



بهبود کیفیت آجرهای رسی و دیرگداز بر پایه سیستم کنترل کیفیت ISIRI 7

محمد امیری^۱، سعید باغشاهی^۲

۱- مدیر کنترل کیفیت کارخانه کهن سرام، دانشجوی کارشناسی ارشد نانومواد دانشگاه صنعتی شریف

۲- عضو هیات علمی دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی مواد

E-mail: qc.amiri@kohanceram.com

E-mail: baghshahi@ikiu.ac.ir

چکیده:

سیستم‌های کنترل کیفیت در مصالح ساختمانی با توجه به عرضه محصولات متنوع ساختمانی و پویایی این صنعت در سال‌های اخیر مورد توجه بسیاری از نهادهای دولتی، تولیدکنندگان بخش خصوصی و کارشناسان این صنعت قرار گرفته است و در همین راستا استاندارد ملی شماره ۷ (ISIRI 7) جهت کنترل کیفیت انواع آجرهای رسی و نسل جدید آجرهای نمای ساختمانی که تحت عنوان آجر نسوزنما به بازار معرفی شده‌اند، توسط سازمان ملی استاندارد تدوین شده است. پژوهش حاضر از زاویه کنترل کیفی دربرگیرنده تحقیقات عملی در جهت کنترل و بهبود کیفیت محصولات رسی در دو واحد تولیدی می‌باشد. افزایش مقاومت فشاری و کاهش درصد مواد محلول (که در فصول گرم سال عدم انطباق داشته است) از استاندارد ISIRI 7 به عنوان شاخص‌های بهبود کیفیت در نظر گرفته شده است. سپس روش حل مسأله انتخاب و برنامه‌ریزی آزمایش‌ها با توجه به فاکتورهای مختلف در سطوح گوناگون صورت گرفته است. کلیه مراحل ساخت و آزمایش طبق ISIRI 7 صورت گرفته است. در این تحقیق از خاک مگنتیت با خلوص مختلف جهت بهبود مقاومت فشاری استفاده شد که در بهترین حالت مقاومت فشاری اولیه $(110 \text{ Kg/cm}^2)^*$ تا 170% بهبود یافته و به 297 Kg/cm^2 رسیده است، اما افزایش 80% در مقاومت فشاری (198 Kg/cm^2) به عنوان حالت بهینه، با استفاده از مگنتیت با خلوص متوسط گزارش شده است. تغییر در آب مصرفی فرآیند و گرفتن سختی آب به عنوان راهکاری برای کاهش درصد مواد محلول بیان شده است که با این روش درصد مواد محلول به 0.73% رسیده است. نتایج به دست آمده با حاشیه امن مناسبی در معیارهای ISIRI 7 قرار می‌گیرند. همچنین پس از انجام آزمایشات مربوطه و گردآوری داده‌ها، ملاحظات اقتصادی و بهای تمام شده نیز لحاظ گردیده و شرایط بهینه تعیین و گزارش شده است.

کلمات کلیدی: کنترل کیفیت، آجر رسی، ISIRI

* واحد Kg/cm^2 برای مقاومت فشاری مطابق ISIRI 7 انتخاب شده است.



مقدمه

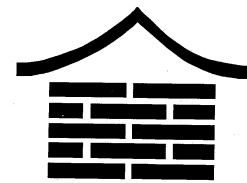
طی دو دهه گذشته صنعت ساختمان هم در بخش تولید مصالح و هم در ساختمان سازی به عنوان یکی از بزرگترین و مهمترین صنایع تولیدی کشور، سرمایه های هنگفتی در بخش نیروی انسانی و اقتصاد ملی را به خود اختصاص داده است. متأسفانه عدم توجه به معیارهای واقعی و اصول حاکم در این صنعت و از همه مهمتر ضعف مدیریت کیفیت در این حوزه باعث شده تا توسعه و گسترش آن مطابق با ایجاد حس رقابت پذیری صحیح بین تولیدکنندگان صورت نگیرد و به تبع آن، دوام و عمر مفید بخش عظیمی از ابنیه ساختمانی موجود در کشور با گذشت زمان در شرایط محیطی بسیار کمتر از مقادیر پیش بینی شده باشد و همچنین از نظر آسیب پذیری براساس استانداردهای جهانی و ملی با نارسایی و ضعف زیادی مواجه باشد [۱].

