

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه تربیت مدرس

دانشکده مهندسی عمران

# تخمین میزان نشست سنگ‌دانه در بتن خودتراکم سبک با استفاده از پردازش تصویر

نگارش

فرزان محبوبی چالستری

استاد راهنما: دکتر موسی مظلوم

استاد مشاور: دکتر محمد شمس اسفند آبادی

پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی عمران گرایش مهندسی سازه

اسفند ماه ۱۳۹۲

بسمه تعالی



تعهد نامه اصالت اثر

اینجانب فرزانه محبوبی چالشتری متعهد می‌شوم که مطالب مندرج در این پایان نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب است و دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این پژوهش از آن استفاده شده است، مطابق مقررات ارجاع و در فهرست منابع و مأخذ ذکر گردیده است. این پایان نامه قبلاً برای احراز هیچ مدرک هم سطح یا بالاتر ارائه نشده است. در صورت اثبات تخلف (در هر زمان) مدرک تحصیلی صادر شده توسط دانشگاه از اعتبار ساقط خواهد شد.

کلیه حقوق مادی و معنوی اثر متعلق به دانشگاه شهید رجایی می‌باشد.

امضاء  
فرزانه محبوبی چالشتری

شماره: ۱۵۰۵۸۲  
تاریخ: ۹۳/۷/۸  
پیوست:



### دانشگاه تربیت مدرس شیرازی

به نام خدا

#### صور تجلسه دفاع پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد آقای فرزانه محبوبی چالستری دانشجوی رشته مهندسی عمران - سازه تحت عنوان " تخمین میزان نشست سنگدانه‌ها در بتن خودتراکم سبک با استفاده از پردازش تصویر " در تاریخ ۹۲/۱۲/۲۴ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه تربیت مدرس شهید رجایی برگزار و نتیجه به شرح زیر اعلام گردید.

قبول (بدرجه عالی) امتیاز: ۱۹.۸۸  دفاع مجدد  مردود.

۱ - عالی (۱۹ - ۲۰)

۲ - بسیار خوب (۱۸ - ۱۸/۹۹)

۳ - خوب (۱۶ - ۱۷/۹۹)

۴ - قابل قبول (۱۴ - ۱۵/۹۹)

۵ - غیر قابل قبول (کمتر از ۱۴)

اعضاء	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضاء
استاد راهنما	دکتر موسی مظلوم	استاد یار	
استاد مشاور	دکتر محمد شمس اسفندآبادی	استاد یار	
استاد داور داخلی	دکتر امیر طریقت	استاد یار	
استاد داور خارجی	دکتر محمد قاسم سحاب	استاد یار	
نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر امیر طریقت	استاد یار	

دکتر محمد علی ارجمند

رئیس دانشکده مهندسی عمران

تقدیم به

مهربان فرشتگانی که

لحظات ناب باور بودن،

لذت و غرور دانستن،

جسارت خواستن،

عظمت رسیدن و تمام تجربه‌های یکتا و زیبای زندگی،

مدیون حضور سبز آنهاست،

تقدیم به خانواده عزیزم.

## و با سپاس فراوان

از همه راهنمایی‌ها، حمایت‌ها و پشتیبانی‌های آقایان دکتر موسی مظلوم و دکتر محمد شمس

اسفند آبادی که در انجام این پژوهش و تدوین پایان‌نامه یاری نموده‌اند.

در ادامه از زحمات و مساعدت‌های جناب آقای مهندس سعید فراوانی طبر،

مهندس اویس افضلی نیز، مهندس مهدی محمدی بیرائم، مهندس محسن محسن‌صن-

زاده دهستانی و مهندس محمد افضلی تقدیر و تشکر می‌کنم. و در نهایت از تمامی

عزیزانی که به هر نحو در انجام این پژوهش مرایاری رسانده‌اند و در این کوتاه سخن

مجال آوردن نام تک‌تک آنها نیست کمال تشکر و قدردانی را دارم.

