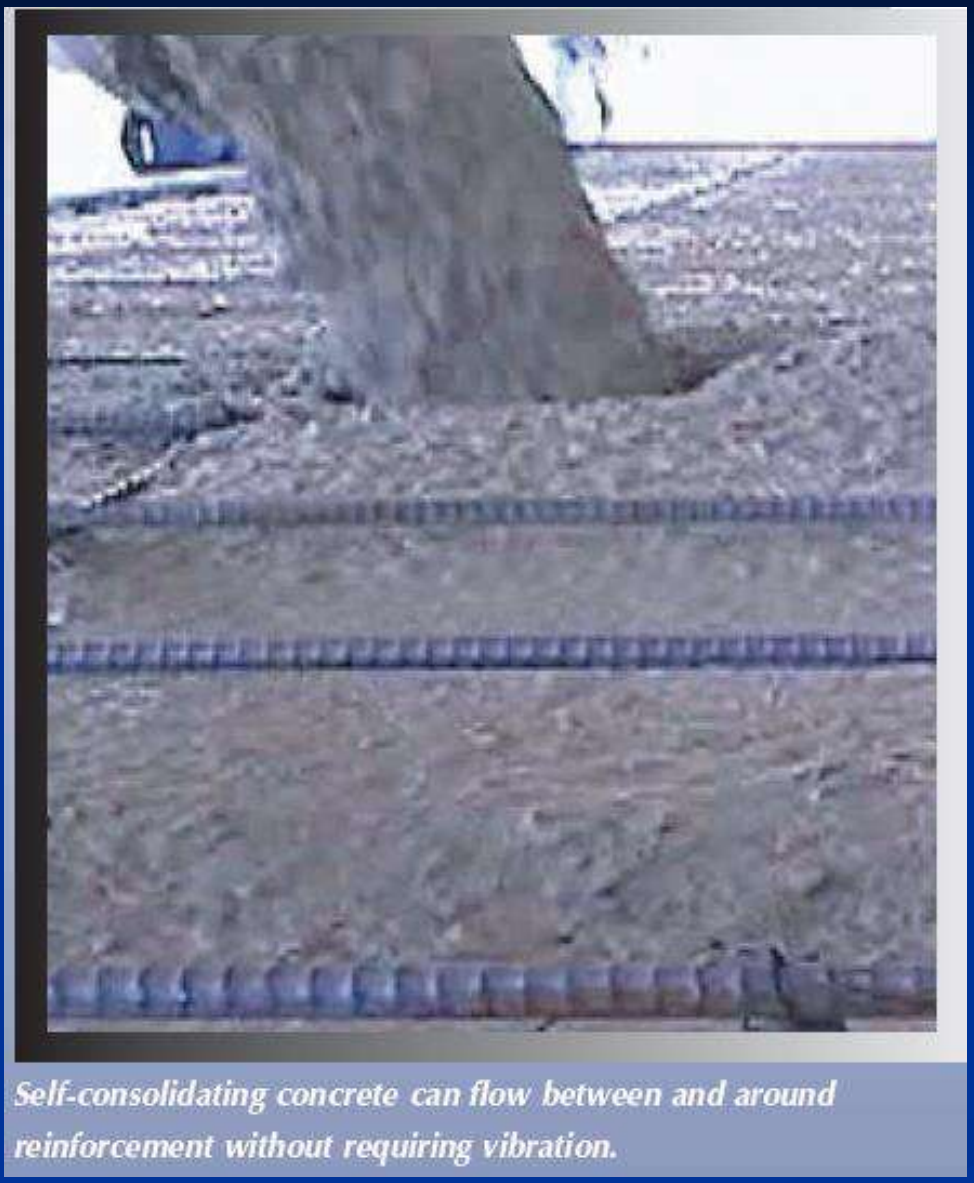
بتن خود تراکم و ویژگی های آن

Self-Compacting Concrete

(SCC)

تحت اثر وزن خود متراکم



Self-consolidating concrete can flow between and around reinforcement without requiring vibration.

~~بالا بردن نسبت آب به سیمان~~

با استفاده از طرق دیگر

تاریخچه بتن خود تراکم :

بتن خود تراکم نخست در 1986 H. Okamura در ژاپن پیشنهاد گردید ودر سال 1988 این نوع بتن در کارگاه ساخته شد و نتایج قابل قبولی را از نظر خواص فیزیکی و مکانیکی بتن ارائه داد. مقاله ای در مورد این نوع بتن توسط K.Ozawa و همکارانش در سال 1989 منتشر گردید. اولین کارگاه آموزشی معتبر که به بررسی مصالح مورد استفاده در بتن خود تراکم اختصاص داشت در اوت 1998 در دانشگاه تکنولوژی Kochi در کشور ژاپن برگزار گردید و مقالات متعددی در ارتباط با توسعه بتن خود تراکم در دنیا ارائه شد.

نمونه های اجرایی بتن خود تراکم :

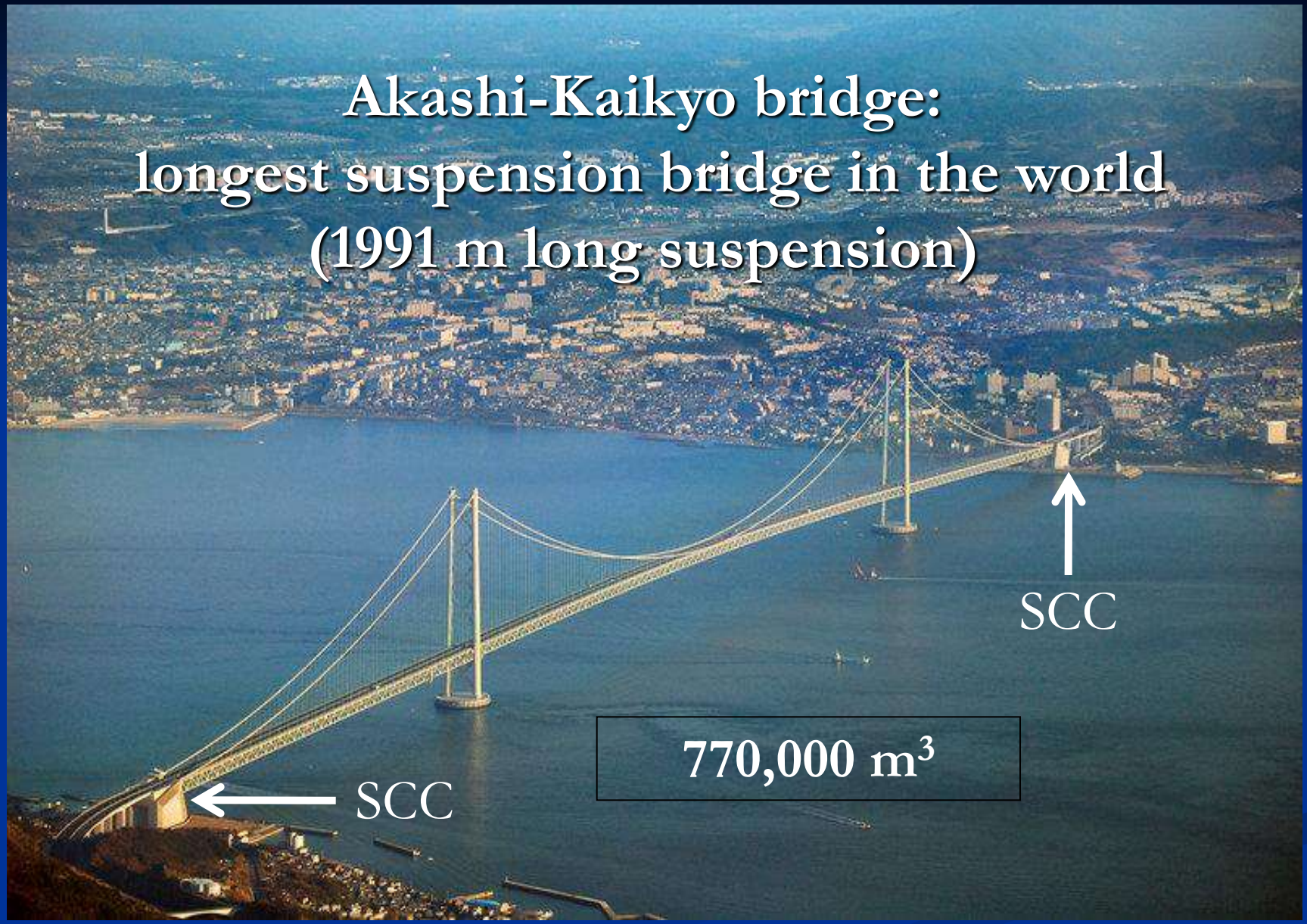
1- پل معلق Akashi-Kaiko

Awagi-Shima و Kobe ژاپن

(طولانی ترین و بلند ترین پل دنیا)

1991 m

مهندسین :
Honshu-Shikoku Bridge Authority


Akashi-Kaikyo bridge:
longest suspension bridge in the world
(1991 m long suspension)
SCC
SCC
770,000 m³

برج Landmark در Minato Mirai 21 شهر یوکوهاما – ژاپن :

بلندترین برج در ژاپن با 296 مترارتفاع و 70 طبقه.

ستون های 9 طبقه اول این برج

(باتوجه به فشردگی میلگردها)

تعداد ستونهای 9 طبقه : 66ستون

بتن خود تراکم مصرفی : $885\ m^3$

Fig. 2. An example of congested reinforcement: an ideal application for SCC (Mott MacDonald Ltd)

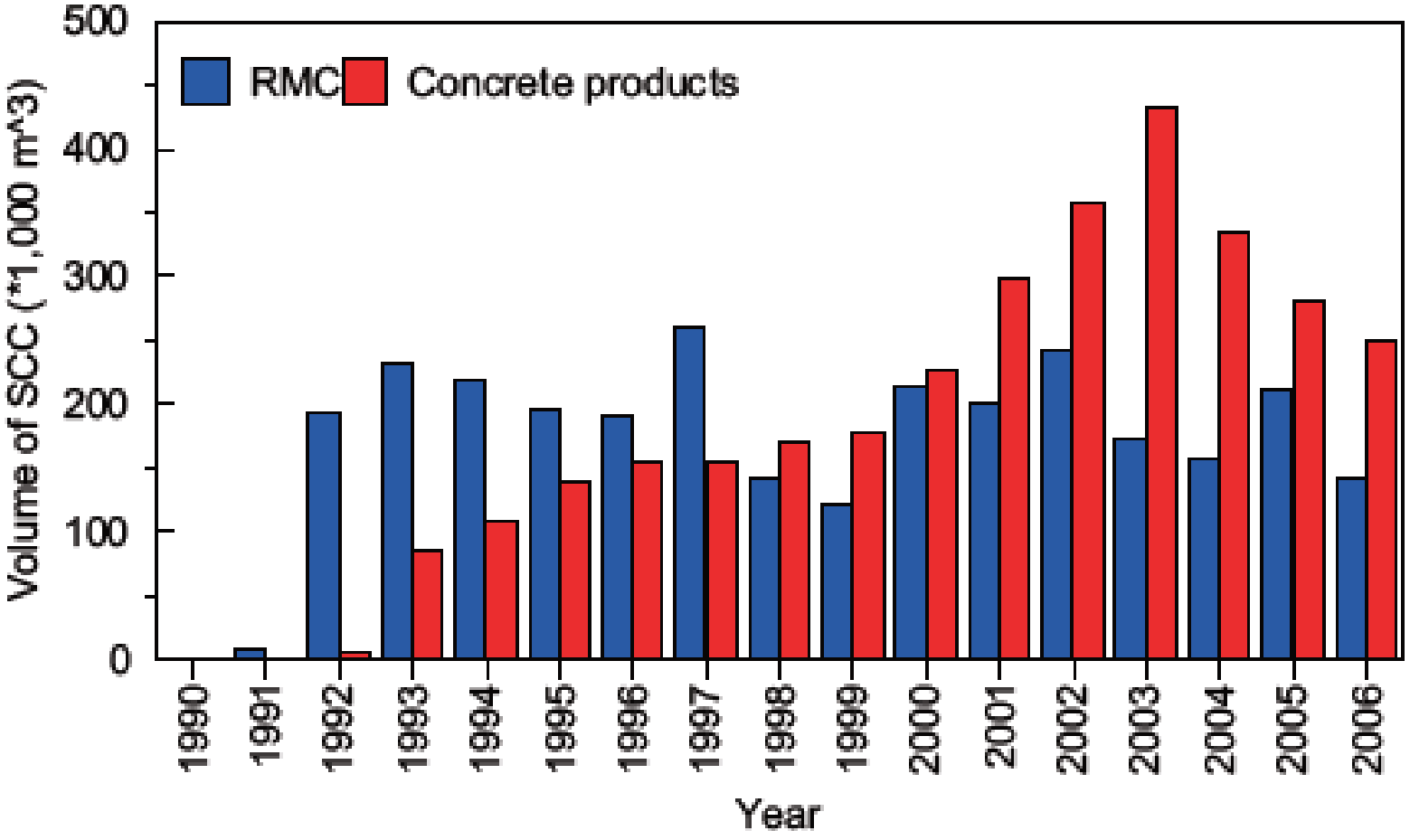


Fig. 41 Volume of SCC cast in Japan excluding for CFT

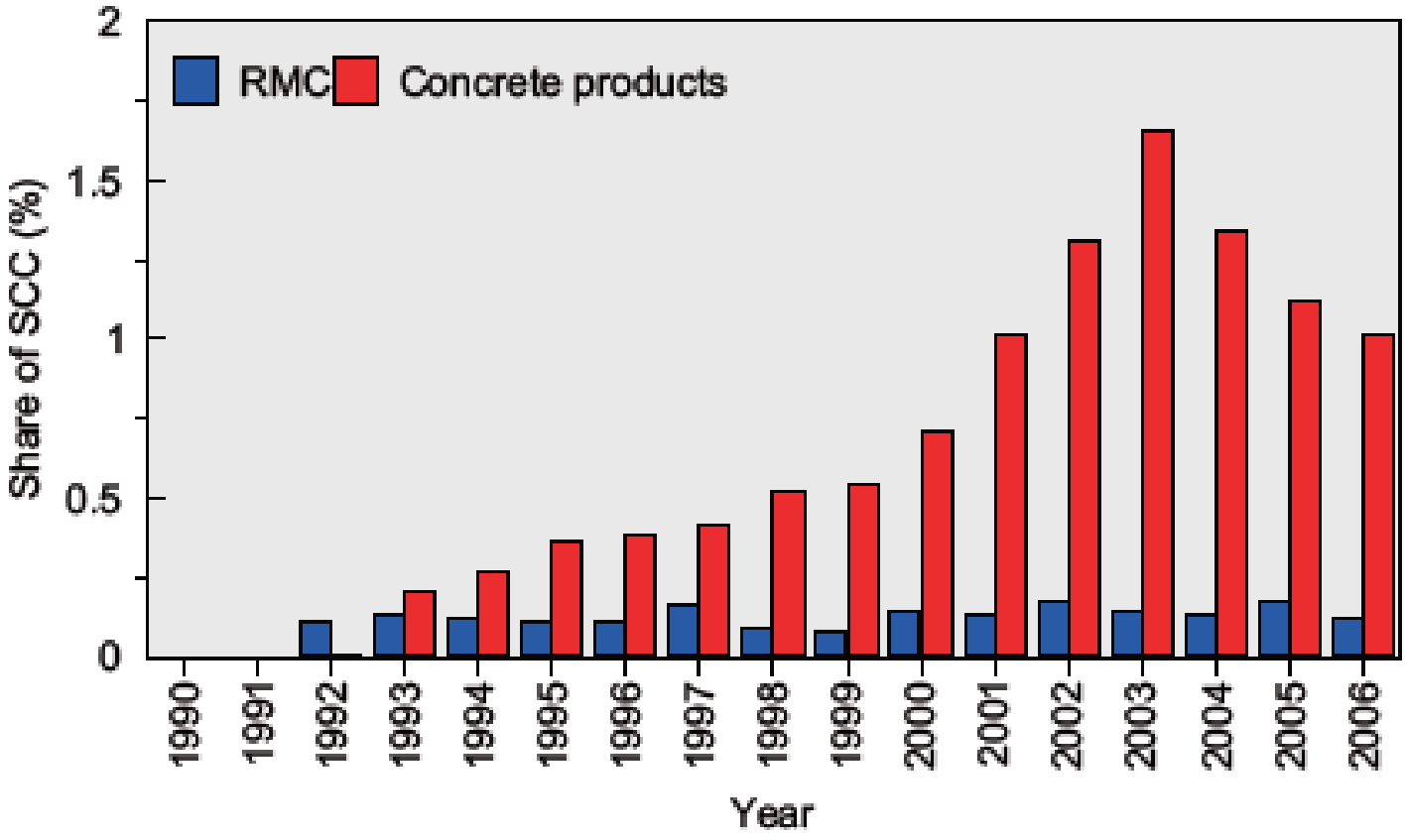


Fig. 42 Share of SCC in the market of RMC and concrete products

Uses of SCC

- As of 2006,
- SCC makes up
- about 5% of the Japanese concrete market
- around 15% of the Danish and Swedish markets.
-

- (Source: www.cementindustry.co.uk)

بازار بزرگ Midsummer Place واقع در لندن-انگلستان :

ستونهای بیضوی با میلگردهای خیلی تراکم و به ارتفاع 10-8/5 متر.

ارزش پروژه = 65 میلیون پوند

صرفه جویی در مدت زمان ساخت = حدود 40 درصد در مقایسه با بتن معمولی.

صرفه جویی در هزینه ها = حدود 10 درصد در مقایسه با بتن معمولی.

امروزه بتن خود تراکم همزمان با کشور ژاپن

در مراکز دانشگاهی و تحقیقاتی کشورهای اروپائی ، کانادا و آمریکا

(تحت عنوان Self-Consolidating Concrete)

موضوع بحث، بررسی و اجرای سازه های بتنی

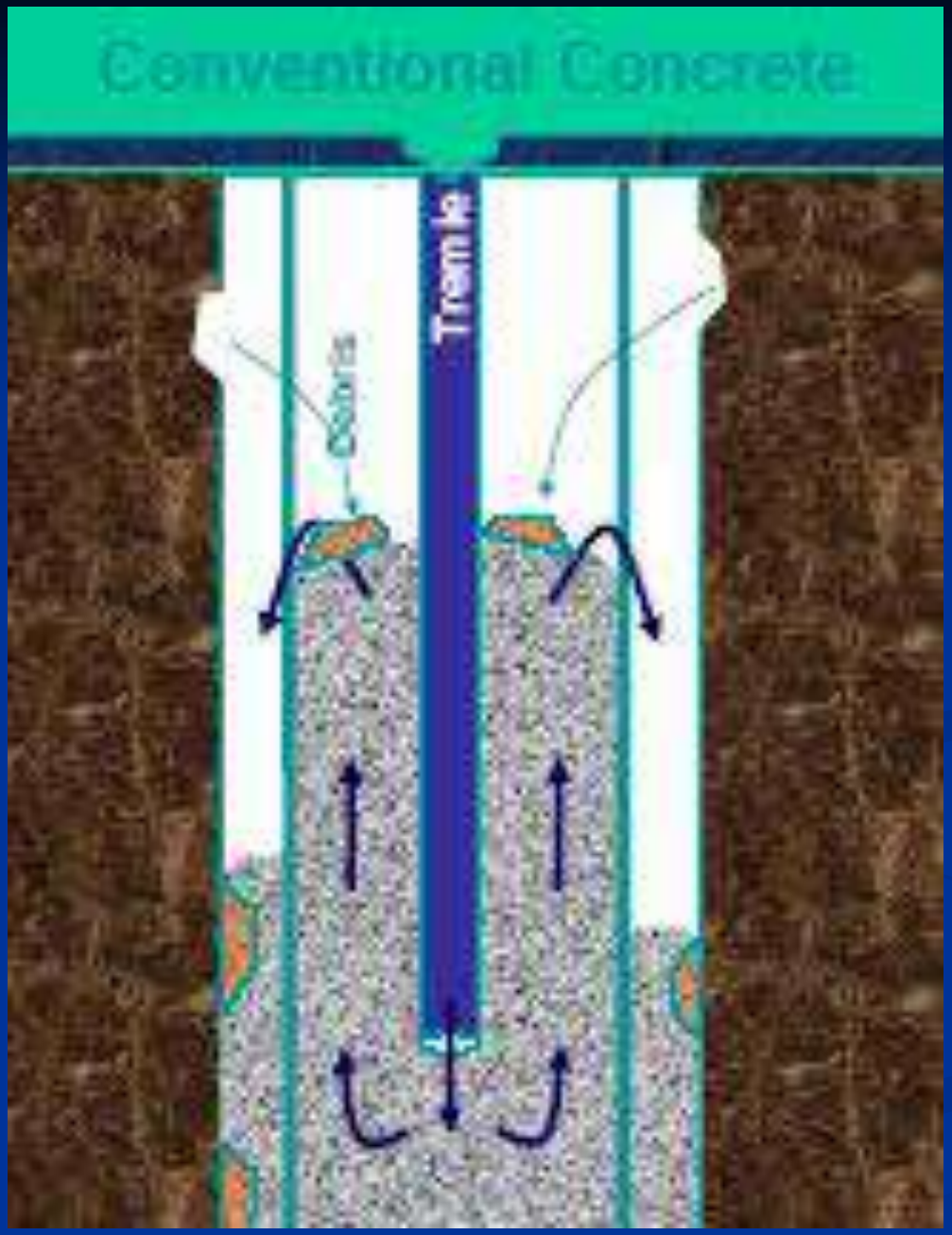
دستورالعمل هایی نیز مانند (EFNARC) در اروپا،

(Brite Eu Ram) در سوئد،

(AFGC) در فرانسه،

(TC 73.04 , BRL 1801) در هلند و

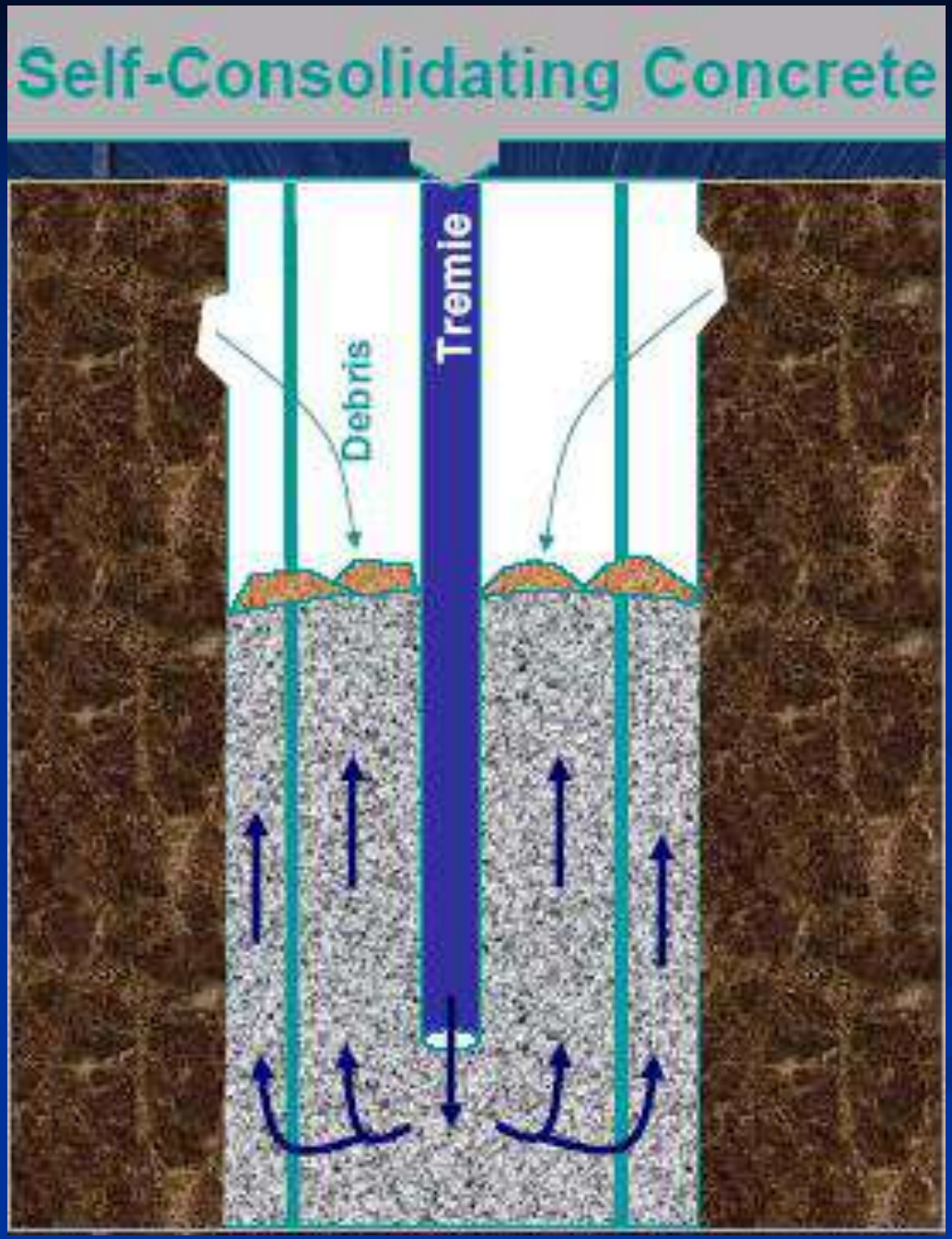
(NCS) در نروژ برای آن تهیه شده است.

