چرا بتن سبک ؟

- با کاهش وزن نیروی وارد بر سازه کاهش می یابد
- المان های سازه ای کوچکتری مورد نیاز است
- صرفه جویی در هزینه و فضا
- مناسب از نظر معماری
- بعضی از المان ها صرفا به عنوان جدا کننده یا پرکننده هستند مانند تیغه ها و بلوک های ساختمانی

تفاوت بتن سبک با بتن معمولی

- استفاده از سنگدانه های سبک و گاها مواد افزودنی خاص

- سنگدانه سبک :

  طبیعی مانند پومیس

  مصنوعی مانند لیکا

اجزاء بتن سبک

- سیمان
- سنگدانه
- آب
- مواد افزودنی

تاریخچه استفاده از بتن سبک

- اولین بار در زمان روم باستان در معبد پانتئون و ورزشگاه کلوزیوم از پومیس که نوعی مصالح سبک است استفاده کرده اند.
- در اوایل قرن بیستم سبکدانه های مصنوعی تولید شدند.
- در سال 1970 ساخت بتن سبکدانه یا مقاومت بالا آغاز شد.

طبقه بندی بتن سبک بر مبنای مقاومتی

- بتن‌های سبک از دیدگاه مقاومتی در سه دسته طبقه‌بندی می‌شوند
  - بتن سبک غیرسازه‌ای
  - بتن سبک سازه‌ای
  - بتن سبک با مقاومت متوسط

بتن سبک غیرسازه‌ای

- به عنوان جداسازهای سبک مورد استفاده قرار می‌گیرد،
- دارای جرم مخصوص کمتر از 800 کیلوگرم بر مترمکعب است.
- مقاومت فشاری آن حدود 0/35 تا 7 نیوتن بر میلیمترمربع می‌باشد.
- از معمولترین سنگدانه‌های مورد مصرف در این نوع بتن می توان به پرلیت (نوعی سنگ آذرین) و ورمیکولیت (ماده‌ای با ساختار ورقه‌ای شبیه لیکا)اشاره کرد.

بتن‌های سبک سازه‌ای

- دارای مقاومت و وزن مخصوص کافی می‌باشند
- می توان از آن‌ها در اعضای سازه‌ای استفاده کرد.
- این بتن‌ها عموماً دارای جرم مخصوصی بین 1400 تا 1900 کیلوگرم بر مترمکعب بوده
- حداقل مقاومت فشاری تعریف شده برای آنها 17 نیوتن بر میلیمتر مربع (مگاپاسکال) می باشد.
- در بعضی حالات امکان افزایش مقاومت تا 60 نیوتن بر میلیمتر مربع نیز وجود دارد.
- در مناطق زلزله خیز، آیین‌نامه‌ها حداقل مقاومت فشاری بتن سبک را به 20 نیوتن بر میلیمتر مربع محدود می‌کنند.

بتن‌های سبک با مقاومت متوسط

- از لحاظ وزن مخصوص و مقاومت فشاری در محدوده‌ای بین بتن‌های سبک غیرسازه ای و سازه‌ای قراردارند.
- به گونه‌ای که مقاومت فشاری آنها بین 7 تا 17 نیوتن بر میلیمترمربع و جرم مخصوص آن‌ها بین 800 تا 1400 کیلوگرم بر مترمکعب می باشد.

تاریخچه بتن سبک

- اولین استفاده رسمی بتن سبک در اروپا 2000 سال قبل توسط رومی ها در معبد پانتئون و در کانال های آب رم

انواع سنگدانه های طبیعی نسل اول

- پومیس
- اسکوریا
- توف

هم بصورت سنگدانه درشت بسیار ریزدانه : پوزولان

هم بصورت سنگدانه ریز

- سبکدانه ها در محدوده وسیعی از چگالی 50 تا 1000 کیلوگرم در متر مکعب

مزایای کاهش وزن سازه ها

- حجم فونداسیون و زمان ساخت کاهش می یابد
- صرفه جویی در هزینه ها
- اعضای پیش ساخته بزرگتری را با جرثقیل های کوچکتری می توان جابجا نمود
- عایق حرارتی مناسب

معایب:

- سبکدانه ها گرانند و سبک بودن و سهولت جابجایی باعث به صرفه شدن تولید و استفاده می شود اما با محاسبه هزینه کارگر و حمل و نقل

ویژگی های سبکدانه لیکا

- **شکل و بافت سطحی، تیز گوشه یا کاملاً گردگوشه بسته به نوع تولید، پوسته سطحی می تواند زبر یا صاف، متخلخل یا توپر باشد.**

- **لیکای گرد گوشه پوسته لعابی توپرتر و نازک و بخش میانی متخلخل تر و پر حجم تر دارد**
-
- **اندازه ذرات : حداکثر اندازه تا** 25 **میلی متر وجود دارد. ذرات خیلی ریزتر از** 15/0 **میلی متر نیز دارد.**

