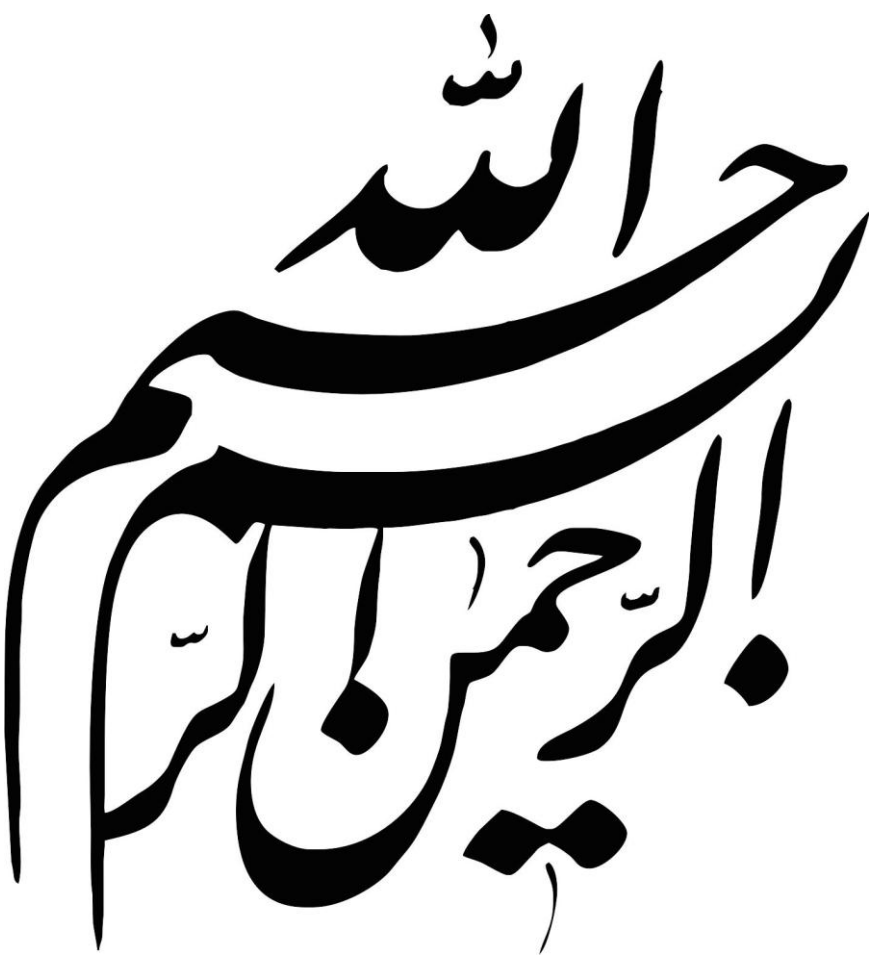
بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده مهندسی

بخش عمران

رساله برای دریافت درجه دکتری رشته عمران گرایش سازه

بهینه سازی گنبدهای اسکالپ

مؤلف :

رضا کامیاب مقدس

استاد راهنما :

پروفسور عیسی سلاجقه

استاد مشاور:

پروفسور هوشیار نوشین

بهمن ماه ۱۳۹۱

این رساله به عنوان یکی از شرایط احراز درجه دکتری به

بخش مهندسی عمران

دانشکده مهندسی

دانشگاه شهید باهنر کرمان

تسلیم شده است و هیچگونه مدرکی به عنوان فراغت از تحصیل دوره مزبور شناخته نمی شود.

دانشجو : رضا کامیاب مقدس

استاد راهنما : پروفسور عیسی سلاجقه

داور ۱ : پروفسور علی کاوه

داور۲ : پروفسور حامد صفاری

داور ۳: دکتر سعید شجاعی

داور۴:

معاونت پژوهشی و تحصیلات تکمیلی دانشکده : دکتر رحیم‌پور

حق چاپ محفوظ و مخصوص به دانشگاه شهید باهنر کرمان است.

تقدیم به :

همسر عزیزم

دکتر پریسا کدیور

به خاطر عشق بی دریغ و همراهی مثال زدنی‌اش

تشکر و قدردانی :

در اینجا بر خود فرض می دانم تا در نهایت خضوع و با تمامی وجود مراتب تشکر وسپاس خالصانه خود را از استاد بزرگوارم پروفسور عیسی سلاجقه که انجام این رساله در پرتوی هدایت و راهنمایی عالمانه و مشفقانه ایشان امکان پذیر گردید، ابراز نمایم. یقینا دانشجوی چنین استاد بزرگ ، بنام و چنین انسان والا و وارسته‌ای بودن مایه مباهات و بزرگ‌ترین افتخار زندگی علمی اینجانب می باشد.

جناب آقای پروفسور عیسی سلاجقه که اینجانب از دوره تحصیل در مقطع کارشناسی تا پایان دوره تحصیل در مقطع دکتری افتخار دانشجویی این محقق برجسته و این انسان شریف و بزرگ را داشته ام و راهنمایی این رساله را بر عهده داشته و با دقت نظر و دامنه گسترده و تحسین برانگیز دانش و معلومات خود اینجانب را در تمامی مراحل انجام رساله دکتری هدایت نموده اند، همواره مرا قدردان و مرهون الطاف، دانش و خصال برجسته انسانی و اخلاقی خود نموده اند.

