

## تحلیل کراس آرمهای کامپوزیتی با اشکال هندسی مختلف و بهینه سازی خواص مکانیکی با استفاده از تغییر چیدمان الیاف

سید محمدرضا خلیلی، داریوش حکمت شعار\*، امیرجلالی، محمد مهدی خیری خواه

دانشکده مهندسی مکانیک - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی  
\* بخش بازرسی فنی، مرکز تحقیقات نیرو، متن

واژه های کلیدی: کراس آرم، کامپوزیت پلیمری، آنالیز استاتیکی، آنالیز مودال، لایه چینی

### چکیده

کراس آرمها که وظیفه تحمل وزن کابل را در خطوط انتقال و توزیع برق بر عهده دارند معمولاً از پروفیل‌های چوبی یا فلزی ساخته می شوند. استفاده از کامپوزیتها در ساخت کراس آرمها باعث افزایش استحکام و سفتی، کاهش وزن، افزایش مقاومت در برابر خوردگی، عدم رسانایی و افزایش عمر آنها می شود. در مقاله حاضر به طراحی و تحلیل کراس آرمهای کامپوزیتی پرداخته شده است. بدین منظور پس از انتخاب مواد و محاسبه خواص مکانیکی کراس آرم به صورت پروفیل‌هایی از قبیل قوطی مربعی، قوطی مستطیلی، لوله ای و نبشی در نرم افزار ANSYS 5.4 و به روش اجزاء محدود مدل گردید. مدلها با اعمال بارگذاری و شرایط مرزی از لحاظ استاتیکی و فرکانسهای طبیعی مورد تحلیل قرار گرفت. به منظور بهینه سازی خواص مکانیکی تحلیلها بر روی هر مدل

با چندین لایه چینی متفاوت صورت گرفته است. در میان مدل‌های ذکر شده بهترین مدل، مدل قوطی مستطیلی با لایه چینی  $[0_2/90/0_2]$  بدست آمده است.

### مقدمه

کراس آرم یا بازوی عرضی به عضوهای افقی که بر روی دکل‌های برق قرار می گیرد گفته می شود. وظیفه اصلی کراس آرم تحمل نیروهای ناشی از وزن کابل و نیروهای دیگر وارد به کابل می باشد. حفظ فاصله مورد نیاز کابل‌های فازی از هم و همچنین کابل‌های فازی از زمین وظیفه اساسی و استاندارد کراس آرمهاست [1]. به طور معمول کراس آرمها را از جنس فولاد ساختمانی و به صورت پروفیل‌های نبشی یا قوطی و یا از جنس چوب می سازند. زمانی که در کراس آرمها شکست و خرابی رخ

کراس آرمهای معمولی، عمر این قطعات گاهی از عمر در نظر گرفته شده برای آن نیز بسیار کمتر می باشد و بنابراین نیاز به تعمیر و بازرسی دارد. این عمر باعث صرف هزینه های زیادی می باشد که از لحاظ اقتصادی توجیه پذیر نیست. به همین دلیل می بایست به دنبال راهکار مناسبی برای افزایش عمر کراس آرمها بود. یکی از این راهها استفاده از مواد جدید کامپوزیتی می باشد.

مواد کامپوزیت که از ترکیب درشت ساختاری مواد مختلف ایجاد می شوند، ویژگیهایی در مقایسه با مواد متداول دارند مانند استحکام و سفتی ویژه بالا، خواص خستگی خوب، وزن بسیار پایین، خواص خزشی خوب و غیره [۳]. استفاده از کامپوزیتهای پایه پلیمری تقویت شده با الیاف در ساخت کراس آرمها دارای مزایایی از جمله سبکی، سادگی نصب، حمل و نقل راحت، عایق بودن، مقاومت استاتیکی بالا، مقاومت در برابر خستگی و خزش، مقاومت در برابر خوردگی و اثرات رطوبت و شرایط بد آب و هوایی می باشد. در کنار این مزایا، هزینه ساخت ارزان و قیمت تمام شده در کنار هزینه پایین تعمیر و نگه داری، شرایط استفاده از مواد کامپوزیت را برای کراس آرمها بسیار مناسب می سازد.

در این پروژه تحقیقاتی کراس آرم کامپوزیتی با اشکال مختلف و چیدمان متعدد مورد بررسی و تحلیل استاتیکی و مودال قرار گرفته است.

### مدلسازی کراس آرم

کراس آرمهای متداول در کشور، طبق استاندارد از پروفیل‌های نبشی ساختمانی با طولها و ابعاد مختلف ساخته می شوند. در اینجا به منظور تحقیق و مطالعه بیشتر کراس آرمهای کامپوزیتی به صورت پروفیل با سطح مقطعهای متفاوت مدلسازی شده اند. این

دهد، کابلها در تماس با زمین قرار می گیرند و یا فاصله کابلها تا زمین کاهش می یابد، بطوریکه سیم یا کابل بطور آزاد شروع به تاب خوردن بر روی دکل می کند. در مناطق شهری این به معنی ریسک بالای از بین رفتن جان انسانهاست و در مناطق روستایی در کنار این امر، ریسک آتش گرفتن بوته زارها و جنگلها می باشد. معمولاً انواع عیوب و نواقص مشاهده شده و گزارش شده در کراس آرمهای فوق، وزن بالای آنها جهت حمل و نقل و انجام تعمیر و نگهداری، تاثیرات شدید محیطی و آب و هوایی بر روی آنها، اثرات خطوط فشار متوسط و قوی و امواج، کاهش خواص مکانیکی با گذشت عمر کاری کراس آرم، حمله جانوران و فاسد شدن و در نهایت هزینه تعمیر و نگهداری بالای آنها می باشد.

