

افزودنی ها

Admixtures



تعریف

- موادی غیر از عناصر اصلی تشکیل دهنده بتن (سنگدانه، سیمان، آب) که به مخلوط اضافه شده و یا به عنوان جایگزین مواد اصلی بکار می روند.
- تا ۸۰ درصد کل بتن تولید شده می تواند دارای یک یا چند ماده افزودنی که عرفاً استفاده می گردند باشد.
- مواد افزودنی از نظر ترکیب از تأثیرکننده های سطحی و نمک ها و پلیمرهای قابل حل، تا کانی های غیر قابل حل، و مواد طبیعی و مصنوعی دیگر متغیر می باشند.

اهمیت

- مواد افزودنی با دو هدف عمده در بتن به کار می روند:

- **تصحیح یا بهبود یک یا چند خاصیت بتنی:** بهبود کارایی، تسریع یا تعویق زمان گیرش، کنترل افزایش مقاومت، کاهش آب‌انداختگی و جداشدگی

- **جبران یک یا چند نقطه ضعف بتنی:** افزایش دوام بتن با زیاده‌تر کردن مقاومت در مقابل یخ‌زدگی، ترک‌خوردگی حرارتی، انقباض قلیایی سنگدانه، محلول‌های اسیدی و سولفاتی، خوردگی آرماتور

انواع

- در یک تقسیم بندی کلی، افزودنی ها به دو دسته اصلی تقسیم می شوند:

– افزودنی های شیمیایی (Chemical Admixtures)

– افزودنی های معدنی (Mineral Admixtures)

انتشار از کانال تلگرامی بتن پیشرفته
t.me/advancedConcreteTechnology

افزودنی های شیمیایی

Chemical Admixtures



افزودنی های شیمیایی

- مواد افزودنی شیمیایی از نظر مکانیزم عملکرد می توانند عمدتاً به دو نوع تقسیم شوند.

– بعضی از مواد شیمیایی فوراً از طریق تأثیر گذاردن بر روی کشش سطحی آب و به وسیله جذب سطحی ذرات سیمان، شروع به عمل بر روی سیستم سیمان- آب می کنند.

– سایر مواد، به مواد مشکله یونیشان تقسیم می شوند و بر واکنش های شیمیایی بین ترکیبات سیمان و آب از چندین دقیقه تا چندین ساعت بعد از افزودن آب، تأثیر می گذارند.

افزودنی های شیمیایی

• ASTM C 260: مواد شیمیایی حباب هوازا

• ASTM C 494: ۸ نوع

– نوع A، کاهنده آب

– نوع B، کندگیرکننده

– نوع C تسریع کننده

– نوع D کاهنده آب و کندگیرکننده

– نوع E کاهنده آب و تسریع کننده

– نوع F کاهنده آب قوی

– نوع G کاهنده آب و کندگیرکننده قوی

– نوع S کاربرد خاص

انتشار از کانال تکنولوژی بتن پیشرفته
t.me/advancedConcreteTechnology

تأثیر گذارنده های سطحی (Surfactants)

- افزودنی های شیمیایی هواز یا کاهنده آب عمدتاً از نوع تأثیر گذارنده های سطحی (مواد شیمیایی فعال در سطح یا ترسازها) هستند.
- این مواد شامل زنجیر بلند مولکول های آلی است که یک سر آن نمگیر (جاذب آب) و سر دیگر آن ضد رطوبت (دافع آب) است.
- سر نمگیر دارای یک یا چند گروه قطبی، مانند COO^- ، SO_3^- یا NH_3^+ است.
- مواد افزودنی آنیونی می توانند دارای زنجیر غیرقطبی و یا با زنجیر دارای گروه های قطبی باشند.

تأثیر گذارنده های سطحی

- زنجیر غیرقطبی به عنوان مواد افزودنی **حباب هوازا** و زنجیر قطبی به عنوان مواد افزودنی **کاهنده آب** به کار می رود.
- مواد تأثیر گذارنده سطحی در فصل مشترک هوا- آب و سیمان- آب، جذب سطحی شده و مولکول، جهت دار می گردد.
- نحوه جهت گیری مولکول تعیین می نماید که آیا اثر غالب، حباب سازی هوا است یا روان سازی سیستم سیمان- آب.

مواد حباب ساز (Air-Entraining Agents)

- ماده حباب هواساز یک افزودنی شیمیایی است که به منظور ایجاد سیستمی از

حبابهای هوا در بتن، ملات یا خمیر در موقع اختلاط بکار برده می شود:

– ترکیبات محلول در آب: رزینهای چوب، مواد پروتئینی، نمک اسیدهای نفتی، برخی

شوینده های مصنوعی، اسیدهای رزینی و چرب، نمک های آلی هیدروکربنهای

سولفوناتی

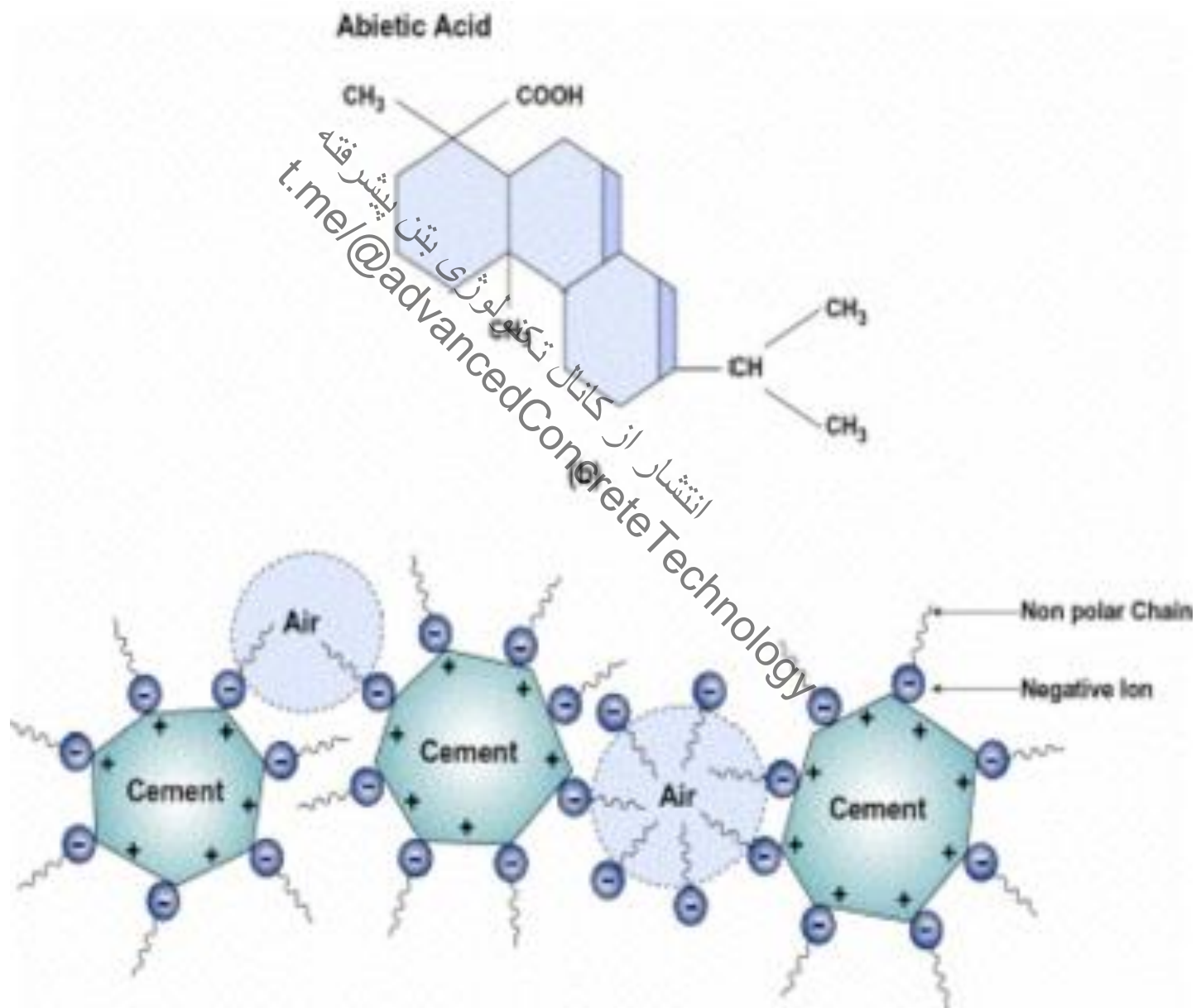
– ترکیبات جامد: مواد جامد با تخلخل بالا و اندازه مناسب حفرات (پلاستیک های

توخالی، آجر شکسته، رس منبسط شده) ممکن است شبیه حبابهای هوا عمل کنند.

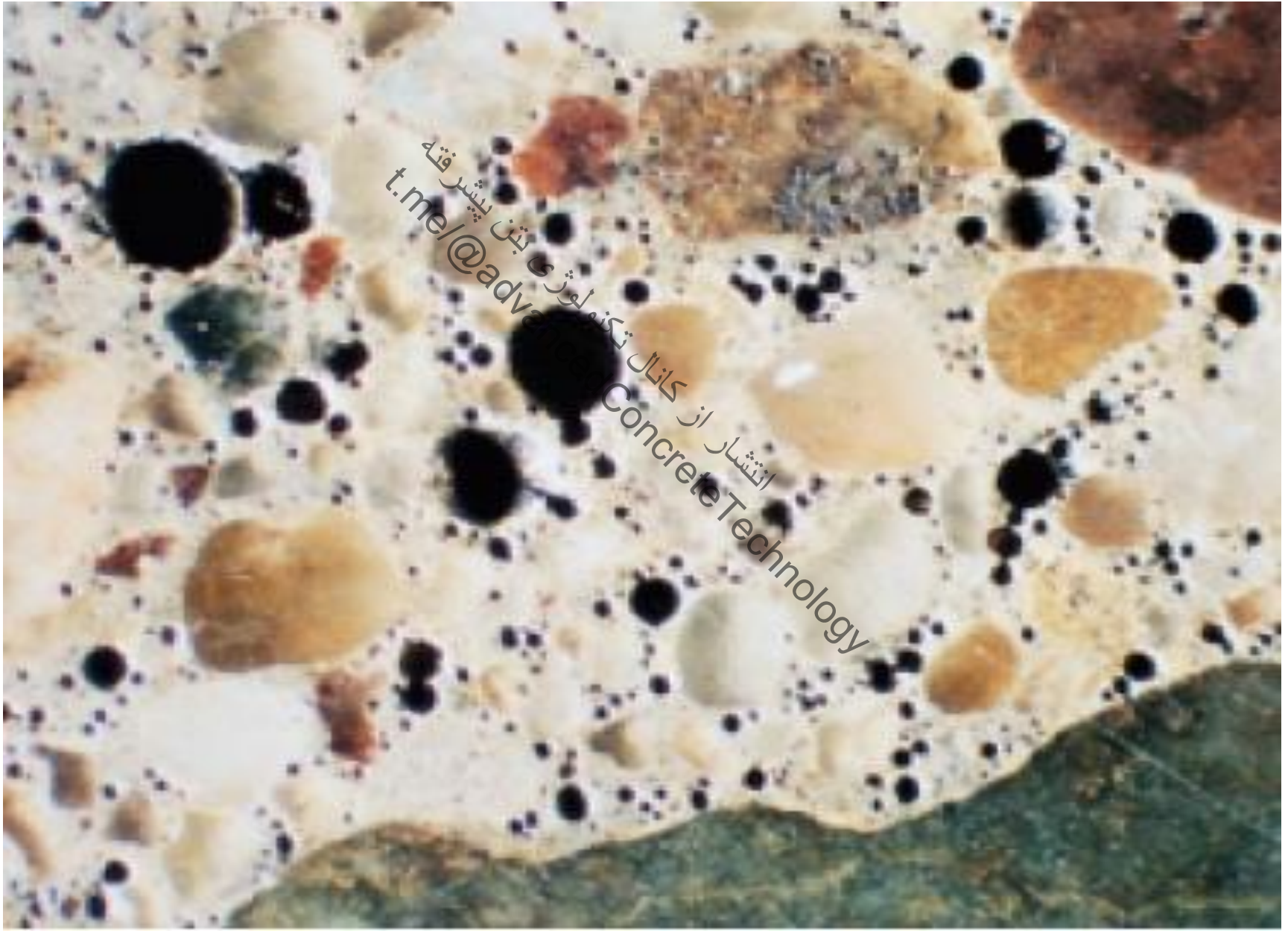
مواد حباب ساز

- گروه‌های قطبی، در فصل مشترک هوا - آب، به سمت فاز آبی جهت‌دار می‌شوند و کشش سطحی را کاهش داده، تشکیل حباب را ترویج کرده و تمایل به هم چسبیدگی حباب‌های پراکنده شده را متقابلاً خنثی می‌نماید.
- در فصل مشترک جسم - آب که فیروهای جهت‌دار در سطح سیمان موجودند، گروه‌های قطبی با گروه‌های غیرقطبی متمایل به سمت آب، به جسم چسبیده شده، سطح سیمان را ضد رطوبت می‌کنند، به طوری که هوا می‌تواند آب را جابه‌جا کرده و به ذرات جسم به صورت حباب چسبیده باقی بماند.

مواد حباب ساز



مواد حباب ساز



انتشار از کانال تکنولوژی بتن پیشرفته
t.me/advancedConcreteTechnology

مواد حباب ساز

- مزایا:

- افزایش دوام در برابر یخ زدن و ذوب شدن

- افزایش کارایی

- کاهش خطر جداشدگی و آب انداختگی

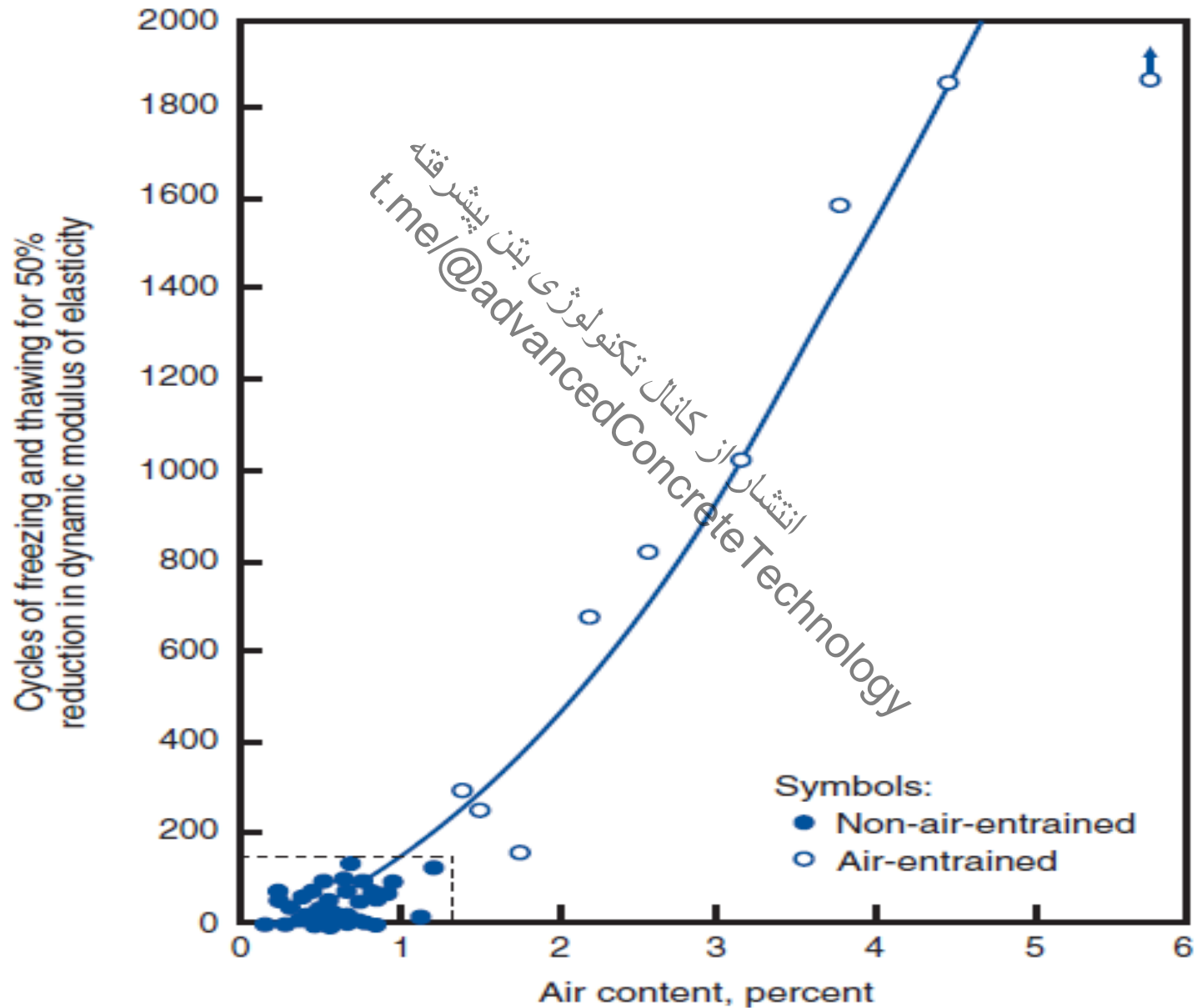
- معایب:

- کاهش مقاومت فشاری (۵٪ به ازای هر ۱٪ هوا)

- افزایش تخلخل

- تاخیر در گیرش و سخت شدگی در صورت مصرف بیش از حد

مواد حباب ساز

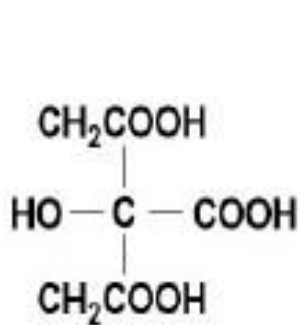


مواد کاهنده آب (Water Reducers)

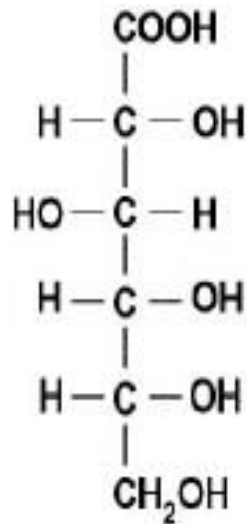
- مواد کاهنده آب یا روان کننده ها، مواد افزودنی ترسازي است که مقدار آب مخلوط لازم برای تولید بتن با روانی داده شده را کاهش می دهد (یا روانی بتن را بدون افزایش مقدار آب افزایش می دهد).
- نمک ها و سایر مشتقات اسیدهای لیگنوسولفونیک، اسیدهای هیدروکسیلات کربوکسیلیک، و پلی ساکارید، یا هر ترکیبی از این سه، بدون یا با مواد متشکله اضافی دیگر، از جمله مواد کاهنده آب هستند.

مواد کاهنده آب

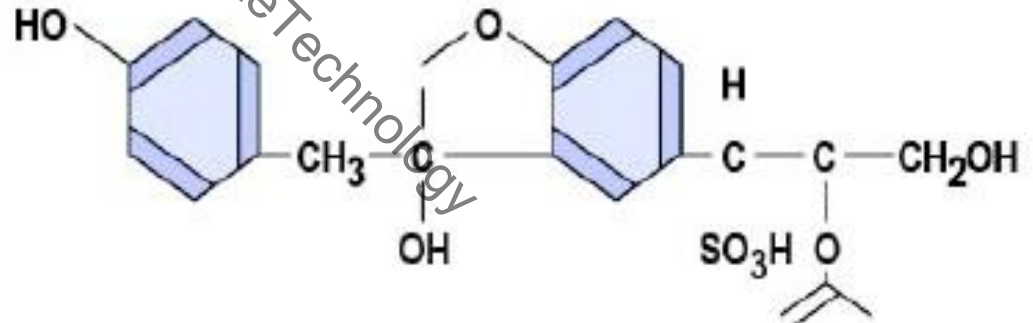
- بر خلاف ترسازهای حباب ساز، در روان کننده ها گروه قطبی آنیونی به یک زنجیر هیدروکربنی که خود قطبی یا نمگیر است متصل است (چندین گروه OH در زنجیر موجودند).



Citric Acid



Gluconic Acid



Repeating unit of a lignosulphonate polymer

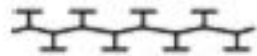
مواد کاهنده آب

- هنگامی که مقدار کمی آب به سیمان افزوده شود، بدون حضور ماده کاهنده آب، یک سیستم خوب پراکنده نشده به دست نمی آید
- آب دارای کشش سطحی زیاد است (ساختار مولکولی آن دارای پیوند هیدروژنی است)
- ذرات سیمان تمایل به جمع شدن یا تشکیل دسته دادن دارند (وقتی که کانی ها یا ترکیبات متبلور، خوب آسیاب می شوند، نیروهای جاذبی بین لبه ها، گوشه ها و سطوح دارای بار مثبت و منفی آنها وجود دارند).

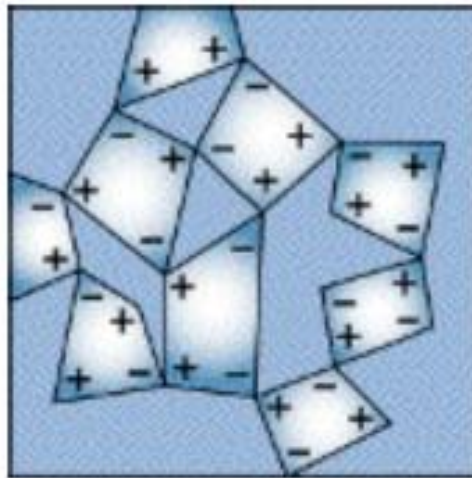
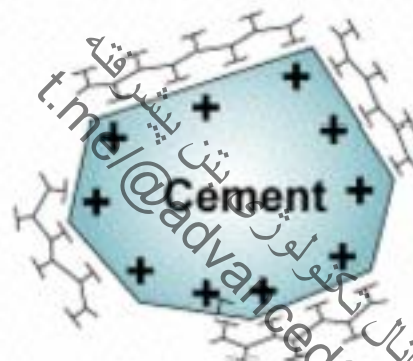
مواد کاهنده آب

- وقتی که یک ماده کاهنده آب با زنجیر نمگیر به سیستم سیمان- آب افزوده می گردد، زنجیر قطبی در امتداد ذره سیمان، به صورت سطحی، به آن جذب می گردد.
- در این حالت، به جای جهت دادن سر غیر قطبی به سمت آب، ماده کاهنده آب به سر قطبی جهت می دهد، بنابراین کشش سطحی آب را کاهش داده و ذره سیمان را نمگیر می کند.
- در نتیجه، لایه های آب احاطه کننده ذرات سیمان نمگیر، دوقطبی شده و از تجمع آنها ممانعت می گردد و یک سیستم با پراکندگی مناسب به دست می آید.

