



دانشگاه صنعتی
خواجه نصیرالدین طوسی

اندازه‌گیری پارامترهای انفجار

و

سنسورهای فشار

مؤلف :

دکتر جمال زمانی

دانشیار دانشکده مهندسی مکانیک

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

انتشارات دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

سال ۱۳۹۲

سرشناسه	: زمانی اشنی، جمال، ۱۳۳۵ -
عنوان و نام پدیدآور	: اندازه گیری پارامترهای انفجار و سنسورهای فشار / مولف جمال زمانی.
مشخصات نشر	: تهران: دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی ، انتشارات، ۱۳۹۲.
مشخصات ظاهری	: ۳۴۶ص: مصور، جنول، نمودار.
شابک	: ۱۵۰۰۰۰ریال ۶-۴۴-۶۳۸۳-۹۷۸-۰۶۰۰-۷۸ : 978-600-6383-44-6
وضعیت فهرست نویسی	: فیبا
موضوع	: شکارسازها
شناسه افزوده	: دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
رده بندی کنگره	: ۱۳۹۲ م/ز/۸/۷ TA۱۶۵
رده بندی یوبی	: ۶۸۱/۲
شماره کتابشناسی ملی	: ۳۴۲۵۲۵۵

نام کتاب: اندازه گیری پارامترهای انفجار و سنسورهای فشار

نویسنده: دکتر جمال زمانی اشنی، عضو هیأت علمی دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

ناشر: انتشارات دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

نوبت چاپ: اول

تاریخ چاپ: اسفندماه ۱۳۹۲

تیراژ: ۵۰۰ نسخه

قیمت: ۱۵۰۰۰ تومان

کد کتاب: ۳۳۰

ISBN: 978-600-6383-44-6

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۶۳۸۳-۴۴-۶

لیتوگرافی: هوررنگ

صحافی: گرنامی

آدرس و تلفن مرکز پخش و فروش: خیابان ولیعصر (عج)، بالاتر از میدان ونک، تقاطع میرداماد،
روبروی ساختمان اسکان (۰۲۱-۸۸۷۷۲۲۷۷)

(حق چاپ برای ناشر محفوظ است)

بسمه تعالی

پیشگفتار

سپاس قادر متعال، علیمی است که دانست و آموخت، و حاکمی است که فرمانروایی کرد و قناتوت نمود، غالب و چیره‌ای است که غلبه یافت و مغلوب ساخت و قادر و توانایی است که مقدر فرمود و فایده رسانید و بخل نورزید، و درود بر سید عالم نکته آن، و مقصود عالم و هدف آن، سرور راستگویان، حضرت محمد مصطفی (ص) علیه و آله الاصفیاء و درود خداوند بر خاندان مطهرش.

هر چیز را حد و اندازه‌ای است که ما بر از بعض دیگر پدیده‌ها در آن تغییرات حادث می‌گردد، معلوم گشتن علل و چرائی و همچنین علت و معلول‌ها نیازمند اطلاع از حد و اندازه‌ها در قبل و بعد از وقوع و همچنین حین تغییرات است. یکی از علت‌های پیچیده که بر اثر وجودش تغییرات بسیار به‌همراه دارد نیروهای حاصل از انفجار می‌باشد که اطلاع از چگونگی اندازه‌گیری انفجار و تغییرات حاصل از آن، اهمیت بسیار وافر بر خوردار می‌گردد این نوشتار بر آن است هر چند به‌صورت اندک ولی نقطه آغازی بر مفاهیم اندازه‌گیری پارامترهای موثر انفجار باشد، امید است که با عنایت قادر حق تعالی مقبول واقع افتد.

اما بر خود لازم دانسته از زحمات بزرگوارانی که در این مسیر ما را یاری نموده‌اند

قدردانی به‌عمل آورد.

ابتداً از جناب آقای دکتر قزل ایاغ استاد ارجمند و همکار صمیمی خود در طول ۳۵ سال گذشته و همچنین آقای مهندس آقاجانپور که هر دو در بسیاری از مباحث این نوشتار، کمک‌های شایان و اثرگذاری نموده‌اند سپاسگزاری می‌نماید.

از مدیریت محترم سازمان تحقیقات و جهاد خود کفائی ندسا و کلیه همکارانشان و هم‌سینار پژوهشکده علوم و فن‌آوری شیمیایی جناب آقای مهندس فردوسی و کلیه همکارانشان به لحاظ پشتیبانی‌های بسیار ارزشمند در طول تدوین این کتاب تشکر وافر دارد.

