بسم الله الرحمن الرحيم

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه شهید مدنی آذربایجان

دانشکده فنی و مهندسی
گروه مهندسی عمران

پایان نامه مقطع کارشناسی ارشد
رشته مهندسی عمران

تحلیل قابلیت اعتماد برخورد کشتی به پایه‌ی پل دریایی با در نظر گرفتن اندرکنش خاک و سازه

استاد راهنما :
دکتر محمدرضا امامی آزادی

پژوهشگر :
غلامرضا قلی پور

اسفند/۱۳۹۲ شمسی
تبریز/ایران

تقدیر و تشکر

با سپاس فراوان از راهنمایی های عالمانه و حمایت های همه جانبه‌ی استاد ارجمندم، جناب آقای دکتر امامی آزادی که مرا در این راه دشوار یاری کردند.

همچنین از یاری تمامی اساتید گرامی و کارکنان محترم دانشکده‌ی فنی و مهندسی و گروه مهندسی عمران دانشگاه شهید مدنی آذربایجان در اتمام این پایان نامه، قدردانی می‌کنم.

با تشکر ویژه از خانواده‌ی عزیزم که به طور پیوسته از حمایت های ایشان برخوردار بوده‌ام.

غلامرضا قلی پور

اسفند ماه ۱۳۹۲

تبریز، ایران

فهرست مطالب

چکیده..... یک

مقدمه..... ۱

فصل۱ پیشینه‌ی تحقیقاتی و آزمایشات تجربی انجام شده..... ٦

۱-۱ خلاصه‌ای از مهمترین مطالعات برخورد کشتی انجام شده در مقیاس آزمایشگاهی..... ٦

۱-۱-۱ مطالعه‌ی Minorsky..... ٦

۱-۱-۲ مطالعه‌ی Woisin..... ۷

۱-۱-۳ مطالعه‌ی Meier Dornberg..... ۹

۱-۲ خلاصه‌ای از مهم ترین آزمایشات برخورد کشتی انجام شده در مقیاس واقعی..... ۱٤

فصل۲ تشریح و مدلسازی المان محدود از بارج Jumbo hopper، سازه و زیرسازه‌ی پایه‌های پل مورد مطالعه‌ی St. George Island Causeway..... ۲۳

۲-۱ تشریح پل مورد مطالعه‌ی St. George Island Causeway..... ۲۳

۲-۱-۱ تشریح موقعیت ساختگاه..... ۲۳

۲-۱-۲ شرح اجمالی از پایه های مورد مطالعه..... ۲۷

۲-۱-۳ شرح اجمالی از روسازه‌ی پل..... ۳۳

۲-۲ تشریح بارج (کشتی) Jumbo hopper در مطالعه‌ی موردی..... ۳۵

۲-۲-۱ انتخاب و معرفی بارج مورد مطالعه برای رویداد برخورد با پایه..... ۳۵

۲-۲-۲ ایجاد مدل المان محدود از بارج Jumbo hopper..... ۳۷

۲-۲-۲-۱ شرح سازه‌ای بارج Jumbo hopper..... ۳۷

۲-۲-۲-۲ مشخصات کلی مدل و ملاحظات..... ۳۹

۲-۲-۲-۱-۱ ناحیه ی برخورد بارج (Zone 1)..... ٤۱

۲-۲-۲-۱-۱-۱ هندسه و شرایط مرزبندی..... ٤۱

۲-۲-۲-۱-۲ مشخصات مصالح..... ٤۳

۲-۲-۲-۲ بخش مدلسازی شده به صورت قابی از قوس دماغه‌ی بارج (Zone 2)..... ٤٤

۲-۲-۲-۲-۱ ملاحظات هندسی و مرزی ٤٤
۲-۲-۲-۲-۲ مشخصات مصالح ٤٧
۲-۲-۲-۳ بخش عقبه‌ی بارج (Zone 3)..... ٤٧
۲-۲-۲-۳-۱ مشخصات مصالح ٤٨
۲-۲-۲-۳-۲ تعیین وزن بارج (چگالی جرمی در مدل المان محدود). ٤٩
۲-۲-۲-۳-۳ روند محاسبه‌ی جرم افزوده (Added Mass)..... ٥٠
۲-۲-۲-۳-٤ مدلسازی شناوری و نیروی جاذبه (گرانش) در Zone 3 ٥١
۲-۲-۲-۳-٥ تنظیم و برقراری هندسی فنرهای شناوری..... ٥١
۲-۲-۲-۳-٦ تعیین تعادل برای فنرهای شناوری..... ٥٢
۲-۳ ایجاد مدلهای المان محدود برای پایه های پل St. George Island Causeway..... ٥٤
۲-۳-۱ استانداردها و کدهای مورد استفاده برای مدلسازی و تحلیل مدلهای المان محدود ٥٤
۲-۳-۲ شرح پایه ها در موقعیت محل گذرگاهی کانال (Causeway)..... ٥٤
۲-۳-۳ مشخصات کلی و ملاحظات..... ٥٥
۲-۳-٤ مدل المان محدود پایه‌ی ۱ در LS-DYNA..... ٥٦
۲-۳-٤-۱ ملاحظات هندسی..... ٥٦
۲-۳-٤-۲ مشخصات مصالح..... ٥٨
۲-۳-٥ مدل المان محدود پایه‌ی ۳ در LS-DYNA..... ٥٩
۲-۳-٥-۱ ملاحظات هندسی..... ٥٩
۲-۳-٥-۲ مشخصات مصالح..... ٦٢
۲-۳-٦ مدل المان محدود پایه ها در FB-MultiPier..... ٦٢
۲-۳-٦-۱ مدل مصالح پایه های ۱ و ۳ در FB-MultiPier..... ٦٢
۲-۳-٦-۲ مدل پایه‌ی ۱ در FB-MultiPier..... ٦٥
۲-۳-٦-۳ مدل پایه‌ی ۳ در FB-MultiPier..... ٦٦
۲-٤ ایجاد مدلهای المان محدود ازسیستم های چند پایه ای (سه پایه ای دو دهانه) از پل St. George Island Causeway..... ٦٨
۲-٤-۱ سیستم چند پایه ای (سه پایه ای دو دهانه) در LS-DYNA ٦٨

