سرشناسه	: محمدی‌زیارانی ، ماکان ، ۱۳۵۸ -
عنوان و نام پدیدآور	: راهنمای جامع لیکا: دانه رس سبک منبسط شده و فرآورده‌های آن/ تدوین فریبرز محمدی‌تهرانی؛ بازنگری ماکان محمدی‌زیارانی؛ زیر نظر دفتر فنی شرکت لیکا.
مشخصات نشر	: تهران: امیدان، ۱۳۸۸.
مشخصات ظاهری	: ۱٤٤ص.: مصور ، جدول ، نمودار .
شابک	: 978-600-90102-3-3
وضعیت فهرست نویسی	: فیپا
یادداشت	: کتابنامه.
موضوع	: بتن سبک
موضوع	: مصالح ساختمانی
موضوع	: خاک رس
موضوع	: بتن -- آزمایشها
شناسه افزوده	: محمدی تهرانی، فریبرز، گردآورنده
شناسه افزوده	: شرکت لیکا
رده بندی کنگره	: ۱۳۸۸ ۲ر۳۶م/TA۴۳۹
رده بندی دیویی	: ۶۲۴/۱۸۳۴
شماره کتابشناسی ملی	: ۱۸۶۷۸۶۶

Leca®

راهنمای جامع لیکا

دانه رس سبک منبسط شده و فرآورده های آن

تدوین: مهندس فریبرز محمدی تهرانی

نویسنده و بازنگری: مهندس ماکان محمدی زیارانی

«زیر نظر دفتر فنی شرکت لیکا»

ناشر: انتشارات امیدان

صفحه آرایی: انتشارات امیدان

ویراستار: مهندس ماکان محمدی زیارانی

لیتوگرافی: پارسیان

چاپ: چاپخانه ستاره سبز

چاپ اول: زمستان ۱۳۸۸

شمارگان: ۳۰۰۰ نسخه

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به شرکت لیکا می باشد

و نقل مطالب با ذکر مرجع در آثار علمی آزاد است

فهرست مطالب

۱- دیباچه ۹
۱-۱- لیکا چیست؟ ۹
۱-۲- دانه های سبک ۹
۱-۳- تاریخچه ۱۰
۱-۳-۱- تاریخچه سبکدانه ها و بتن سبکدانه ۱۰
۱-۴- فرآیند تولید لیکا ۱۳

۲- فرآورده های لیکا ۱۵
۲-۱- ویژگی های عمومی ۱۵
۲-۱-۱- کلیات ۱۵
۲-۱-۲- ویژگیهای شیمیایی ۱۵
۲-۱-۳- دانه بندی ۱۶
۲-۱-۴- وزن فضایی و چگالی ۲۰
۲-۱-۵- جذب آب ۲۳

۲-۱-۶- مقاومت های مکانیکی ۲۴
۲-۱-۷- رسانایی حرارتی ۲۶
۲-۱-۸- افت صوتی ۲۸
۲-۱-۹- مقاومت در برابر آتش ۲۹
۲-۱-۱۰- آب بندی ۳۰
۲-۱-۱۱- حفاظت در برابر تشعشع ۳۰
۲-۱-۱۲- کاربرد لیکا در جداسازی لرزه ای ۳۱
۲-۱-۱۳- سایر ویژگی ها ۳۲

۲-۲- دانه لیکا ۳۵
۲-۲-۱- دانه رس منبسط شده ۳۵
۲-۲-۲- فرآورده های جنبی ۳۵

۲-۳- بتن سبک ۳۶
۲-۳-۱- ویژگی های عمومی‌بتن های سبک ۳۶
۲-۳-۱-۱- طبقه بندی بتن سبک بر مبنای مقاومت ۳۷
۲-۳-۱-۲- ریز ساختار بتن سبکدانه ۳۹

۲-۴- بتن لیکا ۴۲
۲-۴-۱- وزن فضایی ۴۲
۲-۴-۲- مقاومت مکانیکی ۴۲
۲-۴-۳- تغییر شکل بتن ۴۵
۲-۴-۴- ویژگی های موثر بر دوام ۴۶
۲-۴-۵- سایر ویژگی ها ۴۷

۲-۵- بلوک لیکا ۴۷
۲-۵-۱- کلیات ۴۷
۲-۵-۲- وزن و مقاومت ۵۱
۲-۵-۳- رسانایی حرارتی ۵۲
۲-۵-۴- افت صوتی(مقاومت صوتی) ۵۳
۲-۵-۵- مقاومت در برابر آتش ۵۴

۲-۶- فرآورده های لیکا ۵۶
۲-۶-۱- ملات لیکا ۵۶
۲-۶-۲- مخلوط های قیری ۵۷
۲-۶-۳- خاک و لیکا در کشاورزی ۵۹
۲-۶-۴- استفاده از پوکه های لیکا در روشهای گوناگون تصفیه فاضلاب ۶۰

۳- کاربردهای لیکا در ساختمان ۶۳
۳-۱- پی سازی و زیرسازی ۶۳
۳-۱-۱- کلیات ۶۳
۳-۱-۲- کاربرد دانه لیکا ۶۴
۳-۱-۳- کاربرد بتن لیکا ۶۴
۳-۱-۴- کاربرد بلوک لیکا ۶۵
۳-۲- کف سازی و سقف سازی ۶۶
۳-۲-۱- کلیات ۶۶
۳-۲-۲- سقف بتن مسلح پیش ساخته و درجا ۶۷
۳-۲-۳- سقف بتن با تیرچه و بلوک ۷۶
۳-۳- دیوارها ۷۹
۳-۳-۱- انواع دیوارها ۷۹
۳-۳-۲- دیوارهای پیش ساخته و درجا ۸۲
۳-۳-۳- دیوارهای بنایی با بلوک ۸۶
۳-۴- پرکننده سبک ۹۲
۳-۴-۱- کلیات ۹۲
۳-۴-۲- هموارسازی و شیب بندی ۹۲
۳-۴-۳- روسازی سیاه با لیکا ۹۴
۳-۴-۴- حفاظت از لایه آب بند ۹۵
۳-۴-۵- پوشش کف در زمین های باز ۹۶
۳-۵- ارزیابی اقتصادی کاربردهای لیکا در ساختمان ۹۷
۳-۵-۱- کلیات ۹۷
۳-۵-۲- عوامل ارزیابی اقتصادی ۹۷

۴-کاربردهای لیکا در راهسازی و ژئوتکنیک ۱۰۳

۴-۱- زیرسازی و بستر راه ۱۰۳
۴-۱-۱- کنترل نشست و تثبیت خاک ۱۰۳
۴-۱-۲- زهکشی و کاهش موئینگی ۱۰۷
۴-۱-۳- کاهش آسیب یخ زدگی ۱۱۳
۴-۲- روسازی راه ۱۱۹
۴-۲-۱- روکش آسفالتی لیکا ۱۱۹
۴-۲-۲- تجهیزات ایمنی ۱۲۷
۴-۳- المان های حائل ۱۳۱
۴-۳-۱- خاکریزی پشت المان های حائل ۱۳۱
۴-۳-۲- خاک مسلح ۱۳۹

۵- منابع و مراجع ۱۴۱

پیش درآمد

نوآوری و سنت‌شـکنی همواره یکی از محورهای موردتوجه و بحث‌انگیز در کشـورهای در حال گذار به سوی توسعه بوده است. در جایی که سنتها ریشه در اعماق وجود مردمان دارند، هرگونه نوآوری با مقاومت ذاتی روبه‌رو می‌شـود. این مقاومت گاه از آن روسـت که نوآوری را سبب تخریب پیشینه فرهنگی می‌دانند وگاه از آن روست که آن را با زیرساختهای فرهنگی موجود بیگانه می‌دانند.

یک از نمونه های قابل ارائه برای بیان بهتر این مفاهیم، فن آوری و فرهنگ سـاختمان سـازی در ایران است. فرهنـگ مهـرازی در ایران ترکیبـی از دیدگاههای گوناگون را برای تامین زیبایی، پایداری و آسـایش در خود پرورانده اسـت. این ترکیب بر پایه گزینش و کاربرد مناسـب مصالح و نیز سـاختار و ترکیب بندی بنا اسـتوار می‌گردد. بدیهی اسـت این پایه ها در هماهنگی کامل با یکدیگر و نیز با بسـترهای فرهنگی زمان خود رشـد یافته‌اند.

اکنون پرسـش اساسـی در جامعه در حال توسعه ما این است که کدام بخش از این فرهنگ می‌تواند دگرگونی یابد و کدام بخش آن از ریشه های سنتی فرهنگ ما شکل گرفته است و باید حفظ شود.

به عنوان نمونه، امروز پیروی دقیق از روش ترکیب بندی فضاهای معماری سـنتی در سـاختمانها، نظیر ایجاد فضاهای اندرونی و بیرونی به شکل گذشته، ممکن نیست. اما می‌توان اهداف کارکردی این فضاها را در معماری نوین تامین نمود.

بنابراین همانگونه که نوآوری در روش تامین این اهداف،گامی‌در جهت احیای سنت تلقی می‌گردد، هدر دادن فضاها برای تقلید کورکورانه از سـنت و یا تقلید از روشـهای بیگانه و از یاد بردن اهداف معماری ایرانی، سـبب تخریب فرهنگ معماری می‌شود.

همین موضوع را می‌توان در گزینش و کاربرد مصالح نیز به خوبی مشاهده نمود. روشهای تولید و کاربرد مصالح در گذشته، بر اساس فن آوری و امکانات موجود آن زمان شکل گرفته است. اما با توجه به تغییر الگوهای ساخت و ساز و فن آوری آن، تداوم این امر به هیچ عنوان قابل توجیه نیست. در واقع پافشاری بر کاربرد مصالح سنتی و مقاومت در برابر نوآوری در این زمینه، تنها پیروی کورکورانه از روشهای سنتی است و به هیچ عنوان نمی‌تواند تامین کننده اهداف کارکردی این مصالح باشد.

به عنوان مثال یک راه حل برای تامین آسـایش حرارتی در سـاختمانهای قدیمی‌استفاده از دیوارها و سقف‌های ضخیم خشـتی و آجری بوده اسـت. حال با توجه به محدودیتهای فضا سـاختمانهای امـروزی و کاهش قابل ملاحظه ضخامت دیوار و سـقف سـاختمانها، اسـتفاده از این مصالح در قالبهای نوین، نه تنها کمکی به تامین آسـایش حرارتی نمی‌نماید، بلکه با برخی نیازهای دیگر سـاخت و ساز، نظیر کاهش زمان و هزینه های ساخت مغایرت دارد. از سـوی دیگر تامین آسـایش حرارتی،تنها با تکیه بر دستگاههای حرارتی و برودتی، نه تنها سبب افزایش مصرف انرژی و از دسـت رفتن سـرمایه های ملی می‌شود، نشـانه عدم توجه به دیدگاههای فرهنگ سنتی در زمینه عایق کاری است.

به همین روش می‌توان نمونه های بسـیاری از مشـکلات سـاخت و سـاز نظیر دوام و عمر کم ساختمان‌ها، هزینه‌های بالای تولید مسکن و جز آن را ناشی از پیروی ناآگاهانه روشهای بیگانه با فرهنگ ملی و یا فشاری بیهوده بر تقلید ظاهری ازفرهنگ سـنتی دانسـت که هر دو برخاسته از عدم شناخت صحیح از محتوای درونی فرهنگ مهرازی سنتی است.

بر این باوریم که با درک واقعی این فرهنگ می‌توان به الگوهای مناسب ساخت و ساز دست یافت، به گونه‌ای که ضمن بهره گیری ازفن آوری نوین، در برگیرنده عناصر فرهنگ سـنتی مهرازی نیز باشـند و دوام، آسایش و زیبایی را ارمغان آورند.

مهندس احمد میرمحمد صادقی

۱- دیباچه

۱-۱- لیکا چیست؟

واژه لیـکا از عبـارت Light Expanded Clay Aggregate (LECA) بـه معنـی دانه‌رس سـبک منبسط شده گرفته شده است. این دانه‌ها از انبساط خاک رس در کوره‌های گردان با حرارتی حدود ۱۲۰۰ درجه سانتی‌گراد به دست می‌آیند.

مجموعه‌ای از ویژگی‌های قابل توجه مانند وزن کم، هدایت حرارتی پایین، افت صوتی مناسب، مقاومت در برابر آتش، دوام و پایداری شـیمیایی و نظایر آن سبب گسـترش کاربردهای این سنگ‌دانه‌های مصنوعی در صنعت سـاختمان، طرح‌های عمرانی، کشاورزی، محیط زیست، راه‌سازی و... شده است. برای شناخت بهتر جایگاه این دانه‌ها در صنعت، لازم است ابتدا مطالبی در زمینه انواع دانه‌های سبک مطرح گردد.

۱-۲- دانه‌های سبک

سنگ‌دانه‌های سبک، به دلیل تخلخل دارای وزن فضایی کم هستند. ازآنها می‌توان به عنوان پر کننده فضاهای خالـی بـه منظور کاهش وزن، عایق‌کاری حرارتـی و صوتی و نظایر آن به کار بـرد. همچنین از این دانه‌ها در سـاخت سایر فرآورده‌های سبک مانند انواع بتن های دانه‌سـبک، ملات‌ها و اندودها، فرآورده‌های قیری، خاک کشاورزی و جز آن استفاده می شود.

سنگدانه های سبک ممکن است از نوع طبیعی یا مصنوعی باشند. برخی از دانه های طبیعی (پوکه های معدنی) مانند پامیس (پوکه سـنگ)، اسکوریا (سنگ پا)، خاکستر ها و توف ها منشا آتشفشانی دارند و برخی دیگر مانند دیاتومیت رسـوبی هسـتند. محدودیت اسـتفاده از این دانه ها، اغلب به دلیل نداشـتن کیفیت قابل اطمینان و یکنواخت آنها بوده و بدلیل نداشتن فرآوری تولیدی غالباْ دارای مواد کنترل نشده شیمیایی و معدنی می باشند. در فصول آینده تفاوتهای این سبکدانه ها با محصولات لیکا بررسی خواهد شد.

سـنگ‌دانه‌های مصنوعی به چهار روش تولید می‌شـوند. در روش اول، سنگ‌دانه‌ها مصنوعی از حرارت دادن و انبساط خاک رس، سنگ رسی، سنگ رسی دیاتومه‌ای و... بدست می‌آیند. در روش دوم، سرباره مذاب کوره‌های آهن‌گدازی با پاشـیدن مقادیر کنترل شـده آب به کمک جت آبی منبسط می‌گردد. در روش سوم، از جوش‌های صنعتی حاصل از خاکسـتر کوره‌های زغال سنگ استفاده می‌شود و سرانجام در چهارمین روش دانه‌های سبک از ترکیبات آلی نظیر استایرنهای منبسط شده تولید می‌شوند.

در ایران از روش اول برای تولید خاک رس منبسط شده استفاده می‌شود و از دانه‌رس سبک منبسط شده اغلب به عنوان پرکننده و یا برای ساخت بتن استفاده می‌شود. به طور کلی این دانه ها به دو روش کوره ذوب نواری و یـا کوره ذوب گردان تولید می‌شـوند. دانه‌های حاصل از کوره ذوب نـواری و یا کوره ذوب گردان دارای وزن ویژه ظاهری بین ۳۰۰ تا ۶۵۰ کیلوگرم درمتر مکعب و دانه‌های حاصل از کوره ذوب دارای چگالی حجمی بین ۶۵۰ تا ۹۰۰ کیلوگرم در متر مکعب می‌باشند.

۱-۳- تاریخچه

۱-۳-۱- تاریخچه سبکدانه ها و بتن سبکدانه

سبکدانه های طبیعی از سال های دور مورد توجه بشر بوده اند. حتی ۲۷۳ سال قبل از میلاد در روم باستان سنگدانه های سبک از فاصله ۴۰ کیلومتری به بندر Cosa در غرب ایتالیا حمل و در بندر سازی استفاده شده است. رومیان در احداث معبد پانتئون و ورزشگاه کلوزیوم از پومیس که نوعی مصالح سبک است استفاده کرده‌اند.

شکل ۱-۱ ورزشگاه کلوزیوم

شکل ۱-۲ معبد پانتنون

در قرن ششم در ساخت اولیه کلیسای صوفیای استانبول نیز سبکدانه بکار رفته است. پس از گذشت ۱۰۰۰ سال، سبکدانه در ساختمانی در واتیکان بکار رفت.

با اختراع روشی جهت تولید سبکدانه صنعتی، استفاده از بتن سبکدانه وارد مرحلهٔ جدیدی گشت.

در حدود سال ۱۹۱۷، هایدی در کانزاس ایالات متحده، روش تولید صنعتی رس منبسط شده را با استفاده از کوره استوانه ای چرخان ابداع نمود. این فرآورده هایدیت نام گرفت. این سبکدانه مصنوعی در هنگام جنگ جهانی اول به دلیل محدودیت دسترسی به ورق فولادی برای ساخت کشتی بکار گرفته شد. کشتی Atlantus به وزن ۳۰۰۰ تن که با بتن سبک هایدیتی ساخته شده بود، در اواخر سال ۱۹۱۸ به آب انداخته شد. در سال ۱۹۱۹ کشتی Selma به وزن ۷۵۰۰ تن و طول ۱۳۲ متر با همین نوع بتن ساخته و به آب انداخته شد.

در دهه های ۵۰ و ۶۰ بیش از ۱۵۰ پل و ساختمان در ایالات متحده و کانادا با این نوع بتن، مورد بهره برداری قرار گرفت.

ساختمان ۴۲ طبقه در شیکاگو، ترمینال TWA در فرودگاه نیویورک در سال ۱۹۶۰، فرودگاه Dulles در واشنگتن در سال ۱۹۶۲، کلیسایی در نروژ در سال ۱۹۶۵، پلی در وایسبادن آلمان در سال ۱۹۶۶ و پل آب بر در روتردام هلند در سال ۶۸ از جمله ساختمان هایی هستند که با بتن سبکدانه ساخته شده اند. در هلند، انگلستان، ایتالیا و اسکاتلند نیز در دهه ۷۰ و ۸۰ پل هایی با دهانه های مختلف ساخته و با موفقیت بهره برداری شده‌اند.

شکل ۱-۳- ساختمان هتل پارک پلازا در سنت لوئیز

مخازن عظیم گاز طبیعی مایع، اسـکله شـناور، مخزن نفت در زیر آب و ساختمان های عظیم فرا ساحلی با بتن سبکدانه ساخته شده اند. هم چنین سکوی بزرگ پرش اسکی، استادیوم ها، محل تماشاچی و سقف های آن‌ها و سازه های دیگر با این نوع بتن به بهره برداری رسیده اند.

بزرگترین بنای بتن سـبکدانه، سـاختمان اداری ۵۲ طبقه با ارتفاع ۲۱۵ متر در هوسـتون تکزاس می باشد.در سـال های ۱۹۷۰ ساخت بتن سـبکدانه پرمقاومت آغاز شد و در دهه ۸۰ به دلیل نیاز برخی شرکت های نفتی در امریکا و نروژ برای سـاخت سـازه ها و مخازن ساحلی و فراساحلی مانند سکوهای نفتی یک رشته تحقیقات وسـیع برای سـاخت بتن سبکدانه پرمقاومت در این دو کشور با هدایت واحد آغاز شد که نتایج آن در اواخر دهه ۸۰ و اوایل دهه ۹۰ منتشر گشت.

لازم به توضیح اسـت که در تمامی این سـالها اسـتفاده از سبکدانه صنعتی در سـاخت انواع قطعات بتنی پیش ساخته اعم از بلوک و پنل در تمامی دنیا بسیار رایج بوده است.

این امر بخصوص در کشـورهایی مانند کشورهای شـمالی اروپا که بدلیل دارا بودن شرایط اقلیمی و جغرافیائی ویژه ناگزیر به رعایت اصول عایقسازی و سبکسازی بوده‌اند به یک الگوی بهینه مصرف تبدیل شده است.

امروزه سبکدانه های مصنوعی به ویژه لیکا در کشورهای مختلف با نام های تجاری گوناگون و در انواع سبکدانه غیر سازه ای و سازه ای تولید می گردد.

نام برخی از کشورهای دارای این صنعت و نام تجاری فرآورده‌های آنها به شرح زیر است:

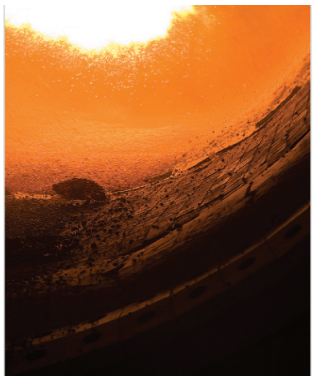
دانمارک، نروژ، سوییس، سوئد، آلمان، فنلاند، پرتغال، انگلیس و ایران با نام Leca،

چک و اسلواکی، لهستان و روسیه با نام Keramzite ،

آمریکا و آفریقای جنوبی با نام Aglite،

فرانسه با نام Argex،
ایتالیا با نام Laterlite،
اسپانیا با نام Liapour.

پیشینه تولید فرآورده‌های لیکا در ایران به احداث کارخانه لیکا با سرمایه گذاری بخش خصوصی در سال ۱۳۵۵ و آغاز تولید انبوه با کمیت و کیفیت قابل توجه در سال ۱۳۶۰ باز می‌گردد. تولید لیکا در ایران تحت امتیاز لیکای بین المللی انجام می شـود. در حال حاضر این کارخانه دارای ۲ واحد تولید سـبکدانه، مجموعاْ با ظرفیت اسمی ۳۰۰۰۰۰ مترکعب در سـال و سه واحد تولید بلوک سـبک با ظرفیت اسمی مجموع ۸،۰۰۰،۰۰۰ قطعه در سال می باشـد. این کارخانه دارای بخش های R&D و آزمایشگاه ویژه کنترل کیفیت است. این فرآورده‌ها اکنون به صورت دانه، بلوک، قطعات بتن پیش ساخته، و نظایر آن تولید و عرضه می‌گردند.



۱-۴- فرآینـــدتولیـــــدلیکـــا

۱- مـــاده اولـــیه

ماده اولیه لیکا نوعی رس صنعتی می باشد که ایلیت یا مونت موریونیت نام دارد. ترکیب شیمیایی بخصوص ایـــن ماده فقط درنواحی محدودی یافت می شود. اولین معدن شناخته شده درروستای کوشـــکک ســـاوه می‌باشدکه مطالعات معدنی و آزمایشـــگاهی آن توســـط اروپاییان انجـــام گرفت وماده اولیه فعالیـــت کارخانه راتامین نمود. دردهه دوم فعالیت کارخانه کلیه مطالعات از اکتشاف تابهره برداری توسط کارشناسان ایرانی شرکت لیکا انجام گرفت. در این راســـتا منطقه وسیعی در شعاع یکصد کیلومتری کارخانه از طریق تصاویر ماهواره‌ای(Remote Sensing) مورد مطالعه قرار گرفت. از این معادن جهت تامین مواد اولیه، بهره برداری می شود.

ماده اولیه پس از اکتشاف، باطله برداری شده وسپس درهرمرحله از بهره برداری، آزمایش انبساط پذیری ازسطح وعمق انجام گرفته و در صورت مثبت بودن نتایج آزمایش، ماده اولیه دپو وبه کارخانه حمل می گردد.

۲- فـــرآوری اولیه

آماده سازی خاک را فرآوری اولیه می گویند. خاک ازطریق جعبه تغذیه وارد خط تولید شده و توزین می گردد. باعبورازدروازه مغناطیســـی وارد آســـیاب (Adge mill) شـــده ودرآنجا خاک همراه با آب مورد نیاز له شده واز صفحه مشبکی با روزنه های ۱۸ میلی مترعبور می کند. گل عبور داده شده وارد مخلوط کن می گردد و درآنجا به وسیله دو محورچرخ گوشتی ورز داده شده تا گل به حالت پلاستیک درآید. سپس گل ورز داده شده ازآسیاب غلطکـــی با مجرای ۲ میلـــی مترعبور می کند تا کاملا حالـــت یکنواختی پیداکند. گل یکنواخت شـــده به کوره خشک‌کن هدایت می شود.

۳- فـــــرآوری

کوره خشـــک کن به طول ۳۵ متروحرکت ۱/۵ تا ۲ دور دردقیقه دارای ســـاختمان داخلی بخصوصی اســـت. این ســـاختمان باعث می شـــود تاگل درمعرض هوای گرم قرارگرفته, خشـــک وریز شود.نهایتا به گندوله های ریزی تبدیل می شـــود. حرارت کوره خشـــک کن درابتدا ۱۵۰ تا ۲۰۰ درجه سانتی گراد است ودرانتها به ۵۵۰ تا ۶۰۰ درجه ســـانتی گراد می رســـد. گندوله های آماده شـــده به کوره پخت می ریزد. کـــوره پخـــت به طول ۲۲مترو قطـــر ۳/۴ مترقادراســـت تا ۶ دور دردقیقه دوران نماید. منحنـــــی حرارتی کـــوره پخت از ۶۰۰ تا ۱۲۰۰ درجه کشیده می‌شود وگندوله ها دراین حرارت منبسط شده وبه دانه هایی از۱ تا ۲۵ میلی مترسبک ومتخلخل تبدیل می‌شوند.

دانه‌های ســـبک تولید شـــده به داخل خنک کن های ماهواره ای هدایت شده و ازآنجا برروی نوارهای خروجی ریخته شده ودر محوطه آزاد دپو می‌شوند.

۴- دانـــه بنـــــدی

بدلیل آنکه هر کاربردی نیاز به دانه بندی مخصوصی می باشد، لذا سبکدانه های تولیدی باعبور ازسرند به سه ســایز مختلف ۴-۰ میلی متر, ۱۰-۴ میلی متر, ۲۵-۱۰ میلی مترتقســیم می شود, ودانه های مجزا شده برای کاربردهای مختلف مورد استفاده قرارمی گیرد. این دانه بندی بر حسب نیازهای متفاوت قابل تغییر است.

۵- تولیـــد بلـــوک

کارخانه لیکا دارای ســه خط تولید بلوک سبک می باشد که یک خط همراه با کارخانه لیکا درسال ۱۳۵۷ نصب شــده است و دو خط دیگر درســال های اخیر وبخشی از طرح توسعه شرکت لیکا می باشد.درخطوط تولیدبلوک کارخانه لیکا انواع مختلف بلوک سبک تولید وبه بازار عرضه می گردد.

کلیــه محصــولات تحت نظارت واحد کنترل کیفیت و بر اســاس اســتانداردهای معتبر داخلــی و خارجی تولید می گردند.

شکل ۱-۴- نمایی از آزمایشگاه کنترل کیفیت کارخانه لیکا

۲- فرآورده‌های لیکا

۲-۱- ویژگی‌های عمومی

۲-۱-۱- کلیات

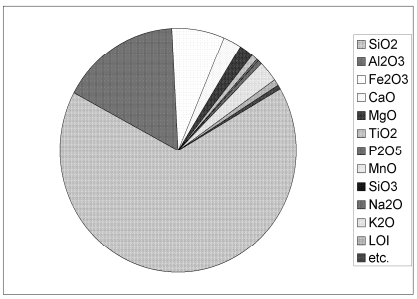
بافت متخلخل ناشـی از انبسـاط خاک رس که در نتیجه ایجاد و محبوس شدن گازها در جرم به حالت خمیری روان درآمـده در دمای ۱۰۰۰ تا ۱۲۰۰ درجه سـانتیگراد به وجود می‌آید، موجب ویژگی‌های اساسـی دانه لیکا است. مقادیر کمّی این ویژگی‌ها و حتی ظاهر دانه‌ها بر حسب روش تولید با کوره ذوب نواری یا گردان می‌تواند متفاوت باشد. دانه‌های حاصل از کوره گردان دارای شکل تقریباً گرد و سطح زبر و ناهموارند. قشر میکروسکوپی خارجی آنها دارای خلل و فرج ریز اسـت. داخل دانه‌ها دارای بافت اسـفنجی و سـیاه رنگ اسـت رنگ پوشش خارجی بستگی زیادی به ماده معدنی، روش و کیفیت فرآوری دارد و اغلب نزدیک به رنگهای اخرایی و قهوه‌ای است. ضخامت این پوشش ۵۰ تا ۱۰۰ میکرون است و جذب آب کمتری نسبت به بافت درون دانه دارد.
وجود تخلخل و فضای خالی بین دانه‌ها سـبب ایجاد فضای خالی برابر با ۷۳ تا ۸۸ درصد فضای کل می‌گردد. این میزان فضای خالی بین‌دانه‌ها سـبب ایجاد ویژگی‌های مهمی چون وزن کم، رسـانایی حرارتی پایین، افت صوتی، جلوگیری از نفوذ رطوبت و زهکشـی می‌شـود. همچنین بافت این دانه ها و روش تشـکیل آنها سـبب مقاومت در برابر آتش و دوام و پایداری شـیمیایی می‌گردد. در ادامه بخش برخی از این ویژگی‌ها مورد بررسـی قرار می‌گیرند.

۲-۱-۲- ویژگی‌های شیمیایی

جدول ۲-۱ نتایج آنالیز شـیمیایی دانه لیکا را نشـان می‌دهد. آزمایشـات انجام شده نشان داده است PH این دانه‌ها حدود ۷/۲ است و دانه‌های لیکا از نظر شیمیایی خنثی هستند.

جدول ۲-۱-آنالیز شیمیایی دانه لیکا

SiO۲	۶۶,۰۵	MgO	۱,۹۹	SiO۳	۰,۰۳
Al۲O۳	۱۶,۵۷	TiO۲	۰,۷۸	Na۲O	۰,۶۹
Fe۲O۳	۷,۱۰	P۲O۵	۰,۲۱	K۲O	۲,۶۹
CaO	۲,۴۶	MnO	۰,۰۹	مجموع	۹۸,۶۶



۲-۱-۳- دانه بندی

دانه‌های لیکا در حالت کلی دارای دانه‌بندی نسبتاً گسترده‌ای بین ۰ تا ۲۵ مم می‌باشند. اندازه دانه‌ها بستگی مستقیم به نوع ماده معدنی، چگونگی فرآوری و ثابت‌های کاری کوره نظیر درجه حرارت، سرعت گردش و نظایر آن دارد. براین اساس می توان تا حدود زیادی دانه‌بندی محصول نهایی را متناسب با کاربردهای مورد انتشار تطبیق داد. برخی حدود متداول برای تولید دانه‌بندی‌های مشخص لیکا ۰-۴-۱۰- ۲۵، ۰-۲-۴-۱۰- ۲۵و۰-۴-۸-۱۲- ۲۵ می‌باشند. در حال حاضر بیشترین استفاده در دانه بندی ۰-۴-۱۰- ۲۵ میلی متر می‌باشد.

باید توجه داشت که ویژگی‌های فیزیکی دانه‌های لیکا بستگی مستقیمی به اندازه دانه‌ها- به عنوان معیار انبساط- دارد. بنابراین دانه‌بندی نقش بسیار اساسی در تأمین نیازهای کاربردی لیکا دارد.

دانه بندی سنگ دانه ها بر اساس حداکثر و حداقل درصد دانه های گذشته از الک های استاندارد مطابق با ASTM A 23.2.2 و ASTM C136 انجام می گیرد. برای دانه‌های سبک با توجه به وزن فضایی متفاوت با سنگ دانه‌ای معمولی ،حداقل حجم نمونه آزمایشی باید معادل ۲۸۳۰ سانتی متر مکعب و وزن آن مطابق جدول ۲-۲ باشد.

جدول ۲-۲- وزن نمونه آزمایشی برای دانه‌بندی

وزن فضایی اسمی kg/m^3	وزن نمونه آزمایشی gr
۸۰-۲۴۰	۵۰
۲۴۰-۴۰۰	۱۰۰
۴۰۰-۵۶۰	۱۵۰
۵۶۰-۷۲۰	۲۰۰
۷۲۰-۸۸۰	۲۵۰
۸۸۰-۱۰۴۰	۳۰۰
۱۰۴۰-۱۱۲۰	۳۵۰

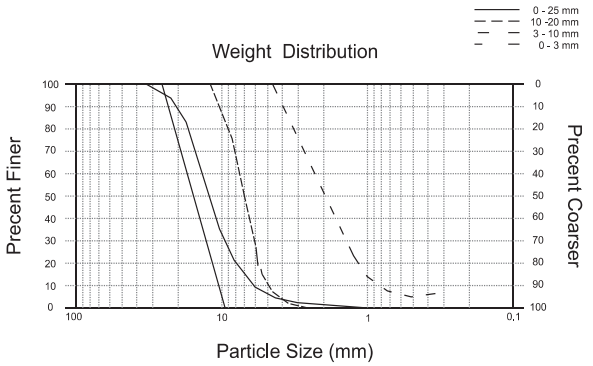
با توجه به تفاوت اساسی بین چگالی دانه های معمولی و سبک، در کاربرد سبکدانه ها، استفاده از دانه بندی حجمی به جای دانه بندی وزنی توصیه می شود. در این روش کافی است مقادیر وزنی به دست آمده را با توجه به وزن فضایی میانگین هر اندازه به مقادیر حجمی تبدیل نمود نمودار۲-۱ دانه بندی وزنی و حجمی یک نمونه دانه لیکا را در کنارهم نشان می دهد.

هر مجموعه از دانه بندی های لیکا دارای کاربردهای ویژه ای است که درجدول ۳-۲ فهرست شده اند. این کاربرد ها قابل مقایسه با کاربرد انواع سنگ دانه های معمولی در اندازه های معمول می باشد بدیهی است اندازه‌های عددی ذکر شده تقریبی می باشند.

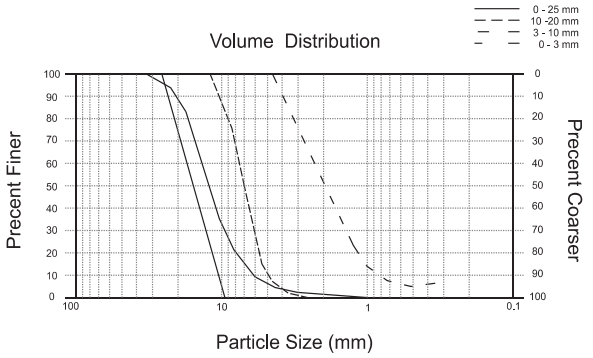
جدول ۲-۳- کاربردهای لیکا بر حسب اندازه دانه‌ها

اندازه	کاربرد
درشت دانه ۱۰-۲۵ مم	عایق‌کاری، حذف موییننگی، زهکشی، پرکننده سبک، تولید قطعات بتنی، زیرسازی
میانه ۴-۱۰ مم	تولید قطعات بتنی، زیرسازی، پرکننده سبک
ریز دانه ۰-۴ مم	تولید قطعات بتنی، ساخت ملات و اندود

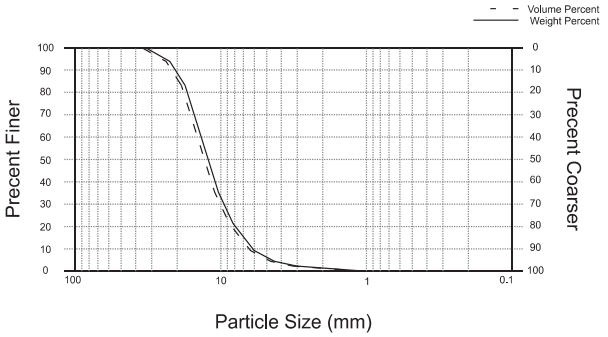
هنگامی که از دانه لیکا برای ساخت انواع بتن های سبک باربر و یا بلوک های بتنی استفاده می شود، حدود خاصی باید رعایت گردد جداول ۲-۴ تا ۲-۶ نمونه ای از حدود مجاز دانه بندی را برای چنین کاربرد هایی ارائه می‌دهند.



