



مجتمع فنی مهندسی
گروه مکانیک

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد
مهندسی مکانیک - طراحی کاربردی

بهینه سازی عملکرد یاتاقان‌های ژورنال غیر مدور
روانکاری شده با سیال غیر نیوتنی
با استفاده از شبکه‌ی عصبی مصنوعی

استاد راهنما : دکتر اصغر دشتی رحمت‌آبادی

استاد مشاور : دکتر قاسم امیریان

پژوهش و نگارش : سید محمد ابوسبا کاظمینی

مهرماه ۱۳۹۱

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

تقدیم به

تنها شهر علم و معلم بشریت

پیامبر گرامی اسلام صل الله علیه وآله

و

اهل بیت پاکش که برترین معلمان دانش هستند

مخصوصاً حضرت صاحب الزمان عجل الله تعالی فرجه الشریف

و

تقدیم به

امام خمینی و شهیدان دفاع مقدس

و

تقدیم به

پدر و مادر عزیزم که در همه پیشرفت‌های زندگی‌م مدیون آنها هستم

و

تقدیم به

همسر و دخترانم که با صبر و همراهیشان یاریم کردند

و

تقدیم به

همه کسانی که همواره یار و مشوقم بوده‌اند

تشکر و قدردانی

وقتی به آغاز و پایان این دوره تحصیلی می‌نگرم شاهد تشویق‌ها، کمک‌ها، همکاری‌ها و راهنمایی‌های بسیاری هستم که در صورت عدم آنها شاید اصلاً در این راه قدم نگذاشته یا آن را به پایان نمی‌رساندم.

اول از همه از خداوند بزرگ شاکرم که به فضلش همه اسباب را برایم فراهم نمود تا ذره‌ای بر دانش خود بیفزایم.

وظیفه خود می‌دانم از استاد بزرگوار آقای دکتر اصغر دشتی به خاطر راهنمایی‌های بی‌دریغشان و تواضع و بزرگواریشان و استاد دکتر قاسم امیریان به خاطر مشورت‌هایشان و زحمات اساتید داور این پایان نامه آقای دکتر سید محمد تقی المدرسی و آقای دکتر عباس مزیدی تشکر نمایم.

در طی این مدت خوشه چین دانش اساتیدی بودم که مشتاقانه دانش خود را به شاگردان خود بذل می‌نمودند اگر چه من در فراگیری، آنچنان که باید عمل ننمودم.

استاد دکتر منصور رفیعیان که ریاضیات پیشرفته و ارتعاشات سیستم‌های ممتد را به من آموختند. استاد دکتر علیرضا فتوحی و استاد دکتر محمد رضا نظری که مکانیک محیط‌های پیوسته را به من آموختند.

استاد دکتر سید محمد بزرگ که کنترل پیشرفته را به من آموختند.

استاد دکتر علیرضا شفیعی که الاستیسیته را به من آموختند.

استاد دکتر سعید ابراهیمی که دینامیک پیشرفته را به من آموختند.

استاد دکتر محمود خداداد که روش اجزای محدود پیشرفته و المان‌های مرزی را به من آموختند.

و استاد دکتر اصغر دشتی که هیدرودینامیک روغنکاری را به من آموختند.

از خداوند برای همه آنها توفیقات روز افزون و عاقبت نیکو درخواست می‌نمایم باشد که خداوند مرا از سپاسگزاران قرار دهد.

چکیده

در این پایان نامه مشخصه‌های عملکرد استاتیکی یاتاقان‌های غیر مدور، تحت روانکاری سیال غیر نیوتنی میکروپلار مورد بحث و بررسی قرار گرفته‌اند. یاتاقان‌های مورد بررسی، یاتاقان-های لب دار ۲ تا ۱۰ لب بوده و تاثیر پارامترهای پریلود، ظرفیت حمل بار، زاویه‌ی مشخصه، نسبت خارج از مرکزی، اصطکاک، طول مشخصه‌ی روانکار میکروپلار و عدد کوپلینگ، بر عملکرد این یاتاقان‌ها مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. برای این منظور از ابزار شبکه‌های عصبی مصنوعی استفاده شده تا تحقیقاتی که قبلاً در این زمینه انجام گرفته، بسط و گسترش یابند. با توجه به توانایی‌های شبکه‌های عصبی مصنوعی، برای اولین بار پارامترهای فوق برای یاتاقان‌های ۵ تا ۱۰ لب محاسبه و نمودار مربوط به آنها ارائه گردیده‌اند.

