دانشگاه تبریز

دانشکده کشاورزی

گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی

پایان‌نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته‌ی مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی

عنوان فارسی

بررسی میزان ارتعاشات عقب کمباین در شرایط مختلف مزرعه

عنوان انگلیسی

Investigation of Combine Harvester Rear Vibration in Different Field Conditions

استاد راهنما

دکتر حسین نوید

استادان مشاور

دکتر قادر کریمیان **دکتر مهدی رضایی**

پژوهشگر

سینا خلیل‌وندی بهروزیار

شهریور ۱۳۹۲

بسم الله الرحمن الرحیم

ماحصل آموخته‌هایم را تقدیم می‌کنم به آنان که مهر آسمانی شان آرام بخش آلام زمینی ام است

به استوارترین تکیه گاهم،

دستان پرمهر پدرم

به سبزترین نگاه زندگیم،

چشمان مادرم

امروز، هستی ام به امید شماست و فردا، کلید باغ بهشتم رضای شما

و به همراه همیشگی و پشتوانه زندگیم،

برادرم و همسر گرامیش

که هرچه آموختم در مکتب عشق شما آموختم و هرچه بکوشم قطره‌ای از دریای بی کران مهربانیتان را سپاس نتوانم بگویم.

با تشکر و سپاس بی‌پایان از:

استاد گرانقدرم، جناب آقای دکتر حسین نوید که در طول تحصیل علاوه بر راهنمایی‌های علمی، از محبت‌های بی‌دریغ ایشان سود بردم و همواره در تمامی مراحل پشتیبانم بودند.

جناب آقایان دکتر قادر کریمیان و دکتر مهدی رضایی که با مشاوره‌هایشان مرا در به سرانجام رساندن این پژوهش یاری نمودند.

جناب آقای دکتر محمودی که زحمت بازخوانی و داوری این پایان‌نامه را تقبل نمودند.

جناب آقای دکتر عبداله‌پور که با گشاده‌رویی، همواره یاریگرم بوده و نظرات ارزنده خود را در اختیارم قرار دادند.

جناب آقایان دکتر قاسم‌زاده، دکتر عجب‌شیرچی، دکتر عبدی و دکتر سیدلو و هم‌چنین آقایان مهندس ترابفام، مهندس عباس‌زاده، مهندس غفاری و مهندس بهفر که در طول تحصیل از محضرشان بهره جستم.

دوست گرانقدر و عزیزم آقای مهندس حامد بقال اصغری که در انجام آزمایشات یاری و همراهیم نمود و آقای مهندس محمد سرمدی که انجام این پایان‌نامه بدون مساعدت‌های ایشان امکان‌پذیر نبود.

آقایان مهندس علیرضا هاشمی، عادل رضوانی‌وند، سینا احمدخانی، نادر عرفانی، رامین شیرزاد، آرمان جلالی و خانم‌ها مهندس ساناز جارالمسجد، پریسا حسین‌زاده، آیدا یحیوی و همه کسانی که به نوعی مرا در به انجام رساندن این مهم یاری نمودند.

سازمان جهاد کشاورزی استان آذربایجان شرقی، آقای علی علی‌محمدی مدیر جهاد کشاورزی شهرستان ورزقان و آقای علی علیزاده که صمیمانه در انجام این پژوهش یاریم نمودند.

و در نهایت از کلیه دوستانی که نامشان ذکر نشد و کلیه کسانی که مصداق حدیث شریف «مَن عَلَّمَنی حَرفاً فَقَد صَیَّرَنی عَبداً» برای من بودند، متشکرم و آسمانی از یاد و خاطرشان در قلبم خواهد ماند.

