بسم الله الرحمن الرحیم

کلیه امتیازهای این پایان‌نامه به دانشگاه بوعلی سینا تعلق دارد. در صورت استفاده از تمام یا بخشی از مطالب این پایان‌نامه در مجلات، کنفرانس‌ها و یا سخنرانی‌ها، باید نام دانشگاه بوعلی سینا یا استاد راهنمای پایان‌نامه و نام دانشجو با ذکر مأخذ و ضمن کسب مجوز کتبی از دفتر تحصیلات تکمیلی دانشگاه ثبت شود. در غیر این صورت مورد پیگرد قانونی قرار خواهد گرفت. درج آدرس‌های ذیل در کلیه مقالات خارجی و داخلی مستخرج از تمام یا بخشی از مطالب این پایان‌نامه در مجلات، کنفرانس‌ها و یا سخنرانی‌ها الزامی می‌باشد.

مقالات خارجی

.....,Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

مقالات داخلی

.....، گروه .....، دانشکده .....، دانشگاه بوعلی سینا، همدان.

دانشکده مهندسی
گروه مهندسی مکانیک

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی مکانیک گرایش تبدیل انرژی

عنوان:

تحلیل هیدرودینامیکی شناور کاتاماران به روش جریان پتانسیل خطی شده

استاد راهنما:

دکتر محسن گودرزی

نگارش:

حامد دهقانی سلطانی

۱۶ اسفند ۱۳۹۰

تقدیر و تشکر:

خدمت استاد راهنمای بزرگوارم جناب آقای دکتر محسن گودرزی، شما که روشنایی بخش تاریکی جان هستی و ظلمت اندیشه را نور می بخشی. چگونه سپاس گویم مهربانی و لطف تو را که سرشار از عشق و یقین است. چگونه سپاس گویم تأثیر علم آموزی تو را که چراغ روشن هدایت را بر کلبه ی محقر وجودم فروزان ساخته است. آری در مقابل این همه عظمت و شکوه تو مرا نه توان سپاس است و نه کلام وصف. تشکر نمایم. بی شک، افتخار شاگردی ایشان بزرگترین سرمایه دوران تحصیل من می‌باشد. به پاس زحمات بیدریغشان، درود و امید که پروردگار، همواره ایامشان را به عزت قرین و به توفیق توأم فرماید.

تشکر و قدردانی از زحمات دوستان بسیار عزیزم آقایان مهندس پویا ژولیده ،نیما رحیم زاده و خانم مهندس لیلا شامخی و کلیه دوستان و سروران عزیزم که در مراحل دوران تحصیل و حتی پس از دفاع از این پایان‌نامه از کمک‌های آنها استفاده نموده‌ام را بر خود واجب می‌دانم. در پایان، سپاس از همه دوستانی که سخاوتمندانه علمشان روح و روان و وقتشان را در اختیار من قرار دادند و به نوعی متقبل زحمتی شدند و از قلم افتادند اما همواره در دل خواهند ماند.

دانشگاه بوعلی سینا

مشخصات رساله/پایان نامه تحصیلی

عنوان:

تحلیل هیدرودینامیکی شناور کاتاماران به روش جریان پتانسیل خطی شده

نام نویسنده:حامد دهقانی سلطانی

نام استادراهنما:دکتر محسن گودرزی

نام استاد مشاور:-

دانشکده: مهندسی	**گروه آموزشی: مکانیک**	
رشته تحصیلی: مکانیک	**گرایش تحصیلی: تبدیل انرژی**	**مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد**
تاریخ تصویب:۱۳۸۹/۰۸/۰۳	**تاریخ دفاع:۱۳۹۰/۱۲/۱۶**	**تعداد صفحات:۹۴**

چکیده:

در این تحقیق از یک روش المان مرزی بر اساس تئوری جریان پتانسیل خطی برای حل میدان جریان با سطح آزاد در اطراف بدنه شناور کاتاماران که با سرعت ثابت در آب‌های ساکن در حال حرکت می‌باشد، استفاده می‌شود. اثرات سرعت و فاصله‌ی بین دو بدنه کاتاماران روی تداخل امواج و مشخصه‌های هیدرودینامیکی آنالیز شده است و برای اعتبارسنجی برنامه کامپیوتری، پروفیل موج و مقاومت موج‌سازی با نتایج عددی دیگران مقایسه شده است. نتایج عددی این پایان نامه می‌تواند به طور مستقیم در طراحی شکل بدنه شناور کاتاماران به منظور کاهش مقاومت شناور و افزایش کارآیی آن استفاده شود.نتایج عددی نشان می-دهند که پروفیل موج در سطح داخلی بدنه شناور کاتاماران، بزرگ‌تر از سطح بیرونی بدنه می‌باشد. این تفاوت به طور کلی ناشی از اثرات تداخل امواج در بین دو نیم بدنه شناور کاتاماران می‌باشد. نکته قابل توجه در مقایسه پروفیل‌های موج در سطح داخلی بدنه این است که با افزایش سرعت جریان اندازه‌ی اولین برآمدگی سطح آب روی سطح داخلی بدنه کاتاماران کاهش می‌یابد. اما با افزایش سرعت فاصله‌ی بین اولین برآمدگی و فرورفتگی افزایش می‌یابد. همچنین می‌توان نتیجه گرفت که در سرعت‌های بالا، اثر تداخل بین دو نیم بدنه شناور کاتاماران برای نسبت فاصله بین دو بدنه $S/L \geq 0/4$ و بالاترکم می‌شود و در نتیجه در این حالت، اثر تداخل امواج تاثیر کمتری دارد. هنگامی که فاصله‌ی بین دو نیم بدنه ثابت اما سرعت شناور کاتاماران افزایش می‌یابد جریان در اطراف شناور در محدوده‌ی کوچک‌تر اتفاق می‌افتد اما تغییرات بیشتری دارد. هنگامی که سرعت شناور کاتاماران ثابت اما فاصله-ی بین دو نیم بدنه افزایش می‌یابد، با افزایش فاصله بین دو نیم بدنه، تداخل امواج در بین دو نیم بدنه شناور کاتاماران کاهش می-یابد.

واژه‌های کلیدی: تحلیل هیدرودینامیکی؛ کاتاماران؛تئوری خطی؛ جریان پتانسیل.

فهرست مطالب

۱- فصل اول مقدمه و بررسی منابع ۱

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- تاریخچه روش المان مرزی ۳

۱-۲-۱- نقاط ضعف و قوت روش المان مرزی ۴

۱-۳- تئوری پتانسیل ۷

۱-۳-۱- تاریخچه روش جریان پتانسیل ۷

۱-۴- تاریخچه و چگونگی پیدایش روشهای حل مربوط به مسائل دریا و کشتی ۹

۱-۵- برخی از کارهای مرتبط انجام شده ۱۵

۲- فصل دوم انواع شناورهای دریایی ۱۸

۲-۱- مقدمه ۱۹

۲-۲- تقسیم بندی شناورها بر اساس شکل بدنه ۱۹

۲-۲-۱- شناورهای تک بدنه ای ۲۰

۲-۲-۲- شناورهای چند بدنه ای ۲۰

۲-۳- ویژگی‌های کاتاماران ۲۷

۲-۴- تقسیم‌بندی کاتاماران‌ها از نظر شکل هندسی ۲۸

۲-۵- انواع دماغه و پاشنه‌ی شناور و رابطه‌ی آن با نوع سامانه‌ی رانش ۳۰

۲-۶- فرم‌های بدنه کاتاماران و مشخصه‌های آنها ۳۱

۲-۶-۱- مقایسه بدنه گرد و تیز در کاتاماران‌ها ۳۲

۳- فصل سوم تعریف مسئله و فرمول‌بندی ریاضی آن ۳۴

۳-۱- مقدمه ۳۵

۳-۲- تعریف مسئله ۳۶

۳-۲-۱- تداخل جریان بین نیم بدنه‌ها ۳۶

۳-۲-۲- نیروهای مقاوم وارد بر شناور ۳۹

۳-۳- اهمیت فرم بدنه و چگونگی طراحی هندسه‌ی بدنه کاتاماران ۴۰

۳-۳-۱- فرمول هندسه‌ی بدنه ۴۱
۳-۴- مدل ریاضی مسئله ۴۳
۳-۵- تئوری جریان پتانسیل بر اساس روش المان مرزی ۴۴
۳-۴-۱- شرایط مرزی روی بدنه ۵۱
۳-۴-۲- شرط سطح آزاد ۵۱
۳-۴-۳- شرط کوتا ۵۲
۳-۴-۴- شرط تابش ۵۳

۴- فصل چهارم چگونگی حل عددی مسئله ۵۴
۴-۱- مقدمه ۵۵
۴-۲- پنل بندی مرزهای میدان جریان ۵۶
۴-۳- بیان روش عددی مسئله ۵۸
۴-۴ بدست آوردن ضرائب نفوذ ۶۰
۴-۵- اعمال شرط فشار کوتا ۶۳
۴-۶- پرفیل موج و پایداری ۶۵
۴-۷- الگوریتم حل عددی ۶۶

