



تحلیل بایدار سنه دژ

راهنمای نرم افزار تحلیل FRP

TAHLIL FRP

USER REFERENCE MANUAL

بهار ۹۹

راهنمای نرم افزار

تحلیل FRP

TAHLIL FRP

USER REFERENCE MANUAL

کلیه حقوق مادی و معنوی نرم افزار تحلیل FRP در اختیار گروه نرم افزاری تحلیل پایدار به مدیریت مهندس یدالله محمدی می باشد و هرگونه کپی برداری، تغییر یا اقتباس از این نرم افزار بدون مجوز از ناشر بر خلاف قانون حق مالکیت معنوی در جمهوری اسلامی ایران بوده و موجب پیگرد قانونی متخلفین می گردد.



www.TahlilPaydar.com

آدرس سایت:



@TahlilPaydar

کانال تلگرام:

بهار ۹۹

برنام خدا

مقدمه

یکی از مباحث مهم در حوزه سازه مبحث مقاوم سازی و بهسازی لرزه ای می باشد که این مسئله به دلایل اشتباهات در مراحل طراحی و اجرا، تغییر کاربری سازه، تغییرات آیین نامه و یا ایراد در مصالح مصرفی ایجاد می گردد. یکی از روشهای مقاوم سازی در حوزه سازه های بتنی، روش مقاوم سازی با الیاف FRP می باشد. با توجه به پیچیدگی و وقت گیر بودن و یک چرخه کنسل کننده در محاسبات مقاوم سازی با FRP نیاز به نرم افزارهای کامپیوتری ضروری می باشد. لذا در راستای خدمت به جامعه مهندسين سازه و کمک به دستیابی همکاران عزیز به روشهای دقیق و سریع محاسبات مقاوم سازی سازه های بتنی، این بار نرم افزار **تحلیل FRP** به شما عزیزان تقدیم می گردد.

برنامه **تحلیل FRP**، یک نرم افزار محاسبات مقاوم سازی بوده که در آن محاسبات تقویت خمشی، محاسبات تقویت برشی، محاسبات تقویت نیروی محوری و محاسبات تقویت اندرکنش نیروی محوری و لنگر خمشی برای پروژه های سازه ای بتن مسلح با استفاده از مصالح FRP ارائه شده است.

نسخه اولیه نرم افزار "**تحلیل FRP**" برای اولین بار در ایران در اواخر سال ۱۳۸۷ با هدف تسریع در محاسبات ظرفیت المان های سازه ای مقاوم سازی شده با الیاف FRP و بر اساس نشریه ۳۴۵ سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور "راهنمای طراحی و ضوابط اجرایی بهسازی ساختمان های بتنی موجود با استفاده از مصالح تقویتی FRP" و همچنین آیین نامه ACI440R-2R-2002 آمریکا برنامه نویسی شد. با گذشت زمان و نظر به خلا موجود در حوزه محاسبات مقاوم سازی و با توجه به تغییرات آیین نامه های مرتبط و پیشرفت های حاصل در محاسبات FRP مخصوصاً ویرایش جدید آیین نامه ACI440R-2R-2017 آمریکا، در سال ۱۳۹۷ ماجول محاسبات تقویت ترکیبی نیروی محوری-لنگر خمشی هم به برنامه اضافه گردید. نرم افزار "**تحلیل FRP**" دارای قفل سخت افزاری تک کاربره می باشد.

تمام تلاش برنامه نویسان و دست اندرکاران برنامه، ارائه نرم افزاری با محیط گرافیکی راحت و نتایج محاسباتی دقیق بوده که مطمئناً پیشنهادات شما مهندسين محترم در کامل تر نمودن نسخه های بعدی برنامه تاثیر بسزایی در پیشرفت کار ما خواهد داشت. شما می توانید از طریق آدرس پست الکترونیک ymohammadi60@yahoo.com و یا کانال تلگرامی [@TahlilPaydar](https://t.me/TahlilPaydar) ما را از پیشنهادات و انتقادات سازنده خود بهره مند سازید.

توافقنامه استفاده از نرم افزار

با توجه به پیچیدگی‌های محاسبات مهندسی، این نرم افزار بر اساس فرضیات و متدهای محاسباتی و آیین نامه ای که در زمان معرفی، تحویل و نصب آن توضیح داده شده طراحی و پیاده سازی شده است. لذا این نرم افزار می‌بایست توسط مهندس محاسب مجرب ذیصلاح مورد استفاده قرار گیرد و طبیعتاً مسئولیت تمامی نتایج حاصله نیز کاملاً به عهده کاربر می‌باشد. خرید این برنامه از سوی خریدار به منزله قبول و تایید نرم افزار است و چنانچه خطای محاسباتی در برنامه وجود داشته باشد، برنامه نویس هیچ مسئولیتی از این بابت ندارد. با این وجود، برنامه نویس پس از دریافت گزارش از کاربران نسبت به رفع خطاها در مدت زمانی که برای وی میسر باشد اقدام خواهد نمود. چنانچه خطای محاسباتی ناشی از عملیات ریاضی در برنامه مشاهده کردید لطفاً موارد را از طریق [آدرس ایمیل برنامه نویس](#) اطلاع دهید تا در کوتاهترین زمان ممکن نسبت به اصلاح آن اقدام گردد.

صاحب امتیاز ممکن است چند وقت یکبار نسبت به بروزرسانی نرم افزار و افزایش امکانات آن اقدام کند. در این صورت تهیه نسخه های جدید برنامه، دارای هزینه اضافی خواهد بود. همچنین در صورت آسیب دیدگی قفل سخت افزاری برنامه، برای جایگزینی و یا تعمیر آن هزینه مربوطه از خریدار اخذ خواهد شد هر نوع تکثیر، فروش، اجاره و بهره برداری از نرم افزار بدون مجوز کتبی صاحب امتیاز، پیگرد قانونی دارد.

قابلیت های نرم افزار تحلیل FRP

از جمله قابلیت های این نرم افزار می توان به موارد زیر اشاره نمود:

محاسبات تقویت خمشی

- لحاظ نمودن ضوابط آیین نامه ای ACI440R-2R-2017
- محاسبه کرنش اولیه بتن در زیر لایه FRP
- محاسبه و کنترل کرنش فشاری بتن
- محاسبه کرنش ویر آمدن FRP
- محاسبه تنش در FRP ناشی از پدیده های خزش و خستگی
- محاسبه تنش در میلگردهای کششی و FRP تحت بارهای نهایی
- محاسبه کرنش در FRP تحت بارهای نهایی
- کنترل تنش در فولاد و FRP تحت بارهای بهره برداری

محاسبات تقویت برشی

- محاسبه ظرفیت برشی مقطع بعد از تقویت
- لحاظ نمودن ضوابط آیین نامه ای ACI440R-2R-2017
- امکان انتخاب روشهای مختلف قرارگیری FRP
- امکان انتخاب نحوه آرایش FRP
- امکان انتخاب مقاطع دایره ای و مستطیلی
- کنترل کرنش موثر FRP در حالات مختلف قرارگیری
- کنترل محدودیت های تقویت برشی