الف – دانه بندی وزنی دانه های لیکا



ب – دانه بندی حجمی دانه های لیکا



پ – دانه بندی وزنی و حجمی دانه های لیکا

نمودار ۴-۱ ، نمونه دانه بندی لیکا

جدول ۲-۴- حدود دانه‌بندی دانه‌های سبک در بتن باربر (سازه‌ای)

اندازه الک‌های استاندارد								
درشتی دانه‌های سبک (میلیمتر)	۲۵/۴ میلیمتر	۱۹/۰۵ میلیمتر	۱۲/۷ میلیمتر	۱۲/۷ میلیمتر	۴/۷۶ میلیمتر	۲/۳۸ میلیمتر	۱/۱۹ میلیمتر	۲۹۷ میکرون	۱۴۹ میکرون
درصد وزنی رد شده از هر الک آزمایشگاهی (دارای سوراخهای مربع)									
ریزدانه‌ها ۴/۷۶				۱۰۰	۸۵–۱۰۰		۴۰–۸۰	۱۰–۳۵	۵–۲۵
درشت دانه‌ها									
۱۲/۷–۲۵/۴	۹۵–۱۰۰		۰–۱۰						
۴/۷۶–۲۵/۴	۹۵–۱۰۰		۲۵–۶۰		۰–۱۰				
۴/۷۶–۱۹/۰۵	۱۰۰	۹۰–۱۰۰		۲۰–۶۰	۰–۱۰				
۴–۷۶–۱۲/۷		۱۰۰	۹۰–۱۰۰	۴۰–۸۰	۰–۲۰	۰–۱۰			
۲/۳۸–۹/۵			۱۰۰	۸۰–۱۰۰	۵–۴۰	۰–۲۰			
مخلوط ریز و درشت		۱۰۰							
۰–۱۲/۷			۹۵–۱۰۰		۵۰–۸۰			۵–۲۰	۲–۱۵
۰–۹/۵			۱۰۰	۹۰–۱۰۰	۶۵–۹۰	۳۵–۶۵		۱۰–۲۵	۵–۱۵

جدول ۲-۵- حدود دانه‌بندی دانه‌های سبک در بلوک‌های بتنی سبک

اندازه الک‌های استاندارد								
درشتی دانه‌های سبک (میلیمتر)	۱۹/۰۵ میلیمتر	۱۲/۷ میلیمتر	۹/۵ میلیمتر	۴/۷۶ میلیمتر	۲/۳۸ میلیمتر	۱/۱۹ میلیمتر	۲۹۷ میکرون	۱۴۹ میکرون	
درصد وزنی رد شده از هر الک آزمایشگاهی (دارای سوراخهای مربع)									
ریزدانه‌ها ۴/۷۶			۱۰۰	۸۵–۱۰۰		۴۰–۸۰	۱۰–۳۵	۵–۲۵	
درشت دانه‌ها									
۴–۷۶–۱۲/۷	۱۰۰	۹۰–۱۰۰	۴۰–۸۰	۰–۲۰	۰–۱۰				
۲/۳۸–۹/۵		۱۰۰	۸۰–۱۰۰	۵–۴۰	۰–۲۰				
مخلوط ریز و درشت		۱۰۰							
۰–۱۲/۷			۹۵–۱۰۰		۵۰–۸۰			۵–۲۰	۲–۱۵
۰–۹/۵			۱۰۰	۹۰–۱۰۰	۶۵–۹۰	۳۵–۶۵		۱۰–۲۵	۵–۱۵

جدول ۲-۶- حدود دانه‌بندی دانه‌های سبک در بتن سبک عایق

اندازه الک‌های استاندارد									
درشتی دانه‌های سبک (میلیمتر)	۱۹/۰۵ میلیمتر	۱۲/۷ میلیمتر	۹/۵ میلیمتر	۴/۷۶ میلیمتر	۲/۳۸ میلیمتر	۱/۱۹ میلیمتر	۵۹۵ میکرون	۲۹۷ میکرون	۱۴۹ میکرون
درصد وزنی رد شده از هر الک آزمایشگاهی (دارای سوراخهای مربع)									
ریزدانه‌ها ۰-۴/۷۶			۱۰۰	۸۵-۱۰۰		۴۰-۸۰		۱۰-۳۵	۵-۲۵
درشت دانه‌ها ۴-۷۶-۱۲/۷ ۲/۳۸-۹/۵ ۲/۳۸-۴/۷۶	۱۰۰	۹۰-۱۰۰ ۱۰۰	۴۰-۸۰ ۸۰-۱۰۰ ۱۰۰	۰-۲۰ ۵-۴۰ ۹۰-۱۰۰	۰-۱۰ ۰-۲۰ ۰-۲۰				
مخلوط ریز و درشت ۰-۱۲/۷ ۰-۹/۵	۱۰۰	۹۵-۱۰۰ ۱۰۰	۹۰-۱۰۰	۵۰-۸۰ ۶۵-۹۰	۳۵-۶۵			۵-۲۰ ۱۰-۲۵	۲-۱۵ ۵-۱۵

۲-۱-۴-وزن فضایی وچگالی

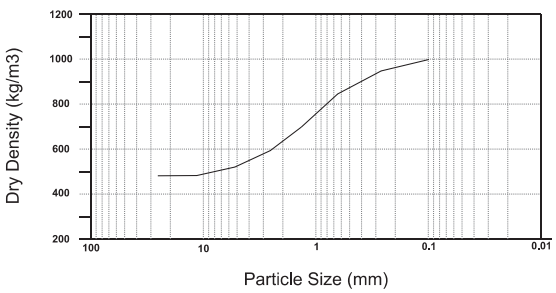
وزن مهمترین عامل شناسـایی وطبقه بندی دانه های سبک است با توجه به مطالب گفته شده درمورد تغییرات دانه ها بسته به روش تولید می توان نتیجه گرفت که وزن فضایی دانه های لیکا نیز بستگی مستقیمی به شرایط تولید ماده اولیه دارد،به عنوان یک قاعده کلی وزن فضایی دانه های لیکا باافزایش اندازه دانه کاهش می‌یابد این قاعده نتیجه منطقی پدیده انبساط حجم است.

چگالی خشک مطابق ASTM C29 , ASTM A23.2.10 و چگالی ویژه مطابق ASTM C128 و ASTM C127 و ASTM A 23.26 اندازه گیری می‌شود.

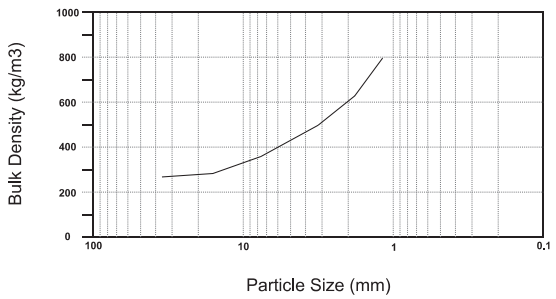
برای دانه‌های سـبک لیکا- با توجه به آنکه این دانه‌ها از آب سـبکترند- باید ابزارها و روشهای ویژه‌ای به کار روند. در استانداردها و آیین نامه های مختلف برای سبکدانه ها تعاریف و محدودیت هایی را قائل شده اند که در زیر به برخی از آن ها اشاره می شود.

در DIN 4226 - 2 آلمان محدودیتی برای وزن مخصوص یا چگالی ارائه نشده است و برخی از سبکدانه‌ها مانند پرلیت، ورمیکولیت و شیشـه منبسـط شـده در قالب این آیین نامه نمی گنجند. در BS 3797 بریتانیا سـنگدانه‌های ریز دانه با وزن مخصوص غیر متراکم ۴۰۰ تا ۱۲۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب و درشت دانه با وزن مخصوص ۲۵۰ تا ۱۰۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب را سبکدانه می نامند.

ASTM C330, C331 سـنگدانه های ریزدانه با وزن مخصوص غیر متراکم $1120Kg/m^3$ یا کمتر و سنگدانه‌های درشت دانه با وزن مخصوص غیر متراکم $۸۸۰Kg/m^۳$ یا کمتر را سبکدانه می داند.
مقادیر وزن فضایی و چگالی دانه لیکا اغلب به صورت نموداری بر حسب اندازه دانه نشان داده می‌شود. به دلیل وجود منافذ، اختلاف بین چگالی دانه خشـک دانه اشـباع و حالت انبوه وجود دارد، اما بدلیل لعاب و پوشش رویه دانه های لیکا و منافذ درونی بسـته، این میزان بسـیار کمتر از پوکه های معدنی می باشـد. نمودار ۲-۲ مقادیر چگالی انبوهی و دانه‌ای نمونه‌ای از دانه‌های لیکا را بر حسـب اندازه دانه نشـان می‌دهد.چنانچه دانه لیکا برای مصرف در بتن سبک سازه‌ای بکار رود، بیشینه چگالی دانه‌ها نباید از مقادیر جدول ۲-۷ فراتر رود.
همچنین برای ساخت بتن‌های با مقاومت بالا از دانه‌های سنگین‌تر و مقاومتر لیکا استفاده می‌شود مقادیر وزن ویژه خشک این دانه‌ها بر حسب اندازه دانه، در نمودار ۲-۳ نشان داده شده است. بدیهی است با کوچکتر شدن اندازه دانه‌ها اثر افزایش وزن در چگالی ظاهری دانه‌ها تشدید خواهد شد.



الف – وزن مخصوص خشک دانه های لیکا

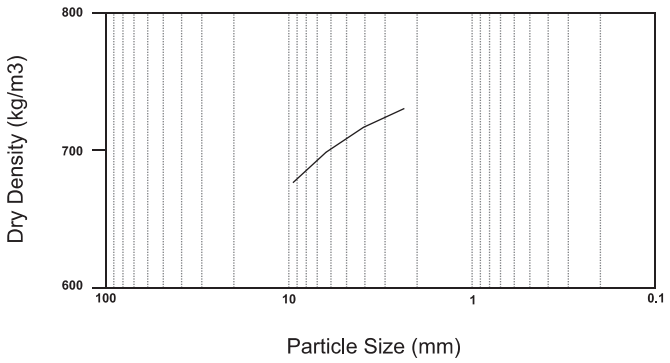


الف – وزن مخصوص ظاهری دانه لیکا

نمودار ۲-۲- چگالی انبوهی و دانه‌های لیکا بر حسب اندازه دانه

جدول ۲-۷- بیشینه وزن فضایی دانه‌های سبک برای مصرف در بتن سبک باربر

اندازه	بیشینه وزن فضایی خشک دانه‌ها kg/m3
ریزدانه	۸۸۰
درشت دانه	۵۱۰
مخلوط	۶۰۰

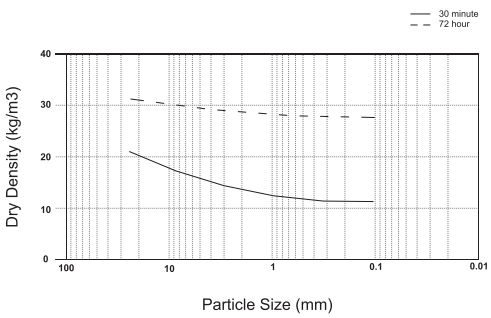


نمودار ۲-۳- وزن ویژه خشک دانه‌های سنگین لیکا بر حسب اندازه دانه

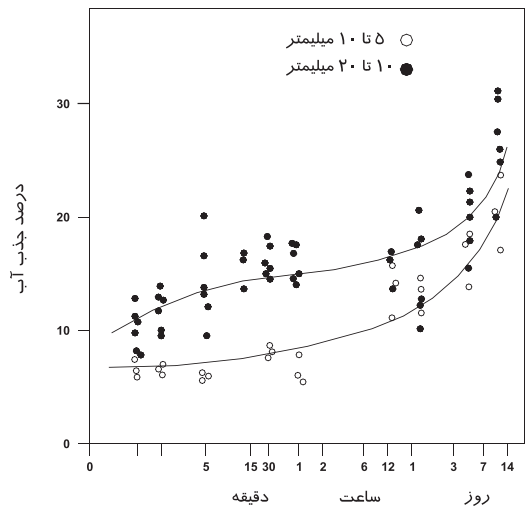
۲-۱-۵- جذب آب

جذب آب دانه‌های لیکا به دو عامل زمان و اندازه دانه بستگی دارد. از آنجا که میزان انبساط و در نتیجه تخلخل در دانه‌های کوچکتر کمتر اســت، مقدار جذب آب نیز در این دانه‌ها کمتر اســت و روند کندی دارد. از آنجا که میزان رطوبت دانه‌ها تأثیر مستقیم بر سایر ویژگی‌های آن نظیر وزن و هدایت حرارتی دارد، بنابراین اندازه‌گیری آن تعیین ویژگی‌های مؤثر در کاربرد مورد نظر بسیار مهم است.

جذب آب ســنگدانه‌ها مطابق شــماره های A23.2.11,C566,C128,C70 استانداردASTM انجام می‌گیرد. با توجه به ســبک‌تر بودن دانه‌های لیکا از آب باید ابزارها و روش‌های مخصوص ســبکدانه‌ها به کار گرفته شوند.



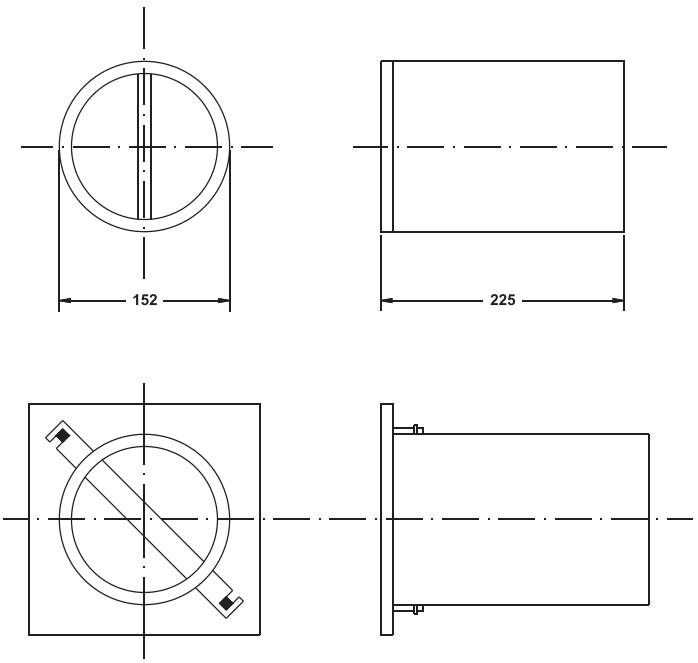
نمودار ۲-۴- جذب آب نمونه‌ای از دانه‌های لیکا بر حسب اندازه



نمودار ۲-۵- جذب آب نمونه‌ای از دانه‌های لیکا بر حسب زمان

۲-۱-۶- مقاومت‌های مکانیکی

مقاومت مکانیکی سـنگ‌دانه‌ها با معیارهای گوناگونی سـنجیده می‌شود. یکی از معیارهای متداول، مقاومت در برابر خردشـدگی اسـت. استاندارد BS882 روشـی رابرای تعیین این مقاومت پیشـنهاد می‌کند. در این روش مصالح با دانه‌بندی مشـخص، در یک اسـتوانه فلزی استاندارد تحت فشار قرار می‌گیرند تا درصد معینی ریزدانه ایجاد شود میزان فرورفتگی پیستون در لایه‌های مصالح، معیار مقاومت خواهد بود.



شکل ۲-۲- دستگاه اندازه‌گیری مقاومت خرد شدگی دانه لیکا

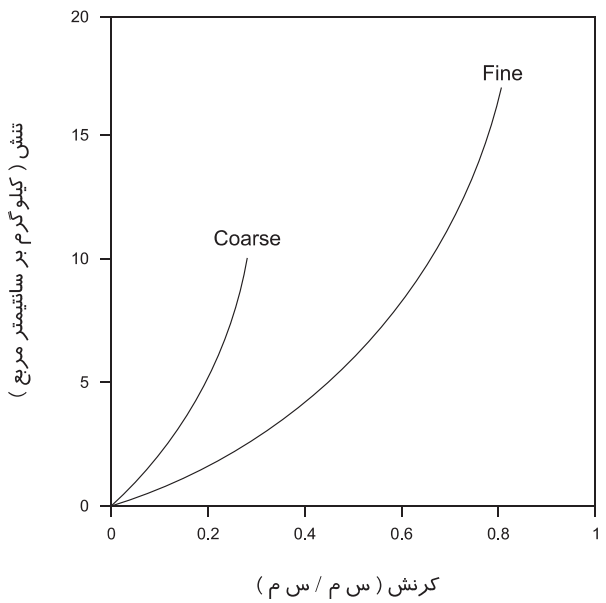
روشی دیگرجهت بدست آوردن مقاومت دانه ای بزرگتر از ۴ میلی متر به شرح زیر می‌باشد.وسایل لازم عبارتند از ظرف استوانه ای شکل فولادی میله فولادی مقاوم، اندازگیر آزمایشگاه با دقت ۰،۰۵ میلی متر، جک فشاری جهت اعمال فشار برنمونه به مقدار ۲۰ میلی متر در ۱۰۰ ثانیه.این روش آزمایش بایستی برروی ۳ نمونه یکسان (از یـک نمونه واحد) انجام شـود. دانه های مورد آزمایش حداقل به مدت ۱۲ سـاعت درخشـک کن قرارداده می‌شوند تا به وزن ثابتی برسند. سپس به سه نمونه جدا می‌شوند.

نمونه به دقت توسط بیلچه در استوانه ریخته می‌شود و از میله فولادی جهت صاف کردن سطح استوانه استفاده می‌شود. استوانه نـبایستی ضربه یا تـکان بخورد و وزن نـمونه به دقـت یادداشت می‌شود.حلقه فولادی دربالای

استوانه قرار داده می‌شود. استوانه فلزی داخـل حـلقه قرار می‌گیرد و کمی‌در هر جهت می‌چرخد تا در سرجای خود قرار گیرد. آن قسمتی از سنبه که از حلقه بلندتر است بوسیله اندازگیر تغییر مکان قرائت می‌شود. این عدد نباید بیش از ۲ ± ۵۰ میلی متر باشد. درصورت عـدم وجود چنین مقداری بـایستی استوانه را دوباره پرکنیم و انـدازگیری را تکـرار کنیم. بعد از رسـیدن به مقدار مورد نیاز اسـتوانه در ماشین بارگذاری قرارداده می‌شود و به نحوی تنظیم می‌شـود که فشـار وارده، به مرکز نمونه باشد. صفحه زیرین ماشین بارگذاری باید بتواند ۲ میلی متر درهر ثانیه بالا بیاید مـقاومت دانه بر حسـب kN یادداشـت می‌شود.این آزمایش سه بار تکرار می‌شود واز نتایج میانگین گرفته می‌شود.درهرمرحله بایستی نتایج بدست آمده خیلی نزدیک به هم باشند.

از دیدگاه مکانیک خاک دانه‌های لیکا در گروه مصالح دانه‌ای فاقد چسبندگی قرار می گیرند. ضریب اصطکاک داخلی دانه‌ها در صورت تراکم مناسـب به حدود ۳۵ درجه می‌رسـد. بر این اساس مقاومت مکانیکی این دانه ها مطلوب ارزیابی می‌شود.

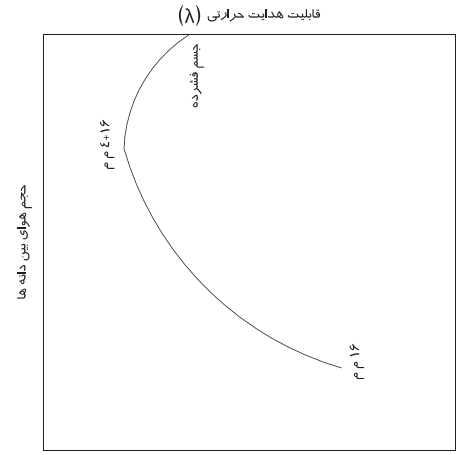
مقاومت برشـی و لغزشـی دانه‌ها با توجه به سـربار قائم، تراکم، دانه‌بندی و شـرایط سطوح تماس مجاور قابل اندازه‌گیری اسـت. روش‌های آزمایشـگاهی تعیین این ویژگی‌ها نظیر سـنگ‌دانه‌های طبیعی،میزان خردشدن دانه‌هـا تحـت تنش‌های معمول- و اثر آن بر سـایر ویژگی‌های مکانیکی نظیر مقاومت لغزشـی - باید منظور گردد نمودار ۲-۶ نمونه‌ای از نتیجه آزمایش فشـاری را بر بسترنازکی از دانه‌های لیکا- به ضخامت معادل قطر بزرگترین دانه - نشان می‌دهد.



نمودار ۲-۶- نتیجه آزمایش اعمال بار قائم بر دانه‌های لیکا

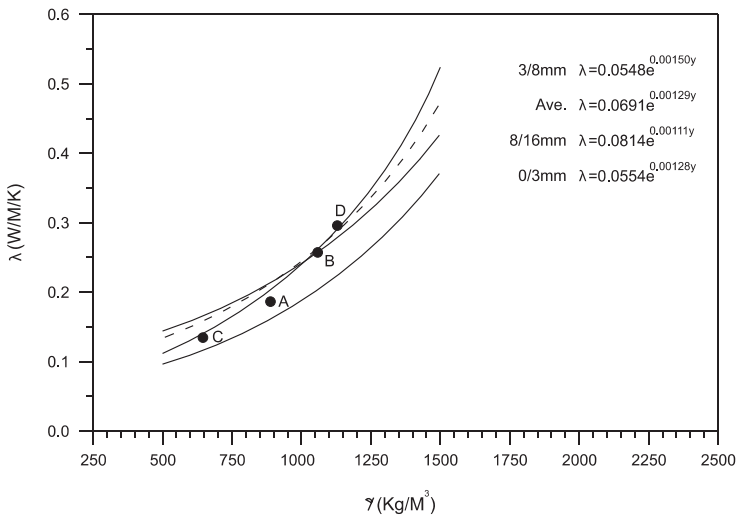
۲-۱-۷- رسانایی حرارتی

انتقال انرژی حرارتی از جایی به جای دیگر به سه روش رسانایی، همرفتی و تشعشع صورت می‌گیرد.
در روش رسانایی، حرارت از طریق جسم انتقال می‌یابد. با استفاده از مواد نارسانا یا دارای رسانایی ناچیز، میزان انتقال حرارت کاهش می‌یابد. برای انتقال حرارت به روش همرفتی، باید هوا امکان جریان یافتن داشته باشد. دراین صورت هوا با گرم شدن منبسط می‌گردد و جریان پیدا می‌کند و با تماس با اجسام سرد، حرارت را انتقال می‌دهد. محدود کردن فضاهای دارای هوا به ابعاد کوچکتر از ۲۵ مم-با تعبیه لایه‌های مناسب- انتقال حرارت را در این روش کاهش می‌دهد و سرانجام تشعشع روشی برای انتقال حرارت اجسام تحت تأثیر تابش است. کاربرد اجسامی که بتوانند سهم بیشتری از انرژی را بازتاب دهند، یک روش مناسب برای جلوگیری از این حالت انتقال حرارت است.
برای ارزیابی کمی میزان رسانایی یا مقاومت حرارتی اجسام از ضرایب متداولی استفاده می‌شود. مقدار توان حرارتی از دست رفته بر حسب وات از یک متر مربع سطح و یک متر ضخامت مصالح با اختلاف یک درجه سانیتگراد بین دو سمت آن را ضریب رسانایی حرارتی می‌نامند. مقاومت حرارتی عکس این ضریب است.
تخلخل بسته درونی بالای دانه های لیکا سبب قابلیت رسانایی حرارتی ناچیزی این دانه ها می‌گردد مقادیر رسانایی حرارتی برای دانه‌های بزرگتر، کاهش می‌یابد. همچنین در یک توده انبوه از مصالح، میزان قابلیت رسانایی حرارتی به تراکم توده بستگی پیدا می‌کند به این ترتیب که برای انبوهی از دانه های درشت، میزان تخلخل و هوای بین دانه‌ها زیاد می‌شود و جریان همرفتی سبب افزایش رسانایی حرارتی می‌گردد. در این حال انتقال حرارت از طریق تشعشع ناچیز است. قابلیت رسانایی حرارتی با کاهش تخلخل در شرایط فوق کاهش می‌یابد، تا زمانی که به دلیل تراکم بیشتر دانه‌ها و افزایش تماس آنها، رسانایی حرارتی مجداداً افزایش یابد. بنابراین کمترین مقدار رسانایی حرارتی به ازای مقدار تراکم معینی قابل دستیابی است. این مفهوم در نمودار ۲-۷ دیده می‌شود.



نمودار ۲-۷- اثر تراکم بر رسانایی حرارتی دانه لیکا

هر چه چگالی دانه های لیکا بیشتر باشد قابلیت رسانایی حرارتی نیز افزایش می‌یابد افزایش چگالی ممکن است به دلیل ریزتر شــدن ابعاد دانه‌ها و یا کاهش انبســاط در فرآیند پخت روی دهد. رابطه قابلیت رسانایی حرارتی و چگالی می‌تواند با یک نمودارنمایی تخمین زده شود. این روابط اساس تجربی دارند و برای فرآورده‌های لیکا نیز قابل تعمیم می‌باشند. نمودار ۲–۸ نمونه‌ای از این اثر را برای نمونه دانه‌های لیکا نشان می‌دهد.

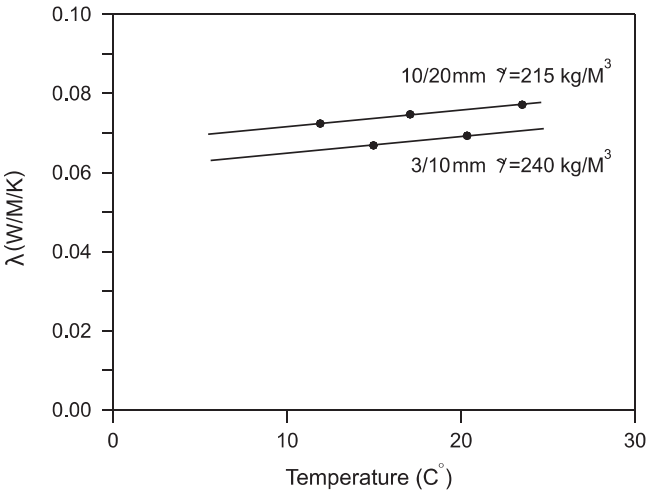


نمودار ۲–۸– اثر چگالی بر رسانایی حرارتی بتن لیکا

جدول ۲–۸– اثر چگالی بر رسانایی حرارتی بتن لیکا

نمونه	درصدوزنه‌ها			سنگدانه معمولی	سیمان	چگالی Kg/m^3	ظرفیت رسانایی حرارتی
	۰–۳ م م	۳–۸ م م	۸ < م م				
A	۰	۵۷	۲۱	۱۵	۷	۸۸۰	۰/۱۹
B	۰	۲۳	۵۳	۱۸	۶	۱۰۶۸	۰/۲۷
C	۶/۵	۵۸	۲۱	۶/۵	۹	۶۹۰	۰/۱۵
D	۱۹	۵۴	۰	۱۹	۸	۱۱۱۷	۰/۳۰

اثر دما و رطوبت بر رسـانایی حرارتی دانه‌ای لیکا مانند اغلب مصالح دیگر اسـت. به گونه‌ای که افزایش رطوبت به میزان یک درصد حجمی سبب افزایش رسانایی حرارتی به میزان ۲ تا ۶ درصد می‌گردد همچنین با افزایش دما، به ویژه در دمای بالاتر از ۱۰۰ درجه سـانتیگراد میزان رسـانایی حرارتی افزایش می‌یابد. میزان افزایش در دماهای معمول حدود ۰/۵ درصد به ازای هر درجه سـانتیگراد افزایش دماسـت. نمودار ۲-۹ این مفهوم رابرای نمونه ای از دانه‌های لیکا نشان می‌دهد.

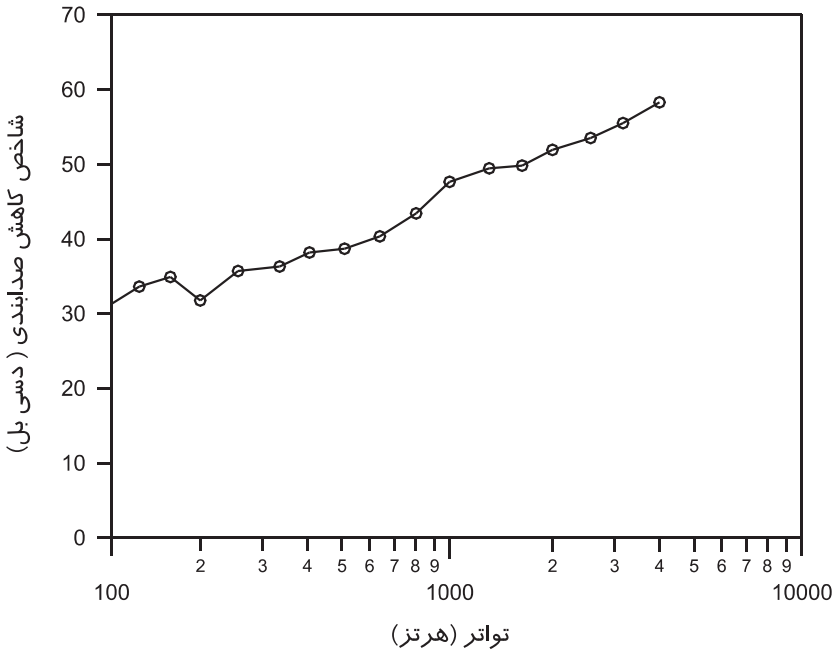


نمودار ۲-۹- اثر درجه حرارت بر رسانایی حرارتی دانه لیکا

۲-۱-۸-افت صوتی

صداهایی که به محیط زندگی و فضای کار منتقل می‌شـوند به دو گروه تقسـیم می‌گردند. گروه اول صداهایی هستند که در هوا ایجاد شده از طریق بازشوها یا ارتعاش دیوارها و سقف‌ها به فضای خالی وارد می‌شوند. گروه دوم صداهای کوبه‌ای یا ضربه‌ای هسـتند که مسـتقیم از راه لرزش مصالح سـخت به فضا راه می‌یابند. مصالح جاذب سـر وصدا قادرند امواج صوتی را که با سـطح آنها برخورد می‌کنند به گونه ای جذب نمایند که تنها کمتر از ۵۰ درصد آن بازتاب گردد. وجود حفره‌ها و عمق آنها در اجسام متخلخل سبب می‌گردد تا انرژی ذرات هوایی که در اثر صوت به داخل حفره می‌روند و از آنها خارج می‌شـوند،به دلیل ایجاد اصطکاک مسـتهلک گردد و به گرما تبدیل شود.

برای اندازه گیری شـدت صوت و یا میزان صداگیری از واحد لگاریتمی‌دسـی‌بل استفاده می‌شود. نشانه کاهش صدا به ازای بسـامدهای گوناگون اندازه‌گیری می‌شـود و میانگین بر اساس استاندارد ISO717 / 1 محاسبه می‌گـردد. نمـودار ۲-۱۰- الف نمونه ای از نتایج آزمایش افت صوتی را بر روی یک دیوار با بلوک بتنی لیکا به ضخامت کل ۱۲ سانتی متر نشان می‌دهد.



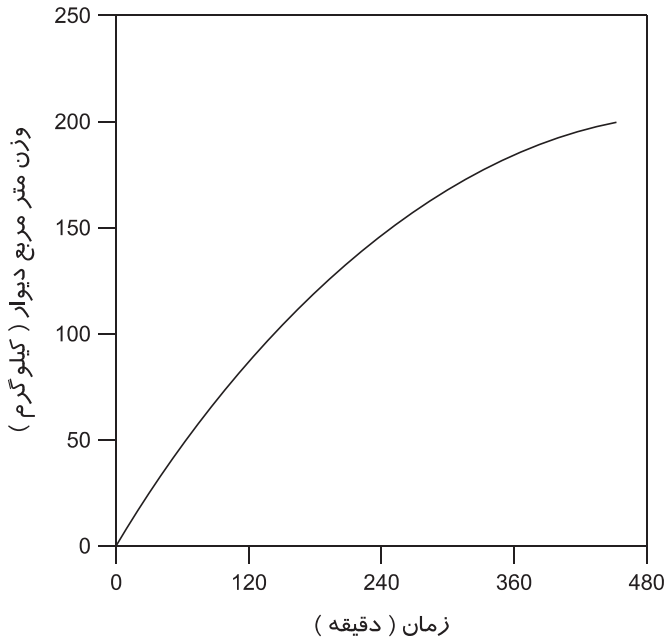
نمودار ۱۲-۱۰- افت صوتی دیوار ساخته شده از بلوک بتنی سبک لیکا (دو طرف اندود شده)

۲-۱-۹- مقاومت در برابر آتش

آتش نظیر حرارت می‌تواند از طریق همرفتی، رسانایی و تابش گسترش یابد. مقاومت اجزای سازه‌ای در برابر آتش‌سوزی براساس مدت زمانی سنجیده می‌شود که این اجزا می توانند آتش را بدون سوختن و فروریختن تحمل کنند و درجه حرارت نیز در سمت غیر نمایان از ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد و در سایر نقاط از ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد بالاتر نرود. بنابراین ویژگی‌های مناسب حرارتی مصالح نقش مؤثری در مقاومت آنها برابر آتش دارد.

دانه‌های لیکا در دمای نزدیک به ۱۲۰۰ درجه سانتی‌گراد تولید می‌گردند. در واقع این دانه ها می‌تواند شوک حرارتی تا دما ۱۱۰۰ درجه سانتی‌گراد را تحمل نمایند. همچنین فرآورده‌های لیکا به ویژه اجزای بتنی ساخته شده با این دانه‌ها مقاومت خوبی در برابر آتش دارند. میزان مقاومت به مقدار جرم دیوار بستگی دارد.

نمودار ۲-۱۱ مقاومت دیوار ساخته شده از بلوک لیکا را به صورت رابطه وزن دیوار با زمان مقاومت در برابر آتش نشان می‌دهد.



نمودار ۲-۱۱- رابطه وزن دیوار ساخته شده از بلوک سبک لیکا و مقاومت آن در برابر آتش

۲-۱-۱۰- آب‌بندی

استفاده از محصولات قیری برای آب‌بندی بام بسیار متداول است. اما خواص قیر با اکسید شدن و تجزیه آن در اثر حرارت زیاد و یا اشعه ماورای بنفش خورشید از بین می‌رود. دانه های گرد گوشه لیکا، به دلیل وزن کم، فشار ناچیز و یکنواختی را بر سطح این لایه‌ها وارد می کنند و با گرمابندی سبب تعادل دمای قیر می‌شوند.

۲-۱-۱۱- حفاظت در برابر تشعشع

آزمایشات نشان می‌دهند که بلوکهای لیکا نسبت به سایر مصالح ساختمانی حفاظتی بهتری در مقابل تشعشعات رادیواکتیو ایجاد می‌کنند. برای اندازه‌گیری ایمنی در برابر تشعشع هسته‌ای یک رابطه متداول وجود دارد که به صورت زیر بیان می‌شود:

$$\frac{Kalium}{120}+\frac{Radium}{7}+\frac{Thorium}{10}\leq 1$$

این مقادیر بر حسب تمرکز رادیم در سانتی متر مکعب مصالح (Pci/cm^3) بیان می‌شوند نفوذ این تشعشعات به مصالح ساختمانی، جنس زمین، هوابند، دما و فشار هوا بستگی دارد. در جدول ۲-۹ مقایسه‌ای بین مصالح گوناگون انجام گرفته است.

