

FIRE 110

(معرفی نرم افزار)

محل ضرب مهرهای تحت کنترل- منسوخ							۰۳
							۰۲
							۰۱
				امیر ساعدی	وحید پاچیده	<i>FIRE 110</i> - معرفی نرم افزار	۰۰
	تاریخ انتشار	تصویب	تأیید	بررسی	تهیه	شرح	REV

فهرست مطالب

- ۱-مقدمه ای بر توانایی های FIRE110 در شبیه سازی رفتار سازه بزرگ مقیاس ۳
- ۲-ابزارهای نرم افزاری استفاده شده در FIRE110 ۳
- ۳-بخش های مختلف نرم افزار FIRE110 ۴
- ۴-چند نمونه تحلیل انجام شده با نرم افزار FIRE 110 ۱۳
- ۴-۱- تیر طره یکنواخت حرارت دیده تحت کشش ۱۳
- ۴-۲- قاب Toggle ۱۴
- ۴-۳- اثر غیر خطی مصالح روی قاب Vogel ۱۵
- ۴-۴- قاب کامپوزیت ۸ طبقه ۱۷

۱- مقدمه ای بر توانایی های FIRE 110 در شبیه سازی رفتار سازه بزرگ مقیاس

با توجه به نیاز های مختلفی که در زمینه شبیه سازی اثرات آتش در سازه های فولادی وجود دارد سعی شده که نرم افزاری نوشته شود که بتواند به بخش عمده ای از این نیاز ها پاسخگو باشد. از انجاییکه فرمولاسیون عددی به کار رفته در قلب این نرم افزار فرمولاسیون کارآمد و به روز می باشد لذا این نرم افزار قادر است تقریباً تمامی خواسته های مورد نیاز در یک شبیه سازی حرارتی شامل: توزیع دمایی یکنواخت و غیر یکنواخت، اثرات فاز سرد شدگی و گرم شدگی، غیرخطی های هندسی و مصالح را پوشش دهد. علاوه بر این نرم افزار بسیار ساده بوده و با منطق کاربر دوستی (*friendly user*) تهیه شده است. با توجه به ویژگی های موجود در فرمولاسیون به کار رفته در نرم افزار سرعت تحلیل ها بسیار بالا و همگرایی بسیار مناسب می باشد. مقایسه نتایج حاصل از این نرم افزار با نتایج سایر نرم افزار های هم رده نشان می دهد که درصد خطای حاصل از این نرم افزار نسبت به نتایج آزمایشات کمتر از نرم افزار های مشابه می باشد.

۲- ابزارهای نرم افزاری استفاده شده در FIRE 110

امروزه ابزارهای طراحی و پیاده سازی نرم افزار، توسعه قابل ملاحظه ای پیدا کرده اند. ابداع زبان های جدید برنامه نویسی در محیط های طراحی جدید توسط شرکت های عظیم صنعت کامپیوتر از یک طرف و همچنین طراحی و آرایه کتابخانه ها و کامپوننت های تخصصی تر توسط شرکتها و اشخاص مختلف از طرف دیگر، برنامه نویس را تا حدود زیادی از قید کارهای تکراری و معمولاً غیر تخصصی آزاد می کند. برای طراحی این برنامه از زبان برنامه نویسی جدید *C#* استفاده شده است. زبان *C#* و محیط مربوط به آن یعنی *.NET Framework* به عنوان مهمترین تکنولوژی جدید در زمینه برنامه نویسی و توسعه نرم افزار در سالهای اخیر مطرح هستند. *.NET* برای ارائه یک محیط جدید برنامه نویسی، که در داخل آن بتوان هر گونه برنامه ای را تهیه کرد، طراحی شده است. در حالی که *C#* یک زبان برنامه نویسی جدید می باشد که به صورت اختصاصی برای کار با *.NET* طراحی شده است.

FIRE 110 - معرفی نرم افزار



صفحه: ۴

DEP

PRJ

CAT

DIS

TYP

SEQ

REV

پروژه:

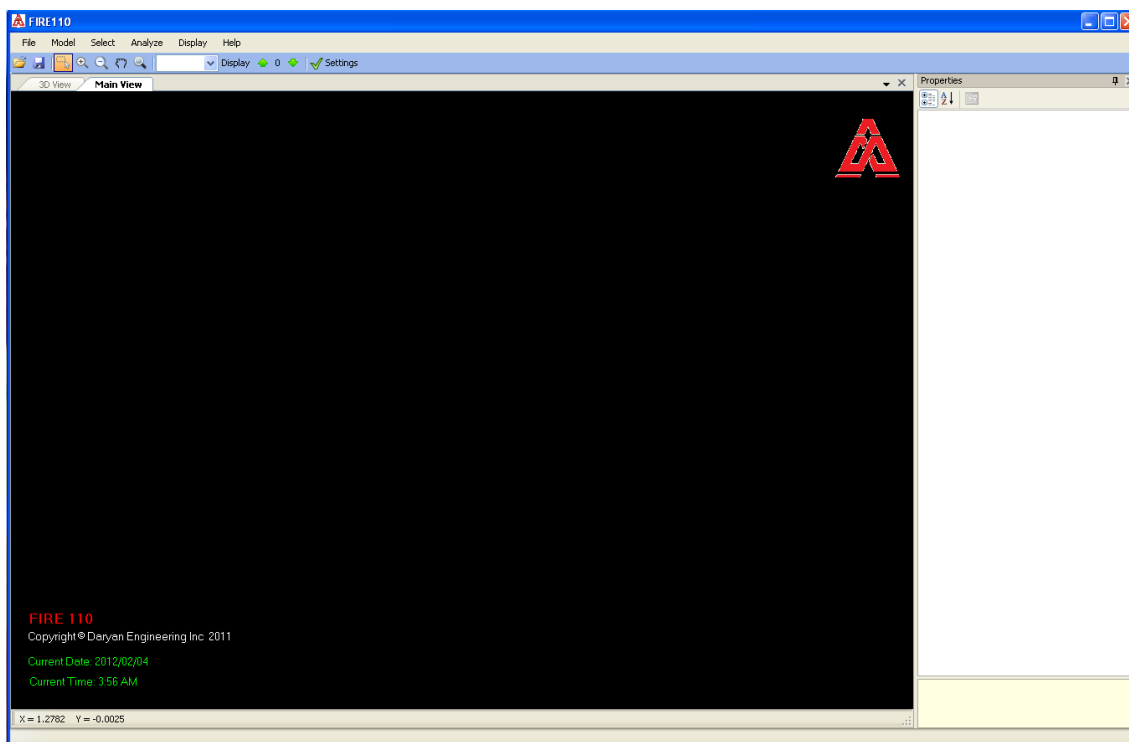
مهر ۹۴

۰۱

۳- بخش های مختلف نرم افزار FIRE 110

در این بخش منوها و بخش های مختلف نرم افزار معرفی شده اند. شکل ۱ نمای اصلی نرم افزار را نشان می

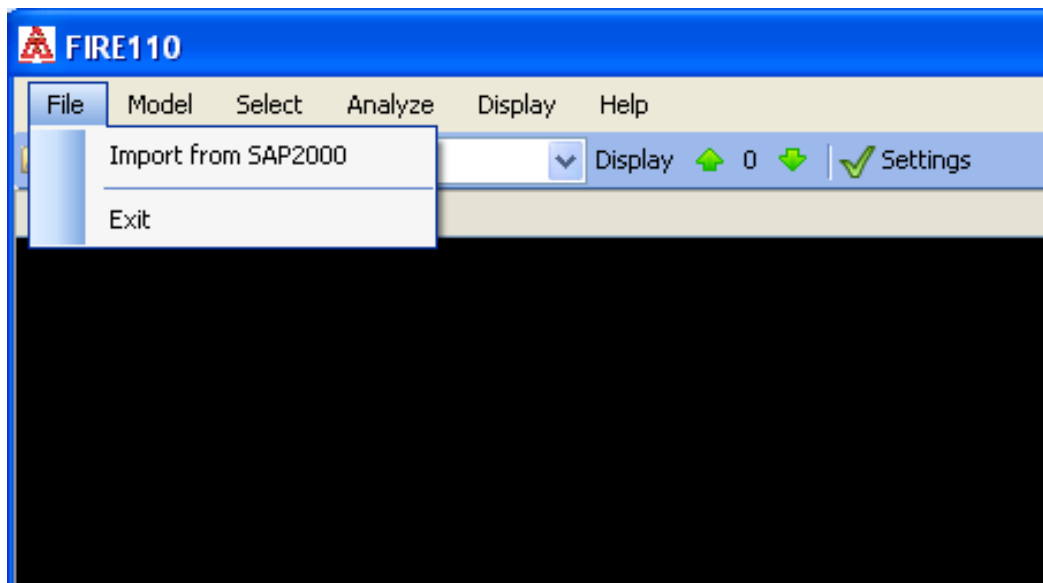
دهد.