۲-٤-۲ مدل روسازه (Superstructure) در LS-DYNA ٦٩
۲-٤-۳ سیستم چند پایه ای (سه پایه ای دو دهانه) در FB-MultiPier..... ۷۰
۲-۵ مدل اندرکنش خاک – سازه در LS-DYNA و FB-MultiPier..... ۷۳
۲-۵-۱ تنظیم موقعیت فنرهای معادل خاک..... ۷٤
۲-۵-۲ مدل اندرکنش خاک – شمع برای پایه‌ی ۱ در LS-DYNA ۷٦
۲-۵-۲-۱ مقاومت جانبی خاک..... ۷٦
۲-۵-۲-۲ مقاومت محوری اصطکاک جداره‌ی شمع – خاک در امتداد طول شمع ها..... ۸۵
۲-۵-۲-۳ مدلسازی اندرکنش میان خاک و کلاهک شمع + پوشش بتنی روی شمع ها (Cap + Seal) برای پایه ی ۱ در LS-DYNA ۸۵
۲-۵-۲-۳-۱ مقاومت Passive + Active روی کلاهک شمع + پوشش بتنی روی شمع ها (Cap + Seal)..... ۸۵
۲-۵-۲-۳-۲ مقاومت اصطکاک جداره ی کلاهک شمع + پوشش بتنی روی شمع ها (Cap + Seal)..... ۸۷
۲-۵-۲-۳-۳ تأثیر ضرایب گروهی منحنی p-y برای گروه شمع های پایه‌ی ۱.... ۸۷
۲-۵-۲-۳-٤ میرایی..... ۸۸
۲-۵-۳ مدل اندرکنش خاک – شمع برای پایه‌ی ۳ در LS-DYNA ۹۰
۲-۵-۳-۱ میرایی..... ۹۱
۲-۵-٤ شرایط خاک در محل پایه های ۱ و۳ ..... ۹۱
۲-٦ تعیین شرایط برخورد بارج روی پایه‌ی پل با استفاده از شبیه سازی های المان محدود در LS-DYNA ۹٤
۲-٦-۱ شبیه سازی برخوردهای بارج با استفاده از مدلهای ادغام شده‌ی بارج و پایه ۹٤
۲-٦-۲ تعریف تماس برخوردی برای تعیین و ثبت تاریخچه‌ی نیروی برخورد..... ۹۵
۲-٦-۳ تنظیم موقعیت مدلهای بارج و پایه..... ۹۵
فصل۳ نتایج نیرو، انرژی و تنش های حاصل از رویداد برخورد و پاسخ پایه..... ۹٦
۳-۱ نتایج نیروی برخورد بارج–پایه حاصل از تحلیل های شبیه سازی المان محدود دینامیکی غیرخطی توسط LS-DYNA ۹٦

۳-۱-۱ مقادیر متغیرها و پارامترهای شبیه سازی های انجام شده..... ۹۶
۳-۱-۲ نتایج نیروی برخورد برای شبیه سازی رویداد برخورد بارج با پایه‌ی ۱ منفرد..... ۹۷
۳-۱-۳ نتایج نیروی برخورد برای شبیه سازی رویداد برخورد بارج با پایه‌ی ۳ منفرد..... ۱۰۶
۳-۲ نتایج انرژی سیستم بارج – پایه حاصل از شبیه سازی های برخورد در LS-DYNA..... ۱۱۴
۳-۲-۱ نتایج انرژی برای سیستم بارج – پایه‌ی ۱ منفرد..... ۱۱۵
۳-۲-۲ نتایج انرژی برای سیستم بارج – پایه‌ی ۳ منفرد..... ۱۱۸
۳-۳ نتایج منحنی های عمق تغییرشکل (لهیدگی) (Crushing Depth) قوس دماغه ی بارج بدست آمده از تحلیل شبیه سازی های دینامیکی LS-DYNA..... ۱۲۱
۳-۳-۱ نتایج عمق تغییرشکل برای سیستم بارج – پایه‌ی ۱ منفرد..... ۱۲۲
۳-۳-۱-۲ مقایسه‌ی پیک نیروهای برخورد و پیک عمق تغییرشکل بین نتایج شبیه سازی المان محدود دینامیکی و نتایج حاصل از تحلیل برخورد کشتی تحت بارگذاری مقررات AASHTO برای رویداد برخورد بارج – پایه‌ی ۱..... ۱۲۷
۳-۳-۱-۲-۱ حالت بارگذاری کامل ظرفیت بارج..... ۱۲۷
۳-۳-۱-۲-۲ حالت نصف ظرفیت بارگذاری بارج..... ۱۲۸
۳-۳-۲ نتایج عمق تغییرشکل برای سیستم بارج – پایه‌ی ۳ منفرد..... ۱۲۸
۳-۴ نتایج پاسخ تغییرمکانی پایه‌ی پل به بار برخورد بارج..... ۱۳۲
۳-۴-۱ نتایج پاسخ تغییرمکانی سازه ی پایه‌ی ۱ به بار برخورد..... ۱۳۲
۳-۴-۲ نتایج پاسخ تغییرمکانی سازه‌ی پایه‌ی ۳ به بار برخورد..... ۱۳۹
۳-۵ نتایج نیروهای مقاومتی فعال در طی رویداد برخورد بارج – پایه..... ۱۴۴
۳-۵-۱ منابع نیروهای مقاومتی فعال در طی رویداد برخورد بارج به پایه‌ی ۱ منفرد..... ۱۴۴
۳-۵-۲ منابع نیروهای مقاومتی فعال در طی رویداد برخورد بارج به پایه‌ی ۳ منفرد..... ۱۴۹
۳-۵-۲-۱ نمایش نتایج..... ۱۵۰
۳-۵-۲-۲ تفسیر نتایج و مقایسه‌ی انجام شده برای پایه‌ی ۳ و مقایسه ی آن با نتایج بدست آمده برای پایه‌ی ۱..... ۱۵۱
۳-۶ نتایج نیروها و تنش های سازه‌ی پایه‌ی پل در طی رویداد برخورد (دینامیکی)..... ۱۵۳

۳-٦-۱ مفاهیم نتایج استخراج شده از تحلیل های انجام شده توسط نرم افزار LS-DYNA و FB-MultiPier ۱۵۳
۳-٦-۱-۱ تنش های محوری و برشی ۱۵۳
۳-٦-۱-۲ تنش موثر فون میزس (VON MISES) ۱۵۳
۳-٦-۱-۳ تنش برشی ماکزیمم ۱۵۵
۳-٦-۲ نمایش تنایج تنش ها برای پایه‌ی ۱ منفرد ۱۵٦
۳-٦-۳ نمایش تنایج تنش ها برای پایه‌ی ۳ منفرد ۱۵۹
۳-٦-٤ مقایسه ی نتایج تنش های سازه ای برای تک پایه های ۱و ۳ (بدون حضور روسازه) بدست آمده از LS-DYNA ۱٦۱
فصل٤ صحت سنجی نتایج نیروهای برخورد بارج – پایه و پاسخ تغییرمکانی پایه ۱٦۲
٤-۱ صحت سنجی نتایج نیروی برخورد بارج به پایه‌ی پل ۱٦۲
٤-۲ صحت سنجی نتایج پاسخ تغییرمکانی پایه‌ی پل به بار برخورد بارج ۱٦۸
فصل۵ نتایج اندرکنش بین خاک – شمع و بررسی رفتار خاک حاصل از تحلیل های دینامیکی انجام شده توسط LS-DYNA ۱۷۲
۵-۱ نتایج رفتار اندرکنش خاک – شمع برای رویداد برخورد بارج با پایه‌ی ۱ ..... ۱۷۳
۵-۱-۱ نتایج منحنی های p-y تشکیل یافته برای سیستم اندرکنش خاک – شمع پایه‌ی ۱ ..... ۱۷٦
۵-۱-۲ نتایج منحنی های T-z تشکیل یافته برای سیستم اندرکنش خاک – شمع پایه‌ی ۱ ..... ۱۸۵
۵-۱-۳ تفسیر نتایج ۱۸۹
۵-۲ نمایش منحنی های اندرکنش خاک – شمع در طی رویداد برخورد بارج – پایه‌ی ۱ منفرد حاصل از FB-MultiPier ۱۹۱
۵-۲-۱ مقایسه ی نتایج بدست آمده از LS-DYNA و FB-MultiPier برای پایه‌ی ۱ منفرد ۱۹۷
۵-۳ نتایج رفتار اندرکنش خاک – شمع برای رویداد برخورد بارج با پایه‌ی ۳ ..... ۱۹۷
۵-۳-۱ نتایج منحنی های p-y تشکیل یافته برای سیستم اندرکنش خاک – شمع پایه‌ی ۳ ..... ۱۹۹
۵-۳-۲ نتایج منحنی های T-z تشکیل یافته برای سیستم اندرکنش خاک – شمع پایه‌ی ۳ ..... ۲۰۷
۵-۳-۳ تفسیر نتایج برای سیستم اندرکنش خاک – شمع پایه‌ی ۳ و مقایسه‌ی آنها با اندرکنش خاک – شمع پایه‌ی ۱ ..... ۲۱۱

