بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه مازندران

عنوان:
بررسی رفتار خمشی تیرهای بتنی خودمتراکم و مسلح شده با میلگردهای FRP

جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

مهندسی عمران - سازه

استاد راهنما:

دکتر مرتضی حسینعلی‌بیگی

دکتر بهرام نوائی‌نیا

نگارش:

سیدمحمود ذبیحی

بهـار 1389

تشکر و قدردانی :

که منعم کند فضل حق را سپاس

اکنون که به لطف خداوند منان و همکاری ارزشمند استادان ارجمند **آقایان دکترمرتضی حسینعلی‌بیگی** و **دکتر بهرام نوایی‌نیا** این پایان نامه را به اتمام رساندم، جا دارد از مساعدت و راهنمایی خالصانه ایشان تشکر و قدردانی نمایم.

همچنین از راهنمایی‌های آقای مهندس مصطفویان (کارشناس ارشد آزمایشگاه سازه دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل) و نیز کمک‌های آقای ابراهیمی (مسئول آزمایشگاه سازه) که در انجام این مهم از هیچ کوششی دریغ نورزیدند کمال تشکر را دارم.

و در انتها از زحمات و همکاری برادرم به همراه دوستان عزیزم مهندس حسن ذبیح‌اللهی و مهندس معین رضوانی تشکر می‌نمایم.

تقدیم به:

پدر و مادر مهربانم، اسطوره های گذشت و فداکاری

چکیده :

از آنجا که ساخت مقاطعی با مقاومت‌های بالاتر و سهولت در اجرا همواره مورد توجه مهندسان طراح سازه بوده است لذا در سال‌های اخیر سعی بر آن شده است که از مواد کامپوزیت به ویژه FRPها که از دو فاکتور مهم مقاومت بالا و دوام زیاد در برابر خوردگی برخوردارند، استفاده گردد. در عین حال یکی از مشکلات استفاده از میلگردهای FRP، تأمین طول گیرایی در این نوع میلگردها است که نیازمند استفاده از بتن‌هایی با تراکم و مقاومت بالا است. ازسویی دیگر متراکم کردن بتن در ناحیه هایی که تراکم این آرماتورها وجود دارد به ویژه در مسائل اجرائی بسیار مهم است. لذا در این پایان‌نامه به بررسی رفتار خمشی تیرهای ساخته شده از بتن خود متراکم (SCC) که با میلگردهای FRP تقویت شده است، پرداخته می‌شود. بدین منظور 8 تیر بتنی مسلح با میلگردهای FRP که دارای طول 180، عمق 30 و عرض 20 سانتی‌متر می‌باشند ساخته و رفتار خمشی تیرها و نحوه گسترش ترک برحسب درصد آرماتورها در دو گروه I و II مورد تحقیق و بررسی قرار گرفت. نتایج آزمایشات حاکی از آن است که مقاومت نمونه‌های ساخته شده از میلگردهای FRP در درصدهای بیشتر از درصد آرماتور متعادل بسیار مناسب وحتی بالاتر از پیش‌بینی آیین‌نامه ACI 440.1R است. اما در هر صورت این مقاطع، ترد و شکننده‌اند. جهت رفع این مشکل می‌توان میلگردهای FRP را به صورت ترکیبی با میلگردهای فولادی بکار برد. از آزمایشات صورت گرفته مشخص گردید که این دو ماده در ترکیب با یکدیگر تا حدود زیادی مناسب عمل کرده و می‌توانند نقایص یکدیگر را برطرف کنند.

کلمات کلیدی: میلگردهای FRP، بتن خود متراکم (SCC)، تغییر شکل‌پذیری.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول	
1-1- مقدمه	1
1-2- اهداف تحقیق	2
1-3- فرضیات تحقیق	3
1-4- ساختار تحقیق	3
فصل دوم	
2-1- مقدمه	5
2-2- بتن خودمتراکم	5
2-2-1- تعریف بتن خود متراکم	5
2-2-2- تاریخچه توسعه بتن خود متراکم	6
2-2-3- مزایا و معایب بتن خود متراکم	7
2-2-3-1- مزایا	7
2-2-3-2- معایب	8
2-2-4- راهنمایی لازم جهت طرح اختلاط مناسب بتن خود متراکم	8
2-2-5- مواد تشکیل‌دهنده بتن خود متراکم	9
2-3-5-1- سیمان	9
2-2-5-2- پودرهای بسیار ریز و مواد جایگزین سیمان	10
2-2-5-3- سنگدانه	11
2-2-5-4- افزودنی‌ها	12
2-2-6- تعیین زیست‌های اختلاط بتن خود متراکم	13
2-2-7- آزمایش‌های بتن خود متراکم	15
2-2-7-1- آزمایش جریان اسلامپ	15
2-2-7-2- آزمایش قیف V شکل	16