۵- فصل پنجم نتایج عددی ۶۸
۵-۱- مقدمه ۶۹
۵-۲- معتبرسازی نتایج حل عددی مسئله ۷۰
۵-۳- مقایسه پروفیل موج در داخل و خارج بدنه شناور کاتاماران ۷۴
۵-۴- تاثیر فاصله بین بدنه‌ها بر مقاومت موج سازی ۷۹
۵-۵- کانتورهای ارتفاع آب در سطح آزاد از نمای بالا ۸۰
۵-۶- نتیجه‌گیری ۸۷
۵-۷- پیشنهادها ۸۹

مراجع ۹۰

فهرست شکل‌ها

شکل (۲-۱). مدل‌هایی از شناور کاتاماران ۲۱
شکل (۲-۲). مدل‌هایی از شناور تریماران ۲۲
شکل (۲-۳). مدل‌هایی از شناور اسواس ۲۳
شکل (۲-۴). مدل‌هایی از شناور اسلایس ۲۴
شکل (۲-۵). مدل‌هایی از شناور کاتاماران هیدروفویلی ۲۵
شکل (۲-۶). شناور اثر سطحی ۲۶
شکل (۲-۷). مدل‌هایی از شناور اکرانوپلن ۲۷
شکل (۲-۸). نیم بدنه‌های متقارن ۲۸
شکل (۲-۹). نیم بدنه یک طرف نامتقارن ۲۹
شکل (۲-۱۰). نیم بدنه دو طرف نامتقارن ۲۹
شکل (۲-۱۱). نمایش صفحات بدنه شناور ۳۱
شکل (۲-۱۲). بدنه گردشده ۳۲
شکل (۲-۱۳). بدنه تیز ۳۲
شکل (۳-۱). بدنه کشتی با بالبوس ۳۸
شکل (۳-۲). نماهای مختلف بدنه کاتاماران ۴۲
شکل (۳-۳). شکل تک بدنه استاندارد ۴۲
شکل (۳-۴). تعریف مختصات ۴۳
شکل (۳-۵). تعریف میدان حجم و سطح ۴۶
شکل (۳-۶). مختصات کروی ۴۷
شکل (۳-۷). ناحیه همبند و صفحه برش منطبق بر سطح آزاد ۴۹
شکل (۳-۸). بدنه شناور کاتاماران در میدان مرزی ۵۰
شکل (۴-۱). چگونگی پنل‌بندی در سطح آزاد ۵۶
شکل (۴-۲). نقاط مورد نیاز در سطح بدنه و دنباله کاتاماران ۵۷
شکل (۴-۳). نقاط مورد نیاز در سطح بدنه، سطح آزاد و دنباله کاتاماران ۵۷
شکل (۴-۴). مختصات محاسباتی ۶۱
شکل (۴-۵). الگوریتم حل عددی ۶۷
شکل (۵-۱). پروفیل موج در سطح خارجی بدنه کاتاماران در Fn=۰/۲۶۷ ..... ۷۰
شکل (۵-۲). پروفیل موج در سطح داخلی بدنه کاتاماران در Fn=۰/۲۶۷ ..... ۷۱
شکل (۵-۳). پروفیل موج در سطح خارجی بدنه کاتاماران در Fn=۰/۳۱۶ ..... ۷۱
شکل (۵-۴). پروفیل موج در سطح داخلی بدنه کاتاماران در Fn=۰/۳۱۶ ..... ۷۲
شکل (۵-۵). مقاومت موج‌سازی بر حسب عدد فرود در فاصله‌ی بین بدنه‌ها S/L=۰/۲ ..... ۷۳
شکل (۵-۶). مقاومت موج‌سازی بر حسب عدد فرود در فاصله‌یبین بدنه‌ها S/L=۰/۴ ..... ۷۳
شکل (۵-۷). پروفیل موج ایجاد شده در سطح داخلی و خارجی بدنه در Fn=۰/۲۶۷ و S/L=۰/۲ ..... ۷۵
شکل (۵-۸). پروفیل موج ایجاد شده در سطح داخلی و خارجی بدنه در Fn=۰/۳۱۶ و S/L=۰/۲ ..... ۷۵
شکل (۵-۹). پروفیل موج ایجاد شده در سطح داخلی و خارجی بدنه در Fn=۰/۳۵۰ و S/L=۰/۲ ..... ۷۶
شکل (۵-۱۰). پروفیل موج ایجاد شده در سطح داخلی و خارجی بدنه در Fn=۰/۴۰۰ و S/L=۰/۲ ..... ۷۶
شکل (۵-۱۱). پروفیل موج درسطح داخلی بدنه کاتاماران در عدد فرود متفاوت ۷۷
شکل (۵-۱۲). پروفیل موج در سطح خارجی بدنه کاتاماران در عدد فرود متفاوت ۷۸
شکل (۵-۱۳). مقاومت موج‌سازی در حالتهایی با نسبت جدایش متفاوت ۸۰
شکل (۵-۱۴). کانتور ارتفاع آب در سطح آزاد در حالت نسبت جدایش S/L=۰/۲ و Fn=۰/۵ ..... ۸۱

