





پیش دفاع از رساله دکتری با عنوان :

تعیین بار انهدام در قاب های بتنی دو بعدی با استفاده از تحلیل غیر خطی به روش اجزای محدود

ارائه دهنده:

...ارزاقی

مرداد ماه ۱۴۰۱

استاد راهنما: دکتر....

استاد مشاور: دکتر

رشته: مهندسی عمران

گرایش: سازه

مقدمه

فهرست مقالات مستخرج

پیشنهادات

بحث و نتایج

تجزیه و تحلیل داده ها

روش تحقیق

پیشینه تحقیق

بیان مسئله

مقدمه

ضرورت انجام آنالیزهای
قابل اعتماد سازه ای

دیدگاههای جدید

- ۱- طراحی بر اساس عملکرد
- ۲- مباحث مقاوم سازی
- ۳- مباحث کنترل سازه ای

آنالیزهای غیرخطی
قابل اعتماد
در حدود نهایی

بررسی سازه در حدود شدید غیر خطی و حتی
گسیختگی

ارائه راهکارهای جدید در مورد تجهیزات

- کنترل سازه
- تامین کننده مقاومت سازه در حدود شدید غیر
خطی
- خرابی و یا انهدام سازه

بررسی تعریف گسیختگی و خرابی

سه عامل مهم ایجاد کننده خرابی

- ۱- پلاستیسیته شدید
- ۲- خسارت : عوامل اصلی (زوال مقاومت و کاهش سختی)
- ۳- اثرات غیرخطی هندسی و یا پی دلتا

بیان مسأله و کلیات تحقیق

فهرست مقالات مستخرج

پیشنهادات

بحث و نتایج

تجزیه و تحلیل داده ها

روش تحقیق

پیشینه تحقیق

بیان مسأله

مقدمه

➤ تعریف معادله حاکم

➤ ترجیح مهندسين به استفاده از مدل های خطی بدلیل مزیت در سادگی حل (ذکر محدودیت های مدل های خطی)

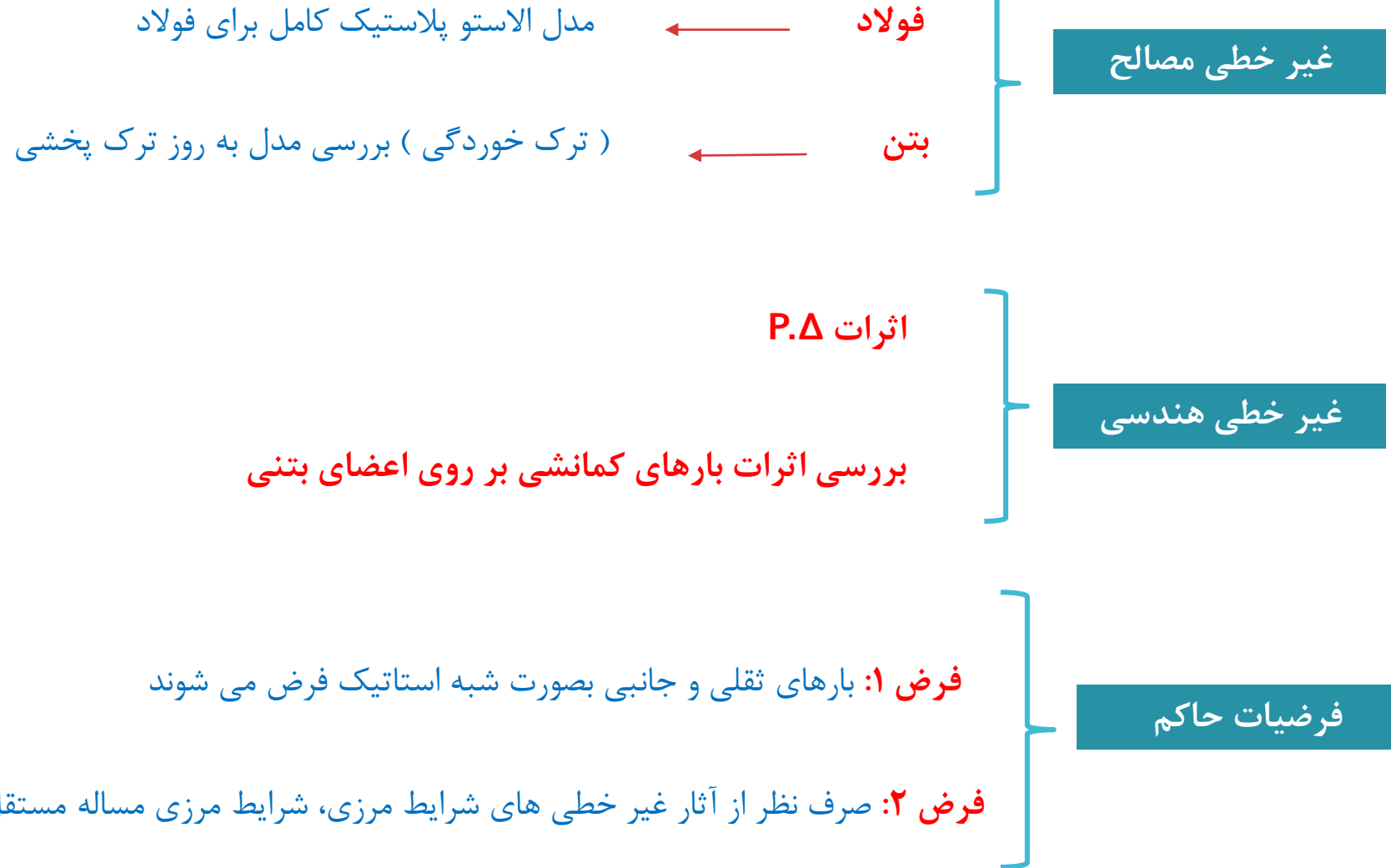
➤ ضرورت استفاده از مدل های غیر خطی و تحلیل های غیر خطی

➤ بررسی فرضیات تقریب های خطی مهندسی سازه

➤ معادله حاکم بر یک مساله اجزاء محدود $R=KU$

➤ پنج عامل بسیار مهم در تحلیل های غیر خطی

رفتار غیر خطی اعضای سازه های بتن آرمه



پیشینه تحقیق

فهرست مقالات مستخرج

پیشنهادات

بحث و نتایج

تجزیه و تحلیل داده ها

روش تحقیق

پیشینه تحقیق

بیان مسئله

مقدمه

○ **تانر و همکاران** ← اولین مقاله تحلیل غیر خطی هندسی در باره مساله کمانش (در حوزه مهندسی هوا فضا)

○ **تانر و آرگریس** ← بروز رسانی مختصات ماتریس سختی هندسی

○ **زینکوویچ و مارسل** ← تا قبل از ۱۹۶۹ عمدتاً بر مبنای روش **Forward Euler** بود،

که باعث ایجاد خطاهای بزرگ محاسباتی میشد، اما این محققین با ابداع روش مشابه به روز رسانی مختصات در ماتریس سختی تا حدودی این مشکل را مرتفع نمودند.

○ **جی تی اون** ← با کمک از روش نیوتن رافسون، الگوریتمی برای تحلیل های غیر خطی محدود ارائه داد.

در این روش ماتریس سختی پیوسته به روز رسانی نمی شود.

- **مالت و باگنر** ← ارائه و توسعه روش جستجو انرژی مستقیم
- **نایاک** ← توسعه روش زیر افزایشده ها
- **ماسیکات و فافرد** ← ارائه مطالعه ای تحت عنوان تفسیر هندسی از روش طول کمان
- **کریسفیلد و رامون** ← اصلاح روش فافرد برای همگرایی سریعتر جواب
- **گودا و گروسو** ← فرمول بندی ساده برای تغییر شکل های بزرگ در قاب ها
- **رابزاک** ← تاکید بر اثرات غیر خطی مادی در سطوح چسبنده مانند بتن
- **مایکل و همکاران** ← بررسی عدم قطعیت های موجود در تحلیل های غیر خطی تیر ستون تحت جابجایی های بزرگ

روش تحقیق

فهرست مقالات مستخرج

پیشنهادات

بحث و نتایج

تجزیه و تحلیل داده ها

روش تحقیق

پیشینه تحقیق

بیان مسئله

مقدمه

(۱) مرور جامع بر مباحث مربوط به تحلیل غیر خطی در حوزه های مصالحی و هندسی

(۲) بررسی و معرفی انواع مدل های رفتاری و کاربردی در سازه های بتن آرمه

(۳) انتخاب مدل و فرمول بندی و المان بندی و اسمبل کردن المانها

(۴) کد نویسی در نرم افزار MATLAB

(۵) محاسبه بار انهدام سازه

(۶) صحت سنجی با نتایج مطالعات قبلی و آزمایشگاهی

پرسش اصلی تحقیق

- دو نوع مود خرابی سازه ای
- | | | |
|-------------|---|---------------|
| زوال مقاومت | ← | غیر خطی مصالح |
| نا پایداری | ← | غیر خطی هندسی |

- سؤال اصلی و اول - تاثیر دو نوع غیرخطی مصالح و هندسی با رویکرد انرژی؟؟

- سؤال دوم - مقایسه معایب و مزایای روشهای حل معادلات تعادل استاتیکی در هر روش؟؟

- سؤال سوم - پارامترهای کلیدی موثر برای افزایش بار انهدام با در نظر گرفتن هر دو نوع رفتار غیر خطی مادی و هندسی؟؟

اهداف تحقیق

۱. بررسی رفتار سازه های بتن آرمه دوبعدی تحت اثر مدل های رفتاری غیرخطی مادی و غیرخطی هندسی با استفاده از رویکرد انرژی بجای نیرو و تعیین نمودار بار خرابی
۲. تعیین بار انهدام قاب های صفحه ای بتن آرمه با در نظر گرفتن اثرات ترک خوردگی در کاهش مقاومت و سختی اعضا با استفاده از مدل های رفتاری پیشرفته مانند (مدل ترک پخش شونده)
۳. پیشنهاد مدل های رفتاری جدید برای مقاطع بتن آرمه بر مبنای روش فایبر
۴. شناخت بهتر رفتار سازه ها ، با وارد نمودن اثرات هندسه غیرخطی
۵. بررسی تاثیر پارامترهای کلیدی، مانند پایداری و همگرایی در مواجهه با نقاط چند شاخه ای و در صورت امکان پیشنهاد روش هایی برای غلبه بر مشکلات عددی موجود در تحلیل این نوع مسائل

نوآوری تحقیق

(۱) ارائه تکنیکی جدید مبتنی بر معادلات تعادل انرژی برای تحلیل غیر خطی سازه ها

(۲) انتخاب Δt مناسب در تحلیلهای غیر خطی و دادن اطلاعات در مورد پایداری پاسخ بدست آمده

(۳) فرمول بندی المان محدود و معرفی روش مبتنی بر انرژی و ارائه یک تکنیک عددی جدید بنام حذف سرعتهای ناپیوسته

(۴) بررسی کارآیی روش انرژی اصلاح شده در برآورد بار گسیختگی و انهدام سازه در مقایسه با سایر روشها نظیر نیوتن - رافسون و ریکس و مپنر در مسائل دارای نقاط انشعابی در منحنی نیرو - تغییر مکان