شکل ۱: نمای نرم افزار FIRE110

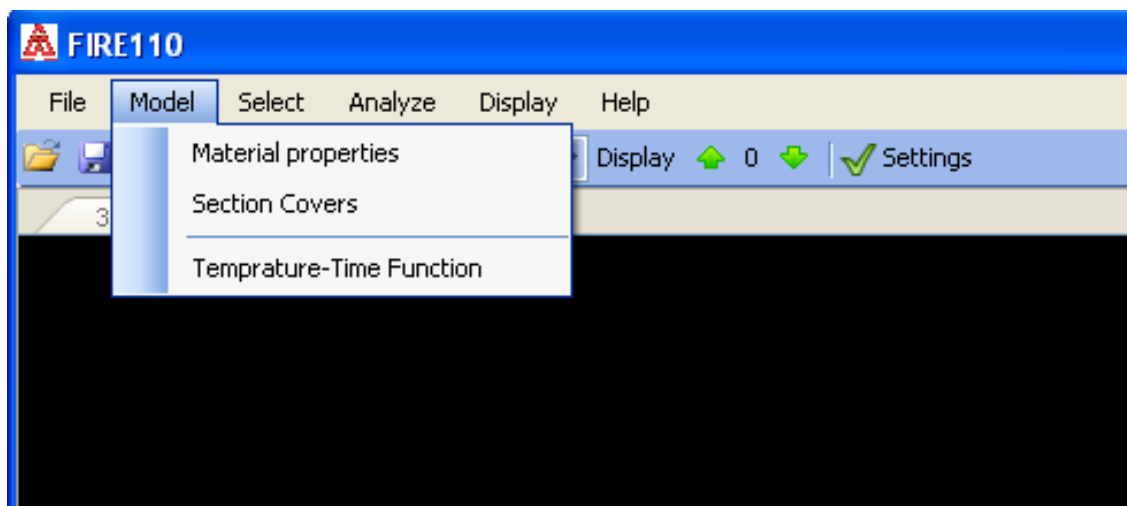
همانطور که مشخص است نما بسیار ساده و بدور از هر گونه پیچیدگی طراحی شده است. در نوار ابزار افقی بالای صفحه اولین منو در سمت چپ *File* می باشد. این منو از دو زیر گروه تشکیل شده است (شکل ۲). زیر گروه اول جهت فراخوانی فایل ساخته شده در نرم افزار *SAP* می باشد و گزینه دوم جهت خروج از محیط برنامه به کار می رود.

صفحه: ۵	DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV	پروژه:
مهر ۹۴							۰۱	



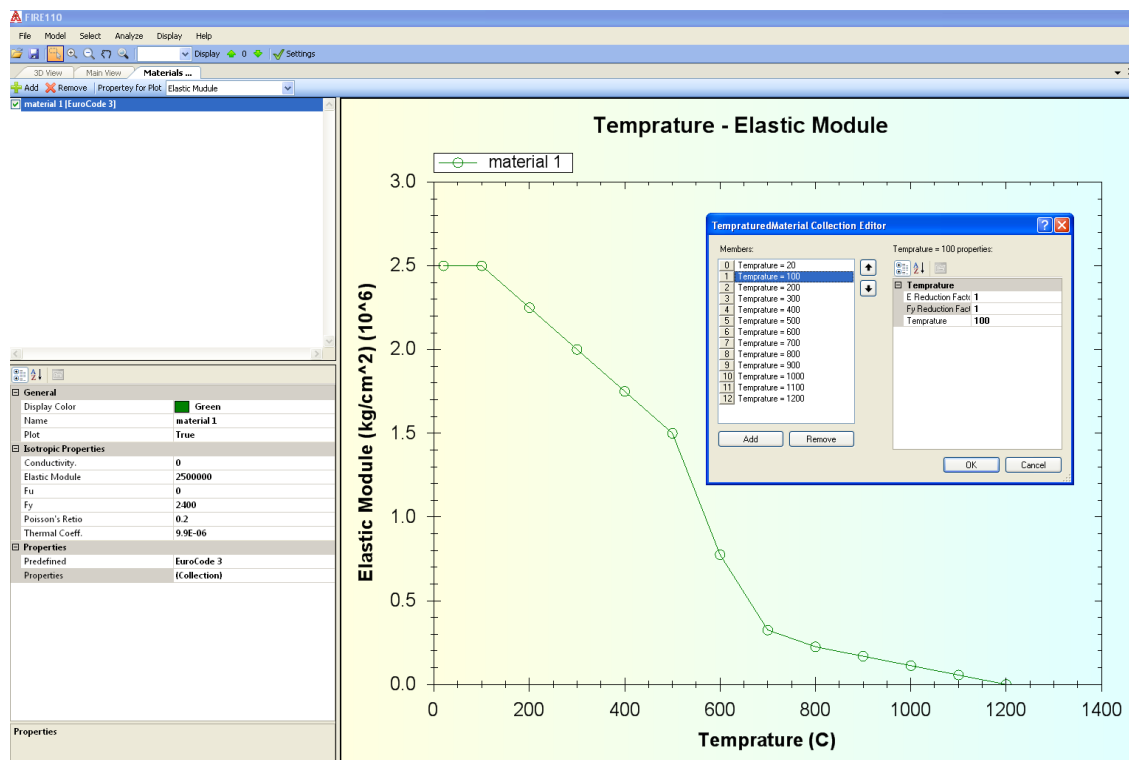
شکل ۲: منوی File

منوی دوم از سمت چپ منوی Model می باشد. همانطور که در شکل ۳ مشاهده می شود در این منو سه زیر گروه وجود دارد. زیر گروه اول Material properties همانطور که از نام آن پیداست در این بخش تغییرات خصوصیات ماده با حرارت مشخص می شود. جزئیات این بخش در شکل ۴ مشخص شده است.



شکل ۳: منو Model

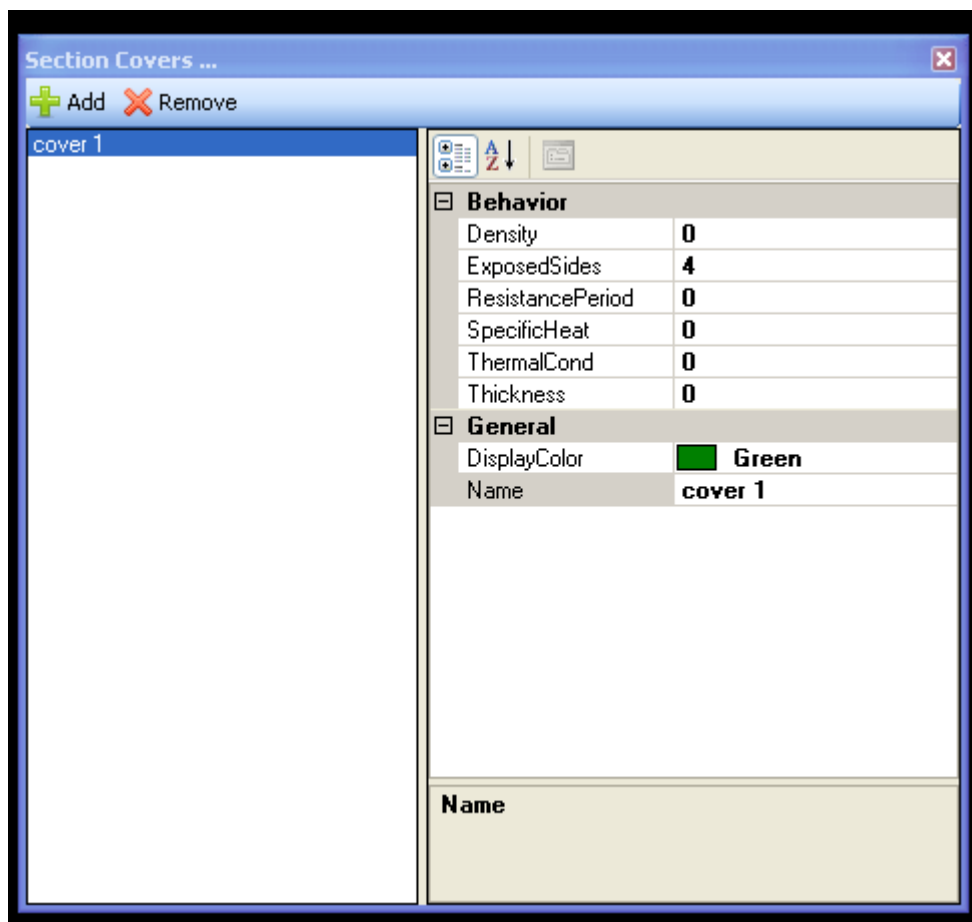
همانطور که در شکل ۴ مشاهده می شود در این زیر گروه کاربر به راحتی قادر است که خصوصیات اصلی ماده (تنش تسلیم و مدول یانگ) را به دلخواه با تغییرات درجه حرارت تغییر دهد. علاوه بر این به صورت پیش فرض ضرایب کاهش EuroCode3 جاگذاری شده تا در صورت نیاز انتخاب شوند. در این بخش کاربر می تواند در صورت تمایل ضرایب کاهش دلخواه خود را نیز به پیش فرض های نرم افزار اضافه نماید.