٤-٥ نمایش منحنی های اندرکنش خاک – شمع در طی رویداد برخورد بارج – پایه‌ی ۳ منفرد حاصل از FB-MultiPier ۲۱۲
فصل٦ انجام شبیه سازی های المان محدود بر روی مدلهای سه پایه ای دو دهانه ای ۲۱٤
٦-١ نیروهای موجود در رویداد برخورد (دینامیکی) پایه با سیستم سه پایه و درحضور روسازه ۲۱٤
٦-٢ طبقه بندی مکانیزم ها و اثرات تقویت دینامیکی برای حالت حضور روسازه در تحلیل ها..... ۲۱۵
٦-٣ نتایج پاسخ تغییرمکانی پایه‌ی ۱ در طی برخورد بارج با سیستم سه پایه ای (۱.۱.۲) و مقایسه با نتایج برخورد با سیستم تک پایه ای متناظر آن (پایه‌ی ۱ منفرد) ۲۱۸
٦-٣-١ نتایج پاسخ تغییرمکانی پایه‌ی ۱ در برخورد بارج با سیستم سه پایه ای (۱.۱.۲) ۲۱۹
٦-٤ نتایج تغییرمکانی پایه‌ی ۳ در طی برخورد بارج با سیستم سه پایه ای (۲.۳.٤) و مقایسه با نتایج برخورد با سیستم تک پایه ای متناظر آن (پایه‌ی ۳) ۲۲٤
٦-٤-١ نتایج پاسخ تغییرمکانی پایه‌ی ۳ در طی برخورد بارج با سیستم سه پایه ای (۲.۳.٤) . ۲۲۵
٦-٥ نتایج نیروهای سازه اب و تنش های ایجاد شده در پایه‌ی ۱ در طی رویداد برخورد (درینامیکی) بارج با سیستم سه پایه ای (۱.۱.۲) و مقایسه با نتایج حالت تک پایه ای متناظر مورد برخورد (پایه‌ی ۱ منفرد) ۲۲۹
٦-٥-١ نتایج تنش برای پایه‌ی ۱ در حالات سیستم سه پایه ای و منفرد..... ۲۲۹
٦-٥-٢ نمایش نتایج تنش برای پایه‌ی ۳ در حالات سیستم سه پایه ای و منفرد..... ۲۳۳
فصل٧ روند تأثیر روسازه‌ی (عرشه‌ی) پل در طی شبیه سازی های المان محدود در تحلیل های استاتیکی و دینامیکی از برخورد بارج به پایه..... ۲۳۸
٧-١ پیش بارگذاری ثقلی از طریق انجام یک تحلیل استاتیکی اولیه ۲۳۸
٧-٢ تأثیر حضور روسازه در مکانیزم های مقاومتی سازه در طی تحلیل های استاتیکی و دینامیکی ۲٤۲
٧-٢-١ اثر تقویتی به علت مقاومت اینرسی روسازه در تحلیل های استاتیکی و دینامیکی ۲٤۳
٧-٣ مقایسه‌ی نتایج تحلیل های استاتیکی (آشتو واستاتیکی با بار پیک حاصل از تحلیل دینامیکی) با تحلیل های دینامیکی ۲٤٦
٧-٣-١ نمایش مقایسه‌ی نتایج استاتیکی و دینامیکی برای پایه‌ی ۱ منفرد..... ۲٤٧
٧-٣-٢ نمایش مقایسه‌ی نتایج استاتیکی و دینامیکی برای پایه‌ی ۳ منفرد..... ۲۵۲
٧-٣-٣ نمایش مقایسه‌ی نتایج استاتیکی و دینامیکی برای سیستم سه پایه ای (۱.۱.۲)..... ۲۵۵

۷-۳-٤ نمایش مقایسه‌ی نتایج استاتیکی و دینامیکی برای سیستم سه پایه ای (۲.۳.٤)..... ۲۵۸
فصل۸ تحلیل قابلیت اعتماد رویداد برخورد بارج به پایه‌ی پل..... ۲٦۲
۸-۱ مکانیزم های گسیختگی سازه ای برای سناریوهای مختلف برخورد بارج - پایه..... ۲٦۲
۸-۱-۱ مکانیزم خرابی ستون پایه در حالت برخورد بارج با ستون پایه..... ۲٦۲
۸-۱-۲ مکانیزم خرابی ستون پایه در حالت برخورد بارج با دیوار برشی..... ۲٦۳
۸-۱-۳ مکانیزم خرابی ستون پایه در حالت برخورد بارج با کلاهک شمع..... ۲٦۳
۸-۱-٤ مکانیزم خرابی شمع ها در حالت برخورد بارج با کلاهک شمع..... ۲٦٤
۸-۲ ارزیابی قابلیت اعتماد برای پایه‌ی ۱ منفرد (بدون حضور روسازه)..... ۲٦۵
۸-۲-۱ مولفه های عدم قطعیت های مقاومت (Resistance) برای سازه‌ی ستون پایه..... ۲٦٦
۸-۲-۱-۱ فرمولاسیون مقاومت برشی ستون..... ۲٦۷
۸-۲-۱-۲ فرمولاسیون مقاومت خمشی و محوری ستون پایه..... ۲٦۸
۸-۲-۲ مولفه های عدم قطعیت های بار (Load) برای سازه‌ی ستون پایه..... ۲۷۰
۸-۲-۳ مولفه های عدم قطعیت های بار(Resistance) برای باربری خاک نوک شمع های پایه‌ی ۱ ..... ۲۷۱
۸-۳ ارزیابی قابلیت اعتماد برای پایه‌ی ۳ منفرد (بدون حضور روسازه)..... ۲۷۲
۸-۳-۱ مولفه های عدم قطعیت های مقاومت و بار برای سازه‌ی ستون پایه‌ی ۳..... ۲۷۳
۸-۳-۲ مولفه های عدم قطعیت های بار (Resistance) برای باربری خاک نوک شمع های پایه‌ی ۳ ..... ۲۷٤
۸-٤ ارزیابی قابلیت اعتماد برای پایه های ۱و۳ در سیستم های سه پایه ای..... ۲۷٤
۸-۵ ارزیابی قابلیت اعتماد برای پایه های ۱و۳ بر اساس مقررات بارگذاری AASHTO..... ۲۷٤
۸-٦ نتایج ارزیابی قابلیت اعتماد..... ۲۷٦
۸-٦-۱ نتایج ارزیابی قابلیت اعتماد برای پایه‌ی ۱ منفرد..... ۲۷٦
۸-٦-۲ نتایج ارزیابی قابلیت اعتماد برای پایه‌ی ۳ منفرد..... ۲۷۷
۸-٦-۳ نتایج ارزیابی قابلیت اعتماد برای پایه‌ی ۱ در سیستم سه پایه ای (۱.۱.۲)..... ۲۷۹
۸-٦-٤ نتایج ارزیابی قابلیت اعتماد برای پایه‌ی ۳ در سیستم سه پایه ای (۲.۳.٤)..... ۲۸۰
فصل۹ نتایج و پیشنهادات..... ۲۸۱