از طرفی پیامدهای ناشی از فقدان مدیریت کیفیت در صنعت ساختمان نه تنها باعث خسارات مالی و جانی فراوان شده است، بلکه برخلاف سیاست های توسعه پایدار، بخش قابل توجهی از انرژی های تجدیدناپذیر و سرمایه های ارزشمند معدنی در این صنعت اتلاف شده است. به طوری که سالیانه معادل میلیاردها دلار در کشورهای در حال توسعه از جمله ایران صرف تأمین انرژی مورد نیاز ساختمان ها می شود. در این راستا آمارهای ارائه شده نشان می دهد که حدود ۳۰٪ انرژی مصرفی برای تأمین شرایط گرمایش و سرمایش ساختمان ها به کار می رود. بدیهی است اگر انرژی لازم برای تولید محصولات ساختمانی که در واحدهای تولیدی مورد استفاده قرار می گیرد به آن اضافه شود، این میزان افزایش قابل توجهی خواهد داشت. پس چه بسا که اولاً انرژی برای تولید یک کالا به صورت بهینه مصرف شود و ثانیاً این انرژی منجر به تولید یک کالای با کیفیت و ماندگار مطابق با توسعه پایدار شود [۲،۳].

با افزایش مقاومت فشاری، تخلخل های آجر کمتر شده و آجر متراکم تر می گردد. این امر برای آجرهای نما اهمیت زیادی دارد زیرا این آجرها در معرض مستقیم عوامل طبیعی مانند برف، باران و برودت هوا هستند و باید درصد تخلخل کمی داشته باشند. در غیر این صورت آب درون تخلخل ها نفوذ کرده و در اثر انجماد آب و سپس انبساط یخ، سطح آجر نما و پس از آن بدنه و عمق آجر شکافته شده و از بین می رود. در این بین آجرهای نسوز نما با توجه به اینکه در مواد اولیه شان درصد کمتری رس دارند، در همان مراحل اول شکل دهی با پرس، اغلب نسبت به آجرهای نمای معمولی کمتر متراکم می شوند [۴-۶].

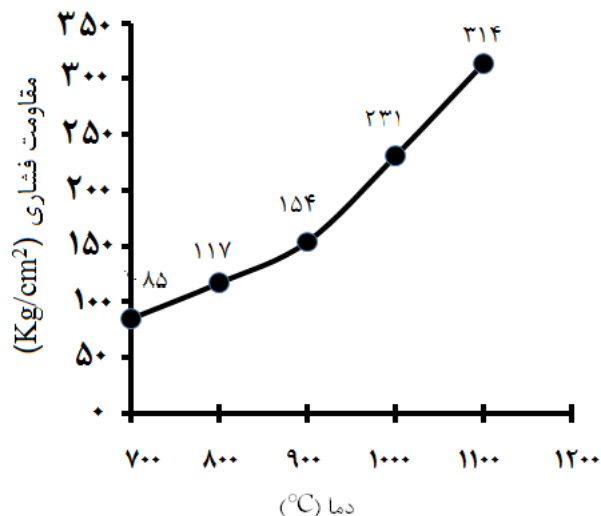
برای مبحث درصد مواد محلول، مشکلی که وجود دارد و در بازار، مصرف کنندگان از آن اغلب به نام شوره یا سفیدک نام می برند. شوره، رسوب نمک های محلول در آب است که در اثر تبخیر آب بر روی سطح دیوارهای بنایی باقی می ماند. این ماده معمولاً همزمان با ساخت ساختمان یا مدتی پس از اتمام ساخت بر روی نمای ساختمان ظاهر می شود. البته همه شوره را نمی توان به مواد اولیه آجر نسبت داد. حتی در برخی موارد خود آجر اصلاً به تنهایی شوره نمی زند. عوامل دیگری مانند آب و دوغاب مصرفی برای آجر از محرک های بسیار مهم هستند. در بسیاری از موارد آجری که به عنوان نما روی ساختمان نصب می گردد در اثر خاصیت مویینگی، مواد و نمک های محلول را که در ملات سیمان به کار رفته، به سمت سطح خود می کشد و سفیدک را که منبع آن در اصل دوغاب است را بر روی سطح خود نمایان می سازد [۶،۷].

