



## محاسبه دقیق افت های تاندون پیش تنیدگی در سازه های بتن پیش تنیده

دکتر ایرج محمودزاده کنی<sup>۱</sup>، مهدی حیدری وند رضا قلی قشلاقی<sup>۲</sup>

1- دانشیار دانشکده مهندسی عمران دانشگاه تهران

2- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران - سازه دانشگاه تهران

imkani@ut.ac.ir-1

haydarivand@ut.ac.ir-2

### خلاصه

در این مقاله یک روش دقیق برای محاسبه افت نیرو در تاندون های اعضای بتنی پیش تنیده ارائه شده است. این روش با کاهش خطای محاسباتی موجب افزایش دقت طراحی می شود. از محاسن این روش به دست آمدن یک تابع برحسب طول تاندون می باشد. با ارائه یک برنامه کامپیوتری بر حسب این تابع و ورود داده هایی از قبیل نوع سازه بتنی (پیش کشیده یا پس کشیده)، نحوه قرارگیری تاندون (مستقیم یا سهموی)، مشخصات مربوط به افت (از قبیل ضریب اصطکاک، ضریب اعوجاج، مقدار تورفتگی در گیره، مقدار خزش مخصوص بتن، ضریب انقباض بتن، ضریب سستی تاندون و ...) و مشخصات مقطع، مقدار افت در حین انتقال و در بلند مدت سازه به دست می آید.

کلمات کلیدی: بتن پیش تنیده، تاندون، افت، اصطکاک، خزش.

### مقدمه

با توجه به پیشرفت روز افزون کاربرد اعضاء سازه های بتن پیش تنیده در جهان و پیشرفت تئوریهای مربوط به این نوع سازه ها؛ توجه بیش از پیش به این گونه سازه ها اجتناب ناپذیر است. در کشور ما نیز کاربرد سازه های ساخته شده از بتن پیش تنیده در پل ها و دال های کف ساختمان ها و ... چندی است که مورد توجه قرار گرفته است. با توجه به پیشرفت روز افزون تکنولوژی بکارگیری سازه های بتن پیش تنیده؛ و همچنین توجه به امکانات به وجود آمده در زمینه تحلیل و طراحی چنین سازه هایی توسط نرم افزارهای کامپیوتری، توجه بیش از حد به تلفیق این تئوری ها با برنامه های کامپیوتری حائز اهمیت می باشد.

در حال حاضر در زمینه سازه های بتن پیش تنیده، با توجه به امکانات داخلی در تولید بعضی اجزاء چنین سازه هایی و پیشرفت رو به توسعه در این زمینه و همچنین وارداتی بودن برخی دیگر از اجزاء تشکیل دهنده اینگونه سازه ها، اعم از گیره ها و جک های هیدرولیکی کشنده، طراحی بهینه اینگونه تاندون ها، از اهمیت دو چندانی برخوردار شده است. آنچنانکه مطالعات بسیاری در زمینه بهینه سازی در جهان صورت پذیرفته است [1]، [2]، [3]. با توجه به توضیحات اشاره شده در بالا انجام مطالعاتی در این زمینه که هدف از آن کاهش هزینه و صرفه جویی در وقت می باشد، ضروری است. از الزامات طراحی بهینه در سازه های بتن پیش تنیده محاسبه دقیق پارامترهای گوناگون طراحی می باشد؛ یکی از این موارد، محاسبه مقدار دقیق افت در مقاطع گوناگونی از سازه بوده، که در این مقاله به آن پرداخته شده است. هدف ما از انجام این محاسبات به دست آوردن روشی برای محاسبه دقیق افت های نیروی پیش تنیدگی و ساماندهی آن به شکل یک الگوریتم مرحله به مرحله برای محاسبه افت ها می باشد. ابتدا مقادیر افت ها را برای حالتی خاص در نظر می گیریم؛ سپس با تلفیق این روابط با توجه به ترتیب اثر آنها یک فرآیند مرحله ای برای محاسبه افت ها ارائه می گردد.

