



شرح جامع

آب های زیرزمینی

«زمین شناسی»

مؤلف: فائزه فلسفی



پیشگفتار ناشر

خداوند بزرگ را شاکریم که فرصتی عنایت فرمود تا بتوانیم قدمی در جهت گسترش علم و فرهنگ کشور عزیزمان برداریم و مسیری هموار را در اختیار مخاطبان و داوطلبان علاقمند به ادامه تحصیل قرار دهیم. از آنجائی که در حوزه کتاب‌های درسی و کمک درسی کارشناسی ارشد کتاب‌های زیادی به رشته تحریر در آمده است با این حال وجود یک مجموعه جامع، دقیق، کامل و دارای رفرنس (منابع) مستند احساس می‌شود.

همیشه دغدغه داشتیم که ای کاش می‌شد تمامی منابع پراکنده و گاهاً دست‌نیافتنی کنکور در یک مجموعه به گونه‌ای جذاب و شیوا آماده می‌شد و همچنین سوالات دوره‌های قبل کنکور نیز به گونه‌ای تشریحی پاسخ داده می‌شدند، که خدش‌های بر آنها وارد نشود و خیال داوطلبان عزیز آنقدر آسوده باشد که اطلاعات مندرج در پاسخنامه‌ها را برای بهره‌گیری در آزمون خود بکار گیرند. این کار با یاری خداوند بزرگ و همکاری نخبه‌ترین دانشجویان و اساتید کشور در انتشارات ارشد هماهنگ گردید و در تمامی مقاطع تحصیلی از کاردانی به کارشناسی، کارشناسی ارشد و دکتری در حوزه آزمون‌های سراسری - آزاد و پیام نور بسته‌های آموزشی شامل کتاب‌های بانک سوالات و کتاب‌های شرح جامع درس آماده گردید. در تهیه مجموعه‌های فوق‌الذکر از فارغ‌التحصیلان کارشناسی ارشد و دکتری که حائز رتبه‌های تک رنژی کنکور می‌باشند، استفاده کرده‌ایم، تا شما عزیزان بتوانید در راستای افزایش توان علمی خود در جهت نیل به مقصود خویش نایل آید. بدون تردید می‌توان گفت که برای اولین بار در نظام آموزشی کشور مجموعه‌ای به این سبک عرضه می‌شود که در کیفیت و کمیت بی‌نظیر بوده و تمامی نیازهای دانشجویان و داوطلبان عزیز را پوشش می‌دهد. امید است که استفاده از این مجموعه عزیزان را در جهت موفقیت در آزمون یاری رسانده باشد. در پایان لازم به ذکر است که بی‌نقصی محض از آن خداوند متعال می‌باشد، بنا براین از تمامی خوانندگان و داوطلبان عزیز خواهشمندیم نظرات سازنده خود را در مورد این کتاب به سایت انتشارات ارشد اعلام نمایند تا ما را در جهت هر چه بهتر آماده کردن این محصولات یاری رسانند.

با تشکر

ناشر

www.arshadbook.ir

پیشگفتار مولف

امروزه با توسعه علوم در زمینه‌های مختلف، ظهور تخصص‌های گوناگون اجتناب‌ناپذیر شده است و همین امر سبب شده که نیازهای علمی و تخصصی جوامع نیز به شاخه‌های بسیار متنوعی تقسیم گردد. به عنوان نمونه مسئله شناخت منابع آب زیرزمینی دسترسی به آنها در جوامع امروزی نیاز به کارشناسان و متخصصان خاصی در زمینه‌های مختلف همچون هیدرولوژی، هیدرولیک، شیمی آب، میکروبیولوژی آب، هیدروژئولوژی و غیره دارد.

از طرفی تربیت نیروهای کارآمد و متخصص نیازمند کسب تخصص و تجربه در دوره‌های کارشناسی ارشد و بالاتر می‌باشد. لذا با این دیدگاه، تلاش ما بر این بوده که با تألیف چنین مجموعه‌ای، کمکی هر چند کوچک به این پویندگان راه علم بنماییم.