محاسبات تقویت نیروی محوری و لنگر خمشی ستونها

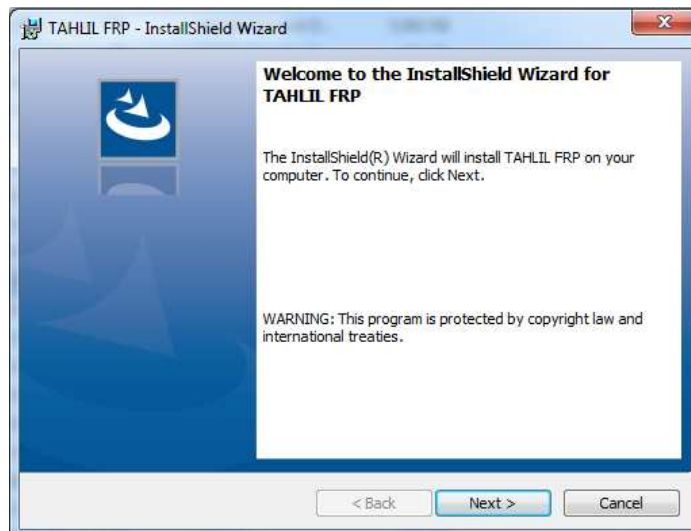
- لحاظ نمودن ضوابط آیین نامه ای ACI440R-2R-2017
- امکان انتخاب مقطع دایره ای و مقطع مستطیلی
- محاسبه نسبت حداقل محصورشدگی
- محاسبه حداکثر کرنش فشاری در بتن محصور
- کنترل تنش در فولاد، بتن و FRP تحت بارهای بهره برداری
- محاسبات اندرکنش P-M برای ستون های محصور با FRP
- ترسیم نمودار اندرکنش P-M برای ستون های محصور با FRP

مراحل نصب برنامه

پس از اجرای setup برنامه **تحلیل FRP**، پنجره‌های نصب را مطابق تصاویر زیر طی کنید.

پنجره اول (شروع مراحل نصب تحلیل FRP)

بر روی دکمه **Next** کلیک کنید.



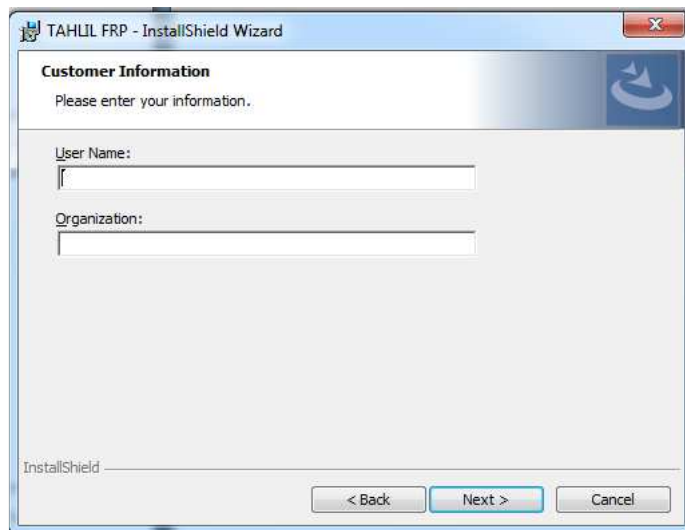
پنجره دوم (قبول توافقنامه)

چنانچه با مفاد توافق نامه درج شده در این پنجره موافقت دکمه رادیویی **موافقم** را کلیک کنید و در غیر اینصورت بر روی دکمه **Cancel** کلیک کنید تا از مراحل نصب **تحلیل FRP** خارج شوید.



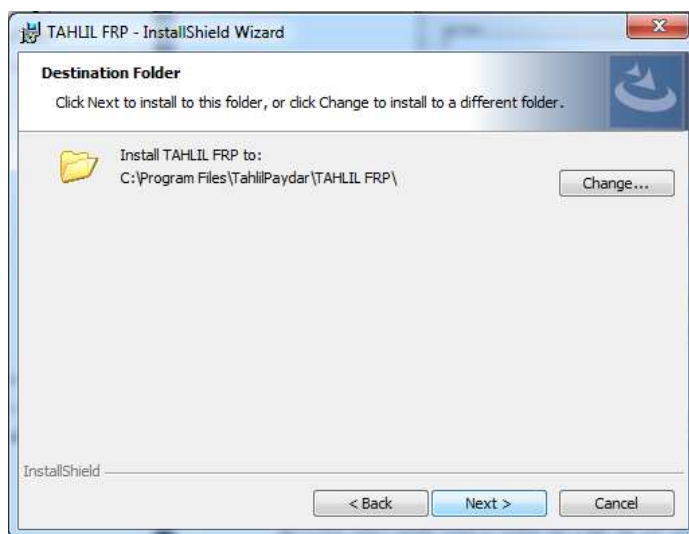
پنجره سوم (مشخصات کاربر)

در این پنجره در صورت تمایل می توانید اطلاعات کاربر را وارد کنید و سپس بر روی دکمه Next کلیک کنید.



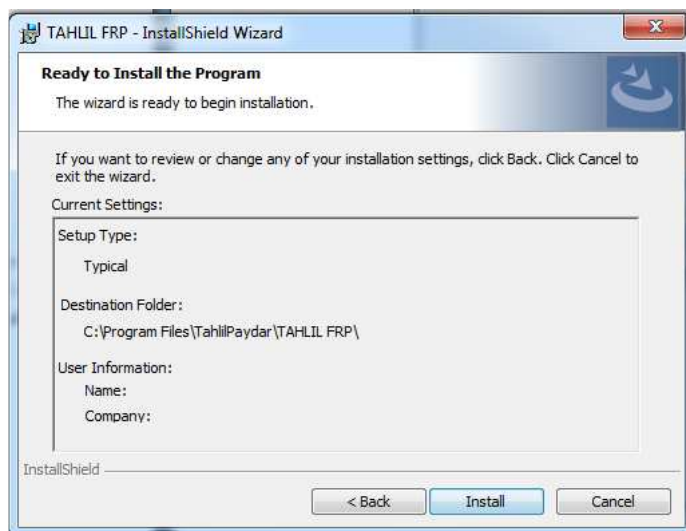
پنجره چهارم (انتخاب محل نصب)

در این پنجره محل نصب نرم افزار تعیین می شود. در صورتی که تمایل دارید نرم افزار در آدرس دیگری نصب شود بر روی دکمه Change کلیک کرده و آدرس جدید را انتخاب کنید. و در نهایت بر روی دکمه Next کلیک کنید.



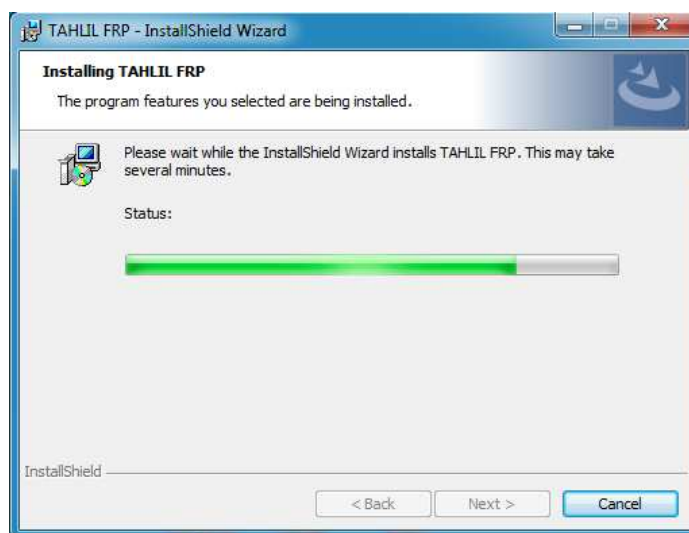
پنجره پنجم (توضیحات نصب)

در این قسمت اطلاعاتی در مورد محل نصب و میانبرهای نرم افزار داده می شود، در صورتی که با این اطلاعات موافقید بر روی دکمه Next کلیک کنید. در غیر اینصورت برای اصلاح اطلاعات بر روی دکمه Back کلیک کنید.