شکل (۵-۱۵). کانتور ارتفاع آب در سطح آزاد در حالت نسبت جدایش S/L=۰/۲ و Fn=۰/۶..... ۸۲
شکل (۵-۱۶). کانتور ارتفاع آب در سطح آزاد در حالت نسبت جدایش S/L=۰/۲ و Fn=۰/۷..... ۸۲
شکل (۵-۱۷). کانتور ارتفاع آب در سطح آزاد در حالت نسبت جدایش S/L=۰/۴ و Fn=۰/۵ ..... ۸۳
شکل (۵-۱۸). کانتور ارتفاع آب در سطح آزاد در حالت نسبت جدایش S/L=۰/۴ و Fn=۰/۶..... ۸۴
شکل (۵-۱۹). کانتور ارتفاع آب در سطح آزاد در حالت نسبت جدایش S/L=۰/۴ و Fn=۰/۷ ..... ۸۴
شکل (۵-۲۰). کانتور ارتفاع آب در سطح آزاد در حالت نسبت جدایش S/L=۰/۲ و Fn=۰/۵ ..... ۸۵
شکل (۵-۲۱). کانتور ارتفاع آب در سطح آزاد در حالت نسبت جدایش S/L=۰/۴ و Fn=۰/۵ ..... ۸۶
شکل (۵-۲۲). کانتور ارتفاع آب در سطح آزاد در حالت نسبت جدایش S/L=۰/۶ و Fn=۰/۵..... ۸۶

فهرست علائم انگلیسی

a_1	بردار نرمال روی پنل‌ها
a_2	بردار نرمال روی پنل‌ها و عمود بر a_1
B	عرض شناور
C_W	ضریب موج‌سازی
C_P^+	ضریب فشار در بالای پنل
C_P^-	ضریب فشار در زیر پنل
F_n	عدد فرود
G	تابع گرین
g	شتاب گرانش زمین
$I_{HD}, I_{HS}, I_{FS}, I_{WD}$	ضرایب تاثیر (نفوذ)
$I_{HDx}, I_{HSx}, I_{FSx}, I_{WDx}$	مشتق اول ضرایب تاثیر (نفوذ) در راستای محور x
$I_{HDxx}, I_{HSxx}, I_{FSxx}, I_{WDxx}$	مشتق دوم ضرایب تاثیر (نفوذ) در راستای محور x
J	ماتریس ژاکوبین
K_0	عدد موج
L	طول شناور
N_H	شمارنده المان‌ها روی بدنه
N_F	شمارنده المان‌ها روی سطح آزاد
N_W	شمارنده المان‌ها روی سطح دنباله
n_x	بردار نرمال در راستای محور x
n_y	بردار نرمال در راستای محور y
n_z	بردار نرمال در راستای محور z
n	بردار نرمال روی پنل‌ها

$P(x,y,z)$	نقاط میدان
P^+	مقدار فشار در بالای پنل
P^-	مقدار فشار در زیر پنل
$q(\zeta,\eta,\varsigma)$	نقاط تکین
q_i	بردارهای نقاط چهار گوشه پنل‌ها
q_0, q_a, q_b, q_c	بردارهای موقعیت پنل‌ها
R	فاصله‌ی بین نقاط میدان و نقاط تکین
S	فاصله بین دو نیم بدنه شناور کاتاماران
S_H	سطح بدنه
S_F	سطح آزاد
S_W	سطح دنباله
S_∞	سطح کنترل
S/L	نسبت فاصله بین دو بدنه به طول شناور (نسبت جدایش)
T	ارتفاع شناور
U	سرعت شناور
V	ناحیه کل میدان شامل، سطح بدنه، آزاد، دنباله و کنترل
x	مختصات در راستای محور x
y	مختصات در راستای محور y
z	مختصات در راستای محور z

