تحلیل تیرهای بتنی پیش‌تنیده به روش اجزای محدود

آرین حاتمی[۱]،محمد قاسم وتر[۲]

۱- آرین حاتمی، دانشجوی دکتری سازه‌های دریایی

۲- محمد قاسم وتر، استادیار پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی

چکیده:

اجزای سازه‌ای بتن در ساختمان‌ها و پل ها به شکل‌های مختلفی موجود می‌باشند. درک پاسخ این اجزا در حین بارگذاری برای ایجاد یک سازه ایمن و کارآمد امری ضروری است. روش‌های گوناگونی در مطالعه پاسخ اجزای سازه‌ای مورداستفاده قرار گرفته است. تست‌های بر پایه آزمایش (تست‌های آزمایش محور) به طور گسترده به‌عنوان وسیله‌ای در جهت تحلیل تک‌تک اجزا و اثر مقاومت بتن تحت بارگذاری مورداستفاده واقع شده است. این روش به‌شدت زمان‌گیر است و استفاده از مصالح موردنیاز آزمایش هزینه بر می‌باشد.

به این منظور روش تئوری اجزای محدود نیز در مطالعه‌این اجزا مورداستفاده قرار می‌گیرد. البته تلاش‌های اولیه برای به‌کاربردن این روش باتوجه‌به نرم‌افزارها و سخت‌افزارهای موجود ناممکن و زمان بر بود. در سالهای اخیر استفاده از اجزای محدود به دلیل پیشرفت علم و توانایی‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری کامپیوتری افزایش‌یافته است. امروزه این روش در تحلیل اجزای سازه‌ای بتنی به‌عنوان روش اصلی به کار برده می‌شود. استفاده از کامپیوتر برای مدل کردن این المان‌ها بسیار سریع‌تر و از نظر اقتصادی به‌صرفه‌تر می‌باشد. به‌منظور درک کامل کارایی نرم‌افزار کامپیوتری اجزای محدود باید نگاهی به عقب و به داده‌های آزمایشگاهی و تحلیل‌های ساده نمود. داده‌های کسب شده از یک تحلیل اجزای محدود مفید نخواهد بود تا زمانی که گام‌هایی در جهت درک اینکه چه اتفاقی درون مدل ساخته شده توسط نرم‌افزار در حال رقم خوردن است، برداشته شود. همچنین به‌منظور اطمینان یافتن از درستی و صحت خروجی نرم‌افزار کامپیوتری انجام بررسی‌های ضروری در حین مسیر موردنیاز می‌باشد. با درک روش اجزای محدود و موارد استفاده آن، تحلیل‌های به‌مراتب بهتر و کارآمدتری را می‌توان برای یافتن پاسخ اجزای سازه‌ای و مشارکت آن‌ها در سازه ایجاد کرد. این مقاله مطالعه‌ای در تیرهای پیش‌تنیده بتنی با استفاده از تحلیل اجزای محدود می‌باشد که در آن با استفاده از این روش پاسخ تیرهای پیش‌تنیده بتنی تحت بارگذاری عرضی تعیین شده است.

وسعت دید این مقاله به تعیین ویژگی‌های استاتیکی مثل تغییر شکل‌های خمشی و توزیع تنش‌ها محدود می‌شود. به این منظور یک تیر بتنی پیش‌تنیدهٔ مستطیلی برای تحلیل درنظر گرفته شده است. از برنامه ANSYS 12.1 در جهت تحلیل اجزای محدودی استفاده شده است. تیر بتنی پیش‌تنیده ذکر شده با تکیه‌گاه مفصلی مدل شده است و در مقاطع تیر از مصالح ایزوتروپیک استفاده شده است.

