بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده عمران

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی عمران سازه

موضوع :

بررسی رفتار خمشی تیرهای بتنی سبک و مسلح شده با میلگردهای FRP

اساتید راهنما:

دکتر مرتضی حسینعلی‌بیگی

دکتر بهرام نوائی‌نیا

استاد مشاور:

دکتر حسن حاجی کاظمی

نگارش:

محدثه محمدی

تابستان ۱۳۸۹

سپاسگزاری

اکنون که به لطف خداوند منان و راهنمایی های ارزشمند اساتید راهنمای ارجمند، **آقایان دکتر مرتضی حسینعلی‌بیگی** و **دکتر بهرام نوایی‌نیا** این پایان نامه را به اتمام رساندم، جا دارد از مساعدت و حمایت های خالصانه ی ایشان تشکر و قدردانی نمایم.

همچنین از استاد ارجمند و گرامی ام ، **آقای دکتر حسن حاجی کاظمی** ، که با وجود بعد مسافت و دوری راه، از راهنمایی و مشاوره ایشان در کلیه مراحل تحصیلی، خصوصا انجام این پایان نامه بهره مند بوده ام، صمیمانه سپاسگزاری می نمایم و نیز از راهنمایی‌های **آقای مهندس مصطفویان**، مسئول محترم آزمایشگاه سازه، که در کلیه مراحل انجام این پایان نامه زحمات زیادی را متقبل گردیدند، کمال تشکر و سپاس را دارم.

در انتها از زحمات و همکاری های بی دریغ دوستان و همکلاسی های ارجمندم آقایان مهندس: **محمود ذبیحی، دانش ریاضی، حسن ذبیح‌اللهی، سهیل عابدینی، معین رضوانی** و سایرعزیزانی که در این تحقیق همراهم بودند، تشکر می‌نمایم و سعادت همه ی آن ها را از خداوند متعال خواستارم.

با تقدیم بهاری ترین بوسه بر دستان پرمهر مادرم

و سبزترین سپاس از پدرم،

که صبر و شکیبایی شان پشوانه ایست بی مثال...

چکیده

بتن مسلح به فولاد، مصالحی است که بنا به دلایلی همچون مقاومت فشاری مناسب، هزینه تهیه پایین و در دسترس بودن مصالح خام، بطور گسترده در سازه‌های مهندسی عمران بکار برده می‌شود. اما بتن مسلح تهیه شده از خمیر سیمان، سنگدانه‌های معمولی، و میلگردهای فولادی دارای نقاط ضعفی مانند وزن زیاد، خوردگی فولاد، و ترک‌های ناشی از جمع شدگی است که کاربرد آن را در مواردی محدود می‌کند. برای جبران این ایرادات، بتن‌های خاصی ابداع شده‌اند که در آنها از سنگدانه‌های سبک و تکه‌های مجزا و کوچک الیاف استفاده می‌شود و به جای میلگردهای فولادی، در جهت رفع مشکل خوردگی در مناطق ساحلی، از میلگردهای کامپوزیت پلیمری الیافی، استفاده می شود. از آن جا که استفاده از بتن‌های خاص با توجه به مزایای غیر قابل انکار آنها در حال گسترش بوده و نیز کاربرد آنها در کشوری مانند ایران در بسیاری از موارد توجیه و ضرورت دارد، لازم است مطالعات کافی در مورد جنبه‌های مختلف کاربردی آنها انجام گیرد.

