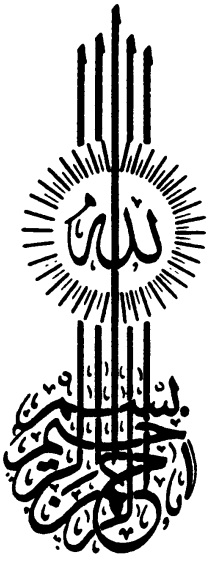
بسم الله الرحمن الرحيم

# ميكانيكا الموائع التطبيقية


**تأليف**

**أ. د. عبدالرحمن علي العذبه**

أستاذ هندسة نظم المياه والري – قسم الهندسة الزراعية

كلية علوم الأغذية والزراعة – جامعة الملك سعود



دار جامعة الملك سعود للنشر
KING SAUD UNIVERSITY PRESS

ص.ب ٦٨٩٥٣ - الرياض ١١٥٣٧ المملكة العربية السعودية

ح دار جامعة الملك سعود للنشر، ١٤٣٧هـ (٢٠١٦م)

*فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر*

العذبه، عبدالرحمن علي

ميكانيكا الموائع التطبيقية./ عبدالرحمن علي العذبه_ ط٢.- الرياض، ١٤٣٧هـ

٥٥٨ص، ١٧×٢٤سم

ردمك: ١-٤٨٤-٥٠٧-٦٠٣-٩٧٨

١- ميكانيكا السوائل أ. العنوان

ديوي ٥٣٢ ١٤٣٧/٤٥١٨

رقم الإيداع: ١٤٣٧/٤٥١٨

ردمك: ١-٤٨٤-٥٠٧-٦٠٣-٩٧٨

نشر هذا الكتاب بناء على موافقة المجلس العلمي في اجتماعه الثاني عشر للعام الدراسي ١٤٣٦/١٤٣٧هـ المعقود بتاريخ ٢٢/٤/١٤٣٧هـ الموافق ١/١/٢٠١٦م، بعد استيفائه شروط التحكيم العلمي بالجامعة.

جميع حقوق النشر محفوظة. لا يسمح بإعادة نشر أي جزء من الكتاب بأي شكل وبأي وسيلة سواء كانت إلكترونية أو آلية بما في ذلك التصوير والتسجيل أو الإدخال في أي نظام حفظ معلومات أو استعادتها بدون الحصول على موافقة كتابية من دار جامعة الملك سعود للنشر.

دار جامعة الملك سعود للنشر
KING SAUD UNIVERSITY PRESS

# إهداء

أهدي هذا العمل المتواضع

إلى الوالدين

وإلى الزوجة والأولاد

وإلى كل مسلم ومسلمة

وإلى كل صادق مخلص

المؤلف

أ.د. عبد الرحمن العذبه

# شكر وتقدير

يتقدم المؤلف بجزيل الشكر وجميل العرفان للشيخ محمد بن حسين العمودي على تمويله ودعمه لبرنامج كراسي البحث بجامعة الملك سعود ttp://www.ksu.edu.sa، حيث مول ثلاثة كراسي بحثية، ومنها "كرسي الشيخ محمد بن حسين العمودي في أبحاث المياه" http://awc.ksu,edu.sa، ويعد هذا الكتاب باكورة إنتاج الكرسي ضمن محور التأليف والترجمة.

كما يود المؤلف التعبير عن خالص الشكر والتقدير للمهندس محمد سيد عبدالجيد المعيد بقسم الهندسة الزراعية http://ageng.ksu.edu.sa على جهوده المضنية والتي بذلها معنا في تنسيق الكتاب ونسخه كتابة على الحاسب الآلي وإخراجه بالصورة المشرفة، فله منا أجمل الثنايا وأثمن العطايا.

المؤلف

أ.د. عبد الرحمن العذبه

# مقدمة الطبعة الثانية

إن نفاد الطبعة الأولى لكتاب ميكانيكا الموائع التطبيقية يؤكد حاجة المكتبة العربية إلى مثل هذه الكتب التخصصية التي تثري معرفة الطالب والباحث على حد سواء، وفي الوقت نفسه، فإن نفاد الكتاب يعكس المستوى العلمي والمهني للكتاب في نسخته الأولى والجهد الذي بذل في تأليفه، ولذلك فإن هذه الطبعة الثانية للكتاب لا تختلف في محتواها عن الطبعة الأولى.

وحيث إن الجهد البشري يظل رهن الخطأ فإننا نقدر ونثمن أي ملاحظات لغوية أو علمية ترد في ثنايا هذا الكتاب، ويسعدنا تلقي تلك الملاحظات وتضمينها في طبعات أخرى قادمة بإذن الله، ونتمنى أن تكون هذه الطبعة الثانية للكتاب حافزاً لبذل المزيد من الجهد لتأليف كتب علمية أخرى تثري مكتبتنا العربية وتفيد القارئ العربي الكريم.