۹-۱ نتایج کلی ۲۸۱
۹-۲ پیشنهادات ۲۸۳
پیوست الف ۲۸۵
پیوست ب ۳۰۵
پیوست پ ۳۲۰
پیوست ت ۳۳۳
منابع و مآخذ ۳۷۰
چکیده‌ی لاتین (Abstract) I

فهرست اشکال

شکل الف خرابی پل Sunshine Skyway در Florida درسال ۱۹۸۰ بعد از برخورد با کشتی محموله ای Summit Venture ۲

شکل ب خرابی پل راه آهن Big Bayou Canot در Alabama(1993) بعد از برخورد با یک ناوگان بارج..... ۳

شکل پ خرابی پل Queen Isabella Causeway در Texas (2001) بعد ازبرخورد با یک ناوگان بارج ۳

شکل ت خرابی پل بین ایالتی I-40 در Oklahama (2002) بعد از برخورد با یک ناوگان بارج..... ٤

شکل ۱-۱ آزمایشات با مقیاس کوچک شده‌ی برخورد کشتی به کشتی انجام شده توسط Woisin (1976) : الف) مدل قوس کشتی روی سطح شیبدار قبل از آزمایش ب) تغییرشکل دائمی مدل قوس کشتی بعد از آزمایش..... ۷

شکل ۱-۲ نمایش شماتیک از نیروی برخورد دینامیکی تولید شده در آزمایش Woisin..... ۸

شکل ۱-۳ نتایج نیرو- تغییرشکل بدست آمده توسط Meier Dornberg(1983) : a) نتایج حاصل از آزمایش برخورد دینامیکی چکش استوانه ای. b) نتایج حاصل از آزمایش برخورد دینامیکی رها شده از زاویه ی ۹۰ درجه‌ی چکش استوانه ای پاندولی. c) نتایج حاصل از آزمایش برخورد استاتیکی چکش استوانه ای..... ۱۰

شکل ۱-٤ رابطه‌ی نیروی برخورد P_B و انرژی تغییرشکل بارج E_B و عمق تغییرشکل a_B برای بارج اروپایی نوعII.... ۱۱

شکل ۱-۵ آزمایشات برخورد بارج Lock –gate تجهیز شده در مقیاس واقعی : (الف) قوس بارج در نزدیکی lock gat . (ب) Load Cells متصل شده به قوس بارج..... ۱۵

شکل ۱-٦ آزمایشات برخورد ناوگان ٤ بارجه با Lock Wall تجهیز شده : الف) قایق یدک کش و ناوگان ٤ بارجه (ب) جاگذاری حسگرها در محل برخورد روی بارج..... ۱۷

شکل ۱-۷ آزمایشات برخورد ناوگان ۱۵ بارجه با Lock Wall تجهیز شده : (الف) قایق یدک کش و ناوگان ۱۵ بارجه ،(ب) تجهیزات اندازه گیری نیرو متصل شده به بارج..... ۱۹

شکل ۱-۸ آزمایش برخورد بارج : الف) پایه ی پل با بلوکهای برخورد و سیستم نصب شده ی ثبات نیرو روی آن ج) قایق یدک کش و بارج آزمایشی با بارهای اضافی..... ۲۰

شکل ۱-۹ تغییرشکل قوس دماغه ی بارج الف) تغییرشکل ایجاد شده در دماغه ی بارج پس از رویداد برخورد ، ب) اندازه گیری عمق تغییرشکل..... ۲۲

شکل ۲-۱ موقعیت محل پل St. George Island Causeway..... ۲٤

شکل ۲-۲ موقعیت محل اتصال پل St. George Island Causeway..... ۲۵

شکل ۲-۳ نمای دید شمالی پل جدید و قدیمی St. George Island Causeway..... ۲۵

شکل ۲-٤ موقعیت پایه های ۱و ۳ در پل St. George Island Causeway..... ۲٦

شکل ۲-۵ نما و پلان پل St. George Island Causeway در مجاورت کانال قابل کشتیرانی..... ۲٦

شکل۲-٦ جزئیات پایه های پل St. George Island Causeway ، a) پایه ی ۱ ، b) پایه ی ۲، c) پایه ی ۳، d) پایه ی ٤ ..... ۳۲
شکل۲-۷ الف) پلان عرشه ی ۷۵.۵ فوتی ، ب) نمای مقطع عرضی عرشه ی ۷۵.۵ فوتی ، پ) مدل پیکربندی ۳٤
شکل۲-۸ پلان و نمای بارج Jumbo hopper ۳۵
شکل۲-۹ قایق اپراتور و هدایت کننده ی بارج ۳٦
شکل۲-۱۰ انواع مختلف از پیکر بندی خرپای داخلی قوس دماغه ی بارج ۳۸
شکل۲-۱۱ پیکربندی خرپاهای داخلی بارج Jumbo hopper ۳۹
شکل۲-۱۲ بخش های سه گانه برای مدلسازی المان محدود بارج Jumbo hopper ٤۰
شکل۲-۱۳ تعریف نواحی بارج ٤۱
شکل۲-۱٤ معرفی و مش بندی Zone 1 ..... ٤۲
شکل۲-۱۵ جزئیات جوش برای بخش های داخلی قوس دماغه ی بارج ٤۲
شکل۲-۱٦ منحنی تنش – کرنش برای فولاد سازه ای A36 ..... ٤٤
شکل۲-۱۷ بخش های جداگانه ی المان های پوسته ای (Shell) برای مدل المان محدود Zone 1 ..... ٤۵
شکل۲-۱۸ قیود جسم صلب گرهی روی خرپاهای داخلی ٤٦
شکل۲-۱۹ قید جسم صلب در محل اتصال Zone 2 به Zone 3 ..... ٤۸
شکل۲-۲۰ فنرهای شناوری در سطح زیرین ناحیه ی Zone 3 از بارج ۵۱
شکل۲-۲۱ روش اول : بدون پیش فشار در فنرهای شناوری ۵۳
شکل۲-۲۲ روش دوم : اعمال پیش فشار در فنرهای شناوری ۵۳
شکل۲-۲۳ مدل High Resolution از پایه ی ۱ در LS-DYNA ۵٦
شکل۲-۲٤ پایه ی ۱ در اتصال با کل سازه ی پل (دید شمالی) ۵۷
شکل۲-۲۵ نقشه ی ساخت اصلی پایه ی ۱ ..... ۵۸
شکل۲-۲٦ پایه ی ۳ در اتصال با سازه ی پل (دید شمالی) ٦۰
شکل۲-۲۷ نقشه ی ساخت اصلی پایه ی ۳ ..... ٦۰
شکل۲-۲۸ مدل المان محدود نهایی پایه ی ۳ ..... ٦۱
شکل۲-۲۹ شکل مقطع عرضی ترکیبی برای المان های قابی غیرخطی ٦۳
شکل۲-۳۰ الف) مدل مصالح بتن ، ب) مدل مصالح فولاد نرم ٦۵
شکل۲-۳۱ الف) ابعاد فیزیکی مدل پایه ی ۱ در FB-MultiPier ، ب) مدل عددی پایه ی ۱ در FB-MultiPier ٦٦
شکل۲-۳۲ الف) ابعاد فیزیکی مدل پایه ی ۳ در FB-MultiPier ، ب) مدل عددی پایه ی ۳ در FB-MultiPier ٦۷
شکل۲-۳۳ سیستم سه پایه ای از پایه ی مورد برخورد ۱ (۱.۱.۲) ٦۸