شکل ۴: منو Material properties

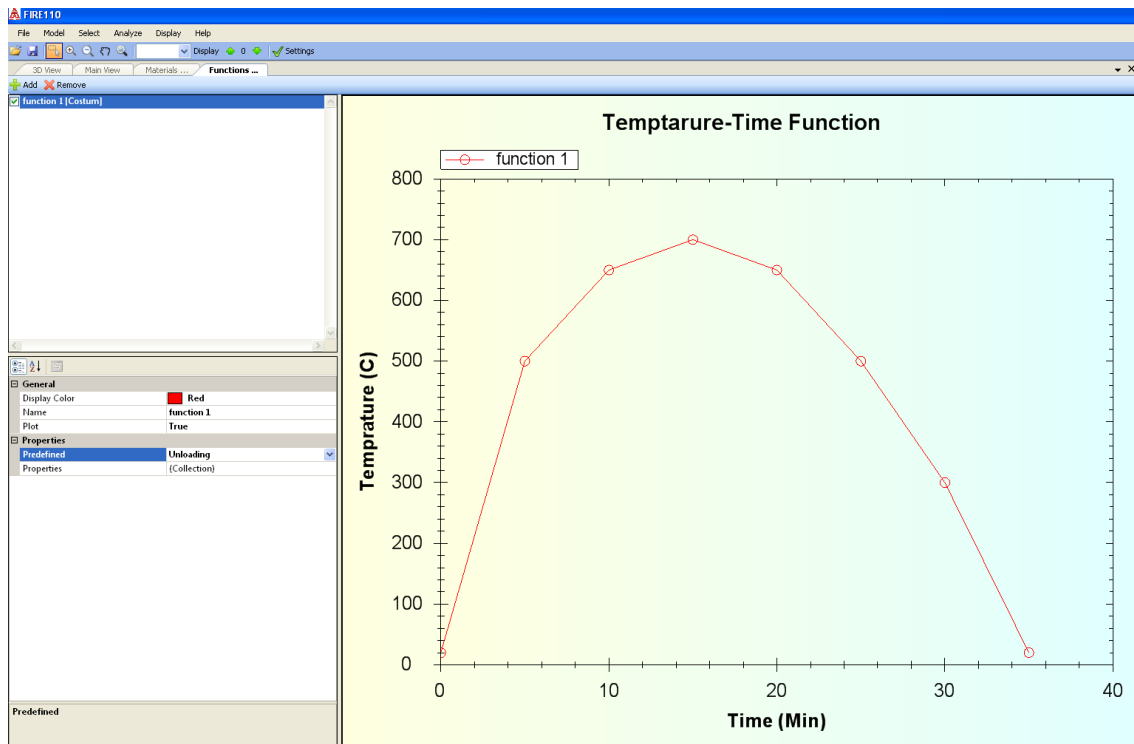
در منوی Model زیر گروه دوم Section Covers می باشد. همانطور که از نام این منو مشخص است در اینجا خصوصیات پوشش احتمالی اعضای سازه ای انتخاب می شود. لازم به ذکر است که نرم افزار با دریافت این خصوصیات و بر اساس کتابخانه ای که در حافظه خود دارد نوع پوشش ضد حریق را تشخیص داده و زمان تاخیری که در اثر استفاده از این پوشش در منحنی حرارت اعمالی به عضو بایستی مد نظر قرار گیرد تعیین می کند. در صورتی که مشخصات داده شده مشابه هیچ کدام از پوشش های موجود در کتابخانه نرم افزار نباشد با توجه به مقادیر وارده نزدیک ترین پوشش انتخاب می شود. در شکل ۵ این منو مشاهده می شود.

صفحه: ۷	DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV	پروژه:
مهر ۹۴							۰۱	



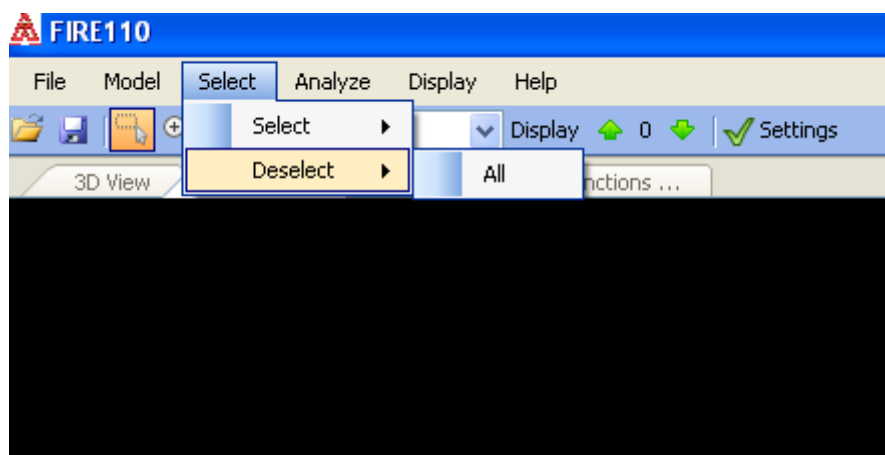
شکل ۵: منو Section Covers

در منو Model سومین زیر گروه *Temperature - Time Function* می باشد. در این بخش نمودار گرمایش و سرمایش اعمالی به اعضای سازه ای وارد می شود. در این بخش نیز نمودارهای گرمایش *ISO834 & ASTM E119* به عنوان نمودارهای پیش فرض وجود دارند. در ضمن کاربر نیز می تواند نمودارهای مورد نظر خود را به عنوان نمودارهای پیش فرض به کتابخانه موجود در نرم افزار اضافه نماید. در شکل ۶ این بخش نشان داده شده است.



شکل ۶: منو Temperature-Time Function

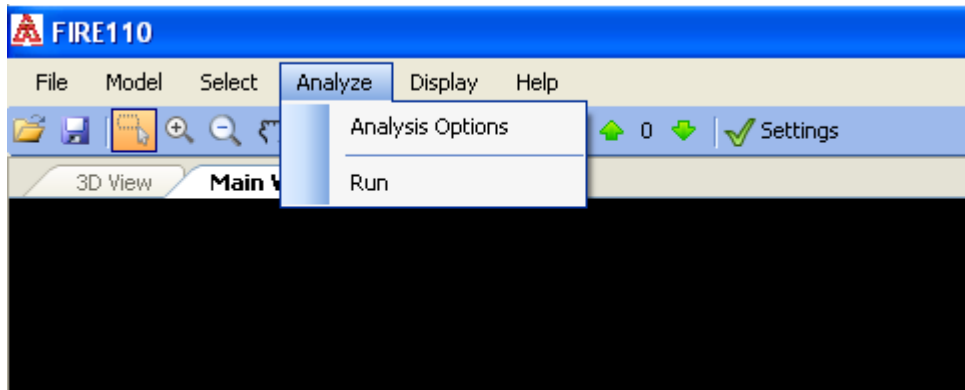
در نوار ابزار افقی بالای برنامه سومین منو از سمت چپ منوی *Select* می باشد. این منو به دو زیر گروه *Select & Deselect* تقسیم می شود. با انتخاب هر یک از این دو گزینه می توان تمامی اعضای را انتخاب کرده و یا از حالت انتخاب خارج نمود. شکل ۷ نمایی از این منو را نشان می دهد.



شکل ۷: منو Select

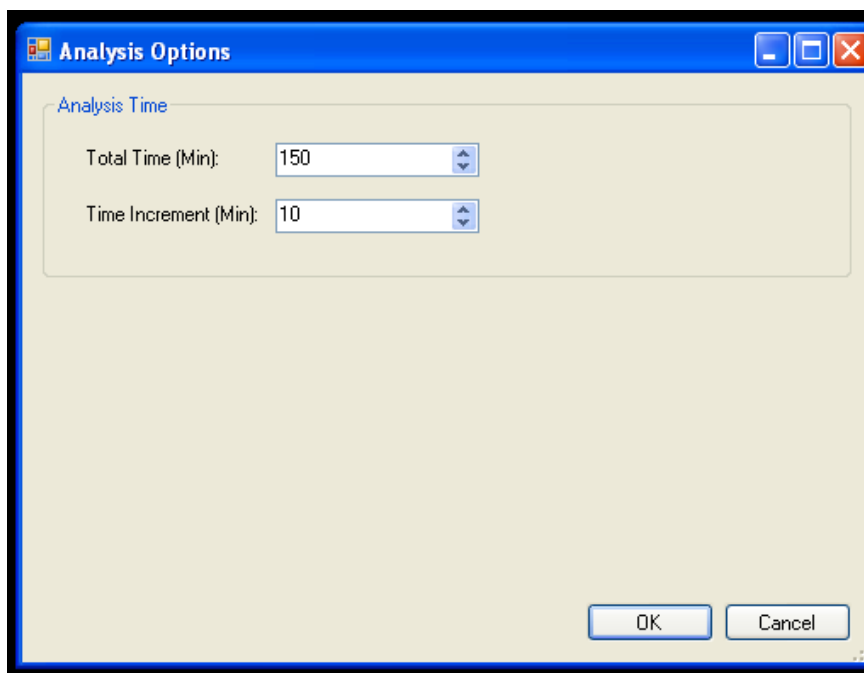
چهارمین منو در نوار ابزار افقی منوی *Analys* می باشد. در این منو دو زیر گروه *Analysis Options* و *Run* وجود دارد. شکل ۸ نمایی از این منو را نشان می دهد.