برخی از نتایج اخذ شده عبارتند از:

- با افزایش خارج از مرکزی، ظرفیت حمل بار بیشتر می‌گردد و با زیاد شدن تعداد لب اثر تغییرات خارج از مرکزی بر ظرفیت حمل بار شدت بیشتری می‌یابد.
- زیاد شدن تعداد لب‌ها باعث کاهش ضریب اصطکاک و نشتی انتهایی گشته و همچنین موجب کاهش تاثیر پریلود بر تمامی پارامترها می‌گردد.
- افزایش طول مشخصه‌ی بی‌بعد باعث کاهش ظرفیت حمل بار یاتاقان می‌گردد. در مقادیر کوچک طول مشخصه‌ی بی‌بعد، افزایش آن باعث کاهش موثر در اصطکاک شده اما در مقادیر بزرگ طول مشخصه‌ی بی‌بعد، افزایش آن باعث ازدیاد جزئی اصطکاک می‌گردد
- کاهش شدید زاویه‌ی مشخصه در یاتاقان‌های ۵ لب به بالا، کاهش تاثیر پریلود، کاهش شدید نشتی انتهایی، افزایش ظرفیت حمل بار، کاهش اصطکاک و تاثیر طول مشخصه‌ی بی‌بعد روانکار میکروپلار بر اصطکاک و ظرفیت حمل بار یاتاقان
- همچنین طی چندین جدول، تاثیر پارامترها بر یکدیگر در حالت‌های مختلف ارائه گردیده‌اند که می‌تواند در مورد شناخت بیشتر آنها و آثارشان مورد استفاده قرار گیرد.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	فصل اول - مقدمه
۲	۱-۱- تعریف موضوع
۳	۲-۱- سابقه تحقیق
۷	۲- فصل دوم - یاتاقان و روانکاری
۸	۱-۲- یاتاقان
۸	۱-۱-۲- تقسیم بندی یاتاقان ها
۹	۲-۱-۲- یاتاقان های لب دار
۱۱	۲-۲- مقدمه ای بر روانکاری
۱۳	۳-۲- انواع روانکاری
۱۳	۱-۳-۲- روانکاری هیدرودینامیکی
۱۴	۲-۳-۲- روانکاری مرزی
۱۴	۳-۳-۲- روانکاری الاستوهیدرودینامیکی
۱۵	۴-۳-۲- روانکاری جزئی
۱۵	۴-۲- دسته بندی روانکارها
۱۵	۱-۴-۲- دسته بندی بر اساس شکل فیزیکی
۱۷	۲-۴-۲- دسته بندی بر اساس لزجت
۱۹	۵-۲- روانکار میکروپلار
۲۰	۶-۲- روابط مربوط به روانکار میکروپلار در یاتاقان لب دار
۲۰	۱-۶-۲- معادله رینولدز توسعه یافته
۲۳	۲-۶-۲- پارامترهای کار آیی
۲۵	۳- فصل سوم - شبکه عصبی مصنوعی
۲۶	۱-۳- شبکه عصبی مصنوعی چیست؟
۲۸	۲-۳- تاریخچه شبکه های عصبی
۳۰	۳-۳- چرا از شبکه های عصبی استفاده می کنیم؟
۳۱	۴-۳- کاربردهای شبکه عصبی
۳۳	۴- فصل چهارم - روش حل و بررسی نتایج
۳۴	۱-۴- روش حل
۳۵	۱-۱-۴- روش درستی سنجی موازی در شبکه ی عصبی

- ۳۶-۲-۱-۴- نوع شبکه‌ی عصبی مصنوعی مورد استفاده
- ۳۷-۳-۱-۴- معیار انتخاب شبکه عصبی مصنوعی
- ۳۷-۲-۴- بررسی نتایج
- ۴۱-۱-۲-۴- شاخص‌های شبکه عصبی منتخب برای تغییرات ظرفیت حمل بار بر حسب نسبت خارج از مرکزی (شبکه ۱)
- ۴۳-۲-۲-۴- شاخص‌های شبکه عصبی منتخب برای تغییرات ضریب اصطکاک بر حسب نسبت خارج از مرکزی (شبکه ۲)
- ۴۵-۳-۲-۴- شاخص‌های شبکه عصبی منتخب برای تغییرات نشتی انتهایی بر حسب نسبت خارج از مرکزی (شبکه ۳)
- ۴۷-۴-۲-۴- شاخص‌های شبکه عصبی منتخب برای تغییرات زاویه مشخصه بر حسب طول مشخصه بی‌بعد (شبکه ۴)
- ۴۹-۵-۲-۴- شاخص‌های شبکه عصبی منتخب برای تغییرات ضریب اصطکاک بر حسب طول مشخصه بی‌بعد (شبکه ۵)
- ۵۱-۶-۲-۴- شاخص‌های شبکه عصبی منتخب برای تغییرات جریان نشتی انتهایی بر حسب طول مشخصه بی‌بعد (شبکه ۶)
- ۵۳-۷-۲-۴- شاخص‌های شبکه عصبی منتخب برای تغییرات ظرفیت حمل بار بر حسب طول مشخصه بی‌بعد (شبکه ۷)
- ۵۵-۸-۲-۴- شاخص‌های شبکه عصبی منتخب برای تغییرات زاویه مشخصه بر حسب بار (شبکه ۸) ...
- ۵۷-۹-۲-۴- شاخص‌های شبکه عصبی منتخب برای تغییرات نسبت خارج از مرکزی بر حسب بار
- ۵۷-۹-۲-۴- (شبکه ۹)
- ۵۹-۱۰-۲-۴- شاخص‌های شبکه عصبی منتخب برای تغییرات ضریب اصطکاک بر حسب بار (شبکه ۱۰) ...
- ۶۱-۱۱-۲-۴- شاخص‌های شبکه عصبی منتخب برای تغییرات جریان نشتی انتهایی بر حسب بار (شبکه ۱۱)
- ۶۳-۱۲-۲-۴- شاخص‌های شبکه عصبی منتخب برای تغییرات نسبت خارج از مرکزی بر حسب پریلود (شبکه ۱۲)
- ۶۵-۱۳-۲-۴- شاخص‌های شبکه عصبی منتخب برای تغییرات ضریب اصطکاک بر حسب پریلود (شبکه ۱۳)
- ۶۷-۱۴-۲-۴- شاخص‌های شبکه عصبی منتخب برای تغییرات جریان نشتی انتهایی بر حسب پریلود (شبکه ۱۴)
- ۶۹-۱۵-۲-۴- شاخص‌های شبکه عصبی منتخب برای تغییرات زاویه مشخصه بر حسب پریلود (شبکه ۱۵)
- ۷۲-۳-۴- بررسی مشخصه‌های عملکرد استاتیکی یاتاقان‌های غیرمدور تحت روانکار میکروپلار
- ۷۲-۱-۳-۴- ظرفیت حمل بار بر حسب نسبت خارج از مرکزی
- ۷۷-۲-۳-۴- ضریب اصطکاک بر حسب نسبت خارج از مرکزی
- ۸۲-۳-۳-۴- جریان نشتی انتهایی بر حسب نسبت خارج از مرکزی
- ۸۶-۴-۳-۴- زاویه مشخصه بر حسب طول مشخصه بی‌بعد