در این تحقیق در مبحث افزایش مقاومت فشاری به جای به کار بردن روش های متداول مانند افزایش دما و زمان پخت و یا افزایش فشار اعمالی پرس، در فرمولاسیون مواد اولیه تغییراتی ایجاد شد که مقاومت فشاری بالاتری به دست آید. در قسمت مربوط به مواد محلول با توجه به آب مصرفی برای فرآیند تولید، سختی آب گرفته شد، که این امر موجب کاهش درصد مواد محلول در محصول نهایی گردید. لذا انتظار می رود خوانندگان به تفاوت های دو آزمایش توجه داشته باشند.



مرور منابع مطالعاتی

در سال ۲۰۰۶، کارامان و همکاران [۸] اثر دما و زمان پخت را بر خواص مکانیکی و مقاومت فشاری آجرهای رسی بررسی کردند. در این آزمایش حداقل حرارت برای پخت آجر 700°C بود. به طوریکه آجرها در دمای 700 ، 800 ، 900 ، 1000 و 1100 درجه سانتیگراد پخت شدند. برای تأثیر زمان، پخت آجر در هر کدام از دماهای ذکر شده در زمان‌های 120 ، 240 ، 360 و 480 دقیقه در 10 تکرار انجام شد. نتایج نشان داد با افزایش دما مقاومت فشاری افزایش می‌یابد. بیشترین افزایش در مقاومت فشاری در دمای 1000 درجه و بالاتر اتفاق می‌افتد (شکل ۱). افزایش مقاومت فشاری، به کاهش تخلخل و افزایش چگالی نمونه‌ها در اثر افزایش حرارت نسبت داده شد و همچنین نتیجه گرفتند که زمان تأثیر معناداری بر مقاومت فشاری ندارد، چنانچه در بهترین حالت (برای 120 تا 480 دقیقه نگهداری نمونه در 700°C)، تنها باعث یک افزایش 7 درصدی در مقاومت فشاری گردید. بنابراین افزایش زمان پخت، کیفیت آجر تولیدی را بهبود چندانی نمی‌دهد بلکه باعث اتلاف انرژی، زمان و نهایتاً افزایش هزینه‌های تولید می‌شود.



شکل ۱- تأثیر دما بر مقاومت فشاری در زمان ثابت 120 دقیقه [۹].

در پژوهش دیگری مربوط به مواد محلول، سولفات‌های قلیایی عامل اصلی شوره معرفی شدند و راهکارهای ذیل جهت کاهش این سولفات‌ها ارائه شد.

۱- کاهش سولفات‌های قلیایی در آجر: برای این منظور در آجرهای رسی که رس آن‌ها اغلب دارای سولفات‌های قلیایی است، جهت خنثی کردن سولفات‌های قلیایی از کربنات باریم استفاده شد. جدیدترین آجرهای رسی دارای کربنات باریم هستند. کربنات باریم سولفات‌های قلیایی را غیرقابل حرکت و نامحلول می‌کند و به این طریق از ایجاد شوره بر سطح دیوارهای آجری جلوگیری می‌کند.

۲- کاهش سولفات‌های قلیایی در ملات و دوغاب سیمان: استفاده از سیمان با مواد قلیایی کم (کمتر از 16 درصد وزنی سیمان) احتمال ایجاد شوره بر روی دیوار را کاهش می‌دهد.



۳- کاهش سولفات‌های قلیایی در شن و در آب استفاده شده در ملات و دوغاب سیمان: شن‌های آلوده با سولفات‌های قلیایی سبب ایجاد شوره می‌شوند. لذا شن‌های شسته شده‌ای که حامل سولفات‌های قلیایی نباشند، احتمال ایجاد شوره را کاهش خواهند داد. آب استفاده شده در ملات و دوغاب سیمان می‌تواند آلوده به سولفات‌های قلیایی باشد لذا تا حد امکان باید از آب شیرین و بدون نمک استفاده کرد [۹].

