





دانشگاه کردستان
دانشکده‌ی فنی مهندسی
گروه عمران

عنوان:

ارزیابی عددی اثر کامپوزیت‌های پلیمری (FRPS)

در تقویت دال بتن آرمه در معرض انفجار

پژوهشگر:

مرجان گردان

استاد راهنما:

جناب آقای دکتر محمد اسماعیل نیاعمران

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته‌ی عمران گرایش سازه

اسفند ماه ۱۳۹۰

کلیه حقوق مادی و معنوی مترتب بر نتایج مطالعات،
ابتکارات و نوآوری‌های برگرفته از تحقیق موضوع
این پایان‌نامه (رساله) متعلق به دانشگاه کردستان است.

*** تعهد نامه ***

اینجانب مرجان گردان دانشجوی کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران گرایش سازه دانشگاه کردستان، دانشکده فنی مهندسی گروه عمران تعهد می نمایم که محتوای این پایان نامه نتیجه تلاش و تحقیقات خود بوده و از جایی کپی برداری نشده و به پایان رسانیدن آن نتیجهی تلاش و مطالعات مستمر اینجانب و راهنمایی و مشاوره‌ی اساتید بوده است.

با تقدیم احترام

مرجان گردان ۱۳۹۰/۱۲/۲۰



دانشگاه کردستان
دانشکده فنی مهندسی
گروه عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته عمران گرایش سازه

عنوان:

ارزیابی عددی اثر کامپوزیت‌های پلیمری (FRPS)

در تقویت دال بتن آرمه در معرض انفجار

پژوهشگر:

مرجان گردان

در تاریخ / / ۱۳ توسط کمیته تخصصی و هیات داوران زیر مورد بررسی قرار گرفت و با نمره و درجه به تصویب رسید.

امضاء	مرتبه علمی	نام و نام خانوادگی	هیات داوران
	استاد	دکتر	۱-استاد راهنما
	استادیار	دکتر	۲-استاد مشاور
	دانشیار	دکتر	۳-استاد داور خارجی
	استاد	دکتر	۴-استاد داور داخلی

مهر و امضاء معاون آموزشی و تحصیلات تکمیلی دانشکده

مهر و امضاء گروه

تقدیم بہ

مادر مہربانم

کہ نگاہش کرمانخش وجودم

کلام زیبایش مشوق تمام تلاش ہایم

تقدیم بہ پدر بزرگوارم

کہ وجودش زیبا ترین نعمت پروردگارم

تقدیم بہ ہمسر عزیزم

یگانہ ہمراہ تمام محنات زندگیم

باساس فراوان از

استاد ارجمند جناب آقای دکتر محمد اسماعیل نیا عمران که بابر دباری و بزرگواری خویش مراد انجام تحقیق حاضر

همراهی و راهنمایی کرده اند.

جناب آقای مهندس جوادیاننده پیمان دکترای مکانیک جامدات دانشگاه بوعلی سینا همدان که مراد مدل سازی

و تحلیل اجزا محدود تحقیق راهنمایی کرده اند.

سرکار خانم مهندس مریم جامه بزرگ کارشناس ارشد مکانیک خاک و پی که مراد تدوین و نگارش تحقیق همراهی

نموده اند.

چکیده:

از آغاز زندگی بشر بر روی کره‌ی خاکی، جنگ و نزاع جز لاینفک زندگی انسان بوده است. با وجود این که انسان‌ها به طور ذاتی از نزاع و جنگ پرهیز می‌کنند اما گاهی به ناچار در مقابل متجاوزانی که به قصد دست‌اندازی به منابع و منافع بیشتر سیاست جنگ‌افروزی را در پیش می‌گیرند، در موقعیت دفاعی قرار می‌گیرند. در ابتدائی‌ترین جنگ‌ها ابزارهایی برای حمله و به تناسب این ابزارها، جنگ‌افزارهایی برای دفاع، اختراع و به کار گرفته می‌شدند. با پیشرفت بشر در تمام زمینه‌ها، این جنگ‌افزارها نیز پیشرفته‌تر شدند و هر کشوری که از این قافله عقب بماند محکوم به نابودی است.