فهرست علائم یونانی

ΔC_p	اختلاف ضریب فشار در بالا و پایین پنل
ΔP	اختلاف فشار در بالا و پایین پنل
$\Delta\phi$	اختلاف پتانسیل سرعت ناشی از آشفتگی جریان به دلیل وجود نیم بدنه‌ها

δ	تابع دلتای دیراگ
γ	اختلاف پتانسیل کل در بالا و پایین پنل‌ها
ε	پارامتر اختلالی
ζ	ارتفاع موج
ζ_x	مشتق ارتفاع موج در راستای محور x
ζ_y	مشتق ارتفاع موج در راستای محور y
ζ_z	مشتق ارتفاع موج در راستای محور z
σ	سرعت نرمال در پنل‌های سطح آزاد
Φ	پتانسیل سرعت کل
Φ_1	پتانسیل سرعت کل مرتبه اول (خطی)
Φ_x	مشتق پتانسیل سرعت کل در راستای محور x
Φ_y	مشتق پتانسیل سرعت کل در راستای محور y
Φ_z	مشتق پتانسیل سرعت کل در راستای محور z
ϕ	پتانسیل سرعت ناشی از آشفتگی جریان به دلیل وجود نیم بدنه‌ها
ϕ_1	پتانسیل سرعت مرتبه اول ناشی از آشفتگی جریان به دلیل وجود نیم بدنه‌ها
ϕ^+	پتانسیل سرعت ناشی از آشفتگی جریان به دلیل وجود نیم بدنه‌ها در بالای پنل
ϕ^-	پتانسیل سرعت ناشی از آشفتگی جریان به دلیل وجود نیم بدنه‌ها در پایین پنل
ϕ_{1xx}	مشتق دوم پتانسیل سرعت مرتبه اول ناشی از آشفتگی جریان به دلیل وجود نیم بدنه‌ها
ϕ_{1z}	مشتق اول پتانسیل سرعت ناشی از آشفتگی جریان به دلیل وجود نیم بدنه‌ها در راستای محور z

فصل اول

مقدمه و بررسی منابع

۱-۱- مقدمه

بیشتر کشورهای پیشرفته تمام تلاش خود را به کار گرفته‌اند تا به تکنولوژی ساخت شناورهای دریایی با سرعت بالا دست یابند. برای دست‌یابی به ساخت اینگونهشناورهای دریایی نیاز به پارامترهای گوناگونی است.مهمترین پارامتر در طراحی این شناورها شکل بدنه‌ی مناسب می‌باشد، تا با مصرف سوخت کمتر، سرعت و تعادل شناور بهبود یابدو در میدان رزم و ماموریت‌های نظامی در دریا از آنها حداکثر استفاده را ببرند. یکی از این شناورها، شناور کاتاماران می‌باشد، که دارای این ویژگی‌ها است. در این تحقیق از یک روش المان مرزی بر اساس تئوری جریان پتانسیل برای تحلیل هیدرودینامیکی شناورکاتاماران استفاده شده است.آنالیز پروفیل موج در سرعت‌های مختلف، مقاومت وارد بر شناور، و همچنین فاصله بین دو نیم بدنه شناور بررسی شده است. تمام مراحل حل عددی این مسئله با استفاده از نرم افزار متلب کد نویسی شده است.

این پایان نامه شامل پنج فصل می‌باشد. در فصل اول ابتدا مقدمه‌ای بر روش‌های المان مرزی و تاریخچه آن بیان می‌شود، سپس نقاط ضعف و قوت و همچنین برخی از ویژگی‌های این روش در مقایسه با روش اجزا محدود و تفاضل محدود بیان می‌شود. در ادامه فصل بهتاریخچه تئوری پتانسیل و همچنینتاریخچه و کاربردهای حل جریان پتانسیل و روش‌های دیگر در حل مسائل مربوط به دریا و کشتی پرداخته می‌شود.

فصل دوم شامل معرفی انواع شناورهای دریایی می‌باشد. در این فصل ویژگی‌های شناورهای مدرن و به ویژه شناور کاتاماران بیانمی‌شود. فصل سوم، شامل تعریف مسئله و فرمول‌بندی ریاضی آن می‌باشد. در این فصل فرمول‌های حاکم بر مسئله، و شرایط مرزی حاکم بر آن بیان می‌شود. در فصل چهارفرآیند حل عددی مسئله برای بدست آوردن پتانسیل سرعت، آنالیز مقاومت موج، شکل موج و دیگر پارامترها بیان می‌شود. در نهایت نتایج کار حاضر و پیشنهادهایی برای تحقیق‌های آتی در فصل پنجم ارائه می‌شود.