جناب آقای پروفسور هوشیار نوشین که بعنوان استاد مشاور این رساله در نهایت بزرگ منشی امکان برخورداری از دهها سال تجربه و تلاش علمی خود در عالی ترین سطوح بین المللی را محیا ساخته و با رفتار فاخر و سرشار از محبت خود علاوه بر کسوت استادی برایم معلم اخلاق و انسانیت بوده اند از صمیم قلب سپاسگزاری و قدردانی می نمایم.

همچنین از استاد ارجمندم جناب آقای پروفسور علی کاوه از مفاخر علمی میهن عزیزمان ایران و چهره برجسته علمی بین المللی که سالیان متمادی افتخار برخورداری از هدایتهای عالمانه علمی ایشان را داشته و شخصیت بارز، اثرگذار و در عین حال متواضع و فروتن ایشان همواره مورد ستایش و الگوی این دانشجوی کوچک ایشان بوده است، از صمیم قلب و با تمام وجود سپاسگزاری و قدردانی می نمایم، پذیرش داوری رساله دکتری اینجانب از سوی ایشان یقینا افتخار بزرگی است که همواره مایه مباهات اینجانب خواهد بود.

همچنین از استادان ارجمندم جناب آقای پروفسور حامد صفاری و جناب آقای دکتر سعید شجاعی باغینی استادان محترم بخش مهندسی عمران دانشگاه شهید باهنرکرمان که سالیان طولانی افتخار بهره مندی از دانش، خرد و خصال والای انسانی این دو چهره ارزشمند و برجسته علمی نصیبم گردیده است و با پذیرش داوری این رساله اینجانب را مفتخر و قدردان مراحم خود نموده اند تقدیر و تشکر خالصانه بعمل می آورم.

از همسر مهربان و عزیزم که همواره خود را مرهون و قدردان عشق خالصانه، همراهی مثال زدنی، حمایت بی دریغ و درک عمیقش می دانم، از صمیم قلب و با تمام وجود تشکر و قدر دانی می نمایم. همسر عزیزم که علی رغم تمامی کاستی ها و مضایقی که به خاطر کار و تحصیلم بر او تحمیل نمودم، رفتار سرشار از عطوفت و بزرگ منشی‌اش همواره انگیزه بخش و قوت قلب تمامی لحظاتم بوده است. به همین دلیل است که عمیقا معتقدم پشت هر مرد موفق، زنی فداکار ایستاده است. سپاس بی پایان به همسر عزیزم دکتر پریسا کدیور که شایسته والاترین ستایش ها است و با تمام وجود تحسینش می‌کنم.

همچنین از ریاست محترم بخش مهندسی عمران جناب آقای پروفسور غلامعباس بارانی و سایر استادان و کارکنان محترم بخش تقدیر و تشکر بعمل آورده و توفیق روز افزون آنها را از درگاه احدیت مسئلت می نمایم.

در پایان به روح بلند مرحوم مهندس علیرضا افضلی پور و همسر ایشان سرکار خانم فاخره صبا که با دستان برکت خیز خود چهار دهه قبل نهال نوپای دانشگاه را در این دیار غرس نمودند و امروز آن نهال به درختی تناور تبدیل گردیده است درود می فرستم و در برابر نیت خالص، اندیشه بلند، عمل صالح و کار سترگشان سر خضوع و تعظیم فرود می آورم.

چکیده :

در این رساله نخست رفتار گنبدهای اسکالپ و تاثیر ویژگی های مهم هندسی آنها نظیر برآمدگی ، پیش آمدگی و تعداد قاچ بر وزن سازه برای نسبت های مختلف ارتفاع به دهانه مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین بهینه سازی گنبدهای اسکالپ تحت تأثیر بارگذاری استاتیکی بررسی شده و برای این منظور یک الگوریتم بهینه سازی پربازده توسط ترکیب الگوریتم PSO و استراتژی محاسباتی CA پیشنهاد گردیده است که از آن با عنوان الگوریتم جامعه پرندگان بهبود یافته (EPSO) یاد می گردد. در این رساله، بهینه سازی با لحاظ نمودن پاسخ های خطی و غیر خطی سازه صورت پذیرفته است. در فرآیند بهینه سازی غیر خطی سازه تأثیرات رفتار غیر خطی هندسی و غیر خطی مصالح به صورت توأمان در نظر گرفته شده است. نتایج عددی حاصل بیان گر آن است که لحاظ نمودن رفتار غیر خطی سازه در فرآیند بهینه سازی در مقایسه با بهینه سازی با رفتار خطی منجر به سازه های پربازده تری می گردد. همچنین به منظور پیش بینی رفتار دینامیکی غیر خطی این گنبدها از شبکه های عصبی و سیستم استنتاج عصبی فازی تطبیقی بهره گیری شده است که منجر به کاهش قابل ملاحظه هزینه محاسباتی گردیده اند.