فرمول بندی تحقیق

فهرست مقالات مستخرج

پیشنهادات

بحث و نتایج

تجزیه و تحلیل داده ها

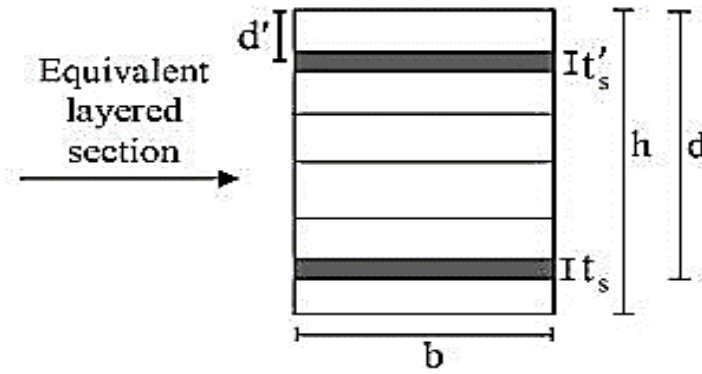
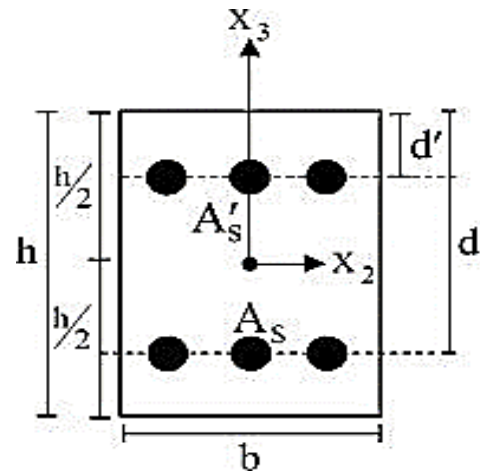
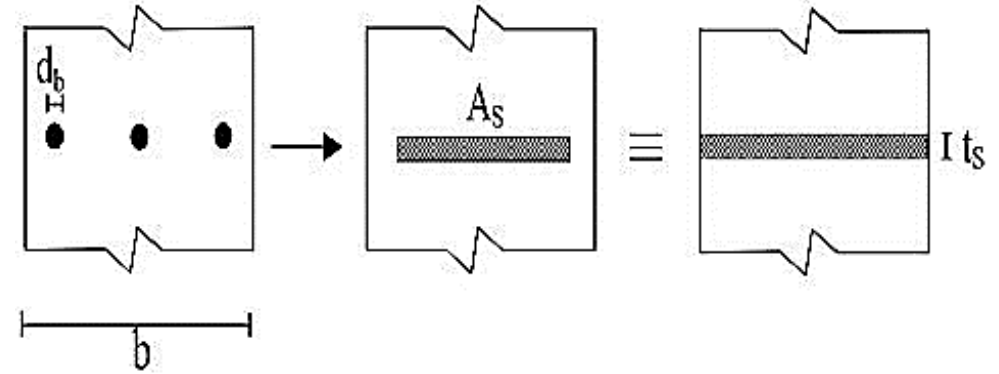
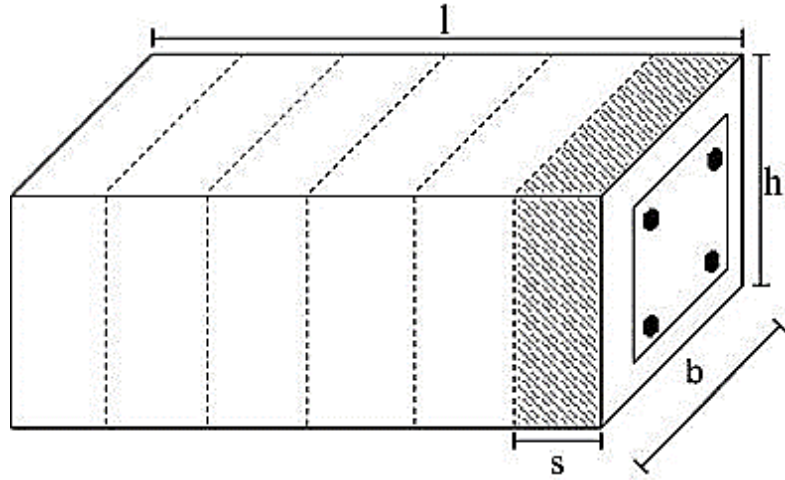
فرمول بندی

روش تحقیق

بیان مسئله

مقدمه

معادله سطح مقطع چندلایه برای اعضای بتن مسلح

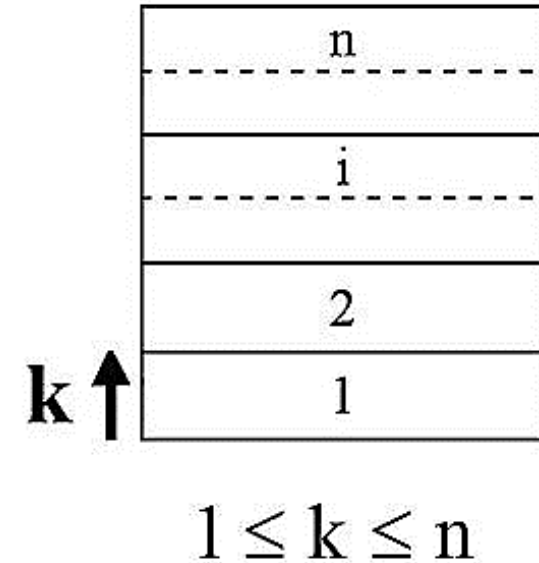
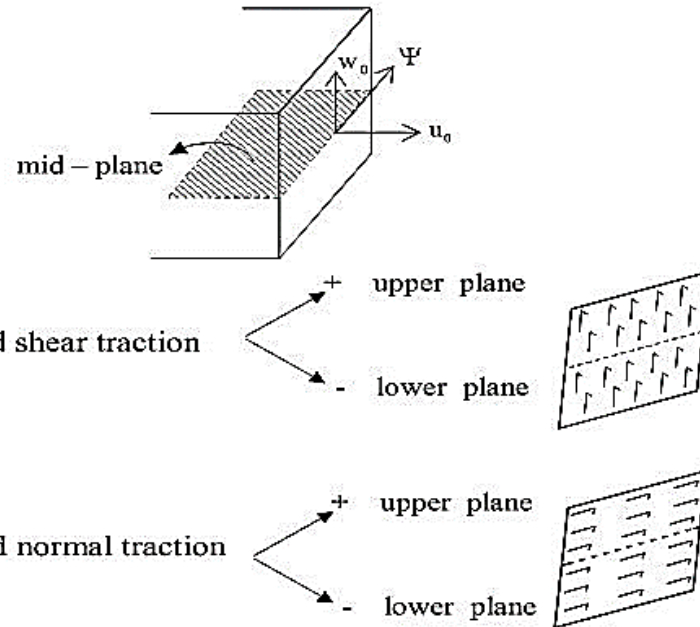
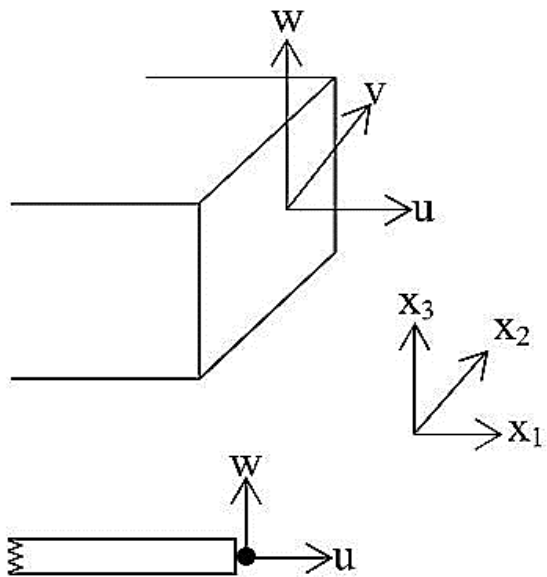


فرمول بندی المان محدود

$$\begin{aligned} u(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \mathbf{x}_3) = & u_0(\mathbf{x}_1) - \mathbf{x}_3 w_0(\mathbf{x}_1)_{,1} + [\psi(\mathbf{x}_1) + w_0(\mathbf{x}_1)_{,1}] \Omega(\mathbf{x}_3) \\ & + \Psi(\mathbf{x}_3) \bar{u}_1^1(\mathbf{x}_1) + \Phi(\mathbf{x}_3) \tilde{\mathbf{x}}^+(\mathbf{x}_1) + \Lambda(\mathbf{x}_3) \tilde{\mathbf{x}}^-(\mathbf{x}_1) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} w(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \mathbf{x}_3) = & w_0(\mathbf{x}_1) + \Upsilon_1^k(\mathbf{x}_3) u_0(\mathbf{x}_1)_{,1} + \Upsilon_2^k(\mathbf{x}_3) w_0(\mathbf{x}_1)_{,11} + \Upsilon_3^k(\mathbf{x}_3) \Psi(\mathbf{x}_1)_{,1} + \Upsilon_4^k(\mathbf{x}_3) \bar{u}_1^1(\mathbf{x}_1)_{,1} \\ & + \Upsilon_5^k(\mathbf{x}_3) \tilde{\mathbf{x}}^+(\mathbf{x}_1)_{,1} + \Upsilon_6^k(\mathbf{x}_3) \tilde{\mathbf{x}}^-(\mathbf{x}_1)_{,1} + \Upsilon_7^k(\mathbf{x}_3) \tilde{\mathbf{z}}^+(\mathbf{x}_1) + \Upsilon_8^k(\mathbf{x}_3) \tilde{\mathbf{z}}^-(\mathbf{x}_1) \end{aligned}$$

فرمول بندی المان محدود



$$\epsilon = [\epsilon_{11}, \epsilon_{13}, \epsilon_{33}]^T$$

میدان جابجایی: (الف) مؤلفه‌های تغییر مکان در مختصات دکارتی، (ب) تعریف برش اشاره شده و تراکشن‌های عمود و قرارداد علامتی و (پ) تخصیص اعداد به لایه‌ها.

فرمول بندی المان محدود

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2}(\mathbf{U}_{i,j} + \mathbf{U}_{j,i} + \mathbf{U}_{k,i} \mathbf{U}_{k,j})$$

$$\varepsilon_{11} = \frac{\partial u}{\partial x_1} + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial x_1} \right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial w}{\partial x_1} \right)^2$$

$$\varepsilon_{13} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial x_3} + \frac{\partial w}{\partial x_1} + \frac{\partial u}{\partial x_1} \cdot \frac{\partial u}{\partial x_3} + \frac{\partial w}{\partial x_1} \cdot \frac{\partial w}{\partial x_3} \right)$$

$$\varepsilon_{33} = \frac{\partial w}{\partial x_3} + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial x_3} \right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial w}{\partial x_3} \right)^2$$

$$\boldsymbol{\varepsilon} = \mathbf{LU}$$

میل گردهای فولادی طولی

$$\boldsymbol{\sigma} = \mathbf{C}_s \boldsymbol{\varepsilon}$$

elastic range

$$d\boldsymbol{\sigma} = \mathbf{C}_s^t d\boldsymbol{\varepsilon}$$

plastic range

$$\mathbf{C}_s = \frac{E_s}{1-\nu_s^2} \begin{bmatrix} 1 & \nu_s & 0 \\ \nu_s & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-\nu_s}{2} \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{C}_s^t = \mathbf{C}_s - \mathbf{C}_s \left\{ \frac{\partial f(\boldsymbol{\sigma})}{\partial \boldsymbol{\sigma}} \right\} \left\{ \frac{\partial f(\boldsymbol{\sigma})}{\partial \boldsymbol{\sigma}} \right\}^T \mathbf{C}_s / \left\{ \frac{\partial f(\boldsymbol{\sigma})}{\partial \boldsymbol{\sigma}} \right\}^T \mathbf{C}_s \left\{ \frac{\partial f(\boldsymbol{\sigma})}{\partial \boldsymbol{\sigma}} \right\}$$