- **برای بتن سازه ای حداکثر اندازه** 16 **میلی متر و برای بتن پر مقاومت** 12 **میلی متر توصیه می شود. اختلاف کیفیت در لیکاهای سبک تر با توجه به اندازه آن ها بیشتر می باشد.**

- **به دلیل اختلاف در چگالی ذرات با اندازه های مختلف، لازم است دانه بندی بر حسب درصد حجمی انجام شود. لیکای ایران به صورت اندازه های** (3 - 0)، (10 - 3)، (20 - 10) **یا** (25 - 10) **میلی متر تولید و عرضه می شود.**

- **در اروپا گروه های** (4 - 0)، (8 - 4)، (16 - 8) **و** (32 - 16) **تولید می گردد**

- **معمولاً کاهش حداکثر اندازه به افزایش چگالی و مقاومت لیکا منجر می شود که کاملاً چشمگیر است**

وزن مخصوص انبوهی لیکا

- **غیر متراکم (شل)**

در دنیا (250-800) – **در ایران** (300 - 450)

- **متراکم**

چگالی ذرات

چگالی حجمی خشک در جهان (500 - 1550) **در ایران** (500 - 750)

چگالی حجمی SSD **در ایران** (650 - 900)

چگالی ظاهری

فاکتور چگالی (تابع زمان غوطه وری و رطوبت اولیه) در ایران 700 - 1500

جذب آب (تابع زمان) ــ دستورالعمل های متفاوت

- **لیکاهای اروپایی**

30 **دقیقه،** 5 **تا** 40 **درصد**

24 **ساعته،** 7 **تا** 41 **درصد**

- **لیکاهای امریکایی**

24 **ساعته،** 5 **تا** 25 **درصد**

- **لیکاهای ایران**

30 **دقیقه،** 10 **تا** 20 **درصد**

24 **ساعته،** 13 **تا** 32 **درصد**

جذب آب در محاسبه نسبت آب به سیمان اهمیت دارد. جذب آب 30 **دقیقه تا** 2 **ساعته در محاسبه منظور می شود**

ساختار بتن سبکدانه

- فاز خمیری (ماتریس)

مقاومت و مدول الاستیسیته بیشتر

- فاز ذرات (سنگدانه)

مقاومت و مدول الاستیسیته کمتر

- فاز وجه مشترک (ناحیه انتقالی)

کیفیت بهتر نسبت به بتن معمولی (اعتقاد برخی محققین)

اثر دوده سیلیسی در بتن

- **کاهش تخلخل میزان و اندازه در فاز خمیری (نظر اکثر علما)**
- **افزایش کیفیت وجه مشترک (نظر برخی علما)**
- **کاهش تحریک یون کلر (نظر برخی علما)**