۱-۲- تاریخچه روش المان مرزی

روش المان مرزی که بر اساس یک فرمول انتگرالی می‌باشد، در طی سال‌های اخیر به عنوان یک ابزار محاسباتی قوی پدیدار شده است. در این روش معمولاً فقط به گسسته‌سازی سطح جسم نیاز می‌باشد و به گسسته‌سازی هر دو ناحیه‌ی داخل و سطح جسم نیاز نیست. در حقیقت روش المان مرزیدر بیشتر مسائل، خیلی کارآمدتر از روش تفاضل محدود می‌باشد. البته در برخی از مسائل دیگر روش المان مرزی ممکن است بدتر از روش المان محدود باشد. ترکیب این دو روش معمولاً طرح عددی بهینه‌ای را می‌سازد. روش المان مرزی در مسائل متنوع مهندسی مانند تئوری پتانسیل، مکانیک سیالات، الاستواستاتیک،الاستودینامیک،الاستوپلاستیک، ویسکوالاستیسیته، ویسکوپلاستیسیته، تحلیل شکست، هدایت حرارتی و... کاربرد دارد.

امروزهروش‌های عددی زیادی شناخته شده و در مسائل مختلفی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. روش تفاضل محدود و روش المان محدود هر دو از نوع تفاضلی می‌باشند. روش تفاضل محدود معادلات دیفرانسیل را از طریق تقریب مشتق‌ها به وسیله‌ی تفاضلات محدود در داخل یک ناحیه ای از گره ها جایگزین می‌کند. اماروش المان محدود ناحیه را بوسیله‌ی یک دستگاه از زیر ناحیه‌های محدود یا المان-های محدود که از طریق گره‌ها به هم متصل می شوند، جایگزین می‌کند و یک حل تقریبی ارائه می دهد.

روش المان محدودنقاط قوت بیشتری نسبت به روش تفاضل محدود دارد که انطباق بهتر بر هندسه، اعمال راحت‌تر شرایط مرزی و ساخت مش‌های متغیر آسان‌تر برخی از این ویژگی‌ها می‌باشد [۱].

روش المان مرزی در طول تاریخ همانند یک روش معادله انتگرالی بررسی شده است. ابتدا در سال ۱۹۰۳ فردهولم[۱]کار پیچیده‌ای را روی معادلات انتگرالی انجام داد و بعداً منجر به تئوری پتانسیل شد. در سال ۱۹۲۹ کارهای کلاسیکی از کلوگ[۲] بر روی تئوری پتانسیل و همچنین در سال ۱۹۵۳ از موشلیش‌ولیس[۳] و در سال ۱۹۶۵از کاپرادز[۴]در زمینه الاستواستاتیک،روی شیوه‌های روش حل معادله انتگرالی منتشر شد. در سال ۱۹۶۶گاخوو[۵]و همچنین در سال ۱۹۷۶ایوانوو[۶]کارهای جالب توجه‌ای منتشر کردندکه اطلاعات زیادی درباره ی ویژگی‌ها و حل تقریبی معادلات انتگرالی ارائه می‌داد.

در طول دهه ۱۹۶۰ روش‌های معادله انتگرالی، ابزارهای محاسباتی مفیدیرا به دلیل گسترش و پیشرفت کامپیوتر مهیا ساختند. عبارت روش المان مرزی ابتدا در سال ۱۹۷۷ توسط بانرجس[۷]بیان شد که مسئله خود را با استفاده از گسسته‌سازی سطح حل کرد و بعد از آن سیر تکاملی روش المان مرزی توسط محققان دیگر انجام شد[۱].

۱-۲-۱- نقاط ضعف و قوت روش المان مرزی

در اینجا برخی از نقاط قوت و ضعف روش المان مرزی در مقایسه باروش المان محدودبیان می‌شود.روش المان مرزی یک روش عددی است که کاربردهای زیادی در حل مسائل مهندسی مکانیک دارد. این روش از یک پایه ریاضی ثابت و محکم برخوردار است.در نتیجه یک ابزار محاسباتی موثر و کارآمد به حساب

[۱] Fredholm
[۲] Kellogg
[۳] Muskhelishvlis
[۴] Kapradze
[۵] Gakhov
[۶] Ivanov
[۷] Banerjce

می‌آید که در مسائل خطی و غیر خطی قابل اجرا می‌باشد. برخی از نقاط قوت روش المان مرزی نسبت به روش المان محدود عبارتند از:

۱- این روش فقط به گسسته‌سازی مرز میدان نیاز دارد. یکی از ویژگی‌های این روش کاهش ابعاد فضایی مسئله و بررسی آسان مش‌ها می‌باشد که منجر به یک سیستم معادلات جبری خیلی کوچک‌تر نسبت به روش المان محدود می‌شود.

