دانشگاه صنعتی امیرکبیر

دانشکده کشتی سازی

کارشناسی ارشد (هیدرومکانیک)

حل عددی (دو بعدی) هیدروفویل متحرک زیر سطح آزاد آب با استفاده از جریان پتانسیل

نگارش :

ابوالفضل دلخوش

استاد راهنما :

دکتر محمود غیاثی

آبان ۱۳۸۶

بسمه تعالی

تـاریخ: .....
شماره مدرک .....

فـرم اطلاعات پایان‌نـامه
کارشنـاسی ارشد و دکتـرا
کتابخـانه مرکـزی

مشخصات دانشجو	نام خانوادگی : دلخوش	نام : ابوالفضل	شماره دانشجویی: 84130009	
	دانشگاه : امیرکبیر	دانشکده : کشتی سازی وصنایع دریایی	رشته تحصیلی : کشتی سازی	
عنوان	حل عددی (دو بعدی) هیدروفویل متحرک زیر سطح آزاد آب با استفاده از جریان پتانسیل			
Title :	Potential flow compution for 2-D hydrofoil moving beneath the free surface			
استاد راهنما	نام خانوادگی : غیاثی	نام: محمود		
استاد مشاور	نام خانوادگی : -	نام : -		
دانشنامه	کارشناسی ارشد دکترا		سال تحصیلی: 1386 - 1384	
نوع پروژه	کاربردی بنیادی توسعه ای نظری			

مشخصات ظاهری	تعداد صفحات:	تصویر:	جدول:	نمودار:	نقشه:	واژه‌نامه:	تعداد مراجع:	تعداد ضمائم:
	132						49	

زبان متن	فارسی انگلیسی	چکیده	فارسی	انگلیسی
یاداشت	لوح فشرده دیسکت فلاپی			
توصیفگر				
کلید واژه فارسی	جریان پنانسیل، دوبله، چشمه، ورتکس، هیدروفویل، روش المان مرزی			
کلید واژه لاتین	Potential flow, Doublet, Source, Vortex, Hydrofoil, Boundary element method			

چکیده.

در این پروژه روش محاسباتی مشخصه های هیدرودینامیکی هیدروفویل متحرک و مغروق در زیر سطح آزاد آب ارائه گردیده است. این روش برای هر فاصله ای ما بین جسم و سطح آزاد در اعداد فرود مختلف کاربرد دارد. بر اساس تئوری گرین و انتخاب پتانسیل مناسب در محدودهٔ داخلی جسم مغروق، معادلات از نوع پتانسیل کل در سیستم مختصات مختلط محاسبه شده است. شرط کوتا با فرض خطی بودن تابع پتانسیل در لبه فرار ارضاء گردیده است. فشار روی سطح آزاد ثابت و شرایط مرزی روی سطح آزاد به صورت خطی در نظر گرفته شده است و از روش تصویرکردن برای ارضاء نمودن آن استفاده شده است. تعیین پتانسیل کل روی بدنه جسم بر اساس قرارگیری دوبله با قدرت ثابت در طول هر المان انجام پذیرفته است. همچنین بر اساس تئوری گرین و انتخاب پتانسیل مناسب در محدودهٔ داخلی جسم مغروق، معادلات از نوع پتانسیل سرعت و با وجود شرایط مرزی نیومن در سیستم مختصات مختلط محاسبه شده است. در این حالت نیز شرط کوتا با فرض خطی بودن تابع پتانسیل در لبه فرار ارضاء گردیده است. مانند حالت قبل فشار روی سطح آزاد ثابت و شرایط مرزی روی سطح آزاد به صورت خطی در نظر گرفته شده است و از روش تصویرکردن برای ارضاء نمودن آن استفاده شده است. تعیین پتانسیل سرعت روی بدنه جسم بر اساس قرارگیری چشمه و ورتکس با قدرت ثابت در طول هر المان انجام پذیرفته است.
مقایسه نتایج بدست آمده برای هیدروفویل ضخیم غیر سیمتریک، سیلندر با مقطع دایره و بیضوی با نتایج تحلیلی و عددی ، بیانگر دقت بالای روش ارائه شده است.

