

# بهینه سازی سازه فضاکار استوانه ای دولایه در اثر تغییرات نیروهای ثقلی و جانبی با روش الگوریتم ژنتیک

مصطفی قانعی طیبلو، مرتضی قاسمی، جواد سلاجقه

عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی فسا، دانشگاه آزاد اسلامی کرمان، استاد یار دانشگاه شهید باهنر کرمان

جمهوری اسلامی ایران

الگوریتم ژنتیک اصلاح شده، بهینه سازی، سازه فضا کار استوانه ای، خیز بهینه

## چکیده :

در مراحل جستجو بسیار قدرتمند می باشد علاوه بر این از نظر مبانی و اصول، به فرضیات محدود کننده در فضای جستجو نظیر پیوستگی و یا وجود داشتن مشتقات تابع محدود نمی باشد. با توجه به این که در سازه های فضاکار استوانه ای، مقدار و چگونگی نیروهای وارده، وابسته به هندسه سازه می باشد، انتخاب مقدار مناسب برای ارتفاع سازه استوانه ای در کاهش سطح مقطع اعضا و در نتیجه کاهش وزن سازه تاثیر زیادی دارد. در این مقاله تاثیر تغییرات نیروهای ثقلی و جانبی بر ارتفاع بهینه گنبد و تاثیر تغییرات ارتفاع گنبد بر مقاطع اعضا و وزن سازه مورد بررسی قرار گرفته و نتایج به دست آمده به صورت نمودارهایی ارائه شده اند.

در صورتی که طراحی یک سازه به صورتی انجام بگیرد که علاوه بر رعایت مسائل فنی و ضوابط طراحی، کمترین هزینه اجرایی را داشته باشد؛ به چنین فرایندی بهینه سازی گفته می شود. بهینه سازی سازه ها با درجات آزادی زیاد، از جمله سازه های فضاکار، به علت داشتن حجم بالای محاسباتی، مستلزم صرف زمان های طولانی می باشند. استفاده از مفاهیم الگوریتم ژنتیک می تواند در کاهش کلی زمان لازم جهت بهینه سازی بسیار مفید واقع شوند. در این مقاله، روش ژنتیک و نیز نحوه استفاده از آن در بهینه سازی سازه های فضاکار استوانه ای دولایه بیان شده اند. دلیل استفاده فراوان از این روش در زمینه های متفاوت این است که از یک سو به لحاظ محاسباتی ساده بوده و از سوی دیگر،

مقدمه:

سازه های فضاکار استوانه ای (چلیک ها) از جمله سازه هایی می باشند که شکل هندسی آنها بر میزان بارهای وارده و چگونگی

توزیع بارهای ثقلی و بارهای جانبی داشته و همچنین شدت بارهای ثقلی و جانبی نیز در میزان ارتفاع بهینه تاثیرگذار می باشد، تعیین مقدار مناسبی برای ارتفاع چلیک در دهانه ها و بارگذاری های مختلف می تواند در کاهش وزن سازه و در نتیجه اقتصادی شدن طرح موثر بوده و نتایج حاصل می تواند از نظر کاربردی نیز مورد استفاده طراحان قرار گیرد.

در زمینه بهینه سازی، الگوریتم ژنتیک (GA) یکی از تکامل یافته ترین روش های بهینه سازی بوده و مناسب ترین روش برای بهینه سازی سازه ها با متغیرهای گسسته می باشد که در این تحقیق از این روش برای بهینه سازی سازه های فضاکار استوانه ای دولایه استفاده شده است

توزیع آنها تاثیرگذار می باشد؛ لذا انتخاب ارتفاع مناسب برای چلیک در کاهش مقدار نیروهای وارده و در نتیجه کاهش سطح مقطع اعضا و وزن کل سازه موثر می باشد. با توجه به این که تغییر ارتفاع چلیک تاثیر متفاوتی بر

