بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه شهید باهنر کرمان
دانشکده فنی و مهندسی
بخش مهندسی مکانیک

پایان نامه تحصیلی برای دریافت درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی مکانیک
گرایش طراحی کاربردی

طراحی بهینه‌سازی توپولوژی سازه‌های دو بعدی با استفاده از روش بدون المان گالرکین و الگوریتم بهینه‌سازی اجتماع ذرات

استاد راهنما :
دکتر مجیدفولادی

استاد مشاور:
دکتر غلامحسین برادران

مؤلف :
سهیلا نجمی نژاد

تیر ماه1391

دانشگاه شهید باهنر کرمان

این پایان‌نامه به عنوان

یکی از شرایط احراز درجه کارشناسی ارشد به

بخش مهندسی مکانیک

دانشکده فنی و مهندسی

دانشگاه شهید باهنر کرمان

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

دانشجو : سهیلا نجمی نژاد

استاد راهنما : آقای دکتر مجید فولادی

استاد مشاور :آقای دکتر غلامحسین برادران

داور 1 : آقای دکتر محمدعلی حاج عباسی

داور 2 :آقای دکتر فرهاد شیخ سامانی

نماینده تحصیلات تکمیلی در جلسه دفاع :آقای دکتر محمدحسن صفاری پور

معاونت پژوهشی و تحصیلات تکمیلی دانشکده :خانم دکتر مریم احتشام زاده

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

تقدیم به :

به دستان گرم و پر مهر پدرم

و

چشمان نگران و همیشه منتظر مادرم

و

تمام عزیزانم...

تشکر و قدردانی :

بر خود لازم می‌دانم که از تمامی اساتید دانشکده فنی، بخش مهندسی مکانیک، به ویژه اساتید گرانمایه جناب دکتر مجید فولادی و دکتر غلامحسین برادران که در انجام این پایان‌نامه بسیار به من کمک کردند، تشکر و قدردانی کنم. همچنین از جناب آقای دکتر محمدعلی حاج عباسی که در زمان ورود بنده به دوره ارشد این دانشگاه، مرا امیدوار و دلگرم کردند.

چکیده :

امروزه طراحی بهینه سازه یک موضوع خیلی مهم و مورد توجه در زمینه بهینه‌سازی مهندسی و طراحی بهینه‌سازی توپولوژی سازه پیوسته از چالش‌انگیزترین موضوعات تحقیق در بهینه‌سازی سازه‌ای است. اخیرا" بهینه‌سازی توپولوژی سازه توجه زیاد و پیشرفت قابل ملاحظه‌ای به خاطر وسعت کاربرد آن در بسیاری از مراحل صنعتی به دست آورده است.

در دهه‌های گذشته روش‌های جدید بیشماری برای بهینه‌سازی توپولوژی ابداع شده است. از طرفی الگوریتم بهینه‌سازی PSO اخیرا" در بسیاری کاربردهای مهندسی همچون طراحی مدارهای منطقی و کاربرد در سازه‌ها مفید واقع شده است.

تحقیقات علمی کمی در مورد بهینه‌سازی توپولوژی سازه‌ها با استفاده از روش‌های بدون المان وجود دارد. بنابراین سعی شده است که در این پایان‌نامه سازه دو بعدی با کاربرد الگوریتمPSO و روش بدون المان گالرکین بهینه‌سازی شود.

نگارش این پایان‌نامه ابتدا با مروری بر روش‌های بدون المان و بیان کارهای انجام شده در زمینه بهینه‌سازی سازه‌ای در فصل اول، آغاز می‌شود. در فصل دوم روش بدون المان گالرکین شرح داده خواهد شد. در فصل سوم بهینه‌سازی و انواع روش‌های آن بیان می‌شود. در فصل چهارم یکی از روش‌های بهینه‌سازی به نام روش اجتماع ذرات به طور کامل بررسی خواهد شد. نهایتا" در فصل پنجم به مدلسازی سازه دو بعدی مورد نظر و تحلیل تنش آن با روش بدون المان گالرکین و بهینه-سازی سازه با روش اجتماع ذرات خواهیم پرداخت. فصل ششم به جمع‌بندی و ارائه پیشنهادات اختصاص دارد.