کلید واژه : جریان پنانسیل، دوبله، چشمه، ورتکس، هیدروفویل، روش المان مرزی

Key words: Potential flow, Doublet, Source, Vortex, Hydrofoil, Boundary element method

لیست علامتها

آئرودینامیک

لیفت، دراگ، ممنتم	L, D, M
ضریب لیفت دوبعدی	C_L
ضریب دراگ دوبعدی	C_D
ضریب ممنتم دوبعدی	C_M
سرعت	V
سرعت محلی در طول محورها x, y	u, v
سرعت کل در طول محورها x, y	u', v'
ضریب توزیع فشار	C_P
طول کورد	C
سیرکولاسیون	Γ
شعاع دایره	a

ریاضی و فیزیکی

پتانسیل آشفته	φ
پتانسیل کل	Φ
حوزه سیال	V
مجموع سطح ها	S
بردار نرمال واحد	n
بردار مماس واحد	t
سطح جسم	S_B
سطح ویک	S_w
نقطه ای که در آن پتانسیل محاسبه می شود	$p(x, y, z)$
نقطه ای که در آن سینگولار قرار گرفته است	$q(x, y, z)$
فاصله میان p و q در محدودهٔ جسم واقعی	r
فاصله میان p و q در محدودهٔ تصویرجسم	r'

مشتق نرمال روی نقطه q	$\frac{\partial}{\partial n_q}$
سیستم مختصات اصلی	(X,Y)
سیستم مختصات محلی	(x^*,y^*)
طول کمان سطح	s
عدد موج	k
نقطهٔ محاسباتی برای پتانسیل در مختصات مختلط	$z=x+iy$
گره های هر المان روی سطح واقعی در مختصات مختلط	$c=x+iy$
گره های هر المان روی سطح تصویر در مختصات مختلط	$\bar{c}=x+iy$
تابع پتانسیل سرعت مختلط	W
تابع پتانسیل سرعت کل مختلط	W'

محاسباتی و عددی

ضریب نفوذ چشمه	W_{mjS}
ضریب نفوذ دوبله	H_{mj}
ضریب نفوذ ورتکس	W_{mjv}
ضریب نفوذ ویک	W_{mj}
ضریب سمت راست معادله	RHS_m
نقطهٔ محاسباتی	m
موقعیت المانی که سینگولار روی آن قرار رفته است	j
تعداد نقاط محاسباتی المانهای	N
زاویه هر المان نسبت به جهت مثبت محور x ها	λ
طول کمان روی سطح به صورت عددی	S
نسبت ارتفاع جسم تا سطح آزاد	$\frac{h}{C}$
ماتریس مجموع ضرایب	A_{mj}
تابع گرین در سیستم مختصات مختلط	F

نشانه های اختصاری

روش المان مرزی	BEM
روش المان محدود	FEM

فهرست

۱- مقدمه.....۱

۱-۱- روش المان مرزی به عنوان روش عددی استفاده شده در این پروژه....۳

۱-۲- تاریخچه فعالیتهای انجام شده.....۵

۲- فرمولبندی.....۹

۲-۱- مقدمه.....۱۰

۲-۲- تشریح مسئله.....۱۱

۲-۳- شرایط مرزی.....۱۳

۲-۳-۱- شرط مرزی سطح جسم.....۱۳

۲-۳-۲- شرط سطح آزاد.....۱۳

۲-۳-۳- دیگر شرایط مرزی.....۱۸

۲-٤- حل مسائل پتانسیل.....۲۰

۲-٤-۱- حل عمومی بر اساس تابع گرین.....۲۰

۲-٤-۲- فرمولبندی میدان پتانسیل.....۲٦

۲-٤-۳- فرمولبندی میدان سرعت.....۲۸

۲-٤-٤- روشهای دیگر برای محاسبه سرعت.....۳۰

۲-۵- حل تابع گرین.....۳۱

۳- حل عددی.....۳۳

۳-۱- حل سینگولارها با قدرت ثابت (با استفاده از شرط مرزی دریشله).....۳٤

۳-۱-۱- مقدمه.....۳٤

۳-۱-۲- الگوریتم کلی.....۳٦

۳-۱-۳- گسسته سازی فرمول تحلیلی.....۳۷

۳-۱-٤- هندسه جسم و گسسته سازی.....۳۸

۳-۱-٤-۱- درون یابی هیدروفویل.....۳۸

۳-۱-٤-۲- بررسی هندسی.....٤۳

۳-۱-٤-۳-ضرایب نفوذ.....٤۵

توزیع قدرت دوبله ثابت روی سطح هیدروفویل.....٤۵

توزیع دوبله روی سطح ویک.....٤٩
محاسبه ضرایب سمت راست معادله **(RHS)** ٥٠
٣-١-٤-٤-شرایط کوتا.....٥٠
٣-١-٤-٥-حل سیستم معادلات خطی.....٥٤
٣-١-٤-٦-روش اختلاف سرعت عددی.....٥٤
٣-٢- حل سینگولارها با قدرت ثابت (با استفاده از روش مرزی نیومن).....٦١
٣-٢-١-سمبلها در سیستم مختصات مختلط.....٦٢
٣-٢-٢-گسسته سازی.....٦٣