مصالح	چگالی	فعالیت مشخصه (pci/cm^3)		
	Kg/m^3	توریم(۲۳۳)	رادیم(۲۲۶)	کالیم(۴۰)
دانه لیکا	۴۰۰	۰/۷	۱/۳	۱۱
دانه لیکا	۷۷۰	۱/۱	۱/۹	۱۹
بلوک سیپورکس، ایتونگ	۵۰۰	۰/۹	۱/۴	۶
آجر	۲۰۰۰	۳/۲	۵/۶	۵۴
بتن	۲۳۰۰	۲/۳	۱/۶	۴۶
سیمان	۳۱۰۰	۱/۵	۲/۱	۲۲

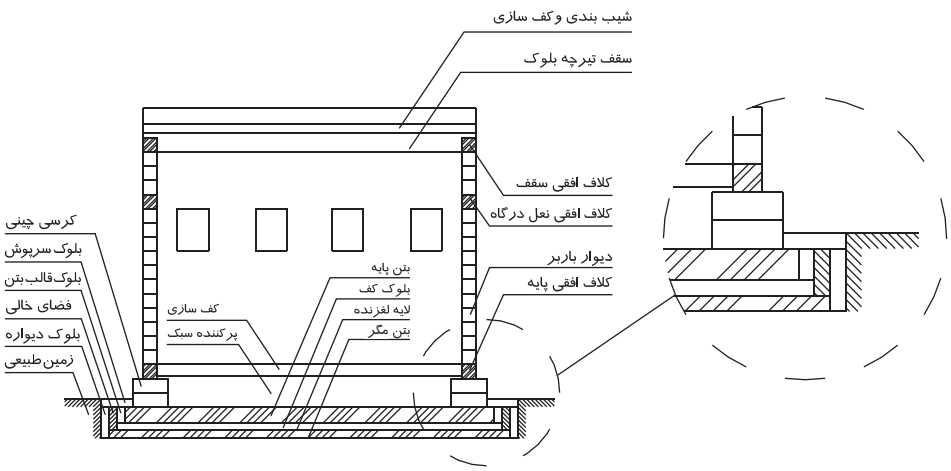
جدول ۲-۹- اندازه‌گیری تشعشع رادیواکتیو برای مصالح گوناگون

۲-۱-۱۲-کاربرد لیکا در جداسازی لرزه‌ای

یکی از دستاوردهای نوین مهندسی زمین لرزه توان کاهش نیروی وارد به ساختمان از زمین با جداسازی ساختمان از پایه است که تحت عنوان کلی جداسازی لرزه‌ای شناخته می‌شود.

مبنای نظریه جداسازی از حرکات زلزله عبارت است از: **جلوگیری از انتقال شتاب زمین لرزه به سازه** از طریق ایجاد انعطاف پذیری در پایه سازه در صفحه افقی یا همزمان با آن ایجاد عناصر مستهلک کننده جهت جذب کامل و یا بخش عمده‌ای از انرژی ناشی از زمین لرزه. یک فرم ساده سامانه های جداکننده، سامانه اصطکاکی است. این روش برای خانه‌سازی ارزان قیمت بسیار مناسب است زیرا به تکنولوژی پیشرفته یا مهارت ویژه برای یک ساختمان معمولی نیز ندارد. ایجاد این سامانه نیاز به تأمین یک لایه جداساز در زیر کف سازه دارد این لایه در چین با استفاده از ماسه تجربه شده است. با توجه به تنش کم وارد بر پی ساختمانهای کوچک بنایی می‌توان مقاومت لازم را با لیکا تأمین کرد. گرد بودن نسبی دانه‌های لیکا نیز نقش مهمی در عملکرد آن دارد. یکی از محدودیت‌های کاربرد لیکا در این روش، میزان تحمل بار قائم است. دانه‌های سبک تحت تنش‌های

بالا، خرد می‌شوند و مقاومت لغزشی آنها افزایش می‌یابد. بنابراین کاربری آنها بر اساس حداکثر بار قابل تحمل محدود می‌شود. شکل ۲-۳ یک ساختمان نمونه را با جزییات اجرای این سامانه نشان می دهند.



شکل ۲-۳- نمونه جزئیات اجرای سامانه پی لغزشی

۲-۱-۱۳- سایر ویژگی‌ها

به طور کلی دانه‌های سبک بر اساس نوع کاربرد باید دارای ویژگی‌های شیمیایی فیزیکی و مکانیکی قابل قبول بر اساس استانداردهای ملی و بین‌المللی باشند ویژگی‌های عمومی مورد نظر در سنگدانه های سبک عبارتند از: میزان مواد مضر، افت سرخ شدن، نشانه نرمی، دانه‌بندی، چگالی حجمی و ویژه. جدول ۲-۱۰ برخی ویژگی‌های مورد نظر را براساس استاندارد ASTM نشان می‌دهد.

جدول ۲-۱۰- ویژگی‌های استاندارد سنگ‌دانه‌ها براساس استاندارد ASTM

نیازهای استاندارد	کد آزمایش یا روش استاندارد	اهمیت کاربردی	ویژگی
بیشینه درصد افت	C131	اندیس کیفی دانه‌ها و کف‌سازی ساختمان، روکش عرشه‌های باربر	مقاومت سایشی
بیشینه تعداد چرخه‌های یخزدن و ذوب شدن	C666 C671	سازه‌های در معرض عوامل جوی	مقاومت در برابر یخزدن و ذوب شدن پایداری شیمیایی
بیشینه انبساط ملات، نداشتن واکنش در برابر سیمانهای قلیایی	C277 C342 C289 C586 C295	مقاومت و دوام در انواع سازه‌ها	
		کارآیی بتن تازه	شکل ذرات و بافت سطحی
بیشینه درصد دانه‌های مسطح و طویل	C136	کارآیی بتن تازه، اقتصاد	دانه‌بندی
بیشینه و کمینه درصد دانه‌های گذشته از الک‌های استاندارد	A23.2.2 C29	محاسبات طرح اختلاط،طبقه‌بندی	چگالی خشک
بیشینه و کمینه چگالی	A23.2.10 C127 C128 A23.2.6	محاسبات طرح اختلاط	چگالی ویژه
	C70 C127 C128 C566 A23.2.11	کنترل کیفیت بتن	جذب آب و رطوبت سطحی

برخی از حدودی که باید رعایت گردند به شرح زیر است:

الف-مواد مضر: دانه‌های سبک نباید حاوی مواد مضر باشند در غیر این صورت مصرف سنگ‌دانه‌ها مردود می‌گردد. مگر اینکه با انجام آزمایش‌های لازم ثابت شود مقدار موجود مواد برای کاربرد مورد نظر مضر نیست. ناخالصی های آلی سنگدانه های سبک که از طریق آزمون تعیین می گردند، نباید رنگی تیره تر از استاندارد ایجاد کند. بیشنیه مقدار $Fe2O3$ در دانه‌های سبک به ۷/۵ قسمت وزنی در میلیون و کلوخه های رسی به ۲ درصد وزنی محدود می‌گردد. دانه های سبک صنعتی لیکا از این نظر شرایط خوبی را فراهم می‌نمایند. این دانه ها در اساس فاقد کلوخه رسی و مواد مضر دیگر هستند، به گونه‌ای که PH آنها نزدیک ۷ است و از نظر شیمیایی خنثی و پایدارند.

ب- افت سرخ شدن: افت ناشی از سرخ شدن سنگدانه های سبک طبق استاندارد $ASTM$ نباید بیشتر از ۱۲ درصد و افت ناشی از سرخ شدن برای سایر سنگدانه ها نباید بیشتر از ۵ درصد باشد. میزان افت برای دانه‌های لیکا ۰/۸۴ درصد است.

پ- نشانه نرمی: دانه‌های سبک چنانچه برای مصرف در بتن به کار روند، باید دارای نشانه نرمی کمتر از ۷ باشند. بدیهی است این مقدار بستگی مستقیم به انتخاب دانه‌بندی مناسب دارد. نشانه‌نرمی نمونه های دانه لیکا در حدود ۵ است.

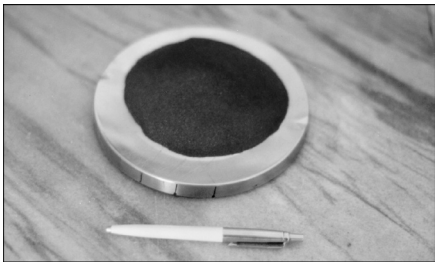
۲-۲- دانه لیکا

۲-۲-۱- دانه رس منبسط شده

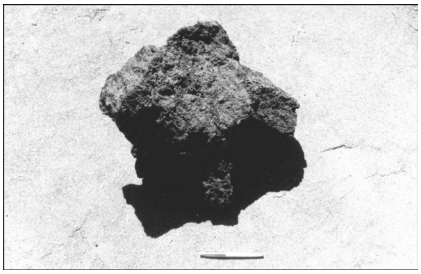
همانگونه که در بخش‌های قبل اشــاره شد، این دانه ها با دانه‌بندی‌های مختلف و برای کاربردهای خاص تهیه و عرضه می شوند.

۲-۲-۲- فرآورده‌های جنبی

دو فرآورده جنبی از کوره‌های تولید لیکا به دســت می‌آیند. نخســت ذرات بســیار ریز و در حد غبار رس منبسط شــده است که از طریق غبارگیری‌های الکتریکی رسوب داده می‌شوند. این ذرات می توانند نقش پرکننده(فیلر) را در بتن داشــته باشند. دومین گروه فرآورده‌های جنبی، قطعات رس سبک منبسط شده با ابعاد بسیار بزرگ (تا حدود ۱۰۰ سانتی‌متر) است که دارای بافت داخلی نظیر دانه های لیکا هستند. چگالی این قطعات اغلب سبکتر از دانه‌های لیکا است.



شکل ۲-۴- غبار لیکا



شکل ۲-۵- قطعات بزرگ لیکا (کلوفه)

این قطعات در واقع حاصل ذوب و پیوند اجزای کوچکتر هســتند و بدلیل چگالی حجمی بســیار کم می توانند پر کننده بســیار مناسبی در موارد لازم مانند پرکننده ســبک درپشت دیواره های تونلهای مترو و اتوبانها باشند. همچنین می‌تواند در اندازه های بزرگ جهت پالایش فاضلاب به کار روند.

۲-۳- بتن سبک

۲-۳-۱- ویژگیهای عمومی بتن های سبک

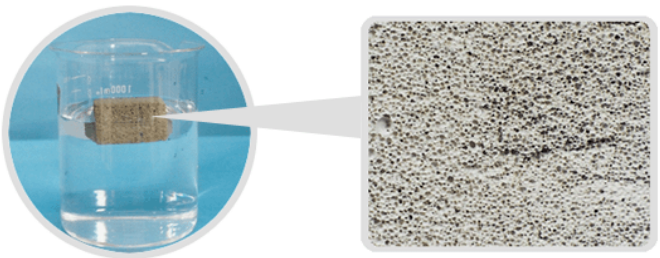
بتن های سبک به سه روش تولید می شوند:

۱- ایجاد تخلخل در داخل ملات

۲- حذف ریز دانه از مخلوط برای ایجاد منافذ

۳- کاربرد دانه های سبک به جای سنگ دانه های معمولی

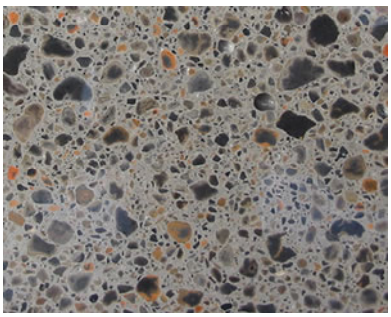
۱- بتن اسفنجی: دسته اول بتن‌های اسفنجی که در حین ساخت آن‌ها با ایجاد کف یا حباب گاز، حباب‌هایی در خمیر سیمان یا در ملات سیمان – سنگدانه ایجاد می گردد. حباب مورد نظر یا از طریق مواد کف‌زا در حین اختلاط تولید شده و یا به صورت کف آماده به مخلوط اضافه می‌شود. یا با افزودن مواد واکنش زایی مانند پودر آلومینیوم به بتن تازه تولید می شـود. واکنش این مواد باعث ایجاد گاز در بتن و در نتیجه سـبک شدن ماتریس سیمان آن می شود. ویژگی اصلی مورد نیاز در ساخت بتن اسفنجی پایدار بودن حبابها و توزیع یکنواخت آنها در هنگام اختلاط، حمل نقل و بتن ریزی می‌باشد.



شکل ۲-۶- بافت درونی بتن اسنجی

۲- بتـن هـای با سـاختار باز: ایـن بتن ها در واقع بـدون ریز دانه هسـتند و در آن ها ماسـه از مخلوط بتن حذف گردیـده و دانه های درشـت با خمیر سیمان به یکدیگر چسـبیده اند. ساخت بتن سبک با سـاختار باز، هم با استفاده از سنگدانه های طبیعی و هم با استفاده از سـبکدانه امکان پذیر است. این بتنها برای مصارفی چون زهکش و یا پرکننده‌های سبک به کار می‌روند.

شکل ۲-۷- بافت بتن با ساختار باز



شکل ۲-۸- بتن سبکدانه

۳- بتن سبکدانه: دسته سوم، بتن با سنگدانه سبک یا به اختصار بتن سبکدانه است. در این نوع بتن، سبک کردن از طریق استفاده از سنگدانه های سبک صورت می گیرد. لازمه ساخت این نوع بتن استفاده از سبکدانه مناسب با ویژگیهای مورد نیاز است.
هدف کلی از تولید این بتن ها کاهش وزن مخصوص است، اما در عین حال در این بتنها ویژگیهای دیگری مانند مقاومت حرارتی و صوتی و... اهمیت پیدا می کند.

۲-۳-۱-۱- طبقه بندی بتن سبک بر مبنای مقاومت

علاوه بر طبقه بندی بتن سبک از لحاظ روش ساخت، این بتنها بر مبنای مقاومت نیز طبقه بندی می‌گردند. بتن‌های سبک از دیدگاه مقاومتی در سه دسته طبقه‌بندی می‌شوند که عبارتند از بتن سبک غیرسازه‌ای، بتن سبک نیمه سازه‌ای یا بتن سبک یا مقاومت متوسط و بتن سبک غیرسازه‌ای، بتن سبک نیمه سازه‌ای یا بتن سبک با مقاومت متوسط و بتن سبک سازه‌ای که در ادامه به آن پرداخته می‌شود.

الف) بتن سبک غیرسازه‌ای: بتن‌های سبک با مقاومت کمتر از ۷ مگا پاسکال در رده بتنهای سبک غیرسازه‌ای طبقه بندی می‌شوند. این نوع بتن‌ها با وزن مخصوصی معادل ۸۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب و کمتر، به عنوان تیغه‌های جداساز و عایق‌های حرارتی و صوتی در کف بسیار مؤثر هستند. این نوع بتن می‌تواند در ترکیب با مواد دیگر در دیوار، کف و سیستم‌های مختلف سقف مورد استفاده قرار گیرد.
اضافه کردن ریزدانه‌هایی با وزن معمولی، موجب افزایش وزن بتن و مقاومت آن می‌شود، لیکن به منظور حصول خواص عایق‌بندی حرارتی (ضریب انتقال حرارت کم)، حداکثر وزن مخصوص به ۸۰۰ کیلوگرم در مترمکعب محدود می‌گردد. هنگام ساخت و استفاده از بتن سبک غیرسازه‌ای، سعی بر این است که با کاهش وزن بتوان خصوصیات عایق حرارتی را افزایش داد، اما ذکر این مطلب ضروری است که با کاهش وزن مخصوص بتن، مقاومت آن نیز کاهش می‌یابد. مقاومت فضاری و وزن مخصوص بتن، ارتباط نزدیکی با هم دارند و با افزایش وزن مخصوص، مقاومت زیادتری مورد انتظار است. با توجه به مقاومت به دست آمده از این نوع بتن، محل کاربرد آن تعیین می‌گردد. به عنوان مثال بتن‌هایی با مقاومت فشاری حدود ۰/۷ مگاپاسکال و کمتر برای عایق‌سازی لوله‌های بخار زیرزمینی مناسب هستند و از بتن‌های با مقاومت زیادتر تا حدود ۳/۵ مگاپاسکال بیشتر در پیاده‌روها استفاده می‌شود. باید توجه داشت که جمع شدگی بتن‌های سبک در هنگام خشک شدن در اکثر موارد و به خصوص در موارد حذف سنگدانه‌های درشت از مخلوط، همواره مشکل‌ساز است.

ب) بتن سبک نیمه سازه‌ای: بتنهای سبک موجود در این طبقه عمدتاً از نوع بتنهای سبکدانه و بتنهای با ساختار باز می‌باشند. به عبارت دیگر برای کاهش چگالی بتن، یا ریزدانه از مخلوط بتن حذف می‌شود یا از سنگدانه‌های سبک طبیعی یا مصنوعی برای سبک‌سازی مخلوط استفاده می‌گردد. سبکدانه‌های مورد استفاده در بتنهای سبک نیمه سازه‌ای معمولاً از یکی از روشهای آهکی شدن (تکلیس)، کلینکر محصولات منبسط شده‌ای نظیر روباره‌های منبسط شده لیکا، خاکستر بادی، شیل و اسلیت یا سنگدانه‌های به دست آمده از مصالح طبیعی مانند پوکه سنگ‌های آذرین و سنگ‌های آذرین متخلخل (توف) تولید می‌شوند. وزن مخصوص بتن ساخته شده با سنگدانه‌های فوق بین ۸۰۰ تا ۱۴۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب است. مقاومت فشاری این نوع بتن از ۷ تا ۱۷ مگاپاسکال تغییر می‌کند. کاربرد مواد افزودنی نظیر تسریع کننده‌ها و روان کننده‌ها می‌تواند در تغییر مقاومت بتن‌های ساخته شده با سنگدانه‌های تولید شده از روش‌های مذکور موثر باشد. کاربرد این بتنها معمولاً در بلوک‌های مجوف بتنی، کف‌سازیها و موارد مشابه است.

ج) بتن سبک سازه‌ای: بتن‌های سبک سازه‌ای بتنهایی هستند که علی‌رغم دارا بودن چگالی کمتر از ۲۰۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب، مقاومت فشاری بیش از ۱۷ مگاپاسکال دارند. ساخت این بتنها صرفاً با استفاده از سنگدانه‌های سبک و مقاوم امکان پذیر است. اکثر بتنهای سبک سازه‌ای از خانواده بتن‌های سبکدانه می‌باشند که در آن برای کاهش وزن مخصوص بتن از سنگدانه‌های سبک استفاده شده است. به این دلیل بعضاً از عبارات بتن سبکدانه و بتن سبک سازه‌ای برای بیان یک مفهوم استفاده می‌شود. سنگدانه‌هایی که این شرایط را عموماً برآورد می‌کنند و طبق استاندارد ASTM-C330 برای ساخت بتن سبک سازه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند عمدتاً عبارتند از:

الف) شیل، رس و اسلیت منبسط شده در کوره‌ی دوار
ب) سنگدانه‌هایی که از فرآیند تبادل یونی به دست می‌آیند مانند لیکا
ج) روباره‌های منبسط شده
د) پوکه‌های معدنی مانند اسکریا و پومیس
ه) پوکه‌های صنعتی
و) سبکدانه‌های تولید شده از خاکستر بادی گندوله شده

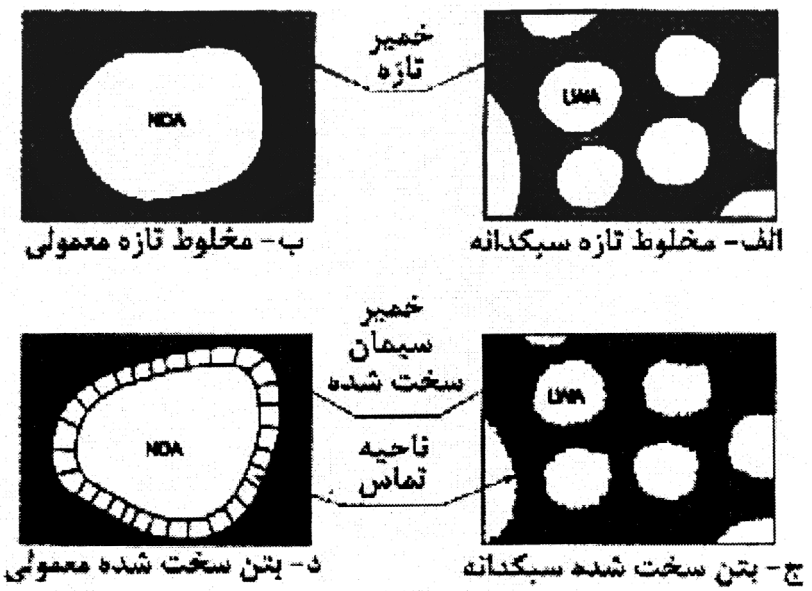
تأمین مقاومت فشاری معادل ۲۰ مگاپاسکال و بیشتر با بعضی از این سنگدانه‌ها امکان‌پذیر است. همانطور که پیش از این ذکر شد، مقاومت بتن سبک معمولاً تابعی از وزن مخصوص آن است. باید توجه داشت که وزن مخصوص بتن عمدتاً متأثر از وزن مخصوص سنگدانه‌های مصرفی است، به گونه‌ای که استفاده از مصالح سبکتر موجب کاهش وزن مخصوص بتن می‌شود. لازم به ذکر است که استفاده از سبکدانه‌های سنگین‌تر، لزوماً باعث افزایش مقاومت بتن ساخته شده نخواهد شد. استفاده از سبکدانه با مقاومت متناسب با مقاومت مورد

نیاز بتن سبک برای دستیابی به حداقل وزن مخصوص و حداکثر مقاومت، مطلوب می‌باشد. بیشترین مقاومت بتن سبکدانه معمولاً وقتی حاصل می‌شود که از سبکدانه های سازه‌ای که مقاومت آن برابر یا بیش از مقاومت ماتریس سیمان باشد برای سبک سازی بتن استفاده گردد. سبکدانه‌های سازه‌ای مقاوم که در ساخت بتن سبک پر مقاومت به کار رفته‌اند عمدتاً ساخته شده از شیل، رس و اسلیت منبسط شده در فرآیند کوره دوار می‌باشند. در آئین نامه‌های بتن من جمله آئین نامه بتن ایران و منتخب نهم مقررات ملی ساختمان ساخت بتن‌های سازه‌ای (از رده C۱۶ به بالا) براساس دیدگاه دوام و پایداری بتن صورت می‌پذیرد. با استفاده از سبکدانه لیکا بدلیل عاری بودن از هر گونه موارد مضرر در بتن الزامات دوام تأمین می‌شود این درحالی است که سایر سبکدانه‌های دیگر اعم از معدنی و صنعتی دارای این خصوصیت نمی‌باشند و بدلیل نداشتن فرآوری استفاده از آنها در بتن با اطمینان توصیه نمی‌گردد.

۲-۳-۱-۲- ریز ساختار بتن سبکدانه:

بتن سبکدانه نیز مانند بتن معمولی چند فازی است. در مرحله اختلاط، ریختن و تراکم می‌توان آن را دو فازی شامل «فاز خمیری» (خمیر سیمان) و «فاز صلب» (سنگدانه) دانست. در هنگام سخت شدن بتن، مصالح غیر همگن تبدیل به یک مصالح ظاهراً همگن می‌شوند. این امر در شکل شماره ذیل مشاهده می‌گردد. به هر حال این ویژگی بتن به سطح دیدگاه بستگی دارد. سطح دیدگاه شامل سطح کلان نگر، سطح میانه و سطح ریز نگر می‌باشد.

از دید کلان نگر که خواص مهندسی بتن تعیین می‌شود، بتن مصالح همگن تلقی می‌گردد. این خواص شامل ویژگی‌های فیزیکی – مکانیکی و تابع زمان می‌باشد. از دید میانه، در مقیاس میلی‌متر تا سانتیمتر، بتن دارای دو یا سه فاز می‌باشد. از دید ریز نگر، فرآیندهای هیدراتاسیون و شکل‌گیری ریز ساختار توضیح داده می‌شود که در آن ویژگی‌های ناحیه لایه مرزی سنگدانه و خمیر سیمان تشریح می‌گردد. خواص لایه مرزی (انتقالی یا تماس) به خصوصیات سطح سنگدانه و ساختار منافذ و رطوبت اولیه سنگدانه‌ها بستگی دارد. با توجه به ساختار منافذ سنگدانه، حتی برخی فرآورده‌های واکنش آب و سیمان مانند هیدروکسید کلسیم می‌تواند به داخل منافذ سنگدانه نفوذ کند. این پدیده بیشتر در منافذ بزرگتر و سنگدانه‌هایی با جذب آن بیشتر اتفاق می‌افتد.



شکل ۲-۹- اختلاف ساختار بتن سبکدانه و معمولی در سطح میانه نگر

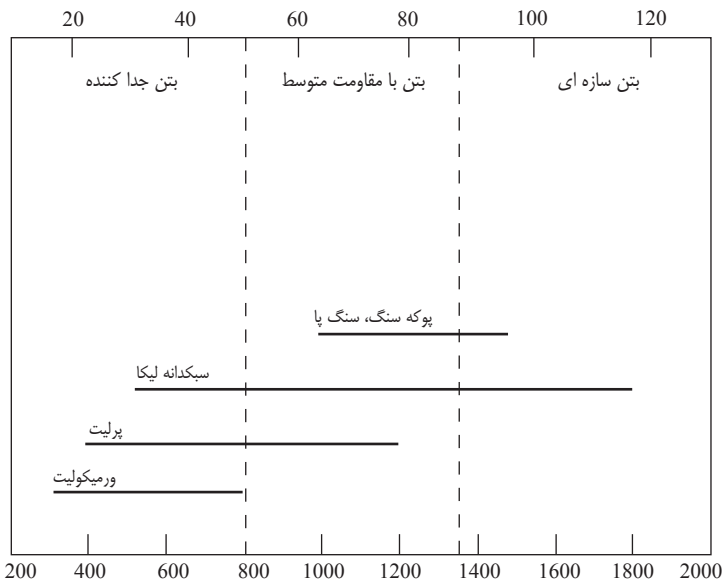
ساده‌ترین روش ممکن برای مدل کردن بتن سخت شده، در نظر گرفتن مصالح به صورت مرکب دو فازی مانند فاز خمیری (ماتریس) و فاز ذرات (سنگدانه) می‌باشد. خواص مکانیکی مصالح تحت تأثیر خواص هر فاز و اندر کنش بین فازها می‌باشد.

معمولاً بتن سبکدانه شامل سبکدانه و سنگدانه معمولی است که از نظر خواص متفاوتند. در این حالت مدل دو فازی را می‌توان اصلاح نمود و ماسه معمولی را در فاز خمیر سیمان منظور کرد یعنی یک فاز ملات و یک فاز سبکدانه بدست می‌آید. به طور کلی سنگدانه معمولی مقاومت فشاری، مقاومت کششی و مدول الاستیسیته بیشتری را نسبت به خمیر سیمان دارا است. این امر بر توزیع تنش اثر می‌گذارد و محل ترک‌های اولیه را مشخص می‌کند و بنابر این توسعه گسیختگی و شکست بتن را تعیین می‌نماید. در وهله اول، سنگدانه معمولی به خاطر داشتن مدول الاستیسیته بیشتر، تنش بیشتری را جذب می‌کند. اختلاف در صلبیت، موجب ایجاد تنش کششی عرضی در لایه مرزی خمیر سیمان و سنگدانه می‌گردد. اختلاف موجود در ضریب پواسون می‌تواند تنش کششی عرضی را افزایش دهد و حتی تیزگوشگی سنگدانه‌ها تمرکز تنش کششی موضعی را باعث می‌شود.

با این وجود شباهت بیشتر مدول الاستیسیته فاز سبکدانه و فاز ملات باعث توزیع یکنواخت تر تنش در بتن سبکدانه می‌شود. با افزایش بارگذاری، ترکها عمدتاً از سبکدانه‌ها آغاز شده و گسترش می‌یابند. این امر برخلاف نحوه شروع ترک در بتن معمولی می‌باشد که عمدتاً از فاز لایه مرزی آغاز می‌شود. دلیل این امر ضعیف بودن

نسـبی فاز سـبکدانه در مقایسه با فازهای لایه مرزی و ملات در بتن سبکدانه است. بنابراین برای توجیه برخی از پدیده‌های مشـاهده شـده در بتن سبک که ممکن است متفاوت با بتن معمولی باشد توجه به ریز ساختار بتن سبک و تفاوت آن با بتن معمولی ضروری است.

نمـودار ۲-۱۲ حـدود چگالی بتن های نمونه را که با انواع مختلف سـنگ دانه ها سـاخته می شـوند نشـان می‌دهد.



نمودار ۲-۱۲- حدود چگالی بتن‌های سبکدانه

بتن های سـبک ونیمه سـبک لیکا از نوع بتن سبکدانه بوده وکاربرد های گسـترده ای درشیب بندی، پوشش کف، سقف، پر کردن فضاهای خالی، تولید بلوک های ساختمانی غیر باربر و عایق، قطعات پیش ساخته و نظایر آن دارند. بتن دانه سـبک لیکا به دلیل داشـتن دانه های لیکا دارای ویژگی های مهمی نظیر وزن کم، رسانایی حرارتی پایین، افت صوتی، مقاوت در برابر آتش ونظایر آن می باشد. بدیهی است مقادیر هر یک از این ویژگی‌ها بستگی مستقیم به طرح اختلاط دارد که بر اساس کاربرد مورد نظرتهیه می شود.

۲-۴- بتن لیکا:

۲-۴-۱- وزن فضایی

وزن فضایی بتن لیکا به دو عامل طرح اختلاط ونوع دانه مصرفی بستگی دارد. گاهی برای دستیابی به مقاومت بیشتر با عیار سیمان ثابت از دانه های سنگین تر ومقاوم تر استفاده می شود.این دانه ها دارای وزن فضایی، مقاومت و مدول تغییر شکل بالاتری هستند و بنابراین سبب افزایش این ویژگیها دربتن حال می گردند.

جدول ۲-۱۱- مقایسه ویژگی‌های بتن دانه سبک

دانه سبک با مقاومت و وزن فضایی زیاد	دانه سبک با مقاومت و وزن فضایی کم
سیمان لازم معادل بتن معمولی است.	سیمان بیشتری لازم است.
وزن فضایی زیادتر است.	وزن فضایی کمتر است.
روند افزایش مقاومت مشابه بتن معمولی است.	روند افزایش مقاومت در روزهای اول سریعتر است.
مدول کشسان زیادتر، ولی از بتن معمولی کمتر است.	مدول کشسان کمتر است.

افزودن سنگ دانه های طبیعی نیز می تواندسبب افزایش وزن بتن گردد. در این حالت بتن را نیمه سبک می‌نامند. نتایج آزمایش ها نشان داده است که با کاربرد دانه های متفاوت لیکا با وزن فضایی حدود ۳۲۰ تا ۷۰۰ کیلو گرم در متر مکعب (با یا بدون ماسه) بتن هایی با وزن فضایی حدود۵۵۰ تا ۱۸۰۰ کیلو گرم برمتر مکعب به دست می آیند. در جدول۲-۱۱ تاثیر کاربرد دانه های سنگین تر و مقاوم تر، برویژگی های بتن نشان داده شده است. همچنین می توان با استفاده از سبکدانه لیکا و در نظر گرفتن طرحهای اختلاط متفاوت تمامی انواع بتن سبک جدا کننده غیر سازه ای، نیمه سازه ای و سازه ای را تولید نمود.تولید انواع بتن سبک با روشهای سبکسازی دیگر دارای محدودیتهای گوناگونی می باشد.

۲-۴-۲- مقاومت های مکانیکی

الف - مقاومت فشاری:

همانگونه که اشاره شد عموماً با افزایش وزن فضایی سنگدانه های سبک و یا کاربرد سنگدانه های طبیعی مقاومت ومدول تغییر شکل سنگدانه ها و نیز وزن فضایی و مقاومت بتن خاصل افزایش می‌یابد. در بتن معمولی به دلیل مقاومت کمتر از ملات سیمان نسبت به سنگدانه ها مقاومت فشاری بیشتر به مقاومت ملات بستگی دارد اما در بتن های سبک مقاومت ملات سیمان اغلب بیشتر از مقاومت دانه های سبک است، بنابراین مقاومت

بتن بیشــتر به مقاومت دانه ها بســتگی خواهد داشــت. بنابراین مقاومت ملات از طریق افزایش مقدار سیمان و یا کاربرد افزودنی های بتن تنها تا حد مشــخصی موثر اســت.تنها چنانچه از دانه های سبک مقاوم تر(سبکدانه سازه‌ای) استفاده شود، می توان با افزایش مقاومت ملات سیمان، مقاومت بتن حاصل را افزایش داد.
وزن فضایی و مقاومت فشاری بتن معیارقابل قبولی برای طبقه بندی انواع بتن های دانه سبک است. بتن‌های ســبکدانه مصرفی در ســاخت اجــزای عایق و بلوک های باربــر و غیر باربرمعمــولا دارای وزن فضایی کمتراز ۱۲۰۰ کیلوگرم برســانتی مترمکعب هســتند. با اســتفاده از سبکدانه سازه ای و افزودن ســنگدانه طبیعی بویژه ریزدانــه می‌توان بتن‌های مقاوم‌تری با وزن فضایی تا حــدود ۱۷۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب و مقاومت تا حدود ۴۰۰ کیلوگرم بر ســانتی‌متر مربع ســاخت. چنانچه از دانه‌های سبک مقاوم‌تر استفاده شود، می‌توان با استفاده از افزودنی‌های بتن به بتنی با مقاومت بالا(بیش از ۴۰۰ کیلوگرم بر ســانتی‌متر مربع) با وزن فضایی حدود ۱۸۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب دست یافت.

جدول ۲-۱۲- حدود وزن فضایی و مقاومت انواع بتن سبکدانه لیکا

نوع بتن و مصالح آن	حدود وزن فضایی kg/m^3	حدود مقاومت فشاری kg/cm^2
بتن کم مایه لیکا بدون ماسه	۸۰۰–۱۲۰۰	کمتر از ۱۵۰
بتن پرمایه لیکا با ماسه طبیعی	۱۱۰۰–۱۷۰۰	۱۵۰–۴۰۰
بتن پرمایه لیکا با ماسه طبیعی و افزودنی روان کننده	۱۴۰۰–۱۸۰۰	۱۸۰–۲۵۰
بتن با لیکای سازه ای و افزودنی فوق روان‌کننده و دوده سیلیسی با ماسه طبیعی	۱۷۰۰–۱۹۰۰	بیش از ۳۵۰

تاثیر شکل و ابعاد نمونه‌های بتن لیکا بر مقاومت فشاری آن مانند بتن معمولی است. این امر بدلیل تاثیر تغییرات سطح موثر در بار گذاری نمونه می باشد.جدول ۲-۱۳ نسبت‌های مقاومت را در نمونه‌های مختلف نشان می‌دهد. این امر بدلیل تاثیر تفاوت سطح موثر در بارگذاری نمونه می باشد.

جدول ۲-۱۳- نسبت مقاومت نمونه های مختلف به نمونه مکعبی ۲۰*۲۰*۲۰ سانتی‌متر

نسبت مقاومت فشاری	نوع و ابعاد نمونه
۰/۸–۰/۸۵	استوانه با قطر ۱۵ و ارتفاع ۳۰ سانتی‌مترمکعب
۱/۰۰–۱/۱۰	۱۵*۱۵*۱۵ سانتی‌متر

ب- مقاومت کششی:

مقاومت کششی بتن سبکدانه را می‌توان با آزمایش شکافتن ارزیابی نمود. تغییرات مقاومت کششی شکافتن در بتن های سبک بیش از بتن های معمولی است و میانگین آن حداکثر تا ۳۰ درصد کمتر از همان مقاومت در بتن های معمولی با مقاومت فشاری یکسان است. استانداردهای اروپایی روابط زیر را برای تخمین مقاومت کششی بتن های سبک توصیه می‌نماید:

$$f_{ct} = 0.23\sqrt[3]{f_{ct}^2}$$

$$f_{ct} = 0.375(0.3 + 0.7\frac{P_{1c}}{P_{oc}})\sqrt{f_{cu}}$$

که: f_{ct} مقاومت کششی شکافتگی بر حسب N/mm^2

f_{cu} مقاومت فشاری نمونه مکعبی بر حسب N/mm^2

P_{lc} وزن فضایی نمونه خشک شده در هوا و

P_{oc} وزن فضایی بتن معمولی خشک شده در هوا می باشد.