کراس آرمها، اتصالات و متعلقات آنها در صنعت برق و شبکه توزیع آن نقش بسزایی داشته و مصرف گسترده ای دارند. با توجه به شرایط محیطی و کاری این تجهیزات، نظارت و ارزیابی منظم از نحوه عملکرد آنها جهت شناسایی قطعات معیوب و زمان تعمیر و یا تعویض آنها امری بسیار ضروری است.

لیکن نوع ماده مورد استفاده و شرایط محیطی آنها در تعیین روشهای نظارت و تعمیر و نگهداری، بسیار نقش تعیین کننده ای دارند. نظارت اولیه تجهیزاتی که در بالای دکل برق قرار دارند، معمولاً بوسیله نظارت از روی زمین انجام می شود که توسط چشم غیر مسلح، یا دوربین و یا تجهیزات کمکی در اطراف پایه دکل است [۲].

معمولاً عمر کاری کراس آرمها را ۲۰ سال در نظر می گیرند. با توجه به شرایط محیطی و مواد به کار رفته در این فاصله چندین دوره نظارت و بازرسی از کراس آرمها در نظر گرفته می شود. با توجه به تاثیرات شدید شرایط محیطی بر خواص مکانیکی موارد بکار رفته در

این مدلها با شکل و ابعاد مورد نظر با المان shell99 دارای ۸ گره و ۶ درجه آزادی بصورت سه بعدی المان بندی شده است. در نهایت نتایج حاصل از تمامی مدلها با هم مقایسه شده اند.

### شرایط بارگذاری

عمده ترین نیروهای وارده به کراس آرمها نیروی وزن هادیها (کابلها) می باشد. برای خطوط فشار متوسط (۲۰ kV) هادیهای آلومینیم و فولاد استفاده می شود که عبارتند از: فاکس، مینک، هاینا و لینکس. متداولترین نوع هادی برای این گونه خطوط هادی مینک می باشد. مشخصات این هادی عبارتست از [۶]:

$$W_C = 0.255 \text{ kg/m} \quad f_{\max} = 2.32$$

$$\text{نیروی} = 21313N \quad d = 10.98 \text{ mm}$$

گسیختگی

شرایط آب و هوایی بصورت سنگین در نظر گرفته شده است (یعنی یخ و باد متوسط) [۷]. این وضعیت دارای شرایط زیر است:

$$15\text{mm} = \text{ضخامت شعاعی یخ}$$

$$20\text{m/s} = 25 \text{ kg/m}^2 = \text{فشار باد}$$

محاسبه اسپن خط برای تعیین اسپن وزنی، اسپن بادگیر و در واقع طول کابل بین هر دو دکل مجاور به منظور محاسبه بارگذاریها ضروری می باشد. حداکثر اسپن از رابطه زیر بدست می آید [۶ و ۷]:

$$S = \frac{2H}{W} \cosh^{-1} \left( \frac{f_{\max} \times W}{H} + 1 \right) \quad (1)$$

که در آن:

$$W = \sqrt{W_{i+C}^2 + W_W^2}$$

وزن هادی بعلاوه یخ در حالت بحرانی  $W_{i+C}$

پروفیلها عبارتند از: نبشی، قوطی مربعی، قوطی مستطیلی و لوله ای. یک نبشی فلزی مطابق با ابعاد استاندارد و از جنس فولاد ساختمانی نیز به منظور مقایسه با مدلهای کامپوزیتی مدلسازی شده است. ابعاد استاندارد نبشی ۷ \* ۷۰ \* ۷۰ می باشد.

کراس آرم مورد نظر در آنالیز ۱/۵۰ متر با پایه میانی می باشد. این کراس آرمها معمولا برای انتقال برق فشار متوسط ۲۰ kv استفاده می شود. ابعاد این کراس آرم و فواصل تسمه ها در شکل ۱ (انتهای متن) مشخص شده است. همچنین شکل هندسی سطح مقطع کراس آرمها در تحلیل حاضر نشان داده شده است.

مواد استفاده شده در کراس آرم فلزی از جنس فولاد ساختمانی با مشخصات زیر است [۴]. کراس آرم کامپوزیتی از الیاف شیشه و اپوکسی با ۴۰ درصد حجمی الیاف پیوسته ساخته شده است که مشخصات هر لایه کامپوزیتی نیز در زیر آورده شده است [۴ و ۵].

$$E = 200GPa \quad \nu = 0.3$$

$$\rho = 7.8 \text{ g/cm}^3 \quad \sigma_u = 400MPa$$

کامپوزیت:

$$\sigma_u = 1020MPa \quad E_1 = 32GPa \quad E_2 = 8GPa$$

$$\rho = 1.8 \text{ g/cm}^3$$

$$\nu_{12} = 0.1$$

در مرحله اول آنالیز الیاف بصورت پیوسته و در راستای طولی کراس آرم قرار دارند. این مدلها با شکل و ابعاد مورد نظر با المان shell93 دارای ۸ گره و ۶ درجه آزادی بصورت سه بعدی المان بندی شده است. در ضمن مدلهای قوطی و لوله ای فوق با همان ابعاد هندسی جهت بررسی لایه چینی های مختلف و بهینه سازی کراس آرم به صورت لایه ای نیز مدل شده اند.