کلید واژه‌ها: روش‌های بدون المان- تابع شکل- تابع وزن- روش بدون المان گالرکین- الگوریتم-های تکاملی- روش اجتماع ذرات- تابع شایستگی- شرط توقف- ضریب انقباض

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول_مقدمه

1-1-روش‌های بدون المان 2

1-2-روند تاریخی توسعه روش‌های بدون المان 5

1-3-کاربردهای روش‌های بدون المان 6

1-4-دسته‌بندی روش‌های بدون المان 6

1-5-روش بدون المان گالرکین 7

1-6-بهینه‌سازی 8

1-7-مروری بر تحقیقات گذشته بهینه‌سازی 9

1-8-بهینه‌سازی توپولوژی سازه براساس محاسبه حرکت موجود زنده 11

1-9-روش بهینه‌سازی PSO 12

فصل دوم_ روش بدون المان گالرکین

2-1-مقدمه 15

2-2-ایجاد توابع شکل 15

2-2-1-ویژگی‌های مطلوب برای تابع شکل در روش‌های بدون المان 16

2-2-2-دامنه پشتیبان 16

2-2-3- تعیین فاصله میانگین گره‌ها 17

2-3-تابع شکل MLS 18

2-3-1-فرمول توابع شکل MLS 19

2-4-انتخاب تابع وزن 25

2-5-روش بدون المان گالرکین ۲۷

2-6-موضوعات مورد توجه در روش بدون المان گالرکین 28

2-7-مسئله الاستواستاتیک دو بعدی 29

2-8-روش ضرایب لاگرانژ برای ارضای شرایط مرزی اساسی 38

فصل سوم_بهینه‌سازی

3-1-مقدمه‌ای بر بهینه‌یابی 45
3-2-روند توسعه تاریخی 45
3-3-روش‌های جدید بهینه‌یابی 47
3-4-دسته بندی مسائل بهینه‌یابی 49
3-5-کاربردهای مهندسی بهینه‌یابی 49
3-6-الگوریتم‌های تکاملی 50

فصل چهارم_ بهینه‌یابی PSO

4-1-مقدمه 52
4-2-تاریخچه 52
4-3-تعاریف و مقدمات 53
4-4-انواع توپولوژی و اصل همسایگی 54
4-4-1-توپولوژی ستاره 54
4-4-2-توپولوژی حلقه 55
4-4-3-توپولوژی چرخی 55
4-5-الگوریتم‌های روش اجتماع ذرات 56
4-5-1-الگوریتم بهترین فرد 56
4-5-2-الگوریتم بهترین جهانی 57
4-5-3-الگوریتم بهترین محلی 60
4-6-تعیین شایستگی 61
4-7-همگرایی 61
4-8-بعد مسئله 62
4-9-تعداد ذرات 62
4-10-اندازه همسایگی 62
4-11-حل مسئله بهینه‌سازی مقید 63
4-12-مزیت‌های PSO در قیاس با سایر الگوریتم‌های جستجو 65
4-13-الگوریتم PSO باینری 65

4-14-معایب الگوریتم PSO باینری متداول 66
4-15-الگوریتم PSO باینری پیشنهادی 68
4-16-راهکارهایی برای بهبود همگرایی الگوریتمPSO 70

فصل پنجم_ مدلسازی و نتایج عددی

5-1-مقدمه 74
5-2-تعریف مسئله 74
5-3-مدلسازی 75
5-3-1-برنامه کامپیوتری 77
5-4-بهینه‌یابی با استفاده از الگوریتم PSO 77
5-5-مدل ریاضی بهینه‌سازی 78
5-6-فرآیند بهینه‌سازی 79
5-7-نتایج عددی 79
5-8-اجرای برنامه PSO 83

فصل ششم_ نتیجه‌گیری و پیشنهادات

6-1-نتیجه‌گیری 91
6-2-پیشنهادات 91
پیوست الف:برنامه EFG 92
پیوست ب:برنامه PSO 100
مراجع 106

فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل (1-1) نحوه المان‌بندی با استفاده از دو روش المان محدود و بدون المان	4
شکل (2-1) دامنه پشتیبان دایروی یک نقطه دلخواه	17
شکل (2-2) تابع تقریب u^h و پارامترهای گره‌ای u_i در تقریبMLS	20
شکل (2-3) فلوچارت برنامه تابع شکل MLS دو بعدی	25
شکل (2-4) سلول‌های پیش زمینه استفاده شده در روش فرم ضعیف کلی	28
شکل (2-5) نمایش دامنه و مرز مسئله، بردارهای حجمی و تراکشن، بردار نرمال خارجی	30
شکل (2-6) فلوچارت برنامه بدون المان روی فرم ضعیف کلی	43
شکل (4-1) انواع توپولوژی روش اجتماع ذرات	55
شکل (4-2) به روز شدن سرعت و موقعیت یک ذره	60
شکل (4-3) فلوچارت PSO	64
شکل (4-4) تابع سیگموید	68
شکل (4-4) تابع $S(v_{id})$	69
شکل(5-1) نمایش مسئله مورد نظر	74
شکل (5-2) نمایش دامنه و مرز مسئله اول با گره‌ها و المان‌ها	76
شکل (5-3) نمایش دامنه و مرز مسئله دوم با گره‌ها و المان‌ها	76
شکل (5-4) جابجایی مسئله اول در راستایx و yبا روش EFG و نرم‌افزارANSYS	82
شکل (5-5)نمایش جابجایی مسئله اول در راستای x و yبا روش EFG و نرم‌افزار ANSYS با شبکه‌بندی ریزتر	82
شکل (5-6) توپولوژی به دست آمده برای سازه‌ها براساس حذف یا حفظ المان	85
شکل(5-7) نمایش توپولوژی به دست آمده برای سازه براساس حذف یا حفظ المان با استفاده از گره‌های المان‌های حفظ شده	85
شکل(5-8)توپولوژی نهایی به دست آمده برای سازه براساس حذف یا حفظ نقاط گاوس	86
شکل (5-9) چند مورد از توپولوژی‌های به دست آمده نهایی براساس نقاط گاوس	88
شکل (5-10) نمودار تابع شایستگی بر حسب تعداد تکرارها	89

تعریف علائم

d_s	اندازه دامنه پشتیبان
α_s	ضریب بدون بعدی از دامنه پشتیبان
d_c	فاصله گره‌ای نزدیک به نقطه مورد نظر
D_s	یک حدس از d_s (قطر دامنه پشتیبان)
n_{D_s}	تعداد گره‌های موجود در دامنه پشتیبان با ابعاد D_s
A_s	مساحت حدس زده شده از دامنه پشتیبان
n_{A_s}	تعداد گره‌های موجود در این دامنه با مساحت حدسی A_s
V_s	حجم حدس زده شده از دامنه پشتیبان
n_{V_s}	تعداد گره‌های موجود در این دامنه با حجم حدسی V_s
u	متغیر میدانی جابجایی
p_j	چند جمله‌ای
a_j	ضریب متغیر
m و j و i	شمارنده
x و y	مختصات فضایی
N و n	تعداد گره
W	تابع وزن
J	تابعک خطا
$\mathbf{A}$ و $\mathbf{B}$	ماتریس
$\boldsymbol{\phi}$	تابع شکل
r و d	فاصله
δij	تابع دلتای کرونکر
$\mathbf{L}$	اپراتور دیفرانسیلی
σ و τ	تنش
b	نیروی حجمی
t	تراکشن
n	بردار نیروی خارجی

D	ماتریس خواص ماده
Ω	دامنه مسئله
Γ	مرز مسئله
Γ_u	مرز جابجایی
Γ_t	مرز تراکشن
δ	وریشن تابع
α	ضریب جریمه
u و v	سرعت
ε	کرنش
$\mathbf{B}$	مشتق تابع شکل
I و J	شمارنده
K	ماتریس سفتی
F	نیرو
λ	ضریب لاگرانژ
Λ	بردار ضریب لاگرانژ
$\boldsymbol{N}$	توابع شکل لاگرانژ
v_i	بردار سرعت ذره i
x_i	بردارموقعیت ذره i
$F(x_i)$	تابع شایستگی ذرهi
t	شماره تکرار
s	تابع سیگموید
s'	تابع پیشنهادی
dis	فاصله
Iter	تکرار
mass-num	تعداد ذرات
dim	ابعاد

مقدمه

و

مروری بر تحقیقات گذشته

1-1-روش‌های بدون المان

روش‌های بدون المان[1]، تحلیل رفتار سیستم‌های مکانیکی و مخصوصا" سازه‌های مهندسی تحت بارگذاری خارجی را برای مهندسان و طراحان امکان‌پذیر می‌سازد. منظور از کلمه بارگذاری در حالت عمومی، آن منبع خارجی است که یک میدان غیر صفر شامل پاسخ سیستم را نتیجه می‌دهد. (میدان دما، میدان جابجایی، میدان تنش و ...). این منبع خارجی می‌تواند گرما، بردار تنش، نیروی حجمی و یا حتی شرایط مرزی غیرهمگن باشد.