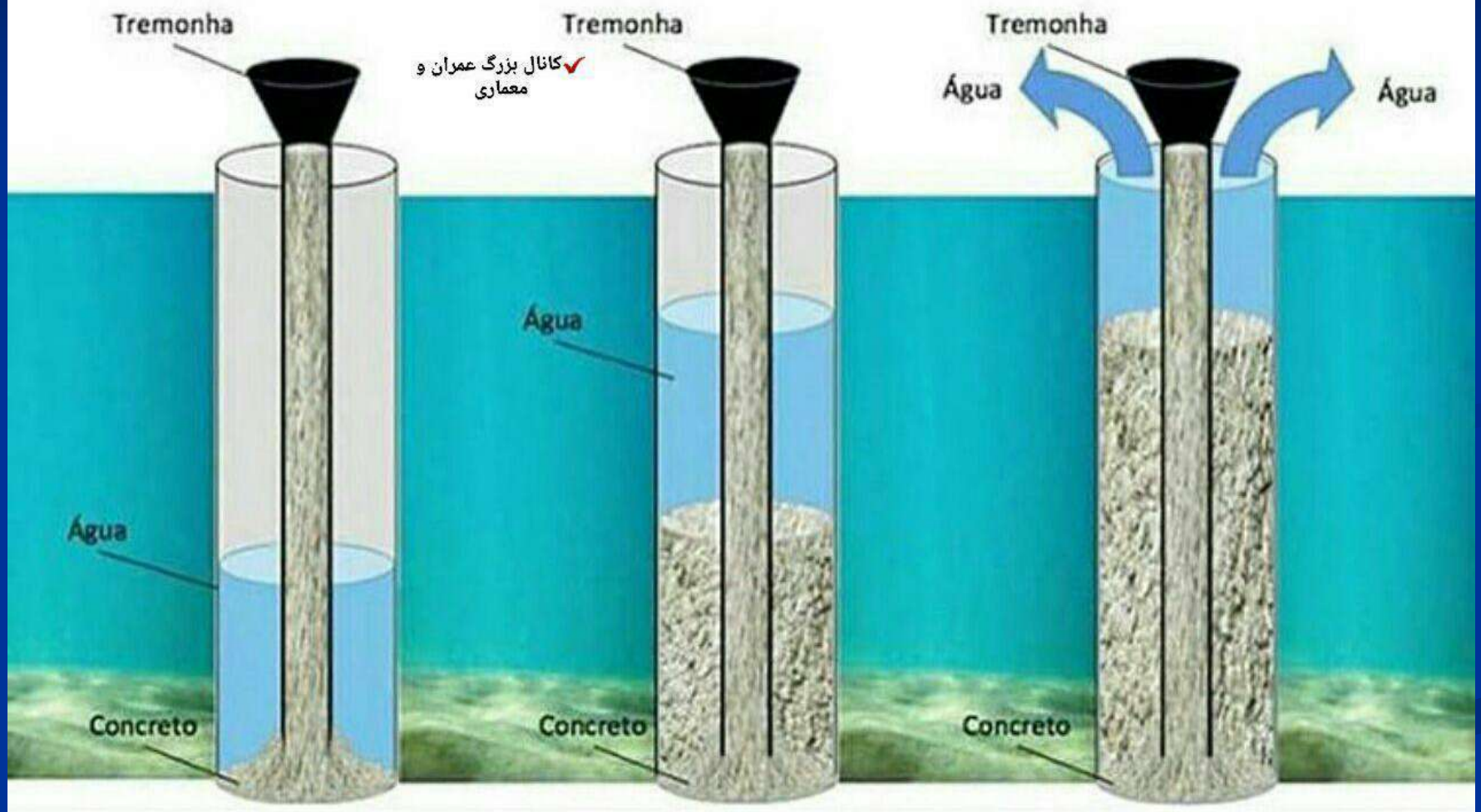

Conventional Concrete
Tremie

Casting Problems with Conventional Drilled-Shaft Concrete

Casting Problems with Conventional Drilled-Shaft Concrete

Self-Consolidating Concrete





کانال بزرگ عمران و معماری

Benefits of SCC

High strength	Speedy construction	Reduction of labor	Ideal for congested reinforcement	Suitable for congested project site
Increased lift height/ low segregation	No bleeding	Enhanced workability	Good surface finish	Safe, healthy and noise-free construction

- SCC is considered as the
- **"most revolutionary development in concrete construction for several decades"**
  - (Source: EFNARC guidelines)

مهمترین مزایای بتن خود تراکم عبارتند از :

۱- کوتاه کردن زمان ساخت سازه.

۲- کاهش هزینه اجرای بتن ریزی در محل.

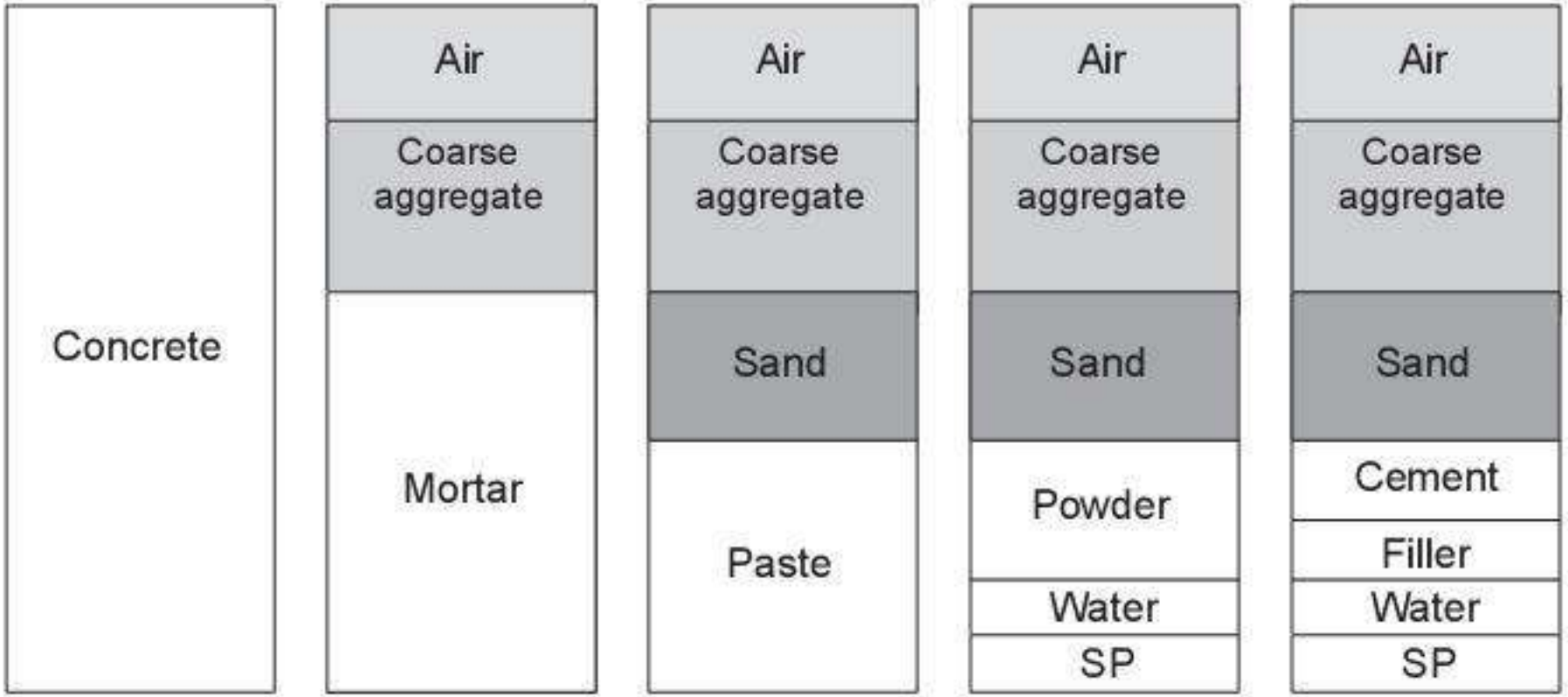
۳- اطمینان از تراکم کامل بتن به ویژه در محل هایی که متراکم کردن بتن با روش های معمول مشکل است.

۴- کاهش آلودگی صدا ناشی از ویبره.

۵- کاهش تعداد کارگران.

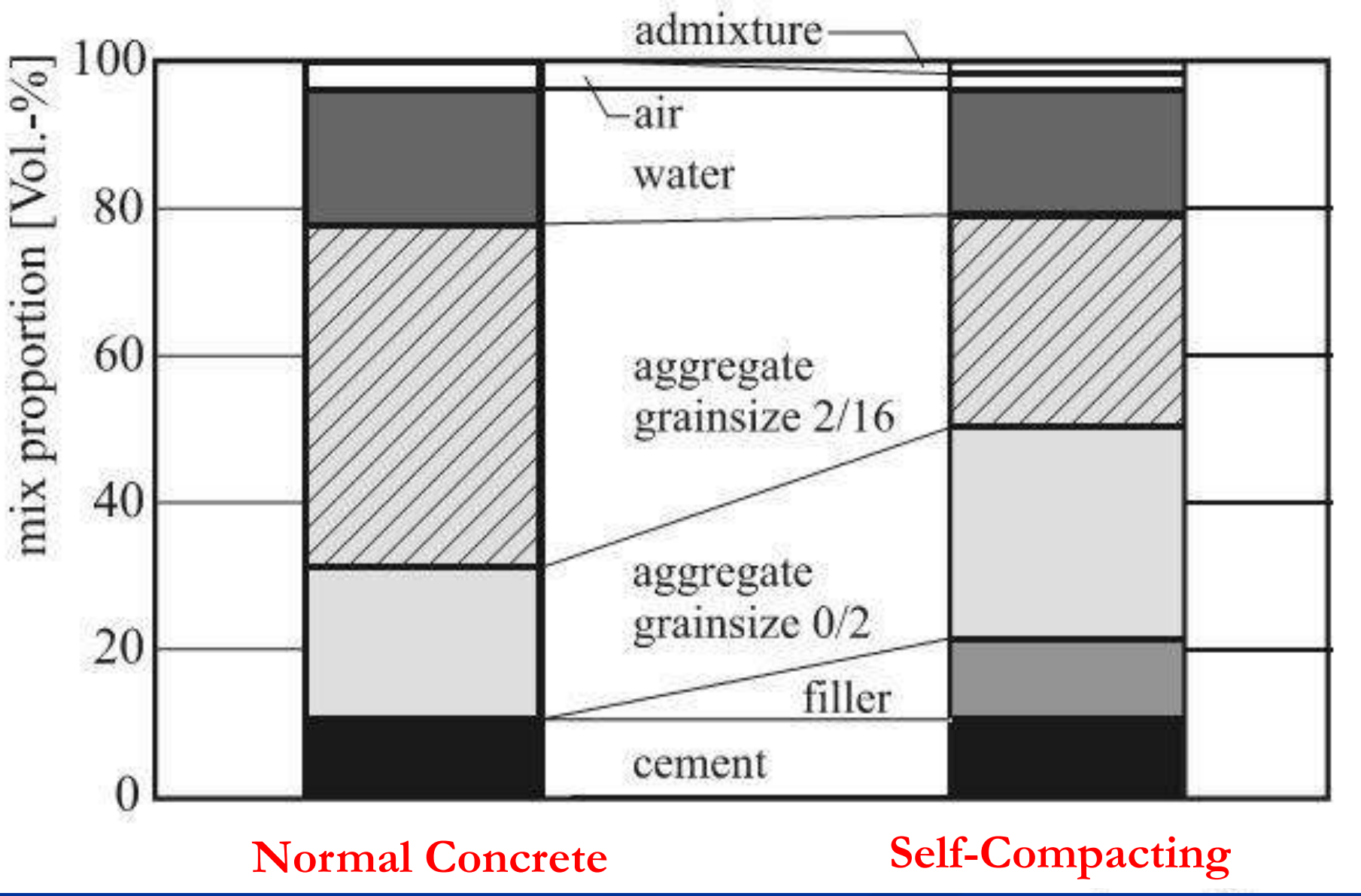
قطعات پیش ساخته

مواد تشکیل دهنده بتن خودتراکم :



Schematic composition of SCC

مقایسه بتن معمولی و بتن خودتراکم :



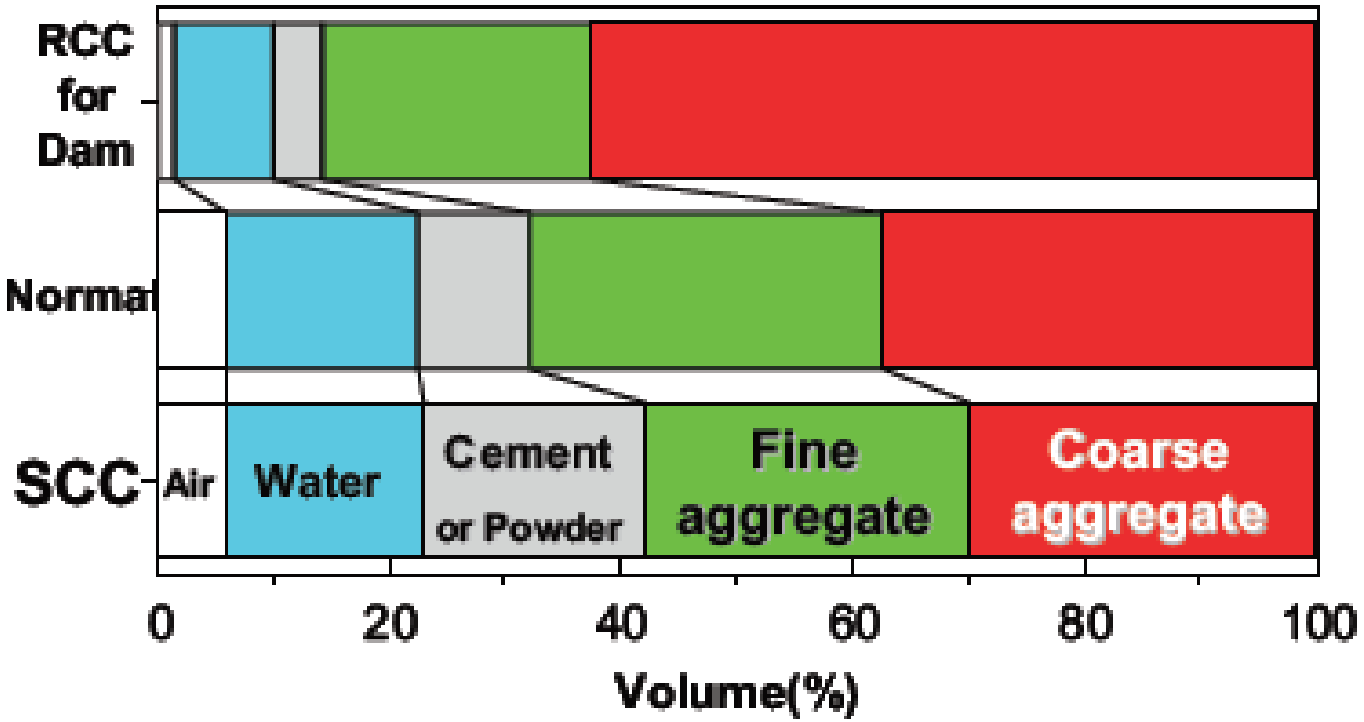
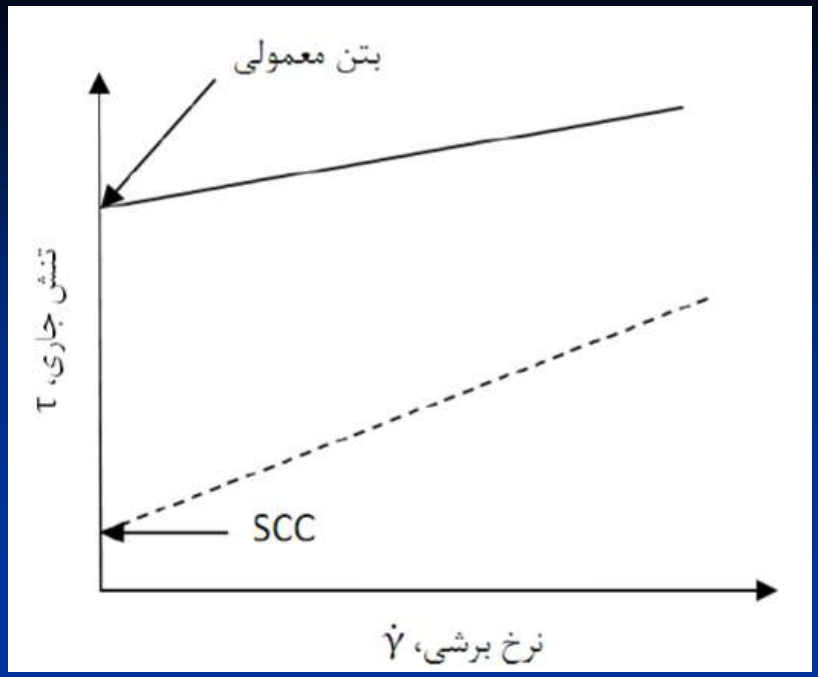
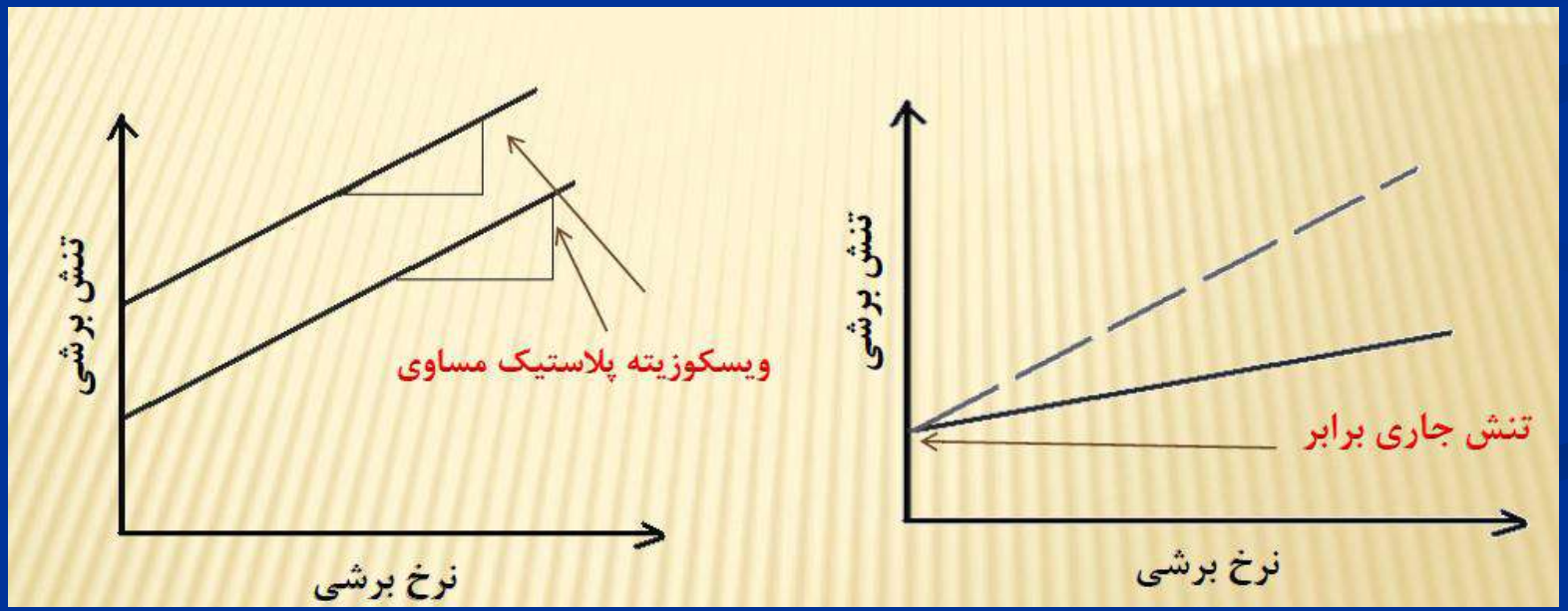


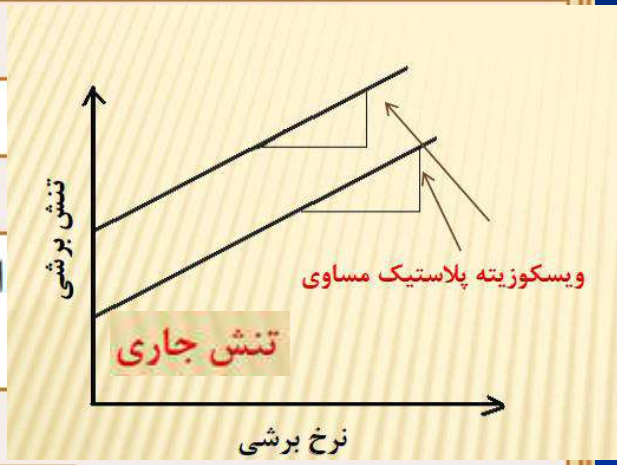
Fig. 3 Large cement content and low water to cement or powder ratio in SCC


بتن معمولی
SCC
تنش جاری، τ
نرخ برشی، γ̇


تنش برشی
نرخ برشی
ویسکوزیته پلاستیک مساوی
تنش برشی
نرخ برشی
تنش جاری برابر

اثر مواد مصرفی اجزای مخلوط بتن بر رئولوژی

ردیف	نوع مواد	نوع تغییر	تنش جاری‌شدن	گرانروی خمیری
		افزایش مقدار سیمان	کاهش	کاهش
		افزایش نرمی سیمان	افزایش	افزایش
		افزایش ترکیب C_3A	کاهش	بدون اثر
		افزایش C_3A + فوق‌روان‌کننده با پایه ملامین	افزایش	بدون اثر
		افزایش حداکثر اندازه	کاهش	بدون اثر
۲	سنگدانه	افزایش حجم سنگدانه	افزایش	افزایش
		گرد گوشه به جای شکسته	کاهش	کاهش
		ماسه بیشتر	افزایش	کاهش
		بهبود دانه‌بندی	بدون اثر	کاهش
۳	فوق‌روان‌کننده	افزایش فوق‌روان‌کننده افزایش فوق‌روان‌کننده + افزایش ماسه	کاهش بدون اثر	افزایش یا کاهش