### تئوریهای مربوط به محاسبه افت نیروی پیش تنیدگی

افت های موجود در سازه بتن پیش تنیده در اثر عوامل متعددی بوجود می آیند؛ برخی از این افت ها در حین انتقال یا بلافاصله بعد از انتقال نیروی پیش تنیدگی رخ می دهند (از این قبیل افت ها می توان به افت اصطکاک به وجود آمده در تاندون های پس کشیده، افت حاصل از تغییر شکل الاستیک در اثر اعمال نیروی پیش تنیدگی، افت حاصل از تورفتگی تاندون در گیره و... اشاره نمود). برخی دیگر نیز در اثر گذشت زمان و به دلیل

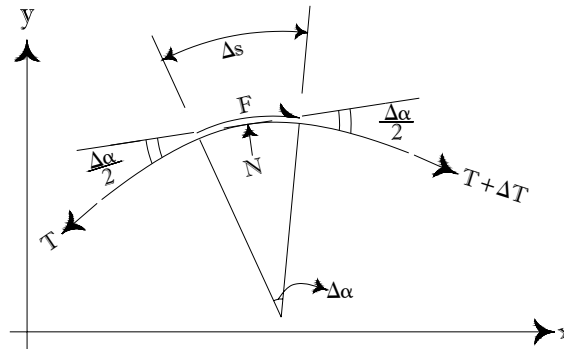
<sup>1</sup> دانشیار دانشکده مهندسی عمران دانشگاه تهران

<sup>2</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران - سازه دانشگاه تهران

خاصیت مصالح به وجود می آیند (از این قبیل افت ها می توان به افت حاصل از جمع شدگی بتن، افت حاصل از خزش بتن، افت حاصل از سستی تاندون پیش تنیدگی و... اشاره نمود).

### محاسبه دقیق افت اصطکاکی ناشی از انحناء

برای محاسبه افت اصطکاکی، یک المان دارای انحنای متغییر در طول مانند شکل (1) در نظر گرفته می شود؛ و با بکارگیری روابط تعادل مقدار اصطکاک اعمال شده بر روی تاندون با توجه به محاسبات زیر به دست می آید. (توجه گردد که معادلات تعادل نیروها در دو جهت شعاعی و عمود بر آن در نظر گرفته شده است).



شکل 1- المان بریده شده از تاندون برای محاسبه افت

$$\frac{dT}{T} = -\mu \cdot d\alpha \quad (1)$$

معادله (1) که در آن  $\mu$  ضریب اصطکاک و  $T$  نیروی کششی می باشد؛ رابطه اصلی برای محاسبه افت نیروی پیشتنیدگی در اثر اصطکاک می باشد. همچنین برای افزایش دقت محاسبات مقادیر واقعی انحناء تاندون و طول منحنی با توجه به روابط (2) و (3) در محاسبات منظور شد.

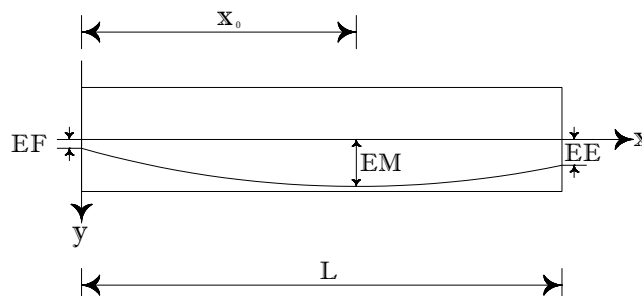
$$\frac{1}{\rho(x)} = \frac{\left| \frac{d^2 y}{dx^2} \right|}{\left( 1 + \left( \frac{dy}{dx} \right)^2 \right)^{\frac{3}{2}}} \quad (2)$$

$$ds = \sqrt{(1 + y'^2)} dx = \rho \cdot d\alpha \quad (3)$$

با انتگرال گیری از رابطه (1)، با توجه به روابط (2) و (3) و همچنین اعمال شرایط اولیه مقادیر دقیق نیروی پیش تنیدگی پس از افت اصطکاکی ناشی از انحناء (به فاصله  $X$  از ابتدای تاندون)، با توجه به رابطه (4) حاصل شد.

$$\int \frac{dT}{T} = \int -\mu \cdot d\alpha \rightarrow T = T_i \cdot \exp \left( - \int_0^x \mu \cdot \frac{\left| \frac{d^2 y}{dx^2} \right|}{\left( 1 + \left( \frac{dy}{dx} \right)^2 \right)^{\frac{3}{2}}} dx \right) \quad (4)$$

با در نظر گرفتن تاندون سهموی ( $y = A \cdot x^2 + B \cdot x + C$ ) مانند شکل (2)، رابطه های مربوط به شکل تاندون به دست می آیند و رابطه (4) تبدیل به رابطه (8) می گردد.