**المؤلف**

**أ.د. عبد الرحمن العذبه**

# المقدمة

تزخر المكتبة العربية بكم من المؤلفات المختلفة في شتى العلوم والمعارف والثقافة والأدب، لكنها تفتقر إلى الكتب الأكاديمية، فضلا عن الكتب العلمية المتخصصة وبخاصة في المجالات الهندسية والتقنية. ونظرا لندرة الكتب العلمية التخصصية ذات الطابع التطبيقي، ولحاجة الدارس لعلم ميكانيكا الموائع إلى مؤلف يجمع بين الأسس النظرية والجوانب التطبيقية، تولدت فكرة تأليف هذا الكتاب، ليكون كتابا دراسيا يجمع بين النظرية والتطبيق، بعيدا عن الإسهاب النظري الذي لا يخدم الجوانب العملية. وبالرغم من أن هذا الكتاب موجها في المقام الأول إلى الطلاب الدارسين في أقسام هندسة النظم الحيوية الزراعية بكافة مساراتها التخصصية المختلفة، إلا أنه بلا شك سيكون رافدا من روافد العلم والمعرفة للطلاب الدارسين في كليات الهندسة خاصة الذين يواجهون صعوبات مع الكتب غير العربية.

تنقسم مواضيع ميكانيكا الموائع إلى ثلاثة أجزاء رئيسة يتناول الجزء الأول منها خصائص الموائع والقوى المؤثرة عليه، بالإضافة إلى الأبعاد والوحدات، وأما الجزء الثاني والجزء الثالث من مواضيع ميكانيكا الموائع فهما منبثقان من المفردة "ميكانيكا" والتي تشتمل على الإستاتيكا، أي السكون، والديناميكا، أي الحركة. ومما يؤكد أن تأليف هذا الكتاب أخذ منحاً مغايرا عن غيره من المؤلفات المماثلة، هو احتواءه على عشرة فصول أغلبها تتناول الجوانب التطبيقية لميكانيكا الموائع، بالإضافة إلى احتواء الكتاب على مجموعة

كبيرة من الأمثلة والتمارين على التطبيقات العملية في مجال الهيدروليكا لتساعد الطالب على الفهم والاستيعاب، حيث بلغ عدد الأمثلة المحلولة أكثر من ١٠٠ مثالاً وتجاوز عدد التمارين ٣٣٠ تمريناً، أما عدد الأسئلة النظرية فقد بلغ ٢١٥ سؤالاً.

ويحتوي الكتاب على مقدمة وعشرة فصول تقع في ٥٥٨ صفحة ويتطرق كل فصل إلى شرح مفصل للأسس النظرية وللتطبيقات العملية مدعمة بالأمثلة المحلولة والمسائل المتنوعة في نهاية كل فصل من فصول الكتاب.

وكذلك يحتوي كل فصل على الجداول الهيدروليكية والمنحنيات البيانية والرسوم الهندسية الخاصة بموضوعات الفصل، بالإضافة إلى احتوائه على المراجع التي تم الرجوع إليها، ومسرد الرموز الذي يوضح معظم الرموز التي تم أخذها في الاعتبار أثناء تحرير الكتاب وقائمة بالاختصارات المهمة في مجال ميكانيكا الموائع وكذلك ثبت للمصطلحات العلمية وكشاف للموضوعات يسهل للطالب والباحث التنقيب عن موضوع بذاته فيجده بكل يسر وسهولة.

الفصل الأول بعنوان **الأبعاد والوحدات**، ويتناول هذا الفصل بطريقة مبسطة وعملية تناسب الطالب المبتدئ ويشتمل على تعريف البعد والوحدة، والتقسيم العام للخواص الطبيعية والميكانيكية، وأهمية وتطبيقات التحليل البعدي، وأنظمة قياس الوحدات.

الفصل الثاني بعنوان **خواص الموائع والقوى المرتبطة بها**، ويشتمل هذا الفصل على حالات المادة، والعلاقة بين الكتلة والكثافة، والكثافة والقوى العاطلة، والوزن والوزن النوعي، والوزن النوعي والكثافة، والوزن النوعي وقوى الجاذبية، والكثافة النوعية والحجم النوعي، واللزوجة الديناميكية واللزوجة المطلقة، واللزوجة الديناميكية وقوى اللزوجة، والمائع المثالي والمائع النيوتوني وغير النيوتوني، واللزوجة الكينماتيكية، ومعامل المرونة الحجمي، ومعامل التوتر السطحي والخاصية الشعرية.

الفصل الثالث بعنوان **سكون الموائع**، ويتناول هذا الفصل القوى المؤثرة على السوائل الساكنة، تغير الضغط في السائل الساكن، التعبير عن الضغط بعمود من السائل، الضغط المطلق والضغط القياسي، أجهزة قياس الضغط داخل الأنابيب.

الفصل الرابع بعنوان **القوى المؤثرة على الأسطح المغمورة**، ويتناول تلك القوى سواء على الأسطح المستوية أو على الأسطح المنحنية.