صفحه: ۹	DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV	پروژه:
مهر ۹۴							۰۱	



شکل ۸: منوی *Analys*

همانطور که در شکل ۸ مشخص است اولین زیر گروه در منوی *Analys* منوی *Analysis Options* می باشد. این منو اهمیت بسیار زیادی دارد. چرا که همگرایی سیستم وابسته به نرخ اعمال تغییرات به سیستم می باشد. در این بخش می توان گام های اعمال تغییرات را مشخص نمود. علاوه بر این زمان تحلیل نیز در این بخش مشخص می شود. در شکل ۹ جزئیات این منو دیده می شود.



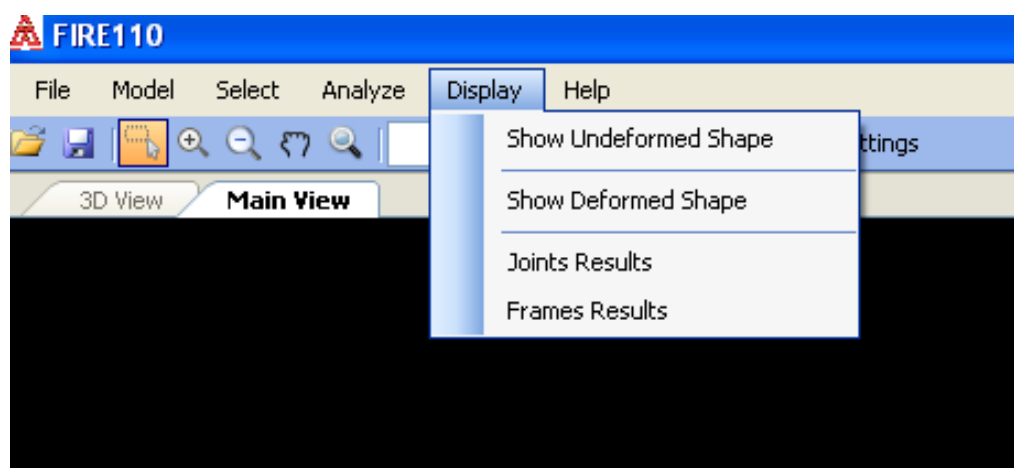
شکل ۹: منوی *Analysis Options*

بخش بعدی در این منو گزینه *Run* می باشد. با انتخاب این گزینه تحلیل غیر خطی پلاستیک انجام می شود. شکل الف-۱۰ نشان دهنده پیغامی است که در حین تحلیل در صفحه نمایش ظاهر می شود.

Nonlinear Analysis is in progress ...

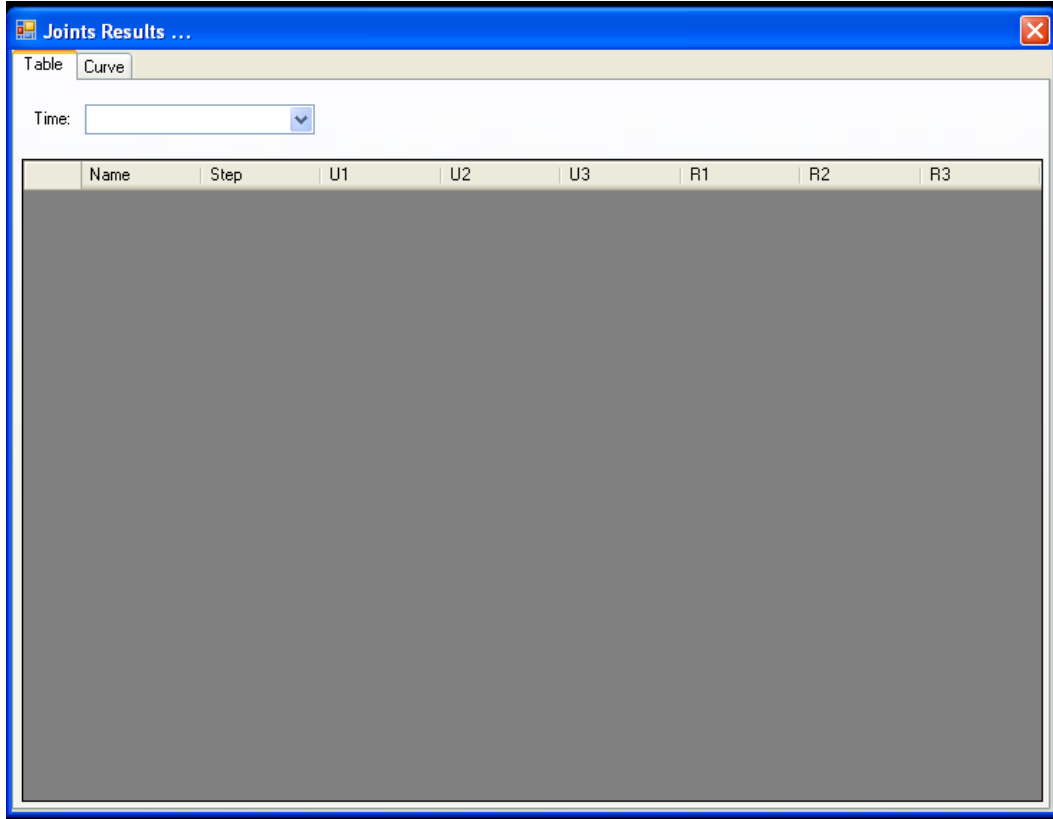
شکل ۱۰: پیغامی که در حین تحلیل ظاهر می شود

پنجمین منو در نوار ابزار افقی منوی *Display* می باشد. این منو بعد از انجام تحلیل مورد استفاده قرار می گیرد. این منو دارای چهار زیر گروه است که به کمک هر یک از این زیر گروه ها می توان نتایج حاصل از تحلیل را مشاهده نمود. در شکل ۱۱ این منو نشان داده شده است.

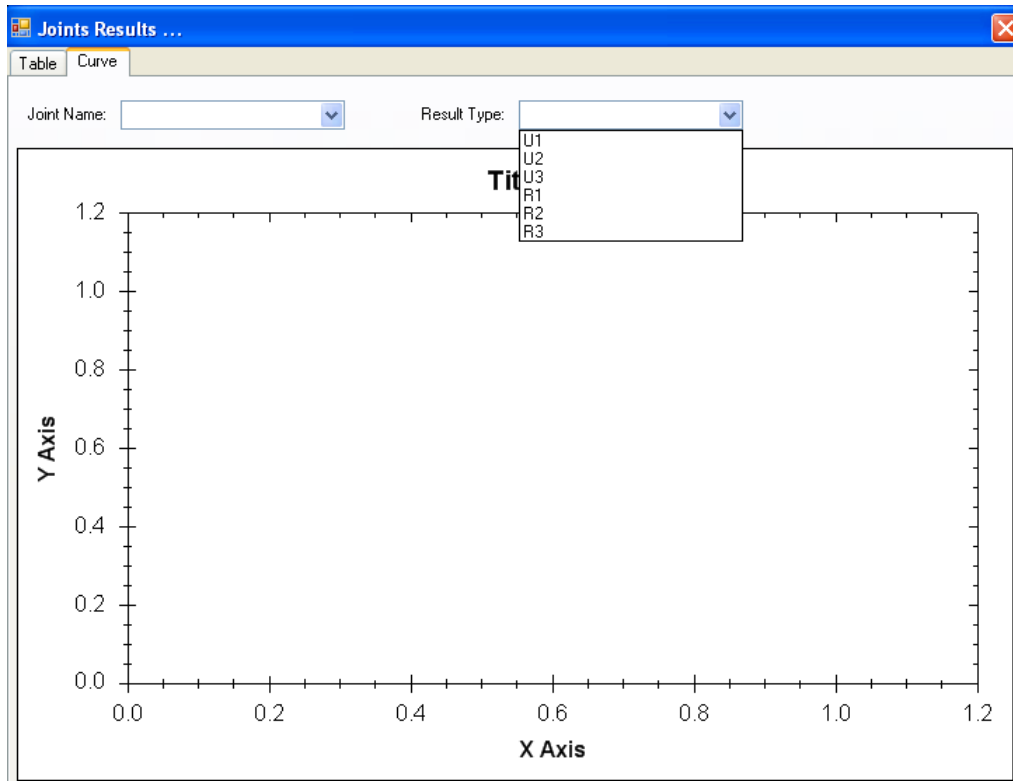


شکل ۱۱: منوی *Display*

اولین و دومین زیر گروه ها در منوی *Display*، *Show Undeformed Shape* و *Show Deformed Shape* می باشند. همانطور که از اسامی این دو گزینه مشخص است با انتخاب هر کدام از آنها به تناسب، فرم تغییر شکل یافته و یا تغییر شکل نیافته سیستم مشاهده می شود. زیر گروه سوم در منوی *Display* منوی *Joints Results* می باشد. این منو در شکل الف-۱۲ نشان داده شده است. در این منو داده های خروجی را می توان به صورت جداولی از اعداد در بخش *Table* و به صورت نموداری در بخش *Curve* مشاهده نمود.