شکل 2- خروج از مرکزیت تاندون



$$A = -\frac{B^2}{4.(EM - EF)} \quad (5)$$

$$B = 2. \frac{(EM - EF)}{L} \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{(EF - EE)}{(EM - EF)}} \right) \quad (6)$$

$$C = EF \quad (7)$$

که در حالت ایده آل  $EF = EE$  و  $X_0 = \frac{L}{2}$  می باشد.

$$T_{fd} = T_i \cdot \exp \left( - \int_0^x \mu \cdot \frac{\left| \frac{d^2 y}{dx^2} \right|}{\left( 1 + \left( \frac{dy}{dx} \right)^2 \right)} dx \right) = T_i \cdot \exp \left( - \int_0^x \mu \cdot \frac{2|A|}{\left( 1 + (2A.x + B)^2 \right)} dx \right) \quad (8)$$

$$F(x) = \left[ \tan^{-1}(2A.x + B) - \tan^{-1}(B) \right] \rightarrow T_{fd} = T_i \cdot \exp(-\mu.F(x)) \quad (9)$$

در روابط فوق  $EF$  و  $EM$  و  $EE$  به ترتیب خروج از مرکزیت تاندون در ابتدای تیر، وسط دهانه و انتهای تیر می باشند.

### افت اصطکاکی ناشی از اعوجاج

نیروی پیش تنیدگی پس از افت اصطکاکی اعوجاجی نیز (با فرض ثابت بودن مقدار  $\frac{\mu}{\rho(x)}$  برای هر متر طول)، با توجه به رابطه (11) به دست می آید.

$$\frac{dT}{T} = -K.ds \quad (10)$$

$$\int \frac{dT}{T} = \int -K.ds \rightarrow T_{fc} = T_i \cdot \exp \left( \int -K.\sqrt{(1+y'^2)} dx \right) \quad (11)$$

با در نظر گرفتن تاندون به شکل سهموی؛ مقدار زیر برای رابطه (11) به دست آمد.

$$T_{fc} = T_i \cdot \exp \left( \int -K.\sqrt{1+(2A.x+B)^2} dx \right) = T_i \cdot \exp \left( -\frac{K}{2A}(G(x)) \right) \quad (12)$$

که در آن تابع  $G(x)$  به صورت زیر محاسبه می شود؛

$$G(x) = \left[ \frac{\sin(\tan^{-1}(2A.x+B))}{2 \cos^2(\tan^{-1}(2A.x+B))} + \frac{1}{2} \ln \tan \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\tan^{-1}(2A.x+B)}{2} \right) \right] - \left[ \frac{\sin(\tan^{-1}(B))}{2 \cos^2(\tan^{-1}(B))} + \frac{1}{2} \ln \tan \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\tan^{-1}(B)}{2} \right) \right] \quad (13)$$

البته باید توجه گردد که در سازه های بتنی پیش تنیده، که تاندون ها به شکل پس کشیده می باشند؛ افت های اصطکاکی ناشی از انحناء و اعوجاج با هم به وجود می آیند و باید با هم در نظر گرفته شوند؛ به همین منظور با توجه به توضیحات و روابط به دست آمده در بالا کل اثرات حاصل از افت اصطکاکی با استفاده از روابط زیر در نظر گرفته می شود. (در روابط زیر  $K$  عبارت است از ضریب اعوجاج)

$$\frac{dT}{T} = -\mu \cdot \frac{ds}{\rho(x)} - K.ds = - \left( \left( \frac{\mu}{\rho(x)} \right) + K \right) ds \quad (14)$$

$$T_f(x) = T_i \cdot \exp \left( - \left( \frac{K}{2A}.G(x) + \mu.F(x) \right) \right) \quad (15)$$

### افت در اثر تغییر شکل الاستیک

با توجه به مطالعات انجام گرفته [8] محاسبات با بررسی تغییر در نیروی پیش تنیدگی در سطح تراز تاندون انجام می شود؛ (تغییر در نیروی پیش تنیدگی در اثر تغییر شکل الاستیک با  $\Delta f_p$  نشان داده می شود) و با توجه به یکسان بودن کرنش ها در سطح تراز تاندون رابطه (16) به دست می آید.

$$\begin{cases} \frac{f_{co}}{E_c} = \frac{\Delta f_p}{E_s} \\ m = \frac{E_s}{E_c} \end{cases} \rightarrow \Delta f_p = m f_{co} \quad (16)$$



تنشهای بوجود آمده در بتن در سطح تراز تاندون ها در اثر نیروهای پیش تنیدگی نیز با توجه به رابطه (18) حاصل می شود. (در رابطه زیر  $P_e$  مقدار نیروی پیش تنیدگی مؤثر در سطح تراز تاندون ها می باشد.)

$$f_{co} = \frac{P_e}{A_c} \left( 1 + \frac{e^2}{r^2} \right) - \frac{M_i \cdot e}{I} \quad (17)$$

$$f_{co} = \frac{\frac{f_{pi}}{A_c}}{m + \frac{A_c}{A_{ps} \left( 1 + \frac{e^2}{r^2} \right)}} - \frac{M_i \cdot e}{I} \cdot \frac{A_c}{m \cdot A_{ps} \cdot \left( 1 + \frac{e^2}{r^2} \right) + A_c} \quad (18)$$

