بسمه تعالی

## تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه

**آقای علیرضا قانع عزآبادی** پایان نامه ٦ واحدی خود را **با عنوان طراحی ،ساخت وتحلیل یك دبی سنج اولتراسونیك** در تاریخ ۱۳۹۰/۱۱/۸ ارائه کردند.

اعضای هیات داوران نسخه نهایی این پایان نامه را از نظر فرم و محتوا تایید کرده و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک - ساخت وتولید پیشنهاد می کنند.

| عضو هیات داوران | نام و نام خانوادگی | رتبه علمی | امضا |
|---|---|---|---|
| **استاد راهنما** | **دکتر یوسف حجت** | **دانشیار** | |
| **استاد ناظر** | **دکتر مجتبی قدسی** | **استادیار** | |
| **استاد ناظر** | **دکتر مصطفی محمدیان** | **دانشیار** | |
| **استاد ناظر** | **دکتر فرشاد برازنده** | **استادیار** | |
| **مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)** | **دکتر مجتبی قدسی** | **استادیار** | |

## آیین نامه چاپ پایان‌نامه (رساله)های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله)های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشگاه است، بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله)ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲: در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه) عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد نگارنده در رشته مهندسی مکانیک گرایش ساخت و تولید است که در سال ۱۳۹۰ در دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی جناب آقای دکتر یوسف حجت از آن دفاع شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت‌چاپ) را به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر درمعرض فروش قرار دهد.

ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت مدرس، تأدیه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می‌کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می‌دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده نگارنده برای فروش، تامین نماید.

ماده ۶: اینجانب علیرضا قانع عزابادی دانشجوی رشته مهندسی مکانیک گرایش ساخت و تولید مقطع کارشناسی ارشد تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: علیرضا قانع عزابادی

تاریخ و امضا: ۹۱/۴/۱۱

## آیین‌نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهشهای علمی دانشگاه تربیت مدرس

**مقدمه:** با عنایت به سیاست‌های پژوهشی و فناوری دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیأت علمی، دانشجویان، دانش‌آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد زیر را رعایت نمایند:

ماده ۱- حق نشر و تکثیر پایان نامه/ رساله و درآمدهای حاصل از آنها متعلق به دانشگاه می باشد ولی حقوق معنوی پدید آورندگان محفوظ خواهد بود.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان‌نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و با تایید استاد راهنمای اصلی، یکی از اساتید راهنما، مشاور و یا دانشجو مسئول مکاتبات مقاله باشد. ولی مسئولیت علمی مقاله مستخرج از پایان نامه و رساله به عهده اساتید راهنما و دانشجو می باشد.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش‌آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه/ رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار کتاب، نرم افزار و یا آثار ویژه (اثری هنری مانند فیلم، عکس، نقاشی و نمایشنامه) حاصل از نتایج پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی کلیه واحدهای دانشگاه اعم از دانشکده ها، مراکز تحقیقاتی، پژوهشکده ها، پارک علم و فناوری و دیگر واحدها باید با مجوز کتبی صادره از معاونت پژوهشی دانشگاه و براساس آئین نامه های مصوب انجام شود.

ماده ٤- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه یافته ها در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق معاونت پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ٥- این آیین‌نامه در ٥ ماده و یک تبصره در تاریخ ۸۷/٤/۱ در شورای پژوهشی و در تاریخ ۸۷/٤/۲۳ در هیأت رئیسه دانشگاه به تایید رسید و در جلسه مورخ ۸۷/۷/۱۵ شورای دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب در شورای دانشگاه لازم‌الاجرا است.