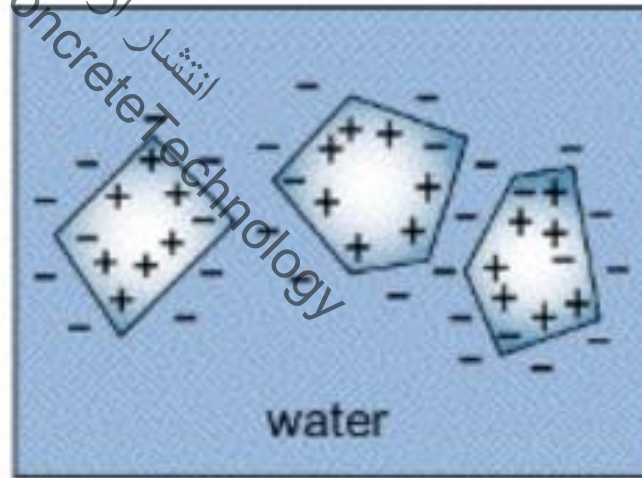
مواد کاهنده آب



Molecule with Anionic Polar Group
in the Hydrocarbon Chain



Before



After

مواد کاهنده آب

- مواد کاهنده آب موجب افزایش روانی بتن می شوند.
- می توان با کاهش آب به سیمان، مقاومت فشاری نمونه را بالا برده و دوام آنرا بهبود داد.
- می توان در مصرف سیمان صرفه جویی کرد.
- **مهم: همه این مزایا همزمان بدست نمی آیند!**

مواد کاهنده آب

مقاومت فشاری (MPa)		اسلامپ (mm)	نسبت آب به سیمان	مقدار سیمان (kg/m ³)	سری آزمایش
۲۸ روزه	۷ روزه				
۳۷	۲۵	۵۰	۰/۶۲	۳۰۰	A بتن شاهد (بدون ماده افزودنی)
۳۸	۲۶	۱۰۰	۰/۶۲	۳۰۰	B افزایش روانی
۴۶	۳۴	۵۰	۰/۵۶	۳۰۰	C افزایش مقاومت
۳۷/۵	۲۵/۵	۵۰	۰/۶۲	۲۷۰	D صرفه جویی در مصرف سیمان

تأثیر گذارنده های سطحی

- مدت زمان تأثیر مواد تأثیرگذار سطحی نسبتاً محدود است.
- بلافاصله بعد از شروع واکنش های هیدراتاسیون، مقدار زیادی از محصولاتی مانند اترینگایت شروع به شکل گیری می کند و محصولات هیدراتاسیون سیمان مقدار کم ترساز موجود در سیستم را فرا می گیرند.
- بنابراین، دمای محیط و نرمی و ترکیب سیمان، خصوصاً C_3A ، SO_3 و مقادیر قلیایی می توانند در فعل و انفعالات سیمان - ماده افزودنی تأثیر داشته باشند.
- مسلماً مقدار یا غلظت ماده افزودنی در سیستم نیز مقدار این تأثیر را تعیین می کند.

تاثیر گذارنده های سطحی

- مقادیر زیادتیر از معمول یک ماده روان کننده ممکن است زمان گیرش را از طریق جلوگیری کردن از تجمع محصولات هیدراتاسیون به تعویق بیاورد.
- همچنین بعضی از مواد افزودنی گاهنده آب (خصوصاً با پایه لیگنینی) هوای قابل توجهی را محبوس می کنند.
- از آنجایی که محصولات تجاری ممکن است دارای مواد متشکله ناشناخته باشند، همیشه باید قبل از استفاده از یک ماده افزودنی تازه یا ترکیبی از یک یا چند ماده افزودنی، یک بررسی آزمایشگاهی بر روی آنها انجام گیرد.

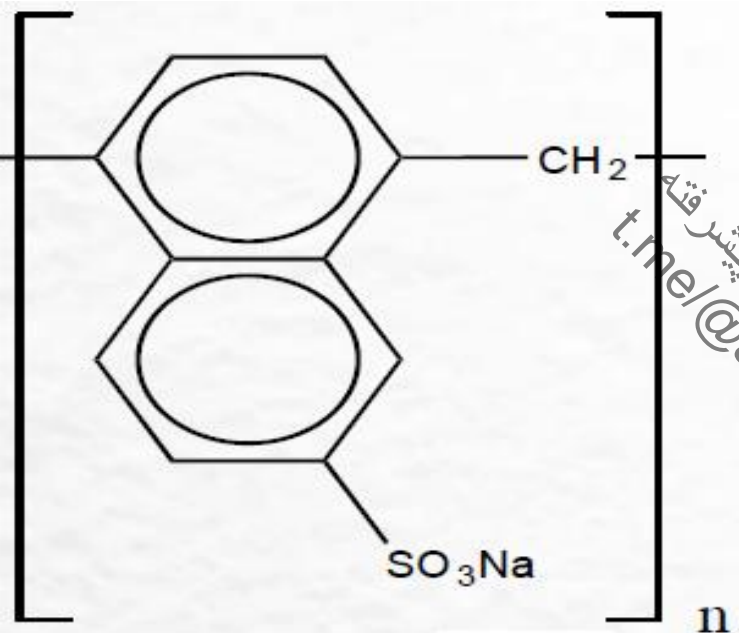
فوق روان کننده ها (Superplasticizers)

- به فوق روان کننده ها، کاهنده های قوی آب (HRWR) نیز گفته می شود، زیرا در مقایسه با مواد افزودنی کاهنده آب معمولی، سه یا چهار برابر بیشتر، قادر به کاهش آب در مخلوط بتنی داده شده هستند (کاهنده آب معمولی باید حداقل ۵٪ و کاهنده آب قوی حداقل ۱۲٪).
- در مقایسه با مواد افزودنی کاهنده آب معمولی، می توان مقادیر نسبتاً زیادی از مواد فوق روان کننده (بین ۱ تا ۲٪ وزنی سیمان) را بدون ایجاد آب انداختگی و تأخیر بیش از اندازه در گیرش، با وجود روانی در حد ۲۰۰ تا ۲۵۰ میلیمتر اسلامپ، به مخلوط های بتنی اضافه کرد.

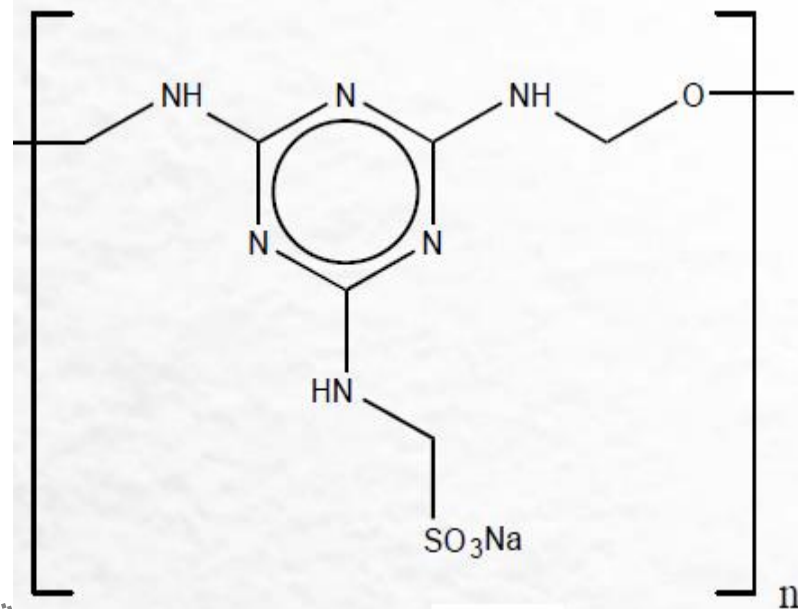
فوق روان کننده ها

- این مواد عمدتاً از جنس سولفونات های نفتالین یا ملامین فرمالدهید هستند.
- در سال های اخیر، فوق روان کننده هایی بر پایه اسیدهای هیدروکسید کربوکسیلیک و پلیمر های اکریلی به جای پایه های ملامینی و نفتالینی در صنعت بتن رایج گشته است.
- این مواد، حاوی تأثیرگذارنده های سطحی آنیونی زنجیر بلند با وزن مولکولی زیاد (۲۰۰۰۰ تا ۳۰۰۰۰) با تعداد زیادی از گروه های قطبی در زنجیر هیدروکربنی هستند.

فوق روان کننده ها

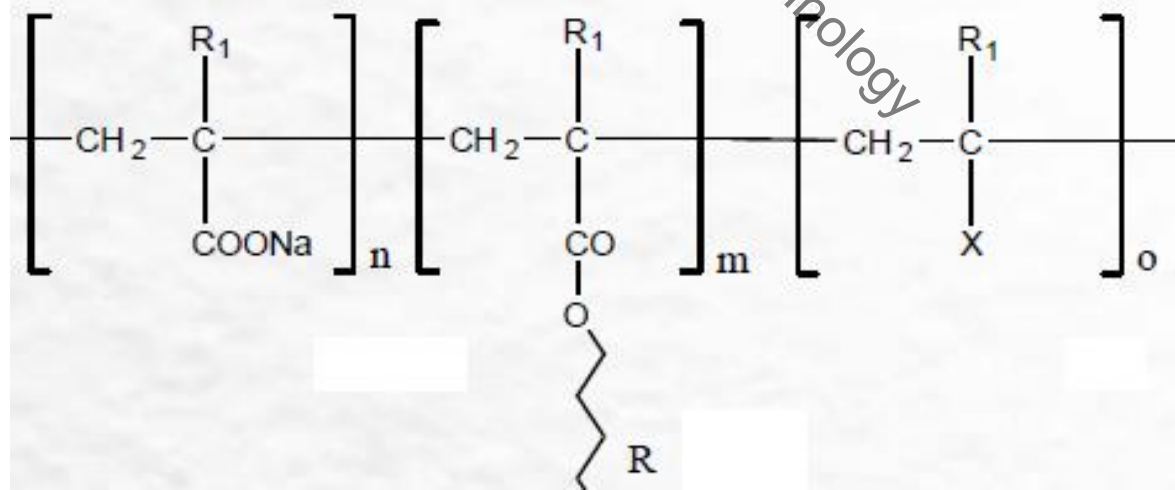


پلی نفتالین سولفونات



پلی ملامین سولفونات

استر پلی اکریلیک

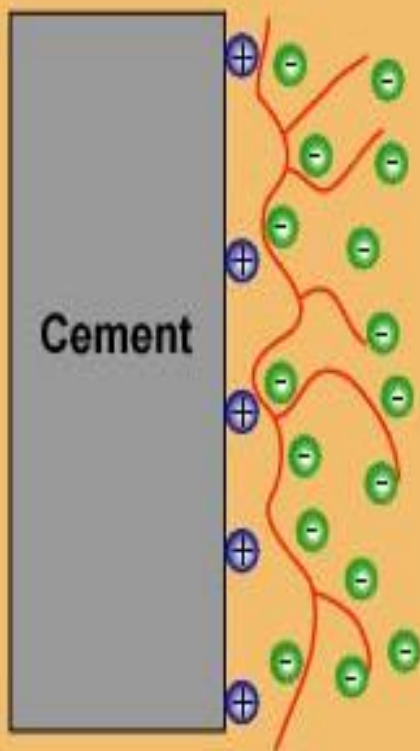


فوق روان کننده ها

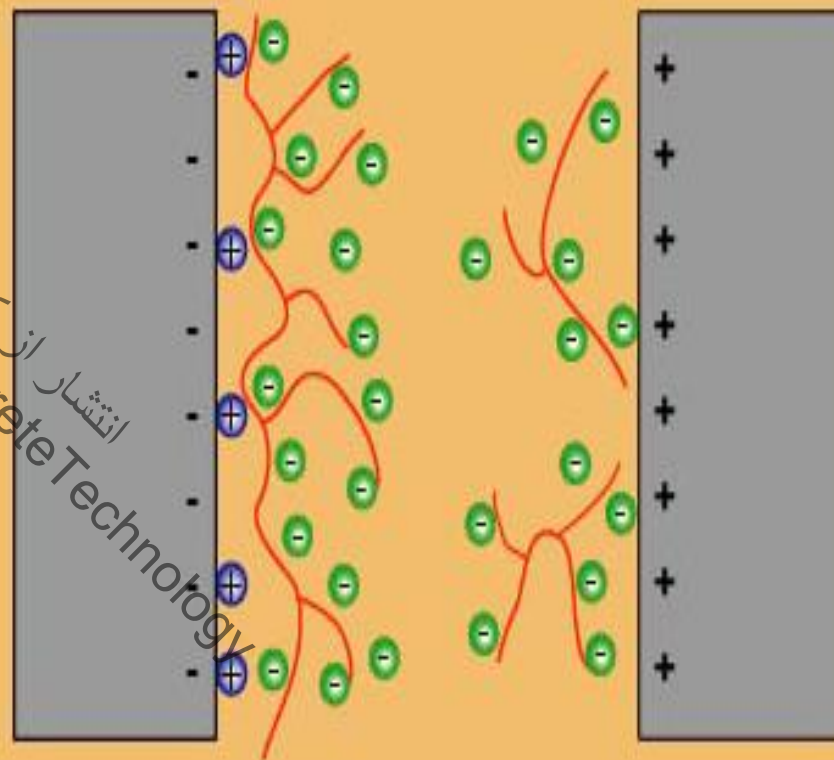
- مکانیزم عمل فوق روان کننده ها به جذب شدن بخش آنیونی افزودنی در سطح مشترک آب-سیمان بر می گردد. t.me/@advancedConcreteTechnology
- پایه غیر قطبی افزودنی جذب سطح دهنده سیمان می شود، لذا سر نمگیر آن که بار الکتریکی بالایی دارد به سمت محلول قرار می گیرد. در نتیجه تاثیر کلی ایجاد بار منفی قوی در سطح سیمان است.
- لذا ذرات سیمان به شدت یکدیگر را دفع میکنند (دفع الکترواستاتیکی) و روانی سیستم را به میزان زیادی افزایش دهد.

فوق روان کننده ها

Surface Adsorption



Electrostatic Repulsion

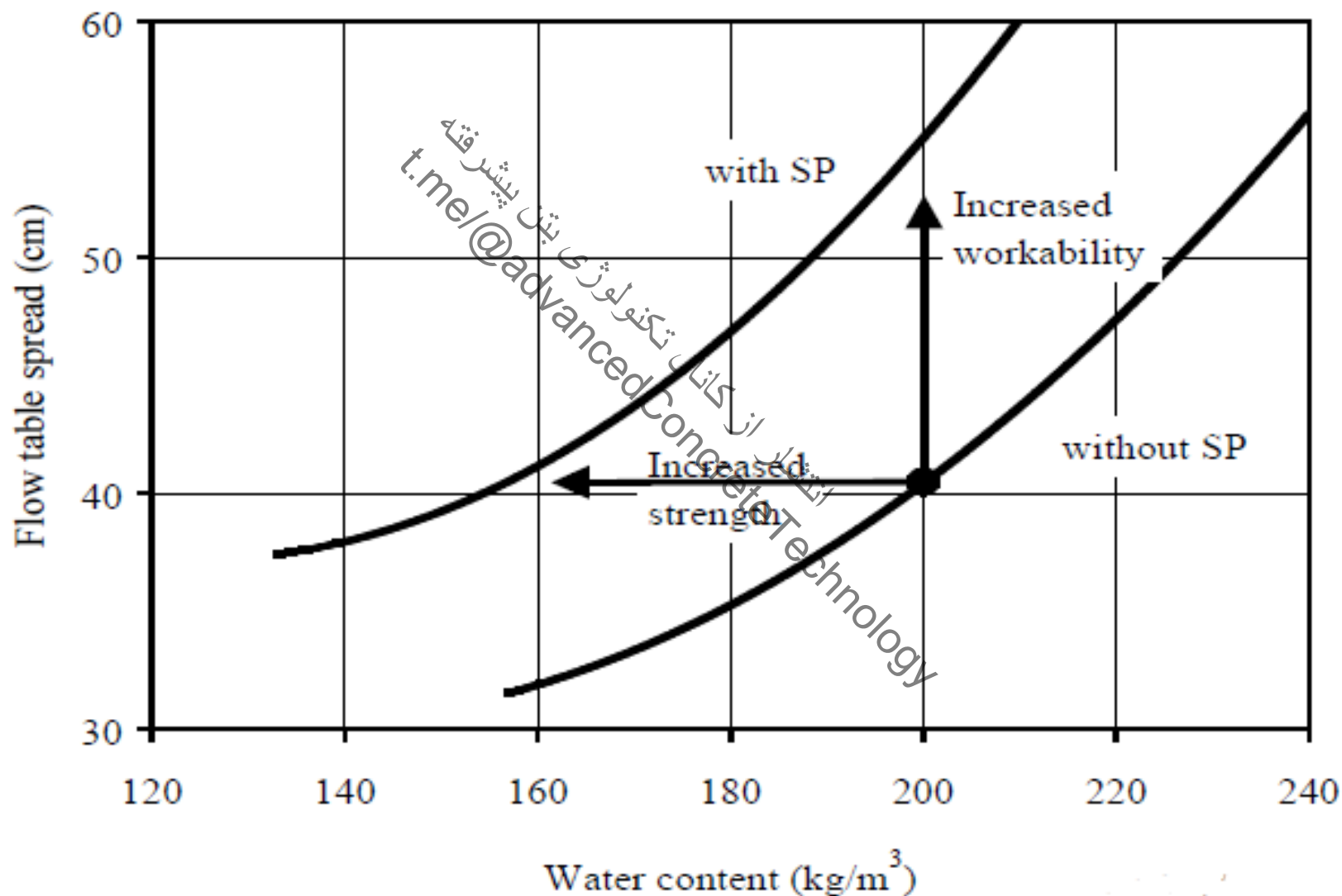


انتشار از کانال تکنولوژی بتن پیشرفته
t.me/@advancedConcreteTechnology

فوق روان کننده ها

- پراکندگی عالی ذرات سیمان در آب میزان هیدراتاسیون را تسریع می کند؛ بنابراین، در این نوع بتن ها، تسریع در گیرش و سخت شدگی معمول می باشد.
- به دلیل میزان بیشتر هیدراتاسیون سیمان در سیستمی که سیمان آن خوب پراکنده شده است، بتن های دارای فوق روان کننده مقاومت های فشاری حتی زیادتری در سنین ۱، ۳ و ۷ روز نسبت به بتن های شاهد دارای همان نسبت آب به سیمان از خود نشان می دهند.
- به طور کلی در بتن های دارای فوق روان کننده، جداشدگی اتفاق نمی افتد (اندازه کلوییدی ذرات زنجیر بلند مخلوط).

فوق روان کننده ها



فوق روان کننده ها

مقاومت فشاری (MPa)				اسلام پ (mm)	نسبت آب به سیمان	مقدار سیمان (kg/m ³)	آزمایش
۲۸ روز	۷ روزه	۳ روزه	۱ روزه				
۴۵	۳۲	۲۱	۱۰	۲۲۵	۰/۴۵	۳۶۰	A: بتن شاهد (بدون ماده افزودنی)
۵۵	۴۳	۳۵	۲۰	۲۲۵	۰/۴۵	۳۶۰	B: بتن با همان روانی A، آب کمتر و با فوق روان کننده به میزان ۲٪ وزنی سیمان
۵۲	۳۷	۲۸	۱۶	۳۰	۰/۴۵	۳۶۰	C: بتن با همان آب به سیمان B، بدون روان کننده و با اسلامپ کمتر

افزودنی های کنترل کننده گیرش

- واکنش های اولیه ترکیبات سیمان پرتلند با آب، درون محلولی اند؛ یعنی ابتدا ترکیبات، یونیزه شده و سپس هیدرات ها در محلول شکل می گیرند.
- محصولات هیدراتاسیون به خاطر حلالیت محدودشان متبلور می گردند.
- پدیده های گیرش و سخت شدگی خمیرهای سیمان پرتلند از تبلور پیش رونده محصولات هیدراتاسیون سرچشمه می گیرند.
- به وسیله افزودن مواد شیمیایی قابل حل خاصی به سیستم سیمان پرتلند- آب، می توان بر روی میزان یونیزه شدن ترکیبات سیمان و یا بر روی میزان تبلور محصولات هیدراتاسیون تأثیر گذاشت.

افزودنی های کنترل کننده گیرش

- یک ماده افزودنی تسریع کننده باید حل شدن کاتیون ها (یون های کلسیم) و آنیون های سیمان را افزایش دهد. از آنجا که چندین آنیون برای حل شدن موجود هستند، تسریع کننده باید حل شدن آن مواد متشکله ای را که کمترین میزان حل شدگی در حین مدت زمان اولیه هیدراتاسیون را دارند (مثل یون های سیلیکات) افزایش دهد.
- یک ماده افزودنی کندگیر کننده بایستی مانع حل شدن کاتیون ها (یون های کلسیم) و آنیون های سیمان، ترجیحاً آنیونی که بیشترین میزان حل شدگی در حین مدت زمان اولیه هیدراتاسیون (مثل یون های آلومینات) را دارد، شود.

افزودنی های کنترل کننده گیرش

- با افزودن ماده شیمیایی نتیجه کلی به وسیله تعدادی اثر، که یا مکمل و یا مخالف یکدیگرند و این امر وابسته به نوع و غلظت یون‌هایی است که مواد افزودنی در سیستم به آنها کمک کرده‌اند، تعیین می‌گردد.
- در غلظت‌های کم (۰/۱ تا ۰/۳ درصد وزنی سیمان) نمک‌های با قلیائیت ضعیف و اسیدیت قوی (مثل CaCl_2) یا نمک‌های با قلیائیت قوی و اسیدیت ضعیف (مثل K_2CO_3)، تعویق حلالیت یون‌های کلسیم و آلومینات، در مقایسه با تسریع حلالیت یون‌های سیلیکات از سیمان اثر غالب است ←

کندگیری

افزودنی های کنترل کننده گیرش

- در غلظت های زیادتر (مثلاً، ۱٪ یا بیشتر) این نمک ها، تأثیرات تسریع کنندگی یون ها در محلول بر روی یون های سیلیکات و آلومینات سیمان، بیشتر از تأثیرات کندگیری، غالبند ← تندگیری
- اسیدهای آلی با وزن مولکولی کم و نمک های قابل حل آنها که به طور ضعیفی اسیدی می باشند، به دلیل توانایشان در افزایش محلول یون های کلسیم موجود در اجزای سیمان، همانند تسریع کننده عمل می کنند.