الفصل الخامس بعنوان **تدفق الموائع غير القابلة للانضغاط (السوائل)**، ويتناول هذا الفصل القوى المسببة لحركة السوائل، الأرقام اللابعدية، أنواع السريان، تجربة رينولد لتحديد نوع السريان، توزيع السرعات في الأنابيب للسريان الطبقي والمضطرب، المعادلات الأساسية لديناميكا السوائل، قياس التصرف في الأنابيب.

الفصل السادس بعنوان **تدفق الموائع القابلة للانضغاط (الغازات)**، ويتناول هذا العلاقات الأساسية في الديناميكا الحرارية، عمليات الديناميكا الحرارية الأساسية، المعادلات الأساسية لتدفق الغازات، انتشار الاضطرابات في الموائع القابلة للانضغاط، والسرعة الصوتية.

الفصل السابع بعنوان **فواقد الطاقة في الأنابيب**، ويتناول هذا الفصل حساب الفواقد الرئيسة (فاقد الاحتكاك)، وإجهاد القص وعلاقته بالاحتكاك في الأنابيب، فاقد الاحتكاك في حالة وجود مخارج في الأنبوب، الفواقد الثانوية.

الفصل الثامن **بعنوان تطبيقات على معادلة الطاقة والفواقد في الأنابيب**، ويتناول هذا الفصل أهم التطبيقات الهيدروليكية في الحياة العملية مثل أنبوب يصل بين خزانين، أنبوب سيفوني يصل بين خزانيين، أنبوب يخرج من خزان ويصب في الهواء، أنبوب يخرج من خزان وينتهي ببشبوري يصب في الهواء، أنبوب به كسر يؤدي لحدوث تسرب، أنبوب به فتحات على مسافات متساوية، أنبوب به كوع يغير اتجاه السريان، أنبوب مركب عليه مضخة، توصيل الأنابيب على التوالي، الأنبوب المكافئ لتوصيل الأنابيب على التوالي، توصيل الأنابيب على التوازي، تلاقي ثلاثة خزانات، شبكات الأنابيب.

الفصل التاسع بعنوان **القنوات المكشوفة**، ويتناول هذا الفصل قطاعات القنوات، خواص القطاعات، القنوات المكشوفة العريضة، القوى المسببة للسريان في القنوات المكشوفة، الأرقام اللابعدية في القنوات المكشوفة، أنواع السريان، نظم السريان، معادلة السريان المنتظم، معادلة تشيزي للسريان في القنوات، المعادلات التجريبية المستخدمة

لتحديد معامل تشيزي، توزيع السرعات في القنوات المكشوفة، المقطع الهيدروليكي الأمثل، تصميم القنوات المائية المكشوفة، الطاقة النوعية، قياس التصرف في القنوات المكشوفة.

الفصل العاشر بعنوان **أسئلة نظرية شاملة**، ويتضمن هذا الفصل مجموعة كبيرة من الأسئلة الخاصة بمحتويات الكتاب لتعويد الطالب على نمط الأسئلة النظرية التي قد تمر به في الاختبارات أثناء مسيرته الدراسية، أو في الحياة العملية التطبيقية.

وأنني إذ أقدم هذا الكتاب أتمنى من العلي القدير أن يكون في المستوى المطلوب وأن يحقق الغرض الذي وضع من أجله وأن يعم بنفعه الجميع. ونسأل الله التوفيق والسداد.