## چکیده

با توسعه کاربرد بتن در پروژه‌های عمرانی نیاز به ساخت بتن‌هایی با خواص متفاوت هر پروژه، امری ضروری به نظر می‌رسد. بتنی که تحت وزن خود جریان یافته و بدون نیاز به ویبره کردن، متراکم شود، دستاورد مهمی برای مهندسين می‌باشد. این نوع بتن با ساخت بتن خودتراکم توسعه یافته است که پس از آن گونه سبک آن با نام بتن خودتراکم سبک ساخته شد و مورد بررسی قرار گرفت. روانی زیاد این نوع بتن‌ها، باعث می‌شود در صورت عدم طرح مناسب، درشت‌دانه‌ها در قسمت تحتانی قالب جمع شده و پدیده‌ی جداشدگی در بتن اتفاق بیافتد. این موضوع شرایط مقاومت بتن به عنوان یک ماده چند جنسی منسجم را به مخاطره می‌اندازد. در این تحقیق هدف ما تخمین پایداری استاتیکی بتن خودتراکم سبک می‌باشد. این در حالیست که بررسی مسئله جداشدگی پس از قرارگیری بتن در محل نهایی مد نظر می‌باشد. جهت بررسی این مسئله، نمونه‌های مختلفی از بتن تهیه شده و علاوه بر آزمایش‌های معمول بتن خودتراکم، یک آزمایش جهت بررسی جدایی به صورت آزمایشگاهی و دیگری با استفاده از تکنیک پردازش تصویر صورت گرفت. در بخش پردازش تصویر با توجه به عدم وضوح کامل مرز بین درشت‌دانه و ریزدانه، جهت تفکیک این دو مورد از قوانین طراحی شده در منطق فازی استفاده گردید. منطق فازی به عنوان یک عملگر معرفی شده و به منظور شبیه‌سازی تصمیم‌گیری با ارزیابی ذهنی می‌باشد. در این روش با پیمایش یک ماتریس  $3 \times 3$  بر روی کل تصویر و با استفاده از قواعد طراحی شده مناسب یک تصمیم نزدیک به واقعیت گرفته و مصالح درشت و ریزدانه را به نحو مطلوب از هم تفکیک نمود. مقایسه نتایج حاکی از قابلیت بالای منطق فازی در چنین مسائلی می‌باشد.

**واژه های کلیدی:** بتن خودتراکم سبک، جداشدگی، پردازش تصویر، منطق فازی، آب‌انداختگی

## فهرست مطالب

چکیده: .....	Error! Bookmark not defined.
بهرست مطالب .....	ب
فهرست جداول .....	ز
فهرست اشكال .....	ط
فصل اول: .....	۱
طرح مسأله .....	۱
۱-۱- مقدمه .....	۲
۲-۱- مفهوم پایداری بتن تازه و مفهوم آن .....	۲
۳-۱- انواع ناپایداری در بتن خودتراکم سبک تازه .....	۳
۱-۳-۱- آبنداختگی .....	۴
۳-۲-۱- انسداد .....	۷
۳-۳-۱- جداشدگی .....	۹
شکل ۱-۶ - دو نمونه از نحوه پر شدن قالب با بتن خودتراکم سبک-در شکل سمت راست، بتن خودتراکم سبک به صورت همگن قالب را پر میکند، در صورتی که در شکل سمت چپ، جداشدگی دینامیکی رخ داده است و ذرات جامد در پایین قالب جمع شده اند [۷].	۱۰
۴-۱- فصل بندی و تعریف هر یک از فصول .....	۱۲
۵-۱- جمع بندی و نتیجه گیری .....	۱۳
فصل دوم: .....	۱۴
روشهای اندازه گیری پایداری بتن خودتراکم سبک .....	۱۴
۱-۲- مقدمه .....	۱۵
۲-۲- اندیس پایداری چشمی (VSI) .....	۱۶
۳-۲- قیف V شکل .....	۲۱
۴-۲- حلقه L .....	۲۴