فرمول بندی المان محدود

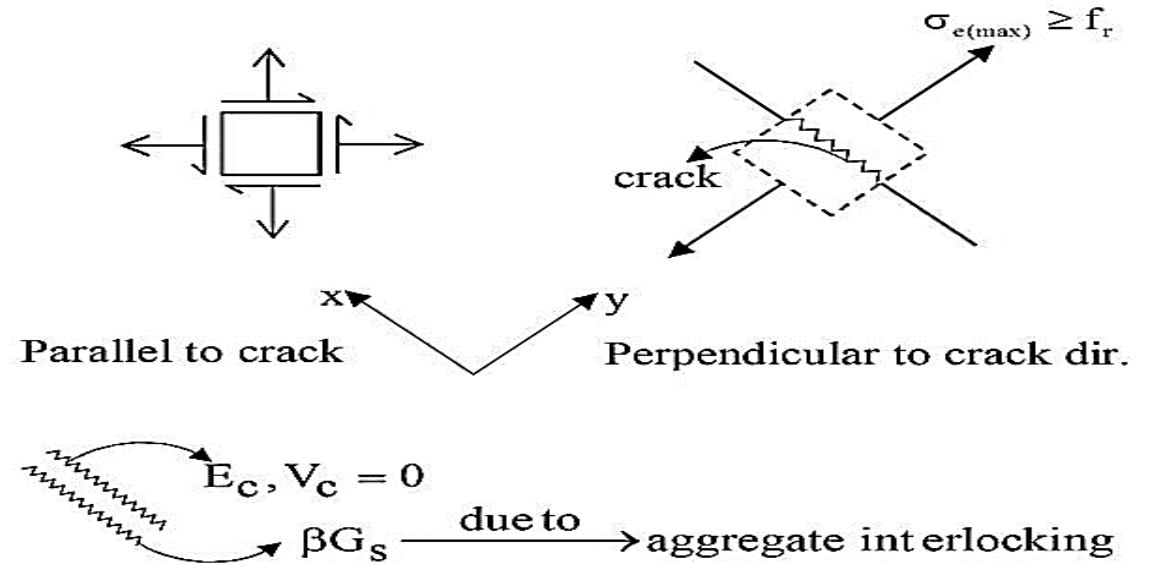
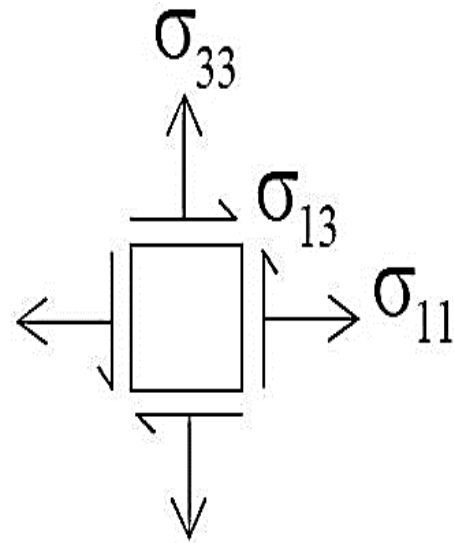
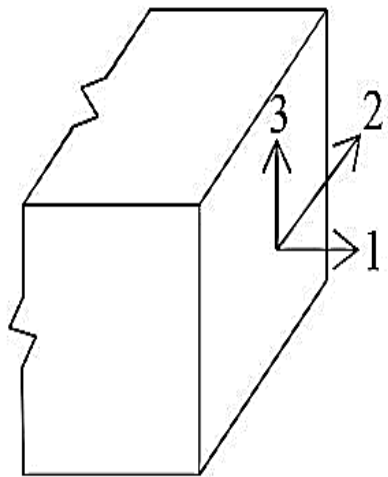
$$f(\boldsymbol{\sigma}) = \sqrt{\sigma_{11}^2 + \sigma_{33}^2 - \sigma_{11}\sigma_{33} + 3\sigma_{13}^2} - \sigma_y$$

$$\boldsymbol{\sigma} = \mathbf{C}_c \boldsymbol{\varepsilon}$$

$$\mathbf{C}_c = \frac{E_c}{1-\nu_c^2} \begin{bmatrix} 1 & \nu_c & 0 \\ \nu_c & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-\nu_c}{2} \end{bmatrix}$$

بتن

فرمول بندی المان محدود



ظهور ترک در المان بتن: (الف) تعریف تنش‌های مؤثر در المان، (ب) تنش‌های کششی اصلی در المان بتن ترک‌خورده.

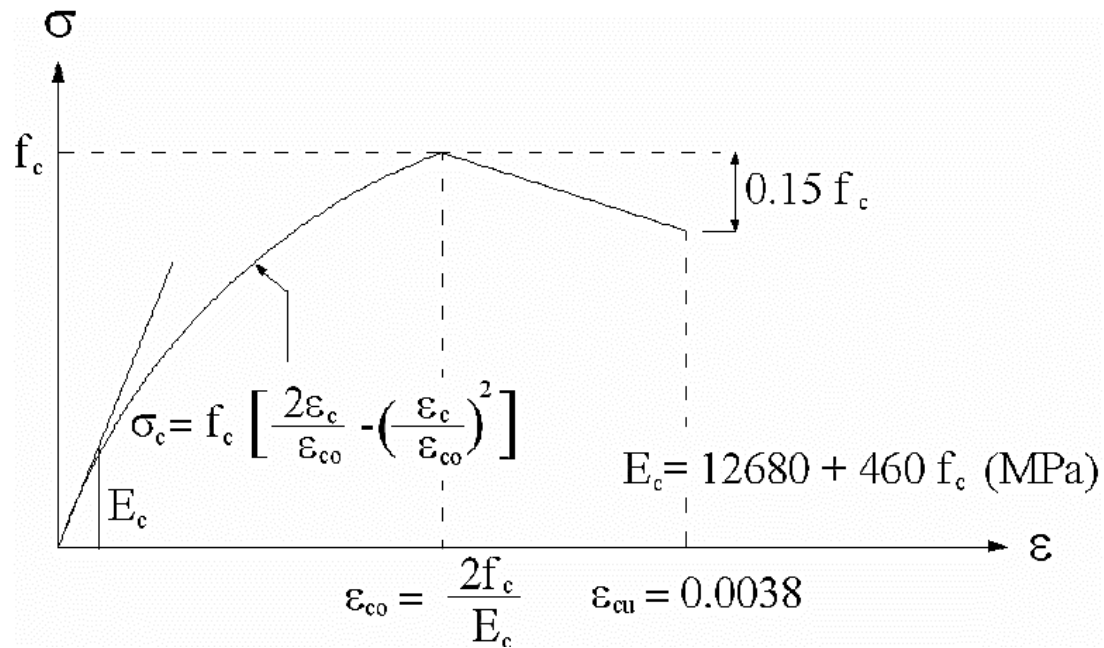
فرمول بندی المان محدود

$$\begin{Bmatrix} d\sigma_{xx} \\ d\sigma_{zz} \\ d\sigma_{xz} \end{Bmatrix} = \frac{E_c}{1 - \nu_c^2} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \beta\left(\frac{1 - \nu_c}{2}\right) \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} d\varepsilon_{xx} \\ d\varepsilon_{zz} \\ d\varepsilon_{xz} \end{Bmatrix}$$

$$d\boldsymbol{\sigma} = (\mathbf{T}^T \mathbf{C}_c^t \mathbf{T}) d\boldsymbol{\varepsilon}$$

$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix} \cos^2 \alpha & \sin^2 \alpha & 0.5 \sin 2\alpha \\ \sin^2 \alpha & \cos^2 \alpha & -0.5 \sin 2\alpha \\ -\sin 2\alpha & \sin 2\alpha & \cos 2\alpha \end{bmatrix}, \quad \alpha = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left(\frac{\gamma_{13}}{\varepsilon_{11} - \varepsilon_{33}} \right)$$

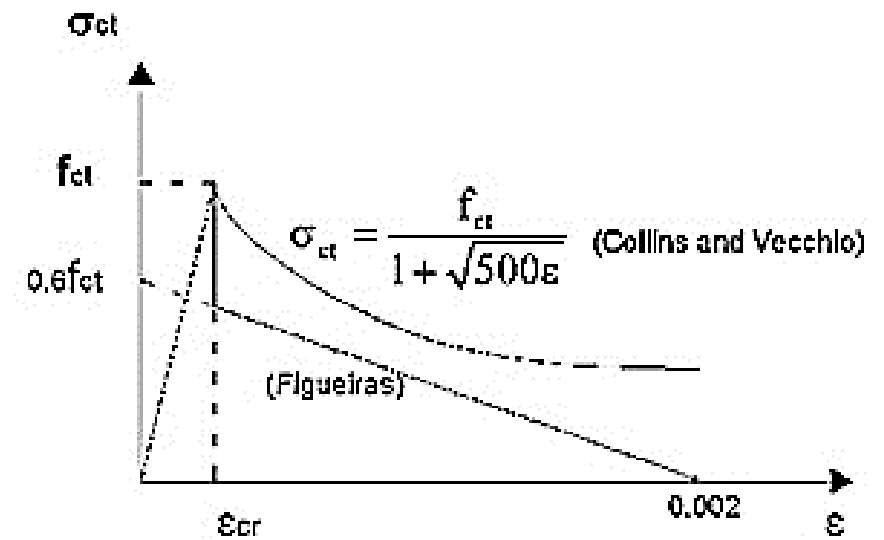
فرمول بندی المان محدود



مدل هوگنستاد برای رفتار فشاری بتن

$$\sigma = f_{ct} \exp\left(-\alpha \frac{\varepsilon}{\varepsilon_{cr}}\right) \quad \varepsilon_{cr} < \varepsilon < \varepsilon_y$$

$$\sigma_{ct} = 0 \quad \varepsilon > \varepsilon_y$$



مدل ارائه شده توسط وکیوو و کالینز برای رفتار کشش بتن

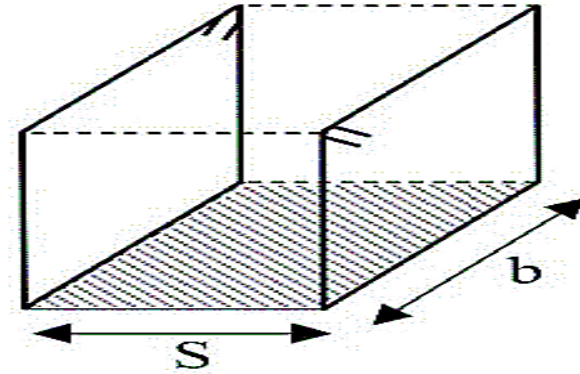
$$A = 0.017 + 0.255n\rho - 0.106(n\rho)^2 + 0.016(n\rho)^2$$

$$A_{eff} = 0.25b(h - d) < \frac{b(h - k_x)}{3}$$

$$A_{eff} = 0.25bh$$

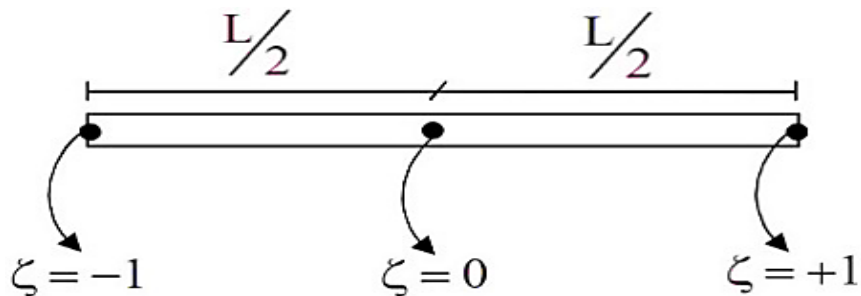
$$\boldsymbol{\sigma} = \mathbf{C}_{sv} \boldsymbol{\varepsilon}$$

$$\mathbf{C}_{sv} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{A_v \cdot E_{sv}}{b \cdot s} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$



$$\boldsymbol{\sigma} = (\mathbf{C}_c + \mathbf{C}_{sv}) \boldsymbol{\varepsilon}$$

$$d\boldsymbol{\sigma} = (\mathbf{C}_c^t + \mathbf{C}_{sv}^t) d\boldsymbol{\varepsilon}$$



$$\mathbf{U} = \mathbf{N} \boldsymbol{\delta}$$

$$\boldsymbol{\varepsilon} = \mathbf{B} \boldsymbol{\delta}$$

$$\Pi = \int_{V_e} \boldsymbol{\varepsilon}^T \boldsymbol{\sigma} dV - \int_{S_e} \boldsymbol{\delta}^T \mathbf{F} dS - \int_{S_e} \boldsymbol{\delta}^T \mathbf{f} dV$$

$$\mathbf{k}^e \boldsymbol{\delta}^e = \mathbf{p}^e$$

$$\mathbf{k}^e = \sum_{-1}^{nc} \int_{z_k}^{z_{k+1}} \mathbf{B}^T \mathbf{C}_c \mathbf{B} dz \left(\frac{dx}{d\xi} \right) d\xi + \sum_{-1}^{ns} \int_{z_k}^{z_{k+1}} \mathbf{B}^T \mathbf{C}_s \mathbf{B} dz \left(\frac{dx}{d\xi} \right) d\xi + \sum_{-1}^{nsc} \int_{z_k}^{z_{k+1}} \mathbf{B}^T (\mathbf{C}_c + \mathbf{C}_{sv}) \mathbf{B} dz \left(\frac{dx}{d\xi} \right) d\xi$$

$$\mathbf{p}^e = \sum_{-1}^{+1} \int_{z_k}^{z_{k+1}} \mathbf{N}^T \mathbf{f} dz \left(\frac{dx}{d\xi} \right) d\xi + \int_{-1}^{+1} \mathbf{N}^T \mathbf{F} \left(\frac{dx}{d\xi} \right) d\xi$$

$$\mathbf{K} \boldsymbol{\Delta} = \mathbf{P} \quad \mathbf{K} = \sum_{ne} \mathbf{k}^e, \quad \boldsymbol{\Delta} = \sum_{ne} \boldsymbol{\delta}^e, \quad \mathbf{P} = \sum_{ne} \mathbf{p}^e$$

$$E_{\text{int}}(t) = E_{\text{ext}}(t)$$

$$\Delta E_{\text{int}} = \Delta E_{\text{ext}}$$

$$\Delta E_{\text{int}} = E_{\text{int}}(t_{i+1}) - E_{\text{int}}(t_i) \text{ and } \Delta E_{\text{out}} = E_{\text{out}}(t_{i+1}) - E_{\text{out}}(t_i)$$