$d$  قطر سیم mm

$T_{t_1}$  نیروی افقی وارد بر کراس آرم

در پایه های میانی

$$M = T_{t_1} \times 0.15 = 57N \quad (4)$$

$M$  گشتاور وارده  $N.m$

$T_{t_1}$  نیروی افقی  $N$

با توجه به نیروهای وارده و طول اسپن کابل بدست آمده، آنالیز تنش و جابجایی دو کراس آرم فلزی و کامپوزیتی توسط نرم افزار Ansys 5.4 انجام شده است. همچنین ۵ مود اول فرکانس طبیعی برای هر دو کراس آرم نیز بدست آمده است. شکل ۲ (انتهای متن) مدل مش بندی شده و بارگذاری شده بر روی کراس آرم فلزی را نشان می دهد. از پیچهای  $M-12$  برای اتصال کراس آرم به دکل استفاده شده است. تسمه ها نیز از جنس کامپوزیت برای کراس آرم کامپوزیتی و تسمه فلزی برای کراس آرم فلزی در نظر گرفته شده است. ابعاد تسمه  $71 \times 4 \times 1cm$  می باشد.

### بررسی و بحث بر روی نتایج بدست آمده

در شکل‌های (a) ۳ و (b) ۳ (انتهای متن) کانتور تنش و جابجایی کراس آرم فلزی استاندارد آورده شده است. تنش وون مایزی  $201 MPa$  و حداکثر جابجایی  $1/98$  میلی متر می باشد. در تحلیلهای به عمل آمده در مدل‌های مختلف کامپوزیتی جهت بدست آوردن ضخامت کراس آرم، معیار طراحی خیز برابر با مدل نبشی استاندارد در نظر گرفته شده است. تحلیل بر روی ضخامتهای مختلف مدل‌های قوطی و لوله ای انجام گردید و بر اساس معیار ذکر شده ضخامت مدل‌های قوطی مربعی و مستطیلی  $5mm$  و مدل لوله ای  $4 mm$  بدست آمد [۲]. در ضمن مدل نبشی نیز با همان ابعاد مدل استاندارد یعنی  $7 * 70 * 70$  میلی متر مدل شده است.

در شکل‌های (a) ۴ و (b) ۴ (انتهای متن) تنش وون مایزی و جابجایی حداکثر قوطی مربعی نشان داده شده است. حداکثر تنش و حداکثر جابجایی در محل

$$= W_C + 0.913 \times \pi \times i(d+i) \times 10^{-3}$$

$$= 1.37 kg/m$$

$$W_W = P_W \times d \times 10^{-3} = 0.275$$

در نتیجه:

$$W = 1.4$$

$$H = \frac{UTS}{2.5} = 869.92$$

باتوجه به ارقام بدست آمده و جایگذاری در معادله (۱) حداکثر اسپن عبارتست از:

$$S = 107.36m$$

$f_{max}$ ، فلش حداکثر برای هادی مینک  $2/32$  می باشد. با در نظر گرفتن اسپن  $60 m$  که در بین تیرهای مجاور خطوط شهری متداول است [۷] طول کابل عبارت می شود از:

$$S' = \frac{T_0}{W_{i+C}} \sinh \frac{W_{i+C} \times S}{2T_0} = 60.09m$$

نیروهای وارده بر کراس آرم شامل دو نوع نیروی قائم و افقی و همچنین گشتاور خمشی می باشد که بصورت زیر محاسبه می گردند [۲]:

$$T_V = [W_C + 0.913 \pi i(i+d) \times 10^{-3}]$$

$$\times S' = 807 N$$

(۲)

که در آن

$S'$  اسپن وزنی (طول سیم در یک اسپن) (m)

$d$  قطر سیم mm

$i$  ضخامت یخ دور سیم mm

$W_C$  وزن واحد طول سیم  $kg/m$

$T_V$  نیروی قائم وارد بر کراس آرم از طرف

هر سیم  $N$

$$T_{t_1} = (P_W \times d \times 10^{-3}) \times S' = 162N \quad (3)$$

که در آن

$P_W$  فشار باد  $kg/m^2$

اتصال مفره به کراس آرم ایجاد گردیده است. در حالیکه در شکل ۳(a) (انتهای متن) مشاهده گردید که حداکثر تنش در مدل نبشی در محل اتصال کراس آرم به پایه بوجود آمده است. حداکثر تنش بوجود آمده در مدل قوطی مربعی کامپوزیتی  $116 \text{ MPa}$  و حداکثر جابجایی آن  $1/74$  میلی متر می باشد.

مطابق شکل‌های ۵(a) و ۵(b) در مدل قوطی مستطیلی، بطور مشابه حداکثر تنش و جابجایی در محل اتصال مفره به کراس آرم رخ داده است و مقادیر آن به ترتیب  $104 \text{ Mpa}$  و  $1/42 \text{ mm}$  می باشد. مشاهده می شود که با وجود سطح مقطع و مقدار ماده یکسان در دو مدل قوطی مربعی و مستطیلی نتایج مدل قوطی مستطیلی بهتر و مطلوبتر می باشد. در این مدل مقدار تنش ۵ درصد و مقدار جابجایی ۱۵ درصد نسبت به مدل قوطی مربعی کاهش یافته است.

در مدل لوله ای نیز محل وقوع حداکثر تنش و حداکثر جابجایی در محل‌هایی مشابه با کراس آرم قوطی شکل رخ داده است.

در شکل ۶(a) و ۶(b) (انتهای متن) حداکثر تنش و جابجایی در کراس آرم لوله ای نشان داده شده است. مقادیر حداکثر تنش  $86/8 \text{ MPa}$  و جابجایی  $1/95$  میلی متر می باشد. با وجود ضخامت کمتر این مدل نسبت به مدل‌های قوطی مربعی و مستطیلی، حداکثر تنش در آن کاهش چشمگیری داشته است. با وجود اینکه حداکثر جابجایی این مدل نسبت به مدل‌های قوطی بیشتر است، ولی این پارامتر باز هم نسبت به مدل نبشی استاندارد کمتر است.