٤- معتبرسازی برنامه کامپیوتری.....٧٥

٤-١- روند تأیید و ارزیابی برنامه کامپیوتری ٧٦
٤-١-١- انواع اشکال آزمایش شده.....٧٧
٤-١-٢- معتبرسازی برنامه کامپیوتری با نتایج تحلیلی و عددی.....٧٩
مقایسه نتایج روش پتانسیل کل با نتایج تحلیلی و عددی.....٧٩
مقایسه نتایج روش پتانسیل سرعت با نتایج تحلیلی و عددی.....٩٢
٤-٢- محاسبه نتایج دیگر.....١٠١
٤-٢-١- نتایج برای سیلندر دایره ای شکل.....١٠٢
٤-٢-٢- نتایج برای سیلندر بیضوی شکل.....١٠٨
٤-٢-٣- نتایج برای هیدروفویل سیمتریک جاکوفسکی.....١١٢
٤-٢-٤- نتایج برای هیدروفویل نامتقارن ناکا.....١١٥
٤-٣- مقایسه زمان مصرفی برای دو روش.....١٢٢

٥- نتیجه گیری.....١٢٤

٥-١- بررسی نتایج روشهای مورد استفاده.....١٢٦
٥-١-١- روش پتانسل کل.....١٢٦
٥-١-٢- روش پتانسیل سرعت.....١٢٦
٥-٢- نتایج کلی.....١٢٧
٥-٣- پیشنهادات برای آینده.....١٢٨