۹۰.....	۴-۳-۵- ضریب اصطکاک بر حسب طول مشخصه بی بعد
۹۵.....	۴-۳-۶- نشتی انتهایی بر حسب طول مشخصه بی بعد
۹۹.....	۴-۳-۷- ظرفیت حمل بار بر حسب طول مشخصه بی بعد
۱۰۳.....	۴-۳-۸- زاویه‌ی مشخصه بر حسب بار وارده
۱۰۷.....	۴-۳-۹- نسبت خارج از مرکزی بر حسب بار وارده
۱۱۲.....	۴-۳-۱۰- ضریب اصطکاک بر حسب بار وارده
۱۱۶.....	۴-۳-۱۱- جریان نشتی انتهایی بر حسب بار وارده
۱۲۰.....	۴-۳-۱۲- نسبت خارج از مرکزی بر حسب پریلود
۱۲۴.....	۴-۳-۱۳- نیروی اصطکاک بر حسب پریلود
۱۲۸.....	۴-۳-۱۴- نشتی انتهایی بر حسب پریلود
۱۳۲.....	۴-۳-۱۵- زاویه مشخصه بر حسب پریلود
۱۳۶.....	۵- نتیجه گیری و پیشنهادات
۱۳۷.....	۵-۱- نتایج
۱۳۸.....	۵-۲- پیشنهادات
۱۳۹.....	۶- پیوست الف- کلیاتی از شبکه‌های عصبی مصنوعی
۱۴۰.....	۶-۱- نرون
۱۴۱.....	۶-۲- توابع انتقال
۱۴۲.....	۶-۳- نرون با یک بردار ورودی
۱۴۳.....	۶-۴- لایه
۱۴۳.....	۶-۵- شبکه
۱۴۴.....	۶-۶- شبکه‌ی مرکب
۱۴۵.....	۶-۷- شبکه‌ی چند لایه
۱۴۶.....	۶-۸- معماری شبکه عصبی
۱۴۶.....	۶-۹- انواع شبکه‌ها
۱۴۶.....	۶-۹-۱- شبکه‌های FEEDFORWARD
۱۴۷.....	۶-۹-۲- شبکه RECURRENT
۱۴۷.....	۶-۹-۳- شبکه‌های حافظه انجمنی
۱۴۸.....	۶-۹-۴- شبکه PERCEPTRON
۱۴۹.....	۶-۹-۵- شبکه همینگ
۱۴۹.....	۶-۹-۶- شبکه‌های هاپفیلد
۱۵۰.....	۶-۹-۷- شبکه‌های ADALINE
۱۵۱.....	۶-۹-۸- شبکه‌های گراسبرگ
۱۵۳.....	۶-۱۰- روش‌های آموزش شبکه و یادگیری (LEARNING RULES)
۱۵۳.....	۶-۱۰-۱- یادگیری نظارت شده

۱۵۳	۲-۱۰-۶- یادگیری غیر نظارتی.....
۱۵۳	۳-۱۰-۶- قاعده‌ی یادگیری پرسپترون.....
۱۵۴	۴-۱۰-۶- قاعده‌ی یادگیری HEBBIAN غیر نظارتی.....
۱۵۵	۵-۱۰-۶- قاعده‌ی یادگیری HEBBIAN نظارت شده.....
۱۵۵	۶-۱۰-۶- الگوریتم LMS.....
۱۵۶	۷-۱۰-۶- الگوریتم پس انتشار.....
۱۵۶	۸-۱۰-۶- الگوریتم LEVENBERG-MARQUARDT.....
۱۵۷	۷- پیوست ب- نرم افزار MATLAB.....
۱۵۸	۱-۷- برخی علائم، دستورات و توابع کاربردی MATLAB.....
۱۶۱	۲-۷- توابع و متغیرهای کاربردی MATLAB برای شبکه‌های عصبی [۴۵].....
۱۶۱	۱-۲-۷- رابطه‌ای گرافیکی.....
۱۶۱	۲-۲-۷- توابع ایجاد، آموزش و شبیه سازی شبکه.....
۱۶۲	۳-۲-۷- پارامترهای شبکه.....
۱۶۳	۴-۲-۷- توابع روال‌های آموزش شبکه.....
۱۶۳	۵-۲-۷- DEMO های آموزشی.....
۱۶۵	۸- پیوست ج- نمونه کد برنامه MATLAB برای شبکه عصبی مصنوعی.....
۱۷۶	منابع و مأخذ.....