در تحقیق حاضر با تهیه یک برنامه آزمایشگاهی، به بررسی رفتار خمشی تیرهای بتنی ساخته شده از بتن سبک الیافی، مسلح به میلگردهای طولی از جنس کامپوزیت پلیمری شیشه (GFRP) پرداخته شده است. برای این منظور، تعداد ۹ تیر بتنی با مقطع مستطیل در سه گروه طراحی و ساخته شده است. گروه اول شامل سه تیر بتنی سنگدانه سبک، گروه دوم شامل سه تیر بتنی سنگدانه سبک بهمراه الیاف فولادی و گروه سوم شامل سه تیر بتنی سنگدانه سبک بهمراه الیاف پلی‌پروپیلن می‌باشد. در هر گروه میلگردهای کامپوزیت به میزان صد در صد، دویست درصد، و سیصد درصد تقویت بالانس در هر تیر تعبیه گردید. تیرها بصورت گام به گام و تدریجی تحت بار افزایشی قرار گرفته و این عمل تا گام نهایی، یعنی تخریب تیرها ادامه یافت. در هر گام مقادیر جابجایی، کرنش، و عرض ترک در محل‌های مناسب برروی تیرها، به همراه نیروی اعمالی ثبت گردید. با پردازش داده‌های بدست آمده خصوصیاتی از تیرها مانند رفتار نیرو – تغییرمکان، ظرفیت خمشی، چگونگی ایجاد و گسترش ترک‌ها مورد مطالعه قرار گرفت.

نتایج حاصله حاکی از آنست که نمودار نیرو- تغییرمکان تیرهای مسلح با میلگردهای کامپوزیت تا مرحله نهایی تقریباً خطی بوده و در تمامی تیرها در یک کرنش ثابت، درصد میلگرد بیشتر باعث تحمل بار بزرگتری از تیرهای با درصد میلگرد کمتر شده است. همچنین مقایسه ظرفیت تجربی تیرها با روابط آیین نامه‌ای نشان می‌دهد که این روابط نتایج محافظه کارانه‌ای بدست می‌دهند. همچنین تیرهای دارای الیاف در بارهای کمتر شروع به ترک خوردگی نمودند، ولی مقاومت در برابر بار و ایجاد تغییر شکل های بیشتر در آن ها آشکارتر است.

کلمات کلیدی:

میلگردهای GFRP، بتن سبک سازه ای ، بتن الیافی، رفتار خمشی.

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}
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
مقاومت فشاری بتن	Mpa	f_c

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
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
عرض ترک	mm	w

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}
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}
تغییرمکان تیر زیر بار متمرکز	mm	$\Delta_1 = \Delta_2$

Bending behavior of lightweight aggregate concrete beams reinforced with FRP rebar's

Abstract

Reinforced concrete is a composite material that is used widely in civil engineering constructions because of appropriate compressive strength, low cost, and availability of raw materials. However, because of disadvantages such as high density, steel corrosion, and shrinkage cracking, usage of conventional reinforced concrete made with cement paste, normal aggregates, and steel rebar's is limited in some situations. Special concretes containing lightweight aggregates, FRP rebar's, and fibers have been developed to overcome these deficiencies. Usage of these special concretes is growing due to their undeniable benefits in many countries including Iran. Thus, more studies should be done over different aspects of their utilization.

In the present study, an experimental work has been done to study the bending behavior of lightweight aggregate concrete beams containing fibers, reinforced with longitudinal GFRP rebar's. A total of nine beams with rectangular cross sections in three different groups have been designed and constructed. The first group includes three lightweight aggregate concrete beams, the second group includes three lightweight aggregate concrete beams containing steel fibers, and the third group includes three lightweight aggregate concrete beams containing polypropylene fibers. In each group, the GFRP reinforcement ratio was 100%, 200%, and 300% of balance reinforcement for each one of beams. Using four points bending test setup, the beams were incrementally loaded in different stages until failure. In each stage, the values of displacements, strains, and crack width at appropriate locations, together with the value of applied load were measured and recorded. Then, with the processing of recorded data, the properties of beams such as load-displacement behavior, bending capacity, and crack initiation and growth were studied.

Obtained results showed that the load-displacement relationship of GFRP reinforced concrete beams is approximately linear until failure, and at a specific strain value, the beam that has higher reinforcement ratio has larger load bearing capacity. Also, comparing experimentally obtained flexure strength of beams with code suggestions reveals that these suggestions are underestimate.