هدف از نوشتن این کتاب، آن بود تا مطالب درسی مورد نیاز دانشجویان رشته زمین‌شناسی و علاقمند به گرایش آبشناسی به صورت مدون و برای آمادگی در آزمون کارشنای ارشد ارائه شود. از طرفی، سعی بر آن داشتم تا با تدوین این کتاب، دانشجویان و علاقمندان درس آب‌های زیرزمینی به مجموعه‌ای خودآموز و با گفتار ساده دست یابند.

کتابی که در دست دارید، یک جمع‌بندی کلی بر درس آبهای زیرزمینی است. در این مجموعه اصول و قواعد حاکم بر آبهای زیرزمینی، با توجه به منابع مورد استفاده در طراحی سوالات کارشناسی ارشد تا حد امکان ارائه شده است. در پایان هر فصل، مجموعه سؤالاتی تحت عنوان تستهای آخر فصل و بر مبنای اهداف کتاب تنظیم شده‌اند. خلاصه‌ای از مهمترین مطالب ارائه شده در هر فصل نیز در انتهای فصول بیان شده است.

با سپاس
فائزه فلسفی

فهرست مطالب

عنوان

صفحه

پیشگفتار ناشر.....	۳
پیشگفتار مولف.....	۴

فصل اول: هیدرولیک آب‌های زیرزمینی

۱-۱- منشأ آب‌های زیرزمینی.....	۱۱
۲-۱- مبانی هیدرولیک.....	۱۱
۳-۱- تعادل مایعات.....	۱۱
۴-۱- فشار در یک نقطه.....	۱۲
۵-۱- روش‌های اندازه‌گیری فشار سیالات.....	۱۲
۶-۱- حرکت سیالات.....	۱۳
خلاصه فصل.....	۱۷
تست‌های آخر فصل.....	۱۸
پاسخ تست‌های آخر فصل.....	۲۰

فصل دوم: ویژگی‌های محیط متخلخل و لایه‌های آبدار

۱-۲- آب در زمین و لایه‌های آبدار.....	۲۳
۲-۲- ویژگی‌های محیط‌های متخلخل.....	۲۳
۳-۲- توزیع عمودی آب زیرزمینی.....	۲۷
۴-۲- سفره‌های (لایه‌های آبدار) آب زیرزمینی.....	۳۳
۵-۲- خواص هیدرولیکی سفره.....	۳۶
۶-۲- آبدهی مجاز.....	۳۸
خلاصه فصل.....	۳۹
تست‌های آخر فصل.....	۴۰
پاسخ تست‌های آخر فصل.....	۴۳

فصل سوم: حرکت آب زیرزمینی

۱-۳- قانون حاکم بر حرکت آب در زیرزمین.....	۴۷
۲-۳- تعیین مقدار هدایت هیدرولیکی.....	۵۰
۳-۳- هتروژنیته و انیزوتروپی هدایت هیدرولیکی.....	۵۳

۴-۳- ردیابی حرکت آب زیرزمینی.....	۵۶
۵-۳- نقشه‌های تراز آب زیرزمینی.....	۵۷
۶-۳- سیستم‌های هتروژن و قانون تانژانت.....	۶۱
خلاصه فصل.....	۶۲
تست‌های آخر فصل.....	۶۳
پاسخ تست‌های آخر فصل.....	۶۶

فصل چهارم: توسعه منابع آب زیرزمینی

۱-۴- انواع آزمایش پمپاژ.....	۶۹
۲-۴- جریان آب از لایه آبدار به چاه (هیدرولیک چاهها).....	۷۰
۳-۴- داده‌های حاصل از آزمایش پمپاژ.....	۷۰
۴-۴- اصول آزمایش پمپاژ.....	۷۱
۵-۴- جریان به چاه در نزدیکی مرزهای سفره.....	۷۸
۶-۴- سیستم‌های چند چاهی.....	۸۰
۷-۴- افت چاه.....	۸۰
۸-۴- اندازه‌گیری قابلیت انتقال و ضریب ذخیره.....	۸۲
خلاصه فصل.....	۸۷
تست‌های آخر فصل.....	۸۸
پاسخ تست‌های آخر فصل.....	۹۱

