

استفاده از الگوریتم ژنتیک بمنظور بهینه سازی ضخامت لایه های صفحه کامپوزیتی تحت بار انفجار زیر آب با استفاده از نرم افزار ABAQUS و MATLAB

سید علی گله داری^۱، عباس وفایی صفت^۲، داوود آرزومندی^۳، مهدی شهبابی^۴

1. دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه امام حسین(ع); ali_ila84@yahoo.com
2. دانشیار دانشکده مکانیک، دانشگاه امام حسین(ع); abbas_v@yahoo.com
3. دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه امام حسین(ع); darezomand@yahoo.com
4. دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه امام حسین(ع); mahdishahabi.2000@gmail.com

چکیده

سازه های دریایی اعم از نظامی و یا غیر نظامی از جمله شناورها، سلاحهای دریایی (اژدر، مین ها) لوله های انتقال نفت و گاز، پایه پلها و سکوهای نفتی وعلاوه بر تحمل فشار هیدرواستاتیک وارده از آب می باید تا حد امکان در برابر بارهای ناشی از انفجار زیر آب مقاوم بوده و برای این شرایط طراحی شوند. از طرفی با توجه به نیاز روزافزون طراحی سازه های سبک وزن با استحکام بالا، لازم است نسبت استحکام به وزن این سازه ها تا حد امکان زیاد باشد، تا سازه طراحی شده به لحاظ مواد مصرفی، انرژی و هزینه بهینه باشد.

در این مقاله ابتدا رفتار دینامیکی سازه ی کامپوزیتی تحت بار انفجار زیر آب مورد بررسی قرار گرفته است. سپس الگوریتمی ارائه شده است که بوسیله آن می توان با بهینه سازی زوایا و ضخامت صفحه کامپوزیتی، وزن صفحه را با استفاده از الگوریتم ژنتیک کاهش داد.

نتایج نشان می دهد که الگوریتم ارائه شده توانایی بهینه سازی وزن سازه ی کامپوزیتی را دارد. این بهینه سازی در شرایطی است که سازه در مقابل بار انفجار زیر آب دچار شکست نشود.

کلمات کلیدی: انفجار زیر آب، ABAQUS، الگوریتم ژنتیک، صفحه کامپوزیتی

مقدمه

سازه های دریایی علاوه بر تحمل فشار هیدرواستاتیک وارده از آب می باید تا حد امکان در برابر بارهای ناشی از انفجار زیر آب مقاوم بوده و برای این شرایط طراحی شوند. پاسخ سازه در معرض انفجار زیر آب می تواند معیار مهمی جهت طراحی آن تلقی شود.

توالی پدیده هایی که در انفجار زیر آب اتفاق می افتد، عبارتند از:

الف) انتشار موج ضربه ای اولیه با دامنه زیاد و زمان ماندگاری کم
ب) انتشار امواج فشاری در اثر نوسانات حباب با دامنه کمتر نسبت به موج ضربه ای و با زمان ماندگاری زیادتر نسبت به زمان ماندگاری موج ضربه ای

پ) پدید آمدن جت بر سرعت سیال که به سازه مجاور برخورد می کند.

مطالعات انجام شده هر کدام بنابر کاربرد مورد نظر به یک دو یا سه مورد فوق پرداخته اند. با گسترش تکنولوژی و شناخت خواص

مکانیکی مواد کامپوزیت، صنایع مختلف دریایی استقبال گسترده ای از مواد کامپوزیت به لحاظ استحکام قابل مقایسه با فلزات، سبک بودن نسبت به فلزات و مهمتر از همه مقاومت بالا در مقابل خوردگی، کرده اند. این استقبال و استفاده در ساخت سازه های دریایی و زیر دریایی باعث شده که مسئله تاثیر انفجار زیر آب بر روی این مواد در رفتار آنها مورد توجه محققین قرار گیرد [1].