فهرست مطالب

فصل اول: کلیات ۱

۱-۱-مقدمه ۲
۱-۲-کلیات بهینه‌سازی ٤
۱-۳-روشهای بهینه‌سازی ٥
۱-٤-بهینه‌سازی و تقریب‌سازی مبتنی بر محاسبات نرم ۷
۱-٥-سابقهٔ تحقیق ۹
۱-٦-محتوای تحقیق ۱۰

فصل دوم : سازه های فضاکار و معرفی گنبدهای اسکالپ ۱۲

۲-۱-مقدمه ۱۳
۲-۲-انواع سازه های فضاکار ۱٤
۲-۲-۱-شبکه های تک لایه(تخت) ۱٤
۲-۲-۲-شبکه های دو و چند لایه (تخت) ۱٦
۲-۲-۳-چلیک های شبکه ای ۱۷
۲-۲-٤-سهلوی های شبکه ای ۱۸
۲-۲-٥-هرم های شبکه ای ۱۹
۲-۲-٦-برج های شبکه ای ۱۹
۲-۲-۷-سازه های فضاکار تاشو ۲۰
۲-۲-۸-سازه های فضا کار شبکه ای مرکب ۲۰
۲-۲-۹-سازه های فضاکار شبکه ای با شکل آزاد ۲۰
۲-۲-۱۰-گنبدهای شبکه ای ۲۱
۲-۳-گنبدهای اسکالپ ۲۹
۲-۳-۱-مقدمه ۲۹

۲-۳-۲-ایده گنبدهای اسکالپ ۲۹
۲-۳-۳-ساختار قاچی گنبدهای اسکالپ ۳۲
۲-۳-٤-سبکهای قوسی شدن ۳٤
۲-۳-٥-پیش آمدگی گنبدهای اسکالپ ۳٦
۲-۳-٦-سبک تغییر در امتداد نصف النهاری ۳۹
۲-۳-۷-برآمدگی و پیش آمدگی منفی ٤۱
۲-۳-۸-قواعد تغییر ٤۲

فصل سوم: بهینه سازی ٤٥

۳-۱-مقدمه ٤٦
۳-۲-بهینه‌سازی توابع مقید ریاضی ٤۷
3-3-تابع آزاد معادل ٤۷
3-4-الگوریتم جامعه پرندگان (PARTICLE SWARM OPTIMIZATION) ٤۸
3-4-1-فرمولبندی الگوریتم PSO ٤۹
3-5-ماشینهای یاخته‌ای (CELLULAR AUTOMATA) ٥۳
۳-٥-۱-شبکه ٥٤
۳-٥-۲-همسایگی ٥٥
۳-٥-۳-مرزها ٥٦
۳-٥-٤-قواعد به هنگام سازی ٥۷
3-6-الگوریتم بهبودیافته جامعه پرندگان (EPSO) ٥۷

٤-٤-فصل چهارم: رفتار غیر خطی ٦۰

٤-۱-تعریف مسائل غیر خطی ٦۱
٤-۲-روشهای حل مسائل غیر خطی ٦۱
٤-۲-۱-روش تکرار مستقیم ٦۱
٤-۲-۲-روشهای رشدی ٦۲
٤-۲-۳-روش نیوتن ـ رافسون ٦۳

٤-٢-٤-وش رشدی نیوتن- رافسون ٦٥
-4-2-5روش طول کمان ٦٥
٤-٢-٦-همگرایی حل ٦٧
٤-٣-المان خرپا های دو بعدی با قابلیت غیر خطی هندسی بر مبنای کرنش گرین ٦٨
٤-٣-١-هندسه و روابط کرنش- جابه جایی المان خرپای دو بعدی ٦٨
٤-٣-٢-تعادل و بردار نیروی داخلی در المان خرپای دو بعدی ٦٩
٤-٣-٣-ماتریس سختی مماسی المان خرپای دو بعدی ٧٠
٤-٤-لمان خرپا های دو بعدی با قابلیت غیر خطی هندسی بر مبنای کرنش لگاریتمی ٧٠
٤-٥-المان خرپای سه بعدی با قابلیت غیر خطی هندسی ٧١
٤-٦-عوامل غیر خطی مصالح ٧٢
٤-٦-١-معیار تسلیم ٧٣
٤-٦-٢-قانون جریان ٧٤
٤-٦-٣-قانون سخت شدگی ٧٥
٤-٦-٤-تغییر کرنش پلاستیک ٧٦
٤-٦-٥-رابطه تنش ـ کرنش کل ٧٩
٤-٦-٦-مراحل آنالیز الاستو- پلاستیک ٨٠
٤-٧-منحنی تنش-کرنش مورد استفاده در این رساله ٨٢

٥-فصل پنجم:شبکه های عصبی ٨٣

٥-١-مقدمه ٨٤
٥-٢-نرون بیولوژیکی و نرون مصنوعی ٨٥
٥-٣-شبکه عصبی مصنوعی ٨٩
٥-٣-١-شبکه‌های تک‌لایه ٩٠
٥-٣-٢-شبکه‌های چندلایه ٩١
٥-٤-توابع تحریک شبکه‌های عصبی ٩٢
٥-٤-١-تابع تحریک پله‌ای ٩٢
٥-٤-٢-تابع تحریک خطی ٩٢

