١٤١٨١٤

دانشکده فنی

گروه مهندسی مکانیک

گرایش طراحی کاربردی

تحلیل الاستیک-پلاستیک صفحات ضخیم تحت شرایط بارگذاری دینامیکی مختلف با استفاده از روش Meshless Local Petrov-Galerkin

از

احمد رضایی مژدهی

اساتید راهنما:

دکتر ابوالفضل درویزه

دکتر علی باستی

استاد مشاور:

دکتر رضا انصاری خلخالی

۱۳۸۹/۷/۳

۱۴۱۵۱۶

الهی،

شکرت که فهمیدم که نفهمیدم و رسیدم که نرسیدم...

بسیار ما اندک است و اندک تو بسیار و فرموده ای: گرچه بسیار تو بود اندک، ز اندکت می دهند بسیارت...

اینجانب بر خود می دانم که از زحمات بی دریغ، تلاش های بی وقفه و راهنمایی های ارزشمند اساتید گرامی جناب آقای دکتر ابوالفضل درویزه و دکتر علی باستی در راستای انجام این پروژه و همچنین از پدر و مادر مهربان و همسر عزیزم که همواره همراه، حامی و پشتیبان من بوده اند کمال تشکر و قدر دانی را به عمل آورم.

فهرست

چکیده فارسی.....ح
چکیده انگلیسی.....خ
مقدمه.....۱
فصل اول: روش های بدون المان، مزایا و معایب.....۳
۱-۱- شبه سازی عددی.....۳
۱-۲- روش های بدون المان.....۳
۱-۳- علت پیدایش روش های بدون المان.....۴
۱-۴- روند تحلیل مسائل در روشهای بدون المان.....۵
۱-۵- انواع روش های بدون المان.....۵
فصل دوم: روش Meshless Local Petrov-Galerkin (MLPG).....۹
۲-۱- تقریب متغیر میدانی در روش MLPG.....۱۰
۲-۲- فرمول بندی تابع شکل MLS.....۱۱
۲-۳- فرمول بندی روش MLPG در مسائل مکانیک جامدات.....۱۶
فصل سوم: تحلیل الاستیک صفحات.....۲۲
۳-۱- بارگذاری استاتیکی.....۲۲
۳-۱-۱- تحلیل صفحات با در نظر گرفتن تغییر شکل برشی و استفاده از تقریب مرتبه دو در راستای ضخامت.....۲۲
۳-۱-۱-۱- فرمول بندی روش *MLPG*.....۲۳
۳-۱-۱-۲- تشکیل معادلات به فرم گسسته.....۲۴
۳-۱-۲-تحلیل صفحات با استفاده از تابع تقریب سه بعدی *MLS*.....۳۱
۳-۲- بارگذاری دینامیکی.....۳۴
فصل چهارم: تحلیل الاستیک – پلاستیک صفحات.....۳۷
۴-۱- بارگذاری استاتیکی.....۳۷
۴-۱-۱- تحلیل الاستیک – پلاستیک صفحات با استفاده از تئوری تغییر شکل کلی هنکی.....۳۷
۴-۱-۱-۱- فرمول بندی روش *MLPG*.....۳۸
۴-۱-۱-۲-تعیین پارامترهای مؤثر ماده.....۳۹
۴-۱-۱-۳- روش تکراری برای حل معادلات.....۴۲
۴-۱-۲- تحلیل الاستیک – پلاستیک صفحات با استفاده از تئوری سیلان.....۴۵
۴-۱-۲-۱- فرضیه نرمالیتی در پلاستیسیته.....۴۶
۴-۱-۲-۲- شرط سازگاری.....۴۸
۴-۱-۲-۳- فرمول بندی روش MLPG.....۵۱
۴-۲- بارگذاری دینامیکی.....۵۲
۴-۲-۱- فرمول بندی روش *MLPG*.....۵۲
۴-۲-۲- انتگرال گیری زمان و حل معادله دیفرانسیل *ODE*.....۵۴
فصل پنجم: بحث و نتیجه گیری.....۵۵
۵-۱- تحلیل الاستیک صفحات تحت بارگذاری استاتیکی.....۵۵
۵-۱-۱- تحلیل صفحات با در نظر گرفتن تغییر شکل برشی و استفاده از تقریب مرتبه دو در راستای ضخامت.....۵۵