فهرست جدول‌ها

صفحه	عنوان
۳۲	جدول ۱-۳- برخی از کاربردهای شبکه‌های عصبی.....
۶۸	جدول ۱-۴- مقادیر حاصل از نمودارهای کارآیی و رگرسیون شبکه‌های عصبی منتخب.....
۷۳	جدول ۲-۴- نحوه‌ی تأثیر پارامترها در دسته اول نتایج.....
۷۷	جدول ۳-۴- نحوه‌ی تأثیر پارامترها در دسته دوم نتایج.....
۸۲	جدول ۴-۴- نحوه‌ی تأثیر پارامترها در دسته سوم نتایج.....
۸۶	جدول ۵-۴- نحوه‌ی تأثیر پارامترها در دسته چهارم نتایج.....
۹۰	جدول ۶-۴- نحوه‌ی تأثیر پارامترها در دسته پنجم نتایج.....
۹۵	جدول ۷-۴- نحوه‌ی تأثیر پارامترها در دسته ششم نتایج.....

- جدول ۸-۴- نحوه‌ی تأثیر پارامترها در دسته هفتم نتایج..... ۹۹
- جدول ۹-۴- نحوه‌ی تأثیر پارامترها در دسته هشتم نتایج..... ۱۰۳
- جدول ۱۰-۴- نحوه‌ی تأثیر پارامترها در دسته نهم نتایج..... ۱۰۷
- جدول ۱۱-۴- نحوه‌ی تأثیر پارامترها در دسته دهم نتایج..... ۱۱۲
- جدول ۱۲-۴- نحوه‌ی تأثیر پارامترها در دسته یازدهم نتایج..... ۱۱۶
- جدول ۱۳-۴- نحوه‌ی تأثیر پارامترها در دسته دوازدهم نتایج..... ۱۲۰
- جدول ۱۴-۴- نحوه‌ی تأثیر پارامترها در دسته سیزدهم نتایج..... ۱۲۴
- جدول ۱۵-۴- نحوه‌ی تأثیر پارامترها در دسته چهاردهم نتایج..... ۱۲۸
- جدول ۱۶-۴- نحوه‌ی تأثیر پارامترها در دسته پانزدهم نتایج..... ۱۳۲
- جدول ۱-۵- توابع انتقال..... ۱۴۱

فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
۸	شکل ۱-۲- نمونه یاتاقان‌های صنعتی.....
۸	شکل ۲-۲- تقسیم بندی یاتاقان‌ها.....
۹	شکل ۳-۲- یاتاقان ژورنال مدور.....
۱۰	شکل ۴-۲- یاتاقان دو لب.....
۱۰	شکل ۵-۲- یاتاقان سه لب.....
۱۰	شکل ۶-۲- یاتاقان چهار لب.....
۱۷	شکل ۷-۲- نمودار تنش و نرخ برش در سیال نیوتنی.....
۱۸	شکل ۸-۲- نمودار تنش و نرخ برش در سیالی غیر نیوتنی.....
۲۱	شکل ۹-۲- سیستم مختصات در یاتاقان سه لب.....
۲۶	شکل ۱-۳- ذخیره اطلاعات در مغز انسان.....
۴۱	شکل ۱-۴- نمودار کارایی شبکه (۴-۵-۱).....
۴۱	شکل ۲-۴- نمودار رگرسیون شبکه (۴-۵-۱) برای داده‌های آموزش.....
۴۲	شکل ۳-۴- نمودار رگرسیون شبکه (۴-۵-۱) برای داده‌های نظارت.....
۴۲	شکل ۴-۴- نمودار رگرسیون شبکه (۴-۵-۱) برای داده‌های درستی سنجی.....
۴۳	شکل ۵-۴- نمودار کارایی شبکه (۴-۶-۱).....
۴۳	شکل ۶-۴- نمودار رگرسیون شبکه (۴-۶-۱) برای داده‌های آموزش.....
۴۴	شکل ۷-۴- نمودار رگرسیون شبکه (۴-۶-۱) برای داده‌های نظارت.....
۴۴	شکل ۸-۴- نمودار رگرسیون شبکه (۴-۶-۱) برای داده‌های درستی سنجی.....
۴۵	شکل ۹-۴- نمودار کارایی شبکه (۶-۶-۱).....
۴۵	شکل ۱۰-۴- نمودار رگرسیون شبکه (۶-۶-۱) برای داده‌های آموزش.....
۴۶	شکل ۱۱-۴- نمودار رگرسیون شبکه (۶-۶-۱) برای داده‌های نظارت.....