عنوان	صفحه
2-2-7-3- آزمایش جعبه L شکل	17
2-3- مواد مرکب	18
2-3-1- اجزای تشکیل‌دهنده مواد مرکب	19
2-3-2- تاریخچه استفاده از مواد مرکب (کامپوزیت)	22
2-4- تئوری خمش	24
2-4-1- محاسبه انحنا در تیر	25
2-5- ضوابط آیین‌نامه‌ای استفاده از میلگردهای FRP در بتن	27
2-5-1- مقدمه	27
2-5-2- مقاومت کششی طراحی میلگردهای FRP	27
2-5-3- فلسفه طراحی خمشی	28
2-5-4- فرضیات طراحی خمشی	29
2-5-5- مقاومت خمشی	29
2-5-6- مد شکست	31
2-5-7- ظرفیت خمشی اسمی	32
2-5-8- ضریب کاهش مقاومت برای خمش	32
2-5-9- مقدار حداقل آرماتور FRP در مقطع	34
2-5-10- شرایط ویژه (تسلیح چند لایه با FRP و استفاده از انواع مختلف FRP در مقطع)	34
2-5-11- خدمت‌پذیری	35
2-5-11-1- ترک خوردگی	35
2-5-11-2- تغییر شکل (خیز)	36
2-5-12- وصله و مهار آرماتورهای FRP	37
2-6- مروری بر تحقیقات گذشته	39
فصل سوم	
3-1- مقدمه	44

عنوان	صفحه
2-3- طراحی نمونه‌های آزمایشگاهی	44
3-3- معرفی مشخصات تیرها	45
4-3- ویژگی‌های مصالح	46
1-4-3- آرماتورها	47
2-4-3- بتن	48
1-2-4-3- مصالح سنگی	48
2-2-4-3- سیمان انتخابی	51
3-2-4-3- پودر سنگ آهک	51
4-2-4-3- میکرو سیلیس مصرفی	52
5-2-4-3- فوق روان کننده مصرفی جهت ساخت بتن خود متراکم	52
5-3- طرح اختلاط	53
6-3- نحوه مخلوط نمودن بتن	53
7-3- تست مقاومت فشاری بتن ساخته شده	54
8-3- ساخت نمونه‌های آزمایشگاهی	55
1-8-3- آرماتوربندی، قالب‌بندی، بتن‌ریزی	55
2-8-3- عمل‌آوری تیرها	56
9-3- وسایل و ابزار آلات اندازه‌گیری آزمایش	57
1-9-3- Data logger	57
2-9-3- Load cell	57
3-9-3- تغییر مکان‌سنج (LVDT)	58
4-9-3- کرنش سنج	58
5-9-3- میکروسکوپ	59
6-9-3- سیستم بارگذاری	59
10-3- آزمایش تیرها	60