فصل اول : کلیات

۱ – ۱ مقدمه

بتن پرمصرف ترین مصالح ساختمانی است و در اغلب کشورهای جهان نسبت مصرف بتن به فولاد از ۱۰ به ۱ نیز فراتر رفته است. تنها ماده ای را که بشر به این میزان مصرف می کند، آب است. بتن دارای مزایایی از قبیل مقاومت عالی در برابر آب، سهولت شکل دهی در اشکال گوناگون، ارزان و در دسترس بودن مصالح اولیه است. همچنین در مقایسه با فولاد نیاز به نگهداری کمی داشته، مقاومت مناسبی در دماهای بالا از خود نشان داده، و به دلیل اینکه تحت میدان‌های تنش موضعی کمتری قرار دارد، خستگی مشکل مهمی برای آن محسوب نمی‌شود[۱].

علی رغم مزایای مذکور برای بتن، به علت وجود مواد مختلف در بتن و نیز اندرکنش این مواد به ویژه در ناحیه بین سنگدانه ها و خمیر سیمان، هنوز در این ماده و محصول نهایی حاصل از ساخت آن پیچیدگی ها و نادانسته های فراوانی وجود دارد. سازه های بتنی در بعضی موارد پاسخگوی نیازهای بهره برداری نخواهند بود. از جمله نواقص سازه های بتنی می توان به مقاومت کششی کم، خوردگی فولاد، سهولت ایجاد و گسترش ترک، و وزن زیاد آنها اشاره کرد.

تلاش محققان صنعت ساختمان همواره بر رفع نواقص سازه های بتنی بوده است و روش های مختلفی برای این منظور ارائه داده اند که در زیر به چند نمونه از آن ها اشاره می شود:

- میلگردهای FRP برای جلوگیری از خوردگی و افزایش مقاومت و افزایش میرایی: استعداد خوردگی فولاد در برابر شرایط محیطی قلیایی که در سازه های بتن آرمه در معرض آب دریا استفاده می شود، باعث گردیده است که استفاده از FRP بعنوان جایگزین آن مطرح شود. مقاومت خوردگی و کششی مواد کامپوزیت می‌تواند تا چهار برابر فولاد باشد. این مواد به دلیل بالا بودن ضریب میرایی آنها که ناشی از خواص غیرکشسان آنها است انرژی جذب شده را میرا می‌کنند.

- استفاده از فایبرها برای افزایش مقاومت کششی و کاهش عرض ترک ها: الیاف دراندازه ها و اشکال مختلف و از جنس فولاد، خمیری، شیشه و مواد طبیعی مورد استفاده قرار می گیرند. استفاده از الیاف با حجم و اندازه های متفاوت در ملات، تا حدی باعث افزایش مقاومت کششی نهایی شده ولی کرنش کششی در هنگام گسیختگی در این نوع از بتن ها در مقایسه با انواع معمولی بسیار بیشتر است که این بدلیل جلوگیری از باز شدن ترکها و تبدیل یک ترک بزرگ به چندین ترک کوچک می‌باشد.

- استفاده از بتن های سبک برای کاهش وزن کلی سازه: در مقایسه با فولاد، پائین بودن نسبت مقاومت به وزن بتن، برای ساخت برج ها و دهانه های بزرگ پل ها و سازه های شناور به عنوان یک مشکل اقتصادی محسوب می شود. برای افزایش نسبت مقاومت به وزن بتن، یک راه حل مناسب، استفاده از سنگدانه‌های سبک مانند لیکا بجای سنگدانه‌های معمولی است که تا کنون با موفقیت در ساخت برج های تا چند ده طبقه در دنیا مورد استفاده قرار گرفته است.

بدیهی است مواد جدید نواقصی هم دارند، شامل تولید محدود و هزینه بالا، شکست ترد، نیاز به قلاب نمودن میلگردهای پلیمری در کارخانه و . . . که سبب کاهش استفاده از آن ها در سازه های بتنی در حال حاضر می شود. با توجه به رشد صنعت و تکنولوژی، استفاده ی روزافزون از این مصالح در آینده نزدیک، دور از انتظار نخواهد بود.