تندگیرکننده ها (Accelerators)

- مواد افزودنی تسریع کننده برای اصلاح خواص بتن خصوصاً در آب و

هوای سرد سودمندند:

– تسریع در شروع عملیات پرداخت و وقتی که کاربرد عایق برای محافظت لازم باشد

– کاهش زمان لازم برای عمل آوری درست و محافظت

– افزایش سرعت کسب مقاومت اولیه، به طوری که برداشتن زودتر قالبها و استفاده زودتر از ساختمان ممکن شود

– امکان پذیر کردن جلوگیری مؤثرتر از نشتی، به منظور مقابله با فشارهای هیدرولیکی.

تندگیرکننده ها

- اسیدهای آلی با وزن مولکولی کم و نمک‌های قابل حل آنها که به طور ضعیفی اسیدی می‌باشند، فرمات کلسیم و اسید فرمیک، HCOOH ، سدیم کربنات، کلرید آلومینیم، کربنات پتاسیم، فلوئورید سدیم، آلومینات سدیم، تری اتانول آمین و برخی نمک های آهن از مواد افزودنی تسریع کننده می‌باشند.

- کلرید کلسیم (CaCl_2) بهترین تسریع کننده شناخته شده و بیشترین میزان مصرف را در میان تسریع کننده ها دارد.

کلرید کلسیم

خاصیت	تأثیر کلی	ملاحظات
گیرش	هردوی گیرش‌های اولیه و نهایی را کاهش می‌دهد.	زمان‌های گیرش اولیه و نهایی حداقل یک ساعت زودتر از بتن شاهد
مقاومت فشاری	به‌طور چشمگیری مقاومت فشاری در سه روز اول عمل‌آوری را افزایش می‌دهد (در حدود ۳۰ الی ۱۰۰٪)	افزایش حداقل ۱۲۵٪ بتن شاهد در ۳ روز
مقاومت کششی	کمی کاهش در ۲۸ روز	
مقاومت خمشی	کاهش در حدود ۴۰٪ در ۷ روز	بسته به مواد آغازین و روش عمل‌آوری
حرارت هیدراتاسیون	افزایشی در حدود ۳۰٪ در ۲۴ ساعت	برابر مقدار کل حرارت در زمان‌های طولانی‌تر با بتن شاهد
مقاومت در برابر حمله سولفاتی	کاهش می‌یابد	استفاده از سیمان نوع V
واکنش قلیایی سنگدانه	شدیدتر می‌شود	سیمان با قلیایی کم یا پوزولان

کلرید کلسیم

خاصیت	تأثیر کلی	ملاحظات
خوردگی	میزان مصرف، نباید از ۱/۵٪ CaCl_2 تجاوز نماید و پوشش کافی نیز می‌باید در نظر گرفته شود	نباید در بتن پیش‌تنیده یا در بتن دارای ترکیبی از فلزات نامشابه، استفاده شود. بعضی از ضوابط و مشخصات، استفاده از CaCl_2 در بتن‌آرمه را مجاز نمی‌دانند
جمع‌شدگی و خزش	افزایش می‌یابد.	
تغییر حجم	افزایش ۰ تا ۱۵ درصد گزارش شده است	
مقاومت در برابر آسیب دیدگی یخ زدن و آب‌شدن	مقاومت اولیه بهبود می‌یابد	در سنین بعدی ممکن است در مقابل حمله یخ‌زدگی مقاومت کمتری داشته باشد
آب‌بندی	در سنین اولیه بهتر می‌شود	
مدول ارتجاعی	در سنین اولیه افزایش می‌یابد	در مدت زمان‌های طولانی‌تر، تقریباً همانند بتن شاهد است
آب‌انداختگی	کاهش می‌یابد	

کلرید کلسیم

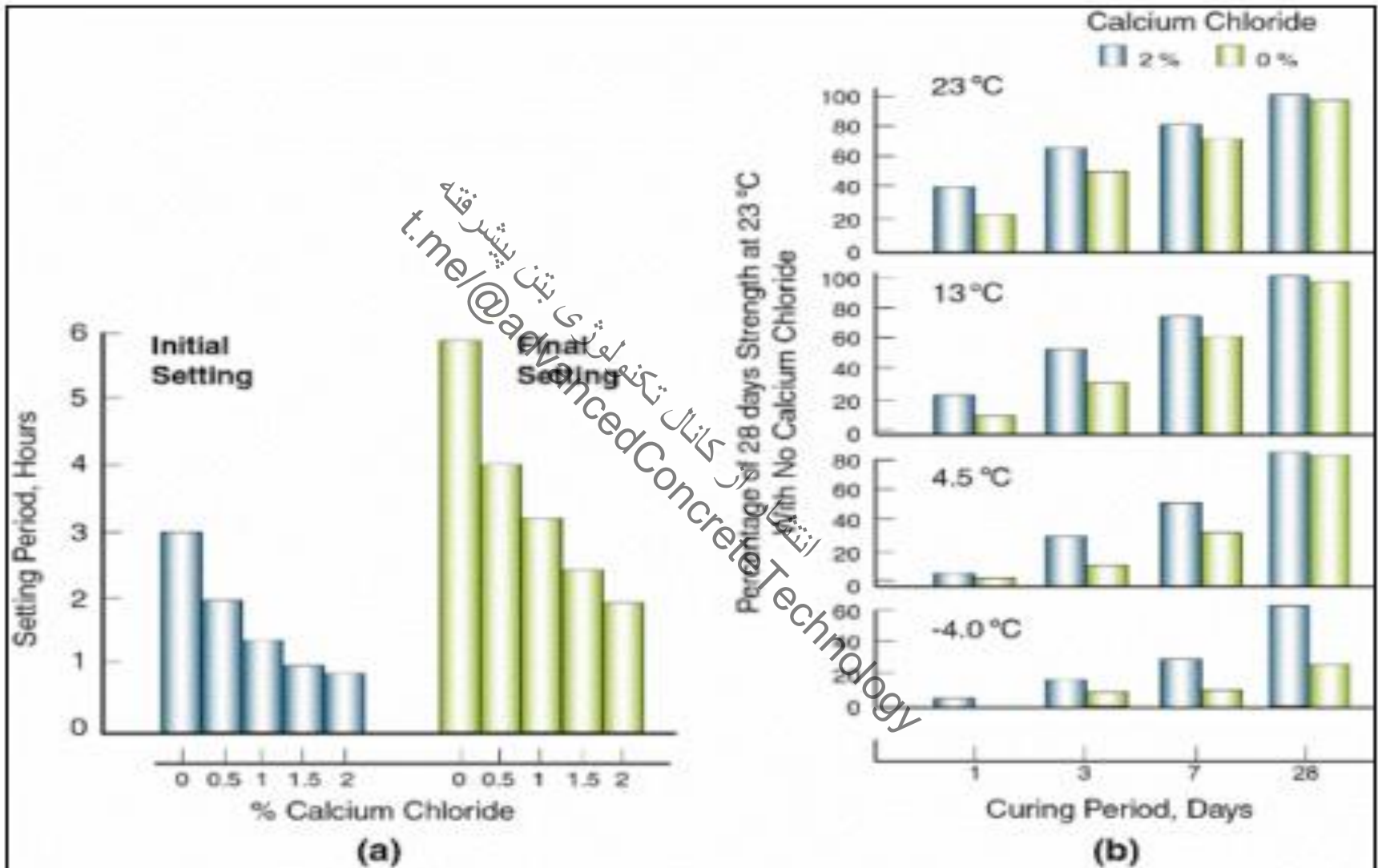
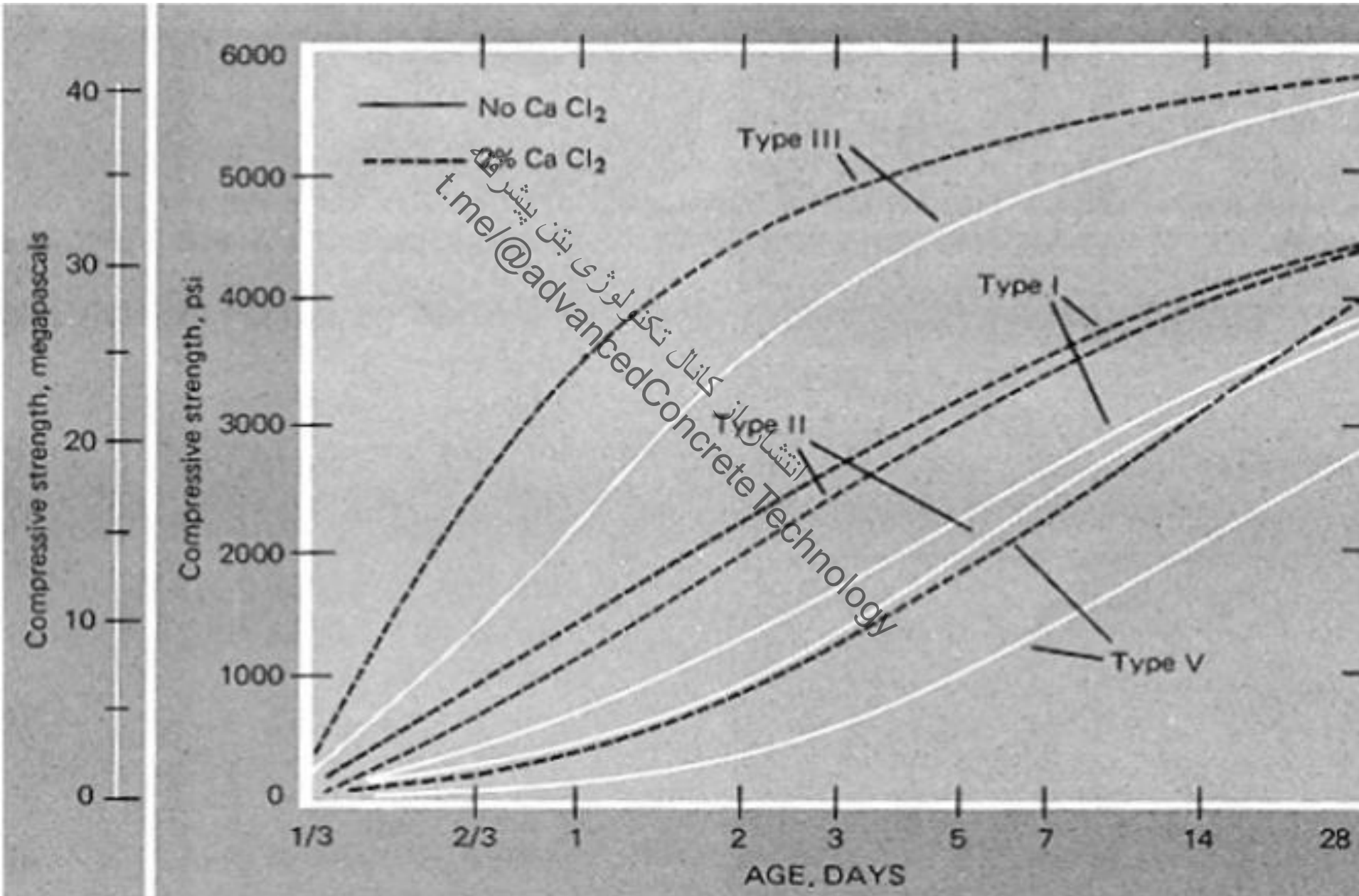


Figure 8-5 (a) Effect of calcium chloride addition on setting time of portland cement; (b) effect of calcium chloride addition on strength at various curing temperatures.

کلرید کلسیم



کندگیرکننده ها (Retarders)

- مواد افزودنی کندگیرکننده برای جبران شرایط بد دمای محیط خصوصاً در آب و هوای گرم سودمندند:
- امکان ریختن و پرداخت درست، و برای غالب آمدن بر تأثیرات زیان‌آور و تسریع‌کنندگی دماهای زیاد،
- برای کنترل گیرش واحدهای سازه‌ای بزرگ جهت حفظ کارایی بتن در کل مدت زمان جای دادن: این امر برای حذف درزهای سرد و ناپیوستگی‌های واحدهای سازه‌ای بزرگ خصوصاً مهم می‌باشد.
- کنترل گیرش ممکن است از ترک‌خوردگی تیرها، عرشه پل‌های بتنی و ساختمان‌های مرکب بتنی بر اثر تغییر شکل قالب در هنگام بتن‌ریزی واحدهای مجاور، جلوگیری کند.

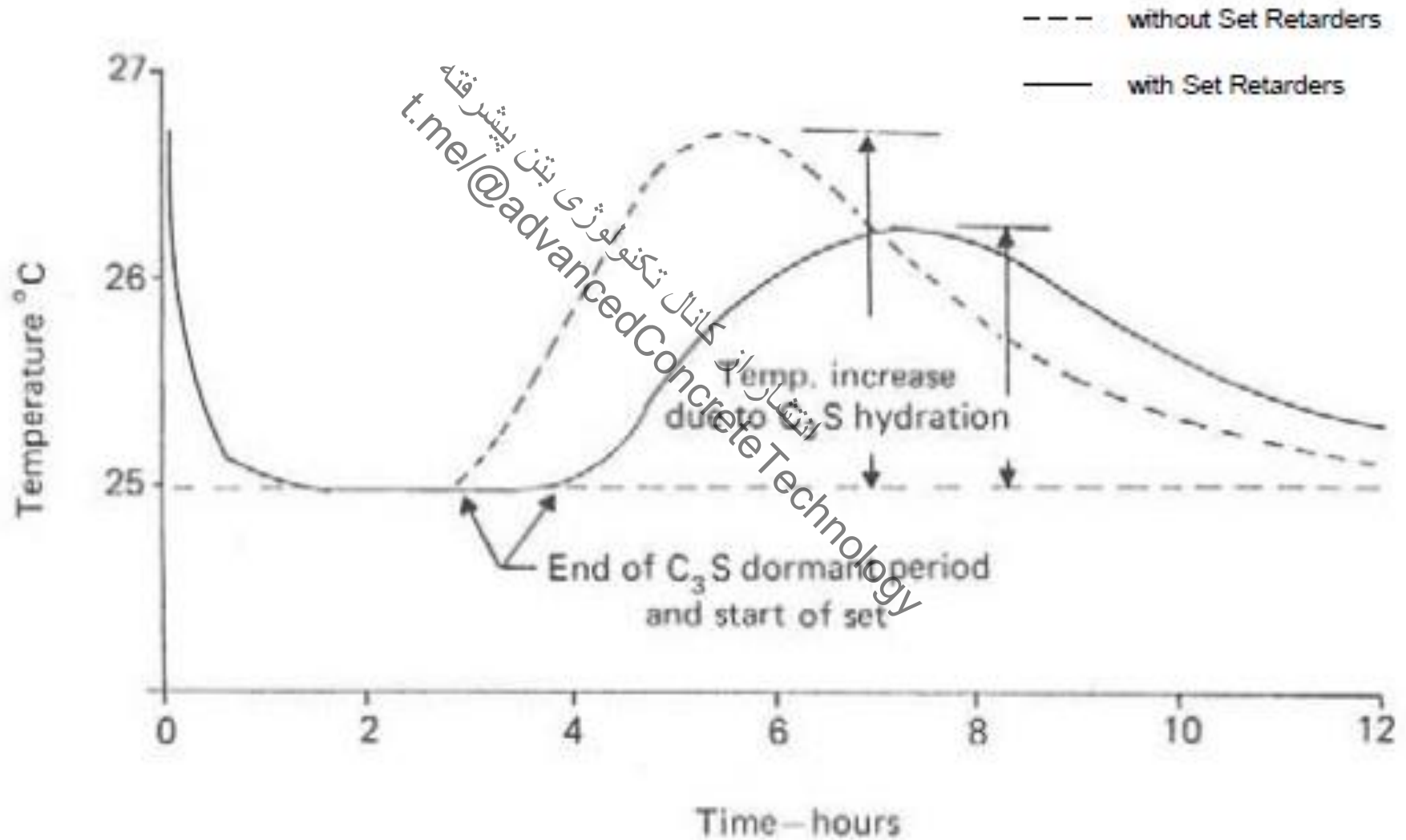
کندگیرکننده ها

- شکر، انواع مشتقات هیدروکربورها، انواع اسیدهای کربوکسیلیک هیدروکسیلات، گلوکونات سدیم، پلیمرهای گلوکز، و سنگ گچ جزء کندگیرکننده ها هستند.

- اضافه کردن شکر در حدود ۰.۵٪ وزن سیمان باعث تاخیر در گیرش به اندازه حدود ۴ ساعت می شود.

- مقادیر زیاد شکر، مثلاً ۰.۲ تا ۰.۱٪ وزن سیمان از گیرش سیمان جلوگیری به عمل می آورد.

کندگیر کننده ها

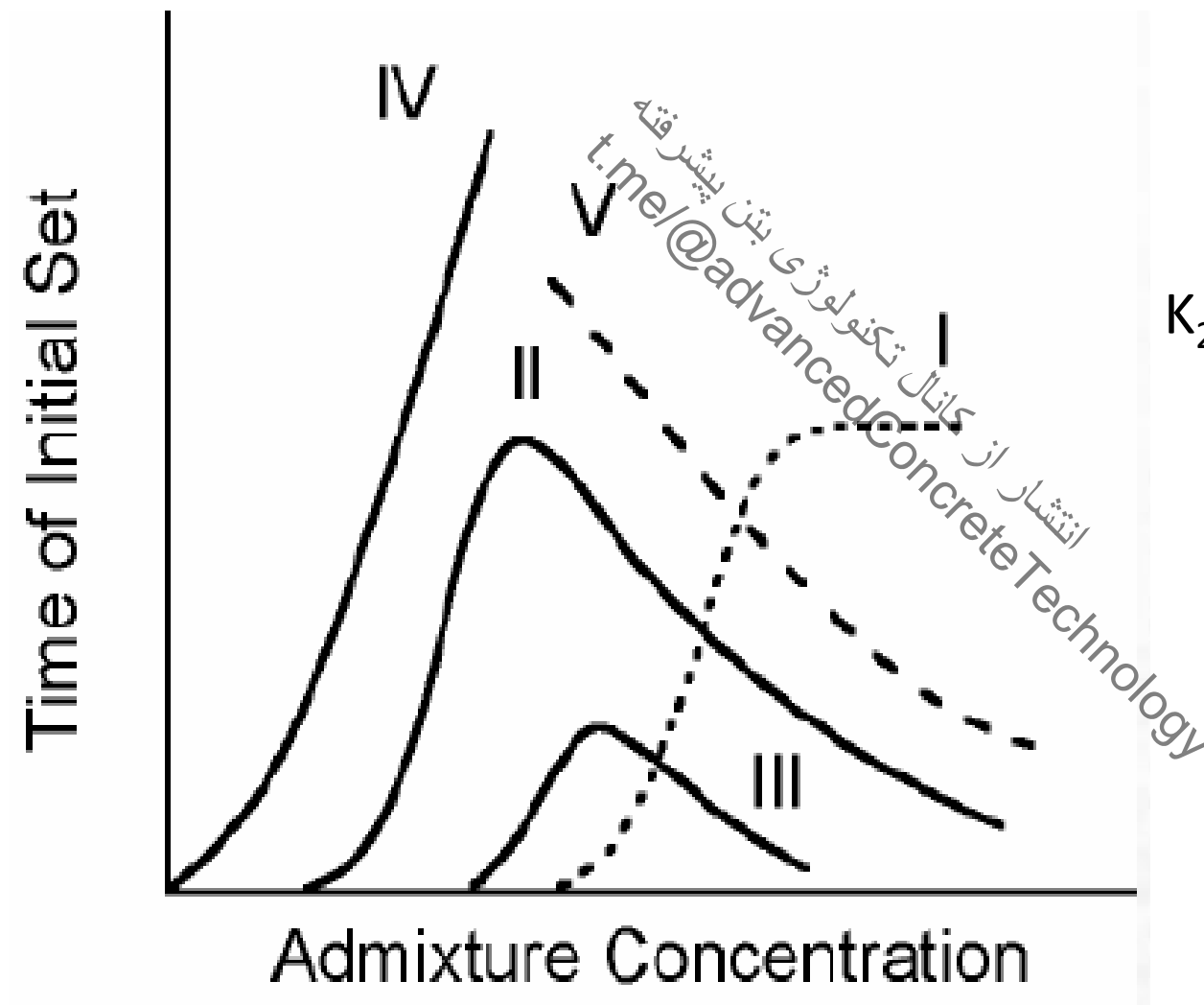


کندگیر کننده و کاهنده آب (Type D)

مقاومت فشاری (MPa)			نسبت آب به سیمان	زمان گیرش ساعت		پیمانه ماده افزودنی در وزن سیمان (لیتر بر کیلوگرم)
۲۸ روز	۷ روز	۳ روز		نهایی	اولیه	
۳۷	۲۸	۲۰/۳	۰/۶۸	۹	۴/۵	۰
۴۶/۸	۳۶/۵	۲۸	۰/۶۲	۱۳	۸	۰/۱۴
۴۹/۸	۴۰/۱	۲۹/۶	۰/۵۸	۱۶	۱۱/۵	۰/۲۱

اسلامپ بتن (mm)						دمای محیط (°C)	آزمایش
۵ ساعت	۴ ساعت	۳ ساعت	۲ ساعت	۱ ساعت	۰		
۳۲	۳۸	۵۷	۷۶	۸۹	۱۲۷	۲۰	بتن شاهد
۵۷	۷۰	۱۰۳	۱۱۴	۱۲۷	۱۲۷	۲۰	بتن با ماده افزودنی
۰	۰	۰	۷	۵۷	۱۱۴	۴۳	بتن شاهد
۰	۱۳	۱۹	۲۵	۷۰	۱۲۷	۴۳	بتن با ماده افزودنی