خواص بتن حاوی لیکا

- **مقاومت فشاری (افزایش)**

مصرف عیار سیمان 400 **تا** 600

نسبت آب به سیمان کمتر از 0/45

کاهش حداکثر اندازه سنگدانه

افزایش مقاومت سنگدانه

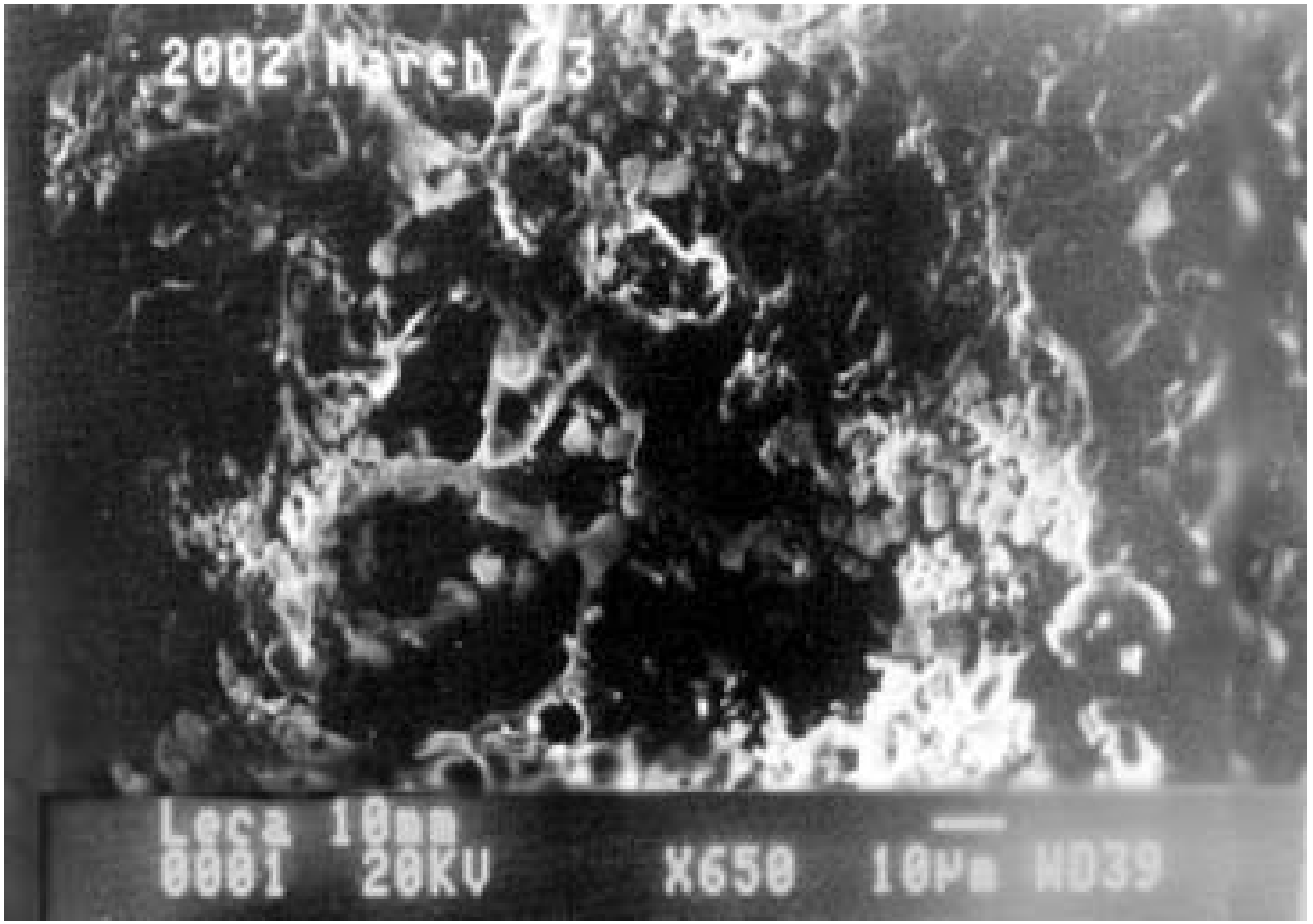
بکارگیری ماسه طبیعی

بکارگیری دوده سیلیسی

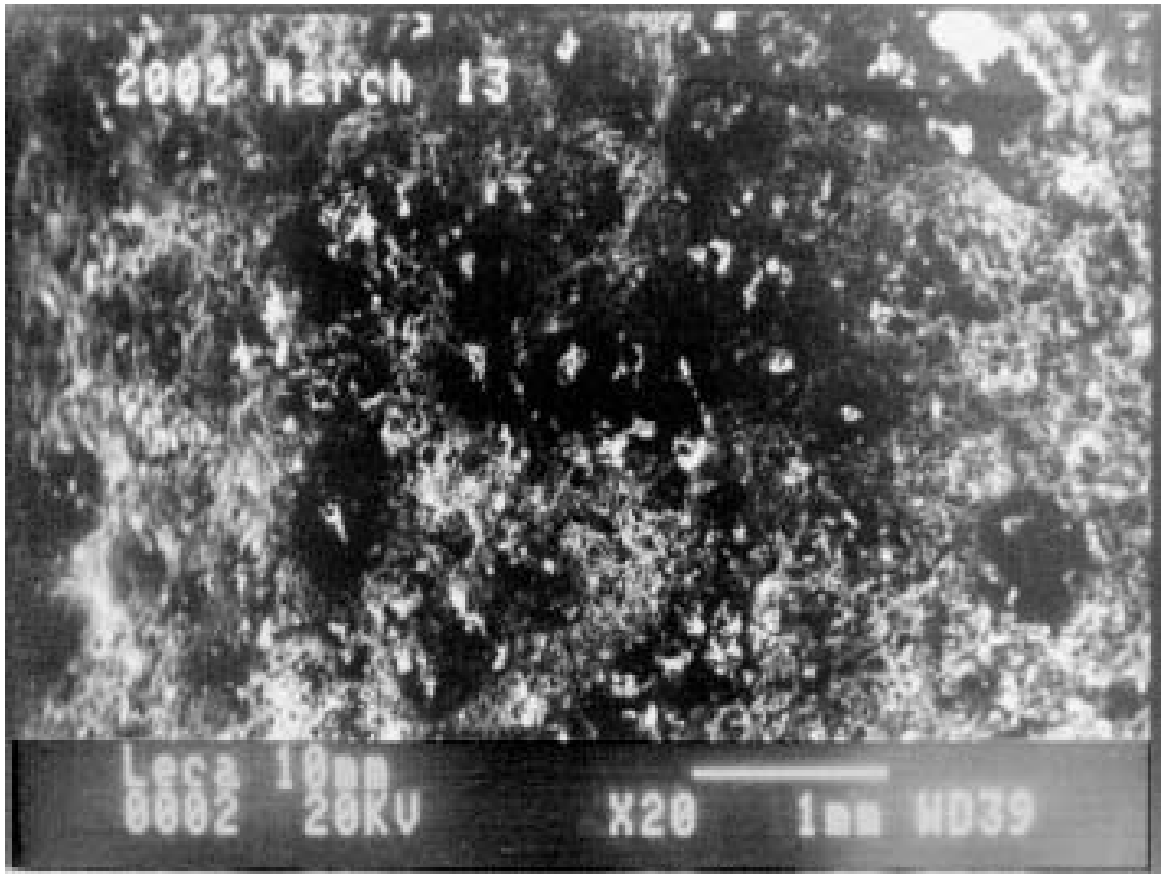
محدودیت افزایش مقاومت فشاری بتن حاوی لیکا در ایران