۱ – ۲ هدف تحقیق

در تحقیق حاضر هدف اصلی بررسی مزایا، معایب، و محدودیت‌های استفاده ترکیبی از دو بتن یعنی بتن سنگدانه سبک سازه‌ای و بتن الیافی در ساخت اعضای سازه ای تحت خمش (تیرها)، بهمراه استفاده از سطح مقطع‌های متفاوتی از میلگردهای ساخته شده از کامپوزیت پلیمری مسلح به الیاف شیشه برای تقویت طولی آنها می‌باشد. در راستای تأمین این هدف که یک برنامه آزمایشگاهی برای آن تدوین گردید، مواردی که باید مورد مطالعه قرار گیرند عبارتند از:

- رفتار خمشی (نیرو- تغییرمکان) تیرها،

- ظرفیت خمشی نهایی و نوع شکست تیرها،

- بار نظیر اولین ترک و نحوه ایجاد و گسترش ترک ها،

- کرنش های کششی و فشاری حاصله در مراحل مختلف بارگذاری، و

- مقایسه نتایج با روابط آئین نامه ای و تحقیقات مرتبط موجود.

لازم به توضیح است که هر چند بتن ها و میلگردهای مذکور در تحقیقات انجام شده مرتبط با سازه‌های بتنی مورد توجه قرار داشته‌اند و ادبیات فنی نسبتاً جامعی در مورد آنها وجود دارد، اما تحقیقات محدودی برای کاربرد ترکیبی آنها و با اهداف مذکور در کار حاضر انجام شده و لذا انجام این تحقیق سهمی هر چند کوچک در کامل‌تر کردن متون علمی موجود در این زمینه خواهد داشت.

۱ – ۳ روش تحقیق

در کار حاضر، ابتدا تحقیقات انجام شده در خصوص بتن سبک، بتن الیافی و میلگردهای FRP مورد مطالعه قرار گرفت و سپس از طریق مطالعه تجربی یا انجام آزمایش، رفتار خمشی تعدادی تیر ساخته شده از مصالح مذکور ارزیابی گردید. نمونه های آزمایشگاهی تعداد ۹ عدد تیر، شامل ۳ نمونه با بتن سبک معمولی، ۳ نمونه با بتن سبک با الیاف فلزی و ۳ نمونه بتن سبک با الیاف پروپیلن در نظر گرفته شد. علاوه بر این، برای هر تیر به تعداد مناسب نمونه مکعبی جهت تخمین مقاومت فشاری و جرم حجمی بتن مصرفی در آنها تهیه گردید. آزمایش به روش خمش چهار نقطه‌ای (تکیه گاه های ساده در دو انتها و دو بار متمرکز در دهانه تیرها) و بصورت مرحله به مرحله تا تخریب کامل تیرها انجام شده و با نصب حسگر در محل‌های مناسب بر روی تیرها، کمیت‌هایی نظیر جابجایی، کرنش، و عرض ترک و نیز نیروی اعمالی در مراحل مختلف بارگذاری اندازه گیری گردید. در راستای تأمین اهداف تعریف شده در کار حاضر نتایج خام حاصل از آزمایش تحلیل و پردازش شده

و خصوصیات یا پارامترهای مورد نظر برای تیرها استخراج می‌گردند. در نهایت با جمع بندی نتایج بدست آمده، مقایسه ای بین آنها و نتایج تحقیقات گذشته و نیز روابط آئین نامه ای انجام می‌شود.

۱ – ٤ ساختار پایان نامه

در فصل اول، به توضیح مختصری از سازه های بتنی و دلیل استفاده از آن ها، پرداخته شده است.

در فصل دوم، تحقیقات انجام شده در گذشته در رابطه با این تحقیق و نتایج آن ها آمده است.

در فصل سوم، روش انجام آزمایش با توضیحاتی در خصوص دقت و چگونگی کار با وسایل مورد استفاده در آزمایشگاه آمده است و نیز به بیان مراحل تحقیقات آزمایشگاهی، طراحی، ساخت، نحوه انجام آزمایش و خصوصیات مواد و مصالح مصرفی پرداخته شده است.