۵-۱-۱-۱- صفحه مربعی گیردار ۵۵
۵-۱-۲- تحلیل صفحات با استفاده از تابع تقریب سه بعدی MLS ۵۹
۵-۱-۲-۱- صفحه مربعی گیردار ۵۹
۵-۲- تحلیل الاستیک صفحات تحت بارگذاری دینامیکی ۶۴
۵-۲-۱- صفحه مربعی گیر دار تحت بار ناگهانی پله ۶۴
۵-۲-۲- صفحه مربعی گیر دار تحت بار ضربه ۶۵
۵-۲-۳- صفحه مربعی گیر دار تحت یک پالس مربعی ۶۶
۵-۳- تحلیل الاستیک – پلاستیک صفحات تحت بارگذاری استاتیکی ۶۸
۵-۳-۱- تحلیل الاستیک – پلاستیک صفحات با استفاده از تئوری تغییر شکل کلی هنکی ۶۸
۵-۳-۱-۱- صفحه مربعی یک سر گیردار ۶۸
۵-۳-۱-۲- صفحه مربعی گیردار ۷۱
۵-۳-۲- تحلیل الاستیک – پلاستیک صفحات با استفاده از تئوری سیلان ۷۳
۵-۳-۲-۱- صفحه مربعی یک سر گیردار ۷۳
۵-۳-۲-۲- صفحه مربعی گیردار ۷۴
۵-۴- تحلیل الاستیک – پلاستیک صفحات تحت بارگذاری دینامیکی ۷۶
۵-۴-۱- صفحه مربعی یک سر گیردار ۷۶
۵-۴-۲- صفحه مربعی گیردار ۷۸
نتیجه گیری ۸۱
پیشنهاد برای ادامه کار ۸۴
مراجع و مآخذ ۸۵

فهرست علایم

B	ماتریس کرنش-جابجایی
b	نیروی حجمی
D	ماتریس تنش-کرنش
D_e	ماتریس تنش-کرنش مؤثر
E	مودول یانگ
E_e	مودول یانگ مؤثر
F	ماتریس نیرو
K	ماتریس سفتی
M	ماتریس جرم
N	ماتریس بردار یکه
n	بردار یکه نرمال
P	تابع پایه
S	تنش انحرافی
u	جابجایی در راستای x
$\ddot{u}$	شتاب
$\dot{u}$	سرعت
u^h	تقریب متغیر میدانی جابجایی
$\hat{u}$	مقادیر مجازی متغیر میدانی جابجایی
v	جابجایی در راستای y
w	جابجایی در راستای z
W	تابع وزن
Ω	دامنه کلی مسئله
φ	تابع شکل
σ	تانسورتنش
ρ	چگالی
Γ	مرز دامنه مسئله
α	پارامتر پنالتی
v_i	تابع تست
ψ	تابع درونیاب در راستای ضخامت
Δt	بازه زمانی
ϵ	تانسور کرنش
ϵ^e	کرنش الاستیک
ϵ^p	کرنش پلاستیک
υ	ضریب پواسون
υ_e	ضریب پواسون مؤثر
σ_0	تنش تسلیم اولیه

تنش معادل یا مؤثر	σ_e
تنش تسلیم	σ_y
ضریب پلاستیک	$d\lambda$
کرنش پلاستیک مؤثر	dp
نمو تنش	$d\sigma$
نمو کرنش	$d\epsilon$
نمو جابجایی	du

چکیده

تحلیل الاستیک-پلاستیک صفحات ضخیم تحت شرایط بارگذاری دینامیکی مختلف با استفاده از روش Meshless Local Petrov-Galerkin