واژگان کلیدی: تجزیه‌وتحلیل المان محدود، تیر بتنی پیش‌تنیده، نرم‌افزار Indulge (ANSYS 12.1)

1-مقدمه

۱-۱ روش تحلیل اجزای محدود:

تحلیل اجزای محدود روشی مؤثر در تعیین عملکرد استاتیکی سازه‌ها می‌باشد به سه دلیل زمان طراحی کوتاه، کم‌هزینه‌بودن، افزایش ایمنی ساز.

www.SID.ir

استفاده از روش‌های محاسباتی پیشرفته در تحلیل سازه‌های بزرگ مانند پل‌های غول‌پیکر امری ضروری است و برای کسب حداکثر دقت طراح نیاز به استفاده از تکنیک‌های پر جزئیات تر دارد و در نتیجه بیشتر وقت طراح صرف تحلیل‌های محاسباتی می‌شود. تئوری اجزای محدود طراحان را از نیاز به تمرکز روی بتن در محاسبات ریاضی آزاد می‌کند و به آن‌ها اجازه می‌دهد زمان بیشتری را صرف ارائه دقیق سازه موردنظر و بازبینی عملکرد محاسبه شده کنند. علاوه بر این با استفاده از برنامه‌های گرافیکی سازه‌های پیچیده نیز به‌وسیله اجزای محدود به‌سادگی مدل می‌شوند و نتایج موردنظر به‌سهولت بدست می‌آیند. این عمل زمان با ارزشی را برای طراح ذخیره می‌کند. به‌منظور تنظیم این زمان باید استراتژی طراحی به شکلی دقیق برنامه‌ریزی شود. پیش از اینکه در این زمینه تست‌های دینامیکی انجام شود، یک مدل المانی سه‌بعدی کاملی برای هر پل، پیش از تست توسعه داده می‌شود. نتایج حاصل از تحلیل دینامیک، برای انتخاب موقعیت ابزار بر روی پل ها و همچنین برای پیش‌بینی جابه‌جایی استاتیکی استفاده می‌شود. سپس آنها با استفاده از فرکانس آزمایشی کالیبره می‌شوند. فرکانس‌ها عمدتاً برای ارائه مبنایی برای مطالعهٔ تأثیر پارامترهای خاص بر روی واکنش‌های دینامیکی، ساختاری، تأثیرگذاری عناصر ثانویه، ترک‌خوردگی‌های قطعات، اثرات بتن در خزش ها و انقباض‌های طولانی‌مدت، مورداستفاده قرار می‌گیرد .

بااین‌حال، برای استفاده مؤثر از زمان کامپیوتر و زمان طراحی، مهم است که استراتژی تجزیه‌وتحلیل را بادقت برنامه‌ریزی کنید. پیش از انجام یک سری آزمایشات پویا در این زمینه، یک مجموعه کامل از مدل‌های اجزای محدود سه‌بعدی برای هر پل قبل از آزمایش آن توسعه داده شده است. نتایج حاصل از این تجزیه‌وتحلیل پویا برای انتخاب موقعیت ابزار در پل و پیش‌بینی جابه‌جایی استاتیک استفاده می‌شود. سپس، با استفاده از فرکانس‌های تجربی و شکل‌های مد، کالیبره می‌شوند. فرکانس‌ها و شکل‌های مد، عمدتاً برای ایجاد مبنایی برای مطالعه تأثیر پارامترهای خاص بر پاسخ دینامیکی ساختار، تأثیر اجزای ساختاری ثانویه، شکاف تخته عرشه، اثرات خزش بتنی بلندمدت و انقباض و غیره به کار می‌روند (Paultre و Proulx، 1995). علاوه بر این روش‌های پیچیده‌تری بر اساس المان‌های محدود توسط برخی از محققان برای مطالعهٔ رفتار دینامیکی پل ها مورداستفاده قرار می‌گیرد. همچنین جدول از پیش آماده شده در سال ۱۹۷۲ برای مطالعهٔ رفتار منحنی برشی پل ها مورداستفاده قرار می‌گیرد، و از روش المان محدود برای بارهای اعمال شده استفاده می‌کنند. برنامهٔ تحلیل المان محدود سه‌بعدی برای ساختارهای خانه‌ای منحنی شده توسعه داده شده اند. راه‌حل‌های مشکلات متعدد واکنش‌های استاتیکی و دینامیکی، استفاده از روش‌های پیچیدهٔ ارائه شده است. مطالعهٔ تجربی انجام شده بر روی دو مدل منحنی Plexiglas ، قابل‌اطمینان بودن روش‌های ارائه شده را تحلیل می‌کنند .

