بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه سمنان
دانشکده مهندسی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران گرایش راه‌وترابری

عنوان:

مطالعه عددی تحلیل و طراحی روسازی‌های صلب راه‌ها و استفاده از شبکه‌عصبی‌مصنوعی

توسط:

رضا نوروزی

استاد راهنما:

دکتر غلامعلی شفابخش

مهر ماه ۱۳۹۰

تقدیم به مادر و پدر مهربانم

که همواره

الهام بخش زندگی ام بوده اند...

با تشکر و قدردانی

از زحمات تمامی معلمان، دوستان و اعضای خانواده ام؛

بویژه پدر فداکارم که بزرگترین معلم زندگی ام است،

و استاد ارجمندم جناب آقای دکتر شفابخش که همواره از راهنمایی های بی دریغشان درس گرفته ام،

همچنین برخود لازم می دانم از همکاری های قابل توجه جناب آقای دکتر عماد بشیر، بعنوان یکی از پرسنل سازمان حمل و نقل کالیفرنیا و آقای دکتر جاکوب هیلر، استادیار دانشگاه میشیگان، که با در اختیار قرار دادن برخی از نتایج تحقیقات و مقالاتشان راهگشا بوده اند، قدردانی نمایم...

فهرست مطالب

فصل اول – کلیات ۱

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- تاریخچه ۵

۱-۳- انواع روسازی ها ۶

۱-۴- انواع روسازی های بتنی ۸

۱-۵- انواع فنداسیون ۱۰

۱-۶- تماس دال – خاک بستر ۱۱

۱-۶-۱- تماس کامل ۱۱

۱-۶-۲- تماس جزئی بدون درزهای اولیه ۱۲

۱-۶-۳- تماس جزئی با درزهای اولیه ۱۳

۱-۷- مشخصات بتن ۱۴

۱-۷-۱- سابقه ۱۴

۱-۷-۲- مقاومت بتن ۱۴

۱-۷-۳- مدول الاستیسیته ۱۵

۱-۷-۴- ضریب انبساط حرارتی ۱۵

۱-۸- ضرورت انجام تحقیق ۱۶

۱-۹- تعریف مسئله ۱۷

۱-۱۰- روش تحقیق ۱۸

فصل دوم - معرفی روش های تحلیل و طراحی روسازی های صلب ۱۹

۲-۱- مقدمه ۲۰

۲-۲- روش های تحلیل روسازی صلب ۲۰
۲-۲-۱- مدل های رایج تعیین پاسخ ۲۱
۲-۲-۱-۱- نظریه وسترگارد ۲۱
۲-۲-۱-۲- روابط وسترگارد ۲۴
۲-۲-۱-۳- مدل لایه ای ارتجاعی ۲۵
۲-۲-۱-۴- مدل های المان مجزا ۲۸
۲-۲-۱-۵- مدل های اجزاء محدود ۲۹
۲-۳- روش های طراحی روسازی صلب ۳۲
۲-۳-۱- روش اشتو ۱۹۹۳ ..... ۳۲
۲-۳-۱-۱- پارامتر های طراحی ۳۳
۲-۳-۱-۲- معیارهای طراحی ۴۲
۲-۳-۱-۳- معادلات طراحی ۴۳
۲-۳-۲- روش موسسه سیمان پرتلند ۱۹۸۴ ..... ۴۵
۲-۳-۲-۱- معیارهای طراحی ۴۶
۲-۳-۲-۲- عوامل طراحی ۴۸
۲-۳-۲-۳- روند طراحی ۵۰
۲-۳-۳- سایر روش ها ۵۲
۲-۳-۴- کاتالوگ های طراحی ۵۲
۲-۳-۵- طراحی درز ها و داول ها ۵۲
۲-۳-۵-۱- طراحی درزها ۵۳