فصل چهارم، به بررسی نتایج به دست آمده از آزمایشات و شرح تفصیلی از مودهای شکست و بیان تحلیل های انجام شده در رابطه با چگونگی شکست و عرض ترک و مقایسه بارهای نهایی با روابط آئین نامه، اختصاص داده شده است.

فصل پنجم، به بیان نتایج تحقیق حاضر و نیز ارائه پیشنهاد برای انجام تحقیقات آینده در این زمینه اختصاص داده شده است.

فصل دوم: تاریخچه تحقیقات

۲ – ۱ مقدمه

در این فصل تحقیقات انجام شده بر اساس موضوع و در سه زمینه بتن سبک، بتن الیافی و میلگردهای FRP ارائه می شود و در ادامه تاریخچه و نحوه ساخت بتن سبک، بتن الیافی و GFRP مورد بررسی قرار می‌گیرد. همچنین تئوری خمش تیرها و آیین‌نامه ACI در مورد طراحی تیرها با میلگردهای FRP مطرح گردیده است و تحقیقات انجام شده و نتایج آنها در مورد استفاده از میلگردهای FRP در سازه‌ها و نیز بتن های الیافی و سبک ارائه می گردد.

۲ – ۲ بتن سبک

۲ – ۲ – ۱ تاریخچه

اساساً بتن سبک یک ماده جدید نیست و از روزگار امپراطوری رم تاکنون شناخته شده است. به کارگیری سبکدانه بیشتر براساس مواد خام در دسترس بوده است. در آلمان و نروژ تنوع وسیعی از انواع سبک دانه‌ها براساس رس منبسط شده (Liapor and Leca) تولید شده است. در هلند از سوی دیگر، تکنولوژی تولید سبک دانه براساسFly ash توسعه یافته است. در ایسلند، کاربرد سنگ سخت یک روش معمولی است که تکنولوژی توسعه یافته براساس پامیس می‌باشد[۳].

عملیات حفاری نفت، مجال استفاده از بتن سبک برای سکوها را فراهم نموده است. در طی دوره سال‌های ۷۳- ۱۹۶۰ حدود ۱۵ پل دهانه بزرگ با استفاده از بتن سبک Leca بر روی رودخانه‌ها در هلند ساخته شد.

تحقیق گسترده و توسعه سبک دانه (LWA)[1] و بتن دانه سبک (LWAC)[2] به خوبی اروپا، در ژاپن و آمریکای شمالی نیز انجام گرفت. در آمریکا تحقیق روی بتن سبک سازه‌های دریایی به وسیله مهندسان ABAM انجام شد، که در چارچوب ACI ولی با نتایج و توصیه‌های ارزشمند نسبت به کاربرد LECA برای اهداف دیگر نیز انتشار یافت[۳].

۲ – ۲ – ۲ تعریف سنگدانه های سبک

سنگ دانه‌های با وزن کمتر از (kg/m^3) ۱۱۲۰ عموماً به عنوان سبک دانه در نظر گرفته می‌شود. جهت مقایسه، بیشتر سنگ دانه‌های معمولی نظیر ماسه و شن دارای جرم حجمی انبوهی در حدود (kg/m^3) ۱۵۲۰ تا

[1] Light Weight Aggregate
[2] Light Weight Aggregate Concrete

۱۶۸۰ (kg/m^3) می باشند. سبک دانه‌ها به دلیل تخلخل زیاد، دارای وزن مخصوص ظاهری کم هستند. طبقه بندی سبک‌دانه‌ها بر مبنای منابع، روش‌های تولید و کاربرد نهایی آنها می‌باشد[۱].

۲ – ۲ – ۳ خصوصیات کلی سبک دانه‌ها

به طور کلی خواص دانه‌های سبک و فرآورده‌های آن نظیر بتن‌های دانه سبک شامل رس‌های منبسط شده، پامیس، پرلیت و غیره را می‌توان به شرح زیر خلاصه نمود[۳]:

۱- وزن مخصوص کم: که بار مرده ساختمان را کاهش می‌دهد و در نتیجه مشخصات فیزیکی طراحی را تغییر می‌دهد.