## ۱- معرفی الگوریتم ژنتیک :

به منظور بهره گیری از انتخاب تکاملی طبیعی، این نوع روش محاسباتی طرح شده است در هر تکرار که یک نسل نامیده می شود، جمعیتی از طرح های مورد آزمون ارزیابی می گردند تا برای شرکت در تولید طرح های جدید با یکدیگر رقابت کنند. هر فرد (طرح) توسط یک رشته نمایش داده می شود که مجموعه ای از مقادیر رمزگذاری شده متغیرهای طراحی است. به طور معمول، رشته ها از ارقام در مبنای دو (دودویی) ساخته می شوند. یک رشته با کروموزومی که دارای ژن های گوناگونی است بیان خواهد

شد. هر ژن متناظر با یک متغیر طراحی است. رشته ها برای پدر و مادر شدن و تولید فرزندان به نسبت صلاحیت خود انتخاب می گردند. پس از انتخاب رشته های ژنتیکی، با استفاده از عملگر پیوند ترکیب جدیدی از آنها پیدا می شود به طوری که طرح های جدید (فرزندان) بخش هایی از دو طرح پیشین (پدر و مادر) را دارا هستند. یک عملگر جهش می تواند بخش هایی از رشته های جدید را اصلاح نماید به گونه ای که ممکن است شامل ترکیب های تازه ای شوند که در والدین موجود نبوده است. این فرآیند در نسلهای زیادی تکرار می شود تا بهترین طرح پیدا گردد. [5]

## ۲- اجزای الگوریتم ژنتیک :

### ۱-۲- متغیرهای طراحی :

تعیین مجموعه متغیرهای مسئله به عنوان یک رشته با طول معین، اولین گام روش ژنتیک می باشد. این مرحله

از اهمیت ویژه ای برخوردار است. زیرا، متغیرهای رمزگذاری شده را به متغیرهای واقعی آن مربوط می نماید. برای تشکیل یک

یکدیگر متصل می شوند. [۶] طول کل کروموزوم از رابطه زیر به دست می آید.

$$(1) \lambda_s = \sum_{i=1}^n \lambda_{si}$$

کروموزوم، که نماینده یک نقطه از فضای طراحی می باشد، کلیه زیررشته های متغیرهای طراحی به صورت سربه دم به

در این رابطه،  $n$  تعداد متغیرهای طراحی و  $\lambda_{si}$  طول

زیر رشته مربوط به متغیر طراحی  $i$ ام مسئله است. [۳]

## ۲-۲- تابع صلاحیت :

تابع صلاحیت از رابطه زیر به دست می آید :

$$(2) F = \phi_{\max} - \phi_i$$

در این رابطه،  $\phi_{\max}$  مقدار بیشینه تابع هدف اصلاح شده و  $\phi_i$  مقدار تابع هدف اصلاح شده طرح  $i$ ام می باشد که از منفی شدن تابع صلاحیت  $F$  جلوگیری می کند.

تابع صلاحیت از تبدیل مناسب تابع هدف بدست می

آید و کیفیت هر رشته را با استفاده از یک مقدار عددی ارزیابی می کند. هر چه کیفیت رشته بهتر باشد مقدار صلاحیت آن بیشتر خواهد بود و احتمال اینکه برای تولید نسل بعدی نیز شرکت کند افزایش خواهد یافت. [۶]

## ۲-۳- عملگرهای ژنتیک :

پس از محاسبه تابع صلاحیت بر روی کلیه رشته های یک نسل، یک سری عملگرهایی برای تولید نسل بعدی بکار می روند. که عبارتند از: عملگر تکثیر، پیوند، جهش.

## ۲-۳-۱- عملگر تکثیر :

«بهترین اعضا» از جمعیت، تعداد بیشتری تولید مثل می کنند، «اعضای متوسط» در جمعیت باقی می ماند و «بدترین اعضا» از بین می روند. [۳] دو روش انتخاب چرخ گردان و دیگری انتخاب شایسته جهت انتخاب رشته ها استفاده می شوند.

