بِسْمِ ٱللَّهِ ٱلرَّحْمَٰنِ ٱلرَّحِيمِ

دانشکده: فنی و مهندسی

گروه: مکانیک

عنوان:
تهیه نرم افزار تحلیل شبکه های هیدرولیکی در حالت پایدار و گذرا

دانشجو: علیرضا مولوی

استاد راهنما:

جناب آقای دکتر محمد محسن شاه مردان

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

بهمن ۱۳۸۸

تقدیر و تشکر

بدینوسیله از زحمات ارزنده جناب آقای دکتر محمد محسن شاه مردان نهایت تشکر خود را ابراز و از خداوند متعال سلامتی و کامیابی برای ایشان خواستارم.

چکیده

این پایان نامه با هدف تهیه برنامه ای جهت تحلیل هیدرولیکی جریان سیال در شبکه های لوله در حالت پایدار و گذرا انجام شده است. برای این منظور ضمن مطالعه روش های تحلیل حالت پایدار، روش تئوری خطی به علت عدم نیاز به حدس اولیه و تقارب سریع جهت نوشتن برنامه انتخاب شد. همچنین برای بررسی حالت گذرای جریان به تحلیل پدیده ضربه قوچ پرداخته شده است. تحلیل ضربه قوچ یا ضربه آبی با روش مشخصه ها و بصورت تقریبی حل می شود.