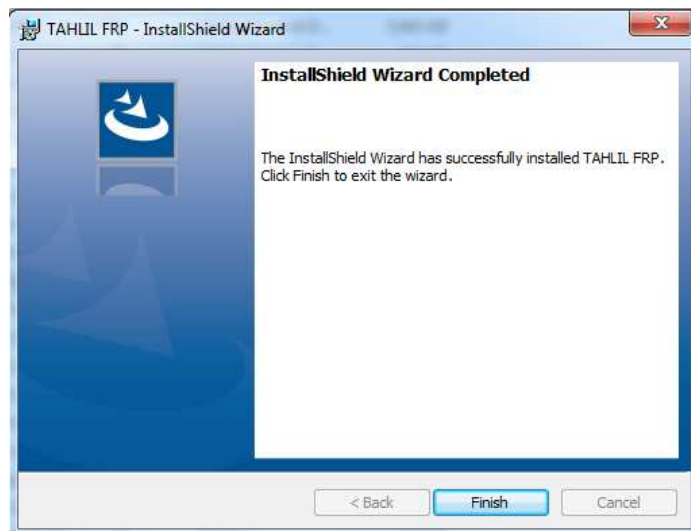
پنجره ششم (نمایش پیشرفت نصب برنامه)

تا پایان مراحل نصب منتظر بمانید، این بخش ممکن است چند دقیقه به طول بیانجامد. در صورت انصراف از نصب برنامه بر روی دکمه Cancel کلیک کنید. مراحل نصب متوقف خواهد شد و شما می توانید بعداً به نصب **تحلیل FRP** اقدام کنید.



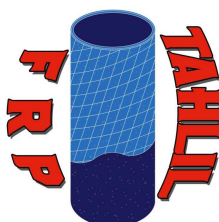
پنجره هفتم (پایان مراحل نصب)

در این قسمت مراحل نصب **تحلیل FRP** به پایان رسیده است لذا بر روی دکمه **Finish** کلیک کنید.



اجرای برنامه

برای اجرای برنامه، ابتدا قفل سخت افزاری را به پورت کامپیوتر متصل نمایید سپس برنامه را از طریق میانبر مربوطه بر روی صفحه نمایش یا از زیرشاخه آن در منوی **start** اجرا کنید. در صورتی که قفل سخت افزاری به سیستم متصل نباشد پیغام "قفل پیدا نشد" نمایش داده می شود، در اینحالت بر روی دکمه **OK** کلیک کرده و پس از اتصال قفل سخت افزاری، مجدداً برنامه را اجرا نمایید.



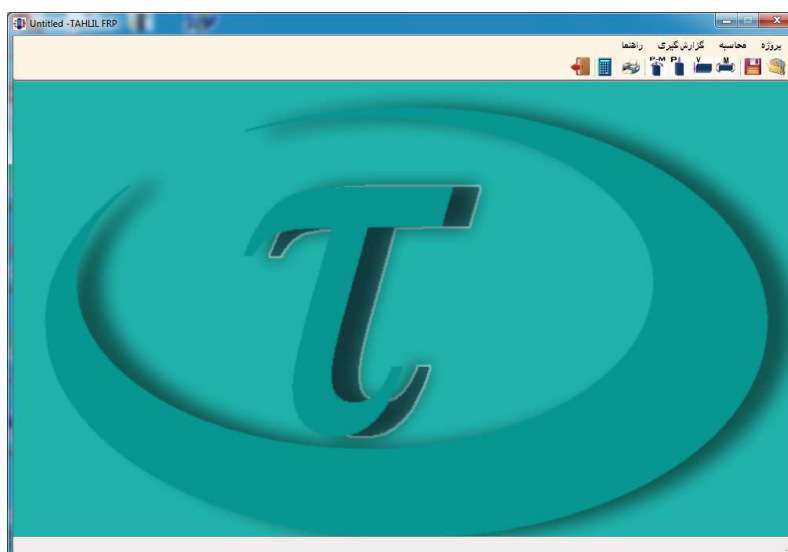
شروع کار با برنامه

ایجاد پروژه جدید

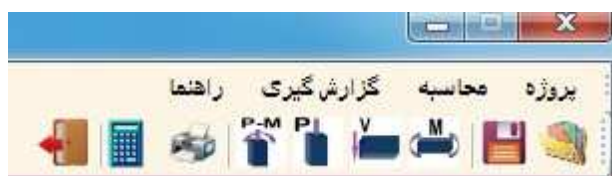
پس از اجرای برنامه وارد محیط نرم افزار می شوید. جهت ایجاد پروژه جدید کافی است روی یکی از دکمه های محاسبات چهارگانه تقویت خمشی، تقویت برشی، تقویت محوری و یا تقویت محوری- خمشی در قسمت نوار ابزار اصلی یا از



منو محاسبه کلیک کنید

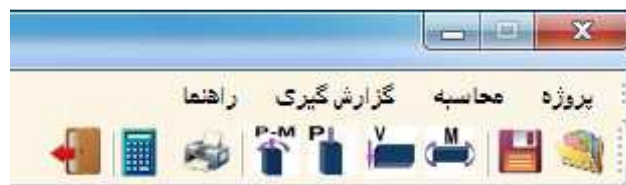


محیط برنامه




بازکردن پروژه قبلی

به منظور باز کردن پروژه ای که قبلا ذخیره شده، کافی است روی دکمه "باز کردن پرونده" در قسمت نوار ابزار اصلی یا از منو پروژه کلیک کنید:



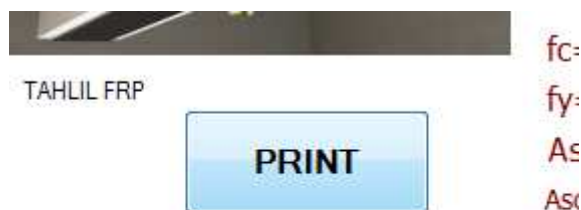
ذخیره پروژه

جهت ذخیره یک پروژه روی دکمه "ذخیره"  در قسمت "پروژه" و یا در نوار ابزار کلیک کنید. کلیه اطلاعات ورودی مربوط به این پروژه در بانک اطلاعاتی ذخیره خواهد شد. توجه کنید که عملیات ذخیره قابل برگشت نیست به این معنی که روی اطلاعات موجود پروژه بازنویسی می شود.