فهرست شکل ها

۱-۲ هندسه و مختصات مسئله ۱۲

۲-۲ معرفی متغیرها روی جسم و تصویر آن ۲۱

۱-۳ فلوچارت کلی روش حل عددی..... ۳۶

۲-۳ فلوچارت مراحل درونیابی و گسسته سازی..... ۳۹

۳-۳ مقادیر خوانده شده از فایل ورودی..... ٤۰

٤-۳ هیدروفویل و استفاده از کثیر الجمله برای درون یابی..... ٤۱

۵-۳ روش انبساطی کسینوسی با زاویه β ٤۲

٦-۳ موقعیت قراگیری سیستم مختصات..... ٤۳

۷-۳ انتقال سیستم مختصات..... ٤٤

۸-۳ موقعیت قرارگیری المان روی سطح..... ٤٦

۹-۳ کانتور انتگرالی در سیستم مختصات مختلط k ٤۷

۱۰-۳ توزیع دوبله روی سطح ویک..... ۵۰

۱۱-۳ توزیع پتانسیل و عملکرد شرط کوتا..... ۵۲

۱۲-۳ درونیابی خطی تابع پتانسیل..... ۵۳

۱۳-۳ روش اختلاف سطح..... ۵٦

۱٤-۳ جهت نیروهای لیفت و دراگ..... ٦۰

۱۵-۳ تقریب سینگولار با قدرت ثابت برای توزیع با قدرت پیوسته..... ٦۲

۱٦-۳ موقعیت المانها در لبه فرار..... ٦٤

۱-٤ موقعیت قرارگیری و ابعاد سیلندر افقی زیر سطح آزاد..... ۷۷

۲-٤ موقعیت قرارگیری و ابعاد هیدروفویل ناکا ٤٤۱۲ زیر سطح آزاد..... ۷۸

۳-٤ موقعیت قرارگیری و ابعاد هیدروفویل جاکوسکفی زیر سطح آزاد..... ۷۹

٤a-٤ تأثیرات تعداد المان روی همگرایی جوابها برای سیلندر دایره ای..... ۸۲

٤b-٤ مقایسه نیروهای لیفت و دراگ با حل تحلیلی هولوگ برای سیلندر دایره ای..... ۸۳

۵a-٤ اثرات تغییرات تعداد المان روی همگرایی برای سیلندر دایره ای..... ۸۵

۵b-٤ مقایسه حل عددی با حل تحلیلی هولوگ برای سیلندر دایره ای..... ۸۵

٦-٤ توزیع فشار برای هیدروفویل ناکا ٤٤١٢.....٨٧
٧a-٤ مقایسه توزیع فشار تقریبی و عددی برای سطح بالا هیدروفویل جاکوفسکی
با ضخامت ١٢% در زاویه حمله ٥ درجه.....٨٨
٧b-٤ مقایسه توزیع فشار تقریبی و عددی برای سطح بالا هیدروفویل جاکوفسکی
با ضخامت ١٢% در زاویه حمله ٥ درجه.....٨٨
٨-٤ مقایسه تغییرات ضریب لیفت برای ناکا ٤٤١٢ (α=٥°) با افزایش عدد فرود.....٨٩
٩a-٤ مقایسه ارتفاع موج تولیدی هیدروفویل ناکا ٤٤١٢ در $\alpha = 5$ در عدد فرود٠,٧ .....٩٠
٩b-٤ مقایسه ارتفاع موج تولیدی هیدروفویل ناکا ٤٤١٢ در $\alpha = 5$ در عدد فرود ٠,٩ .....٩١
٩c-٤ مقایسه ارتفاع موج تولیدی هیدروفویل ناکا ٤٤١٢ در $\alpha = 5$ در عدد فرود ١,٢ ....٩١
١٠a-٤ تأثیرات تعداد المان روی همگرایی جوابها برای سیلندر دایره ای ٩٣
١٠b-٤ مقایسه نیروهای لیفت و دراگ با حل تحلیلی هولوگ برای سیلندر دایره ای ٩٤
١١a-٤ اثرات تغییرات تعداد المان روی همگرایی برای سیلندر دایره ای.....٩٦
١١b-٤ مقایسه حل عددی با حل تحلیلی هولوگ برای سیلندر دایره ای.....٩٦
١٢-٤ توزیع فشار برای هیدروفویل ناکا ٤٤١٢.....٩٧
١٣a-٤ مقایسه توزیع فشار تقریبی و عددی تنها برای سطح بالا هیدروفویل
سیمتریک جاکوفسکی با ضخامت ١٢% با زاویه حمله ٥ درجه.....٩٨
١٣b-٤ مقایسه توزیع فشار عددی تنها برای سطح بالا هیدروفویل سیمتریک
جاکوفسکی باضخامت ١٢% در زاویه حمله ٥ درجه..... .....٩٨
١٤-٤ مقایسه تغییرات ضریب لیفت برای ناکا ٤٤١٢ (α=٥°) با افزایش عدد فرود.....٩٩
١٥a-٤ مقایسه ارتفاع موج تولیدی هیدروفویل ناکا ٤٤١٢ در $\alpha = 5$ درعدد فرود ٠,٧.....١٠٠
١٥b-٤ مقایسه ارتفاع موج تولیدی هیدروفویل ناکا ٤٤١٢ در $\alpha = 5$در عدد فرود ٠,٩.....١٠٠
١٥c-٤ مقایسه ارتفاع موج تولیدی هیدروفویل ناکا ٤٤١٢ در $\alpha = 5$در عدد فرود ١,٢.....١٠١
١٦-٤ توزیع فشار روی سطح سیلندر دایره ای.....١٠٢
١٧-٤ تأثیرات ارتفاع روی توزیع فشار در سطح سیلندر دایره ای در نسبت ارتفاع مختلف١٠٣
١٨-٤ تأثیرات ارتفاع روی توزیع فشار در سطح سیلندر دایره ایدر اعداد فرود مختلف.....١٠٥
١٩-٤ تأثیر افزایش عدد فرود روی ضریب لیفت برای سیلندر دایره ای.....١٠٦
٢٠-٤ تأثیر افزایش عدد فرود روی ضریب دراگ برای سیلندر دایره ای.....١٠٧
٢١-٤ تأثیرافزایش نسبت شعاعها روی موج تولیدی برای سیلندر بیضوی.....١٠٨
٢٢-٤ تأثیر افزایش نسبتهای شعاع در اعداد مختلف روی نیروی لیفت.....١١٠

٤-٢٣ تأثیر افزایش نسبتهای شعاع در اعداد مختلف روی نیروی دراگ.....١١١
٤-٢٤ تأثیرات ارتفاع روی توزیع فشار در Fr=٠,٩٥ ، α=٥° برای هیدروفویل جاکوفسکی١١٢
٤-٢٥ توزیع فشار در اعداد فرود مختلف برای هیدروفویل جاکوفسکی.....١١٤
٤-٢٦ پروفیل موج تولیدی توسط هیدروفویل جاکوفسکی در زاویه حمله ٥ درجه.....١١٥
٤-٢٧ توزیع فشار برای هیدروفویل ناکا ٤٤١٢ در زاویه حمله ٥ درجه.....١١٦
٤-٢٨ اثرات افزایش عدد فرود بر ضریب لیفت در زوایای حمله مختلف برای هیدروفویل ناکا ٤٤١٢.....١١٧
٤-٢٩ اثرات افزایش عدد فرود بر ضریب دراگ در زوایای حمله مختلف برای هیدروفویل ناکا ٤٤١٢.....١١٨
٤-٣٠ اثرات افرایش نسبی عمق روی ضریب لیفت برای هیدروفویل ناکا ٤٤١٢.....١٢٠
٤-٣١ اثرات افرایش نسبی عمق روی ضریب دراگ برای هیدروفویل ناکا ٤٤١٢.....١٢١
٤-٣٢ زمان اجرای برنامه با افزایش تعداد المان در روش پتانسیل کل.....١٢٢
٤-٣٣ زمان اجرای برنامه با افزایش تعداد المان در روش پتانسیل سرعت.....١٢٣