فصل پنجم: بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی

۱-۵- چاه آب.....	۹۵
۲-۵- قنات.....	۱۰۴
۳-۵- چشمه.....	۱۰۵
خلاصه فصل.....	۱۰۶
تست‌های آخر فصل.....	۱۰۷
پاسخ تست‌های آخر فصل.....	۱۱۰

فصل ششم: کیفیت آب زیرزمینی و مصارف آن

۱-۶- منابع شوری آب.....	۱۱۳
۲-۶- خصوصیات شیمیایی آب زیرزمینی.....	۱۱۴
۳-۶- نقشه‌ها و نمودارهای شیمی آب.....	۱۱۶
۴-۶- خصوصیات فیزیکی آبهای زیرزمینی.....	۱۱۸
۵-۶- خصوصیات باکتریایی آب زیرزمینی.....	۱۱۹
۶-۶- طبقه‌بندی و معیارهای کیفیت آب.....	۱۱۹
خلاصه فصل.....	۱۲۱
تست‌های آخر فصل.....	۱۲۳
پاسخ تست‌های آخر فصل.....	۱۲۶

فصل هفتم: تکنیک‌های مدلسازی آب زیرزمینی

۱-۷- راه حل عددی (مدلهای ریاضی).....	۱۲۹
۲-۷- مدل‌های ماسه‌ای.....	۱۳۰
۳-۷- مدل‌های سیال ویسکوز.....	۱۳۲
۴-۷- مدل‌های الکتریکی.....	۱۳۳
خلاصه فصل.....	۱۳۵
تست‌های آخر فصل.....	۱۳۶
پاسخ تست‌های آخر فصل.....	۱۳۷

فصل هشتم: اکتشاف منابع آب زیرزمینی

۱-۸- بررسی‌های اولیه و مطالعات زمین‌شناسی.....	۱۴۱
۲-۸- مطالعات آب‌شناسی.....	۱۴۱
۳-۸- مطالعات ژئوفیزیک سطحی.....	۱۴۲
۴-۸- حفاری‌های اکتشافی.....	۱۴۳
۵-۸- چاه‌نگاری.....	۱۴۴
۶-۸- مطالعات کیفی آب زیرزمینی.....	۱۴۵
۷-۸- معادله بیلان آب.....	۱۴۶
خلاصه فصل.....	۱۴۷
تست‌های آخر فصل.....	۱۴۸
پاسخ تست‌های آخر فصل.....	۱۵۱

فصل نهم: مسائل خاص آب زیرزمینی

۱-۹- تغذیه مصنوعی.....	۱۵۵
۲-۹- نفوذ آب در لایه‌های آبدار ساحلی (سفره‌های آب شیرین).....	۱۶۰
۳-۹- ردیابها.....	۱۶۴
۴-۹- تغییرات سطح آب زیرزمینی.....	۱۶۶
خلاصه فصل.....	۱۷۱
تست‌های آخر فصل.....	۱۷۲
پاسخ تست‌های آخر فصل.....	۱۷۵
منابع و مآخذ.....	۱۷۷

فصل اول

هیدرولیک آب‌های زیرزمینی

عناوین اصلی

- منشأ آب‌های زیرزمینی
- مبانی هیدرولیک
- تعادل مایعات
- فشار در یک نقطه
- روش‌های اندازه‌گیری فشار سیالات
- حرکت سیالات
- خلاصه فصل

فصل اول

هیدرولیک آب‌های زیرزمینی

۱-۱- منشأ آب‌های زیرزمینی

تقریباً تمامی آب‌های زیرزمینی منشأ هیدرولوژیکی (بارش) داشته و خود قسمتی از چرخه هیدرولوژیکی هستند. فقط مقدار جزئی از آن ممکن است منشایی غیر از چرخه هیدرولوژیکی داشته باشد. آبی که برای یک دوره زمین‌شناسی دور از برخورد با چرخه آب بوده به نام آب فسیل (Connate water) نامیده می‌شود. آب فسیل ممکن است از آب دریا و یا منابع آب شیرین گرفته شده باشد که معمولاً در حد بالایی مینرالیزه شده است. مقدار خیلی جزئی از آب زیرزمینی ممکن است از اعماق زیاد ایجاد شده باشد، که به آن آب ماگمایی گفته می‌شود. حال اگر ماگما یک ماگمای ولکانیکی باشد و در عمق کم ایجاد شود، آب حاصل از آن را آب ولکانیکی می‌گویند. آب حاصل از ماگما که قبلاً جز چرخه آب نبوده، به نام آب جوان (Juvenile water) نامیده می‌شود. بالاخره آب متامورفیک به آبی گفته می‌شود که با دگرگونی سنگ‌ها همراه است.