سینا خلیل‌وندی بهروزیار

شهریور ۱۳۹۲

نام خانوادگی: خلیل‌وندی بهروزیار **نام:** سینا

عنوان: بررسی میزان ارتعاشات عقب کمباین در شرایط مختلف مزرعه

استاد راهنما: دکتر حسین نوید **استادان مشاور:** دکتر قادر کریمیان، دکتر مهدی رضایی

مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد **رشته:** مهندسی ماشین‌های کشاورزی **گرایش:** مکانیک ماشین‌های کشاورزی

دانشگاه: تبریز **دانشکده:** کشاورزی **تعداد صفحات: ۹۸**

کلید واژه‌ها: : ارتعاش، تلفات، حسگر، شتاب‌سنج، کمباین

چکیده:

دستگاه اندازه‌گیر افت دانه یک سیستم اندازه‌گیری تلفات دانه در کمباین می‌باشد. حسگرهای مورد استفاده در این سیستم‌ها معمولاً نیروسنج‌ها یا حسگرهای پیزوالکتریکی هستند. برای اندازه‌گیری میزان تلفات، دانه ضربه‌ای به حسگر وارد کرده و یک سیگنال ولتاژ الکتریکی تولید می‌شود که متناسب با مقدار تلفات می‌باشد. در حین برداشت محصول در مزرعه، کمباین در معرض ارتعاشاتی قرار می‌گیرد که عملکرد و سیگنال ولتاژ تولیدی توسط این حسگرها را به طور قابل توجهی تحت تأثیر قرار می‌دهد. در این حسگرها تمایز بین ضربات ایجاد شده توسط محصول و نویزهای ایجاد شده در کمباین مثل ارتعاشات، یک چالش به حساب می‌آید. بنابراین پی بردن به مقادیر ارتعاشات در قسمت عقب کمباین و در جایی که این حسگرها نصب می‌شوند بسیار مهم است. در این تحقیق برای بررسی میزان ارتعاشات عقب کمباین در شرایط مختلف مزرعه، از یک حسگر شتاب سه محوره دیجیتالی استفاده گردید. این حسگر در قسمت عقب کمباین JD955 ICM، نصب گردید و مقادیر شتاب ایسن قسمت در سه سطح سرعت پیش‌روی، سه سطح سرعت دورانی کوبنده و در دو حالت وجود یا عدم وجود محصول در رایانه ذخیره گردید. نتایج حاصل از تحلیل آماری داده‌ها نشان داد، شتاب در راستای قائم بیشتر تحت تأثیر ناهمواری‌های زمین است تا متغیرهای مربوط به ماشین. هم‌چنین افزایش محسوسی در مقدار ارتعاش در سرعت دورانی ٦٩٠ rpm و پیش‌روی $٤\ km.h^{-1}$، مشاهده شد که به نظر می‌رسد در این حالت پدیده تشدید اتفاق افتاده باشد. وجود محصول در داخل کمباین باعث افزایش در مقادیر شتاب شد که می‌توان علت آن‌را پایین بودن درصد رطوبت گندم برداشت شده دانست. در سرعت دورانی کوبنده معین با افزایش سرعت پیش‌روی و در حالتی که کمباین در حال برداشت گندم بود، مقدار شتاب در راستای طولی افزایش پیدا کرد. از نتایج این تحقیق می‌توان در بهبود دقت و کارکرد سیستم‌های اندازه‌گیری مقدار تلفات برخط و هم‌چنین طراحی ایزولاتورهای ارتعاشی برای این سیستم‌ها استفاده کرد.