از سوی دیگر دستاوردهایی برای کاهش شوره ارائه شدند که این دستاوردها اغلب به طور مستقیم بر روی درصد مواد محلول تأثیری ندارند، بلکه در اصل تکنیک‌هایی در هنگام نصب هستند که پتانسیل فعالسازی مواد محلول را تا حد زیادی کنترل می‌کنند. از این تکنیک‌ها به اختصار می‌توان به استفاده از حداقل آب مورد نیاز هنگام ساخت دوغاب و سیمان، استفاده از مواد پوششی بر روی نمای ساختمان برای ضد آب کردن آن و یا استفاده از روش‌های مدرن‌تر ساخت دیوار مانند دیوارهای حفره‌دار^۱ و سیستم نمای خشک^۲ اشاره کرد [۱۰].

اگر چه سیستم‌های ذکر شده فوق روش‌های مناسبی جهت کنترل شوره هستند، اما نباید فراموش شود که این سیستم‌ها باید به صورت موازی با بهبود کیفیت مصالح ساختمانی به کار روند، نه به صورت جایگزین. چنانچه هدف از این پژوهش نیز ارتقاء کیفیت محصولات در خط تولید کارخانه است.

روش تحقیق

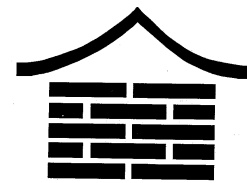
در مطالعه حاضر، اساس کار افزایش مقاومت فشاری، تغییر فرمولاسیون با اضافه کردن کمک ذوب^۳ برای افزایش توانایی پخت^۴ می‌باشد. برای این هدف از مگنتیت با خلوص‌های مختلف و در نسبت‌های وزنی مختلف طبق کدبندی جدول ۱ استفاده شد.

جدول ۱- کدبندی نمونه‌ها طبق خلوص و درصد مگنتیت

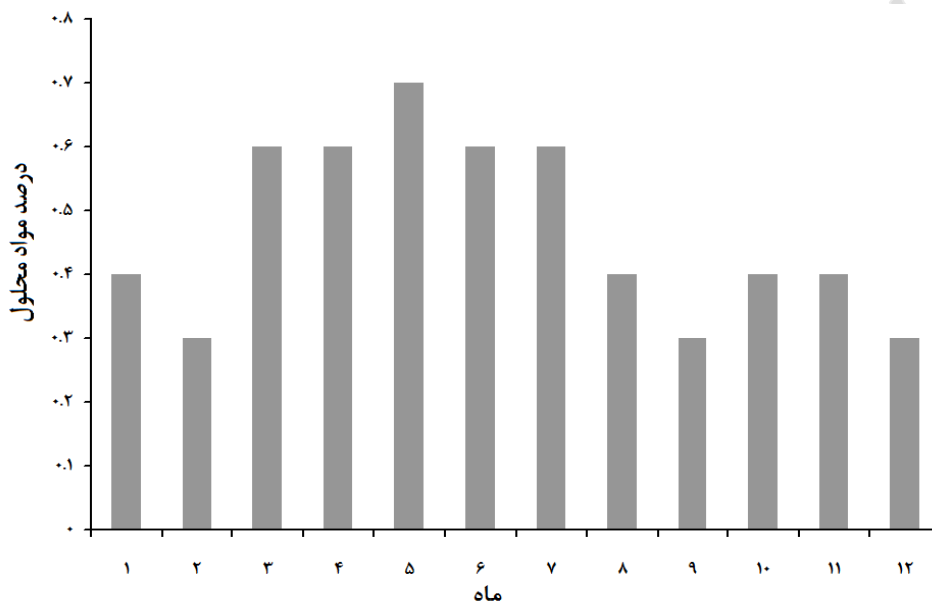
قیمت هر تن (ریال)	۳۰	۲۰	۱۰	درصد مگنتیت
				خلوص مگنتیت
۶۰۰/۰۰۰	A3	A2	A1	۱۲
۲/۳۰۰/۰۰۰	B3	B2	B1	۲۲
۱۰/۰۰۰/۰۰۰	C3	C2	C1	۴۷