فهرست ***مطالب*** شماره ***صفحه***

فصل اول مقدمه ۱

فصل دوم مبانی مکانیک سیالات.....۲

خواص سیالات ۲

وزن مخصوص.....۳

لزجت.....۳

قوانین بقا ۴

پیوستگی.....۵

معادله برنولی ۷

اصل بقای مومنتوم ۸

فصل سوم افت بار در اثر اصطکاک ۹

ضریب اصطکاک در جریان های ورقه ای.....۱۳

فهرست مطالب شماره صفحه

ضریب اصطکاک در جریان های آشفته.....۱۳

معادله هایزن ویلیامز ۱۴

کهنگی لوله ها ۱۶

فرمول های توانی.....۱۷

تلفات جزئی.....۱۹

زانوها و خم ها ۲۰

لوله های معادل.....۲۴

لوله های سری ۲۵

لوله های موازی.....۲۶

سیستم شاخه ای.....۲۷

فصل چهارم تحلیل شبکه ها در حالت جریان پایدار ۲۸

فهرست مطالب ***شماره صفحه***

معرفی شبکه و اصطلاحات مربوط به آن ۲۸

جریان پایدار..... ۲۹

سیستم های معادلات تشریح کننده جریان ماندگار در شبکه های هیدرولیکی..... ۳۱

فصل پنجم روش های حل شبکه ها ۳۶

روش نیوتن رافسون..... ۳۶

روش هاردی کراس ۳۸

جنبه های ریاضی روش هاردی کراس ۳۸

روش تئوری خطی ۴۰

تبدیل معادلات غیر خطی انرژی به معادلات خطی..... ۴۱

وارد کردن مخازن و پمپ ها در روش تئوری خطی ۴۲

شیرهای فشار شکن ۴۴

فهرست مطالب ***شماره صفحه***

فصل ششم تحلیل جریان گذرا ۴۵

تشریح ضربه قوچ..... ۴۶

معادلات دیفرانسیل حاکم بر ضربه قوچ ۵۰

حل عددی معادلات تقریبی..... ۵۱

شرط مرزی مخزن در بالادست لوله ۵۳

شرط مرزی سرعت در پایین دست لوله..... ۵۴

شرط مرزی پمپ دور ثابت در بالادست لوله..... ۵۴

شرط مرزی گره با فشار معلوم در بالادست لوله..... ۵۶

ضمیمه کد برنامه ۵۸

فهرست اشکال شماره صفحه

شکل ۳-۱ دیاگرام مودی..... ۱۱

شکل ۳-۲ انقباض ناگهانی در مقطع لوله..... ۲۲

شکل ۳-۳ ضریب افت موضعی برای ورورد از مخزن به لوله..... ۲۳

شکل ۴-۱ سیستم حلقه ای و سیستم شاخه ای..... ۲۸

شکل ۴-۲ یک گره با جریان خارجی (مصرف) ۳۱

شکل ۵-۱ ایجاد حلقه مجازی بین دو مخزن با استفاده از لوله فرضی بدون جریان..... ۴۳

شکل ۶-۱ ربع سیکل اول پس از بسته شدن ناگهانی شیردر مسیر جریان..... ۴۷

شکل ۶-۲ ربع سیکل دوم پس از بسته شدن ناگهانی شیر در مسیر جریان..... ۴۸

شکل ۶-۳ ربع سیکل سوم پس از بسته شدن ناگهانی شیر در مسیر جریان ۴۸

شکل ۶-۴ ربع سیکل چهارم پس از بسته شدن ناگهانی در مسیر جریان..... ۴۹

شکل ۶-۵ صفحه s-t به همراه خطوط مشخصه ها ۵۲

فهرست علائم و نشانه ها

ρ	چگالی سیال
V	سرعت متوسط
v	سرعت
A	سطح مقطع
ν	ویسکوزیته
γ	وزن مخصوص
P	فشار استاتیک
Q	دبی جریان
f	ضریب اصطکاک دارسی ویسباخ
g	شتاب گرانش
L	طول لوله
Re	عدد رینولدز
H	هد پیزومتریک
a	سرعت موج
t	زمان

فصل اول

مقدمه

تحلیل هیدرولیکی شبکه های توزیع آب اولین قدم در طراحی هرگونه سیستم آبرسانی شهری است. اصلاح شبکه های قدیم و یا توسعه آنها به دلیل گسترش مناطق مسکونی جدید مستلزم تحلیل هیدرولیکی آنهاست. هر شبکه باید قادر باشد آب مورد نیاز را با فشار کافی در هر موقع از شبانه روز و در هنگام پیک مصرف در اختیار مصرف کنندگان قرار دهد. چنانچه شبکه به لحاظ هیدرولیکی دارای نقایصی باشد، این منظور تامین نخواهد شد. تحلیل هیدرولیکی شبکه های توزیع آب محاسبات ریاضی پیچیده و وقت گیری را بدنبال دارد و در مورد شبکه های واقعی، متشکل از تعداد زیاد لوله بصورت دستی امکان پذیر نیست. خوشبختانه وجود ریز کامپیوترها که امروزه در اختیار دانشجویان و مهندسین قرار دارد، کمک می کند که انجام حجم زیادی از محاسبات با دقت مناسب و در زمان کوتاهی انجام شود. به همین منظور در این پایان نامه هدف تهیه برنامه ای ساده است که اولا با شرح تئوری آن، آشنایی با اصول تحلیل هیدرولیکی شبکه های توزیع سیال حاصل شود. ثانیا با شرح زیر روندهای آن امکان اشنایی با چگونگی تولید الگوریتم از تئوری و پیاده سازی آن فراهم شود و همچنین امکان اصلاح و توسعه برنامه وجود داشته باشد. و در نهایت اینکه برنامه به عنوان ابزاری قابل استفاده در اختیار دانشجویان و مهندسان قرار گیرد.

در ادامه مطابق مراحل فوق ابتدا به شرح تئوریک روابط حاکم بر جریان سیال در لوله ها و رفتار سایر اجزای شبکه می پردازیم. سپس روش های تحلیل شبکه ها را بررسی می کنیم و در انتها کدهای نوشته شده ارائه می شود.

فصل دوم

مبانی مکانیک سیالات

در این قسمت برای استنتاج مطالب بعدی و آشنایی با علائمی که برای خواص سیال در معادلات استفاده می شوند، بصورت مختصر خواص مایعات یا بطور دقیق تر سیالات غیر قابل تراکم و قوانین حاکم بر حرکت آنها بررسی می شود.

۲-۱- خواص سیالات

۲-۱-۱- چگالی

چگالی یک سیال عبارتست از جرم واحد حجم آن سیال که با حرف یونانی ρ نشان داده می شود. معادله ابعادی آن جرم بر مکعب طول است. درسیستم انگلیسی که با علامت اختصاری ES نشان داده می شود، برای واحد جرم اسلاگ و برای واحد طول از فوت استفاده می شود. و در سیستم بین المللی SI از واحد کیلوگرم برای جرم و متر برای طول استفاده می شود. و بنابراین واحد چگالی در سیستم انگلیسی اسلاگ بر فوت مکعب و در سیستم SI کیلوگرم بر متر مکعب است.