ایده اصلی پیش تنیدگی:

بتن پیش‌تنیده بتنی است با تنش‌های داخلی با مقادیر و توزیع مناسب که در آن تنش‌های ناشی از بارهای خارجی به میزان مطلوب متقابلاً اثر می‌کنند. در اعضای مسلح بتنی، پیش تنیدگی به‌وسیلهٔ کشیدن آرماتور انجام می‌شود.

مزایای بتن پیش‌تنیده:

بتن‌های پیش‌تنیده مزایای فنی بسیار خوبی را در مقایسه با دیگر اشکال ارائه می‌کنند. در مورد بتن‌های کاملاً پیش‌تنیده شده، آنها تحت‌فشار بارهای آزاد، تنش کششی مناسبی را از خود نشان می‌دهند، و از سطح مقطع مؤثرتری در این زمان در مقایسه با دیگر بتن‌ها، استفاده می‌کنند. در محدوده‌ای خاص، یک‌بار مرده دائمی ممکن است، با افزایش نیروی گریز از مرکز، نیروی فشاری یک عنصر با ساختار پیش‌تنیده، خنثی شود، در نتیجه در این فرایند، در استفاده از مصالح صرفه‌جویی می‌شود. عناصر بتن پیش‌تنیده، باتوجه‌به اثر تحکیم فشاری که باعث کاهش تنش کششی اصلی می‌شوند، دارای مقاومت بهتری در برابر نیروهای برشی هستند. استفاده از کابل‌های منحنی، به‌ویژه در دهانه‌های بلند، به کاهش نیروهای برشی توسعه‌یافته در بخش پشتیبانی کمک می‌کند .

عضو خمشی بتن پیش‌تنیده تحت بارهای مجاز مقاوم‌تر و سخت‌تر از عضو بتن مسلح با عمق یکسان می‌باشد. استفاده از بتن با مقاومت بالا و فولاد در اعضای پیش‌تنیده منجر به پیدایش اعضای سبک‌تر و لاغرتر در مقایسه با بتن مسلح می‌شود. دو ویژگی سازه‌ای بتن پیش‌تنیده