چاپ گزارش محاسبات

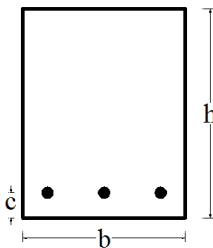
به طور کلی تمام انواع محاسبات در "تحلیل اف.آر.پی" دارای خروجی نتایج هستند. به این معنی که پس از ورود اطلاعات و فشردن کلید "محاسبه" نتایج محاسبه آماده ارائه می شود و چنانچه مایل به چاپ آن باشید با فشردن کلید "چاپ" یا از منوی گزارش گیری و انتخاب گزارش محاسباتی مربوطه وارد صفحه چاپ می شوید. در این صفحه دفترچه محاسبات آماده شده و برای کاربر نمایش داده می شود که با فشردن دکمه **print** گزارش را چاپ کرد.



ما ج ا ن خ ل ی ل

بخش محاسبات تقویت خمشی

برای ورود به این بخش لازم است روی دکمه محاسبات خمشی کلیک کنید. در این بخش نحوه تحلیل و طراحی برای تقویت خمشی اعضای بتن مسلح مانند تیرها و دالها به وسیله FRP ارائه شده است.



مشخصات المان

نام المان: بر چسب یا نام انتخابی جهت شناسایی المان مورد نظر

عرض: عرض مقطع المان خمشی (b) که بر حسب میلیمتر وارد می شود

ارتفاع: ارتفاع مقطع المان خمشی (h) که بر حسب میلیمتر وارد می گردد

پوشش بتن: برابر فاصله لایه خارجی مقطع تا مرکز آرماتورهای طولی مقطع (c) بر حسب میلیمتر می باشد

مشخصات مصالح سازه ای مقطع

مقاومت بتن مقطع (f_c): مقاومت استوانه ای وضع موجود المان خمشی بر حسب نیوتن بر میلیمتر مربع یا مگاپاسکال. یعنی مقاومتی که بتن سازه در زمان محاسبات دارا می باشد. ممکن است این مقاومت با مقاومت مشخصه طرح تفاوت داشته باشد.

مقاومت تسلیم آرماتور (f_y): مقاومت تسلیم آرماتورهای طولی المان خمشی بر حسب نیوتن بر میلیمتر مربع مثلاً برای آرماتور AIII این مقدار حدود ۴۰۰ مگاپاسکال و برای AII حدود ۳۰۰ مگاپاسکال می باشد.

مساحت آرماتورهای کششی (A_s): مساحت آرماتورهای طولی کششی مقطع خمشی بر حسب میلیمتر مربع. این آرماتورها را با توجه به علامت لنگر خمشی مقطع محاسبه کنید. مثلاً بر اساس یک توافق برای ناحیه لنگر مثبت یک تیر این آرماتورها در پایین تیر و برای ناحیه لنگر منفی تیر در سفره فوقانی تیر قراردارند.

مساحت آرماتورهای فشاری (A_{sc}): مساحت آرماتورهای طولی ناحیه فشاری مقطع خمشی بر حسب میلیمتر مربع.

شرایط محیطی المان

نشان دهنده وضعیت محیطی المان از لحاظ تهاجم و خوردگی محیط و یخزدگی و ذوب آب موجود در المان و حمله مواد شیمیایی خوردنده بتن و اف. آر پی می باشد و این ضریب با توجه به انتخاب شرایط محیطی و نوع الیاف FRP مصرفی به صورت اتوماتیک توسط نرم افزار انتخاب می گردد.

شرایط محیطی	نوع الیاف	ضریب کاهش عوامل محیطی (CE)
محیط داخلی ساختمان یا محیط حفاظت شده	کربن	۰.۹۵
	شیشه	۰.۷۵
	آرامید	۰.۸۵
محیط خارجی (پل ها، پایه ها، توقفگاه - های باز) و سطح دیوارهای آجری خارجی	کربن	۰.۸۵
	شیشه	۰.۶۵
	آرامید	۰.۷۵
شرایط محیطی مهاجم (سایتهای شیمیایی و تصفیه آب فاضلاب) و دیوارهای آجری زیرزمین	کربن	۰.۸۵
	شیشه	۰.۵۰
	آرامید	۰.۷۰

مشخصات الیاف FRP

نوع الیاف: با توجه به قضاوت مهندسی، دسترس بودن الیاف موجود در بازار و... یکی از انواع کربن، شیشه یا آرامید انتخاب می گردد. عمدتاً در مقاوم سازی ساختمانها در ایران الیاف کربن بیشتر در دسترس بوده و عمومیت دارد.

ضخامت هر لایه الیاف (tf): ضخامت یک لایه از الیاف خام می باشد که هنوز فراوری نشده و به رزین آغشته نشده است. این ضخامت از روی برگه مشخصات فنی الیاف اف.آر.پی و بر حسب میلیمتر وارد می گردد.

مشخصه های مقاومت کششی نهایی (fu): مقاومت کششی نهایی الیاف FRP که از روی کاتالوگ فنی الیاف و بر حسب نیوتن بر میلیمتر مربع وارد می شود.

ضریب ارتجاعی (Ef): مدول ارتجاعی یا کشسانی الیاف FRP که از روی کاتالوگ فنی الیاف و بر حسب نیوتن بر میلیمتر مربع وارد می شود.

کرنش شکست (εu): کرنش نهایی خطی الیاف می باشد که از روی کاتالوگ فنی الیاف اف.آر.پی و بر حسب میلیمتر بر میلیمتر یا بدون واحد وارد می گردد. در صورتیکه در کاتالوگ این مقدار به صورت درصد نوشته شده باشد، در زمان وارد کردن در نرم افزار لازم است این مقدار تقسیم بر صد گردد.

بارهای وارده

لنگر خمشی اولیه (Mo): لنگری است که در زمان مقاوم سازی سازه در المان وجود دارد و با توجه به بارهای موجود وارد بر سازه محاسبه می گردد و عمدتاً ناشی از بارهای مرده (DL) موجود می باشد و واحد آن کیلونیوتن-متر می باشد.

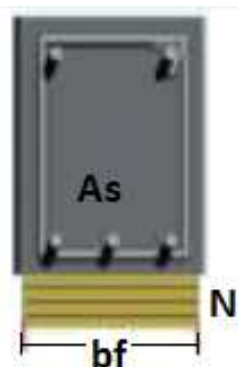
لنگر خمشی بهره برداری (Mserv): مقدار این لنگر بر اساس ترکیبات بار بهره برداری ناشی از بارهای مرده، زنده و سربار محاسبه می گردد (DL+LL). از این لنگر جهت محاسبه و کنترل تنش های بهره برداری بتن و آرماتور استفاده می گردد و واحد آن کیلونیوتن متر می باشد

لنگر خمشی نهایی (Mu): حداکثر مقدار لنگر خمشی وارده به المان سازه ای است که بر اساس ترکیبات بار حالت حدی نهایی ناشی از بارهای مرده، زنده، زلزله و محاسبه می گردد. یعنی حداکثر لنگری که نیاز است که مقطع المان تحمل نماید و واحد آن کیلونیوتن متر می باشد

طرح پیشنهادی

عرض الیاف (bf): عرض لایه الیاف براساس فرض مقادیر مختلف و محاسبه آن و تطبیق نتیجه ظرفیت محاسباتی با ظرفیت خمشی مورد نیاز و بر حسب میلیمتر می باشد و حداکثر مقدار آن برابر عرض مقطع می باشد. عرض کلاف های FRP موجود در بازار ۵۰ سانتیمتر است. مثلاً برای یک تیر با عرض ۴۰۰ میلیمتر تنها می توان تا عرض ۴۰۰ میلیمتر الیاف به کار برد و مابقی ۱۰۰ میلیمتر عرض FRP یا باید برش داده شود یا روی اضلاع جانبی تیر خم شود و تاثیری در افزایش ظرفیت خمشی ندارد.