۲-۳-۵-۲- طراحی داول ها ۵۵
۲-۳-۶- مقایسه روش AASHTO و PCA ۵۶
فصل سوم - نرم افزارهای تحلیل و طراحی روسازی های صلب ۵۷
۳-۱- مقدمه ۵۸
۳-۲- تحلیل اجزاء محدود روسازی های صلب ۵۸
۳-۲-۱- برنامه های تحلیل اجزاء محدود دو بعدی برای روسازی صلب ۵۹
۳-۲-۱-۱- هوانگ و وانگ ۵۹
۳-۲-۱-۲- طباطبایی و بارنبرگ ۶۰
۳-۲-۱-۳- تیا و همکاران ۶۰
۳-۲-۲- مدلسازی روسازی صلب با برنامه های تحلیلی المان محدود دو بعدی ۶۱
۳-۲-۲-۱- هاریک و همکاران ۶۱
۳-۲-۲-۲- چوبانه و تیا ۶۱
۳-۲-۲-۳- روزلر و خازنویچ ۶۲
۳-۲-۲-۴- مدل المان محدود WESLIQID ۶۲
۳-۲-۳- تحلیل المان محدود سه بعدی روسازی صلب ۶۳
۳-۲-۳-۱- چاناکوا و همکاران ۶۳
۳-۲-۳-۲- جنگ و همکاران ۶۳
۳-۲-۳-۳- کو ۶۴
۳-۲-۳-۴- مالا و جورج ۶۴
۳-۲-۳-۵- چاتی و همکاران ۶۵

۳-۲-۳-۶- آدین و همکاران (۱۹۹۴) ۶۵
۳-۲-۳-۷- آدین و همکاران (۱۹۹۵) ۶۶
۳-۲-۳-۸- زمان و الواپیلی ۶۶
۳-۲-۳-۹- مسد و همکاران ۶۶
۳-۲-۳-۱۰- کیم ۶۷
۳-۲-۳-۱۱- دیوید ۶۷
۳-۲-۳-۱۲- ویلیام و شوکری ۶۸
۳-۲-۳-۱۳- دیوید ۶۸
۳-۲-۳-۱۴- هلوانی و دایر ۶۹
۳-۲-۴- نرم افزارهای المان محدود جدید برای تحلیل روسازی صلب ۶۹
۳-۲-۴-۱- دیوید و همکاران ۶۹
۳-۲-۴-۲- خازنویچ و همکاران (۲۰۰۰) ۷۰
۳-۲-۵- مقایسه راه حلهای اجزاء محدود دو و سهبعدی ۷۰
۳-۳- نرم افزار ها در تحلیل روسازی صلب ۷۱
۳-۳-۱- معیار های ارزیابی ۷۳
۳-۳-۲- انتخاب گزینه های تحلیلی ۷۳
۳-۳-۳- برنامه KENSLABS ۷۴
۳-۳-۴- برنامه ISLAB2000 ..... ۷۴
۳-۳-۵- نرم افزار تحلیلی JSLAB2004 ..... ۷۶
۳-۳-۶- نرم افزار تحلیلی EverFE2.24 ..... ۷۸

۳-۳-۶-۱- آشنایی با نرم افزار ۸۱
۳-۳-۷- نرم افزار ABAQUS ۹۴
۳-۳-۷-۱- آشنایی مقدماتی با ABAQUS ۹۵
۳-۳-۷-۲- محصولات ABAQUS ۹۵
۳-۳-۷-۳- آشنایی با ABAQUS ۹۶
۳-۴- نرم افزار ها در طراحی روسازی صلب ۱۰۱
۳-۴-۱- نرم افزار طراحی PCASE ۱۰۱
۳-۴-۱-۱- تشریح نرم افزار ۱۰۲
۳-۴-۲- نرم افزار طراحی WinPAS ۱۰۹
۳-۴-۲-۱- تشریح نرم افزار ۱۰۹
۳-۴-۳- نرم افزار طراحی PCAWIN ۱۱۵
فصل چهارم - مطالعه عددی تحلیل روسازی صلب ۱۱٦
۴-۱- مقدمه ۱۱۷
۴-۲- تعریف مسئله ۱۱۷
۴-۲-۱- تحلیل هندسه دال ۱۱۸
۴-۲-۲- تحلیل شرایط لایه اساس ۱۱۸
۴-۲-۳- تحلیل انواع بارهای محوری عبوری ۱۱۹
۴-۲-۴- تحلیل فاصله بین محورها در یک بار محوری مشخص ۱۱۹
۴-۲-۵- تحلیل فشار باد چرخ ۱۲۰
۴-۲-۶ – تحلیل عددی بارگذاری ۱۲۰