۵-٤-۳-توابع تحریک سیگموید ۹۳
۵-٤-٤-تابع تحریک بنیادی شعاعی ۹۳
۵-۵-بایاس ۹٤
۵-٦-آموزش شبکه عصبی ۹٤
۵-٦-۱-آموزش نظارت‌شده ۹۵
۵-٦-۲-آموزش نظارت‌نشده ۹۵
۵-٦-۳-مشکلات آموزش ۹٦
۵-۷-مدهای عملکردی شبکه عصبی ۹۷
۵-۸-شبکه عصبی تابع بنیادی شعاعی (RADIAL BASIS FUNCTION) ۹۷
۵-۸-۱-نکات قابل توجه در خصوص شبکه تابع بنیادی شعاعی ۹۸
۵-۸-۲-آموزش شبکه RBF ۱۰٤
۵-۹-سیستمهای استنتاج فازی ۱۰۷
۵-۹-۱-مجموعه فازی ۱۰۸
۵-۹-۲-تابع عضویت مثلثی ۱۰۹
۵-۹-۳-تابع عضویت گوسی ۱۱۰
۵-۹-٤-تابع عضویت ذوزنقه‌ای ۱۱۰
۵-۹-۵-تابع عضویت زنگوله‌ای شکل تعمیم‌یافته ۱۱۱
۵-۹-٦-قوانین "اگر- سپس" فازی ۱۱۲
۵-۹-۷-سیستم استنتاج عصبی- فازی تطبیقی ۱۱۲

٦-فصل ششم: رفتارشناسی گنبدهای اسکالپ ۱۱۷

٦-۱-مقدمه ۱۱۸
٦-۲-بررسی پارامترهای هندسی بر رفتار گنبد اسکالپ ۱۲۰
٦-۲-۱-برآمدگی ۱۲۰
٦-۲-۲-ارتفاع ۱۲۱
٦-۲-۳-تعداد قاچ ۱۲۱
٦-۲-٤-پیش آمدگی ۱۲۳

٦-٢-٥-سبک قوسی شدن ١٢٣
٦-٢-٦-آنالیز و طراحی گنبدها ١٢٤
٦-٢-٧-گروهبندی..... ١٢٥

٧-فصل هفتم: نتایج عددی و نتیجه گیری..... ١٢٧

٧-١-مقدمه ١٢٨
٧-٢-بخش اول: رفتارشناسی گنبدهای اسکالپ..... ١٢٨
٧-٢-١-بررسی تاثیر برآمدگی ١٢٨
٧-٢-٢-بررسی تاثیر ارتفاع ١٣٤
٧-٢-٣-بررسی اثر تعداد قاچ..... ١٣٧
٧-٢-٤-بررسی تعداد قاچ با افزایش طول دهانه..... ١٤١
٧-٢-٥-بررسی تاثیر برآمدگی با افزایش طول دهانه..... ١٤٤
-6-2-7بررسی تاثیر پیش آمدگی..... ١٤٧
-7-2-7بررسی سبک قوسی شدن قاچها..... ١٥٢
٧-٣-بخش دوم: تقریب‌سازی پاسخ گنبدهای اسکالپ در برابر زلزله ١٥٥
٧-٤-بخش سوم: بهینه‌سازی گنبدهای اسکالپ با رفتار غیرخطی..... ١٦٢
٧-٤-١-گنبد اسکالپ دولایه با ٨قاچ و ١٢٠٠ عضو ١٦٤
٧-٤-٢-گنبد اسکالپ دولایه با ١٠ قاچ و ١٥٠٠ عضو..... ١٦٩
٧-٤-٣-خلاصه و نتیجه گیری..... ١٧٤
٧-٤-٤-پیشنهاد برای تحقیقات بعدی..... ١٧٧

مراجع ١٧٨

فهرست اشکال

شکل ۲- ۱- شبکه تک لایه ۱۵
شکل ۲- ۲- شبکه دو لایه با نقش دو راهه روی دو راهه ۱۶
شکل ۲- ۳- چلیک تک لایه-(الف) با نقش لاملا-(ب) دوراهه با هموندهای قطری اضافی ۱۷
شکل ۲- ٤-چلیک دو لایه با نقش دوراهه روی دوراهه ۱۷
شکل ۲- ٥- (الف) چلیک چنبره ای پهلو خمیده با نقش دوراهه-(ب) چلیک خمره ای بیضوی-(ج) چلیک سهموی فرازشی با نقش لانه زنبوری ۱۸
شکل ۲- ٦- (الف) تاشه سهلوی تک لایه-(ب) تاشه سهلوی دولایه ۱۸
شکل ۲- ۷-(الف) هرم با قاعده مثلثی-(ب) هرم با قاعده ۱۲ بری ۱۹
شکل ۲- ۸- برج شبکه ای هذلولوی ۱۹
شکل ۲- ۹- شبکه دو لایه تاشو ۲۰
شکل ۲- ۱۰- چلیک مرکب با نقش لاملا و دنده های اضافی ۲۰
شکل ۲- ۱۱- شبکه های آزاد ۲۱
شکل ۲- ۱۲- (الف) گنبد پیازی کشیده با نقش لاملا- (ب) گنبد پیازی با نقش لاملا- (ج) گنبد پیازی پَخ با نقش لاملا ۲۲
شکل ۲- ۱۳-(الف)،(ب)و(ج) گنبد گل ختمی(فراخمیده) -(د)،(ه)و(و) گنبد گل ختمی(فروخمیده) ۲۳
شکل ۲- ١٤-نمونه هایی از گنبد های فرازشی ۲٤
شکل ۲- ١٥-نمونه هایی از کنبد ژئودزیک ۲٤
شکل ۲- ١٦- (الف)،(ب)و(ج) گنبد گل ختمی نوانشی(با کناره های نگهداشته) -(د)،(ه)و(و) گنبد گل ختمی (با گوشه های نگهداشته) ۲٥
شکل ۲- ۱۷-(الف) گنبد دنده ای-(ب) گنبد دنده ای هرس شده ۲٦
شکل ۲- ۱۸- (الف) گنبد اشودلر-(ب) گنبد اشودلر هرس شده ۲٦
شکل ۲- ۱۹- نمونه های مختلفی از گنبد لاملا ۲۷
شکل ۲- ۲۰- گنبد دیاماتیک ۲۷
شکل ۲- ۲۱- مقایسه تراکم اعضا در نزدیکی تاج در دو گنبد اشودلرو دیاماتیک ۲۸
شکل ۲- ۲۲- (الف) گنبد دیاماتیک ٦ قاچی-(ب) گنبد دیاماتیک ۸ قاچی- گنبد دیاماتیک ۱۲ قاچی ۲۸
شکل ۲- ۲۳- مثال هایی از گنبدهای اسکالپ ۳۰
شکل ۲- ٢٤- تغییرات بالامدگی ۳۱
شکل ۲- ۲٥- افزایش تدریجی برآمدگی برای گنبد با نسبت ارتفاع به دهانه ۰/۲ ..... ۳۲