فهرست مطالب

عنوان شماره صفحه

۱- فصل اول: مقدمه و هدف ۱

۱-۱ مقدمه و هدف ۲

۲- فصل دوم: بررسی منابع ۵

۲-۱ مقدمه ٦

۲-۲ درجه آزادی ۷

۲-۳ ارتعاشات تصادفی ۸

۲-٤ سیستم‌های خطی و غیرخطی ۸

۲-۵ حرکت هارمونیک ۹

۲-٦ برخی از اصطلاحات ارتعاشات ۱۰

۲-۷ شتاب‌سنج ۱۳

۲-۷-۱ شتاب‌سنج‌های MEMS ۱٤

۲-۷-۱-۱ اساس ۱٤

۲-۸ پیشینه تحقیق ۱۹

۲-۹ جمع بندی ۳۳

۳- فصل سوم: مواد و روش‌ها ۳٤

۳-۱ مقدمه ۳۵

۳-۲ تجهیزات موردنیاز و روش انجام آزمون‌ها ۳۵

۳-۲-۱ سیستم اندازه‌گیری، ثبت و پردازش داده‌های ارتعاشی ۳۵

۳-۲-۱-۱ حسگر ۳۵

۳-۲-۱-۲ پردازش سیگنال ٤۰

۳-۲-۲ تاکومتر یا دورسنج ٤٤
۳-۲-۳ ماشین برداشت مورد استفاده در پژوهش ٤٥
۳-۲-٤ محل اجرای آزمون ٤٧
۳-۲-٥ اندازه‌گیری عملکرد محصول ٤٨
۳-۲-٦ اندازه‌گیری میزان رطوبت دانه ٤٩
۳-۲-۷ نحوه انجام آزمایش در مزرعه ٤٩
۳-۲-۸ انتخاب محدوده گستره پارامترها ٥٠
۳-۲-۹ زمان ثبت داده‌ها ٥١
۳-۳ سیگنال‌های ذخیره شده در حوزه زمان ٥٢
۳-٤ محاسبات و تجزیه و تحلیل آماری ٧١
٤- فصل چهارم: نتایج و بحث ٧٤
٤-١ مقدمه ٧٥
٤-٢ تجزیه و تحلیل RMS شتاب عقب کمباین در حین برداشت و بدون بار ٧٥
٤-٢-١ بررسی مقادیر RMS شتاب در سه راستای مختلف ٧٥
٤-٢-٢ بررسی همبستگی بین مقادیر شتاب در راستاهای مختلف ٨٠
٤-٢-٣ بررسی برآیند شتاب ٨١
٤-٣ تجزیه و تحلیل اثر وجود محصول بر مقدار ارتعاش عقب کمباین ٨٣
٤-٣-١ بررسی مقادیر RMS شتاب در سه راستای مختلف ٨٣
٤-٣-٢ بررسی همبستگی بین مقادیر شتاب در راستاهای مختلف ٨٨
٤-٣-٣ بررسی برآیند شتاب ٨٨
٥- فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات ٩١

۵-۱ نتیجه‌گیری ۹۲
۵-۲ پیشنهادها ۹۳
منابع ۹۵

فهرست شکل‌ها

عنوان شماره صفحه

شکل۲-۱ نمونه‌ای از نمودار جابجایی – زمان ارتعاش تصادفی (تامسون، ۱۹۸۸) ۸

شکل۲-۲ حرکت هارمونیک (تامسون، ۱۹۸۸) ۹

شکل۲-۳ حرکت تناوبی با زمان تناوب τ (تامسون، ۱۹۸۸) ۹

شکل۲-٤ مقدار RMS یک سیگنال ارتعاشی ۱۲

شکل۲-۵ ساختار شتاب‌سنج MEMS ۱٦

شکل۲-٦ مدار الکتریکی اندازه‌گیری شتاب ۱۸

شکل۲-۷ ابزار اندازه‌گیری مورد استفاده در تحقیق لو و همکاران (۲۰۰۸) ۲۲

شکل۲-۸ مدل سه بعدی تراکتور نیمه زنجیری (ربانی و همکاران، ۲۰۱۱) ۲۷

شکل۲-۹ شکل شماتیک از حسگر طراحی شده ۳۲

شکل۳-۱ بلوک دیاگرام حسگر شتاب ADXL345 ..... ۳۷

شکل۳-۲ ارتباط سه و چهار سیمه در حسگر شتاب ADXL345 ..... ۳۸

شکل۳-۳ ارتباط I^2C در حسگر شتاب ADXL345 ..... ۳۸

شکل۳-٤ حسگر شتاب ADXL345 ..... ۳۹

شکل۳-۵ برد راه‌انداز حسگر شتاب ADXL345 ..... ٤۰

شکل۳-٦ میکروکنترلر LPC1768 ..... ٤۱

شکل۳-۷ برد راه‌انداز میکروکنترلر LPC1768 ..... ٤۲

شکل۳-۸ سیستم اندازه‌گیری و ثبت داده‌های ارتعاش مورد استفاده در این تحقیق ٤۳

شکل۳-۹ تصویری از محیط نرم‌افزار Realterm و انتخاب محدوده شتاب در این نرم‌افزار ٤٤

