



مجموعه مقالات مهندسي مكانيك - ساخت و توليد

www.sakhtolid.ir

بررسی خواص ارتعاشی ، کشش و ضربه در کامپوزیت های

هیبریدی

زمینه Epoxy تقویت شده توسط Aluminum _Eglass

ساخته شده به روش Hand layup

کاوه کلاه گر آذری^۱ ، حمید امیدوار^۲ ، سید مجتبی زبرجد^۳ ، بهزاد طولمی نژاد^۴

۱ دانشجوی کارشناسی ارشد مواد ، سازمان صنایع هوافضا ، kaveh_Aerospace@yahoo.com

۲ فوق دکتری مواد ، اکول سانترال لیون ، سازمان صنایع هوافضا ، Hamid_omidvar@yahoo.com

۳ استادیار ، دانشگاه فردوسی مشهد

۴ دانشجوی دکتری متالورژی ، دانشگاه علم و صنعت ، Btolaminejad@yahoo.com

چکیده

امروزه به منظور بالا بردن کارایی هواپیماهای پیشرفته جایگزینی مواد نوین به جای مواد معمول هرچه بیشتر صورت می پذیرد . مفصل بال هواپیمای A380 از کامپوزیت های ترکیبی در نظر گرفته شده است . در این پژوهش به منظور ساخت کامپوزیت های ترکیبی ابتدا نمونه هایی با الیاف شیشه ، ورق آلومینیوم و رزین اپوکسی به روش Hand layup ساخته شد و با در نظر گرفتن کسر حجمی الیاف ، مقادیر سفتی ، استحکام و دانسیته نمونه ها محاسبه گردید . تحلیل ارتعاشی نمونه ها به کمک روش تجربی - تئوری آنالیز مودال انجام گردید . همچنین بررسی خواص کششی و ضربه نمونه ها نیز با انجام آزمایشات صورت گرفت. نتایج نشان می دهد که وجود لایه Al باعث افزایش چقرمگی و شکل پذیری کامپوزیت ها و در نتیجه مقاومت بیشتر این مواد در برابر خسارت های وارده می شود . استحکام نهایی شکست و کرنش نهایی نیز با افزایش تقویت کننده افزایش یافته است . همچنین وجود لایه Al در نمونه ها منجر به افزایش فرکانس طبیعی قطعات شده است .