### چیدمان الیاف

با توجه به ضخامت‌های بهینه شده مدل‌های قوطی و لوله ای و در نظر گرفتن ضخامت  $0/2$  میلی متر برای هر لایه کامپوزیتی، تعداد لایه های مدل‌های قوطی ۲۵ لایه و مدل لوله ای ۲۰ لایه در نظر گرفته شده است. با توجه به معیار خیز و حداکثر تنش لایه چینی های مختلفی مورد بررسی قرار گرفته اند و با هم مقایسه گردیده اند. فلسفه قرار گیری لایه ها بدین صورت

است که در این تحلیل اثر لایه ۹۰ درجه و توزیع آن، ۴۵ درجه و توزیع آن و همچنین لایه ۲۰ درجه بررسی شده اند که نتایج آن در جداول ۱ و ۲ و ۳ (انتهای متن) آمده است. مدل نبشی کامپوزیتی نیز همانند مدل نبشی فولادی و با ۳۵ لایه مورد تحلیل قرار گرفت که نتایج آن در جدول ۴ آمده است. با توجه به دو معیار خیز و تنش، لایه چینی بهینه از میان نتایج انتخاب شده است:

- لایه چینی ردیف ۳ از جدول ۱ برای قوطی مربعی  
- لایه چینی ردیف ۳ از جدول ۲ برای قوطی مستطیلی

- لایه چینی ردیف ۳ از جدول ۲ برای مدل لوله ای  
- لایه چینی ردیف ۲ از جدول ۴ برای قوطی نبشی  
همانطور که مشاهده می شود در هر ۴ مدل نتایج بدست آمده از روش لایه چینی نسبت به مدل ردیف ۱ که تمامی الیاف در راستای صفر درجه قرار دارند مطلوبتر است. تنش وون مایزی و حداکثر جابجایی این مدلها در شکل‌های ۷ و ۸ و ۹ و ۱۰ (انتهای متن) آمده است.

در جدول ۵ (انتهای متن) نیز مقایسه بین مقادیر حداکثر تنش، جابجایی و ضریب ایمنی سازه فلزی و کامپوزیتی نشان داده شده است. با توجه به یکسان بودن حجم دو مدل، وزن کراس آرم فلزی ۲ برابر وزن کراس آرم‌های قوطی کامپوزیتی و  $3/5$  برابر کراس آرم لوله ای کامپوزیتی می باشد. همانطورکه از جدول مشاهده می شود نسبت استحکام به وزن مدل کامپوزیتی با الیاف صفر درجه تقریباً ۱۰ برابر مدل فلزی بدست آمده است، یعنی از استحکام خوبی برخوردار می باشد و نسبت سفتی به وزن کراس آرم کامپوزیتی کمتر از مقدار مشابه در کراس آرم فلزی است. این نشان دهنده آنست که مدل کامپوزیتی در عین داشتن استحکام بالاتر دارای انعطاف پذیری بهتری نسبت به مدل فلزی می باشد. همچنین ضریب ایمنی بالاتر کراس آرم کامپوزیتی نشان دهنده ویژگی این مواد در چنین سازه های می باشد. در نتیجه می توان ابعاد سازه و مواد استفاده شده در کراس آرم کامپوزیتی

را جهت کاهش ضریب ایمنی تغییر داد که منجر به کاهش وزن بیشتر و صرفه جویی اقتصادی بیشتری در ساخت و هزینه تمام شده کراس آرم کامپوزیتی می‌شود.

## آنالیز مودال

به منظور بررسی فرکانسهای طبیعی کراس آرمها، این مدلها را تحت آنالیز مودال قرار داده ایم. با استفاده از آنالیز مودال، در جدول ۶، پنج مود اول فرکانسهای طبیعی مدل‌های کراس آرم فلزی و کامپوزیتی با هم مقایسه شده‌اند. در شکل‌های (a) ۱۱، (b) ۱۱، (c) ۱۱ و (d) ۱۱ جابجایی تحت مود اول فرکانسی کراس آرمهای کامپوزیتی قوطی مربعی، قوطی مستطیلی، لوله ای، و نبشی نشان داده شده‌اند. حداکثر جابجایی حاصل از فرکانسهای طبیعی در تسمه‌ها رخ خواهد داد و با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۶ (انتهای متن)، هم مدل کامپوزیتی و هم مدل فلزی نسبت به شرایط محیطی حاکم مانند وزش باد، طوفان و احیانا زلزله، دارای مقادیر فرکانس طبیعی بالایی می‌باشند. دو مدل کراس آرم شرایط مناسبی را در مودهای مختلف نشان می‌دهند و در وضعیتهای بارگذارهای سخت به علت بالا بودن مقدار فرکانس طبیعی اول به آن نخواهند رسید. پس در نتیجه در شرایط بادهای سخت، طوفان و زلزله، پدیده تشدید و واماندگی حاصل از آن رخ نخواهد داد.

## نتیجه گیری

- ۱- کراس آرم کامپوزیتی چه از لحاظ استحکام و چه از لحاظ خیز بر مدل فلزی برتری دارد.
- ۲- وجود لایه ۹۰ درجه تاثیر مطلوبی در کاهش خیز و تنش دارد. لایه ۴۵ درجه تاثیر چندانی در بهبود وضعیت ندارد و در بعضی حالات باعث افزایش تنش یا جابجایی نیز گردیده است.
- ۳- ضریب ایمنی کراس آرم کامپوزیتی قابل مقایسه با کراس آرم فلزی نمی‌باشد و با توجه به ضریب

ایمنی بالای آن شرایط بهینه سازی بیشتر برای آن مهیاست.

۴- مدل لوله ای نسبت به مدل قوطی برتری دارد. لیکن جهت نصب به دکل می‌بایست از اتصالات و بست مخصوص استفاده شود. لذا با توجه به نتایج بدست آمده از مدل قوطی مستطیلی، این مدل جهت استفاده پیشنهاد می‌گردد، چون حمل و نصب آنها و محل قرار گیری مقرر ها در آنها بهتر است.