فصل ۱

مقدمه

حل معادلات حاکم در مکانیک سیالات یکی از مطرح ترین مسائل در علوم مهندسی است. در اغلب موارد فرمولبندی قوانین پایهٔ مکانیک سیالات به صورت معادلات دیفرانسیل پاره ای[1] حاصل می شود. بیشتر معادلات به صورت معادلات دیفرانسیل پاره ای مرتبهٔ دوم ظاهر می شوند و بنابرین در مکانیک سیالات و انتقال حرارت از اهمیت ویژه ای برخوردارند.

عموما"، معادلات حاکم در مکانیک سیالات یک مجموعهٔ معادلات دیفرانسیل پاره ای غیر خطی و وابسته را ایجاد می کنند که باید در یک قلمرو ناهموار با شرایط اولیه و مرزی مختلف حل شوند. در بیشتر موارد، حل تحلیلی معادلات مکانیک سیالات بسیار محدود است. با اعمال شرایط مرزی، این محدودیتها افزایش می یابد. به عنوان مثال یک معادلهٔ دیفرانسیل پاره ای با شرایط مرزی دیریشله (شرطی که در آن مقادیر متغیر وابسته در مرز داده شده اند) ممکن است دارای حل تحلیلی باشد. در حالی که همان معادلهٔ دیفرانسیل پاره ای با شرایط مرزی نیومن (که در آن گرادیان عمومی متغیر وابسته در مرزها داده می شود) ممکن است حل تحلیلی نداشته باشد.

مکانیک سیالات تجربی می تواند اطلاعات مورد نیاز یک میدان جریان خاص را فراهم کند. در هر حال به علت محدودیتهای تجهیزاتی، مانند اندازهٔ نمونه های آزمایش و اندازهٔ تونل باد و همچنین مشکلات ناشی از عدم تشابه کامل با میدان جریان واقعی، کسب اطلاعات آزمایشگاهی در بیشتر میدانهای جریان غیر عملی است. به هر حال از نتایج آزمایشگاهی برای اثبات درستی حل معادلات ریاضی استفاده می شود. بنابراین در طراحی، نتایج آزمایشگاهی و نتایج محاسباتی معادلات در کنار یکدیگر به کار می روند.

[1] - Partial Differential Equations

روشی که در سالهای اخیر شهرت زیادی یافته دینامیک سیالات محاسباتی است. البته تحلیل عددی برای سالیان دراز مطرح بوده است. در هر حال پیشرفتهای به دست آمده در امر ساخت کامپیوترها که سبب افزایش حافظه و کارایی شده، امکان حل معادلات مکانیک سیالات را با استفاده از روشهای عددی مختلفی فراهم کرده است. این پیشرفتها سبب معرفی روشهای عددی جدیدتری شده اند که تقریبا به صورت روزانه پیشنهاد می شوند. بر خلاف مکانیک سیالات تجربی، شرایط جریان و ابعاد و اندازه های آن به راحتی قابل تغییرند تا اهداف طراحی مختلفی را بتوان برآورده کرد.

جوابی که از چنین حل عددی حاصل می شود را پس از مقایسه با نتایج تجربی می توان مورد تأیید قرار داد، پس از اینکه درستی چنین برنامه ای مورد تأیید قرار گرفت، از آن برنامه برای طراحیهای مختلف می توان استفاده کرد، البته به این شرط که مسئله در محدودهٔ فرضهای به کار رفته در آن برنامه قرار داشته باشد.

۱-۱- روش المان مرزی به عنوان روش عددی استفاده شده در این پروژه

روشهای محاسباتی برای آنالیز طراحیهای مهندسی در دهه های اخیر توسعه فراوانی یافته است. در یک نکته آنها ابزارهای اساسی برای صحت محاسبات انجام شده و تأییدی به فرایندهای طراحی می باشند. از کلی ترین روشهای حل عددی برای آنالیز طراحیهای مهندسان می توان روش المان محدود را نام برد که اساس آن حل تقریبی مسائل مقدار مرزی در ریاضی مهندسی در ترمهایی از معادلات دیفرانسیل پاره ای می باشد و روش المان مرزی به عنوان دیگر روشی که اساس آن حل معادلات انتگرالی می باشد را نام برد. روش المان مرزی برای آنالیز رفتار سیستم های مکانیکی و به ویژه سازه های مهندسی که دارای بارهای خارجی می باشد، بکار می رود. امروزه مطالعه رفتار سازه بوسیله کامپیوتر انجام می پذیرد. از دلایل این استفاده می توان هزینه کم حل عددی در مقایسه با آزمایشات تجربی بیان کرد. با استفاده از مدلهای عددی می توان در مورد انواع بارگذاریها ، هندسه سازهای مختلف و تعیین بهترین طراحی انجام شده قبل از شروع به ساخت آن سازه مطالعه نمود.