۲- در حقیقت تقریب‌های مورد بحث در این روش به سطح ناحیهمیدان محدود می‌شوند در نتیجه ترکیب ماتریس‌ها شامل درایه‌هاییروی قطر اصلی یا نزدیک به آن است که ناشی از ماهیت منحصربفرد در بکارگیری تابع گرین می‌باشد و دلیلی برای محاسبه نتایج با دقت بیشتر نسبت به روش االمان محدود است. همچنین در این روشمی‌توان برای افزایش دقت در انتگرال‌گیری عددیاز المان‌های مصنوعی استفاده کرد.

۳- به کار گرفتن تابع گرین رفتار ساده‌ای از ناحیه‌های بی‌کران و نیمه بی‌کران بدون گسسته‌سازهای مصنوعی ارائه می‌دهد.

۴- روش المان مرزی برای محاسبه مقادیر مجهول در ناحیه درونی جسم نیز توانا می‌باشد، به طوریکه مشکلات پیوستگی میان المان‌ها همانند روش المان محدود بوجود نمی‌آید. به علاوه محاسبات فقط در نقاط مورد نظر انجاممی‌شود و همه نقاط مش را درگیر نمی‌کند.

۵- روش المان مرزی می‌تواند برای ساخت ماتریس‌های سختی در المان‌های همگن و خیلی بزرگ استفاده شود.

نقاط قوتروش المان مرزی نسبت به روش المان محدود که در بالا ذکر شد، به طور کلی در مسائل خطی با ناحیه ۳بعدی (بی‌کران یا نیمه بی‌کران)، ناحیه همگن و ایزوتروپ معتبر می‌باشد [۱].

همانند هر روش تقریبی دیگر روش المان مرزی نیز دارای نقاط ضعفی می‌باشد که در زیر به آنها اشاره شده است:

۱- در این روش بعضاً ماتریس‌های نامتقارن و کاملاً پر با هم ترکیب می‌شوند ولی در روش المان محدود ماتریس‌های پراکنده و متقارن با هم ترکیب می‌شوند در نتیجه محاسبات کمتری برای معکوس کردن آنها نیاز است.

۲- در برخی از مسائل مانند ترکیب مسائل غیرهمگن و غیرایزوتروپ، ارائه حل از طریق این روش خیلی مشکل است البته حل‌های تقریبی با یک تقریب تکراری می‌تواند بکار گرفته شود که منجر به محاسبات خیلی طولانی می‌شود. روش المان محدود انتخاب بهتری برای اینگونه مسائل می‌باشد.

۳- روش المان مرزی در مقایسه با روش المان محدود برای مسائل با هندسه‌های یک و دو بعدی مانند تحلیل پوسته و ورق‌ها که باریک و کم پهنا هستند و همچنین در مسائل یک بعدی مانند تحلیل تیرها و چهارچوب‌ها غیر کارآمدتر می‌باشد.

۴- وجود نیروهای توزیع شده‌ی معلوم روی جسم در مسائل خطی یا نیروهای موجود در مسائل غیرخطی، انتگرال‌های دشواری را ایجاد می‌کند که نیازمند گسسته‌سازی درون میدان می‌باشد. با این وجود، این گسسته‌سازی داخلی خیلی ساده‌تر از روش المان محدود می‌باشد و می‌تواند به یک بخش کوچکی از میدان محدود شود. در نتیجه مرتبه‌ی نهایی معادلات جبری خیلی افزایش نمی‌یابد.

۵- نوشتن برنامه‌های کامپیوتری در روش المان مرزی دشوارتر از روش المان محدود می‌باشد[۱].

۱-۳- تئوری پتانسیل

اکنون به کاربرد روش المان مرزی در مسائل جریان پتانسیل که معادله لاپلاس بر آنها حاکم است می‌پردازیم. این روش در مسائل پتانسیلی همانند جریان پتانسیل سیال، جریان گرما،جریان مغناطیسی و الکتریکی، مسائل پیچش شفت‌ها و ...، خیلی توانا می‌باشد.