- ۲۸ ..... ۵-۲- جعبه L شکل
- ۳۰ ..... ۶-۲- جعبه U شکل
- ۳۲ ..... ۷-۲- ستون جداشدگی
- ۳۴ ..... ۸-۲- میله جداشدگی
- ۳۵ ..... ۹-۲- اندازه‌گیری پایداری با الک
- ۳۷ ..... ۱۰-۲- جمع بندی و نتیجه‌گیری
- ۴۰ ..... ۱-۳- مقدمه
- ۴۱ ..... ۲-۳- طرح اختلاط بتن خودتراکم
- ۴۲ ..... ۳-۳- روش‌های طرح مخلوط بتن خودتراکم
- ۴۲ ..... ۱-۳-۳- روش مستدل طرح اختلاط بتن‌های خودتراکم
- ۴۳ ..... ۲-۳-۳- روش طرح مخلوط ساده
- ۴۳ ..... ۳-۳-۳- روش حداقل حجم خمیر سیمان
- ۴۳ ..... ۴-۳- مصالح
- ۴۳ ..... ۱-۴-۳- سنگ‌دانه
- ۴۴ ..... ۱-۱-۴-۳- سبک‌دانه لیکا
- ۴۵ ..... ۲-۱-۴-۳- ریزدانه
- ۴۷ ..... ۲-۴-۳- سیمان و آب
- ۴۷ ..... ۳-۴-۳- مواد افزودنی
- ۴۸ ..... ۱-۳-۴-۳- مواد افزودنی شیمیایی
- ۴۹ ..... ۲-۳-۴-۳- فوق‌روان‌کننده
- ۵۰ ..... ۴-۴-۳- دوده‌ی سیلیسی یا میکروسیلیس
- ۵۱ ..... ۱-۴-۴-۳- خواص فیزیکی
- ۵۲ ..... ۳-۴-۴-۳- مزایای استفاده از میکروسیلیس
- ۵۳ ..... ۵-۴-۳- پودر سنگ

۵۳	..... نحوه اختلاط مصالح
۵۵	..... ۱-۵-۳ نحوه اختلاط مصالح در این تحقیق
۵۶	..... ۶-۳ طرح اختلاط‌های نهایی بتن سبک خودتراکم
۵۸	..... فصل چهارم:
۵۸	..... آزمایش‌های بتن تازه و نتایج آنها
۵۹	..... ۱-۴ مقدمه
۶۰	..... ۲-۴ آزمایش‌های انجام شده روی بتن تازه
۶۰	..... ۳-۴ آزمایش جریان اسلامپ
۶۳	..... ۲-۲-۴ آزمایش قیف V شکل
۶۵	..... ۳-۲-۴ آزمایش جعبه L شکل
۶۹	..... فصل پنجم:
۶۹	..... پردازش تصویر
۷۳	..... ۲-۵ نمایش تصویر دیجیتالی
۷۷	..... ۴-۵ عملگرها
۷۷	..... ۱-۴-۵ عملگرهای محاسباتی
۷۷	..... ۲-۴-۵ عملگرهای رابطه‌ای
۷۸	..... ۳-۴-۵ عملگرهای منطقی
۷۸	..... ۵-۵ تبدیلات شدت روشنایی (Intensity Transformations)
۸۱	..... ۶-۵ هیستوگرام تصویر
۸۲	..... ۱-۶-۵ متعادل سازی هیستوگرام (Histogram Equalization)
۸۳	..... ۷-۵ فیلتر کردن مکانی ( Spatial Filtering )
۸۳	..... ۱-۷-۵ فیلتر مکانی خطی
۸۴	..... ۲-۷-۵ لاپلاسیین
۸۵	..... ۳-۷-۵ فیلتر کردن مکانی غیر خطی (Nonlinear Spatial Filtering)

۸۷	۸-۵- نتیجه‌گیری
۸۸	فصل ششم:
۸۸	منطق فازی
۸۹	۱-۶- مقدمه
۹۰	۲-۶- انگیزه و اهداف
۹۲	۱-۳-۶- اصول در منطق فازی
۹۳	۱-۱-۳-۶- توابع عضویت
۹۶	۲-۱-۳-۶- عملیات منطقی
۹۸	۳-۱-۳-۶- قواعد If – then
۱۰۱	۲-۳-۶- سیستم‌های استنتاج فازی
۱۰۲	۱-۲-۳-۶- فازی‌سازی ورودی‌ها
۱۰۲	۲-۲-۳-۶- اعمال عملگرهای فازی
۱۰۳	۳-۲-۳-۶- اعمال روش دلالت
۱۰۳	۴-۲-۳-۶- تجمیع خروجی‌ها
۱۰۴	۵-۲-۳-۶- غیر فازی‌سازی
۱۰۵	فصل هفتم:
	روش پیشنهادی تخمین جدادگی به دو صورت آزمایشگاهی و با استفاده از تکنیک پردازش
۱۰۵	تصویر
۱۰۶	۱-۷- مقدمه
۱۰۷	۲-۷- روند انجام آزمایش
۱۰۷	۱-۲-۷- روند آزمایشگاهی و تهیه عکس از بتن
۱۰۸	۲-۲-۷- سازماندهی الگوریتم پیشنهادی
۱۱۰	۳-۲-۷- خواندن عکس‌های گرفته شده و ارسال ورودی به جعبه منطق فازی
۱۱۰	۴-۲-۷- نکات مهم جهت تولید عکس‌ها