- شکل ۱۲-۴ - نمودار رگرسیون شبکه (۱-۶-۶) برای داده‌های درستی سنجی ۴۶
- شکل ۱۳-۴ - نمودار کارایی شبکه (۱-۲-۶) ۴۷
- شکل ۱۴-۴ - نمودار رگرسیون شبکه (۱-۲-۶) برای داده‌های آموزش ۴۷
- شکل ۱۵-۴ - نمودار رگرسیون شبکه (۱-۲-۶) برای داده‌های نظارت ۴۸
- شکل ۱۶-۴ - نمودار رگرسیون شبکه (۱-۲-۶) برای داده‌های درستی سنجی ۴۸
- شکل ۱۷-۴ - نمودار کارایی شبکه (۱-۵-۷) ۴۹
- شکل ۱۸-۴ - نمودار رگرسیون شبکه (۱-۵-۷) برای داده‌های آموزش ۴۹
- شکل ۱۹-۴ - نمودار رگرسیون شبکه (۱-۵-۷) برای داده‌های نظارت ۵۰
- شکل ۲۰-۴ - نمودار رگرسیون شبکه (۱-۵-۷) برای داده‌های درستی سنجی ۵۰
- شکل ۲۱-۴ - نمودار کارایی شبکه (۱-۳-۵) ۵۱
- شکل ۲۲-۴ - نمودار رگرسیون شبکه (۱-۳-۵) برای داده‌های آموزش ۵۱
- شکل ۲۳-۴ - نمودار رگرسیون شبکه (۱-۳-۵) برای داده‌های نظارت ۵۲
- شکل ۲۴-۴ - نمودار رگرسیون شبکه (۱-۳-۵) برای داده‌های درستی سنجی ۵۲
- شکل ۲۵-۴ - نمودار کارایی شبکه (۱-۸-۳) ۵۳
- شکل ۲۶-۴ - نمودار رگرسیون شبکه (۱-۸-۳) برای داده‌های آموزش ۵۳
- شکل ۲۷-۴ - نمودار رگرسیون شبکه (۱-۸-۳) برای داده‌های نظارت ۵۴
- شکل ۲۸-۴ - نمودار رگرسیون شبکه (۱-۸-۳) برای داده‌های درستی سنجی ۵۴
- شکل ۲۹-۴ - نمودار کارایی شبکه (۱-۸-۳) ۵۵
- شکل ۳۰-۴ - نمودار رگرسیون شبکه (۱-۸-۳) برای داده‌های آموزش ۵۵
- شکل ۳۱-۴ - نمودار رگرسیون شبکه (۱-۸-۳) برای داده‌های نظارت ۵۶
- شکل ۳۲-۴ - نمودار رگرسیون شبکه (۱-۸-۳) برای داده‌های درستی سنجی ۵۶
- شکل ۳۳-۴ - نمودار کارایی شبکه (۱-۵-۳) ۵۷
- شکل ۳۴-۴ - نمودار رگرسیون شبکه (۱-۵-۳) برای داده‌های آموزش ۵۷

- شکل ۳۵-۴- نمودار رگرسیون شبکه (۱-۵-۳) برای داده‌های نظارت..... ۵۸
- شکل ۳۶-۴- نمودار رگرسیون شبکه (۱-۵-۳) برای داده‌های درستی سنجی..... ۵۸
- شکل ۳۷-۴- نمودار کارایی شبکه (۱-۵-۵)..... ۵۹
- شکل ۳۸-۴- نمودار رگرسیون شبکه (۱-۵-۵) برای داده‌های آموزش..... ۵۹
- شکل ۳۹-۴- نمودار رگرسیون شبکه (۱-۵-۵) برای داده‌های نظارت..... ۶۰
- شکل ۴۰-۴- نمودار رگرسیون شبکه (۱-۵-۵) برای داده‌های درستی سنجی..... ۶۰
- شکل ۴۱-۴- نمودار کارایی شبکه (۱-۴-۴)..... ۶۱
- شکل ۴۲-۴- نمودار رگرسیون شبکه (۱-۴-۴) برای داده‌های آموزش..... ۶۱
- شکل ۴۳-۴- نمودار رگرسیون شبکه (۱-۴-۴) برای داده‌های نظارت..... ۶۲
- شکل ۴۴-۴- نمودار رگرسیون شبکه (۱-۴-۴) برای داده‌های درستی سنجی..... ۶۲
- شکل ۴۵-۴- نمودار کارایی شبکه (۱-۴-۳)..... ۶۳
- شکل ۴۶-۴- نمودار رگرسیون شبکه (۱-۴-۳) برای داده‌های آموزش..... ۶۳
- شکل ۴۷-۴- نمودار رگرسیون شبکه (۱-۴-۳) برای داده‌های نظارت..... ۶۴
- شکل ۴۸-۴- نمودار رگرسیون شبکه (۱-۴-۳) برای داده‌های درستی سنجی..... ۶۴
- شکل ۴۹-۴- نمودار کارایی شبکه (۱-۴-۸)..... ۶۵
- شکل ۵۰-۴- نمودار رگرسیون شبکه (۱-۴-۸) برای داده‌های آموزش..... ۶۵
- شکل ۵۱-۴- نمودار رگرسیون شبکه (۱-۴-۸) برای داده‌های نظارت..... ۶۶
- شکل ۵۲-۴- نمودار رگرسیون شبکه (۱-۴-۸) برای داده‌های درستی سنجی..... ۶۶
- شکل ۵۳-۴- نمودار کارایی شبکه (۱-۷-۴)..... ۶۷
- شکل ۵۴-۴- نمودار رگرسیون شبکه (۱-۷-۴) برای داده‌های آموزش..... ۶۷
- شکل ۵۵-۴- نمودار رگرسیون شبکه (۱-۷-۴) برای داده‌های نظارت..... ۶۸
- شکل ۵۶-۴- نمودار رگرسیون شبکه (۱-۷-۴) برای داده‌های درستی سنجی..... ۶۸
- شکل ۵۷-۴- نمودار کارایی شبکه (۱-۵-۷)..... ۶۹