احمد رضایی مژدهی

در این رساله در ابتدا به تحلیل الاستیک صفحات تحت بارگذاری استاتیکی و دینامیکی با استفاده از روش MLPG پرداخته می شود. از دو روش تحلیل صفحات با در نظر گرفتن تغییر شکل برشی و استفاده از تقریب مرتبه دو در راستای ضخامت و همچنین استفاده از تقریب سه بعدی در تحلیل صفحات در بارگذاری استاتیکی بهره برده می شود. دراین حالت تاثیر عوامل مختلف از جمله شعاع دامنه ساپورت و زیردامنه محلی بر روی نتایج بدست آمده بررسی شده سپس مقدار بهینه آن برای تحلیل های بعدی انتخاب می گردد. از طرف دیگر به منظور کاهش تاثیر قفل شوندگی در راستای ضخامت، از تابع پایه مرتبه دو استفاده می شود. با استفاده از پارامترها و داده های بدست آمده از بارگذاری استاتیکی، تحلیل دینامیکی صفحات در فاز الاستیک با تقریب سه بعدی انجام شده و رفتار صفحات مورد نظر تحت بارگذاری های دینامیکی مختلف بررسی می گردد. در قسمت بعد تحلیل الاستیک-پلاستیک صفحات تحت بارگذاری استاتیکی و دینامیکی ارائه شده، در بارگذاری استاتیکی از دو تئوری در فاز پلاستیک برای تحلیل صفحات استفاده می گردد. در ابتدا از تئوری تغییر شکل کلی هنکی برای تحلیل الاستیک-پلاستیک صفحات استفاده شده و فرمول بندی این تئوری ارائه می شود. با استفاده از این تئوری پارامترهای مؤثر ماده از قبیل مودول یانگ و ضریب پواسون مؤثر که بصورت تابعی از تنش و خصوصیات ماده مورد نظر می باشند بدست می آیند. در نهایت با حل معادلات مربوطه در یک فرآیند تکراری و مقایسه نمودار تنش کرنش حاصله با نمودار تنش – کرنش تجربی میزان خطای تحلیل مورد نظر بدست آمده و با انتخاب تلورانس مورد نظر دقت مطلوب بدست می آید. در تئوری بعدی با استفاده از تئوری سیلان و روابط مربوط به آن و همچنین با استفاده از تابع تسلیم فان میسز فرمول بندی روش MLPG برای این تئوری تحت بارگذاری نموی استخراج می گردد. در این تئوری با استفاده از فرضیه نرمالیتی در پلاستیسیته جهت نمو کرنش پلاستیک و با استفاده از شرط سازگاری ضریب پلاستیک بدست آمده و با استفاده از آنها مقادیر نمو تنش و در نهایت نمو جابجایی بدست می آید. در تحلیل الاستیک-پلاستیک صفحات تحت بار دینامیکی، با توجه به این نکته که تئوری تغییر شکل کلی هنکی در بارگذاری دینامیکی صادق نبوده و نمی توان از این روش برای تحلیل دینامیکی استفاده نمود تنها از تئوری سیلان برای تحلیل الاستیک-پلاستیک صفحات استفاده می شود. در این حالت پارامترهایی که در این تئوری بصورت نموی ارائه گردیدند در بازه های زمانی کوچک محاسبه شده و برای انتگرال گیری زمان از روش نیومارک برای حل معادلات مربوطه استفاده می گردد و با حل معادلات تعادل در هر بازه زمانی مقادیر مربوط به جابجایی در هر گره حاصل می شود. پس از بدست آوردن نتایج مربوطه، این نتایج با نتایج بدست آمده از روش المان محدود با استفاده از نرم افزار ABAQUS مقایسه شده و با توجه به تعداد گره ها و همچنین تعداد نموهای بکار رفته، بازدهی بالا و همچنین مؤثر بودن روش ارائه شده مشخص و بارز است.