بدین ترتیب مقدار افت در اثر تغییر شکل الاستیک با توجه به رابطه زیر حاصل خواهد گردید.

$$\Delta f_p = m f_{co} \quad (19)$$

ولی در مورد حالت پس کشیدگی تاندون ها باید در نظر گرفت که نحوه کشش تاندونها به چه شکل خواهد بود؛ اگر کل تاندون ها در یک مرحله کشیده شود؛ با توجه به اینکه جک های کششی، تاندون ها را تا رسیدن به کشش مورد نظر می کشند، هیچگونه افتی در تاندون ها در اثر تغییر شکل الاستیک به وجود نخواهد آمد؛ البته باید در این مورد توجه گردد که اثر وزن تاندون نیز به حساب آمده است؛ ولی اگر تاندون ها در چند مرحله کشیده شوند؛ باید اثرات هر بار کشش تاندون ها در نظر گرفته شود؛ و افت ناشی از کشش تاندون ها در مراحل بعدی منظور گردد؛ اگر فرض شود که تاندون ها در  $n$  مرحله کشیده می شوند؛ و در هر مرحله سطح مقطع تاندون ها برابر می باشد؛ روابط زیر برای  $f_{co}$  (تنش بتن در تراز تاندون) به دست می آید.

$$A_1 = A_2 = \dots = A_n = \frac{A}{n} \quad (20)$$

با توجه به توضیحات بالا مقدار تغییرات تنش در مرحله دوم و سوم کشش با توجه به روابط زیر حاصل شد.

مرحله دوم کشش	مرحله سوم کشش
$\Delta \varepsilon = \varepsilon_1 - \varepsilon_1' = \frac{f_{st1} - f_{st1}'}{E_s} = \frac{f_{co}' - f_{co}}{E_c} \quad (21)$	$\Delta \varepsilon = \varepsilon_2 - \varepsilon_2' = \frac{f_{st1}' - f_{st1}'' + f_{st2} - f_{st2}'}{E_s} = \frac{f_{co}'' - f_{co}'}{E_c} \quad (22)$
$\frac{\Delta f_{st1}}{E_s} = \frac{\Delta f_{co(1,n)}}{E_c} \rightarrow \Delta f_{st1} = m \Delta f_{co(1,n)} \quad (23)$	$\frac{2 \Delta f_{st2}}{E_s} = \frac{\Delta f_{co(2,n)}}{E_c} \rightarrow 2 \Delta f_{st2} = m \Delta f_{co(2,n)} \quad (24)$
$\Delta f_{co(1,n)} = \frac{P}{n} - \frac{\Delta p_{(1,n)}}{A_c} \cdot \left( 1 + \frac{e^2}{r^2} \right) \quad (25)$	$\Delta f_{co(2,n)} = \frac{P}{n} - \frac{\Delta p_{(2,n)}}{A_c} \cdot \left( 1 + \frac{e^2}{r^2} \right) \quad (26)$
$\Delta f_{co(1,n)} = \frac{A_{ps}}{n} (f_{pi} - \Delta f_{st1}) \cdot \left( 1 + \frac{e^2}{r^2} \right) \quad (27)$	$\Delta f_{co(2,n)} = \frac{A_{ps}}{n} (f_{pi} - 2 \Delta f_{st2}) \cdot \left( 1 + \frac{e^2}{r^2} \right) \quad (28)$
$\Delta f_{co(1,n)} = \frac{f_{pi}}{m + \frac{A_c}{\frac{A_{ps}}{n} \left( 1 + \frac{e^2}{r^2} \right)}} \quad (29)$	$\Delta f_{co(2,n)} = \frac{f_{pi}}{m + \frac{A_c}{\frac{A_{ps}}{n} \left( 1 + \frac{e^2}{r^2} \right)}} \quad (30)$

با ادامه فرآیند بالا برای  $n$  مرحله کشش رابطه زیر برای تنش مؤثر بتن در سطح تراز تاندون حاصل شد.

$$f_{co} = \frac{(n-1) \cdot f_{pi}}{m + \frac{A_c}{\frac{A_{ps}}{n} \left( 1 + \frac{e^2}{r^2} \right)}} \quad (31)$$