۴-۳- معرفی پارامترها ۱۲۲
۴-۴- تحلیل عددی سطح تماس تایر و روسازی ۱۲۳
۴-۵- تحلیل عددی به کمک وسترگارد ۱۲۵
۴-۶- اعتبار سنجی نتایج المان محدود در تحلیل روسازی صلب راه ۱۲۶
۴-۷- نرم افزار المان محدود EverFE ۱۳۰
۴-۷-۱- بررسی اثر شرایط وجود لایه اساس و جزئیات بارگذاری بر مقادیر تنش ۱۳۳
۴-۷-۱-۱- جمع بندی اثرات شرایط وجود لایه اساس و جزئیات بارگذاری بر مقادیر تنش ۱۴۰
۴-۷-۲- بررسی اثرات نوع و محل بارگذاری بر مقادیر تنش ۱۴۰
۴-۷-۲-۱- جمع بندی اثرات نوع و محل بارگذاری بر مقادیر تنش ۱۴۷
۴-۸- نرم افزار المان محدود ABAQUS ۱۴۷
۴-۸-۱- بررسی اثر شرایط وجود لایه اساس و جزئیات بارگذاری بر مقادیر تنش ۱۵۳
۴-۸-۱-۱- جمع بندی اثرات شرایط وجود لایه اساس و جزئیات بارگذاری بر مقادیر تنش ۱۶۰
۴-۸-۲- بررسی اثرات نوع و محل بارگذاری بر مقادیر تنش ۱۶۰
۴-۸-۲-۱- جمع بندی اثرات نوع و محل بارگذاری بر مقادیر تنش ۱۶۶
۴-۸- ۳- بررسی اثرات نوع و محل بارگذاری بر مقادیر افت و خیز ۱۶۷
۴-۸- ۳-۱- جمع بندی اثرات نوع و محل بارگذاری بر مقادیر افت و خیز ۱۷۳
۴-۹- مقایسه نتایج نرم افزارهای EverFE و ABAQUS ۱۷۴
فصل پنجم - مطالعه عددی طراحی روسازی صلب ۱۷۶
۵-۱- پارامترهای اساسی در طرح ضخامت روسازی بتنی ۱۷۷
۵-۱-۱- ترافیک عبوری در دوره طرح ۱۷۷
۵-۱-۲- شرایط محیط ۱۷۷

۵-۱-۳- مشخصات مصالح بتنی ۱۷۸
۵-۱-۴- اساس ۱۷۸
۵-۱-۵- معیارهای عملکردی ۱۷۹
۵-۱-۶- قابلیت اطمینان طراحی ۱۷۹
۵-۲- آشنایی با مسئله ۱۸۰
۵-۲-۱- استفاده از لایه اساس ۱۸۰
۵-۲-۲- بررسی نرم افزار WinPAS ۱۸۲
۵-۲-۳- بررسی نرم افزار PCASE ۱۸۳
۵-۳- معرفی پارامترها ۱۸۶
۵-۴- بررسی نتایج طراحی ۱۸۸
۵-۴-۱- مقایسه کلی نتایج ۱۸۸
۵-۴-۲- بررسی اثرات وجود لایه اساس ۱۹۰
۵-۴-۳- بررسی اثرات مقاومت بستر ۱۹۱
۵-۴-۴- بررسی اثرات ترافیک ۱۹۳
فصل ششم - مدلسازی نتایج تحلیل با شبکه عصبی مصنوعی ۱۹۶
۶-۱- شبکه های عصبی مصنوعی ۱۹۷
۶-۲- مقدمه ۱۹۷
۶-۳- انتخاب شبکه مناسب ۱۹۹
۶-۳-۱- شبکه های مناسب برای پیش بینی ۲۰۰
۶-۳-۱-۱- پس انتشار پیش خور ۲۰۰
۶-۳-۱-۲- دلتا بار دلتا ۲۰۳

۶-۳-۱-۳- دلتا بار دلتا توسعه داده شده ۲۰۳
۶-۳-۲- شبکههای مناسب برای طبقه بندی ۲۰۳
۶-۳-۳- شبکه های مناسب برای ارتباطدهی داده ها ۲۰۵
۶-۳-۴- شبکه ها برای مفهوم سازی داده ها ۲۰۵
۶-۳-۵- شبکه های مناسب برای اصلاح داده ها ۲۰۶
۶-۴- شبکه های عصبی و کاربرد آنها در مهندسی روسازی ۲۰۶
۶-۴-۱- آشنایی با رایج ترین شبکه های عصبی مصنوعی ۲۰۷
۶-۴-۲- رایج ترین شبکه های عصبی مصنوعی استفاده شده ۲۱۱
۶-۴-۳-کاربرد های شبکه های عصبی مصنوعی در ارزیابی سازه ای روسازی ۲۱۴
۶-۴-۴- مزایای کاربرد شبکه های عصبی مصنوعی در این مطالعه ۲۱۷
۶-۵- آموزش و طراحی شبکه عصبی ۲۱۸
۶-۵-۱- تعیین هندسه و خصوصیات شبکه ۲۱۹
۶-۵-۲- آموزش شبکه ۲۲۱
۶-۵-۳- مقایسه پیش بینی شبکه با پاسخ های روسازی ۲۲۴
فصل هفتم - نتیجه گیری و پیشنهادات ۲۲۷
۷-۱- جمع بندی مطالب ۲۲۸
۷-۲- نتیجه گیری ۲۳۱
۷-۳- پیشنهادات ۲۳۴
منابع و مراجع ۲۳۶