تعداد لایه (N): تعداد لایه الیاف که روی همدیگر و روی مقطع چسبانده می شود. این تعداد لایه با توجه به عرض الیاف و مقایسه ظرفیت نهایی مقطع و حداکثر لنگر وارده به راحتی بدست می آید. بیشترین درصد مقاوم سازی عمدتاً در تعداد یک لایه ایجاد می شود و با افزایش تعداد لایه ها میزان درصد مقاوم سازی چندان افزایش نمی یابد.



نتایج

ظرفیت نهایی مقطع تیر: ظرفیت نهایی خمشی مقطع تقویت شده بر حسب کیلونیوتن-متر می باشد که حاصل جمع ظرفیت خمشی مقطع موجود و لایه های الیاف FRP می باشد.

کرنش اولیه در لایه خارجی بتن: کرنش ایجاد شده توسط لنگر خمشی اولیه (Mo) در دورترین تار کششی مقطع بتنی.

تنش بهره برداری در آرماتورها: تنش ایجاد شده در آرماتورهای مقطع بتنی تحت لنگر خمشی بهره برداری (Mserv). حداکثر مقدار آن بر اساس آیین نامه توسط برنامه محاسبه شده و در صورتیکه تنش بهره برداری از این مقدار فراتر برود برنامه اخطار لازم را نمایش می دهد.

تنش بهره برداری در لایه های FRP: تنش ایجاد شده در نوارهای FRP تحت لنگر خمشی بهره برداری (Mserv). حداکثر مقدار آن توسط برنامه محاسبه شده و در صورتیکه تنش بهره برداری از این مقدار فراتر برود برنامه اخطار لازم را نمایش می دهد.

بخش محاسبات تقویت برشی

برای ورود به این بخش لازم است روی دکمه محاسبات برشی کلیک کنید. در این بخش نحوه تحلیل و طراحی برای تقویت برشی اعضای بتن مسلح مثل تیرها و ستونها به وسیله FRP ارائه شده است.



مشخصات المان

نام المان: برچسب یا نام انتخابی جهت شناسایی المان مورد نظر

انتخاب شکل مقطع

۱- مقطع دایره ای

قطر دایره (D): قطر مقطع دایره ای المان بر حسب میلیمتر برای محاسبات برش. مقطع دایره عمدتاً در ستونها وجود دارد.

پوشش بتن (c): برابر فاصله لایه خارجی مقطع تا مرکز آرماتورهای طولی مقطع بر حسب میلیمتر می باشد.

۲- مقطع مستطیلی

عرض (b): عرض مقطع المان برشی که بر حسب میلیمتر وارد می شود

ارتفاع (h): ارتفاع مقطع المان برشی که در راستای نیروی برشی قرار دارد و بر حسب میلیمتر وارد می گردد

پوشش بتن (c): برابر فاصله لایه خارجی مقطع تا مرکز آرماتورهای طولی مقطع بر حسب میلیمتر می باشد.

مشخصات مصالح سازه ای مقطع

مقاومت بتن مقطع (fc): مقاومت استوانه ای وضع موجود المان برشی بر حسب نیوتن بر میلیمتر مربع یا مگاپاسکال

مقاومت تسلیم آرماتور برشی (fyv): مقاومت تسلیم آرماتورهای عرضی (خاموتها) بر حسب نیوتن بر میلیمتر مربع

مساحت خاموت یا تنگ برشی (Asv): مساحت کل خاموت ها یا تنگ ها در یک لایه (مثلا در یک خاموت بسته ، این مقدار برابر است با مساحت دو ساق خاموت یا اگر یک سنجاقی باشد ،مساحت یک ساق بر حسب میلیمتر مربع

فاصله خاموت یا تنگ برشی (S): فاصله هر خاموت یا تنگ برشی با لایه بعدی بر حسب میلیمتر

شرایط محیطی المان سازه ای

نشان دهنده وضعیت محیطی المان از لحاظ تهاجم و خوردگی محیط و یخزدگی و ذوب آب موجود در المان و حمله مواد شیمیایی خوردنده بتن و اف. آر پی می باشد و این ضریب با توجه به انتخاب شرایط محیطی و نوع الیاف FRP مصرفی به صورت اتوماتیک توسط نرم افزار انتخاب می گردد.

شرایط محیطی	نوع الیاف	ضریب کاهش عوامل محیطی (CE)
محیط داخلی ساختمان یا محیط حفاظت شده	کربن	۰.۹۵
	شیشه	۰.۷۵
	آرامید	۰.۸۵
محیط خارجی (پل ها، پایه ها، توقفگاه- های باز) و سطح دیوارهای آجری خارجی	کربن	۰.۸۵
	شیشه	۰.۶۵
	آرامید	۰.۷۵
شرایط محیطی مهاجم (سایتهای شیمیایی و تصفیه آب فاضلاب) و دیوارهای آجری زیرزمین	کربن	۰.۸۵
	شیشه	۰.۵۰
	آرامید	۰.۷۰

مشخصات الیاف FRP

نوع الیاف: با توجه به قضاوت مهندسی، دسترس بودن الیاف موجود در بازار و... یکی از انواع کربن، شیشه یا آرامید انتخاب می گردد. عمدتاً در مقاوم سازی ساختمانها در ایران الیاف کربن بیشتر در دسترس بوده و عمومیت دارد.

ضخامت هر لایه الیاف (tf): ضخامت یک لایه از الیاف خام می باشد که هنوز فراوری نشده و به رزین آغشته نشده است. این ضخامت از روی برگه مشخصات فنی الیاف اف. آر. پی و بر حسب میلیمتر وارد می گردد.

مشخصه های مقاومت کششی نهایی (fu): مقاومت کششی نهایی الیاف FRP که از روی کاتالوگ فنی الیاف و بر حسب نیوتن بر میلیمتر مربع وارد می شود.

ضریب ارتجاعی (Ef): مدول ارتجاعی یا کشسانی الیاف FRP که از روی کاتالوگ فنی الیاف و بر حسب نیوتن بر میلیمتر مربع وارد می شود.

کرنش شکست (eu): کرنش نهایی خطی الیاف می باشد که از روی کاتالوگ فنی الیاف اف.آر.پی و بر حسب میلیمتر بر میلیمتر یا بدون واحد وارد می گردد. در صورتیکه در کاتالوگ این مقدار به صورت درصد نوشته شده باشد، در زمان وارد کردن در نرم افزار لازم است این مقدار تقسیم بر صد گردد.

نحوه اتصال الیاف

نحوه اتصال الیاف یعنی شکل قرارگیری الیاف روی بدنه مقطع می باشد. سناریوی نحوه اتصال الیاف بر مقطع با توجه به شرایط المان سازه و دسترسی به مقطع و محدودیت های سازه ای و توجه به ظرفیت های سازه ای تعیین می شود. مثلا برای یک تیر متصل به دال، امکان دورپیچ کامل تیر با FRP وجود ندارد و باید از دو حالت دیگر استفاده کرد.