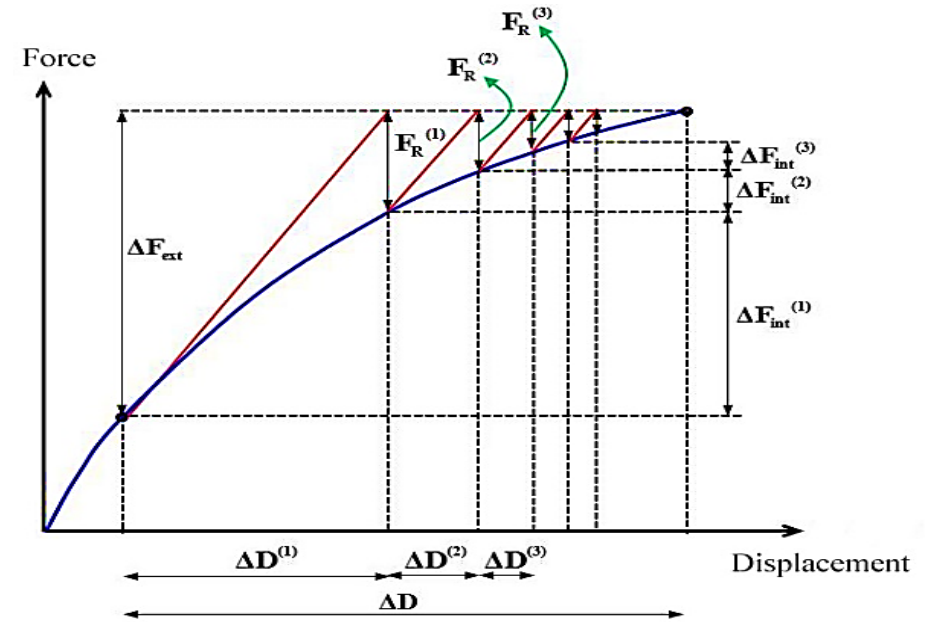
$$\Delta E_{\text{int}} = \int_{t_i}^{t_{i+1}} \mathbf{F}_{\text{int}} \cdot d\mathbf{D}$$

$$\Delta E_{\text{int}} = \frac{\Delta \mathbf{D}}{2} [{}^{i+1}\mathbf{F}_{\text{int}} + {}^i\mathbf{F}_{\text{int}}]$$

$$\Delta E_{\text{int}} = \frac{\Delta \mathbf{D}}{2} [2^i \mathbf{F}_{\text{int}} + {}^{i+1}\mathbf{K} \Delta \mathbf{D}]$$

$$\Delta E_{\text{ext}} = \int_{t_i}^{t_{i+1}} \mathbf{F}_{\text{ext}} \cdot d\mathbf{D}$$

$$\Delta E_{\text{ext}} = \int_{t_i}^{t_{i+1}} \mathbf{F}_{\text{ext}}(t) \cdot \mathbf{V}(t) dt$$



$${}^{i+1}\mathbf{D} = {}^i\mathbf{D} + {}^{i+1}\Delta \mathbf{D}$$

$${}^{i+1}\mathbf{K}^{m-1} {}^{i+1}\Delta \mathbf{D} = {}^{i+1}\Delta \mathbf{F}$$

فرمول بندی المان محدود

$$\Delta \mathbf{D} [2 {}^i \mathbf{F}_{\text{int}} + {}^{i+1} \mathbf{K} \Delta \mathbf{D}] = \Delta t [{}^{i+1} \mathbf{F}_{\text{int}} {}^{i+1} \mathbf{V} + {}^i \mathbf{F}_{\text{int}} {}^i \mathbf{V}]$$

$$\Delta \mathbf{D} = \Delta t [\beta {}^{i+1} \mathbf{V} + (1 - \beta) {}^i \mathbf{V}]$$

$$\mathbf{A} {}^{i+1} \mathbf{V}^2 + \mathbf{B} {}^i \mathbf{V} + \mathbf{C} = 0$$

$$\begin{cases} \mathbf{A} = \Delta t \beta^2 {}^{i+1} \mathbf{K} \\ \mathbf{B} = 2\beta [{}^i \mathbf{F}_{\text{int}} + \Delta t (1 - \beta) {}^{i+1} \mathbf{K} {}^i \mathbf{V}] - {}^{i+1} \mathbf{F}_{\text{ext}} \\ \mathbf{C} = {}^i \mathbf{V} [2(1 - \beta) {}^i \mathbf{F}_{\text{int}} + \Delta t (1 - \beta)^2 {}^{i+1} \mathbf{K} {}^i \mathbf{V} - {}^i \mathbf{F}_{\text{ext}}] \end{cases}$$

فرمول بندی المان محدود

$${}^{i+1}\mathbf{v} = \begin{cases} \mathbf{v}_1 & \text{if } |\mathbf{v}_1 - {}^i\mathbf{v}| < |\mathbf{v}_2 - {}^i\mathbf{v}| \\ \mathbf{v}_2 & \text{if } |\mathbf{v}_2 - {}^i\mathbf{v}| < |\mathbf{v}_1 - {}^i\mathbf{v}| \\ -\frac{\mathbf{B}}{\mathbf{A}} & \text{if } {}^i\mathbf{v} = \mathbf{0} \end{cases}$$

$\left. \begin{array}{l} > 0 \\ 0 < \beta \leq 1 \\ \Delta t \rightarrow 0 \end{array} \right\}$

با توجه به نوع درجه دوم بودن معادله سرعت و وجود دو سرعت در هر فاصله زمانی داده شده، چگونه سرعت واقعی از بین این دو سرعت تعیین می شود؟؟؟

سؤال اساسی:

$$\Delta = B^2 - 4AC$$

مقدار Δ به پارامتر β وابستگی دارد

$$G = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)}$$

$$\{\sigma\}_{rc} = \{\sigma\}_c + \{\sigma\}_r = ([D_c] - [D_c][T_c]([GS] + [T_c]^T[D_c][T_c])^{-1}[T_c]^T[D_c])\{\varepsilon\} + [T_r]^T[T_r]\{\varepsilon\}$$

$$\{\varepsilon\} = \{\varepsilon\}_{c0} + \{\varepsilon\}_{c1} + \{\varepsilon\}_{c2} + \dots + \{\varepsilon\}_{cn} \quad [D_r] = [\rho E_s] = \begin{bmatrix} \rho_x E_s & 0 & 0 \\ 0 & \rho_y E_s & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad [D_c] = \begin{bmatrix} E_c & \nu E_c & 0 \\ \nu E_c & E_c & 0 \\ 0 & 0 & G_c \end{bmatrix}$$

$$\begin{Bmatrix} \sigma_i \\ \tau \end{Bmatrix}_i = [SG]_i \{\varepsilon\}_{ci}$$

معیار ترک خوردگی

تنش‌های اصلی ($\sigma_1 > \sigma_2$ و کشش مثبت فرض شده است)

پارامتر شکست K_0

ضریب کاهش مقاومت کششی K_0^3

مقاومت کششی تک محوری f_t

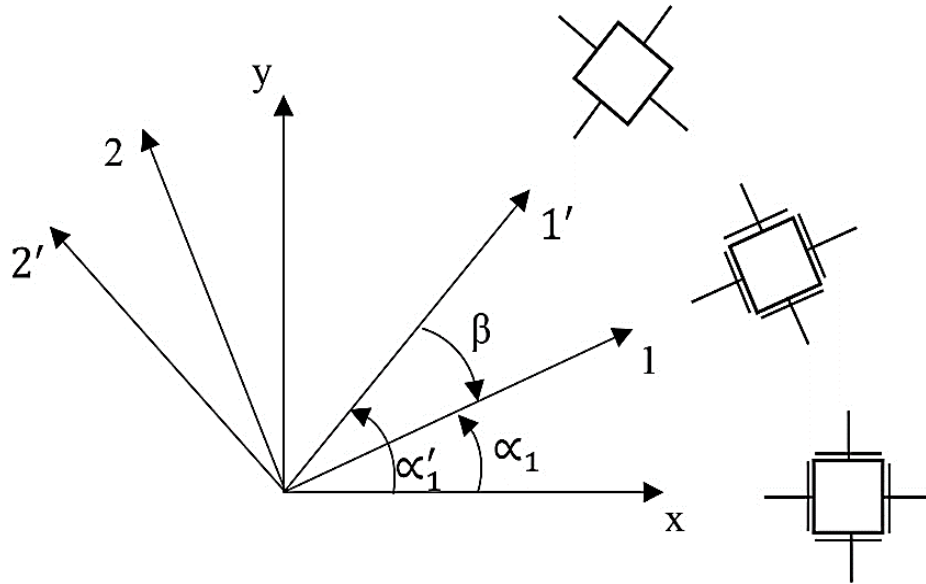
$$f_{tt} \propto K_0^3$$

$$\frac{\sigma_1}{R_f \cdot f_t} = 1$$

$$\left(\frac{\sigma_1}{R_f \cdot f_t} + 0.26(\sigma_1 + \sigma_2) \right) = 1$$

اعمال ترک در روش اجزای محدود

دستگاه مختصات در ترک



دستگاه مختصات اصلی و ترک

$$G_{12} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)}$$

$$\begin{Bmatrix} \sigma_{1'} \\ \sigma_{2'} \\ 0 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} c^2 & s^2 & 2cs \\ s^2 & c^2 & -2cs \\ -cs & cs & c^2 - s^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix}$$

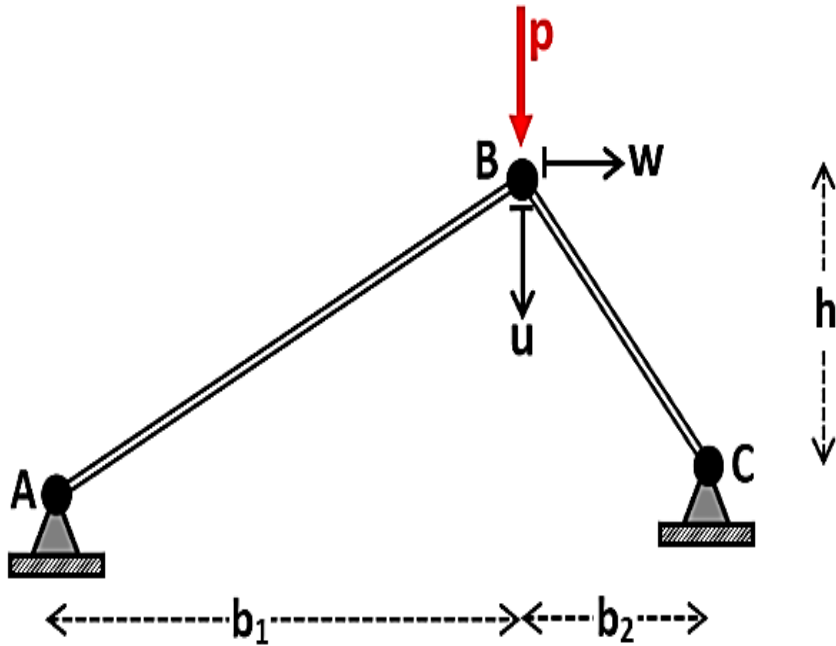
$$\begin{Bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \tau_{12} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} c^2 & s^2 & -2cs \\ s^2 & c^2 & 2cs \\ cs & -cs & c^2 - s^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \sigma_{1'} \\ \sigma_{2'} \\ 0 \end{Bmatrix}$$

ماتریس سختی مصالح

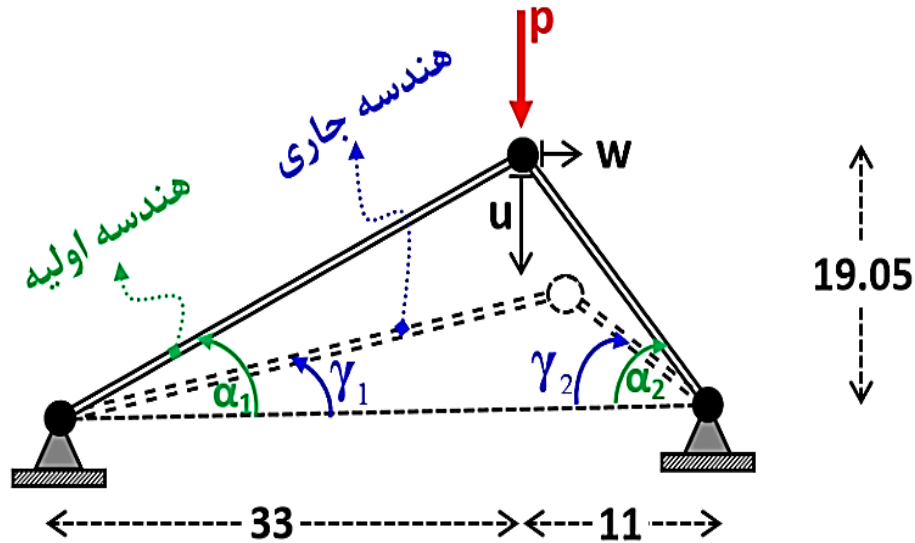
$$\begin{Bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \tau_{12} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} E_1 & \mu E_1 & 0 \\ \mu E_2 & E_2 & 0 \\ 0 & 0 & G_{12} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \gamma_{12} \end{Bmatrix}$$