در این تحقیق یک کد کامپوزیتی سه بعدی برای تجزیه و تحلیل خرابی های وارده بر مواد کامپوزیت تحت اثر انفجار زیر آب تهیه شده است. خرابی هایی مانند جدا شدن ماترس از الیاف تقویت کننده و لایه لایه شدن مواد کامپوزیت را می توان با نرم افزار تهیه شده تجزیه و تحلیل نمود. با تحلیل خرابی در یک صفحه کامپوزیت نتایج زیر توسط نویسندگان مقاله استخراج شده است :

الف) حدود ۲۰ درصد از کار انجام شده توسط نیروهای خارجی صرف خرابی نمونه می شود.

ب) انرژی صرف شده برای لایه لایه کردن ماده کامپوزیت در حالیکه صفحه مورد نظر از اطراف ثابت شده باشد دو برابر هنگامی است که صفحه دارای تکیه گاههای ساده باشد.

پ) حدود ۴۳ درصد انرژی اعمال شده به سازه صرف تغییر فرم آن می شود و ۴۲ درصد آن تبدیل به انرژی جنبشی می شود. اما این نسبت ها در حالیکه صفحه دارای تکیه گاه های ساده باشد، بستگی زیادی به جهت پیچیدن الیاف دارد. در مقاله فوق همچنین یک مطالعه پارامتری بر روی جهت پیچیدن الیاف و اثر آن بر رفتار صفحه مورد مطالعه، قرار گرفته است [2]. این مقاله مروری بر روابط تشریح کننده پدیده انفجار زیر آب و تغییر فرم های الاستیک و پلاستیک ایجاد شده در صفحات می باشد. تورکمن و همکارانش [3]، نتایج حاصل از آزمایشات تجربی و حل عددی با روش اجزاء محدود را برای لایه های تقویت شده یک صفحه کامپوزیتی مورد مقایسه قرار داده و تاثیر تقویت کننده ها و بار اعمال شده در پاسخ دینامیکی صفحه، مورد مطالعه قرار گرفته است.

لذا با توجه به نیاز روزافزون طراحی سازه های سبک وزن با استحکام بالا، لازم است نسبت استحکام به وزن این سازه ها تا حد امکان زیاد باشد، تا سازه طراحی شده به لحاظ مواد مصرفی، انرژی و هزینه بهینه باشد. کاربرد مواد کامپوزیت به دلیل مقاومت

ویژه بالا و صرفه جویی قابل ملاحظه در قسمت های مختلف تجهیزات و وسایل نظامی از جمله شناورها اژدرها و ... روند صعودی داشته و رفته رفته جای خود را در اکثر زمینه های صنعتی باز نموده است.

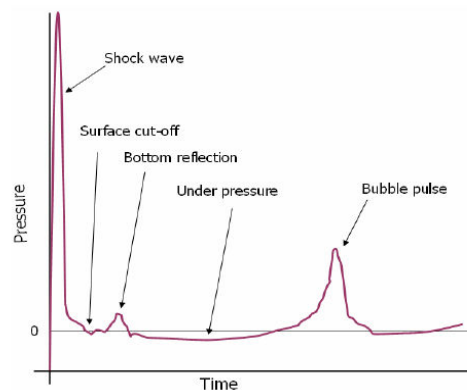
انفجار زیر آب و توزیع موج فشار

انفجار در واقع یک واکنش شیمیایی بسیار سریع است که مواد اولیه انفجار را به یک گاز در دما و فشار بسیار بالا تبدیل می کند و در طی این عمل مقدار بسیار زیادی انرژی حرارتی تولید می گردد. مرتبه بزرگی فشار در حدود ۵۰۰۰ اتمسفر و مرتبه بزرگی دما در حدود ۳۰۰۰ درجه سانتی گراد می باشد [4].

این واقعیت که آب یک سیال دارای قابلیت تراکم پذیری می باشد باعث می شود که فشار ایجاد شده در یک نقطه از آن بصورت موج منتشر گردد.