عنوان	صفحه

فصل چهارم

4-1- مقدمه 62

4-2- رفتار نمونه‌های آزمایشگاهی 62

4-2-1- تیرهای گروه I 62

4-2-2- تیرهای گروه II 67

4-3- تعیین درصد آرماتور متعادل و تخمین لنگرنهایی برای تیرهای هیبریدی 70

4-4- تاریخچه بار تغییر مکان 72

4-5- بررسی ترک در تیرها 76

4-6- بررسی کرنشهای فشاری و کششی در تیر ها 79

4-7- بررسی تیرها از لحاظ شکل‌پذیری و تغییر شکل‌پذیری 81

4-8- بررسی و مقایسه لنگر تئوری و آزمایشگاهی تیرها 82

فصل پنجم

5-1- مقدمه 84

5-2- نتایج و آزمایشات 85

5-3- پیشنهادات برای تحقیقات آینده 86

فهرست اشکال

عنوان	صفحه
شکل (2-1): آزمایش جریان اسلامپ	16
شکل (2-2): مشخصات قیف V شکل	17
شکل (2-3): مشخصات جعبه L شکل	18
شکل (2-4): منحنی تنش- کرنش انواع الیاف	21
شکل (2-5): نمودار تنش- کرنش اجزای مواد مرکب و ماده مرکب	22
شکل (2-6): برف‌روبی خیابان‌ها و پل‌ها	24
شکل (2-7): استفاده از میلگردهای FRP در ساخت پل‌ها	24
شکل (2-8): توزیع کرنش در مقطع تیر	25
شکل (2-9): انحنا و دیاگرام برش و لنگر برای تیرها تحت بار دونقطه‌ای	26
شکل (2-10): مدهای شکست برای اعضای خمشی بتنی مسلح با FRP	30
شکل (2-11): نمودار تعیین ضریب کاهش مقاومت در خمش	33
شکل (2-12): انتقال نیروها از طریق طول مهاری	38
شکل (2-13): مدل Naaman و Jeong	40
شکل (2-14): مدل Abdelrahman	41
شکل (2-15): شکست تیرها در تحقیقات مسعود رافی	43
شکل (3-1): مشخصات مقطع تیرها	46
شکل (3-2): تصویر میلگردهای FRP	47
شکل (3-3): منحنی دانه‌بندی ماسه مصرفی	49
شکل (3-4): دستگاه تست مقاومت فشاری	54
شکل (3-5): نمونه‌ای از آرماتوربندی تیرها	55
شکل (3-6): نمونه‌ای از آرماتوربندی تیر هیبریدی	56
شکل (3-7): دستگاه Data logger	57
شکل (3-8): دستگاه Load cell	57

عنوان	صفحه
شکل (3-9): تغییر مکان‌سنج	58
شکل (3-10): کرنش‌سنج	58
شکل (3-11): میکروسکوپ	59
شکل (3-12): سیستم قاب بارگذاری	59
شکل (3-13): محل نسبت کرنش‌سنج‌ها	60
شکل (3-14): تکیه گاه تیر فولادی برای اعمال بار دو نقطه ای بر تیر بتنی	61
شکل (4-1): شکست تیر BG1	63
شکل (4-2): گسیختگی آرماتور GFRP در تیر BG1	63
شکل (4-3): شکست تیر BG2	64
شکل (4-4): عدم گسیختگی کامل آرماتور GFRP در تیر BG2	64
شکل (4-5): شکست تیر BG3	65
شکل (4-6): عدم گسیختگی کامل آرماتور GFRP در تیر BG3	65
شکل (4-7): شکست تیر BHGS	66
شکل (4-8): عدم گسیختگی آرماتور GFRP در تیر BHGS	66
شکل (4-9): شکست تیر BC1	67
شکل (4-10): گسیختگی آرماتور CFRP در تیر BC1	68
شکل (4-11): شکست تیر BC2	68
شکل (4-12): شکست تیر BC3	69
شکل (4-12): عدم گسیختگی آرماتور CFRP در تیر BC3	69
شکل (4-14): شکست تیر BHCS	70
شکل (4-15): نمودار تنش کرنش انواع آرماتور بصورت شماتیک	71
شکل (4-16): تعادل نیروها و سازگاری کرنش ها در مقطع هیبریدی	71
شکل (4-17): نمودار بار تغییرمکان تیرهای گروه I	73
شکل (4-18): نمودار بار تغییرمکان تیرهای گروه II	73

عنوان	صفحه
شکل (4-19): نمودار بار تغییرمکان تیرها در $\rho \cong 0/6\rho_b$	74
شکل (4-20): نمودار بار تغییرمکان تیرها در $\rho \cong \rho_b$	74
شکل (4-21): نمودار بار تغییرمکان تیرها در $\rho \cong 1/5\rho_b$	75
شکل (4-22): نمودار بار تغییرمکان تیرهای هیبریدی در $\rho \cong \rho_b$	75
شکل (4-23): گسترش عرض اولین ترک خمش در تیرهای گروه I	77
شکل (4-24): گسترش عرض اولین ترک خمش در تیرهای گروه II	78
شکل (4-25): مقایسه عرض ترک آزمایشگاهی و آیین نامه ای برای تیر های گروه I	79
شکل (4-26): مقایسه عرض ترک آزمایشگاهی و آیین نامه ای برای تیر های گروه II	79
شکل (4-27): کرنش فشاری A-A در تیر های گروه I	80
شکل (4-28): کرنش فشاری A-A در تیر های گروه II	80
شکل (4-29): مقایسه لنگر در تیرهای گروه I	82
شکل (4-30): مقایسه لنگر در تیرهای گروه II	83