افزودنی های کنترل کننده گیرش



$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$: I

CaCl_2 ; $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$: II

K_2CO_3 ; NaCO_3 ; NaSiO_3 : III

Sugars ; Gluconates : IV

Lignosulfates

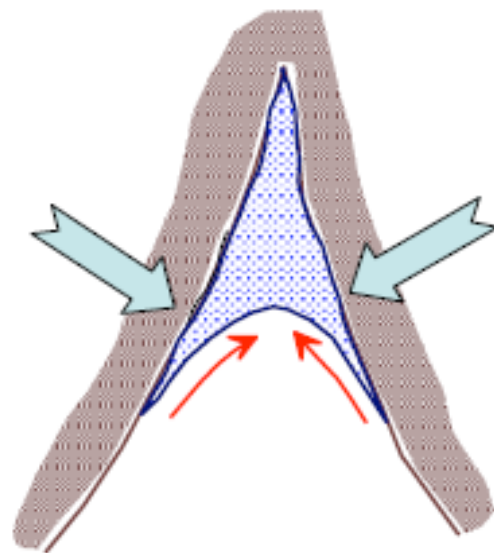
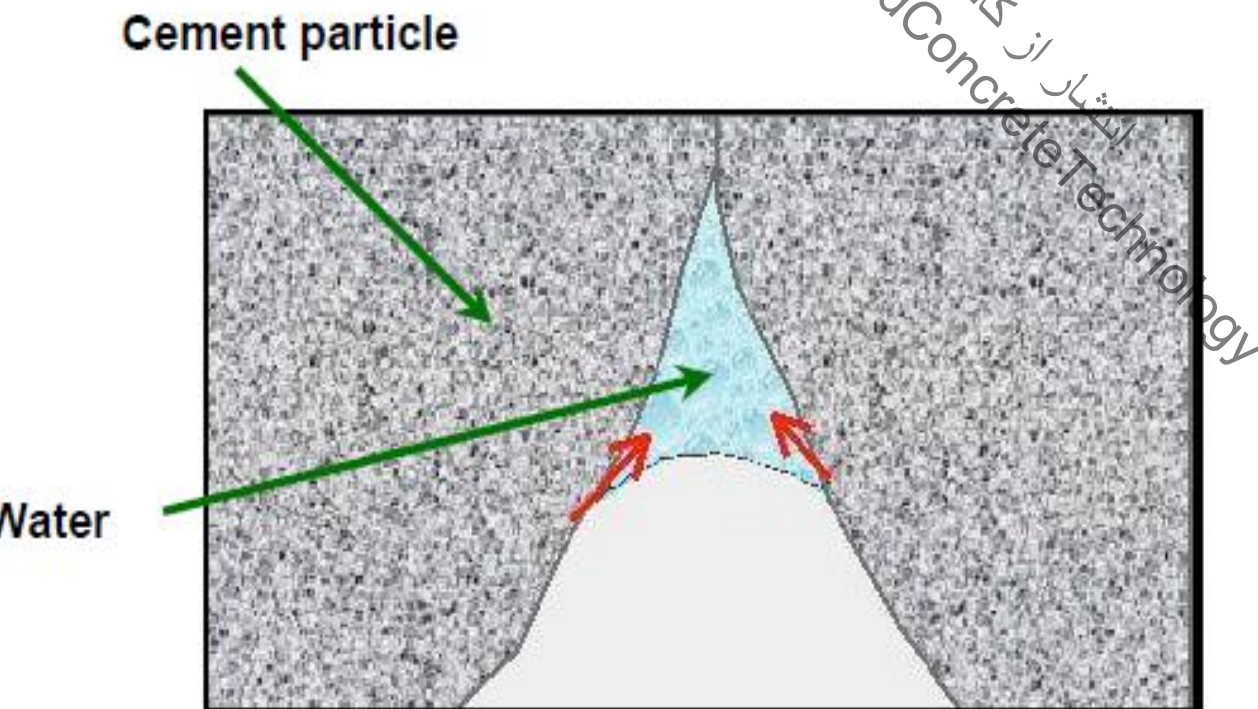
Salts of formic acid : V

افزودنی کاهش دهنده جمع شدگی (Shrinkage Reducing Admixture)

- جدای از کم کردن مقدار آب اختلاط، کم کردن عیار سیمان و استفاده از سنگدانه های مناسب، برخی افزودنی های شیمیایی می توانند مقدار جمع شدگی بتن را کاهش دهند.
- جنس این نوع افزودنی ها عموماً از مواد آلی نظیر پروپیلن گلیکول و مشتقات آن است.
- این مواد می توانند مقدار جمع شدگی را ۳۵٪ تا ۶۰٪ کاهش دهند.

افزودنی کاهنده جمع شدگی

- مکانیزم عمل این مواد به گونه ای است که مقدار کشش سطحی مولکول آب قابل تبخیر موجود در حفرات را کاهش می دهند.
- بدین ترتیب، مقدار تنشهای مویینه که منجر به جمع شدگی ناشی از خشک شدن می شود آب بوجود می آید کاهش پیدا می کند.



افزودنی مانع خوردگی (Corrosion Inhibitors)

- این نوع افزودنی ها در جاهایی که به دلیل وجود یون **کلر**، امکان خوردگی آرماتور وجود دارد (نظیر پلها، پارکینگها و سازه های دریایی) کاربرد دارند.
- جنس این افزودنی ها از برخی مواد **غیرآلی** مانند **نیتрат کلسیم و نیترات سدیم** یا بعضی **مواد آلی** مانند **آمین ها و استرها** می باشد
- این مواد که معمولا در هنگام اختلاط به بتن افزوده می شوند می توانند جلوی خوردگی آرماتور را گرفته و یا سرعت خوردگی را کاهش دهند.

افزودنی مانع خوردگی

- یون کلر موجب از بین رفتن لایه محافظ اکسید آهن موجود بر روی آرماتور شده و منجر به آغاز خوردگی آرماتور می شوند.
- افزودنی های غیر آلی (نیتрат کلرید و نیترات سدیم) لایه اکسید آهن را در برابر یون کلر محافظت می کند و آنرا پایدار می سازند.
- افزودنی های آلی (آمین ها و استرها) با آهن واکنش داده و لایه ای به وجود می آورند که به دلیل محافظ بودن در برابر رطوبت، از خوردگی آرماتور جلوگیری می نماید.

سایر افزودنی ها

نوع افزودنی	کاربرد	ترکیب
هواگیر	کاهش مقدار هوا	تری بوتیل فسفات، دی بوتیل فتالات، اکتیل الکل، سیلیکون ها
مانع واکنش قلیایی	کاهش واکنش قلیایی سنگدانه	نمک های باریم، نیترات لیتیم، کربنات لیتیم، هیدروکسید لیتیم
ضد آب شستگی	افزایش چسبندگی در بتن ریزی ویر آب	سلولز، پلیمر اکریلی
رنگ زا	تولید بتن رنگی	اکسید آهن، کربن، بنزوات سدیم، آمین های استر
کف زا، هوازا	تولید بتن های سبک هوادهی شده	تاثیر گذارنده های سطحی آنیونی و کاتیونی، پروتئین های هیدرولیز شده
کاهنده نفوذپذیری	کاهش نفوذپذیری	لاتکس

ملاحظات کلی در استفاده از افزودنی ها

- تاثیرگذاری افزودنی های مختلف به غلظت مورد استفاده، شیوه و زمان اضافه کردن آن به مخلوط بتنی، شرایط محیطی و نیز نحوه تعامل آن با اجزای تشکیل دهنده بتن و یا سایر افزودنی های مورد استفاده بستگی دارد.
- با وجودی که دقت در مشخصات فنی که توسط سازنده افزودنی تهیه شده ضروری است، اما با توجه به یکسان نبودن شرایط نمی توان آنرا برای همه کاربردها یکسان در نظر گرفت.

ملاحظات کلی در استفاده از افزودنی ها

- یکی از مسائل مهم در خصوص استفاده از افزودنی های شیمیایی بحث سازگاری (Compatibility) آنها با خمیر سیمان و با یکدیگر است.
- عدم سازگاری بین افزودنی ها و خمیر سیمان و یا افزودنی های مختلف با یکدیگر می تواند خواص کوتاه مدت و درازمدت بتن، مخصوصا بتن تازه را به نحو نامطلوبی تغییر دهد.
- عدم سازگاری در بسیاری موارد به صورت افت اسلامپ، از دست رفتن هوای بتن یا هوای اضافی، تسریع در گیرش و... نمود پیدا می کند.

ملاحظات کلی در استفاده از افزودنی ها

- عدم سازگاری عمدتاً به دلیل واکنشهای نامطلوب شیمیایی، تاثیرات نامطلوب فیزیکی، و یا تلفیقی از این دو بین افزودنی و سیمان و یا بین افزودنی های مختلف است.
- معمولاً برهم خوردن توازن یونهای سولفات در سیستم یک عامل رایج عدم سازگاری است.
- همچنین وجود برخی رسها در سنگدانه می تواند به عدم سازگاری منجر شود.

ملاحظات کلی در استفاده از افزودنی ها

- بدلیل عدم یکنواختی در مصالح مصرفی، ابزار و نحوه بتن ریزی و شرایط محیطی، روشهای قابل اطمینانی برای پیش بینی عدم سازگاری وجود ندارد.

- برای پیش بینی عدم سازگاری، ساختن مخلوط های آزمایشی و بررسی خواص آنها (زمان گیرش، کارایی،...) امری اجتناب ناپذیر است.
- انجام این آزمایشات در محل در مقایسه با شرایط آزمایشگاهی نتایج واقعی تری را ارائه خواهند داد.

ملاحظات کلی

نوع افزودنی	زمان اضافه کردن
مواد حباب زا	همراه با مقدار اولیه آب یا بر روی ریزدانه
مواد کاهنده آب	پس از مواد حباب زا
تندگیر کننده ها	همراه با آب، با مواد حباب زا ترکیب نشود
فوق روان کننده ها	همراه با آخرین مقدار آب اضافه شده
فوق روان کننده ها (پلی کربوکسیلاتی)	همراه با مقدار اولیه یا آخرین مقدار آب اضافه شده
سایر افزودنی ها	به توصیه های سازنده مراجعه شود

افزودنی های معدنی

Mineral Admixtures



تعریف

- مواد افزودنی معدنی مواد سیلیسی یا سیلیسی-آلومینی خوب تفکیک شده‌ای می‌باشند که در مقادیر نسبتاً زیاد، عموماً در حدود ۲۰ تا ۱۰۰ درصد وزنی سیمان پرتلند، به بتن افزوده می‌شوند.
- این مواد به صورت خام یا بعد از فعال سازی حرارتی به عنوان منبع اصلی مواد افزودنی معدنی در بتن به کار گرفته می‌شوند.
- بسیاری از این مواد محصولات زائد صنایع مختلفی هستند که به دلیل خواص خود قادر به استفاده شدن در ساخت بتن هستند.

اهمیت

- واحدهای نیروگاهی برقی با سوخت زغال سنگ، کوره های متالورژیکی تولید چدن، فلز سیلیسیم، و آلیاژهای فروسیلیسیم، منبع اصلی مواد زائد صنعتی هستند که به میزان ده ها میلیون تن در سال، در بسیاری از کشورهای صنعتی تولید می شوند.
- بیرون ریختن این مواد زائد صنعتی به منزله هدر دادن مواد و نیز سبب مسایل جدی آلودگی زیست محیطی می باشد.
- با کنترل کیفیت درست، مقادیر زیادی از بسیاری از محصولات زائد صنعتی می توانند در بتن، یا به شکل سیمان پرتلند آمیخته یا به عنوان مواد افزودنی معدنی به کار برده شوند.

اهمیت

- وقتی که خواص پوزولانی و یا سیمانی کننده یک ماده طوری باشد که به عنوان جایگزین نسبی برای سیمان پرتلند در بتن بتواند استفاده شود، صرفه جویی زیادی در انرژی و هزینه، نتیجه خواهد شد.
- صرف نظر از اینکه آیا مواد پوزولانی به شکل یک ماده افزودنی معدنی یا به عنوان ماده متشکله سیمان پرتلند آمیخته به بتن افزوده شده اند، مکانیزمی که واکنش پوزولانی به وسیله آن تأثیر سودمندانهای بر روی خواص بتن می گذارد، یکسان می باشد.

کاربرد

- منافی که از کاربرد مواد افزودنی معدنی در بتن حاصل می شود عبارتند از:

- بهبود مقاومت در برابر ترک خوردگی **حرارت کمتر** هیدراتاسیون
- زیادت شدن مقاومت نهایی و نفوذناپذیری **به خاطر** بهبود وضعیت منافذ در نتیجه کاهش قلیائیت
- دوام بهتر در مقابل **حمله** شیمیایی مانند آب سولفاتی و انبساط قلیایی- سنگدانه
- صرفه اقتصادی و همچنین کاهش اثرات مخرب زیست محیطی

انواع

- دارای خاصیت پوزولانی (مثل خاکستر بادی کم کلسیم)
- دارای خاصیت سیمانی (مثل روباره آهن‌گذاری دانه‌ای)
- هم خاصیت سیمانی و هم پوزولانی (مثل خاکستر بادی پر کلسیم)

انتشار از کتاب تکنولوژی بتن پیشرفته
t.me/advancedConcreteTechnology

انواع

- **مواد طبیعی:** موادی که تنها به خاطر تولید پوزولان، فرآوری شده‌اند. این فرآوری معمولاً شامل خرد کردن، آسیاب کردن، و جداسازی اندازه‌ها می‌گردد. در بعضی از موارد، فرآوری ممکن است شامل فعال‌سازی حرارتی نیز بشود.
- **محصولات جنبی صنعتی یا مواد زائد صنعتی:** موادی هستند که محصولات اصلی صنعت تولیدیشان نیستند. این محصولات ممکن است به فرآوری (مثل خشک و پودر کردن)، قبل از استفاده از آنها به عنوان مواد افزودنی معدنی، نیاز داشته باشند یا ممکن است به این کار نیازی نداشته باشند.

پوزولانهای طبیعی



پوزولانهای طبیعی

- به غیر از خاک دیاتومه، تمام پوزولانهای طبیعی از سنگها و کانیهای آتشفشانی سرچشمه گرفته اند.
- در حین فورانهای آتشفشانی انفجاری، خنک شدن سریع ماگما که متشکل از آلومینوسیلیکاتها است، منجر به تشکیل شیشه یا فازهای شیشه ای با ساختمان نامنظم (آمورف) می شود.
- از آنجاکه آلومینوسیلیکاتهای با ساختمان نامنظم در معرض محلول آهک، پایدار باقی خواهند ماند، این امر اساس خواص پوزولانی مواد آتشفشانی می گردد.

پوزولانهای طبیعی

- طبقه‌بندی پوزولان‌های طبیعی مشکل است، زیرا این مصالح به‌ندرت تنها دارای ماده متشکله واکنش‌زا هستند.
- با این وجود، براساس ماده متشکله واکنش‌زای اصلی موجود، یک طبقه‌بندی می‌تواند به‌صورت شیشه‌های آتشفشانی، توف‌های آتشفشانی، رس‌ها یا سنگ‌های رسی تکلیس‌شده، و خاک‌های دیاتومه باشد.

شیشه های آتشفشانی (Volcanic Glasses)

- مشخصه واکنش‌زایی با آهک در آنها اساساً از شیشه آلومینوسیلیکات تغییرنیافته با ساختمان نامنظم، سرچشمه می‌گیرد.
- کانی‌های متبلور غیرواکنش‌زا مانند کوارتز، فلدسپار و میکا در ماتریس شیشه‌ای محاط‌شده، یافت می‌شوند.
- خاک سانتورین یونان، پوزولان باکلی ایتالیا و پوزولان شیراسو ژاپن، مثال‌هایی از این مواد پوزولانی هستند.

توف های آتشفشانی (volcanic Tuffs)

- تغییر شیشه آتشفشانی تحت شرایط دمایی و رطوبتی خاص می تواند منجر به تشکیل کانی های زئولیتی (تراپس زئولیتی) شود که دارای ترکیباتی از خانواده $(\text{Na}_2\text{Ca})\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{XH}_2\text{O}$ می باشند.
- این محصول، توف آتشفشانی نامیده می شود و با یک بافت به هم فشرده مشخص می گردد.
- توف های زئولیتی با بافت به هم فشرده شان نسبتاً قوی هستند و مقاومت های فشاری در حدود ۱۰۰ تا ۳۰۰ kg/cm^2 به دست می آورند.

توف های آتشفشانی

- بعد از آنکه توده به هم فشرده به اندازه ذرات نرم آسیاب شود، کانی های زئولیتی واکنش زایی قابل توجهی را با آهک نشان می دهند و مشخصات سیمانی کننده ای مشابه با پوزولان هایی که دارای شیشه آتشفشانی هستند، به وجود می آورند.
- توف های منطقه البرز ایران، پوزولان های سینی لاتیوم (در ایتالیا) و تراس های راین لند و باواریا (در آلمان)، نمایانگر توف های آتشفشانی متعارف هستند.

رس های تکلیس شده یا شیل (Calcined Clays or Shales) ها

- شیشه ها و توف های آتشفشانی نیازی به فرآوری حرارتی برای زیاده تر کردن خاصیت پوزولانی شان ندارند.
- با این وجود، رس و شیل ها، واکنش زایی محسوسی با آهک از خود نشان نمی دهند، مگر آنکه ساختمان های بلوری موجود در کانی های رسی به وسیله فرآوری حرارتی از بین برده شود.
- دماهای در حدود ۶۰۰ تا ۹۰۰ °C در کوره های دوار با سوخت نفتی، گازی، یا زغال سنگی برای این مقصود است.
- فعالیت پوزولانی این محصول، اساساً به علت تشکیل یک ساختمان آلومینوسیلیکاتی آمورف یا نامنظم در نتیجه فرآوری حرارتی است.

خاک دیاتومه (Diatomaceous Earth)

- این گروه از پوزولان‌ها، به وسیله مواد با منشأ آلی مشخص می‌شوند.
- دیاتومه، سیلیس هیدراته شده آمورف است که متشکل از اسکلت صدف‌ها از دیواره‌های سلولی بسیاری از انواع جلبک‌های آبی ذره‌بینی می‌باشد.
- دیاتومه‌ها بسیار با آهک واکنش‌زا هستند اما اسکلت ساختمان ذره‌بینشان باعث نیاز آنها به آب زیاد می‌گردد.
- علاوه بر این، معادن دیاتومه دارای مقادیر زیادی رس هستند و بنابراین باید قبل از استفاده، فرآوری حرارتی شوند تا واکنش‌زایی پوزولانی‌شان زیاده‌تر گردد.
- معادن شناخته شده در کالیفرنیا، الجزایر، کانادا، آلمان، دانمارک و ایران

پوزولانهای طبیعی

- پوزولان در ایران در سال ۱۳۲۰ کشف شد.
- از پوزولان های طبیعی ایران می توان تراش جاجرود ، توف البرز و آبیک، پومیس خاش، خاک سرخ لومبار ، پوکه بستان آباد، و زئولیت را نام برد.
- دامنه کوه های سبلان، سهند ، دماوند ، تفتان و استان کرمان نیز از جمله مکان های پوزولان های طبیعی ایران می باشند.

مواد جنبی یا زائدات صنعتی



مواد جنبی یا زائدات صنعتی

- خاکسترهای حاصل از سوختن زغال سنگ و بعضی از محصولات باقی مانده در آن
- سیلیس ناپایدار حاصل از بعضی از عملیات متالورژی
- روباره دانه‌ای حاصل از صنایع آهن گدازی
- خاکستر پوسته برنج
- متاکائولین

خاکستر بادی (Fly Ash)

- در هنگام احتراق زغال سنگ پودر شده، همراه با عبور زغال سنگ از میان ناحیه با درجه حرارت زیاد کوره، کربن و مواد ناپایدار می سوزند، در صورتی که بیشتر کانی های ناخالص مانند رس ها، کوارتز و فلدسپارها در درجه حرارت زیادتر ذوب می شوند.
- ماده گداخته شده به سرعت به نواحی با درجه حرارت کمتر انتقال می یابد که در آنجا به صورت ذرات گروی شیشه ای جامد می شود.
- بعضی از کانی ها، به هم چسبیده و تشکیل خاکستر ته مانده را می دهند، اما بیشتر آنها با جریان بخار گاز خارج می شود و خاکستر بادی نامیده می شود.

خاکستر بادی

- خاکسترهای بادی از نقطه نظر دو گروه، که اساساً در مقدار کلسیم با هم تفاوت دارند، تقسیم شوند.

– خاکسترهای گروه اول (کلاس F) دارای کمتر از ۱۰ درصد CaO تجزیه‌ای بوده و به‌طور کلی، محصول احتراق آنتراسیت و زغال سنگ قیری هستند

– خاکسترهای گروه دوم (کلاس C) : معمولاً دارای ۱۵ تا ۳۵ درصد CaO تجزیه‌ای هستند و به‌طور کلی، محصول احتراق لیگنیت و زغال سنگ نیمه قیری هستند.

خاکستر بادی کلاس F

- خاکستر بادی کم کلسیم، به خاطر نسبت‌های زیاد سیلیس و آلومین آن، اصولاً شامل شیشه‌های آلومینوسیلیکات است.
- کانی‌های متبلور اصلی در خاکسترهای بادی کم کلسیم، کوارتز، مولیت و هماتیت یا سنگ آهن مغناطیسی هستند.
- از آنجایی که این کانی‌های متبلور در دمای معمولی غیرواکنش‌زا هستند، وجود آنها در نسبت‌های زیاد، به قیمت اجزای غیرمتبلور یا شیشه‌ای در خاکستر بادی، تمایل به کاهش واکنش‌زایی خاکستر بادی دارد.

خاکستر بادی کلاس C

- در مقایسه با خاکسترهای بادی کم کلسیم، انواع با کلسیم زیاد آن عموماً واکنش‌زایی بیشتری دارند، زیرا اکثر حاوی کلسیم‌های به شکل ترکیبات واکنش‌زای متبلور مانند C_3A و CS هستند.
- همچنین ماده اصلی تشکیل‌دهنده (یعنی فاز غیرمتبلور) دارای یون‌های کلسیم کافی برای زیاده‌تر کردن واکنش‌زایی شیشه آلومینوسیلیکاتی است.