«اینجانب ..... دانشجوی رشته ..... ورودی سال تحصیلی ۱۳۸۷ ..... مقطع ..... دانشکده ..... متعهد می شوم کلیه نکات مندرج در آئین نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش های علمی دانشگاه تربیت مدرس را در انتشار یافته های علمی مستخرج از پایان نامه / رساله تحصیلی خود رعایت نمایم. در صورت تخلف از مفاد آئین نامه فوق الاشعار به دانشگاه وکالت و نمایندگی می دهم که از طرف اینجانب نسبت به لغو امتیاز اختراع بنام بنده و یا هر گونه امتیاز دیگر و تغییر آن به نام دانشگاه اقدام نماید. ضمناً نسبت به جبران فوری ضرر و زیان حاصله بر اساس برآورد دانشگاه اقدام خواهم نمود و بدینوسیله حق هر گونه اعتراض را از خود سلب نمودم»

امضا: .....

تاریخ: ۹۰/۱۲/۱۶

دانشگاه تربیت مدرس

دانشکده فنی و مهندسی

بخش مهندسی مکانیک

**پایان‌نامه کارشناسی ارشد**

# طراحی و ساخت دبی‌سنج التراسونیک زمان عبوری برای سیال بدون ذرات معلق

**علیرضا قانع عزآبادی**

استاد راهنما:

**دکتر یوسف حجت**

بهمن 90

**تقدیم به همسر دلسوزم**

**سپاس‌گزاری**

سپاس خدای را که هر چه دارم از او و لطف اوست.

از پدر و مادر مهربان و همسر دلسوزم که در تمامی مراحل زندگی یار و مشوق من بوده‌اند کمال تشکر و قدردانی را دارم.

از زحمات استاد گرانقدرم دکتر یوسف حجت که در تمام طول راه با سعه صدر همراه و هدایت‌گر من بوده‌اند، سپاس‌گزاری می‌نمایم و دست ایشان را به گرمی می‌فشارم. از استاد عزیزم دکتر مجتبی قدسی که در اتمام این مسیر مرا همراهی بسیار نمودند سپاس‌گزاری می‌کنم.

از دوستان خوبم در آزمایشگاه اندازه‌گیری دقیق و مکاترونیک پیشرفته، خصوصا مهندس کرفی که در طول آشنایی از ایشان بسیار آموخته‌ام، تشکر می‌نمایم.

چکیده

ساخت دبی‌سنج‌های التراسونیک یکی از تکنولوژی‌های با رشد سریع درزمینه مونیتورینگ، اندازه‌گیری و کنترل فرآیندها می‌باشد. امروزه، دبی‌سنج‌های التراسونیک از ترنسدیوسرهای تماسی و غیرتماسی، یک مسیره و چند مسیره، وابسته و مستقل از قطر لوله، فعال و غیرفعال، ارسال زمان عبوری، انعکاس(داپلر)، پدیده جریان گردابی و سایر موارد کمک می گیرد. دبی‌سنج‌های التراسونیک برای مایعات، گازها، و مخلوط‌های چند فازی قابل استفاده است.در این پایان‌نامه دبی‌سنج التراسونیک زمان عبوریبه کمک تکنیک هترودایِن و با ترنسدیوسر غیرتماسی طراحی و ساخته شد. دبی‌سنج ساخته شده در خط جریان سیال طراحی و ساخته شده شده با قطر لوله 4 اینچ آزمایش شد و در نهایت به کمک یک دبی‌سنج مغناطیسی به عنوان مرجع،کالیبره شده و مقادیر خوانده شده مقایسه شد.بهترین صحت دستگاه 0/37 لیتر بر ثانیه و مربوط به دبی صحیح 28 لیتر بر ثانیه و بدترین آن 1/07 لیتر بر ثانیه و در مقدار صحیح 25 لیتر بر ثانیه بود.هم‌چنین دقت این دستگاه برای دبی 25 لیتر بر ثانیه در حد 2/5 درصد و برای دبی 34 لیتر بر ثانیه 3/5 درصداست.هرچند رزولوشن اسمی دستگاه با توجه به روابط مربوط به رزولوشن زمانی در حد 0/1 لیتر بر ثانیه است، اما در واقع دستگاه در بهترین حالت به دقت 2/5% رسید و این بدین معناست که عملا رزولوشن دستگاه بهتر از این نمی‌تواند باشد.