۵- مدل نبشی کامپوزیتی به علت جابجایی زیاد نسبت به دیگر مدلها مناسب نمی‌باشد.

۶- از نظر فرکانسهای طبیعی تمامی مدلها دارای وضع مطلوبی می‌باشند.

۷- با توجه به شرایط محیطی کراس آرمهای کامپوزیتی پایه پلیمری ویژگیهای مناسبی را مانند مقاومت در برابر خوردگی فراهم می‌آورند و عمر این قطعات بیشتر از کراس آرمهای متداول است و در نتیجه هزینه تعمیر و نگهداری آنها کمتر می‌باشد.

## مراجع

- 1- www.shakespeare-ce.com "Composite Transmission & Distribution Product", 2002
- ۲- سید محمد رضا خلیلی، محمد مهدی خیری خواه، امیر جلالی، بررسی و تحلیل استاتیکی و فرکانسهای طبیعی کراس آرمهای فلزی و کامپوزیتی در خطوط انتقال برق، کنفرانس بین المللی برق، تهران، ۱۳۸۱
- 3- Hollaway, L., Polymer Composites For Civil And Structural Engineering, McGraw Hill, 1993
- 4- Hibbeler, R.C., Mechanics of Materials, Prentice Hall, 2000
- 5- Murphy, J., Reinforced Plastics Handbook, McGraw Hill, 1994
- ۶- هادیها و مفتولهای خطوط هوایی توزیع، جلد پنجم، پژوهشکده برق - پژوهشگاه نیرو، ۱۳۷۶
- ۷- کراس آرمها و آرایش پایه های بکار رفته، جلد ششم، پژوهشکده برق، پژوهشگاه نیرو، ۱۳۷۷

جدول ۱- لایه بندی مختلف مدل قوطی مربعی

ردیف	چیدمان	حداکثر تنش ون مایزی (MPa)	حداکثر جابجایی (mm)
1	$[0]_{25T}$	104	1.42
2	$\left[ [0/90]_6 / \bar{0} \right]_S$	113	1.46
3	$\left[ 0_2/90/0_2 \right]_{ST}$	109	1.29
4	$\left[ [0_3/90]_3 / \bar{0} \right]_S$	109	1.34
5	$\left[ [0_2 / \pm 45]_3 / \bar{0} \right]_S$	110	1.41
6	$\left[ 0_2/90 / \pm 45 \right]_{ST}$	112	1.35
7	$\left[ [0 / \pm 20]_4 / \bar{0} \right]_S$	112	1.44

Archive of SID

جدول ۲- لایه بندی مختلف مدل قوطی مستطیلی

ردیف	چیدمان	حداکثر تنش ون مایزی (MPa)	حداکثر جابجایی (mm)
1	$[0]_{25T}$	116	1.74
2	$\left[ [0/90]_6 / \bar{0} \right]_S$	119	1.52
3	$\left[ 0_2/90/0_2 \right]_{5T}$	115	1.50
4	$\left[ [0_3/90]_3 / \bar{0} \right]_S$	115	1.53
5	$\left[ [0_5/90]_2 / \bar{0} \right]_S$	115	1.63
6	$\left[ [\pm 45]_6 / \bar{0} \right]_S$	126	1.76
7	$\left[ [0_2 / \pm 45]_3 / \bar{0} \right]_S$	115	1.62
8	$\left[ 0_2/90 / \pm 45 \right]_{5T}$	124	1.54
9	$\left[ [0_3 / 90 / \pm 45]_2 / \bar{0} \right]_S$	115	1.57
10	$\left[ [0 / \pm 20]_4 / \bar{0} \right]_S$	116	1.68

جدول ۳- لایه بندی مختلف مدل لوله ای

ردیف	چیدمان	حد اکثر تنش ون مایزی (MPa)	
1	$[0]_{20T}$	86.8	1.95
2	$[0/90]_{10}$	89.7	2.24
3	$[0_2/90/0_2]_{4T}$	85.9	2.06
4	$[\pm 45]_{10}$	95.3	2.74
5	$\left[ [0_2 / \pm 45]_2 / 0_2 \right]_S$	86.1	2.18
6	$[0_2/90 / \pm 45]_{2S}$	88.5	2.28
7	$[0_2 / \pm 20]_5$	86.8	2.19



جدول ۴- لایه بندی مختلف مدل نبشی

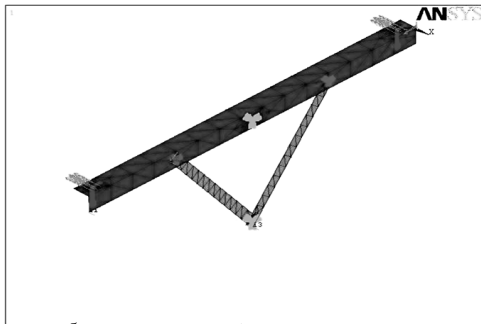
ردیف	چیدمان	حد اکثر تنش ون مایزی (MPa)	حداکثر جابجایی (mm)
1	$[0]_{35T}$	91.6	11.8
2	$[0_2 / 90 / 0_2]_{7T}$	89.2	11.5
3	$[[0_2 / \pm 45]_{4S} / 0_3]$	89.2	11.9
4	$[[0 / 90 / \pm 45]_{4S} / 0_3]$	95.4	12.3
5	$[[0_2 / 90]_{5S} / 0_5]$	90.4	11.6
6	$[[0 / 90]_{8S} / 0_3]$	95.3	12.0