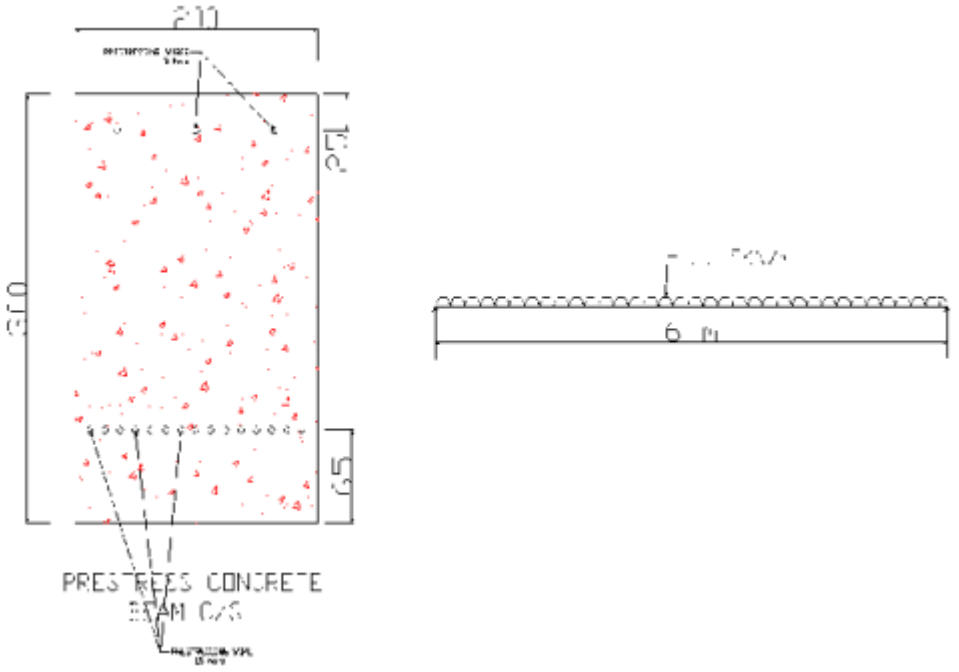
www.SID.ir

یعنی بتن پر مقاومت و عدم ایجاد ترک در آن موجب دوام و پایایی سازه تحت شرایط محیطی سخت می‌شود. پیش‌تنیده کردن بتن باعث دوام مصالح و جذب انرژی آن‌ها تحت بارهای ضربه‌ای می‌شود.

اقتصادی بودن بتن پیش‌ساخته شده برای سازه‌های طولانی به‌خوبی تثبیت شده است. بر اساس پل پیش‌ساخته استاندارد Dean6، ثابت شده است که برای محدوده ۱۰ تا ۳۰ متر، شمع‌های پیش‌ساخته، در ایالات متحده اقتصادی‌تر از فولاد و بتن‌آرمه هستند. مطابق Abeles7، بتن پیش‌ساخته شده برای کف، سقف و پل ها تا ۳۰ متر و برای کار درجا تا ۱۰۰ متر، مناسب است. در محدوده طولانی، بتن پیش‌ساخته بطور کلی مقرون‌به‌صرفه‌تر از بتن‌آرمه و فولاد است.

تیر مستطیلی بتنی پیش‌تنیده:

تحلیل مسئله: یک تیر مستطیلی با عمق ۳۰۰ میلیمتر و پهنای ۲۰۰ میلیمتر به‌وسیله ۱۵ سیم به قطر ۵ میلیمتر که در فاصل ۶۵ میلیمتری از پایین تیر قرار گرفته‌اند و ۳ سیم به قطر ۵ میلیمتر که در فاصله ۲۵ میلیمتری از بالای تیر قرار گرفته‌اند پیش‌تنیده شده است. با فرض پیش تنیدگی $840\,N/\mathrm{mm}^2$ در فولاد اگر یک‌بار زنده گسترده یکپارچه به میزان $6\,kN/\mathrm{mm}^2$ اعمال شود، حداکثر تنش مجاز در بتن را تعیین کنید. چگالی بتن $24\,kN/\mathrm{m}^3$ می باشد.



تصویر ۱

مشخصات مصالح:

درجه بتن: M-40

مقاومت مکعب بتن(f_{cu}): $40\,N/\mathrm{mm}^2$

مدول الاستیسته بتن: $31622.77\,N/\mathrm{mm}^2$

مقاومت سیم‌های کششی (f_{pu}): $1400\,N/\mathrm{mm}^2$

مدول الاستیسته سیم‌های کششی: $210\,N/\mathrm{mm}^2$

خروج از مرکزیت (e): 150-100=50

www.SID.ir

نیروی پیش تنیدگی (P): $(840*18*19.7)=3*10^5N$

منطقه متقاطع

A = (300 x 200) = 6 x 104 mm2

لحظه‌اینرسی

I = (200 x 3003)/12 = 45 x 107 mm4

لحظه‌ای از خود وزنی

Mg = (1.44 x 62)/8 = 6.48 KNm

لحظه بار–زنده

Mq = (6 x 62)/8 = 27 KNm

استرس مستقیم باتوجه‌به تحکیم

(P/A) = (3 x 105 /6 x 106) = 5 N/mm

استرس بار زنده

(Pe/Z) = {3 x 105 x 50 / 3 x 106 } = 5 N/mm

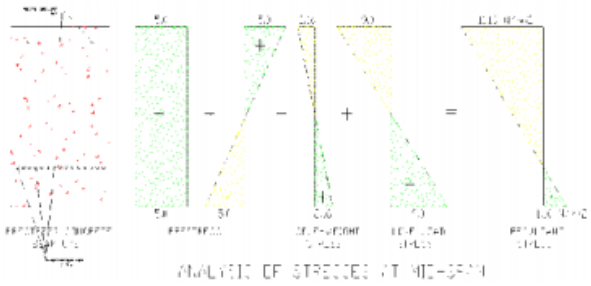
استرس خودبخشی

Mg / Z = (6.48 x 106 /3 x 106) = 2.16 N/mm2

استرس بار زنده

Mq/Z = (27 x 106 / 3 x 106) = 9 N/mm

تنش Resultant به علت (خود–وزن + preestress + بار زندگی) در انجیر نشان داده شده است. حداکثر استرس کاری در بتن = ۱۱,۱۶ N / mm2 (فشرده‌سازی).

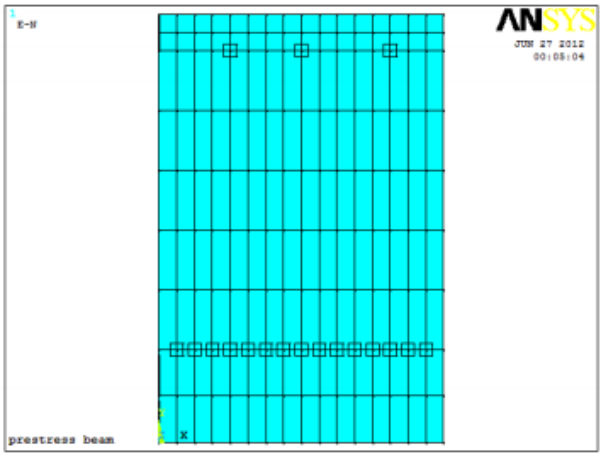


LENGTH OF GIRDER(mm)	PRESTRESSED SECTION	
	Calculation	ANSYS
6000 mm	10.6062 mm	10.457 mm

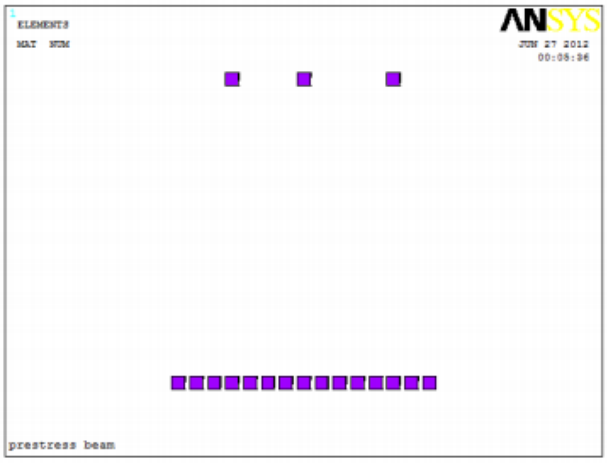
شکل ۲

www.SID.ir

ANSYS 12.1 SOFTWARE OUTPUT



Cross Sectional Details



Section Showing the Position of Prestressing Wires

شکل ۳

فاصله: ۶۰۰۰ میلی‌متر

انحراف پایین

Dmax = 5wl4 /384EI = (5 x 7.44 x 60004) / (384 x 12162.606 x 450 x106) = 22.939 mm