کلیدواژه: اندازه‌گیری دقیق، التراسونیک، دبی‌سنج، تأخیر انتشار، زمان عبوری،ترنسدیوسر، هترودایِن، صحت، دقت، رزولوشن.

# فهرست مطالب

عنوان .....صفحه
فهرست مطالب .....أ
فهرست شکل‌ها .....ج
فهرست علایم و نشانه‌ها .....خ
فصل 1 .....1
1-1- مقدمه ..... 1
2-1- تاریخچه دبی‌سنج التراسونیک ..... 2
1-2-1- پنجاه سال پیشرفت و رشد دبی‌سنج التراسونیک ..... 2
2-2-1- دبی‌سنج غیرتماسی و هیبریدی ..... 4
3-2-1- رسیدن به دقت بالا با وجود نامعلوم بودن پروفیل جریان ..... 7
4-2-1- دریافت سنجه‌های بیشتر بدون ترنسدیوسرهای بیشتر ..... 8
3-1- ترانسدیوسر التراسونیک ..... 9
1-3-1- کلیات ..... 9
2-3-1- انواع ..... 9
3-3-1- ترانسدیوسرهای صفحه‌ای یکپارچه پیزوالکتریک ..... 10
1-3-3-1- اصول ..... 10
2-3-3-1- ساختار ..... 11
3-3-3-1- تئوری ..... 12
4-3-1- تحریک الکتریکی ..... 14
5-3-1- مدار معادل الکتریکی ..... 16
4-1- انواع دبی‌سنج التراسونیک ..... 19
1. تأخیر انتشار یا زمان عبوری ..... 20
2. داپلر ..... 21
3. همبستگی مقطع ..... 21

4. اختلاف فاز ..... 22
5. راندگی ..... 22
5-1- دبی‌سنج‌هایچندمسیره ..... 22
6-1- مبانی نظری طراحیدبی‌سنج تأخیر انتشار ..... 24
1-6-1- اصول عملکرد دبی‌سنج تأخیر انتشار[25] ..... 24
2-6-1- پارامترهای مهم در طراحی و انتخاب ترانسدیوسرهای دبی‌سنج التراسونیک ..... 27
1-2-6-1- انتخاب فرکانس تحریک ترانسدیوسر ..... 28
2-2-6-1- تبدیل حالت موج در مرز مشترک ..... 30
3-2-6-1- انتخاب زاویه تابش ..... 31
4-2-6-1- تطبیق امپدانس ..... 34
3-6-1- قطر لوله جریان سیال ..... 35
4-6-1- آشکارسازی تأخیری ..... 36
1-4-6-1- آشکارسازی زمانی ..... 37
2-4-6-1- آشکارسازی به روش فازی با حلقه قفل شونده فاز ..... 39
3-4-6-1- روش هترودین ..... 39
فصل 2 ..... 43
1-2- مقدمه ..... 43
2-2- طراحی و انتخاب اجزای مکانیکی ..... 44
1-2-2- انتخاب ترانسدیوسرهای فرستنده و گیرنده ..... 44
2-2-2- نحوه اتصال و نصب سنسورها روی لوله ..... 44
3-2-2- طراحیخط جریان سیال مورد آزمایش و انتخاب اجزای آن ..... 45
1-3-2-2- شماتیک سیکل جریان ..... 45
2-3-2-2- انتخاب لوله ..... 45
3-3-2-2- انتخاب پمپ و مخزن ..... 46
4-3-2-2- مدار راه انداز پمپ ..... 47