فرآیند تکثیر بر پایه جستجو جهت تولید اعضاء با صلاحیت بالا و حذف اعضاء با صلاحیت پایین استوار است. رشته ها مطابق با میزان صلاحیت شان به عنوان والدین به منظور تولید مثل و بوجود آوردن نسل جدید انتخاب و تکثیر می شوند. قانون تکثیر به این قرار است که

## ۲-۳-۲- عملگر پیوند :

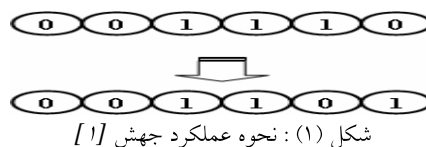
عمل پیوند همیشه با احتمالی کمتر یا مساوی یک صورت می گیرد. زیرا اگر بر روی کل رشته های درون حوضچه آمیزش عمل پیوند صورت پذیرد، ممکن است تعدادی از طرح های خوب حذف شوند لذا لازم است تعدادی از طرح های با صلاحیت بالا از نسل قبلی حفظ گردند. هر چه احتمال پیوند بیشتر باشد، پاسخ بهینه دارای وزن کمتری خواهد بود؛ البته این کاهش پاسخ تا احتمال ۸۰٪ ادامه دارد ولی در احتمال ۱۰۰٪ وزن بهینه افزایش می یابد زیرا بعضی از رشته های با صلاحیت خوب حذف می شوند. [۶]

عملگر پیوند یکی از مهمترین ویژگی ها و نیز رمز موفقیت روش های ژنتیک است. فرایند پیوند امکان عوض کردن خواص طرح را در بین اعضاء جمعیت برای بهبود بخشیدن به صلاحیت نسل بعدی ممکن می سازد. پس از انتخاب شدن رشته ها عمل پیوند در دو مرحله، اول انتخاب تصادفی موقعیت ها بر روی رشته های کروموزومی پدر و مادر (طرح های انتخاب شده در فرایند تکثیر) و دوم تعویض اعداد دودویی رشته ها در فواصل بین موقعیتهای مزبور اجرا می گردد. [۶]

## ۲-۳-۳- عملگر جهش :

مشکلی طی فرایند جهش پاره ای از اعداد دودویی در رشته ها با احتمال جهش  $P_m$  تغییر خواهند کرد. [۱] شکل (۱) نقش عملگر جهش را نشان می دهد.

در یک جمعیت ممکن است در طی فرایند تکثیر و پیوند پاره ای از ژن ها (۰ و ۱) در موقعیت ویژه ای حذف شده باشند. باز یافتن چنین موقعیت هایی تنها به کمک عملگرهای تکثیر و پیوند امکان پذیر نیست. برای رفع چنین



## ۲-۴- شکاف نسل :

باشد. ویو و چاو مقدار  $G$  را به صورت زیر پیشنهاد نموده اند:

$$G = \frac{2}{N_p} \quad (۳)$$

رابطه کنونی نشانگر آنست که در هر مرحله تنها دو رشته برای تکثیر انتخاب شده، و دو رشته فرزند جایگزین دو رشته از

عامل  $G$ ، به عنوان شکاف نسل، درصد جمعیتی که باید جایگزین نسل قبلی شود را در خلال هر نسل بررسی می کند. به منظور حداقل کردن گسیختگی در فرایند جستجو و بهبود کارایی بیان شکاف نسل کوچک، مفید می

بدترین افراد جمعیت کنونی خواهند شد. و بقیه افراد ثابت خواهند بود. بنابراین، به مقدار  $\frac{N_p - 2}{N_p}$  از ارزیابی تابع صلاحیت در هر نسل کاهش می یابد و در نتیجه، تلاش

## ۲-۵- اندازه جمعیت :

به تعداد رشته ها در یک نسل اندازه جمعیت گفته می شود. اگر در فرایند جستجو اندازه جمعیت کم باشد، جستجو فضای طراحی محدود خواهد شد. زیرا تعداد نمونه ها برای پوشش دادن کلیه فضای طراحی کافی نخواهد بود و لذا ممکن است هرگز پاسخ بهینه کلی بدست نیاید [۲]. البته با بزرگ شدن اندازه جمعیت تعداد ارزیابی