- شکل ۴-۵۸- نمودار رگرسیون شبکه (۱-۵-۷) برای داده‌های آموزش ۶۹
- شکل ۴-۵۹- نمودار رگرسیون شبکه (۱-۵-۷) برای داده‌های نظارت ۷۰
- شکل ۴-۶۰- نمودار رگرسیون شبکه (۱-۵-۷) برای داده‌های درستی سنجی ۷۰
- شکل (۴-۶۱): (نمودار مرجع) تغییرات ظرفیت حمل بار با نسبت خروج از مرکزی در مقادیر مختلف پریلود ۷۴
- شکل (۴-۶۲): نتایج شبکه عصبی برای یاتاقان‌های ۵ و ۶ و ۷ لب - تغییرات ظرفیت حمل بار با نسبت خروج از مرکزی در مقادیر مختلف پریلود ۷۵
- شکل (۴-۶۳): نتایج شبکه عصبی برای یاتاقان‌های ۸ و ۹ و ۱۰ لب - تغییرات ظرفیت حمل بار با نسبت خروج از مرکزی در مقادیر مختلف پریلود ۷۶
- شکل (۴-۶۴): (نمودار مرجع) تغییرات ضریب اصطکاک با نسبت خروج از مرکزی در مقادیر مختلف پریلود ۷۹
- شکل (۴-۶۵): نتایج شبکه عصبی برای یاتاقان‌های ۵ و ۶ و ۷ لب - تغییرات ضریب اصطکاک با نسبت خروج از مرکزی در مقادیر مختلف پریلود ۸۰
- شکل (۴-۶۶): نتایج شبکه عصبی برای یاتاقان‌های ۸ و ۹ و ۱۰ لب - تغییرات ضریب اصطکاک با نسبت خروج از مرکزی در مقادیر مختلف پریلود ۸۱
- شکل (۴-۶۷): (نمودار مرجع) تغییرات جریان نشتی انتهایی با نسبت خروج از مرکزی در مقادیر مختلف پریلود ۸۳
- شکل (۴-۶۸): نتایج شبکه عصبی برای یاتاقان‌های ۵ و ۶ و ۷ لب - تغییرات جریان نشتی انتهایی با نسبت خروج از مرکزی در مقادیر مختلف پریلود ۸۴
- شکل (۴-۶۹): نتایج شبکه عصبی برای یاتاقان‌های ۸ و ۹ و ۱۰ لب - تغییرات جریان نشتی انتهایی با نسبت خروج از مرکزی در مقادیر مختلف پریلود ۸۵
- شکل (۴-۷۰): (نمودار مرجع) تغییرات زاویه مشخصه با طول مشخصه بی‌بعد در مقادیر مختلف پریلود ۸۷

- شکل (۴-۷۱): نتایج شبکه عصبی برای یاتاقان‌های ۵ و ۶ و ۷ لب - تغییرات زاویه مشخصه با طول مشخصه بی‌بعد در مقادیر مختلف پریلود ۸۸
- شکل (۴-۷۲): نتایج شبکه عصبی برای یاتاقان‌های ۸ و ۹ و ۱۰ لب - تغییرات زاویه مشخصه با طول مشخصه بی‌بعد در مقادیر مختلف پریلود ۸۹
- شکل (۴-۷۳): (نمودار مرجع) تغییرات ضریب اصطکاک با طول مشخصه بی‌بعد در مقادیر مختلف پریلود ۹۲
- شکل (۴-۷۴): نتایج شبکه عصبی برای یاتاقان‌های ۵ و ۶ و ۷ لب - تغییرات ضریب اصطکاک با طول مشخصه بی‌بعد در مقادیر مختلف پریلود ۹۳
- شکل (۴-۷۵): نتایج شبکه عصبی برای یاتاقان‌های ۸ و ۹ و ۱۰ لب - تغییرات ضریب اصطکاک با طول مشخصه بی‌بعد در مقادیر مختلف پریلود ۹۴
- شکل (۴-۷۶): (نمودار مرجع) تغییرات جریان نشتی انتهایی با طول مشخصه بی‌بعد در مقادیر مختلف پریلود ۹۶
- شکل (۴-۷۷): نتایج شبکه عصبی برای یاتاقان‌های ۵ و ۶ و ۷ لب - تغییرات جریان نشتی انتهایی با طول مشخصه بی‌بعد در مقادیر مختلف پریلود ۹۷
- شکل (۴-۷۸): نتایج شبکه عصبی برای یاتاقان‌های ۸ و ۹ و ۱۰ لب - تغییرات جریان نشتی انتهایی با طول مشخصه بی‌بعد در مقادیر مختلف پریلود ۹۸
- شکل (۴-۷۹): (نمودار مرجع) تغییرات ظرفیت حمل بار با طول مشخصه بی‌بعد در مقادیر مختلف ۱۰۰
- شکل (۴-۸۰): نتایج شبکه عصبی برای یاتاقان‌های ۵ و ۶ و ۷ لب - تغییرات ظرفیت حمل بار با طول مشخصه بی‌بعد در مقادیر مختلف پریلود ۱۰۱
- شکل (۴-۸۱): نتایج شبکه عصبی برای یاتاقان‌های ۸ و ۹ و ۱۰ لب - تغییرات ظرفیت حمل بار ۱۰۲
- شکل (۴-۸۲): (نمودار مرجع) تغییرات زاویه مشخصه با بار در مقادیر مختلف پریلود ۱۰۴