فهرست اشکال

(شکل ۱- ۱) توزیع تنش در روسازی صلب تحت اثر بار ۲
(شکل ۱- ۲) موقعیت تنش های بحرانی بوجود آمده ناشی از پیچیده شدن دال (McCracken. J)..... ۳
(شکل ۱- ۳) موقعیت بحرانی بار ترافیکی در دال تحت گرادیان (McCracken. J)..... ۴
(شکل ۱- ۴) اجزاء روسازی های الف) انعطاف پذیر، ب) صلب (Yoder & Witczak 1975)..... ۷
(شکل ۱- ۵) انواع روسازی های بتنی (ACPA 2005)..... ۹
(شکل ۱- ۶) تماس کامل دال و بستر (برنامه کامپیوتری KENSLABS)..... ۱۲
(شکل ۱- ۷) تماس جزئی بدون درز های اولیه (برنامه کامپیوتری KENSLABS)..... ۱۳
(شکل ۱- ۸) تماس جزئی با درز های اولیه (برنامه کامپیوتری KENSLABS)..... ۱۴
(شکل ۲- ۱) دیاگرام طراحی اشتو (Huang. Y)..... ۴۴
(شکل ۲- ۲) موقعیت بار بحرانی در آنالیز خستگی (Huang. Y)..... ۴۶
(شکل ۲- ۳) موقعیت بار بحرانی در آنالیز فرسایش (Huang. Y)..... ۴۸
(شکل ۳- ۱) پنجره اصلی EvrFE..... ۸۱
(شکل ۳- ۲) مقیاس نمایش مدل در EverFE..... ۸۱
(شکل ۳- ۳) ایجاد هندسه مدل..... ۸۳
(شکل ۳- ۴) مشخصات مصالح در EverFE..... ۸۴
(شکل ۳- ۵) پنجره اعمال شرایط تماس دال و اساس در EverFE..... ۸۵
(شکل ۳- ۶) انواع تماس دال و اساس..... ۸۶
(شکل ۳- ۷) پنجره اعمال بارگذاری در EverFE..... ۸۶
(شکل ۳- ۸) پنجره اعمال گرادیان حرارتی در EverFE..... ۸۷
(شکل ۳- ۹) پنجره اعمال مشخصات داول با فاصله مساوی در EverFE..... ۸۸
(شکل ۳- ۱۰) پنجره اعمال مشخصات دستی داول در درز در EverFE..... ۸۸
(شکل ۳- ۱۱) پنجره تعیین مقدار آزادی داول در دال در EverFE..... ۸۹