در این حالت اگر امواج بصورت امواج تخت در نظر گرفته شوند دامنه امواج نسبتاً ثابت می ماند، اما اگر امواج در تمامی جهات بصورت کروی پخش شوند دامنه امواج نسبت به فاصله از منبع تولید موج کاهش یافته و اصطلاحاً موج میرا می گردد.

مطابق شکل ۱ پس از تکمیل پدیده انفجار فشار ایجاد شده (که در حدود چند هزار اتمسفر است) به آب اعمال می شود و باعث ایجاد موج ضربه ای در آب و حرکت آب در تمامی جهات به سمت مخالف محل انفجار می شود. فشار زیاد اولیه ناشی از انفجار پس از انتشار موج ضربه ای بصورت قابل ملاحظه ای کاهش می یابد، اما این فشار هنوز خیلی بالاتر از فشار هیدرواستاتیک محل وقوع انفجار است. همین فشار بالا باعث می شود که به آب سرعتی در جهت خلاف محل انفجار بدهد. در اثر این حرکت آب شعاع کره گازی (حباب) با نرخ نسبتاً زیادی افزایش می یابد.



شکل ۱: نمودار توزیع فشار-زمان در پدیده انفجار زیر آب [4]

انبساط حباب و افزایش شعاع آن تا زمان نسبتاً زیادی (نسبت به مقیاس زمانی حرکت موج ضربه ای) ادامه می یابد و فشار داخلی حباب در اثر افزایش حجم کاهش می یابد. انبساط حباب حتی بعد از زمانی که فشار داخل آن به فشار هیدرواستاتیک آب و فشار اتمسفر می رسد (به علت اینرسی) ادامه می یابد و در نتیجه فشار داخل حباب از فشار تعادل اطراف آن کمتر می شود. در اثر این کاهش فشار داخل حباب حرکت میان اطراف حباب عکس شده و

حجم حباب شروع به کاهش می کند و در نتیجه فشار درون آن افزایش می یابد. همینکه حباب تا حداقل شعاع فشرده شده فشار بالا موجب انفجار و انبساط مجدد آن شده و موج شوک دوم منتشر می گردد. این موج شوک دوم پاس حباب نامیده می شود.

موج ایجاد شده پس از انفجار تابعی از اندازه فشار و جابجایی سیال می باشد و بصورت ضربه ای و با سرعتی چند برابر سرعت صوت در آب (۱۵۰۰ m/s) حرکت می کند. مدت زمان گذر موج از هر مکان از سیال از مرتبه بزرگی میلی ثانیه می باشد. از طرفی نوسانات حباب گاز ایجاد شده در اثر افزایش فشار ناگهانی اولیه، انتشار انرژی به فرم امواج فشاری را در پی دارد که بصورت شعاعی از محل انفجار به تمام جهات منتشر می گردد. لازم به ذکر است فشارهای ماکزیمم در موج پالس های فشاری در حدود ۱۰ تا ۲۰ درصد فشار ماکزیمم در موج ضربه ای اولیه هستند. اما زمان ماندگاری آنها بیشتر از زمان ماندگاری موج ضربه ای اولیه است. در رابطه با پالس های فشاری این نکته قابل ذکر است که دوری و با نزدیکی محل وقوع انفجار، تاثیر قابل ملاحظه ای بر روی شکل پالس دارد. که علت این امر انعکاس و برگشت پالس های فشاری از روی سطوح در مجاورت محل انفجار و ترکیب آنها با پالس های ناشی از نوسانات می باشد [5].

اثرات انفجار زیر آب بر سازه

هنگامی که انفجار زیر سطح آزاد و در نزدیکی دیواره جامد اتفاق می افتد میدان جریان القاء شده در محیط آب توسط حباب و توزیع فشار اطراف آن به نحوی است که حباب در طی نوسانات مختلف شکل کروی خود را از دست داده و قسمتی از محیط حباب که در جهت مخالف دیواره جامد قرار گرفته است شروع به حرکت به داخل حباب می کند. حرکت دیواره حباب از قطب طرف مخالف دیواره جامد باعث می شود که یک جت پر سرعت سیال (تقریباً ۲۰۰۰ متر بر ثانیه) به طرف درون حباب و به سمت دیواره جامد حرکت کند.