شکل۳-۱۰ تاکومتر مورد استفاده در تحقیق..... ٤٥

شکل۳-۱۱ کمباین JD955 ICM مورد استفاده در آزمایش‌ها..... ٤٧

شکل۳-۱۲ مزرعه موردنظر قبل از برداشت..... ٤٨

شکل۳-۱۳ گیره مورد استفاده برای بستن مجموعه حسگر و پردازش‌گر به عقب کمباین ٥٠

شکل۳-۱٤ نصب سیستم اندازه‌گیری و ثبت ارتعاش در عقب کمباین..... ٥٠

شکل۳-۱٥ سیگنال‌های شتاب در سرعت دورانی ٦٠٠ و پیش‌روی ۲/٦ برای کمباین در حال برداشت..... ٥٣

شکل۳-۱٦ سیگنال‌های شتاب در سرعت دورانی ٦٠٠ و پیش‌روی ۲/٦ برای کمباین بی‌بار..... ٥٤

شکل۳-۱۷ سیگنال‌های شتاب در سرعت دورانی ٦٠٠ و پیش‌روی ٤ برای کمباین در حال برداشت ٥٥

شکل۳-۱۸ سیگنال‌های شتاب در سرعت دورانی ٦٠٠ و پیش‌روی ٤ برای کمباین بی‌بار ٥٦

شکل۳-۱۹ سیگنال‌های شتاب در سرعت دورانی ٦٠٠ و پیش‌روی ٥/٥ برای کمباین در حال برداشت..... ٥٧

شکل۳-۲۰ سیگنال‌های شتاب در سرعت دورانی ٦٠٠ و پیش‌روی ٥/٥ برای کمباین بی‌بار..... ٥٨

شکل۳-۲۱ سیگنال‌های شتاب در سرعت دورانی ٦٩٠ و پیش‌روی ۲/٦ برای کمباین در حال برداشت..... ٥٩

شکل۳-۲۲ سیگنال‌های شتاب در سرعت دورانی ٦٩٠ و پیش‌روی ۲/٦ برای کمباین بی‌بار..... ٦٠

شکل۳-۲۳ سیگنال‌های شتاب در سرعت دورانی ٦٩٠ و پیش‌روی ٤ برای کمباین در حال برداشت ٦١

شکل۳-۲٤ سیگنال‌های شتاب در سرعت دورانی ٦٩٠ و پیش‌روی ٤ برای کمباین بی‌بار ٦٢

شکل۳-۲٥ سیگنال‌های شتاب در سرعت دورانی ٦٩٠ و پیش‌روی ٥/٥ برای کمباین در حال برداشت..... ٦٣

شکل۳-۲٦ سیگنال‌های شتاب در سرعت دورانی ٦٩٠ و پیش‌روی ٥/٥ برای کمباین بی‌بار..... ٦٤

شکل۳-۲۷ سیگنال‌های شتاب در سرعت دورانی ۷۸۰ و پیش‌روی ۲/٦ برای کمباین در حال برداشت..... ٦٥

شکل۳-۲۸ سیگنال‌های شتاب در سرعت دورانی ۷۸۰ و پیش‌روی ۲/٦ برای کمباین بی‌بار..... ٦٦

شکل۳-۲۹ سیگنال‌های شتاب در سرعت دورانی ۷۸۰ و پیش‌روی ٤ برای کمباین در حال برداشت ٦٧

شکل۳-۳۰ سیگنال‌های شتاب در سرعت دورانی ۷۸۰ و پیش‌روی ٤ برای کمباین بی‌بار ٦٨

شکل۳-۳۱ سیگنال‌های شتاب در سرعت دورانی ۷۸۰ و پیش‌روی ۵/۵ برای کمباین در حال برداشت..... ٦٩