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول (2-1): تعیین جریان اسلامپ با توجه به نیازمندی‌های پروژه 14

جدول (2-2): تعیین محتوای پودری با توجه به جریان اسلامپ 15

جدول (2-3): انتخاب طرح اختلاط اولیه 15

جدول (2-4): ضریب کاهش شرایط محیطی 27

جدول (2-5): درصد آرماتور متعادل برای چند نوع میلگرد 31

جدول (3-1): مشخصات تیرها 45

جدول (3-2): مشخصات میلگردهای مورد استفاده در آزمایش 47

جدول (3-3): دانه‌بندی ماسه مصرفی 50

جدول (3-4): مدول نرمی ماسه مصرفی 50

جدول (3-5): خواص فیزیکی سیمان مازندران تیپ 2 51

جدول (3-6): تجزیه شیمیایی سیمان مازندران تیپ 2 51

جدول (3-7): تجزیه شیمیایی پودر سنگ‌آهک 52

جدول (3-8): مشخصات فوق روان‌کننده 53

جدول (3-9): طرح اختلاط بتن مورد استفاده 53

جدول (3-10): نتایج تست مقاومت فشاری برای تیرها 55

جدول (4-1): تعداد و فاصله متوسط ترک‌ها 77

جدول (4-2): انحنا و فاکتور تغییرشکل‌پذیری تیرها 81

جدول (4-3): مقایسه لنگر نهایی آزمایشگاهی با لنگر آیین‌نامه‌ای ACI 83

لیست علائم و اختصارات

ارتفاع بلوک تنش مستطیلی	mm	a
مساحت مؤثر کششی بتن تقسیم بر تعداد میلگردها برحسب میلی‌مترمربع	$(mm)^2$	A
سطح مقطع آرماتور کششی مقطع از جنس FRP	$(mm)^2$	A_f
سطح مقطع آرماتور کششی مقطع از جنس FRP در حالت متعادل	$(mm)^2$	A_{fb}
سطح مقطع آرماتور کششی مقطع از جنس فولاد	$(mm)^2$	A_s
سطح مقطع آرماتور کششی مقطع از جنس فولاد در حالت متعادل	$(mm)^2$	A_{sb}
سطح مقطع آرماتور کششی مقطع از جنس FRP در حالت متعادل و استفاده از حالت هیبریدی (استفاده همزمان فولاد و FRP به عنوان آرماتور کششی)	$(mm)^2$	A_{fbh}
حداقل آرماتور کششی در مقطع از جنس فولاد	$(mm)^2$	A_{min}
حداقل آرماتور کششی در مقطع از جنس FRP	$(mm)^2$	A_{fmin}
عرض مقطع	mm	b
عرض جان مقطع	mm	b_w
ارتفاع تار خنثی	mm	C
ارتفاع تار خنثی در حالت متعادل	mm	C_b
ضریب کاهش شرایط محیطی	بدون بعد	C_E
عمق موثر مقطع	mm	d
قطر آرماتور FRP	mm	d_b
ضخامت موثر محافظ بتنی که برابر با دورترین تار کششی تا مرکز نزدیک‌ترین میلگرد به آن درنظر گرفته می‌شود	mm	d_c
مدول الاستیسیته آرماتور FRP	Mpa	E_f
مدول الاستیسیته آرماتور فولادی	Mpa	E_s
مقاومت فشاری بتن	Mpa	f_c
مقاومت کششی آرماتور فولادی	Mpa	f_s
نیروی کششی آرماتور FRP	N	f_f