روش المان محدود در طول سی سال گذشته مورد استفاده بوده است. این روش هندسه سازه را به المانهای مختلف آنالیز و بارگذاری می نماید و سپس معادلات سازه ای را به صورت خطی و غیر خطی در حالتهای دو بعدی و سه بعدی حل می نماید. روش المان محدود یکی از مدرن

ترین ابزارهای محاسباتی در طول سی سال گذشته بوده است. روش المان محدود با تمام این مزایا در خدمت مهندسان است چرا پس روش المان مرزی مورد استفاده قرار می گیرد؟

جواب آن است که روش المان محدود ممکن است برای گروهی از مسائل ناکارآمد و یا دشوار باشد. بنابراین روش المان محدود علیرغم کامل بودن برای حل بعضی از مسائل مهندسی عاری از اشکال نمی باشد. مهمترین مشکلاتی که می توان نام برد عبارتند از :

- شبکه بندی معمولا" برای برای تمام حوزه ای که جسم در آن قرار دارد صورت می گیرد. از این رو تولید و بررسی شبکه های المانی مشکل می باشد. این تولید و بررسی سبب صرف زمان به ویژه هنگامی که هندسه جسم پیچیده است می شود.
- اصلاح مدل شبکه بندی شده و اثبات درستی حل و انجام تغییرات طراحی دارای مشکلات مخصوص به خود می باشد که نیازمند صرف کوشش و زمان بیشتری می باشد.
- برای استفاده از روش المان محدود برای نواحی نا محدود و نیمه محدود باید مرزی را فرض نمود. این عمل ممکن است روی زمان و نتایج حاصل شده تأثیر بسزایی داشته باشد.
- برای مسائلی که در آن معادلات دیفرانسیل مرتبه چهار و یا بالاتر مطرح می شود، مطابقت کردن فعالیتها با این خواسته در روش المان محدود می تواند کار زمان بر و غیر عملی باشد.

معایب اول و دوم را می توان با استفاده از نرم افزار های کمکی مانند NASTRAN خنثی نمود ولی دیگر معایب را نمی توان اصلاح نمود.

اساس روش المان مرزی بر روی حل معادلات انتگرالی می باشد. معادلات انتگرالی در مسائل مقدار مرزی معمولا نیازمند یک حل عمومی از معادلات دیفرانسیل پاره ای هستند. این حل به عنوان تابع گرین شناخته می شود و می توان مشاهده کرد که این حل در ساده سازی مسائل فیزیکی بسیار موثر است. این روش دارای مزایایی می باشد که مهمترین آنها عبارتنداز [۲۵]:

- شبکه سازی تنها در روی مرز جسم صورت می گیرد، در نتیجه تعداد مجهولات کاهش می یابد و ساخت مدل عددی ساده تر می باشد.
- این روش برای مسائل با نواحی نامحدود فرمول ساده ای را پیشنهاد می کند که جواب عمومی شرایط نامحدود (شرایط تشعشعی برای مسائل دینامیکی) را ارضاء می نماید.
- این روش تأثیر بسرایی در محاسبات مشتقات تابع می گذارد. این روش به راحتی می تواند نیروها و ممانهای خارجی را روی سطح و داخل مرز محاسبه نماید.

- در این روش قابلیت ارزیابی حل و مشتقات در هر نقطه از نواحی و در هر لحظه از زمان در مسائل وجود دارد. زیرا در این روش از انتگرال گیری های بدست آمده، برای حل مسائل استفاده می شود که دارای پیوستگی ریاضی هستند. این گونه حل در روش المان محدود غیر ممکن است (حل معادلات برای نقاط خاص).
- این روش برای حل مسائل در نواحی با هندسه خاص بسیار مناسب است.