آزمایش های انجام شده روی بتن های لیکا برای مقاومت کششی در خمش نشان داده است که این مقاومت حدود ۲۰تا ۲۵ درصد مقاومت فشاری آن است:

$$M.R. = k\sqrt{f_c}$$

در این رابطه ضریب k برای بتن لیکا بین ۲/۶۲ تا ۳/۵۷ و برای بتن معمولی ۱/۶ تا ۲/۷ است.

پ-پیوستگی آرماتور به بتن:

از آنجا که مقاومت دانه‌های سبک در برابر تنش های متمرکز نسبت به دانه های معمولی کمتر است، بتن‌های دانه سبک در تنش های کمتری نسبت به بتن های معمولی در مجاورت آج آماتور، گسیخته و خرد می شوند. از سوی دیگر به دلیل آنکه مقاومت ملات ماسه سیمان پرکننده در بتن، بیشترین تاثیر را بر پیوستگی آرماتور ساده به بتن دارد، با افزودن ماسه طبیعی به مخلوط بتن دانه سبک، مقدار پیوستگی افزایش می‌یابد.

آزمایش‌های انجام شده با نمونه‌های بتن لیکا نشان داده است مقاومت پیوستگی آرماتور به بتن لیکا در حدود ۶۰ درصد همان مقاومت برای بتن معمولی با همان عیار سیمان است. بنابراین طول پیوستگی آرماتور باید بر این اساس اصلاح شود. استاندارد آمریکایی بتن، ۱/۳۳ را برای افزایش طول پیوستگی توصیه نموده است.

۲-۴-۳- تغییر شکل بتن

الف-مدول کشسان:

مدول کشسان بتن لیکا به نوع دانه لیکای مصرفی، مقاومت فشاری و وزن فضایی آن بستگی دارد و مقدار آن می‌تواند بین ۵۱۰۰۰ تا ۲۴۵۰۰۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع تغییر نماید. رابطه پیشنهادی استاندارد آمریکایی بتن، برای مدول کشسان بتن معمولی و نیمه سبک به صورت زیر است:

$$E_c = W_C^{1/5} \times 0/137\sqrt{f_c}$$

f_c : مقاومت فشاری مشخصه بتن

W_c : وزن فضایی بتن (kg/m^3)

و E_c مدول کشسان بتن (kg/cm^2) است.

این رابطه انطباق بسیار خوبی با نتایج آزمایش های بتن لیکا دارد. مدول کشسان دینامیکی بتن لیکا بین ۳۲ تا ۶۸ درصد بتن معمولی با مقاومت فشاری یکسان، معادل $۱/۳۹ \times ۱۰^۵$ تا $۲/۹۵ \times ۱۰^۵$ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع، گزارش شده است. افزایش ماسه سبب افزایش مدول کشسان می‌گردد.

ب-تغییر طول:

مقدار تغییر طول بتن لیکا بستگی به ویژگی‌های خمیر سیمان و دانه‌های مصرفی و نیز حجم اشغال شده با دانه‌ها دارد. تغییرات تنش- کرنش در بتن لیکا به ویژه هنگامی که با ماسه همراه است، همانند بتن معمولی است. بیشینه کرنش فشاری بتن لیکا بین ۰/۰۰۲ تا ۰/۰۰۳۵ گزارش شده است.

پ- خزش(creep) :

به طور کلی خزش نتیجه تغییر شکل خمیر سخت شده سیمان تحت اثر نیروی دائمی است و مقدار آن با افزایش مقدار خمیر سیمان زیاد می‌شود. بنابراین هرگاه در بتن سبک به دلیل اندازه، مقاومت، شکل و جنس دانه‌ها نیاز به خمیر سیمان بیشتری باشد، خزش بتن حاصل نیز افزایش می‌یابد.

اگر خزش را به دو بخش تغییر شکل کشسان ثانوی و برگشت‌پذیر و تغییر شکل دائمی غیر قابل برگشت تفکیک کنیم، مشاهده خواهیم کرد که نسبت بخش اول به بخش دوم در بتن معمولی ۰/۴ و در بتن سبک با دانه های با مقاومت متوسط تا زیاد بین ۰/۲ تا ۰/۳ است.

مقادیر گزارش شده برای وارفتگی بتن لیکا بسیار متغیر است، استاندارد اروپایی محدوده وارفتگی بتن‌های سبک را بین $۶/۵ \times ۱۰^{-۵}$ تا ۹×۱۰^{-۵} نیوتن بر میلی‌متر مربع به صورت کرنش وارفتگی نسبت به واحد تنش مشخص می‌نماید.

ت- جمع شدگی (shrinkage):

مقدار جمع شـدگی به مقدار خمیر سـیمان و کیفیت آن و نیز نوع دانه مصرفی بسـتگی دارد، دانه‌ها بر حسـب سـختی و مدول تغییر شـکل از جمع شـدن یا جمع شـدن خمیر سـیمان جلوگیری می‌کنند، چنانچه به دلیل ویژگی‌های دانه، نیاز به خمیر سـیمان بیشـتری باشد، مقدار جمع شـدن افزایش می‌یابد. اما برای مقدار خمیر سیمان مساوی، جمع شدگی بتن سبکدانه و معمول یکسان است.

از آنجا که مدول کشسان بتن سبکدانه کمتر از بتن معمولی است و با وجود آنکه مقدار جمع شدگی در این بتن بیشـتر از بتن معمولی اسـت، تنش‌های حاصل از جلوگیری از جمع شـدگی برای هر دو نوع بتن یکسان است. نتایج آزمایش‌ها، آبرفتگی بتن لیکا با عیار سـیمان $300\ kg/m^3$ را در حدود ۰/۴۹ تا ۰/۶۵ مم بر متر ارزیابی می‌کنند. برای بتن با عیار سیمان $650\ kg/m^3$ مقدار آبرفتگی به ۱/۲ مم بر متر می‌رسد.

میزان جمع شدگی اندک و در حد استاندارد بتن سبکدانه لیکا مزیت بسیار پر اهمیتی در استفاده از این نوع بتن نسبت به سایر بتن‌های سبک من جمله فوم بتن‌ها را ایجاد می‌نماید.

ث-انبساط حرارتی:

ضریب انبساط حرارتی بتن به عوامل متعددی نظیر مدول تغییر شکل دانه‌ها، نسبت حجمی دانه به خمیر سیمان و رطوبت و حرارت بتن بستگی دارد. ضریب انبساط حرارتی دانه‌های لیکا حدود ۵۰ تا ۷۰ درصد کمتر از سنگ دانه‌های طبیعی و نزدیک به k ۱۲×۱۰^{-۶} است.

بـه دلیل مدول تغییر شـکل کم دانه‌های سـبک، این دانه‌ها از تغییر شـکل حرارتی خمیر سـیمان جلوگیری نمی‌کنند،اما در هر حال ضریب انبسـاط حرارتی بتن سـبکدانه کمتر از بتن معمولی می باشـد. ضریب انبساط حرارتی خمیر سـیمان سـخت شـده بر حسـب رطوبت بین ۱۰×۱۰^{-۶} تا ۲۰×۱۰^{-۶} بر درجه کلوین می باشد و برای بتن‌های سبک بین تا بر درجه کلوین است و این در حالی است که این مقدار برای بتنهای معمولی بین ۹×۱۰^{-۶} تا ۱۳×۱۰^{-۶} بر درجه کلوین می باشد.

۲-۴-۴- ویژگی‌های موثر بر دوام

الف- پایداری شیمیایی:

دوام بتن در برابر مواد شـیمیایی به دو عامل کیفیت و داوم خمیر سـیمان و دانه‌ها بسـتگی دارد، دانه‌های لیکا از نظر شـیمیایی خنثی و پایدارند، بنابراین کمیت و کیفیت خمیر سـیمان نقش اساسی در دوام بتن سبک دارد. کاربرد دانه‌های سبک از سویی سبب نفوذپذیری بیشتر بتن می‌شود و از سوی دیگر مقدار خمیر سیمان متراکم‌تر و قوی‌تر را نسـبت به بتن معمولی – به ازای مقاومت یکسـان طلب می‌نماید. این دو عامل اثرات متضادی بر پایداری شیمیایی بتن دارند. بنابراین نمی‌توان تغییرات مشخصی در پایداری شیمیایی بتن سبک، ناشی از کاربرد دانه‌های سبک انتظار داشت.

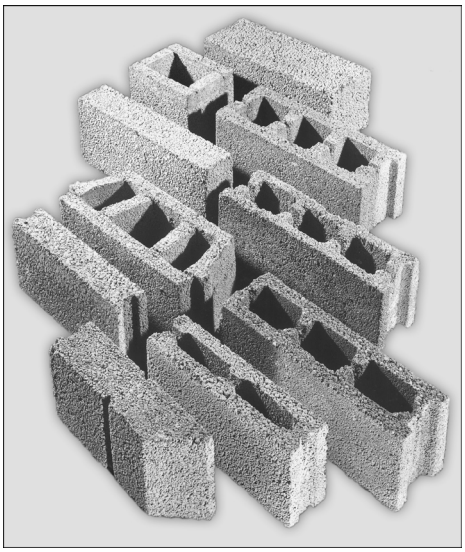
ب- مقاومت در برابر یخ زدن و ذوب شدن:

مقاومت در برابر چرخه‌های حرارتی بسـتگی مستقیم به تراوایی بتن دارد. آزمایش‌های انجام شده نشان داده‌اند که بتن‌های لیکا تا حدود ۲۵ چرخه بین $^{\circ}c$ ۱۵- تا $^{\circ}c$ ۲۲ را به خوبی تحمل می‌نمایند.

۲-۴-۵- سایر ویژگی‌ها

همانگونه که در بخش ۲-۱ بیان شـد، کاربرد دانه‌های سبک سبب بهبود ویژگی‌هایی نظیر جلوگیری از انتقال حـرارت، افت صوتی، مقاومت در برابر آتش و نظایر آن می‌گـردد. چگونگی این اثرات به خوبی در بخش ۲-۱ شرح داده شده است.

۲-۵- بلوک لیکا

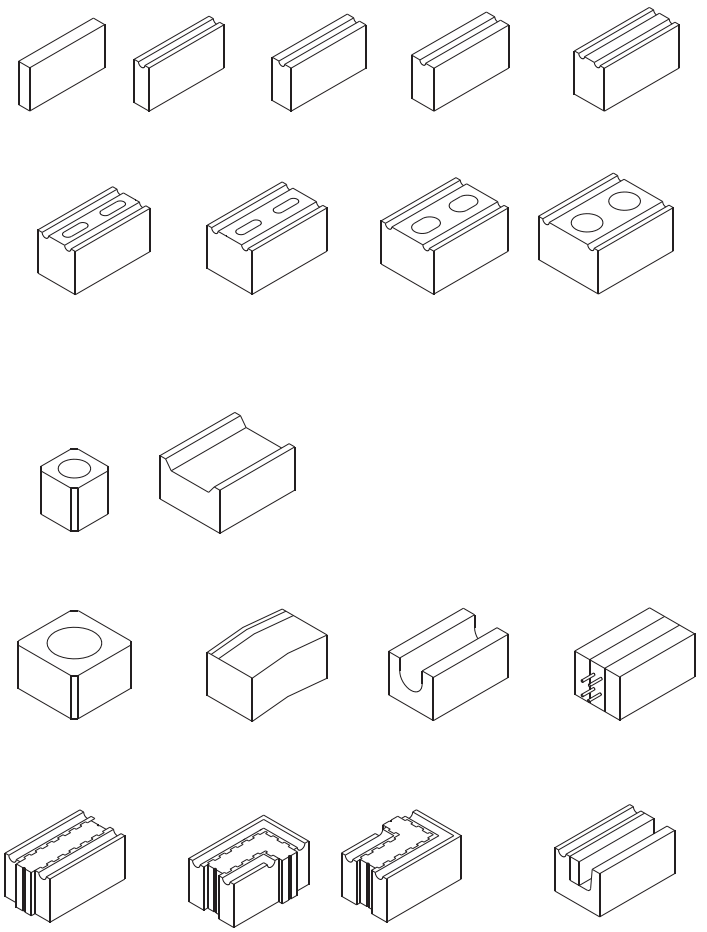


شکل ۲-۱۰- نمونه هایی ازبلوک تو پر و تو خالی لیکا

۲-۵-۱- کلیات

بلوک‌های لیکا در واقع نوعی قطعه پیش سـاخته بتنی با عیار سـیمان مناسب جهت اجزای غیر باربر هستند که طرح اختلاط بتن آن‌ها بر اسـاس مقاومت مورد نیاز به دسـت می‌آید، برای حفظ سـبکی این قطعات، ریزدانه طبیعی از بتن حذف می‌شود و محصول نهایی دارای تخلخل بالاتری نسبت به بتن نیمه سبک است وزن فضایی بلوک‌های بتنی دانه سبک اغلب کمتر از kg/m^3 ۱۱۰۰ است، مقاومت این بلوک‌ها طبق آیین نامه ASTM برای بلوک های تو خالی حداقل kg/cm^2 ۲۰ و برای بلوک های تو پر حداقل kg/cm^2 ۴۰ است و در صورت نیاز، با طرح اختلاط مناسب می‌توان به مقاومت‌هایی تا kg/cm^2 ۱۰۰ نیز رسید.

اغلب ویژگی‌های بتن لیکا که در بخش ۲-۳ بررسی گردید، برای این بلوک‌ها قابل تعمیم است، نکته قابل ذکر، اهمیت بیشتر ویژگی‌های حرارتی و صوتی این بلوک‌ها در مقایسه با بتن‌های لیکا است.



بلوک‌ها را می‌توان با معیارهای گوناگونی گروه‌بندی نمود، براساس وزن، می‌توان بلوک‌ها را به سه گروه سبک، نیمه سبک و معمولی تقسیم نمود، بلوک‌های سبک از مصالحی با چگالی کمتر از kg/m^3 ۱۶۸۰ نظیر بتن‌های دارای رس و شیل منبسط شده، پوکه سنگ معدنی پامیس و سنگ پا(سکوریا)ساخته می‌شوند. بلوک‌های نیمه سبک از مصالحی با چگالی kg/m^3 ۱۶۸۰ تا kg/m^3 ۲۰۰۰ ساخته می‌شوند. این مصالح حاصل اختلاط دانه‌های سبک فوق با سنگ دانه‌های معمولی به ویژه ماسه است. مصالح بلوک‌های معمولی دارای چگالی بیش از kg/m^3 ۲۰۰۰ است نسبت کاهش وزن به ازای مقاومت یکسان به بلوک‌های سبک به معمولی ۲۰تا ۴۵ درصد برآورد می‌شود. ویژگی‌های برخی بلوک‌های بتنی دانه سبک در مقایسه با بلوک‌های معمولی در جدول ۲-۱۴ آمده است.

جدول ۲-۱۴- ویژگی‌های برخی بلوک‌های بتنی دانه سبک

سنگ دانه (۰ تا ۹/۵۳ مم		وزن واحد kg ۴۰*۲۰*۲۰ سانتی متری	مقاومت فشاری (سطح ناخالص) kg/cm^2	جذب آب بتن kg/m^3	ضریب انبساط حرارتی mm/mm/c	ضریب انتقال حرارت λ w/mc
نوع	چگالی خشک kg/m^3					
شن و ماسه	۲۰۸۳-۲۳۲۳	۱۸/۱	۸۴-۱۲۶	۱۱۲-۱۶۰	$۹/۰\times۱۰^{-۶}$	۱/۷
سنگ آهک سرباره‌ای	۱۹۲۲-۲۲۴۳	۱۸/۱	۷۷-۱۲۶	۱۲۸-۱۹۲	$۹/۰\times۱۰^{-۶}$	۱/۳
سرباره آهنگدازی	۱۶۰۲-۲۰۰۳	۱۵/۹	۷۷-۱۰۵	۱۴۴-۲۰۸	$۸/۳\times۱۰^{-۶}$	۱/۱۵
سرباره منبسط شده آهنگدازی	۱۲۸۲-۱۶۸۲	۱۲/۷	۴۹-۸۴	۱۹۲-۲۵۶	$۷/۲\times۱۰^{-۶}$	۰/۵۲
خاکستر بادی(سیلندر)	۱۲۸۲-۱۶۸۲	۱۲/۷	۴۹-۷۰	۱۹۲-۲۸۸	$۴/۵\times۱۰^{-۶}$	۰/۴۴
خاکسترآتش‌فشانی(اسکوریا) با وزن ظاهری دانه ها حدود ۶۰۰ kg/m^3	۱۲۰۲-۱۶۰۲	۱۲/۷	۴۹-۸۴	۱۹۲-۲۵۶	$۷/۲\times۱۰^{-۶}$	۰/۵۵
رس منبسط شده (لیکا)	۱۰۰۰-۱۱۰۰۰	۹/۶	۴۵-۵۵	۱۳۰-۱۵۰	$۸/۱\times۱۰^{-۶}$	۰/۲۳

بر اساس استاندارد شماره ۷۷۸۲ ایران (بلوک‌های سیمانی سبک غیر باربر- ویژگی‌ها) انواع بلوک‌ها را می‌توان بر اساس وزن مخصوص ظاهری به چهار رده زیر تقسیم نمود:

۱- بلوک‌های سیمانی سبک رده یک: بلوک‌هایی هستند که وزن مخصوص ظاهری آن‌ها پس از خشک شدن در گرمخانه در محدوده ۷۰۰-۵۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب باشد. بلوک‌های سبک توخالی ته پر لیکا با داشتن چگالی ظاهری پایین‌تر از ۷۰۰ kg/m^3 جزء این رده از بلوک‌ها قرار می‌گیرند. بعنوان مثال بلوک متداول ۲۰*۱۹*۴۹ توخالی ته پر لیکا که عموماً برای اجرای دیوارهای پیرامونی کاربرد دارد با وزن تقریبی ۱۱ کیلوگرم دارای چگالی ظاهری ۵۵۰ kg/m^3 می‌باشد.

۲- بلوک‌های سیمانی سبک رده دو: بلوک‌هایی هستند که وزن مخصوص ظاهری آن‌ها پس از خشک شدن در گرمخانه در محدودهٔ ۱۰۰۰-۷۰۰ کیلوگرم برمتر مکعب می‌باشد. بلوک‌های تو پر لیکا با داشتن چگالی ظاهری پایین‌تر از ۱۰۰۰ kg/m^3 جزء این رده از بلوک‌ها قرار می‌گیرند. بعنوان مثال بلوک با ابعاد ۲۰*۱۹*۴۹ توپر لیکا که جهت دیوار چینی کاربری‌های صنعتی استفاده می‌گردد با وزن تقریبی ۱۶ کیلوگرم دارای چگالی ظاهری ۸۰۰ kg/m^3 می‌باشد.

۳- بلوک‌های سیمانی سبک رده سه: بلوک‌هایی هستند که وزن مخصوص ظاهری آن‌ها پس از خشک شدن در گرمخانه در محدودهٔ ۱۷۰۰-۱۰۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب باشد. اکثر بلوک‌های ساخته شده با پوکه‌های معدنی در این رده از دسته‌بندی قرار می‌گیرند.

۴- بلوک‌های سیمانی سبک رده چهار: بلوک‌هایی هستند که وزن مخصوص ظاهری آن‌ها پس از خشک شدن

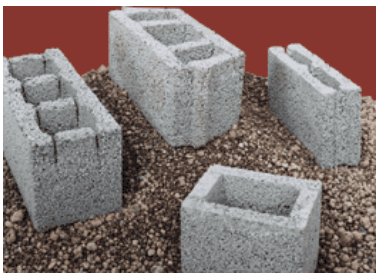
در گرمخانه در محدوده ۲۰۰۰–۱۷۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب باشد.
یادآوری: بلوک‌های سیمانی سبک رده چهارم جز بلوک‌های نیمه سبک محسوب می‌شوند.

رده‌بندی بلوک‌های سیمانی از این لحاظ اهمیت می‌یابد که آزمایشات و کنترل مشخصات هر بلوک جهت بررسی آن با الزامات استاندارد بر اساس قرارگیری آن در یکی از رده‌های تعیین شده صورت می‌پذیرد. به عنوان مثال حداقل مقاومت فشاری برای یک بلوک منفرد در رده‌بندی شماره ۱ برابر با ۲۰ کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع و برای یک بلوک منفرد در رده‌بندی شماره ۲ برابر با ۴۰ کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع می‌باشد.

لازم به ذکر است که طبق استاندارد ۷۰ شماره ایران و مشخصات فنی عمومی کارهای ساختمانی (نشریه ۵۵) سازمان مدیریت ضخامت حداقل جداره بلوک‌های سیمانی ۳۰ میلی‌متر می‌باشد. بنابراین بلوک‌های با ضخامت کمتر از ۳ سانتی‌متر غیر استاندارد بوده و نمی‌توان آن‌ها را در یکی از رده‌بندی‌های مذکور قرار داد.
بلوک‌های لیکا در دو شکل کلی توپر و توخالی برای کاربرد در دیوار و سقف تولید می‌گردند. ضخامت جداره بلوک‌های توخالی برای بهره‌گیری بیشتر از ویژگی‌های عایق کاری آن‌ها بیش از بلوک‌های سیمانی معمولی است(حدود ۳۰ تا ۳۵ مم) که این افزایش به خاطر وزن بسیار کم بتن مصرفی اثر چندانی بر وزن نهایی بلوک ندارد.
از سوی دیگر افزایش ضخامت جداره این امکان را فراهم می‌کند تا از دانه‌هایی با ابعاد بزرگتر استفاده گردد. افزایش اندازه دانه موجب کاهش سطح مخصوص و در نتیجه کاهش مقدار سیمان لازم می‌گردد. بلوک‌ها از نظر کاربرد به انواع گوناگون دیواری، سقفی، تیغه‌ای، نما، کف و جز آن تقسیم می‌شوند. همچنین از نظر شکل به دو نوع توپر و توخالی و از نظر مقاومت به دو نوع باربر و غیر باربر تقسیم می‌شوند. حدود و مرزهای این طبقه‌بندی‌ها مطابق مقررات ملی ساختمان ایران، تعیین می شود. بلوک‌هایی که سطح پر آنها در مقطعی به موازات سطح باربر کمتر از ۰/۷۵ (استاندارد ایران ۵۰٪) باشد، توخالی تلقی می‌گردند. وزن کم این بلوک‌ها سبب می‌گردد تا بتوان بلوک‌هایی با ابعاد بزرگتر تولید نمود، شواهد تجربی نشان می‌دهد که بلوک‌هایی با طول ۵۰ تا ۶۰ سانتی‌متر و با وزن ۱۰ تا ۱۲ کیلوگرم می‌توانند توسط نیروی انسانی براحتی حمل و نصب شوند. رعایت این حدود و سعی در تولید بلوک‌هایی با ابعاد فوق و با وزن کمتر (مثلاً از طریق کاهش وزن فضایی بتن مصرفی یا تولید بلوک سوراخ‌دار)سبب افزایش سرعت و سهولت اجرا می‌گردد.

افزایش ابعاد بلوک مستلزم تغییراتی در روش کاری است. افزایش طول، امکان کار با بلوک در فضاهای کوچک و در محل‌های تقاطع دیوارها را محدود می‌کند. از آنجا که برش یا شکستن بلوک به ابعاد کوچکتر سبب افزایش دور ریز و اتلاف زمان می‌گردد، تولید بلوک‌هایی با ابعاد کوچکتر به نسبت به ضرایب معین(مثلاً ابعاد ۲۰ و ۳۰ در مقایسه با ۵۰ و ۶۰) بسیار مفید خواهد بود.در بسیاری از موارد اجرایی طول دیوار به عدد رندی ختم نمی شود ونیاز به قطعه ای با اندازه غیر متعارف فرضاً به طول ۱۷ سانتی متر می باشد. اکثرقطعات معمول مورد استفاده در

دیوار چینی مانند سفال و آجر در هنگام بریده شدن و یا ضربه خوردن بطور کلی خرد شده و یا ترک خوردگی در کل قطعه امداد می یابد. بلوک لیکا بدلیل داشتن ضریب کشسان پایین به راحتی با فرز بریده شده و می توان به هر اندازهای آنرا برید.این ویژگی باعث افزایش کارپذیری فیزیکی بلوک لیکا در انواع عملیاتهای فیزیکی نظیر برش، میخ کوبی،سوراخکاری، شیار زنی مسیر کابلها و لوله های تاسیسات می گردد. کاربرد بلوک‌های توخالی در ابعاد بالا برای کاهش وزن، سبب افزایش دور ریز م لات می‌گردد. تولید بلوک‌های ته‌پر می‌تواند نقش بسیار مهمی در کاهش این میزان داشته باشد



شکل ۲-۱۱- نمونه‌هایی از بلوک‌های توپر و توخالی لیکا

۲-۵-۲- وزن و مقاومت

وزن فضایی بتن بلوک‌های لیکا اغلب بین ۸۰۰ تا ۱۰۰۰ کیلوگرم در متر مکعب است وزن فضایی بتن بلوک‌های توخالی به دلیل ضخامت کم جدار و محدودیت اندازه دانه مصرفی و در نتیجه حداقل سیمان لازم، بیشتر از بلوک‌های توپر است. عیار سیمان برای بلوک‌های لیکا بین ۲۲۰ تا ۲۵۰ کیلوگرم در مترمکعب است. با توجه به حذف سنگدانه طبیعی و مقاومت کم دانه‌های لیکا نسبت به آنها، مصرف سیمان بیشتر تاثیر ناچیزی بر مقاومت دارد و اقتصادی نخواهد بود. مقاومت قابل دستیابی برای این عیار سیمان بین ۲۵ تا ۵۵ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع است. بدیهی است با تغییر طرح اختلاط می‌توان به مقاومت‌های پایین‌تر و بالاتر نیز رسید.

در سال‌های اخیر توسط برخی از افراد غیر متخصص این موضوع مطرح شده که مقاومت‌های مکانیکی برای بلوک‌های غیر بار ساختمانی اهمیت ندارد و با این توجیه بعضاً مبادرت به تولید و مصرف بلوک‌هایی با مقاومت بسیار پایین و خارج از استاندارد می‌نمایند. حال آن که در بعضی موارد دیوار ساخته شده با این نوع بلوک‌ها حتی توان تحمل بارهای مرده خود دیوار و نمای روی آن (سنگ نما) را نداشته و دیوار دچار آسیب و ترک‌خوردگی‌های جدی می‌شود. جدول شماره ۵ استاندارد ۷۷۸۲ ایران نشانگر حداقل مقاومت فشاری این قطعات با توجه به رده‌بندی وزن مخصوص ظاهری بلوک می‌باشد.

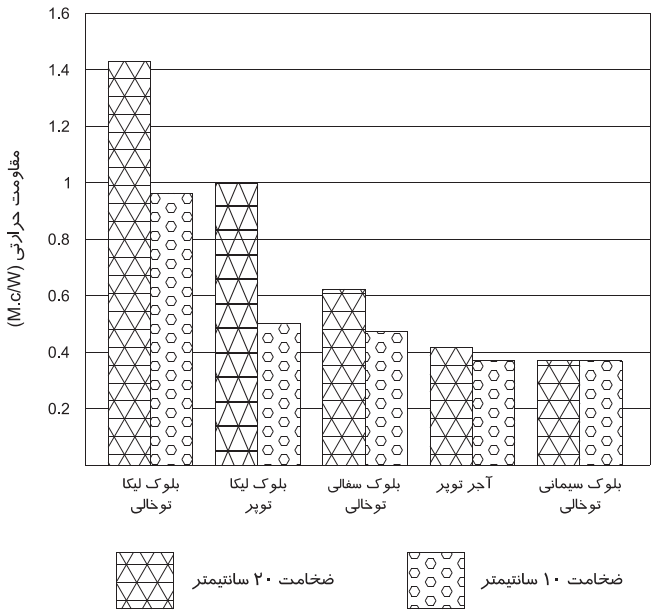
ردەبندی براساس وزن مخصوص ظاهری بر حسب کیلوگرم برمترمکعب	حداقل مقاومت فشاری بر حسب کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع	
	میانگین سه بلوک	بلوک منفرد
۵۰۰ تا ۷۰۰	۲۵	۲۰
۷۰۰ تا ۱۰۰۰	۵۰	۴۰
۱۰۰۰ تا ۱۷۰۰	۷۵	۶۰
۱۷۰۰ تا ۲۰۰۰	۱۰۰	۸۰

۲-۵-۳-رسانایی حرارتی

بر اســاس آزمایشــات مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن ،ضریب هدایت حرارتی بلوک‌های لیکا با وزن فضایی حدود kg/m^3 ۹۰۰-۱۰۰۰ نزدیک به w/mc ۰/ ۲ است بر این اساس می‌توان ضریب رسانایی و مقاومت حرارتی این بلوک‌ها را محاسبه و با سایر مصالح مقایسه نمود.

نمودار ۲-۱۳ نمونه‌ای از این مقایسه را نشان می دهد.

نمودار ۲-۱۳-مقایسه مقاومت حرارتی مصالح گوناگون



*** مقاومت حرارتی کلیه دیوار بدون در نظر گرفتن حرارتی لایه اندود آورده شده است.**

۲-۵-۴- افت صوتی (مقاومت صوتی)

افت صوتی بلوک‌های لیکا به عوامل متعددی نظیر وزن فضایی فضای خالی، اندود و نظایر آن بستگی دارد. این عوامل سـبب می‌گردند تا تنها از طریق آزمایش مستقیم بتوان مقدار دقیق افت صوتی را مشخص نمود. جدول ۲-۱۵ مقادیر افت صدای هوابرد را برای انواع مصالح گوناگون در مقایسه با نمونه‌ای از بلوک‌های دیواری لیکا نشان می‌دهد.

جدول ۲-۱۵-افت صدای هوابرد مصالح گوناگون

۱	دیوارآجری‌فشاری (دورو اندود)۱۲ سانتی‌متر	۲۰۵	۲۴۰	۲۷۵	۴۴	۴۶	۴۸
	دیوارآجری‌فشاری (دورو اندود)۱۵ سانتی‌متر	۲۴۵	۲۸۰	۳۱۵	۴۷	۴۹	۵۱
	دیوارآجری‌فشاری (دورو اندود)۱۸ سانتی‌متر	۲۹۰	۳۲۵	۳۶۰	۴۸	۵۰	۵۳
	دیوارآجری‌فشاری (دورو اندود)۲۵ سانتی‌متر	۳۵۰	۳۶۵	۴۲۰	۴۹	۵۱	۵۴
	دیوارآجری‌فشاری (دورو اندود)۱۲ سانتی‌متر	۲۵۰	۲۸۵	۳۲۰	۴۶	۴۸	۵۰
	دیوارآجری‌فشاری (دورو اندود)۱۵ سانتی‌متر	۳۰۵	۳۴۰	۳۷۵	۴۸	۵۰	۵۳
	دیوارآجری‌فشاری (دورو اندود)۲۰ سانتی‌متر	۳۴۵	۴۰۰	۴۵۵	۵۰	۵۲	۵۵
۲	دیوار بتنی ۱۲ سانتی‌متری	۳۶۵	۲۸۰	۲۹۵	۴۷	۴۹	۵۲
	دیوار بتنی ۱۵ سانتی‌متری	۳۳۰	۳۵۰	۳۷۰	۵۰	۵۲	۵۴
	دیوار بتنی ۱۸ سانتی‌متری	۴۴۰	۴۶۵	۴۹۰	۵۳	۵۶	۵۹
۳	دیوار گچی ۶ سانتی‌متری		۶۲			۳۲	
	دیوار گچی ۸ سانتی‌متری		۸۳			۳۵	
	دیوار گچی ۱۰ سانتی‌متری		۱۰۶			۳۸	
۴	دیوار بـا بلـوک تـو خـالی لیکـا (دو رو انـدود) بـا ضخامت ۱۰ سانتی متر		۱۲۱			۴۵	
	دیوار بـا بلـوک تـو خـالی لیکـا (دو رو انـدود) بـا ضخامت ۱۵ سانتی متر		۱۳۳			۴۶	
	دیوار بـا بلـوک تـو خـالی لیکـا (دو رو انـدود) بـا ضخامت ۲۰ سانتی متر		۱۶۰			۴۷	
	دیوار بتنی لیکا ۲۰ سانتی‌متری		۲۰۰			۵۲	

ماخذ: پیوست ۲ مبحث هیجدهم مقررات ملی ساختمان

براساس نتایج بدست آمده از اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی، صدابندی دیوار ساخته شده با بلوک لیکا با ضخامت ۱۵ و ۲۰ سـانتی‌متر و با ۷۵ سـانتی‌متر اندود از هر دو طرف ۴۶ و ۴۷ دسی‌بل می‌باشد که براساس مبحث ۱۸ مقررات ملی ساختمان این میزان تأمین کننده الزامات برای اکثر کاربردها می‌باشد.
تنها جهت عایق بندی دیوار بتن در واحد مسکونی مجاور، جهت افزایش میزان مقاومت صوتی، اندودکاری از هر دو طرف با ضخامت ۳ سانتی‌متر انجام گردد تا میزان مقاومت صوتی مورد نیاز (۵۰ دسی بل) تأمین گردد.

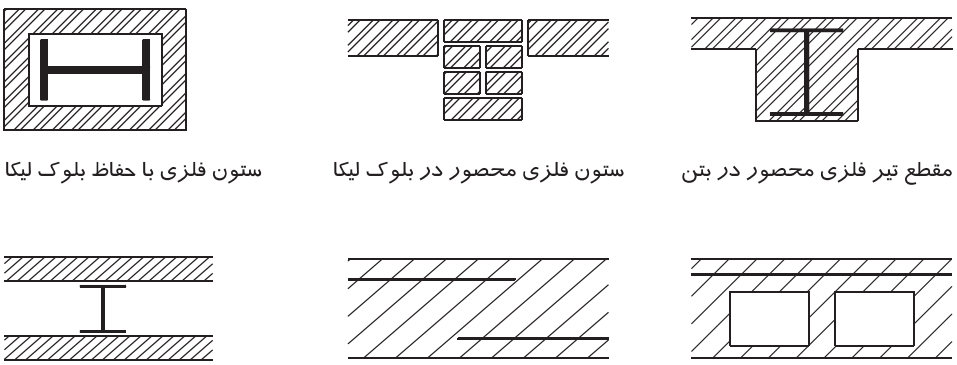
۲-۵-۵- مقاومت در برابر آتش

مقاومت بلوک‌های لیکا در برابر آتش بستگی مستقیم به ضخامت جداره‌های آن و در نتیجه وزن واحد سطح دارد. در جدول ۲-۱۶ این مقادیر با مصالح دیگر مقایسه شده‌اند.

جدول ۲-۱۶ مقایسه مقاومت برخی اجزای ساختمان در برابر آتش

اجزای با ۳۰ دقیقه مقاومت در برابر آتش	دیوار با بلوک دانه سبک به ضخامت حداقل ۵ س‌م دیوار سنگی، آجری یا بتنی به ضخامت حداقل ۶ س‌م کف بتنی به ضخامت حداقل ۸ س‌م
اجزای با ۶۰ دقیقه مقاومت در برابر آتش	دیوار با بلوک دانه سبک لیکا به ضخامت حداقل ۷ س‌م دیوار سنگی، آجری یا بتنی با ضخامت حداقل ۱۰ س‌م کف بتنی به ضخامت حداقل ۱۰ س‌م

همچنین برخی روش‌های عملی اجرایی محافظت ساختمان در برابر آتش در جدول ۲-۱۷ و شکل ۲-۸ به تفضیل آمده است.



شکل ۲-۱۲- برخی جزییات متداول در حفاظت عناصر سازه‌ای در برابر آتش برای ۱ تا ۴ ساعت مقاومت بر حسب ابعاد، اجزا و قطعات محافظ

جدول ۲-۱۷-روشهای اجرایی محافظت ساختمان در برابر آتش با استفاده از لیکا

گروه۱- نیم ساعت مقاومت در برابر آتش

۱-۱-نازک کاری‌ها

اجزای چوبی، سنگی، فلزی باید با توری سیمی و سپس با حداقل ۱/۵ سانتی‌متر اندود لیکا پوشش داده شود.