مطالعه رفتار سازه‌ها امروزه با استفاده از کامپیوترها صورت می‌پذیرد. دلیل این امر نیز هزینه پایین و سرعت بالای مدلسازی کامپیوتری در برابر هزینه بالا و سرعت پایین مدلسازی آزمایشگاهی است. مدلسازی عددی برای پهنه وسیعی از بارگذاری و هندسه سازه‌ها و برای تعیین طراحی بهینه قبل از ساخت سازه مورد استفاده قرار می‌گیرد.

روشی که در دهه‌های اخیر برای تحلیل انواع مختلف سازه‌ها، بیشترین کاربرد را داشته است، روش المان محدود[2] می‌باشد. روش المان محدود روشی کاربردی برای تحلیل مسائل مهندسی شامل هندسه-ها و بارگذاری‌های دلخواه در حالت خطی و غیرخطی و در دو و سه بعد می‌باشد. با این وجود ضرورت استفاده از روش المان مرزی[3] و روش‌های بدون المان نیز احساس می‌شود. چرا که استفاده از روش المان محدود برای تعداد بسیار زیادی از مسائل پرکاربرد و پیچیده مهندسی بسیار وقت‌گیر و دشوار می‌باشد. تعدادی از مهمترین معایب روش المان محدود را می‌توان به صورت زیر برشمرد:

1-هزینه و زحمت زیاد برای ایجاد شبکه‌بندی دامنه به طور مناسب:

گسسته‌سازی[4] بایستی روی کل دامنه اشغال شده توسط جسم انجام شود. المان‌بندی جسم در کل دامنه، مخصوصا" زمانی که با هندسه‌های پیچیده سروکار داشته باشیم، کاری دشوار و وقت‌گیر می-باشد. به عنوان مثال برای المان‌بندی جسم حول حفره‌ها و ترک‌ها و مکان‌هایی که نیاز به تراکم المان

[1] Element free methods
[2] Finite element method
[3] Boundary element method
[4] Discretization

بیشتری داریم، استفاده از روش المان محدود مشکل خواهد بود. همچنین شبکه‌بندی باید به گونه‌ای باشد که المان‌های بد نداشته باشد و دقت مناسب را هم ایجاد کند.

2-مشکل بودن تحلیل‌های پیاپی:

برای دستیابی به دقت بالاتر یا تغییر در پارامترهای طراحی نیاز است مدل گسسته شده اصلاح شود که این کار سخت بوده و نیاز به صرف زمان و تلاش زیاد است.

3-دقت کم در محاسبه تنش یا متغیرهای ثانویه:

با وجود اینکه روش المان محدود تابع میدان را که مجهول مسئله می‌باشد با دقت محاسبه می‌کند، اما این روش در محاسبه مشتقات تابع میدان ناکارآمد می‌باشد و دقت جواب‌ها در مشتق‌گیری بسیار کاهش می‌یابد، زیرا تابع اولیه مشتق پیوسته ندارد و بنابراین در محاسبه مشتق تابع اولیه خطای زیادی به وجود می‌آید.

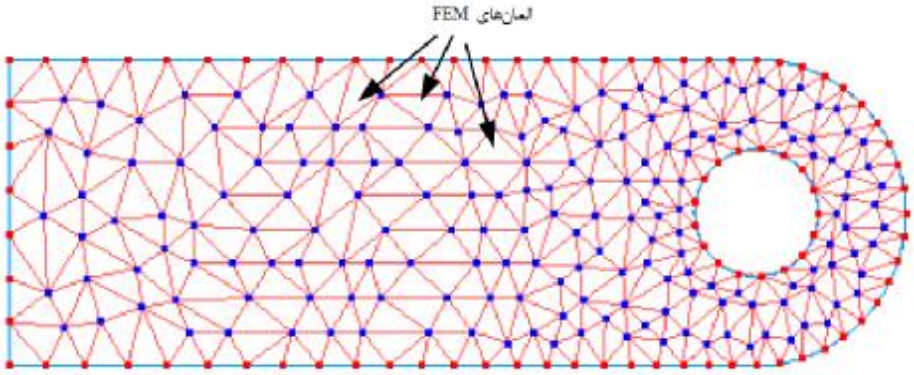
4-محدودیت در حل بعضی از مسائل:

به عنوان مثال، مسائل تحت تغییرشکل‌های بزرگ، رشد ترک با مسیرهای پیچیده و دلخواه، شکست ماده، که نیازمند المان‌بندی مجدد است. زیرا ممکن است المان اولیه با رشد ترک یا تحت تغییر شکل بزرگ و در نتیجه عوض شدن گره‌ها به المان بد تبدیل شود. موارد 1 و 2 را می‌توان با استفاده از کامپیوترها و نرم افزارهای جدیدتر و پیشرفته‌تر المان محدود مرتفع ساخت، اما رفع سایر محدودیت‌ها در روش المان محدود بسیار مشکل می‌باشد. شکل (1-1)، (الف) و (ب) نحوه المان‌بندی با استفاده از دو روش المان محدود و روش بدون المان را نشان می‌دهد.

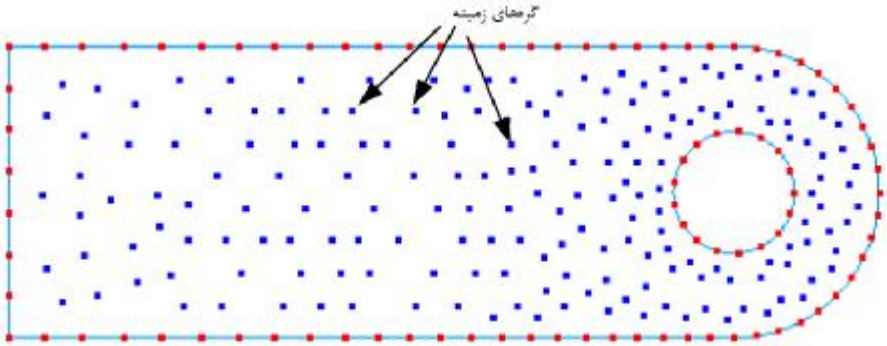
در مقابل روش‌های بدون المان دارای مزیت‌هایی هستند که از جمله آن‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

1-دامنه اشغال شده توسط جسم با یک مجموعه از گره‌ها که در دامنه مسئله و روی مرز آن پراکنده شده‌اند، مدلسازی می‌شود و نیاز به ایجاد شبکه و المان وجود ندارد، بنابراین آماده‌سازی مدل در این روش‌ها در مقایسه با روش المان محدود و به ویژه برای دامنه‌های سه بعدی بسیار سریع و آسان می‌باشد و زمان زیادی لازم ندارد.

2-توابع شکل روی گره‌ها تعریف می‌شوند بنابراین معادلات روی گره‌ها نوشته شده و ترکیب می-شوند، در نتیجه روش‌های بدون المان برای محاسبه مشتقات تابع میدان (شار حرارتی، تنش و کرنش) بسیار مؤثر می‌باشند و از طرفی به راحتی می‌توان نیروها و ممان های متمرکز را مدلسازی نمود.



(الف)



(ب)

شکل (1-1) نحوه المان‌بندی با استفاده از دو روش (الف) المان محدود، (ب) بدون المان.

3-ایجاد سازگاری در روش‌های بدون المان آسان‌تر است و همچنین مسائل با ناپیوستگی‌های متحرک مانند رشد ترک، تبدیل فاز و غیره به آسانی تقریب می‌شوند.

4-توابع شکل پیوسته مرتبه بالا استفاده می‌شود.

در برابر این مزایا معایبی هم برای این روش‌ها وجود دارد:

1-توابع شکل توابع منطقی هستند که نیاز دارند انتگرال‌های مرتبه بالا محاسبه شود.