جدول ۵- مقایسه خواص مکانیکی کراس آرمهای تحلیل شده

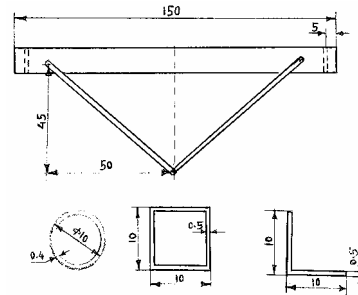
ضریب ایمنی	سفتی به وزن	استحکام به وزن	حداکثر جابجایی (mm)	تنش ون مایزی (MPa)	$\rho$ g/cm <sup>3</sup>	$E_1$ GPA	$S$ MPa	خواص / نوع مدل
۲	۲۵	۵۱	۱/۹۸	۲۰۱	۷/۸۶	۲۰۰	۴۰۰	کراس آرم نبشی فلزی
۸/۸	۱۸	۵۶۶	۱/۷۴	۱۱۶	۱/۸	۳۲	۱۰۲۰	کراس آرم قوطی مربعی با لایه صفر
۹/۸	۱۸	۵۵۶	۱/۷۴	۱۰۴	۱/۸	۳۲	۱۰۲۰	کراس آرم قوطی مستطیلی با لایه صفر
۱۱/۷	۱۸	۵۶۶	۱/۹۵	۸۶/۸	۱/۸	۳۲	۱۰۲۰	کراس آرم لوله ای با لایه صفر
۱۱/۱	۱۸	۵۶۶	۱/۱۸	۹۱/۶	۱/۸	۳۲	۱۰۲۰	کراس آرم نبشی با لایه صفر
۷/۲	۱۵	۴۶۰	۱/۵	۱۱۵	۱/۸	۲۷/۲	۸۲۸	کراس آرم بهینه قوطی مربعی
۷/۶	۱۵	۴۶۰	۱/۳۹	۱۰۹	۱/۸	۲۷/۲	۸۲۸	کراس آرم بهینه قوطی مستطیلی
۹/۶	۱۵	۴۶۰	۲/۰۶	۸۵/۹	۱/۸	۲۷/۲	۸۲۸	کراس آرم بهینه لوله ای
۹/۳	۱۵	۴۶۰	۱/۱۵	۸۹/۲	۱/۸	۲۷/۲	۸۲۸	کراس آرم بهینه نبشی

جدول ۶- پنج مود اول فرکانس طبیعی کراس آرمهای تحلیل شده

پنجم	چهارم	سوم	دوم	اول	شماره مود / نوع مدل
۶۷۱	۵۴۹	۴۵۶	۳۷۶	۲۰۱	کراس آرم فلزی
۱۲۳/۶	۱۱۰/۲	۹۹	۴۴/۱	۴۳/۹	کراس آرم کامپوزیتی قوطی مربعی
۱۲۲/۹	۹۹/۹	۹۰/۲	۴۴	۴۳/۸	کراس آرم کامپوزیتی قوطی مستطیلی
۱۱۱/۳	۹۹/۲	۹۸	۳۶/۱	۳۶	کراس آرم کامپوزیتی لوله ای
۴۵/۳	۲۲/۸	۱۸/۷	۱۳/۳	۱۳/۲	کراس آرم کامپوزیتی نبشی

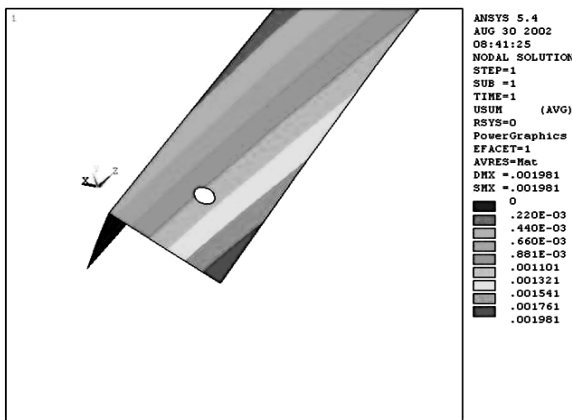


شکل ۲- مدل المان بندی شده و بارگذاری شده کراس آرم فلزی

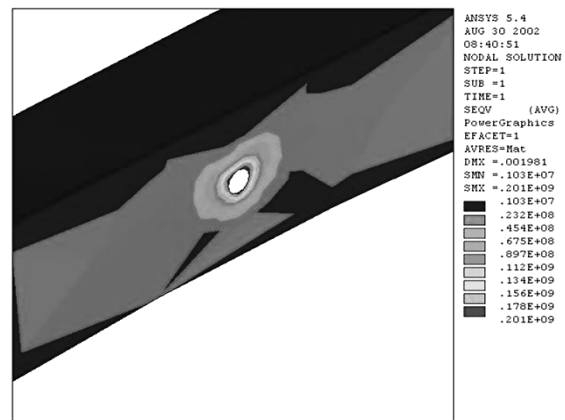


شکل ۱- ابعاد و شکل کراس آرم استفاده شده در

تحلیل حاضر (ابعاد به سانتی متر می باشد)

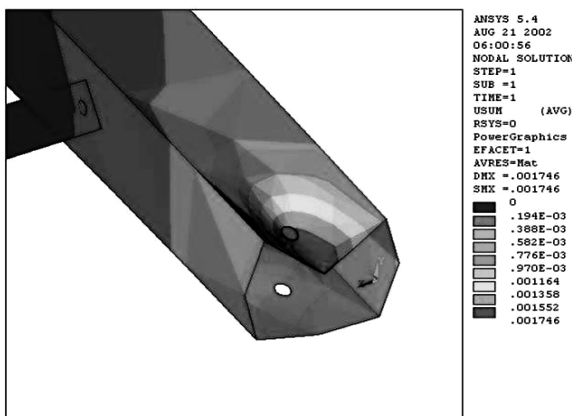


(b)