۱-۲- کف‌ها

۲/۵ سانتی‌متر ملات لیکا با سیمان یا گچ و یا ۵ سانتی‌متر دانه لیکا

۱-۳- دیوارها

بلوک با بتن دانه سبک لیکا به ضخامت حداقل ۵ سانتی‌متر

۱-۴- بام

حداقل ۵ سانتی‌متر بتن شب‌بندی لیکا(اجزای چوبی و فلزی باید روکش شوند)

۱-۵- پلکان‌ها

۱۰ سانتی‌متر بتن لیکا(مسلح یا غیر مسلح)و یا موزاییک لیکا(اجزای چوبی و فلزی باید روکش شوند)

گروه۲- یک و نیم‌ساعت مقاومت در برابر آتش

۲-۱- دیوارها

بلوک بتن دانه سبک و ملات ماسه سیمان با ضخامت حداقل ۱۰ سانتی‌متر

۲-۲- دودکش‌ها

دیواره ساخته شده از بلوک بتن دانه سبک لیکا و ملات ماسه سیمان با ضخامت حداقل ۵ سانتی‌متر

۲-۳- سقف‌های بتن مسلح

سقف بتن مسلح دانه سبک با ضخامت حداقل ۱۰ سانتی‌متر، سطح زیرین سقف باید با ملات ماسه سیمان زیرسازی شود. برای جلوگیری از ریزش روکش‌ها باید از توری سیمی استفاده شود.

۲-۴- سقف‌های (طاق ضربی)

ضخامت آجربابد حداقل ۱۰ سانتی‌متری باشد. علاوه بر آن یک لایه بتن پوشش با ضخامت حداقل ۱۳ سانتی‌متر مورد نیاز است روکش زیر سقف باید شامل دو لایه اندود سیمانی برای زیرسازی و ۱/۵ سانتی‌متر اندود آهک سیمان روی آن باشد.

۲-۵- سقف‌های تیرچه بلوک

ضخامت سقف باید حداقل ۱۰ سانتی‌متر باشد سطح زیرین مشابه سقف‌های روکش می‌گردد سطح فوقانی باید با ۳ سانتی‌متر بتن یا ملات لیکا و یا ۸ سانتی‌متر دانه لیکا پر شود.

۲-۶- سقف‌های مرکب(تیرفلزی و دال بتن سطح)

ضخامت کل سقف باید حداقل ۲۰ سانتی‌متر و ضخامت بتن حداقل ۸ سانتی‌متر باشد روکش مشابه سقف بتنی است فضای بین تیرچه باید دانه سبک لیکا پر شود.

۲-۷- ستون‌ها

ستون‌های بتن مسلح با ضخامت ۲۰ تا ۳۵ سانتی‌متر باید با ملات سیمانی و اندود آهک سیمان و لیکا به ضخامت ۱/۵ سانتی‌متر روکش شوند برای روکش باید از توری سیمی با ابعاد چشمه حداکثر ۱ تا ۱/۵ سانتی‌متر استفاده شود اطراف ستون‌های فلزی باید با بتن سبک لیکا با ضخامت حداقل ۶ سانتی‌متر پوشیده شود چنانچه داخل ستون خالی باشد باید حداکثر در هر ۴ متر آن را با مصالح مقاوم مسدود نمود.

۲-۸- پلکان

پلکان‌ها مشابه سقف با ضخامت حداقل ۱۰ سانتی‌متر مقاوم می‌گردند اجزای فلزی مشابه ستون‌ها خواهد بود.

گروه ۳-سه ساعت مقاومت در برابر آتش

۳-۱- ستون‌ها

ستون‌های بتن مسلح باید دارای بعد حداقل ۴۰ سانتی‌متر باشند و روکش گردند داخل ستون‌های فلزی باید کاملاً پر شود و اطراف آن با اندودهای سیمانی و آهکی لیکا پوشیده گردد.

۲-۶- فرآورده‌های لیکا

۲-۶-۱- ملات لیکا

جایگزینی ماسه با ریزدانه سبک لیکا در انواع ملات‌های متداول امکان‌پذیر است.این عمل علاوه بر کاستن وزن ملات، سبب افزایش کارآیی آن می‌گردد. همچنین کاربرد این دانه‌ها سبب بهبود ویژگی‌های حرارتی، صوتی و مقاومت در برابر آتش می‌گردد.

ملات خشک تهیه شده در مجموعه صنعتی لیکا از نوع ملات با پایه سیمانی بوده که از دانه های سبک لیکا تهیه شده که شامل ویژگی های زیر می‌باشد:

۱) سبکی، دارای وزنی برابر نصف ملات های رایج مورد استفاده در ساختمان
۲) عایق مناسب
۳) اطمینان از کیفیت محصول و همگنی ملات بدست آمده
۴) کارپذیری مناسب
۵) استفاده سریع و آسان در تمام مناطق
۶) ترکیب مناسب با بلوک های سبک
۷) فاقد مواد آلی و زیان آور
۸) مقاوم در برابر یخبندان
۹) افت اسلامپ بسیار کم و به حداقل رساندن ترک های ایجاد شده
۱۰) فراهم آوردن شرایط مناسب عمل آوری به دلیل داشتن تخلخل داخلی

توجیه اقتصادی استفاده از ملات لیکا

۱) جلوگیری از هدر رفتن و استفاده بیش از اندازه سیمان
۲) استفاده به اندازه و جلوگیری از پرت شدن ملات
۳) کاهش هزینه های سازه باربر به دلیل سبک سازی
۴) کاهش هزینه های انرژی مصرفی ساختمان به دلیل عایق سازی
۵) کاهش هزینه های کارگری
۶)حذف نیاز به نیروی متخصص ناظر
۷)امکان انتقال ملات اضافه در بسته بندی مناسب به سایر طبقات یا کارگاه های ساختمانی
۸) امکان مرجوع نمودن ملات اضافه به شرکت لیکا در صورت اعتبار تاریخ مصرف

موارد کاربرد

۱- استفاده در آجر و بلوک چینی، به عنوان چسباننده قطعات ساختمانی مانند انواع بلوک های سبک: یکی

از نقاط ضعف در سازه های ساخته شده با مصالح بنایی، ملات چسباننده می‌باشد. ملات های تولید شده با شیوه تولید سنتی در کارگاه ها، فاقد کیفیت بوده و از طرفی به عنوان پل حرارتی با حداقل پوشش ۱۰٪ از سطح کل ساختمان، شرایط نا مناسبی را به جهت هدردهی انرژی فراهم می‌آورد، در حالیکه با استفاده از ملات لیکا می‌توان علاوه بر داشتن ملاتی با ویژگی های مطلوب، از هدر رفتن انرژی در ساختمان جلوگیری نمود.

۲- به کارگیری به عنوان چسباننده کاشی، سرامیک، سنگ و سایر ملحقات ساختمانی چه در نمای داخلی و چه در نمای خارجِی: یکی از نقاط ضعف چسباننده های الحاقی به ساختمان، سنگین بودن این دسته از ملات ها می‌باشد.علاوه بر این ،پس از استفاده از ملات های سنتی جسمی‌سخت با قدرت تبادل حرارتی بالا در پشت قطعات تشکیل می‌شود در حالیکه استفاده از ملات لیکا علاوه بر کاهش وزن، به دلیل ایجاد غشای عایقی در پشت قطعات الحاقی به ویژه در کف و دیواره ها، مانع از هدر رفتن انرژی در ساختمان ها می‌گردد. امروزه برای افزایش کیفیت و سرعت اجراء تولید و کاربرد ملات پیش ساخته گسترش یافته است. این ملات‌ها به دو صورت خمیری و خشک عرضه می‌شوند و نوع خشک آن با افزودن آب در محل برای اجرا آماده می‌گردد. وزن فضایی این ملات‌ها پس از سخت شدن در محل کمتر از ۱۲۰۰ کیلوگرم در مترمکعب است.

شکل ۲-۱۳- اندودکاری با استفاده از ملات سبک لیکا

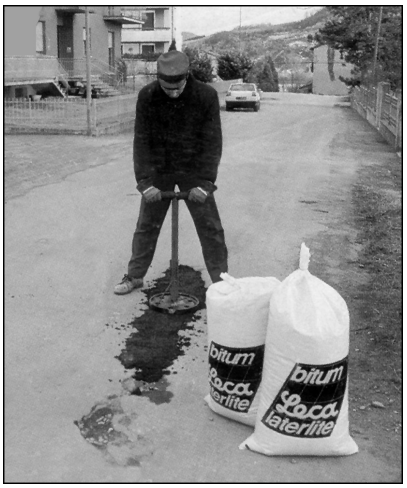
۲-۶-۲-مخلوط‌های قیری

دانه‌های لیکا به روش‌های گوناگون می‌توانند با مواد قیری مخلوط شوند. از اختلاط این دانه‌ها با امولسیون‌های قیر، نوع پوشش مناسب برای جایگزینی بتن بام به دست می‌آید. این مخلوط به دلیل روانی قابل قبول، می‌تواند مستقیم پمپ شود و بنابراین اجرا با سرعت بیشتری صورت می‌گیرد.

همچنین می‌توان با دانه‌های لیکا، آسفالت گرم ساخت. روش تهیه همانند آسفالت گرم معمولی است. اندازه دانه‌های لیکا می‌تواند تا ۲۰ مم باشد، اما تمام یا بخشی از ریزدانه سبک با ماسه شکسته جایگزین می‌شود تا

مقاومت بیشـــتری حاصل شـــود. مخلوط حاصل دارای ویژگی‌های خوبی از نظر زهکشی بوده و دارای مقاومت مناسبی در برابر بارهای ناشی از آمد و شد می باشد.
مخلوط‌های قیر لیکا به صورت مخلوط آماده مصرف در بسته‌بندی نیز قابل عرضه هستند. کاربرد افزودنی‌های مناسب این امکان را می‌دهد تا مخلوط حاصل تا مدتی در حالت خمیری باقی بماند.
وزن فضایی مخلوط‌های قیری می‌تواند کمتر از $1000\ kg/m^3$ باشد.
الف- ملات پیش ساخته
ب- اندود کاری متداول
پ- اندود پاشیدنی

شکل ۲-۱۴-انواع ملات و اندودهای لیکا



شکل ۲-۱۵-مخلوط قیری پیش ساخته لیکا

۲-۶-۳- خاک و لیکا در کشاورزی

دانه‌هـای لیکا به دلیل قابلیت زهکشـی مناسـب و ایجـاد تخلخل می‌توانند جایگزین تمام یا بخشـی از خاک کشـاورزی شـوند. مخلوط دانه‌های لیکا و مواد غذایی مناسب گیاهی به صورت یک فرآورده کامل قابل عرضه است.

از دانه‌های لیکا در صنعت کشاورزی در جهت بهبود کشت گیاهان و افزایش رشد آنها استفاده می‌شود. همچنین کاربرد لیکا نقش مؤثری در تنظیم تغذیه و نیز آبرسانی به گیاه دارد.

مزایای لیکا نسبت به خاک

برخی از ویژگی‌های لیکا که آن را برای کاربرد در کشاورزی مناسب می سازد به شرح زیر است:

الف) دارای تخلخل زیاد می‌باشد.

ب) بـه علـت فرآوری در گرمای زیاد عاری از هر گونه آفت و بیماری می‌باشـد در حالی که خاک‌های معمولی به علت احتمال وجود آفت و یا بیماری نیاز به ضد عفونی دارند که سمپاشـی آن در سـطح وسـیع نیاز به هزینه بالایی دارد.

پ) به دلیل ثبات ساختمانی غیر قابل فشرده است در حالی که سایر خاک‌ها از این نظر دارای مشکلات خاصی هستند. خاک‌های رسی فشرده می‌شوند و تهویه در آنها با اشکال مواجه می‌شود. خاک‌های ماسه‌ای نیز به مرور زمان ثبات ساختمانی خود را از دست می‌دهند و شسته می‌شوند.

ت) طول عمر و دوام آن زیاد است. این ویژگی در خاک‌های مصنوعی کمتر وجود دارد و حتی موادی مانند پنبه کوهی نیز پس از مدتی متلاشی می‌شود.

ث) دارای نفوذپذیری زیاد و قابلیت بالای نگهداری آب است.

ج) به مرور زمان تحت اثر آبیاری و جذب املاح حاصلخیزتر می‌شـود، در حالی که سـایر خاک‌ها در اثر استفاده مستعمل می‌گردند.

چ) دارای وزن بسیار کمی است و در نتیجه حمل و نقل گلدان‌های حاوی گل آسانتر است همچنین در صورت استفاده از لیکا در باغچه‌های روی بام، فشار زیادی به بام وارد نمی‌شود.

ح) کار با لیکا بر خلاف خاک زراعی تمیز است.

خ) به علت دارا بودن عمر مفید و طولانی می‌توان به مدت زیادی از آن استفاده کرد و نیازی به تعویض گلدان ندارد. همچنین به دلیل دوام زیاد آن و عدم فشردگی تهویه آن همواره به اندازه کافی است و می‌توان به مدت طولانی از آن در باغچه استفاده کرد. این امر سبب مقرون به صرفه بودن آن است.

د) چون از مواد طبیعی ساخته شده است برای محیط زیست ضرری ندارد.

روش استفاده از لیکا در گلدان

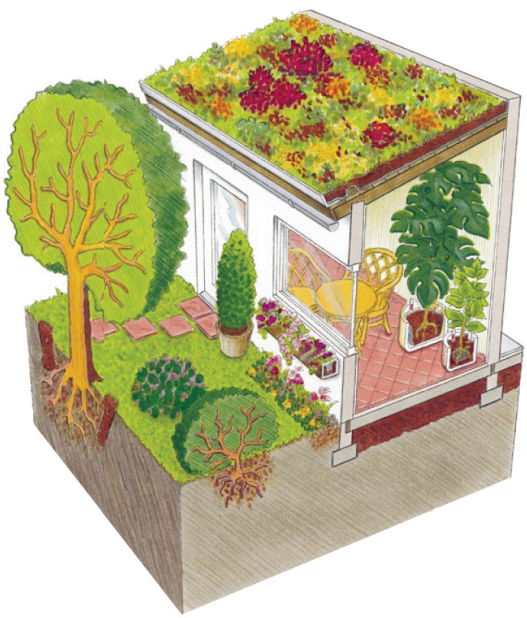
۱- گیاه را از خاک بیرون آورده و خاک آنرا از ریشه کاملاً جدا نمایید.

۲- ریشه‌ها را با آب ولرم در محیطی سربسته بشویید.

۳- گیاه را در دانه لیکا بکارید و آنرا پر از آب ولرم نمایید.
۴- گلدان برای کاشت در دانه لیکا فاقد سوراخ زیرین می‌باشد.

استفاده از لیکا در باغچه‌های پشت بام

پشـــت بام‌ها فضاهای بازی هســـتند که عموماً از آنها اســـتفاده نمی‌شود. امروزه با اســـتفاده از لیکا می‌توان این فضاهای بدون استفاده را برای بهبود شرایط فضای سبز مورد استفاده قرار داد.
روش هیدروکاچر، اســـتفاده بهینه و تبدیل فضاهای غیر قابل رویش گیاه را به فضای ســـبز امکانپذیر می‌ســـازد. مکان‌هایی مانند گاراژ، پشت بام، حیاط، تراس و... با استفاده از لیکا قابل تبدل به بهشت کوچک می‌باشد. وزن بسیار سبک لیکا امکان استفاده و بارگذاری سطوحی مانند تراس و پشت بام را ممکن می‌سازد.



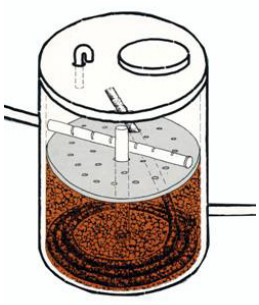
شکل ۲-۱۶- نمایی از یک بام سبز با استفاده از لیکا

۲-۶-۴- استفاده از پوکه‌های لیکا در روش‌های گوناگون تصفیه فاضلاب

در چند سال اخیر کاربرد سیستم‌های بیوفیلمی به عنوان یکی از پیشرفته ترین روش‌های تصفیه فاضلاب رواج یافته است. دانه‌های لیکا را می‌توان به عنوان ساپورتی مناسب در انواع بیوفیلترهای تصفیه فاضلاب از جمله:

• راکتورهای بیوفیلمی با بستر متحرک (MBBR)
• راکتورهای بیوفیلمی با بستر شناور (FBBR)
• فیلترهای بی‌هوازی با جریان بالارو (UAFB)

مورد استفاده قرار داد. دانه‌های لیکا با تخلخلی برابر ۷۳ الی ۸۸ درصد و سطح ویژه‌ای در حدود ۵۵۰ متر مربع بر متر مکعب، محیطی مناسب برای رشد میکروار گانیسم‌ها را در حجمی محدود فراهم می‌آورند.



شکل ۲-۱۷- مخزن تصفیه فاضلاب با استفاده از دانه های لیکا

• پوکه‌هـای لیـکا در برابر نور خورشـید مقاوم بوده و تیرگی آن‌ها باعث جلوگیـری از نفوذ نور و فراهم آوردن محیطی مناسب برای رشد باکتری‌های نیتریفایر می‌گردد.

• این دانه‌ها دارای دانسیته‌ای کمتر از ۵۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب بوده و به آسانی بر روی سطح مایعات شناور خواهند شد.

لازم به ذکر اسـت که جرم حجمی بالای ذرات رس (ذرات تشـکیل دهندهٔ دانه‌های لیکا) موجب می‌گردد تا در صورتی که بخشـی از ذرات در اثر سـایش از توده جدا شـوند به آسانی و بدون نیاز به مخازن ته نشینی در کف راکتور ته نشین شده و موجب آلودگی پس آب خروجی و افزایش ذرات جامد شناور نمی‌گردد.

• با توجه به این که دانه‌ها عایق حرارتی مناسبی هستند توانایی ایجاد شرایط مناسب به منظور رشد بیوفیلم را در فصل زمستان دارا می‌باشند و با پر نمودن فضای مخازن و راکتورها توسط این دانه‌ها می‌توان انرژی حرارتی جذب شده در فصل تابستان را تا زمان قابل توجهی ذخیره نمود.

• دانه‌های لیکا با داشتن بافت سلولی منحصر به فرد خود، نوسانات کم آبی و یا پرآبی را کنترل نموده و سیستم

را در مقابل شوک های هیدرولیکی جریان تا حدی حفظ می‌نمایند.

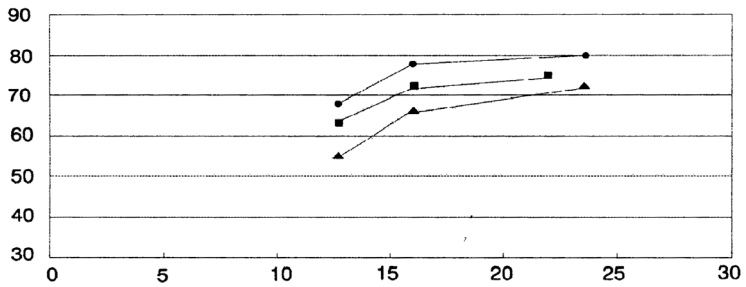
• خلل و فرج موجود در سـطح دانه‌ها موجب رشـد مناسـب توده‌های بیولوژیکی شده و در اثر سایش آکنه‌ها با یکدیگر، جدا شدگی این توده از سطح پوکه‌ها روی نخواهد داد.

• به منظور بررسـی راندمان سیسـتم‌های تصفیه فاضلاب با استفاده از دانه لیکا، راکتورهایی طراحی و حجمی معادل ۷۰ درصد از آن‌ها توسط دانه‌های لیکا اشغال گردید.

عملکرد آکنه‌ها بعنوان سطح فراهم شده برای رشد میکرو ارگانیزم‌های بیوفیلمی مورد مطالعه قرار گرفت، نتایج بدسـت آمده مشخص می‌سـازد که راکتور MBBR فوق قابلیت حذف ۸۲ درصد از COD محلول تحت برا ورودی kg/m^2 ^{COD} ۱/۷۶۶ را دارا است و در صورت کاهش زمان از ۲۴ ساعت به ۱۶ ساعت و در پی آن ۱۲ ساعت، حذف COD از ۸۲ درصد به ۷۶ درصد و به ۶۶ درصد کاهش می‌یابد. همچنین مشخص گردید که از کل راندمان حذف مواد کربنه ۷۸/۲٪ مربوط به بیوفیلم و ۲۱/۸٪ مربوط به میکرو ارگانیزم‌های شناور است. اطلاعات آزمایشـگاهی با رابطه اصلاح شـده‌ای با اسـتفاده از معادلات پایـه‌ای Stover- Kincannon مطابقـت دارند و از این طریق می‌توان مدل ریاضی سیسـتم را ارائه نمود تـا باتوجه به نوع و ماهیت فاضلاب ورودی مقدار، دانه‌بندی دانه‌ها و همچنین حجم مورد نیاز راکتور و مخازن را بصورت دقیق محاسبه نمود.

نمودار ۲-۱۴- حذف آلاینده در فاضلاب‌هایی با COD متفاوت

مقایسه راندمان نهایی حذف در خوراک‌های متفاوت و زمان ماند مختلف



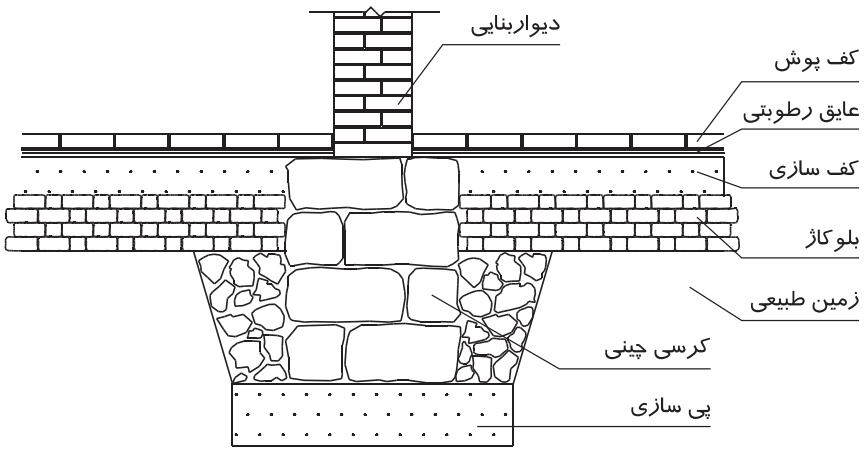
۳-کاربردهای لیکا در ساختمان

۳-۱- پی‌سازی و زیرسازی

۳-۱-۱-کلیات

هر یک از مصالح مصرفی در زیرسازی ساختمان براساس خواص مورد نظر، عملکرد خاصی را فراهم می‌کند. به این منظور جزییات مشابه شکل ۳-۱ در زیرسازی اغلب ساختمان‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. با توجه به شکل دیده می‌شود که باربری و کنترل نفوذ رطوبت از ویژگی‌های الزامی یک زیرسازی مناسب است. قابل ذکر است که هدف از نم‌بندی در پی و زیر ساختمان‌ها جلوگیری از نفوذ رطوبتی است که ناشی از آب دارای فشار نباشد. با توجه حساسیت محل عایق، تمام این نم‌بندی باید معادل عمر مفید ساختمان باشد.

با توجه به ویژگی‌های گفته شده در مورد لیکا، می‌توان از آن برای عایق نمودن زیرسازی و یا در اجزای سازه‌های باربر برای پی ساختمان‌های کوچک استفاده کرد. کنترل نفوذ رطوبت به پی‌ها و زیرسازی بستر پی‌ها به طور مشابه قابل انجام است. از آنجا که در مورد پی‌ها مسایل ویژه‌ای از نظر باربری و پایداری نیز مطرح است این مبحث در بخش ۴(ابنیه ژئوتکنیکی) بررسی می‌گردد. همچنین کاربرد دانه لیکا در ساخت پی‌لرزشی در بخش ۲ بررسی گردید.



شکل ۳-۱- جزئیات زیرسازی در ساختمانهای متداول

۳-۱-۲-کاربرد دانه لیکا

یکی از اصول لازم برای کنترل نفوذ رطوبت از زمین‌های مرطوب به دیوار و کف ساختمان، قطع لوله‌های مویین است. یکی از روش‌های بسیار معمول استفاده از سنگ‌دانه‌های درشت با اندازه‌های حداقل ۴ مم است. برای این منظور باید روی زمین لایه‌ای از سنگ دانه درشت با ارتفاع حدود ۲۵ تا ۳۰ سانتی‌متر اجرا شود. سپس روی این لایه به ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر مخلوط سنگ‌دانه‌های ریز ودرشت ریخته می‌شود. بنابراین می‌توان از لیکای درشت(۱۰-۲۰ مم) برای ایجاد لایه محافظ در برابر مویینگی استفاده نمود. همچنین به منظور تسطیح این لایه برای عملیات بعدی زیر سازی، از مخلوط دانه‌های لیکا استفاده می‌شود.

برای این منظور باید ۱/۱ برابر ارتفاع لازم را با لیکا پوشاند و سپس لایه را متراکم کرد تا به ارتفاع مناسب برسد. این عملیات حداکثر برای لایه‌هایی به ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر مناسب است. سپس روی این لایه بتن کف اجرا می‌شود برای سهولت کار می‌توان از یک توری فلزی دارای شبکه‌هایی به ابعاد ۱۵۰ مم و میلگردهایی به قطر ۴ مم روی دانه‌ها استفاده نمود. در این صورت می‌توان قبل از بتن‌ریزی روی لایه لیکا راه رفت و یا پایه‌های نگه دارنده لوله‌ها و فولادهای سازه ای را روی آن قرار داد.

با توجه به بی ضرر بودن دانه‌های لیکا از نظر شیمیایی، می‌توان لوله‌های تاسیساتی را نیز در صورت لزوم از این لایه‌ها عبور داد.

برای برای عایق بندی کف های چوبی:

کف اتاق قبلاً با ورقه ای از پلاستیک یا قیر گونی پوشانده می شود. پس از اطمینان به اینکه کف چوبی قدرت تحمل فشار حدود ۳۵تا۴۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع را دارا می باشد دانه های لیکا در داخل کادرها به ضخامت ۱۰تا۱۵ سانتی متر ریخته می شودوسپس تخته چوبهای فشرده بضخامت ۱۸ میلی متر روی کادرهای چوبی میخکوب می گردد.

سبکی دانه‌های لیکا و در نتیجه سهولت حمل و نقل و کاهش هزینه آن یکی از مزایای کاربرد لیکا به جای سنگ دانه‌های معمولی است همچنین با توجه به اینکه دانه لیکا عایق حرارت است، در مناطق سردسیر، کف ساختمان‌ها در برابر سرمای زمین نیز محافظت می‌شود.

۳-۱-۳-کاربرد بتن لیکا

با استفاده از بتن لیکا با ترکیب سیمان و لیکای ریز با عیار سیمان ۲۰۰ کیلوگرم در متر مکعب که در محل ساخته و ریخته می‌شود، می‌توان آب‌بندی کف ساختمان را انجام داد. چگالی این بتن حدود $850\ kg/m^3$ و مقاومت فشاری حداقل $30\ kg/m^2$ است. بنابراین، این بتن نقش توزیع بار را نیز خواهد داشت و دیوارهای غیر باربر تا یک طبقه را می توان مستقیم روی این بتن قرارداد. بتن سبک لیکا در لایه‌های ۱۰ تا ۱۵ سانتی‌متر ریخته و متراکم می‌شود. سپس باید به مدت یک هفته این بتن عمل آورده شود. برای حفاظت بتن از صدمات احتمالی ناشی از حرکت کارگران روی آن و مقاوم سازی سطح بتن از ملات دوغاب – شامل یک قسمت سیمان

و سـه قسـمت ماسه ریز- می‌توان استفاده کرد. ۱ تا ۲ روز پس از بتن‌ریزی می‌توان روی سطح بتن را با ملات دوغاب اندود نمود. با استفاده از بتن لیکا کنترل حرارت و رطوبت انجام می‌گیرد.

برای عایق بندی کف های شفته ای:

در طول اتاق یا سـالن به فاصله های دو متر تخته هائی بارتفاع ۱۰ تا ۱۵ سـانتی متر (ضخامت لایه بتن لیکا) کادر بندی می شـود سـپس دانه های لیکا در داخل این کادرها ریخته و به آرامی تخته کوب می گردد، سپس بـا تختـه‌ای صاف و بطول بیـش از ۲متر تراز می شـود و در مرحله آخر با دوغاب سـیمان عمل تثبیت انجام می‌گیرد.

۳-۱-۴-کاربرد بلوک لیکا

با استفاده از دو ردیف بلوک توپر لیکا می‌توان کف ساختمان‌ها را در برابر رطوبت و حرارت عایق نمود. ضخامت بلوک‌ها بین ۱۵ تا ۲۵ سـانتی متر اسـت ودر ابعاد بزرگ تا ۵۰×۵۰ سانتی‌متر نیز قابل تولیدند.دانه‌بندی لیکای مصرفی در این بلوک‌ها به گونه‌ای اسـت که حداکثر ۱۰ درصد ذرات از الک ۴ میلی متر رد می‌شـوند. شـرایط چگالی و مقاومت بلوک لیکا نظیر بتن لیکا خواهد بود. برای جایگذاری بلوک‌ها باید یک لایه نرم ماسـه‌ای به ضخامت ۵ سـانتی متر آماده شود. روی بلوک‌ها نیز ملاتی نظیر آنچه برای بتن گفته شد، پرداخت می‌شود بین این بلوک‌ها با ملات سـیمان پر می‌شـود. اگر میزان بار کف زیاد باشـد می‌توان از پوشش مسلح در کف‌سازی استفاده نمود. برای عبور لوله‌های تاسیساتی از بلوک‌های U شکل استفاده می‌شود.

همچنین در مناطق بسـیار مرطوب به جای کف‌سـازی توپر از کف‌های معلق اسـتفاده می‌شـود. در این روش دیوارهایی به فاصله ۵۰ تا ۷۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۵۰ تا ۹۰ سانتی‌متر به موازات هم ساخته می‌شوند و با پوشش دهانه بین دیوارها، کف‌سـازی اصلی را روی آنها انجام می‌دهند. این فضاهای خالی که گربه‌رو یا خزیده‌رو نام دارد، به دلیل عمل تهویه به طور نسـبی خشـک هستند. پوشـش دهانه بین دیوارها براساس شیوه‌های مرسوم ساختمان‌سازی با طاق ضربی، تیرچه و یا تخته چوبی انجام می‌شود.

برای اسـتفاده از بلوک‌های لیکا روی پی دیوارهای باربر و غیر باربر به عنوان کرسـی چینی، شناژ یا پی نواری باید دارای عرضی بیشـتر از عرض بلوک‌ها و ارتفاع حداقل ۲۰ سـانتی‌متر باشـد. سطح پی‌سازی باید در عمق مناسـب برای مقاومت در برابر یخبندان قرار گیرد. بلوک‌ها مسـتقیم روی بتن پی قرار می‌گیرند. درزهای بین بلوک‌های توپر لیکا با ملات سـیمان پر می‌شـوند. سطح بلوکها را نیز می‌توان با ملات سیمان به ضخامت ۲ تا ۳ سانتی‌متر پوشش داد.

سهولت اجرای کف‌سازی با بلوک‌های لیکا یکی از مزایای عمده کاربرد این بلوک‌ها است.

جدول ۳-۱ ویژگی‌های زیرسازی با بلوک کف لیکا را با سایر مصالح متداول مقایسه می‌کند.

جدول ۳-۱- برخی ویژگی‌های مهم مصالح مصرفی در زیرسازی ساختمان

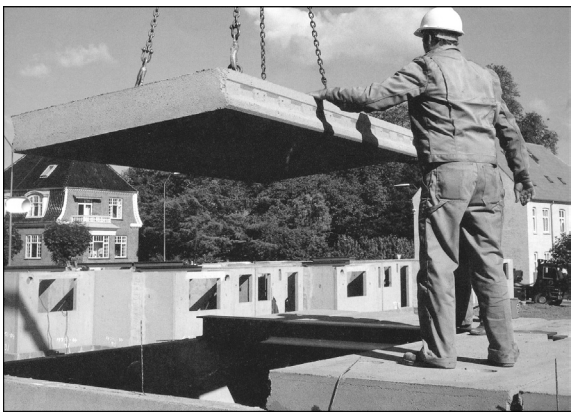
مصالح	وزن مخصوص kg/m^3	قابلیت هدایتی حرارتی $W/M^{\circ}C$
دانه لیکا	۳۵۰-۵۵۰	۰/۱-۰/۱۱
بتن لیکا	۸۰۰-۱۱۰۰	۰/۲۱-۰/۳۲
شن و ماسه	۱۶۰۰-۲۰۰۰	۱/٤
خاک	۱۸۰۰	۲
بتن معمولی	۲۰۰۰-۲٤۰۰	۱/٤-۱/۷
شفته سیمانی	۱۸۰۰-۲۱۰۰	۱/۲

۳-۲-کف‌سازی و سقف‌سازی

۳-۲-۱-کلیات

از آنجا که سقف‌ها سهم نسبتاً زیادی از هزینه تمام شده ساختمان را به خود اختصاص می‌دهند، طراحان ساختمان سیستم‌های متنوعی را به منظور اقتصادی‌تر کردن آنها ابداع و اجرا کرده‌اند. صرفه جویی در مصرف بتن و فولاد، کاهش یا حذف قالب‌بندی، بهبود روش‌های ساخت و افزایش کیفیت اجرا از اهداف عمده این کوشش هاست.

جهت دستیابی به یک سیستم بهینه سقف باید عوامل تاثیرگذار برآن را از دید معماری و کاربری ساختمان مورد توجه قرار داد. براساس این نیازمندی‌ها می‌توان پارامترهای مناسب سقف را نظیر مقاومت، وزن، عایق‌کاری و... به دست آورد از آنجا که در یک سیستم سقف و کف، عناصر سازه‌ای (باربر) و عناصر غیرسازه‌ای (پرکننده، عایق و...) در کنار هم عمل می‌کنند، توجه توام به ویژگی‌های هر دو گروه لازم است در این میان وزن کم به عنوان یکی از ویژگی‌های مشترک در هر دو گروه مطرح است و نقش تعیین کننده‌ای در وزن کلی اجزای باربر ساختمان دارد. در واقع اثر کاهش وزن، مضاعف می‌گردد. در ادامه این بخش چگونگی کاربرد فرآورده‌های لیکا در انواع سقف و ویژگی‌های حاصل بررسی می‌گردد.



شکل ۳-۲- پانل سقفی لیکا

۳-۲-۲-سقف بتن مسلح پیش ساخته و درجا

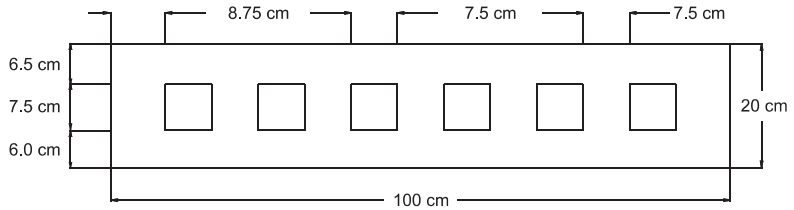
یکی از روش‌های متداول پوشش سقف استفاده از دال بتنی یکپارچه است. ایجاد صلبیت در برابر بارهای جانبی، ایجاد پیوستگی بین اجزای باربر، کنترل لرزش‌های سقف، مقاومت در برابر آتش‌سوزی و ایجاد سطح صاف برای اندودکاری از مزایای مهم این پوشش است، از آنجا که استفاده از قالب‌بندها یا پانل‌های سقفی پیش ساخته می‌تواند هزینه‌های قالب‌بندی و اجرای سقف را کاهش دهد، کاربرد آنها متداول گردیده است.استفاده از سقف پیش ساخته همچنین موجب افزایش کیفیت سقف و نیز سرعت نصب می‌گردد. یکی از مشکلات عمده دال‌ها و پانل‌های بتنی، وزن زیاد آنها است، به طوری که با افزایش دهانه ضخامت سقف و در نتیجه وزن آن به طور مضاعف افزایش می‌یابند. در نتیجه، کاربرد این پانل‌ها در دهانه‌های بزرگ فقط با استفاده از روش‌های پیش‌کشیدگی و پس‌کشیدگی امکان‌پذیر است، که این روش‌ها نیز نیازمند هزینه اضافی و عوامل اجرایی مناسب هستند.