با تمام مزایا گفته شده ، این روش دارای معایبی نیز می باشد که عبارتند از:

- بکارگیری روش المان مرزی نیازمند حل عمومی می باشد. در نتیجه این روش برای حل مسائلی که حل عمومی آنها ناشناخته است یا نمی توان آن را تعیین نمود مناسب نمی باشد(معادلات دیفرانسیل با ضرایب متغیر). بکارگیری این روش در مسائل غیر خطی دشوار می باشد، زیرا در آنجا اصل برهم نهی[1] نمی تواند برقرار باشد. در این حالت روش المان مرزی، BEM، یک پارامتر انتگرالی در حوزه تولید می نماید که بوسیله شبکه بندی حوزه محاسبه می شود. اما این سبب کم رنگ شدن خصوصیت این روش می شود(المان مرزی). در طول سالهای گذشته تحقیقات فراوانی برای غلبه بر عیب فوق الذکر انجام گرفته است.
- حل عددی به روش المان مرزی سبب ایجاد ماتریس ضرایب می شود که کلیه درایه های ماتریس دارای مقدار و ماتریس به صورت غیر سیمتریک می باشد. در حالی که در روش المان محدود ماتریس ضرایب به صورت سیمتریک می باشد. این عیب را می توان با کم بودن نسبت درایه های ماتریس ضرایب روش المان مرزی، BEM، نسبت به ماتریس ضرایب روش المان محدود، FEM، در نظر نگرفت.

با توجه به دلایل گفته شده در بالا، در این پروژه تصمیم گرفته شد که از روش المان مرزی برای حل عددی معادلات انتگرالی بدست آمده استفاده شود.

۱-۲- تاریخچه فعالیتهای انجام شده

در مسائل حرکت یک جسم زیر سطح آزاد با شرایط مرزی کف نامحدود (یا محدود) بسیاری از حرکات ابتدایی مربوط به طراحی کشتی متحرک در آب عمیق (یا کم عمق) کشف می شود. بنابراین بسیاری از مطالعات در این زمینه متمرکز شده اند. اولین نتیجه پایه ای در مورد آبهای

[1] - Superposition principle

کم عمق توسط تایخونو و هسکایند[1] بدست آمد. موفقیتها در حل اینگونه مسائل با توسعه روش عددی در ارتباط بوده است[٤٣]. می و چن[2] [٣٣] با استفاده از روش المان محدود مسائلی چون محاسبه نیروی دراگ موج و نیروهای لیفت یک سیلندر دایره ای در زیر سیال را مورد مطالعه قرار دادند. با انجام محاسبات نتیجه گرفته شد که نیروهای هیدرودینامیکی در نزدیکی عدد فرود بحرانی دارای ناپیوستگیهایی می باشند. برای حل اینگونه مسائل تیلور و وا[3] [٤٦] روش المان محدود را به خدمت گرفتند. گورلاو[4] [١٣] مسائل مربوط به جریان غیر چرخشی و دائم در حدود یک جسم زیر سطح آزاد در سیال را به صورت خطی حل نمود. در سالهای گذشته تحقیقاتی توسط افراد مختلف در مورد تعیین پتانسیل سرعت برای هیدروفویلهای جدار نازک تحت شرایط مرزی نیومن انجام گرفته است. هاف و مورن[5] (١٩٦٩) [٢٤] و پلوتکین[6] (١٩٧٥) [٤١] برای هیدروفیلهای جدارنازک با تقریب شرایط مرزی سطح آزاد خطی مطالعاتی را انجام دادند. جسینگ و سمیت[7] (١٩٦٧) [١٢]، بای[8] (١٩٧٨) [٢] و یانگ و بوگر[9](١٩٧٩) [٤٩] با روش هیدروفویل ضخیم معادلات بسیار دقیقی را تهیه کردند. روش المان بندی توسط جسینگ و سمیت به کار گرفته شد. آنها در روش خود تنها چشمه روی سطح هیدروفویل قرار دادند و شرایط مرزی سطح آزاد را به صورت خطی ارضاء نموده اند . معادلات انتگرالی بدست آمده برای چشمه ها توسط آنها شرایط مرزی سینماتیکی سطح جسم را ارضاء می نمود(شرایط مرزی نیومن) . این معادلات انتگرالی را می توان به صورت عددی محاسبه نمود. ایشان شکل سطح آزاد در عمق محدود با شکل سطح آزاد در عمق نامحدود سیال را مقایسه کردند و اثرات موج روی توزیع نیروهای هیدرودینامیکی را مورد بررسی قرار دادند. بای(١٩٧٨) محاسبات مربوط به حرکت سیلندر بیضوی و هیدروفویل جاکوسفکی زیر سطح آزاد سیال را به وسیله روش المان محدود انجام داد. بای معادلات انتگرالی را با استفاده از روش گالرکین[10] محاسبه نمود. در این روش (المان محدود) معادلات انتگرالی روی سطح هیدروفویل با سیستمی از معادلات سرتاسر حوزه سیال جابجا شده اند . اما اصل حل مشابه است . یانگ و بوگر (١٩٧٩) از روش معادلات انتگرالی پیوندی بر اساس تئوری گرین استفاده نمودند. آنها شرایط سطح آزاد را خطی در نظر گرفتند. ایشان جریان سیال با سطح آزاد را برای استوانه بیضوی و هیدروفویل در موقعیت زاویه

