

نکاتی پیرامون کنترل دمای بتن حجیم

گردآوری : علی اصغر حامدفر (سنگین)



se.hamedfar@gmail.com

۱۳۹۵/۰۴/۰۷

❖ تعریف بتن حجیم

✓ بتن حجیم در ACI به صورت زیر تعریف شده است:

هر حجمی از بتن (در ابعاد نسبتاً بزرگ) که در آن نیاز به تدابیر خاص جهت جلوگیری از ترک خوردگی ناشی از فرآیند هیدراسیون باشد، بتن حجیم نامیده می شود.

در برخی منابع چنانچه ضخامت لایه بتنی از ۹۰ سانتی متر تجاوز کند، به آن بتن حجیم گفته می شود.

❖ در منابع مختلف نکات زیر در مورد کنترل دما توصیه شده است:

✓ ماکزیمم اختلاف دمای بین هسته بتن و پوسته بیرونی در طول زمان عمل آوری از حدود ۱۹ درجه سانتی گراد بیشتر نشود.

✓ ماکزیمم دمای ایجاد شده در هسته داخلی بتن ، ناشی از فر آیند هیدراسیون از ۷۰ درجه بیشتر نشود.

✓ دمای بتن در هنگام بتن ریزی از ۲۰ درجه سانتی گراد تجاوز نکند.

❖ مثال هایی از سازه های بتنی حجیم

- ✓ فونداسیون های گسترده با ضخامت زیاد
- ✓ پایه های پل، سر شمع ها و دیواره های ضخیم مخازن آب
- ✓ قطعات بتنی بزرگ جهت موج شکن ها در سواحل دریا
- ✓ سدهای بتنی
- ✓ دیوارهای حایل عظیم
- ✓ ستونهای بتنی با ابعاد بزرگ

ملاحظات طراحی در بتن های حجیم

✓ دوام یا پایداری

✓ فرآیند تولید حرارت و کنترل آن

✓ مسائل اقتصادی

□ لازم به ذکر است که بحث مقاومت بتن در درجه دوم اهمیت قرار دارد.

دوام یا پایایی

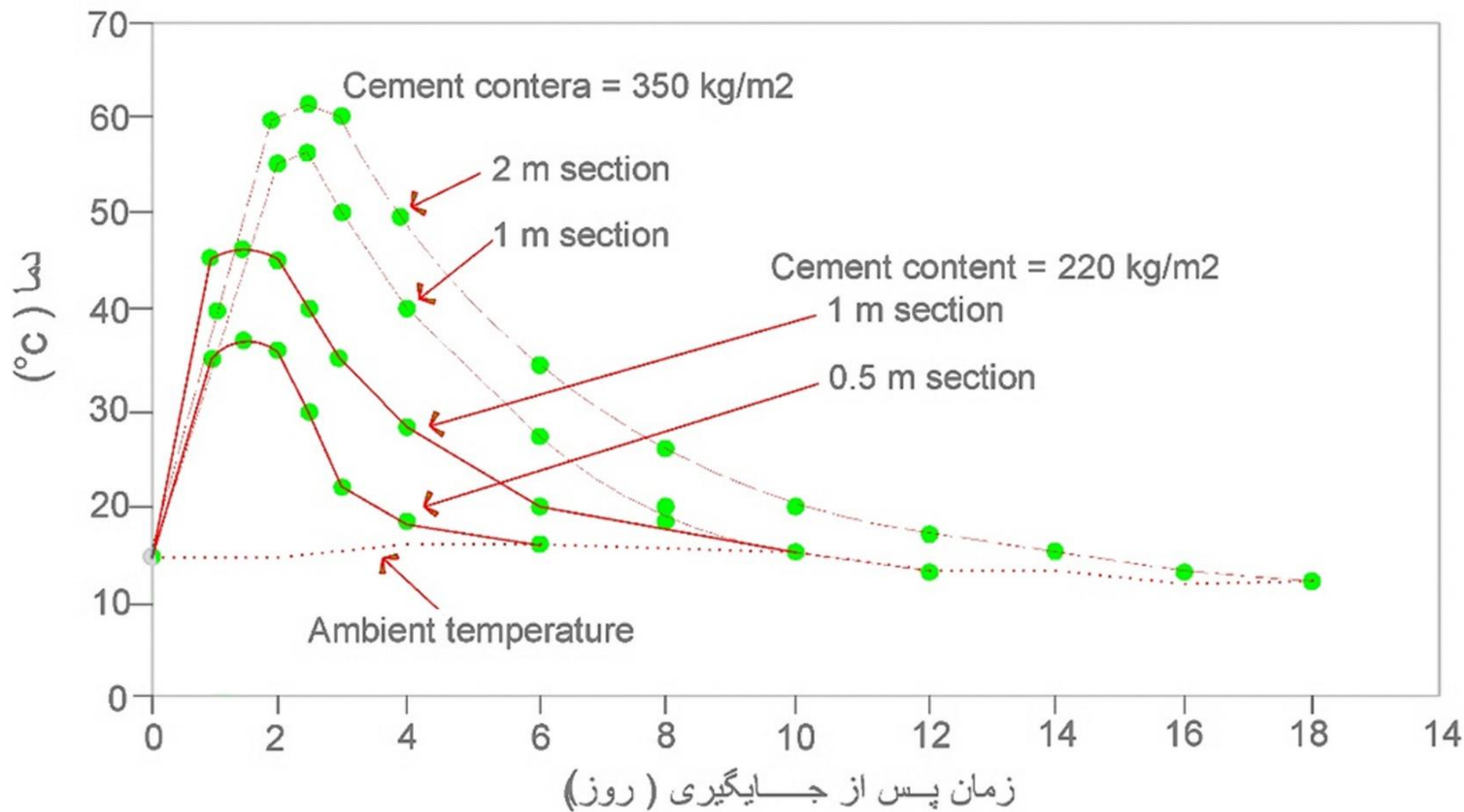
عموامل کاهنده پایایی	راهکارهای افزایش پایایی
یخ زدن و آب شدن	ایجاد حباب هوا به بتن کاهش نسبت آب به سیمان کیفیت مصالح مصرفی زهکش و انتخاب جزئیات اجرایی
عوامل شیمیایی خورنده (سولفات ها)	استفاده از سیمان مناسب استفاده از پوزولان مناسب ۲۰ درصد محدودیت نسبت آب به سیمان طرح اختلاط مناسب ایجاد حباب هوا پوشش مناسب ساخت بتن با نفوذپذیری کم

دوام یا پایایی

عموامل کاهنده پایایی	راهکارهای افزایش پایایی
سایش و فرسایش	پرهیز از جداشدگی دانه ها حیت بتن ریزی اجتناب از آب انداختن سطوح بتنی انتخاب زمان صحیح برای پرداخت سطوح بتن افزایش نسبت سنگدانه به سیمان در مخلوط بتن به حداقل رساندن نسبت آب به سیمان بتن های مجاور و سطوح پرهیز از افزودن آب به سطوح بتنی برای سهولت پرداخت انجام ماله کشی سطوح پس از حذف آبهای اضافی سطوح افزودن دوده سیلیسی به بتن
خوردگی فولاد و سایر اقلام مدفون در بتن	مقدار کلرید موجود در بتن آرمه در هر صورت نباید از ۰.۶ کیلوگرم در هر مترمکعب بتن بیشتر شود
واکنش قلیایی سنگدانه ها	مجموع وزن مواد قلیایی موجود در یک مترمکعب بتن باید کمتر از ۳ کیلوگرم باشد

❖ فرآیند تولید حرارت و کنترل آن

✓ یک خصوصیت مهم که بتن حجیم را از دیگر بتن ها جدا می کند رفتار حرارتی این نوع بتن است. دلیل به وجود آمدن ترک در سطح بتن های حجیم اختلاف درجه حرارت بین هسته بتن ریزی و دمای سطح بیرونی بتن است که با محیط اطراف در تماس است. در برخی موارد دمای هسته داخلی بتن ممکن است از 70°C که حد مجاز می باشد نیز تجاوز نماید. در این حالت لایه های سطحی بتن که با محیط اطراف در تماس اند در مقابل انبساط حرارتی مقاومت نموده و این در حالی است که هسته داخلی در حال انبساط می باشد و دمای آن رو به افزایش است. در واقع به دلیل وجود همین ناسازگاری بین کرنش های حرارتی است که در سطح بیرونی بتن ترک ایجاد می شود.



❖ راهکارهای کاهش دمای هیدراسیون

۱ – استفاده از آب مغناطیسی در ساخت بتن

۲ – استفاده از ماده پوزولانی Fly ash

۳ – استفاده از پیش سرمایش

۴ – استفاده از پس سرمایش

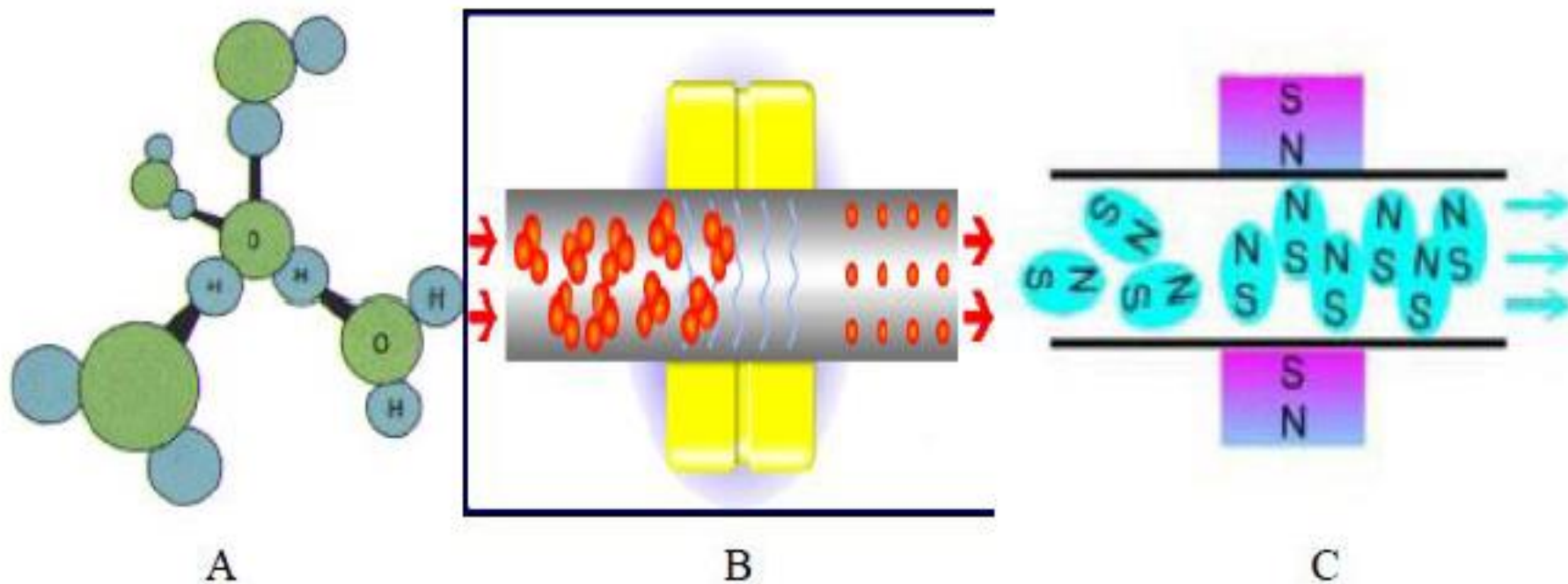
۱- استفاده از آب مغناطیسی در ساخت بتن

✓ در طول سه دهه اخیر تحقیقات گسترده ای در مورد تکنولوژی استفاده از آب مغناطیسی در ساخت بتن در کشورهای چون روسیه و چین صورت گرفته است. در این روش با عبور دادن آب از درون یک میدان مغناطیسی، برخی خواص فیزیکی آب تغییر پیدا می کند. استفاده از این آب در ساخت بتن باعث بهبود کارایی و افزایش مقاومت فشاری مشخصه خواهد شد. همچنین در طول این پروسه می توان از مقدار سیمان کمتری در واحد حجم بتن (عیار کمتر) برای رسیدن به مقاومت مورد نظر استفاده کرد که باعث صرفه جویی در مصرف سیمان و در نتیجه صرفه جویی اقتصادی در پروژه های ساختمانی خواهد شد.

❖ مکانیزم عملکرد میدان مغناطیسی بر روی آب

✓ ریزتر شدن اندازه گروه مولکول ها باعث می شود تعداد بیشتری از مولکول های آب دور یک مولکول سیمان جمع شوند و در نتیجه فرآیند هیدراسیون خیلی بهتر صورت گرفته و مقدار آب مورد نیاز کاهش خواهد یافت. در واقع در طول این پروسه مقدار سطح مخصوص آب افزایش پیدا می کند و قابلیت واکنش آن با مولکول های سیمان افزایش می یابد.

✓ زمانی که گروه های مولکولی آب سایز کوچکتری داشته باشند چگالی آنها کم شده و در نتیجه ضخامت لایه ای از مولکول ها که دور یک مولکول سیمان را گرفته اند، نسبت به آب معمولی خیلی کمتر خواهد بود. این پدیده باعث کاهش آب مورد نیاز و در نتیجه کاهش نسبت آب به سیمان خواهد شد که به نوبه خود اثرات مثبتی روی خواص بتن سخت شده از جمله مقاومت فشاری، نفوذپذیری، دوام و غیره را به دنبال دارد.



شکل 2- مکانیزم تبدیل آب مغناطیسی

A : گروه مولکول های آب

B: شکسته شدن گروه های مولکولی به گروه های کوچکتر

C : جهت گیری قطب های مغناطیسی مولکول ها

میزان اثرپذیری آب از میدان مغناطیسی به ۳ عامل زیر بستگی دارد:

✓ شدت و چگالی میدان مغناطیسی

✓ مدت زمان جریان آب در میدان مغناطیسی (سرعت جریان آب)

✓ مقدار آب ورودی به دستگاه

❖ نمونه کار آزمایشی انجام شده

□ اثر آب مغناطیسی بر روی مقاومت فشاری و عمل آوری با استفاده از آب مغناطیسی

- در این قسمت به یک کار آزمایشگاهی که در یکی از دانشگاه های هند در سال ۲۰۱۴ انجام شده اشاره می شود. در این آزمایش آب مورد نیاز برای ساخت بتن از میدان مغناطیسی به شدت ۹۸۵ گوس عبور داده شد.

مصلح	وزن ($\frac{kg}{m^3}$)
سیمان	310
ماسه	719
سنگدانه 20mm	700
سنگدانه 12mm	466
آب	170.5

مصلح مورد استفاده در 1 متر مکعب بتن

□ آماده سازی نمونه ها

✓ برای بررسی مقاومت فشاری دو نمونه مکعبی بتن به صورت زیر تهیه شدند:

۱- نمونه ساخته شده با آب مغناطیسی (MWC)

۲- نمونه ساخته شده با آب معمولی (NWC)

دو نمونه بتن نیز جهت بررسی اثر عمل آوری با آب مغناطیسی ساخته شدند.

برای اندازه گیری مقاومت فشاری نمونه ها در سنین مختلف از دستگاه با ظرفیت ۲۰۰ ton استفاده شد.