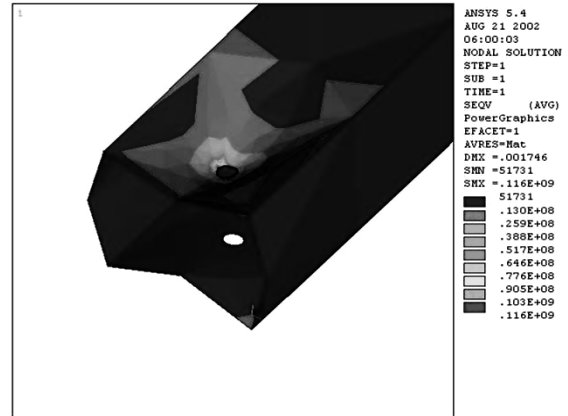


(a)

شکل ۳- کانتور تنش (a) و جابجایی (b) مدل کراس آرم فلزی

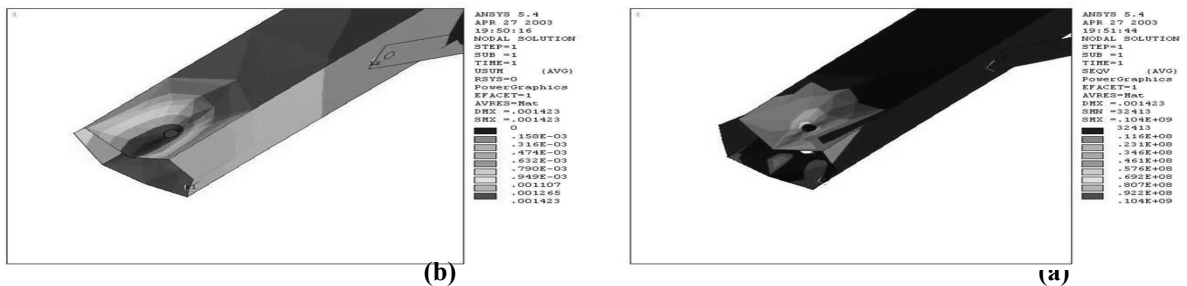


(b)

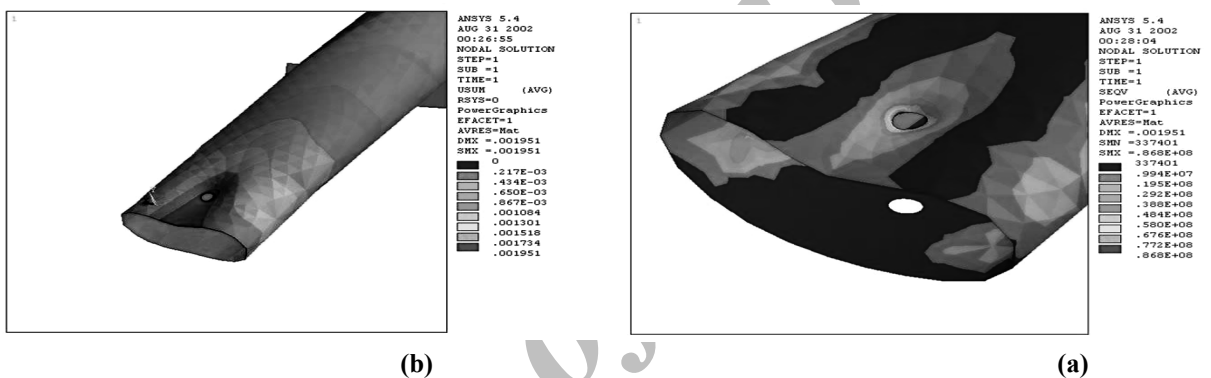


(a)

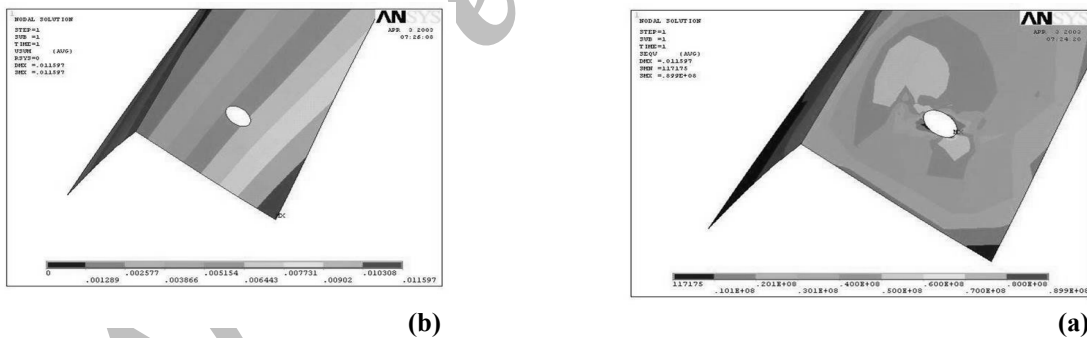
شکل ۴- کانتور تنش (a) و جابجایی (b) در کراس آرم قوطی مربعی با لایه چینی صفر درجه در منطقه حداکثر تنش