2-2-3-5- کنارگذر ..... 48
2-3- طراحی و انتخاب اجزای الکترونیکی دبی‌سنج ..... 50
2-3-1- شماتیکالکترونیکی دبی‌سنج ..... 50
2-4- نوسان‌سازها ..... 51
2-4-1- کلیات ..... 51
2-4-2- انتخاب نوسان‌ساز ..... 52
2-5- مدار فرستنده ..... 54
2-5-1- کلیات ..... 54
2-5-2- تقویت‌کننده کلاس D ..... 54
2-5-3- طراحی پیش تقویت‌کننده و تقویت‌کننده توان ..... 56
2-6- گیرنده ..... 60
2-7- مخلوط‌کننده‌ها ..... 62
2-8- آشکارساز فاز ..... 66
2-9- واحد پردازش مرکزی ..... 70
فصل 3 ..... 73
3-1- مقدمه ..... 73
3-2- راه‌اندازی دستگاه ..... 74
3-3- کالیبراسیون ..... 76
3-4- صحت مقادیر اندازه‌گیری شده ..... 78
3-5- دقت مقادیر اندازه‌گیری شده ..... 81
3-6- رزولوشن یا قدرت تشخیص دستگاه ..... 85
فصل 4 ..... 87
4-1- مقدمه ..... 87
4-2- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری ..... 87
4-3- پیشنهادهایی برای ادامه کار ..... 89

4-3-1- طراحی دبی‌سنج التراسونیک برای جریان‌های با سرعت بسیار کم و یا قطر لوله زیاد به گونه‌ای که همه فضای لوله پر نباشد..... 89
4-3-2- طراحی دبی‌سنج التراسونیک برای قطر لوله بسیار کم ..... 89
4-3-3- مدلسازی جریان سیال دوفازی و طراحی دبی‌سنج مناسب ..... 90
4-3-4- طراحی دبی‌سنج برای سیال گاز ..... 90
4-3-5- بررسی تاثیر پارامترهایی مانند دما، جنس سیال، جنس لوله، صافی سطوح داخلی و خارجی لوله و فرکانس مرکزی تحریک پیزوها بر دقت دبی‌سنج التراسونیک تأخیر انتشار ..... 90
4-3-6- بررسی تاثیر دقت محل نصب سنسورها بر دقت اندازه‌گیری دستگاه ..... 91
مراجع ..... 92

# فهرست شکل‌ها


شکل (1-1) نمودارفروشسالیانهدبی‌سنجالتراسونیکاز 1995 تا 2005 ..... 2
شکل (1-2) پیشرفتالتراسونیک ..... 3
شکل (1-3) ساختارترانسدیوسر ..... 11
شکل (1-4) اتصال مدار معادل صفحه پیزوالکتریک ..... 12
شکل (1-5) نمایش حالت‌های ممکن برای ترمینال‌های مدار تست ترانسدیوسرها ..... 13
شکل (1-6) نواحی مختلف عبور موج التراسونیک ..... 14
شکل (1-7) مدار معادل ترانسدیوسر در فرکانس تشدید ..... 15
شکل (1-8)مدار معادل ترانسدیوسر در فرکانس تشدید(به همراه اتلاف) ..... 18
شکل (1-9)دبی‌سنج‌های التراسونیک تأخیر انتشار ..... 20
شکل (1-10) یک دبی‌سنج التراسونیک پرتابل با خط‌کش نصب صحیح سنسورها ..... 20
شکل (1-11)اصول عملکرد داپلر ..... 21
شکل (1-12)چند نمونه از آرایش‌های ممکن برای پرتوها برای رسیدن به دقت بهتر ..... 22
شکل (1-13)اصول عملکرد دبی‌سنج التراسونیک تأخیر لنتشار ..... 24
شکل (1-14)رابطه ضریب تصحیح $K_h$و عدد رینولدز ..... 26
شکل (1-15)حداقل شرایط لازم برای دبی‌سنج تک مسیره برای رسیدن به دقت 1% ..... 27
شکل (1-16)میدان موج ساطع شده از یک ترانسدیوسر ..... 28
شکل (1-17)پرتو موج ساطع شده از یک ترانسدیوسر تخت ..... 29
شکل (1-18)تبدیل حالت در مرز جامد-جامد و مایع-جامد ..... 30
شکل (1-19)تبدیل حالت در سطح لوله ..... 31
شکل (1-20)شکست موج در ترانسدیوسر زاویه‌ای ..... 32
شکل (1-21)رابطه زاویه موج عبوری منعکس شده با دامنه متناظر آن در ترانسدیوسر زاویه‌ای .. 33
شکل (1-22) آشکارساز فازی با حلقه قفل شونده ..... 39
شکل (1-23)آشکارساز هترودایین ..... 42
شکل (2-1)نحوه نصب سنسورهای دبی‌سنج در خط جریان ..... 44
شکل (2-2)نمای کلی سیکل جریان ..... 45
شکل (2-3)تصویر پمپ به همراه الکتروموتور ..... 47
شکل (2-4)تصاویر مدار تست ساخته شده ..... 49
شکل (2-5)طرح واره کلی مدار طراحی شده ..... 51
شکل (2-6)مدل الکتریکی یک کریستال کوارتز ..... 52
شکل (2-7)نوسان‌سازهای کریستالی ساده ..... 52