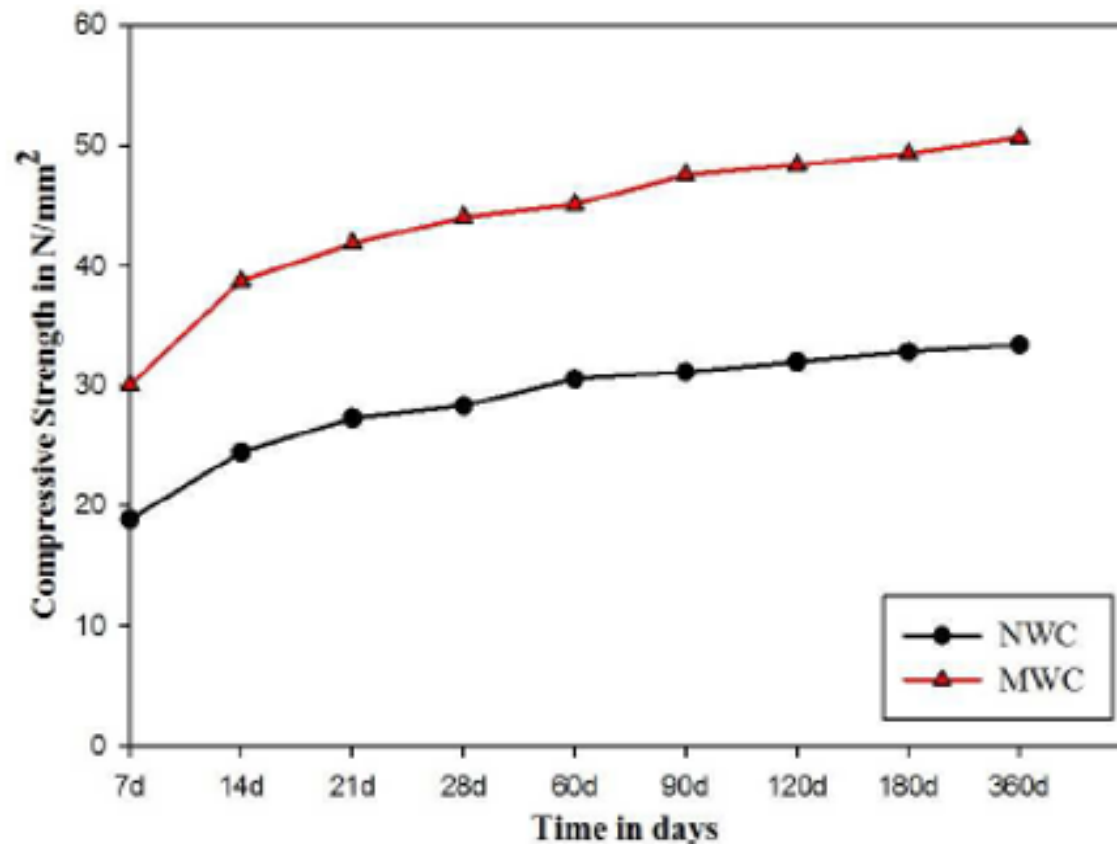
❖ بررسی نتایج آزمایش

الف- مقاومت فشاری

✓ نتایج اندازه گیری مقاومت فشاری

در هر دو نمونه بتن MWC و NWC

در سنین مختلف



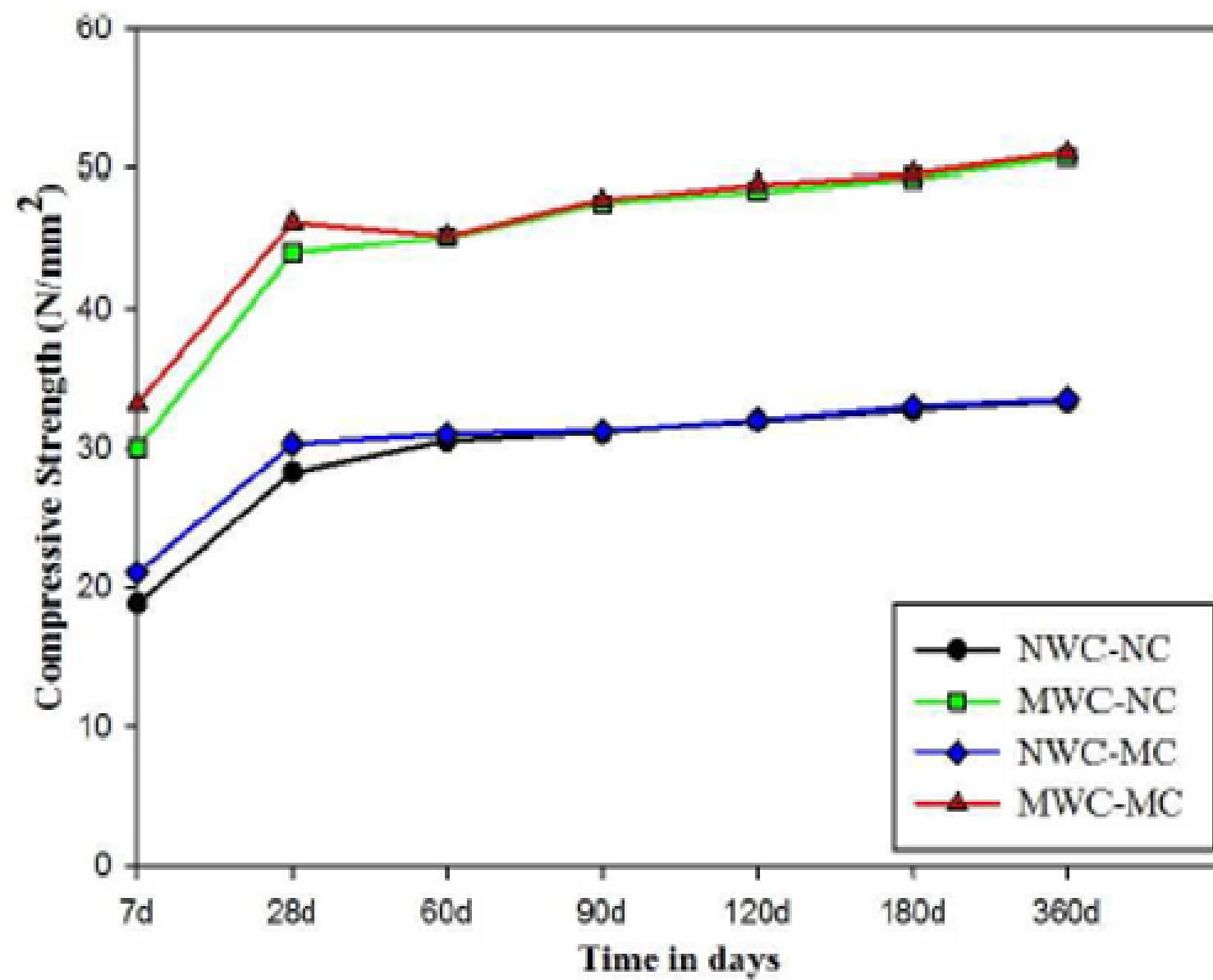
دیاگرام توسعه مقاومت فشاری بتن معمولی در مقایسه با بتن مغناطیسی

✓ با توجه به نمودار کاملاً مشخص است که مقاومت فشاری بتن مغناطیسی در روز ۳۶۰ حدود 52% بیش از مقاومت فشاری بتن معمولی می باشد.

ب- نتایج مربوط به عمل آوری با آب مغناطیسی

✓ جهت بررسی عمل آوری با آب معمولی و آب مغناطیسی روی مقاومت فشاری ۴ نمونه بتنی ساخته شد. ۲ نمونه از بتن معمولی و ۲ نمونه از بتن با آب مغناطیسی. دو نمونه بتن معمولی هر کدام به طور جداگانه یکی با آب معمولی و دیگری با آب مغناطیسی عمل آوری شدند. در مورد بتن مغناطیسی هم همین کار تکرار شد.

✓ نتایج اندازه گیری مقاومت فشاری نمونه ها در روزهای مختلف در دیاگرام مربوطه آمده است.



مقاومت فشاری بتن های NWC و MWC تحت عمل آوری با آب مغناطیسی و آب معمولی

✓ نمونه های بتن ساخته شده که با آب مغناطیسی عمل آوری شده بودند, مقاومت فشاریشان در ۷ روز اول ۱۰.۶۳ % بیش از بتن مغناطیسی عمل آوری شده با آب معمولی بود و در پایان ۲۸ روز این درصد افزایش به ۴.۹۵ % رسید.

✓ کارهای آزمایشگاهی انجام شده در این مورد نشان داده است که استفاده از آب مغناطیسی به جای آب معمولی در ساخت بتن , باعث افزایش اسلامپ (بیش از ۴۵ %) و همچنین افزایش مقاومت فشاری تا بیش از ۳۰ % و کاهش عیار سیمان مصرفی تا بیش از حدود ۳۰ % می شود که از نقطه نظر اقتصادی حائز اهمیت است.

❖ نتایج کلی حاصل از آزمایش

روند رشد و توسعه مقاومت فشاری در بتن مغناطیسی تقریباً مشابه بتن معمولی بوده با این تفاوت که مقاومت بتن مغناطیسی در کوتاه مدت رشد سریع تری نسبت به بتن معمولی دارد.

✓ نتایج حاصل از تحلیل دیاگرام نشان می دهد که مقاومت فشاری بتن مغناطیسی در روزهای اولیه ۵۵.۷% و پس از گذشت یک سال حدود ۵۱.۸% بیش از مقاومت فشاری بتن معمولی است.

✓ نمونه های بتن معمولی که با آب مغناطیسی عمل آوری شده بودند، مقاومت فشاریشان در ۷ روز اول ۱۱.۶۱% بیش از بتن عمل آوری شده با آب معمولی بود اما این درصد افزایش پس از گذشت ۲۸ روز به مقدار ۷% رسید.



شکل شماتیک دستگاه در سایزهای مختلف (Magnetizer)

❖ انتخاب مدل مناسب دستگاه

- با داشتن میزان دبی مورد نیاز و سرعت جریان آب می توان قطر مناسب را برای لوله دستگاه محاسبه نمود.



- بر اساس نتایج تجربی و آزمایشگاهی سرعت مناسب برای عبور آب در لوله دستگاه برابر $0.8 \frac{m}{s}$ پیشنهاد شده است.

Article	Pipe diameter	Flow rate / h	
M3 DSSI (V2014)	1,0" (Inch)	Min 97,3 US Gal – Max 713 US Gal	Min 0,3 m ³ – Max 2,7 m ³
M4 DSSI (V2014)	2,0" (Inch)	Min 634 US Gal – Max 2.435 US Gal	Min 2,4 m ³ – Max 13,0m ³
M6 DSSI (V2014)	3,0" (Inch)	Min 4.490 US Gal – Max 9.775 US Gal	Min 17,0m ³ – 37,0 m ³
M7 DSSI (V2014)	4,0" (Inch)	Min 9.247 US Gal – 17.700 US Gal	Min 35,0m ³ – 67,0m ³
M8 DSSI (V2014)	6,0" (Inch)	Min 17.180 US Gal – 39.690 US Gal	Min 65,0m ³ – 154,0m ³
M10 DSSI (V2015)	8,0" (Inch)	Min 37.750 US Gal – 85.100 US Gal	Min 150,0 m3 – 322,0 m3

جدول راهنما برای انتخاب مدل مناسب دستگاه

❖ برخی کاربردهای دیگر آب مغناطیسی

□ علاوه بر بحث تکنولوژی بتن می توان به موارد زیر به عنوان کاربرد های آب مغناطیسی اشاره کرد:

- ✓ مصارف صنعتی
- ✓ مصرف در کشاورزی
- ✓ استفاده از دستگاه در تاسیسات مکانیکال ساختمان
- ✓ استفاده در لاندری
- ✓ تصفیه آب در استخراج شنا
- ✓ اصلاح نباتات در کشاورزی و غیره...



یک نمونه لوله قبل و بعد از عبور آب مغناطیسی

❑ در صورت استفاده از این دستگاه در ورودی آب تاسیسات مکانیکال
ساختمان، می‌توان به مزایای زیر دست پیدا نمود:

✓ جرم نگرستن جداره داخلی لوله‌ها

✓ عدم خوردگی جدار داخلی لوله

✓ افزایش عمر مفید لوله‌های انتقال آب و عدم بروز ترکیدگی در لوله

۲- ماده Fly Ash و خصوصیات آن

✓ شروع تحقیقات اولیه در مورد ساختار ماده فلی اش و اثرات آن روی بتن به اوایل قرن بیستم میلادی باز می گردد (۱۹۱۴). تحقیقات کاربردی تر نیز در سال ۱۹۳۷ توسط Davis در دانشگاه برکلی کالیفرنیا صورت گرفت.

✓ این ماده از فرایند حرارت دادن ذغال سنگ در کوره به دست می آید و دارای خواص مشابه سیمان است و در صورت استفاده از آن در بتن باعث افزایش مقاومت و بهبود خواص فیزیکی دیگر بتن خواهد شد. سائز دانه های آن بین ۱۰ تا ۱۵ میکرون می باشد

✓ ماده فلی اش نوعی پوزولان مصنوعی است که ماده اصلی تشکیل دهنده آن سیلیس و آلومینیوم بوده و به صورت دو کلاس F و C طبقه بندی می شوند. کلاس F دارای سایز دانه های ریزتر و کلسیم کمتر است و در مقابل سایز دانه های فلی اش کلاس C بزرگتر بوده و دارای کلسیم بیشتری است.

✓ شکل هندسی این ذرات کروی بوده و همین کروی شکل بودن باعث می شود که به صورت روان ساز در بتن عمل کند. در مخلوط بتنی خاصیت بلبرینگی ذرات کروی باعث می شود که آب کمتری در ساخت بتن استفاده شود و انقباض بتن (Shrinkage) را نیز کاهش می دهد.

✓ چون سایز دانه های Fly Ash از ذرات سیمان کمتر است، به خوبی می توانند فواصل بین دانه های سیمان و دیگر ذرات ریز درون بتن را پر کنند و باعث بهبود تراکم ذرات می شوند.

✓ مقادیر زیاد استفاده (بین ۳۰ تا ۵۰ درصد وزنی سیمان) در بتن ریزی های حجیم نظیر سدهای وزنی عظیم و فونداسیون های حجیم استفاده شده است. تحقیقات انجام شده در دهه های اخیر حاکی از آن است که می توان بین ۴۰ % تا ۶۰ % وزنی سیمان از Fly Ash استفاده کرد و بتن های ساخته شده دارای خواص مکانیکی بسیار عالی و همچنین دوام (پایایی) فوق العاده بوده اند.