ابتداً از اساتید محترم، اندر نزد که بر این‌جانب بسیار بسیار منت دارند، آقای پروفیسور درویشه و پروفیسور لیافه تقدیر می‌نماید.

از دیگر اساتید محترم آقایان دکتر قربانی، دکتر رفاهی، دکتر راستگو، دکتر وحدتی، دکتر صدیقی به لحاظ زحماتشان تشکر می‌نماید.

از سرکار خانم مهندس اسدوندی و آقایان مهندس بدختری، مهندس همتی هم به جهت کمک در تدوین این نوشتار بسیار سپاسگزاری می‌گردد.

از زحمات آقای حسن صالحی و دیگر همکاران گرامی در امور انتشارات دانشگاه تقدیر می‌نماید.

چنانچه در مباحث مطروحه کتاب قصور و اشتباهی رخ داده باشد متوجه این‌جانب و اگر نکته ارزشمند و مفیدی ملاحظه گردد از عنایت قادر حق تعالی می‌باشد. احتمالاً اگر در ذکر برخی از منابع و مراجع غفلت شده است از مالکیت منبع و مرجع مورد نظر پیشاپیش پوزش می‌طلبید.

در پایان این نوشتار را تقدیم می‌دارد به روح پرفتوح شهدای هسته‌ای مخصوص

شهید گرامی مصطفی احمدی روشن.

و من ا... التوفیق

دکتر جمال زمانی

دانشیار دانشکده مهندسی مکانیک

انستگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

زمستان ۱۳۹۲

فهرست مطالب

فصل ۱ - شناخت پدیده انفجار..... ۱

۱-۱- مقدمه..... ۱

۲-۱- بررسی تئوری پدیده انفجار..... ۲

۳-۱- معرفی پارامترهای تاثیرگذار انفجار..... ۷

۴-۱- فرآیند اندازه گیری..... ۹

۵-۱- شناخت محدوده کرد پدیده..... ۱۰

۶-۱- زمینه‌های کاربردی انفجار..... ۱۲

۷-۱- روش‌های اندازه‌گیری پارامترهای انفجار..... ۱۳

فصل ۲ - تعاریف پایه درباره‌ی انواع خصوصیات سنسور..... ۱۹

۱-۲- تعریف سنسور..... ۱۹

۲-۲- تعریف ترانسدیوسر..... ۱۹

۳-۲- تعریف ترانسمیتر..... ۲۰

۴-۲- طبقه‌بندی سنسورها..... ۲۰

۱-۴-۲- طبقه‌بندی بر اساس نوع سیگنال خروجی..... ۲۱

۲-۴-۲- طبقه‌بندی بر اساس نوع خروجی..... ۲۲

۳-۴-۲- طبقه‌بندی بر اساس قابلیت تشخیص کمیت فیزیکی..... ۲۲

۴-۴-۲- طبقه‌بندی بر اساس کاربرد در صنایع..... ۲۴

۵-۲- مقایسه سنسور با سیستم حسی بدن انسان..... ۲۴

۶-۲- نکات مهم و قابل توجه در انتخاب سنسورها..... ۲۵

۷-۲- ملاحظات در انتخاب تجهیزات..... ۲۶

فصل ۳ - سنسور فشار ۳۱

- ۱-۳- انواع سنسورهای اندازه گیری فشار ۳۲
- ۱-۱-۳- سنسور فشار مطلق ۳۲
- ۲-۱-۳- سنسور فشار گیج ۳۲
- ۳-۱-۳- سنسور فشار خلأ ۳۲
- ۴-۱-۳- سنسور فشار تفاضلی ۳۳
- ۵-۱-۳- سنسور فشار مهرشده ۳۳
- ۶-۱-۳- تکنولوژی سنسورهای فشار ۳۳
- ۱-۲-۳- پیزو-رسانه تیو ۳۳
- ۲-۲-۳- خازنی ۳۴
- ۳-۲-۳- الکترومغناطیسی ۳۴
- ۴-۲-۳- پیزوالکتریک ۳۴
- ۵-۲-۳- نوری ۳۵
- ۶-۲-۳- پتانسیومتری ۳۵
- ۷-۲-۳- انواع دیگر ۳۶
- ۳-۳- کاربردها ۳۷
- ۴-۳- ویژگی های سنسورهای فشار ۳۹
- ۵-۳- خصوصیات تاثیرگذار عملکردی یک سنسور ۴۰
- ۶-۳- مقایسه عملی سنسورهای فشار ۴۵
- ۱-۶-۳- مقایسه سنسورهای فشار پیزوالکتریک و پیزورزیستو ۴۷