شکل (2-8)فیلتر میان گذر LC برای تبدیل سیگنال مربعی به سینوسی..... 54
شکل (2-9)مدار تقویت کننده ساده کلاس D ..... 55
شکل (2-10) تقویت کننده کلاس D سوییچینگ ولتاژی ..... 56
شکل (2-11)مدار کامل تقویت کننده مورد استفاده ..... 59
شکل (2-12)شماتیک مدار گیرنده ..... 61
شکل (2-13)مدار گیرنده..... 61
شکل (2-14)شماتیک مخلوط‌کننده سیگنال ..... 62
شکل (2-15)مدار داخلی مخلوط‌کننده ..... 65
شکل (2-16)مدار مخلوط‌کننده..... 66
شکل (2-17)تبدیل شکل موج سینوسی به مربعی ..... 68
شکل (2-18)مدار کامل مقایسه کننده و تبدیل سینوسی به مربعی ..... 70
شکل (2-19)نحوه کنترل سوئیچ سنسورها توسط میکروکنترلر ..... 72
شکل (3-1)دبی‌سنج التراسونیک طراحی و ساخته شده به همراه تجهیزات الکترونیکی..... 74
شکل (3-2)وارد کردن اطلاعات اولیه به نرم‌افزار ..... 75
شکل (3-3)خروجی نرم‌افزار بعد از محاسبات ..... 75
شکل (3-4)صحت سنجی ..... 76
شکل (3-5)دبی‌سنج مغناطیسی مرجع ..... 77
شکل (3-6)کالیبراسیون دبی‌سنج التراسونیک..... 77
شکل (3-7)مقایسه نتایج خوانده شده با نتایج دبی‌سنج مرجع ..... 80
شکل (3-8)تغییرات صحت دستگاه به نسبت دبی سیال ..... 80

## فهرست علایم و نشانه‌ها

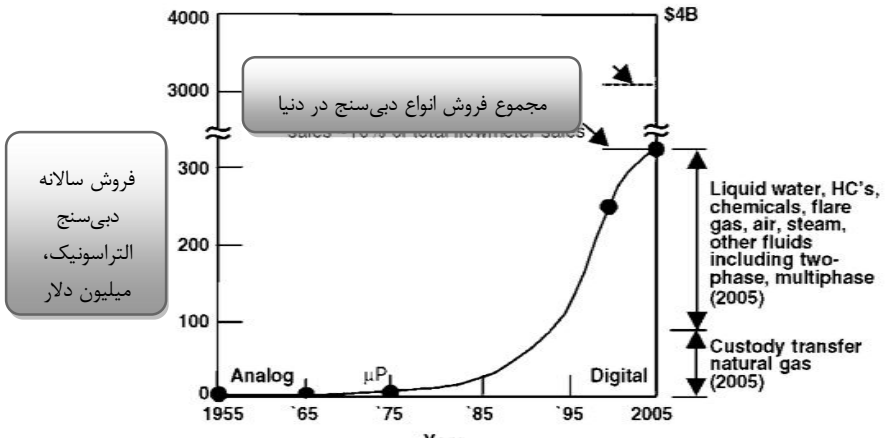
| | | | |
|---|---|---|---|
| A | سطح مقطع | R | مقاومت |
| a | دامنه | $r_0$ | شعاع لوله |
| c | سرعت صوت در سیال | Re | عدد رینولدز |
| C | خازن | s | ثانیه |
| D | قطر لوله | t | زمان عبور موج |
| db | دسیبل | T | زمان ارسال موج |
| $d_{ii}$ | ضریب فرستندگی ماده پیزوالکتریک | $T_e$ | دما |
| E | میدان الکتریکی | v | سرعت |
| F | فرکانس | V | ولتاژ |
| H | هد پمپ | $V_e$ | بردار سرعت محیط |
| Hz | هرتز | $V_m$ | بیشینه سرعت سیال در لوله |
| K | ثابت الکترومکانیک ماده | $V_{moy}$ | سرعت متوسط سیال در لوله |
| L | سلف | W | ضریب وزنی |
| lit | لیتر | Z | امپدانس صوتی |
| m | متر | α | زاویه ارسال موج |
| N | تعداد پریودهای شمرده شده | β | زاویه موج عبوری پس از شکست |
| $P_a$ | فشار | θ | زاویه پرتو |
| p | ضریب وابسته به رینولدز | λ | طول موج |
| P | توان الکتریکی | ν | ویسکوزیته |
| Q | دبی حجمی | π | عدد پی |
| $Q_M$ | دبی جرمی | ρ | جرم حجمی |
| $Q_V$ | دبی حجمی | σ | چگالی جریان |
| r | فاصله از محور لوله | τ | پریود شمارنده زمان |