کلید واژه: روش MLPG ، تحلیل صفحات ، تحلیل الاستیک-پلاستیک ، معادلات تعادل ، بارگذاری دینامیکی

Abstract

Elastic-Plastic Analysis of Thick Plates under different Dynamic Loading Conditions by the Meshless Local Petrov-Galerkin

Ahmad Rezaei Mojdehi

In this thesis at first, elastic analysis of plates under static and dynamic loading by the meshless local petrov-galerkin method is performed. Two methods of shear deformable plate theory with second order approximation in thickness direction and three dimensional (3D) approximations in static loading of plates are used. In this state, influence of different parameters such as radius of support domain and local sub-domain in the obtained results are investigated and optimum values of these parameters for next analysis are achieved. On the other hand, second order basis for decreasing the effect of thickness locking is used. By using obtained parameters from static analysis, dynamic analysis of plates in elastic foundation based on 3D approximation is performed and responses of supposed plates under different dynamic loading condition are investigated. In the next step, elastic-plastic analysis of plates under static and dynamic loading is presented. Two theories are used in plastic analysis of the plates under static loading. At first Hencky's total deformation theory is used for elastic-plastic analysis of plates and its formulation is presented. In this theory effective parameters such as effective Young modulus and poisson ratio which are functions of final stress state and material properties are obtained. By solution of related equations in an iterative process, this procedure continued until all the effective material parameters converge and equivalent stress falls on the experimental uniaxial stress–strain curve. In the next theory, by using flow theory and its related equations and von mises yield function as yield criteria, MLPG formulation for incremental loading is developed. In this theory, directions of plastic strain increment are obtained by the normality hypothesis in plasticity. On the other hand, by using consistency condition, plastic multiplier, or equivalently for a von mises material, the increment in effective plastic strain is determined. With these parameters the values of stress increments and finally displacement increments will be achieved. With note that Hencky's total deformation theory is acceptable only in proportional loading, flow theory is used for elastic-plastic analysis of plates under dynamic loading. In this analysis, incremental parameters are computed in each time step and Newmark method is used for time integration of equilibrium equations. By solution of the equilibrium equations in each time step, values related to displacements for each node are determined. At last numerical results obtained by the present method are compared with those obtained from Finite Element commercial software ABAQUS and shown that the present meshless method is highly efficient and very effective with lower nodes and increment numbers.

Key Words: MLPG Method, Plates Analysis, Elastic-Plastic Analysis, Equilibrium Equations, Dynamic Loading.

مقدمه:

پدیده ها در طبیعت اعم از پدیده های مکانیکی، الکتریکی، زمین شناسی، شیمیایی، بیولوژیکی و ... توسط معادلات جبری، دیفرانسیل یا انتگرالی قابل بیان هستند. با توجه به پیچیدگی و ماهیت غیر خطی این پدیده ها، دسته کمی از این معادلات بصورت دقیق و تحلیلی به جواب رسیده اند و برای حل باقیمانده مسایل باید از روش های عددی برای بدست آوردن جوابی تقریبی برای این معادلات استفاده کرد.

امروزه مهندسان و دانشمندان از روش های عددی مختلفی برای حل مسایل پیچیده استفاده می کنند که شمار این روش ها روز به روز در حال افزایش است. مدت زمان زیادی مهندسان و دانشمندان از روش تفاضل محدود[1] برای شبیه سازی سیستم های مهندسی به صورت عام و حل دستگاه معادلات با مشتقات جزیی بصورت خاص استفاده می کردند. این روش برای حل مسائل با هندسه ساده مناسب بود، از اواسط قرن بیستم با روی کار آمدن روش المان محدود[2] مسائل مختلف با هندسه های پیچیده با دقت، انعطاف پذیری و بازدهی بالا مورد تحلیل قرار گرفتند و بتدریج این روش رو به گسترش نهاده تا اینکه نرم افزار های بسیار توانمندی در حل مسائل مهندسی بوجود آمدند که قابلیت تحلیل بسیاری از مسائل پیچیده را دارند.

اما روش المان محدود علیرغم دارا بودن مزیت های بسیار زیاد دارای نقاط ضعف مختلفی می باشد که مهندسان را به سمت استفاده از روش های جدید تر از جمله روش های بدون المان[3] سوق می دهد که در ادامه به بررسی آنها می پردازیم.