۲-۱-۲- وزن مخصوص

وزن مخصوص که گاهی وزن واحد نیز نامیده می شود، عبارتست از وزن سیال در واحد حجم آن که با حرف یونانی γ نشان داده می شود. بنابراین واحد آن در سیستم ES پوند بر فوت مکعب و در سیستم SI نیوتن برمتر مکعب است.

وزن مخصوص و چگالی سیال با توجه به شتاب ثقل زمین بصورت زیر با یکدیگر مرتبط هستند:

$$\gamma = \rho g \qquad (۱-۲)$$

که اندازه شتاب ثقل در سیستم های ES و SI عبارتست از:

$$\gamma = 32.2 \quad \frac{lb}{ft^3} \qquad (ES)$$

$$\gamma = 9.806 \quad \frac{N}{m^3} \qquad (SI)$$

۲-۱-۳- لزجت

خاصیت مهمی از سیال است که سیال بواسطه آن در مقابل حرکت، بصورت تنش برشی، در داخل سیال و همچنین مرز سیال با جدار ظرف، از خود مقاومت نشان می دهد. که به زبان ریاضی با رابطه زیر بیان می شود:

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \qquad (۲-۲)$$

رابطه فوق فقط در جریان ورقه ای صادق است و در جریان آشفته صادق نیست. در مورد روش تعیین رژیم جریان بعدا بحث خواهد شد.

چون حاصل بخش لزجت مطلق بر چگالی در معادله ها زیاد آشکار می شود، لذا تعریف جداگانه ای برای آن در نظر گرفته شده است که به اسم لزجت سینماتیک که با حرف یونانی ν نشان داده می شود، نامیده می شود.لزجت سینماتیک بفرم زیر تعریف می شود:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \qquad (۳-۲)$$

معادله ابعادی لزجت سینماتیک برابراست با مربع طول تقسیم بر زمان، و واحدهای مصطلح آن در سیستم های ES و SI به ترتیب عبارتند از:

$$\frac{ft^2}{Sec} \quad \text{و} \quad \frac{m^2}{Sec}$$

در ادامه بجای لزجت سینماتیک تنها از واژه لزجت استفاده می کنیم. در بسیاری از سیال ها مانند آب لزجت، به درجه حرارت بستگی دارد و مستقل از تنش برشی است. به این نوع سیالات، سیال نیوتنی می گویند.

۲-۲- *قوانین بقا*

در مهندسی و علوم فیزیکی، بسیاری از محاسبات تحلیلی بر پایه تعداد محدودی اصول و مفاهیم اساسی استوارند، که مهمترین آنها قوانین حرکت نیوتن و بقای جرم و انرژی و مومنتوم است. به استثنای چند مورد محدود، جرم نه خلق و نه نابود می شود. انرژی فقط از شکلی به شکل دیگر تبدیل می شود و مومنتوم فقط در اثر اعمال نیرویی که در طی زمان وارد آید تغییر می کند.

در مکانیک سیالات شکل کمی بقای جرم را معادله پیوستگی می نامند که به صورتهای مختلف نشان داده می شود. یکی از شکلهای معادله بقای انرژی نیز که در هیدرولیک زیاد استفاده می شود، معادله برنولی است.

اصل مومنتوم نیز در تعیین نیروهای خارجی که بر سیال در حرکت وارد می شود وارد می شود بسیار مفید است. معادلاتی که از اصول سه گانه فوق حاصل می شوند اساسی ترین معادله هایی هستند که در حل مسائل مکانیک سیالات مورد استفاده قرار می گیرند. در این بخش اصول و معادلات مذکور با توجه خاص به حل مسائل مربوط به جریان سیال در لوله ها مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

۲-۲-۱- پیوستگی

بطور کلی معادله های ریاضی که اصل بقای جرم را در بر می گیرند به شکل معادلات دیفرانسیلی و انتگرالی می باشند. این به آن علت است که معمولا کمیت های تشریح کننده جریان، مانند سرعتهای نقطه ای، توابعی از مکان و زمان ذره سیال هستند. در مورد جریان هایی که در آن متغیرها فقط در یک مختصات ساده مکانی تغییر می کنند و نسبت به زمان تغییر نمی کنند، برای تشریح این حقیقت که انرژی فنا شدنی نیست می توان از یک معادله جبری استفاده کرد. این گونه جریان ها را که در آنها خواص با زمان تغییر نمی کنند، جریان های پایدار یا ماندگار می نامند. در این بحث فقط جریان های یک بعدی مورد نظر هستند. یعنی جریانهایی که خصوصیات جریان فقط در یک بعد تغییر می کنند و در دو بعد دیگر قابل اغماض هستند.