(شکل ۳- ۱۲) پنجره اعمال ضریب گیرداری و تکیه گاهی دال-داول در EverFE ۹۰
(شکل ۳- ۱۳) پنجره اعمال مشخصات داول نامیزان در EverFE..... ۹۱
(شکل ۳- ۱۴) پنجره ورودی اطلاعات چفت و بست مصالح در EverFE..... ۹۲
(شکل ۳- ۱۵) نمایش گرافیکی تغییر مکان ها در EverFE ۹۳
(شکل ۳- ۱۶) نقشه رنگی مقادیر و موقعیت تنش ها در EverFE..... ۹۳
(شکل ۳- ۱۷) نمونه پنجره آغاز کار با نرم افزار ABAQUS ۹۷
(شکل ۳- ۱۸) معرفی بخش های گوناگون نرم افزار ABAQUS..... ۹۸
(شکل ۳- ۱۹) پنجره ورودی PCASE..... ۱۰۲
(شکل ۳- ۲۰) پنجره ورودی اطلاعات ترافیکی *PCASE* ۱۰۳
(شکل ۳- ۲۱) لیست وسایل نقلیه استاندارد *PCASE*..... ۱۰۴
(شکل ۳- ۲۲) نمونه الگوی ترافیکی تکمیل شده در *PCASE* ۱۰۵
(شکل ۳- ۲۳) پنجره آغاز روند طراحی در *PCASE* ۱۰۶
(شکل ۳- ۲۴) نرم افزار WinPAS ۱۰۹
(شکل ۳- ۲۵) پنجره اصلی نرم افزار WinPAS ۱۱۰
(شکل ۳- ۲۶) منوی "Project ID"..... ۱۱۰
(شکل ۳- ۲۷) منوی انتخاب نحوه ورود اطلاعات ترافیکی ۱۱۱
(شکل ۳- ۲۸) اطلاعات پایه ترافیک..... ۱۱۱
(شکل ۳- ۲۹) انتخاب گزینه اطلاعات بار محوری..... ۱۱۲
(شکل ۳- ۳۰) انتخاب گزینه عبور نوع وسایل نقلیه..... ۱۱۲
(شکل ۳- ۳۱) انتخاب گزینه فاکتورهای ترافیکی ۱۱۳
(شکل ۳- ۳۲) منوی تعیین نحوه طراحی ۱۱۳
(شکل ۳- ۳۳) جدول مشخصات طراحی روسازی بتنی ۱۱۴
(شکل ۳- ۳۴) منوی بررسی خروجی..... ۱۱۵
(شکل ۴- ۱) پارامترهای ورودی مورد استفاده در مطالعه عددی تحلیل روسازی صلب ۱۱۷

(شکل ۴- ۲) انواع ترکیبات بارهای محوری ترافیکی.....۱۱۹
(شکل ۴- ۳) محور منفرد، مرکب و سه گانه.....۱۲۱
(شکل ۴- ۴) مشخصات هندسی محورهای ساده و مرکب ۱۲۱
(شکل ۴- ۵) موقعیت بحرانی محور ترافیکی بر دال روسازی (Tayabji & Packard).....۱۲۲
(شکل ۴- ۶) الف) سطح تماس حقیقی، ب) سطح تماس معادل.....۱۲۴
(شکل ۴- ۷) مقایسه تنش وسترگارد و اجزاء محدود به ازای قرارگیری محور منفرد در لبه دال.....۱۲۸
(شکل ۴- ۸) مقایسه تنش وسترگارد و اجزاء محدود به ازای قرارگیری محور مرکب در لبه دال.....۱۲۹
(شکل ۴- ۹) نمونه پنجره اطلاعات هندسه دال روسازی در نرم افزار EverFE 2.24.....۱۳۱
(شکل ۴- ۱۰) نمونه پنجره اطلاعات بارگذاری در نرم افزار EverFE 2.24.....۱۳۲
(شکل ۴- ۱۱) نمودار تنش نتایج EverFE ناشی از بارگذاری گوشه و مقاومت بستر ۱۰۰Pci.....۱۳۴
(شکل ۴- ۱۲) نمودار تنش نتایج EverFE ناشی از بارگذاری لبه و مقاومت بستر ۱۰۰Pci.....۱۳۵
(شکل ۴- ۱۳) نمودار تنش نتایج EverFE ناشی از بارگذاری گوشه و مقاومت بستر ۲۰۰Pci.....۱۳۶
(شکل ۴- ۱۴) نمودار تنش نتایج EverFE ناشی از بارگذاری لبه و مقاومت بستر ۲۰۰Pci.....۱۳۷
(شکل ۴- ۱۵) نمودار تنش نتایج EverFE ناشی از بارگذاری گوشه و مقاومت بستر ۳۰۰Pci.....۱۳۸
(شکل ۴- ۱۶) نمودار تنش نتایج EverFE ناشی از بارگذاری لبه و مقاومت بستر ۳۰۰Pci.....۱۳۹
(شکل ۴- ۱۷) تنش نتایج EverFE در شرایط عدم وجود لایه اساس و مقاومت بستر ۱۰۰ Pci.....۱۴۱
(شکل ۴- ۱۸) تنش نتایج EverFE در شرایط وجود لایه اساس و مقاومت بستر ۱۰۰ Pci.....۱۴۲
(شکل ۴- ۱۹) تنش نتایج EverFE در شرایط عدم وجود لایه اساس و مقاومت بستر ۲۰۰ Pci.....۱۴۳
(شکل ۴- ۲۰) تنش نتایج EverFE در شرایط وجود لایه اساس و مقاومت بستر ۲۰۰ Pci.....۱۴۴
(شکل ۴- ۲۱) تنش نتایج EverFE در شرایط عدم وجود لایه اساس و مقاومت بستر ۳۰۰ Pci.....۱۴۵
(شکل ۴- ۲۲) تنش نتایج EverFE در شرایط وجود لایه اساس و مقاومت بستر ۳۰۰ Pci.....۱۴۶
(شکل ۴- ۲۳) نمونه مش بندی دال روسازی بتنی در نرم افزار ABAQUS.....۱۴۸
(شکل ۴- ۲۴) نحوه اعمال بار محور ساده بر لبه دال روسازی.....۱۴۹
(شکل ۴- ۲۵) نحوه اعمال بار محور مرکب بر لبه دال روسازی ۱۴۹