بنابراین استفاده از بتن لیکا یک راه حل مناسب برای کاهش وزن سقف و در نتیجه اقتصادی کردن طرح سقف است. با استفاده از فولادهای مسلح کننده می‌توان طرح پانل سقفی را متناسب با دهانه، بارگذاری و ضخامت سقف کنترل نمود. همچنین قابل ذکر است که پانل‌های بتنی دانه سبک نقش موثری در عایق کاری حرارتی کف‌ها دارند.

مثال۳-۱-طرح دال بتن مسلح پیش ساخته با بتن دانه سبک لیکا مطابق مشخصات زیر:

محاسبه وزن دال= $(100 \times 0/2 - 6 \times 0/75 \times 0/75) \times 1 \times 1500 = 249.4\#250 kg/m^2$

شکل م ۳-۱-مقطع دال پیش ساخته



دهانه =۵ متر

بارمرده بدون احتساب وزن دال = $230kg/m^2$

سربار زنده = $300kg/m^2$

بتن دانه سبک: $W_c = 1500kg/m^3$

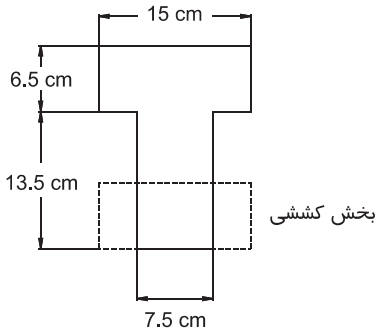
$f'_c = 180kg/cm^2$

فولاد: $f_y = 3000kg/cm^2$

کد مرجع $ACI\ 318_89$

حل:

الف-کلیات رفتار قطعه فوق براساس ترکیبی از تیرهای T شکل قابل بررسی است.



شکل م ۳-۲-رفتار تیر T

$$ACI\,8.10.2 : b_E = \min(1/4, b_w + 16h_f + B_w + i)$$
$$1/4 = 500/4 = 125cm$$
$$b_w + 16h_f = 7/5 + 16 \times 6/5 = 111/5cm$$
$$b_w + l' = 7/5 + 7/5 = 15cm \quad geverns$$

وزن دال با توجه به جزییات نشان داده شده خواهد بود:

$$w = 1500[100 \times 20 - 6 \times (7/5)^2] \times 100 + (100)^2 = 294/4 \qquad kg/m^2$$
$$ACI \quad 9.2.1:$$
$$W = 1/4(230 + 250) + 1/7(300) = 1182 \qquad kg/m^2$$

بار وارد بر یک تیر T شکل میانی:

$$w = 1182 \times 0/15 = 177/3\,kg/m$$

ب:کنترل خمش

$$M_u = \frac{Wl^2}{8} = \frac{177/3 \times (5)^2}{8} = 554/1 \;\; kg.m$$
$$ACI \quad 9.3.2.1$$
$$M_u = \frac{M_u}{\phi} = \frac{554/1}{0/9} = 615/6 \;\; kg.m$$

ظرفیت خمشی تیر با فرض آن که تمام بال تحت فشار باشد چنین به دست می‌آید:

$$d = 20 - 4 = 16 \;\; cm$$
$$(M_n)_{Max} = 0/85\, f_C^{'} b_E t(d - t/2) = 0/85 \times 180 \times 15 \times 6/5(16\text{-}\frac{6/5}{2}) / 100 = 1902\,kg_m > M_n$$

بنابراین تیر در فشار قرار دارد:

$$R_n = \frac{M_n}{bd^2} = \frac{615/6 \times 100}{15 \times (16)^2} = 16/03$$

$$m = \frac{f_y}{0/85 f_c'} = \frac{3000}{0/85 \times 180} = 19/6$$

$$\rho = \frac{1}{m}\left[1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}}\right] = \frac{1}{19/6}\left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 19/6 \times 16/03}{3000}}\right] = 0/0057$$

ACI 10.5.1

$$\rho_{\min} = 14/f_y = 14/3000 = 0/00467 < \rho \rightarrow O.K.$$

$$A_s = \rho bd = 0/0057 \times 15 \times 16 = 1/368 cm^2 \Rightarrow use \phi 14@15cm$$

پ:کنترل برش

آرماتور برشی جهت اطمینال کنترل می‌گردد.
مقدار برش بیشینه چنین به دست می‌آید:

$$V = \frac{w_1}{2} = \frac{177/3 \times 5}{2} = 443/25kg$$

$ACI 9.3.2.3$:

$$V_n = \frac{V_u}{\phi} = \frac{443/25}{0/85} = 521/5kg$$

$ACI 11.2.1.2, 11.3.1.1$

$$v_c = 0/85 \times 0/53 \times \sqrt{f_c'} b_w d = 0/85 \times 0/53 \times \sqrt{180} \times 7/5 \times 16 = 725/3kg > v_n O.k$$

مطابق ACI 11.5.5.1 نیاز به فولاد برشی نیست.

ت- قلاب حمل :

از آنجا که قطعه فوق به صورت پیش ساخته حمل می‌گردد باید قلاب‌های لازم برای تحمل وزن قطعه طرح و تعبیه شود.

$$w = 250 \times 1 \times 5 = 1250Kg$$

$$f = \frac{1250}{4} = 312/5kg$$

$$f_t = 0/6 f_y \times A_{raq} \Rightarrow A_{raq} = \frac{312/5}{0/6 \times 3000} = 0/174 \Rightarrow use 4\varphi 6$$

حداقل طول گیرداری آرماتورهای قلاب چنین به دست می‌آید:

$$ACI 12.2.2:$$

$$l_{bd} = 0/06 A_b f_y / \sqrt{f'_c} = 0/06 \times 0/283 \times 3000 / \sqrt{180} = 3/8cm$$

$$l_{bd} = 0/0057 d_b f_y = 10/3cm \ \ governs$$

$$ACI\ 12.2.3,\ 12.2.5:$$

$$l_b = 1/18 \times l_{bd} = 12/1cm < 30cm \Rightarrow l_d = 30cm$$

ث-مقایسه با بتن معمولی

اگر مثال فوق با بتن معمولی با مشخصات زیر حل گردد،نتایج حاصل به این شرح می باشند:

$$f'_c = 250Kg \setminus cm^2$$

$$w_c = 2500Kg/m^3$$

وزن دال = ۴۲۰Kg / m^۲

$$w = 1420kg/cm^2 \Rightarrow w = 213kg/m \Rightarrow M_n = 739/6kg/m \Rightarrow A_s = 1/62cm^2$$

$$(V_n = 626/5kg) < (V_c = 1005/6Kg)$$

وزن قطعه = $2100kg \Rightarrow use 4\phi 8$

در جدول م۳-۱ نتایج به دست آمده با هم مقایسه شده اند.

جدول م ۳-۱-مقایسه نتایج طراحی یک پانل بتن مسلح پیش ساخته نمونه

نتایج طراحی	بتن معمولی	بتن دانه سبک لیکا	درصد تغییرات
وزن قطعه kg/m^2	۲۱۰۰=۵×٤۲۰	۱۲۵۰=۵×۲۵۰	-٤۰/٤
بارکل سقف kg/m^2	۱٤۲۰	۱۱۸۲	-٪۱٦/۸
فولاد خمشی cm^2	۱/٦۲	۱/۳۷	-٪۱۵/٤
فولاد برشی cm^2	---	---	---
قلاب های حمل cm^2	۰/۲۹	۰/۱۷	-٪٤۱/٤

مثال ۳-۲- طرح دال بتن مسـلح دو طرفه در جا بابتن دانه سبک لیکا برای گوشه ساختمان مطابق مشخصات زیر:

دهانه: ۵×۵ متر

ابعاد ستون: ۵۰×۵۰ سانتی متر

ارتفاع طبقه: ۳متر

بارمرده بدون احتساب وزن دال: $۲۳۰\ kg/m^2$

سربار زنده: $۳۰۰\ kg/m^2$

$$W_e = 1500 kg/m^3$$

بتن دانه سبک $f'_e = 180 kg/cm^2$

$$f_y = 3000 kg/cm^2$$

کد مرجع: ACI 318 - 89

حل:

الف-ضخامت دال

$$L_n = 500_50 = 450Cm$$

$$ACI9_5_3:$$

$$t_{\min} = \frac{l_n(800 + 0/07_y f)}{36000} = \frac{450(800 + 0/07 \times 3000)}{36000} = 12/6cm$$

چون سقف بدون تیر طراحی می شود، ضخامت ۱۰ درصد افزایش می یابد.

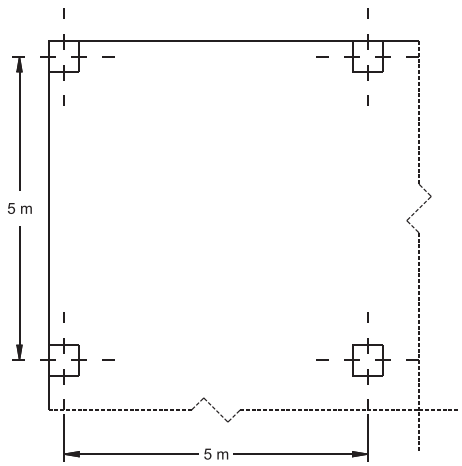
$t = 11/\times 12/6 = 13/9$ cm $\Rightarrow$ t=15 cm

ب-بارگذاری

وزن دال $= 0/15 \times 1500 = 225kg/m^2$

$$W_u = 1/4(230 + 225) + 1/7(300) = 1147kg/m^2$$

شکل م ۳-۳-موقعیت دال دو طرفه



پ-کنترل برش

پ۱- برش یک طرفه

$$d = 15_3 = 12Cm$$

$$V = \left((\frac{4/50}{2} 0/12) \times 1147 \right) = 2443kg/m$$

$$ACI\ 11.3.1.1 : \varphi\phi v_C = \phi(0/53\sqrt{f'^2_c} b_w d) = 0/85 \times 0/53 \times \sqrt{180} \times 100 \times 12$$
$$= 7253kg \rangle V_U O.K.$$

پ۲- برش دو طرفه

$$ACI\ 11.11.1.2 : b_\circ = (50+12) \times 4 = 248cm$$

$$V_u = W_u(l^2\ _\ ab) = 1147(5 \times 5\ _\ 0/62) = 2834$$

$$b = a = 50 + 12 = 62Cm$$

$$ACI\ 11.11.3.2 :$$

$$\phi V_C = 0/85(1/06\sqrt{f^2} c b_\circ d) = 0/85 \times 1/06 \times \sqrt{180} \times 248 \times 12 = 35974Kg > V_u O.K.$$

پس نیاز به فولاد برشی نیست و ضخامت دال کافی است.

ت-کنترل خمش

$$W_u = ۱۱۴۷kg/m = ۱/۱۴۷t/m$$

$$ACI\ ۱۳.۶.۲.۲ : M_\circ = \frac{W_u l_۱ l_{n۲}}{۸} = \frac{۱/۱۴۷(۵)(۴/۵)^۲}{۸} = ۱۴/۵۲\ \underline{t/m}$$

لنگرهای طراحی مطابق جدول م ۳-۲ خواهند بود.

جدول م ۳-۲- توزیع لنگر های دال دو طرفه

	نوار ستونی			نوار میانی	
	+	−		+	−
$Mu(t-m)$ ACI 13.6.3,4	۰/۳۵×۰/۶×۱۴/۵۲=۳/۰۵	۰/۶۵×۰/۷۵×۱۴/۵۲=۷/۰۸	۰/۶۵×۱۴/۵۲=۹/۴۴	۰/۳۵ (۱−۰/۶) ×۱۴/۵۲= ۲/۰۳	۰/۶۵ (۱−۰/۷۵) × ۱۴/۵۲ = ۲/۳۶
$R_n = \frac{M_u}{\phi bd^2}$	۱۸/۸۳	۴۳/۷	۵۸/۲۷	۶/۲۵	۶/۵۵
$\rho = \frac{1}{m}(1-\sqrt{-\frac{2mR_n}{f_y}}$ $m = f_y / 0/85 f_c'$	۰/۰۰۵	۰/۰۱۳	۰/۰۱۹۵	۰/۰۰۱۵	۰/۰۰۱۶
ρ min ACI 7.12	۰/۰۰۱۸	۰/۰۰۱۸	۰/۰۰۱۸	۰/۰۰۱۸	۰/۰۰۱۸
$A_s cm^2$	۷/۵	۱۹/۵	۲۸/۵	۵/۴	۵/۴
USE : $S_{max} = 2h = 30cm$ ACI 13.4.2	$15\phi 8$	$10\phi 16$	$10\phi 16$ $15\phi 8$	$11\phi 8$	$11\phi 8$

ث- مقایسه با بتن معمولی

با حل مثال فوق برای بتن معمولی با مشخصات زیر، جدول م ۳-۳ حاصل می گردد.

$$f_c' = 250 kg/cm^2$$

$$w_c' = 2500 kg/m^3$$

$$\text{وزن دال} = 2500 \times 0/15 = 375 kg/m^2$$

$$w_u = 1/4(375+230) + 1/7 \times 300 = 1357 \text{kg/m}^2 = 1/375 t/m^2$$

$$M_\circ = \frac{1/357 \times 5 \times 4/5^2}{8} \# 17/2 t.m$$

جدول ۳-۳ مقایسه نتایج طراحی یک دال دو طرفه بتن مسلح نمونه

نتایج طراحی	بتن معمولی	بتن دانه سبک لیکا	درصد تغییرات
وزن دال kg/m^2	۳۷۵	۲۵۰	-۳۳/۳
بار کل سقف kg/m^2	۱۳۵۷	۱۱۴۷	-۱۵/۵
فولاد خمشی منفی cm^2	۳۱/۸۱	۲۸/۵۰	-۱۰/۵
فولاد خمشی مثبت cm^2	۸/۵۵	۷/۵۰	-۱۲/۳
فولاد برشی cm^2	---	---	---

۳-۲-۳-سقف سبک با تیرچه و بلوک

به دلیل مشکلات گفته شده برای دالهای بتنی یکپارچه سنگین، کاربرد تیرچه های بتنی پیش ساخته برای کاهش نسبی وزن سقف متداول گردیده است. سرعت ساخت، هزینه کم قالب بندی، آرماتوربندی و کیفیت بتن پیش ساخته از مزایای دیگر در این روش است. سقف سازی با استفاده از تیرچه و بلوک ترکیبی از دو روش بتن پیش ساخته و بتن در جاست. در این سیستم، بار سقف توسط تیرهای T شکل بتنی که از بتن ریزی تیرچه های پیش ساخته به دست می آیند، تحمل شده و فضای خالی بین تیرچه ها با بلوکهای سفالی یا بتنی پر می شود و در انتها یک لایه بتن پوشش اجرا می گردد بلوک به عنوان قالب دائمی برای گونه‌های جان تیر T شکل و نیز قالب زیرین تن پوشش در جا مورد استفاده قرار می گیرد. با توجه به حجم قابل ملاحظه پوشش یافته بابلوک سقفی، وزن بلوکها در بار مرده سقف موثر خواهد بود این موضوع اهمیت کاربرد بلوکهای سقفی سبک ساخته شده از بتن لیکا را نشان می دهد. اگر چه مقاومت بلوک در سیستم سازه‌ای سقف منظور نمی شود، اما بلوکها باید قادر به تحمل ضربه‌های ناشی از حمل و نقل و نیز درآمد و شد در زمان بتن ریزی باشند.

بافت سطح زیر بلوک نیز باید برای اندود کاری مناسب باشد بنابراین مقاومت، وزن کم، قابل حمل بودن، سهولت نصب و داشتن سطح مناسب برای اندود کاری از خواث مهم بلوکهاست. مثال زیر روش طراحی و نتایج حاصل از کاربرد بلوکهای سبک لیکا را در چنین سقفهایی نشان می دهد.

مثال ۳-۳ طرح سقف تیرچه ای با بلوک بتنی دانه سبک لیکا مطابق مشخصات زیر :

دهانه =۵ متر

بارمرده بدون احتساب وزن دال: $۲۳۰\ kg/m^2$

سربار زنده: $۳۰۰\ kg/m^2$

بتن دانه سبک:

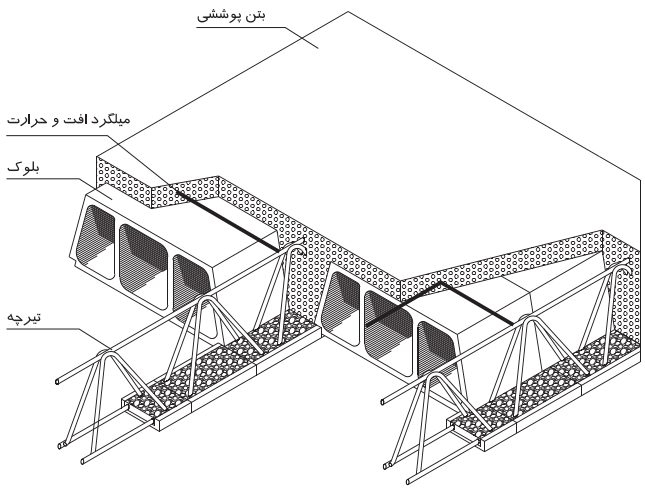
$$W_e = 1500 kg/m^3$$
$$f'_e = 180 kg/cm^2$$

فولاد $f_y = 3000 kg/cm^2$

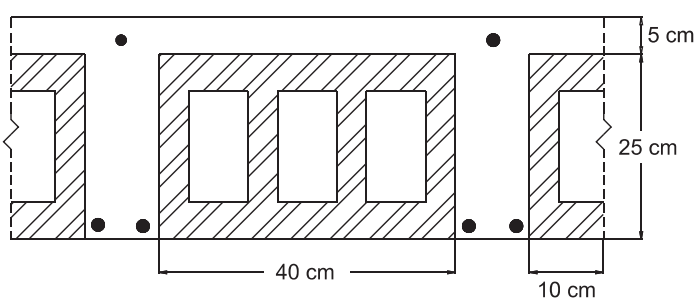
بلوک بتنی دانه سبک: وزن ۱۰ kg

ابعاد ۴۰×۲۰×۲۵cm

فاصله محور تا محور تیرچه ها ۵۰cm



شکل ۳-۳- برخی جزئیات متداول در سقف‌های تیرچه و بلوک لیکا



شکل م ۳-۴- برش سقف تیرچه بلوک

حل:

الف- کنترل ضخامت سقف برای تغییر شکل

$$h = \left((0/4 + \frac{f_y}{670}) \frac{1}{28} = (0/4 + \frac{300}{670}) \frac{500}{28} = 15/1cm < 30cmO.K \right)$$ آبا۱۴-۲-۴-۲-۱۴:

ب- محاسبه وزن سقف و بارگذاری

وزن بلوکها $= 10 \times 10 = 100kg$

وزن تیرچه $= 10 \times 25 \times 200 \times 1500 \times 10^{--6} = 75Kg$

وزن بتن پوشش $= 5 \times 1500/100 = 75Kg$

$$W_s = 100 + 75 + 75 + = 250Kg$$
$$W_D = 250 + 230 = 480Kg$$

طبق آیین نامه آبا ۱۰-۵-۳-۳ :

$$W_u = ۱/۲۵W_D + ۱/۵W_l = ۱/۲۵ \times ۴۸۰ + ۱/۵ \times ۳۰۰ = ۱۰۵۰ kg/m^۲$$

پ-کنترل ضخامت بتن پوشش (آیین نامه آبا ۱۰-۷-۵-۳)

$t_f = Max(4cm, l/12) = 4/17\,cm \Rightarrow t_f = 5\,cm$: آبا ۱۰-۷-۵-۳

$$M_u = \frac{1}{12} WL^2 = 1050 \times (0/05)^2 /12 = 21/9\,kg.m/m$$

$$S = \frac{bh^2}{6} = \frac{1 \times (0/05)^2}{6} = 0/000417\,m^3$$

$$f_{ct} = \frac{21/9}{0/000417} = 52518\,kg/m^2 = 0/515\,N/mm^2$$

$$F_{ct} = \phi \times 0/6\sqrt{f'c} = 0/6 \times 0/6 \times \sqrt{\frac{180 \times 9/81}{100}} = 1/51\ \ N/mm^2 > f_{ct}\,O.K.$$ آبا ۱۴-۳ :

جدول م ۳-۴-مقایسه نتایج طراحی سقف تیرچه و بلوک نمونه

نتایج طراحی	بلوک سیمانی و بتن معمولی	بلوک و بتن لیکا	درصد تغییرات
وزن سقف kg/m^2	۳۷۰	۲۵۰	-٪۳۲/۴
بار کل سقف kg/m^2	۱۲۰۰	۱۰۵۰	-٪۱۲/۵
فولاد خمشی منفی cm^2	۱/۹۷	۱/۹۴	-٪۱/۵
فولاد خمشی مثبت cm^2	۳/۰۰	۲/۶۳	-٪۱۲/۳
فولاد برشی cm^2	-	-	-

۳-۳-دیوارها

۳-۳-۱-انواع دیوارها

دیوارها یکی از متداول ترین عناصر قائم در ساختمان‌های گوناگون هستند مطابق تعریف اعضای سازه‌ای قائم با بعدی بزرگتر از ۳ برابر ضخامت، دیوار نام دارند..

دیوارها براســاس ویژگی‌ها و کاربرد خود، انواع گوناگونی دارند بر این اساس بلوک‌های ساختمانی نیز به عنوان واحد بنایی انواع گوناگونی خواهند داشت. متداول‌ترین انواع دیوار به شرح زیر است:

فرآورده های لیکا به شکل های گوناگون نظیر بلوک، ملات وپانل شنی در ساخت انواع دیوار به کار می‌روند.

الف- دیوار باربر بنایی:

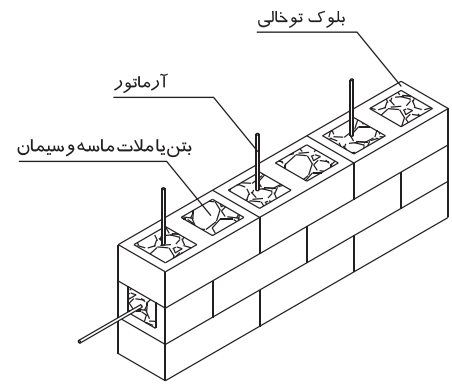
دیواری اســت که برای حمل بار قائم، علاوه بر وزن خود، طرح می‌شــود. این دیوار اغلب با بلوک توپر یا بلوک توخالی پر شده با بتن و یا به صورت پانل پیش ساخته بتنی اجرا می‌گردد. همچنین در صورت لزوم آرماتورهای قائم و افقی در بدنه دیوار توزیع می‌شوند. برای دیوارهای با سطح بزرگ و یا تحت بارهای لرزه‌ای از کلاف‌های قائم و افقی نیز استفاده می‌شود.

ب-دیوار برشی:

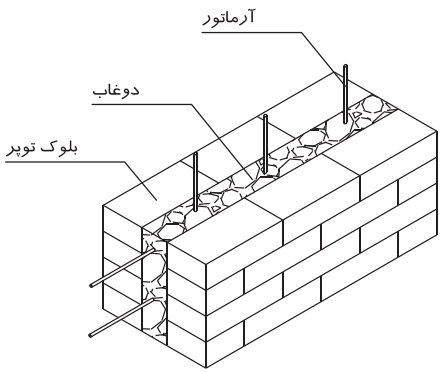
دیــواری اســت که نیروهای افقــی وارد در صفحه دیوار- نظیر نیروهای جانبی ناشــی از زمین لرزه- را تحمل می‌کند. این دیوارها به صورت قاب بند پیش ســاخته یا بلوک مســلح یا کلاف‌بندی شــده اجرا می‌شوند. پایین بودن مدول کشســان بتن و بلوک‌های دانه ســبک لیکا سبب کم شدن سختی و در نتیجه کاهش نیروی وارده زمین لرزه بر سازه می‌گردد.

در این نوع دیوار ها با اســتفاده از بلوک لیکا شــکل پذیری افزایش یافته و در نتیجه ظرفیت بالای جذب انرژی زمین لرزه در این دیوارها آثار تخریب و فروریختگی دیوار ها بشدت کاهش می‌یابد.

شکل ۳-۴- دیوارهای باربر و برشی لیکا



الف) بلوک توخالی پر شده در دیوار مسلح



ب) بلوک توپر در دیوار مسلح دوغابی

پ-دیوار غیر باربر (تیغه‌ای):

دیوارهــای غیرباربر تنها وزن خــود را تحمل می‌کنند در دیوارهای غیر باربر داخلی-تیغه‌ها-ویژگی‌های حرارتی و صوتــی مصالح اهمیت می‌یابد. به همیــن دلیل، اغلب کاربرد بلوک‌های توخالــی در این دیوارها ترجیح داده می‌شــود. در مناطق لرزه خیز اتصال این دیوارها به دیوارهای اصلی(باربر) باید مطابق جزییات خاص آیین نامه ۲۸۰۰ باشد.

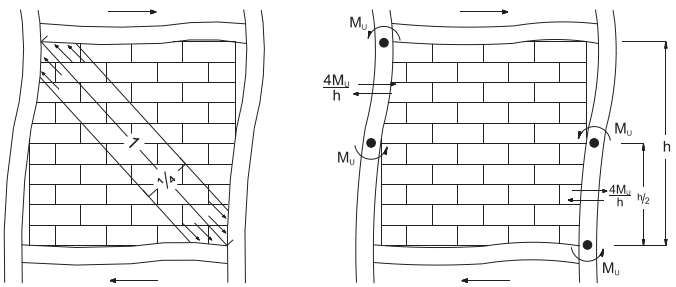
ت- دیوار غیر باربر (خارجی):

این دیوار غیرباربر اســت و در طبقات تکیه‌گاه جانبی کاملی ندارد، اگرچه ممکن اســت به اجزای ســازه‌ای مهار گردد. دیوار خارجی اغلب نگهدارنده نمای ســاختمان نیز می باشــد. با توجه به موقعیت این دیوار در ساختمان، هدایــت حرارتــی و صوتی آنها اهمیت فراوانی دارد. با توجه به چنیــن ویژگی‌هایی کاربرد بلوک‌های توخالی در این دیوارها متداول است.

اجــرای ایــن نوع دیوار هــا نیز باید مطابق ضوابط آیین نامه ۲۸۰۰ زلزله ایران و ســایر آییــن نامه های مرتبط باشد.

ث- دیوار میان قاب:

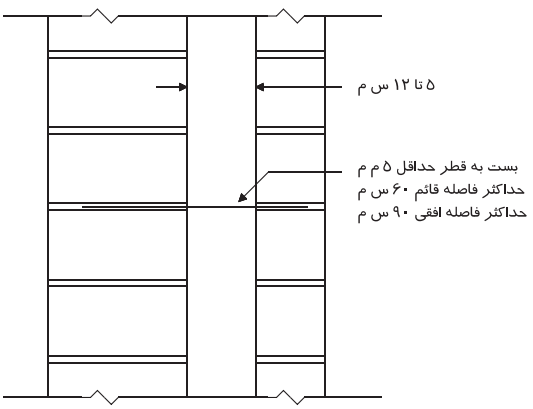
در برخی موارد برای بهبود رفتار لرزه ای سازه، بجای دیوارهای مجوف پوشش خارجی، از دیوارهای توپر با تکیه گاه کامل در هر طبقه اســتفاده می شــود.این دیوار که قاب بند نیز نامیده می شــود، به خوبی با قابهای خمشی ســاختمان کار می کند و ســبب جذب انرژی زمین لرزه به میزان زیاد می گردد. در این نوع از دیوارها استفاده از بلوک لیکا بدلیل دارا بودن مدول کشسان پائین باعث افزایش استهلاک انرژی می‌گردد.



شکل ۳-۵- دیوار میان قاب و ساز و کارهای مقاومت و شکست آن

ج- دیوار دوجداره:

اغلــب بــرای افزایش عایق کاری از دیوارهای دوجداره اســتفاده می‌شــود این دیوارها با بســت‌های فلزی یا روش‌های دیگر به هم مهار می‌شوند همچنین فضای داخلی بین دو دیوار بر حسب میزان عایق کاری مورد نیاز، ممکن است با مصالح عایق پر شود.



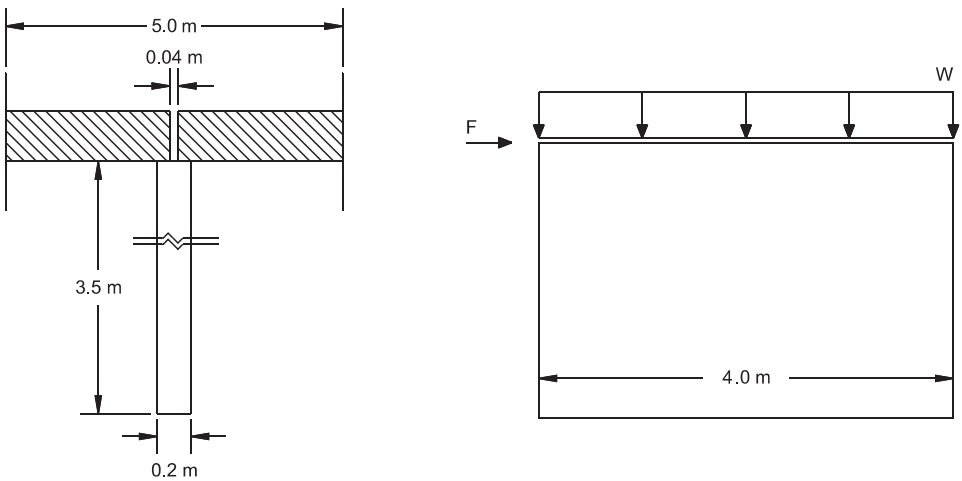
شکل ۳-۶- دیوار دو جداره

۳-۳-۲-طرح دیوارهای پیش ساخته ودرجا :

کاربـرد قطعات بتن مسـلح لیکا به دلیل وزن کم و سـهولت حمل و نقل از روش‌هـای اقتصادی برای اجرای دیوارهای پیش سـاخته بتنی اسـت طراحی این قطعات، مشـابه بتن معمولی و با رعایت ویژگی‌های بتن لیکا صورت می‌گیرد.

همچنیـن می‌توان از بتن لیکا برای سـاخت دیوارهای بتنی اسـتفاده نمود در یک روش نیمه پیش سـاخته از بلوک‌های لیکا به عنوان قالب دایمی استفاده می‌شود.

مثال ۳-۴-روش و فرضیات اساسی را برای طراحی یک دیوار بتن مسلح لیکا نشان می‌دهد.



شکل م ۳-۵- بارگذاری دیوار بتنی

مثال ۳-۴- طرح دیوار باربر و برشی با بتن دانه سبک مسلح لیکا مطابق مشخصات زیر:

ارتفاع = ۳/۵ متر

طول = ۴/۰ متر

دهانه باربر = ۵ متر

بار مرده کل = ۴۸۰ kg/m^2

سربار زنده = ۳۰۰ kg/m^2

نیروی جانبی ۱۰ ٪ بار مؤثر قائم فرض می شود.

بتن دانه سبک: $w^2 = 1500\ kg\ /\ m^3$

$$f'^c = 180\ kg\ /\ cm^2 = 17\ /\ 6\ N\ /\ mm^2$$

فولاد:

$$f^y = 3000\ kg\ /\ cm^2 = 294\ /\ 3\ N\ /\ mm^2$$

حل:

الف- کنترل ضخامت دیوار

آبا ۱۶-۵-۳: $h_{\min} = l\ /\ 25 = \dfrac{3500}{25} = 140\ mm < 200\ mm \Rightarrow h = 200\ mm$

ب- بارگذاری

وزن دیوار $= 1500 \times 0\ /\ 2 + 3\ /\ 5 = 1050\ kg\ /\ m$

آبا ۱۰-۵-۳-۳: $W_u = 1\ /\ 25\ W_d + 1\ /\ 5 W_i = 1\ /\ 25\,(480 \times 5 + 1050\ ) + 1\ /\ 5\,(300 \times 5)$

$$= 6562\ /\ 5\ kg\ /\ m = 64\ /\ 4\ N\ /\ mm$$

آبا ۱۰-۵-۳-۴ $V_u = 1/2 \times 0/10[480 \times 5 + 1050 + (\frac{1}{2} \times 300 \times 5)] \times 4 = 1728\,kg = 16/95\,kN$

پ- کنترل تنش لهیدگی دیوار

با فرض ۴۰ میلی متر فاصله بین دو دال سقف:

$$f = \frac{1/25 \times 480 \times 5 + 1/5 \times 300 \times 5}{(20-4)(100)} = 3/2\, kg/cm^2$$

آبا ۱۱-۱۰-۱ $F = \phi_c \times 0/85 f'_c = 0/6 \times 0/85 \times 180 = 91/8\, kg/cm^2 > f\ O.K$

$K = 0/80$

ت- کنترل مقاومت فشاری دیوار

آبا ۱-۱۶: $N_r = 0/55 \phi_c f'_c A_g [1 - [\frac{kl_c}{32h}]^2]$

$$N_r = 0/55 \times 0/6 \times 17/6 \times 200 \times 1000 \times [1 - (\frac{0/8 \times 3500}{32 \times 200})^2] \times 0/001 = 939/03\, KN$$

$P = 64/4 kN < N_r \quad O.K.$

ث- طرح فولادگذاری

آبا ۳-۴-۱۶ افقی: $A_s = 0/0025 \times (200 \times 1000) = 500\, mm^2/m$

آبا ۲-۴-۱۶ عمودی: $A_s = 0/0015 \times (200 \times 1000) = 300\, mm^2/m$

آبا ۵-۴-۱۶: $S = \min(350\, mm, 3h) = 350 mm$

فاصله هر سفره از رویه دیوار:

آبا ۲-٤-٤-۱٦: $V_{\min} = h/3 = 67 mm \; V_{\max} = 20 mm \Rightarrow V = 40 mm$

$\Rightarrow use\ 2\ \phi\ 10\ @\ 30\ cm\ as\ horizontal\ reinforcement$

$\&\ 2\ \phi\ 8\ @\ 30\ cm\ as\ verticall\ reinforcement$

ج- کنترل ظرفیت برش

آبا ۱۲-۳-۱۶-۲: $d = 0/8 \times l_w = 0/8 \times 4 = 3/2\,m$

$V_{n\max}$ = نیروی برشی مقاوم نهایی بتن

آبا ۱۲-۳-۱-۱:

$$V_{n\max} = 0/2 \times \phi_c \sqrt{f_c'} hd = 0/2 \times 0/6 \times \sqrt{17/6} \times 200 \times 3200 \times 0/001 = 322/2\,kN >> \nu_u\, O.K.$$

مقطع بحرانی برای برش:

آبا ۱۲-۲-۱۶-۴: $\min(o.k, h_w/2) = (\frac{3/2}{2}, \frac{3/5}{2}) = 1/6\,m$

آبا ۱۲-۲-۱۶-۳: $V_c = 1/65 V_c hd + \frac{N_u d}{5 l_w}$

$V_c = 0/2 \phi_c \sqrt{f_c}$

چ- فولاد برشی

آبا ۱۲-۳-۱۶-۱ : $V_u < V_c/2 \Rightarrow$ نیاز به فولاد برشی نداریم

آبا ۱۲-۴-۱۶-۱ : $\rho_h = 0/0025\, O.K. \frac{l_w}{5} = 0/8\,m > s\, O.K.$

آبا ۱۲-۴-۱۶-۲ : $\rho_v = 0/0025 + 0/5(2/5 \frac{h_w}{l_w})(\rho_h - 0/0025) = 0/0025 governs$

$use\, 2\phi 10@30\, cm\, as\, vertical\, \mathrm{Reinf}\, orement$

ح- مقایسه با بتن معمولی

مقایسه نتایج فوق با نتایج حاصل از حل این مثال با فرض کاربرد بتن معمولی با مشخصات زیر در جدول م ۳-۵- ارایه شده است.

$$f'_c = 25\,kg/cm^2$$
$$w_c = 2500\,kg/m^3$$

وزن دیوار $= 1750\,kg/m$

$$w_u = 7437/5\,kg/m$$
$$V_u = 1/2 \times 0/1 \times [480 \times 5 + 1750 + \frac{300}{2 \times 5}] \times 4 = 2352$$
$$A_{sh} = 500\,mm^2/m$$
$$A_{sv} = 500\,mm^2/m$$

جدول م ۳-۵- مقایسه نتایج طراحی دیوار باربر و برشی نمونه

نتایج طراحی	بتن معمولی	بتن دانه سبک لیکا	درصد تغییرات
وزن دیوار kg/m	۱۷۵۰	۱۰۵۰	-٪۴۰
بار قائم $kg/m(W_u)$	۷۴۳۷/۵	۶۵۶۲/۵	-٪۱۱/۸
بار جانبی kg	۲۳۵۲	۱۷۲۸	-٪۱۶
فولاد قائم mm^2/m	۳۰۰	۵۰۰	---
فولاد برشی mm^2/m	۵۰۰	۵۰۰	---

۳-۳-۳- دیوارهای بنایی با بلوک

این دیوارها از متداولترین اجزای ساختمانی هستند ویژگی‌های بلوک‌های لیکا آنها را برای احداث انواع دیوارهای بنایی مناسب ساخته است. همچنین وزن کم این بلوک‌ها یک روش جدید را برای احداث دیوار با بلوک‌هایی به بزرگی ۱۲۰ در ۶۰ در ۱۵ تا ۳۰ سانتی‌متر ممکن ساخته است. در این روش به جای نیروی کارگر از یک جرثقیل دستی با ظرفیت کم(حدود ۳۰۰ کیلوگرم) برای جابجایی بلوک استفاده می شود و کارگران تنها وظیفه تنظیم محل بلوک را دارند همچنین می‌توان قطعات دیوار ساخته شده با بلوک و ملات را با آرماتور مهار نمود و به صورت آماده برای نصب آن را اجرا نمود.