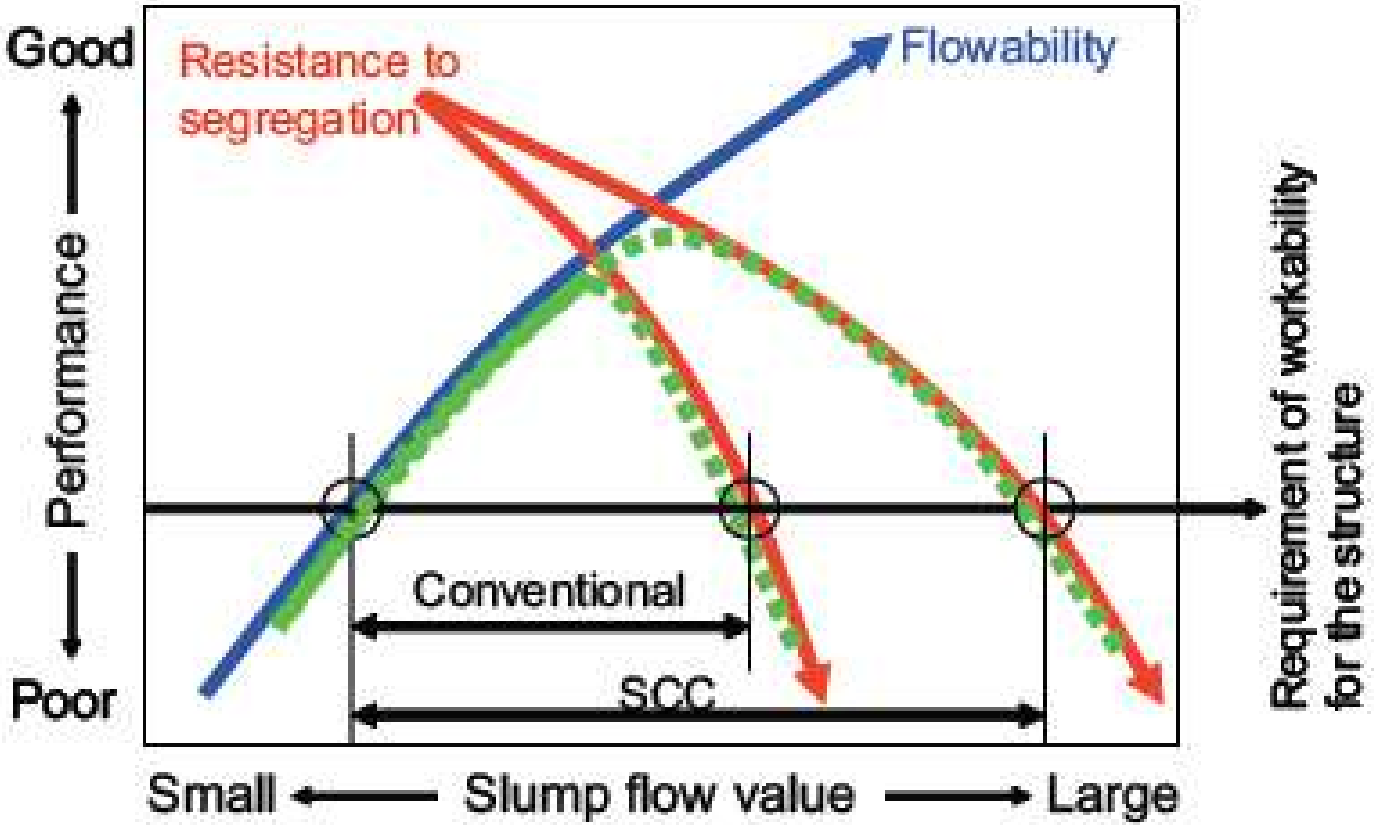


Fig. 1 SCC and conventional concrete along the common scale for workability

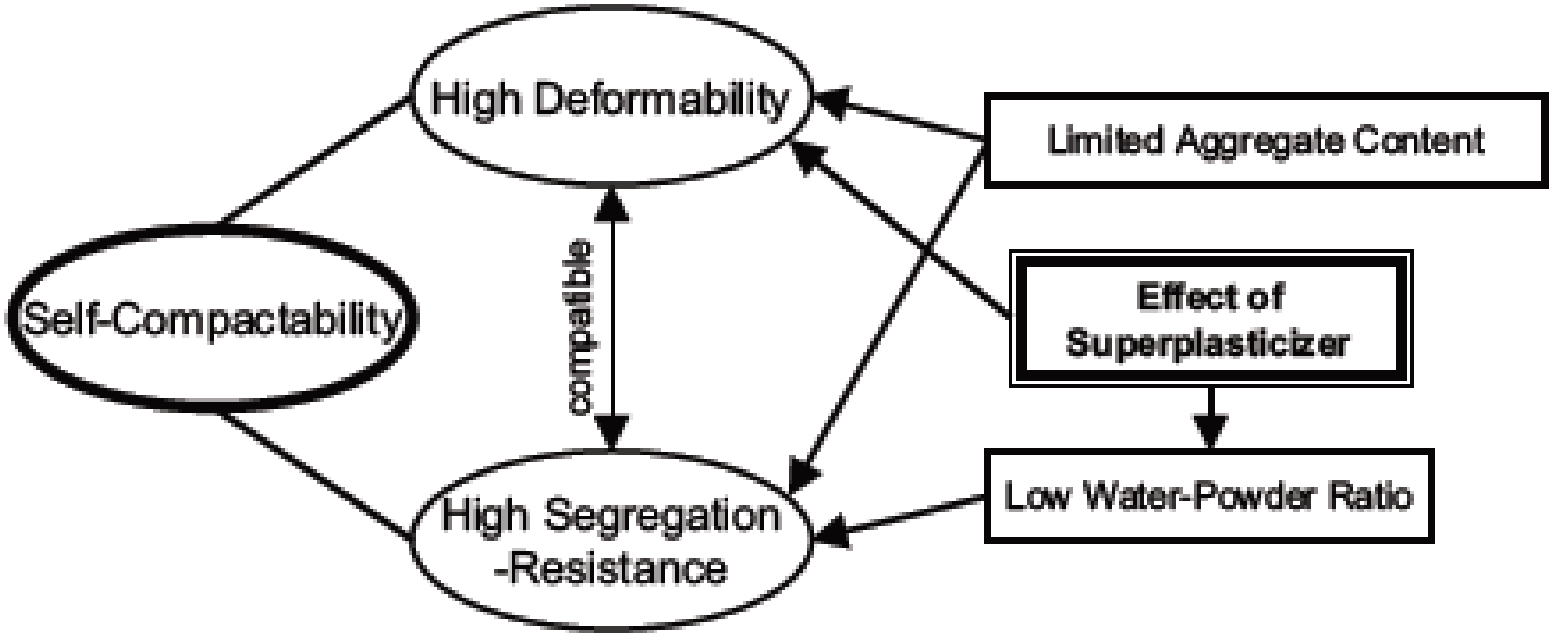
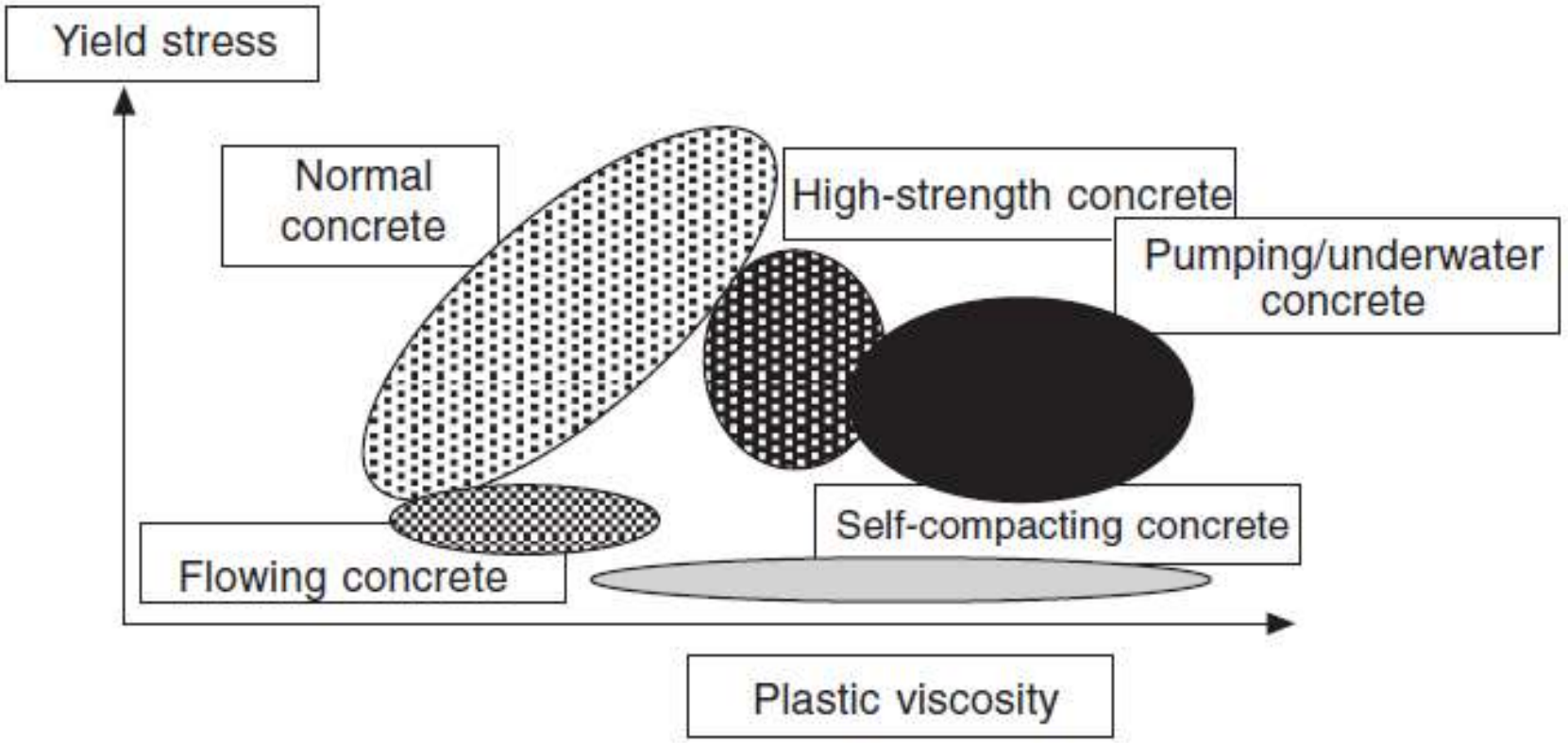
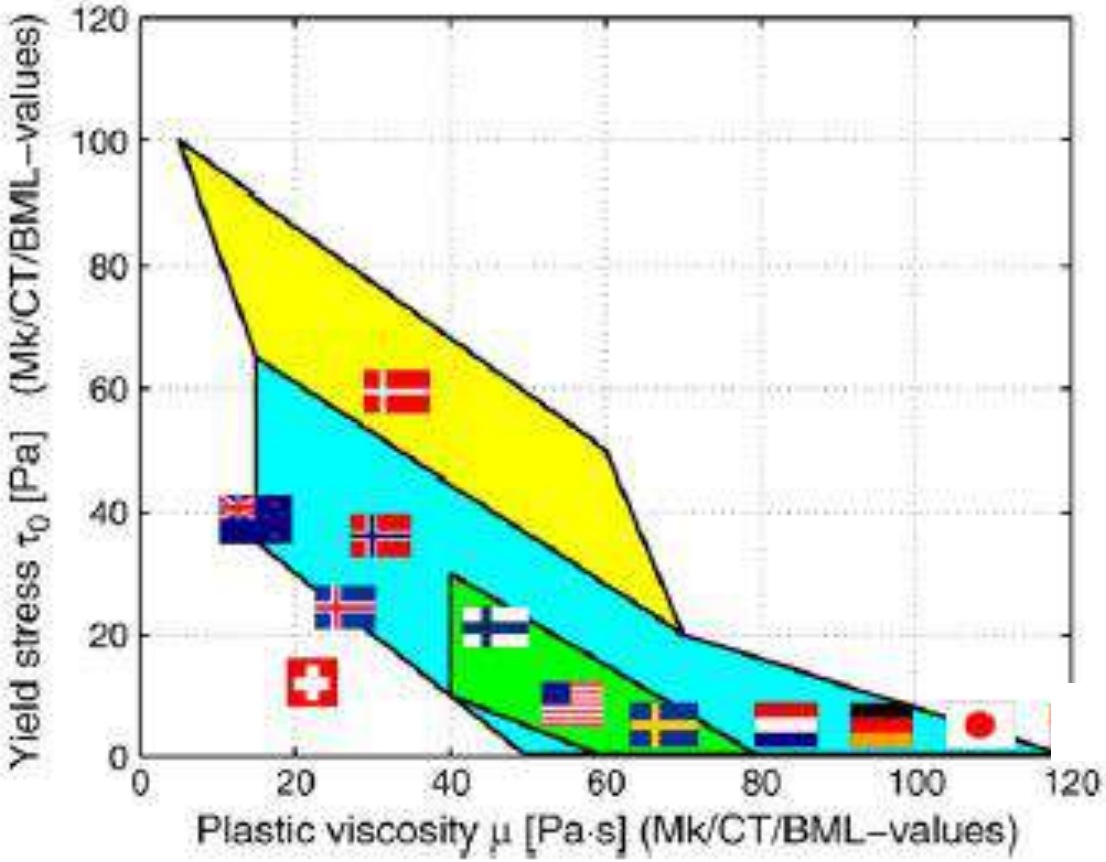


Fig. 2 Methods for achieving self-compactability


Yield stress
Normal concrete
High-strength concrete
Pumping/underwater concrete
Self-compacting concrete
Flowing concrete
Plastic viscosity


Yield stress τ_0 [Pa] (Mk/CT/BML–values)
120
100
80
60
40
20
0
0
20
40
60
80
100
120
Plastic viscosity μ [Pa·s] (Mk/CT/BML–values)

مواد تشکیل دهنده بتن خود تراکم :

افزودنی های شیمیایی:

-فوق روان کننده بر پایه پلی کربوکسیلات اتر (PCE)

و

-افزودنی اصلاح کننده قوام (VMA)

VMA

water-soluble polymers that increase the viscosity of mixing water and enhance the ability of cement paste to retain its constituents in suspension. From a rheological point of view, the use of a VMA along with adequate superplasticizers (SPs) content enables to ensure high deformability and stability.

- نشاسته هیدرولیزه hydrolyzed starches and
- صمغ اپوکسی-ساکارید Polysaccharide biopolymers such as **welan gum**
- **Colloidal silica**

پودر سنگ :

پودر سنگ آهک، دولمیت، گرانیت خرد شده ریز

ریزتر از اندازه ماسه ها ***D<0.150mm (No.100)***

پرکننده ها پرکردن منافذ خالی

و

در بتن خود تراکم در دوام و مقاومت ، نقش اساسی ایفا می کنند.

میکروسیلیس :

میکروسیلیس در بتن SCC باعث چسبندگی بالای بتن تازه شده و دوام بتن را نیز افزایش می دهد و نقش های مهمی در چسبندگی و پرکنندگی در توسعه بتن با عملکرد بالا دارد میکروسیلیس دارای حدود 90 درصد دی اکسید سیلیس می باشد.

نانو سیلیس:

محلول نانو سیلیس، دی اکسید سیلیس (SiO_2) است که اندازه ذرات آن در ابعاد نانومتری می باشد. محلول نانوسیلیس متشکل از ذراتی است گرد شکل که با قطر کمتر از 100 nm یا به صورت ذرات خشک پودر یا به صورت معلق د ر مایع محلول قابل انتشارمیباشد.

خاکستر بادی

سنگدانه ها :

سنگدانه های گرد گوشه روانی بتن را بهبود می بخشد زیرا اصطکاک درونی بتن کاهش می یابد.

تمامی ماسه هایی که در بتن معمولی استفاده می شود در بتن خود تراکم هم کاربرد دارد. کمترین اندازه سنگدانه ها ***D=0.150mm (No.100)*** می باشد و ریزتر از این مقدار را به عنوان **پودر** استفاده می شود که در روانی بتن خود تراکم بسیار مهم است و کاربرد فراوانی دارد. دانه بندی ماسه اهمیت زیادی در مشخصات رفتارشناسی بتن تازه دارد. در حالت کلی با کاهش میزان مدول نرمی ماسه، آب مورد نیاز برای دستیابی به یک کارایی معین به مقدار جزئی بیشتر می شود زیرا سطح مخصوص دانه ها افزایش می یابد. ولی از سوی دیگر قوام، لزجت و پایداری بتن بهبود قابل ملاحظه ای میابد. معمولا قطر ماسه بین 162 mm. تا 4 mm می باشد.

اندازه ماکزیمم معمول سنگدانه ها در بتن خود تراکم (SCC) بین ***16-20 mm*** می باشد.

اگرچه اجزایی که تا 40 mm نیز می باشد در بتن SCC استفاده شده اند.

اهمیت دانه بندی شن بر مشخصات رفتارشناسی بتن تازه کمتر از اهمیت دانه بندی ماسه است به طوری که قرارگیری دانه بندی شن در محدوده ذکر شده در استاندارد ASTM C33 کفایت می کند. معمولا قطر سنگدانه های درشت D>4 mm می شود .

خصوصیات بتن خود تراکم :

به طور کلی می توان خصوصیات بتن خود تراکم در حالت تازه را به سه دسته ذیل تقسیم نمود:

توانایی پر کنندگی : (Filling ability)

مقاومت در برابر جدا شدگی (قابلیت پایداری) : (Resistance to segregation)

توانایی عبور و جریان : (Passing ability)

آزمایشهای بتن تازه :

توانایی پر کنندگی : (Filling ability)

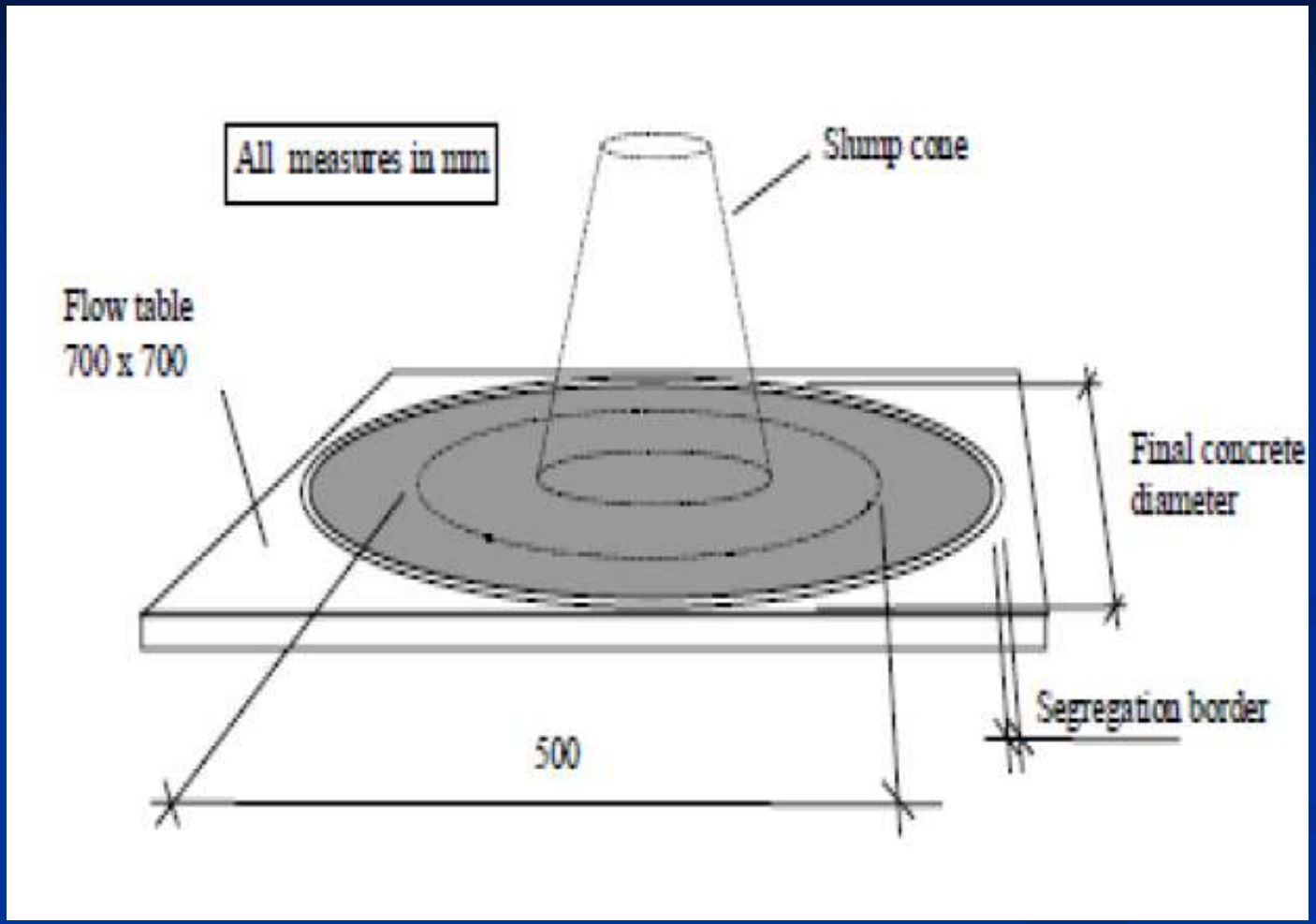
مقاومت در برابر جدا شدگی (قابلیت پایداری) :

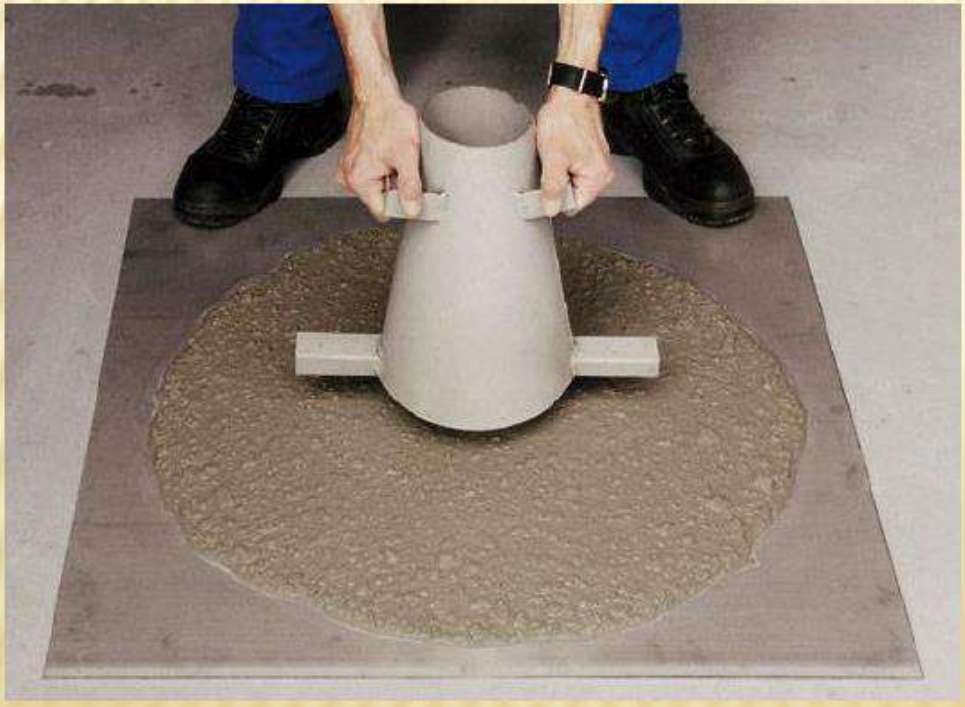
(Resistance to segregation)

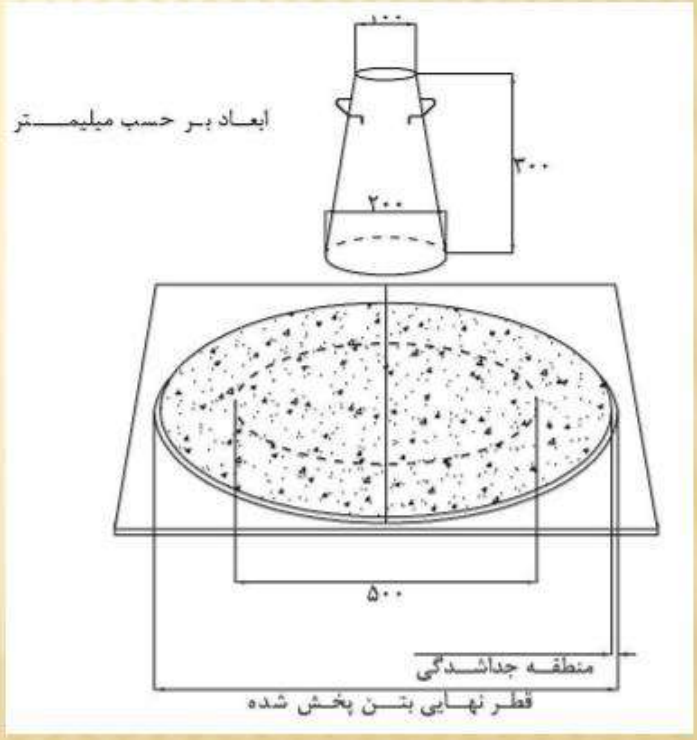
توانایی عبور و جریان : (Passing ability)

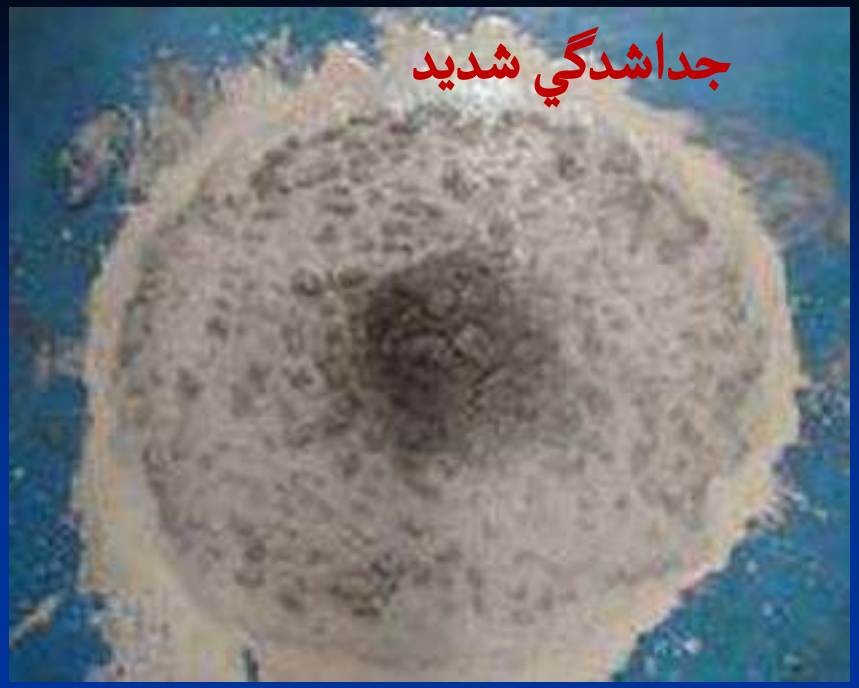
آزمایش های بتن خود تراکم

آزمایش جریان اسلامپ و زمان جریان اسلامپ 50 سانتیمتر


All measures in mm
Slump cone
Flow table
700 x 700
Final concrete
diameter
Segregation border
500




ابعاد بر حسب میلیمتر
۱۰۰
۳۰۰
۲۰۰
۵۰۰
منطقه جداشدگی
قطر نهایی بتن پخش شده

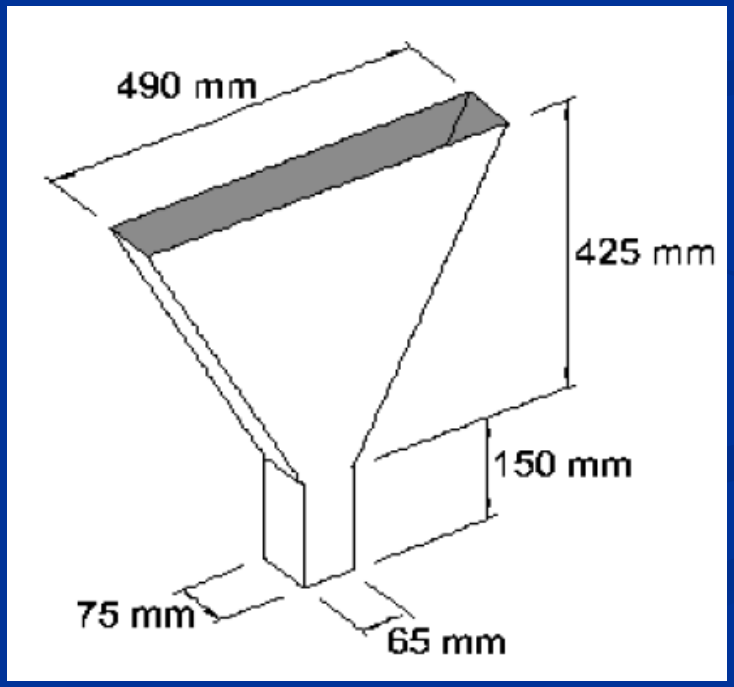


بدون جداشدگي

آزمایش قیف V شکل :

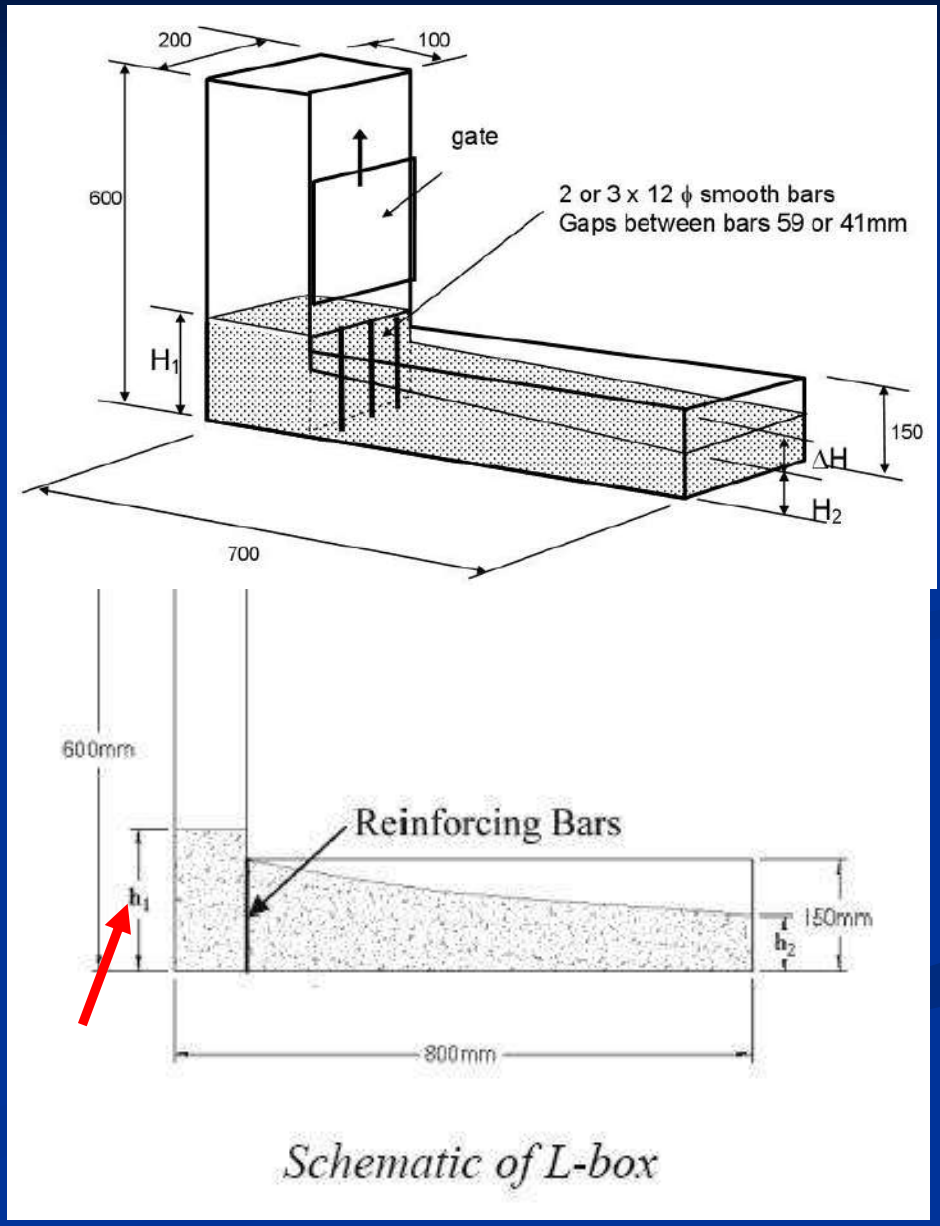
در این آزمایش مدت زمان خارج شدن بتن از یک قیف V شکل استاندارد اندازه گیری شده و به عنوان معیاری برای تعیین قابلیت پرکنندگی و لزجت خمیری بتن مورد استفاده قرار می گیرد. همچنین این آزمایش می تواند به عنوان معیاری برای تعیین جداشدگی بتن مورد استفاده قرار بگیرد.

Figure 2: *V-Funnel test*



آزمایش جعبه L شکل :

- قابلیت پرکنندگی
- قابلیت عبور
- مشاهده جداشدگی به صورت چشمی



Schematic of L-box

هرچه نسبت دو ارتفاع به یک نزدیکتر باشد نشان دهنده قابلیت پرکنندگی بهتر بتن خودتراکم می باشد.