با توجه به تجربیات انفجارهای اخیر، احتمال اصابت و تخریب سقف ساختمان‌ها نسبت به سایر المان‌های سازه‌ای بیشتر بوده، لذا ضرورت تقویت دال‌ها در مقابل بارهای انفجاری اجتناب‌ناپذیر است. به این ترتیب در این تحقیق، به تحلیل دینامیکی غیر خطی نمونه دال‌های بتنی فاقد تقویت و تقویت شده با ورقه‌های پلیمری مسلح شده با الیاف (FRPS) تحت بار انفجاری با به کارگیری نرم‌افزار اجزا محدود LS-DYNA پرداخته و به بررسی حد تاثیر این تقویت پرداخته شده است. همچنین جهت ارزیابی، نتایج تحلیل عددی با نتایج آزمایشات اخیر صورت‌گرفته مقایسه شده به طوری که نتایج عددی با نتایج آزمایشگاهی سازگاری داشته است.

جهت تکمیل مطالعات عددی به بررسی حد تاثیر پارامترهای مقاومت بتن، مقاومت FRP، ضخامت ورقه‌ی FRP و درصد میلگردهای فولادی در پاسخ نمونه تحت انفجار پرداخته شده است. نتایج حاکی از آن است که افزایش پارامترهای مذکور سبب کاهش خیز نمونه و بهبود در پاسخ نمونه تحت انفجار شده است. به طوری که نسبت به سایر پارامترها اثر افزایش مقاومت بتن در بهبود پاسخ نمونه بیشتر مشهود بوده است.

واژه‌های اختصاری: دال بتن مسلح، انفجار، کامپوزیت‌های FRPS، نرم‌افزار LS-DYNA

فصل اول : مقدمه	۱
فصل ۲. معرفی مواد منفجره و پدیده‌ی انفجار	۵
۲-۱-مقدمه	۵
۲-۲- معرفی مواد منفجره	۵
۲-۳- معرفی بمب‌های انفجاری	۶
۲-۴- تقسیم بندی بمب‌های هوایی	۶
۲-۵- بمب‌های شدید الانفجار (تند شکن) و بمب‌های کند شکن	۱۱
۲-۶- سرعت و زاویه برخورد بمب	۱۲
۲-۷- مشخصات انفجار:	۱۳
۲-۸- بار ناشی از انفجار و پارامترهای آن:	۱۵
۲-۹- پاسخ سازه‌ها در مقابل انفجار	۱۹
۲-۱۰- بررسی پاسخ سیستم‌های سازه‌ای مقابل انفجار	۲۲
۲-۱۱- نتیجه گیری	۲۳
فصل ۳. تاریخچه‌ی تحقیقات	۲۴
۳-۱-مقدمه	۲۴
۳-۲-مقاوم سازی دیوارهای بتنی به وسیله پلیمرهای مسلح با الیاف FRP	۲۴
۳-۳- کاربرد FRP در تقویت پل‌های معلق در معرض انفجار	۲۵
۳-۴- کاربرد FRP در تقویت ستون بتن آرمه در معرض انفجار	۲۶
۳-۵- کاربرد FRP در تقویت دال بتن آرمه در معرض انفجار	۲۹
۳-۶- نتیجه گیری	۳۱
فصل ۴. شبیه سازی و تحلیل	۳۲
۴-۱- مقدمه	۳۲