شکل۳-۳۲ سیگنال‌های شتاب در سرعت دورانی ۷۸۰ و پیش‌روی ۵/۵ برای کمباین بی‌بار ۷۰

شکل٤-۱ نمودار تأثیر سرعت دورانی کوبنده کمباین در حال برداشت بر روی مقدار شتاب جانبی ۷۷

شکل٤-۲ نمودار تأثیر سرعت دورانی کوبنده کمباین در حال برداشت روی مقدار شتاب جانبی..... ۷۸

شکل٤-۳ نمودار تغییرات شتاب جانبی بر اثر سرعت دورانی کوبنده در سرعت‌های پیش‌روی مختلف.... ۷۹

شکل٤-٤ نمودار اثر سرعت پیش‌روی بر مقدار برآیند شتاب در حالت بدون بار ۸۳

شکل٤-۵ نمودار تأثیر وجود یا عدم وجود محصول در داخل کمباین بر مقدار شتاب برآیند..... ۹۰

شکل٤-٦ نمودار تأثیر سرعت پیش‌روی کمباین بر روی مقدار شتاب برآیند ۹۰

فهرست جدول‌ها

عنوان شماره صفحه

جدول۳-۱ برخی از مشخصات حسگر شتاب ADXL345..... ۳۹

جدول۳-۲ برخی از مشخصات کمباین مورد استفاده در این تحقیق..... ٤٦

جدول۳-۳ جدول حالت‌های مختلف اندازه‌گیری ارتعاش در قسمت عقب کمباین..... ۵۱

جدول٤-۱ تجزیه واریانس RMS شتاب در حین برداشت و بدون بار در سه راستای x، y و z..... ۷٦

جدول٤-۲ مقایسه میانگین‌های شتاب (mg) در دورهای مختلف سرعت دورانی کوبنده و سرعت‌های پیش-روی مختلف در راستای جانبی در کمباین بدون بار (سطح احتمال ۵٪)..... ۷۹

جدول٤-۳ مقایسه میانگین‌های شتاب (mg) در دورهای مختلف سرعت دورانی کوبنده و سرعت‌های پیش-روی مختلف در راستای طولی در کمباین بدون بار (سطح احتمال ۵٪)..... ۸۰

جدول٤-٤ همبستگی مقادیر RMS شتاب در راستاهای x، y و z..... ۸۱

جدول٤-۵ تجزیه واریانس مقادیر برآیند شتاب در حین برداشت و بدون بار..... ۸۲

جدول٤-٦ تجزیه واریانس مقادیر شتاب با در نظر گرفتن اثر وجود محصول در سه راستای x، y و z.... ۸٤

جدول٤-۷ مقایسه میانگین مقادیر شتاب (mg) براساس سرعت دورانی کوبنده، سرعت پیش‌روی و وجود یا عدم وجود محصول در داخل کمباین در راستای جانبی (سطح احتمال ۵٪)..... ۸۵

جدول٤-۸ مقایسه میانگین مقادیر شتاب (mg) براساس سرعت دورانی کوبنده، سرعت پیش‌روی و وجود یا عدم وجود محصول در داخل کمباین در راستای طولی (سطح احتمال ۵٪)..... ۸۷