جدول ۱ - مشخصات و طبقه بندی مواد مکمل سیمانی

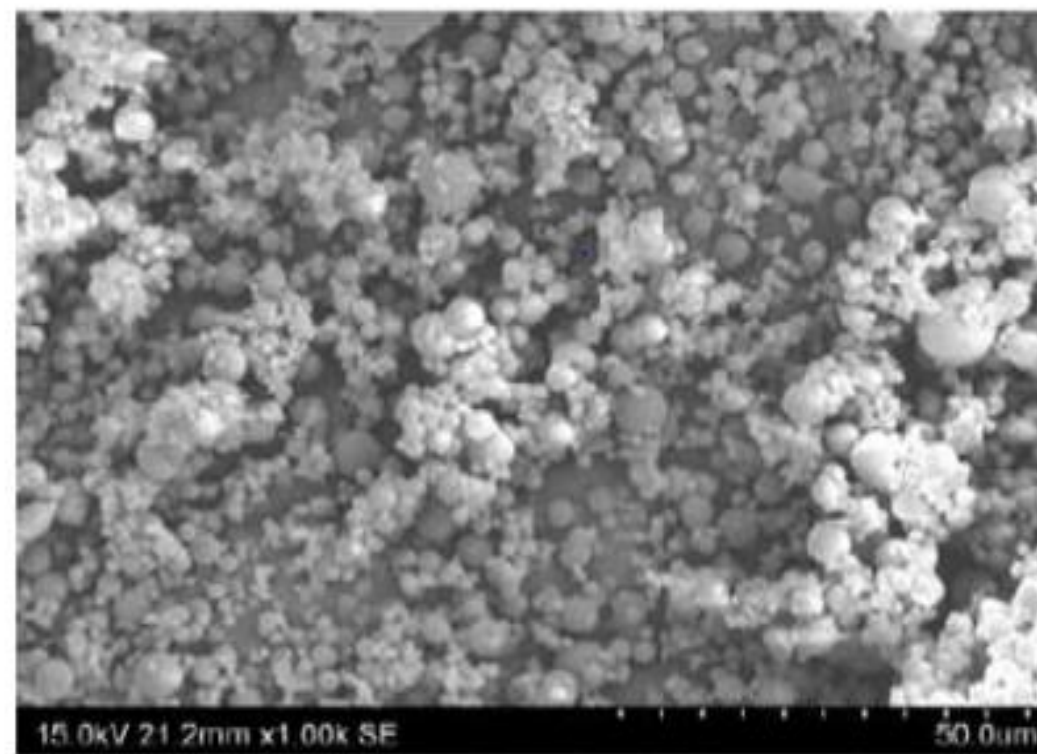
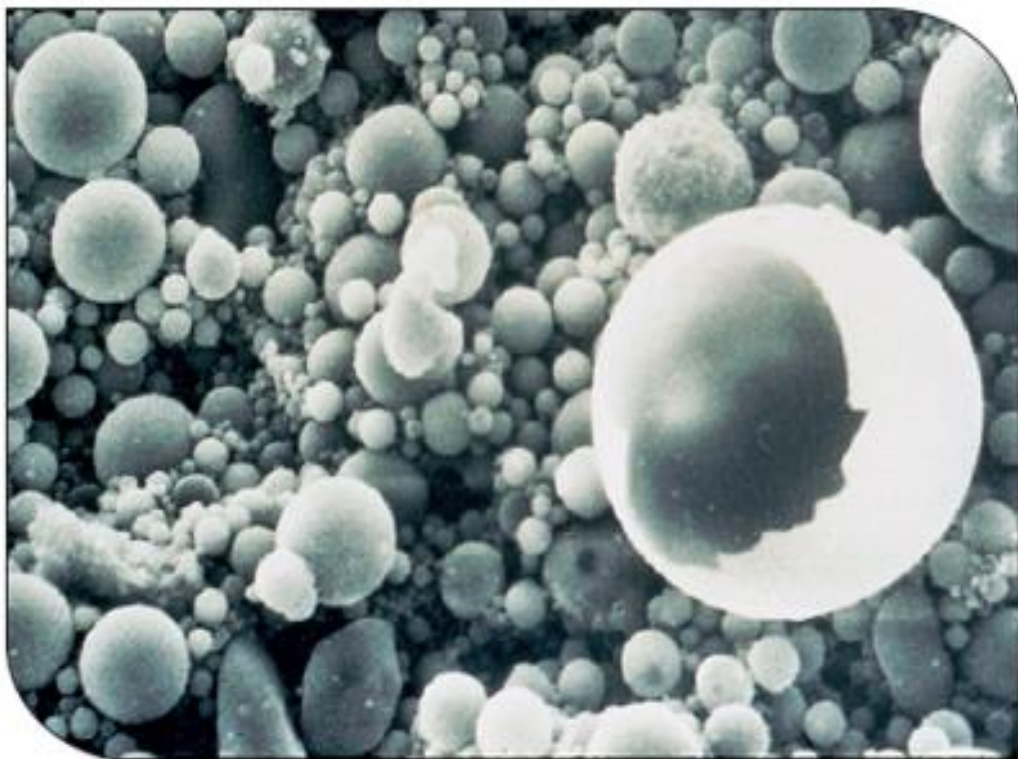
ASTM V 989	سرباره گرانوله از کوره ذوب آهن
درجه ۸۰	سرباره با فعالیت کم
درجه ۱۰۰	سرباره با فعالیت متوسط
درجه ۱۲۰	سرباره با فعالیت زیاد
ASTM C 618	خاکستر بادی و پوزولان طبیعی
کلاس N	پوزولان طبیعی خام یا کلسینه شده شامل
	دیاتومیت ها
	خاکستر آتشفشانی
	رس های کلسینه شده شامل متاکائولن و شیل ها
کلاس F	خاکستر بادی با خواص پوزلانی
کلاس C	خاکستر بادی با خواص سیمانی و پوزولانی
ASTM C 1240	میکروسیلیس

جدول ۲- ویژگی های فیزیکی چند نوع پوزولان انتخاب شده و سیمان پرتلند [۳]

مواد	متوسط اندازه ذرات u	سطح ویژه m^2/g	شکل ذرات	وزن مخصوص
سیمان پرتلند	10-15	<1	گوشه دار، نامنظم	3/2
خاکستر بادی	10-15	1-2	عموما کروی	2/2-2/4
میکرو سیلیکا	0/1-0/3	20-25	کروی	2/2
متاکائولن	1-2	15	صفحه ای	2/4



شکل ظاهری پودر Fly Ash که از سال 1930 در ساخت بتن استفاده شده است



ساختار میکروسکوپی ذرات Fly Ash در دو نمای متفاوت

تأثیر پودر Fly Ash در بتن

✓ اثرات روی خواص
بتن تازه

- کارایی (روانی) بتن

- آب انداختن بتن

- حرارت هیدارسیون

✓ اثرات روی خواص
بتن سخت شده

- افزایش مقاومت فشاری

✓ اثرات روی دوام و

پایایی بتن در دراز مدت

- مقاومت در برابر سایش

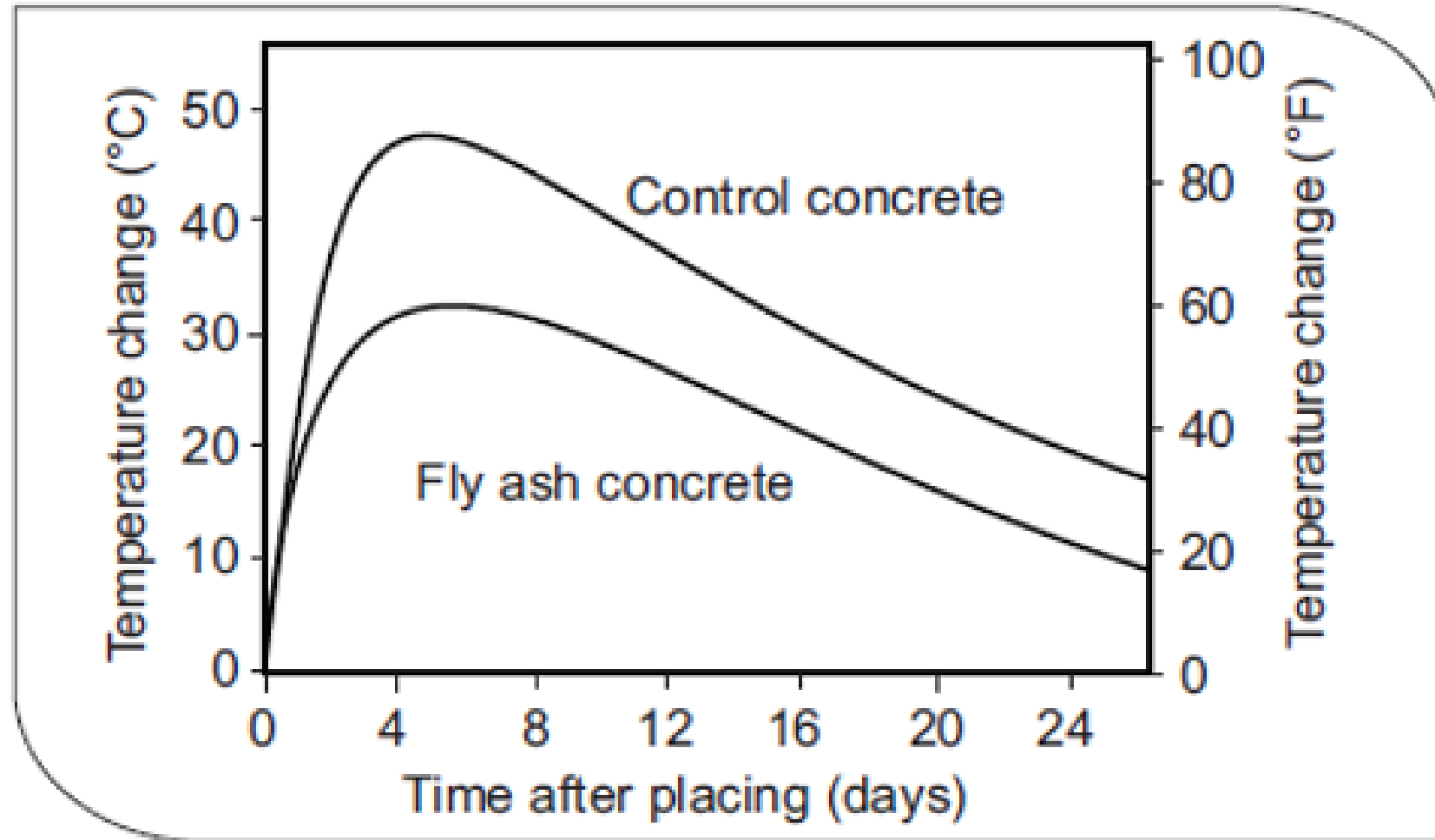
- مقاومت در برابر نفوذ ناپذیری

❑ اثر Fly Ash روی حرارت هیدراسیون

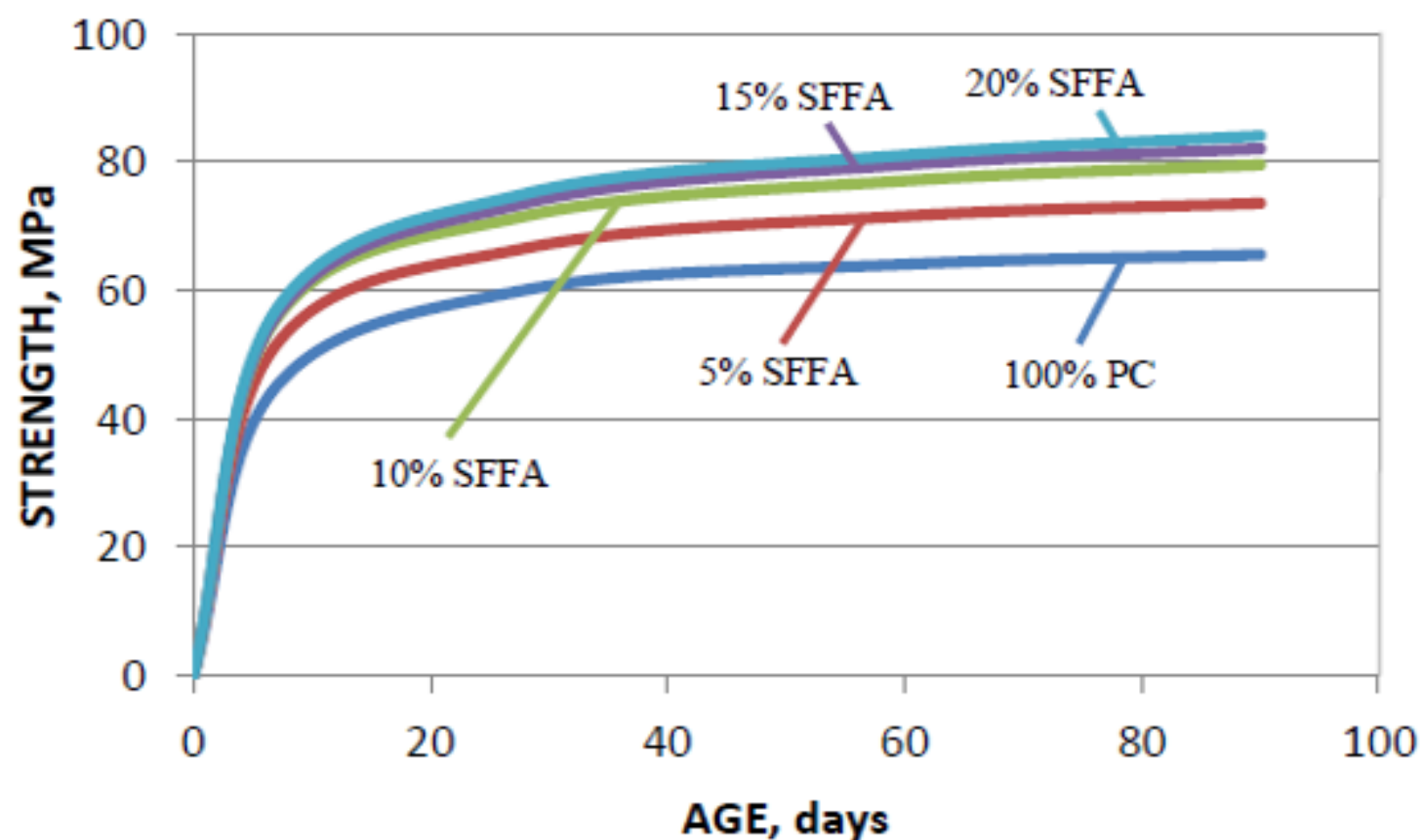
✓ استفاده از Fly Ash در بتن، حرارت تولید شده از فرآیند هیدراسیون سیمان را به طرز قابل توجهی کاهش داده و زمان آزادسازی حرارت را به تاخیر می اندازد. همین مساله موجب شده که استفاده از Fly Ash در بتن ریزی های حجیم نظیر فونداسیون های با ضخامت بالا و یا سدهای وزنی بتنی بسیار مورد توجه قرار گیرد.

✓ نتایج استفاده از Fly Ash در بتن های حجیم نشان می دهد که استفاده از مقادیر بالای Fly Ash (حدود ۵۵ % وزنی سیمان)، اثر بسیار خوبی در کاهش گرادیان حرارتی و کاهش دمای ماکزیمم هیدراسیون دارد.

✓ یکی از اولین کاربردهای Fly Ash در بتن ریزی های حجیم به صورت تمام مقیاس در سد
اوتو هلدن در ایالت اونتاریو (۱۹۵۰) می باشد. در ساخت این سد دو قطعه بتنی به ابعاد
۱۱*۴.۳*۳.۷ متر بتن ریزی شده و سنسورهای اندازه گیری دما نیز در داخل آنها تعبیه
گردید. یکی از این دو قطعه از سیمان پرتلند معمولی با عیار $350 \frac{Kg}{m^3}$ ساخته شد و در نمونه
دیگر به جای ۳۰٪ وزن سیمان به آن Fly Ash افزوده شد. نتایج اندازه گیری دما نشان
میدهد دمای بتن معمولی تا $47^{\circ}C$ دمای محیط رسیده در حالیکه این اضافه دما برای بتن
دارای Fly Ash به میزان $32^{\circ}C$ است.