در واقع به دلیل اینکه در این روش معادلات حاکم بر مسائل خیلی ساده بیان می‌شوند، می‌توان برای حل این‌گونه مسائل آنها را به کار برد. روش المان مرزی که در مسائل پتانسیل بکار گرفته می‌شود به طور اساسی شامل فرمول‌بندی مسئله به صورت جملاتی از یک معادله‌ی انتگرالی می‌باشد که با اعمال مقادیر مرزی حل آنها را به صورت عددی بیان می‌کند. برای بدست آوردن مقادیر ناحیه‌ی داخل مرز می‌توان از مقادیر مرزی استفاده کرد. بنابراین اندازه یا ابعاد مسئله کاهش می‌یابد و دستگاه معادلاتی که از گسسته-سازی فرمول انتگرال مرزی حاصل می‌شود کوچک‌تر از روش المان محدود و روش تفاضل محدود می-باشد. به طور کلی دو نوع روش المان مرزی،غیر مستقیم و مستقیم وجود دارد. در روش غیر مستقیم همانند روش چشمه، فرمول انتگرال مرزی به ترم‌هایی از چشمه های ساختگی تبدیل می‌شود که بعد از محاسبه‌ی آنها به کمیت‌های فیزیکی مورد نیاز منجر می‌شود. در روش مستقیم فرمول انتگرال مرزی با کمیت‌های مانند پتانسیل‌ها، سرعت‌ها و شاره‌ها سر و کار دارد که دارای یک مفهوم فیزیکی می‌باشند و به صورت مستقیم محاسبه می‌شوند [۱].

۱-۳-۱- تاریخچه روش جریان پتانسیل

ابتدا در سال ۱۹۰۳ فردهولم از معادلات انتگرالی برای حل جریان پتانسیل در مسئله خودبر اساس روش گسسته‌سازی استفاده کرد. اما متاسفانه روش وی قادر نبود گسسته‌سازی را به طور دقیقی انجام دهد و منجر به حل‌های تحلیلی مبهم و پیچیده‌ای می‌شد. به همین دلیل استفاده از معادلات انتگرالی برای سال‌های زیادی در برخی از مسائل در مضیقه قرار گرفت.

در سال ۱۹۱۷ترفتز[۱]اولین کاربرد از روش المان مرزی مستقیم برای حل عددی در مسائل پتانسیل را ارائه داد.وی مسئله مکانیک سیالات در جت تقارن محوری را با یک متد تکراری بکار برد وتوانست معادله-ی انتگرالی خود را حل کند. در سال ۱۹۲۸ پراگر[۲]از یک فرمول‌بندی بر اساسروش المان مرزی استفاده کرد که قادر بود به طور عددی جریان پتانسیل رادر اطراف یک سیلندر بیضوی با تقسیم کردن آن به المان‌های کوچک محاسبه کند. در سال ۱۹۳۱ لوتز[۳] یک نوع روش المان مرزی مستقیم را برای مطالعه‌ی جریان پتانسیل در اطراف جسم‌های تقارن محوریتوسعه داد که روش چشمه-سطح نام دارد. در سال ۱۹۵۱ واندری[۴] این روش را در جسم‌های مختلفی بکار گرفت.

در طی سال‌های ۱۹۵۰ روش‌های انتگرال مرزی پیشرفت‌های خوبی داشت اما این روش از محبوبیت محدودی برخوردار شد، زیرا محاسبات مبهم و پیچیده‌ای به وجود می‌آورد که بدون استفاده از کامپیوتر حل آنها مشکل بود. توسعه کامپیوتر و گسترش آنها در طول دهه‌ی ۱۹۵۰ و بعد از آن ترقی شگرفی در این روش‌ها بوجود آورد. ابتدادر سال ۱۹۵۸اسمیس[۵] و پیئرس[۶] از کامپیوتر برای حل کردن مسائل روش المان مرزیاستفاده کردند ونتایج جالبی را از حل مسئله‌ی جریان پتانسیل در اطراف جسم تقارن محوری ارائه داند. در سال‌های بعد مارتسن توانست روش پراگر را در مسائل جریان پتانسیل دو بعدی که در توربو ماشین با آن مواجه شد، به صورت عددی و با استفاده از کامپیوتر حل کند.

اسمیس و پیئرس با همکاری هس[۷] و داون‌پورت[۸] موفق شدند روش المان مرزی مستقیم را برای حل پیچیده مسائل جریان پتانسیل سه بعدی که در صنعت هوا فضا با آن مواجه شدند، به کار ببرند و روش

[۱] Trefftz
[۲] Prager
[۳] Lotz
[۴] Vandrey
[۵] Smith
[۶] Pierce
[۷] Hess
[۸] Dawen