فصل **1**

# مقدمه

## 1-1- مقدمه

جریان سیال یکی از مهمترین پارامترهای فیزیکی مورد اندازه‌گیری در صنایع و مدیریت سیالات می‌باشد. در سالیان طولانی دبی‌سنج‌های اختلاف فشار عمده‌ترین دستگاه‌های مقرون به صرفه به کار رفته برای اندازه‌گیری دقیق جریان لوله‌ها و کانال‌ها بودند. با این وجود اندازه‌گیری می‌بایست بدون اتلاف هد یا هرگونه افت فشاری انجام می‌شد. بدین منظور نباید از هرگونه قطعه جابجاشونده و دستگاه ثانویه استفاده شودو یامحدودیتی اعمال شود. درحال حاضر دو نوع از دبی‌سنج‌ها این شرایط را ارضا می‌کنند: دبی‌سنج‌های الکترومغناطیس و التراسونیک. نوع التراسونیک آن تقریبا برای تمامی جریان‌های سیال مایع قابل استفاده می‌باشد، در حالی‌که نوع الکترومغناطیس نیازمند داشتن حداقل رسانایی الکتریکی سیال مایع می‌باشد.




شکل (1-1)نمودار فروش سالیانه دبی‌سنج التراسونیک از 1995 تا 2005[1]

## 1-2- تاریخچه دبی‌سنج التراسونیک

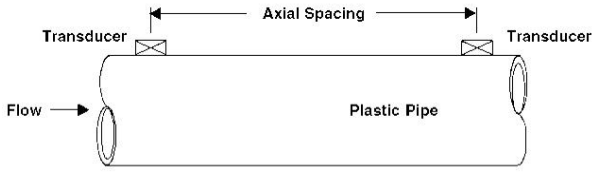
### 1-2-1- پنجاه سال پیشرفت و رشد دبی‌سنج التراسونیک

پنجاه سال پیش، احتمالاً تنها با یک استثنا، هیچ سازنده‌ایدبی‌سنج‌های التراسونیک را به صورت انبوه تولید نمی‌کرد[1]. امروزه تعداد این تولیدکنندگان انبوه بیش از 50 می‌باشد.فروش سالانه دبی‌سنج التراسونیک درسراسر جهان از 300 میلیون دلار فراتر رفتهاست که این رقم 10%کل فروش انواع مدل‌های دبی‌سنج می‌باشد[2]. برای بررسی عللچنین رشدیباید همه جنبه‌های تکنولوژیدبی‌سنج‌های التراسونیکتأخیر انتشار[1] یا دبی‌سنج خلاف‌انتشار[2]را مورد بررسی قرار داد. دبی‌سنجتأخیر انتشار اولین مدلی بود که در مقیاس انبوه، برای کاربرد در کانال‌های صنعتی به صورت تجاری درآمد. امروزه این مدل بیشتر از نیمی از حجم فروش تمام مدل‌های آکوستیک/التراسونیک دبی‌سنج‌ها را به خود اختصاص داده است.شکل (1-1) نمودار فروش این مدل بین سال‌های 1995 تا 2005را نشان