مقاومت کششی آرماتور FRP	Mpa	f_{fu}
مقاومت کششی ارائه شده توسط کارخانه سازنده آرماتور FRP	Mpa	f^{*}_{fu}
مقاومت تسلیم آرماتور فولادی	Mpa	f_y
ممان اینرسی مقطع ترک‌خورده	$(mm)^4$	I_{cr}
ممان اینرسی موثر مقطع	$(mm)^4$	I_e
ممان اینرسی مقطع ترک‌نخورده	$(mm)^4$	I_g
فاصله میان دو بار متمرکز اعمالی بر تیرها	mm	l
طول مهاری	mm	L_{bf}
مقاومت خمشی اسمی (لنگر اسمی)	N-mm	M_n
مقاومت خمشی اسمی در حالت استفاده از آرماتور FRP	N-mm	M_{nf}
مقاومت خمشی نهایی (مقاومت خمشی مورد نیاز)	N-mm	M_u
مقاومت خمشی مقطع در سطح سرویس	N-mm	M_{ser}
لنگر ترک‌خوردگی مقطع	N-mm	M_{cr}
لنگر اعمالی بر مقطع	N-mm	M_a
نسبت مدول الاستیسیته FRP به بتن	بدون بعد	n_f
شعاع انحنا	cm	R
عرض ترک	mm	w
ضریب چسبندگی و پیوستگی بین بتن و FRP	بدون بعد	α_b
نسبت فاصله دورترین تار کششی از تار خنثی به فاصله مرکز ثقل میلگردهای کششی تا تار خنثی	بدون بعد	β
ضریب تبدیل به بلوک تنش مستطیلی	بدون بعد	β_1
کرنش در دورترین تار فشاری	بدون بعد	ε_c
کرنش حداکثر بتن در دورترین تار فشاری	بدون بعد	ε_{cu}
کرنش در تار کششی بتن هم سطح با آرماتور کششی	بدون بعد	ε_t
کرنش آرماتور FRP	بدون بعد	ε_f

کرنش نهایی آرماتور FRP	بدون بعد	ε_{fu}
ضریب کاهش مقاومت در خمش و انحنا	بدون بعد	ϕ
انحنا در سطح سرویس	$(mm)^{-1}$	ϕ_{ser}
انحنا در حالت نهایی	$(mm)^{-1}$	ϕ_u
درصد آرماتور مقطع	بدون بعد	ρ
درصد آرماتور متعادل مقطع	بدون بعد	ρ_b
درصد آرماتور مقطع در حالت استفاده از FRP	بدون بعد	ρ_f
درصد آرماتور متعادل مقطع در حالت استفاده از آرماتور FRP	بدون بعد	ρ_{fb}
درصد آرماتور FRP متعادل در حالت هیبریدی	بدون بعد	ρ_{fbh}
تغییرمکان تیر زیر بار متمرکز	mm	$\Delta_1 = \Delta_3$
تغییرمکان وسط دهانه	mm	Δ_2
تغییرمکان نسبی	mm	$\delta = \Delta_2 - \Delta_1$
زاویه انحنا	درجه	θ

فصل اول: کلیات و مقدمه

1-1 مقدمه

سازه‌های بتن مسلح بیش از صد سال از تسلط و نفوذ بی رقیب فولاد بر همه انواع تقویت‌ها سود برده‌اند. کیفیت برتر فولاد در مقاومت و سازگاری آن با بتن، فولاد را تبدیل به یکی از موثرترین مواد در مسلح نمودن بتن ساخته است. اما در هر صورت حساسیت بالای فولاد به اکسیداسیون به ویژه هنگامی که در محیط‌های خورنده در معرض کلریدها قرار می‌گیرد مشکلی جدی است. هرچند که محیط قلیایی بتن از خوردگی فولاد جلوگیری می‌کند و باعث دوام بیشتر آن می‌گردد اما همیشه این امکان وجود دارد که به دلایل مختلف از جمله پوشش ناکافی بتن، طراحی ضعیف، عدم مهارت در ساخت، مخلوط کردن ضعیف و ناقص بتن و محیط‌های خورنده دریایی، محافظت از میلگردهای فولادی از بین رود. این مشکل زمانی رخ می‌نماید که ترک‌های سازهای بتنی که بخش اجتناب ناپذیر این نوع سازه‌ها هستند ایجاد گردد. در این صورت دسترسی عوامل مخرب محیطی به میلگردهای فولادی راحتتر می‌گردد و در این هنگام اکسیداسیون آغاز می‌گردد که در نتیجه آن سطح مقطع عرضی میلگردها کاهش و به دنبال آن پیوستگی بین بتن و میلگرد از بین خواهد

رفت. بنابراین برای جلوگیری از زنگ زدگی، ترمیم، مرمت و بازسازی این سازه‌ها، صرف هزینه‌های گزاف سالانه اجتناب ناپذیر خواهد بود[1].