جدول٤-۹ همبستگی مقادیر RMS شتاب در سه راستای جانبی، طولی و عمودی..... ۸۸

جدول٤-۱۰ تجزیه واریانس مقادیر برآیند شتاب با در نظر گرفتن همه عوامل مؤثر..... ۸۹

فصل اول

مقدمه و هدف

۱-۱ مقدمه و هدف

گندم از مهمترین محصولات زراعی کشور ایران است که نقش عمده‌ای در تأمین مواد غذایی مردم بازی می‌کند. در مورد گندم نیز همانند سایر محصولات کشاورزی در ایران، تلفات و ضایعات زیادی از مراحل تولید تا مصرف وجود دارد. در هنگام برداشت محصول گندم توسط کمباین، به‌دلیل تنظیم نبودن کمباین‌ها و یا کهنه و فرسوده بودن آن‌ها، درصد قابل توجهی از دانه‌ها به صورت شکسته یا کوبیده نشده خواهند بود. تلفات برداشت محصول با کمباین که بایستی مورد توجه راننده قرار گیرد، عبارتند از: تلفات قبل از برداشت یا تلفات ریزش، تلفات سر خوشه‌چین یا تلفات شانه‌برش، تلفات کوبیدن، تلفات کاه‌برها یا تلفات جداکننده و تلفات الک‌ها (منصوری راد، ۱۳۷۷). اولین مرحله برای این‌که بتوان میزان این تلفات را کاهش داد، بهبود شرایط کاری بخش‌های مختلف و شناسایی عوامل مؤثر روی کار این بخش‌ها و نحوه تأثیر این عوامل می‌باشد. هم‌چنین اندازه‌گیری میزان تلفات در کمباین از نکات مهم در ارزیابی نحوه کارکرد آن است. امروزه برای اطلاع از میزان افت دانه از حسگرهای مختلفی که در خروجی عقب کمباین نصب می‌شود، استفاده می‌گردد. این سیستم‌ها برخلاف روش‌های مرسوم اندازه‌گیری افت که نیازمند صرف وقت و تلاش زیادی هستند و هم چنین بایستی چندین آزمایش در قسمت‌های مختلف مزرعه انجام گیرد، می‌توانند میزان افت کمباین را به‌صورت برخط[1] و لحظه به لحظه نمایش دهند. این سیستم که دستگاه اندازه‌گیر افت دانه نامیده می‌شود، می‌تواند مزایایی همچون اندازه‌گیری تلفات بدون نیاز به توقف کمباین، نمایش دائمی میزان تلفات و انجام تنظیمات متناسب با مقدار افت موجود در کمباین، آگاهی از منشأ واقعی تلفات و انتخاب سرعت پیش‌روی مناسب به‌طوری که مقدار تلفات در حد قابل قبول باقی بماند، را نیز به همراه داشته باشد.

1. Online

بنابراین استفاده از چنین دستگاه‌هایی در روی کمباین می‌تواند بسیار مفید باشد. معمولاً این سیستم‌ها از حسگرهای مختلفی همچون حسگرهای پیزوالکتریک، نیروسنج‌ها و حسگرهای صوتی استفاده می‌کنند. این حسگرها به‌دلیل حساسیت بالایی که دارند قادر به تشخیص دانه از مواد غیردانه‌ای بوده و کار اندازه‌گیری افت دانه را انجام می‌دهند. اما همین حساسیت بالا باعث می‌شود تا تحت تأثیر ارتعاش موجود در کمباین در حین کار در مزرعه قرار گرفته و کار اصلی خود را که همانا اندازه‌گیری میزان افت دانه است، نتواند به‌خوبی و با دقت کافی انجام دهد. بنابراین اگر بتوان مشخصات ارتعاشی و مقادیر ارتعاش در قسمتی که این حسگرها نصب می‌شوند را تعیین کرد، می‌توان به کارکرد صحیح و با دقت این حسگرها کمک شایانی نمود. لذا این تحقیق با هدف شناسایی مشخصات ارتعاشی و هم‌چنین مقادیر ارتعاش در قسمت عقب کمباین و محلی که دستگاه‌های اندازه‌گیر افت دانه نصب می‌شوند، تعریف گردید. با استفاده از داده‌های بدست آمده از این تحقیق، امکان فیلتر کردن تأثیرات ارتعاش و نویزهای حاصل از آن روی دستگاه اندازه‌گیری افت دانه وجود دارد. بنابراین می‌توان اهداف تحقیق حاضر را در چند بند زیر خلاصه کرد:

۱- فراهم کردن سیستمی برای اندازه‌گیری میزان ارتعاشات ایجاد شده در عقب کمباین؛ این سیستم شامل یک حسگر شتاب‌سنج سه محوره (x, y ,z) برای اندازه‌گیری میزان شتاب در عقب کمباین و یک برنامه نرم‌افزاری که متناسب با حسگر برای دریافت و ذخیره اطلاعات طراحی و نوشته می‌شود، خواهد بود.