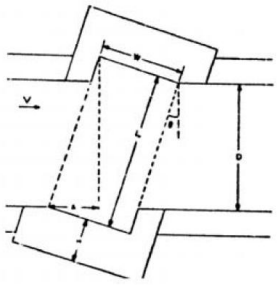
[1]Transit time

[2] Contrapropagation

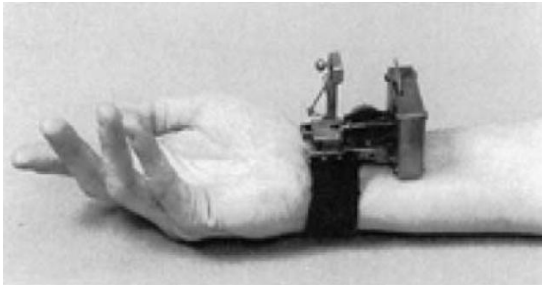
می‌دهد. با در نظر گرفتن مسائلی مانند کاهش هزینه، اندازه، وزن و توان مورد نیاز، سهدلیل برای پیشرفت و رشد دبی‌سنج‌های التراسونیک می‌توان ارائه کرد.




(الف) اولین دبی‌سنج تأخیر انتشار غیرتماسی با ترندیوسر خارج لوله



(ب) شماتیک دبی‌سنج تماسی



(پ) اندازه‌گیری دبی جریان خون در رگ انسان

شکل (1-2)پیشرفت التراسونیک[1]

1. دستیابی به تطبیق پذیری؛ راحتی استفاده و دقت با نوع غیرتماسی[1].
2. دستیابی به دقت با وجود نامعلوم بودن اثر پروفیل جریان
3. اندازه‌گیری یک یا چند پارامتر دیگر علاوه بر سرعت جریان؛ مثلاً دما، دانسیته، متوسط وزن مولکولی گاز، محتوای انرژی گاز طبیعی

البته تنها پیشرفت‌های فنی دراین سه محدوده، برای توجیه پیشرفت این محصول کافی نیست. با وجود همه تلاش‌ها برای توجیه پذیرش و رشد جنبه‌های تکنیکی ویژه دبی‌سنج‌های التراسونیک، دلیل اصلی در جای دیگری قرار دارد. می‌توان گفت که رشد اولیه صنعتالتراسونیک از موارد ذیل سرچشمه گرفته است :

[1]Clamp-on

- توسعه همزمان محیط زیست دیجیتالی، امیدی که درآن سیگنال‌های نهفته در نویز به نوعی بتوانند استخراج شوند و برای رسیدن به اطلاعات مطلوب به کار گرفته شوند.
- پذیرش کاربرد غیر مخرب التراسونیک، و این فرض که اگر التراسونیک در یکی از زمینه‌های مهم (مانند پزشکی) به خوبی کار کند در نتیجه در زمینه‌هایدیگر هم به خوبی کار می‌کند مانند اندازه‌گیری دقیق وبی دردسر جریان در لوله،شکل (1-2)

اکثر تلاش‌های پنجاه سال اخیر صرف رساندن دقت دبی‌سنج‌های التراسونیک از 1% به 0/1% به‌خصوص در مواجهه با چالش‌های نصب سنسورها شده‌است[3].مسائلی مانند لوله‌کشی غیر ایده‌آل بالادست وپایین‌دست، سفتی غیردقیق لوله، خوردگی یا پسماند انباشته، تغییرات متناوب یا تدریجی، ترکیب فاز یا مشخصات جریان سیال از مهمترین چالش‌ها هستند.