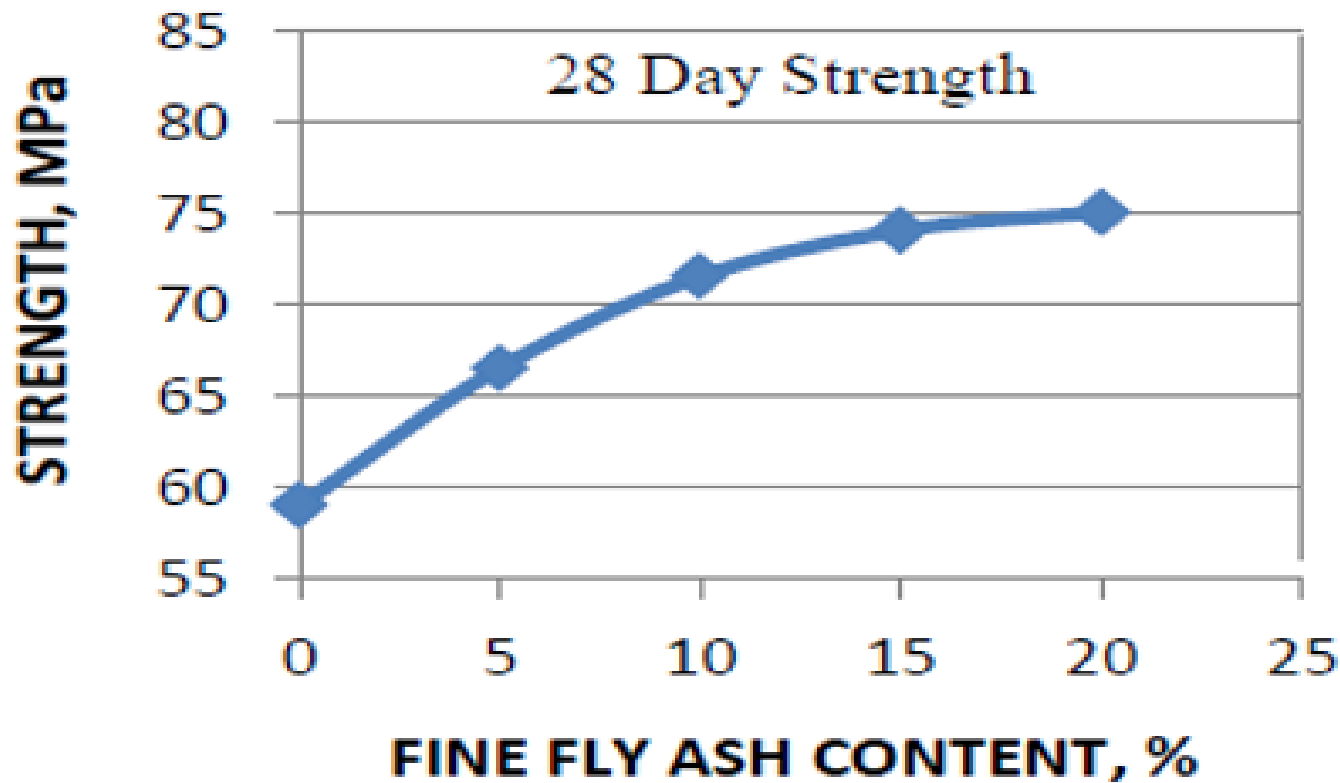


اثر Fly Ash روی کاهش دمای هیدراسیون



توسعه مقاومت فشاری بتن در اثر گذشت زمان در بتن معمولی (100% PC) و بتن های دارای درصد های متفاوت
(SFFA) Fly Ash

❖ در این نمودار نیز مقاومت فشاری یک نمونه بتنی با درصد های مختلف Fly Ash در روز ۲۸ ام نشان داده شده است.



مقاومت فشاری بتن بر اساس درصد های مختلف پودر در روز 28 ام

۳- استفاده از پیش سرمایه‌گذاری

- پیش سرمایه‌گذاری به روشهایی اطلاق می‌شود که در آن با کاستن دمای اجزای متشکله بتن شامل آب و سنگدانه مصرفی، دمای تازه کاهش می‌یابد.

روشهای پیش سرمایه‌گذاری بتن	میزان تقریبی کاهش دما (درجه سانتیگراد)
آب پاشی دیوهای شن	۳
سرد کردن آب مصرفی در بتن	۲
جاگزینی ۸۰ درصد از آب مخلوط بتن با یخ	۷
خنک کردن مستقیم سیمان تا دمای ۲۷ درجه	۲
سرد کردن شن تا دمای ۴ درجه سانتیگراد به وسیله هوای خنک	۱۴

۴- استفاده از پس سرمایش

- پس سرمایش برای کاهش دمای اوج بتن و همچنین فراهم آوردن تدریجی و یکنواخت دما در توده بتن استفاده می شود.

- نرخ سرمایش بتن به حداکثر میزانی که بتواند بدون ترک خوردن قابل تحمل باشد
- دمای بتن به میزان ۱۷ درجه سانتیگراد از دمای نقطه اوج اولیه کاهش یابد
- بتن تا دمای پایداری نهایی یا دمای تعیین شده توسط طراح خنک شده باشد

مدت زمانی که پس از
سرمایش می بایست
انجام گردد

روش انجام پس سرمایش

- لوله گذارها و وسایل سرد سازی و پمپ آن
- نرخ سرد سازی
- کنترل حرارت
- سرد سازی سطوح
- پوشش سطوح

کنترل و اندازه گیری حرارت هیدارسیون در پروژه ساختمانی

✓ برج الفیصلیه ریاض – عربستان

✓ هتل رویال اردن

✓ هتل صدر مشهد

✓ برج الفیصلیه ریاض – عربستان



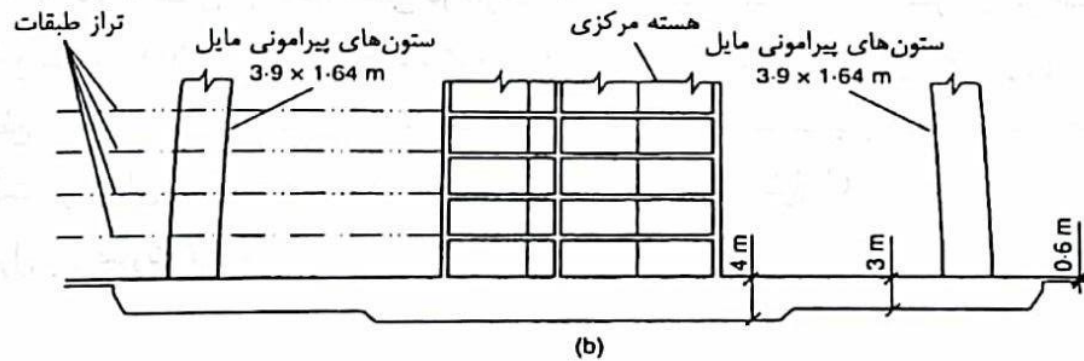
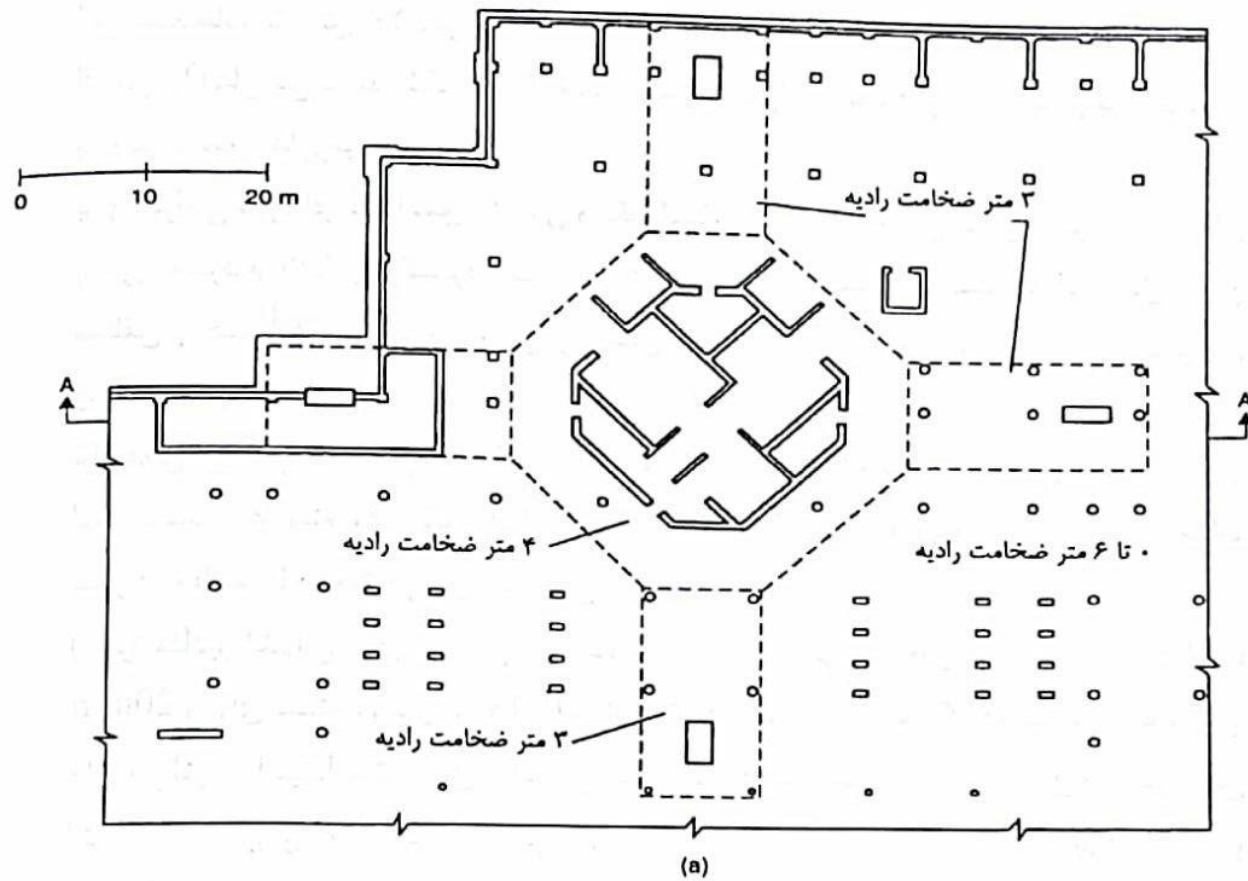
- ساختمان برج ۴۰ طبقه
- فنداسیون گسترده به ضخامت ۳ تا ۴ متر در سطح ۱۶۰۰ مترمربع و حجم بتن ۶۰۰۰ مترمکعب
- قاعده پایین برج به ابعاد ۴۵ متر که در ارتفاع ۲۶۲ متر به صفر می رسد
- بتن ریزی در شهریور ۱۹۹۷ و دمای حرارت ۳۰ تا ۴۰ درجه سانتیگراد انجام گردید
- درجه حرارت بتن تازه حمل شده به کارگاه در طول روز حدود ۳۱ درجه و شب ۲۷ درجه سانتیگراد بوده است
- طرح اختلاط براساس محدودیت اختلاف دما بین سطح و بستر زمین بقرار ۳۰ درجه سانتی گراد انجام گریده است
- بتن ریزی فنداسیون با نرخ بالا و بصورت یکپارچه و پیوسته صورت گرفته
- به جهت حداقل رساندن درجه حرارت بتن سازه ، مقرر شد سیمان ها در حدود ۳۰ روز ذخیره شود
- بتن ریزی در ضخامت های یک متری انجام تا از محو شدن گرما اطمینان به عمل آید

✓ برج الفیصلیه ریاض – عربستان



- از افزودنی های کندگیر کننده برای ایجاد ۲ ساعت تاخیر استفاده شد
- ابتدا قسمتی از فنداسیون به ضخامت ۲ متر با حجم ۱۱۰۰ مترمکعب عملیات اجرائی در روز صورت گرفت تا عملیات هسته مرکزی در ساعات خنک شب صورت پذیرد
- کل بتن ریزی در ۱۶ ساعت و نرخ بتن ریزی ۳۷۵ مترمکعب در ساعت بوده است
- عمل آوری با فوم به ضخامت ۵ سانتی متر و ایزوله سازی سطحی با پلی اتیلن
- منافذی جهت جریان و خروج گرما به بیرون تعبیه شده بود.
- شش سری ترموکویل در فنداسیون جاگذاری و ماکزیم دمای ۸۰ درجه ثبت گردید
- از روز دوم تا روز پانزدهم دمای بتن وسط پی برابر ۷۰ درجه سانتیگراد بوده است.
- اختلاف درجه حرارتی ۲۱ درجه سانتیگراد سطح رویه و بستر مرکزی بدست آمده که به خودی خود کمتر از مقدار هدف مورد نظر ۳۰ درجه سانتیگراد بوده است.