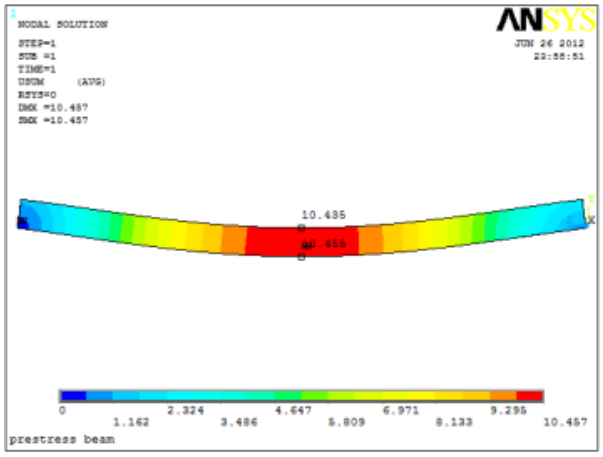
انحراف به سمت بالا باتوجه‌به پیش تنیدگی

PMAX = -PeL2 /8EI

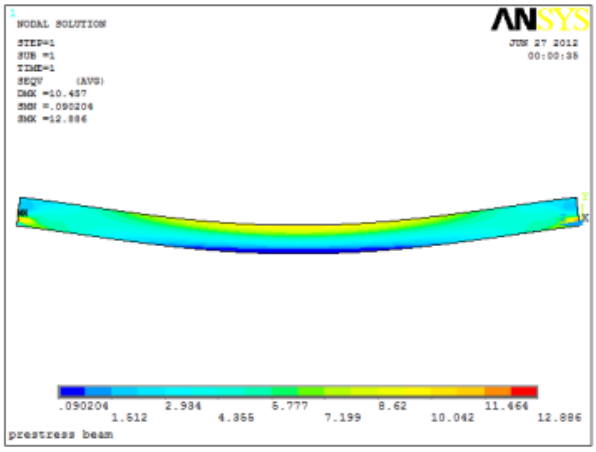
= -3 x 105 x 50 x 60002 / 8 x 12162.606 x 450 x 106 = -12.3328 mm

انحراف رو به پایین=22.939 – 12.3328 = 10.6062 m

www.SID.ir

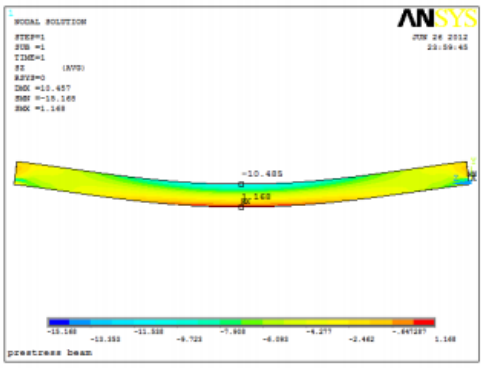


Deformations In Y Direction

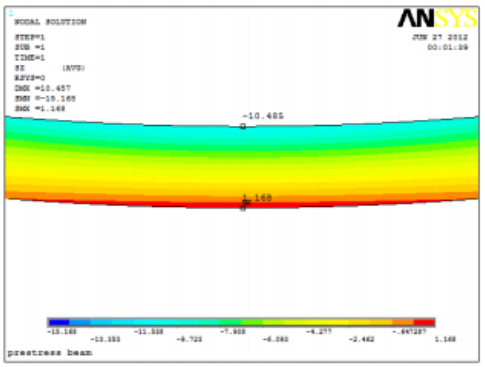


Von Mises Stress Distribution In Z Direction

METHOD OF ANALYSIS	STRESSES N/mm^2	
	TOP FIBER	BOTTOM FIBER
CALCULATION	-11.16	+1.16
ANSYS	-10.48	+1.16



Stress Distribution In Z Direction (Static Analysis)



Stress Distribution In Z Direction (Close View)

شکل ٤

www.SID.ir

نتیجه‌گیری:

نتایج ذیل با استفاده از ارزیابی تحلیل مدل و تیر بتنی پیش‌تنیده حاصل می‌شود:

۱- مکانیزم شکست یک تیر بتنی پیش‌تنیده با استفاده از FEA به‌خوبی مدل شده است و بار شکست پیش‌بینی شده خیلی نزدیک به بار شکست محاسبه شده می‌باشد.