دورپیچ کامل: حالتی که در آن الیاف دور مقطع پیچیده می شود و دو سر الیاف روی هم همپوشانی دارند و این حالت هم در ستونها و هم در تیرها کاربرد دارد.

اتصال بر سه وجه: حالتی که در آن الیاف به صورت "یو شکل" بر دو وجه کناری و وجه زیرین المان متصل می گردد. این حالت عمدتا در تیرهای سقف رایج است

اتصال بر دو وجه جانبی: حالتی که در آن الیاف بر دو وجه کناری که با هم موازی هستند متصل می گردد و در تیرهای رایج است.



نحوه آرایش نوارهای اف.آر.پی

پس از اینکه نحوه اتصال الیاف FRP روی مقطع سازه ای تعیین شد. حالت آرایش الیاف تعیین می گردد. نحوه آرایش در واقع وضعیت الیاف در راستای طولی عضو می باشد که ممکن است به صورت با فاصله یا یکسره اجرا گردد. هر دو حالت چپش، در اجرا رایج است.

۱- حالت ممتد

در حالت ممتد لبه نوارهای FRP در کنار هم قرار گرفته و نباید فاصله ای بین آنها ایجاد گردد (لب به لب).

ارتفاع نوارها: ارتفاع نوار الیاف از زیر ضلع مقطع تا محل برش الیاف یا به عبارتی طول قائم FRP در روی ارتفاع مقطع است و ممکن است با ارتفاع مقطع المان تفاوت داشته باشد.



زاویه نوارها: زاویه نوار اف. آر. پی با محور طولی عضو سازه ای بر حسب درجه (از صفر تا نود درجه) می باشد. در حالت ممتد مقدار این زاویه نود درجه می باشد.

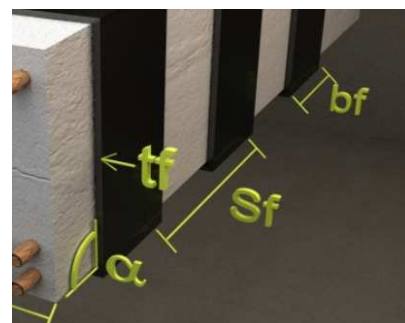
۲- حالت با فاصله

عرض نوارها (bf): عرض نوار در امتداد طولی المان در واحد میلیمتر می باشد

ارتفاع نوارها (df): ارتفاع یا طول نوار الیاف از زیر ضلع مقطع تا محل برش الیاف یا به عبارتی طول قائم FRP در روی ارتفاع مقطع است و ممکن است با ارتفاع مقطع المان تفاوت داشته باشد. (مطابق تصویر قبل)

فاصله نوارها: فاصله محور تا محور نوارهای اف. آر. پی به میلیمتر

زاویه نوارها: زاویه نوار اف. آر. پی با محور طولی عضو سازه ای بر حسب درجه (از صفر تا نود درجه) می باشد



بارهای وارده

نیروی برشی (Vu): حداکثر مقدار نیروی برشی وارده به المان سازه ای است که بر اساس ترکیبات بار حالت حدی نهایی ناشی از بارهای مرده، زنده، زلزله و محاسبه می گردد و واحد آن کیلونیوتن می باشد.

نتایج

تعداد لایه FRP مورد نیاز: تعداد لایه FRP جهت مقاوم سازی برشی مقطع که توسط برنامه بدست می آید.

ظرفیت برشی مقطع تقویت شده: ظرفیت نهایی برشی مقطع تقویت شده بر حسب کیلونیوتن می باشد که حاصل جمع ظرفیت برشی بتن، خاموتها و الیاف FRP می باشد.

بخش محاسبات تقویت ظرفیت نیروی محوری

برای ورود به این بخش لازم است روی دکمه محاسبات تقویت محوری کلیک کنید. در این بخش نحوه تحلیل و طراحی برای تقویت ظرفیت محوری اعضای بتن مسلح ستونها به وسیله FRP ارائه شده است.



مشخصات المان

نام المان: برچسب یا نام انتخابی جهت شناسایی المان مورد نظر

انتخاب شکل مقطع

۱- مقطع دایره ای

قطر دایره (D): قطر مقطع دایره ای المان بر حسب میلیمتر

پوشش بتن (c): برابر فاصله لایه خارجی مقطع تا مرکز آرماتورهای طولی مقطع بر حسب میلیمتر می باشد.

۲- مقطع مستطیلی

عرض (b): عرض مقطع المان فشاری ستون که بر حسب میلیمتر وارد می شود.

ارتفاع (h): ارتفاع مقطع المان ستون و بر حسب میلیمتر وارد می گردد.

پوشش بتن (c): برابر فاصله لایه خارجی مقطع تا مرکز آرماتورهای طولی مقطع بر حسب میلیمتر می باشد

شعاع انحنا (rc): شعاع دایره پخ زدن گوشه مقطع مستطیلی بر حسب میلیمتر جهت جلوگیری از ایجاد لبه تیز در مقاطع با FRP دورپیچ در ستونها. حداقل این مقدار مطابق آیین نامه های جاری ۳۵ میلیمتر می باشد.

مشخصات مصالح سازه ای مقطع

مقاومت بتن مقطع (fc): مقاومت استوانه ای وضع موجود ستون بر حسب نیوتن بر میلیمتر مربع یا مگاپاسکال

مقاومت تسلیم آرماتور طولی (fy): مقاومت تسلیم آرماتورهای طولی بر حسب نیوتن بر میلیمتر مربع

مساحت کل میلگردهای طولی (As): مساحت کل میلگردهای طولی مقطع بر حسب میلیمتر مربع

شرایط محیطی المان سازه ای

نشان دهنده وضعیت محیطی المان از لحاظ تهاجم و خوردگی محیط و یخزدگی و ذوب آب موجود در المان و حمله مواد شیمیایی خوردنده بتن و اف. آر پی می باشد و این ضریب با توجه به انتخاب شرایط محیطی و نوع الیاف FRP مصرفی به صورت اتوماتیک توسط نرم افزار انتخاب می گردد.

ضریب کاهش عوامل محیطی (CE)	نوع الیاف	شرایط محیطی
۰.۹۵	کربن	محیط داخلی ساختمان یا محیط حفاظت شده
۰.۷۵	شیشه	
۰.۸۵	آرامید	
۰.۸۵	کربن	محیط خارجی (پل ها، پایه ها، توقفگاه - های باز) و سطح دیوارهای آجری خارجی
۰.۶۵	شیشه	
۰.۷۵	آرامید	
۰.۸۵	کربن	شرایط محیطی مهاجم (سایتهای شیمیایی و تصفیه آب فاضلاب) و دیوارهای آجری زیرزمین
۰.۵۰	شیشه	
۰.۷۰	آرامید	

مشخصات الیاف FRP

نوع الیاف: با توجه به قضاوت مهندسی، دسترس بودن الیاف موجود در بازار و... یکی از انواع کربن، شیشه یا آرامید انتخاب می گردد. عمدتاً در مقاوم سازی ساختمانها در ایران الیاف کربن بیشتر در دسترس بوده و عمومیت دارد.

ضخامت هر لایه الیاف (tf): ضخامت یک لایه از الیاف خام می باشد که هنوز فراوری نشده و به رزین آغشته نشده است. این ضخامت از روی برگه مشخصات فنی الیاف اف.آر.پی و بر حسب میلیمتر وارد می گردد.