## ۲-۶- معیار همگرایی :

در روش جستجوی ژنتیکی رشته های هر نسل از نسل پیشین بهتر شده و پس از گذشت چندین نسل جمعیت دارای رشته های با صلاحیت بالا می گردد که تنها اختلاف ناچیزی با صلاحیت بهترین فرد آن نسل دارند. واضح است که در این شرایط صلاحیت میانگین جمعیت به صلاحیت بهترین رشته نزدیک خواهد شد. بنابراین در چنین مواردی وجود یک معیار مناسب برای پایان دادن به

## ۲-۷- الگوی گونه :

گونه در واقع الگویی برای مشخص نمودن گروهی از رشته های موجود در هر نسل از الگوریتم ژنتیک است که آن را با نماد  $H$  مشخص می کنند. یک گونه  $H$  از سه نشانه

محاسباتی به طرز چشمگیری کاهش خواهد یافت. دو رشته جدید صلاحیت بالاتری در مقایسه با دو رشته حذف شده از جمعیت کنونی دارند مقدار تابع هدف به طور پایدار همگرا شده و کارایی محاسباتی بهبود عمده ای می یابد. [۶]

تابع صلاحیت افزایش می یابد که این خود زیاد شدن تعداد تحلیل ها را در هر چرخه از روند جستجو به دنبال دارد. در نتیجه هزینه و زمان محاسبات بیشتر می گردد و در مرحله ای از جستجو بهبود طرح نسبت به افزایش زمان قابل توجیه نیست. اندازه جمعیت می بایست یک عدد زوج باشد و در سرتاسر روند بهینه سازی ثابت نگه داشته شود.

فرایند جستجو ضروری به نظر می رسد. [۵] معیاری برای همگرایی به صورت زیر تعریف شده است:

$$(۴) \quad \left| \frac{F_{\max} - F_{\text{avg}}}{F_{\max}} \right| < \varepsilon$$

در این رابطه  $F_{\max}$  و  $F_{\text{avg}}$  به ترتیب برابر حداکثر صلاحیت و میانگین صلاحیت در تعداد نسل مورد نظر بوده و  $\varepsilon$  دقت مطلوب می باشد.

۰ و ۱ و \* تشکیل می گردد. علامت \* رقم ۰ و یا ۱ را در یک موقعیت خاص نمایش می دهد. برای نمونه گونه  $H=011001*$  یک گونه با طول ۷ می باشد و رشته  $B=0110010$  یک مثال از

گونه  $H$  است. در یک جمعیت  $N_p$  عضوی، (با اعداد ۰ و ۱) حداکثر  $N_p \cdot 2^k$  گونه برای کل جمعیت وجود دارد. یک گونه با مقدار صلاحیت بالاتر از صلاحیت میانگین

جمعیت، تعداد بیشتری از رشته ها را در نسل بعد به خود اختصاص می دهد.

### ۳- روند بهینه سازی :

تابع در نظر گرفته شده برای بهینه سازی، وزن سازه می باشد که هدف حداقل کردن آن همزمان با اقلان قیود حاکم بر طرح می باشد. ضوابط طراحی اعضای سازه های فضاکار به عنوان قیود مساله بهینه سازی بوده و به دو دسته تقسیم می شوند. دسته اول قیدهای مربوط به اعضا می باشند که در این مقاله دو قید تنش و لاغری برای اعضا در نظر گرفته شده است. دسته دوم قیدهای مربوط به گره ها می باشند که برای مورد بررسی در این مقاله انحنای کروی بوده و روابط استخراج شده برای سازه فضاکار استوانه ای می باشد.