۱-۲- مبانی هیدرولیک

علم هیدرولیک به کاربرد عملی مکانیک سیالات در امور مهندسی و خواص مایعات و نحوه استفاده آن‌ها در موارد مختلف مهندسی گفته می‌شود. بنیانگذاران واقعی مکانیک سیالات دو دانشمند سوئیسی به نام اولر و برنولی هستند. امروزه نیز قانون برنولی به عنوان یکی از مهمترین قوانین موجود در مکانیک سیالات مطرح است. برای مطالعه قوانین هیدرولیک لازم است که به بیان نیروهای موثر در مایعات و یکسری از مفاهیم اساسی فیزیکی و واحدها پرداخته شود.

- جرم مخصوص: جرم واحد حجم سیال به نام جرم مخصوص نامیده می‌شود. بنابراین اگر μ جرم سیال و V حجم آن باشد، جرم مخصوص ρ زیر به دست می‌آید.

۱-۳- تعادل مایعات

هیدرواستاتیک از قوانین مربوط به مایعات در حال سکون بحث می‌کند. بنابراین در مطالعه سیالات در حال سکون، سیالات حقیقی کامل از هم تفکیک نمی‌شوند ولی تحت یک قانون مشترک مورد بررسی قرار می‌گیرند. در سیالات ساکن نیروی اصطکاک $\tau = 0$ بوده و در نتیجه نیروی مایع وارد بر سطح همواره عمود بر آن خواهد بود. همچنین در هر نقطه از مایع مورد نظر فشار هیدرواستاتیکی در تمام جهات یکسان می‌باشد.

۴-۱- فشار در یک نقطه

فشار نقطه‌ای در یک سیال در تمام جهات یکسان است. در حالت کلی می‌توان گفت که فشار در یک نقطه از مایع بر امتداد سطحی که از آن عبور می‌نماید، عمود بوده و اندازه فشار در این نقطه ثابت است و بستگی به امتداد سطح مزبور ندارد و فقط تابعی از مختصات نقطه مزبور است.

رابطه اساسی تعادل مایعات که به نام رابطه اساسی هیدرواستاتیک نامیده می‌شود، به صورت زیر خواهد بود:

$$P = P_0 + \gamma h$$

پس فشار هیدرواستاتیک با عمق افزایش می‌یابد و تغییرات آن نسبت به عمق خطی است و مقدار فشار در نقاطی که دارای عمق ثابت هستند، برابر می‌باشد. اگر فشار موثر بر سطح آزاد مایع صفر فرض شود، رابطه فوق به صورت $P = \gamma h$ در می‌آید که می‌توان آن را به شکل زیر نوشت:

$$h = \frac{P}{\gamma}$$

که در این رابطه، h به نام ارتفاع نظیر فشار (Pressure head) خوانده می‌شود. معنی آن این است که اگر فشار در نقطه‌ای از سیال برابر P باشد، این فشار قادر است سیال را تا ارتفاع h از نقطه مزبور بالاتر ببرد. به عنوان مثال فشار اتمسفر در سطح دریا برابر یک کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع بوده و ارتفاع نظیر فشار آن برابر ۷۶ سانتی‌متر جیوه یا ۱۰ متر آب است.  نکته: سطوحی که در آن‌ها فشار هیدرواستاتیک مساوی است به نام سطوح هم فشار یا سطوح هم پتانسیل نامیده می‌شود.