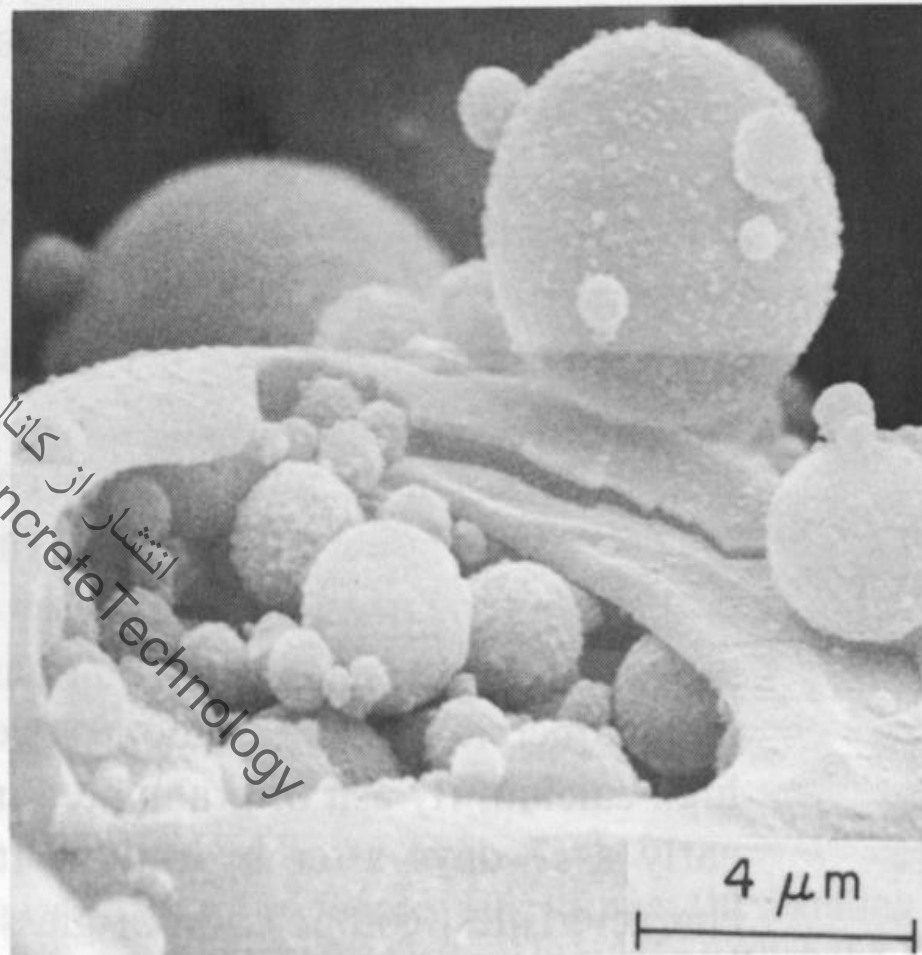
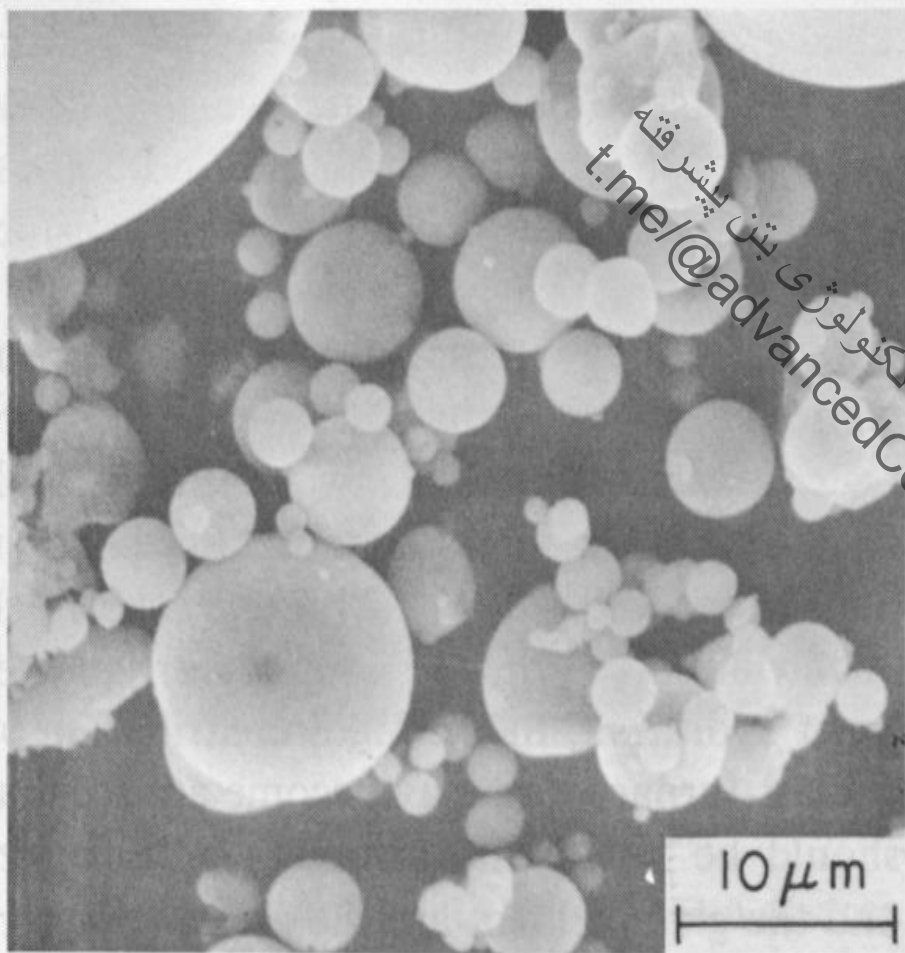
خاکستر بادی

- اکثر خاکسترهای بادی، چه کم کلسیم و چه پر کلسیم، دارای تقریباً ۶۰ تا ۸۵ درصد شیشه، ۱۰ تا ۳۰ درصد ترکیبات متبلور تا حدود ۱۰ درصد کربن نسوخته هستند.
- به طور کلی کربن، به شکل ذرات متخلخل بزرگتر از ۴۵ میکرون موجود است.
- خاکسترهای بادی دارای بیشتر از ۵ درصد کربن در بتن مضر شناخته می شود، زیرا ذرات متخلخل کربن، تمایل دارند که هم نیازمندی آن را به آب برای روانی داده شده، و هم نیازمندی آن را به مواد افزودنی برای هوازایی به میزان حجم مفروض حباب های هوا را افزایش دهند.

خاکستر بادی

- اکثر ذرات، در خاکستر بادی به صورت کره‌های جامد شیشه‌ای به وجود می‌آیند، اما گاهی اوقات تعداد کمی از کره‌های توخالی که سنوسفر (کاملاً توخالی) نامیده می‌شوند و کره‌های دیگر که پلروسفر (پر شده با کره‌های کوچک متعدد) نامیده می‌شوند نیز ممکن است به وجود آیند.
- اندازه قطر ذرات از کمتر از ۱ میکرون تا ۱۰۰ میکرون متغیر می‌باشند، به طوری که اندازه بیشتر از ۵۰ درصد آن زیر ۲۰ میکرون است.
- توزیع اندازه ذرات، شکل شناسی و مشخصات سطحی خاکستر بادی مورد استفاده به عنوان ماده افزودنی معدنی، تأثیر بسیار زیادی را بر روی نیازمندی آن به آب و نیز کارایی بتن تازه ساخته شده و سرعت افزایش مقاومت بتن سخت شده اعمال می‌کند.

خاکستر بادی



(a) spherical glassy particles

(b) a plerosphere

خاکستر بادی



روباره آهن گدازی (Blast-Furnace Slag)

- در تولید چدن یا آهن خام نیز نامیده، اگر روباره مذاب با دمای زیاد، به سرعت به وسیله آب یا ترکیبی از آب و هوا سرد شود، بیشتر آهک، منیزی، سیلیس و آلومین به شکل غیر متبلور یا حالت شیشه‌ای نگهداشته می‌شوند.
- محصول سرد شده با آب، به خاطر ذرات هم‌اندازه ماسه، روباره دانه‌ای نامیده می‌شود.
- معمولاً روباره دانه‌ای عمدتاً دارای شیشه است که اگر به میزان بلین 400 تا 500 m^2/kg آسیاب گردد، خواص سیمانی‌کننده رضایت‌بخشی را به دست می‌آورد.

روباره آهن گدازی

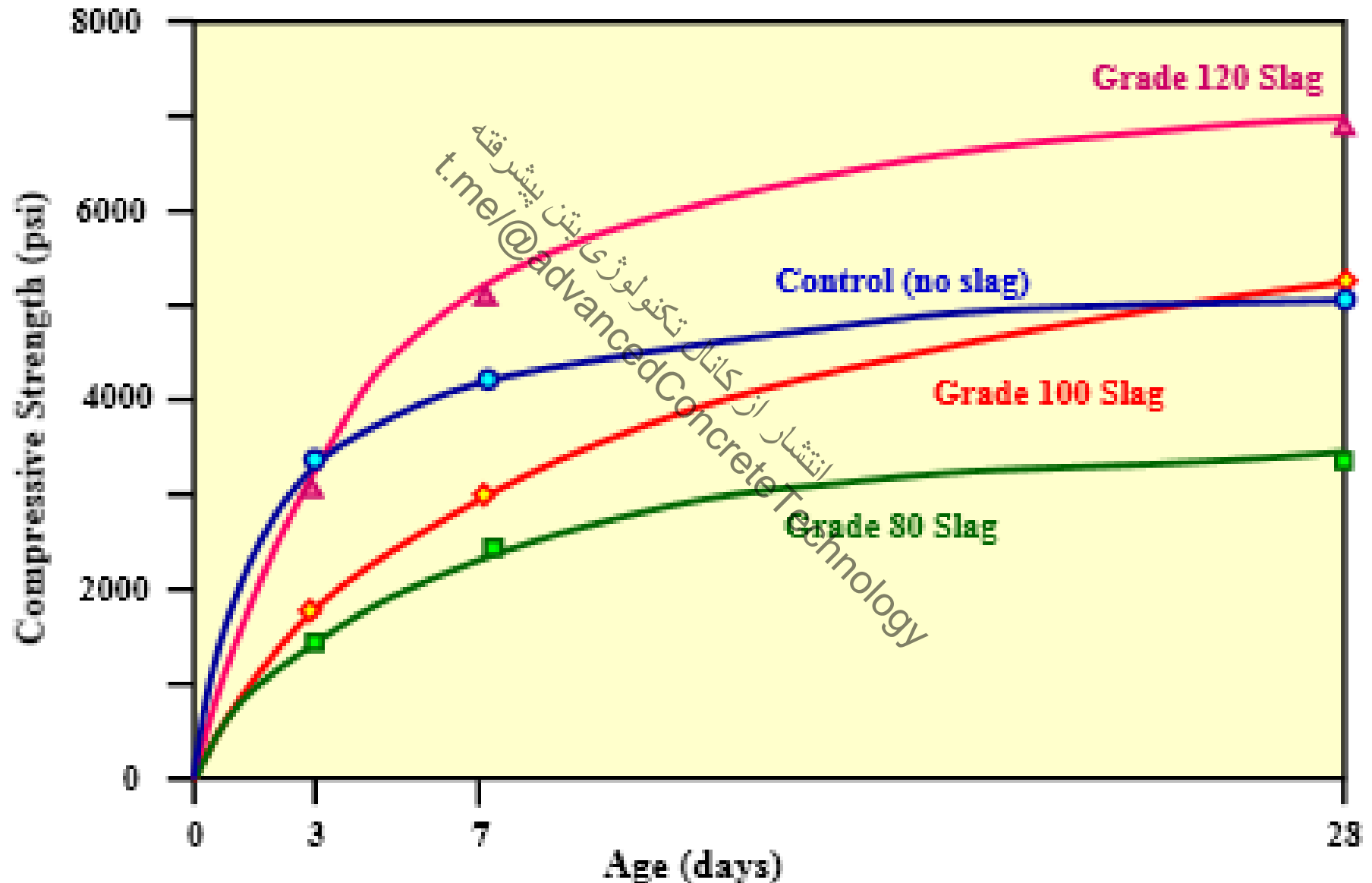


انتشار از کانال تکنولوژی بتن پیشرفته
t.me/advancedConcreteTechnology

روباره آهن گدازی

- درمقایسه با خاکستر بادی کم کلسیم، که معمولاً کمک مهمی به مقاومت بتن سیمان پرتلند تا بعد از حدود ۴ هفته هیدراتاسیون نمی‌کند، کمک مقاومت به وسیله خاکستر بادی با کلسیم زیاد یا روباره آهن گدازی دانه‌ای می‌تواند به زودی ۷ روز بعد از هیدراتاسیون ملاحظه شود.
- ذرات روباره کوچک‌تر از ۱۰ میکرون به مقاومت‌های اولیه بتن تا ۲۸ روز کمک می‌کنند؛ ذرات ۱۰ تا ۴۵ میکرون به مقاومت‌های بعدی کمک می‌کنند، اما ذرات درشت‌تر از ۴۵ میکرون برای هیدراته شدن مشکل دارند.
- مشخصات اندازه دانه، ترکیب شیشه، و مقدار شیشه عوامل اصلی تعیین‌کننده فعالیت خاکسترهای بادی و روباره‌ها هستند.

روباره آهن گدازی



دوده سیلیسی (Silica Fume)

- دوده سیلیسی متراکم، که با نام‌های دیگری مانند سیلیس فرار، میکروسیلیس، یا به‌طور ساده دوده سیلیسی نیز شناخته می‌شود، محصول زائد کوره‌های قوس الکتریکی القایی در صنایع تولید فلز سیلیسیم و آلیاژ فرو سیلیسیم است.
- تبدیل کوارتز به سیلیسیم در دماهای تا 2000°C ، تولید بخار SiO می‌کند که در ناحیه دمای کم به شکل ذرات کروی شکل کوچک شامل سیلیس غیرمتبلور، اکسیده و متراکم می‌گردد.
- ماده جمع‌آوری شده به وسیله فیلترهای کیسه‌ای گازهای خروجی، دارای قطر متوسط حدود $0/1$ میکرون و مساحت سطح در حدود 20 تا $25 \text{ m}^2/\text{kg}$ می‌باشد.

دوده سیلیسی

Silica Fume Particles

انتشار از کانال تکنولوژی بتن پیشرفته
t.me/advancedConcreteTechnology

دوده سیلیسی

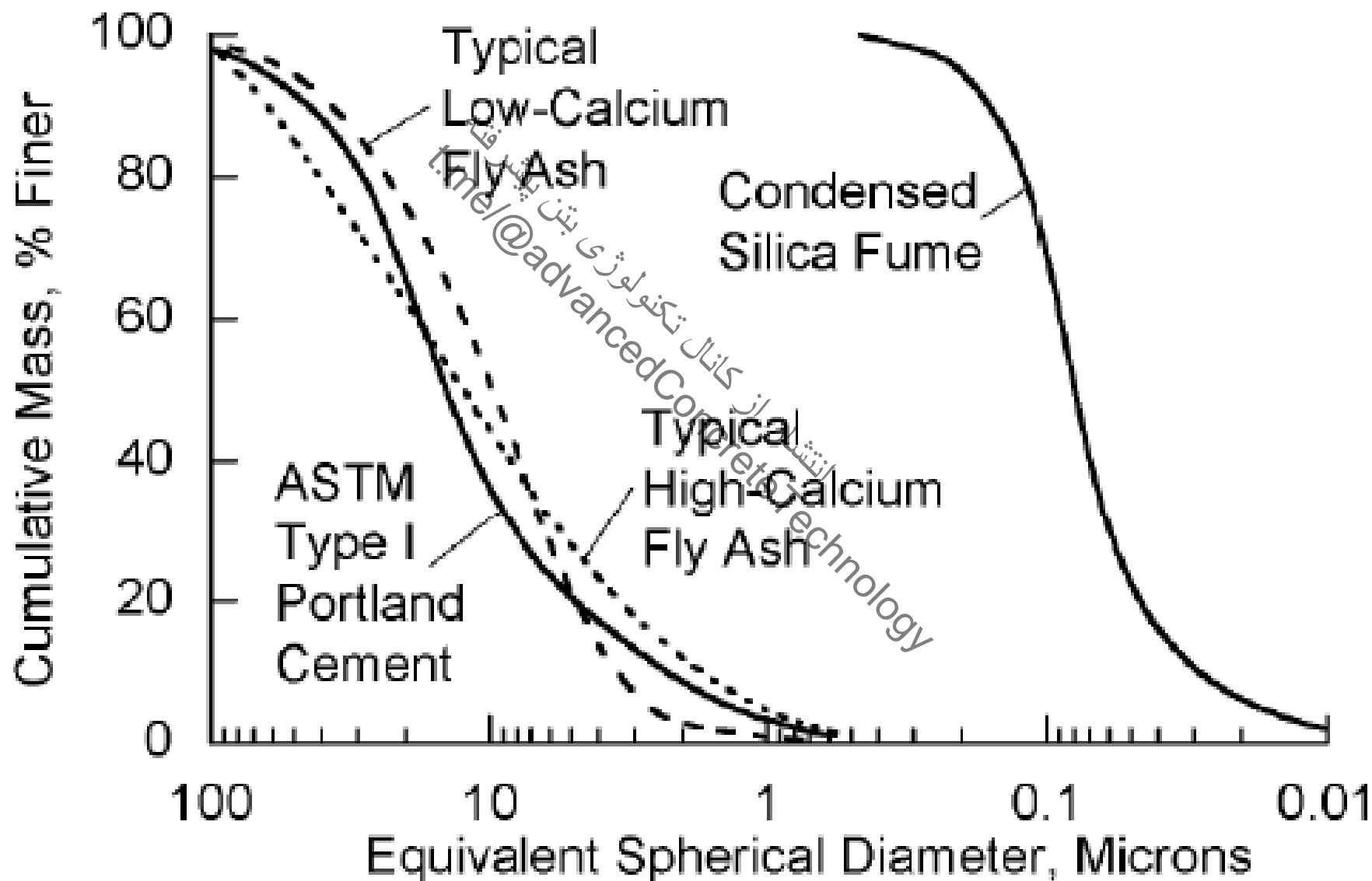


Microsilica or silica fume use for concrete

دوده سیلیسی

- در مقایسه با سیمان پرتلند معمولی و خاکسترهای بادی متعارف، نمونه‌های دوده‌سیلیسی متراکم توزیع اندازه‌ذراتی را نشان می‌دهند که دو مرتبه، نرم‌تر هستند.
- به همین جهت واکنش پذیری آن بالا بوده (پوزولان قوی) و به افزایش مقاومت اولیه کمک می‌نماید.
- از طرف دیگر، مشکلات جابه‌جایی دارد و نیازمندی به آب را در بتن نیز به‌طور محسوسی افزایش می‌دهد، مگرآنکه همراه با آن مواد افزودنی کاهنده آب بکار برده شوند.

دوده سیلیسی



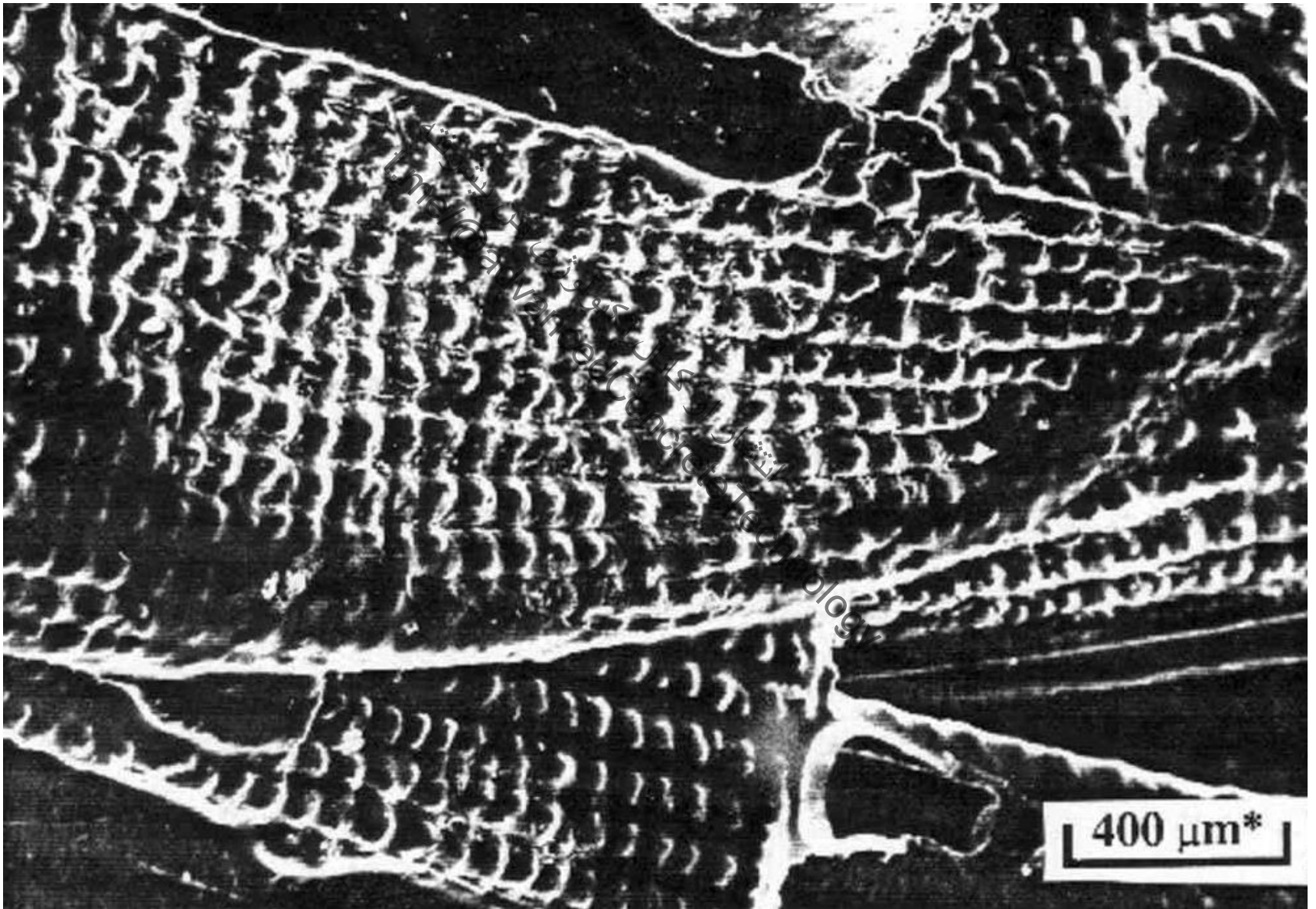
خاکستر پوسته برنج (Rice Husk Ash)

- پوسته برنج، پوسته‌های به‌دست‌آمده در خلال عملیات جداسازی برنج از شلتوک برنج می‌باشد.
- از آنجا که این پوسته‌ها حجیم هستند، مشکلات دفع بسیار زیادی برای آسیاهای متمرکز برنج به‌همراه می‌آورند.
- هر تن شلتوک برنج حدود ۲۰۰ کیلوگرم پوسته تولید می‌کند که پس از احتراق تقریباً ۴۰ کیلوگرم خاکستر حاصل می‌کند.
- خاکستر حاصل‌شده، در زمان سوزاندن در فضای آزاد یا در احتراق کنترل‌نشده کوره‌های صنعتی، به‌طور کلی دارای نسبت زیادی از کانی‌های سیلیس غیرواکنش‌زا می‌باشد.