مشخصه های مقاومت کششی نهایی (**fu**): مقاومت کششی نهایی الیاف FRP که از روی کاتالوگ فنی الیاف و بر حسب نیوتن بر میلیمتر مربع وارد می شود.

ضریب ارتجاعی (**Ef**): مدول ارتجاعی یا کشسانی الیاف FRP که از روی کاتالوگ فنی الیاف و بر حسب نیوتن بر میلیمتر مربع وارد می شود.

کرنش شکست (**eu**): کرنش نهایی خطی الیاف می باشد که از روی کاتالوگ فنی الیاف اف.آر.پی و بر حسب میلیمتر بر میلیمتر یا بدون واحد وارد می گردد. در صورتیکه در کاتالوگ این مقدار به صورت درصد نوشته شده باشد، در زمان وارد کردن در نرم افزار لازم است این مقدار تقسیم بر صد گردد.

بارهای وارده

بار محوری (**Pu**): حداکثر مقدار نیروی محوری وارده به ستون است که بر اساس ترکیبات بار حالت حدی نهایی ناشی از بارهای مرده، زنده، زلزله و محاسبه می گردد و واحد آن کیلونیوتن می باشد.

نتایج

تعداد لایه FRP مورد نیاز: تعداد لایه FRP جهت دورپیچ مقطع که پس از محاسبه توسط برنامه بدست می آید. مقدار بدست آمده ممکن است اعشاری باشد و طراح با توجه به مقدار آن و ظرفیت مقطع می تواند آنرا به یک عدد صحیح به سمت بالا یا پایین گرد کند.

نسبت حداقل محصورشدگی: نسبت حداقل فشار محصورشدگی ناشی از دورپیچ با FRP می باشد و حداقل آن بر اساس آیین نامه ۰.۰۸ می باشد. در صورتیکه در یک طرح محاسباتی این نسبت کمتر از ۰.۰۸ باشد باید با افزایش تعداد لایه ها این نسبت را افزایش داد.

حداکثر کرنش فشاری در بتن محصور: حداکثر کرنش فشاری ایجاد شده تحت بارهای وارده در حالتی که مقطع دورپیچ شده باشد. این مقدار باید کمتر از ۰.۰۱ باشد. هر چه تعداد لایه الیاف دورپیچ افزایش یابد این مقدار کرنش نیز افزایش می یابد.

محاسبات تقویت اندرکنش نیروی محوری – لنگر خمشی

این بخش جهت محاسبات مقاوم سازی ستونهای دارای بار محوری و لنگر خمشی طراحی شده است. برای ورود به این بخش لازم است روی دکمه محاسبات تقویت اندرکنش نیروی محوری- لنگر خمشی کلیک کنید. در این بخش نحوه تحلیل و طراحی برای تقویت ظرفیت اندرکنش نیروی محوری- لنگر خمشی اعضای بتن مسلح ستونها به وسیله FRP ارائه شده است.



مشخصات المان

نام المان: برچسب یا نام انتخابی جهت شناسایی المان مورد نظر

انتخاب شکل مقطع

۱- مقطع دایره ای

قطر دایره (D): قطر مقطع دایره ای المان بر حسب میلیمتر

پوشش بتن (c): برابر فاصله لایه خارجی مقطع تا مرکز آرماتورهای طولی مقطع بر حسب میلیمتر می باشد.

تعداد میلگرد: تعداد میلگردهای طولی موجود در مقطع دایره ای ستون.

قطر میلگرد: قطر میلگردهای طولی موجود در مقطع دایره ای ستون بر حسب میلیمتر.

۲- مقطع مستطیلی

عرض (b): عرض مقطع المان فشاری ستون که بر حسب میلیمتر وارد می شود.

ارتفاع (h): ارتفاع مقطع المان ستون و بر حسب میلیمتر وارد می گردد.

در واقع عرض و ارتفاع مقطع بر اساس راستای لنگر تعیین می شود. در یک مقطع، ضلعي که در راستای لنگر وارد بر مقطع قرار دارد ضلع ارتفاعی می باشد. برای یک ستون که دارای خمش دو محوره می باشد، این عرض و ارتفاع برای لنگر هر جهت جایشان عوض می گردد. مثلاً ضلعي که برای لنگر حول محور X ارتفاع فرض می گردد، برای لنگر حول محور Y تبدیل به عرض می گردد.

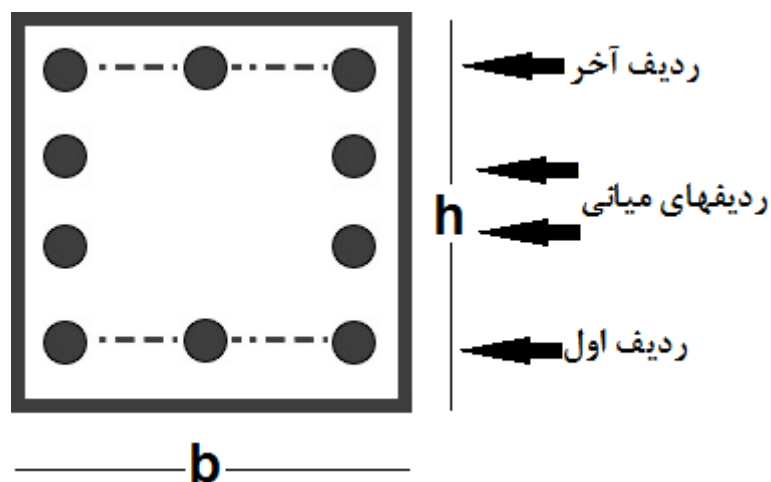
پوشش بتن (c): برابر فاصله لایه خارجی مقطع تا مرکز آرماتورهای طولی مقطع بر حسب میلیمتر می باشد

شعاع انحنا (rc): شعاع دایره پخ زدن گوشه مقطع مستطیلی بر حسب میلیمتر جهت جلوگیری از ایجاد لبه تیز در مقاطع با FRP دورپیچ در ستونها. حداقل این مقدار مطابق آیین نامه های جاری ۳۵ میلیمتر می باشد.

تعداد میلگرد ردیفهای اول و آخر: تعداد میلگردهای ردیفهای ابتدا و انتهای مقطع ستون

تعداد ردیف میلگردهای میانی: تعداد ردیف میلگردهایی که مابین ردیف ابتدا و انتهای مقطع قرار دارند.

قطر میلگرد: قطر میلگردهای موجود در مقطع به میلیمتر.



مشخصات مصالح سازه ای مقطع

مقاومت بتن مقطع (fc): مقاومت استوانه ای وضع موجود ستون بر حسب نیوتن بر میلیمتر مربع یا مگاپاسکال

مقاومت تسلیم آرماتور طولی (fy): مقاومت تسلیم آرماتورهای طولی بر حسب نیوتن بر میلیمتر مربع

مشخصات الیاف FRP

نوع الیاف: با توجه به قضاوت مهندسی، دسترس بودن الیاف موجود در بازار و... یکی از انواع کربن، شیشه یا آرامید انتخاب می گردد. عمدتاً در مقاوم سازی ساختمانها در ایران الیاف کربن بیشتر در دسترس بوده و عمومیت دارد.