مثال

اگر فشار اتمسفر در ناحیه‌ای برابر ۱/۵ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع باشد، میزان فشار در نقطه‌ای در عمق سه متری زیر سطح آب را حساب کنید.

$$P = P_0 + \gamma h = 1/5 + \frac{3 \times 100 \times 1}{1000} = 1/8 \text{ kg/cm}^2$$

۵-۱- روش‌های اندازه‌گیری فشار سیالات

یکی از روش‌های اندازه‌گیری فشار سیالات به طور ساده و معمولی استفاده از پیزومتر و مانومتر است که هر دوی این فشارسنج‌ها اساسشان بر مشاهده تغییر ارتفاع ستونی از مایع که تعادل یافته است، می‌باشد.

-پیزومتر

ساده‌ترین وسیله اندازه‌گیری فشار عبارتست از یک لوله شفاف باریک که یک انتهای آن به طور عمودی به لوله اصلی و یا مخزن نقطه مورد نظر اتصال یافته و سر دیگرش باز می‌باشد. نکته مهم این است که اتصال به نقطه مورد نظر بایستی در جهت عمود بر سطح جدار در آن محل باشد، در غیر این صورت فشار اندازه‌گیری شده درست نخواهد بود. هرگاه فشاری که مورد اندازه‌گیری است، کوچک باشد با مورب کردن لوله پیزومتر می‌توان دقت عمل را زیاده‌تر نمود.

- مانومتر

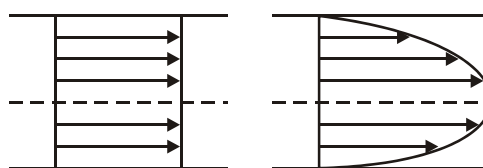
مانومتر حالتی از پیزومتر است که در آن از لوله خمیده U شکل استفاده می‌شود. این کار سبب می‌شود که با آن بتوان هم فشار مایعات و هم فشار گازها را اندازه‌گیری نمود. اگر در آن از جیوه استفاده شود، می‌توان فشارهای بالاتری نسبت به پیزومتر اندازه‌گیری نمود. این وسیله نیز مثل پیزومتر می‌بایست به طور عمودی به محل اتصال نصب شود. بر خلاف پیزومتر می‌توان آن را در بالا یا پایین لوله اصلی متصل نمود.

۱-۶- حرکت سیالات

قبل از این که به شرح قوانین کلی حرکت سیالات بپردازیم، لازم است به بعضی از تعاریف اشاره کنیم:

سیالات ایده‌آل و حقیقی

سیال ایده‌آل یک سیال فرضی است که گرانی و قابلیت تراکم آن صفر باشد. اگرچه بیشتر مایعات را می‌توان عملاً غیرقابل تراکم در نظر گرفت ولی تمام مایعات دارای گرانی هستند. بنابراین هیچ‌وقت سیال ایده‌آل وجود ندارد. اما برای بیان فرمول‌های خاص می‌توان سیال را ایده‌آل در نظر گرفت و پس از این که معادله مربوط به آن به دست آمد، آن را برای سیالات واقعی تعمیم داد. در یک سیال ایده‌آل به علت عدم وجود گرانی و قشرهای مختلف سیال به موازات هم و با سرعت ثابت در حرکت هستند. حال آن که سیالات واقعی به علت وجود گرانی و سرعت قشرهای مختلف سیال باهم متفاوت است.



سیالات ایده‌آل و واقعی

جریان دائم و غیر دائم (Steady and unsteady)

در حالت کلی مشخصات یک سیال (جرم مخصوص، گرانی، فشار و سرعت) تابع شرایط زمانی و مکانی می‌باشند. اگر مشخصات جریان سیال در هر نقطه تابع شرایط مکانی آن نقطه بوده و مستقل از زمان باشد، جریان را دائم یا ماندگار گویند. در جریان دائم، سرعت (V)، فشار (P)، جرم مخصوص (ρ)، درجه حرارت و گرانی سیال در یک نقطه معین با زمان ثابت است. یعنی:

$$\frac{\partial v}{\partial t} = \frac{\partial P}{\partial t} = \frac{\partial \rho}{\partial t} = \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial \mu}{\partial t} = 0$$

در حالتی که مشخصات سیال در یک نقطه در طول زمان تغییر کند، جریان غیردائم نامیده می‌شود.