2-شرایط مرزی اساسی مانند آنچه که در روش المان محدود وجود دارد به طور مستقیم بیان نشده‌اند و برای ارضای آن‌ها باید روش‌های دیگر همچون روش جریمه و روش ضرایب لاگرانژ استفاده شود زیرا توابع شکل استفاده شده در اکثر روش‌های بدون المان توابع داخلی نیستند و به همین دلیل خاصیت تابع دلتای کرونکر را ندارند.[1]

1-2-روند تاریخی توسعه روش‌های بدون المان

شروع روش‌های بدون المان به روش هیدرودینامیک ذره هموار (SPH) براساس فرم قوی برمی‌گردد که برای مدلسازی پدیده‌های فیزیک نجومی در سال 1990 توسط گینگلد و مناقان ارائه شد. این روش یک روش محاسباتی بدون المان بر مبنای فرمول لاگرانژ است که برای مسائل دینامیک سیالات و مکانیک جامدات نیز به کار گرفته شده است. به دنبال آن روش‌های بدون المان تکمیل شد و برای تحلیل مسائل مختلف به کار گرفته شدند. نمونه‌ای از آن‌ها عبارتند از: روش بدون المان گالرکین (EFG) توسط بلیتچکو و لودگو در سال 1994، این روش برای حل مسائل انتشار ترک و الاستیسیته استفاده می‌شود. روش ذره کرنل بازیابی حدود یکسال بعد به وسیله‌ی لیو، چن، اوراس و چانگ در سال 1996، روش قسمت واحد المان محدود (PUFEM) به وسیله‌ی باموشکا و میلینگ در سال 1997، روش ابرhp[5] توسط دوارته و ادن در سال 1996، روش المان طبیعی (NEM)[6] توسط ماکومار، موران و بلیتچکو در سال 1998، روش بدون المان گالرکین با استفاده از توابع شعاعی (RBE) به وسیله وندلند در سال 1999، روش بدون المان پتروف _گالرکین محلی که برای حل مسائل مقدار مرزی خطی و غیرخطی توسط اتلوری، ژانگ و ژو در سال 1998، اتلوری، کیم و کو در سال 1999 ارائه شدند.[2,1]

[5] hp cloud method
[6] Natural element method

1-3-کاربردهای روش‌های بدون المان

کاربرد روش‌های بدون المان در مسائل تحلیل تنش سازه‌های پیچیده به خاطر مدلسازی ساده در این روش‌ها بسیار مورد توجه قرار گرفته است. سازه‌های نازک مانند پوسته‌ها و ورق‌ها در طی سال‌های اخیر با استفاده از روش‌های بدون المان مورد تحلیل قرار گرفته‌اند.

شاید جذاب‌ترین کاربرد روش‌های بدون المان شبیه‌سازی رشد ترک و همچنین مدلسازی تمرکز تنش و تغییر شکل‌های بزرگ در سازه‌ها باشد. امروزه برای تحلیل مسائلی که با مسئله تمرکز تنش روبه‌رو هستند، روش‌های بدون المان بر روش المان محدود ترجیح داده می‌شوند. توانایی روش‌های بدون المان در یافتن خودکار مسیر رشد ترک و همچنین دقت بالای این روش‌ها، باعث شده است تا روش-های بدون المان به عنوان یک ابزار قدرتمند برای حل مسائل مکانیک شکست مورد استفاده قرار گیرند.

1-4-دسته‌بندی روش‌های بدون المان

روش‌های بدون المان براساس فرآیندهای فرموله کردن یا معادلات اولیه، براساس نوع تابع تقریب و ... می‌توانند دسته‌بندی شوند.

روش‌های بدون المان براساس فرآیند فرموله کردن یا نوع معادلات اولیه به سه گروه دسته‌بندی می-شوند:

1-روش‌های بدون المان بر پایه فرم ضعیف، که در این روش‌ها معادلات دیفرانسیل جزئی حاکم با شرایط مرزی مشتق شده ابتدا به یک مجموعه از معادلات به نام معادلات انتگرالی فرم ضعیف با استفاده از تکنیک‌های متفاوت فرم‌های ضعیف تغییر داده می‌شوند و سپس برای به دست آوردن یک مجموعه معادلات جبری سیستم از طریق یک فرآیند انتگرال‌گیری عددی با استفاده از مجموعه‌ای از سلول‌های پیش زمینه استفاده می‌شوند مانندMLPG و EFG.

2-روش‌های بدون المان بر پایه فرم قوی:

فرم قوی معادلات حاکم و شرایط مرزی به طور مستقیم در گره‌های زمینه گسسته می‌شوند و یک مجموعه معادلات گسسته را برای سیستم به دست می‌آورند مانند روش تفاضل محدود تعمیم یافته GFDM و روش مجموعه نقاط[7] .