والله ولي التوفيق؛؛؛

**المؤلف**

**أ.د. عبد الرحمن العذبه**

# المحتويات

الصفحة


**إهداء** ..... **هـ**

**شكر وتقدير** ..... **ز**

**مقدمة الطبعة الثانية**..... **ط**

**المقدمة** ..... **ك**

**قائمة الأشكال** ..... **ش**

**قائمة الجداول** ..... **ذ**

**الفصل الأول: الأبعاد والوحدات** ..... **١**

(١,١) تعريف البعد والوحدة ..... ١

(١,٢) التقسيم العام للخواص الطبيعية والميكانيكية ..... ٢

(١,٣) التقسيم النوعي للخواص الطبيعية والميكانيكية ..... ٣

(١,٤) أهمية وتطبيقات التحليل البعدي ..... ٥

(١,٥) أمثلة على تطبيقات التحليل البعدي ..... ٦

(١,٦) أنظمة قياس الوحدات ..... ١١

(١,٧) أمثلة على وحدات القياس ..... ١٥

(١,٨) مسائل منوعة ..... ١٦

**الفصل الثاني: خواص الموائع والقوى المرتبطة بها ..... ١٩**

(٢,١) حالات المادة ..... ١٩

(٢,٢) الكتلة M والكثافة P..... ٢١

(٢,٣) الكثافة P وقوى العطالة (قوى القصور الذاتي) $F_I$ ..... ٢٢

(٢,٤) الوزن W والوزن النوعي $\gamma$ ..... ٢٣

(٢,٥) الوزن النوعي $\gamma$ والكثافة P ..... ٢٣

(٢,٦) الوزن النوعي $\gamma$ وقوى الجاذبية Fg ..... ٢٤

(٢,٧) الكثافة النوعية أو النسبية S ..... ٢٤

(٢,٨) الحجم النوعي U ..... ٢٥

(٢,٩) اللزوجة الديناميكية أو المطلقة $\mu$ ..... ٢٥

(٢,١٠) اللزوجة الديناميكية $\mu$ وقوى اللزوجة Fv ..... ٢٦

(٢,١١) المائع المثالي واللزوجة الديناميكية ..... ٢٦

(٢,١٢) الموائع النيوتينية وغير النيوتينية ..... ..... ٢٩

(٢,١٣) اللزوجة الكينماتيكية $\nu$ ..... ٣٠

(٢,١٤) معامل المرونة الحجمي $E_\forall$ ..... ٣٢

(٢,١٥) معامل التوتر السطحي $\sigma$ والخاصية الشعرية ..... ٣٣

(٢,١٦) أمثلة محلولة ..... ٤٠

(٢,١٧) مسائل منوعة ..... ٥٥

**الفصل الثالث: سكون الموائع (استاتيكا الموائع) ..... ٦٣**

(٣,١) القوة المؤثرة على الموائع الساكنة ..... ٦٣

(٣,٢) تغير الضغط في السائل الساكن ..... ٦٩

(٣,٣) التعبير عن الضغط بعمود من السائل ..... ٧٠

(٣,٤) الضغط المطلق والضغط المقياسي ..... ٧١

(٣,٥) ثبات الضغط في الغاز الساكن ..... ٧٢
(٣,٦) أجهزة قياس الضغط داخل الأنابيب ..... ٧٢
(٣,٧) أمثلة محلولة ..... ٧٨
(٣,٨) مسائل منوعة ..... ٨٦

**الفصل الرابع: القوى المؤثرة على الأسطح المغمورة ..... ٩٣**
(٤,١) قوة الضغط الهيدروستاتيكي على الأسطح المستوية ..... ٩٣
(٤,٢) قوة الضغط الهيدروستاتيكي على الأسطح المنحنية ..... ١٠٠
(٤,٣) أمثلة محلولة ..... ١٠٤
(٤,٤) مسائل منوعة ..... ١٢٠

**الفصل الخامس: تدفق الموائع غير القابلة للانضغاط (السوائل) .... ١٢٩**
(٥,١) القوى المسببة لحركة الموائع ..... ١٢٩
(٥,٢) الأرقام اللابعدية ..... ١٣١
(٥,٣) أنواع السريان ..... ١٣٣
(٥,٤) تجربة رينولد لتحديد نوع السريان طبقي أو مضطرب ..... ١٣٦
(٥,٥) توزيع السرعات في الأنابيب للسريان الطبقي والمضطرب .. ١٣٩
(٥,٦) أمثلة محلولة على أنواع السريان ..... ١٤٢
(٥,٧) المعادلات الأساسية لديناميكا السوائل ..... ١٤٤
(٥,٨) طرق قياس التصرف في الأنابيب ..... ١٧٤
(٥,٩) أمثلة محلولة على قياسات التدفق ..... ١٩٥
(٥,١٠) مسائل منوعة ..... ٢٠٦

**الفصل السادس: تدفق الموائع القابلة للانضغاط (الغازات)** ..... **٢٢١**
(٦,١) العلاقات الأساسية في الديناميكا الحرارية .... ..... ٢٢١
(٦,٢) عمليات الديناميكا الحرارية الأساسية ..... ٢٢٨
(٦,٣) المعادلات الأساسية لتدفق الغازات ..... ٢٣٠
(٦,٤) انتشار الاضطرابات في الموائع القابلة للانضغاط والسرعة الصوتية ٢٣٤
(٦,٥) أمثلة محلولة ..... ٢٤١
(٦,٦) مسائل منوعة ..... ٢٥٩

**الفصل السابع: فواقد الطاقة في الأنابيب** ..... **٢٦٣**
(٧,١) حساب الفواقد الرئيسة (الاحتكاك) ..... ٢٦٤
(٧,٢) إجهاد القص وعلاقته بالاحتكاك في الأنابيب ..... ٢٧٧
(٧,٣) أمثلة محلولة على فواقد الاحتكاك ..... ٢٨٠
(٧,٤) فواقد الاحتكاك في حالة وجود مخارج على أنبوب السريان . ٣٠٢
(٧,٥) الفواقد الثانوية ..... ٣٠٥
(٧,٦) أمثلة محلولة على الفواقد الثانوية ..... ٣٠٩
(٧,٧) مسائل منوعة ..... ٣١٤