مواد اولیه پودر نمونه‌ها که شامل خاکی از سیلیس، آلومینا، منیزیت، مگنتیت و درصد کمی از ترکیبات دیگر است با نسبت‌های ذکر شده از مگنتیت مطابق جدول فوق در قالب‌های آجر نسوزنما، برای ۱۰ تکرار به روش پرس پودر، در شرایط ثابتی از پرس

1- Cavity Walls
2- Cladding System
3- Flux
4- Sinter Ability



(فشار هیدرولیک یا تعداد ضربه) شکل داده شدند و پس از مرحله خشک کردن در سیکل عادی کوره تا حداکثر دمای 1230°C زینتر شدند. در نهایت نمونه‌ها در بررسی آیتم مواد محلول ابتدا میانگین مستندات واحد تولیدی طی سال‌های ۸۷، ۸۸ و ۸۹ برای هر ماه گردآوری شد که در نمودار ۲ نشان داده شده است:



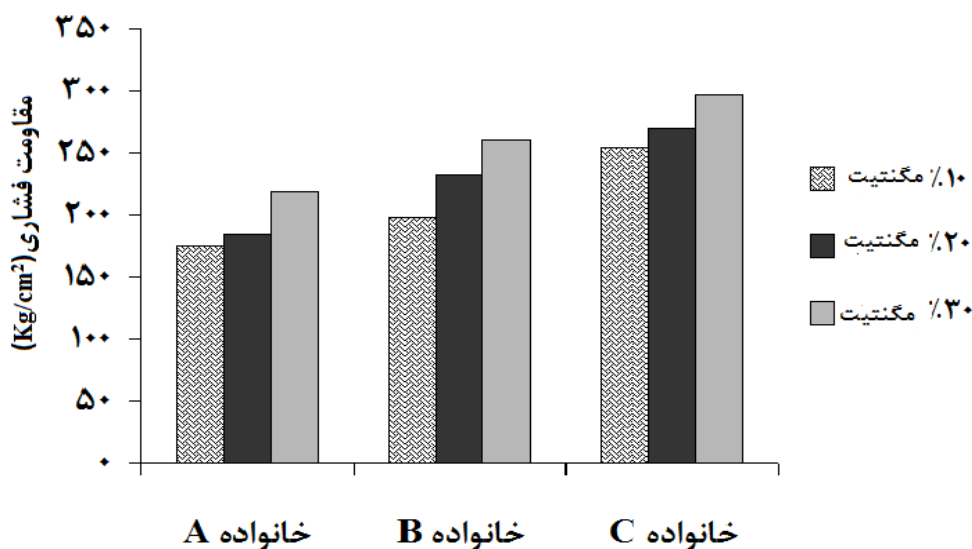
شکل ۲- میانگین درصد مواد محلول طی ۳ سال در ماه‌های مختلف.

برای کاهش درصد مواد محلول (به خصوص در فصول گرم سال) و قرار گرفتن در حد مجاز، پارامتر کلیدی تغییر نوع آب مصرفی بود. بدین صورت که در آزمایشات از خاک رس مصرفی واحد تولیدی که حاوی کائولن و مقادیر زیادی ناخالصی هماتیت می باشد، استفاده گردید (ناخالصی هماتیت به علت خواص رنگی مناسب یک مزیت در فرآیند تولید این نوع آجر نما است). سپس برای تولید ۱۰ نمونه به روش پرس پودر از آب مقطر استفاده شد و نمونه‌ها همان سیکل پخت معمولی را طی کردند و در 900°C زینتر شدند.