واژه های کلیدی : کامپوزیت های ترکیبی ، الیاف ، مودال ، ارتعاش ، کشش ، ضربه

۱ دانشجوی کارشناسی ارشد مواد

۲ فوق دکتری مواد ، اکول سانترال لیون

۳ استادیار

۴ دانشجوی دکتری متالورژی

شرکت ایرباس گواهی اولیه بی سر و صدا بودن هواپیمای جدید ایرباس A380 خود را از دو مرکز اروپائی "ای.آ.اس.آ." و آمریکائی "اف.آ.آ." اخذ کرد. اخذ این گواهینامه یکی از مراحل اولیه اخذ گواهینامه مشترکی است که قرار است قبل از آغاز سال جدید مسیحی به هواپیمای جدید شرکت ایرباس داده شود. سر و صدای بسیار کم این هواپیما مشخص کرده است که تا این تاریخ آرامترین و کم صداترین هواپیمای دور پرواز در آسمانها میباشد. حد و حدود صدای گواهی شده روی موتور این هواپیما معادل موتورهای TRENT-900 شرکت رولز رویس است و ماکزیمم سر و صدای ایجاد شده توسط آن اعجاب انگیز و از حد نصاب استاندارد تعیین شده توسط آی سی ای نیز پائینتر بوده و مطابق با استاندارد - داوطلبانه شرکت ایرباس است که از استاندارد - الزامی - چپتر ۳ محدودکننده تر است. هواپیمای ایرباس A380 به سادگی با استانداردهای سر و صدای امروز همخوانی داشته حتی برای استانداردهای سخت تر آینده نیز بخوبی آمادگی تطابق دارد. طبق اظهارات آقای ماریوهاین یکی از مدیران ارشد ایرباس، هواپیمای A380 مرتباً آزمایشات مرحله ای را با موفقیت طی میکند و نتایج اکثراً بیشتر از انتظارات طراحی هواپیماست. مثلاً در هنگام بلند شدن از روی زمین و یا نشستن به زمین، این هواپیما نصف بهترین رقیب خود "سر و صدا" ایجاد میکند و این هم به نفع ایرباس است که میتواند پروازهای شبانه هم برنامه ریزی کند و هم به نفع فرودگاههای بین المللی که این هواپیماها در آن مشغول کارند. آزمایشات "سر و صدای" فوق الذکر در یک پایگاه هوایی اسپانیا در اواخر بهار سال جاری و تحت نظارت کارشناسان اروپائی و آمریکائی انجام پذیرفت. هواپیمائی مورد بحث با تمیزتر و کم صداتر کار کردن، استانداردهای جدیدی را در مسافرتهاى هوایی و حفاظت از محیط زیست بجا گذاشته و در هر صد کیلومتر به ازاء هر مسافر اقلأ سه لیتر کمتر سوخت مصرف میکند و از تمامی جهات مقرون به صرفه تر عمل میکند. قطعات بسیاری از این هواپیما شامل: مفصل بال، سطوح کنترل افقی و عمودی، بالا برنده ها، بدنه موتور، دماغه، دم از کامپوزیت ها در نظر گرفته شده اند (شکل ۱). مفصل بال این هواپیما از کامپوزیت های هیبریدی لایه ای زمینه پلیمری می باشد. کامپوزیت های هیبریدی لایه ای دسته جدیدی از مواد مرکب چند لایه ای بوده که از ترکیب لایه های مختلف در زمینه کامپوزیت ایجاد می شوند و بواسطه ویژگیهای برجسته این مواد تحقیق بر روی این کامپوزیت ها در حال توسعه می باشد [۴-۱]. یکی از تکنولوژی های جدید بکارگیری کامپوزیت های هیبریدی لایه ای فلز-الیاف (Fiber Metal Laminates) می باشد. این مواد پیشرفته از ترکیب ورقه های فلز با پلیمرهای تقویت شده با الیاف بوجود آمده و در حال حاضر جایگاه ویژه ای را در صنایع هوا و فضا پیدا کرده اند. در این پژوهش ضمن ساخت کامپوزیت هیبریدی (الیاف شیشه - ورق آلومینیوم - رزین اپوکسی) تحلیل ارتعاشی طبق آنالیز مودال انجام گردید. آزمایش کشش نمونه ها با دستگاه کشش استاندارد با نرخ حرکت فک متحرک به مقدار 2mm/min بر اساس استاندارد ASTM D3039 صورت گرفت و در طی آن مقادیر بار - تغییر مکان ثبت و سپس تبدیل به مقادیر تنش - کرنش گردید. آزمایش ضربه نمونه ها نیز طبق استاندارد ASTM D 256 انجام شد.

روش تحقیق

برای ساخت کامپوزیت های هیبریدی مورد نظر از الیاف شیشه نوع E به شکل Chopped strand mat (شکل ۲)، رزین اپوکسی با گرانی 460-640cp و ورق آلومینیوم با ضخامت 0.6mm با مشخصات ذکر شده در جدول ۱ استفاده گردید. همچنین نمونه های تقویت نشده نیز به منظور مقایسه نتایج آزمایشات تهیه و در ساخت نمونه های کامپوزیت از روش Hand layup (شکل ۳) بهره گرفته شد. مشخصات لایه های نمونه ها بدین ترتیب می باشد: نمونه ۱ ماتریس تقویت نشده، نمونه ۲ دارای دو لایه شیشه و یک لایه آلومینیوم، نمونه ۳ دارای دولایه شیشه و دو لایه آلومینیوم.

مرحله ساخت قطعات به صورت شماتیک در شکل ۴ آمده است. کسر حجمی الیاف مطابق استاندارد [۵] بدست آمد و بر این اساس مقادیر سفتی، استحکام و دانسیته نمونه ها مطابق جدول ۲ محاسبه گردید. تحلیل ارتعاشی نمونه ها طبق آنالیز مودال انجام گردید. قبل از انجام تست مودال تجهیزات کالیبره شدند. ارتباط اجزای مختلف در آنالیز مودال به صورت شماتیک در شکل ۵ نشان داده شده است. مراحل انجام آنالیز مودال مطابق بندهای زیر انجام گرفت:

۱ - توجه به جهت ارتوتروپی نمونه ها

۲ - شبکه بندی نمونه ها: با این عمل در حقیقت محیط پیوسته به تعداد معدودی از درجات آزادی تبدیل می شود. روی نمونه ها ۳۰ نقطه در نظر گرفته شد.