#### افت در اثر تورفتگی در گیره

در مواردی که گیره های به کار گرفته شده صلبیت کافی را برای تاندون ها بوجود نیاورند؛ تاندون ها در داخل گیره ها می لغزند؛ که مقدار این لغزش بستگی به نوع گیره و نحوه اتصال آن دارد؛ مقدار این تورفتگی معمولاً توسط جداولی بوسیله کارخانجات سازنده ارائه می گردد؛ در این مورد با فرض تورفتگی در گیره برابر با  $\delta_{ad}$  محاسبات انجام شده؛ و تغییر تنش در اثر تورفتگی با استفاده از روابط زیر به دست آمد.

$$\Delta f_A = \varepsilon_s \cdot E_s = \left( \frac{\delta_{ad}}{x_A} \right) E_s \quad (32)$$

$$\Delta f_p \cdot A_{ps} = \Delta P_{A1} \quad (33)$$

$$\Delta P_{A1} = \left( \frac{\delta_{ad}}{x_A} \right) E_s \cdot A_{ps} \quad (34)$$

در روابط بالا افت اصطکاکی با استفاده از رابطه (15) محاسبه شده در قبل در نظر گرفته شده است.

$$\left( \frac{\delta_{ad}}{x_A} \right) E_s \cdot A_{ps} = T_{Ai} \left[ 1 - \exp \left( - \left( \frac{K}{2A} \cdot G(x_A) + \mu \cdot F(x_A) \right) \right) \right] \quad (35)$$

با توجه به اینکه تنها مجهول موجود در رابطه فوق مقدار  $x_A$  بود؛ با استفاده از حل رابطه فوق طول مؤثر در تورفتگی به دست آمد؛ با در دست داشتن مقدار طول مؤثر در تورفتگی تغییرات نیروی پیش تنیدگی در تاندون نیز به دست آمد.

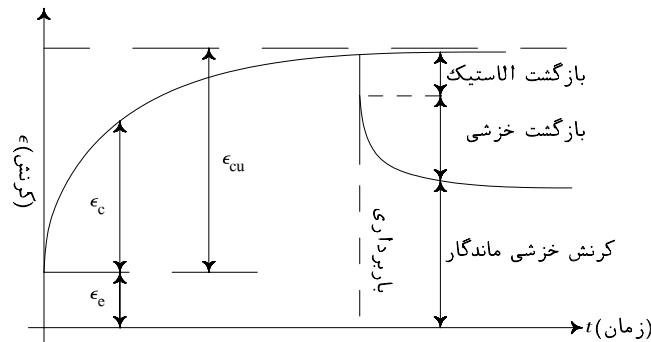
$$\Delta P_{A2} = T_{Ai}(x) - T_{Ai}(x_A) \quad (36)$$

### افت حاصل از خزش بتن

مطالعات بسیاری در زمینه افت های بلند مدت سازه های پیش تنیده صورت گرفته است [5], [7], [8]. با توجه به محاسبات انجام گرفته رابطه دقیق انتگرالی (37) برای خزش پیشنهاد شده است.

$$\varepsilon(t) = \int_{t_1}^t J(t, t') d\sigma(t') + \varepsilon^0(t) \quad (37)$$

با توجه به ساده سازیهای صورت گرفته برای رابطه بالا و نظر به اینکه با گذشت زمان برای یک بارگذاری خاص تنش ها ثابت بوده و مقادیر کرنش و ضریب ارتجاعی بتن تغییر می کند؛ با در نظر گرفتن شکل (3)، برای به دست آوردن روابط خزشی محاسبات زیر انجام گرفت.



شکل 3- نمودار کرنش - زمان برای بتن تحت اثر بارهای دائمی

$$f_1 = f_2 \rightarrow \varepsilon_e \cdot E_{ci} = E_{ct} \cdot (\varepsilon_e + \varepsilon_c) \quad (38)$$

$$E_{ct} = \frac{E_{ci}}{\frac{1}{\varepsilon_e} \cdot (\varepsilon_e + \varepsilon_c)} = \frac{E_{ci}}{\left( 1 + \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_e} \right)} \quad (39)$$

نسبت  $\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_e}$  را با  $\phi$  نشان می دهند که ضریب خزش نامیده می شود.

$$\phi = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_e} \rightarrow E_{ct} = \frac{E_{ci}}{(1 + \phi)} \quad (40)$$

$$\varepsilon_c = \varepsilon_2 - \varepsilon_1 = \frac{f_c}{E_2} - \frac{f_c}{E_1} = f_c \left( \frac{1}{E_{ct}} - \frac{1}{E_{ci}} \right) = f_c \left( \frac{1 + \phi}{E_{ci}} - \frac{1}{E_{ci}} \right) = f_c \cdot \frac{\phi}{E_{ci}} \quad (41)$$

$$\begin{cases} \varepsilon_c = \varepsilon_s \\ f_s = E_s \cdot \varepsilon_s \end{cases} \rightarrow L = \frac{f_s}{f_{pi}} = \frac{E_s \cdot \varepsilon_s}{f_{pi}} = m \cdot \frac{f_c}{f_{pi}} \cdot \phi \quad (42)$$