- سبکی و پوکی لیکای ایران
- ضعف لیکای ایران
- مقاومت فشاری بتن حاوی لیکا در ایران

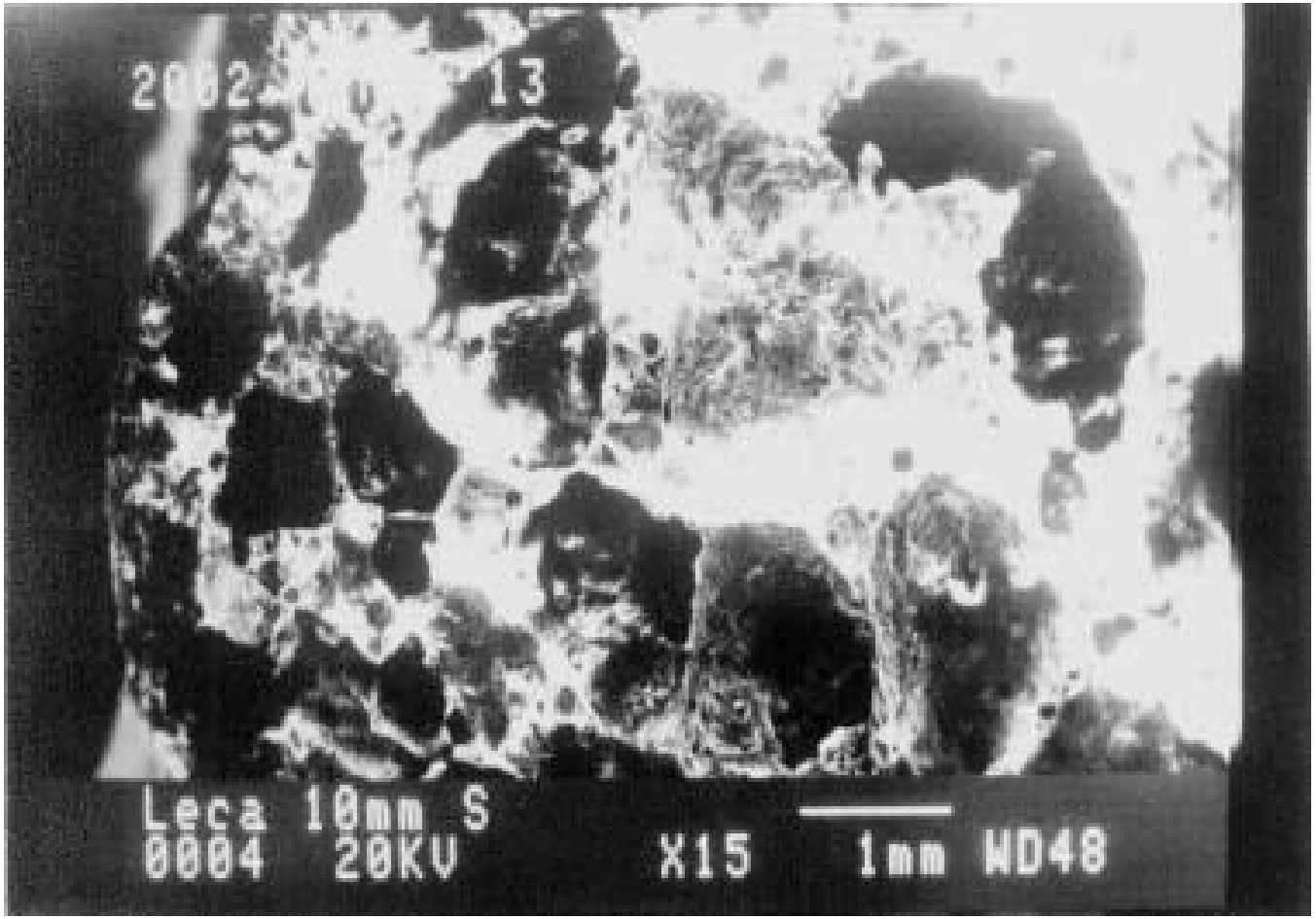
	مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن		دانشگاه علم و صنعت	دانشگاه خواجه نصیر	
نوع بتن	تمام سبکدانه	نیمه سبکدانه	تمام سبکدانه	نیمه سبکدانه	نیمه سبکدانه
W/C	بیش از 0/45	بیش از 0/39	-	0/37	0/37
چگالی خشک kg/m^3	حداکثر 1425	حداکثر1670	1650	1490	1430
مقاومت 28 روزه kg/cm^2	حداکثر مکعبی 195	حداکثر مکعبی275	220	174	206
عیار سیمان	حداکثر 525	حداکثر545	حداکثر400	550	550
افزودنی	-	-	-	-	%10 میکروسیلیس