✓ برج الفیصلیه ریاض - عربستان



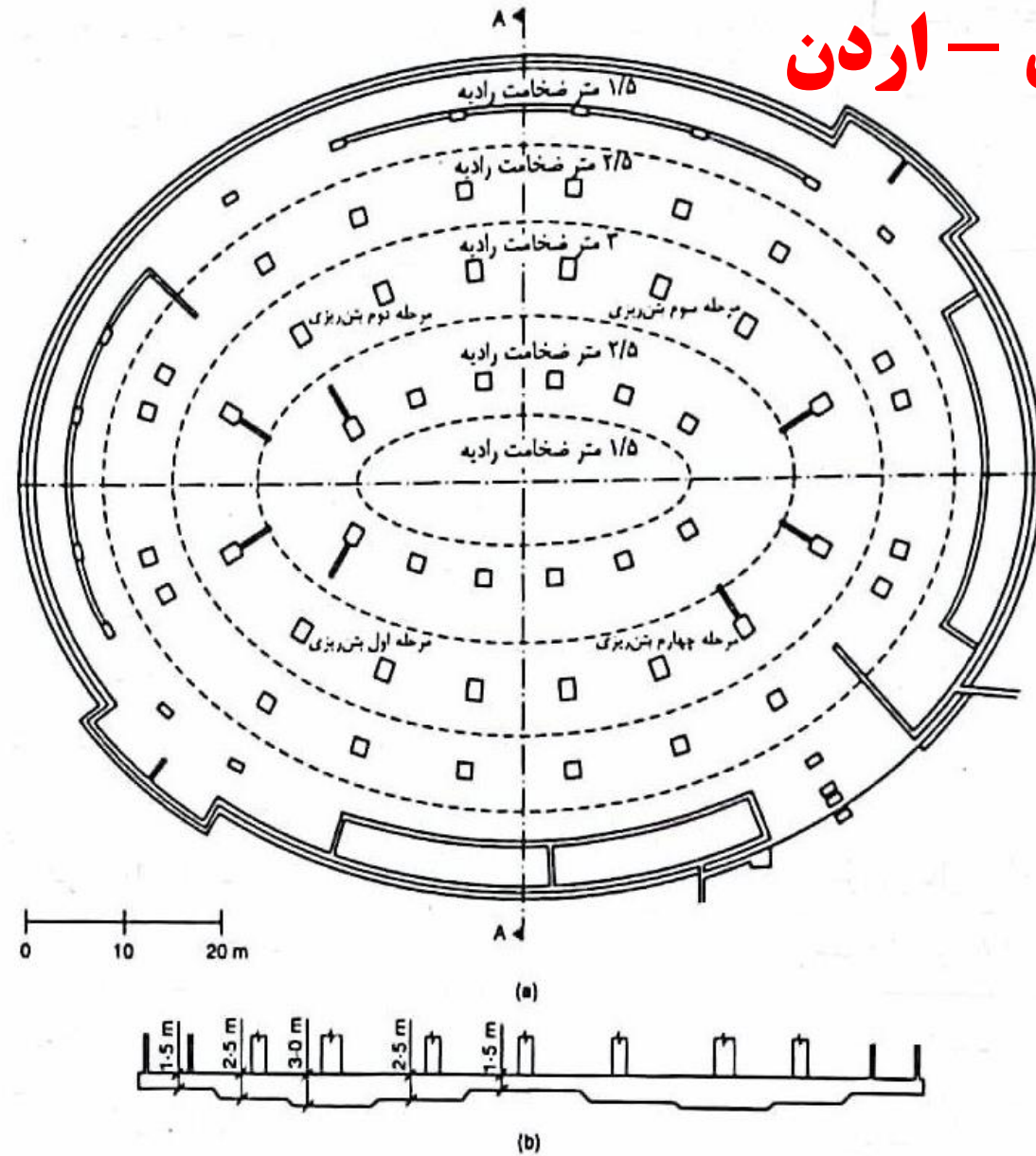
شکل ۱۰-۲ پلان ومقطع برج الفیصلیه، ریاض - عربستان سعودی



✓ هتل رویال، امان – اردن

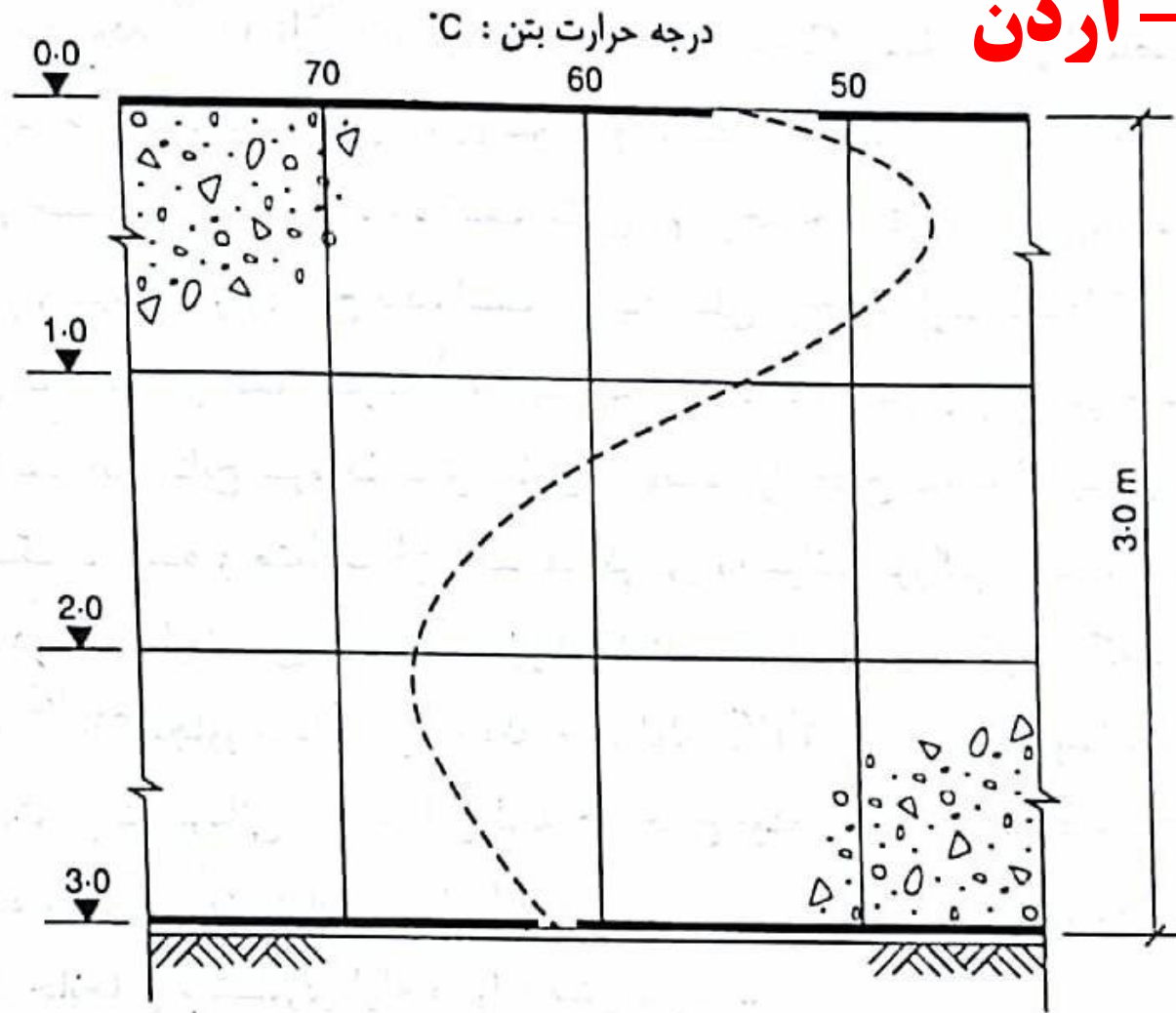
- ارتفاع ۱۰۸ متر از کف خیابان
- کف پی از سطح خیابان ۲۳ متر
- پلان بیضوی شکل به قطر ۱۰۴*۸۰ متر
- ساخت پروژه ۲۰۰۱
- سطح پی ۶۴۸۰ مترمربع به ضخامت ۱/۵ تا ۳ متر
- حجم بتن مصرفی ۱۴۰۰۰ مترمکعب
- تقسیم بندی فنداسیون به چهار قسمت ۳۴۶۰ مترمربع
- ضخامت هر لایه بتن ریزی ۵۰ سانتی متر
- استفاده از ترموکویل در اعمال ۰/۵ و ۱ و ۱/۵ و ۲ متر
- درجه حرارت بتن حمل شده به محل کار ۱۲ تا ۲۸ درجه سانتیگراد
- چون بتن ریزی در اواسط زمستان صورت گرفته تمهیدات خاصی برای کاهش دمای بتن صورت نگرفته

✓ هتل رویال، امان - اردن



شکل ۱۰-۶- پلان و مقطع مجموعه هتل رویال، امان - اردن (a) پلان (b) مقطع A-A

✓ هتل رویال، امان – اردن



شکل ۷-۱۰ پروفیل درجه حرارت اندازه گیری شده برای پی گسترده هتل رویال، امان - اردن

✓ هتل صدر مشهد – ایران



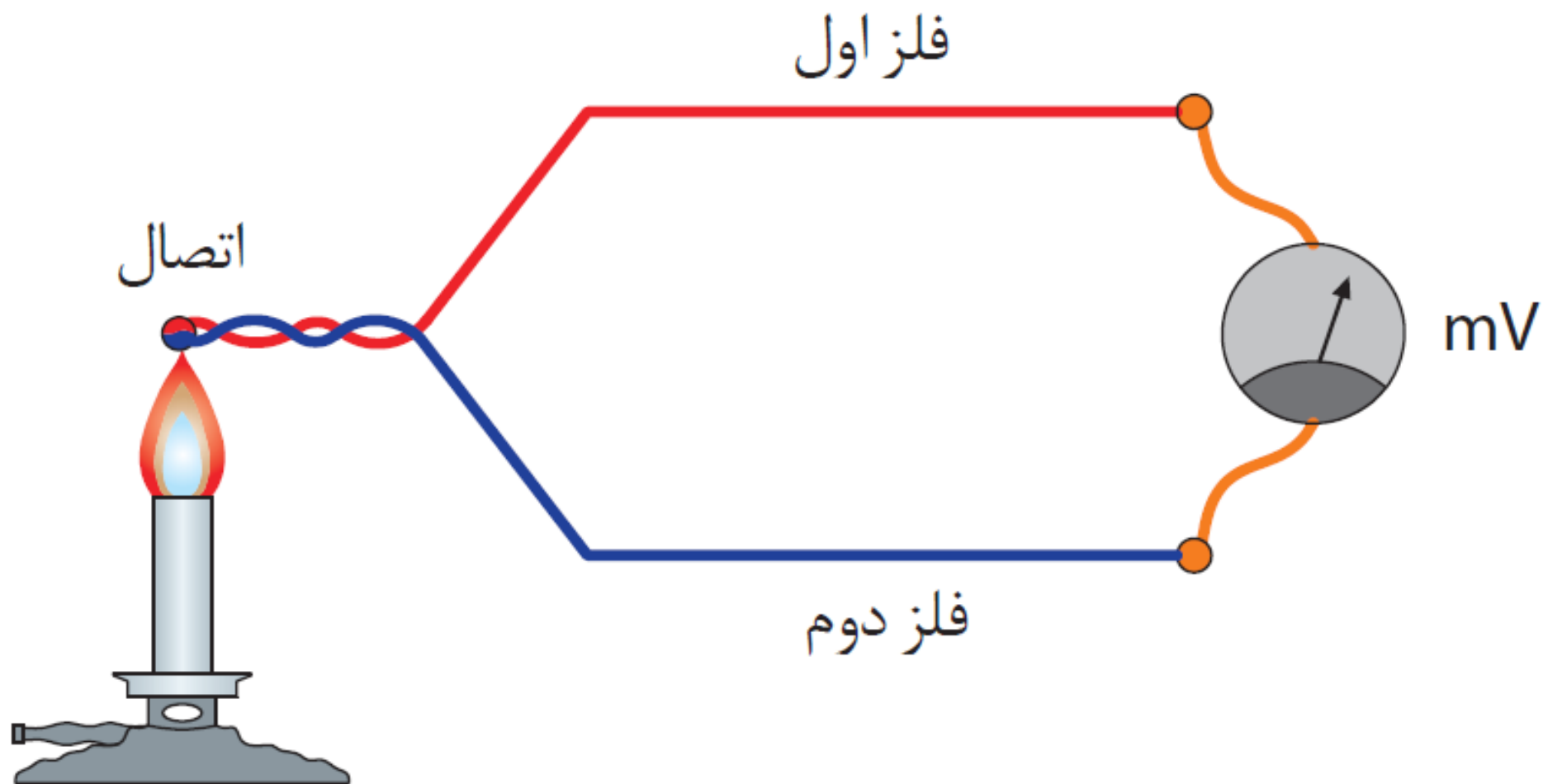
- نوع فونداسیون: گسترده
- ضخامت: ۱۸۰ سانتی متر
- نوع سیمان: پرتلند نوع ۲
- عیار سیمان: $۳۵۰ \frac{kg}{m^3}$
- درصد کندگیرکننده: ۰.۳ درصد وزنی سیمان

- مقاومت مشخصه بتن: $f_c = ۲۵۰ \frac{Kg}{cm^2}$

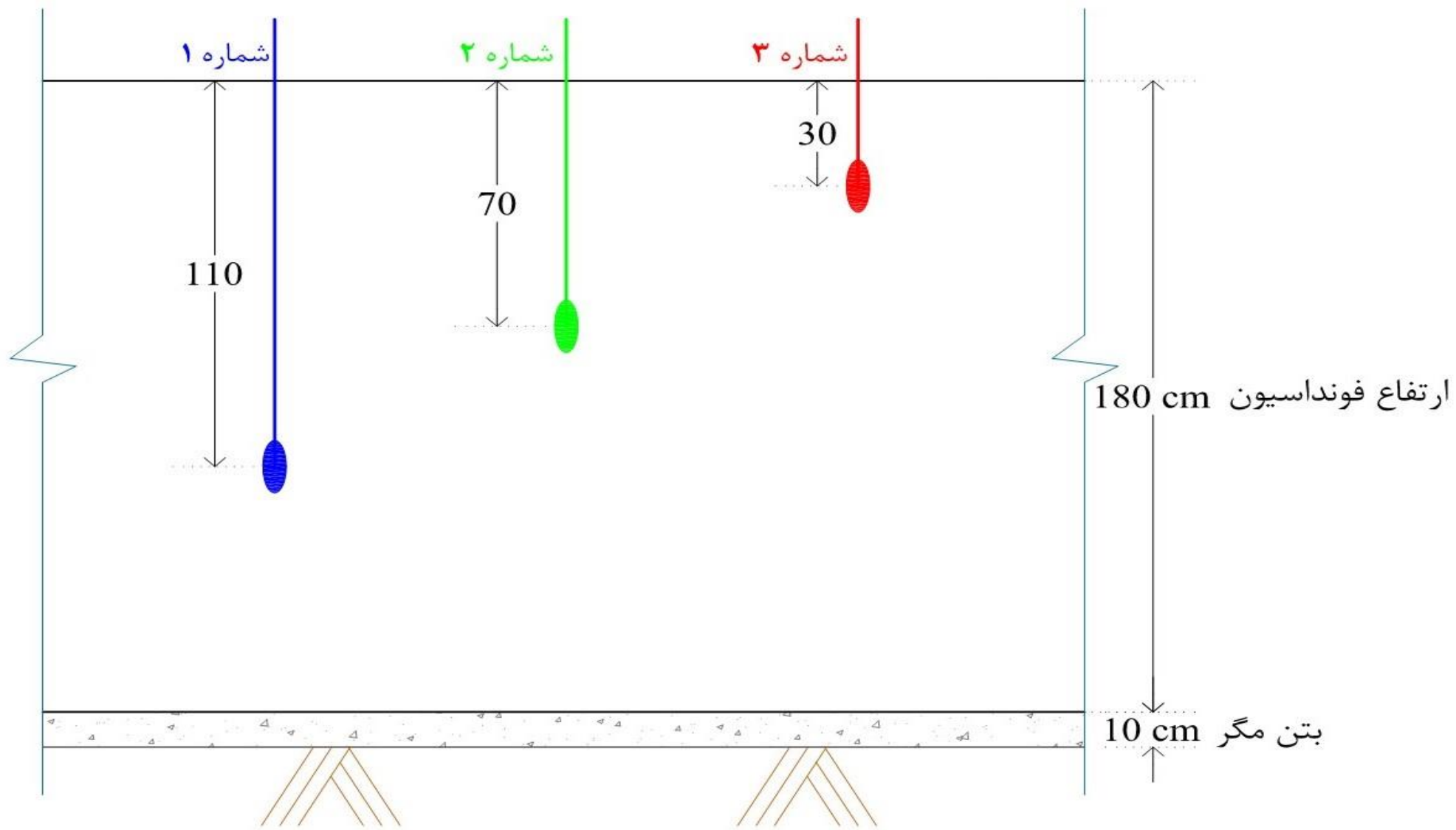
❖ اندازه گیری دما

✓ برای اندازه گیری دمای بتن از چند ترموکوپل که دارای سنسور حساس به دما می باشند استفاده شده است. این ترموکوپل ها در ۳ نقطه با عمق نفوذ مختلف از تراز روی فونداسیون کار گذاشته شد. به منظور اندازه گیری تغییرات دمای داخلی فونداسیون، ۱۰ روز متوالی پس از بتن ریزی دمای داخلی توسط سنسورها اندازه گیری شده و همچنین دمای محیط پیرامون هم ثبت گردید.