معرفی فصل به فصل رساله:

فصل اول:

در این فصل در ابتدا به صورت عام به معرفی و تاریخچه روش های بدون المان پرداخته سپس مزیت استفاده از روش های بدون المان در مقایسه با روش المان محدود بیان می شود، پس از آن روش های بدون المان را با هم مقایسه و نحوه تحلیل مسائل در آنها با هم مقایسه می شوند.

فصل دوم:

در این فصل به صورت خاص یکی از روش های بدون المان با عنوان(Meshless Local Petrov-Galerkin (MLPG معرفی شده و نحوه فرمول بندی وتحلیل مسائل با این روش شرح داده می شود.

فصل سوم:

در این فصل به تحلیل الاستیک صفحات ضخیم با استفاده از روش MLPG پرداخته می شود.در قسمت اول مسائل تحت بارگذاری استاتیکی و در قسمت دوم مسائل تحت بارگذاری دینامیکی مورد بررسی قرار می گیرند. از دو تئوری برای تحلیل

1- Finite Difference method (FDM)
2- Finite Element method (FEM)
3- Mesh Free Method

صفحات ضخیم استفاده گردیده ابتدا تئوری تقریب مرتبه بالا در راستای ضخامت با در نظر گرفتن تغییر شکل برشی و سپس روش تقریب سه بعدی تشریح می شود .

فصل چهارم:

در این فصل به تحلیل الاستیک-پلاستیک صفحات پرداخته می شود. همانند فصل قبل در قسمت اول مسائل تحت بارگذاری استاتیکی و در قسمت دوم مسائل تحت بارگذاری دینامیکی مورد بررسی قرار می گیرند. در بارگذاری استاتیکی از دو روش برای تحلیل صفحات استفاده می شود، در قسمت اول برای تحلیل پلاستیک از تئوری جابجایی کلی هنکی استفاده شده و پارامترهای موثر ماده بعنوان تابعی از تنش و خصوصیات ماده در یک فرایند تکراری بدست می آیند، در روش دوم از تئوری سیلان و فرضیه نرمالیتی در پلاستیسیته برای تحلیل پلاستیک استفاده می شود. برای تشخیص مرز ناحیه الاستیک و پلاستیک از تابع تسلیم فان میسز استفاده می شود. در قسمت دوم به علت محدودیت تئوری جابجایی کلی هنکی در بارگذاری های استاتیکی از تئوری سیلان برای تحلیل دینامیکی در فاز پلاستیک استفاده شده، به منظور انتگرال گیری از زمان از روش نیومارک استفاده می شود.

فصل پنجم:

در این فصل به ارائه نتایج بدست آمده از فرمول بندی های ارائه شده در فصول قبل پرداخته می شود. نتایج بدست آمده با روش تحلیلی و روش FEM با استفاده از نرم افزار ABAQUS مقایسه شده و دقت و بازدهی روش ارائه شده بررسی می شود.

فصل اول

روش های بدون المان، مزایا و معایب

فصل اول

روش های بدون المان، مزایا و معایب

۱-۱- شبیه سازی عددی

هدف از شبیه سازی عددی تبدیل مسائل پیچیده کاربردی به فرم ساده و گسسته از روابط ریاضی، بوجود آوردن و حل مسئله مورد نظر در محیط کامپیوتر و در نهایت مشخص کردن پاسخ مسئله بر اساس نیازهای تحلیل می باشد. به منظور شبیه سازی عددی مراحل مختلفی باید طی شود که این مراحل به ترتیب عبارتند از[1]:

۱- مشخص کردن پدیده فیزیکی مورد نظر به منظور شبیه سازی.

۲- مدلسازی ریاضی پدیده مورد نظر بر اساس برخی ساده سازی ها و فرضیات.

این مدل ریاضی به صورت کلی بر حسب متغیر های میدانی در معادلات بدست آمده و با شرایط مرزی یا شرایط اولیه مناسب بیان می شود. معادلات استخراج شده معمولا به فرم معادلات دیفرانسیل معمولی[1] ، معادلات با مشتقات جزئی[2] یا معادلات انتگرالی می باشند. شرایط مرزی و یا شرایط اولیه به منظور تکمیل این معادلات برای تعیین متغیر های میدانی در فضا یا زمان ضروری می باشند.