در مکانیک جامدات، اصل بقای جرم بطور ساده به این صورت بکار برده می شود که جرم یک جسم ثابت باقی می ماند. ولی در برخورد با سیالات بجای اینکه مسیر هر یک از ذرات سیال را دنبال کنیم مناسب تر است که جرم سیالی را که از یک مقطع مشخص عبور می کند را در نظر بگیریم. بنابر این در معادله پیوستگی بجای اینکه تنها جرم در نظر گرفته شود، میزان جرمی که از مقطع جریان عبور می کند در نظر گرفته می شود. میزان جرم یا گذر جرمی بطور ساده عبارتست از جریان جرم یا مقدار جرمی که در واحد زمان از یک مقطع عبور می کند. واحد آن در سیستم انگلیسی $Slug / Sec$ و در

سیستم بین المللی Kg / Sec است. اگر گذر جرمی ماده را با G نشان دهیم، رابطه آن با سطح مقطع و سرعت جریان بصورت زیر است:

$$G = \rho VA \qquad (۴-۲)$$

در رابطه فوق A وسعت سطح مقطع جریان که بر جهت جریان عمود است و V سرعت متوسط عبور جریان از این مقطع است. گذر حجمی جریان که با علامت Q نشان داده می شود، بصورت زیر تعریف می شود:

$$Q = AV \qquad (۵-۲)$$

در مورد جریان های پایدار اصل بقای جرم ایجاب می کند که گذر جرمی در دو مقطع ۱ و ۲ کـه بـه فاصله مشخصی از هم قرار گرفته اند، برابر باشند، بنابر این:

$$G_1 = G_2 \qquad (۶-۲)$$

و یا $$\rho_1 V_1 A_1 = \rho_2 V_2 A_2$$

معادله (۲-۶) شکلی از معادله پیوستگی است که برای جریان پایدار کاربرد دارد. برای جریان های غیر قابل تراکم، معادله پیوستگی بصورت زیر خلاصه می شود:

$$V_1 A_1 = V_2 A_2 \qquad (۷-۲)$$

معادلات فوق بر این دلالت دارند که اگر چند لوله به هم متصل باشند، جرمی که به محل اتـصال وارد می شود باید با جرمی که از محل اتصال خارج می شود برابر باشد. بزبان ریاضی:

$$\sum G_i = \sum \rho_i Q_i = 0 \qquad (۸-۲)$$

که در رابطه فوق اندیس i شماره لوله هایی است که در نقطه اتصال بهم می پیوندند. بار دیگر در مورد سیال تراکم ناپذیر رابطه بفرم زیر خلاصه می شود:

$$\sum Q_i = 0 \qquad (۹-۲)$$

معادلات (۲-۸) و (۲-۹) در تحلیل شبکه های لوله کشی نقش بسیار مهمی ایفا می کنند. که در ادامه در مورد آن ها بیشتر بحث خواهد شد.

۲-۲-۲- معادله برنولی (بقای انرژی)

انرژی موجود در واحد جرم یک سیال در حال حرکت را که شامل ترم های انرژی سینتیک، انرژی فشاری و انرژی پتانسیل ثقلی است را با صرفنظر از نحوه حصول آن با رابطه زیر بیان می کنیم:

$$e = gz + p/\rho + V^2/2 \qquad (۱۰-۲)$$

در هر جایی که سیال از بین مرزهایی (مثلا از یک مجرا یا در تماس با یک جدار) عبور نماید، اصطکاک بوجود خواهد آمد. این اصطکاک موجب می شود که مقداری از انرژی مفید به حرارت یا شکل های دیگری که از نظر هیدرولیکی قابل احیا نیستند، تبدیل شود. همچنین در طول مسیر ممکن است با یک پمپ انرژی مکانیکی e_M به واحد جرم سیال وارد شود و یا آنکه بوسیله توربین، انرژی مکانیکی e_M از جریان جذب شود. اگر مقدار انرژی تلف شده در اثر اصطکاک سیال را با e_L نشان دهیم، با وارد کردن این ترم ها در معادله بقای انرژی بین دو نقطه ۱ و ۲ از جریان یک سیال به رابطه زیر خواهیم رسید:

$$g z_1 + p_1/\rho + V_1^2/2 + e_M = g z_2 + p_2/\rho + V_2^2/2 + e_L \qquad (۱۱-۲)$$