جریان آرام و متلاطم

در جریان آرام (خطی)، حرکت ذرات مختلف سیال در طول خطوط و لایه‌های موازی صورت می‌گیرد. به عبارت دیگر حرکت ذره سیال اثری روی حرکت سایر ذرات نخواهد داشت. جریان آرام تابع قانون نیوتن ($\tau = n \frac{dv}{dy}$) می‌باشد. جریان آرام وقتی صورت می‌گیرد که سرعت جریان مایع کم و گرانی آن زیاد باشد. در جریان متلاطم، حرکت ذرات مختلف مایع، در

مسیرهای درهم صورت گرفته و حرکت هر ذره در حرکت سایر ذرات نیز موثر است. لذا در جریان متلاطم افت انرژی نیز بیشتر است. در جریان متلاطم قانون نیوتن با یک ضریب به نام ضریب گرانروی موجی به کار برده می‌شود:

$$\tau = n \frac{dv}{dy}$$

n: ضریبی است که علاوه بر خواص مایع به سرعت جریان و جرم مخصوص آن نیز بستگی دارد.

جریان یکنواخت و غیر یکنواخت

اگر سرعت جریان در تمام مسیر آن از نظر مقدار و جهت ثابت باشد، جریان را یکنواخت گویند. به زبان ریاضی می‌توان گفت $\frac{\partial v}{\partial s} = 0$ که در آن v سرعت و s مسیر جریان می‌باشد.

جریان یکنواخت خود ممکن است جریان دائم یا غیر دائم باشد، در حالتی که سرعت مایع در قسمت‌های مختلف مسیر متغیر باشد، جریان یکنواخت گویند.

جریان یک بعدی - دو بعدی - سه بعدی

در حالتی که تغییرات سرعت - فشار و سایر مشخصات جریان در مقطع عمود بر جهت جریان ناچیز باشد، جریان را یک بعدی (One-dimensional) می‌گویند. به عبارت دیگر در این نوع جریان، خطوط مستقیم و موازی یکدیگر می‌باشند. به عنوان مثال می‌توان حرکت مایع ایده‌آل را از درون لوله‌هایی با مقطع یکسان در نظر گرفت.

جریان دو بعدی (Two-dimensional)

حرکت ذرات مایع در صفحات موازی انجام می‌گیرد. در این نوع جریان، خطوط جریان در یک سطح قرار دارند و در جهت عمود بر این سطح هیچ جریانی وجود ندارد. برای مثال حرکت آب از بالای سرریز سدها را می‌توان از این نوع دانست.

جریان سه بعدی (Three-dimensional)

در حالت کلی که سرعت مایع در سه امتداد متغیر بوده و سه مولفه V, U و W آن تابع مختصات مکانی $x-y-z$ و زمان t باشد، جریان را سه بعدی (Three-dimensional) می‌گویند. مثل جریان متلاطم آب در رودخانه‌ها.

شدت جریان یا دبی (Discharge)

شدت جریان عبارت است از مقدار مایعی که در واحد زمان از یک مقطع جریان عبور می‌کند. مقدار سیال را می‌توان به طریق حجم، وزن یا جرم در نظر گرفت ولی در مباحث هیدرولیکی اصولاً از دبی حجمی استفاده می‌شود. اگر یک لوله جریان با مقطع کوچک را در نظر بگیریم، می‌توان سرعت جریان (v) را در تمام نقاط مقطع آن ثابت در نظر گرفت. مقدار حجم مایعی که در واحد زمان از این لوله عبور می‌کند از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$dQ = V.dA$$

که در آن

dQ : شدت جریان

V : سرعت جریان

dA : سطح مقطع لوله جریان می‌باشد.

از آن جا که سرعت مایع در قسمت‌های مختلف مقطع آن یکسان نیست، لذا شدت جریان کلی از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$Q = \int_A v \cdot dA$$

در بعضی موارد برای مقطع جریان A ، سرعت متوسطی در نظر گرفته می‌شود که به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$Q = v_m \cdot A \quad v_m = \frac{Q}{A}$$

این رابطه معادله اصلی دبی و رایج‌ترین معادله محاسبه شدت جریان می‌باشد.