خاکستر پوسته برنج

- به منظور افزایش خاصیت پوزولانی این خاکستر باید به اندازه ذرات بسیار ریز آسیاب گردد.
- از طرف دیگر، می توان به وسیله احتراق کنترل شده که سیلیس به شکل غیرمتبلور و ساختار لانه زنبوری نگهداشته می گردد، خاکستر پوزولانی تولید نمود.
- نمونه های تولید صنعتی این ماده مساحت سطحی در حد $50 \text{ m}^2/\text{g}$ تا ۶۰، اندازه گیری شده به روش جذب سطحی نیتروژن را نشان می دهند.

خاکستر پوسته برنج



متاکائولین (Metakaolin)

- متاکائولین بواسطه تکلّیس کائولین خالص (رس معدنی) طی عملیات حرارتی کنترل شده ای در درجه حرارت ۸۰۰-۶۵۰ درجه سانتیگراد بدست می آید.
- این حرارت، آب شیمیایی کائولین را خارج نموده و ساختار کریستالی آن را از بین می برد و محصول به سیلیکات آلومینیوم آمورف تبدیل می گردد.
- سپس محصول تا بدست آوردن ذراتی با اندازه ریزتر از ۲ میکرون آسیاب می شود.
- متاکائولین یک پوزولان بسیار فعال با سطح ویژه زیاد و رنگ سفید است.

مزیت های افزودنی های معدنی

- از بین بردن هیدروکسید کلسیم

- چگال سازی

- بهبود دوام

- کاهش ترک خوردگی حرارتی

- بهبود کارایی و چسبندگی

- کاهش آب انداختگی و جداشدگی

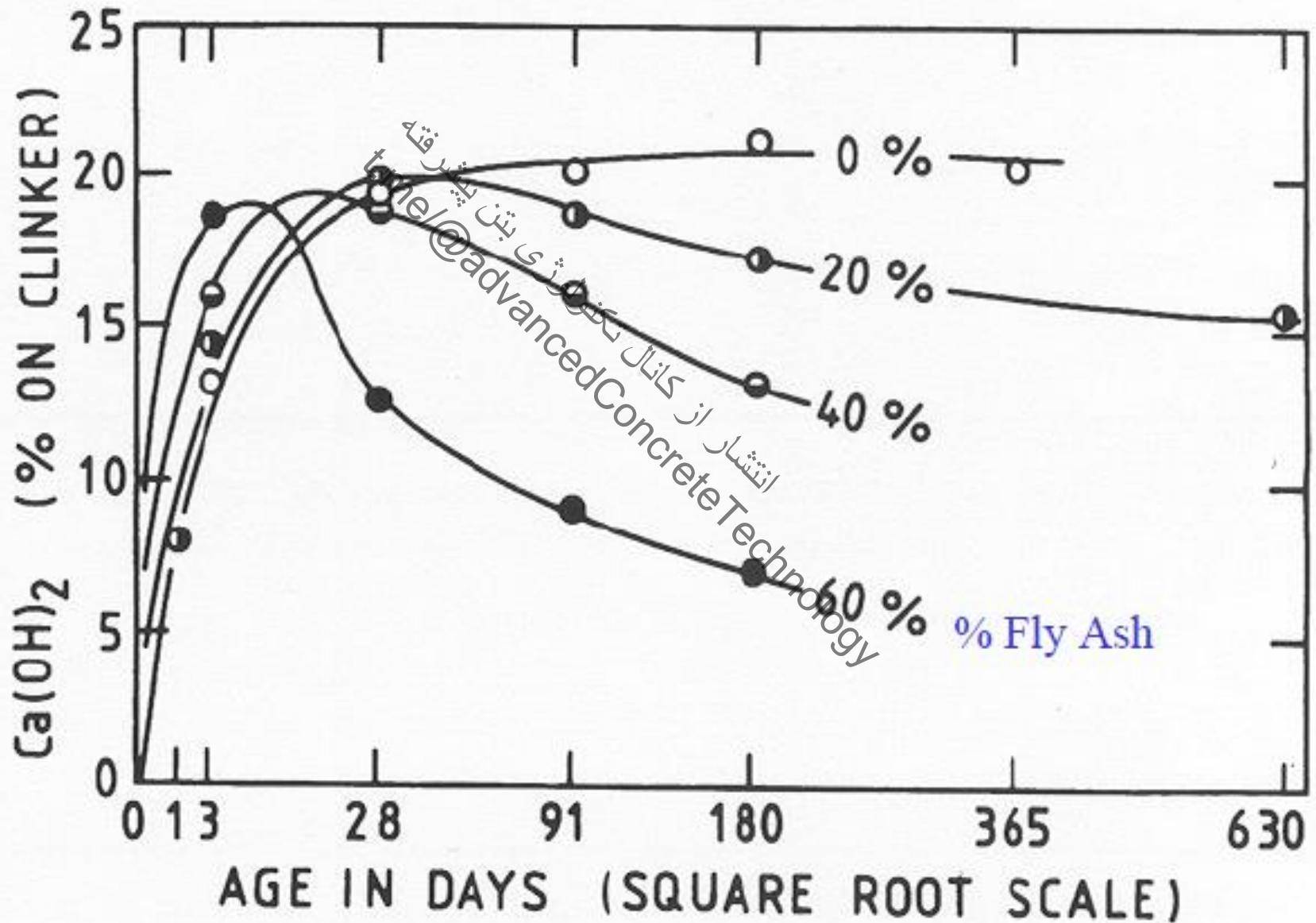
- افزایش مقاومت نهایی

انتشار از کانال تکنولوژی بتن پیشرفته
t.me/advancedConcreteTechnology

مکانیزم عمل افزودنی های معدنی

- ذرات ریز افزودنی های معدنی باعث سد راه منافذ حرکت مولکولهای آب شده و موجب کاهش آب انداختگی می شوند.
- کاربرد افزودنی های معدنی باعث از بین رفتن کریستالهای نسبتا بزرگ هیدروکسید کلسیم شده و ساختار دانه ها را ریزتر می نماید.
- همچنین با ریزتر کردن ساختار منافذ موجب کاهش تخلخل و نفوذپذیری می شوند.

کاهش هیدروکسید کلسیم



کاهش هیدروکسید کلسیم

CALCIUM HYDROXIDE CONTENT

CALCIUM-HYDROXIDE CONTENT
% BY WEIGHT OF CEMENT



SILICA FUME CONTENT, % OF CEMENT MASS

کاهش هیدروکسید کلسیم

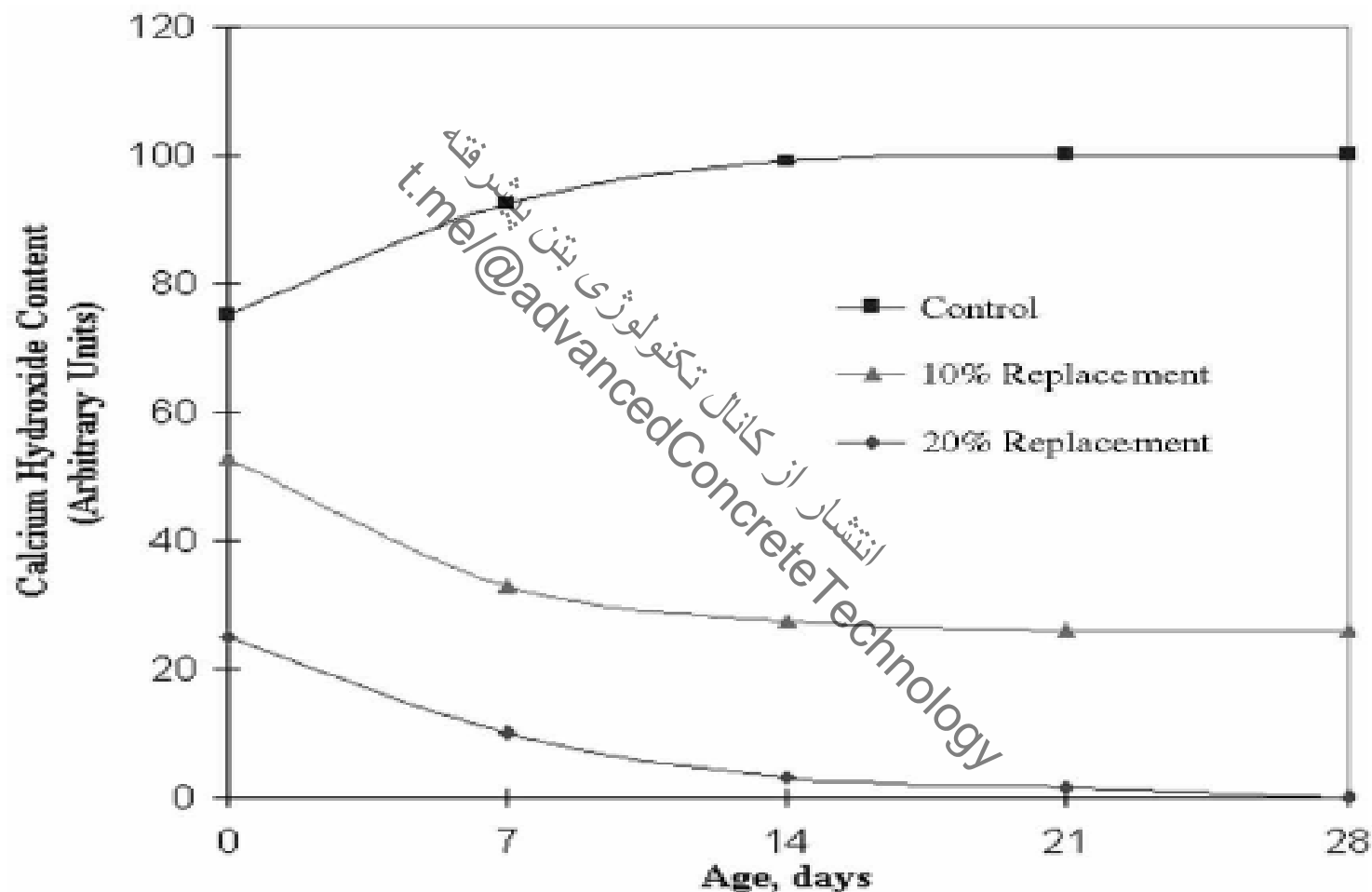
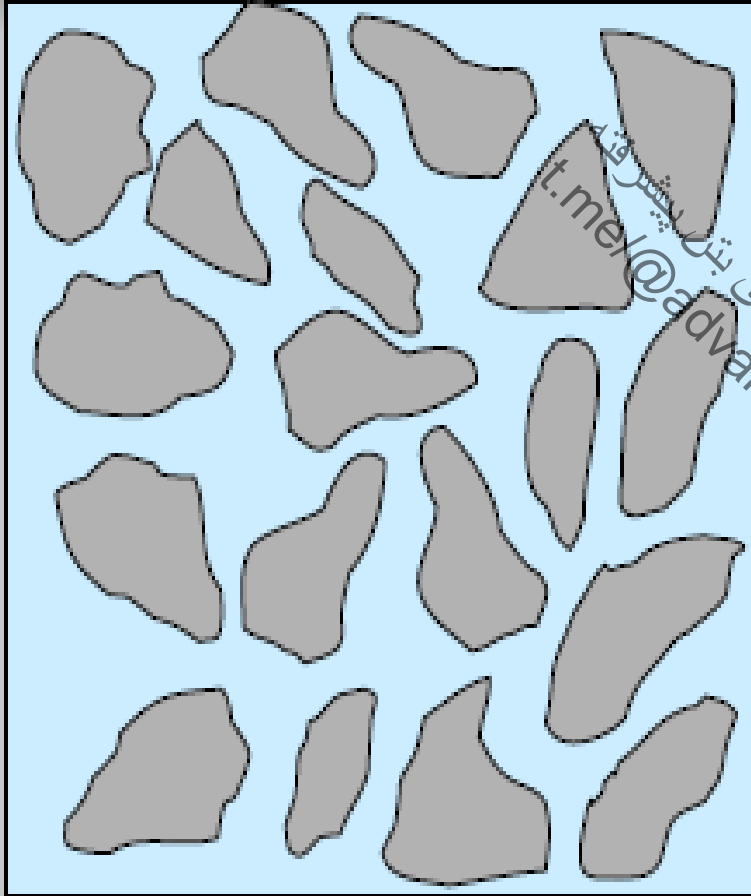
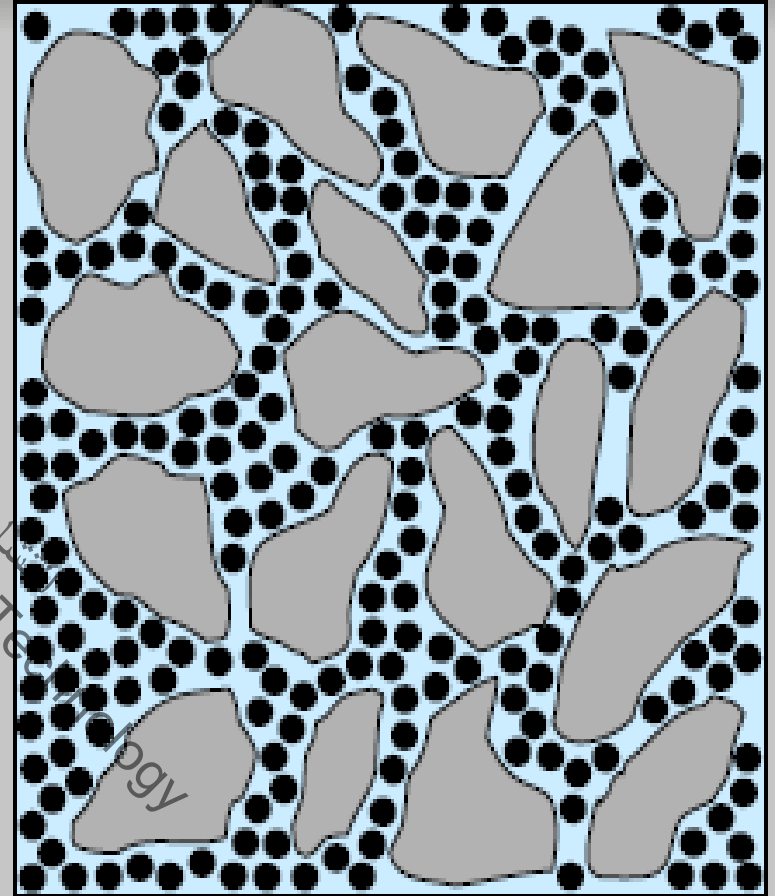


Fig. 1.3—Effect of replacing part of portland cement in concrete by metakaolin on calcium hydroxide content of concrete as it cures (Kostuch, Walters, and Jones 1993).

چگال سازی

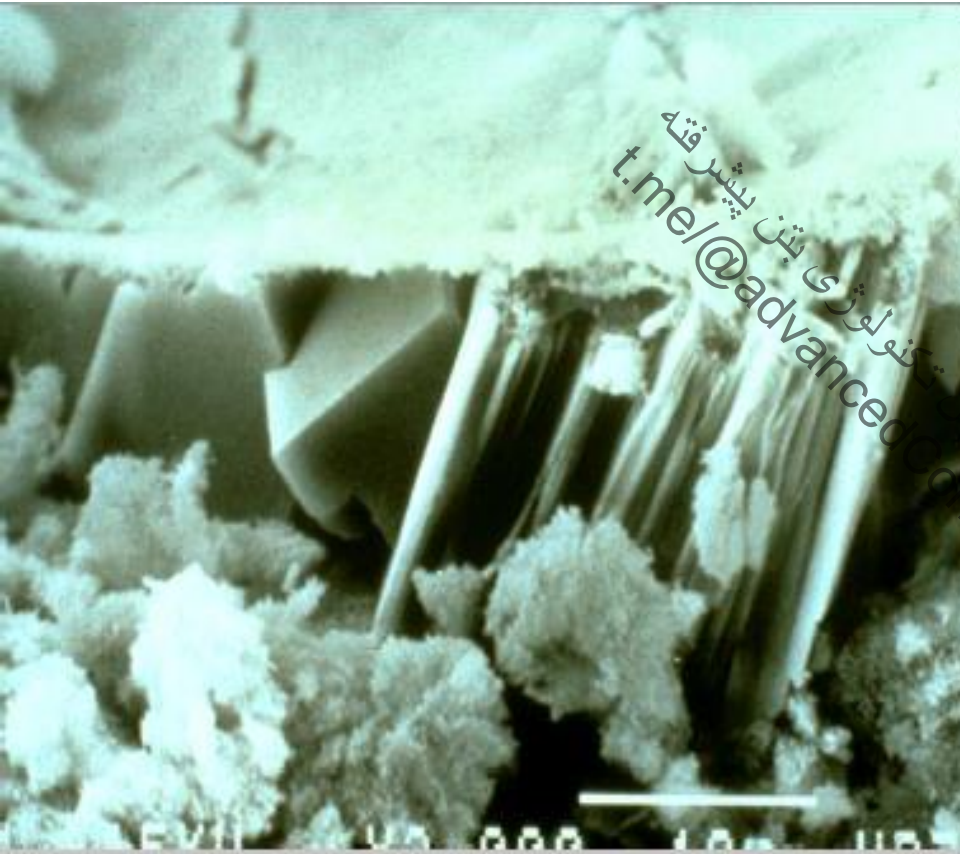


i) cement only

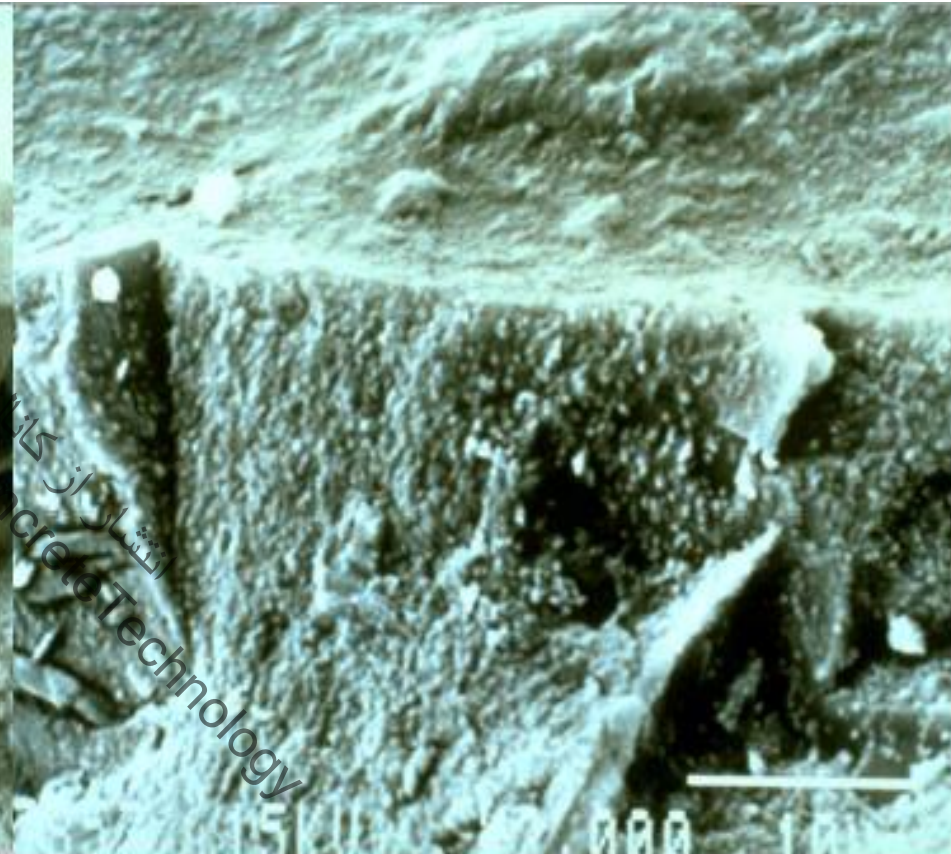


ii) with silica fume

کاهش تخلخل ناحیه انتقال



PC: 10-20um lime-rich,
porous ITZ next to
aggregate socket.