شکل۲-۳٤ سیستم سه پایه ای از پایه ی مورد برخورد ۳ (۲.۳.٤) ٦۹
شکل۲-۳۵ محل اتصال عرشه ها ی مجاور ۷۰
شکل۲-۳٦ سیستم سه پایه ای دو دهانه (۱.۱.۲) ۷۱
شکل۲-۳۷ سیستم سه پایه ای دو دهانه (۲.۳.٤) ۷۲
شکل۲-۳۸ مقایسه ی قیود فنرهای خاک a) مدل صحیح (اصلاح شده) ، b) مدل تقریبی ۷۵
شکل۲-۳۹ قیود فنرهای خاک در حال سه بعدی ۷٦
شکل۲-٤۰ گروه فنرهای خاک در مدل گره شمع برای پایه ی ۱ ..... ۷۷
شکل۲-٤۱ منحنی های نیرو- تغییرشکل (P-y) برای مدل gap خاک ۸٤
شکل۲-٤۲ مدل اندرکنش جانبی خاک – کلاهک شمع و خاک + Seal ۸٦
شکل۲-٤۳ مدل اصطکاک جداره بین Cap + Seal و خاک ۸۷
شکل۲-٤٤ ضرایب P-y برای گروه شمع های پایه ی ۱ ..... ۸۸
شکل۲-٤۵ نمایش گروه فنرهای مقاوم در مدل پایه ی ۳ ..... ۹۰
شکل۲-٤٦ پروفیل خاک در پایه ی ۱ ..... ۹۲
شکل۲-٤۷ پروفیل خاک در پایه ی ۳ ..... ۹۳
شکل۲-٤۸ تنظیم موقعیت مدل بارج در تماس با پایه‌ی پل ۹۵
شکل۳-۱ مقایسه ی تاریخچه ی زمانی نیروی برخورد بارج- پایه ی ۱ منفرد بین زوایای مختلف برخورد در حالت سرعت برخورد 1 m/sec و بارگذاری کامل ظرفیت بارج ۹۷
شکل۳-۲ مقایسه ی تاریخچه ی زمانی نیروی برخورد بارج- پایه ی ۱ منفرد بین زوایای مختلف برخورد در حالت سرعت برخورد 2 m/sec و بارگذاری کامل ظرفیت بارج ۹۸
شکل۳-۳ مقایسه ی تاریخچه ی زمانی نیروی برخورد بارج- پایه ی ۱ منفرد بین زوایای مختلف برخورد در حالت سرعت برخورد 3 m/sec و بارگذاری کامل ظرفیت بارج ۹۸
شکل۳-٤ مقایسه ی تاریخچه ی زمانی نیروی برخورد بارج- پایه ی ۱ منفرد بین زوایای مختلف برخورد در حالت سرعت برخورد 1 m/sec و بارگذاری نصف ظرفیت بارج ۹۹
شکل۳-۵ مقایسه ی تاریخچه ی زمانی نیروی برخورد بارج- پایه ی ۱ منفرد بین زوایای مختلف برخورد در حالت سرعت برخورد 2 m/sec و بارگذاری نصف ظرفیت بارج ۹۹
شکل۳-٦ مقایسه ی تاریخچه ی زمانی نیروی برخورد بارج- پایه ی ۱ منفرد بین زوایای مختلف برخورد در حالت سرعت برخورد 3 m/sec و بارگذاری نصف ظرفیت بارج ۱۰۰
شکل۳-۷ مقایسه ی تاریخچه ی زمانی نیروی برخورد بین سرعت های مختلف برخورد شاخ به شاخ بارج با پایه ی ۱ منفرد و بارگذاری کامل ظرفیت بارج ۱۰۰

شکل۳-۸ مقایسه ی تاریخچه ی زمانی نیروی برخورد بین سرعت های مختلف برخورد شاخ به شاخ بارج با پایه ی ۱ منفرد در بارگذاری نصف ظرفیت بارج..... ۱۰۱
شکل۳-۹ مقایسه ی تاریخچه ی زمانی نیروی برخورد شاخ به شاخ بارج با پایه ی ۱ منفرد و بین حالت بارگذاری نصف ظرفیت و بارگذاری کامل ظرفیت بارج در سرعت یرخورد 1 m/sec..... ۱۰۳
شکل۳-۱۰ مقایسه ی تاریخچه ی زمانی نیروی برخورد شاخ به شاخ بارج با پایه ی ۱ منفرد و بین حالت بارگذاری نصف ظرفیت و بارگذاری کامل ظرفیت بارج در سرعت یرخورد 2 m/sec..... ۱۰٤
شکل۳-۱۱ مقایسه ی تاریخچه ی زمانی نیروی برخورد شاخ به شاخ بارج با پایه ی ۱ منفرد و بین حالت بارگذاری نصف ظرفیت و بارگذاری کامل ظرفیت بارج در سرعت یرخورد 3 m/sec..... ۱۰۵
شکل۳-۱۲ جهات مقاومتی سازه ی پایه در برابر اعمال نیروی برخورد بارج ۱۰۵
شکل۳-۱۳ بسیج شدن خرپاهای داخلی دماغه ی بارج به صورت کمانشی در رویداد برخور بارج - پایه..... ۱۰٦
شکل۳-۱٤ مقایسه ی تاریخچه ی زمانی نیروی برخورد بارج- پایه ی ۳ منفرد بین زوایای مختلف برخورد در حالت سرعت برخورد 1 m/sec و بارگذاری کامل ظرفیت بارج ۱۰۷
شکل۳-۱۵ مقایسه ی تاریخچه ی زمانی نیروی برخورد بارج- پایه ی ۳ منفرد بین زوایای مختلف برخورد در حالت سرعت برخورد 2 m/sec و بارگذاری کامل ظرفیت بارج ۱۰۷
شکل۳-۱٦ مقایسه ی تاریخچه ی زمانی نیروی برخورد بارج- پایه ی ۳ منفرد بین زوایای مختلف برخورد در حالت سرعت برخورد 3 m/sec و بارگذاری کامل ظرفیت بارج ۱۰۸
شکل۳-۱۷ مقایسه ی تاریخچه ی زمانی نیروی برخورد بارج- پایه ی ۳ منفرد بین زوایای مختلف برخورد در حالت سرعت برخورد 1 m/sec و بارگذاری نصف ظرفیت بارج..... ۱۰۸
شکل۳-۱۸ مقایسه ی تاریخچه ی زمانی نیروی برخورد بارج- پایه ی ۳ منفرد بین زوایای مختلف برخورد در حالت سرعت برخورد 2 m/sec و بارگذاری نصف ظرفیت بارج..... ۱۰۹
شکل۳-۱۹ مقایسه ی تاریخچه ی زمانی نیروی برخورد بارج- پایه ی ۳ منفرد بین زوایای مختلف برخورد در حالت سرعت برخورد 3 m/sec و بارگذاری نصف ظرفیت بارج..... ۱۰۹
شکل۳-۲۰ مقایسه ی تاریخچه ی زمانی نیروی برخورد بین سرعت های مختلف برخورد شاخ به شاخ بارج با پایه ی ۳ منفرد در بارگذاری کامل ظرفیت بارج ۱۱۱
شکل۳-۲۱ مقایسه ی تاریخچه ی زمانی نیروی برخورد بین سرعت های مختلف برخورد شاخ به شاخ بارج با پایه ی ۳ منفرد در بارگذاری نصف ظرفیت بارج..... ۱۱۲
شکل۳-۲۲ مقایسه ی تاریخچه ی زمانی نیروی برخورد شاخ به شاخ بارج با پایه ی ۳ منفرد و بین حالت بارگذاری نصف ظرفیت وبارگذاری کامل ظرفیت بارج در سرعت برخورد 1 m/sec..... ۱۱۳