### 1-2-2- دبی‌سنج غیرتماسی و هیبریدی

پنجاه سال پیش، اولین دبی‌سنج غیرتماسیالتراسونیک در یک آزمایشگاه نصب شدو جریان عبوری از یک لوله پلاستیکی را اندازه‌گیری می‌کردشکل (1-2).تا سال 2005 نوع غیرتماسی برای بسیاری از سایزها و جنس‌های متفاوت شامل آهن و بقیه فلزات و برای سیال یک فازی یا چند فازی و گازها به صورت گسترده در جهان ساخته و به‌کارگرفته شد. بنابراین باید دید چه اتفاقی بین سال‌های1955و 2005 افتاده است. دبی‌سنج‌های غیرتماسیالتراسونیک تأخیر انتشار کاربردی تا سال 1964در ژاپن ظاهر شدند. کاربردهای اولیه آن برای اندازه‌گیری جریان آب در لوله‌های بزرگ بود[4]،اما در سال‌های بعد، در آزمایشگاه‌های متعدد برای لوله‌های کوچک نیز استفاده شد. تا اوایل دهه 60 میلادی منظور از قطر بزرگ بین 300 میلیمتر و 1 متر و قطر کوچک بین 100 میلیمتر و 150 میلیمتر بود. امروزه التراسونیک، جریان در رگ‌هایی با ضخامت کمتر از میلیمتر[5] و جریان مقطع عرض رودخانه[6] را

اندازه‌گیری می‌کند.بسیاری از دبی‌سنج‌های غیرتماسی اولیه از اصل دوپلر[1] استفاده می کردند، ولی دقت آن‌ها به این بستگی داشت که کدام قسمت جریان از شیفت دوپلر کمک بگیرد. ابداع روش دریچه طیفی[2] دوپلر این مشکل را مرتفع کرد[7]و همان‌طور که در[8] توضیح داده شده، می‌تواند برای بهبود دقت دبی‌سنج‌های تأخیرانتشار نیز مورد استفاده قرار گیرد. برای مثال این روش می‌تواند توزیع سرعت جریان V(y)در طول لوله را (که به کمک آن ضریب تصحیح اثرخلاف انتشار K به دست می‌آید) اندازه بگیرد.

دبی‌سنج‌های دو روشه (انعکاس + ارسال) در اواسط دهه 1990 ظاهر شدند. تا سال 2005[7]فوجی‌الکتریک جریان‌سنج دو روشه(دوپلر پالسی / زمان عبوری)را توسعه داد. دبی‌سنجی که با توجه به سیال درون لوله در هرزمان، یکی از این دو روش را به طور خودکار انتخاب می‌کرد و مود انعکاسی آن قادر به اندازه‌گیری پروفیل جریان از یک یا چند نقطه پیرامون لوله بود[9].

علاوه برتأخیر انتشار و دوپلر روش‌های دیگری برای به‌کارگیری نوع غیرتماسی وجود دارد. یکی از این روش‌های غیرتماسی،استفاده از برچسب[3]است.دبی‌سنج التراسونیک برچسبی عموماً موج‌ها را از میان دو مسیر جریان(که به طور محوری با هم فاصله معینی) داشتند انتقال می‌دهد. معمولاً این فاصله حدود نصف قطر لوله‌ها است. ادی[4] های جریان، توربولان یا سایر غیر یکنواختی‌های در حال حرکت با جریان،اولین پرتو[5] را مدوله می کنند و سپس به طور مشابه تا حدودی پرتوی دوم را نیز مدوله می‌کنند. با فهمیدن زمان لازم برایانتقال ازالگوی مدولهپرتوی اول به دوم، سرعت جریان به دست می آید. روش‌های التراسونیک برچسبی اولین بار برای مایعات درون لوله[10] و بعد از آن برای گازها[11]و[12]به کار برده شد.برای سیال گاز،در مقایسه با نوع غیرتماسی تأخیر انتشار یا روش

[1]Doppler

[2]Range-gated

[3]tag

[4] eddy

[5]beam