۲- گرمابندی و صدابندی: این خاصیت ناشی از خلل و فرج موجود در دانه می‌باشد.

۳- مقاومت در مقابل آتش: معمولاً احتمال کمی وجود دارد که حرارت آتش از حرارت تولید این مصالح (حدود $1200^{\circ}C$) بالاتر رود.

۴- مقاومت کافی در مقابل یخ زدگی و ذوب مجدد.

۵- خنثی بودن از نظر شیمیایی.

۲ – ۲ – ٤ بررسی مقایسه‌ای سبک دانه‌ها

از ویژگی اساسی سبکدانه لیکا، بافت متخلخل به جای مانده از انبساط خاک رس که در نتیجه ایجاد و محبوس شدن گازها در جرم در دمای ۱۰۰۰ تا ۱۲۰۰ درجه سانتیگراد به حالت خمیری روان در می آید، است. مقادیر کمی این ویژگی و حتی ظاهر دانه ها بر حسب روش تولید با کوره ذوب نواری یا گردان می تواند متفاوت باشد. دانه های حاصل از کوره گردان دارای شکل تقریبا گرد و سطح زبر و ناهموارند. قشر خارجی آن

ها دارای خلل و فرج ریز است. داخل دانه ها دارای بافت اسفنجی و سیاه رنگ است و رنگ پوشش خارجی بستگی به ماده معدنی، روش و کیفیت فرآوری دارد و اغلب نزدیک به رنگ های اخرایی و قهوه ای است. فضای بین دانه ها باعث ایجاد فضای خالی برابر ۷۳ تا ۸۸ درصد فضای کل می گردد. این میزان فضای خالی باعث خصوصیات مهمی چون وزن کم، رسانایی حرارتی پائین، افت صوتی، جلوگیری از نفوذ رطوبت و زهکشی می شود. همچنین بافت دانه ها و روش تشکیل آن ها سبب مقاومت در برابر آتش و دوام و پایداری شیمیایی می گردد[۵].

خواص سبک‌دانه‌های گوناگون به طور وسیع متغیر است. برای مثال مقاومت بتن ساخته شده با رس منبسط شده (Leca) و شیل منبسط شده ممکن است قابل مقایسه با بتن معمولی باشد. در عمل یک طیف کامل سبک دانه با چگالی (kg/m^3) ۸۰ تا ۹۰۰ وجود دارد.

سنگ دانه‌های خیلی متخلخل در انتهای سبک‌تر طیف، عموماً ضعیف است و برای ساخت بتن‌های عایق غیر سازه‌ای مناسب‌تر می‌باشد. در انتهای دیگر طیف سبک دانه‌هایی است که دارای تخلخل کمتر می‌باشد، چنانچه ساختار تخلخل، به صورت منافذ ریز و با توزیع یکنواخت باشد، در این صورت سبک‌دانه واجد استحکام بوده و لذا مناسب برای بتن‌های سازه‌ای است[۱].

۲ – ۲ – ۵ تعریف بتن سبک

آئین نامه $ACI\,213R-87$ بتن سبک سازه ای را به این صورت تعریف می کند[۴]:

" بتن سازه ای با سنگدانه های سبک، بتنی است که مقاومت فشاری ۲۸ روزه آن بیش از MPa ۱۷بوده و وزن مخصوص خشک شده در هوای آن از kg/m^3 ۱۸۵۰بیشتر نباشد."

به این ترتیب وزن مخصوص آن ۲/۳ وزن مخصوص بتن معمولی است. حداکثر اندازه سنگدانه های سبک به $20mm$ محدود شده است. مقادیر مقاومت کششی و فشاری و وزن مخصوص بتن سازه ای سبک، مطابق استاندارد $ASTMC330$ در جدول (۲-۱) آمده است[۱].