شکل ۲- ۲۶- ساختار قاچی گنبدهای اسکالپ ۳۴
شکل ۲- ۲۷- مثال هایی از گنبدهای اسکالپ سینوسی ۳۵
شکل ۲- ۲۸- سبک های قوسی کردن سهمی و سینوسی ۳۶
شکل ۲- ۲۹- مثال هایی از گنبدهای اسکالپ پیش آمده ۳۸
شکل ۲- ۳۰- مثالهایی از گنبدهای اسکالپ پیش آمده با روند افزایش تدریجی ۳۹
شکل ۲- ۳۱- سبکهای تغییرات در امتداد نصف النهاری ۴۰
شکل ۲- ۳۲-تغییرات خطی و سهموی در امتداد نصف النهاری ۴۱
شکل ۲- ۳۳- مثال هایی از گنبدهای اسکالپ با برآمدگی و پیش آمدگی منفی ۴۲
شکل ۲- ۳۴-گنبد اسکالپ دو لایه-(الف) گنبد دیاماتیک پایه-(ب) گنبد اسکالپ -(ج)- لایه فوقانی ۴۴
شکل ۲- ۳۵- (الف) نمونه ای از یک قاچ اسکالپ شده-(ب) پلان گنبد ۴۴

شکل۳-۱- فرآیند الگوریتم PSO ۵۲
شکل۳-۲- ساختار شبکه در ماشینهای یاخته ای ۵۴
شکل۳-۳- انواع شبکه در ماشینهای یاخته ای ۵۵
شکل۳-۴- انواع ساختار همسایگی در ماشینهای یاخته ای ۵۵
شکل۳- ۵- یک شبکه مربعی با همسایگی Moor ۵۷
شکل۳- ۶- فرآیند الگوریتم ۵۹

شکل۴- ۱- روش حل رشدی و خطای ناشی از آن ۶۳
شکل۴- ۲- روش حل نیوتن- رافسون در یک تکرار ۶۴
شکل۴- ۳- روش حل طول کمان در دو تکرار متوالی ۶۶
شکل۴- ۴- المان خرپای دو بعدی ۶۸
شکل۴- ۵- تابع تسلیم VonMises درصفحه σ_1- σ_2 ..... ۷۴
شکل۴- ۶- مدل های ریاضی قانون سخت شدگی ۷۵
شکل۴- ۷- منحنی تنش-کرنش با سخت شدگی برای حالتهای (الف) $\sigma_b < \sigma_y$ و (ب) $\sigma_b > \sigma_y$ ۸۲

شکل ۵- ۱- نواحی اصلی یک نرون بیولوژیکی ۸۶
شکل ۵- ۲- ساختار یک نرون مصنوعی ۸۸
شکل ۵- ۳- ساختار یک شبکه تک‌لایه ۹۰
شکل ۵- ۴- منحنی نمایش تابع تحریک نرونهای RBF ۹۹
شکل ۵- ۵- سطح پاسخ یک نرون RBF با دو ورودی ۹۹

شکل ۵- ٦- مدل ریاضی یک نرون RBF ۱۰۲
شکل ۵- ۷- مدل ریاضی یک نرون خطی لایه خروجی ۱۰۳
شکل ۵- ۸- ساختار یک شبکه RBF ۱۰٤
شکل ۵- ۹- تابع عضویت مثلثی ۱۰۹
شکل ۵- ۱۰- تابع عضویت گوسی ۱۱۰
شکل ۵- ۱۱- تابع عضویت ذوزنقه‌ای ۱۱۱
شکل ۵- ۱۲- تابع عضویت زنگوله‌ای شکل تعمیم‌یافته ۱۱۱
شکل ۵- ۱۳- ساختار نمونه ANFIS در مدل فازی سوگنو [۸۸] ۱۱۳

