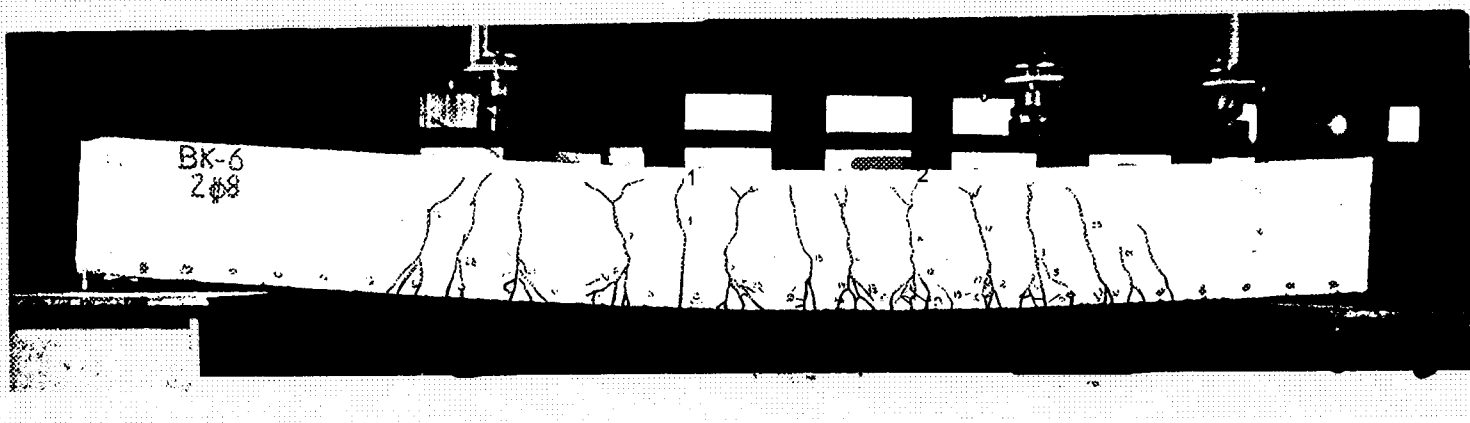
- ۱- ترک مصنوعی بزرگ
- ۲- ترک مصنوعی کوچک



نمای پشت تیر

نمای ۵- نمونه‌ای از یک تیر آزمایش شده

۱- ترک مصنوعی بزرگ  
۲- ترک مصنوعی کوچک



نمای جلوی تیر

نمای ۵- نمونه‌ای از یک تیر آزمایش شده