- ۳۲-۴-۲- مدل سازی رفتار دینامیکی بتن تحت بارهای انفجاری ۳۲
- ۳۴-۴-۲-۱- اثر بارگذاری دینامیکی بر پارامترهای بتن..... ۳۴
- ۳۴-۴-۲-۱-۱- مدول یانگ ۳۴
- ۳۴-۴-۲-۱-۲- رفتار کششی ۳۴
- ۳۶-۴-۲-۱-۳- رفتار فشاری ۳۶
- ۳-۴-۳: معرفی کامپوزیت‌های پلیمری مسلح شده به الیاف (FRPS) ۳۷
- ۳۷-۴-۳-۱- معرفی مصالح FRP ۳۷
- ۳۸-۴-۳-۲- ساختار مصالح FRP ۳۸
- ۴۰-۴-۳-۳- انواع محصولات FRP ۴۰
- ۴۲-۴-۳-۱- مقاومت در برابر خوردگی ۴۲
- ۴۴-۴-۳-۲- مقاومت ۴۴
- ۴۴-۴-۳-۳- مدول الاستیسیته ۴۴
- ۴۴-۴-۳-۴- وزن مخصوص ۴۴
- ۴۵-۴-۳-۵- چسبندگی با بتن ۴۵
- ۴۵-۴-۳-۶- خم شدن ۴۵
- ۴۵-۴-۳-۵- استفاده از مواد FRP به عنوان مسلح کننده خارجی در سازه‌ها ۴۵
- ۴۶-۴-۳-۶- مقاوم سازی سازه‌های بتن آرمه با مواد FRP ۴۶
- ۴-۴-۴- مروری بر مطالعات آزمایشگاهی تحقیق..... ۴۷
- ۴۷-۴-۴-۱- مشخصات مصالح: ۴۷
- ۴۷-۴-۴-۱-۱- بتن ۴۷
- ۴۹-۴-۴-۱-۲- فولاد ۴۹
- ۴۹-۴-۴-۱-۳- FRP ۴۹
- ۵۰-۴-۴-۱- اپوکسی ۵۰

۵۰	۴-۴-۲- بارگذاری نمونه‌ها
۵۱	۴-۵- بارگذاری -
۵۱	۴-۵-۱- برآورد فشار واقعی و مدت زمان فاز مثبت
۵۴	۴-۵-۲- برآورد فشار انعکاسی:
۵۵	۴-۵-۳- شبیه سازی عددی بارگذاری انفجار
۶۰	۴-۷- معرفی نرم افزار LS-DYNA
۶۷	۴-۸- هندسه‌ی مدل دال‌ها در نرم افزار
۶۸	۴-۹- معرفی مدل ماده‌ها در نرم افزار
۶۸	۴-۹-۱- مدل ماده ی بتن
۷۱	۴-۹-۲- مدل میلگردهای فولادی
۷۲	۴-۹-۳- مدل FRP
۷۴	۴-۱۰- کارت کنترل انفجار
۷۴	۴-۱۱- نتیجه گیری
۷۵	فصل ۵. نتایج
۷۵	۵-۱- مقدمه
۷۵	۵-۲- نتایج
	۵-۲-۱- پاسخ نمونه دال‌های تقویت شده و فاقد تقویت تحت بارگذاری ۱۸/۳۷
۷۵	کیلوگرم
۷۸	۵-۳- پاسخ نمونه دال‌های تقویت شده و فاقد تقویت تحت بارگذاری ۲۷/۳۹ کیلوگرم
۸۱	۵-۴- مقایسه‌ی نتایج عددی و آزمایشگاهی:
۸۳	۵-۵- مطالعات پارامتری
۸۴	۵-۵-۱- مقاومت بتن
۸۵	۵-۵-۲- اثر درصد میلگردهای فولادی

۵-۵-۳- اثر ضخامت FRP ۸۶

۵-۵-۴- اثر مقاومت FRP ۸۷

۵-۶- نتیجه گیری ۸۹

منابع ۹۲

ضمیمه ۱ ۹۷

فهرست نشانه‌ها:

A_c سطح مقطع ستون	P فشار محدود بتن در هر سطح
A_s سطح مقطع میلگردهای فولادی	P_0 فشار هوای محیطی
b عرض ستون	P_d فشار دینامیکی امواج
D معیار شکست	P_r فشار انعکاسی انفجار
d عمق ستون	P_{SO} فشار واقعی موج انفجار
E مدول الاستیسیته	R فاصله مرکز انفجار تا مرکز جرم هدف
E_1 مدول الاستیسیته طولی FRP	r_f پارامتر فزاینده‌ی مقاومت بتن
E_2 مدول الاستیسیته عرضی FRP	S مقاومت برشی صفحه‌ای
E_c مدول الاستیسیته بتن	S_c تنش برشی صفحه‌ای
E_d مدول دینامیکی بتن	T زمان تناوب سازه
E_p سختی پلاستیک	t_1 زمان آغازین انفجار
f_1 فرکانس اصلی	t_d دوره‌ی فاز مثبت انفجار
f_c مقاومت ۲۸ روزه بتن	U_s سرعت موج انفجار
f_y تنش تسلیم فولاد	W حجم ماده‌ی منفجره
G مدول صلیب	W_r حجم ماده منفجره مبنا
G_{21} مدول برشی صفحه‌ای	فاصله‌ی مرکز انفجار تا مرکز سطح جسم
G_{23} مدول برشی خارج از صفحه	X هدف
H ارتفاع ستون	X_{dyn} جا به جایی دینامیکی سازه
I_{so} ضربه واقعی انفجار	X_{st} جا به جایی استاتیکی سازه
K ماتریس سختی سازه	X_c مقاومت فشاری طولی
M ماتریس جرم سازه	

X_T	مقاومت کششی طولی	ϵ_y	کرنش تسلیم فولاد
Y_C	مقاومت فشاری عرضی	θ_1	ضریب کاهش موج
Y_T	مقاومت کششی عرضی	λ	فاکتور تسلیم انفجار
Z	فاصله مقیاس شده انفجار	μ	ضریب پواسون بتن
α_0	سرعت صوت در هوا	γ	چگالی
α_1	زاویه برخورد موج انفجار به سطح جسم	ρ	درصد آرماتور طولی
β	متغیر نرخ کرنش	P_{design}	ظرفیت باقی مانده
γ	ضریب گرمایی ویژه	ρ_s	درصد آرماتور عرضی
$\Delta\delta$	اختلاف تنش در سطح شکست	τ_{12}	تنش برشی بتن
ϵ'	نرخ کرنش	ν	ضریب پواسون بتن
ϵ_C	کرنش حداکثر فشاری	ν_{13}	ضریب پواسون در راستای ضخامت
ϵ^p_{eff}	تابع سخت شدگی بتن	ν_{21}	ضریب پواسون حداقل
ϵ_T	کرنش کششی حداکثر	ω	فرکانس سازه
ϵ_u	کرنش نهایی	$\bar{\sigma}_{11}$	تنش نرمال بتن

فهرست جدول:

جدول ۱-۲	انرژی مخصوص و ضریب ماده‌ی منفجره برای تبدیل به TNT معادل [۳]	۷
جدول ۲-۲	ابعاد بمب‌های هوایی انگلیسی [۵]	۹
جدول ۲-۳	بمب‌های تخریبی آمریکا [۵]	۱۰
جدول ۱-۴	مزایا و معایب کلی کامپوزیت‌های FRP [۲۵]	۴۳
جدول ۲-۴	مقایسه‌ی خواص کششی فولاد و FRP [۲۵]	۴۴
جدول ۳-۴	مشخصات مکانیکی GFRP [۱]	۴۹
جدول ۴-۴	مشخصات مکانیکی اپوکسی [۱]	۵۰
جدول ۵-۴	تست‌های انفجاری [۱]	۵۰
جدول ۶-۴	پارامترهای بارگذاری انفجاری نمونه‌ها [۱]	۵۱
جدول ۷-۴	معرفی زیر برنامه‌های LS-DYNA [۱۳]	۶۳

فهرست شکل:

شکل ۱-۱	مراحل انجام پایان نامه	۳
شکل ۱-۲	بمب‌های بدنه سبک [۵]	۸
شکل ۲-۲	بمب‌های بدنه متوسط [۵]	۸
شکل ۳-۲	بمب‌های بدنه سنگین [۵]	۸
شکل ۲-۴	انواع انفجار [۳]	۱۵
شکل ۲-۵	بارهای انفجار بر روی ساختمان‌ها [۷]	۱۶
شکل ۲-۶	انعکاس موج انفجار [۱]	۱۶
شکل ۲-۷	مسیر بازتاب موج انفجار [۱]	۱۷
شکل ۲-۸	کاهش فشار انفجار با فاصله گرفتن از منبع انفجار [۱]	۱۸
شکل ۲-۹	منحنی فشار-زمان بار انفجاری [۱]	۱۸
شکل ۲-۱۰	شبه سازی سازه و بارگذاری انفجاری [۱]	۲۰
شکل ۳-۱	تصویر پل و چهار المان اصلی [۱۲]	۲۶
شکل ۳-۲	تصویر نمونه ستون‌های بتن آرمه فاقد تقویت و تقویت شده با FRP [۱۴]	۲۷