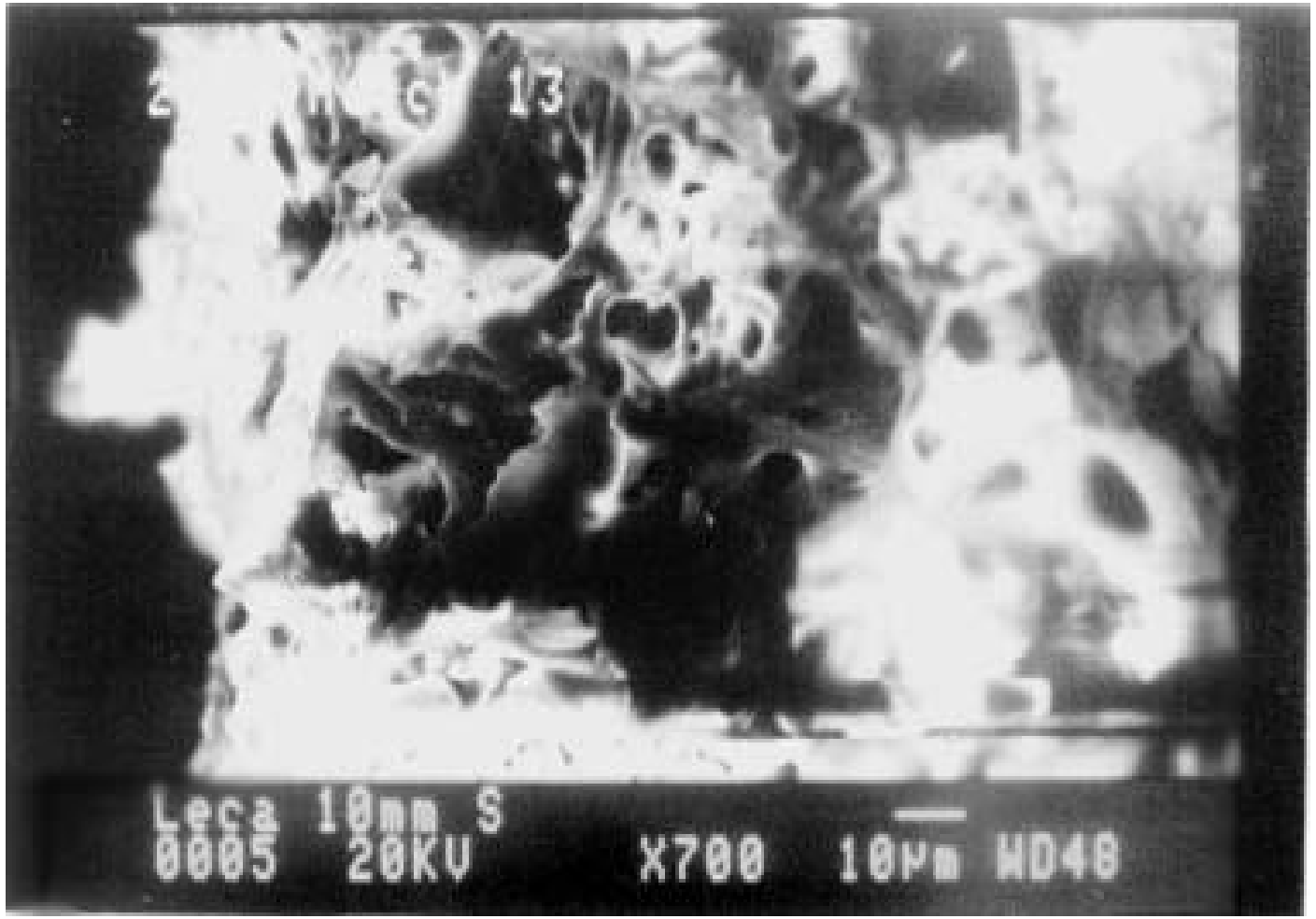
نمای سطح لیکای 10 میلی متری با بزرگنمایی 650