شکل۳-۲۳ مقایسه ی تاریخچه ی زمانی نیروی برخورد شاخ به شاخ بارج با پایه ی ۳ منفرد و بین حالت بارگذاری نصف ظرفیت و بارگذاری کامل ظرفیت بارج در سرعت برخورد 2 m/sec ۱۱۳
شکل۳-۲٤ مقایسه ی تاریخچه ی زمانی نیروی برخورد شاخ به شاخ بارج با پایه ی ۳ منفرد و بین حالت بارگذاری نصف ظرفیت و بارگذاری کامل ظرفیت بارج در سرعت برخورد 3 m/sec ۱۱٤
شکل۳-۲۵ تقسیم بندی نواحی بارج ۱۱۵
شکل۳-۲٦ سهم انرژی سیستم بارج – پایه ی ۱ منفرد ۱۱٦
شکل۳-۲۷ سهم انرژی داخلی Zone 1 قوس دماغه ی بارج از انرژی داخلی سیستم بارج – پایه ی ۱ منفرد ۱۱۷
شکل۳-۲۸ سهم انرژی داخلی مولفه های مختلف موجود در سیستم بارج – پایه ی ۱ منفرد ۱۱۷
شکل۳-۲۹ سهم درصدی انرژی داخلی مولفه های مختلف موجود در سیستم بارج – پایه ی ۱ منفرد ۱۱۸
شکل۳-۳۰ سهم انرژی سیستم بارج – پایه ی ۳ منفرد ۱۱۹
شکل۳-۳۱ سهم انرژی داخلی Zone 1 قوس دماغه ی بارج از انرژی داخلی سیستم بارج – پایه ی ۳ منفرد ۱۲۰
شکل۳-۳۲ سهم انرژی داخلی مولفه های مختلف موجود در سیستم بارج – پایه ی ۳ منفرد ۱۲۰
شکل۳-۳۳ سهم درصدی انرژی داخلی مولفه های مختلف موجود در سیستم بارج – پایه ی ۳ منفرد ۱۲۱
شکل۳-۳٤ مقایسه ی عمق تغییرشکل دماغه ی بارج برای سرعت های مختلف برخورد در حالت بارگذاری کامل ظرفیت بارج در رویداد برخورد با پایه ی ۱ منفرد ۱۲۳
شکل۳-۳۵ مقایسه ی منحنی نیرو–عمق تغییرشکل بین شبیه سازی دینامیکی و تخمین AASHTO در حالت سرعت برخورد 2m/sec و بارگذاری کامل بارج در رویداد برخورد با پایه ی ۱ منفرد ۱۲۳
شکل۳-۳٦ منحنی نیرو- عمق تغییرشکل دماغه ی بارج در AASHTO برای سرعت برخورد 2 m/sec و بارگذاری کامل ظرفیت بارج ۱۲٤
شکل۳-۳۷ مقایسه ی عمق تغییرشکل دماغه ی بارج برای سرعت های مختلف برخورد در حالت نصف بارگذاری ظرفیت بارج در رویداد برخورد با پایه ی ۱ منفرد ۱۲٤
شکل۳-۳۸ مقایسه ی عمق تغییرشکل دماغه‌ی بارج برای سرعت برخورد 1 m/sec بین حالت بارگذاری کامل و نصف بارگذاری ظرفیت بارج در رویداد برخورد با پایه‌ی ۱ منفرد ۱۲۵
شکل۳-۳۹ مقایسه ی عمق تغییرشکل دماغه ی بارج برای سرعت برخورد 2 m/sec بین حالت بارگذاری کامل و نصف بارگذاری ظرفیت بارج در رویداد برخورد با پایه ی ۱ منفرد ۱۲٦
شکل۳-٤۰ مقایسه ی عمق تغییرشکل دماغه ی بارج برای سرعت های مختلف برخورد در حالت بارگذاری کامل ظرفیت بارج در رویداد برخورد با پایه ی ۳ منفرد ۱۲۹
شکل۳-٤۱ مقایسه ی عمق تغییرشکل دماغه ی بارج برای سرعت های مختلف برخورد در حالت نصف بارگذاری ظرفیت بارج در رویداد برخورد با پایه ی ۳ منفرد ۱۲۹