تجزیه و تحلیل داده های تحقیق

مثال اول) سازه خرپایی دوبعدی نامتقارن با هندسه غیر خطی



مقدار	نشانه	کمیت	نوع پارامتر
19.05 cm	h	ارتفاع خرپا	هندسه سازه
33 cm	b1	تصویر افقی عضو AB	
38.1 cm	L1	طول عضو AB	
30°	α_1	زاویه عضو AB با افق	
11 cm	b2	تصویر افقی عضو BC	
22 cm	L2	طول عضو BC	
99.77 cm ²	A1	سطح مقطع عضو AB	مقطع اعضا
2×99.77 cm ²	A2	سطح مقطع عضو BC	
6889 kN/cm ²	E	مدول ارتجاعی	ویژگی مصالح



$$l_{AB} = \sqrt{(19.05 - u)^2 + (33 + w)^2} \quad , \quad l_{BC} = \sqrt{(19.05 - u)^2 + (11 - w)^2}$$

$$\delta_{AB} = \sqrt{(19.05 - u)^2 + (33 + w)^2} - 38.1 \quad , \quad \delta_{BC} = \sqrt{(19.05 - u)^2 + (11 - w)^2} - 26.94$$

$$F_{AB} = \left(\frac{EA}{l} \right)_{AB} \times \delta_{AB} \quad , \quad F_{BC} = \left(\frac{EA}{l} \right)_{BC} \times \delta_{BC} \quad F_{AB} = \frac{p \cos \gamma_2}{\sin(\gamma_1 + \gamma_2)} \quad , \quad F_{BC} = \frac{p \cos \gamma_1}{\sin(\gamma_1 + \gamma_2)}$$

$$\begin{cases} \sum F_X = 0 & \therefore F_{AB} \cos \gamma_1 = F_{BC} \cos \gamma_2 \\ \sum F_Y = 0 & \therefore F_{AB} \sin \gamma_1 + F_{BC} \sin \gamma_2 = p \end{cases}$$

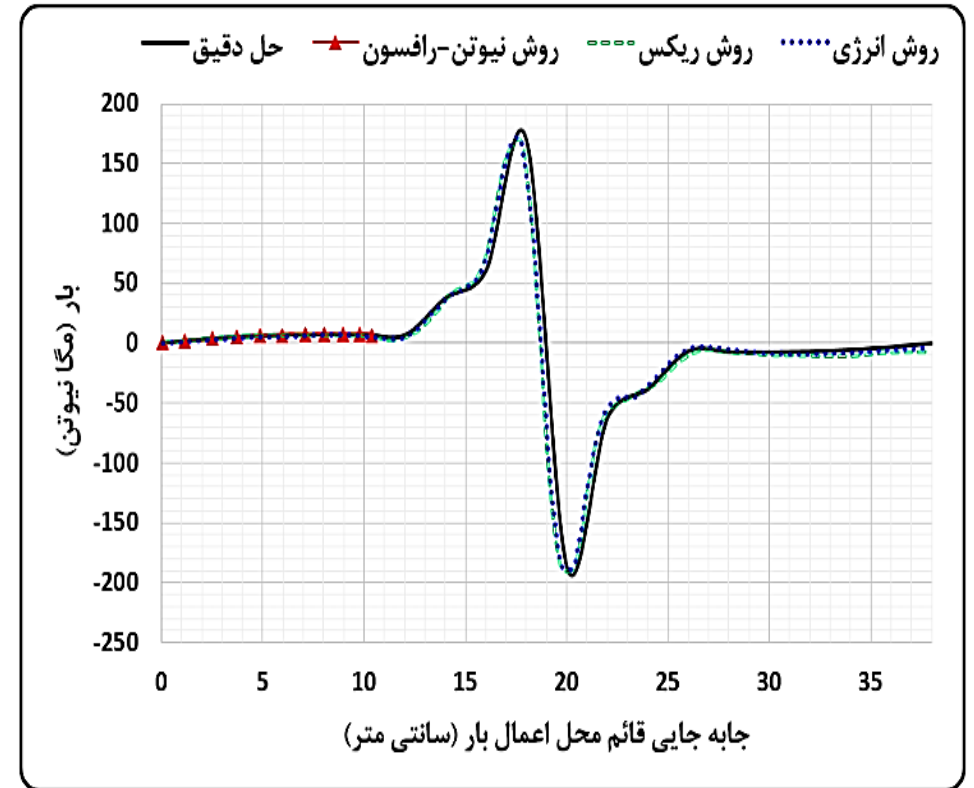
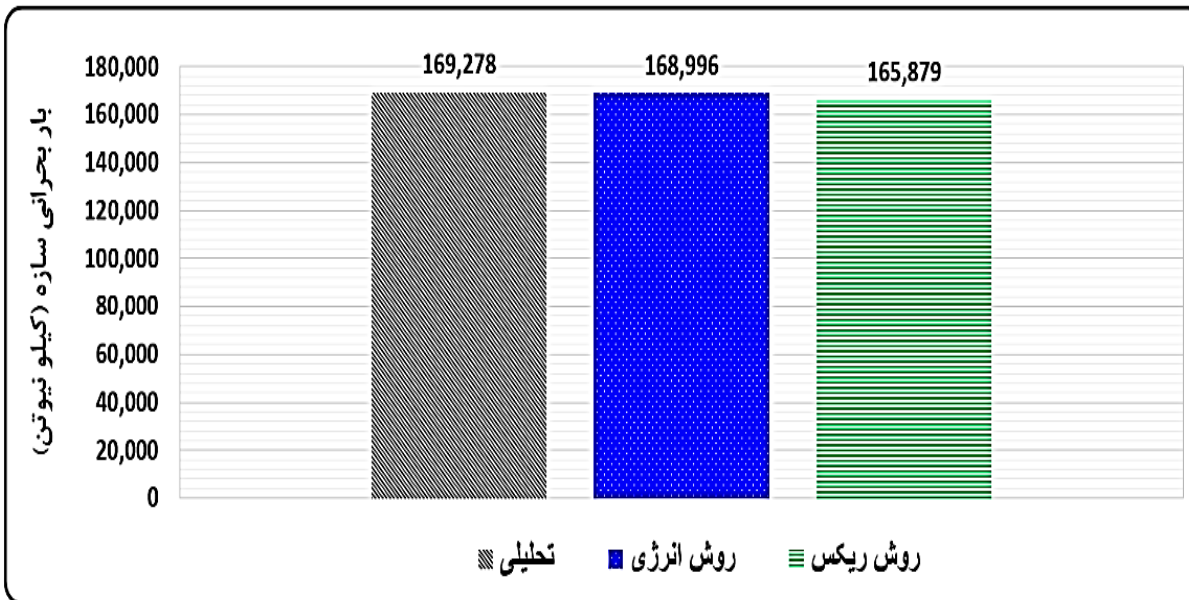
$$\cos \gamma_1 = \frac{33 + w}{\sqrt{(19.05 - u)^2 + (33 + w)^2}}$$

$$\cos \gamma_2 = \frac{11 - w}{\sqrt{(19.05 - u)^2 + (11 - w)^2}}$$

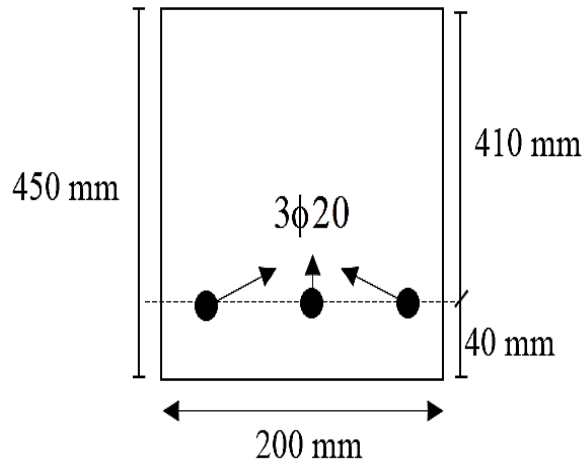
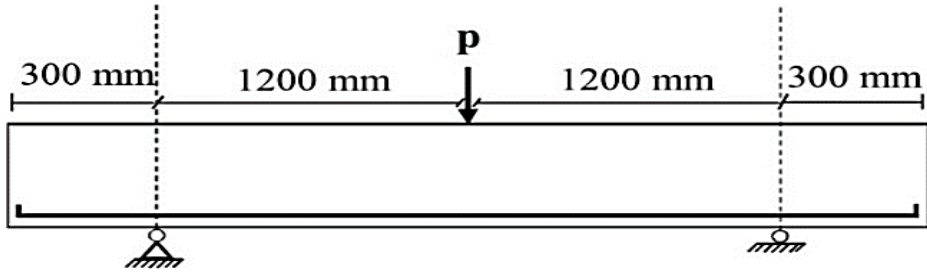
$$\sin(\gamma_1 + \gamma_2) = \frac{44(19.05 - u)}{\sqrt{(19.05 - u)^2 + (33 + w)^2} \sqrt{(19.05 - u)^2 + (11 - w)^2}}$$

$$p = \frac{793716(19.05 - u) \sqrt{(19.05 - u)^2 + (11 - w)^2} \left[\sqrt{(19.05 - u)^2 + (33 + w)^2} - 38.1 \right]}{(11 - w) \sqrt{(19.05 - u)^2 + (33 + w)^2} \sqrt{(19.05 - u)^2 + (11 - w)^2}}$$

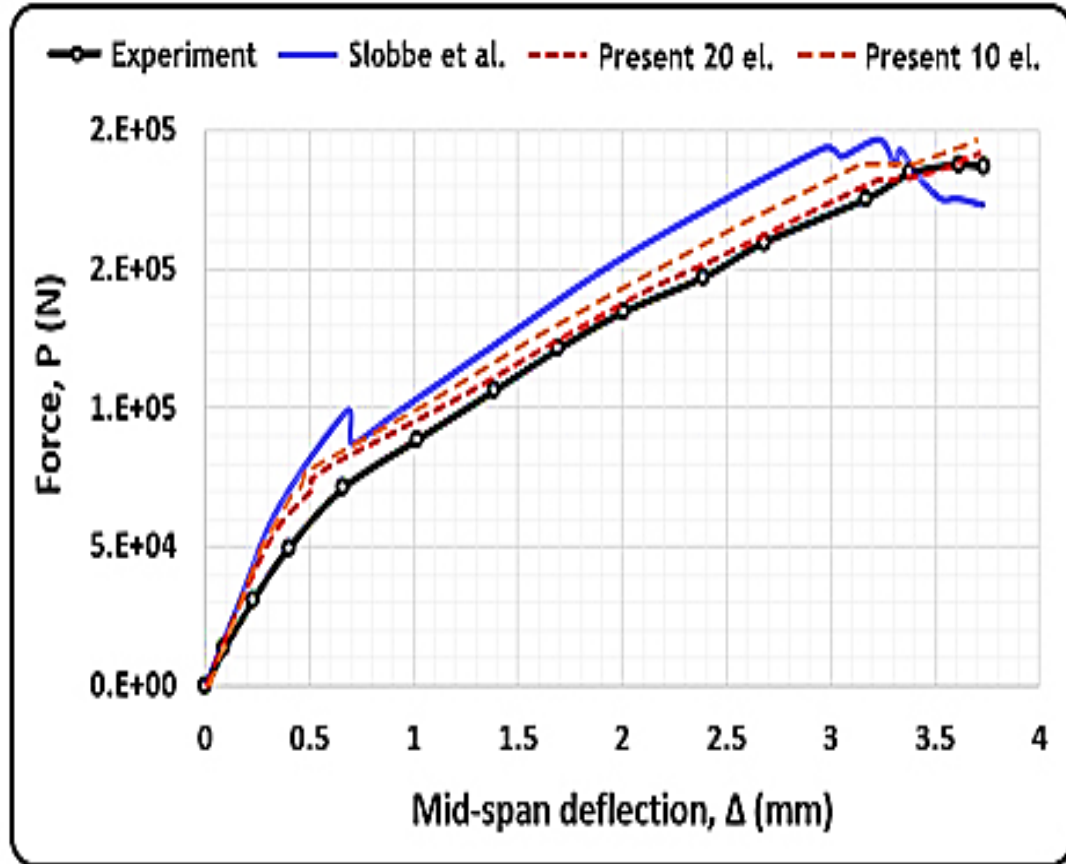
$$p = \frac{2749252(19.05 - u) \sqrt{(19.05 - u)^2 + (33 + w)^2} \left[\sqrt{(19.05 - u)^2 + (11 - w)^2} - 26.94 \right]}{(33 + w) \sqrt{(19.05 - u)^2 + (33 + w)^2} \sqrt{(19.05 - u)^2 + (11 - w)^2}}$$