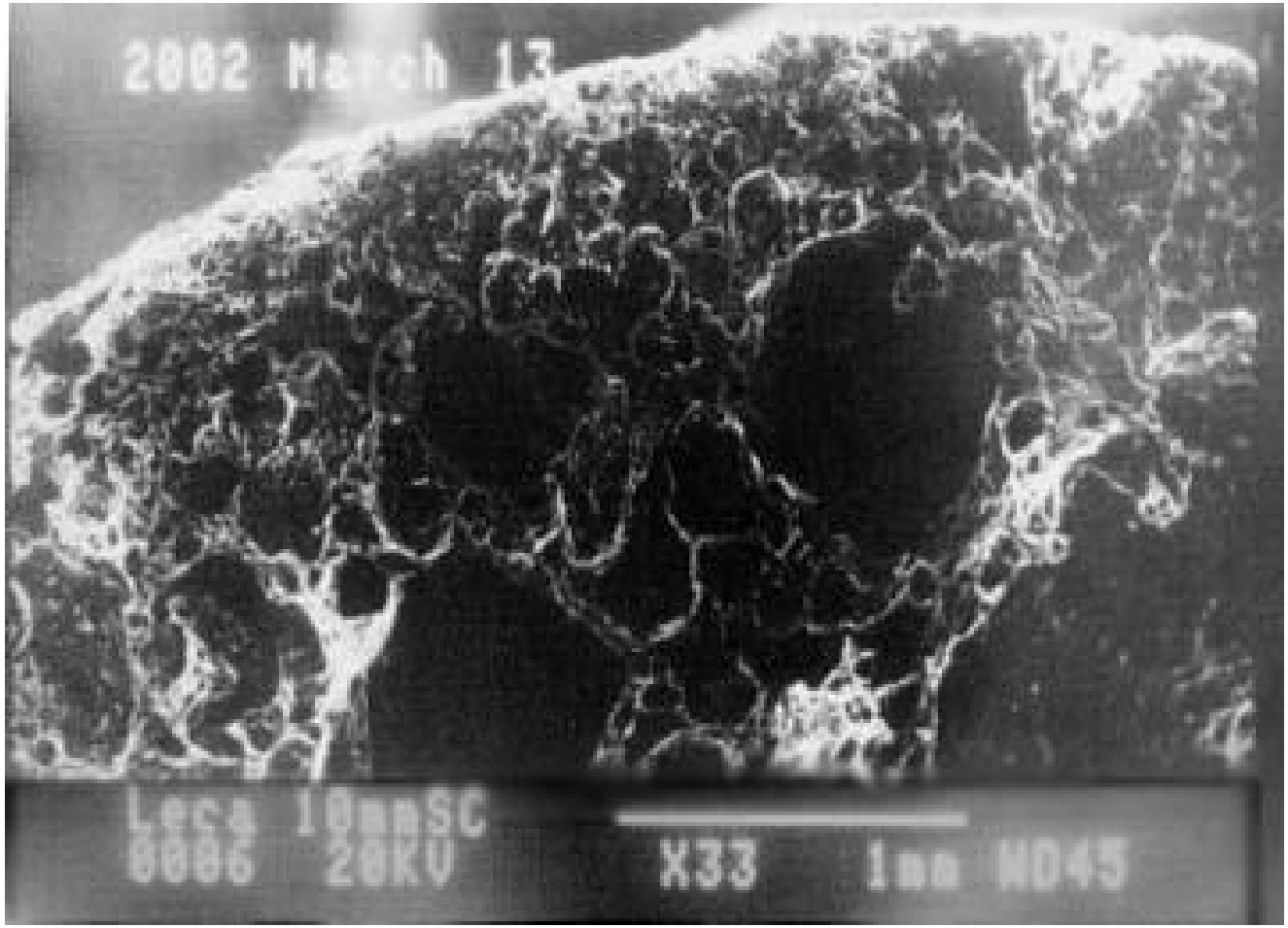
نمای سطح شکسته لیکای 10 میلی متری با برزگنمایی 20



مقطع برش خورده (شکسته) لیکای 10 میلی متری با بزرگنمایی 700



سطح مقطع شکسته لیکای 10 میلی متری (جداره) با بزرگنمایی 700



سطح مقطع شکسته لیکای 10 میلی متری با برزگنمایی 23

ریز ساختار بتن سبکدانه

بتن سبکدانه به نسبت بتن معمولی : دارای پیوند بین ماتریس و سنگدانه قویتر

علت : خود سبکدانه باعث عمل آوری می شود

مقداری خمیر به داخل سنگدانه متخلخل نفوذ می کند

این امر باعث می شود ناحیه انتقال در این بتن بسیار کوچکتر و شکست بتن در سنگدانه سبک اتفاق بیفتد

سنگدانه های مصنوعی :فرآیند حرارتی روی مصالحی که خواص انبساط پذیری دارند

انواع :

1- مصالح طبیعی منبسط شده در کارخانه مانند پرلیت . رس . اسلیت

2- تولیدات صنعتی مثل شیشه

3- محصولات جانبی صنایع مثل خاکستر روباره منبسط شده – خاکستر بادی

- رس منبسط شده لیکا و لیاپور
- لیکای سوئدی
- لیکای نروژی

- تولید از خاکستر بادی : لیتاژ

طرح اختلاط

انواع روش های تولید بتن سبک

- استفاده از سنگدانه سبک به جای سنگدانه معمولی : بتن سبک سازه ای و غیر سازه ای
- استفاده از گاز یا کف ایجاد شده در داخل بتن ← بتن کفی یا گازی
- بتن سبک با حذف ریزدانه ها ← ایجاد تخلخل ← بتن بدون ریزدانه