روابط شبیه سازی (فشار بر حسب زمان)

برای تعیین فاصله امن برای صفحه، بطوریکه آسیبی به آن نرسد نیاز به در اختیار داشتن دیاگرام فشار- زمان انفجار در موقعیت ها و فواصل متفاوت صفحه از مبدا انفجار می باشد. این دیاگرام برای یک موقعیت مشخص از صفحه توسط روابط زیر [4,6] قابل دستیابی است. این روابط بطور دقیق دیاگرام توزیع فشار بر حسب زمان را ارائه می دهند:

$$\tau = \left[\frac{a_c}{R} \right]^B * \frac{V_c * t}{a_c} \quad (1)$$

$$P(R, t) = P_c * \left[\frac{a_c}{R} \right]^{1+A} * f(\tau) \quad (2)$$

$$f(\tau) = e^{-\tau}, \tau \leq 1 \quad (3)$$

$$f(\tau) = 0.8251e^{-1.338\tau} + 0.1749e^{-0.1805\tau}, \tau \leq 7 \quad (4)$$

$P(R,t)$: عبارتست از تاریخچه زمانی فشار

R : عبارتست از فاصله از مبدا انفجار

τ : متغیر زمانی

a : عبارتست از شعاع شارژ کروی

f : ترم نمایی میرایی

v, c, A, B : عبارتند از ثوابتی که وابسته به ماده شارژ

هستند، برخی مقادیر پیشنهادی ثابت در جدول ۱ آمده است [6].

جدول ۱: ثابتهای مورد استفاده در معادله شبیه سازی

Charge	Pc, GPa	$v_c, m/s$	A	B
TNT (1.52 g/cc)	1.42	992	0.13	0.18
TNT (1.60 g/cc)	1.45	1240	0.13	0.23
TNT (1.60 g/cc)	1.67	1010	0.18	0.185
HBX-1 (1.72 g/cc)	1.71	1470	0.15	0.29
HBX-1 (1.72 g/cc)	1.58	1170	0.144	0.247
Pentolite (1.71 g/cc)	1.65	1220	0.14	0.23

با مشخص شدن اطلاعات میدان فشار با استفاده از روابط فوق

برای یک مقدار ماده منفجره مشخص خروجی آن به عنوان

بارگذاری بر روی مدل صفحه قابل استفاده خواهد بود.

در این مقاله رفتار یک صفحه ی کامپوزیتی در مقابل بار ناشی از

انفجار زیر آب بررسی می گردد.

معیار شکست در طراحی مواد کامپوزیت

تعیین و برآورد محدودیت های طراحی توسط یک طراح برای

مواد کامپوزیت مشکل تر از انجام این مسئله برای مواد معمول

فلزی است. زیرا معیار گسیختگی کامپوزیتها پیچیده تر می باشد.

این پیچیدگی بواسطه امکان وجود تورق در بعضی قسمتهای این

مواد و یا به تسلیم رسیدن اجزاء (ماتریس ، الیاف) می باشد. علاوه

بر این مسائل در مواد کامپوزیت به علت عدم ایزوتروپ بودن و

عدم داشتن نقطه تسلیم متعارفی مثل مواد فلزی، قادر به استفاده

از تئوریهای شکست مواد فلزی برای این مواد نیستیم. البته

تئوریهای معتبری برای تحلیل شکست مواد کامپوزیت وجود دارد،

که معمول ترین آنها در ادامه مطلب آورده شده است. پارامترهایی

که در بیان تئوریهای شکست استفاده می شود بصورت زیر تعریف

می شوند:

X_T : مقاومت محوری یا طولی در کشش

X_C : مقاومت محوری یا طولی در فشار

Y_T : مقاومت عرضی در کشش

Y_C : مقاومت عرضی در فشار

S : مقاومت برشی

تئوری تسای- هیل

تئوری هیل عبارتست از گسترش تئوری (ون میس) در مورد

مواد غیر ایزوتروپ بدست آمده است با استفاده از تئوری هیل در

رابطه با مواد ارتوتروپ خواهیم داشت:

$$FI = \frac{\sigma_1^2}{X_T} + \frac{\sigma_2^2}{Y_T} + \frac{\tau_{12}^2}{S^2} - \frac{\sigma_1 \cdot \sigma_2}{X_T} < 1.0 \quad (8)$$

مقایسه نتایج تجربی با این عیار برای مواد کامپوزیت شبیه/ اپوکسی

در میدان تنشهای دو محوری نسبت به تئوری های ماکزیمم بهتر

بوده است، مزیت های این معیار را می توان بصورت زیر بیان کرد:

الف) این تئوری بر اساس برهم کنش بین تنش ها می باشد.

ب) تغییرات مقاومت با تغییرات زاویه به نرمی صورت گرفته و

شکستگی های موضعی در این معیار وجود ندارد.

پ) نتایج مقاومت کششی با افزایش زاویه چرخش نسبت به

تئوریهای دیگر بهتر می باشد.

ت) در تئوریهای ماکزیمم تنش و ماکزیمم کرنش، درصد خطا

در زاویه 30° درجه حدوداً صد در صد می باشد، در صورتیکه این

تئوری جواب خوبی داده است.

در این مقاله معیار زوال تسای- هیل مورد استفاده قرار می گیرد.

بهینه سازی

امروزه مسئله بهینه سازی یکی از اساسی ترین مسائل مطرح در

علوم مهندسی می باشد. در مهندسی مکانیک به دلیل تنوع مسائل

رایج در آن و همچنین متعدد بودن پارامترهای مسائل، عموماً بهینه

سازی به عنوان یک نیاز مطرح است. برای یافتن جواب بهینه راه

حلهای مختلفی وجود دارد. برخی از این راه حلها که سابقه دیرینه

دارند به راحلهای کلاسیک بهینه سازی مشهورند. از جمله این

روش ها می توان به روش گرادیان مقطع طلایی جستجوی تصادفی

جستجوی دور برگشت اشاره کرد.

روش های فوق در مقابله با مسائلی که تعداد پارامترهای آن

بیش از هفت یا هشت عدد باشد قابلیت خود را از دست می دهند.

با ابداع روش های نوین از جمله الگوریتم های ژنتیکی که با الهام از

طبیعت و مطالعه عملکرد آن جهت بهینه سازی سیستم های

پیچیده، مشکل فوق حل شده است [7].

این روش با الگو گرفتن از اصل انتخاب طبیعی نزد موجودات

زنده و در نظر گرفتن سیستم طبیعی و تکامل ژن های آنها جهت

انطباق با محیط و تداوم بقا، کار جستجو در فضای کاوش را از

یک جمعیت نقاط اولیه آغاز کرده، با بکارگیری عملکردهای ژنتیکی

تا رسیدن به نمونه های بهتر و احتمالاً بهترین آنها، کار را ادامه می

دهد. یکی از مهمترین ویژگی این الگوریتم ها امکان پردازش

موازی می باشد.

بهینه سازی در این مقاله در دو فاز انجام می شود. در فاز نخست

زاویه بهینه ی الیاف با در نظر گرفتن معیار تسای- هیل، بدست می

آید. در فاز دوم وزن سازه بهینه می گردد و ضخامت بهینه لایه ها

بدست می آید.

بهینه سازی توسط الگوریتم ژنتیک، در حالی که نرم افزار

محاسباتی با نرم افزار اجزا محدود در ارتباط با شد، مطابق فلوجارت

زیر انجام می پذیرد.

صفحه کامپوزیتی به طول ۳ متر و عرض ۴ متر در محیط ، در محیط Abaqus/cae مدل می شود. مدل المان محدود صفحه از نوع مثلثی TRI می باشد.