در روابط فوق  $E_{ci}$  ضریب ارتجاعی بتن در زمان انتقال،  $E_{ct}$  ضریب ارتجاعی بتن در بلند مدت،  $E_s$  ضریب ارتجاعی تاندون،  $f_c$  تنش موجود در بتن،  $f_{pi}$  تنش اولیه در تاندون و  $m$  نسبت ضریب ارتجاعی فولاد به بتن می باشند.

### افت حاصل از انقباض بتن و سستی تاندون ها

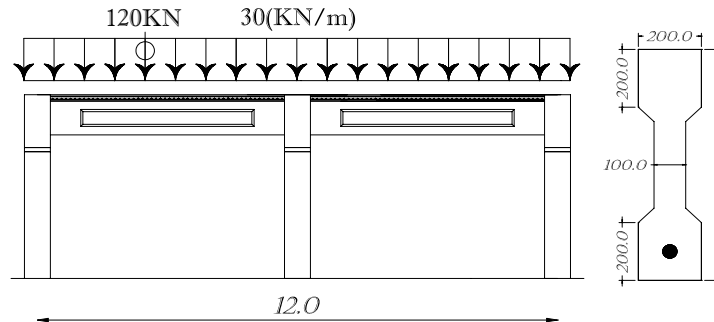
افت در اثر انقباض بتن و سستی تاندون ها بستگی به خصوصیات مصالح دارند [4]. که نحوه محاسبه آنها در آئین نامه ها ذکر شده اند.

$$sh\ loss = \frac{SH \times E_s}{P} \quad (43)$$

$$\frac{A}{A}$$

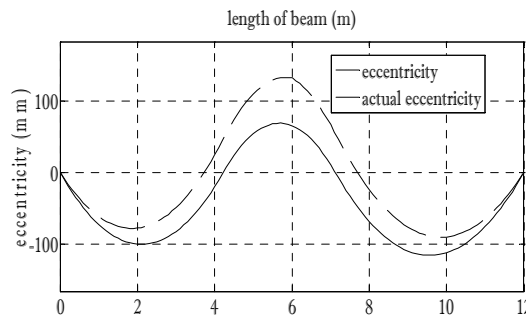
$$relaxation\ loss = \psi.RF \quad (44)$$

در زیر با ارائه مثالی چگونگی نمودارهای پیوسته به دست آمده از روابط فوق بیان می گردد. تیر پس کشیده مورد بررسی دارای ابعاد و دهانه به شکل زیر بوده و تاندون آن سهمی شکل با خروج از مرکزیت منفی در تکیه گاه وسط می باشد. همچنین فرض شده که بر روی هر ستون 4 تیر واقع گردیده است. که تحت تأثیر بارگذاری HA طبق آئین نامه BS5400 قرار گرفته اند.



شکل 4 - مقطع و نمای کلی پل تحت اثر بارگذاری متحرک HA

شکل (5) مقدار خروج از مرکزیت واقعی تیر را در نقاط مختلف نشان می دهد. همچنین این نمودار خروج از مرکزیت معادل تیر را که به دلیل نامعینی خارجی در اثر لنگرهای ثانویه به وجود می آید را نیز نشان می دهد (توجه گردد که برای نشان دادن کارآمدی روابط خروج از مرکزیت تاندون به شکل نا متقارن در نظر گرفته شده است).



شکل 5 - خروج از مرکزیت تاندون

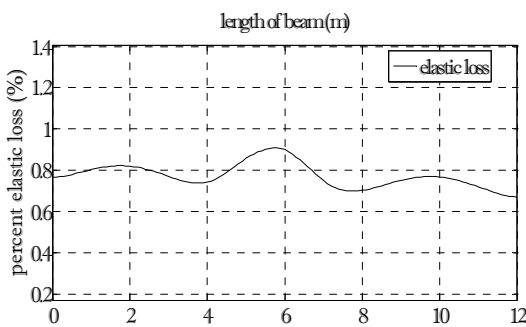
نمودارهای مربوط به موارد گوناگون افت و اثرات آنها در اشکال (6) تا (11) ارائه گردیده اند.