۳- توصیف مدل ریاضی بدست آمده توسط یک الگوریتم و روش عددی مناسب.

در این مرحله باید برنامه کامپیوتری مورد نیاز برای شبیه سازی عددی نوشته شود. برای روش های عددی مختلف، الگوریتم حل و پیاده سازی روش مختلف است.

۴- شبیه سازی عددی مسئله.

با استفاده از برنامه کامپیوتری بدست آمده در مرحله ۳ مسئله مورد نظر (پدیده فیزیکی) شبیه سازی می شود.

۵- مشاهده و تحلیل نتایج شبیه سازی بدست آمده در مرحله ۴.

۱-۲- روش های بدون المان

روش های بدون المان در واقع روش هایی هستند که در آنها دستگاه معادلات جبری برای کل دامنه مسئله مورد نظر بدون استفاده از المان های از پیش تعریف شده تشکیل می شود.در این روش ها با استفاده از نقاط پخش شده در داخل و

1- Ordinary Differential Equation (ODE)
2- Partial Differential Equation (PDE)

مرزهای مسئله مورد نظر بدون استفاده از هیچ المانی به تحلیل مسائل مورد نظر پرداخته می شود و نیاز به هیچ گونه اطلاعاتی در مورد ارتباط بین نقاط در آن نمی باشد.

امروزه روش های بدون المان مختلفی ارائه شده اند که از آن جمله می توان به روش های ذیل اشاره نمود:

Element Free Galerkin (EFG)[2],
Meshless Local Petrov-Galerkin (MLPG) [3],
Point Interpolation Method (PIM) [4],
Point Assembly Method (PAM) [5],
Finite Point Method (FPM) [6],
The finite Difference method with arbitrary irregular grids [7],
Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH) [8,9],
Reproducing Kernel Particle Method (RKPM) [10],

.
.
.

تمام این روش ها در اینکه هیچ نوع المان از پیش تعریف شده ای در آنها حداقل در درونیابی متغیرهای میدانی مورد نظر نیاز نمی باشد مشترک اند.

۱-۳- علت پیدایش روش های بدون المان

امروزه روش المان محدود یک روش قدرتمند بوده و برای تحلیل انواع مسائل استاتیکی، دینامیکی، خطی یا غیر خطی، سازه ها، مکانیک سیالات و ... مورد استفاده قرار می گیرد و اغلب مسائل کاربردی مهندسی مرتبط با سازه ها و جامدات امروزه توسط نرم افزارهای قدرتمند تجاری که اساس کار آن ها بر روش المان محدود استوار است حل شده اند. اما به هر حال این روش دارای محدودیت ها و معایبی است که در تحلیل برخی از مسائل آن را با مشکل مواجه می کند، شماری از این محدودیت ها و معایب عبارتند از:

۱- بوجود آوردن مش برای تحلیل مسائل در استفاده از روش المان محدود الزامی است. قبل از تحلیل مسائل توسط این روش می بایست دامنه مسئله مورد نظر مش بندی شده که این عمل زمان گیر می باشد و زمان فرآیند محاسبه را برای تحلیل مسئله مورد نظر بالا می برد.

۲- در محاسبه تنش، مقادیر بدست آمده مربوط به تنش توسط نرم افزارهای المان محدود گسسته و با دقت کم هستند که برای رفع این نقص باید از یک سری روش های خاص از قبیل ... , Super Convergence Points برای بالا بردن دقت در محاسبه مقادیر تنش استفاده کرد.

۳- در مسائل مربوط به حوزه تغییر شکل های بزرگ با توجه به تغییر شکل زیاد المان ها و از دست دادن شکل اولیه خود، دقت روش روش المان محدود پایین می باشد.

۴- در شبیه سازی رشد ترک با مسیرهای پیچیده و دلخواه که بر روی فصل مشترک المان ها منطبق نباشد روش المان محدود از دقت پایینی برخوردار است.