Silica fume: Dense ITZ

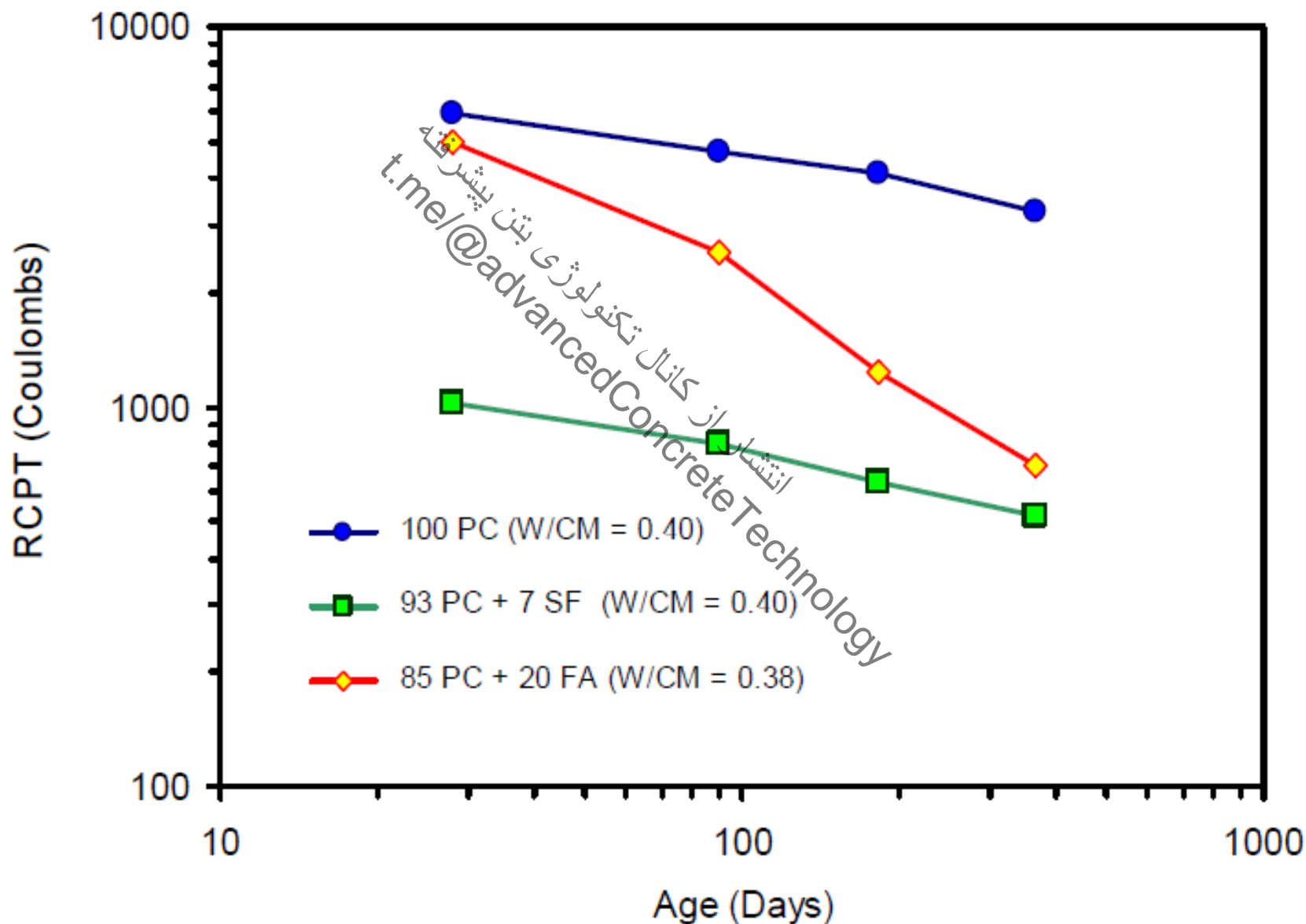
کاهش نفوذ پذیری

Slag %	Water	W/CM	91-day Strength (MPa)	RCPT (coulombs)	Permeability H ₂ O 10 ⁻¹³ m/s
0	200	0.45	35.8	5200	10.1
25	200	0.45	42.7	2450	5.4
50	200	0.45	42.8	1020	2.3

5.1x

4.4x

کاهش نفوذ پذیری



افزایش مقاومت نهایی

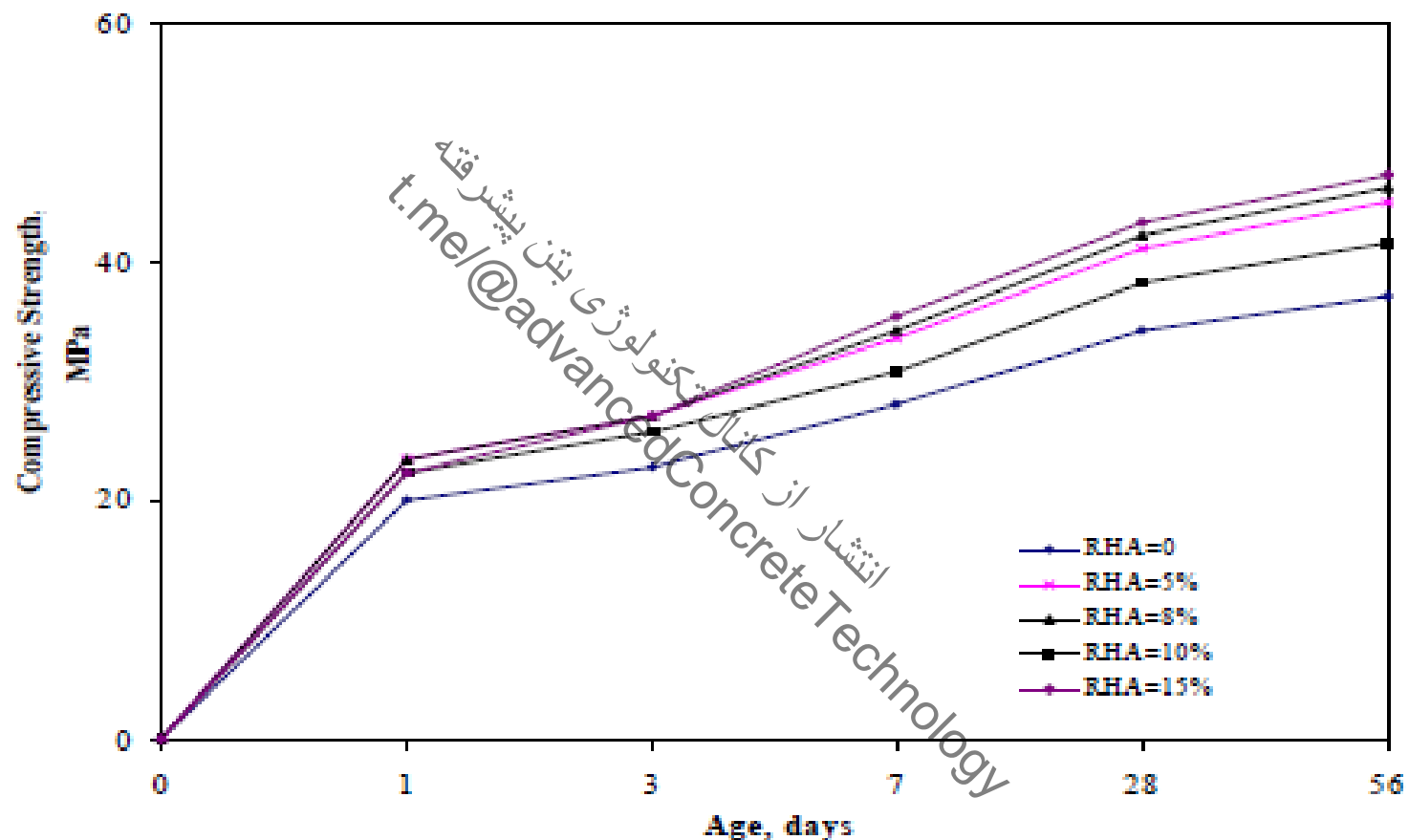


Fig. 2.3—Development of compressive strength of concrete with different percentages of RHA as cement replacement ($w/cm = 0.40$) (Zhang and Malhotra 1996).

افزایش مقاومت نهایی

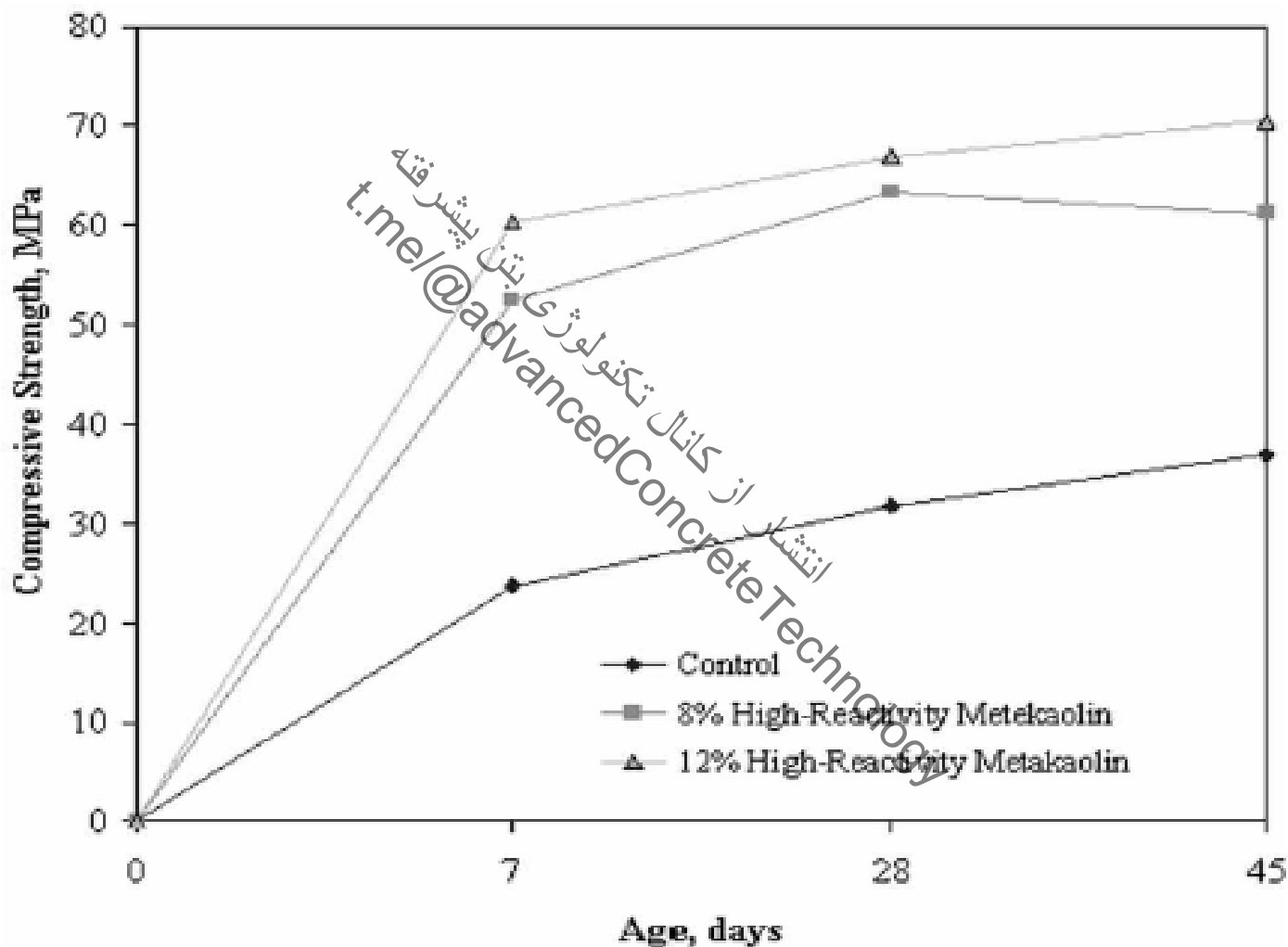


Fig. 1.5—Effect of high-reactivity metakaolin at 0.3 w/cm ratio on compressive strength of concrete (Hooton, Gruber, and Boddy 1997).

تأثير عمل آوری

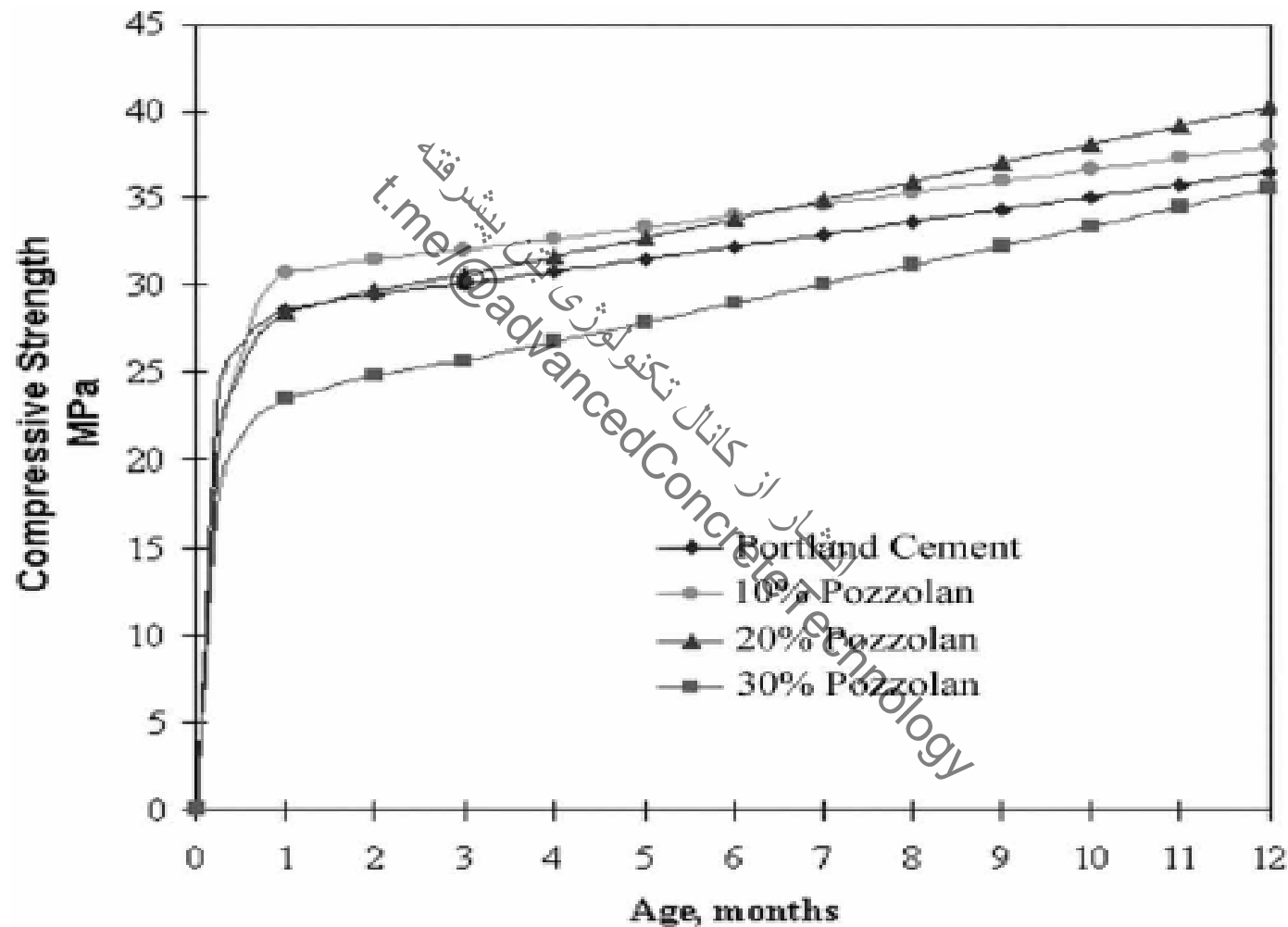
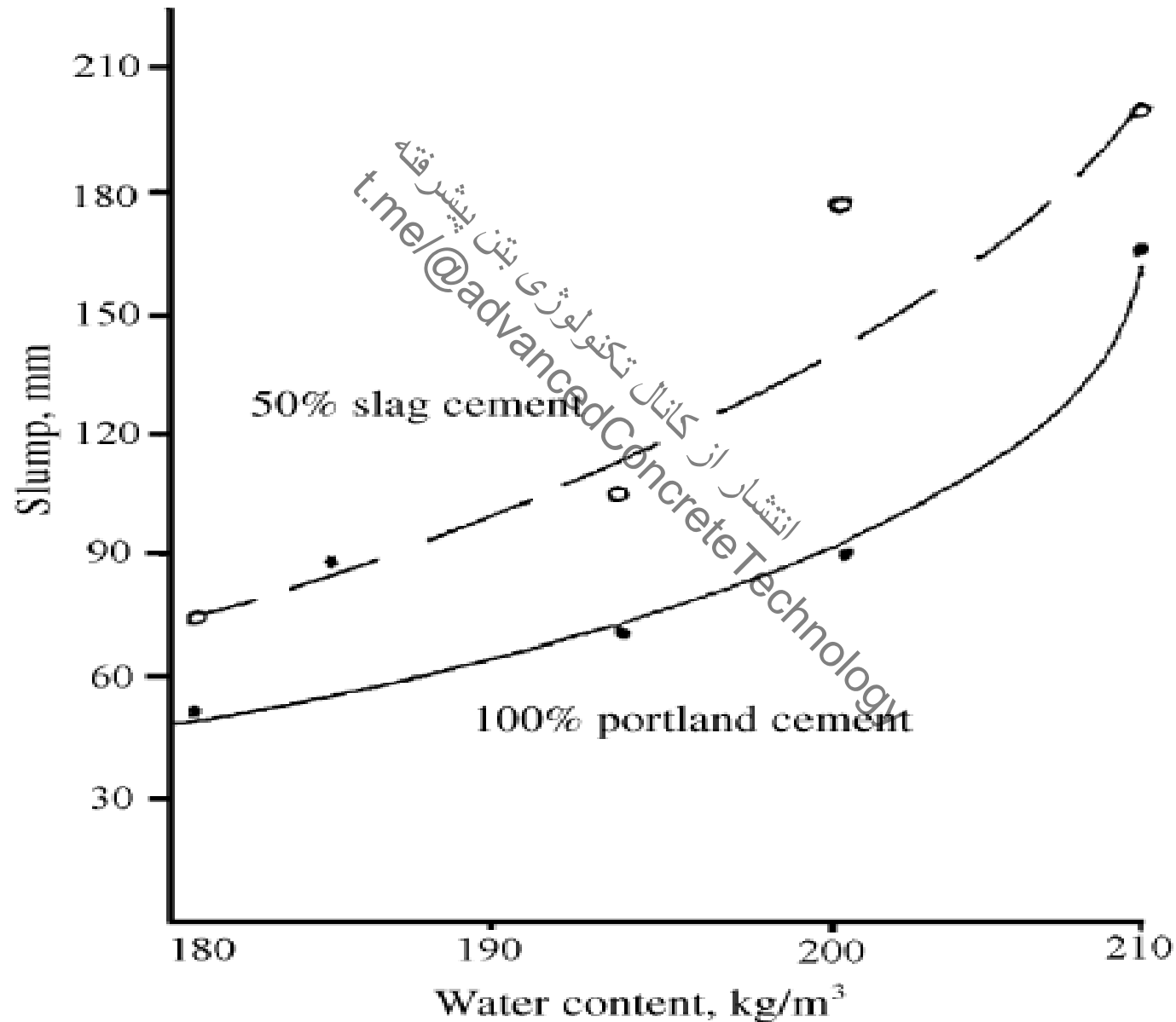


Fig. 2.7—Effect of curing time on compressive strength of mortar cubes up to 12 months made with portland-pozzolan cements containing Santorin earth (Mehta 1981).

بهبود کارآیی

- در مخلوط‌های بتنی تازه‌ای که تمایل به آب‌انداختگی و جداشدگی از خود نشان می‌دهند، اضافه کردن ذرات از هم جدا به‌طور کلی کارآیی را به‌وسیله کاهش اندازه و حجم فضاها ^{خالی} می‌دهد.
- هرچه ماده افزودنی معدنی نرم‌تر باشد، مقدار کمتری از آن برای زیاده‌تر کردن چسبندگی و بنابراین کارآیی بتن تازه مخلوط شده لازم خواهد بود.
- اندازه کوچک و بافت شیشه‌ای خاکسترهای بادی و روباره‌ها، کاهش مقدار آب لازم برای روانی داده‌شده را امکان‌پذیر می‌سازد.

بهبود کار آیی



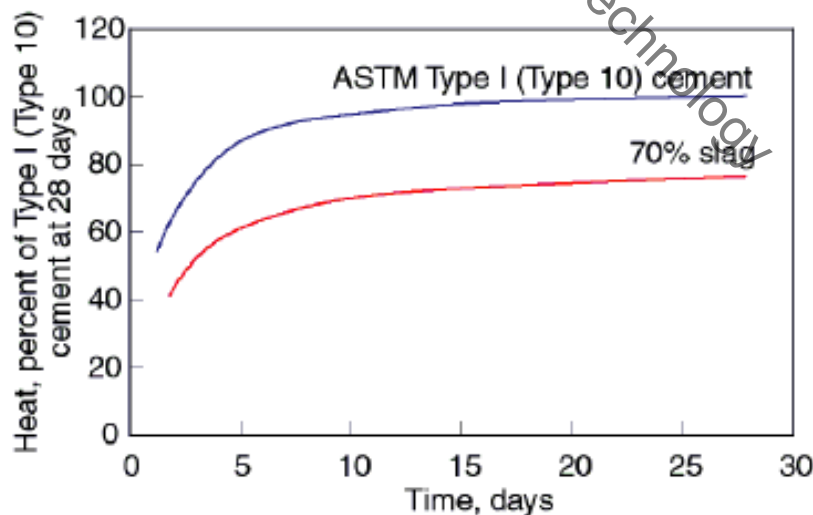
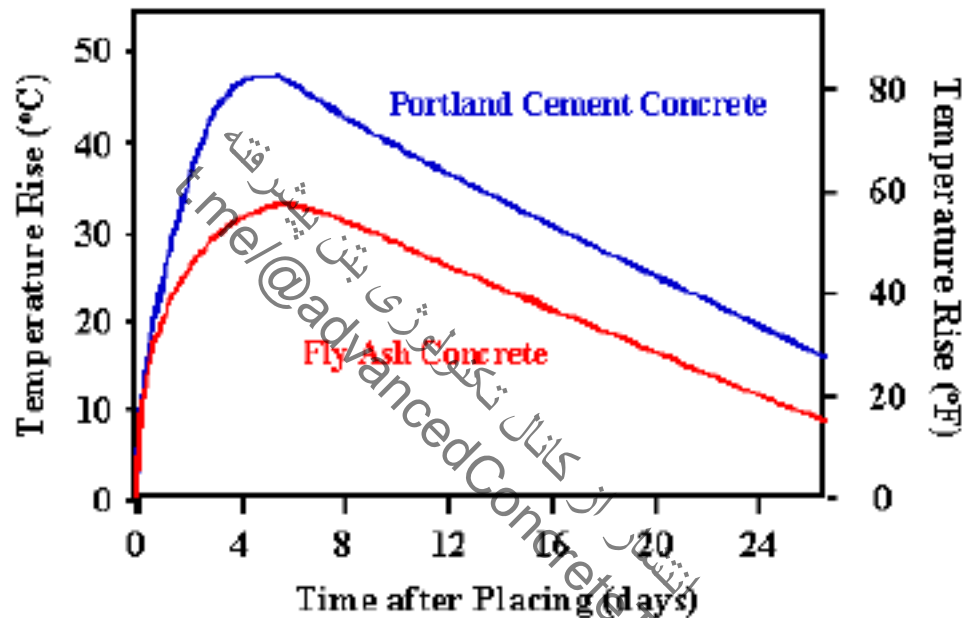
بهبود کارآیی

- باید توجه نمود که اگرچه همه مواد افزودنی معدنی تمایل به بهبود چسبندگی و کارآیی بتن تازه را دارند، ولی بسیاری قابلیت کاهش آب خاکسترهای بادی و روباره‌ها را ندارد.
- برای یک روانی داده‌شده بتن، استفاده از مصالح با مساحت سطح خیلی زیاد مانند پومیس، خاکستر پوسته برنج و دود سیلیسی متراکم، نیاز به آب را افزایش می‌دهد.
- همچنین اغلب پوزولان‌های طبیعی به علت غیرکروی بودن ذرات و تمایل به جذب آب زیاد در شرایط یکسان طرح اختلاط سبب کاهش کارآیی می‌گردند.