شکل۳-۴۲ مقایسه ی عمق تغییرشکل دماغه ی بارج برای سرعت برخورد 1 m/sec بین حالت بارگذاری کامل و نصف بارگذاری ظرفیت بارج در رویداد برخورد با پایه ی ۳ منفرد ۱۳۱
شکل۳-۴۳ مقایسه ی عمق تغییرشکل دماغه ی بارج برای سرعت برخورد 2 m/sec بین حالت بارگذاری کامل و نصف بارگذاری ظرفیت بارج در رویداد برخورد با پایه ی ۳ منفرد ۱۳۱
شکل۳-۴۴ مقایسه ی عمق تغییرشکل دماغه ی بارج برای سرعت برخورد 3 m/sec بین حالت بارگذاری کامل و نصف بارگذاری ظرفیت بارج در رویداد برخورد با پایه ی ۳ منفرد ۱۳۲
شکل۳-۴۵ موقعیت محل برخورد بارج روی پایه ی ۱ در حالت بارگذاری کامل ظرفیت محموله ای بارج ۱۳۳
شکل۳-۴۶ موقعیت محل برخورد بارج روی پایه ی ۱ در حالت نصف بارگذاری ظرفیت محموله ای بارج ۱۳۳
شکل۳-۴۷ مقایسه ی تغییرمکان نقطه ی برخورد پایه در حالت سرعت 2 m/sec و بارگذاری کامل بارج بین نتایج حاصل از LS-DYNA و FB-MultiPier در پایه ی ۱ منفرد ۱۳۴
شکل۳-۴۸ مقایسه ی تغییرمکان نقطه ی بالای پایه در حالت سرعت 2 m/sec و بارگذاری کامل بارج بین نتایج حاصل از LS-DYNA و FB-MultiPier ۱۳۵
شکل۳-۴۹ مقایسه ی تغییرمکان نقطه ی محل برخورد پایه در حالت سرعت 2 m/sec و بارگذاری نصف ظرفیت بارج بین نتایج حاصل از LS-DYNA و FB-MultiPier ۱۳۵
شکل۳-۵۰ مقایسه ی تغییرمکان نقطه ی محل برخورد پایه در سرعت 2 m/sec و بین دو حالت بارگذاری نصف ظرفیت و ظرفیت کامل بارج در LS-DYNA ۱۳۶
شکل۳-۵۱ مقایسه ی تغییرمکان نقطه ی محل برخورد پایه در سرعت 2 m/sec و بین دو حالت بارگذاری نصف ظرفیت و ظرفیت کامل بارج در FB-MultiPier ۱۳۶
شکل۳-۵۲ مقایسه ی تغییرمکان نقطه ی محل برخورد پایه در سرعت 1 m/sec و بین دو حالت بارگذاری نصف ظرفیت و ظرفیت کامل بارج در LS-DYNA ۱۳۷
شکل۳-۵۳ مقایسه ی تغییرمکان نقطه ی محل برخورد پایه در حالت ظرفیت کامل بارگذاری بارج بین سرعت های مختلف برخورد در LS-DYNA ۱۳۸
شکل۳-۵۴ مقایسه ی تغییرمکان نقطه ی بالای پایه در حالت ظرفیت کامل بارگذاری بارج بین سرعت های مختلف برخورد در LS-DYNA ۱۳۸
شکل۳-۵۵ مقایسه ی تغییرمکان نقطه ی بالای پایه در حالت نصف ظرفیت بارگذاری بارج بین سرعت های مختلف برخورد در LS-DYNA ۱۳۹
شکل۳-۵۶ موقعیت محل برخورد بارج روی پایه ی ۳ در حالت بارگذاری کامل ظرفیت محموله ای بارج ۱۳۹
شکل۳-۵۷ موقعیت محل برخورد بارج روی پایه ی ۳ در حالت نصف بارگذاری ظرفیت محموله ای بارج ۱۴۰

شکل۳-۵۸ مقایسه ی تغییرمکان نقطه ی برخورد پایه در حالت سرعت 2 m/sec و بارگذاری کامل بارج بین نتایج حاصل از LS-DYNA و FB-Multipier در پایه ی ۳ منفرد ۱۴۰
شکل۳-۵۹ مقایسه ی تغییرمکان نقطه ی بالای پایه در حالت سرعت 2 m/sec و بارگذاری کامل بارج بین نتایج حاصل از LS-DYNA و FB-MultiPier در پایه ی ۳ منفرد ۱۴۰
شکل۳-۶۰ مقایسه ی تغییرمکان نقطه ی برخورد پایه در حالت بارگذاری کامل بارج بین سرعت های مختلف نتایج حاصل از LS-DYNA در پایه ی ۳ منفرد ۱۴۰
شکل۳-۶۱ مقایسه ی تغییرمکان بالای پایه در حالت بارگذاری کامل بارج بین سرعت های مختلف نتایج حاصل از LS-DYNA در پایه ی ۳ منفرد ۱۴۲
شکل۳-۶۲ مقایسه ی تغییرمکان نقطه ی برخورد پایه در حالت نصف بارگذاری ظرفیت بارج بین سرعت های مختلف نتایج حاصل از LS-DYNA در پایه ی ۳ منفرد ۱۴۲
شکل۳-۶۳ مقایسه ی تغییرمکان بالای پایه در حالت نصف بارگذاری ظرفیت بارج بین سرعت های مختلف نتایج حاصل از LS-DYNA در پایه ی ۳ منفرد ۱۴۳
شکل۳-۶۴ نیروهای حاضر در رویداد برخورد بارج با پایه ی ۱ ..... ۱۴۴
شکل۳-۶۵ سهم منابع مقاومتی نیروهای فعال در طی رویداد برخورد بارج- پایه ی ۱ منفرد ۱۴۶
شکل۳-۶۶ سهم منابع مقاومتی نیروهای فعال درطی رویداد برخورد بارج- پایه ی ۱ منفرد به صورت درصدی ۱۴۷
شکل۳-۶۷ نیروهای حاضر در رویداد برخورد بارج با پایه ی ۳ ..... ۱۴۹
شکل۳-۶۸ سهم منابع مقاومتی نیروهای فعال در طی رویداد برخورد بارج- پایه ی ۳ منفرد ۱۵۲
شکل۳-۶۰ سهم منابع مقاومتی نیروهای فعال در طی رویداد برخورد بارج- پایه ی ۳ منفرد به صورت درصدی ۱۵۱
شکل۳-۷۰ نمایش تنش های عمودی و برشی بر روی وجوه المان حجمی ۸ گرهی در مختصات کارتزین ۱۵۳
شکل۳-۷۱ تعیین تنش برشی ماکزیمم برای المان حجمی سه بعدی با روش دوایر موهر ۱۵۵
شکل۳-۷۲ مقایسه ی تنش موثر بین محل برخورد بارج و بالای پایه ی ۱ منفرد در حالت بارج با بارگذاری کامل ظرفیت و سرعت برخورد 2m/sec ۱۵۷
شکل۳-۷۳ نمایش محل برخورد بارج روی پایه ی ۱ منفرد در حالت بارج با بارگذاری کامل ظرفیت و سرعت برخورد 2m/sec ۱۵۷
شکل۳-۷۴ نمایش محل بالای پایه و پای ستون پایه ی ۱ منفرد در حالت بارج با بارگذاری کامل ظرفیت و سرعت برخورد 2m/sec ۱۵۷
شکل۳-۷۵ مقایسه ی تنش برشی ماکزیمم بین محل برخورد بارج، بالای پایه و پای ستون ۱ منفرد در حالت بارج با بارگذاری کامل ظرفیت و سرعت ۱۵۸