محدود کردن تغییر مکان گره ها قید تغییر مکان در نظر گرفته شده است. متغیرهای در نظر گرفته شده برای بهینه سازی، شامل متغیرهای مربوط به اعضای سازه یعنی سطح مقطع اعضا و متغیر مربوط به شکل سازه یعنی نسبت ارتفاع به دهانه سازه فضاکار استوانه ای می باشد. در مورد متغیر نسبت ارتفاع به دهانه ( $h/s$ ) است که سازه هـ

### ۵- بهینه سازی سازه فضاکار استوانه ای دولایه ۳۹۲ عضوی:

در این قسمت ابتدا تاثیر تغییرات نیروها بر هندسه و وزن سازه به تنهایی مورد بررسی قرار گرفته و سپس اثر ترکیبی آنها بررسی شده است. محدودیت های طراحی یعنی محدودیت های تنش کمانش و تغییر شکل بر طبق ضوابط آیین نامه آمریکا ( $AISC$ ) در نظر گرفته شده است. اندازه جمعیت برابر ۸۰، احتمال پیوند برابر ۰/۸، احتمال جهش برابر ۰/۰۰۵ و حداکثر تعداد نسل برابر ۲۰۰ فرض شده اند. پیوند بکار برده شده از نوع سه نقطه ای بوده زیرا از عملکرد بهتری نسبت به سایر پیوند ها برخوردار می باشد؛ و همچنین برای انتخاب رشته های ژنتیکی برای تکثیر از روش انتخاب شایسته بهره گرفته شده است.

برای این منظور سازه برای حالت های مختلف مورد بررسی، در نسبت های مختلف  $h/s$  از ۰,۱ تا ۰,۵ با تغییرات ۰,۰۲۵ بهینه شده و وزن سازه بهینه محاسبه می شود. و تغییرات وزن بهینه در  $h/s$  های مختلف مورد بررسی قرار می گیرد. برای بدون بعد و قابل استفاده کردن نتایج حاصل، درصد اختلاف وزن بهینه سازه در حالت های مختلف نسبت به وزن بهینه در  $h/s$  بهینه، با رابطه (۵) محاسبه می شود.

$$PWD_i = \frac{W_i - W_{opt}}{W_{opt}} \times 100 \quad (5)$$

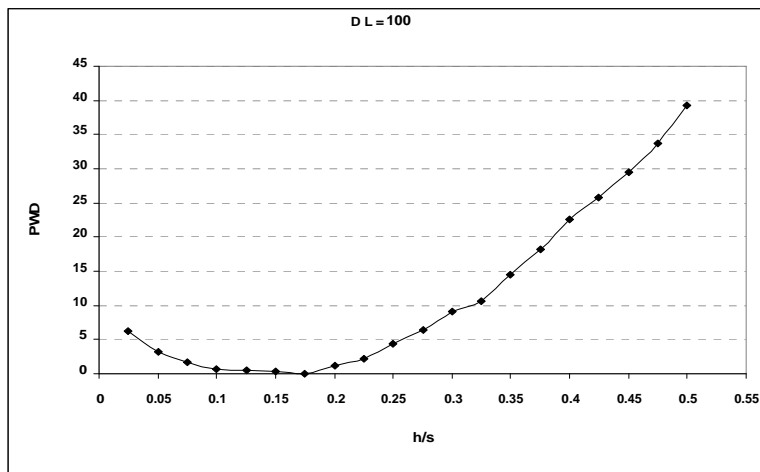
در این رابطه  $PWD$  درصد اختلاف وزن در حالت های مختلف نسبت به وزن بهینه می باشد.  $W$  وزن سازه بهینه شده

برای هر بارگذاری و  $W_{opt}$  وزن بهینه سازه در  $h/s$  بهینه برای انواع بارگذاری می باشد.