در معادله فوق هر یک از اجزا بر حسب انرژی بر واحد جرم بیان شده اند. اما در کارهای عملی بهتر است که هر یک از ترم ها بر حسب بعد طول L بیان شوند. این تبدیل ابعادی را می توان با تقسیم هر یک از اجزای معادله بر g (شتاب گرانش) انجام داد که نتیجه عبارتست از:

$$z_1+\frac{p_1}{\gamma}+\frac{V_1^2}{2g}+h_M=z_2+\frac{p_2}{\gamma}+\frac{V_2^2}{2g}+h_L \qquad (۱۲-۲)$$

در محاسبات هیدرولیک، معادله (۲-۱۲) بیش از معادله(۲-۱۱) کاربرد دارد و به نام معادله برنولی نامیده می شود. به مجموع $z+\frac{p}{\gamma}$ بار هیدرولیکی یا بار پیزومتریک گفته می شود و به مجموع سه جمله $z+\frac{p}{\gamma}+\frac{V^2}{2g}$ بار کل یا بار سکون می گویند. اگر خطوط مربوط به این دو معادله در طول مسیر جریان ترسیم شوند، به ترتیب خط شیب هیدرولیکی (Hydraulic Grade Line) و خط انرژی (Energy Line) حاصل می شود، که نشان دهنده بار پیزومتریک و بار کل در هر نقطه از مسیر می باشند.

۲-۲-۳- اصل بقای مومنتوم

اصل سوم بقا، یعنی بقای مومنتوم، که وسیله ای بسیار موثر در حل مسائل مربوط به جریان سیالات است، بخصوص هنگامی که نیروهای وارد بر سیال، یا از طرف سیال به محیط مطرح می شوند.

با توجه به عدم استفاده از اصل بقای مومنتوم در ادامه مطالب، از توضیح بیشتر در مورد آن صرفنظر می شود.

فصل سوم

۳-۱- افت بار در اثر اصطکاک

برای تعیین افت بار در اثر اصطکاک، یعنی تبدیل انرژی جریان به نوع غیر قابل احیا ی هیدرولیکی، معادله های گوناگونی بکار گرفته می شوند که مهمترین آنها معادله دارسی ویسباخ و معادلات تجربی هایزن ویلیامز و مانینگ هستند.

اساسی ترین روش در محاسبه این نوع تلفات معادله دارسی ویسباخ است که به طریق آنالیز ابعادی استخراج شده است و به شکل زیر است[1]:

$$h_f = \frac{\Delta p}{\gamma} = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \qquad (۱-۳)$$

که در آن f یک ضریب بی بعد بنام ضریب اصطکاک است. D قطر هیدرولیکی لوله، L طول لوله و V سرعت متوسط جریان در مقطع لوله و g شتاب ثقل زمین است. شعاع هیدرولیکی بر حسب تعریف عبارتست از چهار برابر سطح مقطع جریان تقسیم بر محیط خیس شده آن، که برای یک لوله با مقطع دایره، همان قطر لوله است.

برای تعیین ضریب اصطکاک باید رژیم جریان مشخص باشد. که برای این منظور از عدد بی بعد رینولدز استفاده می شود.

$$\mathrm{Re} = \frac{VD}{\nu} \qquad (۲-۳)$$

نیکورادزه در سال ۱۹۳۳ با انجام آزمایشاتی نشان داد که ضریب اصطکاک تابع دو پارامتر است. یکی عدد رینولدز (Re) و دیگری زبری نسبی جدار لوله ($\frac{e}{D}$).

نیکورادزه توانست دانه های یکنواخت شن با اندازه های مختلف e را بـه جـدار داخلـی لولـه هـایی بـا قطرهای مختلف بچسباند و افت بار یا افت فشار حاصل از آن را اندازه گیری نماید. اگر نتایج حاصل از آزمایش را روی یک صفحه لگاریتمی ترسیم کنیم، بطوریکه محور افقی بیانگر عـدد رینولـدز و محـور قائم نشان دهنده ضریب اصطکاک باشد، برای $\frac{e}{D}$ هـای مختلـف شـکلی ماننـد شـکل (۳-۱) حاصـل می شود.

به دیاگرام شکل (۳-۱) دیاگرام مودی می گویند که از آن برای تعیین ضریب اصکاک لوله هـا بـدون نیاز به محاسبه استفاده می شود.