۱۱۲	..... ۳-۷- روند پردازش تصویر
۱۱۸	..... ۴-۷- اعمال روش بر روی تصویر
۱۲۲	..... ۵-۷- نتیجه‌گیری
۱۲۴	..... فصل هشتم:
۱۲۴	..... آزمایش جداسازی و تخمین آن با استفاده از پردازش تصویر و مقایسه نتایج
۱۲۵	..... ۱-۸- مقدمه
۱۲۶	..... ۲-۸- آزمایش‌های جداسازی بتن خودتراکم
۱۲۶	..... ۱-۲-۸- آزمایش جداسازی به صورت عینی
۱۳۰	..... ۲-۲-۸- آزمایش جداسازی با استفاده از نرم افزار متلب
۱۳۳	..... ۱-۲-۲-۸- ارائه نتایج تست جداسازی با استفاده از پردازش تصویر
۱۳۵	..... ۲-۲-۲-۸- مقایسه نتایج حاصل از پردازش تصویر و تست آزمایشگاهی تعیین درصد لیکا
۱۳۶	..... ۳-۸- نتیجه‌گیری نهایی

## فهرست جداول

- جدول ۱-۲- اندیس پایداری چشمی براساس ASTM C1611 ..... ۱۷
- جدول ۲-۲- ابعاد دستگاه قیف V در مراجع مختلف ..... ۲۲
- جدول ۳-۲- ابعاد حلقه L در مراجع مختلف ..... ۲۵
- جدول ۴-۲- تعیین درجه عبور بتن در آزمایش حلقه L و مخروط اسلامپ ..... ۲۶
- جدول ۵-۲- اندیس انسداد چشمی ..... ۲۷
- جدول ۶-۲- ابعاد دستگاه جعبه L شکل در مراجع مختلف ..... ۲۹
- جدول ۸-۲- درجه پایداری بر حسب عمق نفوذ میله جداشدگی ..... ۳۵
- جدول ۱-۳- دانه بندی لیکا ..... ۴۵
- جدول ۲-۳- مشخصات ریزدانه مصرفی در ساخت بتن همراه با مقایسه مبحث ۹ ..... ۴۶
- جدول ۳-۳- مشخصات سیمان مصرفی ..... ۴۷
- جدول ۴-۳- مشخصات فوق روان کننده مورد استفاده در این تحقیق ..... ۵۰
- جدول ۵-۳- ترکیبات شیمیایی دوده سیلیسی مصرفی ..... ۵۳
- جدول ۶-۳- طرح اختلاطهای نهایی ..... ۵۷
- جدول ۱-۴- نتایج آزمایش جریات اسلامپ ..... ۶۱
- جدول ۳-۴- نتایج آزمایش جعبه L شکل ..... ۶۷
- جدول ۴-۴- نتایج کلی همه آزمایش‌های انجام شده ..... ۶۸
- جدول ۱-۵- تبدیلات نوع تصاویر ..... ۷۶
- جدول ۲-۵- ضرایب ماسک لاپلاسین ..... ۸۵
- جدول ۳-۵- ماسک لاپلاسین در محیط MATLA ..... ۸۵
- جدول ۱-۷- تشریح بازه توابع عضویت ..... ۱۱۶
- جدول ۲-۷- قواعد هشتگانه فازی ..... ۱۱۷
- جدول ۱-۸- نتایج حاصل از آزمایش جداشدگی به صورت آزمایشگاهی ..... ۱۲۸