خواص مواد کامپوزیت به المان های شل اعمال می گردد. مشخصات مکانیکی Carbon/Epoxy در جدول ۲ و مشخصات لایه های این صفحه مطابق جدول ۳ می باشد.

جدول ۲: مشخصات لایه های صفحه کامپوزیتی

مشخصه	Carbon/Epoxy
E11	۱۳۸ Gpa
E22	۸/۹۶ Gpa
G12	۷/۱ Gpa
ρ	۱۶۰۰ Kg/m3
ν	۰/۳

جدول ۳: مشخصات لایه های صفحه کامپوزیتی

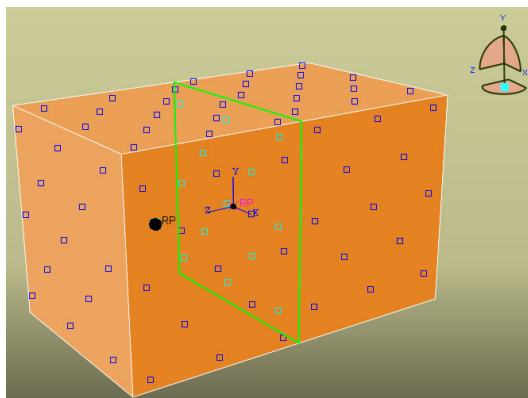
لایه	جنس ماده	ضخامت لایه	زاویه الیاف
۱	Carbon/Epoxy	۰/۰۱	29
۲	Carbon/Epoxy	۰/۰۱	-90
۳	Carbon/Epoxy	۰/۰۱	90
۴	Carbon/Epoxy	۰/۰۱	-90
۵	Carbon/Epoxy	۰/۰۱	29

درجات آزادی حرکت در سه بعد (U1,U2,U3) بسته می باشد. ماده منفجره مورد استفاده از نوع TNT به وزن ۳۰۰ گرم و در فاصله ۲ متری از مرکز صفحه می باشد.

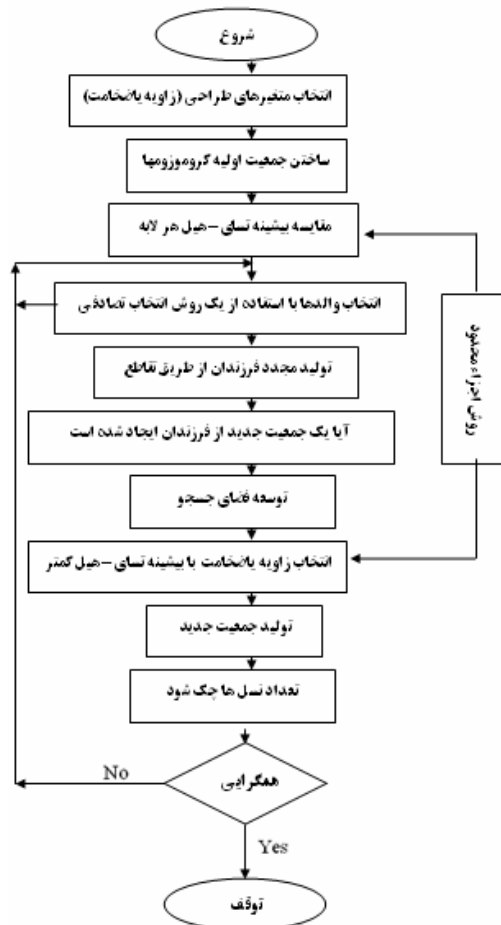
(ب) مدل سازی سیال

سیال بی نهایت توسط المانهای Tetrahedral مدل می شود. بی نهایت بودن سیال را می توان با اعمال شرایط مرزی در سطح خارجی مدل سیال به آن اعمال نمود.

مدل سازی صفحه کامپوزیتی و سیال اطراف آن مطابق شکل ۳ خواهد بود.