نتایج و بحث

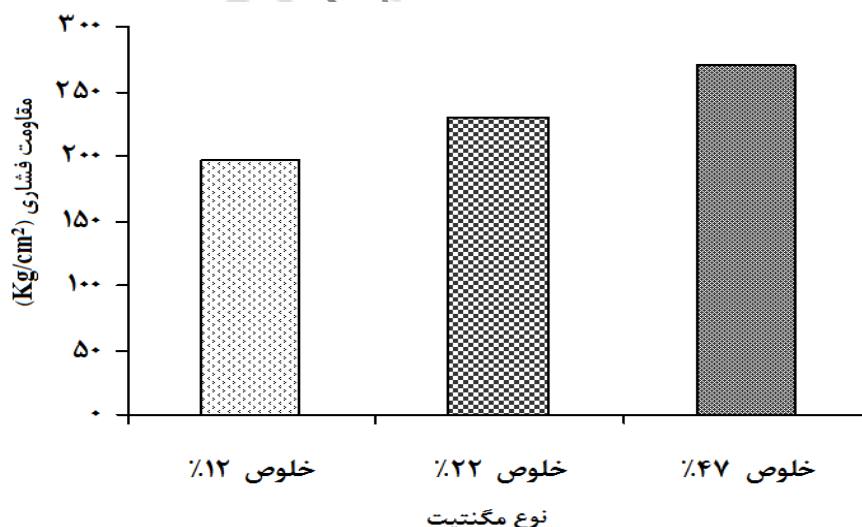
۳-۱- نتایج مربوط به افزایش مقاومت فشاری

طبق نمودار ۳ در هر سه کلاس A، B و C با افزایش درصد افزودنی، مقاومت فشاری افزایش یافت. از نظر فنی این امر ثابت می‌کند که مگنتیت به عنوان یک فلاکس مناسب عمل می‌کند تا در دماهای یکسان نسبت به دماهای پخت معمول و یا حتی دماهای کمتر مقاومت فشاری را افزایش می‌دهد. در حقیقت مگنتیت جسم آجر را تشویق می‌کند که راحت‌تر گردنه بزند و مکانیزم‌های نفوذ را برای زینترینگ کامل در جهت کاهش تخلخل‌ها، افزایش دانسیته و بهبود مقاومت فشاری فعال می‌کند.



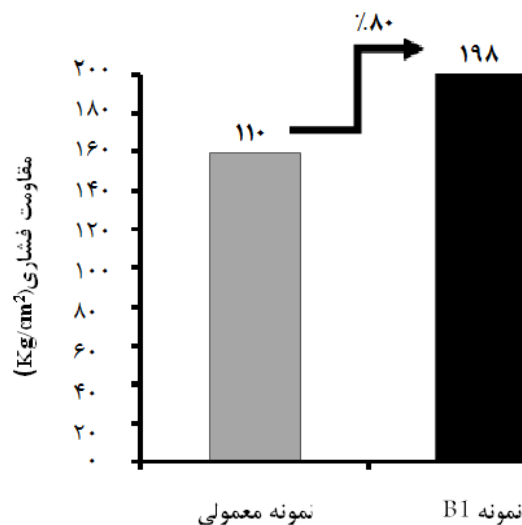
شکل ۳- مقاومت فشاری برای خلوص و درصدهای مختلف (Kg/cm²)

چنانکه شکل ۴ نشان می دهد، با افزایش خلوص مگنتیت، مقاومت فشاری افزایش یافته است. بدین معنی که با بالا رفتن خلوص مگنتیت و کاهش ناخالصی‌ها، راندمان افزودنی مگنتیت برای افزایش فرآیند پخت و به تبع آن افزایش مقاومت فشاری، زیاد می‌شود.



شکل ۴- مقایسه میانگین مقاومت فشاری بین خلوص‌های مختلف مگنتیت (Kg/cm²)

با عنایت به ۳ عامل افزایش مقاومت فشاری، صرفه‌جویی در انرژی و کاهش بهای تمام شده، نمونه B1 با قرار گرفتن در نقطه بهینه شروط فوق را ارضا می‌کند. نمودار ۵ مبین افزایش ۸۰٪ مقاومت فشاری نمونه B1 نسبت به آجر نسوز نما معمولی است.