شماره ایستگاه	عمق نفوذ سنسور در بتن
1	110 cm
2	70 cm
3	30 cm



نحوه اندازه گیری دما با ترموکوپل.



ارتفاع جاگذاری ترموکوپل ها



شماره گذاری ایستگاه های اندازه گیری دمای فونداسیون



ترموکوپل و دما سنج دیجیتالی



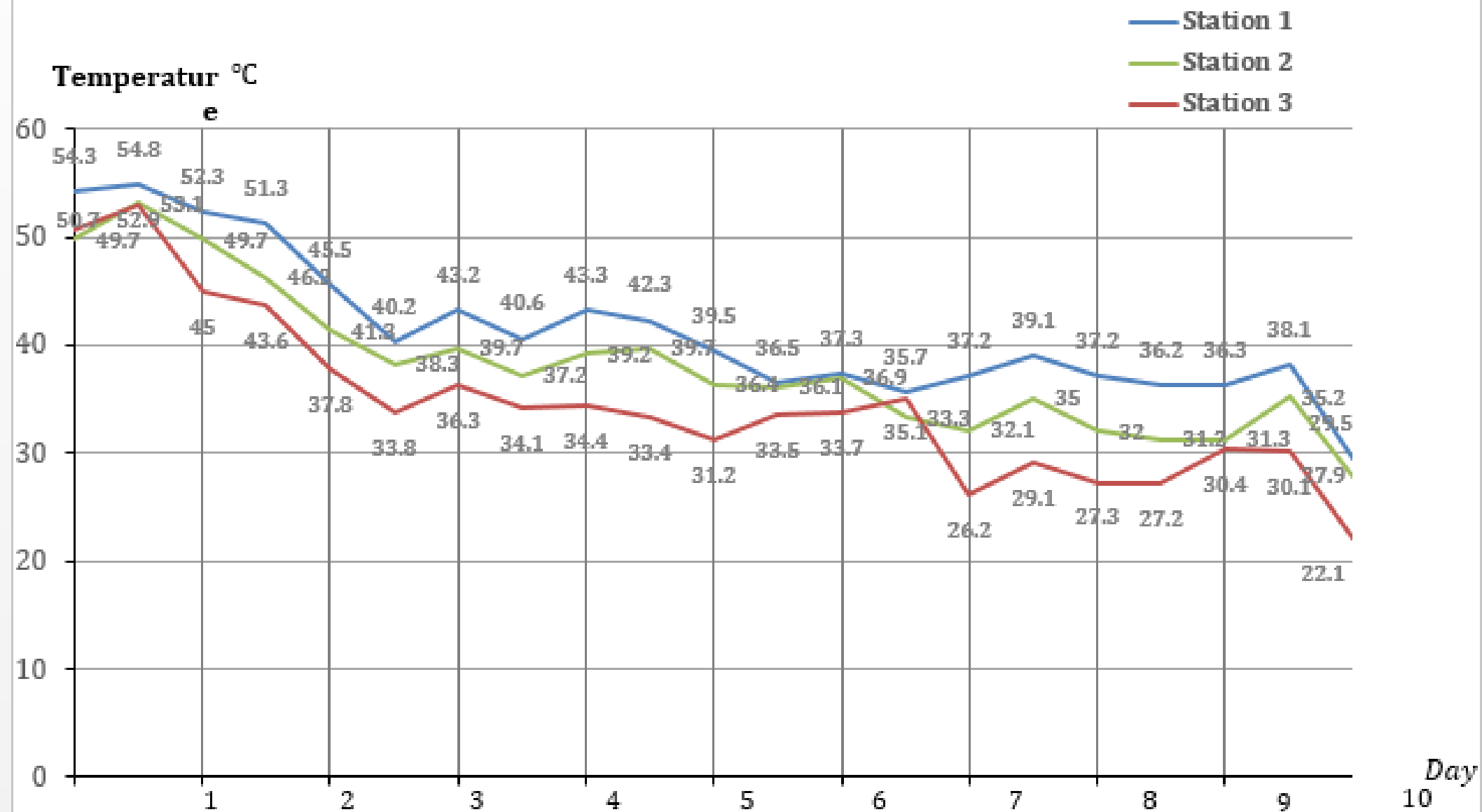
شکل 3- محل جانمایی سنسورهای حرارتی

تغییرات دمای داخلی بتن در روزها و ایستگاه های مختلف



Day	start	1		2		3		4		5		6	
Hour Station	-	12	24	36	48	60	72	84	96	108	120	132	144
1	54.3	54.8	52.3	51.3	45.5	40.2	43.2	40.6	43.3	42.3	39.5	36.5	37.3
2	49.7	53.1	49.7	46.2	41.3	38.3	39.7	37.2	39.2	39.7	36.4	36.1	36.9
3	50.7	52.9	45	43.6	37.8	33.8	36.3	34.1	34.4	33.4	31.2	33.5	33.7
Ambient's Temperature (°C)	3	2	12	8	14	14	19	8	9	6	18	10	3

Day	7		8		9		10	
Hour Station	156	168	180	192	204	216	228	240
1	35.7	37.2	39.1	37.2	36.2	36.3	38.1	29.5
2	33.3	32.1	35	32	31.2	31.3	35.2	27.9
3	35.1	26.2	29.1	27.3	27.2	30.4	30.1	22.1
Ambient's Temperature (°C)	1	3	0	5	3	9	0	10



نمودار تغییرات دمای بتن



پس از اتمام بتن ریزی سطح
رویه بتن با عایق پشم شیشه
به ضخامت ۳ سانتی متر همراه
کاور پلاستیکی در هر طرف
عایق و بصورت لایه های با
هم پوشانی ۱۵ سانتی متر
انجام و به مدت ۱۰ روز عمل
آوری گردید

قسمتی از فونداسیون گسترده حجیم (پروژه تجاری - اقامتی صدر)

❖ اندازه گیری دما در ستون های پروژه هتل صدر

✓ کنترل دما برای دو ستون بتنی به ابعاد $110 * 110$ سانتی متر انجام شد.

✓ اندازه گیری دما برای هر ستون هم در هسته مرکزی و هم روی جداره بیرونی ستون صورت گرفت.

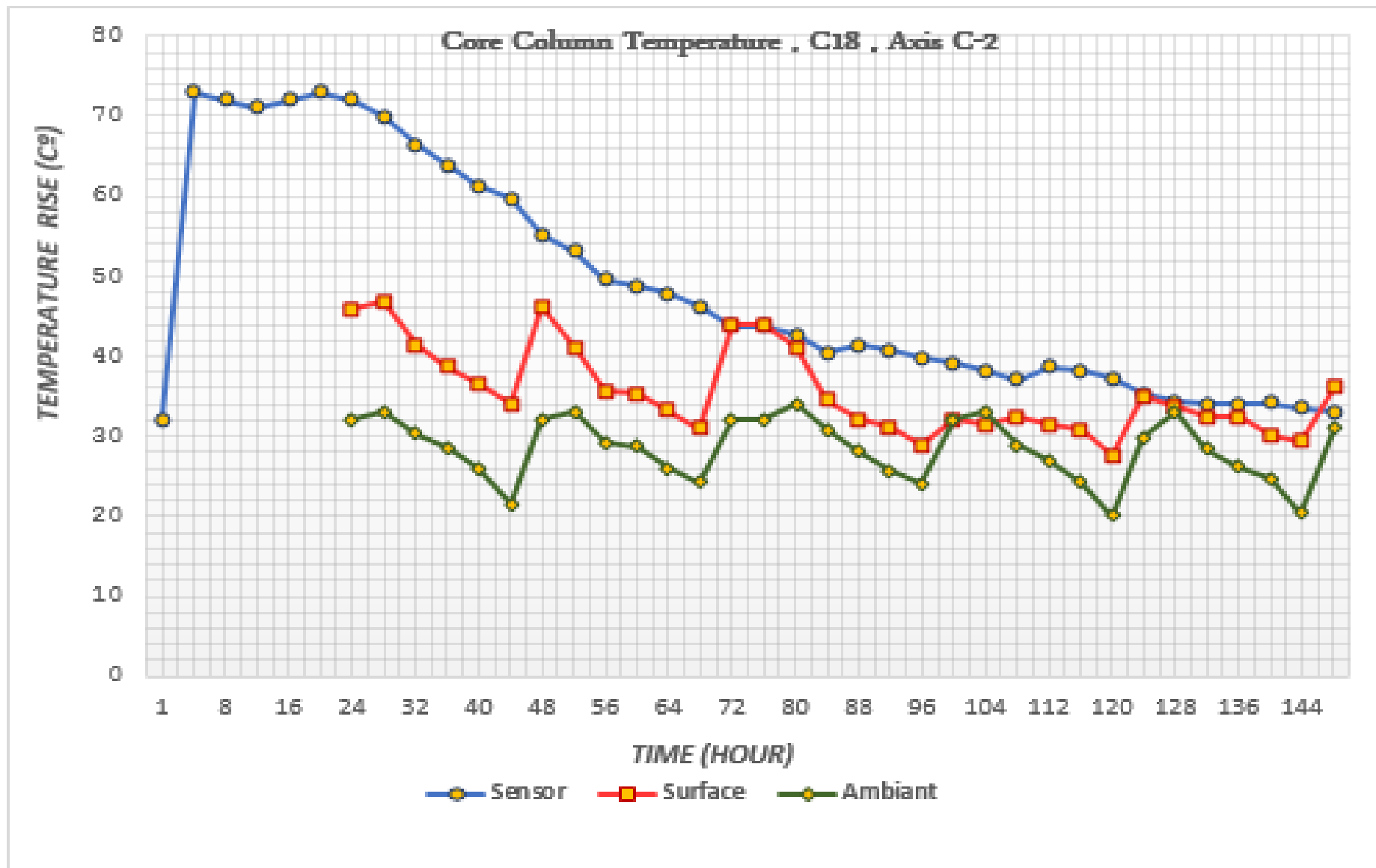
✓ ماکزیمم دمای هسته ستون در ستون C18- Axis D-2 به 72°C در ستون C18-Axis C-2

به 71°C رسیده که نسبت به ماکزیمم دمای مجاز 70°C که در ابتدا گفته شد، با درصد خطای بسیار

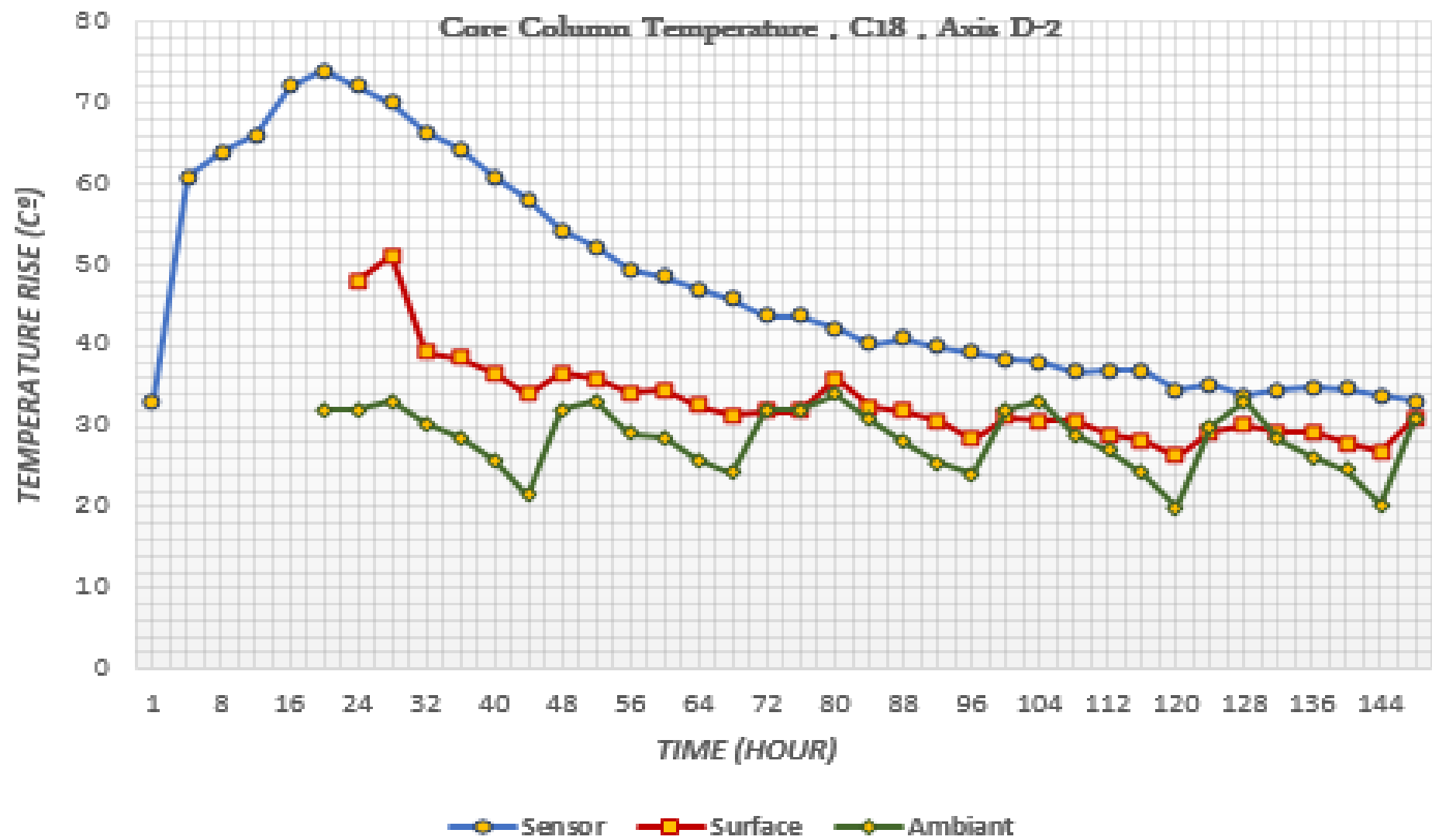
کم قابل قبول است.







نتایج اندازه گیری دما برای ستون C18-Axis C-2



نتایج اندازه گیری دمای برای ستون C18-Axis D

❖ برخی نکات اجرایی در بتن های حجیم

✓ آماده سازی فونداسیون جهت بتن ریزی

– الف : انتخاب محل درز اجرایی

– ب: آماده سازی درز اجرایی

✓ محل درزهای اجرایی

✓ ترتیب بتن ریزی و ضخامت لایه ها

✓ نکاتی پیرامون عمل آوری بتن های حجیم

الف: انتخاب محل درز اجرایی

نقاط قطع بتن ریزی در دالها، تیرها، ستون ها و فونداسیون ها در سازه های بتنی درز اجرایی نامیده می شود . نکته مهم در درزهای اجرایی این است که بتوان با روش های مناسبی پیوستگی لازم را بین بتن قدیم و جدید ایجاد نمود.