- شکل ۴-۱- الگوریتم مطالعه عددی تحقیقی..... ۳۳
- شکل ۴-۲- نرخ کرنش در انواع شرایط بارگذاری [۲۳]..... ۳۴
- شکل ۴-۳- رابطه‌ی مدول یانگ دینامیکی به مدول یانگ استاتیکی و نرخ کرنش [۲۳]..... ۳۵
- شکل ۴-۴- نسبت مقاومت کششی نرمالیزه بتن بر حسب نرخ کرنش [۲۳]..... ۳۵
- شکل ۴-۵- نمودار تنش - کرنش بتن در کشش بر حسب نرخ کرنش [۲۳]..... ۳۶
- شکل ۴-۶- نسبت مقاومت فشاری نرمالیزه بتن بر حسب نرخ کرنش [۲۳]..... ۳۶
- شکل ۴-۷- نمودار تنش - کرنش بتن در فشار بر حسب نرخ کرنش [۲۳]..... ۳۷
- شکل ۴-۸- میلله‌های کامپوزیت FRP [۲۵]..... ۴۲
- شکل ۴-۹- منحنی تنش - کرنش میلگردهای معمول [۲۵]..... ۴۳
- شکل ۴-۱۰- نمونه‌ی دال تقویت شده در آزمایشگاه [۱]..... ۴۷
- شکل ۴-۱۱- هندسه و آرایش آرماتورها در نمونه دال بتن آرمه [۱]..... ۴۸
- شکل ۴-۱۲- نمودار تنش کرنش فشاری بتن در سن ۷۰ روز [۱]..... ۴۸
- شکل ۴-۱۳- نمودار تنش کرنش فولاد [۱]..... ۴۹
- شکل ۴-۱۴- شبیه سازی بار انفجار [۱]..... ۵۵
- شکل ۴-۱۵- برآورد فشار انعکاسی انفجار وارد بر نمونه‌ها..... ۵۷
- شکل ۴-۱۶- برآورد مدت زمان فاز مثبت انفجار..... ۵۷
- شکل ۴-۱۷- مقایسه‌ی آزمایشگاهی و عددی منحنی فشار انعکاسی-زمان به ازای ۱۸/۳۷ کیلوگرم TNT..... ۵۸
- شکل ۴-۱۸- مقایسه‌ی آزمایشگاهی و عددی منحنی فشار انعکاسی-زمان به ازای ۲۷/۳۹ کیلوگرم TNT..... ۵۸
- شکل ۴-۱۹- شرایط تکیه‌گاهی نمونه در آزمایشگاه [۴۰]..... ۵۹
- شکل ۴-۲۰- انواع المان در LS-DYNA [۱۳]..... ۶۴
- شکل ۴-۲۱- ساختار فایل ورودی در نرم افزار LS-DYNA [۱۳]..... ۶۵
- شکل ۴-۲۲- مدل دال بتن مسلح فاقد تقویت در نرم افزار..... ۶۷
- شکل ۴-۲۳- مدل دال بتن مسلح تقویت شده در نرم افزار..... ۶۸
- شکل ۴-۲۴- فاکتور مضاعف بتن به ازای نرخ کرنش [۴۱]..... ۷۰
- شکل ۴-۲۵- رابطه‌ی فشار-کرنش حجمی بتن در تعریف معادله حالت [۱۳]..... ۷۰
- شکل ۴-۲۶- اثر نرخ کرنش در منحنی تنش - کرنش پلاستیک فولاد [۴۱]..... ۷۱
- شکل ۴-۲۷- تئوری شکست مضاعف در FRP [۴۱]..... ۷۳