فصل ۴ - تراشه حساسه (حسگرها)، هسته اصلی سنسور ۵۱

- ۱-۴- انواع حسگرهای دینامیکی ۵۱
- ۱-۱-۴- حسگرهای پیزومقاومتی ۵۲
- ۲-۱-۴- حساسه های فشار پیزوالکتریک ۶۳
- ۲-۴- مواد پیزوالکتریک ۷۴
- ۱-۲-۴- دسته بندی مواد پیزوالکتریک ۷۵
- ۳-۴- کریستال کوارتز ۸۳

۸۴	۴-۳-۲- خصوصیات فیزیکی کوارتز
۸۷	۴-۳-۳- انواع برش کوارتز در سنسور جهت بارگذاری
۸۷	۴-۳-۴- روش ساخت کوارتز مصنوعی
۱۰۴	۴-۴- پیزوسرامیک‌ها
۱۰۶	۴-۵- پیزوپلیمرها
۱۰۸	۴-۶- پیزوکامپوزیت‌ها
۱۱۰	۴-۶-۱- روش ساخت پیزوکامپوزیت‌ها
۱۳۰	فصل ۵ - مآختمان سنسورهای فشار
۱۳۰	۵-۱- ششایک سنسورهای پیزوالکتریکی فشار و ملحقات
۱۳۴	۵-۲- ساختمان سنسورهای پیزوالکتریکی
۱۳۶	۵-۳- نحوه عملکرد سنسور پیزوالکتریکی
۱۳۶	۵-۴- روابط ریاضی حاکم بر سنسور پیزوالکتریکی
۱۴۰	۵-۵- خصوصیات فنی سنسورهای پیزوالکتریکی
۱۴۰	۵-۵-۱- ثابت زمانی دشارژ
۱۴۳	۵-۵-۲- زمان صعود
۱۴۴	۵-۵-۳- خطی بودن
۱۴۶	۵-۵-۴- پسماند
۱۴۷	۵-۶- قابلیت اساسی سنسور
	۵-۷- مشخصات الکتریکی سنسور استفاده شده در آزمایشگاه مکانیک انیجا، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
۱۵۱	
۱۵۲	۵-۷-۱- سیستم اندازه‌گیری
۱۵۵	۵-۷-۲- زمان انتشار موج در کابل
۱۵۶	۵-۷-۳- کانکتور
۱۵۷	۵-۷-۴- منبع تغذیه جریان ثابت
۱۵۹	۵-۷-۵- تحلیل حوزه زمان و حوزه فرکانسی مدار
۱۶۱	۵-۷-۶- مدل سازی و تحلیل طبقه کوپلاژ سیستم
۱۶۶	۵-۷-۷- سیستم تریگر

- ۵-۷-۸- استفاده از UPS و مسایل و ملاحظات مربوط به آن ۱۶۹
- ۵-۸- نمونه منحنی های ثبت شده از آزمایش های تجربی، آزمایشگاه مکانیک انفجار دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی در میدان تیر ۱۷۱
- ۵-۹- سنسور انفجار زیر آب ۱۷۴
- ۵-۹-۱- مقدمه ۱۷۴
- ۵-۹-۲- مروری بر تحقیقات ۱۷۵
- ۵-۹-۳- انفجار زیر آب ۱۷۷
- ۵-۹-۴- اندازه گیری پارامترهای انفجار زیر آب ۱۸۱
- ۵-۹-۵- فشارسنج ۱۸۹

فصل ۶ - تجهیزات نصب و کالیبراسیون سنسور ۱۹۱

- ۶-۱- نصب سنسور ۱۹۱
- ۶-۱-۲- نصب سنسور در حالت تراز، مقایسه با نصب سنسور با حالت تورفتگی ۱۹۲
- ۶-۱-۳- نصب سطح به سطح از همراه با کمی عقب رفتگی ۱۹۶
- ۶-۲- دلایل استفاده از قطعات واسطه ای در نصب سنسور ۱۹۷
- ۶-۳- شوک حرارتی ۱۹۹
- ۶-۴- مسایل و ملاحظات مربوط به کابل ۲۰۱
- ۶-۵- تشریح کالیبراتور ۲۰۱
- ۶-۵-۱- طراحی ۲۰۲
- ۶-۵-۲- سقوط وزنه ها ۲۰۵
- ۶-۵-۳- ترانسدیوسر مینا ۲۰۶
- ۶-۵-۴- ترانسدیوسرهای زیر آبی ۲۰۷
- ۶-۵-۵- ترانسدیوسر ایر بلاست ۲۰۹
- ۶-۵-۶- آماده سازی ترانسدیوسر ۲۱۰
- ۶-۵-۷- نصب ترانسدیوسر ۲۱۰
- ۶-۵-۸- اسمبلی مجدد ترانسدیوسر زیر آبی ۲۱۱
- ۶-۶- تجهیزات لازم برای کالیبراسیون ۲۱۲
- ۶-۶-۲- ابزار کالیبراسیون ۲۱۳
- ۶-۶-۳- روند کالیبراسیون و آنالیز کالیبراسیون ۲۱۶