۳ - ایجاد شرایط مرزی تکیه گاهی: در این آزمایش می توان هر شرط تکیه گاهی را انتخاب کرد، لیکن چون شرایط کاملا آزاد را بهتر می توان شبیه سازی کرد، این مورد در نظر گرفته می شود. شرایط کاملا آزاد را می توان به دو صورت فراهم کرد: الف) قرار دادن صفحه روی یک صفحه کتان که **Damping** کمی داشته باشد. ب) آویزان کردن قطعه. در این پژوهش حالت ب در نظر گرفته شد.

۴ - تحریک نمونه و اندازه گیری پاسخ فرکانسی. برای استخراج پاسخ فرکانسی دو روش وجود دارد: الف) نقطه تحریک ثابت و جای شتاب سنج روی نقاط مختلف عوض می شود. ب) نقطه تحریک متغیر و شتاب سنج روی یک نقطه ثابت در نظر گرفته می شود. در این پژوهش حالت ب در نظر گرفته شد. شتاب سنج روی نقطه ۲۳ و در نقاط دیگر به تعداد مورد نیاز (۵-۸۵) ضربه زده شد. سیگنال های تحریک و پاسخ اندازه گیری به دو کانال آنالیزور فرستاده شد. آنالیزور سیگنال های دریافتی در حوزه زمانی به حوزه فرکانسی تبدیل و مرتبا از نسبت این دو سیگنال، تابع پاسخ فرکانسی تشکیل شده و به دو روش می توان فرکانس های طبیعی را استخراج کرد:

الف) با توجه به پیک های رزنانسی در پاسخ فرکانسی روی مانیتور آنالیزور با بازرسی چشمی (در این پژوهش این حالت در نظر گرفته شد.)

ب) با ارسال پاسخ فرکانس به نرم افزار **STAR** و عملیات کروفیتینگ

۵ - تعیین فرکانس ها و نمایش مود: در این قسمت با توجه به تعداد نقاط گرهی و خطوط گرهی از روی مود شیب ها می توان به اندیس های مودال آن فرکانس طبیعی با یک مود خاص پی برد. به این صورت که تعداد خطوط گرهی در هر جهت + ۱ اندیس مودال در آن جهت را به ما می دهد.

بمنظور آزمایش کشش، نمونه ها (شکل ۶) با دستگاه کشش استاندارد (شکل ۷) با نرخ حرکت فک متحرک به مقدار **2mm/min** بر اساس استاندارد **ASTMD3039** بار گذاری شدند. مقادیر بار - تغییر مکان ثبت شده و سپس به مقادیر تنش - کرنش تبدیل گردید. آزمایش ضربه نمونه ها نیز طبق استاندارد **ASTM D256** انجام گردید.

نتایج و بحث

در این مطالعه و بررسی که به کمک آنالیز مودال انجام گردید، پس از کالیبره کردن تجهیزات از جمله آنالیزور، چکش ضربه و تقویت کننده ها، شرایط مرزی حالت کاملا آزاد انتخاب گردید. به دلیل دارا بودن بی نهایت فرکانس طبیعی قطعات، دامنه صفر تا **400HZ** در آنالیزور تنظیم گردید تا فرکانس های طبیعی در دامنه پایین تر با دقت بیشتری به دست آید. مشکل لرزش در سازه های هوایی با وزن کم یکی از مسائل مهم به شمار می رود. میزان فرکانس این کامپوزیت با راستای قرارگیری فیبرها تغییر می کند. مشکل اصلی در طراحی سازه های کامپوزیتی پیدا کردن راستای بهینه فیبرها برای حداکثر پاسخ فرکانسی است [۶]

افزایش فرکانس طبیعی قطعات مبین لرزش کمتر آنها در شرایط تحت ارتعاش می باشد. در حقیقت کاهش انرژی و ویراسیون (با پاسخ فرکانسی بالاتر) در قطعه بدین معنی است که قطعات در فرکانس های بالای ارتعاش، لرزش کمتری را داشته و