(الف) جمع شدن لایه ای از شیره بتن روی سطح آن

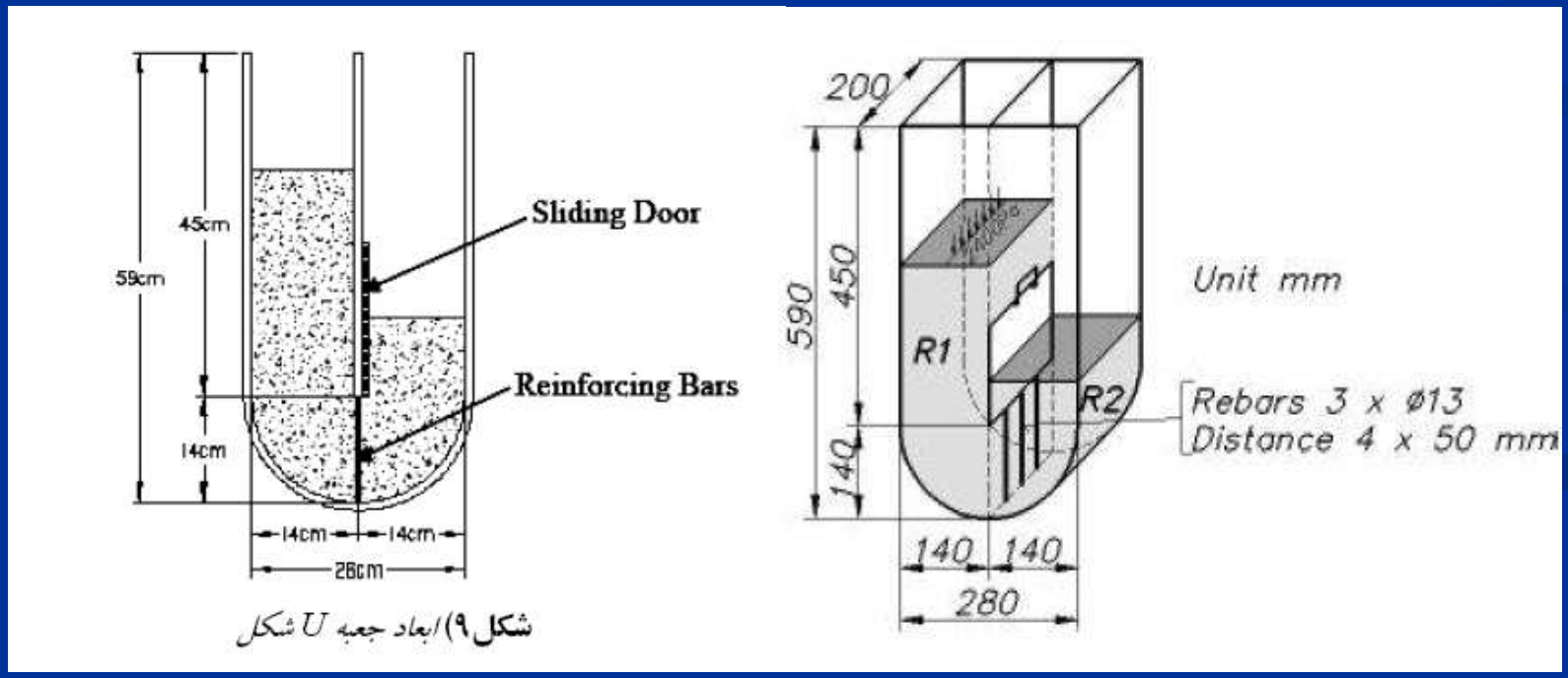
(ب) بروز پدیده انسداد و قفل شدگی

(ج) جریان مناسب بتن از میان آرماتورها

(د) گیر کردن سنگدانه ها پشت آرماتور ها

آزمایش جعبه U :

این آزمایش برای اندازه گیری قابلیت پرکردن و قابلیت عبور بتن خود تراکم استفاده می شود. این دستگاه شامل مجرایی است که توسط یک تیغه جداکننده و یک دریچه متحرک در وسط به دو قسمت تقسیم شده است. میلگردهای با قطر اسمی 13 میلیمتر در قسمت دریچه با فاصله مرکز به مرکز 50 میلیمتر نصب شده اند.



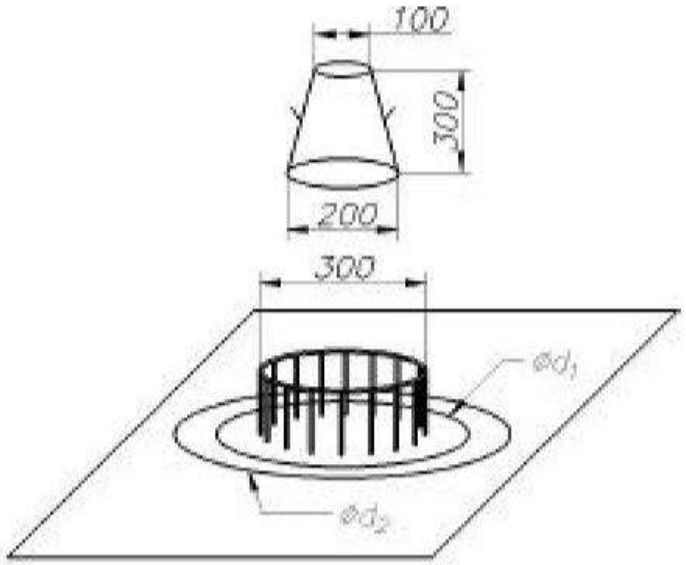
شکل ۹) ابعاد جعبه U شکل

(الف) عبور دوغاب بدون سنگدانه

(ب) بتن بطور کامل عبور کرده است

آزمایش حلقه J :

این آزمایش به نوعی شبیه سازی عبور بتن از بین موانع بخصوص آرماتورهای متراکم موجود در قالب می باشد. از این آزمایش می توان برای تعیین ویژگی قابلیت عبور بتن تازه که خود متاثر از دو پارامتر اساسی تنش تسلیم و لزجت خمیری می باشد استفاده نمود.



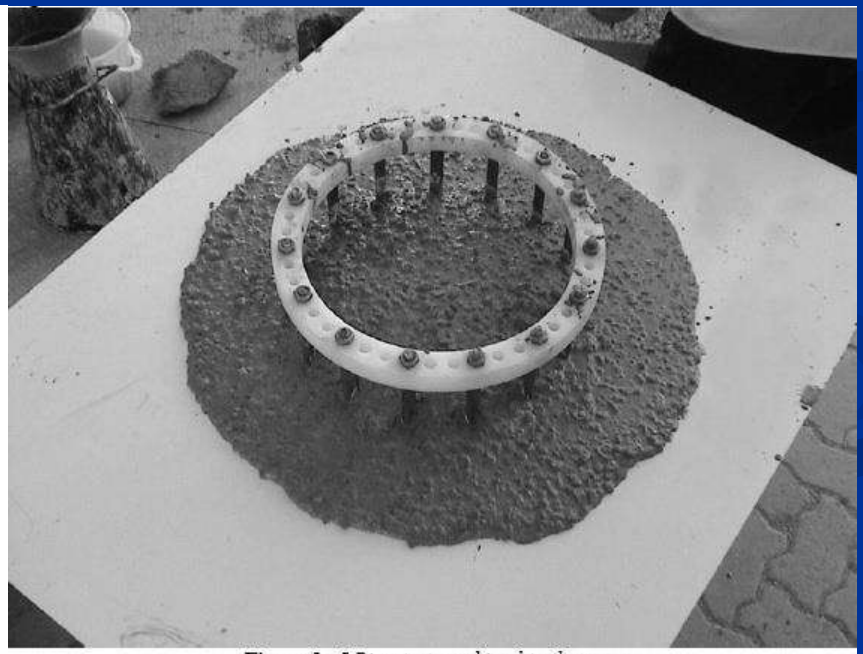
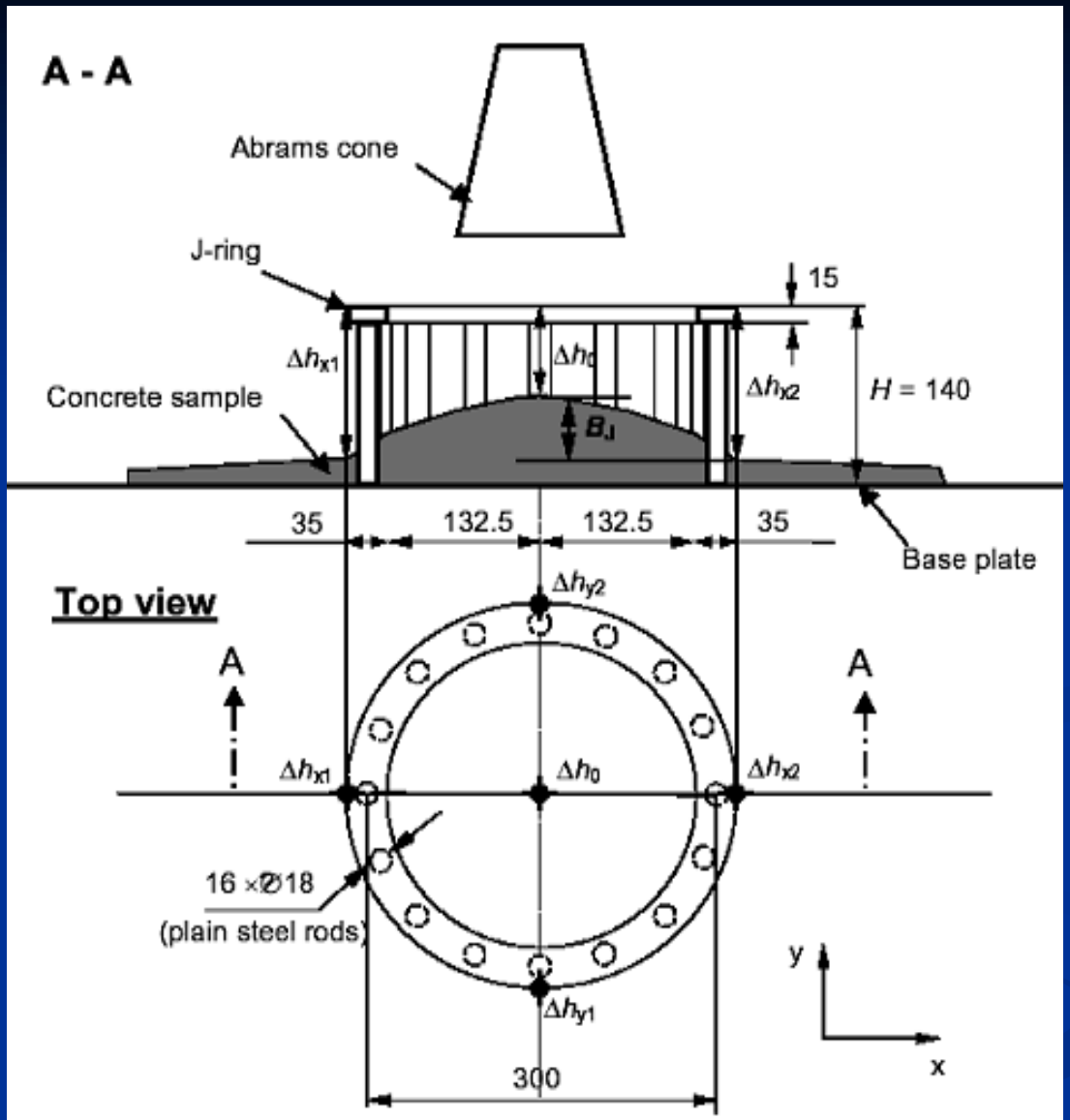


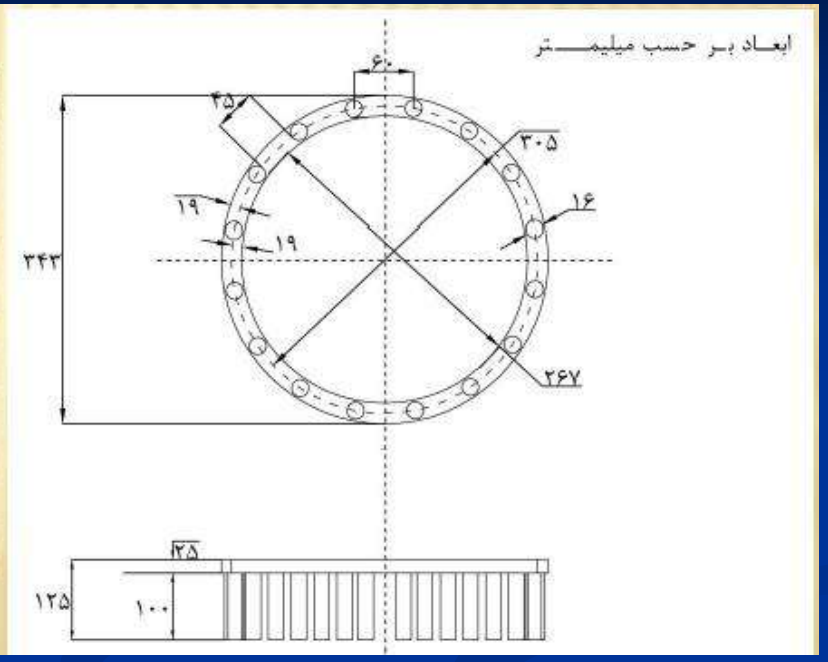
Figure 1: *J-Ring test combined to the cone*



شکل ٤) ابعاد دستگاه حلقه j

(الف) بتن به صورت کاملا همگن و یکنواخت عبور کرده

(ب) پخش بتن به صورت گلبرگ می باشد


ابعاد بر حسب میلیمتر
۶۰
۴۵
۳۰۵
۱۶
۱۹
۱۹
۳۴۳
۲۶۷
۴۵
۱۲۵
۱۰۰

مقادير پيشنهادي آزمايشهاي بتن خودتراكم توسط موسسه EFNARC

Table A.1 — Slump-Flow classes

Class	Slump-flow in mm
SF1	550 to 650
SF2	660 to 750
SF3	760 to 850

Table A.2 –Viscosity classes

Class	T_{500}, s	V-funnel time in s
VS1/ VF1	≤ 2	≤ 8
VS2/ VF2	> 2	9 to 25

Table A.3 — Passing ability classes (L-box)

Class	Passing ability
PA1	≥ 0,80 with 2 rebars
PA2	≥ 0,80 with 3 rebars

روش ها و مقادیر مطلوب آزمایش های S.C.C

ردیف	روش	واحد	نمایانگر پارامتر	دامنه قابل قبول نتایج	
				min	max
1	جریان اسلامپ	mm	قابلیت پر کنندگی	650	800
2	اسلامپ در T50cm	sec	قابلیت پر کنندگی	2	5
3	حلقه J	mm	قابلیت عبور	0	10
4	قیف V شکل	sec	قابلیت پر کنندگی	6	12
5	قیف V شکل در T5min	sec	جدا شدگی دانه بندی	0	3
6	جعبه U شکل (h2-h1)	mm	قابلیت عبور	0	30
7	جعبه L شکل (h2/h1)	%	قابلیت عبور	80	100

مقایسه مشخصات

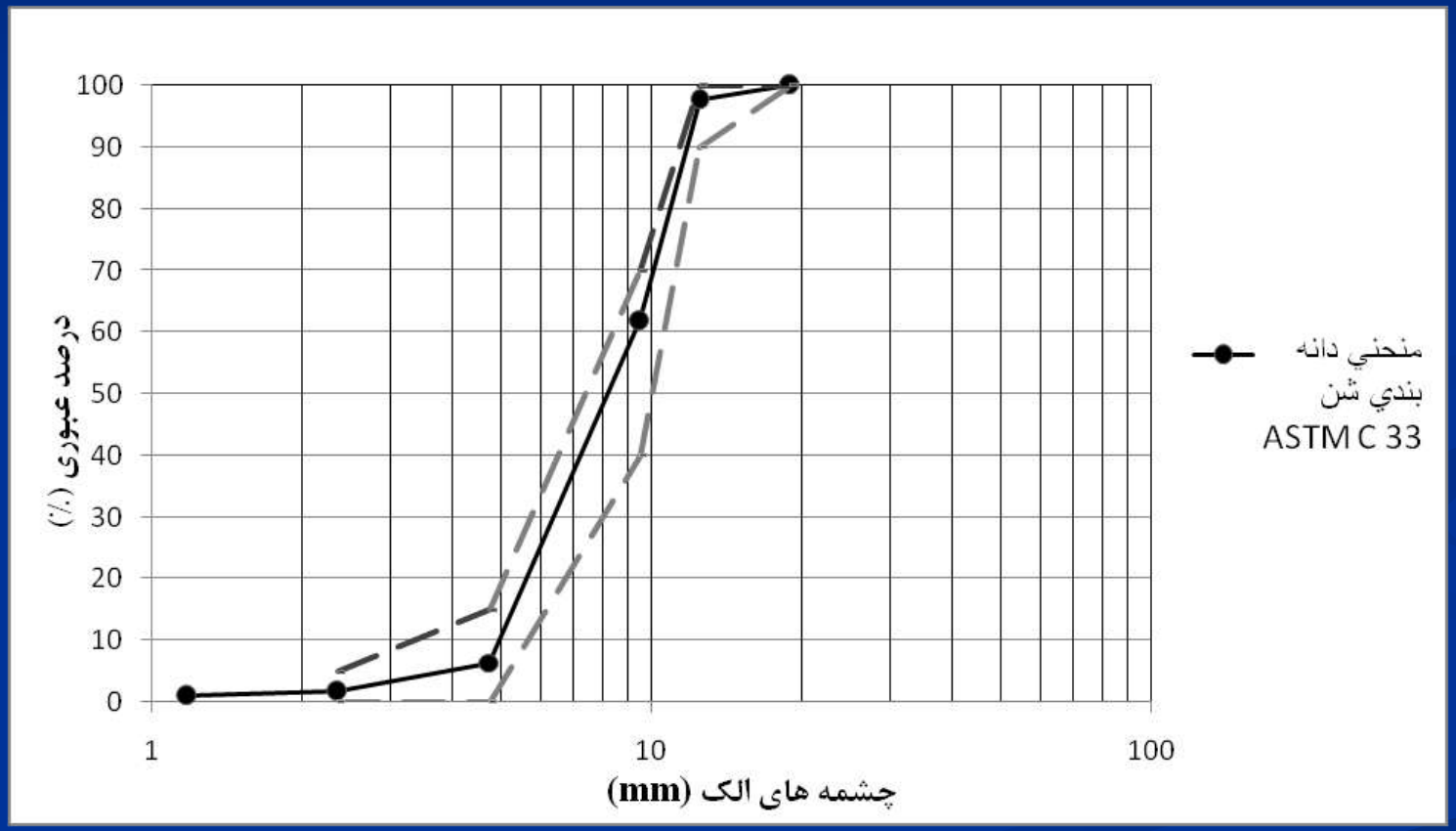
بتن معمولی و بتن خودتراکم

با مقاومت فشاری یکسان

- مشخصات مصالح مصرفي و طرح اختلاط بتنهاي خودتراكم مورد آزمايش

درشت دانه

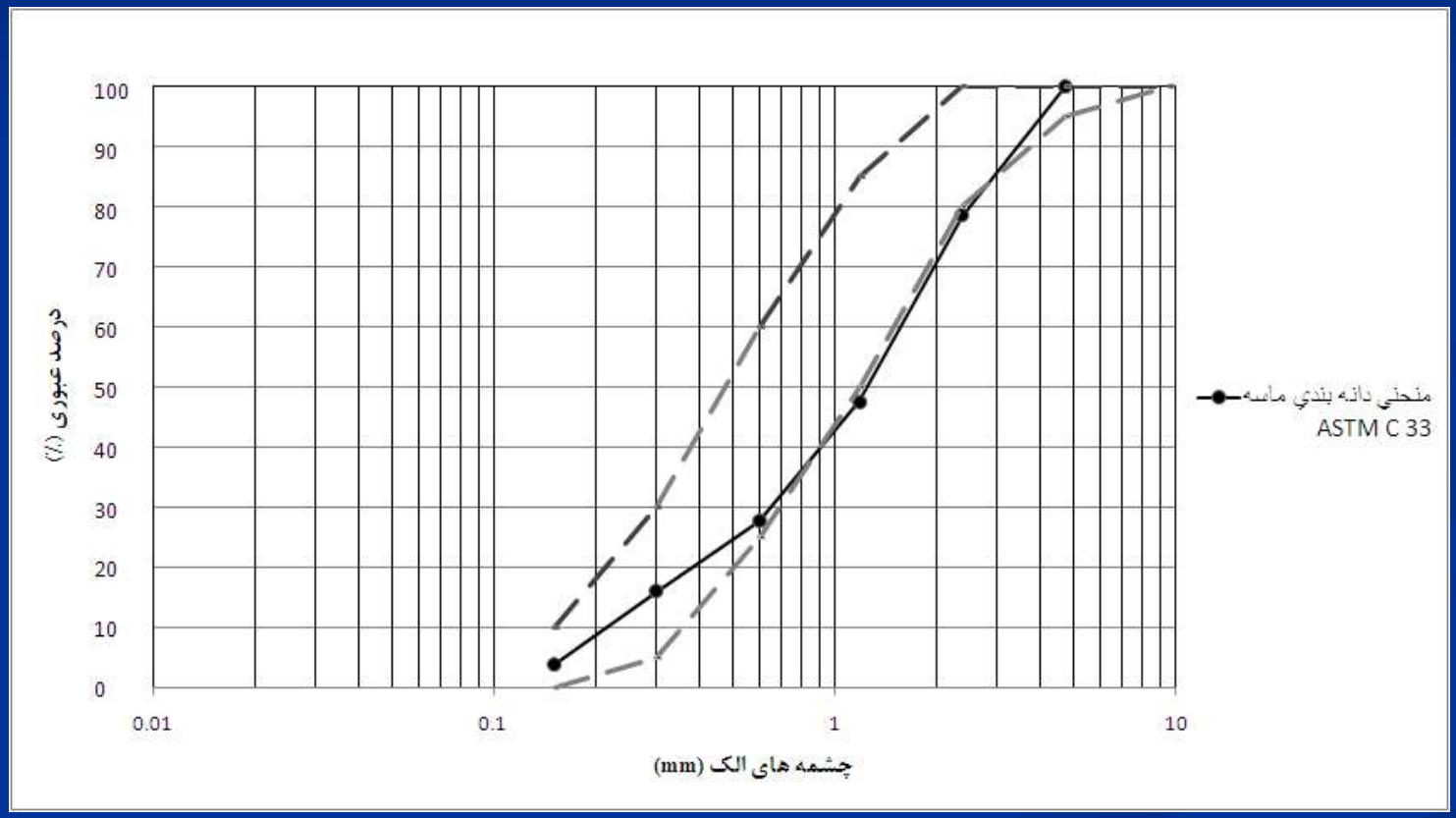
در این پروژه از شن با قطر حداکثر 12.5 میلیمتر استفاده شد



مشخصات مصالح و طرح اختلاط بتن

ریزدانه

در این پروژه از ماسه اصلاح شده پیام مرند، رد شده از الک شماره 4استفاده کرده ایم. بدین طریق مدول نرمی ماسه به 3.16 تقلیل یافت.



فوق روان کننده بکار رفته :

فوق روان کننده بکار رفته در این تحقیق از نوع نسل سوم فوق روان کننده ها، جهت استفاده در بتن و ملات است.

پودر سنگ آهک بکار رفته در این تحقیق :

در این پروژه از پودر سنگ آهک ($CaCO_3$) کارخانه آهک آذرشهر استفاده شده است.

مشخصات مصالح و طرح اختلاط بتن

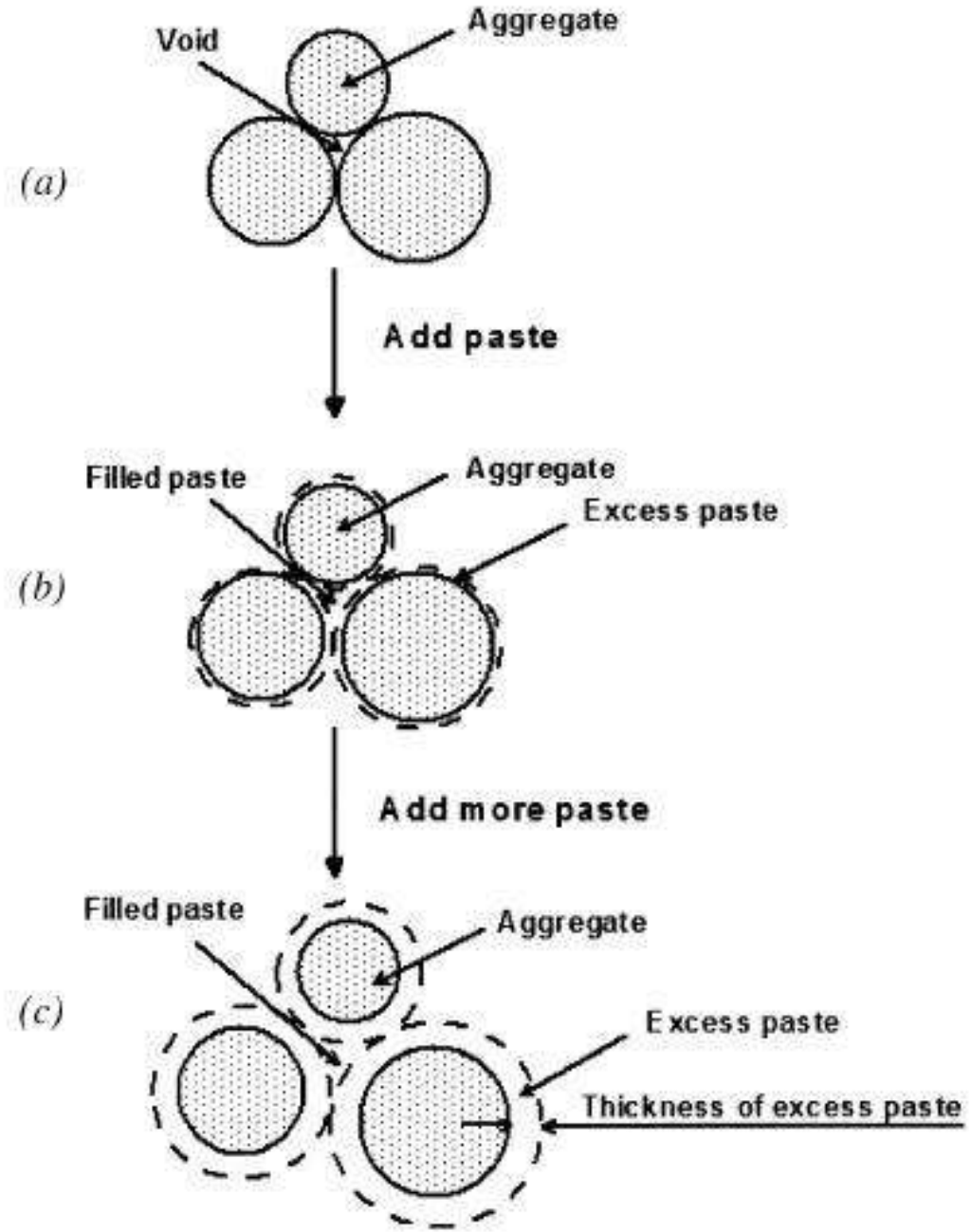
میکروسیلیس بکار رفته :

در این پروژه از میکروسیلیس ازنای لرستان استفاده شده است، که به رنگ خاکستری روشن می باشد.

سیمان :

سیمان مورد استفاده سیمان تیپ II تولید کارخانه سیمان صوفیان با چگالی gr/cm^3 ۳/۱۵ می باشد.