شکل (۴-۸۳): نتایج شبکه عصبی برای یاتاقان‌های ۵ و ۶ و ۷ لب - تغییرات زاویه مشخصه با بار در مقادیر مختلف پریلود..... ۱۰۵

شکل (۴-۸۴): نتایج شبکه عصبی برای یاتاقان‌های ۸ و ۹ و ۱۰ لب - تغییرات زاویه مشخصه با بار در مقادیر مختلف پریلود..... ۱۰۶

شکل (۴-۸۵): (نمودار مرجع) تغییرات نسبت خارج از مرکزی با بار در مقادیر مختلف پریلود... ۱۰۹

شکل (۴-۸۶): نتایج شبکه عصبی برای یاتاقان‌های ۵ و ۶ و ۷ لب - تغییرات نسبت خارج از مرکزی با بار در مقادیر مختلف پریلود..... ۱۱۰

شکل (۴-۸۷): نتایج شبکه عصبی برای یاتاقان‌های ۸ و ۹ و ۱۰ لب - تغییرات نسبت خارج از مرکزی با بار در مقادیر مختلف پریلود..... ۱۱۱

شکل (۴-۸۸): (نمودار مرجع) تغییرات ضریب اصطکاک با بار در مقادیر مختلف پریلود..... ۱۱۳

شکل (۴-۸۹): نتایج شبکه عصبی برای یاتاقان‌های ۵ و ۶ و ۷ لب - تغییرات ضریب اصطکاک با بار در مقادیر مختلف پریلود..... ۱۱۴

شکل (۴-۹۰): نتایج شبکه عصبی برای یاتاقان‌های ۸ و ۹ و ۱۰ لب - تغییرات ضریب اصطکاک با بار در مقادیر مختلف پریلود..... ۱۱۵

شکل (۴-۹۱): (نمودار مرجع) تغییرات جریان نشتی انتهایی با بار در مقادیر مختلف پریلود..... ۱۱۷

شکل (۴-۹۲): نتایج شبکه عصبی برای یاتاقان‌های ۵ و ۶ و ۷ لب - تغییرات جریان نشتی انتهایی با بار در مقادیر مختلف پریلود..... ۱۱۸

شکل (۴-۹۳): نتایج شبکه عصبی برای یاتاقان‌های ۸ و ۹ و ۱۰ لب - تغییرات جریان نشتی انتهایی با بار در مقادیر مختلف پریلود..... ۱۱۹

شکل (۴-۹۴): (نمودار مرجع) تغییرات نسبت خارج از مرکزی بر حسب پریلود..... ۱۲۱

شکل (۴-۹۵): نتایج شبکه عصبی برای یاتاقان‌های ۵ و ۶ و ۷ لب - تغییرات نسبت خارج از مرکزی بر حسب پریلود..... ۱۲۲