شرایط ارتعاشی را به خوبی تحمل می کنند. در این پژوهش همان طوری که از جدول ۳ مشاهده می گردد نمونه های تقویت شده با ورق آلومینیوم دارای فرکانس های طبیعی بالاتری هستند. لازم به ذکر است که پاسخ های فرکانس طبیعی قطعات به دلیل منابع ایجاد خطا از اعداد ذکر شده در جدول ۳ نیز بالاتر است. یکی از این منابع خطا تاثیر هوای محیط است. تاثیر هوای محیط بدین صورت است که چون قطعه در هوای محیط به حالت تعلیق درآمده و مرتعش می شود، لذا اندازه گیری فرکانس های تجربی آن نیز در همان هوای محیط می باشد، بنابراین هوا به دلیل دمپینگ که داراست باعث کاهش اندازه فرکانس های تجربی می گردد. تاثیر تعلیق بدین گونه است که در یک مود خاص بسته به اینکه خطوط گرهی آن به چه صورت باشد، ممکن است تعلیق صفحه روی آن اثر منفی داشته باشد. خطای تجهیزات آزمایش، خطای عدم تنظیمات درست دستگاه و مجموعه آنالیزور مودال و یا پارازیت های اضافی ناشی از محدودیت تجهیزات نیز وجود دارند.

با استفاده از مقادیر تنش - کرنش بدست آمده در آزمایش کشش، نمودارهای تنش - کرنش نمونه ها مطابق شکل ۸ رسم گردیدند. مقادیر نسبت سفتی، استحکام تسلیم، استحکام شکست و چقرمگی نمونه ها به نمونه ۱ در جدول ۴ آمده است. همان طور که از این جدول مشخص است، تقویت کردن ماتریس پلیمری با الیاف شیشه تاثیر مناسبی در کمیت های ذکر شده فوق دارد. قرار دادن الیاف شیشه و آلومینیوم در ماتریس (نمونه ۳) مقدار چقرمگی را ۷ برابر افزایش داده است. همچنین وجود آلومینیوم نسبت به استفاده از الیاف شیشه به تنهایی تاثیر مناسب تری در افزایش استحکام تسلیم و چقرمگی کامپوزیت داشته است. با توجه به نمودار تنش - کرنش مشاهده می گردد که استحکام نهایی شکست و کرنش نهایی شکست برای مواد کامپوزیتی با افزایش تقویت کننده، افزایش یافته است. اثر آلومینیوم در افزایش خواص شکست بسیار بهتر است، به طوری که در نمونه ۳ با کاهش الیاف شیشه و قرار دادن آلومینیوم در کامپوزیت، تنش نهایی شکست ۳,۸۷ برابر شده است. نتایج آزمایش ضربه در جدول ۵ درج گردیده است. نمونه های تقویت شده نسبت به نمونه خالص دارای میزان جذب انرژی بالاتری می باشد. همچنین وجود آلومینیوم در کامپوزیت میزان جذب انرژی را نسبت به نمونه ۱ حدود ۵ برابر افزایش می دهد.

جمع بندی و نتیجه گیری

- ۱ - طبق آنالیز مودال نمونه های کامپوزیتی تقویت شده با ورق آلومینیوم دارای فرکانس های طبیعی بالاتری هستند
- ۲ - قرار دادن الیاف شیشه و آلومینیوم در ماتریس اپوکسی مقدار چقرمگی را ۷ برابر افزایش داده است. همچنین وجود آلومینیوم نسبت به استفاده از الیاف شیشه به تنهایی تاثیر مناسب تری در افزایش استحکام تسلیم و چقرمگی کامپوزیت داشته است.
- ۳ - وجود آلومینیوم در کامپوزیت میزان جذب انرژی را حدود ۵ برابر افزایش می دهد.

منابع و مراجع

- 1) Rohatgi, P., Cast Aluminum-Matrix Composites for Automotive Applications, Jom, April 1991.
- 2) F.L. Matthews, R.D. Rawling, Composite Materials: Engineering & Science, Woodhead Publishing Ltd., Cambridge, England, 1999.
- 3) B. Agarwal & L.J. Broutman, Analysis and performance of Fiber composites, Wiley Interscience, New York, 1980.
- 4) S. Komarneni, Nanocomposites, J. Mater Chem., vol 2, No12, 1992, pp1219-1230.
- 5) L.A. Carlsson & R.B. Pipes, Experimental characterization of Advanced Composite Materials, Technomic pub., Lancaster, 1997.