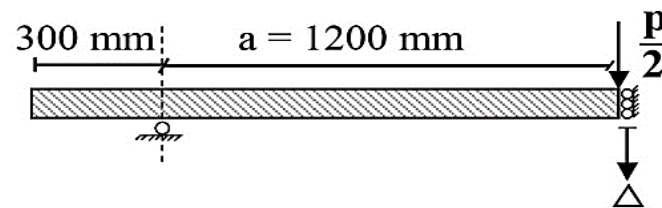
مثال دوم) تیر با تکیه گاه ساده فقط با آرماتور کششی



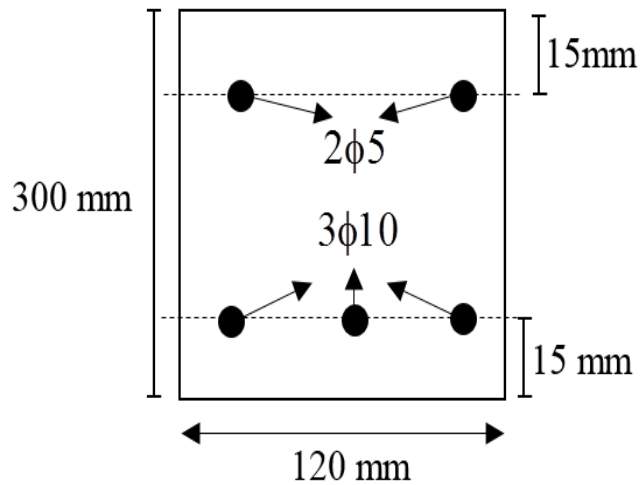
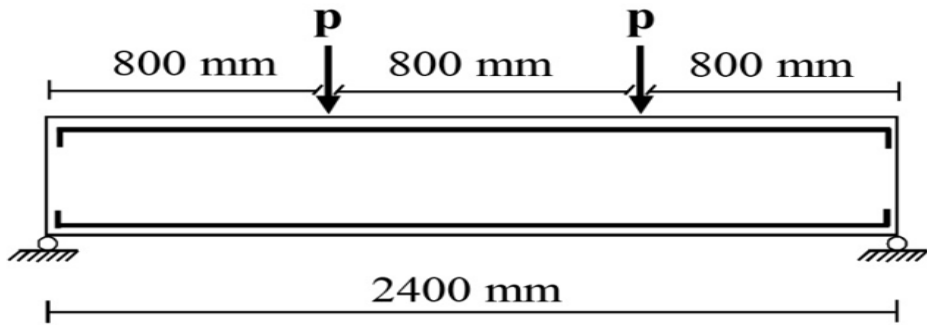
Material	Property	Symbol	Value	Unit
Concrete	Modulus of Elasticity	E_c	33551	MPa
	Specified compressive strength	f_c	38	MPa
	Tensile strength	f_t	3.5	MPa
	Poisson's ratio	ν_c	0.15	-
	Modulus of Elasticity	E_s	210000	MPa
Steel	Yield stress	f_y	500	MPa
	Poisson's ratio	ν_s	0.3	-



	20 el.	10 el.
Total number of considered elements, n_e	20	10
Length of each element, l_e	75 (mm)	150 (mm)
Total number of concrete layers, n_c	21	21
Number of longitudinal steel layers, n_s	1	1
Shear retention factor, β	0.05	0.05



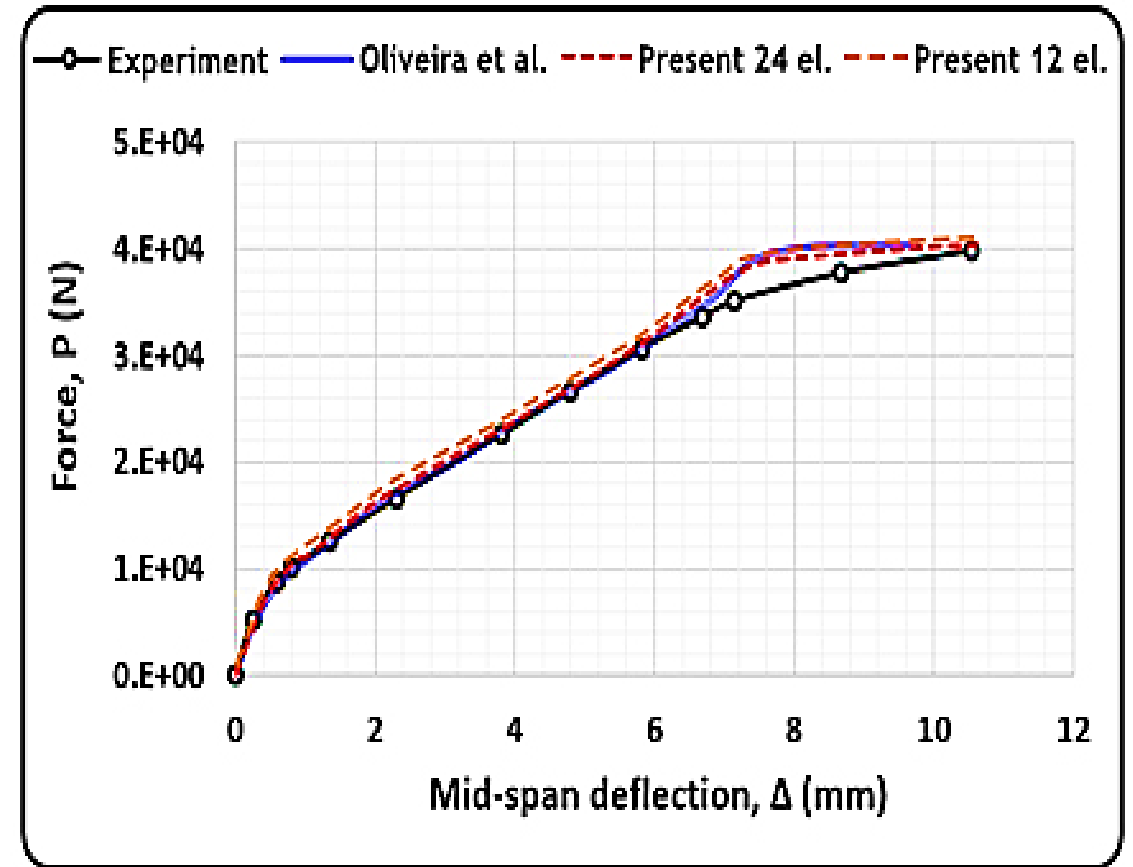
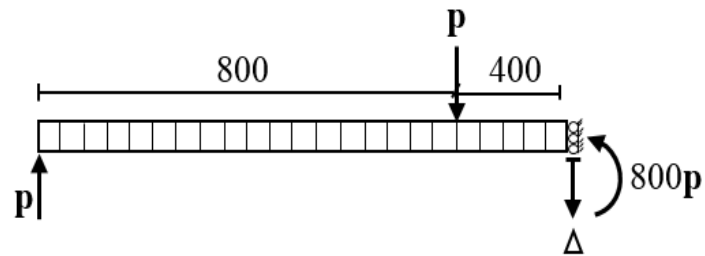
مثال سوم) یک تیر با تکیه‌گاه مفصلی با میلگردهای کششی و فشاری



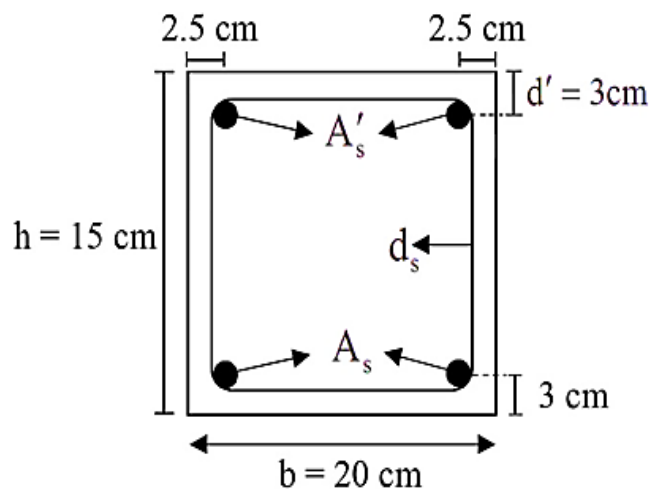
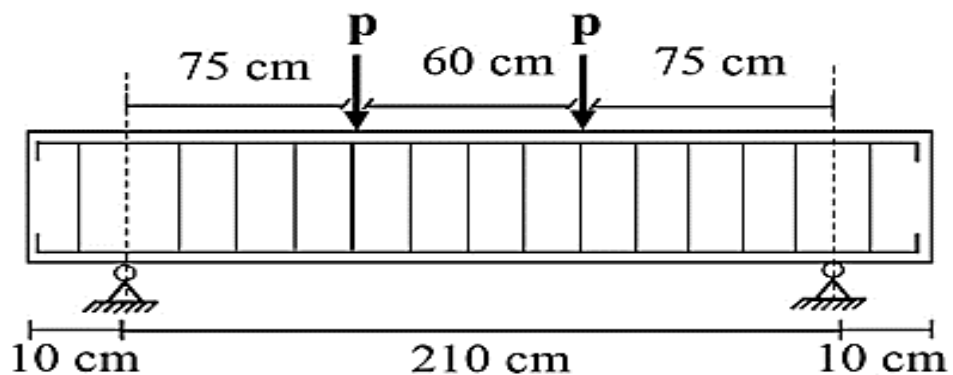
ارائه دهنده: رزاقی

Material	Property	Symbol	Value	Unit
Concrete	Modulus of Elasticity	E_c	29200	MPa
	Specified compressive strength	f_c	25.5	MPa
	Tensile strength	f_t	2	MPa
	Poisson's ratio	ν_c	0.2	-
Steel	Modulus of Elasticity	E_s	196000	MPa
	Yield stress	f_y	500	MPa
	Poisson's ratio	ν_s	0.3	-