- شکل ۵- ۱- کانتور توزیع کرنش در نمونه‌ی فاقد تقویت در ۰/۰۱۵ ثانیه..... ۷۶
- شکل ۵- ۲- کانتور توزیع کرنش در نمونه‌ی تقویت شده در ۰/۰۱۵ ثانیه تحت بارگذاری ۱۸/۳۷ کیلوگرم..... ۷۷
- شکل ۵- ۳- نمودار عددی تغییر مکان - زمان نمونه‌ی فاقد تقویت خروجی نرم افزار..... ۷۹
- شکل ۵- ۴- نمودار عددی تغییر مکان - زمان نمونه‌ی فاقد تقویت خروجی نرم افزار..... ۸۰
- شکل ۵- ۵- نمودار عددی تغییر مکان - زمان نمونه‌ی فاقد تقویت خروجی نرم افزار..... ۸۱
- شکل ۵- ۶- مقایسه‌ی نمودارهای تغییر مکان - زمان عددی و آزمایشگاهی نمونه‌ی فاقد تقویت..... ۸۲
- شکل ۵- ۷- نمودار عددی تغییر مکان - زمان نمونه‌ی تقویت شده خروجی نرم افزار..... ۸۲
- شکل ۵- ۸- مقایسه‌ی نمودارهای تغییر مکان - زمان عددی و آزمایشگاهی نمونه‌ی تقویت شده..... ۸۳
- شکل ۵- ۹- اثر افزایش مقاومت فشاری در کاهش تغییر مکان حداکثر نمونه ۸۴
- شکل ۵- ۱۰- اثر افزایش درصد میلگردهای فولادی در کاهش تغییر مکان نمونه ۸۵
- شکل ۵- ۱۱- اثر افزایش ضخامت ورقه‌ی GFRP در کاهش تغییر مکان نمونه ۸۶
- شکل ۵- ۱۲- مقدار تغییر مکان حداکثر دال با به‌کارگیری چند نوع کامپوزیت پلیمری..... ۸۷

فصل ۱. کلیات

۱-۱ - کلیات

انفجار به یک واکنش اکسیداسیون و احیای سریع اطلاق می‌شود که با ایجاد حجم زیادی از گازهای داغ همراه است. در اثر وقوع انفجار یک جبهه‌ی پرفشار به همراه موج ناشی از آن به اطراف منتشر می‌شود و شدت این فشارها با افزایش فاصله و گذشت زمان تقلیل می‌یابد. هنگامی که جبهه‌ی موج به سازه‌ی واقع در مسیرش برخورد می‌کند بخشی از سازه یا تمامی آن را تحت تأثیر فشارهای شدید قرار داده و منجر به تخریب و گاهی انهدام سازه می‌شود. با توجه به ضرورت حفاظت از سازه‌ها در مقابل انفجار، در سال‌های اخیر تحقیقات وسیعی در زمینه‌ی اثر انفجار بر سازه‌ها، تأسیسات، تونل‌ها صورت گرفته‌است. در تمامی این تحقیقات انفجار باعث افزایش تنش در مصالح سازه و کاهش مقاومت و منجر به تخریب سازه شده‌است.

بررسی پارامترهای انفجار نشان می‌دهد که با افزایش حجم مواد منفجره و کاهش فاصله‌ی انفجار با سازه، شدت تخریب افزایش می‌یابد. هم‌چنین طی تجربیات انفجارهای رخ داده در گذشته سقف ساختمان، بحرانی‌ترین و بیشترین نواحی مورد حمله در ساختمان‌ها بوده که این امر، ضرورت تقویت سازه‌ها بویژه المان‌های بحرانی‌تر را موجب می‌شود. امروزه تقویت سازه‌های بتن مسلح به کمک ورق‌های پلیمری مسلح شده با الیاف (FRPS)^۱ به‌عنوان یک روش جدید مورد استفاده قرار می‌گیرد. استفاده از FRP برای مقاوم سازی نسبت به روش‌های سنتی دارای مزایایی شامل افزایش مقاومت و سختی زیاد، سبکی وزن، مقاومت در برابر خوردگی، ضخامت کم و حمل و نقل و نصب آسان می‌باشد..