جدول (۲-۱) مقاومت کششی و فشاری و وزن مخصوص بتن سازه ای سبک[۱]

نوع مصالح سنگدانه	حداکثر وزن مخصوص خشک ۲۸ روزه (بر حسب kg/m^3)	حداقل مقاومت کششی ۲۸ روزه(بر حسب MPa)	حداقل مقاومت فشاری ۲۸ روزه(بر حسب MPa)
سبک	۱۷۶۰	۲/۲	۲۸
	۱۶۸۰	۲/۱	۲۱
	۱۶۰۰	۲/۰	۱۷
ترکیب ماسه معمولی و سنگدانه سبک	۱۸۴۰	۲/۳	۲۸
	۱۷۶۰	۲/۱	۲۱
	۱۶۸۰	۲/۱	۱۷

بر اساس $ACI213R-87$، استفاده از بتن سبک در سازه ها، به دلیل هزینه کلی کمتر آنهاست. در سال ۱۹۳۶ ساخت عرشه پل اوکلند سانفرانسیسکو با بتن سبک، موجب صرفه جویی در مصرف فولاد به میزان ۳ میلیون دلار گردید[۱].

در طرح اختلاط، معمولا مقاومت فشاری بتن دارای سنگدانه های سبک، به مقدار سیمان و اسلامپ آن ارتباط دارد و نسبت آب به سیمان معیار طراحی نمی باشد. رابطه تقریبی بین مقاومت فشاری و مقدار سیمان بتن دارای سنگدانه های سبک و بتن دارای ماسه و سنگدانه های سبک، مطابق $ACI213R-79$ به صورت جدول (۲-۲) است[۱]:

جدول (۲-۲) رابطه تقریبی بین مقاومت فشاری متوسط و مقدار سیمان[۱]

مقاومت فشاری	مقدار سیمان kg/m^3	
MPa	تمام سنگدانه ها از نوع سبک	ترکیبی از ماسه و سنگدانه سبک
۱۷/۲۴	۲۴۰-۳۰۵	۲۴۰-۳۰۵
۲۰/۶۸	۲۶۰-۳۳۵	۲۵۰-۳۳۵
۲۷/۵۸	۳۲۰-۳۹۵	۲۹۰-۳۹۵
۳۴/۴۷	۳۷۵-۴۵۰	۳۶۰-۴۵۰
۴۱/۳۷	۴۴۰-۵۰۰	۴۲۰-۵۰۰

۲ – ۲ – ٦ روشهای تولید بتن سبک

سه روش کلی تولید بتن سبک وجود دارد. در روش اول از مصالح متخلخل سبک با وزن مخصوص ظاهری کم به جای سنگدانه‌های معمولی استفاده می‌شود که بتن حاصله، بتن دانه سبک نامیده می‌شود. روش دوم تولید بتن سبک براساس ایجاد منافذ متعددی در داخل بتن و یا ملات قرار دارد، استوار است. این منافذ باید به وضوح از منافذ بسیار ریز با حباب هوا تمیز داده شوند. این نوع بتن را به اسم‌های مختلف «بتن اسفنجی»، «بتن هوادار» و یا «بتن گازی» می‌شناسند.روش سوم تولید بتن سبک آن است که سنگ دانه‌های ریز از مخلوط بتن حذف گردند به طوری که منافذ متعددی بین ذرات به وجود آیند و عموماً سنگدانه‌های درشت با وزن معمولی مصرف می‌شوند. این نوع بتن را «بتن بدون ریزدانه» می‌نامند[۵].

۲ – ۲ – ۷ بررسی اقتصادی بتن سبک

علیرغم هزینه بالای سبک دانه‌ها و هزینه ابتدایی اضافی مصرف بتن سبک، هزینه کل سازه ساخته شده با بتن سبک نسبت به بتن معمولی کمتر می‌باشد. کاربرد بتن سبک در پیش ساخته‌ها، وزن آن را تا نصف کاهش می‌دهد که سبب صرفه جویی در هزینه‌های حمل و نقل می‌گردد. این صرفه جویی به خوبی، هزینه اضافی مصالح سبک دانه را تامین می‌کند. گاهی اوقات بار مرده یک قطعه پیش ساخته نزدیک و یا بیشتر از بار جرثقیل