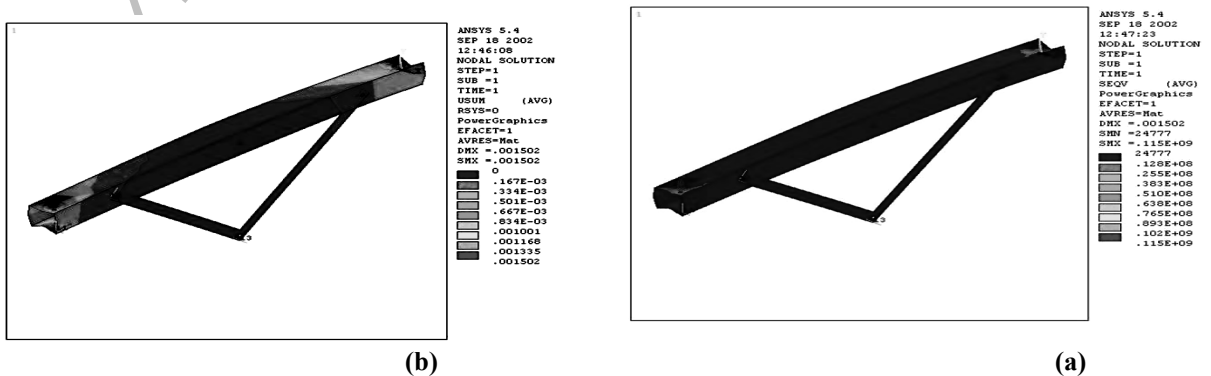
شکل ۵- کانتور تنش (a) و جابجایی (b) در کراس آرم قوطی مستطیلی با لایه چینی صفر درجه در منطقه حداکثر تنش



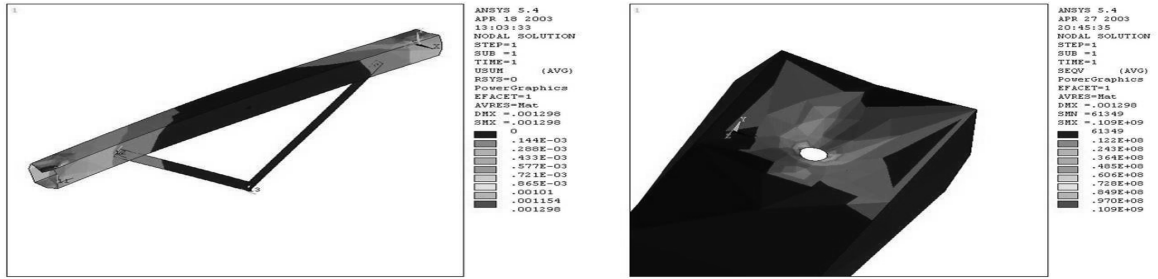
شکل ۶- کانتور تنش (a) و جابجایی (b) در کراس آرم لوله ای با لایه چینی صفر درجه در منطقه حداکثر تنش



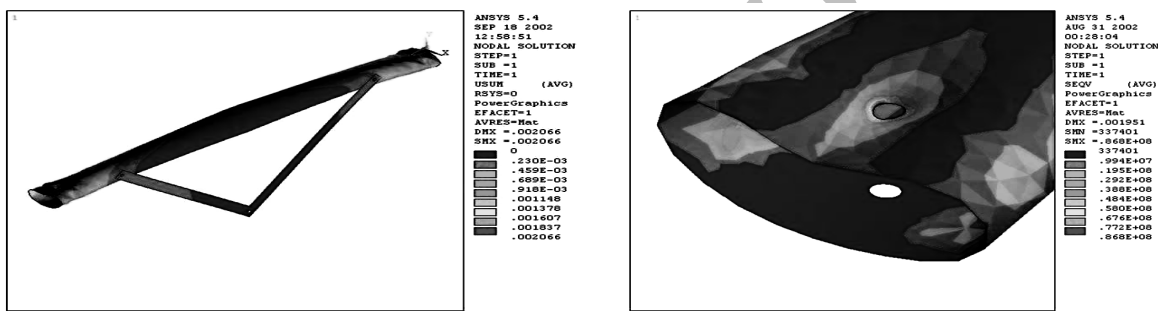
شکل ۷- کانتور تنش (a) و جابجایی (b) در کراس آرم نبشی با لایه چینی بهینه



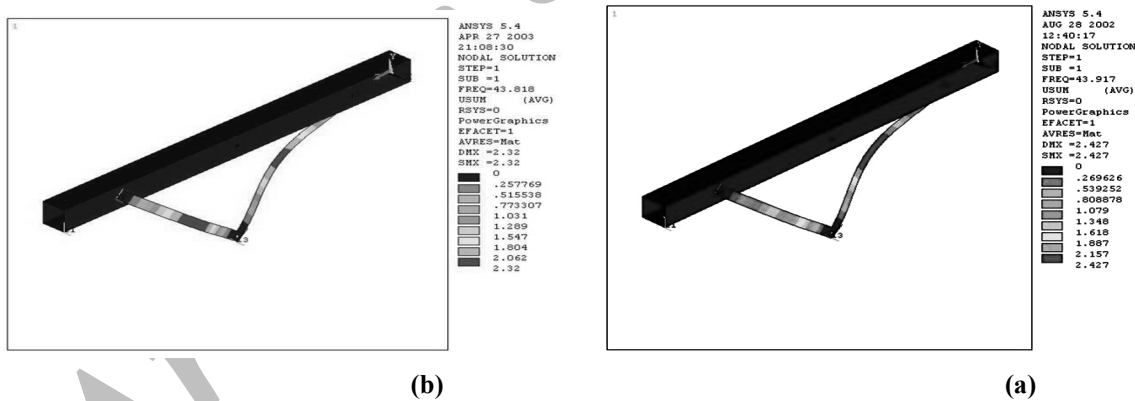
شکل ۸- کانتور تنش (a) و جابجایی (b) در کراس آرم قوطی مربعی با لایه چینی بهینه



شکل ۹ - کانتور تنش (a) و جابجایی (b) در کراس آرم قوطی مستطیلی با لایه چینی بهینه



شکل ۱۰ - کانتور تنش (a) و جابجایی (b) در کراس آرم لوله ای با لایه چینی بهینه



شکل ۱۱- مود اول فرکانسی مدل قوطی مربعی (a) و قوطی مستطیلی (b) لوله ای (c) و نبشی (d)