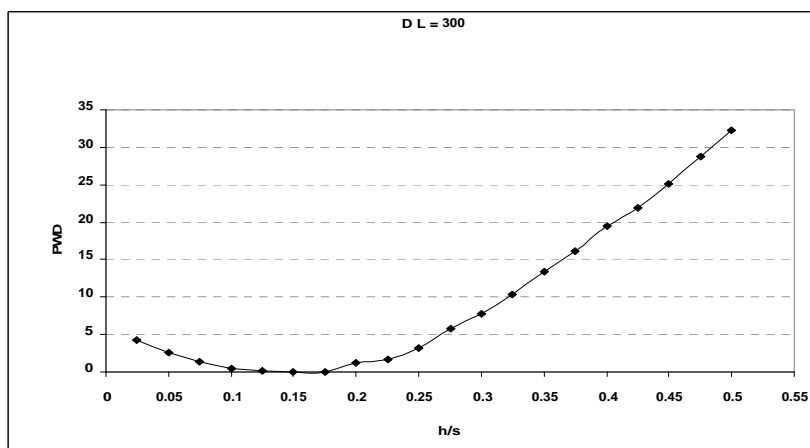
سازه های فضاکار استوانه ای دولایه دارای شکل های مختلفی می باشند، با مقایسه شکل های مختلف شبکه دولایه مربع روی مربع که از جمله سازه های پرکاربرد می باشند انتخاب شده اند. رفتار سازه ای شبکه های دولایه ای به علت نحوه قرار گرفتن محل گره ها و اعضاها، مانند خراباهای سه بعدی می باشد که هر عضو فقط تحت تاثیر نیروی محوری قرار دارد و اثرات ناشی از ممان بسیار ناچیز می باشد رفتار این شبکه ها طوری است که نیروهای خارجی به طور تقریباً یکنواخت بین اکثر اعضا توزیع می شود و در نتیجه به علت مشارکت کلیه اعضا در باربری، نیروهای داخلی سازه کم می شود. قدرت باربری سازه برای

بارهای غیرقرینه نیز بسیار مناسب می باشد. به همین دلیل شبکه های دولایه ای برای پوشش دهانه های بزرگ بکار می رود. میتوان این نوع شبکه ها را تا دهانه آزاد ۱۰۰ متر (بدون ستون داخلی) بکار برد.

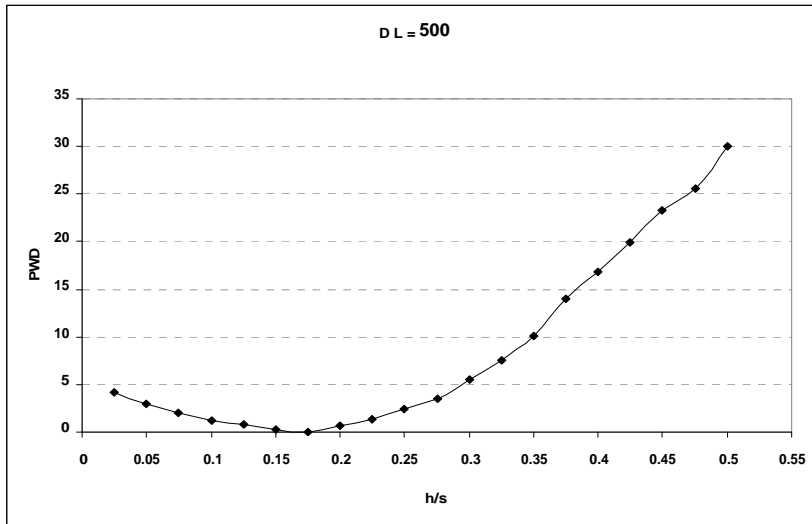
در این قسمت نتایج حاصل از بهینه سازی یک سازه فضاکار استوانه ای دولایه ۴۸۰ عضوی با ۱۳۷ گره آورده شده است. تیپ بندی اعضا به مقدار حداکثر در نظر گرفته شده که با توجه به تقارن های موجود برابر ۴۲ می باشد. در این بررسی تغییرات بارهای مرده و زنده، در دو حالت در نظر گرفته شده است. در حالت اول بار زنده و بار باد صفر در نظر گرفته شده و بارهای مرده برابر ۱۰۰-، ۳۰۰- و ۵۰۰- کیلوگرم بر متر مربع انتخاب شده است. تغییرات پارامتر  $PWD$  در  $h/s$  های مختلف به صورت نمودار در شکل های (۲) و (۳) آمده است.