(شکل ۴- ۲۶) نمونه پنجره اطلاعات بارگذاری، هندسه مدل و شرایط مرزی نرم افزار ABAQUS.... ۱۵۱
(شکل ۴- ۲۷) نمونه پنجره خروجی تنش نتایج نرم افزار ABAQUS..... ۱۵۱
(شکل ۴- ۲۸) نمونه پنجره خروجی افت و خیز نتایج نرم افزار ABAQUS..... ۱۵۲
(شکل ۴- ۲۹) تنش نتایج ABAQUS ناشی از بارگذاری گوشه و مقاومت بستر Pci ۱۰۰ ..... ۱۵۴
(شکل ۴- ۳۰) تنش نتایج ABAQUS ناشی از بارگذاری لبه و مقاومت بستر Pci ۱۰۰..... ۱۵۵
(شکل ۴- ۳۱) تنش نتایج ABAQUS ناشی از بارگذاری گوشه و مقاومت بستر Pci ۲۰۰ ..... ۱۵۶
(شکل ۴- ۳۲) تنش نتایج ABAQUS ناشی از بارگذاری لبه و مقاومت بستر Pci ۲۰۰..... ۱۵۷
(شکل ۴- ۳۳) تنش نتایج ABAQUS ناشی از بارگذاری گوشه و مقاومت بستر Pci ۳۰۰..... ۱۵۸
(شکل ۴- ۳۴) تنش نتایج ABAQUS ناشی از بارگذاری لبه و مقاومت بستر Pci ۳۰۰..... ۱۵۹
(شکل ۴- ۳۵)تنش نتایج ABAQUS در شرایط عدم وجود لایهاساس و مقاومتبستر Pci ۱۰۰ ..... ۱۶۱
(شکل ۴- ۳۶) تنش نتایج ABAQUS در شرایط وجود لایهاساس و مقاومتبستر Pci ۱۰۰..... ۱۶۲
(شکل ۴- ۳۷) تنش نتایج ABAQUS در شرایط عدموجود لایهاساس و مقاومتبستر Pci ۲۰۰..... ۱۶۳
(شکل ۴- ۳۸) تنش نتایج ABAQUS در شرایط وجود لایهاساس و مقاومتبستر Pci ۲۰۰..... ۱۶۴
(شکل ۴- ۳۹) تنش نتایج ABAQUS در شرایط عدموجود لایهاساس و مقاومتبستر Pci ۳۰۰..... ۱۶۵
(شکل ۴- ۴۰) تنش نتایج ABAQUS در شرایط وجود لایه اساس و مقاومت بستر Pci ۳۰۰..... ۱۶۶
(شکل ۴- ۴۱) افت وخیز ABAQUS در شرایط عدم وجود لایه اساس و مقاومت بستر Pci ۱۰۰ ..... ۱۶۸
(شکل ۴- ۴۲) افت وخیز نتیجه ABAQUS در شرایط وجود لایهاساس و مقاومتبستر Pci ۱۰۰ ..... ۱۶۹
(شکل ۴- ۴۳) افت وخیز نتیجه ABAQUS در شرایط عدم وجود لایهاساس و مقاومتبستر Pci ۲۰۰.. ۱۷۰
(شکل ۴- ۴۴) افت وخیز نتیجه ABAQUS در شرایط وجود لایهاساس و مقاومتبستر Pci ۲۰۰ ..... ۱۷۱
(شکل ۴- ۴۵) افتوخیز نتیجه ABAQUS در شرایط عدم وجود لایهاساس و مقاومت بستر Pci ۳۰۰.. ۱۷۲
(شکل ۴- ۴۶) افتوخیز نتیجه ABAQUS در شرایط وجود لایه اساس و مقاومت بستر Pci ۳۰۰..... ۱۷۳
(شکل ۴- ۴۷) مقایسه نرخ تغییرات تنش در برابر تغییرات ضخامت دال برای نتایج EverFE..... ۱۷۴
(شکل ۴- ۴۸) مقایسه نرخ تغییرات تنش در برابر تغییرات ضخامت دال برای نتایج ABAQUS..... ۱۷۵
(شکل ۵- ۱) نمونه مقطع عرضی روسازی صلب..... ۱۸۰