**الفصل الثامن: تطبيقات على معادلة الطاقة والفواقد في الأنابيب** .. **٣٢٥**
(٨,١) أنبوب يصل بين خزانين ..... ٣٢٥
(٨,٢) أنبوب سيفوني يصل بين خزانين ..... ٣٢٦
(٨,٣) أنبوب يخرج من خزان ويصب في الهواء ..... ٣٢٧
(٨,٤) أنبوب يخرج من خزان ومنتهي ببشبوري ويصب في الهواء .. ٣٢٨
(٨,٥) أنبوب به كسر يؤدي لحدوث تسرب ..... ٣٢٨
(٨,٦) أنبوب به فتحات على مسافات متساوية ..... ٣٢٩

(٨,٧) أنبوب به كوع يغير اتجاه السريان ..... ٣٣٠
(٨,٨) أنبوب مركب عليه مضخة ..... ٣٣١
(٨,٩) توصيل الأنابيب على التوالي ..... ٣٣٤
(٨,١٠) الأنبوب المكافئ لتوصيل الأنابيب على التوالي ..... ٣٣٧
(٨,١١) توصيل الأنابيب على التوازي ..... ٣٣٨
(٨,١٢) تلاقي ثلاثة خزانات ..... ٣٤٠
(٨,١٣) شبكات الأنابيب ..... ٣٤٤
(٨,١٤) أمثلة محلولة ..... ٣٤٨
(٨,١٥) مسائل منوعة ..... ٣٧٨

**الفصل التاسع: القنوات المكشوفة ..... ٣٩٥**
(٩,١) قطاعات القنوات ..... ٣٩٦
(٩,٢) خواص القطاعات ..... ٣٩٩
(٩,٣) القنوات المكشوفة العريضة ..... ٤٠٠
(٩,٤) القوى المسببة للسريان في القنوات المائية المكشوفة ..... ٤٠١
(٩,٥) الأرقام اللابعدية المهمة في القنوات المائية المكشوفة ..... ٤٠٢
(٩,٦) أنواع السريان ..... ٤٠٣
(٩,٧) معادلة السريان المنتظم أو معادلة مقاومة السريان ..... ٤١٢
(٩,٨) إجهاد القص المتوسط في القنوات العريضة ..... ٤١٤
(٩,٩) معادلة تشيزي للسريان في القنوات ..... ٤١٥
(٩,١٠) المعادلات التجريبية المستخدمة لتحديد معامل تشيزي ..... ٤١٧
(٩,١١) توزيع السرعات في القنوات المكشوفة ..... ٤٣٦
(٩,١٢) المقطع الهيدروليكي الأمثل ..... ٤٣٨
(٩,١٣) تصميم القنوات المائية المكشوفة ..... ٤٤٠

(٩,١٤) الطاقة النوعية **E** ..... ٤٤٩
(٩,١٥) قياس التصرف في القنوات المائية المكشوفة ..... ٤٥٥
(٩,١٦) مسائل منوعة ..... ٤٦٩

**الفصل العاشر: أسئلة نظرية شاملة** ..... **٤٨١**

**المراجع** ..... **٥١١**
**مسرد الرموز** ..... **٥١٩**
**قائمة الاختصارات** ..... **٥٢٥**
**ثبت المصطلحات** ..... **٥٢٧**
**أولاً: عربي – إنجليزي** ..... **٥٢٧**
**ثانياً: إنجليزي – عربي** ..... **٥٣٨**
**كشاف الموضوعات**..... **٥٤٩**

# قائمة الأشكال

**الصفحة**


الشكل رقم (٢,١). تأثير قوى الضغط على حالات المادة الثلاثة ..... ٢١
الشكل رقم (٢,٢). تأثير قوى القص على حالات المادة الثلاثة ..... ٢١
الشكل رقم (٢,٣). منحنى توزيع السرعة لمائع لزج ..... ٢٨
الشكل رقم (٢,٤). العلاقة بين إجهاد القص وانحدار السرعة (معدل الانفعال) لأنواع مختلفة من الموائع..... ٣١
الشكل رقم (٢,٥). ارتفاع الماء في أنبوب شعري نتيجة قوى الشد السطحي ..... ٣٥
الشكل رقم (٢,٦). ارتفاع الماء في أنبوب شعري يعتمد على قطر الأنبوب، وانخفاض الزئبق في أنبوب شعري نتيجة قوى الشد السطحي ..... ٣٧
الشكل رقم (٣,١). الضغط وهو قوة عمودية على المساحة ..... ٦٣
الشكل رقم (٣,٢). قوة الضغط المؤثرة على جزئي من مائع ساكن ..... ٦٥
الشكل رقم (٣,٣). تغير الضغط من موقع إلى آخر في السائل الساكن ..... ٦٩
الشكل رقم (٣,٤). تأثير الوزن النوعي للسائل على الضغط ..... ٧٠
الشكل رقم (٣,٥). الضغط المطلق والضغط المقياسي..... ٧١
الشكل رقم (٣,٦). ثبات الضغط في جميع المواقع في الغاز الساكن ..... ٧٢
الشكل رقم (٣,٧). مقياس بوردون لقياس الضغط في الأنابيب ..... ٧٣
الشكل رقم (٣,٨). عمود البيزومتر لقياس الضغط في الأنابيب ..... ٧٤
الشكل رقم (٣,٩). المانومتر البسيط لقياس الضغط في الأنابيب ..... ٧٥
الشكل رقم (٣,١٠). المانومتر الفرقي لقياس فرق الضغط بين نقطتين في الأنابيب ..... ٧٦
الشكل رقم (٣,١١). المانومتر الفرقي المقلوب لقياس فرق الضغط بين نقطتين في الأنابيب ..... ٧٦