شکل ٦- ۱- (الف) نمونه ای از گنبد دو لایه ٦ قاچی- (ب) لایه بالا -(ج) لایه جان- (د) لایه پایین ۱۱۹
شکل ٦- ۲- (الف) گنبد دیاماتیک پایه-(ب) گنبد اسکالپ تولید شده ۱۱۹
شکل ٦- ۳- تغییرات نسبت برآمدگی به دهانه ۱۲۰
شکل ٦- ٤- تغییرات نسبت ارتفاع به دهانه ۱۲۱
شکل ٦- ۵- گنبدهایی با تعداد قاچهای ٦، ۸، ۱۰ و ۱۲ ..... ۱۲۲
شکل ٦- ٦- تغییرات نسبت پیش آمدگی به دهانه ۱۲۳
شکل ٦- ۷- (الف) قوسی شدن به صورت دره تیز-(ب) قوسی شدن سینوسی ۱۲٤
شکل ٦- ۸- گروهبندی گنبد اسکالپ ۷۵ متری- (الف) پلان گنبد - (ب) نمای جانبی - (ج) گروهبندی اعضای لایه‌ی بالا (د) گروهبندی اعضای لایه‌ی پایین- (ه) گروهبندی اعضای لایه‌ی جان ۱۲٦

شکل ۷- ۱-تغییرات وزن واحد سطح بر حسب نسبت برآمدگی به دهانه برای گنبد با دهانه ۲۵ متر ونسبت ارتفاع به دهانه مختلف.. ۱۳۲
شکل ۷- ۲-تغییرات وزن واحد سطح بر حسب نسبت برآمدگی به دهانه برای گنبد با دهانه ۵۰متر ونسبت ارتفاع به دهانه مختلف.. ۱۳۲
شکل ۷- ۳-تغییرات وزن واحد سطح بر حسب نسبت برآمدگی به دهانه برای گنبد با دهانه ۷۵متر ونسبت ارتفاع به دهانه مختلف.. ۱۳۳
شکل ۷- ٤-تغییرات وزن واحد سطح بر حسب نسبت برآمدگی به دهانه برای گنبد با دهانه ۱۰۰ متر ونسبت ارتفاع به دهانه مختلف ۱۳۳
شکل ۷- ۵-تغییرات وزن واحد سطح بر حسب نسبت برآمدگی به دهانه برای گنبد با دهانه ۱۵۰ متر ونسبت ارتفاع به دهانه مختلف ۱۳٤
شکل ۷- ٦-تغییرات وزن واحد سطح بر حسب نسبت برآمدگی به دهانه برای گنبد با دهانه ۲۵ متر و تعداد قاچ مختلف ۱۳۵
شکل ۷- ۷-تغییرات وزن واحد سطح بر حسب نسبت برآمدگی به دهانه برای گنبد با دهانه ۵۰متر و تعداد قاچ مختلف ۱۳۵
شکل ۷- ۸-تغییرات وزن واحد سطح بر حسب نسبت برآمدگی به دهانه برای گنبد با دهانه ۷۵متر و تعداد قاچ مختلف ۱۳٦
شکل ۷- ۹-تغییرات وزن واحد سطح بر حسب نسبت برآمدگی به دهانه برای گنبد با دهانه ۱۰۰ متر و تعداد قاچ مختلف..... ۱۳٦
شکل ۷- ۱۰-تغییرات وزن واحد سطح بر حسب نسبت برآمدگی به دهانه برای گنبد با دهانه ۱۵۰ متر و تعداد قاچ مختلف ۱۳۷
شکل ۷- ۱۱-تغییرات وزن واحد سطح بر حسب تعداد قاچ برای گنبد با دهانه ۲۵ متر و نسبت ارتفاع به دهانه مختلف..... ۱۳۹
شکل ۷- ۱۲-تغییرات وزن واحد سطح بر حسب تعداد قاچ برای گنبد با دهانه ۵۰متر و نسبت ارتفاع به دهانه مختلف..... ۱۳۹