### نتیجه گیری

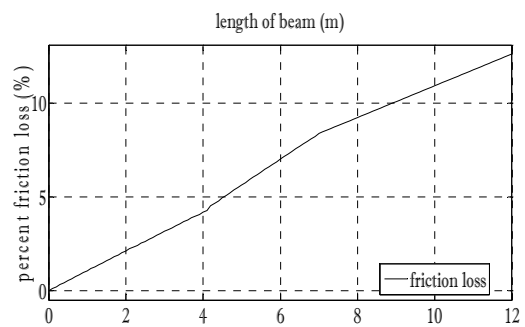
- با توجه به اشکال حاصل از محاسبه افت ها می توان موارد زیر را مشاهده نمود.
1. با توجه به شکل (6) که مربوط به افت اصطکاکی می باشد؛ می توان دریافت که افت دارای تغییرات پیوسته ای می باشد که در نقاط تغییر انحناء منحنی دارای تغییرات وابسته به افزایش یا کاهش آن می باشد.
  2. با توجه به شکل (7) برای افت الاستیک و شکل (8) برای افت خزشی می توان به تأثیرپذیری افت از تغییرات انحناء، محل اوج خروج از مرکزیت و محل تکیه گاه ها اشاره نمود.
  3. با توجه به شکل (10) که مربوط به افت در اثر تورفتگی می باشد. می توان مقدار طول مؤثر تورفتگی و پیوستگی منحنی را مشاهده نمود.
- با توجه به بخش قبل و روابط حاصله برای هر یک از افت های مورد بحث، ملاحظه می گردد که افت تاندون به راحتی بر حسب توابعی مطابق با فاصله از ابتدای تاندون بیان می گردند. این امر موجب می گردد؛ که با ارائه یک الگوریتم گام به گام محاسبه افت به راحتی امکانپذیر باشد. همچنین توجه به این نکته حائز اهمیت است که در موارد مشابه برای محاسبه افت که تاکنون در روش های بهینه سازی ارائه گردیده است [6]، [9]. معمولاً از روشهای عددی مانند روش سیمپسون و با تقسیم بازه به مقاطع زیاد برای بالا بردن دقت استفاده گردیده است.



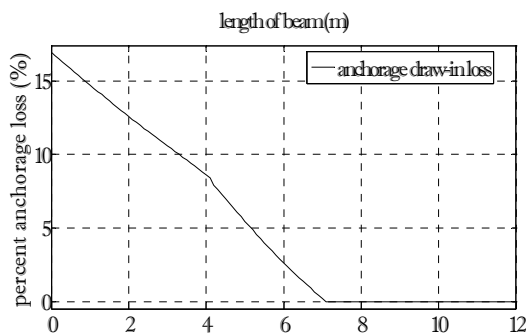
- در حالی که در روابط بالا می توان بدون انجام تقسیمات خاصی در هر نقطه دلخواه با هر فاصله ای و هر نسبتی مقدار دقیق افت را به دست آورد. با توجه به نتایج حاصل از قسمت های قبل و مقایسه این روش با الگوریتم های مشابه می توان به موارد زیر اشاره نمود:
1. با استفاده از روش فوق سرعت محاسبه افت توسط نرم افزارهای کامپیوتری به دلیل عدم نیاز به تقسیم بندی بازه های محاسباتی و روابط به شکل تابع که نیاز به محاسبه انتگرال ندارند بالاتر می رود.
  2. انعطاف پذیری برنامه برای محاسبه افت در هر نقطه دلخواه افزایش می یابد.
  3. علت اصلی انعطاف پذیری محاسبه افت، عدم نیاز به تقسیم بندی بازه در مقایسه با روشهای تقسیم نامتقارن بازه محاسباتی برای بالا بردن دقت محاسبات می باشد.
  4. با اتصال برنامه محاسبه افت به یک الگوریتم بهینه سازی مناسب مانند الگوریتم ژنتیک می توان کارآمدترین شکل تاندون را به دست آورد.
  5. با توجه به نمودارها می توان به پیوستگی آنها پی برد؛ که یکی از مشخصات بارز این روش می باشد؛ و آنرا از روشهای عددی متمایز می سازد.
  6. روابط مشابهی که برای افت های بلند مدت مانند رابطه (38) ارائه گردیده است دارای پیچیدگی خاصی می باشند که کار کردن با آنها بسیار مشکل و نیازمند انجام محاسبات زیادی می گردد.