مشکلات موجود در طرح اختلاط بتن سبک سازه ای

- ایجاد جداشدگی بین دانه های سبک و سایر اجزا به علت وزن مخصوص کم
- جذب آب سمگدانه ها از آب موجود در خمیر سیمان

- هر چه چگالی سنگدانه سبک بیشتر ← مقاومت فشاری بتن بیشتر

پس در بتن سبک سازه ای

- از سنگدانه سبک با چگالی تا حد امکان بالاتر استفاده می شود

روش طرح اختلاط

- گام اول : میانگین مقاومت فشاری:

$$m \geq f_{ck} + \lambda s_n$$

که در آن :

- m میانگین مقاومت نمونه ها
- S_n انحراف معیار استاندارد مقاومت نمونه ها
- f_{ck} مقاومت مشخصه بتن
- λ ضریبی که به تعداد نمونه ها در تحلیل آماری بستگی دارد

گام دوم : مقاومت میانگسن سبکدانه ها :

$$f_{la} = a10^{bp/1000}$$

- a و b ضرائبی که از جدول بدست می آیند و ρ چگالی سبکدانه بر حسب kg/m^3 است.

جدول

جدول ۴-۲- ضرایب a و b مورد استفاده در معادلهٔ (۸).

شمارهٔ سنگدانه	a	b
۱	۱٫۵۲	۱٫۴ (۱٫۰۸ , ۱٫۰۳)
۲	۱٫۱۲	۱٫۲۲ (۱٫۱۶ , ۱٫۱۱)
۳	۱٫۰۰	۱٫۲۵(۱٫۱۵ , ۱٫۱۴)
۴	۰٫۸۹	۱٫۲۸ (۱٫۲۲ , ۱٫۱۷)

مقادیر نشان داده شده در پرانتز ضریب b با ۵ و ۱۰ درصد رطوبت سنگدانه است. درصد رطوبت روی مقدار b تأثیری ندارد و یا تأثیر آن بسیار محدود است. درصد رطوبت تاثیر می‌پذیرد. سنگدانه شماره ۳ دارای چگالی توده‌ای kg/m^3 ۳۰۰ است. سبکدانه‌ها نوعی رس منبسط شده با کیفیت مناسب است. دیگر سبکدانه‌ها ممکن است ضرائب متفاوتی داشته باشند و باید پس از آزمایش تعیین شود.

گام سوم: مقاومت فشاری ملات : با فرض سیمان پرتلند معمولی و ماسه طبیعی

$$\log f_{con} = v_{i1} . \log f_{la} + v_m . \log f_m$$

- که :
- f_{con} : مقاومت بتن
- f_{la} : مقاومت سبکدانه
- f_m : مقاومت ملات
- V_{la} :حجم دانه های سبک
- V_m : حجم ملات

گام چهارم : حجم خمیر سیمان

- در حدود 0/3 ± 0/02
- در صورت استفاده از میکرو سیلیس 0/32

تعیین عیار سیمان

$$C = ۱۰۰۰ . \nu_p / (۰٫۳۱ + W/C) \qquad Kg/m^۳$$

حجم ماسه

$$v_s = ۱ - (v_p + v_{la} + v_{air})$$

که در آن v_{la} حجم سبکدانه و v_{air} حجم هوای موجود در بتن است. به طور طبیعی حجم هوا ۱٫۵ – ۲ درصد از حجم کل بتن است. در بتن‌های با هوای اضافی وارد شده، کل حجم هوای اندازه‌گیری شده و یا محاسبه شده، در فرمول وارد می‌شود.

چگالی توده ای بتن

چگالی توده‌ای بتن. چگالی بتن را می‌توان از حاصل‌جمع وزن تمام اجزای بتن متراکم شده در یک متر مکعب آن به دست آورد و یا از فرمول زیر استفاده کرد:

$$\gamma_{con} = \nu_{la} \cdot \gamma_{la} + \gamma_M \cdot (1-\nu_{la})$$

یا

$$\gamma_{con} = \nu_{la} \cdot \gamma_{la} + \nu_M \cdot \gamma_M$$

که در آن

γ_{con} چگالی توده‌ای بتن،

γ_{la} میانگین چگالی دانه‌ای سبکدانه‌ها و

γ_M چگالی ملات

است.

مثال :

- بتن سبکدانه رده مقاومتی 25 مگاپاسکال(lc25) و چگالی خشک شده در آون 1/6 و میانگین چگالی توده ای سنگدانه ها 500 کیلوگرم در متر مکعب و چگالی دانه ای آنها 920

گام اول : میانگین مقاومت فشاری

$$m \geq f_{ck} + \lambda \cdot s_n$$

$$m \geq ۲۵ + ۱٫۴۸ \times ۰٫۰۷ \times m$$

با توجه به تعداد نمونه‌ها در آزمایش، انحراف معیار استاندارد (s_n) برابر ۷ درصد و ضریب λ برابر ۱٫۴۸ است.