طرح اختلاط بتن خود تراکم :

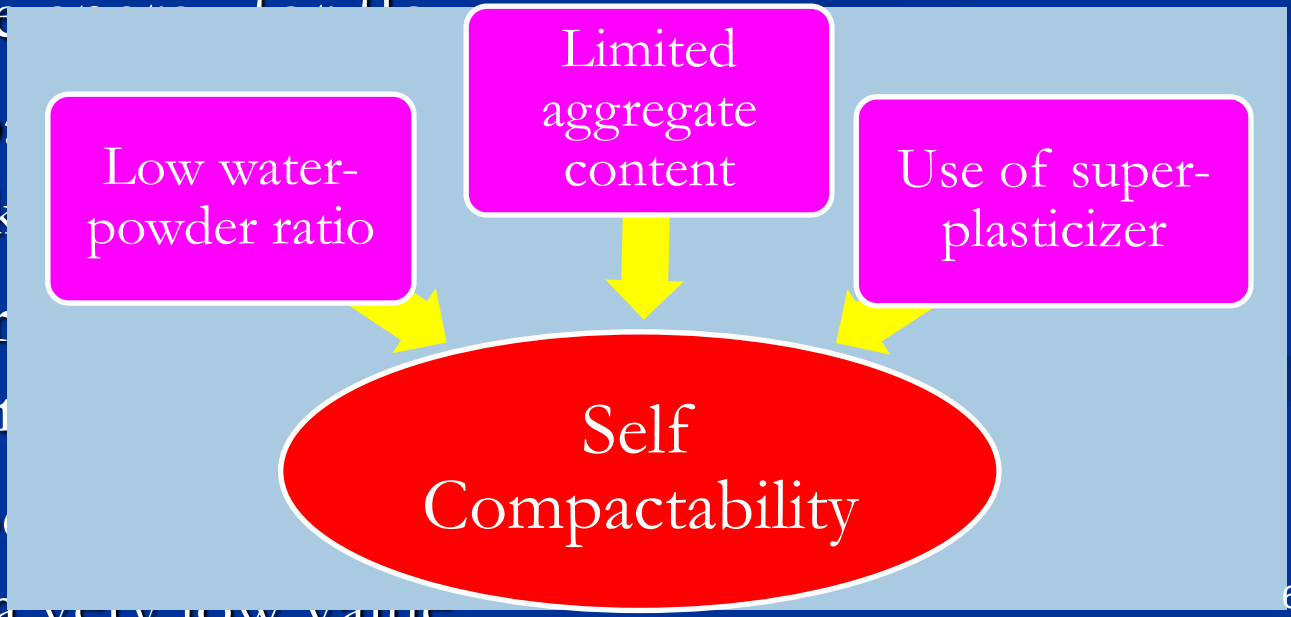

Void
Aggregate
(a)
Add paste
Filled paste
Aggregate
Excess paste
(b)
Add more paste
Filled paste
Aggregate
(c)
Excess paste
Thickness of excess paste

Achieving self compactability

High deformability of mortar

Resistance to segregation between aggregate and mortar

- Increased w/c ratio increases deformability but increases segregation too
- Reducing coarse aggregate reduces friction and collision, supplying intense
- Highly viscous p
from being block
- Increase in defor
possible by super
- Thus, use of sup
powder ratio to a very low value



Mix design for SCC

- Self compactability is highly sensitive to mix proportion. Rational mix design is necessary
- More labor and frequency of sampling/ testing is needed for SCC than for conventional concrete
- SCC is ideally suitable for *Ready Mix Concrete Plant*.
- There might be several possibilities; the mix design proposed by Okamura & Ozawa is discussed here.
- The mix design is still trial and error-based for proper w-p ratio and superplasticizer dose

Typical "powder type" mix designs

Ingredients (For 1 m^3 of concrete)		Japan	Europe
Water, kg		175	190
Portland cement, kg		530	280
Fly ash, kg	Other cementitious and filler materials	70	0
Ground granulated blast furnace slag, kg			0
Silica fume, kg			0
Limestone powder, kg			**245**
Fine aggregate, kg		751	865
Coarse aggregate, kg		789	750
Superplasticizer, kg		9	4.2
Viscosity modifying admixture, kg		0	0
Total weight, kg		**2324**	**2334**
Slump flow test, dia (mm)		625	600-750

Source: (Ouchi et al. *Application of SCC in Japan, Europe and US*. FHA, USDT, 2003)

- G=700 Kg/m3
- S=870 “
- C=420 “
- W=170 “
- CaCo3=130 “
- SF=50 “
- SP=5 “

Slump flow = 73 cm

flow time = 2.5 Sec.

موسسه **EFNARC** توصیه

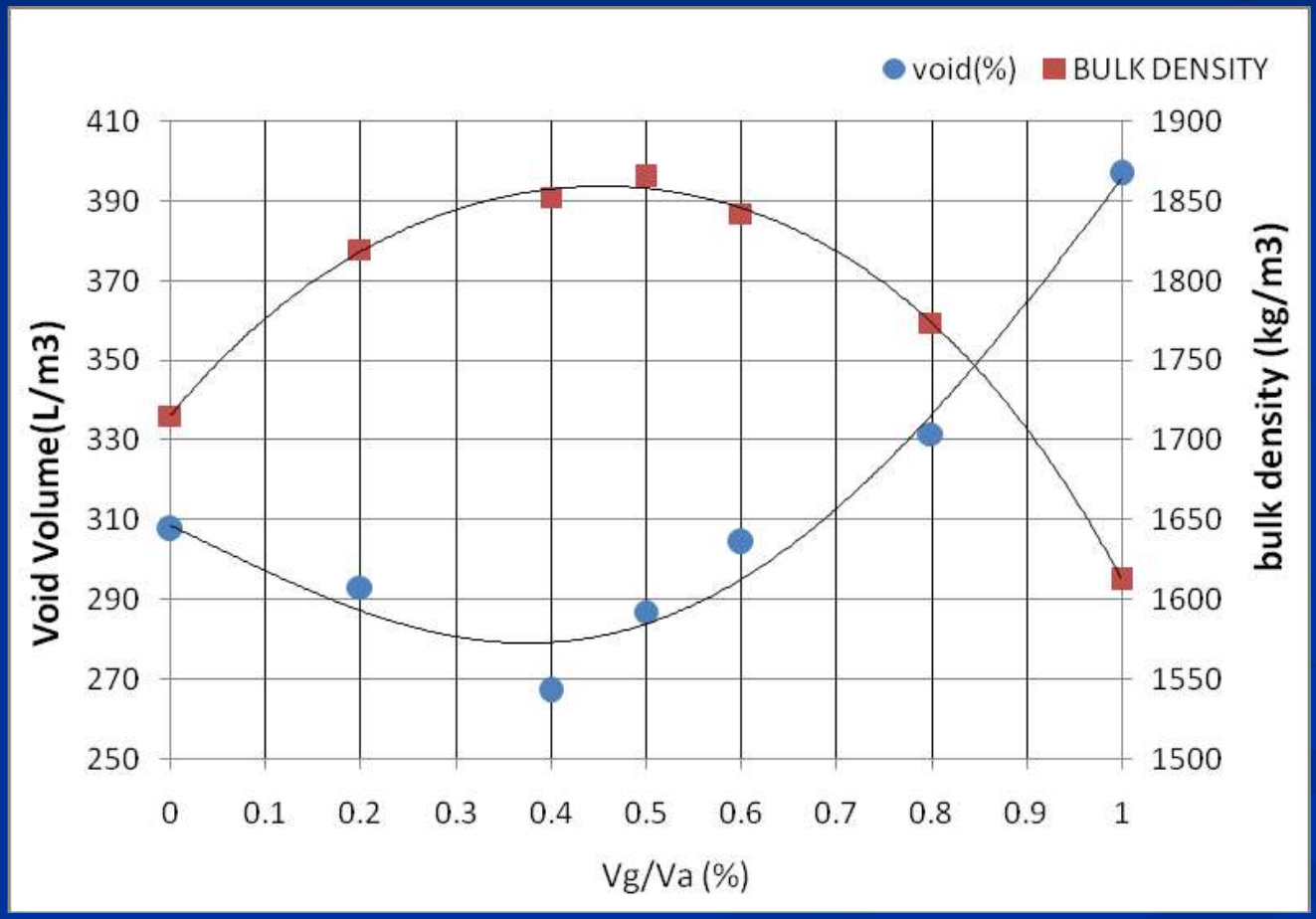
- نسبت آب به پودر (W/P) بوسیله حجمي از 0/8 -1/1
- میزان کل پودر (Kg/m^3 400-600)
- میزان سنگدانه هاي درشت معمولا 28 تا 35 درصد حجم مخلوط
- مقدار آب نباید از lit/m^3 200 تجاوز کند.
- مقدار ماسه نیز توسط حجم باقیمانده از کل مخلوط متعادل مي‌شود.

در این پروژه براي ساخت بتن خودتراکم تمامي 5 مورد بالا رعایت شده است.

طرح اختلاط بتن سازه ای خودتراکم با استفاده از روش **Void-Bulk Density** تعیین شد.

طرح اختلاط انجام شده و در نهایت با کم کردن نسبتی از حجم کل سنگدانه ها در واحد حجم بتن خمیر اضافی (Excess Paste) به مخلوط برای روان تر کردن بتن تازه اضافه شده است. نتایج آزمایشات انجام یافته بر روی بتن تازه (Slump flow, L-box, V-funnel) و بتن سخت شده (مقاومت فشاری، مقاومت کششی، مدول الاستیسیته و دوام) نشانگر مناسب بودن این روش برای طرح اختلاط بتن خودتراکم می باشد.

با توجه به اطلاعات بدست آمده دو نمودار بدست می آید که محور X این نمودارها نسبت حجمی درشت دانه به کل سنگدانه و محور Y آنها مقدار فضای خالی (Void) و چگالی ظاهری (Bulk Density) می باشد.



با توجه به بدست آوردن میزان فضای خالی بین سنگدانه ها و نسبت حجمی درشت دانه به کل سنگدانه و همچنین با استفاده از آیین نامه ACI ۲۱۱ طرح اختلاط اولیه بتن خودتراکم بدست می آید.

حجم خمیر اضافی(Excess paste) نیز به صورت درصدی از حجم شن و ماسه تعیین می شود. که در این تحقیق **فرض اولیه برای حجم خمیر اضافی۱۰درصد حجم شن و ماسه** در نظر گرفته شد.

حال با بدست آمدن میزان فضای خالی و حجم خمیر اضافه و با توجه به فرمول زیر می توان حجم پودر را بدست آورد.

$$\text{Void} + \text{excess paste} = V_p + V_w + V_c$$

طرح اختلاط اولیه بتن خودتراکم

مصالح	وزن (Kg)	حجم (lit)
شن	680	421
ماسه	885	515
آب	158	158
سیمان	420	133
میکروسیلیس	135	64
فوق روان‌کننده	8	-
فضاي خالي شن و ماسه	-	280

در پروژه بارها تعديل و اصلاح صورت گيرد تا خودتراكمي بتن ارضاء شود.

موارد زير براي تعديل مجدد بتن مي تواند صورت گيرد :

- **استفاده از افزودني ها با انواع مختلف پركننده**
- **اصلاح يا تعديل نسبت‌هايي از مقدار ماسه يا سنگدانه درشت**
- **استفاده از عامل ويسكوزيته (VMA). (اگر در مخلوط استفاده نشده باشد)**
- **تغيير ميزان فوق روان كننده يا تغيير در مقدار VMA**
- **استفاده از انواع ديگري از فوق روان كننده يا VMA**
- **تغيير و اصلاح ميزان آب و در نتيجه نسبت (W/P)**

مقایسه و تعیین مناسب ترین نوع پودر

در این پروژه:

پودر سنگ آهک

، پودر میکروسیلیس

، پودر سنگ تراورتن

، پودر آهک میکرونیزه

و ترکیب این پودرها براي ساخت ملات استفاده شده است.

در این راستا ۶ طرح ملات خودتراکم و ۱ طرح ملات معمولی ساخته شد.

شماره طرح	ماسه Kg/m³	سیمان Kg/m³	سنگ آهک Kg/m³	میکروسیلیس Kg/m³	سنگ تراورتن Kg/m³	آهک میکرونیزه Kg/m³	W Kg/m³	فوق روان کننده Kg/m³	حجم پودر lit
SCM۱	۹۰۰	۴۰۰	۱۸۰/۲	۰	۰	۰	۱۹۲	۵/۵	۶۸
SCM۲	۹۰۰	۴۰۰	۰	۱۴۴/۲	۰	۰	۱۹۲	۵/۵	۶۸
SCM۳	۹۰۰	۴۰۰	۰	۰	۰	۱۸۶/۳	۲۳۲	۵/۵	۶۸
SCM۴	۹۰۰	۴۰۰	۰	۰	۱۸۴/۴	۰	۱۹۲	۵/۵	۶۸
SCM۵	۹۰۰	۴۰۰	۱۱۹/۳	۴۸/۸	۰	۰	۱۹۲	۵/۵	۶۸
SCM۶	۹۰۰	۴۰۰	۰	۴۸/۸	۱۲۳/۳	۰	۱۹۷	۵/۵	۶۸
CVC۱	۹۰۰	۴۰۰	۰	۰	۰	۰	۱۹۲	۰	۰

*نمونه های ساخته شده از لحاظ میزان روانی، مقدار جداشدگی، وزن و مقاومت فشاری ۷ روزه عمل آوری شده در بخار آب مورد آزمایش قرار گرفتند، که نتایج آن در جدول زیر شرح داده شده است.

شماره طرح	نوع پودر	مقدار آب اضافه شده به طرح اختلاط	مقاومت فشاری Mpa	اسلامپ* (cm)
SCM۱	سنگ آهک	۰	۳۳/۸۱	کاملاً رون
SCM۲	میکروسیلیس	۰	۶۱/۰۶	۳/۱۳
SCM۳	آهک میکرونیزه	۴۰ cc	۲۲/۱۵	۴/۱۰
SCM۴	سنگ تراورتن	۵ cc	۳۴/۲۱	۳/۵۸
SCM۵	ترکیب سنگ آهک و میکروسیلیس	۰	۴۹/۱۴	کاملاً رون
SCM۶	ترکیب آهک میکرونیزه و میکروسیلیس	۵ cc	۴۲/۷۶	۵/۰۸
CVC۱	ترکیب سنگ آهک و میکروسیلیس	۰	۲۷/۹۶	۳/۵۰

پودر سنگ آهك باعث افزايش رواني

پودر ميكروسيليس باعث افزايش مقاومت فشاري و چسبندگي بتن

\طرح 5 هم داراي رواني مطلوب و هم مقاومت فشاري مناسب مي‌باشد.

شماره طرح	نوع پودر	مقدار آب اضافه شده به طرح اختلاط	مقاومت فشاری Mpa	اسلامپ* (cm)
SCM۱	سنگ آهك	۰	۳۳/۸۱	کاملاً رول
SCM۲	ميكروسيليس	۰	۶۱/۰۶	۳/۱۳
SCM۳	آهك ميكرونيزه	۴۰ cc	۲۲/۱۵	۴/۱۰
SCM۴	سنگ تراورتن	۵ cc	۳۴/۲۱	۳/۵۸
SCM۵	تركيب سنگ آهك و ميكروسيليس	۰	۴۹/۱۴	کاملاً رول
SCM۶	تركيب آهك ميكرونيزه و ميكروسيليس	۵ cc	۴۲/۷۶	۵/۰۸
CVC۱	تركيب سنگ آهك و ميكروسيليس	۰	۲۷/۹۶	۳/۵۰

ترکیب

پودر سنگ آهک

با

پودر میکروسیلیس

طرح اختلاط بتن‌هاي خودتراكم (SCC)

شماره طرح	وزن سنگدانه	وزن ریزدانه	وزن آب	مقدار سیمان	وزن پودر میکروسیلیس	وزن پودر سنگ آهک	فوق روان کننده
SCC۱	۶۸۴	۸۸۴	۱۹۱	۴۵۸	۴۶	۱۴۹	۶/۸۰
SCC۲	۶۸۶	۸۸۶	۱۹۰	۴۵۹	۴۸	۱۴۹	۷/۱۵
SCC۳	۶۹۹	۹۰۷	۱۶۹	۴۲۹	۳۶	۱۶۵	۷/۰۱
SCC٤	۷۰۹	۹۱۸	۱۶۵	۴۴۳	۷۱	۸۳	۱۰/۱۰
SCC٥	۷۱۱	۹۲۴	۱۸۰	۴۴۴	۶۳	۱۰۷	۹/۸۰
SCC٦	۷۱۲	۹۲۵	۱۸۸	۴۵۵	۱۳۴	۰	۱۰/۴۰
SCC۷	۷۰۵	۹۱۷	۱۸۶	۴۵۱	۸۷	۶۱	۹/۴۷
SCC۸	۶۸۳	۹۱۷	۱۹۰	۳۹۷	۹۲	۱۱۰	۹/۳۸
SCC۹	۶۹۲	۹۰۰	۲۰۵	۴۳۹	۱۱۶	۳۳	۱۰/۱۰

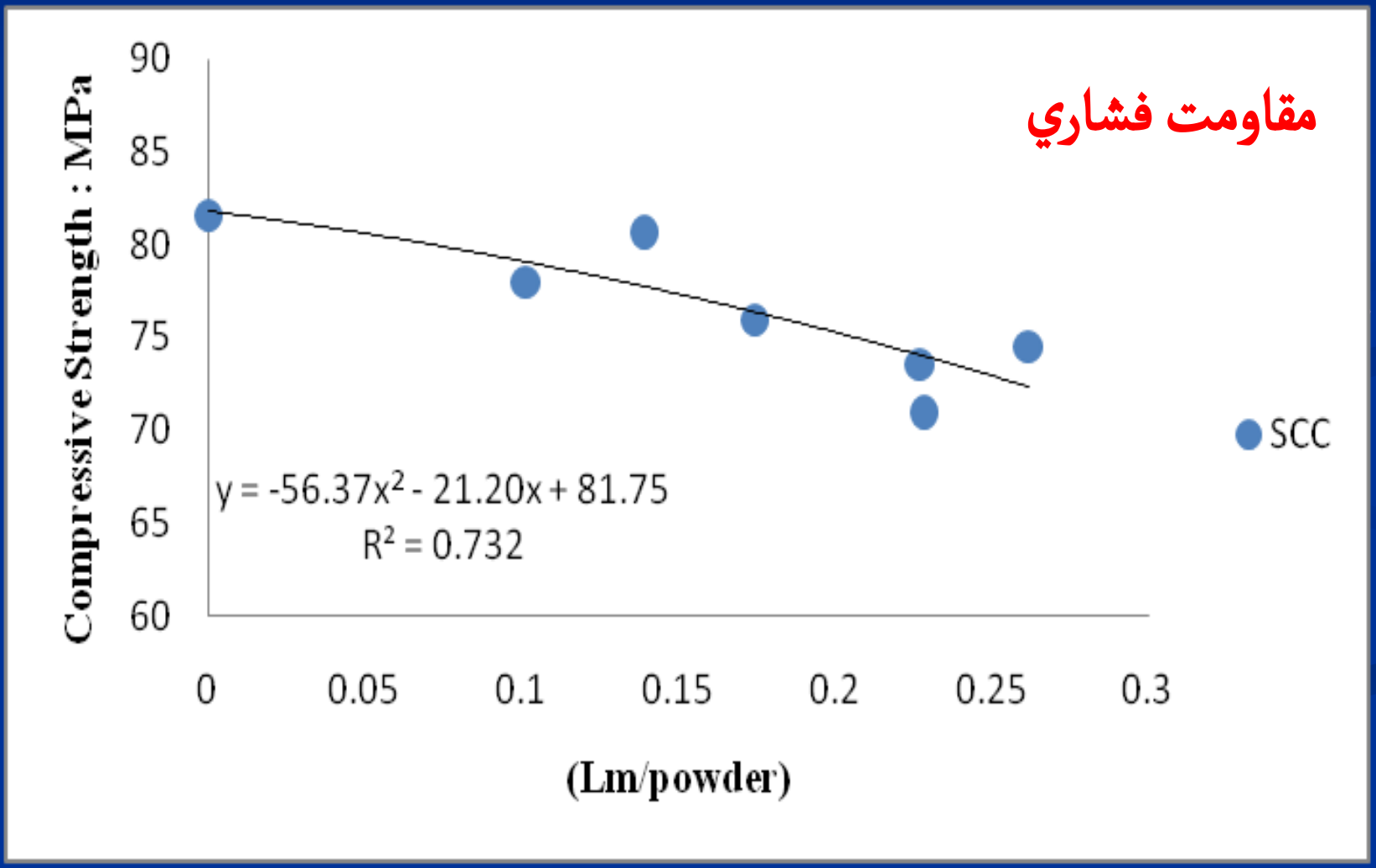
طرح اختلاط بتن‌هاي معمولي (CVC)

شماره طرح	وزن سنگدانه	وزن ریزدانه	وزن آب	مقدار سیمان	وزن پودر میکروسیلیس	وزن پودر سنگ آهک	فوق روان کننده
CVC۱	۶۹۱	۸۹۵	۱۷۶	۳۹۳	۸۱	۱۸۰	۵/۸۶
CVC۲	۱۰۶۲	۸۰۶	۱۵۹	۴۱۳	۳۶	۰	۶/۸۸
CVC۳	۱۰۴۲	۸۷۷	۱۴۸	۳۸۵	۳۸	۰	۷/۱۶
CVC٤	۱۰۴۱	۹۱۴	۱۳۸	۳۵۲	۳۹	۰	۷/۴۵
CVC٥	۱۰۰۱	۸۴۹	۱۶۵	۴۴۷	۲۳	۰	۷/۹۰
CVC٦	۱۰۳۸	۸۸۶	۱۴۶	۴۲۶	۲۲	۰	۸/۸۰
CVC۷	۱۰۴۰	۸۲۳	۱۶۷	۴۳۷	۲۲	۰	۷/۰۵
CVC۸	۱۰۷۱	۸۸۴	۱۵۶	۳۷۲	۲۰	۰	۷/۱۶