شکل ۳: مدل سازی صفحه کامپوزیتی و سیال در محیط ABAQUS/CAE



شکل ۲: تعامل الگوریتم ژنتیک با نرم افزار المان محدود

روش کار

ابتدا آنالیز صفحه با جنس کامپوزیت به منظور تعیین فاصله عملکرد ایمن از انفجار با یک مقدار معین ماده منفجره، انجام خواهد شد. با تأیید این فرضیه که صفحه کامپوزیتی عملکرد بهتری می تواند داشته باشد، به بهینه سازی ساختار آن می پردازیم. نتیجه این بهینه سازی کاهش وزن به همراه ارضاء قیود مربوط به فاصله عملکرد ایمن می باشد. بدین منظور مطالعه و تحلیل های عددی متعددی برای دستیابی پاسخ مدل تحت فواصل مختلف به منظور تعیین فاصله ایمن انجام گرفته است. نهایتاً تحلیل عددی انجام گرفته در روند بهینه سازی مورد استفاده قرار خواهد گرفت.

در تمامی مراجع ذکر شده پاسخ Index برای انواع مختلف سازه ها، اعم از کامپوزیت و یا فلزی مورد مطالعه قرار گرفته است. لذا بطور کلی اهداف این تحقیق را می توان به کارگیری نرم افزار Abaqus به کمک ماژول Index برای دستیابی به فاصله ایمن صفحه در برابر بار انفجار زیر آب و دیگری استفاده از ورودی این آنالیز و لینک با نرم افزار Matlab به منظور بهینه سازی زوایای الیاف و در نهایت ضخامت لایه های صفحه کامپوزیتی و بالطبع کاهش ماکسیم وزن آن، دانست.

مدل سازی صفحه کامپوزیتی و سیال اطراف آن

(الف) مدل سازی صفحه

بهینه سازی زوایای الیاف

جدول ۵: زوایای بهینه الیاف در هر یک از لایه های

شماره لایه	لایه شماره ۵	لایه شماره ۴	لایه شماره ۳	لایه شماره ۲	لایه شماره ۱
زوایای الیاف	83.0271	-6.1210	7.5013	-6.1210	83.0271

در نتیجه با توجه به زوایای جدید در مرحله بعد به بهینه سازی ضخامت لایه ها می پردازیم.

مطابق روش قبل با ایجاد جمعیت ۱۰ نفری در الگوریتم ژنتیک، ضخامت بهینه لایه های سازه، مطابق جدول ۶ بدست می آید.

جدول ۶: ضخامت بهینه و بیشینه تساهیل در هر لایه

شماره لایه	ضخامت لایه	مقدار بیشینه تساهیل
۱	۰/۰۰۶۱	۰/۹۶
۲	۰/۰۰۶۴	۰/۹۲
۳	۰/۰۰۶۱۷	۰/۹۵
۴	۰/۰۰۶۳	۰/۹۳
۵	۰/۰۰۶	۰/۹۸

نتیجه گیری

از مقایسه نتایج نهایی و حل اولیه می توان نتیجه گرفت که با تغییر دادن زوایای الیاف و حتی بدون تغییر ضخامت می توان استحکام سازه را افزایش داد. در حل و طراحی مسئله این نکته قابل توجه است که تقارن زوایا در نظر گرفته شده است که این مهم به استحکام سازه کمک شایان توجهی می کند.

روش بکار گرفته شده در بهینه سازی استحکام صفحه کامپوزیتی در این مقاله می تواند کاربردهای فراوانی داشته باشد. از آنجا که سازه های کامپوزیتی وزن کم و استحکام بالایی دارند، کاربردهای فراوانی در صنایع نظامی دارند. از نتایج این مسئله می توان برای بهینه سازی وزن و استحکام سازه های دریایی که در مقابل بار انفجار زیر آب قرار می گیرند استفاده کرد. از این الگوریتم می توان برای بهینه سازی وزن سازه های کامپوزیتی نیز استفاده کرد.