الشكل رقم (٤,١). توزيع الضغط على سطح أفقي وقوة الضغط اتجاهاً ونقطة تأثيرها ..... ٩٤
الشكل رقم (٤,٢). علاقة وزن السائل بقوة الضغط المؤثرة على سطح أفقي مغمور ..... ٩٥
الشكل رقم (٤,٣). توزيع الضغط على سطح مائل، وقوة الضغط اتجاهاً ونقطة تأثيرها ..... ٩٦
الشكل رقم (٤,٤). توزيع الضغط على سطح منحني، وقوة الضغط اتجاهاً ونقطة تأثيرها ..... ١٠٢
الشكل رقم (٥,١). السريان المستقر وغير المستقر ..... ١٣٣
الشكل رقم (٥,٢). السريان المنتظم وغير المنتظم ..... ١٣٤
الشكل رقم (٥,٣). السريان الطبقي والسريان المضطرب ..... ١٣٥
الشكل رقم (٥,٤). السرعات الحرجة عند تحول السريان من طبقي إلى مضطرب والعكس .. ١٣٦
الشكل رقم (٥,٥). تجربة رينولد للسريان الطبقي والسريان المضطرب ..... ١٣٧
الشكل رقم (٥,٦). منحنى توزيع السرعة في الأنابيب ..... ١٤٠
الشكل رقم (٥,٧). حفظ الكتلة ومعادلة الاستمرارية ..... ١٤٥
الشكل رقم (٥,٨). حفظ الطاقة ومعادلة الطاقة ..... ١٤٧
الشكل رقم (٥,٩). استنباط معادلة برنولي ..... ١٥٠
الشكل رقم (٥,١٠). خطوط الطاقة للسوائل المثالية والسوائل الحقيقية ..... ١٥٣
الشكل رقم (٥,١١). استنباط معادلة كمية الحركة ..... ١٥٥
الشكل رقم (٥,١٢). قطاع في عداد يستخدم في قياس التصرف في الأنابيب ..... ١٧٥
الشكل رقم (٥,١٣). بعض أشكال أجهزة الروتميتر ..... ١٧٦
الشكل رقم (٥,١٤). جهاز الموجات فوق الصوتية ..... ١٧٨
الشكل رقم (٥,١٥). قياس التصرف بطريقة الإحداثيات لنهاية أنبوب أفقي ..... ١٧٩
الشكل رقم (٥,١٦). قياس التصرف بطريقة الإحداثيات لنهاية أنبوب رأسي ..... ١٨١
الشكل رقم (٥,١٧). أنبوب بيتوت ..... ١٨٣
الشكل رقم (٥,١٨). مقياس الفنشوري..... ١٨٣
الشكل رقم (٥,١٩). مقياس الفتحة ..... ١٨٦
الشكل رقم (٥,٢٠). مقياس الفوهة ..... ١٨٧
الشكل رقم (٥,٢١). مقياس الفوهة الحرة ..... ١٨٨
الشكل رقم (٥,٢٢). تحديد معاملات التصرف لمقياس الفوهة الحرة ..... ١٩٠
الشكل رقم (٥,٢٣). تحديد زمن تفريغ سائل من خزان عبر فوهة حرة في قاعه ..... ١٩٢
الشكل رقم (٦,١). انتشار الاضطرابات في الموائع القابلة للانضغاط والسرعة الصوتية ..... ٢٣٥
الشكل رقم (٧,١). فاقد الاحتكاك في أنبوب نتيجة سريان مائع ..... ٢٦٣
الشكل رقم (٧,٢). الخشونة المطلقة E في الأنابيب ..... ٢٦٨