شکل ۷- ۱۳-تغییرات وزن واحد سطح بر حسب تعداد قاچ برای گنبد با دهانه ۷۵متر و نسبت ارتفاع به دهانه مختلف..... ۱۴۰
شکل ۷- ۱۴-تغییرات وزن واحد سطح بر حسب تعداد قاچ برای گنبد با دهانه ۱۰۰ متر و نسبت ارتفاع به دهانه مختلف ۱۴۰
شکل ۷- ۱۵-تغییرات وزن واحد سطح بر حسب تعداد قاچ برای گنبد با دهانه ۱۵۰ متر و نسبت ارتفاع به دهانه مختلف ۱۴۱
شکل ۷- ۱۶-مقایسه تغییرات وزن واحد سطح بر حسب دهانه برای گنبد با تعداد قاچ های متفاوت و برای نسبت ارتفاع به دهانه ۰/۱
..... ۱۴۲
شکل ۷- ۱۷-مقایسه تغییرات وزن واحد سطح بر حسب دهانه برای گنبد با تعداد قاچ های متفاوت و برای نسبت ارتفاع به دهانه ۰/۱۵
..... ۱۴۳
شکل ۷- ۱۸-مقایسه تغییرات وزن واحد سطح بر حسب دهانه برای گنبد با تعداد قاچ های متفاوت و برای نسبت ارتفاع به دهانه ۰/۲
..... ۱۴۳
شکل ۷- ۱۹-مقایسه تغییرات وزن واحد سطح بر حسب دهانه برای گنبد با تعداد قاچ های متفاوت و برای نسبت ارتفاع به دهانه ۰/۲۵
..... ۱۴۴
شکل ۷- ۲۰-مقایسه تغییرات وزن واحد سطح بر حسب دهانه برای گنبد با تعداد قاچ های ۶ و برای نسبت ارتفاع به دهانه متفاوت ۱۴۵
شکل ۷- ۲۱-مقایسه تغییرات وزن واحد سطح بر حسب دهانه برای گنبد با تعداد قاچ های ۸و برای نسبت ارتفاع به دهانه متفاوت ۱۴۶
شکل ۷- ۲۲-مقایسه تغییرات وزن واحد سطح بر حسب دهانه برای گنبد با تعداد قاچ های ۱۰ و برای نسبت ارتفاع به دهانه متفاوت۱۴۶
شکل ۷- ۲۳-مقایسه تغییرات وزن واحد سطح بر حسب دهانه برای گنبد با تعداد قاچ های ۱۲ و برای نسبت ارتفاع به دهانه متفاوت۱۴۷
شکل ۷- ۲۴- تاثیر پیش آمدگی بر وزن بر حسب دهانه برای گنبد با نسبت ارتفاع به دهانه ۰/۲ و نسبت برآمدگی به دهانه ۰/۱ برای
تعداد قاچ های مختلف..... ۱۴۸
شکل ۷- ۲۵-تاثیر پیش آمدگی بر وزن بر حسب دهانه برای گنبد با نسبت ارتفاع به دهانه ۰/۱ و نسبت برآمدگی به دهانه ۰/۱ برای تعداد
قاچ های مختلف ۱۴۹
شکل ۷- ۲۶-تاثیر پیش آمدگی بر وزن بر حسب تعداد قاچ برای گنبد با نسبت ارتفاع به دهانه ۰/۲ و نسبت برآمدگی به دهانه ۰/۱ برای
دهانه های مختلف..... ۱۵۰
شکل ۷- ۲۷-تاثیر پیش آمدگی بر وزن بر حسب تعداد قاچ برای گنبد با نسبت ارتفاع به دهانه ۰/۱ و نسبت برآمدگی به دهانه ۰/۱ برای
دهانه های مختلف..... ۱۵۱
شکل ۷- ۲۸-تاثیر سبک قوسی شدن قاچ ها بر وزن واحد سطح بر حسب تعداد قاچ..... ۱۵۳
شکل ۷- ۲۹-تاثیر سبک قوسی شدن قاچ ها بر وزن واحد سطح بر حسب تعداد قاچ..... ۱۵۳
شکل ۷- ۳۰-تاثیر سبک قوسی شدن قاچ ها بر وزن واحد سطح بر حسب تعداد قاچ..... ۱۵۴
شکل ۷- ۳۱- تاثیر سبک قوسی شدن قاچ ها بر وزن واحد سطح بر حسب تعداد قاچ..... ۱۵۴
شکل ۷- ۳۲-تاثیر سبک قوسی شدن قاچ ها بر وزن واحد سطح بر حسب تعداد قاچ..... ۱۵۵
شکل ۷- ۳۳-گنبد اسکالپ با ۱۰ قاچ با دهانه ۴۴/۳۲ متر و ارتفاع ۷/۶۳ متر..... ۱۵۵
شکل ۷- ۳۴-جزئیات گروه‌بندی..... ۱۵۶

شکل ۷- ۳۵-۱۵۰۰ نقطه از مولفه عمودی زلزله بم ۱۵۶
شکل ۷- ۳۶-مقایسه پاسخ تقریب سازی شده با دقیق برای نمونه تست اول ۱۵۹
شکل ۷- ۳۷- مقایسه پاسخ تقریب سازی شده با دقیق برای نمونه تست دوم ۱۶۰
شکل ۷- ۳۸- مقایسه پاسخ تقریب سازی شده با دقیق برای نمونه تست سوم ۱۶۰
شکل ۷- ۳۹- مقایسه پاسخ تقریب سازی شده با دقیق برای نمونه تست چهارم ۱۶۰
شکل ۷- ٤۰- مقایسه پاسخ تقریب سازی شده با دقیق برای نمونه تست پنجم ۱۶۰
شکل ۷- ٤۱- مقایسه پاسخ تقریب سازی شده با دقیق برای نمونه تست ششم ۱۶۱
شکل ۷- ٤۲- مقایسه پاسخ تقریب سازی شده با دقیق برای نمونه تست هفتم ۱۶۱
شکل ۷- ٤۳- مقایسه پاسخ تقریبسازی شده با دقیق برای نمونه تست هشتم ۱۶۱
شکل ۷- ٤٤- مقایسه پاسخ تقریبسازی شده با دقیق برای نمونه تست نهم ۱۶۱
شکل ۷- ٤۵- تاشه گنبد اسکالپ با (a) ۸ و (b) ۱۰ قاچ ۱۶۲
شکل ۷- ٤٦- جزئیات گروه‌بندی گنبد اسکالپ با ۸ قاچ ۱۶۵
شکل ۷- ٤۷- تاریخچه همگرایی برای طرحهای بهینه گنبد اسکالپ با ۸ قاچ ۱۶۶
شکل ۷- ٤۸- نمودار بار جابجایی گره راس گنبدهای اسکالپ ۸ قاچی بهینه بدست آمده توسط الگوریتم EPSO برای بارهای نهایی ۱۶۷
شکل ۷- ٤۹- منحنی های افزایشی بار گسترده در مقابل جابجایی عمودی برای تعدادی از گره های منتخب طرح بهینه غیر خطی بدست آمده با الگوریتم EPSO تحت بار نهایی ۲ ..... ۱۶۸
شکل ۷- ۵۰- جزئیات گروه‌بندی گنبد اسکالپ با ۸ قاچ ۱۷۰
شکل ۷- ۵۱- تاریخچه همگرایی برای طرحهای بهینه گنبد اسکالپ با ۱۰ قاچ ۱۷۱
شکل ۷- ۵۲- نمودار بار جابجایی گره راس گنبدهای اسکالپ ۱۰ قاچی بهینه بدست آمده توسط الگوریتم EPSO برای بارهای نهایی ۱۷۲
شکل ۷- ۵۳- منحنی های افزایشی بار گسترده در مقابل جابجایی عمودی برای تعدادی از گره های منتخب طرح بهینه غیر خطی بدست آمده با الگوریتم EPSO تحت بار نهایی ۲ ..... ۱۷۳