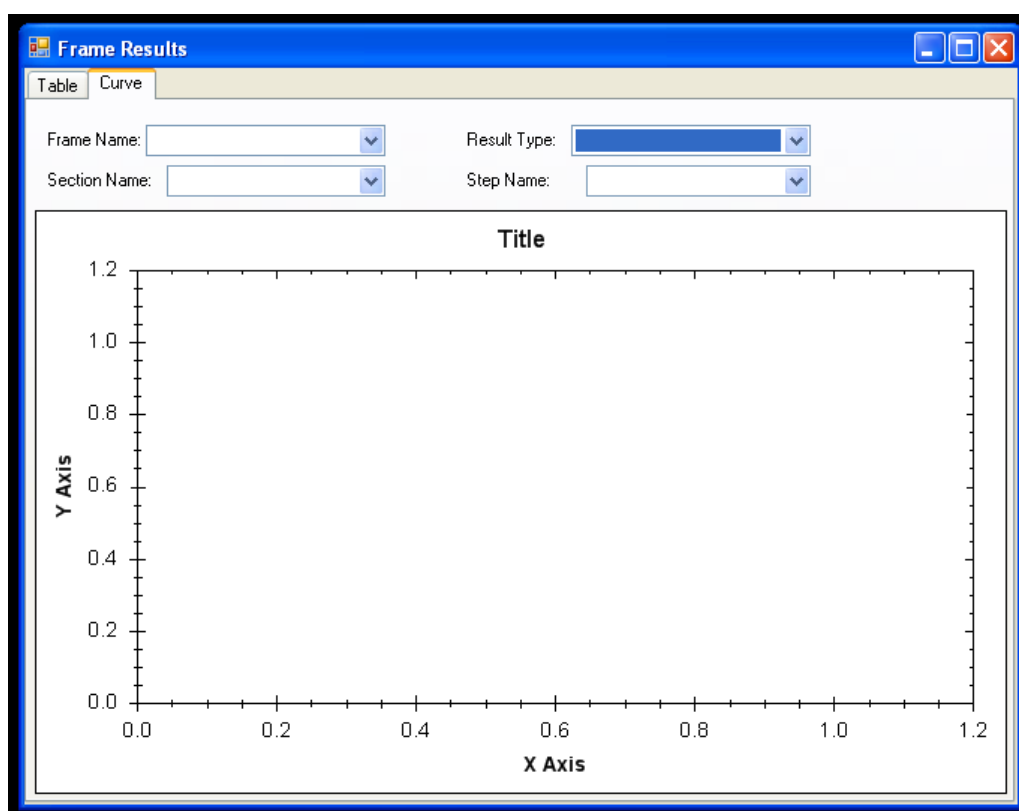
شکل ۱۲: منوی Joints Results



شکل ۱۳: منوی Curve در زیر گروه Joints Results

با انتخاب گزینه *Curve* به راحتی می توان شماره گره و درجه آزادی مورد نظر را مشخص نمود و نتیجه حاصله را به صورت نمودار دریافت کرد. شکل ۱۳ نمایی از این منو را نشان می دهد.

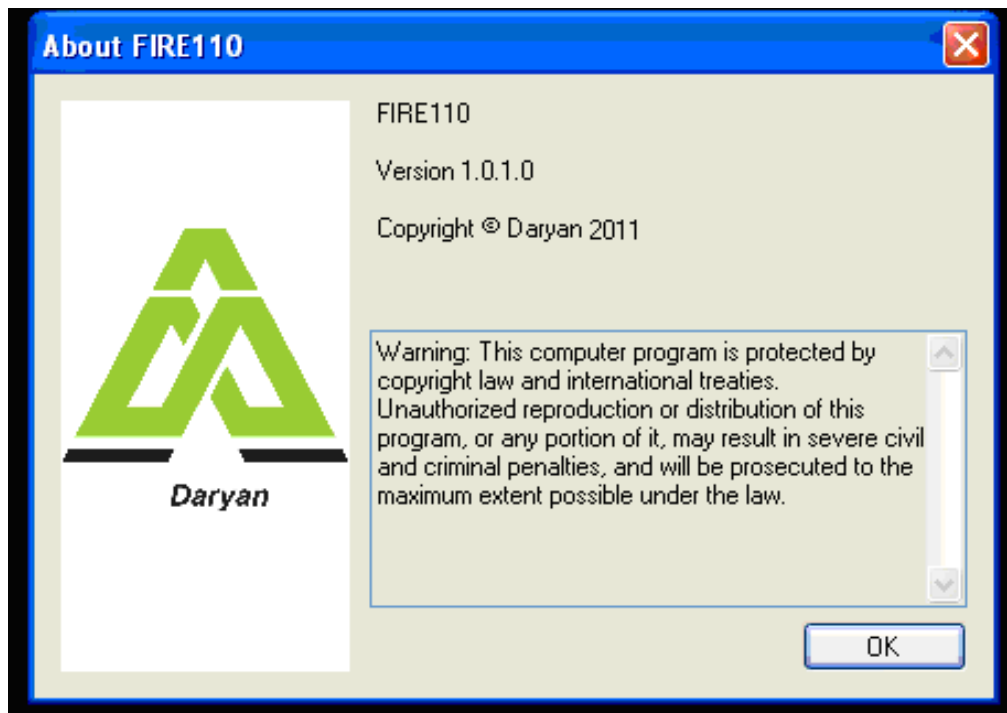
زیر گروه چهارم از منوی *Display* با نام *Frames Results* می باشد. این منو نیز کم و بیش مشابه منوی قبلی می باشد و اطلاعات را به دو صورت *Table* و *Curve* نمایش می دهد. در شکل ۱۴ بخش های مختلف منوی *Curve* در این زیر گروه نشان داده شده است.



شکل ۱۴: منوی *Curve* در زیر گروه *Frames Results*

آخرین منو در نوار ابزار افقی منوی *Help* می باشد. این منو اطلاعاتی را *Version* نرم افزار و همچنین سازنده نرم افزار ارائه می دهد. در شکل ۱۵ این منو نشان داده شده است.

صفحه: ۱۳	DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV	پروژه:
مهر ۹۴							۰۱	



شکل ۱۵: منوی Help

۴- چند نمونه تحلیل انجام شده با نرم افزار FIRE 110

۴-۱- تیر طره یکنواخت حرارت دیده تحت کشش

اولین مثال ارائه شده، یک تیر طره به طول $1m$ است که تنها تحت یک نیروی کششی و گرمایش یکنواخت قرار گرفته است. با توجه به افزایش حرارت یکنواخت لذا تنها انبساط حرارتی محوری در این مثال مطرح می باشد. برای سادگی مساله همانطور که در ابتدای این بخش ذکر شد، اثر غیر خطی هندسی در این بررسی لحاظ نشده است. ابتدای تیر تحت یک نیروی کششی $50kN$ قرار دارد. تیر مورد نظر از پروفیل $IPE80$ می باشد. مشخصات مصالح، مقطع و هندسه در شکل ۱۶ نشان داده شده است.