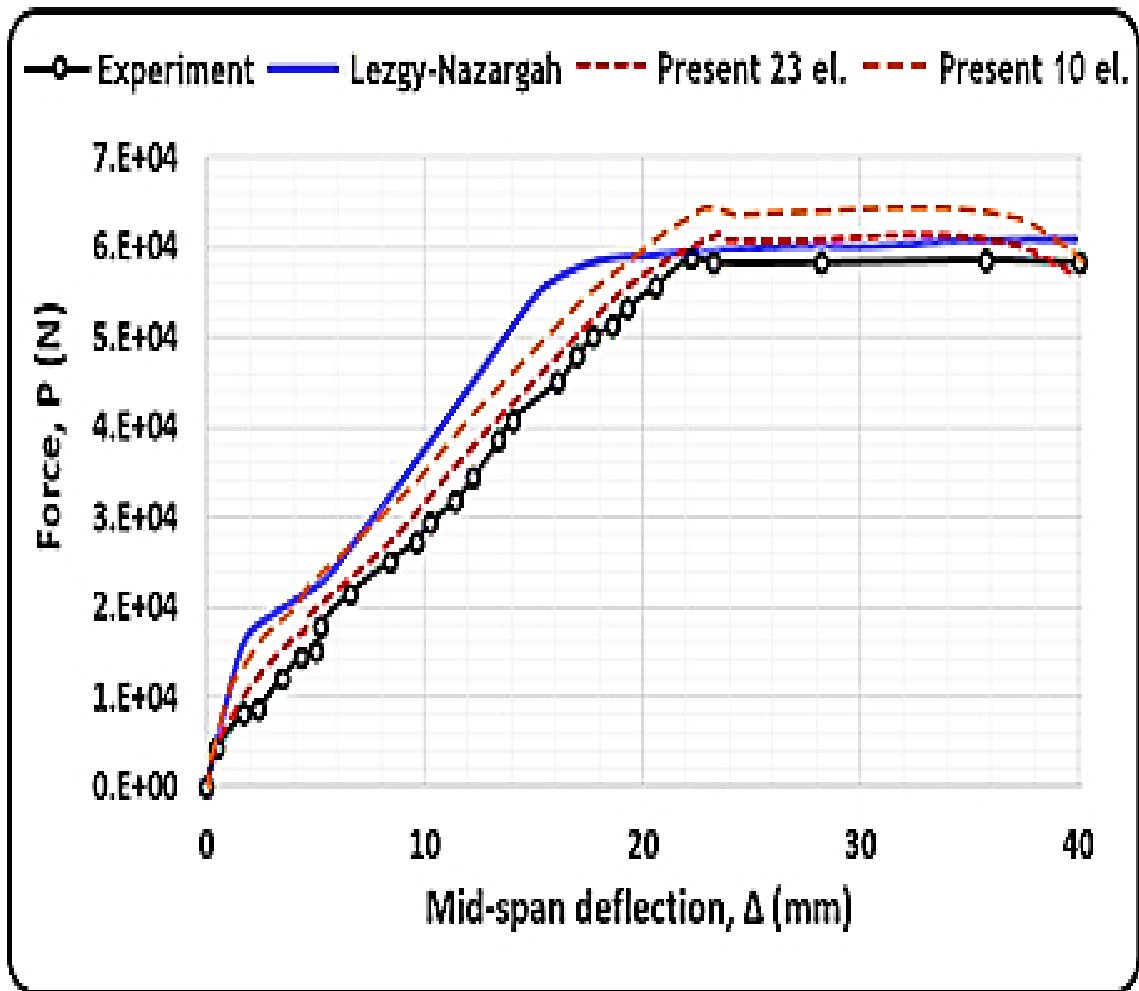
	24 el.	12 el.
Total number of considered elements, n_e	24	12
Length of each element, l_e	50 (mm)	100 (mm)
Total number of concrete layers, n_c	20	20
Number of longitudinal steel layers, n_s	2	2
Shear retention factor, β	0.5	0.5



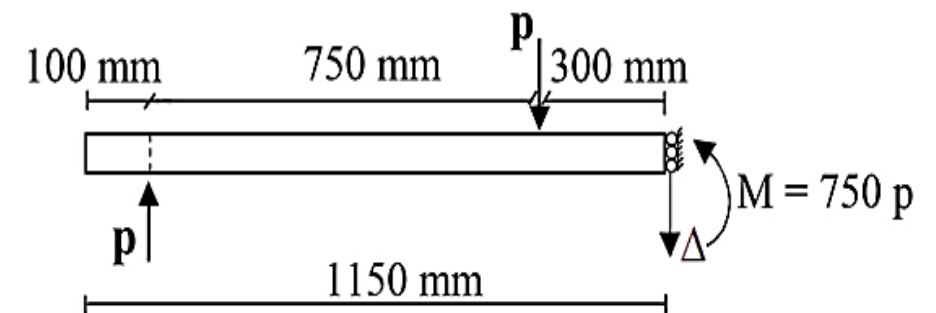
مثال چهارم) یک تیر با تکیه‌گاه ساده با آرماتورهای طولی و عرضی تحت آزمایش خمش چهار نقطه‌ای



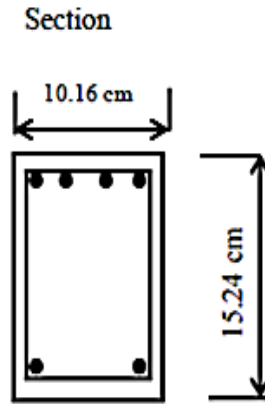
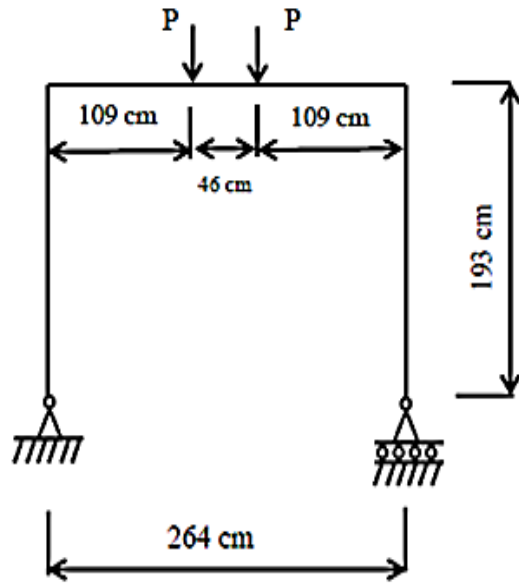
Material	Property	Symbol	Value	Unit
Concrete	Modulus of Elasticity	E_c	25000	MPa
	Specified compressive strength	f_c	59.4	MPa
	Tensile strength	f_t	6	MPa
	Poisson's ratio	ν_c	0.2	-
Steel	Modulus of Elasticity	E_s	210000	MPa
	Yield stress	f_y	575	MPa
	Poisson's ratio	ν_s	0.3	-



	23 el.	10 el.
Total number of considered elements, n_e	23	10
Length of each element, l_e	50 (mm)	115 (mm)
Total number of concrete layers, n_c	20	20
Number of longitudinal steel layers, n_s	2	2
Shear retention factor, β	0.0001	0.0001



مشخصات و فرضیات المان محدود قاب صفحه‌ای مطالعه شده توسط کرنستون



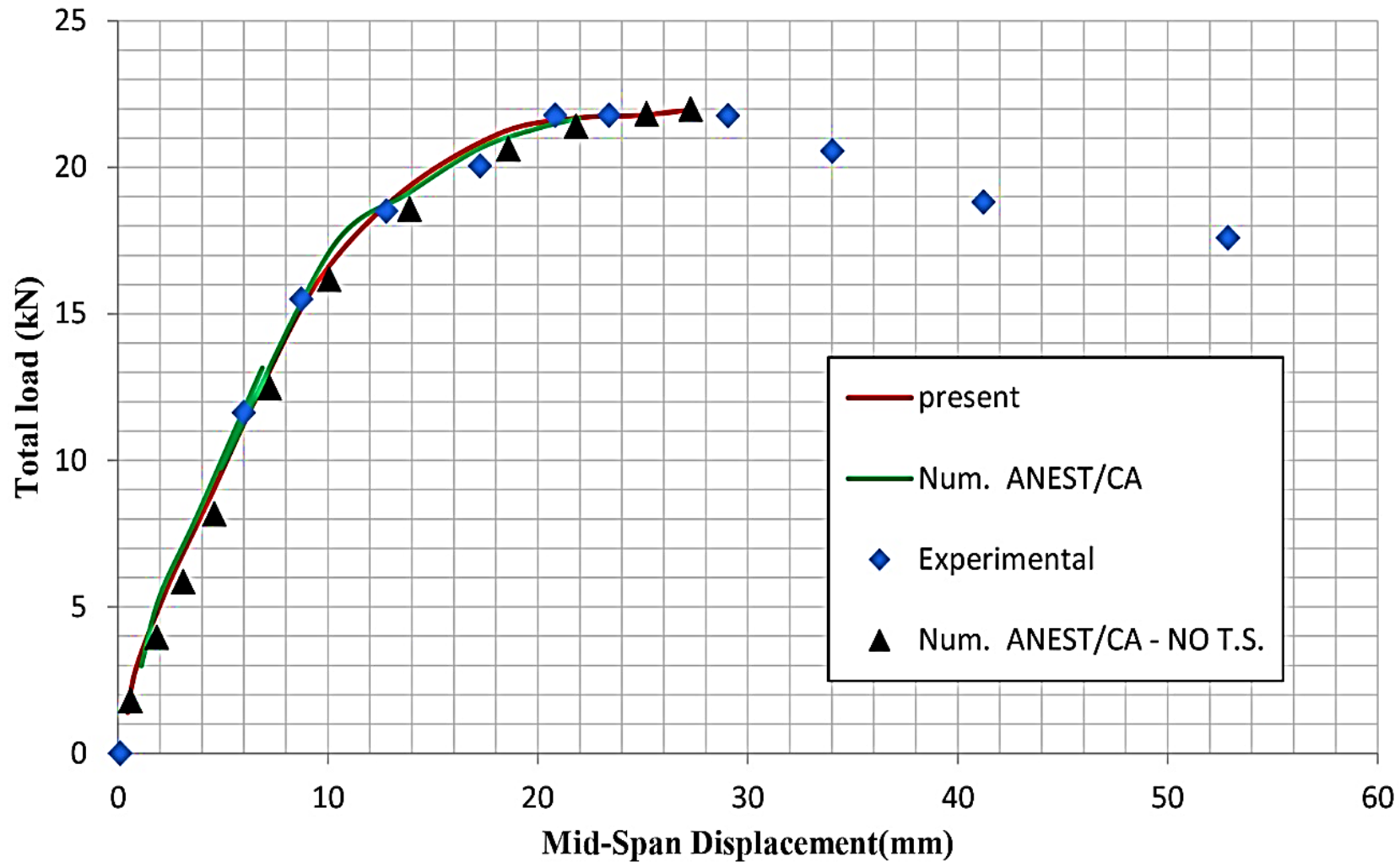
$$AS = 1.43 \text{ cm}^2$$

$$A'S = 2.85 \text{ cm}^2$$

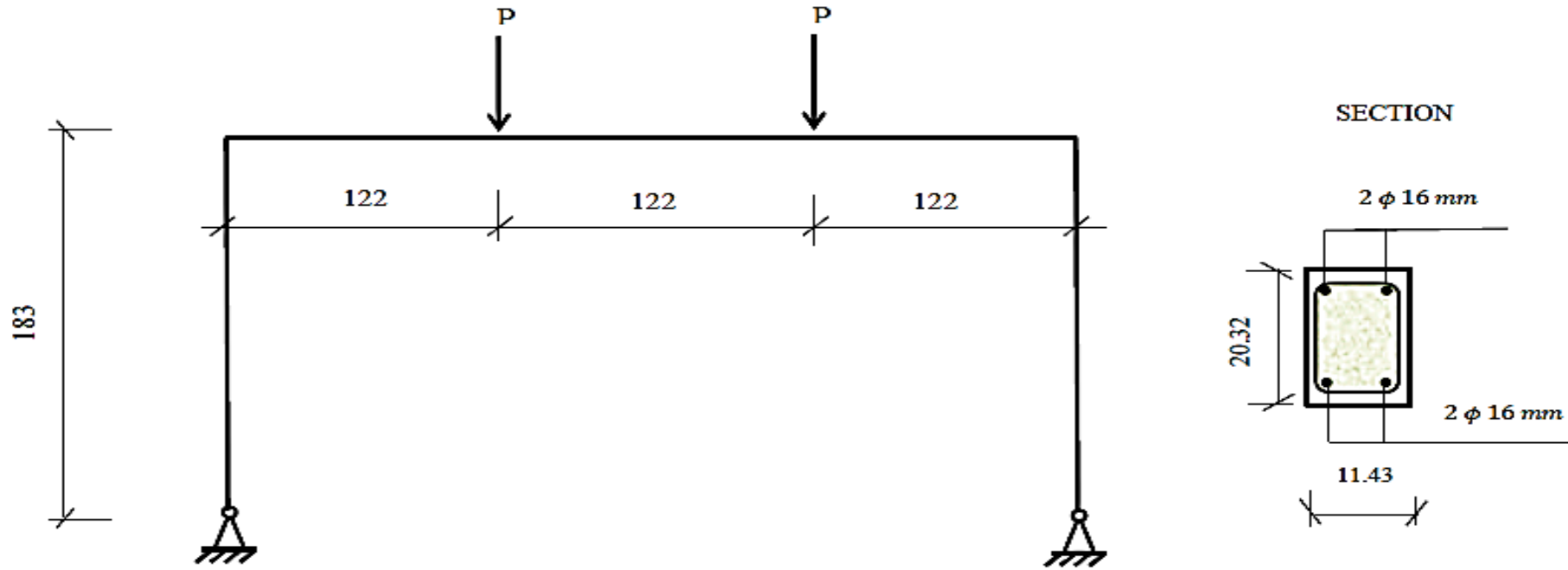
P2	18 el.
Total number of considered elements, n_e	18
Total number of concrete layers, n_c	20
Number of longitudinal steel layers, n_s	2
Shear retention factor, β	0.005

Material P2	Property	Symbol	Value	Unit
Concrete	Modulus of Elasticity	E_c	15869565	(kN/m ²)
	Specified compressive strength	f_c	36500	(kN/m ²)
	Tensile strength	f_t	2814	(kN/m ²)
	Poisson's ratio	ν_c	0.15	-
Steel	Modulus of Elasticity	E_s	200000000	(kN/m ²)
	Yield stress	f_y	293000	(kN/m ²)
	Poisson's ratio	ν_s	0.3	-