جدول ۸-۱- نتایج حاصل از آزمایش جداسازی به صورت آزمایشگاهی ..... ۱۲۹

جدول ۸-۲- نتایج حاصل از انجام آزمایش با تکنیک پردازش تصویر ..... ۱۳۴

جدول ۸-۲- نتایج حاصل از انجام آزمایش با تکنیک پردازش تصویر ..... ۱۳۵

## فهرست اشکال

- شکل ۱-۱ - آب‌انداختگی بتن تازه ..... ۴
- شکل ۱-۲ - نمونه‌ای از مجاری آب و رگه‌های سطحی ناشی از آب‌انداختگی ..... ۵
- شکل ۱-۳ - نمونه‌ی دیگری از مجاری آب و رگه‌های سطحی ناشی از آب‌انداختگی ..... ۶
- شکل ۱-۴ - نمونه‌ای از انسداد جریان به دلیل باریک شدن مقطع ..... ۷
- شکل ۱-۵ - نمونه‌ای از انسداد جریان در شمع‌های بتنی (راست و چپ) ..... ۸
- شکل ۱-۶ - دو نمونه از نحوه پر شدن قالب با بتن خودتراکم سبک-در شکل سمت راست، بتن خودتراکم سبک به صورت همگن قالب را پر می‌کند، در صورتی که در شکل سمت چپ، جداسدگی دینامیکی رخ داده است و ذرات جامد در پایین قالب جمع شده‌اند ..... ۱۰
- شکل ۱-۷ - دو نمونه از قالب حاوی بتن خودتراکم سبک- در شکل سمت راست بتن خودتراکم به صورت همگن، در قالب وجود دارد، در صورتی که در شکل سمت چپ، جداسدگی استاتیکی رخ داده است و ذرات جامد در پایین قالب جمع شده‌اند ..... ۱۱
- شکل ۲-۱ - دستگاه جریان اسلامپ ..... ۱۶
- شکل ۲-۲ - نمونه‌هایی از اندیس پایداری چشمی برای آزمایش جریان اسلامپ ..... ۱۸
- شکل ۲-۳ - دستگاه اسلامپ کوچک ..... ۱۹
- شکل ۲-۴ - نمونه‌های ملات بدون آب‌انداختگی لبه‌ای (راست) و با آب‌انداختگی لبه‌ای زیاد (چپ) [۴۸] ..... ۱۹
- شکل ۲-۵ - استفاده از آزمایش شیار S شکل برای سنجش مقاومت بتن در برابر جداسدگی - نمونه بتنی پایدار ..... ۲۰
- شکل ۲-۶ - استفاده از آزمایش شیار S شکل برای سنجش مقاومت بتن در برابر جداسدگی - نمونه بتنی ناپایدار ..... ۲۰
- شکل ۲-۷ - دستگاه قیف V شکل ..... ۲۱
- شکل ۲-۸ - دستگاه قیف O شکل ..... ۲۲
- شکل ۲-۹ - قیف V شکل کوچک ..... ۲۳
- شکل ۲-۱۱ - دستگاه آزمایش جعبه L شکل ..... ۲۸

- شکل ۲-۱۲- دستگاه آزمایش جعبه U شکل ..... ۳۱
- جدول ۲-۷- ابعاد دستگاه U در مراجع مختلف ..... ۳۱
- شکل ۲-۱۳- دستگاه ستون جداشدگی استاتیکی- راست چپ ..... ۳۳
- شکل ۲-۱۴- میله جداشدگی ..... ۳۴
- شکل ۲-۱۵- آزمایش اندازه‌گیری پایداری با الک ..... ۳۶
- شکل ( ۳-۱ ) منحنی دانه‌بندی ماسه ..... ۴۶
- شکل ۳-۱- ترکیب شیمیایی یک نمونه میکروسیلیس ..... ۵۲
- شکل ۴-۱- نحوه انجام آزمایش جریان اسلامپ ..... ۶۱
- شکل ۴-۲- بررسی تأثیر حضور دوده‌ی سیلیسی در روانی بتن سبک خود تراکم با میزان فوق‌روان‌کننده‌های مختلف ..... ۶۲
- شکل ۴-۳- دستگاه آزمایش قیف V شکل ..... ۶۴
- شکل ۴-۴- دستگاه آزمایش جعبه L شکل ..... ۶۶
- شکل ۵-۱- سیستم تشخیص اتوماتیک متن ..... ۷۳
- شکل ۵-۲- نمایش تصویر دیجیتالی ..... ۷۴
- شکل ۵-۳- نمایش آرایه‌ها در محیط Matlab ..... ۷۴
- شکل ۵-۴- نمایش سیستم رنگی RGB ..... ۷۵
- شکل ۵-۵- همسایگی  $3 \times 3$  اطراف نقطه  $(x,y)$  ..... ۷۹
- شکل ۵-۶- منحنی تبدیلات شدت روشنایی ..... ۷۹
- شکل ۵-۷- نمودار تابع حدی آستانه ..... ۸۰
- شکل ۵-۸- نمایش هیستوگرام ..... ۸۲
- شکل ۶-۱- مقایسه منطق کلاسیک با منطق فازی ..... ۹۳
- شکل ۶-۲- توابع عضویت دو مقداری و چند مقداری در منطق فازی ..... ۹۳
- شکل ۶-۳- مجموعه‌ی فازی افراد بلند قد ..... ۹۴
- شکل ۶-۴- توابع عضویت در مسئله قد افراد ..... ۹۵