¹ Fiber reinforced polymers

اخيراً تحقیقاتی در زمینه‌ی تأثیر ورق‌های پلیمری مسلح شده با الیاف (FRPS) در تقویت المان‌های سازه‌ای انجام شده‌است. مانند تأثیر درافزایش ظرفیت خمشی دال‌های بتنی، تأثیر در افزایش ظرفیت برشی اتصالات در قاب‌های بتن‌آرمه، تأثیر در افزایش مقاومت المان‌های سازه‌ای بتنی مقابل آتش، تأثیر درافزایش مقاومت بتن‌آرمه در سازه‌های زیردریایی مقابل خوردگی و سیکل‌های ذوب و یخبندان، همچنین به تازگی تحقیقاتی در زمینه‌ی اثر FRP در تقویت دال‌های بتن‌آرمه تحت بارهای انفجاری صورت گرفته که مبنای این تحقیق در نظر گرفته شده‌است.

۱-۲- هدف تحقیق

هدف اصلی این تحقیق، بررسی اثر الیاف پلیمری FRP در تقویت دال‌های بتن مسلح تحت انفجار می‌باشد. بدین ترتیب با داشتن پارامترهای مکانیکی و هندسی نمونه دال‌های بتن مسلح برگرفته از آزمایش‌های صورت گرفته [۱]، به مدل‌سازی دو گروه از نمونه دال‌ها در نرم افزار اجزا محدود-LS-DYNA پرداخته شده‌است:

-نمونه دال‌های بتن مسلح تقویت شده با ورقه‌های FRP

-نمونه دال‌های بتن مسلح فاقد تقویت جهت ارزیابی

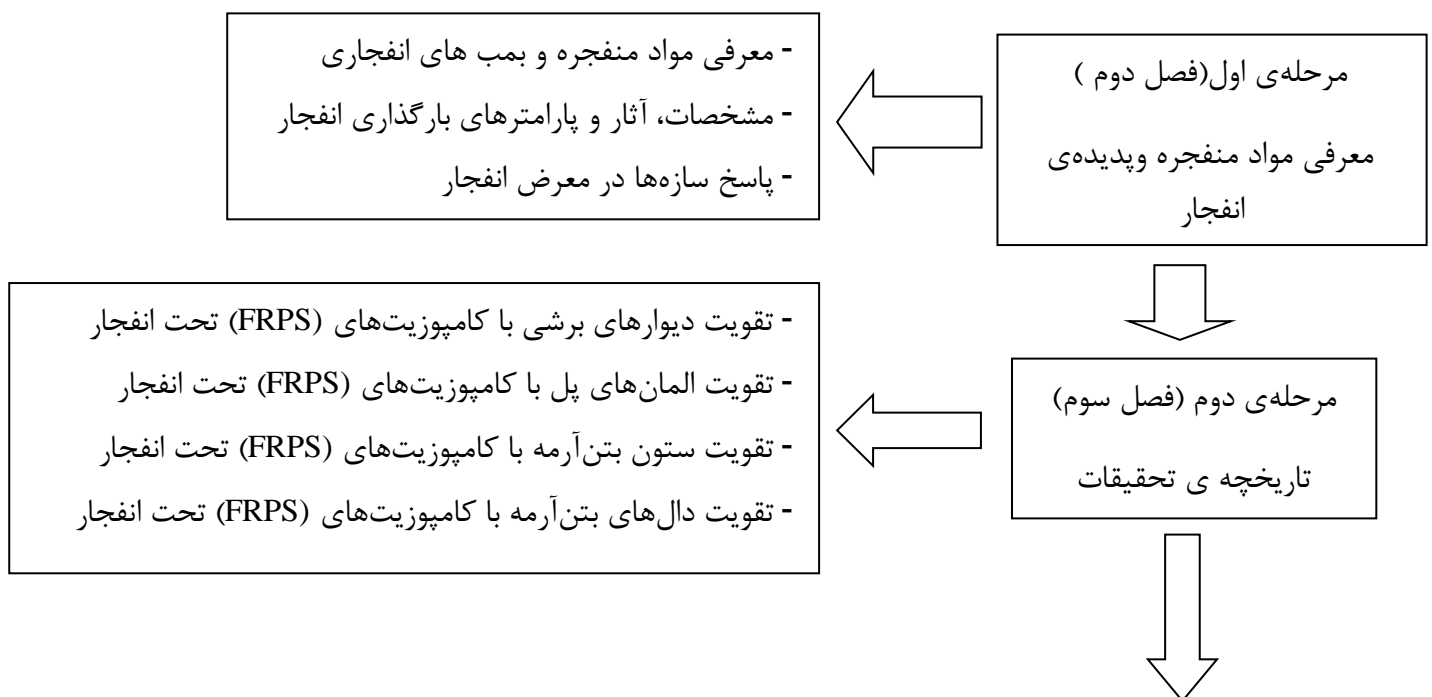
سپس با داشتن پارامترهای بارگذاری انفجاری مطابق با آزمایش‌ها و با در نظر گرفتن مدل رفتاری مصالح و شرایط مرزی به تحلیل دینامیکی غیر خطی نمونه‌ها پرداخته و نتایج تحلیل با نتایج آزمایش‌های مذکور مقایسه و ارزیابی شده‌است.