فهرست جداول

جدول ٦- ١- فاصله بین دو لایه بالاو پایین در دهانه های متفاوت ١١٩
جدول ٦- ٢- خصوصیات مقاطع مجموعه پروفیل لوله استاندارد استفاده شده در طراحی..... ١٢٤

جدول ٧- ١-١٠٠ نمونه انتخاب شده به صورت تصادفی..... ١٥٨
جدول ٧- ٢-نتایج تست شبکه های عصبی RBF و RBF+ANFIS..... ١٥٩
جدول ٧- ٣- پروفیلهای استاندارد لوله‌ای (TUBE)..... ١٦٤
جدول ٧- ٤- طرحهای بهینه خطی و غیرخطی بدست آمده با الگوریتم های PSO و EPSO ١٦٦
جدول ٧- ٥- تنشها در اعضای بحرانی در نه گروه حلهای بدست آمده توسط الگوریتم EPSO..... ١٦٧
جدول ٧- ٦- طرحهای بهینه خطی و غیرخطی بدست آمده با الگوریتم های PSO و EPSO ١٧١
جدول ٧- ٧- تنشها در اعضای بحرانی در ٩ گروه حلهای بدست آمده توسط الگوریتم EPSO ١٧١

فصل اول

کلیات

۱-۱- مقدمه

توسعه اقتصادی، فرهنگی و تکنولوژی یک جوامع مختلف نیاز به ساخت سازه های با کاربری خاص و دهانه های بسیار بزرگ و شکلهای بدیع و اثرگذار را افزایش داده است. سازه های فضاکار با توجه به ویژگیها و مزایی خاص خود یکی از اصلی ترین راه حلها برای برآورده کردن نیاز مزبور می باشند.

امروزه سازه های فضاکار به دلیل داشتن مزایای متنوع به طور گسترده و روز افزونی در پوشش سالن های وسیع صنعتی، آشیانه هواپیماها، سالن های ورزشی، نمایشگاهها و ... مورد استفاده قرار می گیرند. با توجه به بزرگی و وسعت این سازه ها و کاربرد آنها در فضاهای وسیعی که معمولا جمعیت فراوانی حضور دارند و نیز با توجه به فرم های خاص و سیستم های پیچیده سازه ای آنها، باید دقت ویژه ای را در طراحی این سازه ها معمول داشته و ملاحظات خاصی را مورد توجه قرار داد؛ به گونه ای که طراحی ایمن و اقتصادی حاصل گردد.

سازه های فضاکار گروهی از سازه ها هستند که رفتار مسلط سه بعدی دارند؛ معمولا در خور تولید انبوه صنعتی بوده و در این حالت، الزامات فنی و اقتصادی را با تلفیق مناسبی از مفاهیم سازه ای، اصول ایمنی، دیدگاه های زیباشناسی و جنبه های اقتصادی فراهم می کنند. در سازه های فضاکار، برعکس سازه های مسطح نظیرخرپای صفحه ای، مجموعه تاشه، بارهای خارجی، نیروهای داخلی و تغییر مکان سازه ای در فضای سه بعدی تعریف می شوند. به عبارت دیگر، در سازه های فضاکار، عملکرد سازه در فضای دو بعدی قابل بیان نیست. رفتار برخی از سازه ها به گونه ای است که اثر یک بعد تحت الشعاع آثار رفتاری در دو بعد دیگر است. این گونه سازه فضاکار را به هیچ روی نمی توان به صورت یک سیتم صفحه ای، تصور، تحلیل و طراحی نمود.

با توجه به تعداد بسیار زیاد اعضا در این گونه ها از سازه ها بهینه سازی آنها می تواند منجر به ایجاد سازه های بسیار پربازده تر و مقاوم در برابر بارهای قائم و جانبی گردد از این رو مسائل مربوط بهینه سازی این نوع از سازه ها از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است.

سازه های فضاکار شبکه ای از انواع متنوعی نظیر شبکه های تک لایه و چند لایه ، چلیک ها، گنبدها، سازه های هرمی، سازه های تاشو و ... برخوردار می باشند که در این بین گنبدها از حیث