۵- در شبیه سازی شکست مواد با گسیختگی زیاد با توجه به اینکه روش المان محدود بر اساس المان بندی بوده و المان ها در آن نمی توانندشکسته شوند (المانها یا به صورت کامل باید حذف شوند و یا به صورت کامل باقی بمانند) باعث عدم دقت در ارائه مسیر شکست مواد می شود.

ریشه تمامی مشکلات فوق به علت استفاده از المان یا مش در فرمول بندی مسائل است. از این رو ایده از بین بردن المانها در تحلیل مسائل و استفاده از روش های بدون المان برای از بین بردن این نواقص ظهور کرد.

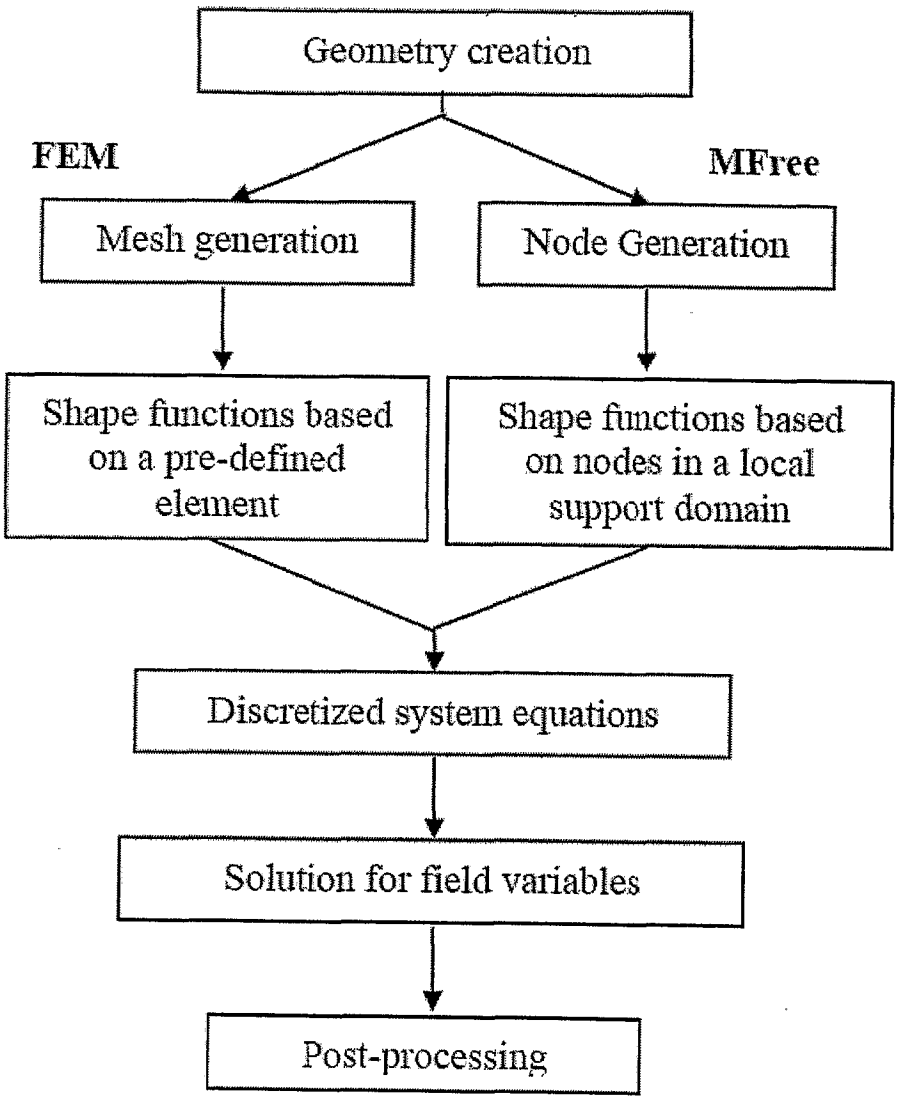
۱-۴- روند تحلیل مسائل در روش های بدون المان