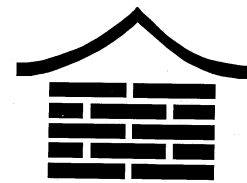
شکل ۵- مقاومت فشاری در نمونه بهینه و آجر نسوز نما معمولی

همچنین در جدول زیر جزئیات نتایج نیز گزارش شده است.

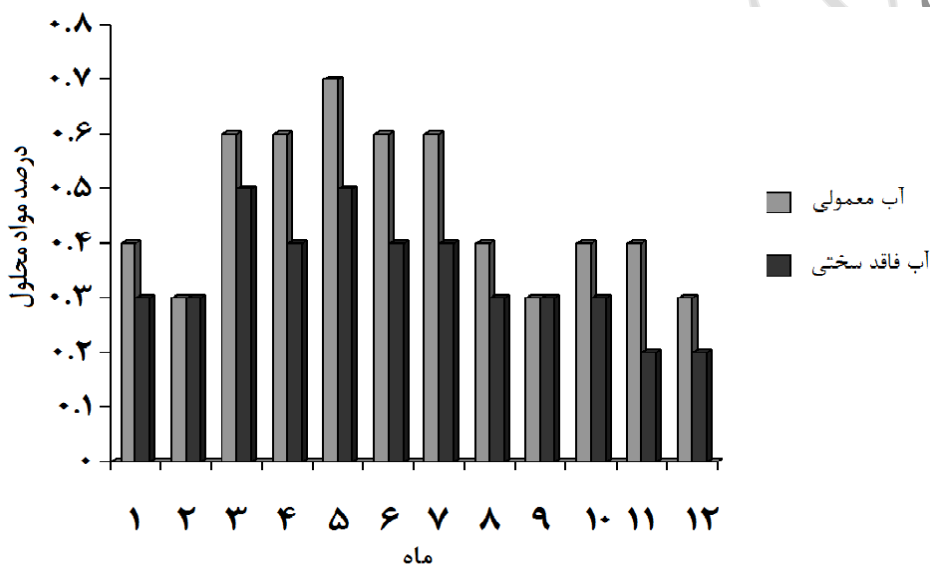
جدول ۳- نتایج آزمون های مقاومت فشاری (Kg/cm²)

میانگین مقاومت فشاری هر خانواده (Kg/cm ²)	مقاومت فشاری (Kg/cm ²)	نمونه
۱۹۲	۱۷۵	A1
	۱۸۴	A2
	۲۱۹	A3
۲۳۰	۱۹۸	B1
	۲۳۲	B2
	۲۶۰	B3
۲۷۰	۲۵۴	C1
	۲۷۰	C2
	۲۹۷	C3

۳-۲- نتایج مربوط به کاهش درصد مواد محلول



با قرار دادن یک دستگاه سختی گیر صنعتی در مدار آب مصرفی خط تولید، سختی آب از ۴۳۰ به زیر ۴۰ کاهش یافت و در نتیجه با کاهش سختی آب، مواد محلول در آب رسوب کرده و توسط شستشوی قلیایی از آب خارج گردیدند. همچنین از آنجایی که آب مصرفی کارخانه چاه آب بود، چنین استنباط شد که در فصول گرم سال با توجه به اینکه آب جریان و تلاطم کمتری در چاه دارد، موقعیت رسوب کردن مواد محلول در چاه بیشتر می شود و در هنگام مکش پمپ مقادیر رسوب بیشتری به صورت مستقیم استخراج و در فرآیند تولید به کار می رفت. نمودار ۶ نشان دهنده کاهش چشمگیر درصد مواد محلول برای سال ۹۰ (پس از سختی گیری آب) واحد تولیدی نسبت به سال های گذشته است.



شکل ۶- درصد مواد محلول پس از گرفتن سختی آب به تفکیک ماه در سال ۹۰.

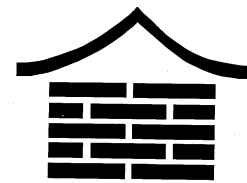
با کم شدن سختی، درصد مواد محلول کاهش یافته، در نتیجه کاهش شوره، بهبود و جلا رنگ آجر اتفاق افتاد.