3-روش‌های بدون المان بر پایه ترکیبی از فرم قوی و فرم ضعیف:

در به دست آوردن معادلات گسسته سیستم هم فرم قوی و هم فرم ضعیف استفاده می‌شوند. برای تمام گره‌هایی که روی مرزها یا نزدیک مرزها با شرایط مرزی هستند، فرم قوی استفاده می‌شود و برای گره‌های دیگر فرم ضعیف استفاده می‌شود مانند روش SPH.

روش‌های بر پایه فرم ضعیف خود به دو گروه طبقه‌بندی می‌شوند:

1-فرم ضعیف روی دامنه عمومی مانند EFG و RPIM.

2-فرم ضعیف روی دامنه محلی مانند MLPG و LRPIM.

اما روش‌های بدون المان بر اساس نوع تقریب تابع به 3 گروه دسته‌بندی می‌شوند:

1-تابع تقریب به صورت انتگرالی بیان می‌شود مانند SPH.

2-تابع تقریب به صورت سری بیان می‌شود مانند EFG.

3-تابع تقریب به صورت دیفرانسیلی بیان می‌شود مانند GFDM.[1]

1-5-روش بدون المان گالرکین

با تکمیل روش‌های عددی بدون المان، روش بدون المان گالرکین یک روش جدید انتگرال‌گیری بر روی دامنه کلی بر پایه فرم ضعیف ارائه کرد. این روش به طور موفقیت‌آمیزی برای بسیاری مسائل متنوع شامل مسائل الاستیک خطی و غیرخطی دو و سه بعدی، مسائل شکست و رشد ترک، تحلیل

[7] Mfree collocation

ورق‌های الاستیک نازک و ورق‌های میدلین-ریسنر، سازه‌های پوسته و ورق و غشاهای انیزوتروپیک و مسائل با زمینه الکترومغناطیسی و مانند آن به کار برده شده است.[3]

در روش بدون المان گالرکین تابع شکل توسط حداقل مربعات متحرک (MLS) ایجاد شده و معادله کنترل از فرم ضعیف معادله تابعک به دست آمده است. چون EFG از تابع شکل MLS که خاصیت تابع دلتای کرونکر را ندارد استفاده می‌کند، ارضای شرایط مرزی نیاز به راهکارهای خاصی دارد. تابع شکل MLS در فصل دوم توضیح داده می‌شود.[3-1]

1-6- بهینه‌سازی[8]

طراحی بهینه سازه یک موضوع خیلی مهم و مورد توجه در زمینه بهینه‌سازی مهندسی است. مسائل بهینه‌سازی سازه‌ای روی حداقل کردن مقدار ماده مورد نیاز در یک دامنه یا به عبارتی حداقل کردن وزن برای یک سازه در معرض بارگذاری خاص همراه با بعضی قیود متمرکز تعریف شده است. طراحی بهینه سازه‌ها شامل بهینه‌سازی اندازه سازه[9]، هندسه[10] یا شکل سازه و فرم‌های توپولوژی سازه[11]، موضوعات اساسی در یک پروسه طراحی سازه هستند.[4]

بهینه‌سازی طرح توسط میشل[12] [5]پیشنهاد شده است که به طور استاتیکی خرپاهای معین را برای یک تعداد بارگذاری و شرایط تکیه‌گاهی مطالعه کرد.

در بهینه‌سازی اندازه، شکل و هندسه ثابت فرض می‌شوند تا زمانیکه یک مجموعه بهینه از پارامترهای اندازه همچون طول، ضخامت و مساحت سطح مقطع پیدا شوند. بهینه‌سازی هندسی، تعریف هندسی مرزهای محیط خارجی و سوراخ‌های داخلی سازه را پیدا می‌کند. بهینه‌سازی هندسی انعطاف زیادی به بهینه‌سازی اندازه اضافه می‌کند، هر چند شکل سازه بدون تغییر باقی می‌ماند. بنابراین سازه بهینه‌ی به دست آمده از بهینه‌سازی شکل و اندازه نتیجه‌ای از طرح توپولوژی اولیه است، چنانچه طرح توپولوژی

[8] optimization
[9] Sizing optimization
[10] Shape optimization
[11] topology optimization
[12] Michell