در شکل۱-۱ فرآیند تحلیل مسائل توسط دو روش روش المان محدود و روش های بدون المان نمایش داده شده است. همانگونه که در شکل مشاهده می شود این دو روش در مرحله تولید مش از هم جدا شده و همچنین نحوه تشکیل تابع شکل[1] در آنها متفاوت است. از طرفی دیگر دو روش در تشکیل معادلات گسسته نهایی از روند مشابهی پیروی می کنند، بنابراین تکنیک های زیادی که برای روش المان محدود تا کنون بدست آمده اند می توانند در روش های بدون المان نیز مورد استفاده قرار گیرند. در جدول ۱-۱ مقایسه بین روش المان محدود و روش های بدون المان را مشاهده می نمایید.

۱-۵- انواع روش های بدون المان

امروزه انواع مختلفی از روش های بدون المان بر اساس نحوه فرمول بندی، روش درونیابی یا تقریب و یا نوع دامنه ابداع شده است که در جدول ۱-۲ این تقسیم بندی و نمونه ای از روش های موجود بر اساس این تقسیم بندی را مشاهده می نمایید.

1- Shape function



شکل ۱-۱: فرآیند تحلیل مسائل توسط دو روش روش المان محدود و روش های بدون المان [1]

جدول ۱-۱: مقایسه بین روش المان محدود و روش های بدون المان [1]

Items	FEM	MFree method
Mesh	Yes	No
Shape function creation	Based on pre-defined elements	Based on local support domains
Discretized system stiffness matrix	Banded, symmetric	Banded, may or may not be symmetric depending on the method used.
Imposition of essential boundary condition	Easy and standard	Special treatments may be required, depending on the method used
Computation speed	Fast	Slower compared to the FEM depending on the method used.
Accuracy	Accurate compared to FDM	More accurate than FEM
adaptive analysis	Difficult for 3D cases	Easier
Stage of development	Well developed	Infant, with many challenging problems
Commercial software packages availability	Many	Few

جدول ۱-۲: تقسیم بندی روش های بدون المان [1]

Classification	Categories	Example MFree methods†
Based on formulation procedure	MFree methods based on strong-forms of governing equations	MFree collocation methods, FPM etc.
	MFree methods based on weak-forms of governing equations	EFG, RPIM, MLPG, LRPIM , etc.
	MFree methods based on the combination of weak-form and strong-form	MWS. etc.
Based on interpolation /approximation method	MFree methods using MLS	EFG, MLPG, etc.
	MFree methods using integral representation method for function approximations	SPH. etc.
	MFree methods using PIM	RPIM, LRPIM, etc.
	MFree methods using other meshfree interpolation schemes.	PUFEM, *hp*-cloud, etc.
Based on domain representation	Domain-type MFree methods	SPH, EFG, RPIM, MLPG, LRPIM, etc.
	Boundary-type MFree methods	BNM, LBIE, BPIM, BRPIM, HBRPIM, etc.

از میان روش های فوق روش MLPG از جذابیت ویژه ای برخوردار است. به این علت که این روش یک روش واقعا بدون المان بوده و نیاز به هیچ گونه مش یا المان برای تحلیل و حتی انتگرال گیری ندارد بر خلاف روش های بدون المان دیگر از قبیل EFG [2] که نیازمند مش پس زمینه برای انتگرال گیری می باشند. از طرف دیگر این روش مبتنی بر دامنه های محلی می باشد و برای بر قراری معادله تعادل برای هر زیر دامنه، نیاز به انتگرال گیری در کل دامنه مسئله مورد نظر نمی باشد و با انتگرال گیری در هر زیر دامنه معادله تعادل ارضا می شود. با توجه به گزارش مراجع [11,12,13] روش MLPG دقت بالاتری را با صرف زمان CPU کمتر در مقایسه با روش های بر پایه المان می دهد. در فصل دوم مروری بر کارهای انجام شده توسط روش MLPG، تاریخچه این روش و همچنین نحوه فرمول بندی مسائل توسط این روش شرح داده می شود.

فصل دوم

روش

Meshless Local Petrov-Galerkin (MLPG)