مقایسه نتایج عددی و آزمایشگاهی قاب صفحه‌ای مطالعه‌شده توسط کرنستون



قابهای صفحه‌ای آزمایش شده توسط ارنست و همکاران



مشخصات هندسی و میلگردهای قابهای مطالعه شده توسط ارنست و همکاران

مشخصات و فرضیات المان محدود قاب‌های صفحه‌ای آزمایش شده توسط ارنست و همکاران

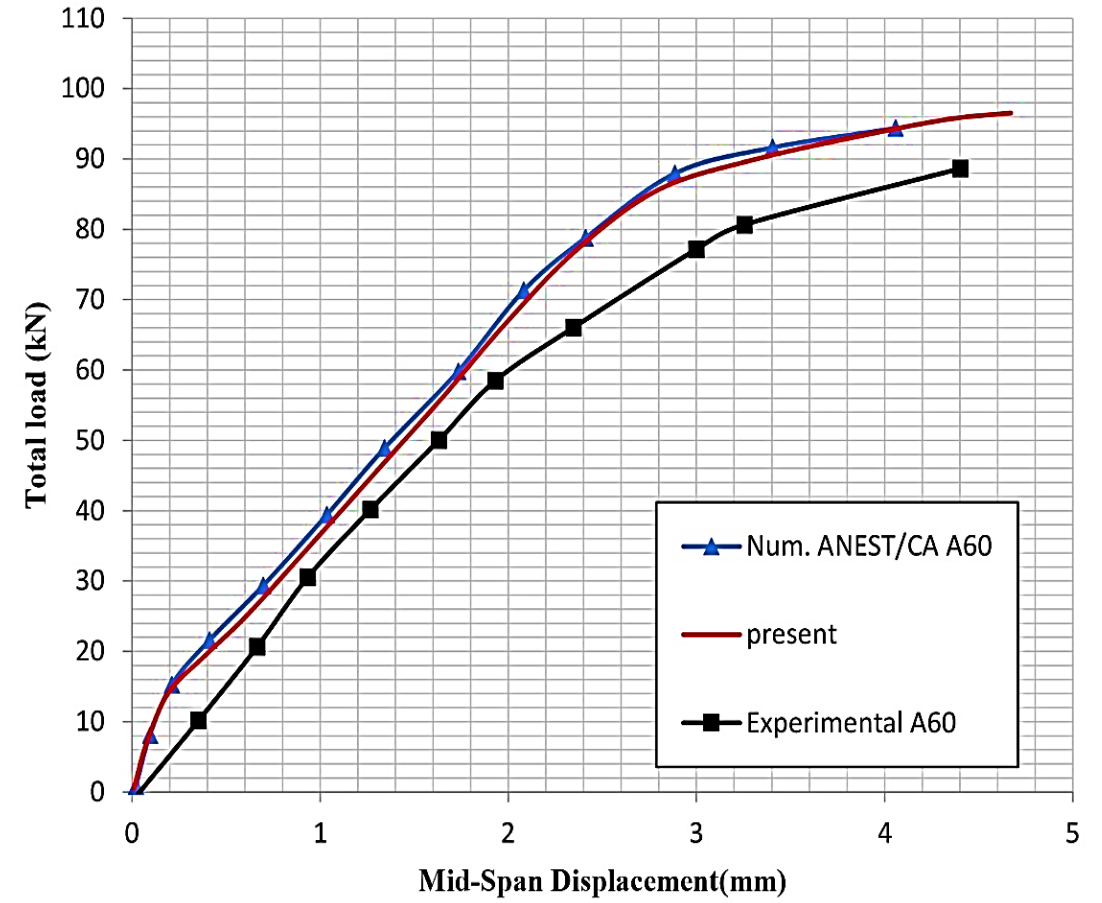
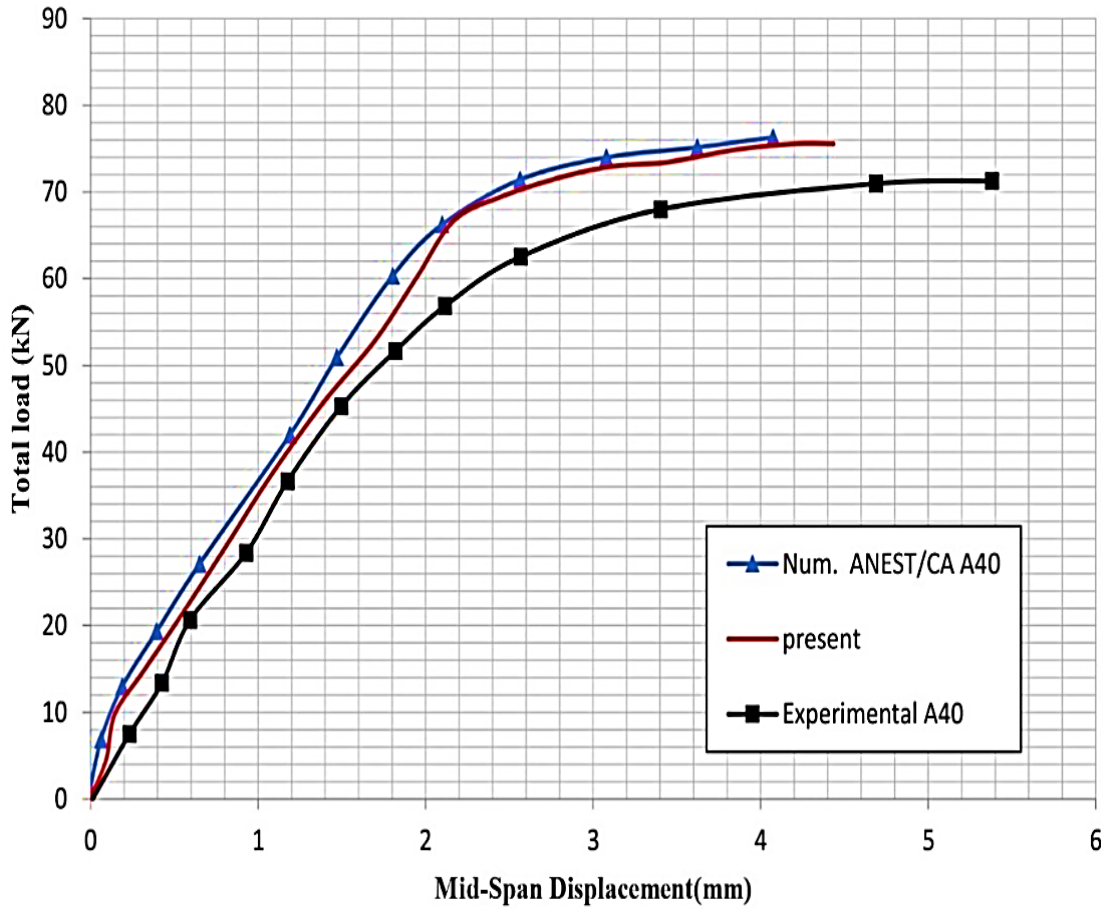
Material	Property	Symbol	Value	Unit
A40				
Concrete	Modulus of Elasticity	E_c	14548000	(kN/ m ²)
	Specified compressive strength	f_c	29096	(kN/ m ²)
	Tensile strength	f_t	2303	(kN/ m ²)
	Poisson's ratio	ν_c	0.15	-
Steel	Modulus of Elasticity	E_s	189791000	(kN/ m ²)
	Yield stress	f_y	353000	(kN/ m ²)
	Poisson's ratio	ν_s	0.3	-

Material A60	Property	Symbol	Value	Unit
Concrete	Modulus of Elasticity	E_c	19477500	(kN/ m ²)
	Specified compressive strength	f_c	38955	(kN/ m ²)
	Tensile strength	f_t	2974	(kN/ m ²)
	Poisson's ratio	ν_c	0.15	-
Steel	Modulus of Elasticity	E_s	181797000	(kN/ m ²)
	Yield stress	f_y	425406	(kN/ m ²)
	Poisson's ratio	ν_s	0.3	-

A40	36 el.
Total number of considered elements, n_e	36
Total number of concrete layers, n_c	20
Number of longitudinal steel layers, n_s	2
Shear retention factor, β	0.001

A60	36 el.
Total number of considered elements, n_e	36
Total number of concrete layers, n_c	20
Number of longitudinal steel layers, n_s	2
Shear retention factor, β	0.001

مقایسه نتایج عددی و آزمایشگاهی قابهای صفحه‌ای مطالعه شده توسط ارنست و همکاران



بحث و نتایج تحقیق

فهرست مقالات مستخرج

پیشنهادات

بحث و نتایج

تجزیه و تحلیل داده ها

روش تحقیق

پیشینه تحقیق

بیان مسئله

مقدمه

- (۱) عبور از نقاط انشعابی با تعیین مسیر درست تعادل در نمودار بار تغییر شکل
- (۲) عدم واگرایی روش هنگامی که سازه دارای سختی صفر میباشد بر خلاف روش نیوتن رافسون
- (۳) حل معادله تنها با اختیار دو مقدار β و Δt
- (۴) امکان مشاهده دلتای معادله قبلی
- (۵) کاهش مرتبه معادلات حاکم بر مسئله
- (۶) عدم نیاز به تعریف پارامترهای تنظیم کننده اضافی در حل عددی
- (۷) سادگی در اجرای کامپیوتری
- (۸) کسب اطلاعات در مورد پایداری پاسخ بدست آمده با توجه به علامت دلتای معادله

پیشنهادات تحقیق

فهرست مقالات مستخرج

پیشنهادات

بحث و نتایج

تجزیه و تحلیل داده ها

روش تحقیق

پیشینه تحقیق

بیان مسئله

مقدمه

۱. توسعه روش انرژی در تحلیل دستگامه‌های با معادلات اثر بر هم نهی مانند سازه سد و مخازن و
۲. توسعه روش انرژی را برای تحلیل غیرخطی سازه‌های کاربردی مهندسی و خاص نظیر سازه های بزرگ مقیاس
۳. گسترش و فرمول بندی روش انرژی برای سازه های تک درجه آزادی
۴. تعمیم روش انرژی برای تحلیل سیستم های چند درجه آزادی

فهرست مقالات مستخرج از رساله

فهرست مقالات مستخرج

پیشنهادات

بحث و نتایج

تجزیه و تحلیل داده ها

روش تحقیق

پیشینه تحقیق

بیان مسئله

مقدمه

1) An Energy-Based Computational Scheme for the Analysis of Reinforced Concrete Structures with Geometric and Material Nonlinearities ---- Journal of Asian

Architecture and Building Engineering ---(Accepted & published)

2) Investigation of Critical Load of Structures Using Modified Energy Method in Nonlinear-Geometry Solid Mechanic Problems---- Nonlinear Engineering:

Modeling and Application ---(Completed Accept)

3) ارزیابی عددی روش انرژی اصلاح شده در تحلیل مسائل سازه‌ای با هندسه غیرخطی ---- نشریه علمی و پژوهشی مهندسی سازه و ساخت. (پذیرش و چاپ)

4) آنالیز غیر خطی مادی تیر بتن مسلح به روش المان محدود- سیزدهمین کنگره ملی مهندسی عمران، اصفهان، ایران (پذیرش و ارائه در کنگره)

5) ارائه مدل توسعه یافته المان محدود برای تحلیل غیرخطی مادی و هندسی قاب های بتن مسلح دو بعدی -- اولین کنفرانس معماری، شهرسازی، عمران و محیط زیست - کپنهاگ (پذیرش و چاپ)

6) بررسی اثرات مختلف غیرخطی سازه‌ها در حدود شدید غیرخطی مادی - هشتمین کنفرانس ملی پژوهش های کاربردی در مهندسی عمران، معماری و مدیریت شهری - دانشگاه خواجه نصیر الدین

طوسی (پذیرش و چاپ)

7) تعمیم فرمول بندی های مبتنی بر نیرو در فضای حالت برای تحلیل غیر خطی مصالحی و هندسی سازه -- ششمین کنفرانس بین المللی پژوهش های کاربردی در علوم مهندسی - آخن، آلمان. (پذیرش و

چاپ)

8) Developing Force-Based Matrix Formulation for Materially and Geometrically Nonlinear Analysis of Structure--4th. International Conference &

5th. national Conference on Civil Engineering, Architecture, Art and Urban Design / 16-17 March. 2022, Tabriz – Iran (Accepted & Published)

سپاس از حسن توجه شما

ارائه دهنده: ... رزاقی