ب: آماده سازی درزهای اجرایی

در سطح درزهای اجرایی بایستی نسبتا صاف و هموار و دارای یک شیب خیلی ملایم باشد. قبل از اینکه لایه بتن جدید روی بتن سخت شده قبلی ریخته شود، باید سطح مورد نظر از وجود هر گونه آلودگی و برآمدگی بیش از حد پاک شود.

روش های ایجاد سطح صاف
در درزهای اجرایی

- ۱- استفاده از سند بلاست مرطوب که برای مدت طولانی پس از سفت شدن بتن نیز مناسب است
- ۲- استفاده از جت آب با فشار زیاد (حداقل 6000 Psi)

□ محل درزهای اجرایی

محل مناسب برای درزهای اجرایی باید حتی الامکان جایی باشد که کمترین تاثیر منفی را روی انسجام کل سازه داشته باشد.

✓ در تیرها و دال ها و یا فونداسیون های گسترده ، محل درز بایستی در وسط دهانه و یا یک سوم میانی دهانه اجرا شود تا دورترین فاصله را از ستون داشته باشد. به طور معمول تحت بارهای ثقلی نیروی برشی در وسط دهانه ها می نیمم است و می توان محل درز را در این نقاط در نظر گرفت.

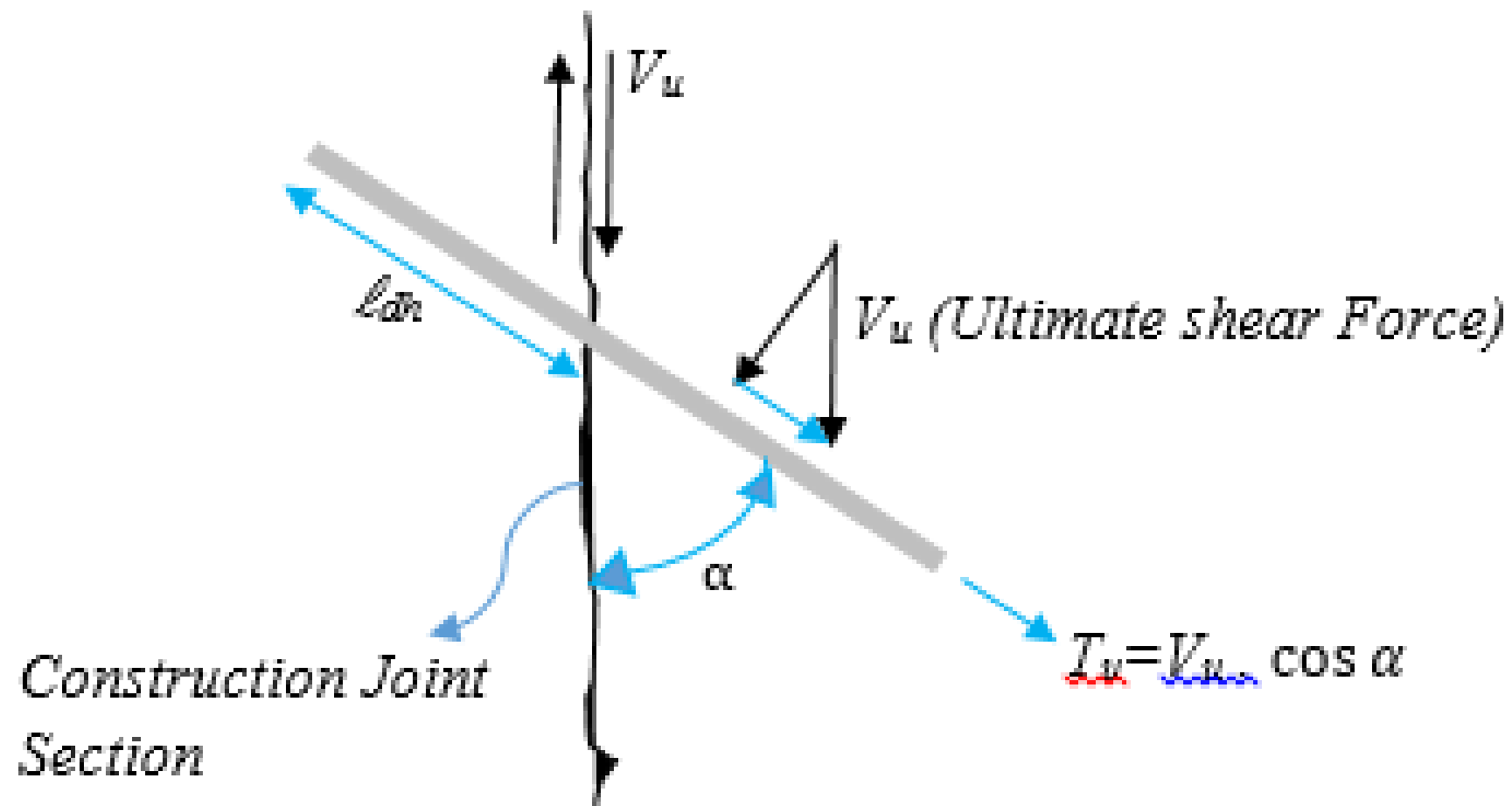


✓ جهت انتقال برش در درزهای اجرایی
می توان در صورت نیاز از آرماتور دوخت
استفاده نمود.

❖ انتقال برش در درزهای اجرایی و ضوابط محاسباتی مربوطه (بر مبنای ACI)

✓ انتقال برش در درزهای اجرایی، بین بتن جدید و قدیم به وسیله مکانیزم اصطکاک بین دو سطح و نیروی چسبندگی تامین می شود. اگر چه بتن ترک نخورده در مقابل برش مستقیم نسبتاً قوی می باشد، با این وجود همواره این احتمال وجود دارد که یک ترک در موقعیت نامناسبی تشکیل شود. چنین ترک هایی را ترک های بالقوه می گویند.

✓ هیچکس نمی تواند تضمین کند که در بتن ترک ایجاد نخواهد شد و احتمال مقداری ترک خوردگی وجود دارد. انواع مختلف ترک ها ممکن است رخ دهد، ولی با اجرای دقیق و انتخاب مصالح مناسب می توان ترک ها را کاهش داد.



تجهه عملکرد تیروی برشی تهایی روی آرماتور دوخت در درز اجرایی

✓ چنانچه آرماتور برش - اصطکاک نسبت به صفحه برش به صورت مایل قرار داشته باشد، به صورتی که نیروی برشی باعث ایجاد کشش در آرماتور دوخت شود، مقاومت برشی اسمی V_n با رابطه زیر محاسبه می شود.

$$\bullet V_n = A_{vf} f_y (\sin \alpha + \cot \alpha \cos \alpha) + A_c K_1 (\sin \alpha)^2 \quad 0 \leq \alpha \leq 90^\circ$$

$$\bullet \frac{A_{vf} f_y \sin \alpha}{A_c} \geq 1.4 MPa$$

✓ α : زاویه بین آرماتور دوخت و صفحه برش

✓ A_{vf} : سطح مقطع لازم برای آرماتورهای دوخت

- $K_1 = 2.8 MPa \Rightarrow$ برای بتن معمولی
- $K_1 = 1.4 MPa \Rightarrow$ برای بتن تمام سبک
- $K_1 = 1.7 MPa \Rightarrow$ برای بتن ماسه سبک

✓ برای طراحی و محاسبه سطح مقطع آرماتور دوخت مورد نیاز (A_{vf}) از رابطه مقاومت نهایی به صورت زیر استفاده می شود.

- $V_u \leq \phi_v V_n$, $\phi_v = ۰.۷۵$

✓ توصیه شده که آرماتور دوخت حتی الامکان تحت زاویه $\alpha = ۴۵^\circ$ نسبت به سطح درز اجرا شود که بیشترین عملکرد را در تحمل کشش ناشی از نیروی برشی داشته باشد.

❖ ترتیب بتن ریزی و ضخامت لایه ها در آیین نامه ACI

✓ در فرآیند بتن ریزی های حجیم ، بتن بایستی در لایه های متوالی ریخته شود و نبایستی در یک زمان کل ضخامت فونداسیون را بتن ریزی نمود. ماکزیمم ضخامت این لایه ها به قدرت ویبراتور مورد استفاده در لرزاندن مخلوط بتن دارد. طبق توصیه ACI برای ویبراتورهای با قطر لوله ۲ اینچ حداکثر ضخامت لایه بتن به ۴۰ سانتی متر محدود شده است. همچنین توصیه شده حداکثر ضخامت لایه در یک نوبت بتن ریزی از ۱.۵ متر تجاوز نکند.

❖ ترتیب بتن ریزی و ضخامت لایه ها در آیین نامه ایران

✓ در آیین نامه بتن های حجیم ایران یک نوبت بتن ریزی به صورت زیر تعریف شده است:

✓ یک نوبت بتن ریزی به حجمی از بتن گفته می شود که در یک عملیات پیوسته بتن ریزی بین دو درز اجرایی افقی انجام می پذیرد. هر نوبت بتن ریزی را می توان در لایه های متوالی اجرا نمود.

✓ در شرایط معمولی، حداکثر ضخامت بتن ریزی در هر نوبت و هر لایه بتن ریزی و حداقل زمان بین دو نوبت بتن ریزی بایستی مطابق با جدول مربوطه باشد.

حداقل زمان بین دو نوبت بتن ریزی (ساعت)		حداکثر ضخامت یک لایه بتن ریزی (متر)	حداکثر ضخامت یک نوبت بتن ریزی (متر)	محل بتن ریزی
دمای کمتر از 30 درجه سانتی گراد	دمای بیشتر از 30 درجه سانتی گراد			
60	48	0.5	3	دیوارهای با پهنای کمتر از 5 متر
72	64	0.5	1.5	دال یا ضخامت بیشتر از 0.5 متر
-	-	-	یک نوبت	دال یا ضخامت کمتر از 0.5 متر

حداکثر ضخامت و حداقل زمان بین بتن ریزی

❖ مثال کاربردی برای محاسبه آرماتور دوخت

✓ نام پروژه: پروژه تجاری - اقامتی صدر واقع در میدان هفده شهریور مشهد

✓ نوع سازه: بتنی

✓ مورد محاسبه: سطح مقطع آرماتورهای دوخت در محل درز اجرایی فونداسیون

✓ نوع فونداسیون: گسترده به ضخامت ۱۸۰ سانتی متر

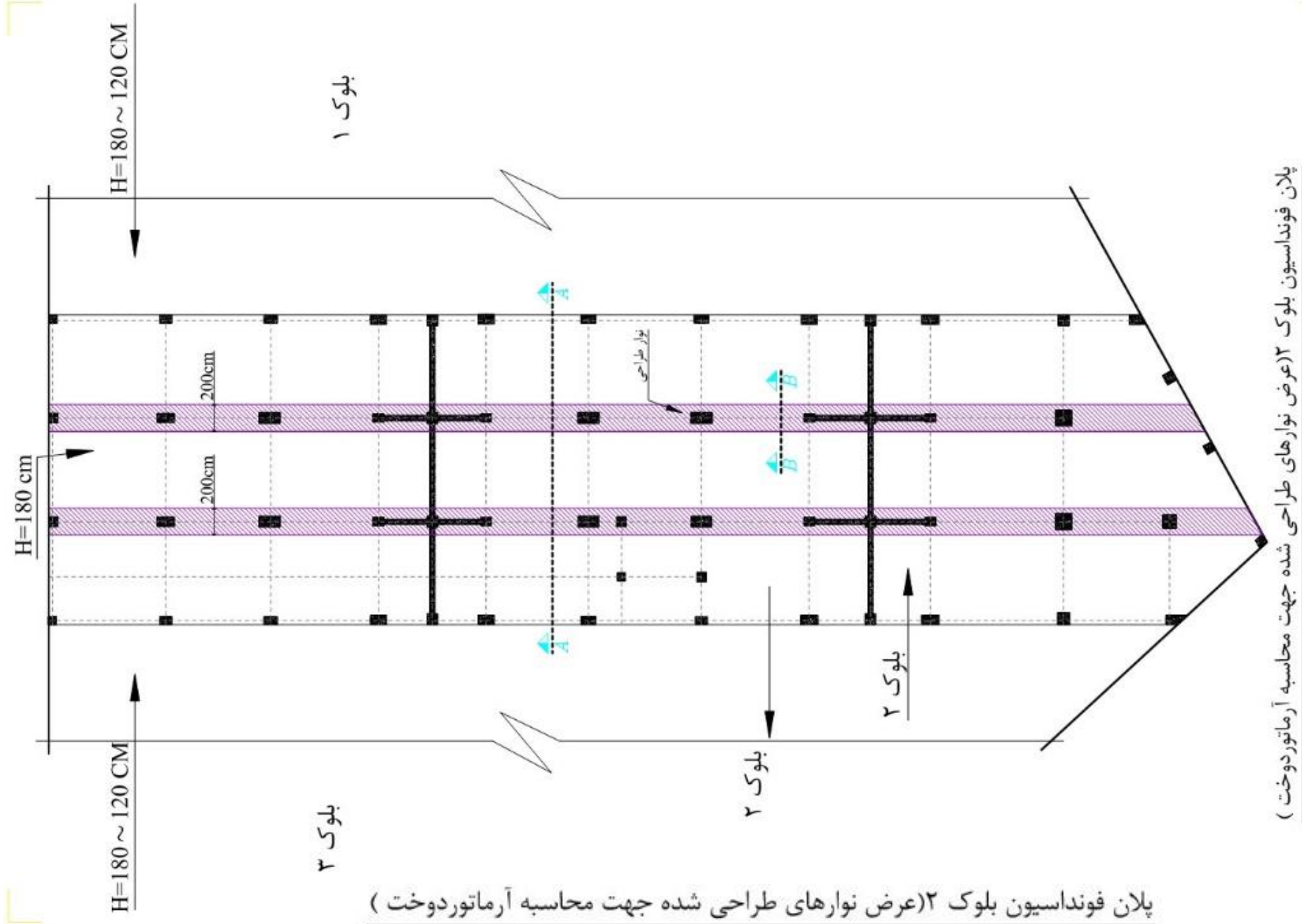
✓ تعداد طبقات: ۲۱ طبقه

❖ حالت اول : محل درز اجرایی (قطع بتن) در وسط یکی از دهانه ها (مقطع A-A)

✓ در این حالت درز اجرایی مورد نظر برای محاسبه آرماتورهای دوخت در وسط یکی از دهانه های فونداسیون که نیروی برشی کمتری دارد انتخاب می شود.

✓ عرض نوار مورد نظر برای محاسبه نیروی برشی نهایی به اندازه ۲ متر، برابر عرض نوارهای طراحی فونداسیون، در نظر گرفته شد.

✓ نیروی برشی نهایی ماکزیمم در اثر کلیه ترکیبات بارگذاری (بر اساس مبحث نهم) از برنامه Safe برای نوار مورد نظر برداشت شده است.