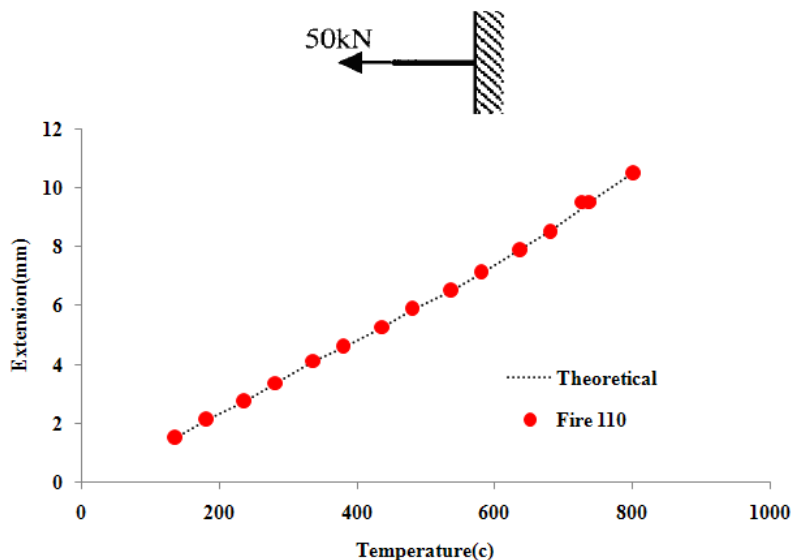
نتایج حاصل از حل تئوری این مساله را می توان با نتایج حاصل از فرمولاسیون تحلیل آتش مقایسه نمود. به منظور حل تئوری مساله می توان انبساط نوک تیر طره به سبب بار اعمال شده و حرارت را به روش دستی از فرمول ساده زیر محاسبه نمود:

می آید.

$$\Delta = \frac{pl}{EA} + \alpha(T-20)l$$

صفحه: ۱۴	DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV	پروژه:
مهر ۹۴							۰۱	

انبساط نوک تیر طره به کمک حل تئوری دستی و تحلیل آتش به دست آمده و در شکل ۱۶ مقایسه شده اند .
بررسی نتایج نشان می دهد که نتایج تطابق کاملی با هم دارند .

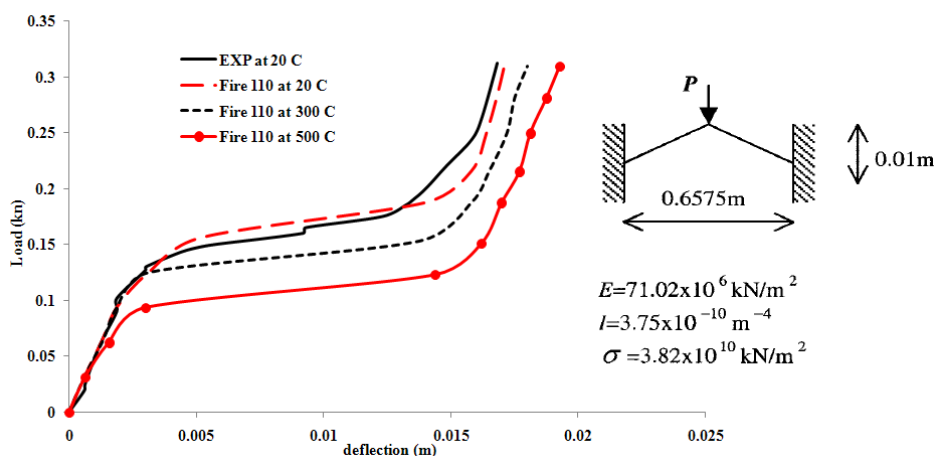


شکل ۱۶: انبساط نوک تیر طره

۴-۲- قاب Toggle

قاب دو عضوی toggle هم به صورت تجربی و هم تحلیلی توسط Williams (۱۹۶۴) مورد بررسی قرار گرفته است. این مسئله توسط تعدادی از محققین دیگر نیز به روش های مختلف بررسی شده است. به عنوان نمونه (۱۹۷۷) Woode & Zienkiewicz با استفاده از پنج المان در هر عضو این مساله را تحلیل نموده اند، (۱۹۸۱) Papadrakakis با استفاده از روش dynamic relaxation مثال فوق را بررسی کرده است، (۱۹۸۳) Meek & Tan نیز با استفاده از روش طول قوس مساله را تحلیل کرده اند . هندسه و مشخصات مصالح نیز در شکل ۱۷ نشان داده شده است. در آزمایش انجام شده به خاطر استفاده از عضو با مقاومت تسلیم بالا، تسلیم شدگی رخ نداده است. تغییر مکان وسط دهانه در برابر هر تراز دمایی، در شکل ۱۷ نشان داده شده است. از آن جایی که هیچ محققى رفتار قاب toggle را در دماهای بالا را بررسی نکرده است لذا با مقایسه نتایج تحلیل آتش فعلی در دمای محیط با نتایج آزمایشگاهی صرفاً می توان گفت که اثر غیرخطی هندسی مدل شده در این تحلیل آتش در شرایط محیط، کاملاً دقیق بوده است.

صفحه: ۱۵	DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV	پروژه:
مهر ۹۴							۰۱	



شکل ۱۷: تغییر مکان وسط دهانه قاب toggle برای سطوح مختلف دما

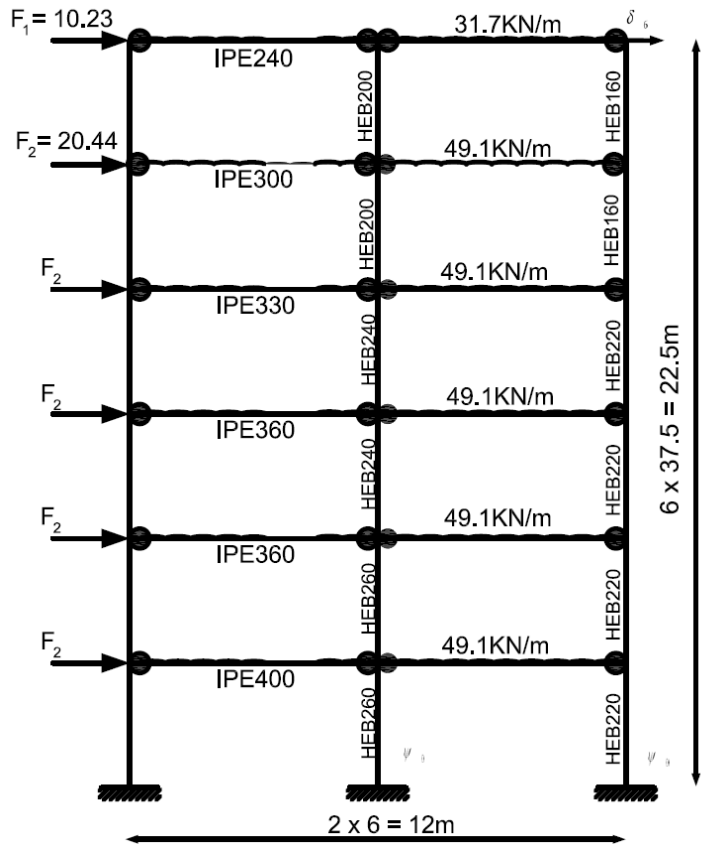
۴-۳- اثر غیر خطی مصالح روی قاب Vogel

قاب کالیبراسیون اروپایی دارای شش طبقه و دو دهانه می باشد و تحت اثر بارهای ثقلی و جانبی قرار دارد. این قاب توسط Vogel (۱۹۸۵) مورد بررسی قرار گرفته است. از این قاب برای کالیبره کردن رفتار پلاستیک مصالح استفاده می شود. مدول الاستیسیته و تنش تسلیم فولاد در این قاب به ترتیب $2.05 \times 10^8 \text{ kN/m}^2$ و $2.35 \times 10^5 \text{ kN/m}^2$ می باشند. اندازه مقاطع به کار رفته در قاب به همراه هندسه قاب در شکل ۱۸ نشان داده شده است. هدف از این مثال صرفاً تأیید کارایی فرمولاسیون سختی فنر کلی می باشد. لذا این نمونه در حرارت عادی مورد بررسی قرار گرفته است. مقایسه منحنی نیرو - تغییر مکان برای تغییر مکان جانبی در بالای قاب از تحلیل آتش فعلی و نتایج Vogel در شکل ۱۹ نشان داده شده اند. همانطور که مقایسه ارائه شده در این شکل نشان می دهد فرمول بندی ارائه شده در این تحلیل به نحو کارآمدی توانایی مدل سازی رفتار پلاستیک شدگی مصالح را با استفاده از فرمول سختی فنر کلی دارد.