| | | |
|---|---|---|
| الشكل رقم (٧,٣). | الرسم التخطيطي لمنحنيات مودي لتحديد معامل الاحتكاك في الأنابيب.. | ٢٧٢ |
| الشكل رقم (٧,٤). | قوى القص وقوى الضغط المؤثرة على الأنبوب ..... | ٢٧٨ |
| الشكل رقم (٧,٥). | توزيع إجهاد القص في الأنابيب أثناء التدفق ..... | ٢٨٠ |
| الشكل رقم (٨,١). | أنبوب يصل بين خزانين ..... | ٣٢٥ |
| الشكل رقم (٨,٢). | أنبوب سيفوني يصل بين خزانين ..... | ٣٢٦ |
| الشكل رقم (٨,٣). | أنبوب يخرج من خزان ويصب في الهواء ..... | ٣٢٧ |
| الشكل رقم (٨,٤). | أنبوب يخرج من خزان ومنتهي ببشبوري ويصب في الهواء ..... | ٣٢٨ |
| الشكل رقم (٨,٥). | أنبوب يصل بين خزانين وبه كسر يؤدي لحدوث تسرب ..... | ٣٢٩ |
| الشكل رقم (٨,٦). | أنبوب به فتحات على مسافات متساوية يخرج منها تصرف ..... | ٣٣٠ |
| الشكل رقم (٨,٧). | أنبوب به كوع يغير اتجاه السريان ..... | ٣٣٠ |
| الشكل رقم (٨,٨). | أنبوب مركب عليه مضخة لحدوث تدفق من خزان ذو منسوب أقل إلى خزان ذو منسوب أعلى ..... | ٣٣٢ |
| الشكل رقم (٨,٩). | أنبوب مركب عليه مضخة لزيادة التدفق من خزان إلى أخر ..... | ٣٣٢ |
| الشكل رقم (٨,١٠). | توصيل بين خزانين بواسطة عدة أنابيب متصلة على التوالي ..... | ٣٣٥ |
| الشكل رقم (٨,١١). | توصيل بين خزانين بواسطة عدة أنابيب متصلة على التوازي ..... | ٣٣٩ |
| الشكل رقم (٨,١٢). | توصيل بين ثلاثة خزانات بفرض عدم وجود سريان من أو إلى الخزان الأوسط ..... | ٣٤١ |
| الشكل رقم (٨,١٣). | توصيل بين ثلاثة خزانات بفرض حدوث تدفق من نقطة تلاقي الخزانات الثلاثة J إلى الخزان الأوسط ..... | ٣٤١ |
| الشكل رقم (٨,١٤). | توصيل بين ثلاثة خزانات بفرض حدوث تدفق من الخزان الأوسط إلى نقطة تلاقي الخزانات الثلاثة J ..... | ٣٤٢ |
| الشكل رقم (٨,١٥). | شبكات الأنابيب ..... | ٣٤٥ |
| الشكل رقم (٨,١٦). | مثال يوضح خطوات حل مسائل شبكات الأنابيب ..... | ٣٤٧ |
| الشكل رقم (٩,١). | قطاع عرضي لقناة مكشوفة وخطوط الطاقة لقطاعها الطولي ..... | ٣٩٥ |
| الشكل رقم (٩,٢). | مسميات قطاعات القناة المختلفة ..... | ٣٩٦ |
| الشكل رقم (٩,٣). | القطاعات الهندسية للقنوات المائية المكشوفة ..... | ٣٩٧ |
| الشكل رقم (٩,٤). | حالات القطاع الدائري للقنوات المائية المكشوفة ..... | ٣٩٨ |
| الشكل رقم (٩,٥). | خواص القطاعات من خلال قناة مكشوفة على الشكل شبه منحرف .... | ٣٩٩ |
| الشكل رقم (٩,٦). | السريان فوق الحرج ..... | ٤٠٣ |
| الشكل رقم (٩,٧). | السريان تحت الحرج ..... | ٤٠٤ |

الشكل رقم (٩,٨). السريان الحرج ..... ٤٠٤
الشكل رقم(٩,٩). تقسيمات أنواع السريان في القنوات المائية المكشوفة ..... ٤٠٧
الشكل رقم (٩,١٠). أنواع السريان في القنوات المائية المكشوفة ومسبباتها ..... ٤٠٧
الشكل رقم (٩,١١). أنواع السريان المتغير في القنوات المائية المكشوفة بسبب بوابات التحكم والهدارات والسقوط الهيدروليكي ..... ٤٠٨
الشكل رقم (٩,١٢). القوى المسببة لحركة الماء في القنوات المائية المكشوفة ..... ٤١٢
الشكل رقم (٩,١٣). حساب عمق الماء المنتظم في القنوات المائية المكشوفة ..... ٤٢٣
الشكل رقم (٩,١٤). حساب عمق الماء الحرج في القنوات المائية المكشوفة ..... ٤٢٥
الشكل رقم (٩,١٥). التصرف في القنوات المائية المكشوفة دائرية المقطع ..... ٤٣١
الشكل رقم (٩,١٦). منحنى توزيع السرعة في القنوات المائية المكشوفة ..... ٤٣٦
الشكل رقم (٩,١٧). خطوط السرعات المتساوية في بعض قطاعات القنوات المائية المكشوفة ... ٤٣٧
الشكل رقم (٩,١٨). الطاقة النوعية وخطوط الطاقة في القنوات المائية المكشوفة ..... ٤٤٩
الشكل رقم (٩,١٩). تغير منحنى الطاقة النوعية مع عمق السريان عند ثبات التصرف وتأثير ذلك على نوع السريان ..... ٤٥٠
الشكل رقم (٩,٢٠). تغير منحنى الطاقة النوعية مع التصرف المار بالقناة وتأثير ذلك على نوع السريان والعمق الحرج ..... ٤٥١
الشكل رقم (٩,٢١). تغير منحنى التصرف مع عمق السريان عند ثبات الطاقة النوعية وتأثير ذلك على نوع السريان ..... ٤٥١
الشكل رقم (٩,٢٢). استخدام أنبوب بيتوت لحساب سرعة السريان في القنوات المائية المكشوفة..... ٤٥٧
الشكل رقم (٩,٢٣). الهدار كعائق للسريان في القنوات المائية المكشوفة ..... ٤٥٨
الشكل رقم (٩,٢٤). أنواع الهدارات تبعاً للشكل وأبعاد المقطع ..... ٤٥٩
الشكل رقم (٩,٢٥). أنواع الهدارات تبعاً لشكل فتحة الهدار ..... ٤٦٠
الشكل رقم (٩,٢٦). أنواع الهدارات تبعاً للانضغاط الجانبي ..... ٤٦١
الشكل رقم (٩,٢٧). أنواع الهدارات تبعاً لعمق المياه خلف الهدار ..... ٤٦١
الشكل رقم (٩,٢٨). مسقط أفقي ومسقط جانبي لمسيل بارشال ..... ٤٦٤
الشكل رقم (٩,٢٩). علاقة التصرف بارتفاع الماء Ha لعرض عنق مختلف لمسيل بارشال ..... ٤٦٦