فرمول پیوستگی

این رابطه در واقع بیان دیگری از قانون کلی بقای ماده است و یکی از قوانین مهم مکانیک سیالات است. رابطه عمومی این فرمول به صورت زیر می‌باشد:

$$\rho_1 \int_A v_1 \cdot dA - \rho_2 \int_A v_2 \cdot dA = \int_v \frac{dp}{dt} \cdot dt \cdot v$$

رابطه پیوستگی در مورد جریان دائم سیالات اعم از تراکم پذیر و تراکم ناپذیر به صورت فوق بیان می‌شود. در جریان‌های دائمی ($\frac{dp}{dt} = 0$) رابطه فوق به صورت‌های زیر قابل ساده شدن است.

$$\rho_1 \int_A A_1 v_1 \cdot dA = \rho_2 \int_A A_2 v_2 \cdot dA$$

$$\rho_1 A_1 v_{m1} = \rho_2 A_2 v_{m2} = \text{دبی جرمی}$$

$$\gamma_1 A_1 v_{m1} = \gamma_2 A_2 v_{m2} = \text{دبی وزنی}$$

v_{m1} و v_{m2} سرعت‌های متوسط سیال در دو مقطع هستند. روابط فوق در مورد جریانات دائم سیالات اعم از تراکم‌پذیر و تراکم‌ناپذیر صدق می‌کند. اگر سیال تراکم‌ناپذیر باشد، رابطه به شکل زیر درمی‌آید.

$$A_1 v_{m1} = A_2 v_{m2}$$

این رابطه نشان می‌دهد که اگر سطح مقطع جریان کم باشد، سرعت افزایش می‌یابد و اگر سطح مقطع افزایش یابد، سرعت کاهش می‌یابد.

معادله برنولی

معادله برنولی یکی از اساسی‌ترین معادلات مکانیک سیالات است و در واقع اساس و مبنای مباحث هیدرودینامیکی می‌باشد. در وهله اول معادله برنولی برای جریان دائمی مایعات ایده‌آل در صورتی که مقطع مشخصی از آن در نظر گرفته شود، به صورت رابطه زیر بیان می‌شود.

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g}$$

حال اگر در یک مقطع غیر مشخص از لوله مایع مذکور در ارتفاع z ، فشار و سرعت در آن به ترتیب P و v باشد، آن‌گاه:

$$Z + \frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} = \text{const.}$$

$$\gamma = \rho g$$

معادلات فوق اساس معادله برنولی هیدرولیک بوده و معروف به فرمول برنولی در مورد یک جریان کامل سیال ایده‌آل می‌باشد. همان‌گونه که بیان شد، عملاً بسیاری از مایعات کم و بیش دارای خاصیت ویسکوزیته می‌باشند و نیروی گرانشی وارد بر سطح لوله مایع به صورت نیروی مقاوم عمل می‌کند و در خلاف جهت حرکت مایع تاثیر می‌گذارد. تاثیر آن در رابطه فوق به صورت زیر در می‌آید:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + \Delta H$$

ΔH ارتفاع نظیر افت انرژی و یا ارتفاع نظیر افت بار و یا ارتفاع نظیر افت فشار و یا به طور خلاصه افت فشار بین دو مقطع نامیده می‌شود.

در معادله برنولی ابعاد تمام اجزای فرمول از جنس طول بوده و به اسامی زیر نامیده می‌شوند:

Z : ارتفاع نقطه یا ارتفاع نظیر انرژی پتانسیل

$\frac{P}{\gamma}$: ارتفاع نظیر فشار یا ارتفاع استاتیکی

$\frac{V^2}{2g}$: ارتفاع نظیر سرعت

$$Z + \frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} = H$$

از آنجایی که رابطه برنولی برای دو مقطع دلخواه و غیرمشخص در نظر گرفته شده، بنابراین ارتفاع کل (H) یعنی مجموع ارتفاع مطلق، ارتفاع نظیر فشار و ارتفاع نظیر سرعت در تمام مقطع سیال ایده‌آل مقدار ثابتی است. خطی که مجموع این سه ارتفاع را در نقاط مختلف به هم وصل می‌کند، منحنی پیزومتریک یا شیب هیدرولیکی نامیده می‌شود. برای رسم این منحنی می‌توان در نقاط مختلف مسیر جریان فشارسنج‌هایی نصب کرد و ارتفاع نظیر فشار را در این نقاط اندازه گرفت. خطی که نقاط انتهایی مجموعه ارتفاعات را به هم وصل می‌کند، به نام خط انرژی کل نامیده می‌شود. در سیالات ایده‌آل این خط با سطوح مبنای اولیه موازی است. ولی در سیالات واقعی مقداری از انرژی کل مایع به صورت انرژی حرارتی تبدیل شده و موجب افزایش درجه حرارت می‌شود، در نتیجه خط انرژی یک خط شیب‌دار خواهد بود.

خلاصه فصل

رابطه اساسی تعادل مایعات که به نام رابطه اساسی هیدرواستاتیک نامیده می‌شود، به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$p = p_0 + \gamma h$$

در این رابطه، h را ارتفاع نظیر فشار گویند.

تمامی سیالات به علت دارا بودن گرانشی، جزو سیالات واقعی هستند.

جریانی که سرعت آن در تمام مسیر از نظر مقدار و جهت ثابت باشد، یکنواخت نام دارد.

روابط مهم:

$$\rho_1 \int_A v_1 \cdot dA - \rho_2 \int_A v_2 \cdot dA = \int_v \frac{dp}{dt} \cdot dt \cdot v \Leftarrow \text{فرمول پیوستگی}$$

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} \Leftarrow \text{رابطه برنولی}$$

به دلیل افت انرژی رابطه فوق به صورت زیر در می‌آید.

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + \Delta H$$

تست‌های آخر فصل

۱- رابطه برنولی در مورد چه نوع سیالاتی اعتبار دارد؟
(۱) ایده آل (۲) واقعی (۳) تمامی سیالات (۴) سیالات با گرانروی بالا

۲- در رابطه برنولی، ابعاد Z ، $\frac{p}{\gamma}$ ، $\frac{V^2}{2g}$ به ترتیب از چه جنسی است؟
(۱) طول، طول، طول (۲) بدون بعد، طول، طول (۳) طول، طول، بدون بعد (۴) بدون بعد، بدون بعد، بدون بعد

۳- در رابطه برنولی، Z ، $\frac{p}{\gamma}$ ، $\frac{V^2}{2g}$ معرف چه پارامترهایی هستند؟
(۱) ارتفاع نظیر انرژی پتانسیل، ارتفاع نظیر سرعت، ارتفاع نظیر فشار
(۲) ارتفاع نقطه، ارتفاع نظیر فشار، ارتفاع نظیر سرعت
(۳) ارتفاع نظیر فشار، ارتفاع نظیر سرعت، ارتفاع نظیر انرژی پتانسیل
(۴) ارتفاع نظیر سرعت، ارتفاع نقطه، ارتفاع نظیر فشار

۴- رابطه تعادل مایعات به چه صورتی است؟
(۱) $p = p_0 + \gamma h$ (۲) $p = \gamma h$ (۳) $p = p_0 - \gamma h$ (۴) $p = \frac{p_0}{\gamma} + z$

۵- کدامیک از انواع آبهای زیر جزء، چرخه آب محسوب نمی‌شوند؟
(۱) آب زیرزمینی (۲) آب متامورفیک (۳) آب جوان (۴) آب سطحی

۶- در معادله برنولی $\frac{p}{\gamma} + z$ برابر کدام ارتفاع است؟
(۱) عمق سطح آب از سطح زمین (۲) سطح پیزومتریک (۳) نقطه (۴) نظیر فشار

۷- نقاط A و B روی خطوط پتانسیل ۱۳۷۵ و ۱۳۷۰ قرار گرفته‌اند. اختلاف ارتفاع بین دو نقطه A و B برابر است با: (سراسری ۸۵)

(۱) تفاوت فشار پیزومتریک بین دو نقطه A و B (۲) شیب هیدرولیکی بین نقطه A و B

(۳) $\left(\frac{p_1}{\gamma} + z_1 + \frac{V_1^2}{2g} \right) - \left(\frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \frac{V_2^2}{2g} \right)$ (۴) تفاوت ارتفاع زمین دو نقطه A و B