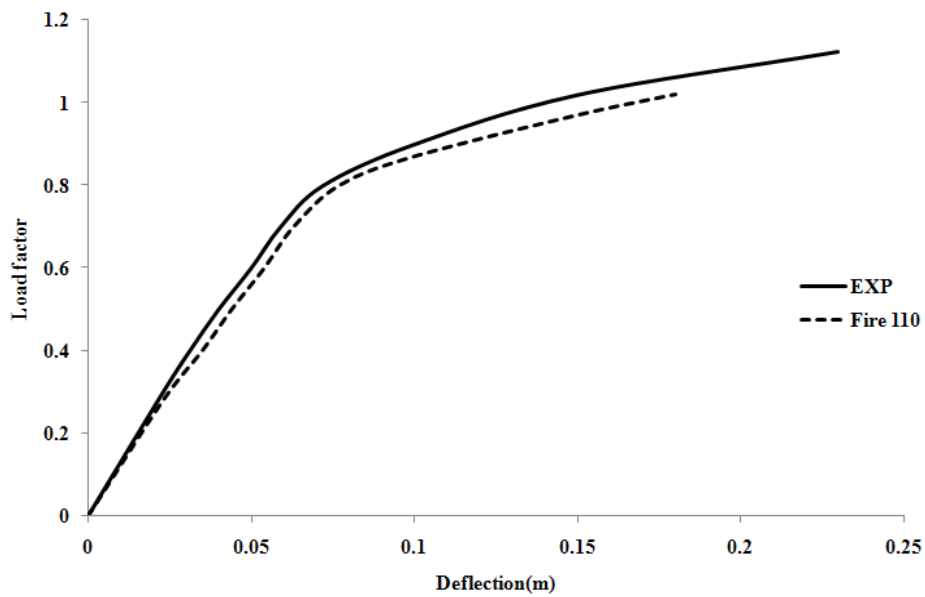
FIRE 110 - معرفی نرم افزار



صفحه: ۱۶	DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV	پروژه:
مهر ۹۴							۰۱	



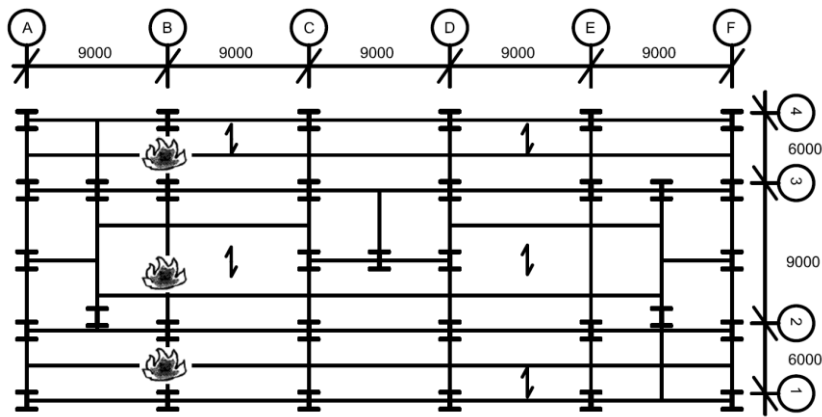
شکل ۱۸: هندسه قاب Vogel



شکل ۱۹: مقایسه نتایج نیرو-تغییر مکان برای قاب Vogel

۴-۴- قاب کامپوزیت ۸ طبقه

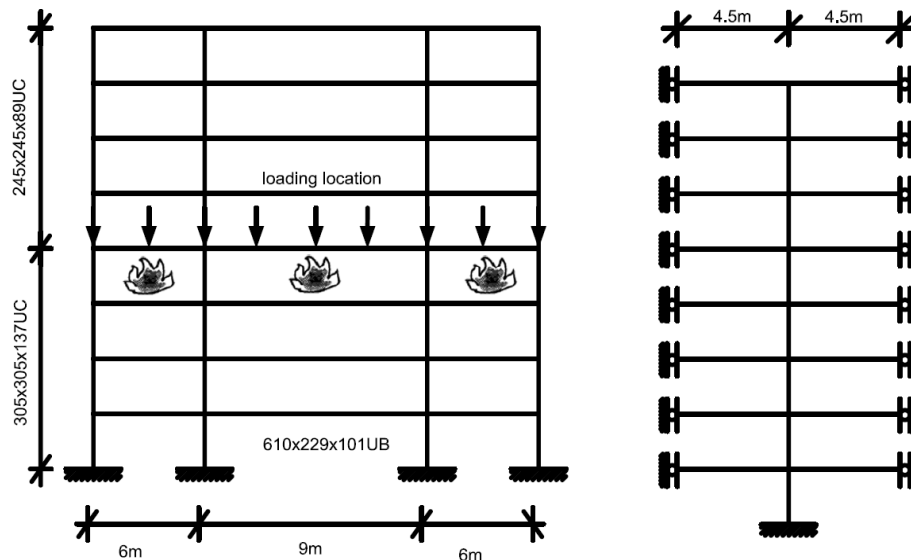
اولین نمونه ای که در این بخش انتخاب شده است قاب کامپوزیت ۸ طبقه ایست که دارای ۳ دهانه در عمق و ۵ دهانه در عرض می باشد. این قاب در آزمایشات آتش *cardington* در انگلستان مورد بررسی قرار گرفته است. ارتفاع اولین طبقه $4.305m$ و سایر طبقات $4.185m$ بوده است. بنابراین ارتفاع کلی قاب $33.6m$ بوده. در شکل ۲۰ پلان قاب مورد نظر نشان داده شده و در شکل ۲۱ هندسه و ساینز مقاطع مشخص شده است. تمامی اتصالات به صورت صلب طراحی شدند. یک بار گسترده $5.48kN/m^2$ بر روی تیرهای فرعی ۹ متری، وارده می شده. این بار همانطور که در شکل ۲۱ نشان داده شده است به تیرهای اصلی منتقل می شده است.



شکل ۲۰: پلان قاب ۸ طبقه در آزمایشات آتش *cardington*

مشخصات مصالح به کار رفته عبارتند از مدول الاستیسته $E_{20} = 2.1 \cdot 10^8 kN/m^2$ تنش موثر تسلیم برای

فولاد نرم $\sigma_{20} = 308N/mm^2$ تنش موثر تسلیم برای فولاد پر مقاومت $\sigma_{20} = 390N/mm^2$



شکل ۲۱: هندسه و مقطع قاب ۸ طبقه

FIRE 110 - معرفی نرم افزار



صفحه: ۱۸

DEP

PRJ

CAT

DIS

TYP

SEQ

REV

پروژه:

مهر ۹۴

۰۱

آتش تنها در طبقه سوم متمرکز شده بود. تمامی ستونها بنا به پیشنهاد (Kirby (1997) تا ارتفاع 200mm پایین اتصال، اندکی محافظت شده بودند. ماکزیمم دما تقریباً $800^{\circ}C$ بود و دمای قاب تا دمای محیط کاهش یافت. اگر چه توزیع دما در سراسر اعضای تیر در تراز طبقه چهارم در آزمایش آتش اندکی غیر یکنواخت بود، اما در این تحقیق چنین فرض شد که تیرها به طور یکنواخت گرم می شوند.

(Kirby (1997) در آزمایشات آتش مشاهده کرد که تیر اصلی داخلی در $800^{\circ}C$ ، به میزان 293mm تغییر مکان داد و پس از رسیدن دما به دمای اتاق، 237mm تغییر مکان دائمی در تیر باقی ماند.

با توجه به به شبیه سازی انجام شده در نرم افزار FIRE110، تغییر مکان وسط دهانه تیر داخلی در $800^{\circ}C$ همان گونه که در شکل ۲۲ نشان داده شده است، 251.62mm می باشد و تغییر شکل دائمی 218,04mm می باشد. همانطور که مشاهده می شود نتایج به دست آمده از آزمایشات تا حدی انعطاف پذیر تر از نتایج نرم افزاری می باشند علت این مساله احتمالاً به دلیل آن است که اتصالات در مدل سازی نرم افزاری صلب فرض شده در حالیکه در آزمایش واقعی درصدی از چرخش را داشته اند. فرم تغییر شکل یافته قاب در ترازهای مختلف حرارتی در بخش های مختلف شکل ۲۳ نشان داده شده است.

بر طبق این تحلیل آتش، هنگامی که دما به $800^{\circ}C$ می رسد، تغییر مکان جانبی، به میزان 81.3mm به طرف بیرون منحرف می شود در حالیکه این عدد برای آزمایشات برابر با 51.23mm بوده است. علت این مساله احتمالاً به دلیل اثر غشایی دال های بتنی می باشد. دال بتنی به میزان قابل توجهی از انبساط حرارتی تیر ممانعت به عمل می آورد، در حالیکه این مساله در این تحلیل مشاهده نشده است.

پس از اینکه سازه به دمای محیط باز می گردد، تغییر مکان جانبی به میزان 150.14mm به طرف داخل، به علت نیروی انقباض حرارتی عضو تیر تحت سرمایش افزایش می یابد. بنابراین، برای یک سازه گرفتار در آتش، عضو تنها به واسطه افزایش دما دچار تغییر شکل نمی شود، بلکه خنک شدگی نیز می تواند موجب گسیختگی اعضا در یک سازه شود.