(شکل ۵- ۲) پنجره ورود اطلاعات ترافیکی در WinPAS..... ۱۸۲
(شکل ۵- ۳) پنجره اطلاعات طراحی در WinPAS..... ۱۸۳
(شکل ۵- ۴) الگوی ترافیکی در PCASE..... ۱۸۴
(شکل ۵- ۵) پنجره طراحی در PCASE..... ۱۸۴
(شکل ۵- ۶) منحنی طراحی روسازی غیرمسلح راه ها و خیابان ها..... ۱۸۵
(شکل ۵- ۷) مقایسه اثرات لایه های اساس در نتایج نرم افزار PCASE..... ۱۸۹
(شکل ۵- ۸) مقایسه اثرات لایه های اساس در نتایج نرم افزار WinPAS..... ۱۹۰
(شکل ۵- ۹) تاثیر ضخامت لایه اساس بر مقاومت خاک بستر..... ۱۹۱
(شکل ۵- ۱۰) مقایسه ضخامت نتیجه PCASE به ازای بستر های متفاوت..... ۱۹۲
(شکل ۵- ۱۱) مقایسه ضخامت نتیجه WinPAS به ازای بستر های متفاوت..... ۱۹۳
(شکل ۵- ۱۲) نرخ افزایش ضخامت دال نتیجه نرم افزار PCASE به ازای افزایش بار وارده..... ۱۹۴
(شکل ۵- ۱۳) نرخ افزایش ضخامت دال نتیجه نرم افزار WinPAS به ازای افزایش بار وارده..... ۱۹۴
(شکل ۶- ۱) نمونه ای از شبکه پس انتشار پیش خور..... ۲۰۱
(شکل ۶- ۲) نمونه شبکه Learning Vector Quantization..... ۲۰۴
(شکل ۶- ۳) نمونه شبکه Counter-propagation..... ۲۰۴
(شکل ۶- ۴) نمونه شبکه عصبی Probabilistic..... ۲۰۵
(شکل ۶- ۵) نمونه ای از شبکه های Recirculation..... ۲۰۶
(شکل ۶- ۶) فرم کلی شبکه عصبی پس انتشار (Back-Propagation)..... ۲۰۸
(شکل ۶- ۷) مقایسه میانگین مربعات خطا شبکه های عصبی..... ۲۲۰
(شکل ۶- ۸) مقایسه رگرسیون برای شبکه های عصبی..... ۲۲۱
(شکل ۶- ۹) میانگین مربعات خطا..... ۲۲۲
(شکل ۶- ۱۰) خطا در اپوک های مسیر حل مسئله..... ۲۲۳
(شکل ۶- ۱۱) نمایش رگرسیون های شبکه آموزش یافته..... ۲۲۴
(شکل ۶- ۱۲) مقایسه مقادیر تنش پیش بینی شبکه با نتایج روش اجزاء محدود..... ۲۲۵

(شکل ۶- ۱۳) مقایسه مقادیر افت و خیز پیش بینی شبکه با نتایج روش اجزاء محدود.....۲۲۶

فهرست جداول

(جدول ۲- ۱) بازبینی مدل های اجزاء محدود برای روسازی های بتنی (Hammons، ۱۹۹۷).....۳۰

(جدول ۲- ۲) عمر طراحی پیشنهادی (کاوسی، ا) ۳۴

(جدول ۲- ۳) مقادیر ضریب رشد (Huang. Y).....۳۵

(جدول ۲- ۴) ضرایب بار محوری هم ارز روسازی بتنی برای D= ۹ in و Pt=۲/۵ (Huang. Y) ۳۷