[1] -Tinkhonov and Haskind
[2] -Mei and Chen
[3] -Taylor and Wu
[4] -Gorlov
[5] -Hough and Moran
[6] -Plotkin
[7] -Giesing and Smith
[8] -Bai
[9] -Yeung and Bouger
[10] - Galerkin’s Method

حمله مورد مطالعه قرار دادند و در ادامه محاسبات مربوط به شکل موج تولیدی و توزیع کلیهٔ نیروهای هیدرودینامیکی را برای هیدروفویل انجام دادند. همچنین سالوسن[۱] (۱۹۶۹) [۴۲]، کنل و پلوتکین[۲] (۱۹۸۴) [۲۷]، فربس[۳] (۱۹۸۵) [۱۱] و بای و هن[۴] (۱۹۹۴) [۳] اثرات سطح آزاد را به صورت غیر خطی در محاسبات خود لحاظ نمودند. سالوسن (۱۹۶۹) معادلات خود را از مرتبه دوم در نظر گرفت. کنل و پلوتکین (۱۹۸۴) محاسبات اثرات سطح آزاد را از مرتبه دوم برای هیدروفویل جدار نازک در نظر گرفتند. فربس(۱۹۸۵) شرایط مرزی سطح آزاد را به صورت کاملا غیر خطی فرض نمود و بای و هن (۱۹۹۴) از روش المان محدود برای مسائل غیر خطی استفاده نمودند. وا و تیلور[۵] (۱۹۹۵) [۴۷] مقایسه ای میان روش المان محدود با روش المان مرزی برای حل هیدروفویل دو بعدی در حالت غیر خطی را انجام دادند. در این پروژه از روش پتانسیل با قدرت ثابت در هر المان استفاده شده است که جزییات آن در مقاله های کتس و پلوتکین[۶] [۲۶] و مورن[۷] [۳۵] برای حرکت هیدروفویل دو بعدی زیر سطح آزاد گفته شده است. ایشان با بکارگیری تئوری گرین و انتخاب پتانسیل داخلی خاص، معادلات انتگرالی پتانسیل سرعت را به معادلات انتگرالی پتانسیل کل تبدیل نمودند. با گسسته سازی این معادلات انتگرالی توسط کروین وهمکارانش[۸] (۱۹۸۷) [۲۸] روشی را بدست آوردند که به نام روش پتانسیل کل معروف می باشد.

از دیگر روشهای استفاده شده برای محاسبه ضرایب هیدرودینامیکی هیدروفویل می توان روش نگاشت همدیس[۹] را نام برد که تنها به یک جسم منحصر می شود. از افرادی که در این زمینه فعالیت کرده اند می توان: هولوگ[۱۰] (۱۹۳۶) [۱۷]، کوچین[۱۱] (۱۹۳۷) [۲۹]، نیشیاما[۱۲] (۱۹۵۷) [۳۸]، را نام برد.

از آخرین افرادی که در این زمینه فعالیت داشته اند می توان کوه و همکارانش[۱۳] (۲۰۰۲) [۳۰] و نن زای[۱۴] (۲۰۰۶) [۴۸] را نام برد. کوه و همکارانش از توزیع یکنواخت چشمه روی سطح

---

[۱] -Salvesen
[۲] -Kennel and plotkin
[۳] -Forbes
[۴] -Bai and Han
[۵] -Wu and Eatock Taylor
[۶] -Katz and Plotkin
[۷] -Moran
[۸] -Kerwain et al
[۹] - Comformal Mapping
[۱۰] -Havelock
[۱۱] -Kochin
[۱۲] - Nishiyama
[۱۳] -Kouh et al
[۱۴] -Nan Xie

آزاد و توزیع دوبله روی سطح جسم و سطح ویک استفاده نموده اند. آنها شرط مرزی دریشله جایگزین شرط مرزی نیومن کردند. آنها در حل پتانسیل، شرایط مرزی سطح آزاد را به صورت خطی در نظر گرفتند. نن زای از روش توزیع یکنواخت دوبله و چشمه سرتاسر سطح هیدروفویل و از توزیع چشمهٔ تنها روی سطح آزاد و از شرط دریشله به عنوان شرط مرزی سینماتیکی روی جسم استفاده نموده است.

فصل ۲

فرمولبندی