Powder = Lm + SF + C

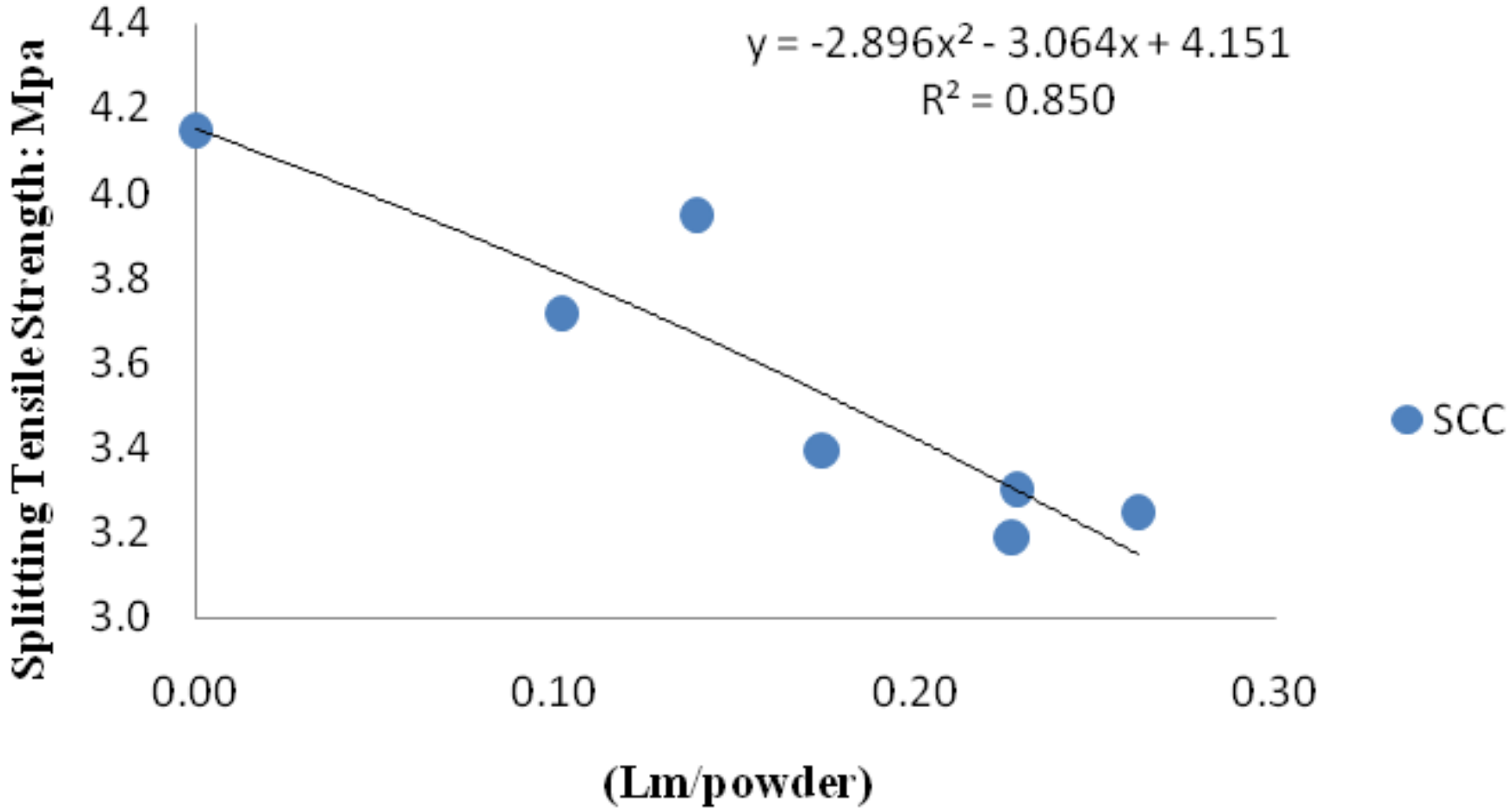
binder= SF + C

تاثیر پودر سنگ آهک در خصوصیات بتن

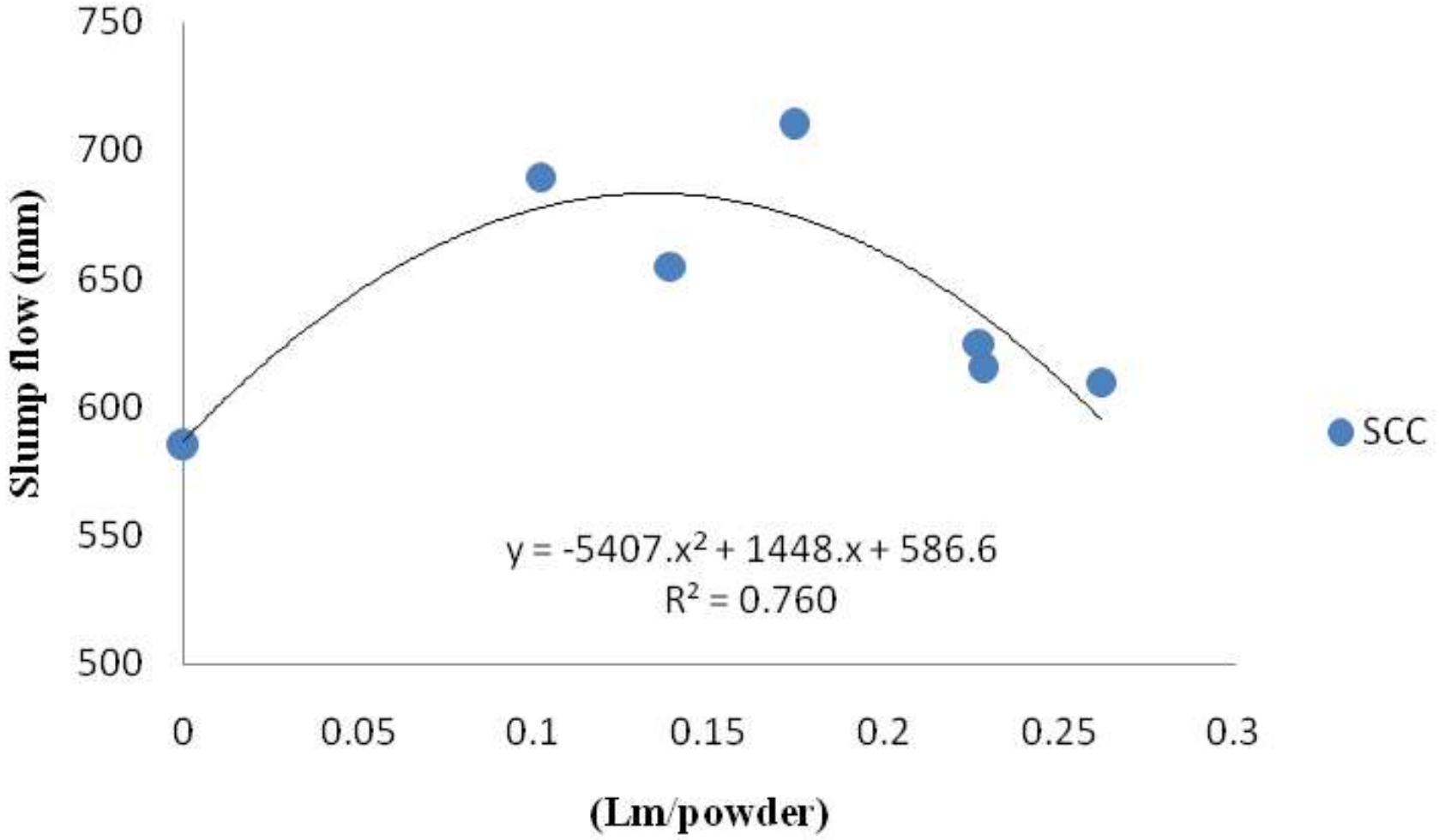


بحث در نتایج

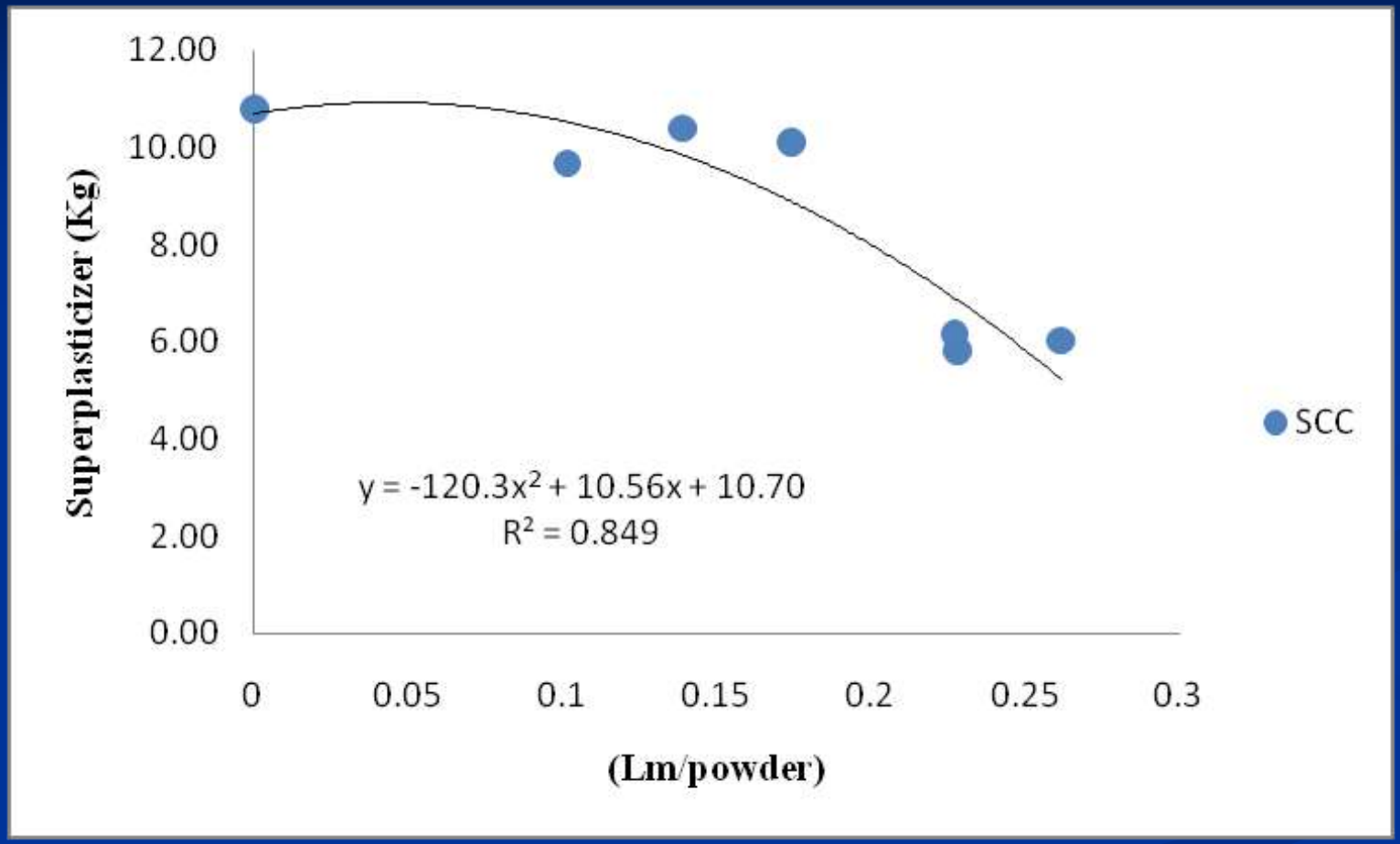
مقاومت کششي


y = -2.896x² - 3.064x + 4.151
R² = 0.850
Splitting Tensile Strength: Mpa
4.4
4.2
4.0
3.8
3.6
3.4
3.2
3.0
0.00
0.10
0.20
0.30
(Lm/powder)
SCC

قابلیت جریان و روانی :



مقدار فوق روان کننده لازم

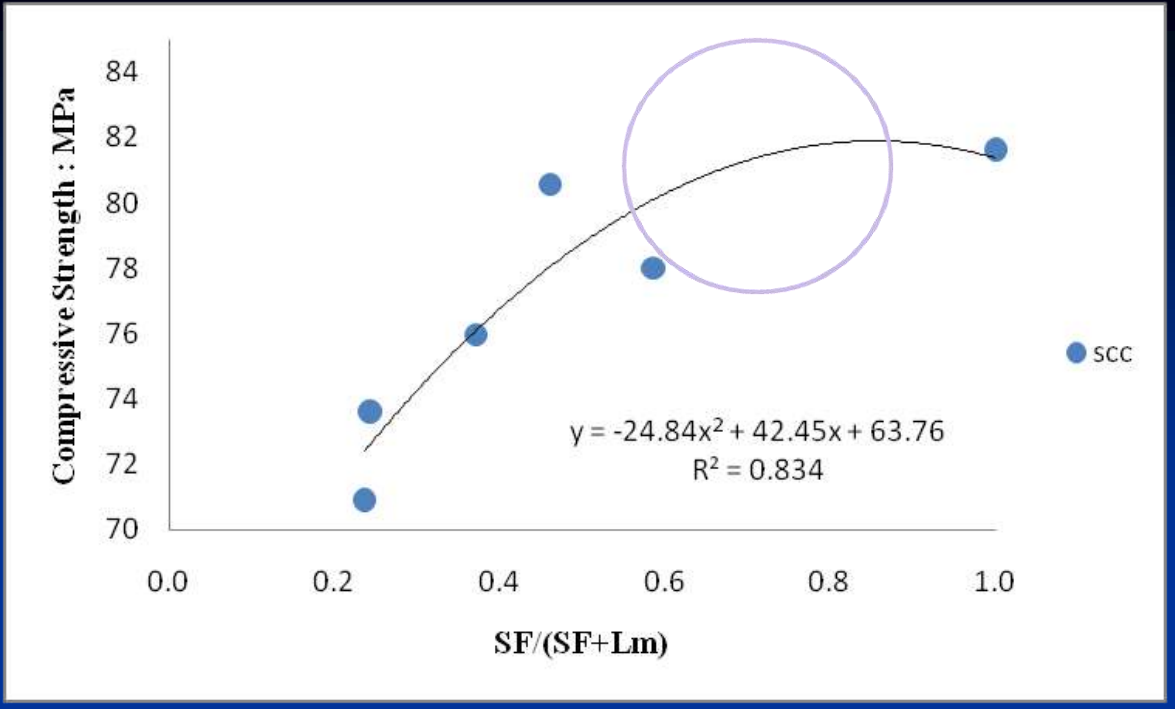


بحث در نتایج

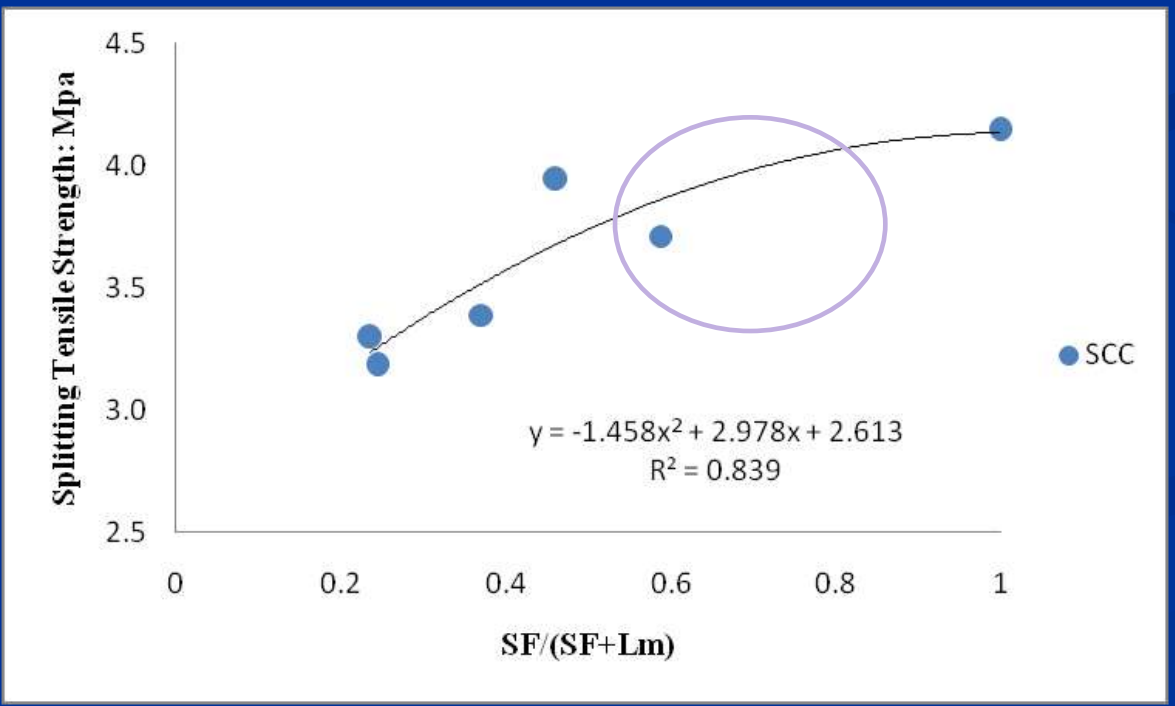
تعیین نسبت بهینه ترکیب پودر سنگ آهک و پودر میکروسیلس :

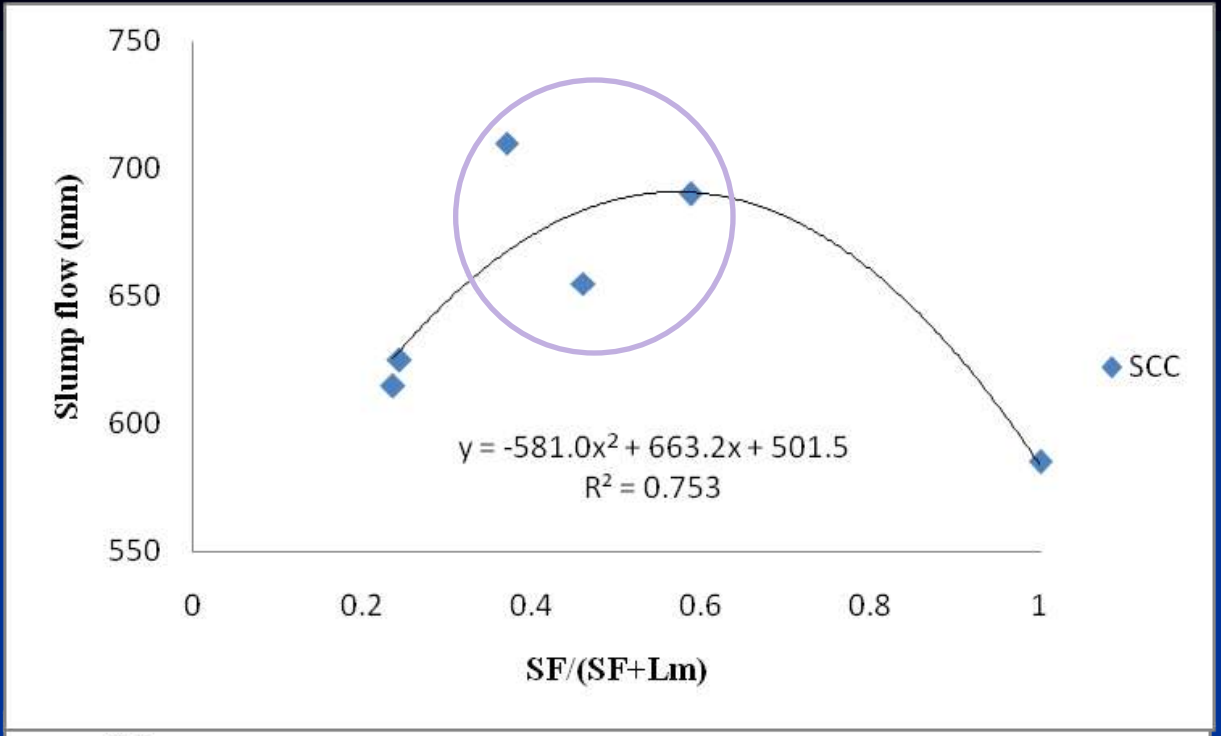
در این تحقیق بر روی تعیین نسبت بهینه این دو پودر نیز بررسی هایی صورت گرفت. بدین منظور یک سری از طرح اختلاط های بتن خودتراکم با خصوصیات تقریباً یکسان مقایسه شدند.

مقاومت فشاري

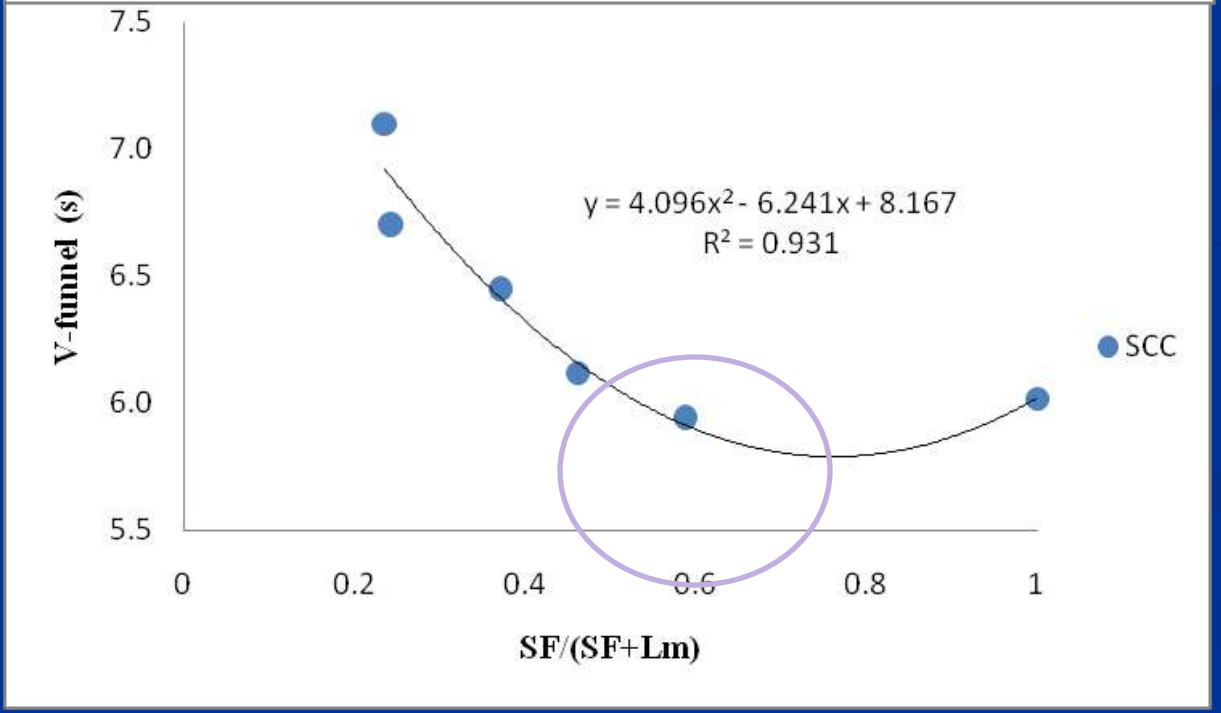


مقاومت كششي





جریان اسلامپ



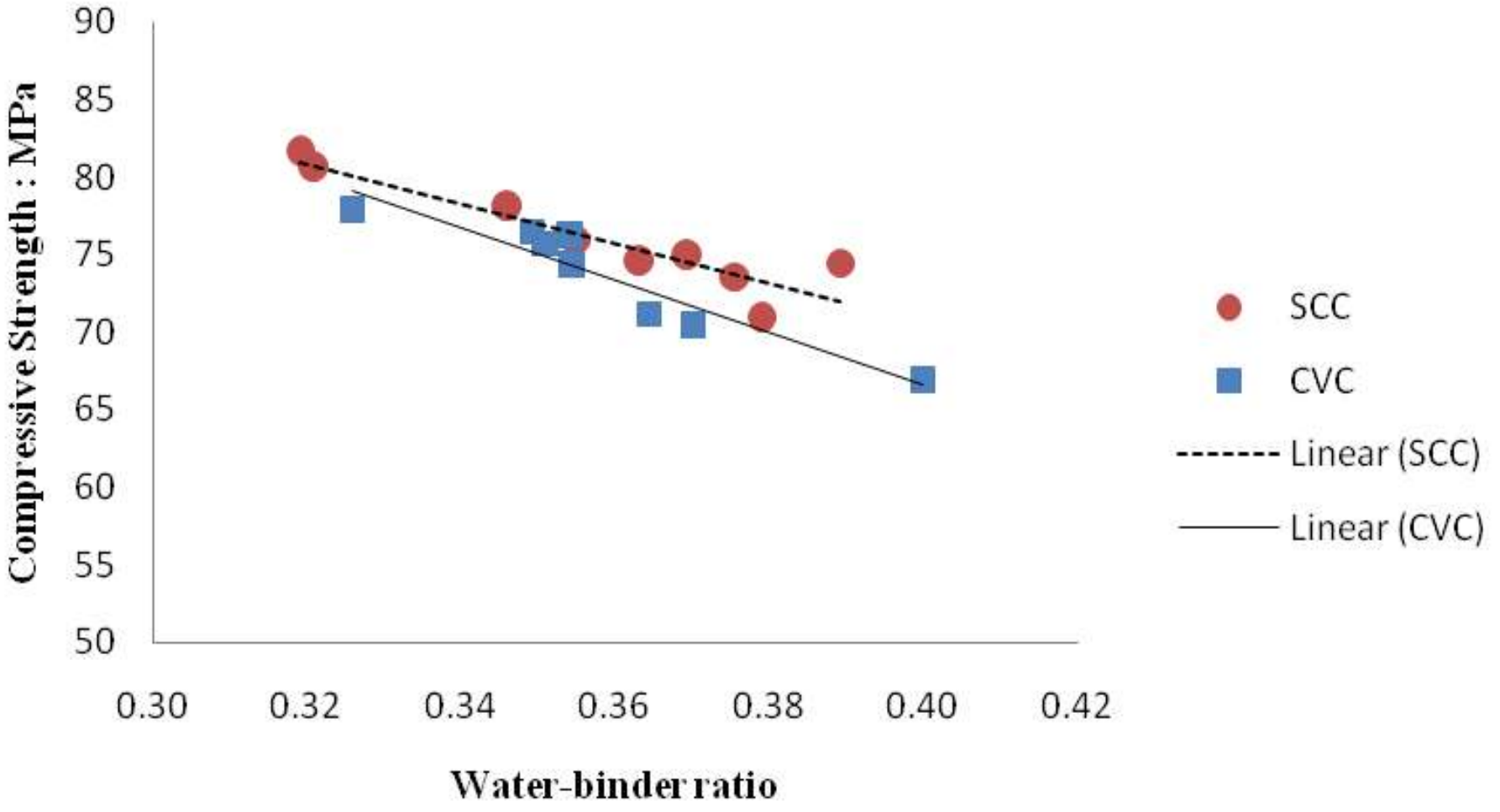
نسبت ارتفاع در جعبه L-Box

با توجه به نتایج بدست آمده :

بهترین نسبت پودر میکروسیلیس به مجموع دو پودر سنگ آهک و پودر میکروسیلیس بطوریکه بیشترین مقاومت فشاری و همچنین بیشترین مقدار روانی بتن خودتراکم حاصل شود، و هیچ جداشدگی در بتن اتفاق نیفتد نسبت **مابین ۰/۷ تا ۰/۸** می باشد.

مقایسه بتن خودتراکم با بتن معمولی

مقاومت فشاری



مقایسه بازده مقاومتی بتن های خودتراکم و معمولی

بازده مقاومتی = نسبت مقاومت فشاری به عیار مواد سیمانی

شماره طرح	عیار مواد سیمانی(binder=SF+C)	مقاومت فشاری	بازده مقاومتی
SCC۱	۵۰۴	۷۰/۸۹۰	۰/۱۴۰۷
SCC۲	۵۰۷	۷۳/۵۹۳	۰/۱۴۵۱
SCC۳	۴۶۶	۷۴/۵۲۸	۰/۱۶۰۰
SCC۴	۵۱۴	۸۰/۵۸۰	۰/۱۵۶۸
SCC۵	۵۰۷	۷۵/۹۹۰	۰/۱۴۹۹
SCC۶	۵۸۹	۸۱/۶۰۰	۰/۱۳۸۵
SCC۷	۵۳۸	۷۸/۰۳۰	۰/۱۴۵۱
SCC۸	۴۸۹	۷۴/۴۶۰	۰/۱۵۲۴
SCC۹	۵۵۵	۷۴/۹۱۹	۰/۱۳۵۰
CVC۱	۴۷۵	۷۰/۳۸۰	۰/۱۴۸۳
CVC۲	۴۴۹	۷۴/۲۵۶	۰/۱۶۵۲
CVC۳	۴۲۳	۷۶/۵۰۰	۰/۱۸۰۷
CVC۴	۳۹۱	۷۶/۱۹۴	۰/۱۹۴۹
CVC۵	۴۷۰	۷۵/۷۵۲	۰/۱۶۱۲
CVC۶	۴۴۸	۷۷/۸۲۶	۰/۱۷۳۷
CVC۷	۴۶۰	۷۱/۱۹۶	۰/۱۵۴۹
CVC۸	۳۹۱	۶۶/۸۱۰	۰/۱۷۰۷

SCC<CVC

SCC :

MAX= 0.160

MIN= 0.135

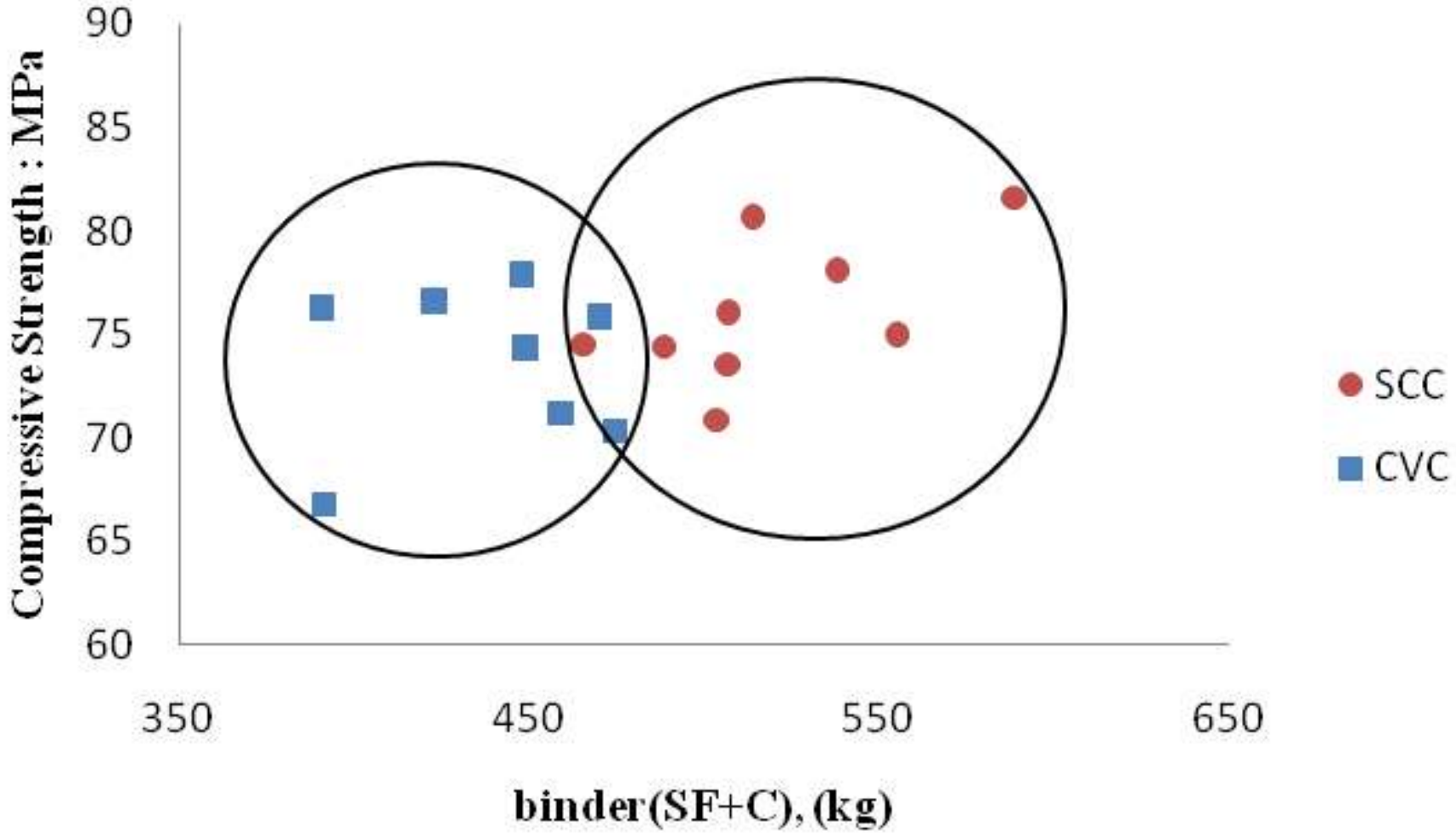
AVERAGE= 0.147

CVC :

MAX= 0.195

MIN= 0.148

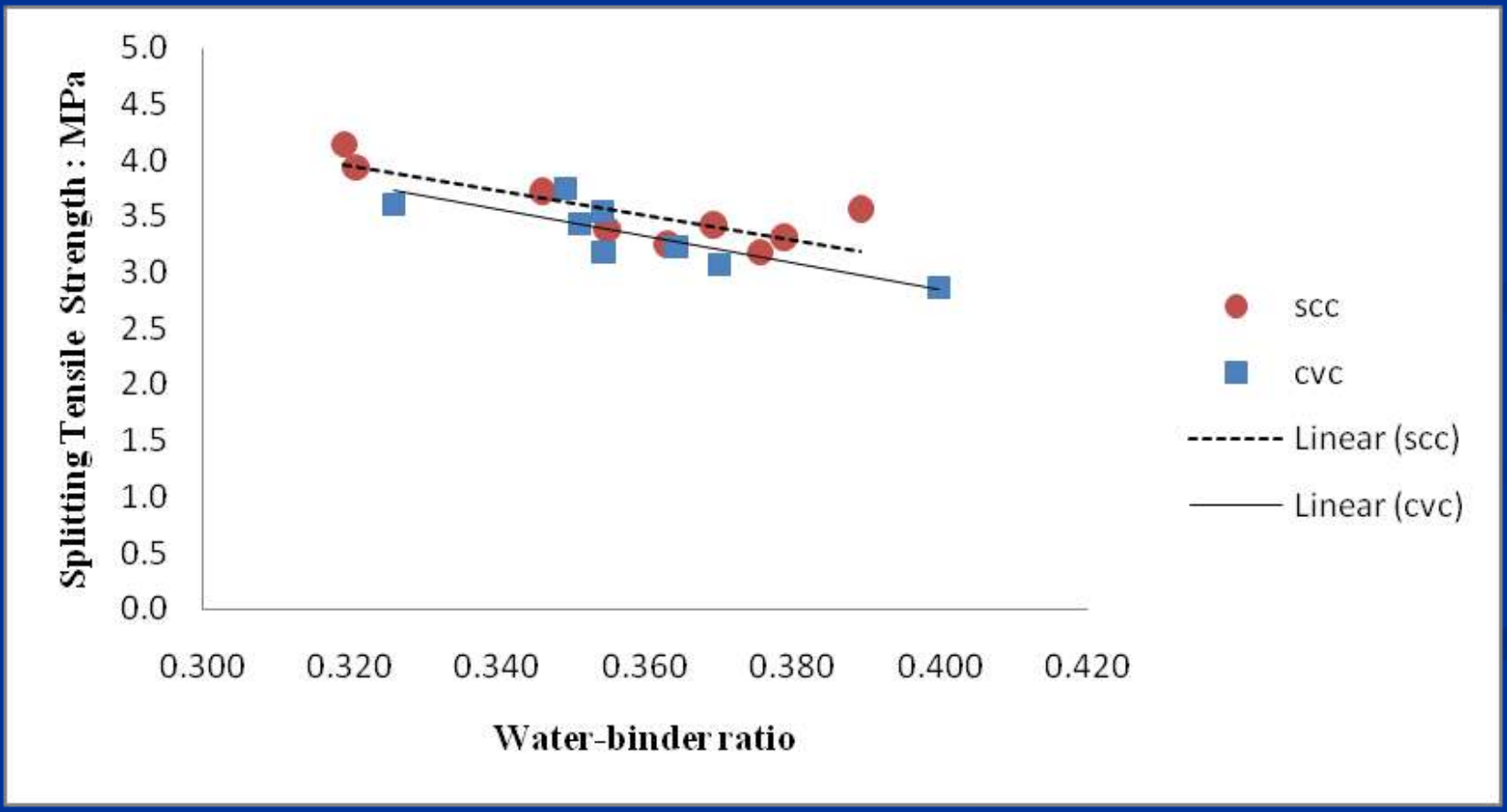
AVERAGE= 0.169



- مقدار اضافی میکروسیلیس در واکنش پوزولانی با سیمان شرکت نمی کند و فقط پرکننده است.
- پودر سنگ آهک نیز همانند میکروسیلیس اضافی به عنوان پرکننده عمل می کند و در بازده مقاومتی تاثیر ندارد.