شکل (۲)

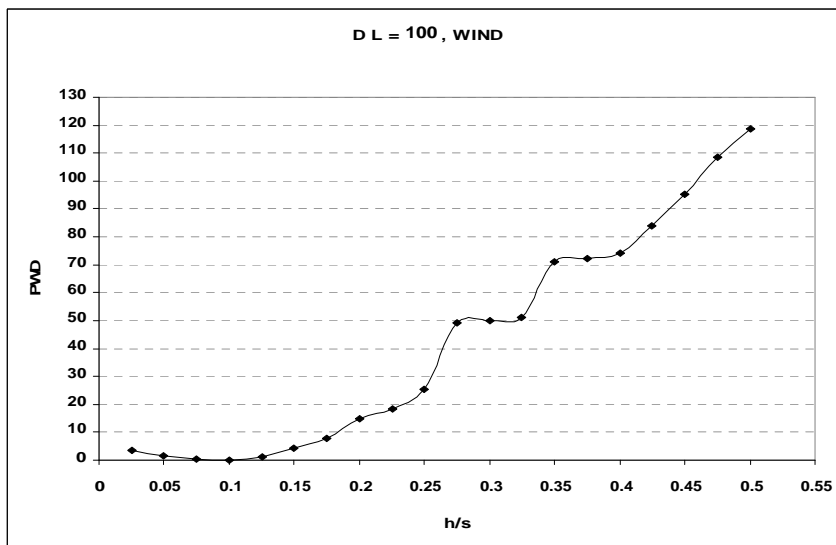


شکل (۳)



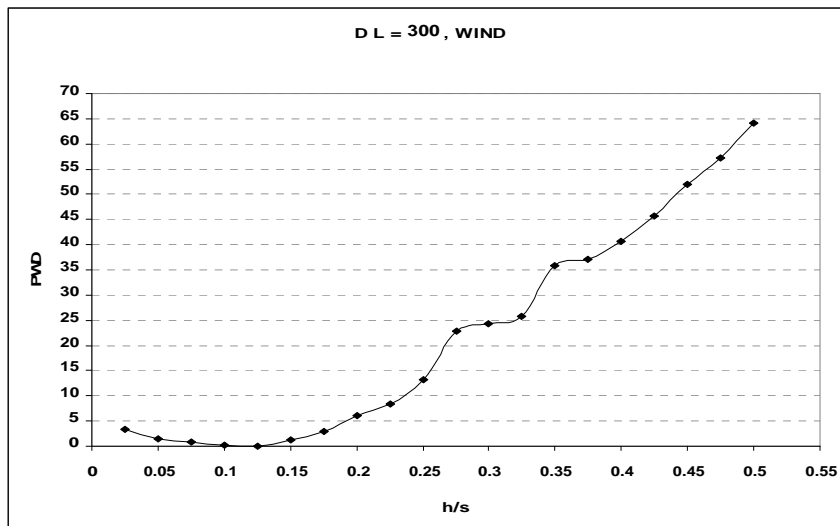
شکل (۴)

در حالت دوم بررسی های فوق به همراه بار باد صورت گرفته است. نمودارهای مربوط به تغییرات بارهای مرده و باد در شکل های (۵) و (۶) آمده است.