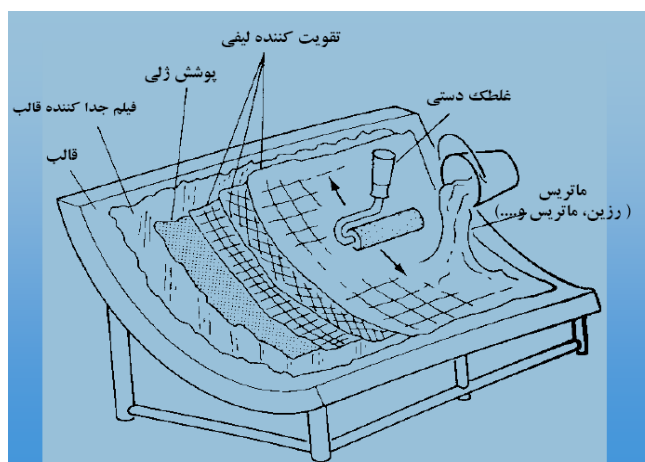
۶- الگوریتم ژنتیک و کاربردهای آن ، تالیف مهندس مهدی علیرضا ، شرکت ناقوس اندیشه



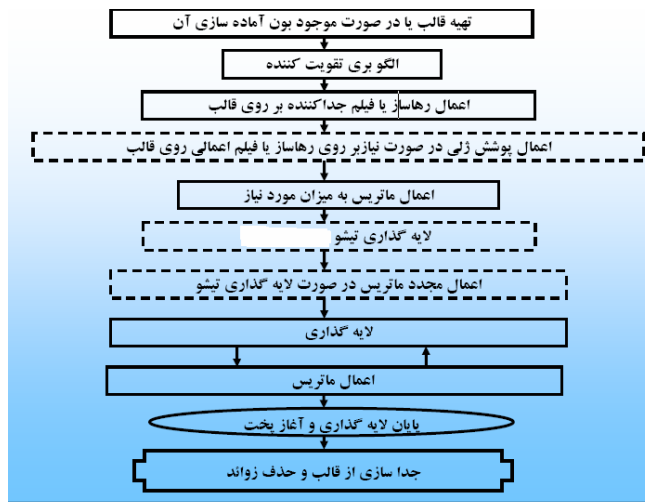
شکل ۱ - هواپیمای کامپوزیتی A380 بی سر و صداترین وسیله هوایی



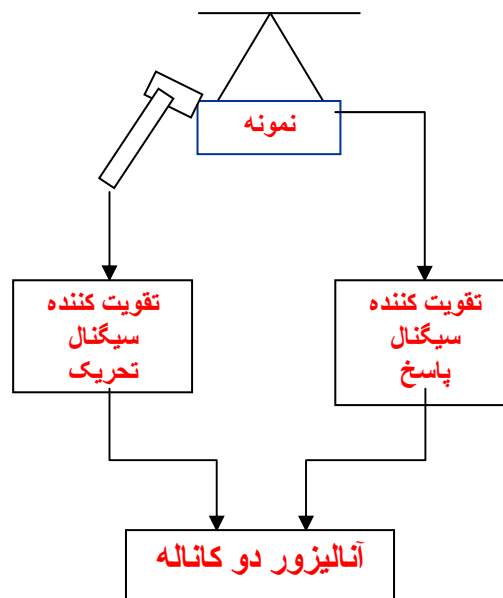
شکل ۲ - الیاف شیشه نوع E به شکل Chopped strand mat