دیوارچینی با لیکا

فرآورده های لیکا به شـکل های گوناگون نظیر بلوک، ملات و پانل بتنی در سـاخت انواع دیوار بکار می روند. مهـم تریـن ویژگی های این فرآورده ها در این کاربرد وزن کم، رسـانایی حرارتی کم، افت صوتی مناسـب، و مقاومت در برابر آتش می باشـد. همچنین بکـــــارگیری این فرآورده ها در اشـکال مناسـب سبب سهولت و سرعت در اجرای دیوار می گردد.

دیوارچینی با بلوک لیکا:

دیوارها بر اساس ویژگی ها و کاربرد خود، انواع گوناگونی دارند. (انواع دیوارها)
دیوار چیده شـده بـا بلوک لیکا عمدتاً در طبقه دیوارهای غیر باربر قرار مـی گیرد.دیوارهای غیر باربر تنها وزن خـود را تحمل می کنند و در آنها ویژگی های دیگری من جمله سـبکی و مقاومت حرارتی و صوتی مناسـب، اهمیت می یابد.
دیوار چیده شده با بلوک لیکا بعنوان دیوار عایق همگن حرارتی محسوب شده و شرایط آسایش را برای ساکنین در فصول گرم و سرد تامین می نماید. مزایا و ویژگیهای بلوک لیکا در بخش بلوک آورده شده اند.
از دیگر مزایای دیوارچیده شده با بلوک لیکا می توان به موارد ذیل اشاره نمود :

- افزایش سرعت اجرا دیوارچینی
- کاهش پرت مصالح مصرفی
- کاهش وزن بار مرده ساختمان به میزان ۳۰ درصد
- کاهش ملات مصرفی
- اجرای روکار سریع با حذف ملات گچ و خاک

روش های اجرایی دیوارچینی:

روش دیوارچینی با بلوک لیکا بسیار آسان بوده و مانند دیوارچینی با مصالح بنائی می باشد. بر این اساس تمامی عملیات بنایی با بلوک لیکا، برپایه مشـخصات و ضوابط مندرج در نشـریه های ۱۰۰ و ۵۵ دفتر تدوین ضوابط و معیارهای فنی سـازمان مدیریت و برنامه ریزی کشـور و نیز استاندارد شماره ۷۰ موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران صورت می گیرد. سـایر آیین های مرتبط با نحوه اجرای درسـت من جمله آیین نامه ۲۸۰۰ زلزله ایـران نیـز باید رعایت گردند. لازم به ذکر اسـت این روش ها کاربرد عمومی داشـته و تنها مختص دیوار لیکا نمی‌باشند. بعضی از این ضوابط که کاربرد بیشتری در اجرا دارند به صورت خلاصه در ذیل آورده شده است:

نحوه بلوک چینی:

جهت اسـتفاده از بلوکهای لیکا پس از آماده سـازی سـطح و تراز کار با ریختن یک لایه ملات ماسه و سیمان

(حدود۲۵۰ کیلوگرم سـیمان در هر متر مکعب ملات) به ضخامت حداکثر ۲,۵ سـانتی متر در روی سـطح کار، اولین رگ بلوکها روی ملات قرار داده می‌شود، سپس با ملات ریزی حداکثر به ضخامت ۱,۵ سانتی متر، اقدام به چیدن رگ های بعدی می‌گردد.
۱- بلوکها باید کاملاً تراز چیده شـوند، بطوریکه جدار بلوکها کاملاً قائم بوده و درزهای قائم رجهای متوالی، به طور یک رج در میان، در مقابل هم قرار گیرند. بلوک نصب شده، نباید پس از گیرش اولیه ملات، از جای خود حرکت داده شود. استقرار نهایی بلوک، باید در زمانی صورت گیرد که ملات هنوز شل باشد.

۲- در ساخت دیوارها سعی شود تا از یک جنس بلوک استفاده شود. استفاده از بلوک لیکا به همراه دیگر مصالح سـبب ایجاد ترکهای نامناسب در گچ و خاک می شود. در قسمتهایی که نیاز به قطعات کوچکتر می باشد مانند زیر پنجره ها بهتر اسـت از آجر لیکا اسـتفاده شود. استفاده از آجر معمولی به دلیل تفاوت ضرایب انبساط باعث ناهماهنگی دیوار شده، ممکن است سبب ایجاد ترک گردد.

۳- در صـورت نیـاز بـه قطعاتی که دارای اندازه طول رندی نمی باشـند، می توان بلوک لیـکا را به راحتی با فرزگرانیت بر و یا تیشـه تیز به اندازه قطعه مورد نظر برید. در این حالت پرت مصالح به میزان زیادی کاهش می‌یابد. باید در نظر داشت که از خرد کردن بلوک با پتک و یا وسایلی که با برخورد ضربه باعث ایجاد ترک در جان بلوک می نمایند، اجتناب ورزید.

۴- در مورد اجرای کلیه مصالح بنایی، بهتر اسـت پیش از اجرا، بلوکها کمی خیس شـوند تا آب ملات را به خود جذب نکرده و به اصطلاح ملات را نسـوزاند. بلوکها بهتر اسـت قبل از مصرف نم پاشی شوند، اما بلوک لیکا بر خلاف بلوک های بتن گازی نیازی به غرقاب شدن ندارند.

۵- برای کنترل ابعاد، گوشه ها و تقاطع ها و به طور کلی اجرای صحیح کار، توصیه می شود، پس از آماده شدن تراز کف، ابتدا رج اول بدون ملات چیده شده و سپس بر اساس الگوی بدست آمده، دیوارچینی شروع گردد.

۶- با توجه به اینکه کلیه مصالح بنایی جهت دیوار چینی به تنهایی عایق رطوبتی نمی باشند، توصیه می گردد از این مصالح بدون اجرای لایه نما جهت اجرای دیوارهای خارجی استفاده نگردد.

۷- چیـدن صحیح و ایجاد قفل و بسـت کامل در دیوارها، موجب جلوگیری از نشسـت هـای احتمالی در برابر بارهای نقطه ای (متمرکز) خواهد شد، بویژه در کنج ها و محل اتصال دیوارهای متقاطع.

۸- دیوارچینـی باید بصورت یکنواخت در ارتفاع صورت گیرد و نباید اختلاف ارتفاع دیوارچینی در یک قسـمت

ســاختمان نســبت به نســبت های دیگر از یک متر تجاوز نماید. در مورد دیوارهای متقاطع باید به منظور تامین قفل و بست کامل، یک رج در میان از قطعات اتصال یا لا بند، استفاده شود.

نصب تیر نعل درگاهی و آستانه

نعل در گاهها باید بر اساس جزئیات مندرج در نقشه های اجرائی و با طول گیرداری کامل، ساخته شوند. نعل درگاهها می‌بایست حداقل به طول ۱۰ سانتی متر در روی دیوارهای طرفین امتداد داشته باشد.
در صورتیکه نعل درگاه خاصی از نظر دهانه وجود داشته باشد، می‌بایست طـبق محـاسبات مقطع لازم از نظر باربری (میزان بار وارده با توجه به دهانه) تعیین و اجرا گردد. در مورد بلوک لیکا امکان استفاده از نعل درگاه‌های پیش ساخته بتونی و یکپارچه شدن دیوار با نعل درگاه وجود دارد.

مهاربندی

۱– حداکثر طول آزاد دیوار جداکننده نباید از ۴۰ برابر ضخامت دیوار و یا ۶ متر(هرکدام که کمتر باشــد) تجاوز کند.در صورت تجاوز از این مقدار دیوارها باید به وسـیله سـتونک قائم (wall post) مهار گردند. دو سر این اجزای قائم (که معمولاً قوطی ۶×۶ یا ۸×۸ انتخاب می شـوند) باید به گونه ای مناسـب در کف و سـقف مهار گردند.

۲ – حداکثر ارتفاع مجاز دیوارهای جداگر از تراز کف ۳/۵ متر می باشد. در صورت تجاوز از این حد، باید با تعبیه کلاف های افقی به گونه مناسبی به تقویت دیوار مبادرت نمود.

۳ – جداگرهایی که در تمام ارتفاع طبقه ادامه دارند، باید کاملاً به زیر پوشـش سـقف مهار شوند، در این حالت بهتراست دیوار به وسیله شاخک های عمودی گرفته شده مهار گردند. جهت نچسباندن رج آخر بلوک به سقف و اجرای صحیح دیوار میان قاب بهتر است رج آخر به صورت آجر چین انجام گردد.

۴ – لبــه قائــم دیوارهای جداگر نباید آزاد باشــند. لبه جداگر باید به دیوار یا جداگر عمود بر آن یا یک سـتونک عمودی، به نحوه مناسـب متصل گردد. چنانچه طول دیوار جداگر پشـت بند، کمتر از ۱/۵ متر باشـد، لبه آن می‌تواند آزاد باشد.

۵– چهارچـوب هـا باید حتی الامکان همزمان با دیوارچینی نصب شـوند و به هنگام ریختن دوغاب در پشـت پروفیـل چهارچوبهای فلـزی، باید با قرار دادن وادارهای چوبی، آنها را کاملاً مهار نمود تا در اثر فشـار دوغاب ریزی، خم نشـده و در جهت طولی تاب بر ندارند. با امتداد شـاخک از اجزای قائم قاب های درب و پنجره ها و اتصال آنها به سقف می‌توان از آنها جهت تقویت دیوار و ایجاد یک ستونک استفاده کرد.

اجرای روکار

جهت اجرای روکار دیوارها، در صورتیکه دیوارها به طرز مناسبی اجرا و شاقولی شده باشند، می توان لایه گچ و خاک را حذف نموده و جهت اجرای روکار تنها از یک لایه گچ استفاده کرد.در دیوارچینی با سفال بدلیل نیاز به افزایش ضخامت دیواره، نیاز به اجرای لایه گچ و خاک حداقل به ضخامت ۲ سانتی متر می باشد. با توجه به ضخامت بلوکهای لیکا (۳۰ تا ۳۵ میلی متر) چنانچه یاد شد می توان لایه گچ و خاک را حذف نمود. جهت جلوگیری از ترک خوردن احتمالی دیوارها در محل بادبندها، باید از توری مرغی جهت تقویت سطح استفاده شود.

مراقبت

پس از اتمام کار روزانه یا وقفه در عملیات بنایی، دیوارچینی را از تابش مستقیم نور خورشید، حرارت زیاد، وزش باد و جلوگیری از یخ زدن های احتمالی باید با پیش بینی پوشینه های مراقبتی، محافظت نمود. عملیات بنایی در دمایی که در آن امکان یخ زدن ملات وجود دارد، ممنوع می باشد. در شرایط متعارف دیوارچینی با ملات ماسه سیمان ، باید حداقل ۳ روز مرطوب نگه داشته شود. با توجه شرایط اقلیمی طول دوره مراقبت از دیوار توسط مجری می بایست تنظیم گردد، اما در هر حال دوره نگهداری نباید کمتر از یک روز باشد.

ملات

از آنجاییکه بلوکهای لیکا از نظر مواد متشکله دارای سیمان می‌باشد، در صورت استفاده از ملات ماسه و سیمان به دلیل پیوند مستحکمی که در نتیجه نفوذ ذرات ملات به حفره های بدنه بلوکهای لیکا بوجود می‌آید، انسجام بیشتری نسبت به سایر واحدهای بنایی ایجاد شده و ترکیب ملات و بلوک یک واحد یکپارچه در مقابل بارهای ثقلی و جانبی را ایجاد می‌کند و لذا دارای مقاومت فشاری و خمشی بیشتری نسبت به سایر واحدهای بنایی است.(ماده همگن در داخل محدوده تنشهای مجاز)

انتخاب نوع ملات در دیوارچینی ،نقش بسیارمهمی خواهد داشت. ولی بکاربردن ملات با عیار زیاد، لزوماً نقش کلیدی در افزایش مقاومت دیوارچینی ندارد. ملات استفاده شده در دیوار چینی با لیکا بصورت ملات عمومی ماسه سیمان با نسبت ۶ : ۱ و یا ۵ : ۱ پیشنهاد می گردد. در صورت تمایل به ساختن ملات لیکا و کاهش وزن ملات می توان از نسبت حجمی ۳ به ۲ (ریز دانه لیکا به ماسه) استفاده کرد.

ضخامت بندهای افقی و قائم، نباید کمتر از ۱۰ میلی متر و بیشتر از ۱۲ میلی متر باشد. باید بندهای قائم (هرزه ملات) از ملات پر شوند. در بلوک چینی، در ملات ریزی به دو نکته باید توجه داشت:

الف) ملات به صورت یکنواخت روی همه سطوح ملات خور بلوک نبایستی پخش شود، زیرا در این حالت حفره های بلوک از ملات پر خواهد شد. این روش برای دیوارهای باربر، کرسی چینی‌ها و ستون‌ها،

مورد استفاده قرار می گیرد.

ب) مــلات بــه صورت یکنواخت روی جدارهای خارجی و داخلی به صورت دو نوارجدا از هم پخش می شــود. در ایــن حالت، به علت خالی بودن داخل بلــوک ها، دیوار از نظر عایق رطوبتی وحرارتی، دارای عملکرد بهتری خواهد بود.

اتصال دیوار با ستون

در مواردی که دیوارچینی در مجاورت ستون های فلزی یا بتنی قرار گیرد و در این نقاط درز انقطاع، پیش بینی نشــده باشــد باید نحوه اتصال ستون به دیوار مطابق نقشه های اجرایی باشد، در صورتیکه این جزئیات در نقشه نیامده باشد، باید به شرح ذیل عمل شود:

الف- اتصال دیوار با ستون فلزی :

در هــر متر ارتفاع، یک قطعه میلگرد ۸ جوش شــده بین دوســتون فلزی باید در داخــل ملات دیوار چینی قرار گیرد. در فاصله ایجاد شــده بین دیوار و ســتون بهتر است یک لایه پلی استایرن به ضخامت ۲ سانتی متر قرار داده شود.

ب- اتصال دیوار با ستون بتنی:

در هر متر ارتفاع، ۲ عدد شاخک U شکل به ابعاد ۸۰ * ۲۵۰ * ۲۵۰ میلیمتر، از میلگرد به قطر ۱۰ میلی متر، به صفحه ای به ابعاد ۶ * ۱۰۰ *۱۰۰ میلی متر جوش داده می شود، این صفحات با شاخکهای مناسب، هنگام بتن ریزی در داخل ستون بندی ،تعبیه می شوند. شاخکهای U شکل در داخل رج بین بلوکها و درون ملات ، قرارداده خواهد شد.

نصب خروجی ها و تاسیسات

ســوراخ ها و محلهای باز برای کارگذاری چهارچوبها، در و پنجره ها، مجراهای تهویه، عبور لوله ها و کابلهای توکار و نظایر آن، باید پیشاپیش بر اساس نقشه های اجرائی کاملاً مشخص و هنگام دیوار چینی، تعبیه گردند تا نیازی به کندن و تخریب دیوارها به منظور تأمین فضاهای باز وجود نداشــته باشــد. در مواردی که نیاز به این عمل باشد، باید از ضربه زدن به دیوار اجتناب شده و عملیات با دقت و با وسایل مربوطه انجام گردد.

۳-۴- پرکننده سبک

۳-۴-۱-کلیات

دانه‌هـای لیـکا به دلیل وزن کم می‌توانند در پرکردن فضاهای خالی که تحت فشـار نیسـتند به تنهایی و یا با ترکیب با مصالح مناسب دیگر به کار روند. در این بخش آن دسته از کاربردهای لیکا که به طور عمده با هدف پر کردن فضاها در ساختمان‌ها و محوطه‌های آن صورت می‌گیرد مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۳-۴-۲- هموارسازی و شیب بندی

در طول دهه‌های گذشـته روشهای گوناگونی برای هموارسازی و شیب‌بندی بام‌ها و کف‌های ساختمان‌ها ارائه گردیده اسـت. دسـتیابی به وزن کمتر در سقف‌سـازی، حفاظت از لایه‌های آب‌بند در بام‌ها و دوام و پایداری مناسـب از ویژگی‌های لازم برای این منظور اسـت. به همین دلیل یکی از متداول‌ترین کاربردهای لیکا استفاده از آن برای پوشش کف‌ها و بام‌ها بوده است. عمر شیب‌بندی با دانه‌های لیکا حداقل ۵۰ سال و هزینه آن ۲۰٪ از روشـهای دیگر کمتر اسـت. ضخامت لایه‌های لیکا برای این منظور معمولاً بین ۴ تا ۱۰ سانتی‌متر می باشد. با توجه به پایداری شـیمیایی لیکا و نیز نداشـتن مواد مضر شیمیایی می‌توان لوله‌های تاسیساتی را نیز از داخل این لایه عبور داد.

قابل ذکر است که با توجه به عایق نمودن دانه‌های لیکا می توان از ضخامت لایه‌های عایق حرارت کاست و یا آن را به کلی حذف نمود. برای شیب بندی کف و پشت بام، سبکدانه صنعتی لیکا بهترین مصالح ساختمانی برای پوشـش اسـت و طریقه مصرف آن برای معماران و مهندسین بسیار آسان می باشد. نحوه اجرای آن به دو صورت می تواند انجام گیرد:

۱- استفاده از مخلوط آماده

نخسـت دانه ها با پاشـیدن آب خیس و سپس بصورت آزاد و یا در داخل بتونیر با سیمان مخلوط می شود. عیار مخلوط به ازای هر متر مکعب لیکا مخلوط حدود ۱۵۰ تا ۱۸۰ کیلوگرم سـیمان اسـت. به این مخلوط آنقدر آب اضافه می کنند تا رنگ آن بصورت خاکسـتری تند و شـفاف در بیاید. در این حالت نسـبت آب به سـیمان بین

۰/۵ تا ۰/۶ است.
مخلوط در محل کار و بین کروم بندی ریخته شده و به آرامی با تخته کوب تسطیح می شود. بمنظور جلوگیری از خشک شدن، مخلوط تسطیح شده بطور منظم آب پاشی و یا با ورقه پلاستیکی پوشانده می شود.

۲- مخلوط در محل

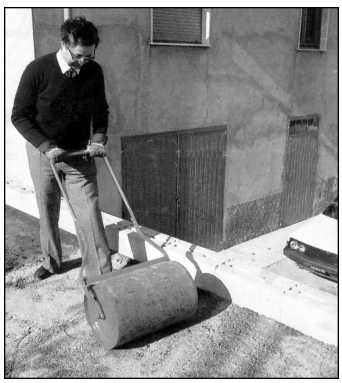
در این حالت سبکدانه لیکا بصورت خشک بین کروم بندی ریخته شده و سطح آن با تخته کوبیده شده و تراز می شود. سپس لایه لیکا قبل از دوغاب ریزی نم پاشی می گردد. نیم ساعت بعد از نم پاشی جهت تثبیت سبکدانه‌ها، به ازای هر متر مربع ۱۲ لیتر دوغاب سیمان روی لایه ریخته می شود. باید توجه داشت که اگر دوغاب شل تر از حد متعارف باشد در زیر لایه ته نشین شده و اگر سفت باشد تنها در روی سطح باقی می ماند که در دو حالت چسبندگی لازم بین سبکدانه ها ایجاد نمی گردد. بدین ترتیب در هر مرحله ۶ تا ۷ متر مربع پوشش لیکا آماده می گردد. حفاظت لایه شیب بندی مانند آنچه در پیش ذکر شد انجام می گیرد.
جهت اجرای لایه ایزوگام روی لایه شیب بندی یک آستر نازک ماسه سیمان اجرا می گردد. در جدول ۳-۴-۲ تفاوت مشخصات فنی سبکدانه لیکا با انواع پوکه های معدنی آورده شده است.

۳-۴-۲- ویژگی های استفاده از لیکا در مقایسه با پوکه های معدنی وعایق های پلی استایرین

سبکدانه لیکا	پوکه های معدنی
وزن فضایی دانه بندی مخلوط که در هموار سازی و شیب بندی بکار می رود Kg/m^3 ۳۵۰ و تقریبا" کمتر ازنصف پوکه های معدنی است.	دارای وزن فضایی ۷۰۰ تا۱۱۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب بوده و ۲ تا ۳ برابر سنگین تر از لیکا می باشد.
PH دانه لیکا تقریبا" خنثی بوده و هیچگونه آسیبی به تاسیسات عبورداده از لایه لیکا وارد نمی کند. همچنین باعث هیچ نوع خورندگی و پوسیدگی سایر اجزا نمی شود.	پوکه های معدنی به دلیل عدم فرآوری ممکن است دارای مواد معدنی واکنش پذیر باشندکه به تدریج باعث پوسیدگی تاسیسات ساختمان ها می شوند.
درحالت اشباع، حداکثر جذب آب دانه لیکا ۱۶٪ می باشد.	پوکه های معدنی دارای میزان جذب آب بیشتر نسبت به لیکا می باشند. جذب رطوبت بیشتر باعث کاهش مقاومت حرارتی لایه عایق می شود، این مشکل بخصوص در اقلیم های مرطوب اثرگذاری بیشتری دارد.
دانه لیکا با داشتن ضریب انتقال حرارتی ۰.۰۹w/mc می تواند به عنوان عایق عمل نموده و عایقکاری را حذف کند.	پوکه های معدنی دارای ضریب انتقال حرارتی بالاتری می باشند.
درمقابل فشار مکانیکی دائمی فشرده نمی شوند و نسبت درصد هوای موجود ثابت می ماند.	پوکه های معدنی و عایق های پلی استایرین غالبا" در اثر فشار مکانیکی دائم فشرده می شوند و باعث از بین رفتن خصوصیات عایقی آنها می شود.
دانه بندی مخلوط لیکا که در شیب بندی بام استفاده می شود دارای دانه بندی اصلاح شده ۲۵-۰ میلی متر بوده که یک دانه بندی اصلاح شده و منظم جهت شیب بندی می باشد.	پوکه های معدنی غالبا" فاقد دانه بندی مناسب می باشند به همین دلیل ثبیت و پایداری لایه پوکه ریزی شده در شیب بندی همواره دچار مشکل می گردد.

۳-۴-۳-روسازی سیاه با لیکا

از اختلاط سرد سنگدانه‌های لیکا با مصالح قیری می‌توان روکش مناسبی را به عنوان روسازی سیاه ایجاد نمود. این روکش علاوه بر مصرف در راهسازی می‌تواند در پوشش محوطه‌های باز و نیز بامهای تخت به کار رود با اختلاط برخی افزودنی‌ها می‌توان ترکیب حاصل را تا مدتی پلاستیک نگاه داشت. ترکیب کلی این مصالح شامل لیکای ریز (۰ تا ۴مم)، لیکای میانه (۴ تا ۱۰مم)، شن(۷ تا ۱۲مم)، ماسه (۴ تا ۷ مم) پرکننده یا سیمان نرم، قیر(۸۰/۱۰۰) افزودنی مناسب و آب است. بخشی از دانه‌های لیکا می‌توانند با سنگ‌دانه‌های معمولی نظیر شن و ماسه جایگزین گردند تا مقاومت بیشتری حاصل شود، ولی در مورد پوشش بام‌هایی که در آن‌ها سبکی بیشتر از مقاومت اهمیت دارد، دانه‌های لیکای ریز با دانه‌های درشت‌تر جایگزین می‌گردند. وزن فضایی مخلوط بر حسب ترکیب اجزا بین ۶۰۰ تا ۱۳۰۰ کیلوگرم در مترمکعب متغیر است. مقاومت فشاری، لغزشی و سایشی مناسب از ویژگی‌های این مصالح است.به طور کلی دو روش برای اختلاط دانه‌های لیکا در فرآورده‌های قیری وجود دارد.



الف- اختلاط لیکا با امولسیون قیر:

در این روش امولسیون قیر با دانه‌های لیکای متوسط تا درشت دانه (۴-۲۵مم)به میزان ۵۰ کیلوگرم امولسیون در هر مترمکعب لیکا مخلوط می‌شود. با توجه به قابلیت تلمبه‌زنی امولسیون و دانه لیکا، اختلاط به سادگی در هنگام انتقال مصالح به روی بام امکان‌پذیر است. چسبندگی خوب دانه‌های لیکا با امولسیون قیر از مزایای این روش است. پس از حدود یک ساعت می‌توان روی این روسازی راه رفت.

ب-اختلاط قیر گرم و لیکا:

اغلب، کف‌سازی روی یک لایه آب‌بند اجرا می‌شود که خود از قابلیت زهکشی برخوردار است. پس ازآن در روی این مصالح باید از یک روسازی مقاوم در برابر آمد و شد استفاده کرد. مخلوط گرم قیر و لیکا، بدون ریزدانه، یک

لایه مقاوم و زهکش برای هدف فوق ایجاد می‌کند. اختلاط می‌تواند در یک کارگاه تولید آسفالت صورت گیرد. یک ترکیب پیشنهادی برای این اختلاط مطابق جدول ۳-۲ است.

جدول۳-۲- طرح اختلاط گرم قیر و لیکا

مصالح	وزن(کیلوگرم)	درصد وزنی	حجم دستی‌مترمکعب
قیر ۸۰/۱۰۰	۷۵	۱۰/۰	۷۱
پرکننده(قیر)	۵۰	٦/۷	۱۹
ماسه شکسته	۱۵۰	۲۰/۰	۵۷
لیکا ٤-۱۰ مم	۱۹۰	۲۵/۳	۲۱۱
لیکا ۱۰-۲۵مم	۲۸۵	۳۸/۰	٤۰۷
جمع	۷۵۰	۱۰۰/۰	۱۰۰۰

حجم مصالح در این جدول بر اساس حجم واقعی است. حجم ظاهری مصالح براساس وزن فضایی آنها و تراکم مورد نیاز قابل محاسبه است. به عنوان مثال برای تولید ۷۵۰ کیلوگرم مخلوط از ۱۰۰۰ لیتر ماسه شکسته، ۳۸۰ لیتر لیکای میانه و ۷۶۰ لیتر لیکای درشت استفاده می‌شود که حجم کل مصالح پس از تراکم به یک متر مکعب خواهد رسید.

۳-۴-۴- حفاظت از لایه آب‌بند

هنگامی که از بام برای رفت و آمد و یا سایر کاربری‌های مشابه استفاده نمی‌شود (نظیر سقف سالن‌های صنعتی) می‌توان از لیکا برای ایجاد سقف‌سازی ارزان قیمت استفاده کرد. در این حالت پس از اجرای لایه آب‌بند باید آن را در برابر اشعه ماورای بنفش آفتاب، تغییرات درجه حرارت در تابستان و ضربه‌های احتمالی وارد برآن محافظت نمود. در چنین حالتی استفاده از سنگدانه‌های معمولی به دلیل وزن زیاد اقتصادی نیست، زیرا علاوه بر اعمال بار اضافی به سازه، انتقال آن به ارتفاع مورد نظر نیز دشوار و پرهزینه است. در این شرایط استفاده از لیکا یک لایه سبک و کارآ پدید می‌آورد که به دلیل سبکی حتی می‌تواند پمپ شود و از هزینه اجرا بکاهد. حداقل ضخامت لایه در این حالت ۸ سانتی‌متر توصیه شده می شود.

این لایه، عایق حرارت خوبی برای سقف خواهد بود. در این حالت نیز مشابه کاربرد لیکا در هموار سازی و شیب بندی می‌توان لایه پوکه ریزی شده را همراه با دوغاب سیمان یا رزین‌های انعطاف‌پذیر دیگرتثبیت نمود.

۳-۴-۵- پوشش کف در زمینهای باز:

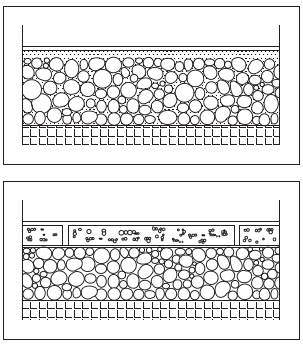
در بسیاری از موارد نظیر زمین‌های بازی کودکان و سایر محوطه‌سازی مشابه در ساختمان‌ها، نیاز به پوشش کف با مصالح مناسب می‌باشد. خواص لازم برای این سطوح عبارت است از: دوام و پایداری، مقاومت سایشی، مقاومت لغزشی خشک و تر، سهولت اجرا و نگهداری، نگهداری آب کم و هزینه پایین اجرا به عبارت دیگر کف سازی مناسب باید ویژگی‌های فوق را در حد مطلوبی برآورده نماید. برای این منظور اغلب از سنگدانه‌های طبیعی، چوب و یا پوشش های صنعتی استفاده می‌شود.

استفاده از شن و ماسه از نظر هزینه اولیه، ضربه‌پذیری و نیاز کم به نگهداری و ترمیم حایز اهمیت است، به این دلیل تاکنون به عنوان یک پوشش ارزان قیمت مورد توجه بوده است. یک مشکل عمده این مصالح وزن زیاد است به طوری که از آنها تنها در کف سازیهای فضای آزاد که وزن خود را مستقیماً به زمین منتقل می‌کنند، استفاده می‌شود. همچنین در زمین‌های بازی، در صورت سقوط افراد–به دلیل زبری و خشن بودن سطح – ایجاد جراحت می‌کنند.

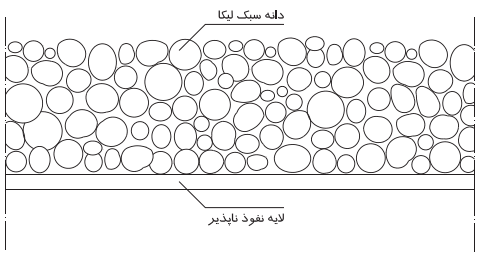
استفاده از چوب نیز در بسیاری از مناطق دارای صرفه اقتصادی است، اما چوب به ویژه در فضای باز از دوام کافی برخوردار نیست. همچنین به دلیل لغزندگی برای حرکت افراد مناسب نیست.

گاهی بر حسب کاربری خاص یک سطح از الاستیک‌ها و کف‌پوش های خاص صنعتی استفاده می‌شود. این کف‌پوش‌ها به گونه‌ای طراحی و ساخته می‌شوند که کلیه نیازهای آن سطح را برآورده نمایند ولی به دلیل هزینه بسیار بالا کاربرد آنها محدود است.

با توجه به موارد فوق استفاده از سبکدانه‌های لیکا مطرح شده است. دانه‌های لیکا برای مستهلک نمودن اثرات ضربه، خواصی مشابه ماسه دارند، از سوی دیگر به هنگام سقوط افراد به دلیل ویژگیهای بافت سطحی، ایجاد جراحت و خراش نمی‌کنند. هزینه نگهداری سطوح پوشش یافته با لیکا پایین است.معمولاً لایه‌های ماسه همه روزه باید شن‌کشی شوند، هر دو ماه یکبار باید تمیز شوند و سرانجام پس از ۶ ماه تعویض گردند در حالی که دانه‌های لیکا تنها باید هر هفته با شن‌کشی تسطیح شوند و پس از یک سال تا ۲۰٪ حجم اصلی باید به دانه‌ها اضافه شود.



شکل ۳-۸- جزئیات حفاظت از لایه آب بندبام



شکل ۳-۹- جزئیات پوشش سبک لایه لیکا در بام

۳-۵- ارزیابی اقتصادی کاربردهای لیکا در ساختمان

۳-۵-۱- کلیات

انتخاب مصالح و روشهای اجرایی ساخت و ساز نیازمند شناخت دقیق ابزار و اهداف کار است. انتخاب روشهای مدرن، ماشـین آلات پیشـرفته و مصالح ظریف‌تر الزاماً به معنی یک روش مناسب اقتصادی و فنی نیست، بلکه مجموعـه‌ای از عوامـل تاثیرگذار اجتماعـی، فرهنگی و اقتصادی تعیین کننده سرنوشـت یک روش با فنآوری مشخص ساخت می‌باشند.

نتایج پژوهشـها نشـان داده اسـت که به کارگیری مصالح نو بدون توجه به ویژگیها و فرهنگ اجرایی آن سبب اتلاف مصالح و هزینه‌ها می‌گردد. به عبارت دیگر تداخل ابزار و مصالح و فرهنگ‌های گوناگون کار باعث تشدید هزینه‌ها و کاهش کیفیت کار می‌گردد. هر چه انتخاب مصالح وفنآوری سـاخت براسـاس دیدگاه مشخص‌تر و یکپارچه‌تری صورت گیرد، نتیجه کار ارزان‌تر و سریعتر خواهد بود.

۳-۵-۲- عوامل ارزیابی اقتصادی

عوامل عمده ارزیابی اقتصادی ساخت و ساز عبارتند از:

الف- تاثیر مثبت در بازدهی تولید مسکن در سطح کشور(ارتقای کمی و کیفی صنایع داخلی)

ب- عمر مفید(دوام و کنترل کیفیت مناسب)

پ- تاثیر در عرضه و تقاضا

ت- هزینه انجام کار

ث- هزینه‌های جاری(تعمیرات جزئی وهزینه مصرف انرژی)

ج- هزینه نگهداری (تعمیرات دوره‌ای)

همانگونه که دیده می‌شود استفاده از مصالح با کیفیت و دوام بالا به طور مستقیم ردیفهای ب، ت و ج و به طور غیر مستقیم بر ردیفهای پ و ث اثر می‌گذارد. همچنین استفاده از مصالح تولیدی و صنعتی بر عوامل ردیف‌های الف، ب و پ موثر اسـت. یکی از شـیوه‌های مناسـب تحلیل اقتصادی الگوها و مصالح ساخت، تجزیه عملیات ساختمانی به عناصر تشکیل دهنده هزینه آن می‌باشد. عمده‌ترین منابع هزینه در پروژه‌های ساختمانی عبارتند از: مصالح، نیروی انسـانی، ابزار و ماشین آلات. همچنین مصالح مصرفی می‌توانند به گروههای مصالح طبیعی یا خام، مصالح ساده یا یک جزیی، مصالح مرکب یا چند جزیی و مصالح صنعتی تفکیک شوند. میزان کاربرد هر یک از این مصالح بیانگر میزان بسـتگی روش سـاخت به فناوری مدرن یا سنتی است. با توجه به حجم نیروی انسـانی مورد نیاز می‌توان برآوردی از زمان مصرف شـده برای احداث بنا به دست آورد. این زمان نقش مهمی در ارزیابی اقتصادی یک پروژه دارد ،به این ترتیب که با طولانی شـدن زمان سـاخت علاوه بر رکود سـرمایه،

فرصتهای اجتماعی و اقتصادی نیز از دست می‌رود.
بعنوان نمونه یک دیوار اجرا شده با بلوک لیکا در ذیل از نظر اقتصادی بررسی شده تا مشخص گردد استفاده از این مصالح چه میزان در کاهش هزینه‌های جاری و آتی ساختمان موثر می‌باشند.