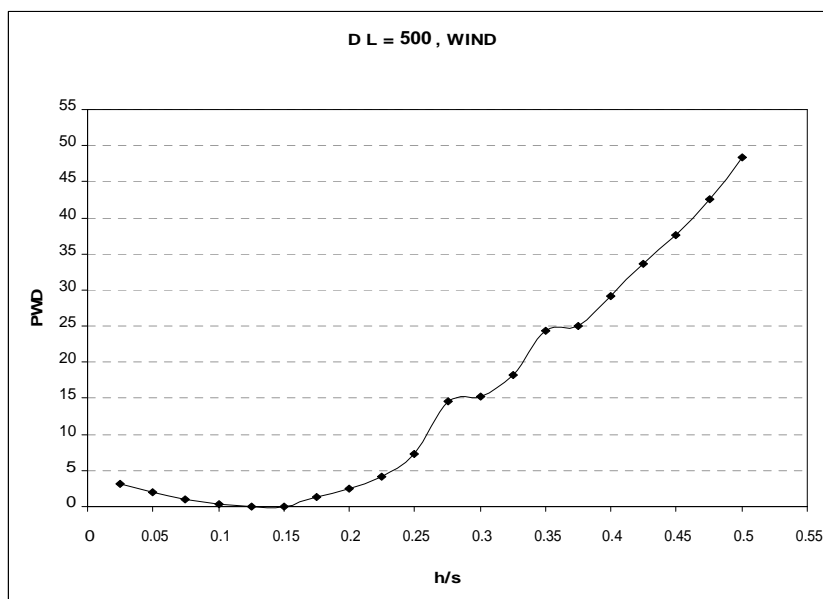


شکل (۵)





شکل (۶)



شکل (۷)

## ۵- خلاصه و نتیجه گیری :

بار مرده، تاثیری در مقدار  $h/s$  بهینه نداشته و این مقدار برای هر سه حالت برابر  $0/175$  می باشد.

با توجه به این که افزایش ارتفاع سازه استوانه ای باعث افزایش بار باد می گردد، لذا وجود بار باد باعث کاهش مقدار نسبت  $h/s$  گنبد می شود. با توجه به اشکال ۲ و ۳ و ۴ با افزایش

افزایش ارتفاع سازه های فضاکار استوانه ای باعث افزایش سختی سازه می شود، همچنین این افزایش باعث زیاد شدن مقدار بارهای وارده، به خصوص بار باد می گردد. لذا مقدار و ترکیب بارها در مقدار بهینه تاثیرگذار می باشند. همان طور که در اشکال ۲ و ۳ و ۴ مشاهده می کنیم، تغییرات

مقدار بار مرده یا زنده و در نتیجه افزایش تاثیر آن، مقدار نسبت  $h/s$  افزایش می یابد؛ ولی این مقادیر کمتر از مقادیر مربوط به حالت قبلی که بار باد وجود نداشت، می باشد. به طور کلی با توجه به نتایج به دست آمده، در شرایطی که بار ثقلی نسبت به بار باد تعیین کننده تر

باشد مقدار  $h/s$  بهینه بین  $0/1$  تا  $0/175$  حاصل می شود. این مقدار برای مناطقی که بار باد تعیین کننده می باشد، کمتر از حالت قبل بوده و بین  $0/075$  تا  $0/15$  پیشنهاد می شود.

## ۶- فهرست مراجع :

۱. غفاریان، ت.، ۱۳۷۷، آشنایی با الگوریتم های ژنتیکی، نشریه صفر و یک گروه کامپیوتر دانشگاه فردوسی مشهد، شماره ۱.
2. Adeli, H. & Cheng, N.T., 1994, *Concurrent Genetic Algorithms for Optimization of Large Structures*, J. Aerosp. Engrg., ASCE, Vol. 7, No. 3, pp. 277-296.
3. Hajela, P. & Line, C.Y., 1992, *Genetic Search Strategies in Multicriterion Optimal Design*, Structural Optimization, Vol. 4, pp. 99-107.
4. Jenkins, W.M., 1991, *Towards Structural Optimization via the Genetic Algorithm*, Computer & Structures, Vol. 40, No. 5, pp. 1321-1327.
5. Rajeev, S. & Krishnamoorthy, C.S., 1992, *Discrete Optimization of Structures Using Genetic Algorithms*, J. Struct. Engrg. ASCE, Vol. 118, No. 5.
6. Wu, S.J. & Chow, P.T., 1995, *Steady – State Genetic Algorithms for Discrete Optimization of Trusses*, Computer & Structures, Vol. 56, No. 6, pp. 979-991.
7. Wu, S.J. & Chow, P.T., 1995, *Integrated Discrete and Configuration Optimization of Trusses Using Genetic Algorithms*, Computer & Structures, Vol. 55, No. 4, pp. 695-702.