۲- اندازه‌گیری ارتعاش در امتدادهای مختلف محورهای مختصات و در قسمت عقب کمباین در حین انجام عمل برداشت گندم و در شرایط بی باری

۳- تحلیل سیگنال‌های شتاب اندازه‌گیری شده

٤- بررسی آماری تأثیر متغیرهای مختلف بر مقادیر ارتعاش اندازه‌گیری شده در عقب کمباین.

فصل دوم

بررسی منابع

۲-۱ مقدمه

ارتعاشات به مطالعه حرکت نوسانی اجسام و نیروهای ایجاد شده توسط آن‌ها مربوط می‌شود. تمامی اجسام دارای جرم و قابلیت ارتجاع، توانایی ارتعاش را دارند. در سیستم‌های دینامیکی که جسم قابلیت کسب یا از دست دادن انرژی را داراست، نوسان به وجود می‌آید که به آن ارتعاش می‌گویند (محجوب مقدس،۱۳۸۷). بنابراین اکثر ماشین‌ها و ساختارهای مهندسی تا درجه‌ای از ارتعاش را تحمل می‌کنند و طراحی آن‌ها عموماً با در نظر گرفتن رفتار نوسانی آن‌ها انجام می‌گیرد.

سیستم‌های نوسانی می‌توانند به طور گسترده‌ای به دو نوع خطی و غیر خطی تقسیم شوند. برای سیستم‌های خطی اصل جمع آثار صادق بوده و قوانین ریاضی برای توصیف آن‌ها به خوبی توسعه یافته‌اند. در مقابل تکنیک‌های تجزیه و تحلیل سیستم‌های غیر خطی کمتر شناخته شده و کاربرد آن‌ها نیز مشکل است. ارتعاش در ساده‌ترین شکل به‌صورت حرکت نوسانی تعریف می‌شود. ارتعاشات می‌توانند خواسته و یا ناخواسته اتفاق بیفتند. هم چنین ارتعاش می‌تواند مفید و مطلوب بوده و یا اینکه مضر باشد که بایستی از آن اجتناب گردد.

ارتعاشات به دو دسته کلی تقسیم می‌شوند: ارتعاشات آزاد و اجباری.

ارتعاش آزاد زمانی اتفاق می‌افتد که یک سیستم تحت تأثیر نیروهای ذاتی خود سیستم و در غیاب نیروهای خارجی نوسان کند. سیستم تحت ارتعاش آزاد، در هنگام ارتعاش با یک یا چند فرکانس طبیعی خود ارتعاش خواهد کرد که این فرکانس‌ها جزو خواص دینامیکی سیستم بوده و توسط جرم و توزیع سفتی آن ایجاد می‌شود.

ارتعاشی که با تحریک نیروهای خارجی ایجاد می‌شود، ارتعاش اجباری نامیده می‌شود. وقتی که سیستم به‌صورت نوسانی تحریک شود، سیستم مجبور به ارتعاش در همان فرکانس تحریک خواهد شد. اگر فرکانس تحریک منطبق بر یکی از فرکانس‌های طبیعی سیستم باشد، شرایط تشدید به وجود خواهد آمد که این حالت باعث به وجود آمدن نوسانات بزرگ و خطرناک می‌شود. از احتمالات ترسناک این پدیده می‌توان به شکست ساختارهای بزرگی نظیر پل‌ها، ساختمان‌ها یا بال‌های هواپیما اشاره کرد.