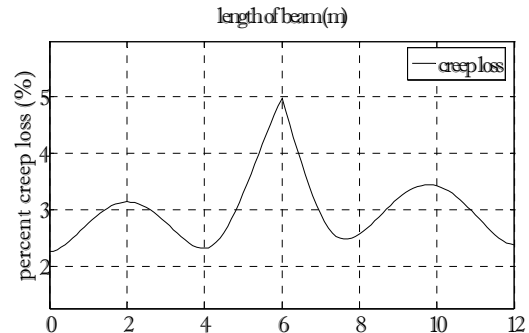
شکل 7 - افت الاستیک



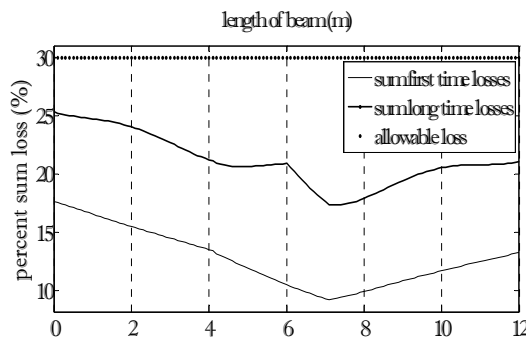
شکل 6 - افت اصطکاکی



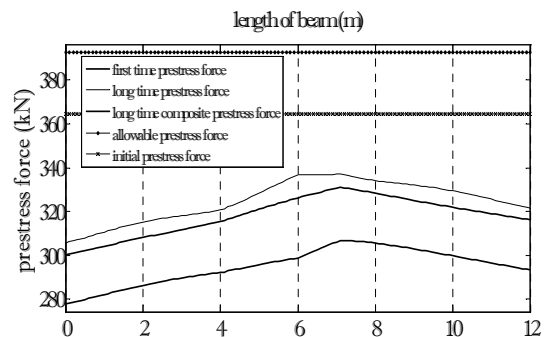
شکل 9 - افت تورفتگی



شکل 8 - افت خزشی



شکل 11 - افت کلی



شکل 10 - نیروی پیش تنیدگی



## مراجع

1. Genetic anti-optimization for reliability structural assessment of precast concrete structures Luciano Catallo Department of Structural and Geotechnical Engineering, University of Rome "La Sapienza", Via Eudossiana 18, 00184 Rome, Italy Accepted 5 March 200
2. Optimal design of reinforced concrete T-sections in bending C.C. Ferreira a,\*, M.H.F.M. Barros a, A.F.M. Barros b a Department of Civil Engineering, Faculty of Sciences and Technology, University of Coimbra, Polo II, 3030 Coimbra, Portugal b IDMEC/Instituto Superior Técnico, Av. Rovisco Pais, 1000 Lisbon, Portugal 4 February 2003
3. Optimum detailed design of reinforced concrete continuous beams using Genetic Algorithms V. Govindaraj a,\*, J.V. Ramasamy ba Department of Civil Engineering, Kumaraguru College of Technology, Coimbatore 641 006, Tamil Nadu, India b Department of Civil Engineering, P.S.G. College of Technology, Coimbatore 641 004, accepted 9 September 2005
4. Shrinkage cracking at interior supports of continuous pre-cast pre-stressed concrete girder bridges Hyo-Gyoung Kwak\_, Young-Jae Seo Department of Civil Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology, 373-1 Kusong-dong, Yusong-gu, Taejon 305-701, South Korea Received 21 July 2001; received in revised form 25 August 2001; accepted 25 October 2001
5. Comparisons and contrasts in creep behaviour G.W. Greenwood .Department of Engineering Materials, University of Sheffield, Mappin Street, Sheffield S1 3JD, UK Received 2 March 2006; received in revised form 1 May 2006; accepted 18 June 2006
6. Numerical analysis of time-dependent behavior of pre-cast pre-stressed concrete girder bridges Hyo-Gyoung Kwak\_, Young-Jae Seo Department of Civil Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology, 373-1 Kusong-dong, Yusong-gu, Taejon 305-701, South Korea Received 21 July 2000; received in revised form 25 August 2001; accepted 25 October 2001
7. Prediction of time-dependent effects in concrete structures using early measurement data In Hwan Yang Daelim Industrial Co., 146-12, Susong-dong, Jongro-ku, Seoul 110-732, Republic of Korea Received 20 May 2006; received in revised form 21 December 2006; accepted 6 January 2007 Available online 6 March 2007
8. Long-term behavior of composite girder bridges Hyo-Gyoung Kwak\*, Young-Jae Seo Department of Civil Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology, 373-1 Kusung-Tong, Yusung-Ku, Taejon 305-701 South Korea Received 13 July 1998; accepted 19 January 1999
9. Numerical integration for a creeping material Dieter Stolle Department of Civil Engineering, McMaster University, Hamilton, Ontario L8S4L7, Canada Received 21 May 1998; received in revised form 30 July 1998; accepted 14 September 1998