FIRE 110 - معرفی نرم افزار



صفحه: ۱۹

DEP

PRJ

CAT

DIS

TYP

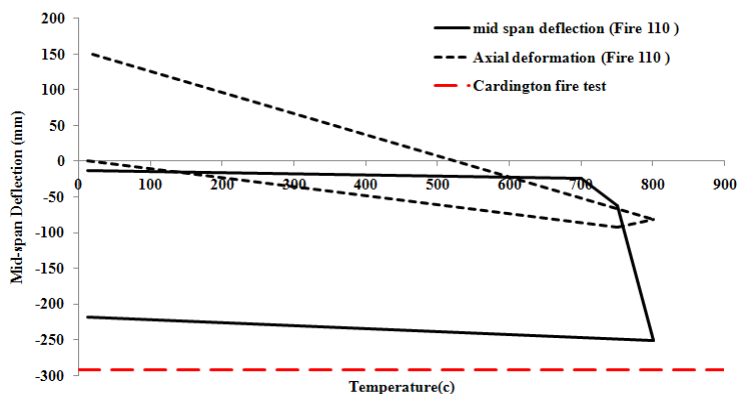
SEQ

REV

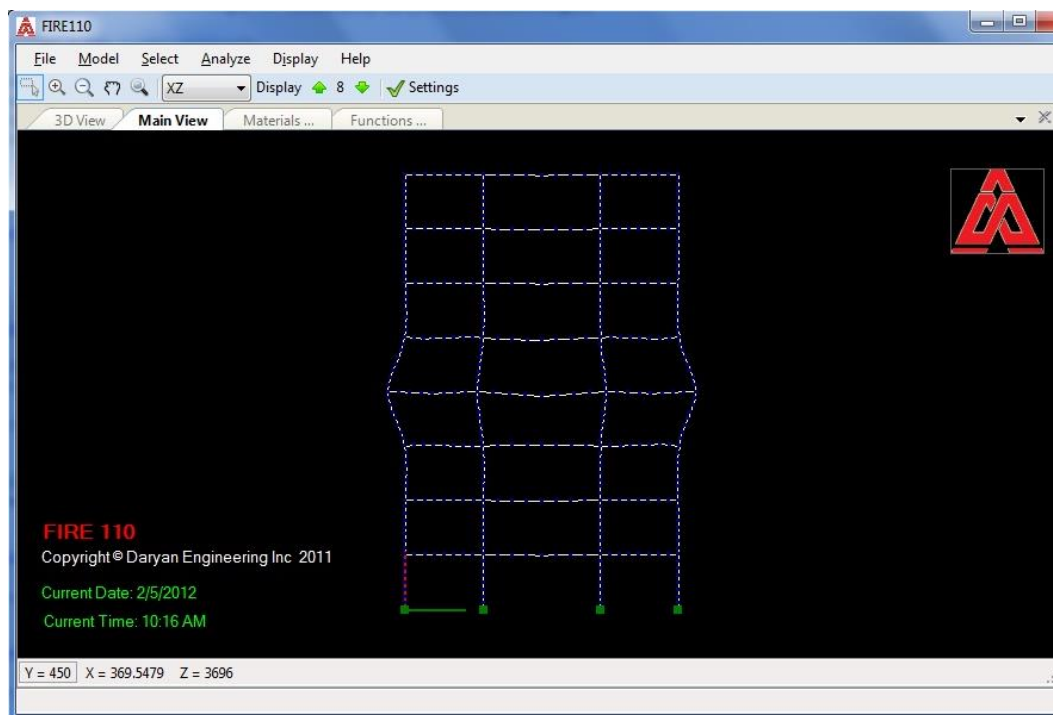
پروژه:

مهر ۹۴

۰۱



شکل ۲۲: تغییر مکان وسط دهانه ی تیر اصلی داخل در فازهای گرمایش و سرمایش



شکل ۲۳-الف: تغییر شکل قاب در ۶۵۰ °c در طول فاز گرمایش

FIRE 110 - معرفی نرم افزار



صفحه: ۲۰

DEP

PRJ

CAT

DIS

TYP

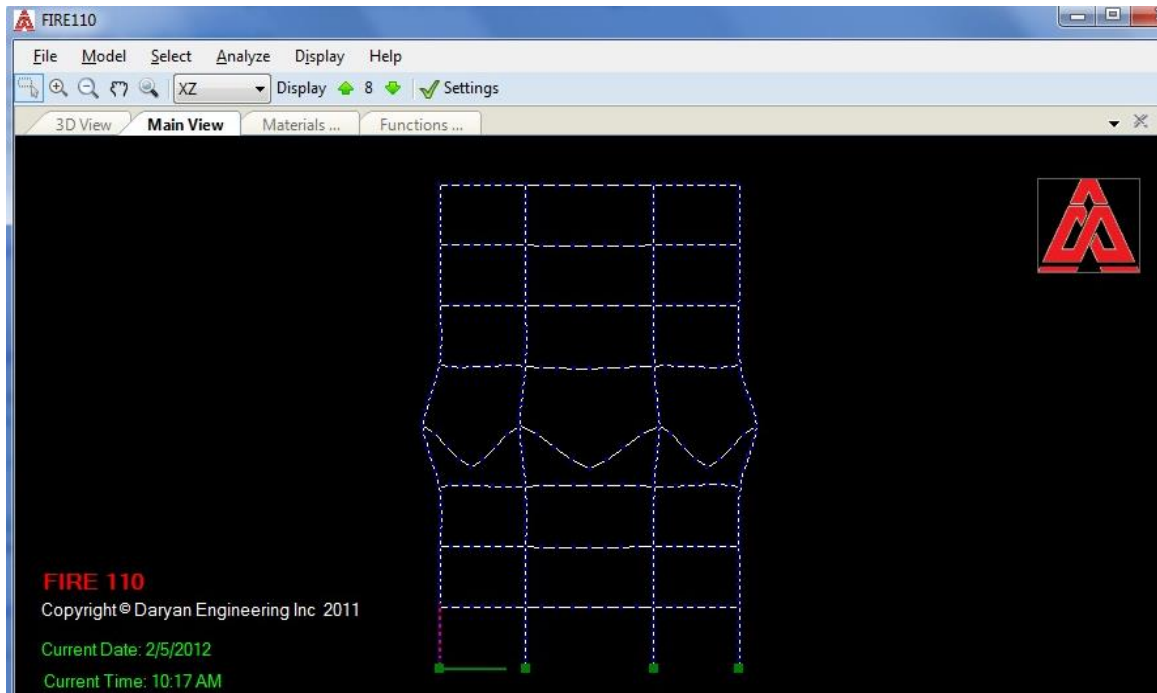
SEQ

REV

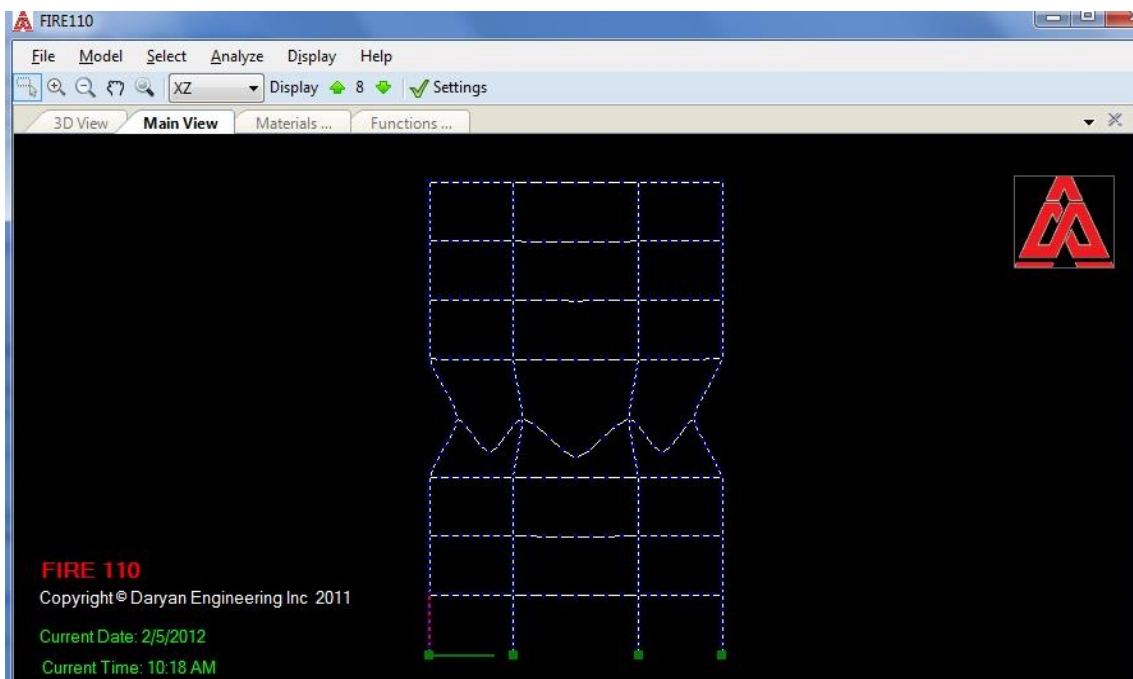
پروژه:

مهر ۹۴

۰۱



شکل ۲۴-ب: تغییر شکل قاب در دمای ماکزیمم ۸۰۰ °C



شکل ۲۵-ج: تغییر شکل قاب مسطح در ۲۰ °C پس از فاز خنک شدگی