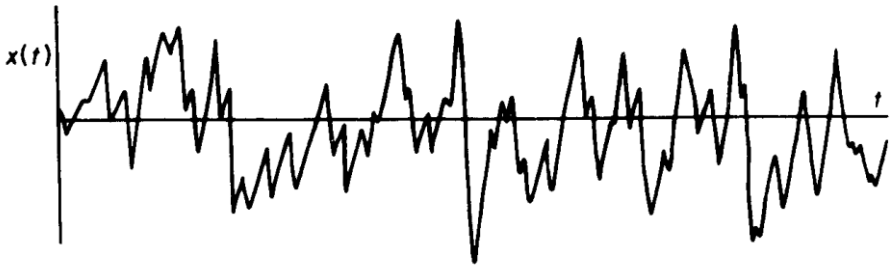
اگر عامل میرایی در سیستم نبود، انرژی‌های جنبشی و پتانسیل به‌صورت متناوب به‌هم تبدیل می‌شدند و حرکت نوسانی برای همیشه ادامه می‌یافت (محجوب مقدس،۱۳۸۷). سیستم‌های ارتعاشی همگی به نوعی در معرض میرایی قرار می‌گیرند چرا که انرژی توسط اصطکاک حاصل از حرکات نسبی بین نقاط مختلف یا سایر مقاومت‌ها تلف و باعث می‌شود که سیستم بالاخره از نوسان بیفتد. اگر میزان میرایی کم باشد تأثیر کمی روی فرکانس طبیعی سیستم خواهد داشت و محاسبات برای بدست آوردن فرکانس طبیعی با صرفنظر کردن از میرایی، انجام خواهد گرفت.

۲-۲ درجه آزادی

تعداد مختصات مستقل برای توصیف حرکت یک سیستم درجه آزادی نامیده می‌شود. هر سیستم ارتعاشی دارای تعدادی درجه آزادی است؛ به این معنا که اگر موقعیت یک سیستم را در هر لحظه که مورد نظر باشد، بتوان با یک متغیر مستقل معین کرد، گویند سیستم یک درجه آزادی است. سیستم‌های یک درجه آزادی ساده‌ترین و متداول‌ترین سیستم‌های ارتعاشی هستند و در ضمن نزدیک‌ترین مدل به واقعیت نیز می‌باشند (محجوب مقدس،۱۳۸۷).

۲-۳ ارتعاشات تصادفی

اگر خواص پاسخ ارتعاشی مانند جابجایی، شتاب و تنش به صورت تابعی از زمان قابل پیش‌بینی باشند، ارتعاش را معین می‌نامند. اما در عمل فرآیندها و پدیده‌های زیادی وجود دارد که این پاسخ‌ها دقیقاً نمی‌توانند پیش‌بینی شوند. این نوع پدیده‌ها، پدیده‌های تصادفی خوانده می‌شوند. ارتعاش تصادفی ارتعاشی است که رفتارهای بعدی آن به‌طور قطعی معلوم نیست. اتفاقی بودن ارتعاش یک مشخصه از تابع ورودی یا تحریک در این نوع ارتعاشات می‌باشد. رایج‌ترین مثال در مورد این نوع حرکات، حرکت ماشین‌های کشاورزی در جاده‌های ناهموار یا ارتعاشاتی که در بال هواپیما در هنگام پرواز اتفاق می‌افتد، می‌باشد. اگر از یک فرآیند تصادفی چندین بار نمونه‌گیری شود نمودار جابجایی – زمان آن به صورت شکل ۲-۱ خواهد بود.



شکل۲-۱ نمونه‌ای از نمودار جابجایی – زمان ارتعاش تصادفی (تامسون، ۱۹۸۸)

۲-٤ سیستم‌های خطی و غیرخطی

سیستم‌های ارتعاشی را بر اساس معادلات دیفرانسیل حاکم بر آن‌ها می‌توان به‌صورت خطی و غیر خطی مشخص کرد. اگر معادلات شامل توابع و مشتقات آن‌ها از توان اول باشد سیستم خطی و در صورتی که توانی بالاتر از یک و یا به‌صورت کسری باشد سیستم غیر خطی خواهد بود. برای سیستم‌های خطی اصل جمع آثار صادق بوده و روش‌های ریاضی موجود برای حل آن‌ها کاملاً شناخته شده است. در صورتی که سیستم‌های غیرخطی این گونه نیستند و حل آن‌ها پیچیده است.