به دلایل ذکر شده در بالا در چند دهه اخیر همواره سعی بر آن بوده است که مواد مناسبی را جایگزین فولاد نمایند که علاوه بر دارا بودن خواص مکانیکی و فیزیکی مناسب، در مقابل حملات شیمیایی نیز مقاومت خوبی از خود نشان دهد. با پیشرفت صنعت پلیمر در جهان محققان تحقیقات اخیر خود را روی مواد مرکب پلیمری متمرکز کرده‌اند. از جمله مفیدترین این مواد، الیاف پلیمری یا همان FRP ها هستند که به صورت‌های مختلف چه به صورت تقویت خارجی و چه به صورت تقویت داخلی مورد استفاده قرار می‌گیرند. هرچند تحقیقات زیادی در استفاده از این مواد صورت گرفته است و همچنان صورت می‌گیرد، اما با این حال تحقیقات خاصی روی استفاده از این میلگردهای پلیمری در بتن خود متراکم صورت نگرفته است. لذا در این تحقیق سعی بر آن شد که به بررسی رفتار این مواد مرکب پلیمری در بتن خود متراکم پرداخته شود.

1-2- اهداف تحقیق

در این تحقیق به بررسی رفتار خمشی تیرهای بتنی خود متراکم مسلح شده با آماتورهای FRP پرداخته شده است. همچنین به علت ضعف عمومی این‌گونه تیرها در شکل‌پذیری و بررسی اثر فولاد در شکل پذیری، نمونه‌هایی به صورت هیبریدی یعنی ترکیب آرماتورهای فولادی و FRP[1] ساخته شده است. برای این تحقیق 8 نمونه تیر با ابعاد 180x30x 20 سانتی متر که براساس آیین‌نامه ACI[2] طراحی گردیدند، ساخته شد. این تیر ها در دو گروه تقویت با GFRP[3] و تقویت با CFRP[4] طبقه بندی شده و تحت دو بار متمرکز یکسان که از بالای تیر بر آن وارد می‌شدند، قرار گرفتند. رفتار آنها شامل نمودار بار تغییر مکان، محل شروع ترک و

[1] Fiber-reinforced polymer
[2] American Concrete Institute
[3] Glass-fiber-reinforced polymer
[4] Carbon-fiber-reinforced polymer

نحوه گسترش آن، عرض ترک در طول آزمایش، شکل پذیری و بار نهایی شکست است مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت تا تاثیر پارامترهای مختلف موجود بر رفتار خمشی تیرهای بتنی مسلح با میلگردهای FRP مشخص گردد.

اهداف تحقیق در این پایان نامه را می‌توان به صورت خلاصه در موارد زیر یافت.

1- بررسی رفتار و عملکرد تیرهای بتنی مسلح شده با میلگردهای FRP

2- بررسی اثر آرماتور کششی فولادی در شکل‌پذیری تیرهای بتنی مسلح شده FRP

3- بررسی در میزان مقاومت نهایی و تغییر شکل‌های حدی تیرها با توجه به نوع میلگرد مصرفی و میزان مصرف آنها در مقطع

3-1 فرضیات تحقیق

- اعمال بار بر تیرها به صورت متمرکز و استاتیکی می‌باشد.

- تغییرات کرنش‌ها در ارتفاع به صورت خطی است.

- کرنش سنج‌های نصب شده بر روی بتن و در تراز میلگردهای کششی قادر به اندازه‌گیری کرنش میلگردهای کششی نیز می‌باشند.

4-1 ساختار تحقیق

این تحقیق در5 فصل ارائه می‌گردد که در فصل اول کلیات و اهداف تحقیق ارائه شد.

در فصل دوم خلاصه‌ای از رفتار خمشی تیرها و آیین نامه ACI بیان می گردد. همچنین به تاریخچه مواد مرکب، بتن خود متراکم و تحقیقات انجام شده در راستای پایان نامه پرداخته خواهد شد.

فصل سوم به بیان مراحل تحقیقات آزمایشگاهی، طراحی، ساخت، نحوه انجام آزمایش و خصوصیات مواد و مصالح مصرفی اختصاص یافته است.

تحلیل نتایج حاصل از آزمایشات در فصل چهارم مورد بررسی قرار گرفته است.

فصل پنجم به نتیجه‌گیری نهایی حاصل از آزمایشات صورت گرفته و پیشنهادات لازم جهت ادامه تحقیقات اختصاص داده شده است و در نهایت منابع و مراجع مورد استفاده در تحقیق بیان می‌شود.