$$m \geq ۲۷٫۹\ MPa \simeq ۲۸\ MPa$$

گام : مقاومت دانه های سبک

$$f_{la} = a \times ۱۰^{bρ/۱۰۰۰} = ۱٫۱۲ \times ۱۰^{۱٫۲۲ \times ۹۲۰/۱۰۰۰} = ۱۴٫۹\ MPa$$

نسبت آب به سیمان

$$W/C = log\ (۱۴۰/f_M) \ / \ ۰,۸۷ = log\ (۱۴۰ \ / \ ۴۲,۶) \ / \ ۰,۸۷ = ۰,۵۹$$

عیار سیمان

$$C = ۱۰۰۰ \times \nu_p \Big/ (۰٫۳۱ + W/C) = ۱۰۰۰ \times ۰٫۳۰ \Big/ (۰٫۳۱ + ۰٫۵۹)$$
$$= ۳۳۳\ kg/m^۳$$

حجم و وزن ماسه طبیعی

$$v_s = ۱-(v_p + v_{la} + v_{air}) = ۱-(۰٫۳۰ + ۰٫۴۰ + ۰٫۰۲) = ۰٫۲۸$$

$$۰٫۲۸ \times ۲۶۵۰ = ۷۴۲\ kg/m^۳$$

حجم و وزن سبکدانه

حجم سبکدانه = ۰٫۴۰ m^3/m^3

وزن سبکدانه = ۹۲۰ × ۰٫۴۰ = ۳۶۸kg/m^3

حجم توده‌ای سبکدانه = ۵۰۰ / ۹۲۰ × ۰٫۴۰ = ۰٫۷۳۶ m^3/m^3

جذب آب، ۳ درصد از ۳۶۸ kg سنگدانه خشک = ۳۶۸ × ۰٫۰۳ = ۱۱kg/m^3

i) اجزای بتن

در یک مترمکعب بتن متراکم شده (با مصالح خشک)، نسبتهای اختلاط به‌صورت جدول زیر است:

اجزای بتن	وزن (kg)	حجم (m^3)
سیمان پرتلند معمولی	۳۳۳	۰٫۱۰۴
آب اختلاط مؤثر، ۳۳۳ × ۰٫۵۹	۱۹۶	۰٫۱۹۶
آب جذب شده	۱۱	-
ماسهٔ طبیعی	۷۴۲	۰٫۲۸۰
سبکدانه	۳۶۸	۰٫۴۰۰*
هوا	-	۰٫۰۲۰
* حجم توده‌ای متراکم نشده m^3 ۰٫۷۳۶		

چگالی بتن متراکم شده تازه باید kg/m^3 ۱۶۵۰ باشد.

پس از ۲۸ روز، فرض می‌شود درجهٔ هیدراتاسیون، α برابر ۰٫۷ است. مقدار آب مقید شیمیایی با استفاده از رابطهٔ $W_n = \alpha\ ۰٫۲۵C = ۰٫۷ \times ۰٫۲۵ \times ۳۳۳ = ۵۸\ kg/m^3$ محاسبه می‌شود. وقتی که تمام سیمان هیدراته شود، ضریب $\alpha = ۱٫۰$ می‌شود.

چگالی بتن خشک شده در اجاق برابر جمع وزنی مصالح خشک به علاوهٔ آب مقید شیمیایی است. بنابراین چگالی خشک شده در اجاق برابر $۱۵۰۶ kg/m^3$ خواهد بود.

طرح اختلاط ها و نتایج مقالات

طرح اختلاط نمونه های بتنی

شماره طرح	کد طرح	W/C	سیمان(kg/m^3)	میکروسیلیس (kg/m^3)	آب(kg/m^3)	سبکدانه لیکا (kg/m^3)	چگالی مرطوب (kg/m^3)	مقدار روان کننده (درصد وزن سیمان)
۱	M-0.5-7	۰/۵	۳۷۲	۲۸	۲۰۰	۷۰۰	۱۵۰۰	۰
۲	M-0.4-7	۰/۴	۳۷۲	۲۸	۱۶۰	۷۰۰	۱۴۸۰	۰/۸
۳	M-0.3-7	۰/۳	۳۷۲	۲۸	۱۲۰	۷۰۰	۱۴۸۰	۱/۳
۴	M-0.5-10	۰/۵	۳۶۰	۴۰	۲۰۰	۷۰۰	۱۳۹۰	۲
۵	M-0.4-10	۰/۴	۳۶۰	۴۰	۱۶۰	۷۰۰	۱۴۲۱	۲
۶	M-0.3-10	۰/۳	۳۶۰	۴۰	۱۲۰	۷۰۰	۱۴۸۲	۲/۲
۷	M-0.5-0	۰/۵	۴۰۰	۰	۲۰۰	۷۰۰	۱۳۸۹	۰
۸	M-0.4-0	۰/۴	۴۰۰	۰	۱۶۰	۷۰۰	۱۳۰۲	۱/۵
۹	M-0.3-0	۰/۳	۴۰۰	۰	۱۲۰	۷۰۰	۱۴۱۶	۱/۵

نتایج آزمایش مقاومت فشاری نمونه های بتنی