- شکل ۶-۵- جدول درستی استاندارد ..... ۹۶
- شکل ۶-۶- جدول درستی در منطق فازی ..... ۹۷
- شکل ۶-۷- جدول درستی فازی ..... ۹۷
- شکل ۶-۸- ایجاد یک سیستم فازی ..... ۱۰۰
- شکل ۶-۹- تجمیع قواعد فازی و تصمیم‌گیری ..... ۱۰۴
- شکل ۷-۱- قالب مورد استفاده برای انجام آزمایش جداسازی ..... ۱۰۸
- شکل ۷-۲- عکس تهیه شده از سطح بتن ..... ۱۱۲
- شکل ۷-۳- ماسک  $3 \times 3$  برای پیمایش تصویر ..... ۱۱۳
- شکل ۷-۴- عکس بعد از اعمال دستور اشباع ..... ۱۱۴
- شکل ۷-۵- توابع عضویت ورودی ..... ۱۱۵
- شکل ۷-۶- توابع عضویت خروجی ..... ۱۱۶
- شکل ۷-۶- چهار مدل همسایگی A, B, C, D ..... ۱۱۷
- شکل ۷-۸- تصویر خروجی بعد از اعمال الگوریتم ..... ۱۱۹
- شکل ۷-۷- تصویر ورودی ..... ۱۱۹
- شکل ۷-۹- تصویر ورودی ..... ۱۲۱
- شکل ۷-۱۰- تصویر خروجی نهایی جهت تخمین درصد سبکدانه لیکا ..... ۱۲۱
- شکل ۷-۱۱- لبه‌یابی تصویر نهایی جهت مطالعات تکمیلی ..... ۱۲۲
- شکل ۸-۱- قالب مورد استفاده در انجام آزمایش ..... ۱۲۷
- شکل ۸-۶- نمودار مقایسه نتایج پردازش تصویر و آزمایش مشاهده عینی طرح‌های SCLC7 و SCLC14 ..... ۱۳۵

فصل اول:  
طرح مسأله

## ۱-۱- مقدمه

پایداری بتن تازه، به معنای توانایی حفظ همگنی بتن و مقاومت در برابر جدا شدن هر یک از اجزای تشکیل دهنده آن، از زمان اختلاط تا زمان سخت شدن، می‌باشد و یکی از عوامل مهم در تامین کارایی بتن محسوب می‌شود. انواع ناپایداری به دلایل مختلفی در بتن ایجاد می‌شوند. یکی از مهمترین عواملی که می‌تواند باعث ناپایداری بتن شود، نیروی وزن است. زیرا بتن، از مصالحی تشکیل شده است که وزن مخصوص آنها تا حدود زیادی با هم متفاوت است. نیروهایی که در حین حرکت بتن، بر آن وارد می‌شود میتواند باعث ناهمگنی بتن شود. این عوامل در بتن معمولی نیز وجود دارند و انواع ناپایداری در بتن معمولی ممکن است اتفاق بیفتد، اما بتن‌هایی همچون بتن خودتراکم و گونه سبک این بتن یعنی بتن خودتراکم سبک به دلیل روانی زیاد، بیشتر از بتن معمولی در معرض ناپایداری قرار دارند. به همین دلیل، تامین پایداری آنها از اهمیت زیادی برخوردار است. در این فصل ابتدا مفهوم پایداری بتن تازه توضیح داده شده و سپس، انواع ناپایداری، مشکلات ناشی از آنها و روش‌های کنترل آنها معرفی شده است.