- شکل (۴-۹۶): نتایج شبکه عصبی برای یاتاقان‌های ۷ و ۸ و ۹ لب - تغییرات نسبت خارج از مرکزی بر حسب پریلود ۱۲۳
- شکل (۴-۹۷): (نمودار مرجع) تغییرات نیروی اصطکاک بر حسب پریلود ۱۲۵
- شکل (۴-۹۸): نتایج شبکه عصبی برای یاتاقان‌های ۵ و ۶ و ۷ لب - تغییرات نیروی اصطکاک بر حسب پریلود ۱۲۶
- شکل (۴-۹۹): نتایج شبکه عصبی برای یاتاقان‌های ۸ و ۹ و ۱۰ لب - تغییرات نیروی اصطکاک بر حسب پریلود ۱۲۷
- شکل (۴-۱۰۰): (نمودار مرجع) تغییرات جریان نشتی انتهایی بر حسب پریلود ۱۲۹
- شکل (۴-۱۰۱): نتایج شبکه عصبی برای یاتاقان‌های ۵ و ۶ و ۷ لب - تغییرات جریان نشتی انتهایی بر حسب پریلود ۱۳۰
- شکل (۴-۱۰۲): نتایج شبکه عصبی برای یاتاقان‌های ۸ و ۹ و ۱۰ لب - تغییرات جریان نشتی انتهایی بر حسب پریلود ۱۳۱
- شکل (۴-۱۰۳): (نمودار مرجع) تغییرات زاویه مشخصه بر حسب پریلود ۱۳۳
- شکل (۴-۱۰۴): نتایج شبکه عصبی برای یاتاقان‌های ۵ و ۶ و ۷ لب - تغییرات زاویه مشخصه بر حسب پریلود ۱۳۴
- شکل (۴-۱۰۵): نتایج شبکه عصبی برای یاتاقان‌های ۸ و ۹ و ۱۰ لب - تغییرات زاویه مشخصه بر حسب پریلود ۱۳۵
- شکل ۱-۶ نمایش عمومی یک نرون ۱۴۰
- شکل ۲-۶ نمایش مفصل نرون با یک بردار ورودی ۱۴۲
- شکل ۳-۶ نمایش خلاصه نرون با یک بردار ورودی ۱۴۳
- شکل ۴-۶ نمایش مفصل شبکه تک لایه ۱۴۴
- شکل ۵-۶ نمایش خلاصه شبکه تک لایه ۱۴۴
- شکل ۶-۶ نمایش مفصل شبکه سه لایه ۱۴۵

- شکل ۶-۷- نمایش خلاصه شبکه سه لایه ۱۴۵
- شکل ۶-۸- یک نوع شبکه‌ی Recurrent ۱۴۷
- شکل ۶-۹- شبکه پرسپترون تک لایه ۱۴۸
- شکل ۶-۱۰- نمایش شبکه همینگ استاندارد ۱۴۹
- شکل ۶-۱۱- نوع ساده‌ای از شبکه هاپفیلد ۱۵۰
- شکل ۶-۱۲- یک شبکه ADALINE ۱۵۰
- شکل ۶-۱۳- نرون یکتای ADALINE ۱۵۱
- شکل ۶-۱۴- لایه اول در شبکه گراسبرگ ۱۵۱
- شکل ۶-۱۵- لایه دوم شبکه گراسبرگ ۱۵۲

نمادها

لقی شعاعی (m)	C
حداقل لقی وقتی مرکز محور و مرکز هندسی یاتاقان بر هم منطبق باشند (m)	C_m
ضرائب لزجتهای زاویه‌ای	C_o, C_a, C_d
نیروی اصطکاک (N)	F_f
نیروی اصطکاک بدون بعد $(C/\mu UR)L F$	\bar{F}_f
ضریب اصطکاک	f
ضخامت لایه سیال (m)	h
طول مشخصه بدون بعد سیال میکروپلار، $L_m = C/\Lambda$	L_m
عدد کوپلینگ، $N = (\mu_r/(\mu + \mu_r))^{(1/2)}$	N
مرکز یاتاقان	O
مرکز محور	O_j
فشار لایه‌ی سیال (N/m)	P
فشار بدون بعد لایه‌ی سیال، $(C^2/\mu UR)P$	\bar{P}
دبی نشتی انتهایی (m^3/s)	Q
دبی نشتی انتهایی بدون بعد، $(6L/\mu UR)Q$	\bar{Q}
شعاع محور (m)	R
سرعت محور (m/s)	U
مؤلفه‌های سرعت روانکار در راستای x, y, z (m/s)	v_x, v_y, v_z
محورهای مختصات متعامد در مرکز هندسی یاتاقان	X, Y, Z
مختصات مرکز محور	X_j, Y_j
ظرفیت تحمل بار یاتاقان (N)	W
ظرفیت تحمل بار بدون بعد $(C^2/\mu ULR^2)W$	\bar{W}

مؤلفه‌های ظرفیت تحمل بار بدون بعد در راستای محوره‌های X , Y	\bar{W}_x, \bar{W}_y
مؤلفه‌های سرعت میکروپلار حول محورها (1/s)	w_x, w_y, w_z
نسبت خارج از مرکزی	ε
زاویه‌ی اندازه‌گیری شده از محور X	θ
زاویه بین خط‌المركزین محور و لب i ام با جهت مثبت محور X	θ_0^i
زاویه‌ی شروع لب i ام	θ_1^i
زاویه‌ی پایان لب i ام	θ_2^i
پریلود (C_m/C)	δ
زاویه‌ی مشخصه	ϕ
طول مشخصه‌ی سیال میکروپلار (m) $(C_a + C_a/4\mu)^{1/2}$	Λ
لزجت سیال نیوتنی (Ns/m^2)	μ
لزجت ریزدوران (microrotation) (Ns/m^2)	μ_r
چگالی روانکار (Kg/m^3)	ρ
نسبت طول به قطر	λ
ثابت دوم لزجت (Ns/m^2)	λ_0
سرعت زاویه‌ای محور (1/s)	ω
پایین و بالا نویس برای شماره‌ی لب	i
خط روی حروف، معرف مقادیر بدون بعد است	—