شکل۳-۷۶ مقایسه ی تنش موثر بین محل برخورد بارج، بالای پایه و پای ستون مورد برخورد در پایه ی ۳ منفرد در حالت بارج با بارگذاری کامل ظرفیت و سرعت برخورد 2m/sec ۱۵۹
شکل۳-۷۷ نمایش محل برخورد بارج روی پایه ی ۳ منفرد و پای ستون در حالت بارج با بارگذاری کامل ظرفیت و سرعت برخورد 2m/sec ۱۵۹
شکل۳-۷۸ نمایش محل بالای پایه درپایه ی ۳ منفرد در حالت بارج با بارگذاری کامل ظرفیت و سرعت برخورد 2m/sec ۱۶۰
شکل۳-۷۹ مقایسه ی تنش برشی ماکزیمم بین محل برخورد بارج ، بالای پایه و پای ستون مورد برخورد در پایه ی ۳ منفرد در حالت بارج با بارگذاری کامل ظرفیت و سرعت برخورد 2m/sec ۱۶۰
شکل٤-۱ مقایسه ی تاریخچه ی زمانی نیروی برخورد بارج به پایه ی ۱ برای سناریوی P1T6 بین نتایج تجربی و حاصل از شبیه سازی دینامیکی LS-DYNA ۱٦٤
شکل٤-۲ مقایسه ی تاریخچه ی زمانی نیروی برخورد بارج به پایه ی ۱ برای سناریوی P1T7 بین نتایج تجربی و حاصل از شبیه سازی دینامیکی LS-DYNA ۱٦٤
شکل٤-۳ مقایسه ی تاریخچه ی زمانی نیروی برخورد بارج به پایه ی ۱ برای سرعت برخورد 2 m/sec و نصف ظرفیت بارگذاری بارج بین نتایج Consolazio(2002) و این پژوهش حاصل از شبیه سازی دینامیکی LS-DYNA ۱٦٦
شکل٤-٤ مقایسه ی تاریخچه ی زمانی نیروی برخورد بارج به پایه ی ۳ برای سرعت برخورد 2 m/sec و نصف ظرفیت بارگذاری بارج بین نتایج Consolazio(2002) و این پژوهش حاصل از شبیه سازی دینامیکی LS-DYNA ۱٦۷
شکل٤-۵ مقایسه ی پاسخ تغییرمکانی پایه ی ۱ در محل برخورد بارج بین نتایج تجربی و شبیه سازی LS-DYNA و FB-MultiPier توسط Consolazio(2002) برای سناریوی P1T7 ..... ۱٦۸
شکل٤-٦ پاسخ تغییرمکانی پایه ی ۱ در محل برخورد بارج حاصل از شبیه سازی LS-DYNA برای سناریوهای P1T6 و P1T7 در این پژوهش ۱٦۹
شکل٤-۷ مقایسه ی پاسخ تغییرمکانی پایه ی ۳ بین نتایج تجربی و شبیه سازی انجام شده توسط Consolazio(2002) برای سناریوی P3T3 ..... ۱۷۰
شکل٤-۸ پاسخ تغییرمکانی پایه ی ۳ حاصل از شبیه سازی FB-MultiPier انجام شده در این پژوهش برای سناریوی P3T3 ..... ۱۷۰
شکل۵-۱ طبقه بندی خاک در محل ساختگاه پایه ی ۱ ..... ۱۷۳
شکل۵-۲ تعریف مدل فنرهای معادل خاک محاطی اطراف شمع های پایه ی ۱ ..... ۱۷٤
شکل۵-۳ تعریف مشخصات خاک محل پایه ی ۱ در FB-MultiPier ۱۷٤
شکل۵-٤ گروه فنرهای ۵ گانه ی متصل به گره شمع های پایه ی ۱ ..... ۱۷۵
شکل۵-۵ منحنی بارگذاری P-Y ورودی به LS-DYNA برای تراز سطح کلاهک شمع ها تا عمق 20 ft- پایه ۱ ... ۱۷٦

شکل۵-٦ منحنی باربرداری P-Y ورودی به LS-DYNA برای تراز سطح کلاهک شمع ها تا عمق20 ft- پایه ۱ .... ۱۷۷
شکل۵-۷ منحنی P-Y خروجی از LS-DYNA برای فنرهای معادل تعبیه شده در کلاهک شمع پایه ۱..... ۱۷۷
شکل۵-۸ منحنی P-Y خروجی از LS-DYNA برای فنرهای معادل تعبیه شده در تراز 20 ft- پایه ۱..... ۱۷۸
شکل۵-۹ منحنی بارگذاری P-Y ورودی به LS-DYNA برای تراز 24 ft- پایه ۱..... ۱۷۸
شکل۵-۱۰ منحنی باربرداری P-Y ورودی به LS-DYNA برای تراز 24 ft- پایه ۱ ..... ۱۷۹
شکل۵-۱۱ منحنی P-Y خروجی از LS-DYNA برای فنرهای معادل تعبیه شده در تراز 24 ft- پایه ۱..... ۱۷۹
شکل۵-۱۲ منحنی بارگذاری P-Y ورودی به LS-DYNA برای تراز 28 ft- پایه ۱..... ۱۸۰
شکل۵-۱۳ منحنی باربرداری P-Y ورودی به LS-DYNA برای تراز 28 ft- پایه ۱..... ۱۸۰
شکل۵-۱٤ منحنی P-Y خروجی از LS-DYNA برای فنرهای معادل تعبیه شده در تراز 28 ft- پایه ۱..... ۱۸۱
شکل۵-۱۵ منحنی بارگذاری P-Y ورودی به LS-DYNA برای تراز 32 ft- پایه ۱..... ۱۸۱
شکل۵-۱٦ منحنی P-Y خروجی از LS-DYNA برای فنرهای معادل تعبیه شده در تراز 32 ft- پایه ۱..... ۱۸۲
شکل۵-۱۷ منحنی بارگذاری P-Y ورودی به LS-DYNA برای تراز 36 ft- پایه ۱..... ۱۸۲
شکل۵-۱۸ منحنی P-Y خروجی از LS-DYNA برای فنرهای معادل تعبیه شده در تراز 36 ft- پایه ۱..... ۱۸۳
شکل۵-۱۹ منحنی بارگذاری P-Y ورودی به LS-DYNA برای تراز 40 ft- پایه ۱..... ۱۸۳
شکل۵-۲۰ منحنی P-Y خروجی از LS-DYNA برای فنرهای معادل تعبیه شده در تراز 40 ft- پایه ۱..... ۱۸٤
شکل۵-۲۱ منحنی بارگذاری P-Y ورودی به LS-DYNA برای تراز 63 ft- to 40- پایه ۱..... ۱۸٤
شکل۵-۲۲ منحنی P-Y خروجی از LS-DYNA برای فنرهای معادل تعبیه شده در تراز 63 ft- to 40- پایه ۱..... ۱۸۵
شکل۵-۲۳ منحنی T-z ورودی به LS-DYNA ومیزان مقاومت محوری بسیج شده برای فنرهای معادل تعبیه شده در تراز 20 ft- پایه ۱..... ۱۸۵
شکل۵-۲٤ منحنی T-z ورودی به LS-DYNA ومیزان مقاومت محوری بسیج شده برای فنرهای معادل تعبیه شده در تراز 24 ft- پایه ۱..... ۱۸٦
شکل۵-۲۵ منحنی T-z ورودی به LS-DYNA ومیزان مقاومت محوری بسیج شده برای فنرهای معادل تعبیه شده در تراز 28 ft- پایه ۱..... ۱۸٦
شکل۵-۲٦ منحنی T-z ورودی به LS-DYNA ومیزان مقاومت محوری بسیج شده برای فنرهای معادل تعبیه شده در تراز 32 ft- پایه ۱..... ۱۸۷
شکل۵-۲۷ منحنی T-z ورودی به LS-DYNA ومیزان مقاومت محوری بسیج شده برای فنرهای معادل تعبیه شده در تراز 36 ft- پایه ۱..... ۱۸۷
شکل۵-۲۸ منحنی T-z ورودی به LS-DYNA ومیزان مقاومت محوری بسیج شده برای فنرهای معادل تعبیه شده در تراز 40 ft- پایه ۱..... ۱۸۸