۴- نتیجه گیری کلی

در این پژوهش کوشش شد تا با تغییرات در مواد اولیه و فرآیند تولید، مقادیر دو آیتم مقاومت فشاری و درصد مواد محلول بهبود یابند و در حاشیه ایمنی مناسب تری از ISIRI 7 قرار گیرند که مهمترین آنها به شرح ذیل است:

- ۱- با افزایش درصد افزودنی مگنتیت، مقاومت فشاری در کلیه نمونه ها افزایش پیدا کرد.
- ۲- با افزایش خلوص مگنتیت در مقادیر یکسان، مقاومت فشاری بهبود یافت، چنانچه در بهترین حالت استفاده از ۳۰٪ مگنتیت با خلوص ۴۷٪ منجر به افزایش مقاومت فشاری این آجرها تا 297 Kg/cm^2 گردید.
- ۳- حذف نمک های محلول از آب توسط فرآیند سختی گیری یک روش ساده و اساسی می باشد که منجر به کاهش درصد مواد محلول تا ۰/۲٪ گردید.

با توجه به بهای خاک خریداری شده و همچنین محاسبه هزینه های انرژی، نمونه B1 (حاوی ۱۰٪ مگنتیت با خلوص ۲۲٪) به عنوان حالت بهینه که واجد شرایط کیفیت و ویژگی های اقتصادی مناسب پیشنهاد می گردد.



همچنین بررسی تاثیر دانه‌بندی و توزیع آن به عنوان یک پارامتر متغییر در بهبود خواص مکانیکی آجرهای نما و آجرهای نسوزنما در مطالعات آینده پیشنهاد می‌گردد.

مراجع

- [۱] خرمی، م، رفیعی، ح، شفایی، س. "لزوم ارتقاء صنعت ساختمان کشور از دیدگاه مدیریت کیفیت". چهارمین کنفرانس بین‌المللی مدیریت کیفیت، ۵۷-۶۷، (۱۳۸۳).
- [2] M. Khorrami, S. Majidzamani. "Factor influencing on Vulnerability of Buildings against Eartquake". the IAHS 32 World Congress on Housing, Sustainability of the Housing Projects, (2004) 21-25.
- [3] S. Presertan, T.Theppaya. "A Study toward Energy Saving in Brick making". RERIC int Energy, 17 (1995) 145-156.
- [4] G. Cultron, E. Sebastian, K. Elert, M. Tprre, J.Cazalla, C. R. Vavarro. "Influence of Mineralogy and Firing Temperature on the Porosity of Bricks". Euro Ceramics Soc, 13 (2004) 621-634.
- [۵] تشکری، س، "شکل دادن بدنه‌های سرامیکی به روش پودر". تهران، مرکز نشر سرامیک شرکت تحقیقات صنایع سرامیک ایران، (۱۳۸۱).
- [6] ASTM Standard C216 - 12a, 2005, "Specification for Facing Brick (Solid Masonry Units Made from Clay or Shale)", ASTM International, West Conshohocken, PA, 2005, DOI: 10.1520/C0216-12A, www.astm.org.
- [7] ASTM Standard C1232 - 12, 2005, "Terminology of Masonry", ASTM International, West Conshohocken, PA, 2005, DOI: 10.1520/C1232-12, www.astm.org.
- [8] S. Karaman, S. Ersahin, H. Gunal. "Firing Temperature and Firing Time Influence on Mechanical and Physical Properties of Clay Bricks". Scientific and Industrial Research, 65 (2006) 153-159.
- [9] Ch. Bueger, F. Barquin. "Efflorescence on Clay Bricks Masonry: towards a new method". 10 th International Conference On Durability of Building Materials and Components, (2005) 134-145.
- [10] Building research establishment, "External Insulation Systems for Walls of Dwelling, good practice guide", U. K, BRE, 2000.
- [۱۱] استاندارد شماره ۷ سازمان ملی استاندارد ایران - ویرایش چهارم، "آجر رسی - ویژگی‌ها و روش آزمون"، سازمان ملی استاندارد ایران، تهران، (۱۳۸۸)، JCS: 91.100.15، www.isiri.org.