جهت تکمیل مطالعات عددی به بررسی حد تأثیر پارامترهای مقاومت بتن، مقاومت FRP، ضخامت ورقه FRP و درصد میلگردهای فولادی در پاسخ نمونه دال بتن مسلح تحت انفجار پرداخته شده‌است.

۱-۳- مراحل انجام تحقیق

همان‌طور که در الگوریتم شکل (۱-۱) مشاهده می‌شود، مراحل انجام تحقیق مشتمل بر چهار مرحله است. در مرحله‌ی اول به معرفی مواد منفجره، انواع بمب‌های انفجاری و تعریف پدیده‌ی انفجار و پاسخ کلی سازه تحت انفجار پرداخته شده‌است. در مرحله‌ی دوم که منطبق بر فصل سوم تحقیق است به بیان تحقیقات صورت گرفته در گذشته مبنی بر تقویت المان‌های سازه‌ای با کامپوزیت‌های پلیمری (FRPS) شامل تقویت المان دیوار برشی، المان‌های تشکیل دهنده‌ی پل (پایه‌ی پل، دهانه و برج)، تقویت ستون بتن مسلح و تقویت المان دال بتن‌آرمه با ورقه‌های FRPS پرداخته شده‌است. در مرحله‌ی

سوم که منطبق بر فصل چهارم تحقیق است، ابتدا با مروری بر خواص بتن به معرفی کامپوزیت‌های پلیمری مسلح شده به الیاف (FRPS)، پرداخته شده‌است و در ادامه با توجه به روش کار و نتایج آزمایشگاهی تحقیق که توسط تولبا در دانشگاه کارلتون کانادا در سال ۲۰۰۱ انجام شده [۱]، به انجام شبیه سازی و تحلیل غیر خطی دینامیکی نمونه‌ها تحت بارگذاری پرداخته شده‌است. همچنین جهت تکمیل مطالعات عددی به بررسی اثر افزایش پارامترهای مقاومت مشخصه‌ی بتن، درصد میلگرد، ضخامت ورقه‌ی FRP و مقاومت کامپوزیت‌های پلیمری FRPS پرداخته شده‌است. در مرحله‌ی چهارم تحقیق که منطبق بر فصل پنجم است به بحث و بررسی نتایج پرداخته شده‌است. ابتدا نتایج به دست آمده از مدل‌سازی نرم‌افزار LS-DYNA را با نتایج آزمایشگاهی مقایسه نموده سپس به بحث و بررسی نتایج مطالعات پارامتری پرداخته شده و در پایان به ارائه‌ی پیشنهادات ممکن مرتبط با تحقیق صورت گرفته پرداخته شده‌است. همچنین مروری بر روابط تئوری الاستیسیته‌ی مرتبط با تحقیق در قالب پیوست اول ارائه شده است..



شکل ۱-۱: مراحل انجام تحقیق و ساختار پایان نامه (صفحه ۱ از ۲)