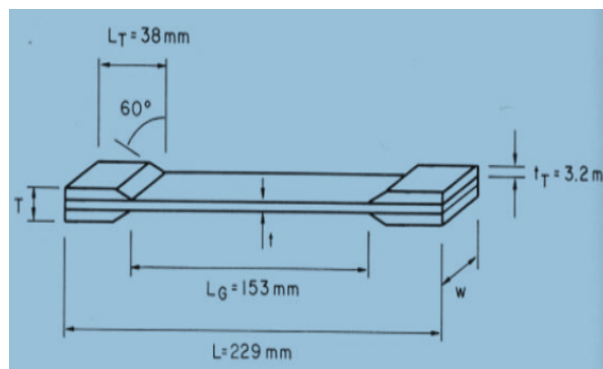
شکل ۳ - شماتیک روش Hand layup



شکل ۴ - شماتیک مراحل ساخت قطعات



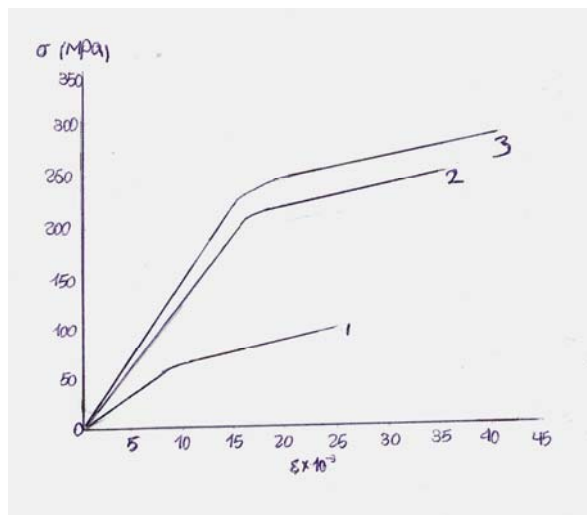
شکل ۵ - شماتیک آنالیز مودال



شکل ۶ - ابعاد نمونه کشش بر اساس استاندارد ASTM D3039



شکل ۷ - نمونه دستگاه آزمایش کشش



شکل ۸ - منحنی تنش - کرنش نمونه ها

جدول ۱ - خواص مواد اولیه

| مدول الاستیسیته (Gpa) | استحکام کششی (Mpa) | چگالی (gr/cm ³) | جنس | ماده اولیه |
|-----------------------|--------------------|-----------------------------|-----------|------------|
| ۸۱,۸ | ۳۴۴۵ | ۲,۶۲ | E - glass | الیاف |
| ۷ | ۹۶ | ۱,۳ | Epoxy | رزین |

جدول ۲ - کسر حجمی ، سفتی ، استحکام تسلیم و دانسیته کامپوزیت های ساخته شده

| دانسیته gr/cm ³ | استحکام Mpa | سفتی Gpa | کسر حجمی تقویت کننده | کد نمونه |
|----------------------------|-------------|----------|----------------------|----------|
| ۱,۲۲ | ۸۴ | ۸ | ۰ | ۱ |
| ۱,۴۵ | ۳۰۵ | ۱۷,۸ | ۰,۱۸۷ | ۲ |

| | | | | |
|------|-----|----|-------|---|
| ۱,۵۳ | ۳۴۶ | ۲۰ | ۰,۲۴۵ | ۳ |
|------|-----|----|-------|---|

جدول ۳ - نتایج آنالیز مودال ، پنج فرکانس اول طبیعی قطعات (بر حسب هر تز)

| کد نمونه | Mod1 | Mod2 | Mod3 | Mod4 | Mod5 |
|----------|------|------|------|------|------|
| ۱ | ۱۱۱ | ۱۲۲ | ۱۵۰ | ۱۶۱ | ۱۷۲ |
| ۲ | ۱۳۲ | ۱۵۷ | ۱۶۷ | ۱۷۴ | ۱۸۹ |
| ۳ | ۲۵۷ | ۳۲۲ | ۳۷۸ | ۳۹۴ | ۴۴۳ |

جدول ۴ - نسبت سفتی ، استحکام تسلیم ، استحکام شکست و چقرمگی نمونه ها به نمونه ۱

| کد نمونه | نسبت سفتی | نسبت استحکام تسلیم | نسبت استحکام شکست | نسبت چقرمگی |
|----------|-----------|--------------------|-------------------|-------------|
| ۲ | ۲,۲۲۵ | ۳,۶۳ | ۳,۲۲ | ۵ |
| ۳ | ۲,۵ | ۴,۱۱ | ۳,۸۷ | ۷ |

جدول ۵ - انرژی جذب شده بر واحد سطح KJ/m^2 انرژی ضربه نمونه ها

| کد نمونه | انرژی جذب شده بر واحد سطح KJ/m^2 | نسبت انرژی به نمونه ۱ |
|----------|------------------------------------|-----------------------|
| ۱ | ۵۰ | ۱ |
| ۲ | ۲۱۰ | ۴,۲ |
| ۳ | ۲۵۵ | ۵,۱۲ |