## ۱-۲- مفهوم پایداری بتن تازه و مفهوم آن

منظور از پایداری بتن تازه، توانایی حفظ همگنی بتن و مقاومت در برابر جدا شدن هر یک از اجزای تشکیل دهنده آن، در تمام مدت جاری شدن و گیرش بتن، می‌باشد. بنابراین در صورتی یک بتن پایدار نامیده می‌شود که کلیه اجزای تشکیل دهنده آن، توزیع کاملاً یکنواخت داشته باشد. به طور کلی، پایداری بتن، به دو دسته پایداری دینامیکی و پایداری استاتیکی تقسیم‌بندی می‌شود. پایداری دینامیکی، به معنای مقاومت بتن در برابر جدا شدن اجزای تشکیل دهنده آن، در

حین اختلاط، حمل و نقل، بتن‌ریزی و پر کردن قالب‌ها می‌باشد [۲-۴]. در صورتی که بتن خودتراکم، پایداری دینامیکی کافی داشته باشد، در حین حرکت، چسبندگی و قوام خود را حفظ می‌کند و سنگدانه‌های درشت، به صورت یکنواخت، به همراه ماتریس، حرکت می‌کنند [۵]، در حالی که کمبود پایداری دینامیکی، باعث تجمع و انباشتگی درشت‌دانه‌ها و جدا شدن آن‌ها از ماتریس می‌شود. این پدیده باعث ناهمگنی بتن شده و بر خصوصیات بتن سخت شده تاثیر منفی می‌گذارد [۶ و ۷]. از جمله عوامل موثر بر پایداری دینامیکی بتن، اعمال هرگونه لرزشی به سیستم می‌باشد. این انرژی لرزشی ممکن است ناشی از روش‌های مختلف بتن‌ریزی (مانند پمپ کردن)، ارتفاع بتن‌ریزی، یا حتی نحوه حمل و نقل باشد. هر یک از این عوامل، به نوبه خود، می‌تواند منجر به جداسازی اجزای تشکیل‌دهنده بتن شود. علاوه بر انرژی ورودی، شکل قالب و وجود وانع مانند کابل‌های پیش‌تنیدگی، آرماتورها و کرسی میلگردها، نیز می‌تواند منجر به جدا شدن بخش خمیر و یا ملات از سنگ‌دانه‌ها، در حین بتن‌ریزی شود. به این پدیده، انسداد یا قفل‌شدگی سنگ‌دانه‌ها گفته می‌شود و مقاومت بتن در مقابل این نوع از ناپایداری، به توانایی عبور معروف است [۳].

بتن خودتراکم سبک، علاوه بر حفظ همگنی در حالت دینامیکی، باید پس از اتمام بتن‌ریزی و زمانیکه بتن در حالت سکون قرار دارد نیز همگنی خود را حفظ کند [۲-۴]. به این نوع پایداری، پایداری استاتیکی گفته می‌شود که شامل مقاومت در برابر آب‌انداختگی، جداسازی و ته‌نشینی، زمانی که بتن‌ریزی و قالب‌گیری بتن تمام شده است و بتن هنوز در حالت خمیری قرار دارد، می‌باشد [۳]. حفظ پایداری استاتیکی بتن از اهمیت زیادی برخوردار است، زیرا انواع ناپایداری استاتیکی باعث بروز مشکلات و نقائص سطحی بتن می‌شود و بر لایه مرزی بتن تاثیر منفی می‌گذارد که منجر به آسیب رساندن به نفوذناپذیری و خواص مکانیکی بتن و کاهش پیوستگی بین بتن با آرماتورها می‌شود [۸]. از جمله عوامل موثر بر پایداری استاتیکی، تفاوت وزن مخصوص اجزای تشکیل‌دهنده بتن و گذشت زمان می‌باشد [۳].

### ۱-۳- انواع ناپایداری در بتن خودتراکم سبک تازه

همانطور که گفته شد هرگونه ناهمگنی در توزیع مصالح تشکیل‌دهنده بتن، از زمان اختلاط تا زمان سخت شدن بتن، یک نوع ناپایداری محسوب می‌شود [۲-۴]. ناپایداری ممکن است در بتن معمولی نیز رخ دهد، اما، بتن خودتراکم سبک به دلیل روانی بسیار زیاد خود، بیشتر از بتن معمولی در معرض انواع ناپایداری قرار دارد [۹ و ۱۰]. ناپایداری به شکل‌های مختلفی مانند آب‌انداختگی، انسداد جریان، جداسازی و ته‌نشینی ذرات ممکن است در بتن خودتراکم سبک اتفاق بیفتد. علل وقوع این ناپایداری‌ها بسیار زیاد است. از خصوصیات مصالح خام تشکیل‌دهنده بتن و