(جدول ۲- ۵) ضریب توزیع خطوط (کاوسی، ا).....۳۹

(جدول ۲- ۶) مقادیر درصد اطمینان (R) برای انواع راه ها (کاوسی، ا) ۳۹

(جدول ۲- ۷) ضرایب انتقال بار پیشنهاد شده انواع مختلف روسازی و شرایط طراحی (.Huang) ۴۲

(جدول ۲- ۸) مقادیر پیشنهادی ضریب زهکشی برای روسازی های صلب (Huang. Y).....۴۲

(جدول ۲- ۹) مقادیر ضرایب فرسایش (Huang. Y).....۵۱

(جدول ۲- ۱۰) طول و قطر پیشنهاد شده برای داول ها (PCA 1975).....۵۳

(جدول ۲- ۱۱) تعیین مشخصات درزها با توجه به ضخامت روسازی ۵۴

(جدول ۲- ۱۲) تعیین خصوصیات کلی داول ها.....۵۵

(جدول ۳- ۱) تاریخچه نرم افزار JSLAB.....۷۶

(جدول ۳- ۲) خصوصیات نسخه های مختلف JSLAB.....۷۷

(جدول ۳- ۳) آیین نامه های مورد استفاده در نرم افزار PCASE [۳۸].....۱۰۱

(جدول ۳- ۴) انواع عملکرد های نرم افزار *PCASE* ۱۰۷

(جدول ۴- ۱) پارامترهای ورودی مورد نیاز مدلسازی روسازی صلب راه.....۱۲۳

(جدول ۴- ۲) مقایسه نتایج روش های وسترگارد و المان محدود.....۱۲۷

(جدول ۴- ۳) نمونه نتایج تنش نرم افزار EverFE به ازای K=۱۰۰ Pci (۲۷/۱۷ MPa/m).....۱۳۲

(جدول ۴- ۴) نمونه نتایج تنش نرم افزار ABAQUS به ازای K=۱۰۰ Pci (۲۷/۱۷ MPa/m).....۱۵۲

(جدول ۵- ۱) پارامترهای ورودی مورد نیاز طرح روسازی بتنی ۱۸۶

(جدول ۵- ۲) نحوه اعمال اثر ترافیک با توجه به وسایل نقلیه سنگین راه های ایران.....۱۸۷
(جدول ۶- ۱) معیارهای انتخاب شبکه مناسب با اهداف تحقیق ۱۹۹

چکیده

نیاز به آشنایی با روسازی‌های بتنی و روش‌های تحلیل و طراحی آنها با توجه به شرایط امروز کشور ما از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد. لذا خروجی نرم‌افزارهای گوناگون تحلیل و طراحی و جزئیات مورد نیاز مدلسازی آنها نیاز به بررسی دارد. در بحث تحلیل، به بررسی ۶۲۴ مدل روسازی صلب با تکیه بر اثرات ضخامت، مقاومت خاک بستر، شرایط لایه اساس، جزئیات محورهای عبوری و موقعیت اعمال بار پرداخته‌ایم و در ادامه، مطالعه عددی نتایج تحلیل ۱۲۴۸ مدل توسط دو نرم‌افزار ABAQUS و EverFE، به ازای مقادیر تنش و افت‌وخیز حاصله طی نمودارها و جداول انجام شده است.

تعیین ضخامت موردنیاز روسازی بتنی، طی ۲۸۸ مدل روسازی و با تمرکز بر اثرات شرایط مقاومتی خاک بستر، ضخامت‌های لایه اساس و ترافیک عبوری از سبک تا فوق‌سنگین گام بعدی در این تحقیق بوده است. بررسی ۵۷۶ نمونه روسازی با استفاده از دو نرم‌افزار WinPAS و PCASE اطلاعات مفیدی برای انتخاب روش مناسب طراحی بدست داده اند.

جهت ارائه ابزاری کارا برای تحلیل روسازی‌های صلب در کمترین زمان ممکن و حذف مشقات تهیه مدل و جزئیات مورد نیاز آن، یک شبکه‌عصبی انتشاربرگشتی با میزان خطای بسیار ناچیز آموزش داده شده و در مرحله آزمایش، نتایج پیش‌بینی آن با نتایج خروجی نرم‌افزارهای المان محدود مقایسه گردیده است.

کلمات کلیدی: روسازی صلب، مطالعه عددی، نرم‌افزارهای تحلیل، نرم‌افزارهای طراحی، شبکه عصبی مصنوعی.