❖ روند محاسبات

- $V_u = 99 \text{ ton} = 990 \text{ KN}$

- $h = 1800 \text{ mm} \quad \& \quad d = 1720 \text{ mm} \quad \& \quad b = 2 \text{ m} = 2000 \text{ mm}$

✓ اگر آرماتورهای دوخت را با زاویه ۴۵ درجه نسبت به دیواره قائم درز قرار دهیم
خواهیم داشت:

- $V_n = A_{vf} f_y (\cdot/8 \sin \alpha + \cos \alpha) + A_c K_1 (\sin \alpha)^2, \quad \alpha = 45^\circ, \quad k_1 = 2/8 \text{ MPa}$

- $V_n = 50904 A_{vf} + 4/814 \times 10^6$

- $V_u \leq \varphi_v V_n \Rightarrow 900 \times 10^3 \leq 0.75(50.9/0.4 A_{vf} + 4/814 \times 10^6) \Rightarrow$
- $A_{vf} = -70.99/64 mm^2 < 0$

✓ چون مقدار سطح مقطع آرماتور منفی به دست آمد بنابراین نیازی به آرماتور دوخت در این مقطع نمی باشد.

❖ حالت دوم: محل درز اجرایی (قطع بتن) در مجاورت ستون بتنی (مقطع B-B)

✓ چنانچه در زمان اجرای فونداسیون، به هر دلیل امکان جانمایی درز در وسط دهانه ها نباشد، ممکن است اجباراً محل درز در نزدیکی بر ستون ها بیفتد.

✓ در این حالت محل درز اجرایی را در فاصله ۱ متری از یک ردیف ستون (ستون های سر دیوار برشی) در نظر گرفته و محاسبات مجدداً تکرار شده است.

- $V_u = 663 \text{ ton}$

- $V_n = A_{vf} f_y (\sigma/\lambda \sin \alpha + \cos \alpha) + A_c K_1 (\sin \alpha)^2$

- $V_u \leq \varphi_v V_n \Rightarrow 6630 \times 10^3 \leq 0.75 (\sigma/\lambda A_{vf} + \sigma/\lambda \times 10^6)$

- $\Rightarrow$

- $A_{vf} = 7910 \text{ mm}^2$

- رابطه کنترلی $\Rightarrow \frac{A_{vf} f_y \sin \alpha}{A_c} \geq 1/4 \text{ MPa} \Rightarrow \frac{7910 \times 400 \times 0.707}{2000 \times 1720} = 0.65$
 $< 1/4 \Rightarrow \text{Not Ok} \Rightarrow$

- $A_{vf} = \frac{1/4 \times 2000 \times 1720}{400 \times 0.707} = 170/3 \text{ cm}^2 \Rightarrow \text{use } 4 \phi 25$

✓ از چهار ردیف ده تایی آرمانور ۲۵ در بالا و پایین مقطع استفاده می شود. مشابه محاسبات فوق برای نوارهای ۲ متری دیگر نیز در مقطع B-B انجام شده و نتایج در دتایل مربوطه نشان داده شده است.

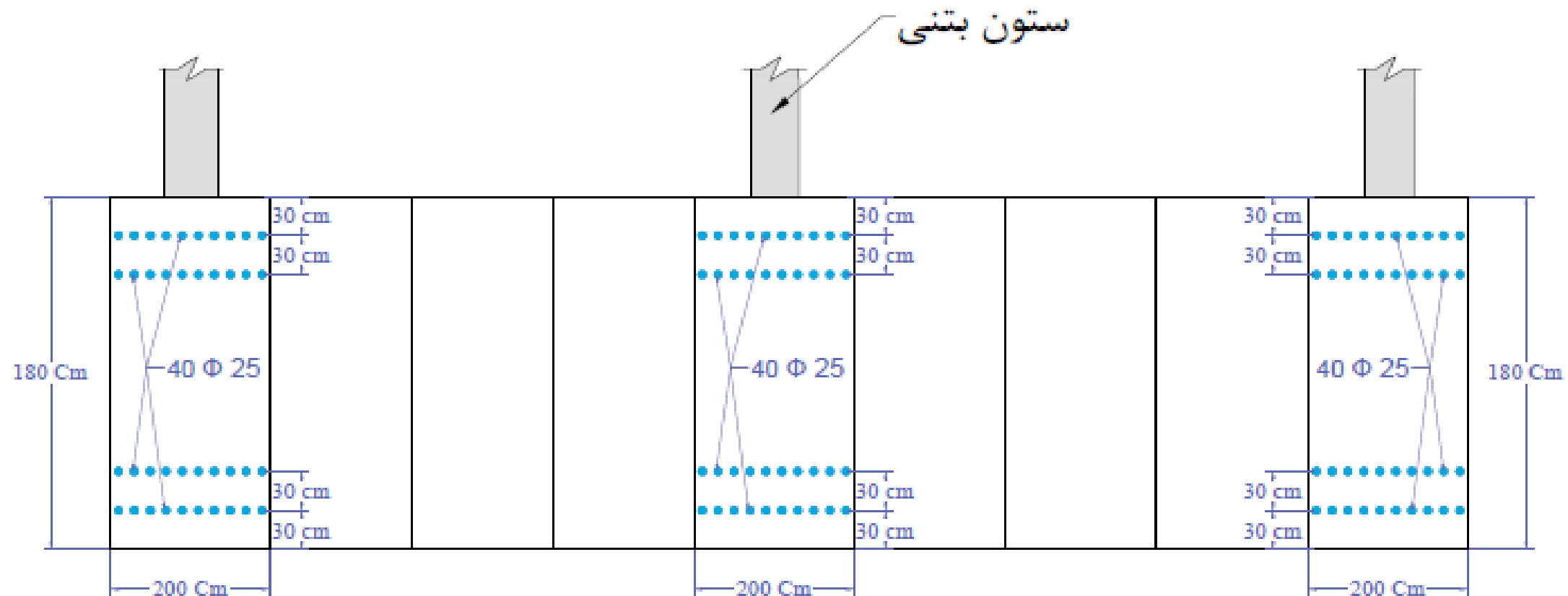
✓ میلگرد های دوخت باید در هر ۲ قطعه بتن جدید و قدیم به اندازه طول مهاری مهار شوند. بدین منظور برای قرار دادن آرماتورهای دوخت در مقطع درز، از طول مهاری مستقیم در کشش استفاده می شود. در ادامه محاسبات مربوط به طول مهاری آرماتور ۲۵ آورده شده است.

$$\bullet \quad l_d = \left[\frac{0.186 f_{yd}}{\sqrt{f_{cd}}} \times \frac{\alpha \beta \gamma \lambda}{\left(\frac{c+k_{tr}}{d_b} \right)} \right] d_b \quad \& \quad f_{cd} = \phi_c f_c \quad , \quad f_{yd} = \phi_s f_y$$

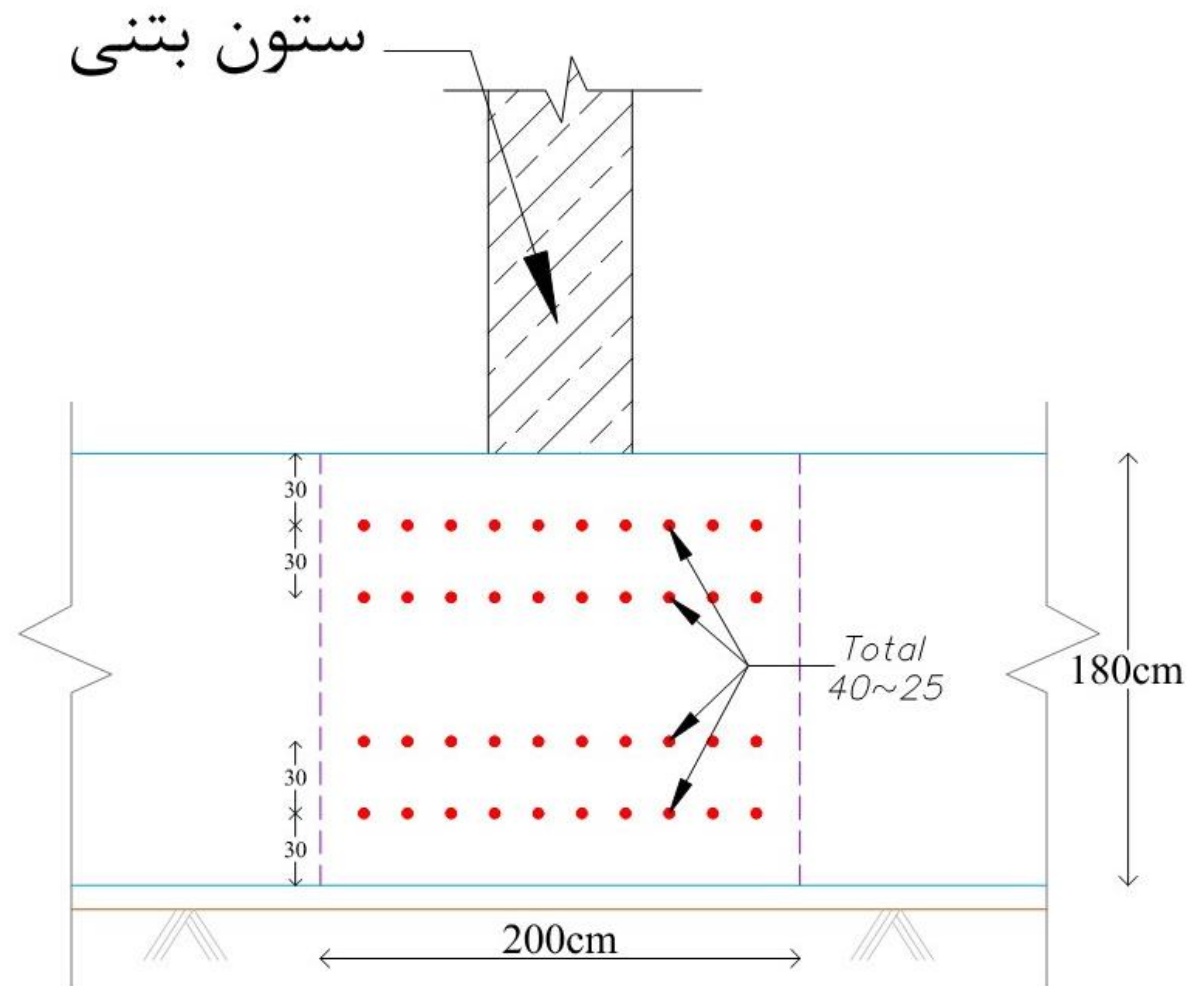
$$\bullet \quad \alpha = \beta = \gamma = \lambda = 1$$

$$\bullet \quad \text{در جهت اطمینان} \Rightarrow \frac{c+k_{tr}}{d_b} = 1/5 \Rightarrow$$

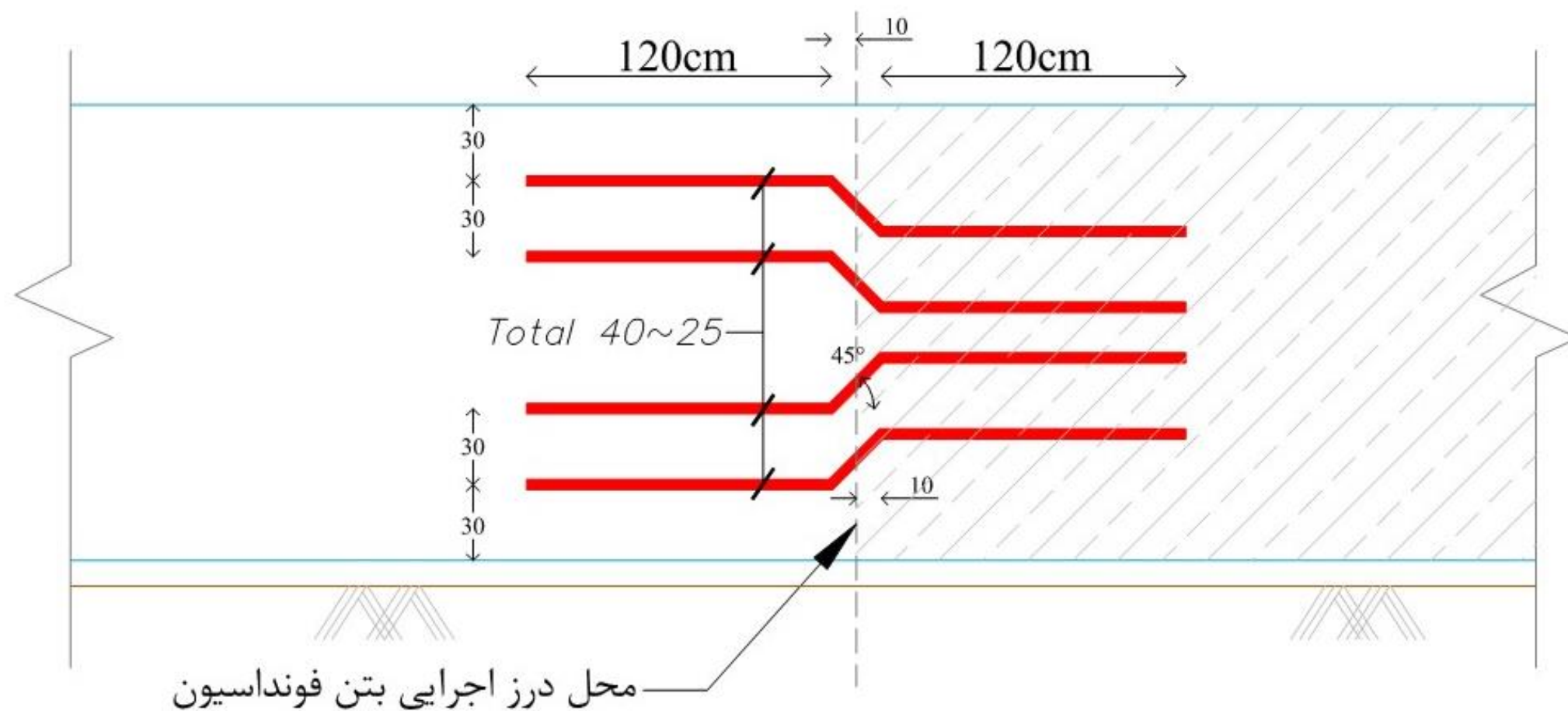
$$\bullet \quad l_d = 1200 \text{ cm}$$



مقطع B-B (درز اجرایی) به همراه نوارهای طراحی و دیتیل آرماتورهای دوخت



مقطع A-A (درز اجرایی) به همراه نوارهای طراحی و دیتیل آرماتورهاى دوخت



مقطع B-B موقعیت و زاویه قرارگیری آرماتورهای دوخت در درز اجرایی

منابع:

- کتاب پی‌های گسترده (تحلیل، طراحی و عملکرد) دکتر اسلامی
- کتاب دوام بتن و ترکیبات سیمانی (دکتر رضانیانپور - مهندس مصطفی جلال)
- مبحث نهم مقررات ملی
- آیین نامه سازه های بتن حجیم (نشریه ۳۴۴)
- اجرای بتن ریزی در مناطق گرمسیری (نشریه ۱۵۲)
- مقاله روشهای کنترل دمای زیان آور هیدراتاسیون در بتن ریزی حجم (فصل نامه علمی تخصصی معاونت مهندسی ناجا سال نهم - شماره ۳۰ و یکم پائیز ۹۵)
- مقاله سیستم پس سرمایش بتن حجیم در سدهای بتنی (شرکت مهندسی مشاور مهتاب قدس)
- مقاله روش های کنترل حرارت هیدراتاسیون در بتن های حجیم سد کارون (شرکت مهندسی مشاور مهتاب قدس)



سپاس از حسن
توجه شما