۲- تغییر شکل‌ها و تنش‌ها در نقطه تغییر شکل صفر و کاهش فشار با استفاده از اجزای محدود به‌خوبی مدل شده‌اند.

۳- تغییر شکل‌ها و تنش‌ها در نقطه مرکزی در امتداد ترک ابتدایی و تدریجی مدل اجزای محدود به‌خوبی با نتایج تئوریکال مطابقت دارند.

۴- باری که در جهت ایجاد ترک ابتدایی تیر بتنی پیش‌تنیده اعمال شده است با باری که از محاسبات دستی به دست می‌آید مطابقت دارد.

۵- گسیختگی خمشی تیر بتنی پیش‌تنیده با استفاده از روش اجزای محدود به‌خوبی مدل شده است و باری که برای گسیختگی اعمال شده است خیلی به بار منتج شده از محاسبات دستی نزدیک است.

فهرست منابع:

1- American Concrete Institute (1978), Douglas McHenry International Symposium on Concrete and Concrete Structures, American Concrete Institute, Detroit,Michigan.

2- Branson, D.E.; Meyers, B.L.; and Kripanarayanan, K.M. (1970), “Loss of Prestress,Camber and Deflection of Noncomposite and Composite Structures Using Different Weight Concrete,” Iowa State Highway Comission, Report No. 70-6, Aug.

3- Buckhouse, E.R. (1997), “External Flexural Reinforcement of Existing Reinforced Concrete Beams Using Bolted Steel Channels,” Master’s Thesis, Marquette University,Milwaukee, Wisconsin.

4- Faherty, K.F. (1972), “An Analysis of a Reinforced and a Prestressed Concrete Beam by Finite Element Method,” Doctorate’s Thesis, University of Iowa, Iowa City.

5- Fanning, P. (2001), “Nonlinear Models of Reinforced and Post-tensioned Concrete Beams,” Electronic Journal of Structural Engineering, University College Dublin,Earlsfort Terrace, Dublin 2, Ireland, Sept.12.

6- Kachlakev, D.I.; Miller, T.; Yim, S.; Chansawat, K.; Potisuk, T. (2001), “Finite Element Modeling of Reinforced Concrete Structures Strengthened With FRP Laminates,”California Polytechnic State University, San Luis Obispo, CA and Oregon State University, Corvallis, OR for Oregon Department of Transportation, May.

7- Janney, J.R. (1954), “Nature of Bond in Pre-tensioned Prestressed Concrete,” Journal of the ACI, Proceedings, Vol.50, No.5, May.

8- MacGregor, J.G. (1992), Reinforced Concrete Mechanics and Design, Prentice-Hall, Inc.,Englewood Cliffs, NJ.

www.SID.ir

9- McCurry, D., Jr. and Kachlakev, D.I (2000), "Strengthening of Full Sized Reinforced Concrete Beam Using FRP Laminates and Monitoring with Fiber Optic Strain Guages" in Innovative Systems for Seismic Repair and Rehabilitation of Structures, Design and Applications, Technomic Publishing Co., Inc., Philadelphia, PA, March.

10- Krishna Raju "Prestressed Concrete" Tata Mc-Graw-Hill Publishing Company, Delhi 2008 edition Page No 364-378

11- S.Ramamutham & R.Narayan "Strength of Materials" Dhanpat Rai Publicashing Co. Edition 2001 Page No.371-388

12- ANSYS Structural Analysis Guide ANSYS Release 9. ANSYS, Inc. Southpointe 275 Technology Drive Canonsburg, PA

www.SID.ir