ضخامت هر لایه الیاف (tf): ضخامت یک لایه از الیاف خام می باشد که هنوز فراوری نشده و به رزین آغشته نشده است. این ضخامت از روی برگه مشخصات فنی الیاف اف.آر.پی و بر حسب میلیمتر وارد می گردد.

مشخصه های مقاومت کششی نهایی (fu): مقاومت کششی نهایی الیاف FRP که از روی کاتالوگ فنی الیاف و بر حسب نیوتن بر میلیمتر مربع وارد می شود.

ضریب ارتجاعی (Ef): مدول ارتجاعی یا کشسانی الیاف FRP که از روی کاتالوگ فنی الیاف و بر حسب نیوتن بر میلیمتر مربع وارد می شود.

کرنش شکست (eu): کرنش نهایی خطی الیاف می باشد که از روی کاتالوگ فنی الیاف اف.آر.پی و بر حسب میلیمتر بر میلیمتر یا بدون واحد وارد می گردد. در صورتیکه در کاتالوگ این مقدار به صورت درصد نوشته شده باشد، در زمان وارد کردن در نرم افزار لازم است این مقدار تقسیم بر صد گردد.

شرایط محیطی المان سازه ای

نشان دهنده وضعیت محیطی المان از لحاظ تهاجم و خوردگی محیط و یخزدگی و ذوب آب موجود در المان و حمله مواد شیمیایی خوردنده بتن و اف. آر پی می باشد و این ضریب با توجه به انتخاب شرایط محیطی و نوع الیاف FRP مصرفی به صورت اتوماتیک توسط نرم افزار انتخاب می گردد.

شرایط محیطی	نوع الیاف	ضریب کاهش عوامل محیطی (CE)
محیط داخلی ساختمان یا محیط حفاظت شده	کربن	۰.۹۵
	شیشه	۰.۷۵
	آرامید	۰.۸۵
محیط خارجی (پل ها، پایه ها، توقفگاه - های باز) و سطح دیوارهای آجری خارجی	کربن	۰.۸۵
	شیشه	۰.۶۵
	آرامید	۰.۷۵
شرایط محیطی مهاجم (سایتهای شیمیایی و تصفیه آب فاضلاب) و دیوارهای آجری زیرزمین	کربن	۰.۸۵
	شیشه	۰.۵۰
	آرامید	۰.۷۰

بارهای وارده

لنگر خمشی (Mu): مقدار لنگر خمشی وارده به ستون در یک ترکیب بار مشخص است که همزمان با نیروی محوری وارده بر اساس ترکیبات بار حالت حدی نهایی ناشی از بارهای مرده، زنده، زلزله محاسبه می گردد و واحد آن کیلونیوتن متر می باشد. در صورتیکه یک ستون دارای خمش دو محوره باشد، باید به صورت مجزا محاسبات برای لنگر هر دو جهت انجام شود.

بار محوری (Pu): مقدار نیروی محوری وارده به ستون در یک ترکیب بار مشخص است که همزمان با لنگر خمشی وارده بر اساس ترکیبات بار حالت حدی نهایی ناشی از بارهای مرده، زنده، زلزله و محاسبه می گردد و واحد آن کیلونیوتن می باشد.

طرح پیشنهادی

تعداد لایه (NM): تعداد لایه FRP که جهت دورپیچ مقطع فرض می گردد که با در نظر گرفتن نتایج محاسباتی مقدار آن نهایی می شود.

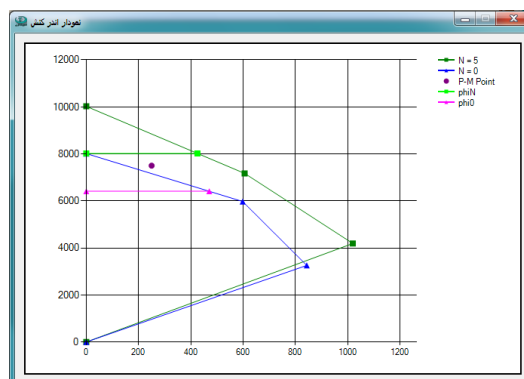
نتایج

نسبت حداقل محصورشدگی: نسبت حداقل فشار محصورشدگی ناشی از دورپیچ با FRP می باشد و حداقل آن بر اساس آیین نامه ۰۰۸ می باشد. در صورتیکه در یک طرح محاسباتی این نسبت کمتر از ۰۰۸ باشد باید با افزایش تعداد لایه ها این نسبت را افزایش داد.

حداکثر کرنش فشاری در بتن محصور: حداکثر کرنش فشاری ایجاد شده تحت بارهای وارده در حالتی که مقطع دورپیچ شده باشد. این مقدار باید کمتر از ۰۰۱ باشد. هر چه تعداد لایه الیاف دورپیچ افزایش یابد این مقدار کرنش نیز افزایش می یابد.

نمودار

اگر پس از وارد نمودن کلیه پارامترهای لازم روی دکمه محاسبه کلیک کنید، محاسبات لازم انجام شده و دکمه نمودار فعال می گردد. با کلیک روی این دکمه نمودار اندرکنش ستون ظاهر می گردد.



در پنجره ظاهر شده دو نمودار نمایش داده می شود، نمودار آبی رنگ نمودار اندرکنش ظرفیت مقطع اولیه ستون ($N=0$) می باشد و نمودار سبز تیره نیز نمودار اندرکنش ظرفیت مقطع تقویت شده با چند لایه FRP می باشد ($NM=N$). همچنین دو نمودار صورتی رنگ و سبز روشن نیز به ترتیب حد ۸۰ درصد نهایی مقطع اولیه و مقطع تقویت شده می باشد. دایره توپر موجود در صفحه نمودارها نیز نقطه متناظر با نیروی محوری و لنگر خمشی وارد بر مقطع ستون می باشد ($P-M$). اگر به این مثال توجه کنید دایره توپر خارج از نمودار اندرکنش مقطع اولیه (نمودار آبی رنگ) می باشد یعنی ستون مربوطه برای چنین ترکیب باری ضعیف بوده است. حال که مقطع با لایه های دورپیچ FRP تقویت شده است (در این مثال ۵ لایه)، دایره مربوطه زیر نمودار مقطع تقویت شده قرار گرفته است. یعنی مقطع ستون با چنین سناریوی مقاوم سازی ظرفیت لازم را بدست آورده است. توجه داشته باشید که نقطه $P-M$ باید زیر خط ۸۰ درصد مقطع تقویت شده قرار گیرد.

در صورتی که در یک ستون مقدار لنگر خمشی وارده زیاد باشد ممکن است شرایطی ایجاد گردد که با چندین لایه FRP نیز نتوان نموداری فراتر از نقطه $P-M$ ایجاد کرد (حالت خمش حاکم) و یعنی نمی توان ستون را با FRP تقویت نمود و باید از روشهای دیگر مقاوم سازی استفاده نمود.

سال انتشار	نام منبع	انتشارات	ردیف
1385	نشریه ۳۴۵ راهنمای طراحی و ضوابط اجرایی بهسازی ساختمان های بتنی موجود با استفاده از مصالح تقویتی FRP	سازمان برنامه و بودجه کشور	1
2002	ACI440R-2002	انستیتو بتن آمریکا	2
2008	ACI440R-2008	انستیتو بتن آمریکا	3
2017	ACI440R-2017	انستیتو بتن آمریکا	4