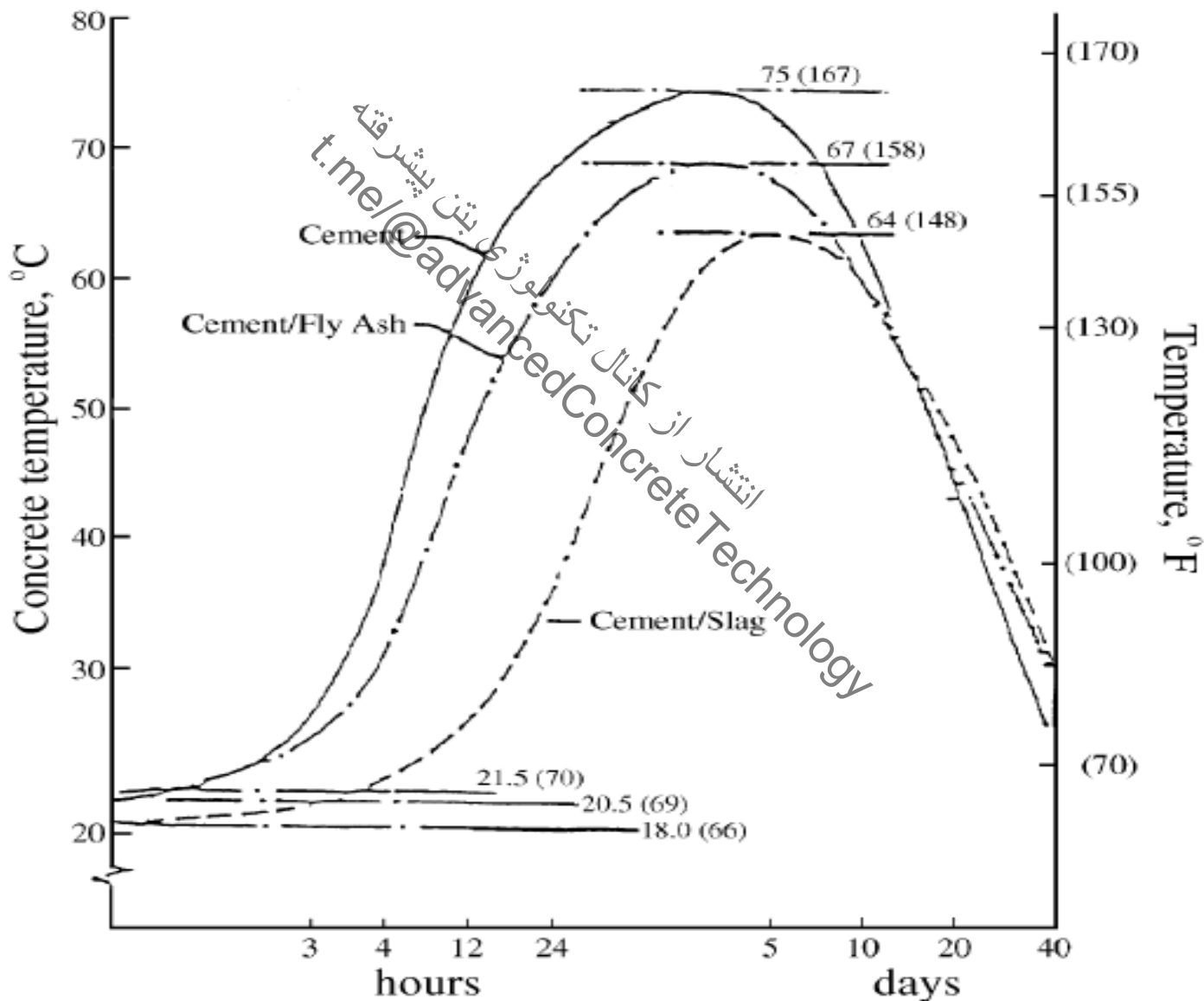
دوام در برابر ترک خوردگی حرارتی

- با فرض بر اینکه به علت حرارت هیدراتاسیون، حداکثر دمای یک سازه حجیم در عرض یک هفته پس از جا دادن بتن به دست می آید، استفاده از ماده افزودنی معدنی امکان کاهش افزایش دما را تقریباً به نسبت مستقیم با مقدار سیمان پرتلند جایگزین شده به وسیله مواد افزودنی، به وجود می آورد.
- این امر به دلیل آن است که تحت شرایط معمولی، این مواد افزودنی به مقدار زیادی برای چندین روز واکنش انجام نمی دهند.
- به عنوان قانون تجربی، کل حرارت هیدراتاسیون تولید شده توسط واکنش های پوزولانی مشتمل بر مواد افزودنی معدنی، نصف متوسط حرارت تولید شده توسط هیدراتاسیون سیمان پرتلند در نظر گرفته می شود.

دوام در برابر ترک خوردگی حرارتی



دوام در برابر ترک خوردگی حرارتی



دوام در برابر ترک خوردگی حرارتی

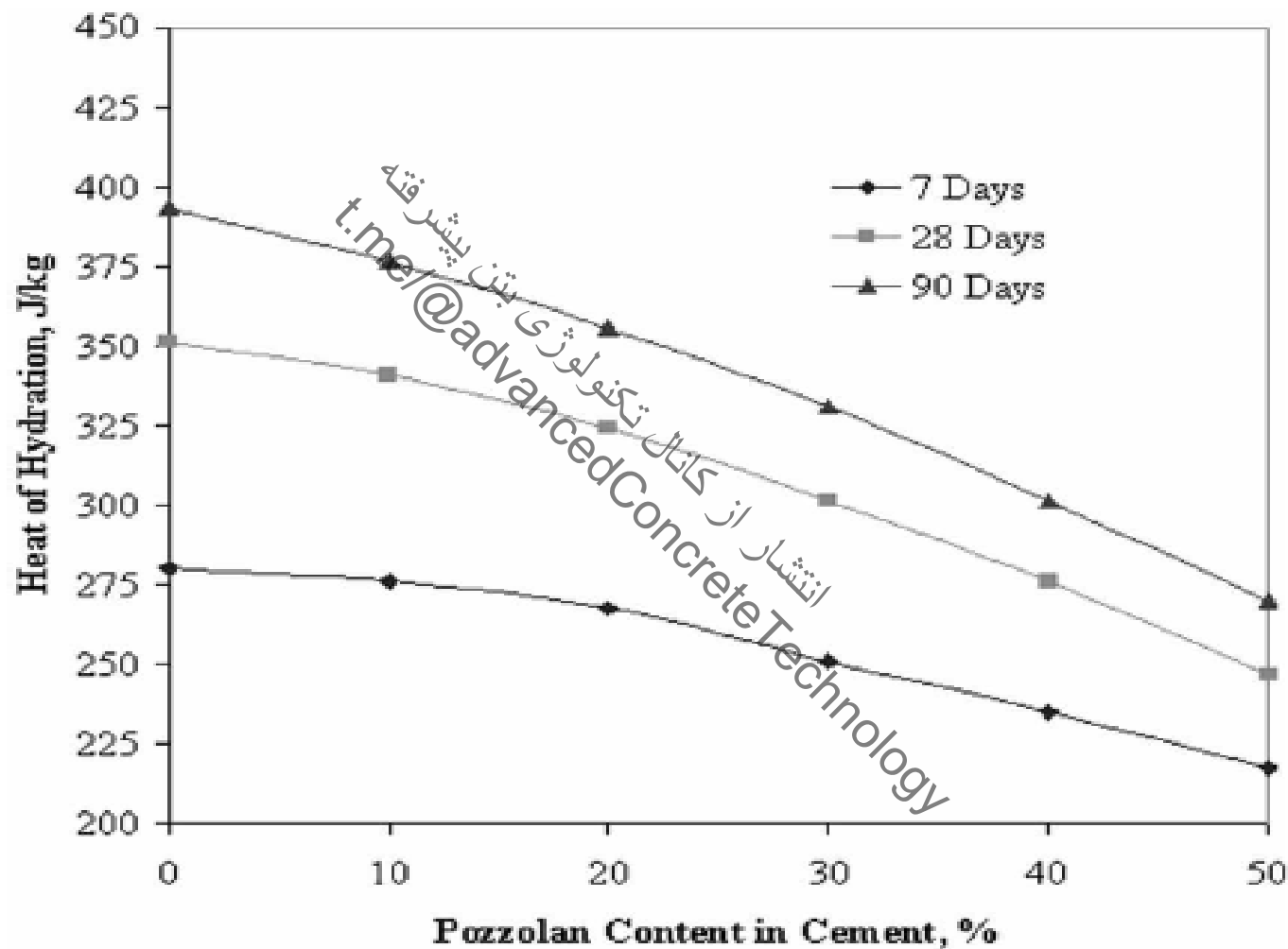


Fig. 2.13—Effect of substituting Italian natural pozzolan for portland cement on heat of hydration (Massazza and Costa 1979).

دوام در برابر حملات شیمیایی

- نفوذپذیری بتن از منظر ارزیابی نرخ خرابی در اثر واکنشهای شیمیایی مخرب مانند واکنش قلیایی بسنگدانه و حملاتی اسیدی و سولفاتی از اهمیت اساسی برخوردار است.
- از آنجا که واکنش پوزولانی مواد افزودنی معدنی قابلیت اصلاح شرایط منفذی را داشته و نفوذپذیری را کاهش می‌دهد، مطالعات کارگاهی و آزمایشگاهی بهبود قابل توجهی را در دوام شیمیایی بتن‌های حاوی مواد افزودنی معدنی نشان داده‌اند.

دوام در برابر حملات شیمیایی

- مقالات علمی انتشار یافته حاوی شواهد کافی است که به طور کلی نشان دهنده بهبود مقاومت مصالح با افزودن مواد افزودنی معدنی به بتن در مقابل آب اسیدی، آب سولفاتی و آب دریا می باشد.
- این امر اساساً به خاطر واکنش پوزولانی است که همراه با **کاهش نفوذ پذیری، و نیز کاهش مقدار هیدروکسید کلسیم** محصول هیدراته شده است.

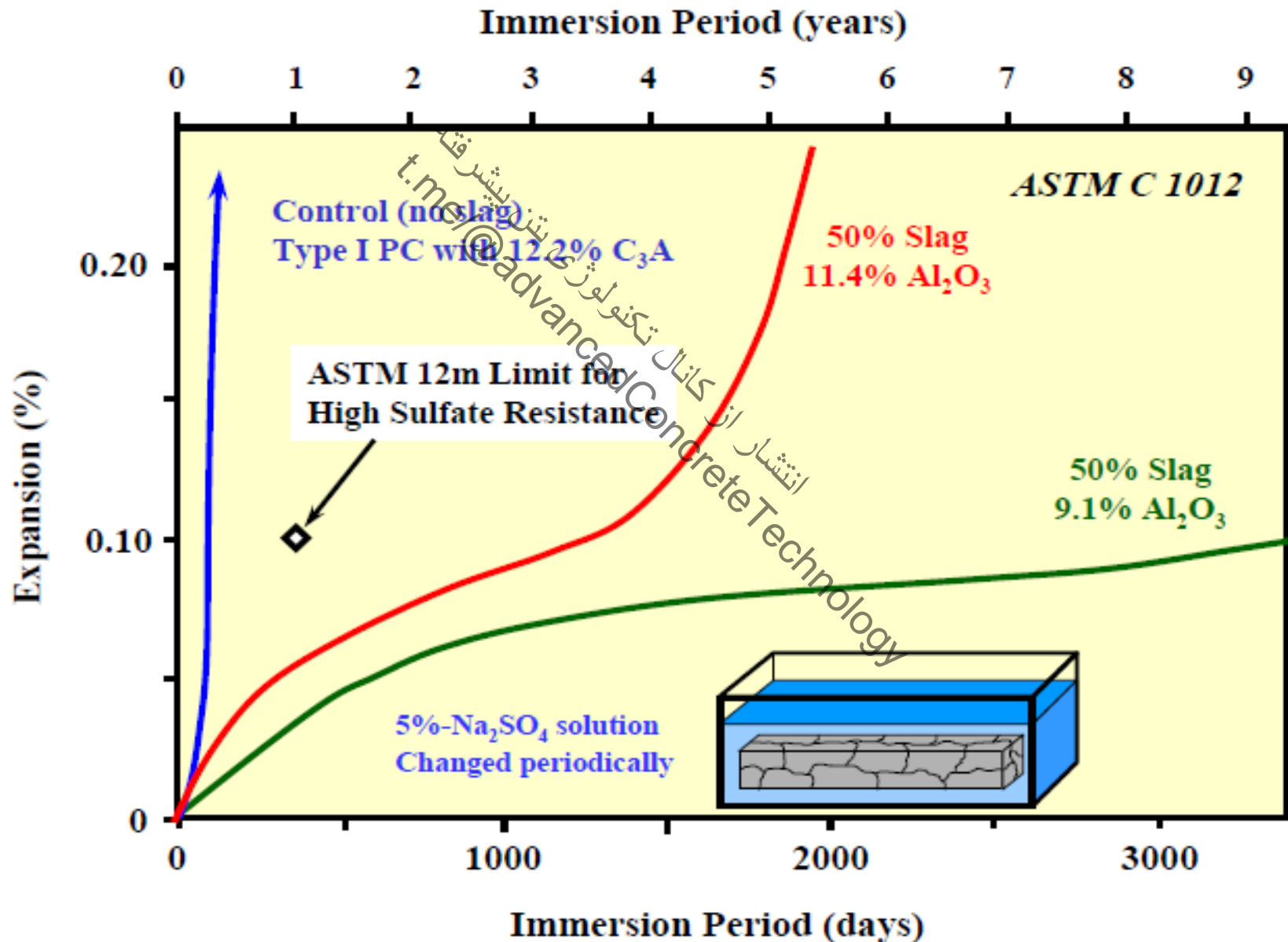
دوام در برابر حملات شیمیایی

- در خمیرهای سیمان دارای ۱۰ تا ۳۰ درصد خاکستر بادی کم کلسیم در خلال مدت زمان ۲۸ تا ۹۰ روز عمل آوری اصلاح وضعیت منفذی، به میزان زیادی انجام می گیرد که این امر باعث کاهش تراوایی از 11×10^{-11} تا 13×10^{-11} سانتیمتر بر ثانیه می شود.
- درمورد خمیرهای سیمان دارای ۱۰ تا ۳۰ درصد خاکستر پوسته برنج یا دوده سیلیسی متراکم، یا ۷۰ درصد روباره آهنگدازی دانه‌ای، حتی در ۲۸ روز بعد از هیدراتاسیون؛ سیستم تقریباً نفوذناپذیر یافته شد.

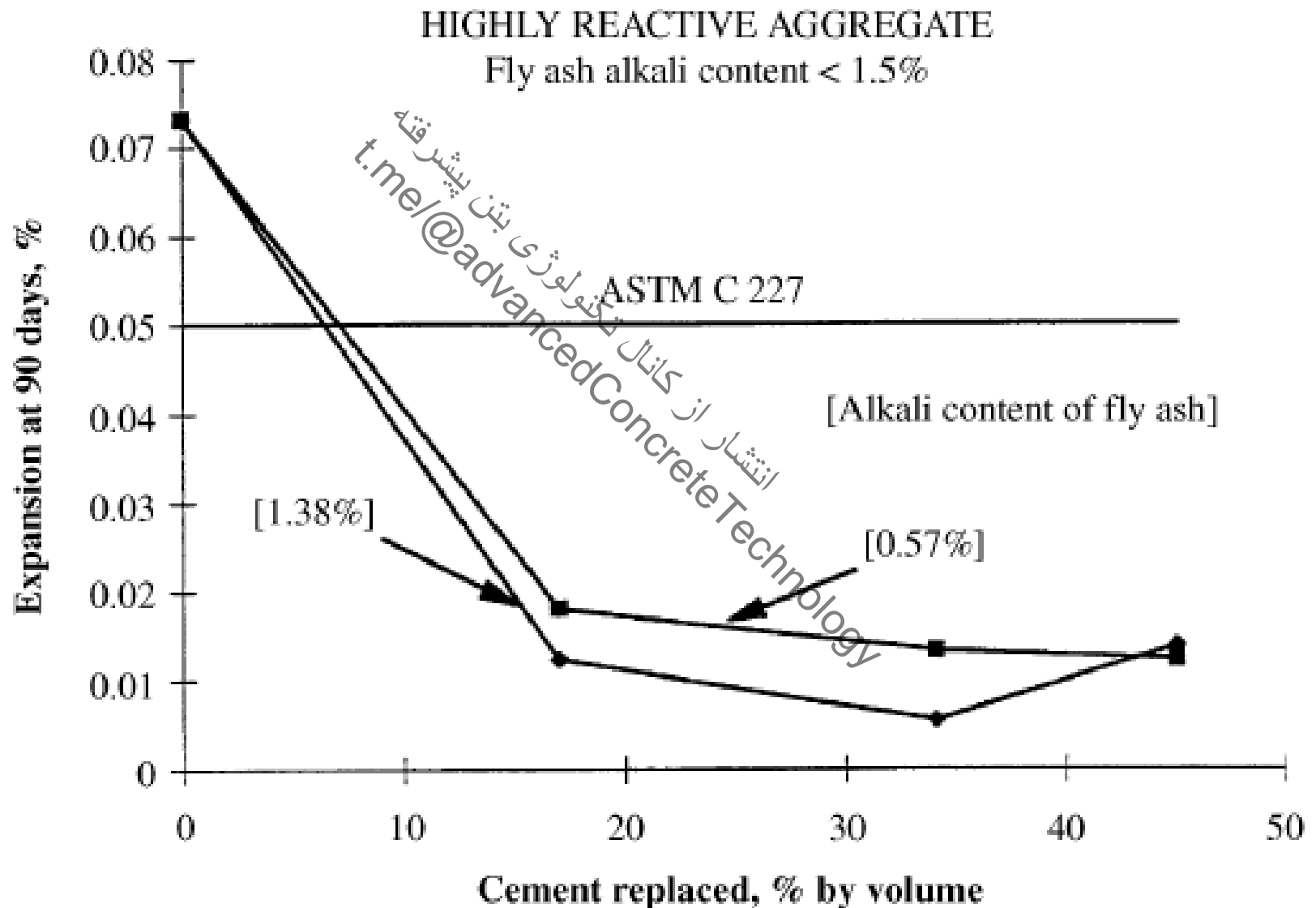
دوام در برابر حملات شیمیایی

- بسته به مشخصات جداگانه مواد افزودنی معدنی مصرفی، معمولاً ترکیب‌هایی از سیمان پرتلند پرقلیا با ۴۰ تا ۶۵ درصد روباره آهن‌گذاری دانه‌ای، یا ۳۰ تا ۴۰ درصد خاکستر بادی کم‌کلسیم، یا ۲۰ تا ۳۰ درصد پوزولان طبیعی، در محدود کردن انبساط قلیایی سنگدانه و رسانیدن آن به میزان قابل قبول خیلی مؤثر شناخته شده‌اند.
- مطالعات بر روی بتن‌های دارای ۳۰ درصد خاکستر بادی کم‌کلسیم و یا مقادیر ۳۰ تا ۶۰ درصد روباره، بهبود زیادی را در مقاومت سولفاتی نشان دادند.

دوام در برابر حملات شیمیایی



دوام در برابر حملات شیمیایی



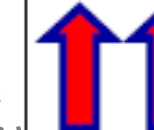
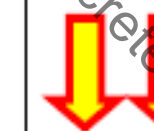
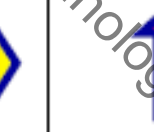
ساخت بتن توانمند (HPC)

- در سال‌های اخیر، کاربرد پوزولان‌ها و مواد افزودنی مرغوب، نقش عمده‌ای در تولید بتن‌های توانمند داشته است.
- بتن توانمند، درحقیقت بتنی است که حداقل یک خاصیت غیرمعمول را نسبت به بتن معمولی داراست.
- این بتن‌ها علاوه بر داشتن مقاومت زیاد، می‌توانند عملکرد بسیار خوبی در محیط‌های خورنده داشته و دوام بالایی را نشان دهند.

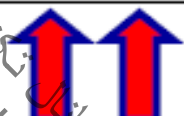
ساخت بتن توانمند

- کاربرد پوزولان‌های خاص به همراه فوق‌روان‌کننده‌ها می‌تواند ضمن تولید بتن‌های با مقاومت بیش از 50 MPa دوام قابل ملاحظه‌ای نیز ایجاد نماید.
- در حال حاضر، با کاربرد 400 کیلوگرم سیمان و 100 کیلوگرم خاکستر بادی و با نسبت آب به سیمان‌های 0.32 مقاومت فشاری بیش از 70 MPa در 56 روز به دست آمده است.
- همچنین با استفاده از طرح اختلاط مناسب و ایجاد کمترین فضای خالی بین سنگدانه‌ها و با استفاده از دوده سیلیس و دانه‌های ریز کوارتزی و فوق‌روان‌کننده بتن‌های با مقاومت 180 MPa با روانی زیاد تولید و در صنعت بتن بکار گرفته شده است.

خلاصه اثرات افزودنی های معدنی

	Fly Ash		Slag	Silica Fume	Natural Pozzolans		
	Class F	Class C			Calcined Shale	Calcined Clay	Metakaolin
Water Demand							
Workability							
Bleeding							
Setting Time							
Air Content (dosage rate)							
Heat of Hydration							

خلاصه اثرات افزودنی های معدنی

	Fly Ash		Slag	Silica Fume	Natural Pozzolans		
	Class F	Class C			Calcined Shale	Calcined Clay	Metakaolin
Early Age Strength Gain							
Long Term Strength Gain							
Permeability							
Chloride Ingress							
ASR							
Sulfate Resistance							
Freezing & Thawing							