مقاومت کششی :

یکی از اثرات اصلی میکروسیلیس در بتن بهبود یافتن ریز ساختار فصل مشترک دانه سنگی و خمیر سیمان می باشد. هنگامیکه میکروسیلیس به بتن افزوده می شود، بویژه در بتن با مقاومت زیاد، تغییرات قابل ملاحظه ای در ریز ساختار ناحیه انتقال رخ می دهد.



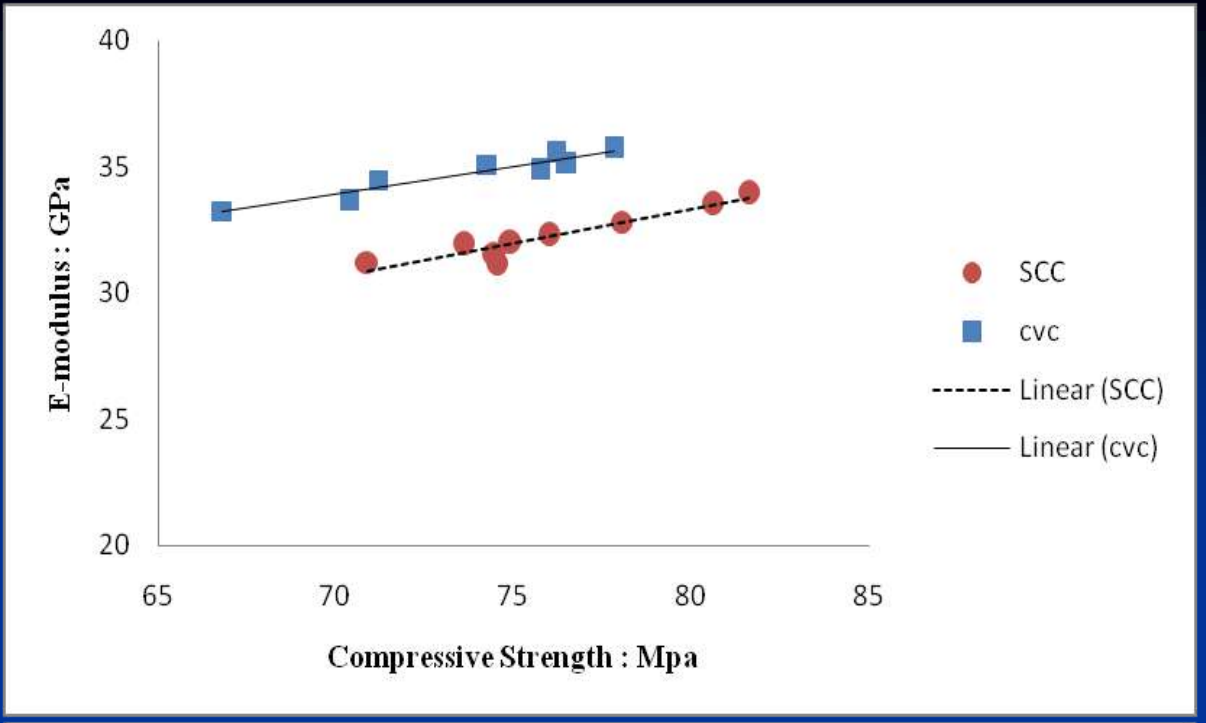
بحث در نتایج

مدول الاستیسیته :

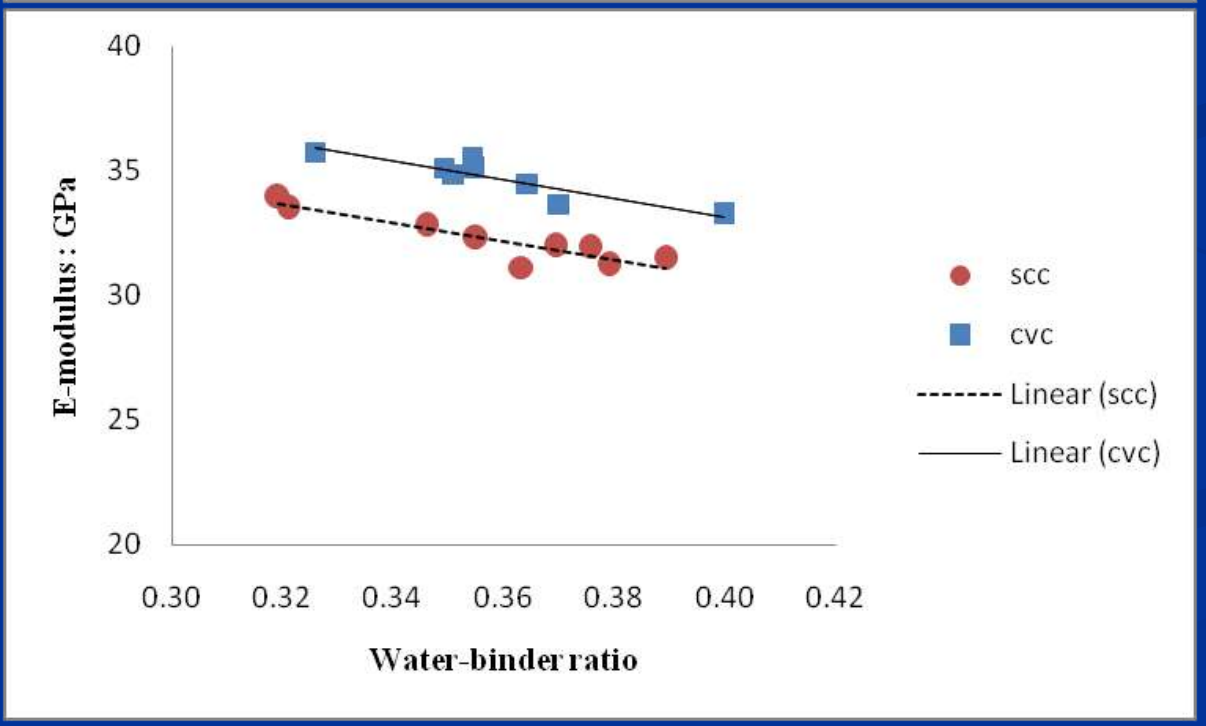
مدول الاستیسیته بتن،

به نسبت مدول الاستیسیته ترکیبات

و درصد آنها در حجم بتن بستگی دارد



حجم سنگدانه ها



SCC<CVC

دوام در برابرحمله سولفاتها

بر اثر حمله سولفاتها به محیط بتن امکان واکنش‌های زیر وجود دارد:

۱- تبدیل هیدروکسید کلسیم حاصل از هیدراتاسیون سیمان به سولفات کلسیم و متبلور شدن این ترکیب که همراه با انبساط و تخریب بتن می باشد. حجم مواد حاصل در این واکنش حدود ۱۲۴ درصد حجم مواد اولیه است.

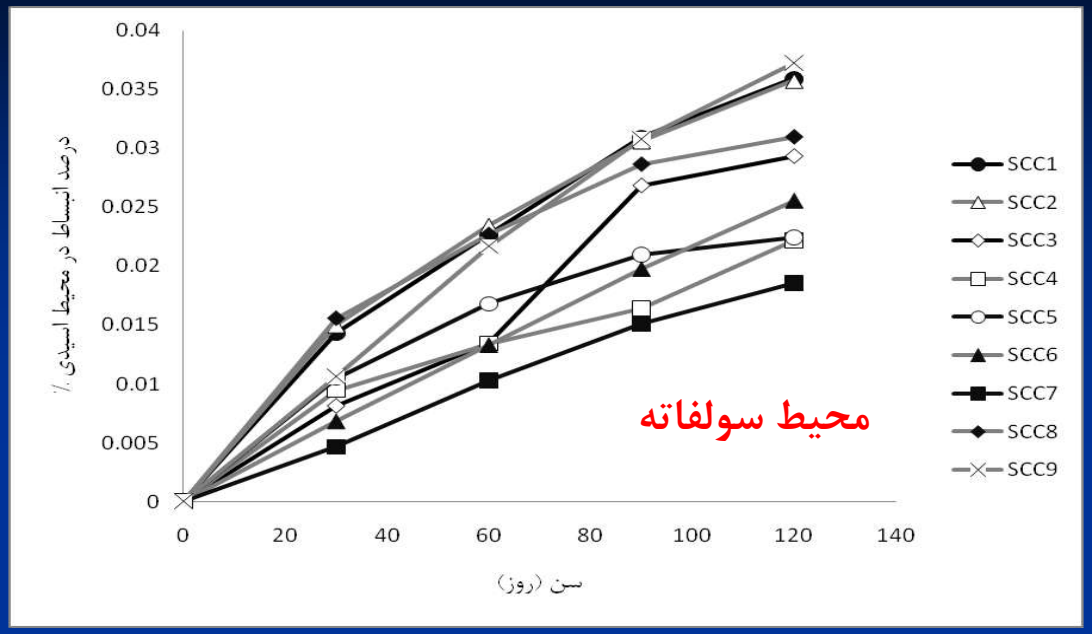
۲- تبدیل آلومیناتها و فریتهای کلسیم هیدراته شده به سولفور آلومینات کلسیم و سولفوفریت که این محصولات نیز حجم بیشتری نسبت به هیدرات‌های اولیه در بتن دارند و باعث انبساط و تخریب بتن می‌گردند.

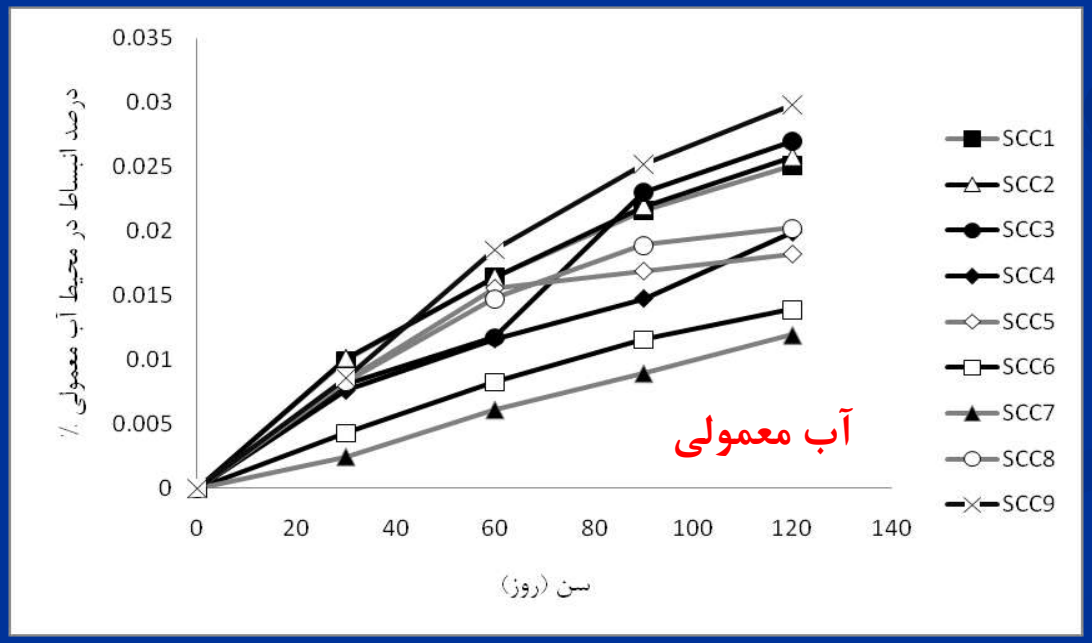
آزمایش دوام بتن

برای مقایسه میزان انبساط و انقباض نمونه های خودتراکم و معمولی، مطابق با استاندارد ASTM C1293-01 دوام نمونه های بتنی **در محیط سولفات سدیم ۱۰ درصد** و محیط آب خالص مورد بررسی قرار می گیرد. همچنین تاثیر سولفات سدیم و آب خالص در افزایش و کاهش وزن نمونه ها مورد بررسی و مقایسه قرار می گیرد.

دمای محیط سولفاته ۳۸ درجه سانتیگراد و دمای محیط آب بین ۲۰ الی ۳۰ درجه سانتیگراد منظور شد. میزان انبساط نمونه ها در ۵ زمان ۱، ۳۰، ۶۰ ، ۹۰ و ۱۲۰روزه قرائت شد.

دوام بتنSCC در محیط سولفاته و آب معمولی (انبساط در بتن) :

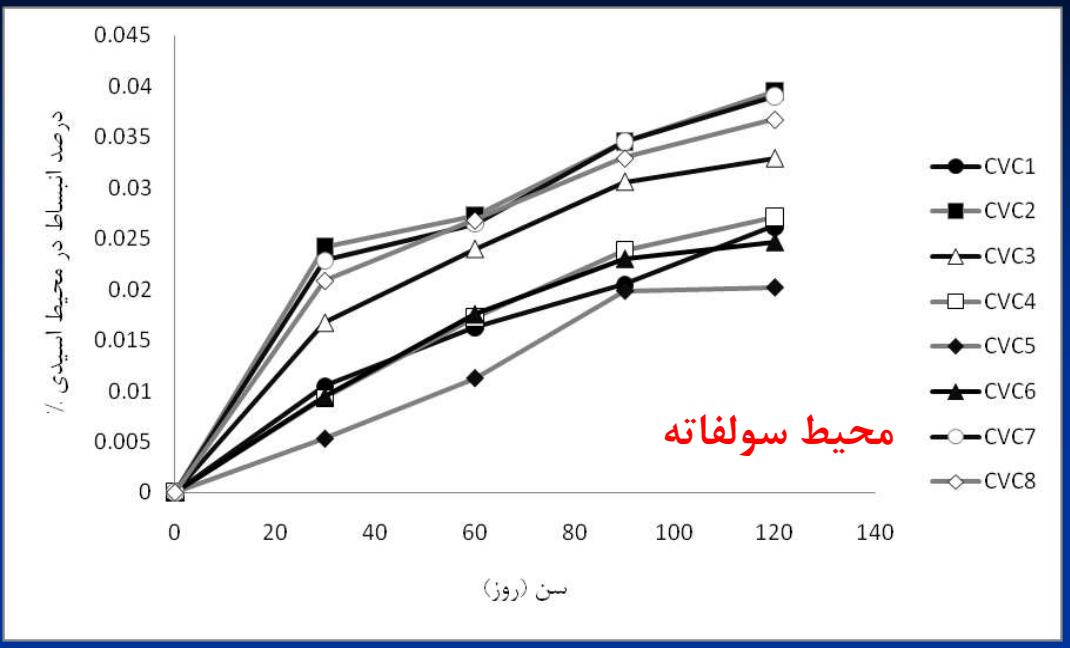




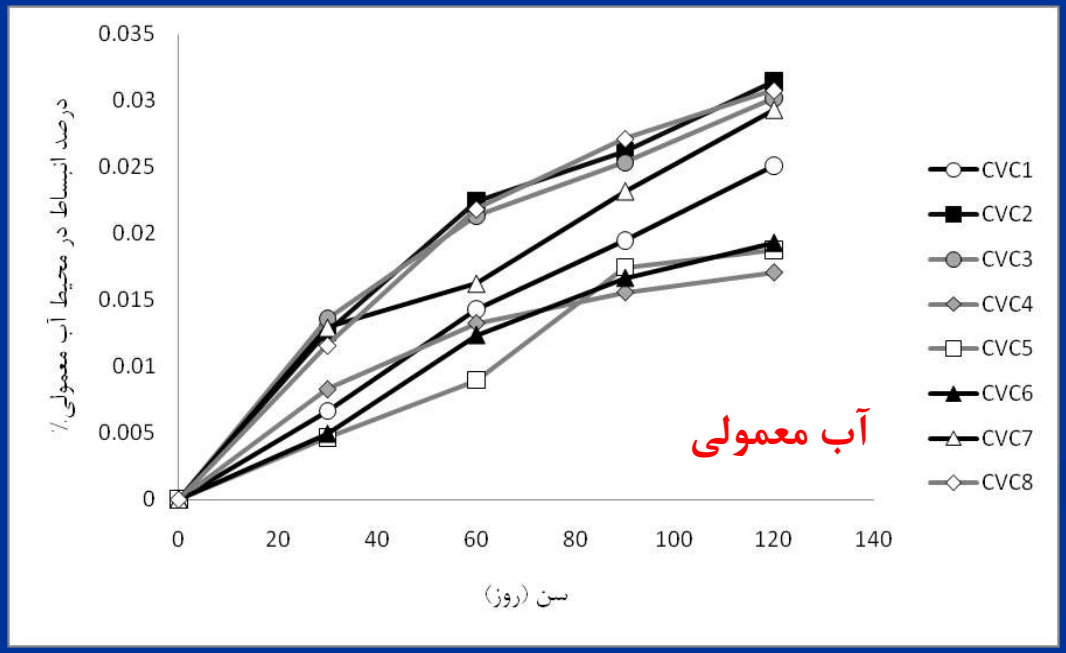
۳۸ درصد افزایش

بحث در نتایج

دوام بتنCVC در محیط سولفاته و آب معمولی (انبساط در بتن) :

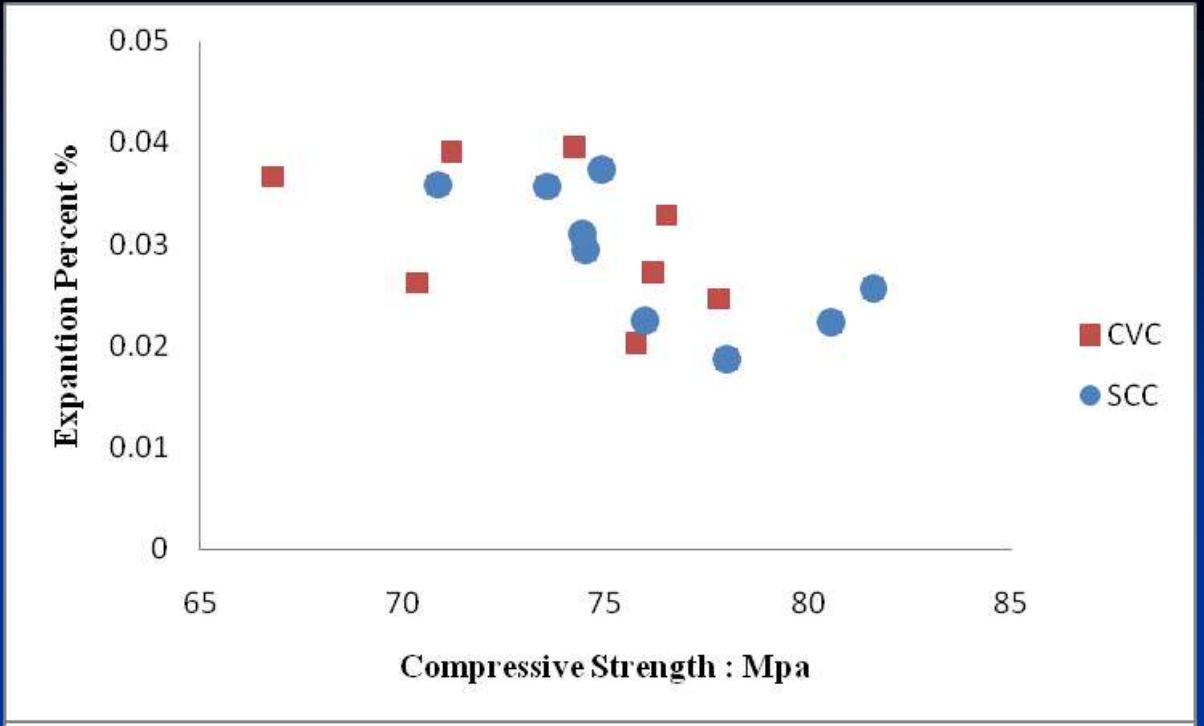


24 درصد



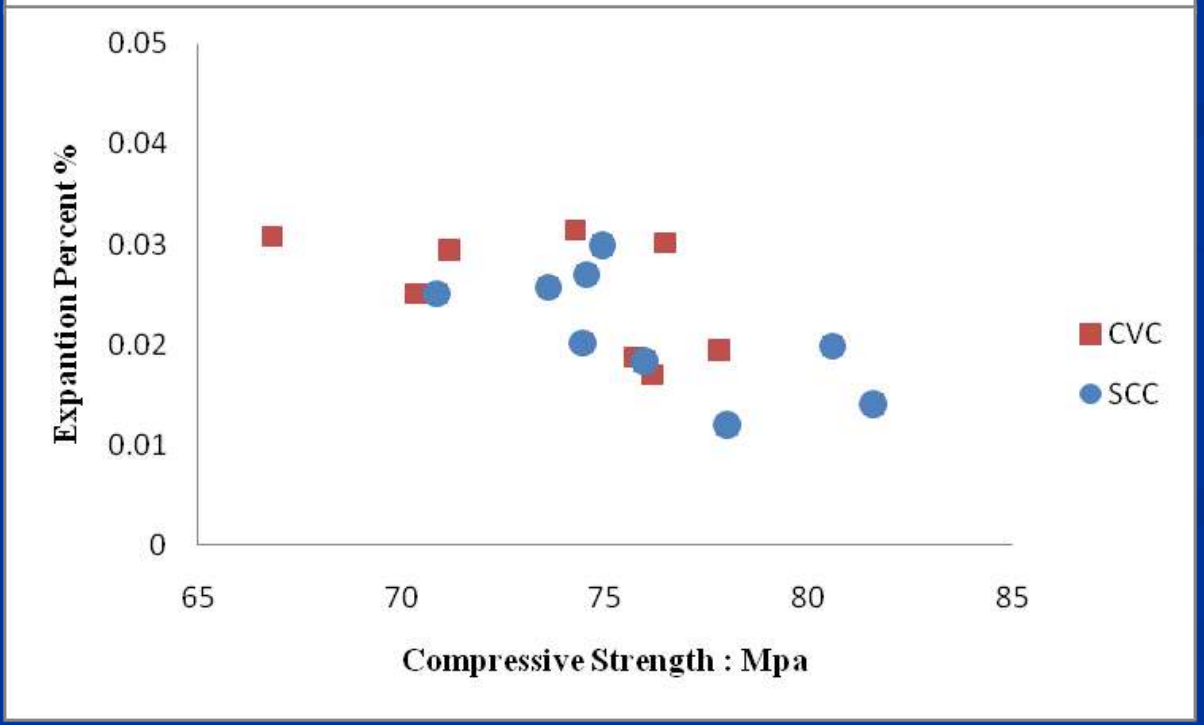
بحث در نتایج

محیط سولفاته :



بحث در نتایج

محیط آب معمولی :



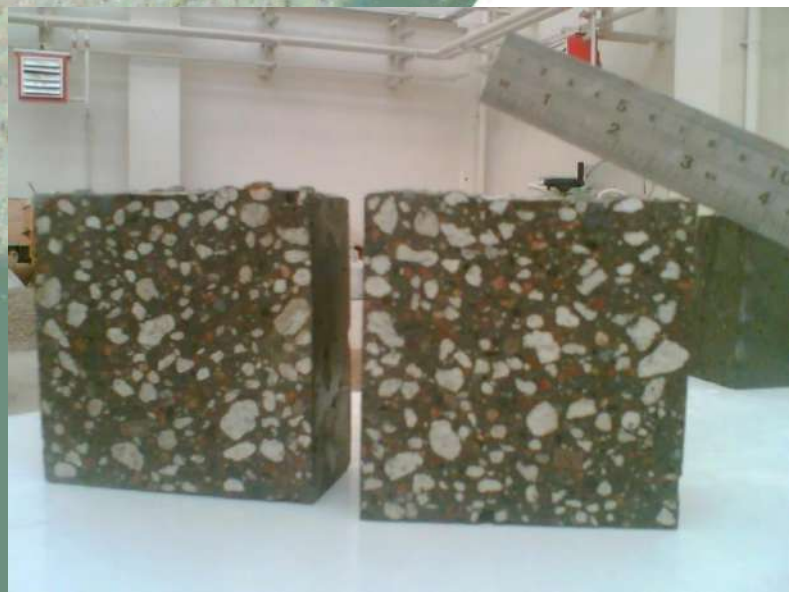
- مقدار میکروسیلیس
- حجم سنکدانه ها
- مقدار آب
- ریزدانه تربودن