# قائمة الجداول

**الصفحة**


الجدول رقم (١,١). التقسيم الكمي للخواص الطبيعية (الفيزيائية) وأبعاد كل منها ..... ٤

الجدول رقم (١,٢). الوحدات الأساسية والثانوية للكميات الأساسية لنظم الوحدات المختلفة ..... ١١

الجدول رقم (١,٣). أنظمة وحدات القياس المختلفة والعلاقة بينها ..... ١٢

الجدول رقم (١,٤). مجموعة البادئات المستخدمة في النظام العالمي ..... ١٤

الجدول رقم (٢,١). مقارنة بين المائع المثالي والمائع الحقيقي ..... ٢٩

الجدول رقم (٢,٢). مقارنة بين الموائع النيوتينية والموائع غير النيوتينية ..... ٣١

الجدول رقم (٢,٣). الخواص الطبيعية للماء في الظروف الطبيعية ..... ٣٨

الجدول رقم (٢,٤). الخواص الطبيعية للماء عند درجات حرارة مختلفة ..... ٣٨

الجدول رقم (٢,٥). الكثافة النسبية واللزوجة الكينماتيكية لبعض السوائل عند درجة حرارة تساوي تقريباً 20 درجة مئوية ..... ٣٩

الجدول رقم (٢,٦). الكثافة النسبية واللزوجة الكينماتيكية لبعض الغازات عند درجة حرارة تساوي تقريباً 20 درجة مئوية وضغط 1.013 بار ..... ٤٠

الجدول رقم (٦,١). الخواص الفيزيائية للغازات الشائعة مقاسة على منسوب سطح البحر ودرجة حرارة تساوي تقريباً 20 درجة مئوية ..... ٢٢٥

الجدول رقم (٦,٢). الخواص الفيزيائية للهواء عند الضغط الجوي القياسي ..... ٢٢٥

الجدول رقم (٦,٣). الضغط الجوي القياسي على ارتفاعات مختلفة من سطح البحر .... ٢٢٦

الجدول رقم (٧,١). معامل هيزن–ويليم للاحتكاك $C_{HW}$ لأنواع مختلفة من الأنابيب .. ٢٦٥

الجدول رقم (٧,٢). معامل سكوبي للاحتكاك $K_S$ لأنواع مختلفة من الأنابيب ..... ٢٦٦

الجدول رقم (٧,٣). الخشونة الداخلية (المطلقة) e لأنواع مختلفة من الأنابيب ..... ٢٧٠
الجدول رقم (٧,٤). معامل التصحيح F لفاقد الاحتكاك $h_f$ لخطوط الرشاشات ..... ٣٠٣
الجدول رقم (٩,١). خواص القطاعات لأشكال هندسية مختلفة ..... ٤٠١
الجدول رقم (٩,٢). قيم معامل مانق للخشونة n ..... ٤١٩
الجدول رقم (٩,٣). معامل بازن m لبعض القنوات المكشوفة ..... ٤٢٠
الجدول رقم (٩,٤). المقطع الهيدروليكي الأمثل لأشكال هندسية مختلفة ..... ٤٤٠
الجدول رقم (٩,٥). أقصى سرعات مسموح بها ($V_{max}$)في قنوات قابلة للانجراف .... ٤٤٤
الجدول رقم (٩,٦). الأبعاد القياسية لمسيل بارشال وحدود التصرف حسب عرض العنق
للسريان الحر ..... .... ٤٦٥