مراجع

- [1]- Barta R.C. and Hassan N.M., "Response of fiber reinforced composites to underwater explosive loads", Composites: Part B, Vol. 38, 2007, pp.448-468
- [2]- Rajendran R. and Narasimhan K., "Deformation and fracture behavior of plate specimens subjected to underwater explosion-a review", International Journal of impact engineering, Vol.32, pp.1945-1963, 2006
- [3]- Turkmen, H.S., and Mecitoglu, Z., "Dynamic response of a stiffened laminated composite plate subjected to blast load," Journal of Sound and Vibration, vol. 221, pp. 371-389, 1999
- [4]- Cole R.H., "Underwater Explosions", Princeton University press, 1948
- [5]- Keil A.H., "Introduction to underwater explosion research", UERD, Norfolk Naval ship yard, Portsmouth, Virginia, 1956
- [6]- Geers, T. L., Hunter, L. S., "An Integrated Wave-Effects Model for an Underwater Explosion Bubble."

پس از انجام تحلیل المان محدود اولیه توسط نرم افزار Abaqus مقادیر تسای- هیل در هر لایه بدست می آید. از آنجا که اعداد بدست آمده معیار گسیختگی تسای هیل را برآورد می سازد. بنابراین ساختار در نظر گرفته شده برای مساله نشان از آنست که فاصله و مقدار شارژ در نظر گرفته شده برای صفحه از لحاظ ایمنی قابل قبول می باشد. با توجه به توانایی ها و نحوه عملکرد منطق ژنتیک، در این قسمت به چگونگی بهینه کردن زوایای الیاف لایه های صفحه به روش الگوریتم ژنتیک می پردازیم. در حقیقت هدف برقراری رابطه بین الگوریتم ژنتیک و تحلیل های المان محدود می باشد. برای بهینه سازی استحکام و وزن صفحه کامپوزیتی در برابر بارناشی از انفجار زیر آب همانند تمام مسائل بهینه سازی باید تابع هدف متغیرهای طراحی متغیرهای حالت و قیود مسئله مشخص شوند.

۱ تابع هدف

در این مقاله تابع هدف در فاز اول، کمینه کردن ماکزیمم تسای- هیل در لایه های مختلف صفحه و در فاز دوم وزن سازه می باشد.

۲ متغیرهای طراحی

متغیرهای طراحی در فاز اول زوایای الیاف لایه ها و در فاز دوم ضخامت لایه ها می باشد.

۳ قید

در این مسئله قید به صورت ذیل تعریف می گردد:

$$\text{Max Tsai-Hill} < 1 \quad (\text{در هر لایه})$$

نتایج

با توجه به حل اولیه ی مسئله که در آن زوایای الیاف به ترتیب ۲۹، ۹۰، ۹۰، -۹۰، ۲۹ درجه می باشد، بیشینه تسای- هیل در تمام لایه ها بیشتر از یک می باشد. بیشینه تسای- هیل در هر لایه مطابق جدول ۴ می باشد.

جدول ۴: بیشینه تسای- هیل در هر لایه

شماره لایه	لایه شماره ۱	لایه شماره ۲	لایه شماره ۳	لایه شماره ۴	لایه شماره ۵
بیشینه تسای- هیل	۳/۳۶	۲/۱۷۶	۱/۸۲	۲/۶۵	۳/۵

بهینه سازی فاز اول با استفاده از الگوریتم ژنتیک با جمعیت ۱۵ انجام پذیرفت. با توجه به نتایج بدست آمده زوایای نهایی الیاف مطابق جدول ۵ می باشد، که بیشینه تسای هیل نظیر این زوایا مقدار ۰/۹۴۵ می باشد.

Journal of Acoustical Society of America, Vol. 111,
No. 4, April 2002, pp 1584-1601
[7]- D.E.Ggoldberg and M.P.Samatani, "Engineering
Optimization Via genetic algorithm",Proc.,9th Conf.
Electronic computation, ASCE, 1986,471-482