حسن بتن خودتراکم در مقایسه با بتن معمولي از لحاظ دوام : بیشتر بودن مقدار میکروسیلیس آن

ضعف آن کمتر بودن حجم سنگدانه ها و آب زیاد آن مي‌باشد

موضوع :

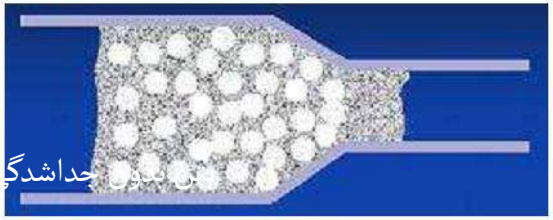
بتن خود تراکم سبك



خصوصيات بتن خود تراكم سبك

- قابليت پركنندگي
- قابليت گذرندگي (رواني نامحدود)
- مقاومت در برابر جداشدگي

بتن با جداشدگي



الف- انسداد سنگدانه ها

بتن با قابليت پركنندگي پس از قرار گيري ، سطحي نزديک به افق مي سازد

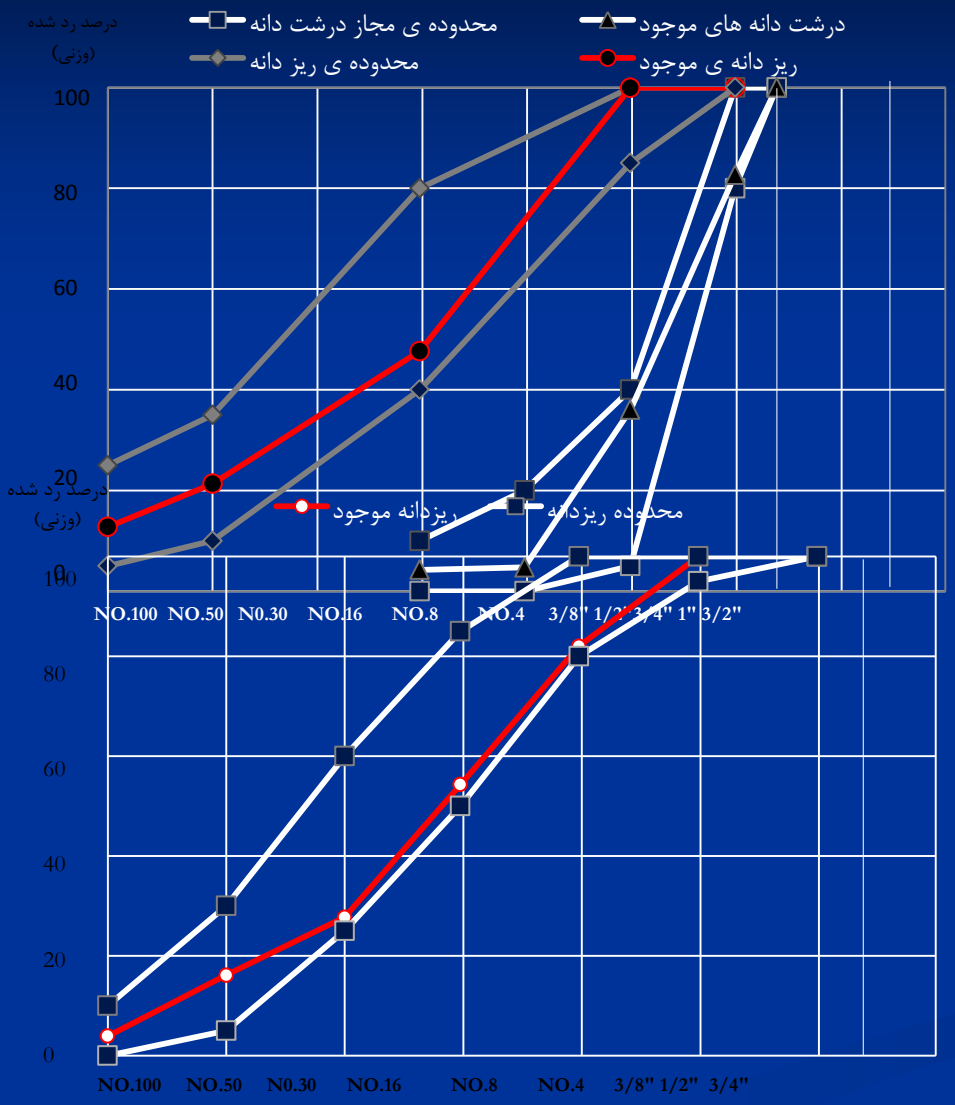
اجزاء تشكيل دهنده بتن خود تراكم سبك

- مصالح سنگي
  - شن و ماسه سبك
  - شن سبك و ماسه معمولي
- مواد افزودني شيميايي
  - فوق روان كننده
  - اصلاح كننده لزجت بتن(VMA)
- فيلرها
  - خاكسر بادي
  - ميكروسيليس
  - سرباره نرم كوره آهن گدازي
  - پودر سنگ
  - خاكستر پوسته ي برنج
  - ذرات ريز سنگ آهك معدني
  - پودر شيشه

طرح اختلاط بتن سبك خودتراكم و بتن سبك

- مواد و مصالح به کار رفته
- نتایج آزمایش ارزش ده درصد ریزدانه
- روش Void-Bulk Density
- ساخت ملات سبك خودتراكم (SCLM)
- طرح اختلاط بتن سبك خودتراكم و بتن سبك
- نتایج روش Void-Bulk Density

مواد و مصالح به کار رفته در بتن سبك خودتراكم و بتن سبك



❖ **مواد و مصالح به کار رفته**

1) درشت دانه :

درشت دانه سبك مورد استفاده در اين پروژه ، پوميس معدن بنه كهل است. حداكثر اندازه درشت دانه كمترين مقدار مجاز توصيه شده در استاندارد ASTM C330يعني 12.5 ميليمتر انتخاب شد.

2) ريزدانه:

در اين پروژه ريز دانه سبك پوميس بنه كهل (جهت ساخت ملات سبك خودتراكم) و همچنين ماسه رودخانه اي شسته معدن پيام مرند تبريز (جهت ساخت بتن سبك خودتراكم) بكار برده شدند.

مطابق نمودار دادنه بندي مدول نرمي ماسه پوميس بنه كهل 3.1 و مدول نرمي ماسه پيام مرند 3.16 بدست آمد.

مواد و مصالح به کار رفته در بتن سبك خودتراكم و بتن سبك

✓وزن مخصوص سنگدانه هاي مصرف شده در اين پروژه مطابق جدول زير مي باشد

نوع مصالح	وزن مخصوص انبوهي ميله انبوهي ميله نخورده (kg/m3)	وزن مخصوص انبوهي ميله انبوهي ميله خورده (kg/m3)
شن پوميس بنه كهل	457	517
ماسه پوميس بنه كهل	760	815
ماسه پيام مرند تبريز	1588	1715

آزمايش ارزش ده درصد ريزدانه براي انواع سبكدانه ها

علت اصلي انتخاب سنگدانه سبك بنه كهل در دسترس بودن آن در منطقه ميباشد. در اين تحقيق براي مقايسه بهتر بين انواع سنگدانه هاي سبك و طبيعي ، آزمايش ده درصد ريزدانه بر 5 نوع مصالح زير صورت گرفت:

1. سبكدانه پوميس معدن بنه كهل بستان آباد (تبريز)
2. سبكدانه پوميس معدن اسكندان (تبريز)
3. سبكدانه قروه سنندج
4. سبكدانه ليكا ساوه
5. شن طبيعي معدن پيام مرند تبريز

آزمایش تعیین ارزش ده درصد ریزدانه

آزمایش ارزش خرد شدن نسبت به تغییرات در مقاومت مصالح کم قدرت (یعني ارزش خرد شدن بیش از 25 تا 30) از حساسیت کافي برخوردار نیست زیرا قبل از اینکه تمام بار 400 kN به نمونه وارد آید مواد ضعیف تر خرد و متراکم مي شوند و لذا از خرد شدن بقیه مواد در جریان مراحل آخر آزمایش مي کاهند. بدین دلیل آزمایش ارزش ده درصد ریزدانه ابداع شده و در قسمت سوم آیین نامه BS 812 آمده است. در این آزمایش دستگاه استاندارد شده آزمایش خرد شدن بکار گرفته مي شود تا بار لازم جهت ایجاد ده درصد ریزدانه از ذراتیکه اندازه آنها بین 14 تا 10 میلیمتر (1.2 تا 3.8 اینچ) تعیین گردد. در این تحقیق از دستگاه UTM براي اعمال بار استفاده شده است.

مقدار فرو رفتن پیستون در قالب مذکور باید منجر به 7.5 تا 12.5 درصد مواد ریزدانه که از الك 2.36 میلیمتر (نمره 8 ASTM) مي گذرد گردد. اگر چنانچه y برابر درصد واقعي مواد ریزدانه در اثر حداکثر بار X تن باشد در اینصورت بار لازم براي ایجاد ده درصد ریزدانه مطابق با معادله زیر خواهد بود:

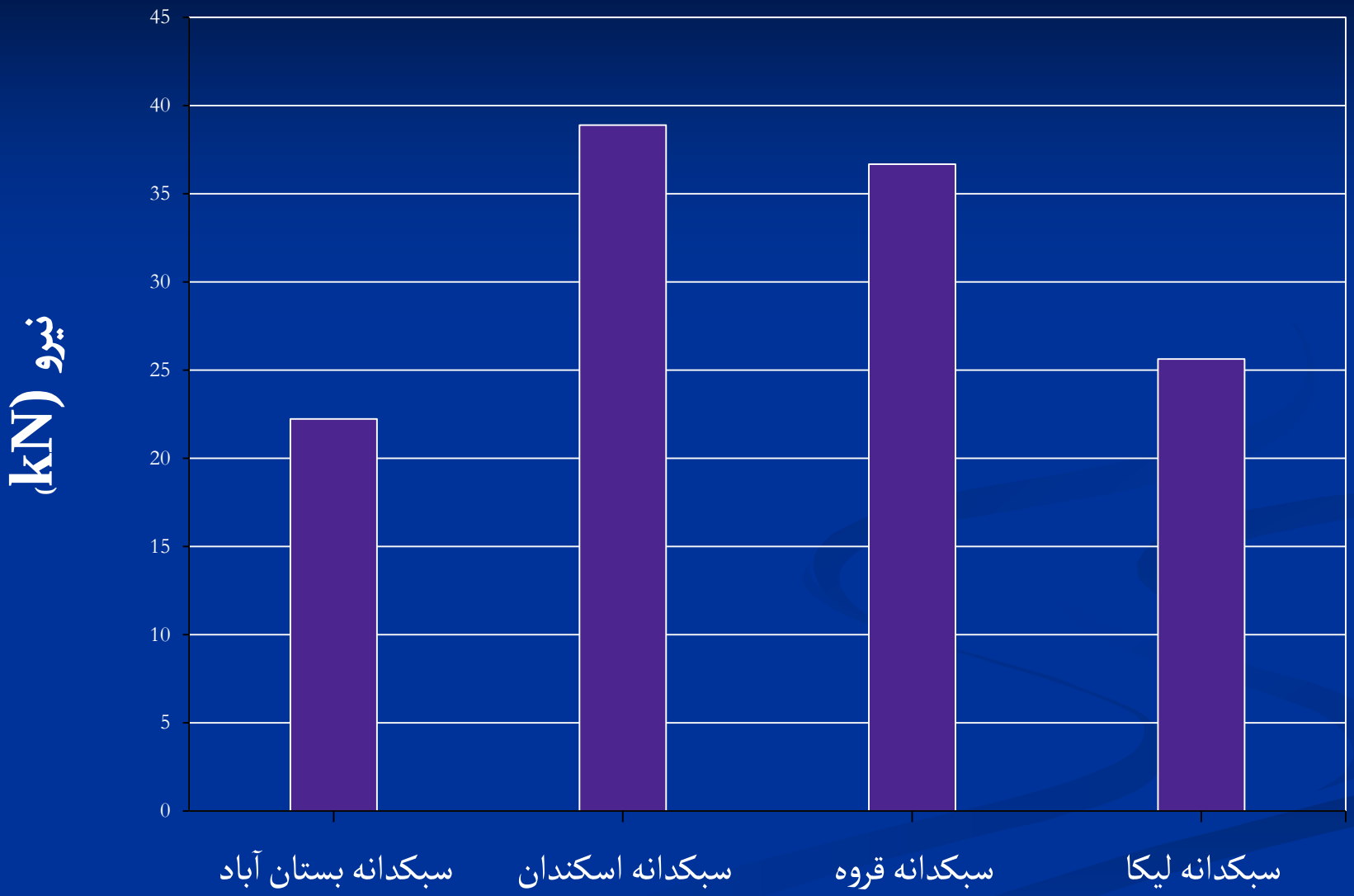
$$\text{بار لازم براي ایجاد ده درصد ریزدانه} = \frac{14x}{(y+4)}$$

آزمايش ارزش ده درصد ريزدانه براي انواع سبكدانه ها

سبكدانه ها

نوع مصالح مصالح	نام مصالح	نتايج آزمايشات	
		وزن مخصوص (سنگدانه هاي (سنگدانه هاي بين الك 1/2 الك 1/2 و 3/8 اينچ) اينچ)	نيرو (جهت ايجاد ده درصد kNدرصد ريزدانه)
سبك	معدن بنه كهل	453	22
	معدن اسكندان	728	39
	قروه سنندج	826	37
	ليكا ساوه	356	26
معمولي	معدن پيام مرند	1604	221

آزمایش ارزش ده درصد ریزدانه براي انواع سبکدانه ها



طرح اختلاط بتن سبك خودتراكم با استفاده از روش Void-Bulk Density

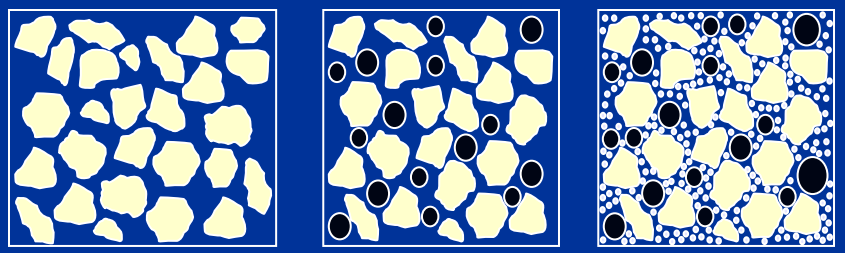
❖طرح اختلاط بتن سبك خودتراكم با استفاده از روش Void-Bulk Density

✓در اين روش با در دست داشتن ميزان حجم فضاي خالي بين سنگدانه ها ، مقدار مناسب پركننده ها كه عامل اصلي در رواني و جوگيري از جداشدگي مي باشد ، بدست مي آيد.

- ميزان مناسب حجم خمير سيمان
- جلوگيري از جداشدگي
- كاهش طرح اختلاط هاي آزمايشي

طرح اختلاط
Void-Bulk Density

$$V_p = V_{Excess} + Void - V_w - V_c$$

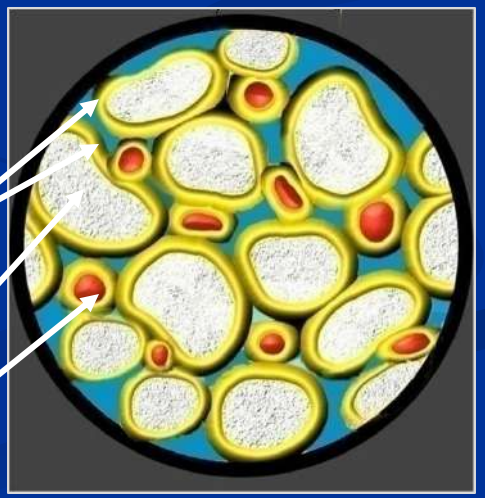


درشت دانه + ريزدانه + پودر

Excess) خمير اضافي
(Paste

(LWA) شن سبك

(Sand) ماسه طبيعي

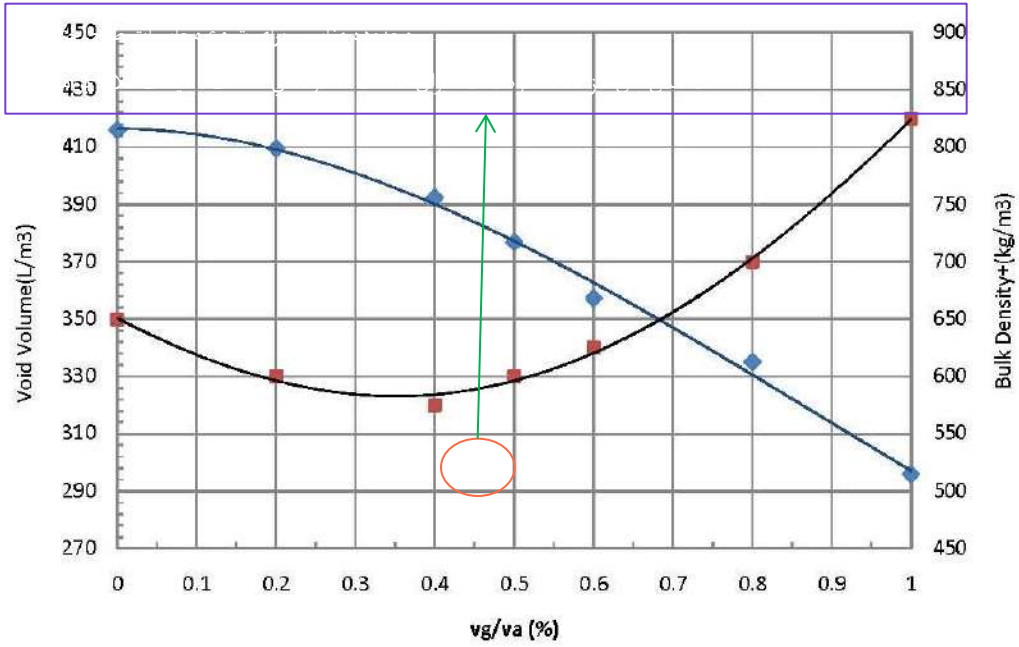


نوع سنگدانه :ریز دانه و درشت دانه سبک معدن بنه کهل

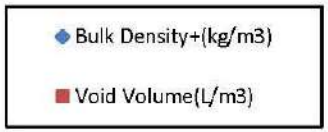
نمودار **Bulk Density** و **Void Volume** پایان نامه کارشناسی ارشد سازه

عنوان پایان نامه :مقایسه ی خصوصیات مکانیکی بتن خود تراکم سبک با بتن سبک با تراکم معمولی

دانشجو : علی ذکاوتی



❖ نمودار فوق نشانگر تاثیر نسبت حجمی سنگدانه های درشت دانه به کل سنگدانه ها (vg/va (%) بر روی Bulk density و میزان حجمی فضای خالی (Void Volume) است که برای نسبت های مختلف ترکیب ریزدانه ها و درشت دانه ها ی سبک بدست آمده است.



فرمول های برازش نودار های فوق:

Bulk Density+(kg/m3)

$y = 180.8x^3 - 475.3x^2 - 4.138x + 816.0$

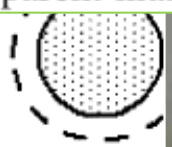
$R^2 = 0.994$

Void Volume(L/m3)

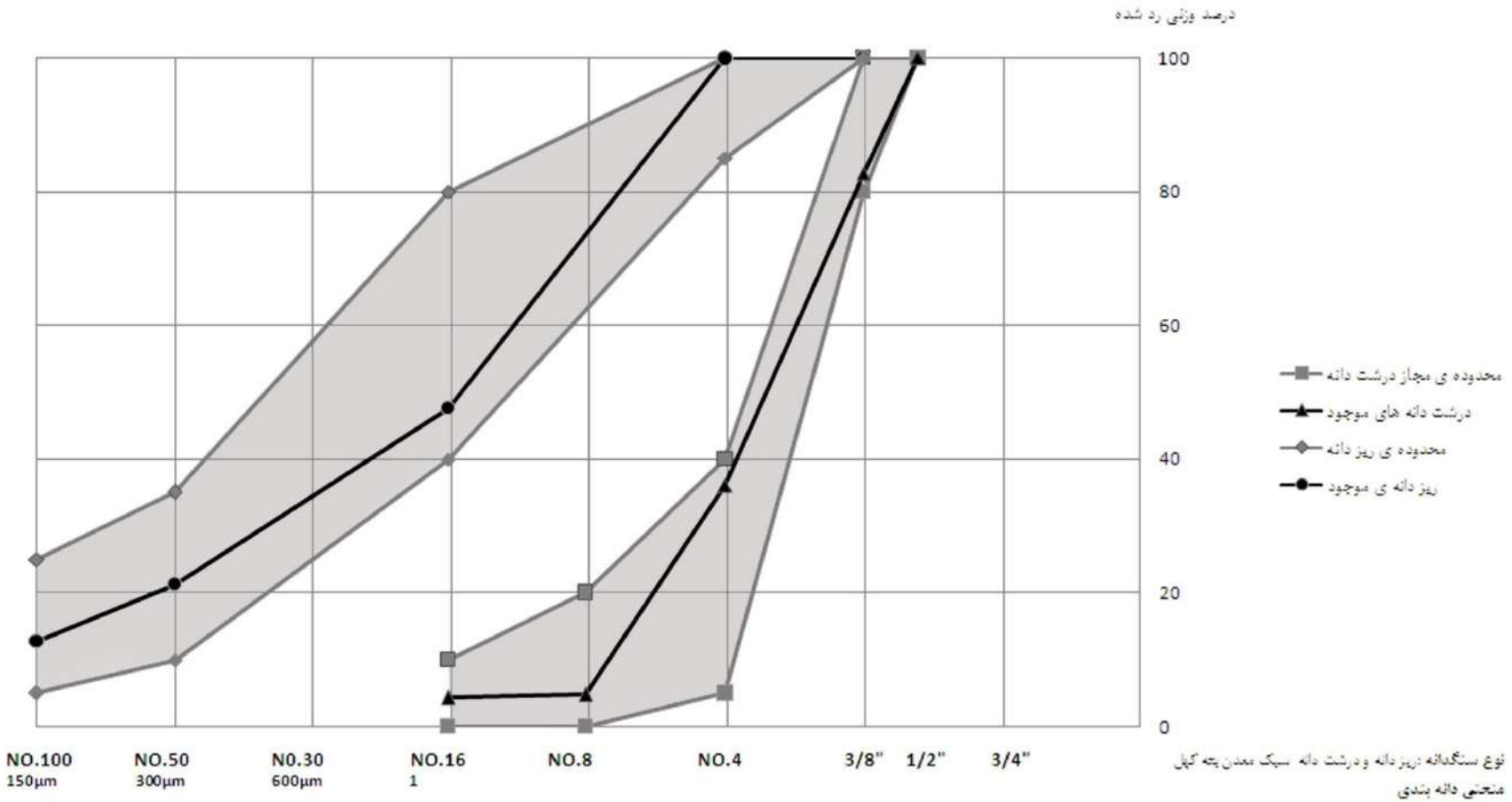
$y = -71.21x^4 + 130.8x^3 + 154.5x^2 - 144.7x + 350.3$

$R^2 = 0.996$

C = apparent mass of saturated test sample in water, g.



منحنی دانه بندی ریزدانه و درشت دانه پومیس بنه کهل و محدوده مجاز توصیه شده در استاندارد ASTM C330



نوع سنگدانه :ریز دانه و درشت دانه سبک معدن پته کهل

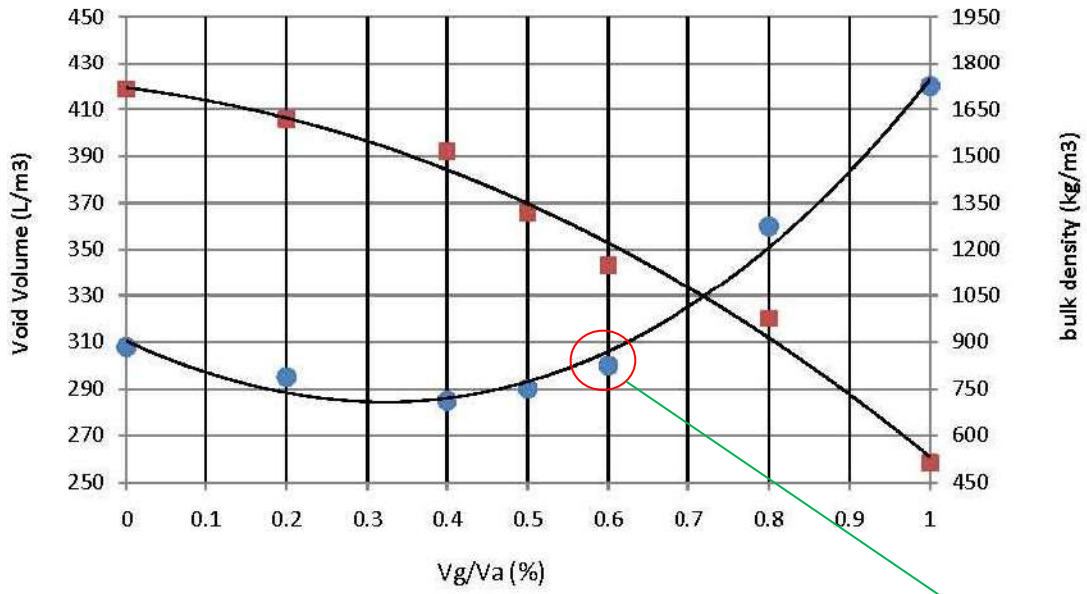
منحنی دانه بندی

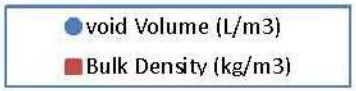
عنوان پایان نامه :

مقایسه ی خصوصیات مکانیکی بتن خود تراکم سبک با بتن سبک با تراکم معمولی

دانشجو : علی ذکاوتی

شن سبك و ماسه معمولي Bulk Density نمودار جديد





فرمول های برازش نودار های فوق:

Void Volume(L/m3)

$y = 52.08x^3 + 215.9x^2 - 155.5x + 310.4$

$R^2 = 0.987$

Bulk Density (kg/m3)

$y = -48.20x^3 - 815.4x^2 - 323.8x + 1719.$

$R^2 = 0.987$

نوع سنگدانه :درشت دانه سبک معدن پنه کهل و ریزدانه ی معمولی

نمودار **Bulk Density** و **Void Volume** پایان نامه کارشناسی ارشد سازه

عنوان پایان نامه :مقایسه ی خصوصیات مکانیکی بتن خود تراکم سبک با بتن سبک با تراکم معمولی

دانشجو : علی ذکاوتی

مشکلات استفاده از بتن خودتراکم :

1- نبودن دانش فني كافي.

2- در دسترس نبودن افزودنی های خاص بتن SCC.

با تشکر از توجه شما