۶-۷- نتیجه گیری..... ۲۲۰

فصل ۷ - سنسور پیزوالکتریک و دیگر تجهیزات اندازه گیری موج انفجار

..... ۲۲۱

۷-۱- سنسورهای شارژ مد..... ۲۲۴

۷-۱-۱- سنسور طراحی و ساخته شده در آزمایشگاه مکانیک انفجار دانشگاه صنعتی خواجه

نصیرالدین طوسی..... ۲۲۴

۷-۱-۲- نحوه عملکرد سنسورهای ولتاژ مد..... ۲۲۵

۷-۲- سنسورهای ولتاژ مد ICP..... ۲۲۸

۷-۳- کابل اسلایفر..... ۲۳۲

فصل ۸ - سامانه های اندازه گیری زمان و سرعت موج انفجار..... ۲۳۵

۸-۱- سامانه های اندازه گیری زمان پس از انفجار..... ۲۳۵

۸-۱-۱- زمان رسیدن تنش..... ۲۳۶

۸-۱-۲- آشکارساز موج شوک سندیا..... ۲۳۸

۸-۲- سامانه های اندازه گیری سرعت ذرات..... ۲۳۹

۸-۲-۱- SRI مدل ۱..... ۲۳۹

۸-۲-۲- SRI مدل ۲ (افقی)..... ۲۴۱

۸-۲-۳- اندازه گیر SRI مدل ۳..... ۲۴۳

۸-۲-۴- اندازه گیر Sandia DX..... ۲۴۴

۸-۲-۵- اندازه گیر سرعت مینیاتوری SRI-AFWL..... ۲۴۶

۸-۲-۶- دستگاه سرعت سنج EPCO..... ۲۴۸

۸-۲-۷- دستگاه سرعت سنج فارادی..... ۲۴۸

۸-۲-۸- دستگاه اندازه گیری سرعت به کمک ایجاد ظرفیت القای مغناطیسی در خود..... ۲۴۹

۸-۲-۹- مدل سرعت DRES..... ۲۵۰

فصل ۹ - روش های اندازه گیری ایمپالس..... ۲۵۲

۹-۱- بازه اندازه گیری..... ۲۵۲

۹-۲- روشهای اندازه گیری ایمپالس به روش مکانیکی..... ۲۵۳

۹-۲-۱- روشهای اولیه اندازه گیری ایمپالس..... ۲۵۴

۲۵۵	۹-۲-۲- صفحات پرواز کننده.....
۲۵۷	۹-۲-۳- ایمپالس منتقل شده به یک سازه پرتابه‌ای.....
۲۵۸	۹-۲-۴- ایمپالس منتقل شده به یک سازه پرتابه‌ای به شکل استوانه.....
۲۷۸	۹-۲-۵- نتیجه گیری.....
۲۷۹	۹-۳-۳- روش ایمپالس بهبود یافته.....
۲۷۹	۹-۳-۱- تنظیمات تست بهبود یافته.....
۲۸۳	۹-۳-۲- نتایج تست.....
۲۹۱	۹-۳-۲- نتیجه گیری.....
۲۹۱	۹-۳-۱- پالس بلاست در فاصله بسیار نزدیک.....
۲۹۱	۹-۴-۱- تنظیمات تست.....
۲۹۴	۹-۴-۲- تشریح حالت نتایج.....
۳۰۳	۹-۴-۳- نتیجه گیری.....
۳۰۴	۹-۵- سیستمهای پاندو.....
۳۰۸	۹-۶- اندازه گیری ایمپالس از تست منفجره با ایمپالس متر SIIMA.....
۳۰۸	۹-۶-۱- طراحی SIIMA.....
۳۱۱	۹-۶-۲- روش VLIP.....
۳۱۳	۹-۷- مقایسه روش های اندازه گیری ایمپالس.....
۳۱۳	۹-۷-۱- روش VLIP.....
۳۱۴	۹-۷-۲- روش مومنتم Held.....
۳۱۵	۹-۷-۳- روش SIIMA.....
۳۱۵	۹-۷-۴- نتایج.....