مثال ۳-۷ آنالیز بهای دیوار چینی با بلوک بتنی دانه سبک لیکا مطابق مشخصات زیر:
ضخامت دیوار : ۲۰ سانتی‌متر
شکل بلوک: توخالی ته‌پر

الف- تعداد بلوک در مترمربع دیوار : ۹ عدد

با در نظر گرفتن cm^2 درز افقی و قائم ملات در دیوار خواهیم داشت:

$$\text{تعداد بلوک} = \frac{1}{(0/49+0/02)(0/19+0/02)} = 9/3$$

با احتساب ۲ درصد افت در هنگام حمل و اجرا:

$$\text{تعداد بلوک} = \frac{9/3}{0/98} = 9/5$$

ب- ملات مصرفی در متر مربع دیوار

$$[1-9/5(0/49\times 0/19)]\times 0/19 = 0/0220\ m^3 = 22 \quad Litre$$

$$\frac{22/0}{0/93} = 23/6 \quad Litre$$

پ- آب مصرفی

مقدار آب مورد نیاز برای مرطوب نگاه داشتن دیوار در هنگام اجرا و پس از آن ۷۲ لیتر برآورده می‌گردد.

ت- حمل بلوک و ملات

فرض می‌گردد مصالح در فاصله ۵۰ متری محل اجرا ساخته یا انبار می‌شوند زمان بارگیری، حمل و تخلیه ملات با چرخ دستی به گنجایش ۳۵ لیتر حدود ۵۸ دقیقه و با زنبه به گنجایش ۳۰ لیتر، حدود ۴ دقیقه است بنابراین نیروی انسانی مورد نیاز برای حمل ملات با احتساب ۶۵٪ بازدهی و براساس ۸۰٪ استفاده از چرخ دستی و ۲۰٪ استفاده از زنبه چنین خواهد بود:

کارگر – روز

$$(\frac{0/2\times 23/6}{30}\times 4 + \frac{0/8\times 23/6}{35}\times 5)\times\frac{1}{60}\times\frac{1}{8}\times 1/065 = 0/11$$

همچنین زمان حمل بلوک با چرخ دستی یا زنبه به گنجایش ۴ بلوک ۵ دقیقه است بنابراین نیروی انسانی مورد نیاز برای حمل بلوک با احتساب ۶۵٪ بازدهی چنین است:
کارگر – روز

$$(\frac{9/7}{4}\times 5)\times\frac{1}{60}\times\frac{1}{8}\times\frac{1}{0/65}=0/039$$

توجه: در اغلب کارگاه های بزرگ برای حمل بلوک از تراکتور با کفی استفاده می‌شود، اما در این مثال به دلیل امکان مقایسه راحت‌تر با مصالح معمولی–که در ادامه می‌آید – این روش سنتی حمل بررسی شده است.
استهلاک چرخ دستی و زنبه برابر با ۷۵ روز کاری برآورد می‌گردد بنابراین مقادیر نهایی عوامل حمل به صورت زیر محاسبه می‌شوند.

نیروی انسانی (کارگر – روز) $0/011+0/039=0/05$

چرخ دستی (عدد) $\frac{0/05}{75}\times 0/8=0/00053$

زنبه (عدد) $\frac{0/05}{75}\times 0/2=0/00013$

ث- اجرای دیوار:

به طور کلی کارکرد یک بنا با یک شاگرد و دو کارگر هر روز ۳۲ متر مربع است ۸۰ درصد بنایی به بنای درجه دو و ۲۰ درصد آن به بنای درجه یک نیاز دارد یک سربنا برای نظارت بر کار ۱۰ بنا کافی است پس کل عوامل مورد نیاز عبارتند از:

سربنا (روز) $\frac{1}{32}\times 0/1=0/003$

بنای درجه یک (روز) $\frac{1\times 0/2}{32}=0/0063$

بنای درجه دو (روز) $\frac{1\times 0/8}{32}=0/025$

شاگرد بنا (روز) $\frac{1}{32}=0/03$

کارگر (روز) $\frac{1}{32}\times 2=0/063$

ج- مقایسه با سایر مصالح:

اگر ساخت دیوار مورد نظر با مصالح معمولی نظیر آجرهای فشاری و سفالی و یا بلوک سیمانی بررسی گردد، تفاوت زیر مشاهده می‌شود:

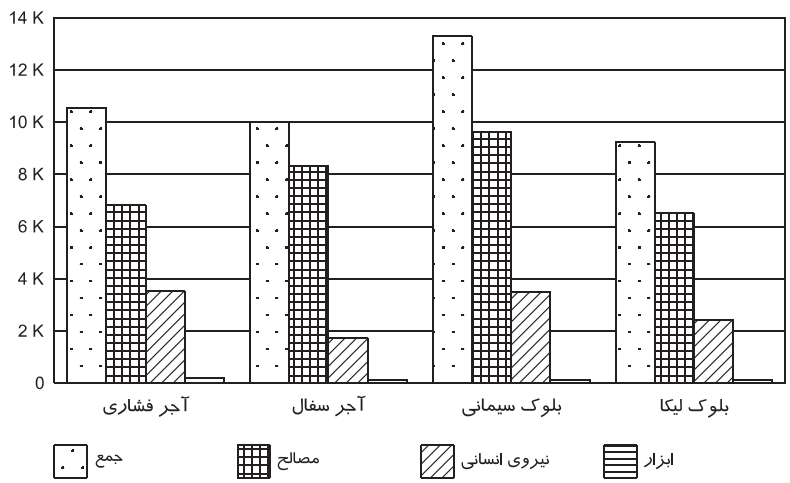
۱) تعداد آجر یا بلوک مورد نیاز با توجه به ابعاد آنها تعیین می‌گردد. مقدار مصرف ملات به دلیل ابعاد کوچک‌تر این مصالح، بیشتر از دیوار یا بلوک لیکا خواهد بود مقادیر افت و دور ریز نیز براساس نوع آنها تعیین می‌گردد.
۲) مقادیر عوامل مورد نیاز برای حمل مصالح با توجه به تغییرات فوق، متفاوت می‌باشد قابل ذکر است که حمل بلوک‌های لیکا به دلیل وزن کم‌تر سریعتر صورت می‌گیرد.
۳) بازدهی گروه اجرایی با کاهش ابعاد آجرها یا بلوک‌ها، غیر یکنواختی سـطوح و وزن قطعات آجر یا بلوک به شدت کاهش می‌یابد.

جدول م۳-۶-برخی از ویژگی‌های موثر مصالح در آنالیزهای اجزای دیوار

ویژگی‌ها	آجر فشاری	آجر سفال	بلوک سیمانی	بلوک لیکا
ابعاد(سانتی‌متر)	۲۱×۱۰×۵/۵	۲۰*۲۰*۱۰	۴۰*۲۰*۲۰	۴۹*۱۹*۲۰
وزن قطعه(kg)	۱/۵	۲/۵	۱۴	۱۰
بازدهی گروه اجرا(مترمربع در روز)	۱۲	۲۵	۲۰	۳۲
دورریز آجر یا بلوک (درصد)	۱۱	۱۱	۵	۲

نتایج نهایی در جدول م ۳-۷ برای مقایسه آمده‌اند

چ- مقایسه هزینه‌های واقعی



نمودار ۳-۱- مقایسه هزینه تمام شده روشهای مختلف دیوار چینی

برای تعیین بهای نهایی هر متر مربع دیوار چینی به روشـهای فوق، بهای هر جزء بر اسـاس نرخهای موجود و واقعی در جداول منظور می‌شود. همانگونه که مشاهده می‌گردد، بخش عمده‌ای از هزینه کار را مصالح تشکیل می‌دهند با استفاده از بلوک‌های بزرگ، حجم ملات مصرفی کاهش می‌یابد.
همچنین چنانچه وزن بلوک کم باشد، با افزایش بازدهی هزینه‌های نیروی انسانی نیز کاهش می‌یابند. بنابراین کاربرد بلوک لیکا باعث می‌شود تا هریک از ردیفهای هزینه موجود، قابل رقابت با روش‌های مشابه گردند.

جدول ۳-۷-آنالیز بهای آجر و بلوک چینی به ضخامت ۲۰ سانتی‌متر

آنالیز بهای یک متر مربع دیوار		اجر فشاری	اجر سفال	بلوک سیمانی	بلوک لیکا
۱- مصالح	**واحد**	**مقدار**			
بلوک	قالب	۱۳۸	٤۹	۱۲	۹/۷
ملات	لیتر	۷٤	۲۸	۱۹/٦	۲۳/٦
اب	لیتر	۷۲	۷۲	۷۲	۷۲
۲- نیروی انسانی	**واحد**	**مقدار**			
سربنا	روز	۰/۰۰۸	۰/۰۰٤	۰/۰۰٤٤	۰/۰۰۳
بنای درجه ۱	روز	۰/۰٤۱	۰/۰۲	۰/۰٤۵	۰/۰۰٦۳
بنای درجه ۲	روز	۰/۰٤۱	۰/۰۲	۰/۰۳۹۸	۰/۰۲۵
شاگرد بنا	روز	۰/۰۸۲	۰/۰٤	۰/۰٤۸۸	۰/۰۳
کارگر	روز	۰/۰۱۳	۰/۰٦۲	۰/۰۱۷۹	۰/۰٦۳
۳- ابزار و ماشین الات	**واحد**	**مقدار**			
چرخ دستی	عدد	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰٦	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۰۵۳
زنبه	عدد	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۱۳

باید در اینجا متذکر شـد که برخی عوامل دیگر نیز بر هزینه‌های تمام شـده سـاختمان موثرند که با توجه به مشخصات ویژه هر ساختمان در نظر گرفته می‌شوند.

الف- هزینه‌های فضای اشغال شده:
چنانچه با اسـتفاده از مصالـح مقاوم‌تر و ویژگی های مورد انتظار دیوار چینـی در ضخامت کمتر برآورده گردد، هزینه فضای صرفه‌جویی شـده باید در محاسـبات منظور گردد. به عنوان مثال با استفاده از هر متر مربع بلوک ۸ سانتی‌متر لیکا، ۰/۰۳ مترمربع فضای مفید نسبت به تیغه‌های ۱۱ سانتی‌متری متداول به دست می‌آید که به راحتی براسـاس قیمت زمین و بنا قابل ارزش‌گذاری اسـت این رقم گاهی بیش از هزینه کل دیوار چینی برآورد می‌گردد!

ب- هزینه سازه باربر:
هر مترمربع دیوار ۲۰ سانتی‌متری لیکا تنها ۱۵۴ کیلوگرم بر مترمربع وزن دارد که کمتر از۳۷٪ وزن دیوار آجری

اســت. بنابراین صرفه‌جویی قابل ملاحظه‌ای در اســکلت انجام می‌گیرد. میزان صرفه‌جویی براساس مشخصات ساختمان باعث کاهش وزن بار مرده تا ۳۰٪ می گردد.

پ- هزینه‌های تاسیسات:

ضریب رسانایی حرارتی دیوار ۲۰ سانتی‌متری لیکا بسیار کمتر از دیوار مشابه آجری است، بنابراین هزینه‌های تاسیساتی اولیه و نیز هزینه انرژی ساختمان در طول عمر آن کاهش خواهد یافت. این رقم به گونه‌ای است که ظرف چند سال هزینه‌های اضافی احتمالی بابت عایق کاری را مستهلک می‌کند.

ت- هزینه های نگهداری ساختمان:

بخش عمده ای از فعالیت‌های ســاختمانی در کشــور صــرف تعمیر و نگهداری ســاختمان می‌گردد. تجارب و مطالعات نشان داده‌اند که دانه‌های لیکا به دلیل دوام و نداشتن اثر تخریبی بر سایر اجزاء ساختمان نقش موثری در کاهش چنین هزینه‌هایی دارند.

۴- کاربردهای لیکا در راهسازی و ژئوتکنیک

۴-۱- زیرسازی و بستر راه

۴-۱-۱-کنترل نشست و تثبیت خاک

یکی از مشـکلات راه‌سـازی بر خاک‌های مسـئله‌دار، اجرای خاکریز روی خاک های رسـوبی سست و کنترل نشسـت‌های کوتـاه مدت و دراز مدت آنهاسـت. خاک رس و گل آهک (مارن) تا چنـد برابر آب می‌مکد و ورم می‌کند و پس از خشـک شـدن ترک می‌خورد. اگر به زمین بسـتر راه که از جنس رس یا گل آهک اسـت آب کمی برسـد، خاک به حالت خمیری سـفت در می‌آید و با ایجاد یک بستر فنری، سبب لرزش جسم راه زیر چرخ خودروهای سـنگین می‌شود. هنگامی که میزان آب نشت کرده به بستر زیاد باشد، خاک بستر به حالت خمیری شـل در می‌آید و سـبب می‌شود جسـم راه در اثر وزن خود و لرزش ناشی از آمد و شد در بستر نشست کند. این فرآیند در راه‌هایی که در زمین شیب‌دار ساخته می‌شوند، سبب لغزش جسم راه – براثر وزن راه، لرزش ناشی از آمد و شد و فشار خاک بالاست راه– به سوی کف دره می‌شود.

با توجه به این که در اغلب مناطق کشور عبور راه از چنین بسترهایی گریز ناپذیر است، لازم است ضمن کاربرد لایه‌هایی از مصالح مرغوب، با خشک نگهداشتن شیروانی ترانشه ها و کانالهای دو طرف راه با کانالهای هدایت آب بسـتر رسی یا مارنی خشک نگهداشت. همچنین از آنجا که وزن جسم راه یک عامل اصلی در بروز نشست است، سبک کردن آن به کنترل نشست کمک می‌کند. به طور کلی میزان نشست در بسترهای سست بستگی به ارتفاع خاکریزی، عمق لایه ضعیف و ویژگی‌های تراکم‌پذیری خاک دارد و خود عامل مشکل‌آفرین در همواری، عملکرد و دوام راه می باشد.علاوه بر بار ناشی از خاکریزی و جسم راه، تغییرات آب زیر زمینی نیز می‌تواند سبب نشست شود. تغییرات لایه‌های زیرین و تغییر بار روی بستر راه در فواصل کوتاه‌مدت موجب نشست‌های موضعی در راه می‌شود. نشست‌های غیر یکنواخت و پله‌ای اغلب در محل‌های زیر روی می‌دهند:

– اطراف لایه‌های ضعیف

– در محل‌های تغییر مقاومت زیر اساس

– در محل احداث ابنیه پل‌ها، کانال‌های زهکشـی، پرکردن کانال‌ها و یا کاهش سـطح آب زیر زمینی سـبب افزایش نشست می‌گردد.

در برآورد قابلیت آسیب پذیری راه در اثر نشست‌های کلی و موضعی، باید عوامل زیر را در نظر گرفت:

– آمد و شد راه

– میدان دید راننده

– عملکرد و قابلیت آسیب‌پذیری سازه‌های مجاور یا نزدیک راه

– ترمیم نشست‌ها و ترک‌ها و مسایل مربوط به آن

– هزینه ترمیم

– هزینه تقویت بستر راه یا جایگزینی لایه‌های ضعیف

مجموع این عوامل به همراه بررسی چگونگی نشست می‌تواند بهترین روش مقابله با این مشکل را تعیین نماید. راه‌حل‌های متداول برای این موضوع اغلب بر دو اصل گریز از بستر سست و یا جایگزینی آن با مصالح مرغوب تکیــه دارند.که این دو روش در بســیاری از موارد پرهزینه و یا امکان ناپذیرنــد. کاربرد لیکا ضمن کاهش وزن خاکریزی، ســبب زهکشی مناســب راه و جلوگیری از نشت آب به بستر می‌شود با این عمل نشست‌های کلی و موضعی کاهش می‌یابند. چنانچه ســبک کردن خاکریز کافی نباشــد، می‌توان با جایگزینی بخشی از لایه‌های ضعیف با دانه‌های ســبک لیکا، باز هم بار وارد بر بســتر و در نتیجه مقدار نشســت را کاهش داد. توزیع بار نیز می‌تواند ســبب حذف یا کاهش نشســت غیر یکنواخت گردد. این عمل از خاکریزهایی که در کنار یا در نزدیکی ســازه‌های صلب هســتند، برای کنترل نشســت‌های نسبی در مرز بین خاکریز و ســازه، لازم است و از اعمال بارهای اضافی ناشــی از نشســت زیراساس به ســازه جلوگیری می‌کند. در محل‌هایی مانند کناره‌های لایه‌های ضعیــف خاک، نقاط تغییر در مقاومت بســتر و محل‌های اتصال ابنیه راه و ســازه ها بــه خاکریز راه،می توان با لایه‌های نازکی از دا نه لیکا، از نشســت‌های موضعی و ناگهانی جلوگیری کرد. در غیر این صورت اغلب لازم است اقدام به تقویت بستر و جسم راه نمود که خود سبب افزایش بار ناشی از وزن می‌گردد. با کاربرد لیکا اغلب نیاز به تقویت بســتر راه نیســت، اما در موارد خاص می‌توان از یک یا ترکیبی از راه‌حل‌های متداول نظیر پیش بارگذاری، زهکشی قائم، تحکیم عمیق و نظایر آن و یا پارچه گونه‌ها (ژئوتکستایل‌ها) و شبکه‌های مسلح کننده خاک (نظیر ژئوگریدها) استفاده کرد.

موارد فوق می‌توانند برای پی سازی در انواع سازه‌ها به کار روند. از آن جا که دانه‌های لیکا تحت فشار ثابت و دایمی فشرده نمی‌شوند و در واقع تغییر شکل خمیری ندارند، و نیز به دلیل دارا بودن وزن کم و قابلیت زهکشی خوب، می‌توان در پی سازی ساختمان‌های متداول بر خاک‌های سست، ازاین مصالح استفاده نمود.

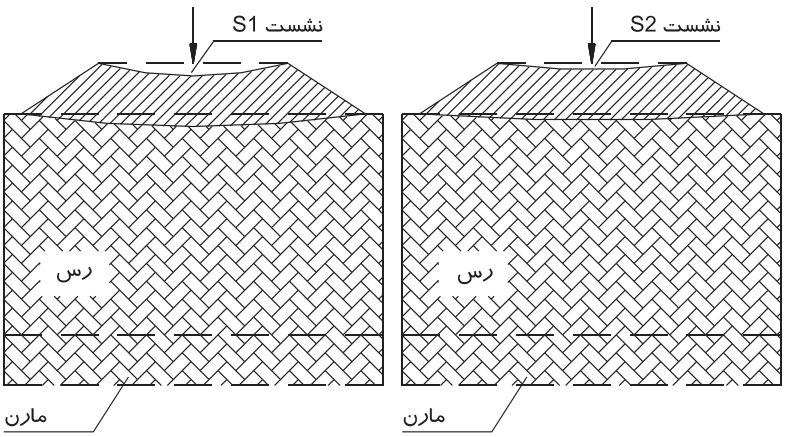
نمونه‌های دانه لیکا در طبقه‌بندی براســاس دانه‌بندی، در گروه های GW و GP روش متحد و A–۱ روش آشتو قرار می‌گیرند.

نمونه ۴–۱: یک نمونه از کنترل و تثبیت خاکریزی با استفاده از دانه‌های لیکا است. در این طرح راه‌سازی، روی بستری به عمق ۴ تا ۵ متر از خاک باتلاقی، یک خاکریز قدیمی ۲۰ ساله وجود داشت که به دلیل نشست‌های متعدد نیازمند نگهداری دایمی بود. جزییات کلی خاکریز پیشنهادی در شکل م ۴–۱ نشان داده شده است. در این روش پیشنهادی دانه‌های لیکا در اندازه ۰ تا ۲۵ مم با رطوبت نزدیک به اشباع دانه ها (۵۰ درصد) در ضخامت ۵۰ تا ۶۰ س‌م با شیب کناری ۶۰ درجه به کار رفتند.

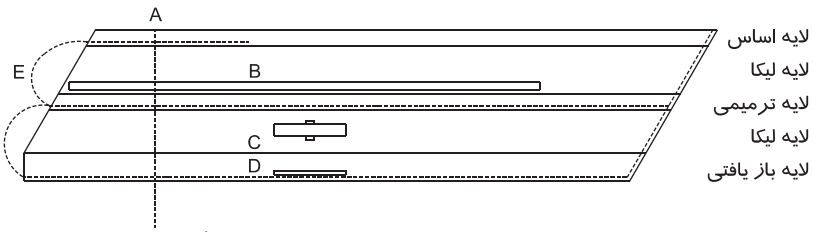
میزان تراکم بیشینه تحت لرزش مطابق (ASTM-D-2409) تعیین شد. پس از قرار دادن یک لایه لیکا به ضخامت ۶۰س‌م نوارهایی از ژئو–تکستایل به پهنای ۲۰ س‌م روی آن قرار گرفتند. با کاربرد مصالح متراکم در آخرین لایه، انرژی تراکم بیشــتری به لایه‌های لیکا منتقل می‌شود. وزن حجمی ظاهری لیکا در حالت متراکم به ۷۰۰ kg/m^3 رســید. همانگونه که در شکل م۴–۱ دیده می‌شود، ابزارهای اندازه‌گیری چگالی و تغییر مکان

در هنگام ساخت خاکریز تعبیه شدند. مقدار فشار ثابت شده ۳ تن بر مترمربع و میزان نشست مطلوب ارزیابی شد. طرح پیشنهادی فوق ابتدا در یک طول آزمایشی ۷۵ متری و پس از آن در طول ۲/۵ کیلومتر اجرا گردید.

نمونه ۴-۲: طرح قابل توجه دیگر، احداث یک توقفگاه خودرو در تالابی در هلند است هدف از این طرح پرکردن تالاب برای ایجاد توقفگاه و امتداد خیابان رابط تا کنار آن بوده است. زمان این طرح ۶ ماه تعیین شد. مهمترین اطلاعات اخذ شده از مطالعات صحرایی به شرح زیر است:



شکل ۴-۱- کنترل نشست با استفاده از لیکا



A ستون اندازه گیری نشست ها
B کرنش سنـــــج
C صفحه اندازه گیری نشست
D محفظه اندازه گیری فشار
E پارچه گونه (با وزن $350g/m^2$)

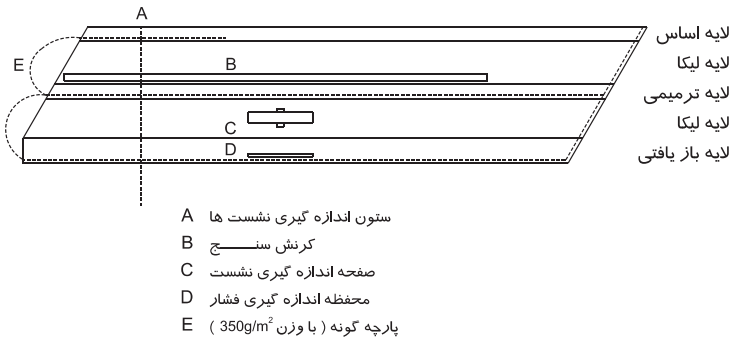
شکل م -۴-۱- جزئیات خاکریزی روی بستر با تلاقی

سطح جاده :۱/۶+متر از سطح مرجع
سطح آب: در عمق ۱/۲۵ تا ۱/۷۵ از کف و ۳/۵ تا ۴/۰ متری سطح مرجع، (عمق آب در ۲ متری ساحل تالاب بین ۰/۵ تا ۱ متر است)
موقعیت گل و لای: ۰/۱۵ تا ۰/۴ متر در وسط تالاب، شامل خاک رس و موادآلی در بخش‌های مختلف
جسم راه: ۰/۳ تا ۰/۵ متر ماسه و قلوه سنگ
روش اجرایی براساس کاربرد دانه‌های سبک در شرح زیر(مطابق شکل م۴-۲) پیشنهاد گردید:
الف- ابتدا کناره‌های بخشی که باید پر شود محصور می‌شود.
ب- لوله‌هایی از ژئوتکستایل در قطرهای ۸۰۰مم برای عمق آب کمتر از ۱/۵ متر و ۱۰۰۰ مم برای عمق آب بیشتر ساخته می‌شوند و در فواصل ۲۰۰مم به کمک تیرهای چوبی نصب می‌شوند. روی این لوله‌ها مجدداً در جهت عرضی و در فواصل ۵۰مم لوله‌های دیگری نصب می‌شوند. طول لوله‌ها معادل عرض محدوده مورد نظر شامل شانه‌های اطراف و بین ۸ تا ۱۲ متر است. داخل لوله‌ها با دانه سبک‌پر می‌شود. می‌توان بیرون لوله‌ها را با نوار مناسب در مقابل نفوذ لجن تالاب، آب‌بندی کرد.
پ- روی این مجموعه یک لایه ژئوتکستایل قرار می‌گیرد و با ریختن ماسه مجموعه در سطح مورد نظر پیش بارگذاری می‌گردد. پیش بار گذاری به مدت نیم تا یکسال باقی می‌ماند. پس از این مدت می‌توان در صورت لزوم، مجموعه را براساس نشست قابل انتظار و واقعی تسطیح کرد.
ت- سطح آماده شده برای زیرسازی پارکینگ مناسب خواهد بود. زیرسازی می‌تواند با ماسه یا سرباره تثبیت شده انجام شود.
جدول م ۴-۱ نتایج تحلیلی را برای پیش بینی نشست تحت پیش بارگذاری نشان می‌دهد. چنانچه میزان فشردگی واقعی با اعداد پیش بینی شده متفاوت باشد، می‌توان با تنظیم زمان پیش بار گذاری آن را تصحیح نمود.

جدول م۴-۱ مقادیر پیش بارگذاری و نشست پیش بینی شده

سطح زیرسازی (نسبت به سطح مرجع)	زمان پیش بارگذاری(سال)	فشردگی(متر)	فشردگی باقیمانده(متر)
±۰/۰	۰/۵	۰/۵	۰/۳
±۰/۰	۱/۰	۰/۷	۰/۱
+۱/۰ M	۰/۵	۰/٦۵	۰/۲
+۱/۰ M	۱/۰	۰/۸۵	-

- فشردگی باقیمانده در زمانی معادل ۳۰ سال روی می‌دهد.



شکل م -۴-۲- جزئیات خاکریزی روی بستر باتلاقی

۴-۱-۲- زهکشی و کاهش مویینگی

آب جاری سـطحی یا آب موجود در بدنه خاک در صورت نفوذ به جسـم روسـازی و یا خاک بستر، سبب خرابی روسازی می‌شود. عوامل خرابی ناشی از نفوذ آب را می‌توان به صورت زیر برشمرد:

الف- در اثر بارگذاری دینامیکی ناشـی از آمد و شـد، فشـار آب منفذی خاک اشـباع و یا نزدیک به اشباع زیاد می‌شود ودر نتیجه، تنش موثر(فشار تماس بین دانه‌های خاک) و تاب برشی خاک کاهش می‌یابد.

ب- با غوطه‌ور شدن خاک، تنش موثر و در نتیجه مقاومت برشی آن کم می‌شود.

پ- خاک مستعد تورم با جذب آب، ازدیاد حجم می‌یابد و سبب کاهش تاب برشی و یا تورم ناهمگن و در نهایت ترک و خرابی می‌شود.

ت- در بسترهای سیلتی و رسی، رطوبت سبب کاهش مقاومت برشی می‌شود.

ث- دانه‌های ریز خاک بسـتر در حالت اشـباع، تحت اثر ضربه‌های ناشـی از آمد و شـد به داخل قشر اساس و زیراسـاس شسـته می‌شوند و سبب کاهش پایداری و مقاومت آنها می‌شـوند. در واقع این دانه‌های ریز در نقاط تماس دانه‌های درشت قرار می‌گیرند و مقاومت را کم می‌کنند.

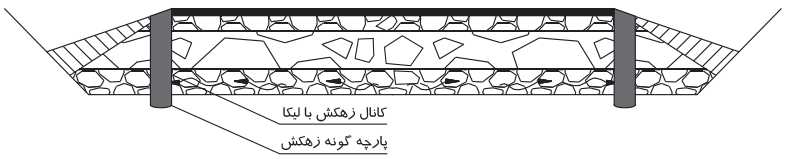
ج- چون مقاومت قشر اساس و زیراساس در برابر عبور آب کمتر از مقاومت رویه و بستر است، آبی که به بدنه جاده نفوذ می‌کند، در داخل قشر اساس و زیراساس و در جهت شیب جاده حرکت می‌کند و در نقاط پست جمع می‌شـود. فشـار ایست آبی (هیدرواستاتیک) آب جمع شده سبب می‌شـود که رویه غیرقابل نفوذ روسازی تحت فشار بالا بیاید و گسیخته شود.

به طور کلی در مواردی که سـفره آب زیرزمینی بالا باشـد یا در صورت وجود جریان آب زیرزمینی(زه آب) و یا در صورت نفوذ آب سـطحی، باید اقدام مناسـب برای زهکشـی و جلوگیری از ورود آب به بدنه راه انجام شود. لایه‌های جسـم راه اغلب به گونه‌ای زهکشـی می‌شـوند که آب تراوش یافته از لایه‌های زیرین(در اثر پدیده مویینگـی)، به طور مسـتقیم در امتداد لایه‌های راه به شـیروانی‌های خاکریز، جوی‌هـای کناری، زهکش‌های

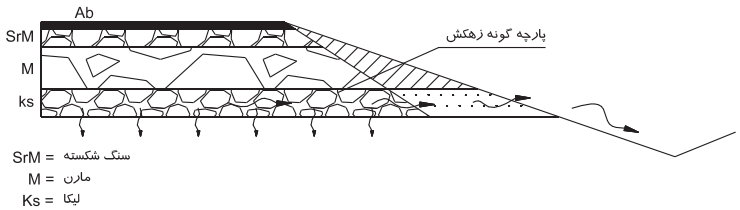
سرپوشـیده یا کانال‌های زهکش روبـاز هدایت گردد. آبی که از کناره‌هـای راه می‌آید نیز به جوی‌های کناری می‌پیوندد، اگر لایه‌های راه در زیر سـطح آب زیرزمینی اجرا شـده باشند، سـطح آب با استفاده از زهکش‌های سرپوشیده پایین نگاه داشته می‌شود.

بـا توجه به ویژگی‌های مناسـب لیکا برای زهکشـی، از آن به عنوان مصالح پرکننـده در لایه‌های زهکش یا کانال‌های هدایت آب اسـتفاده می‌شـود در کانال‌های زهکش بالاتر از عمق نفوذ یخبندان، می‌توان از لیکا به عنوان عایق حرارت استفاده کرد.

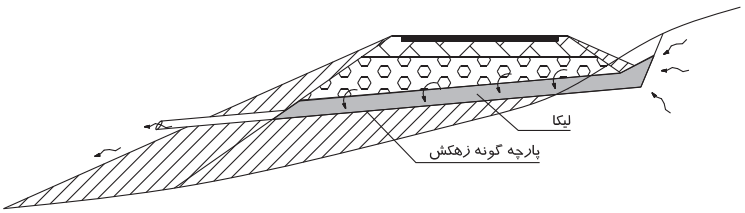
شکل‌های ۴-۲ تا ۴-۵ نمونه‌ای از اجرای زهکش با لیکا را نشان می‌دهند.



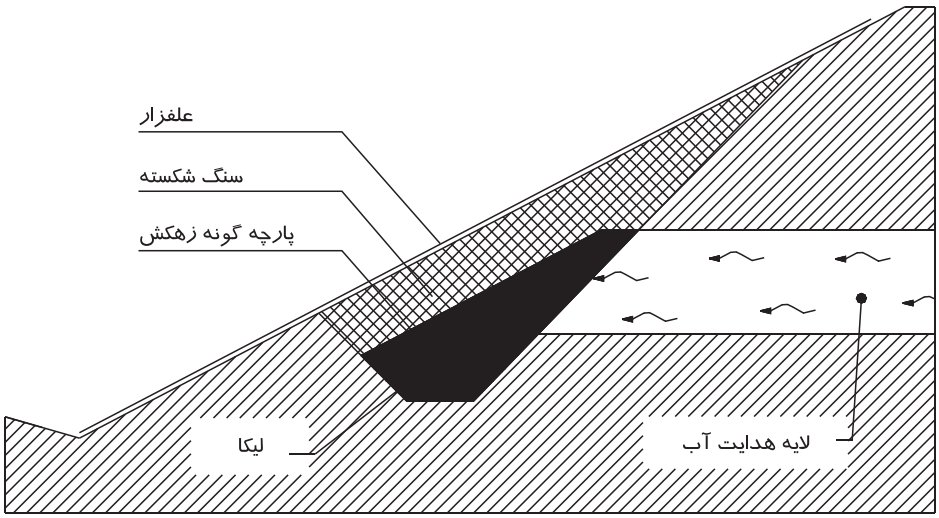
شکل ۴-۲- کانال‌های زهکش در دو طرف راه



شکل ۴-۳- زهکشی آب به شیروانی



شکل ۴-۴- انتقال آب از زیر بدنه روسازی



شکل ۴-۵- انتقال جریان آب و حفاظت کانال زهکش

مثال۴-۳: مطلوبست طرح زهکش برای راه نشان داده شده در شکل م ۴-۳ با مشخصات داده شده با استفاده از دانه لیکا در اندازه ۱۰ تا ۲۰ مم

حجم آب داده شده به قشر زهکشی مطابق رابطه زیر با توجه به شبکه جریان رسم شده چنین به دست می‌آید:

$$Q = K.H.\frac{n_f}{n_e}.1$$

Q دبی بر حسب فوت مکعب در روز، K ضریب نفوذ ناپذیری بر حسب فوت در روز، H انرژی مستهلک شده در ابتدا و انتهای خطوط جریان بر حسب فوت، nf تعداد مسیرهای جریان و ne تعداد تقسیمات افت پتانسیل است.

$$Q = (0/0062)(20)(\frac{9}{3})(1) = 0/372\ ft^3/day/ft = 0/0345\,m^3/day/m$$

برای جلوگیری از شسته شدن خاک بستر در قشر زهکش از صافی یا فیلتر با ویژگی زیر استفاده می‌کنیم:

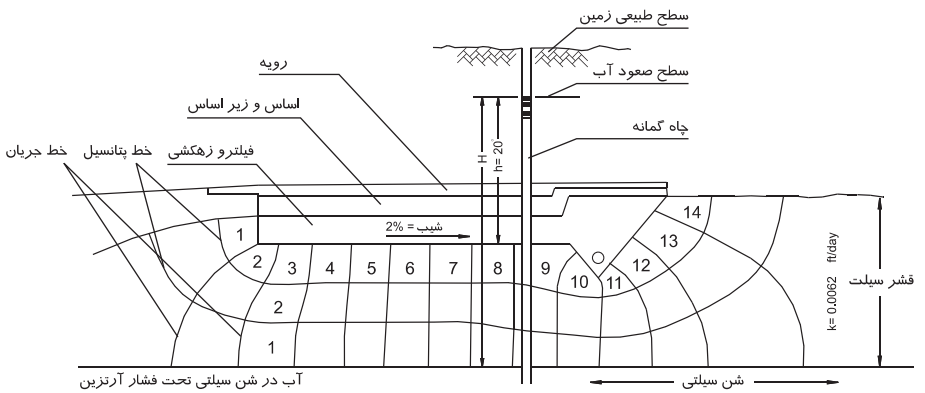
$$\frac{\text{فیلتر}\quad D_{15}}{\text{بستر}\quad D_{85}} \le 5$$

از سوی دیگر برای جلوگیری از شسته شدن خاک فیلتر به درون زهکش باید رابطه زیر برقرار باشد:

$$\frac{\text{زهکش}\quad D_{15}}{\text{فیلتر}\quad D_{85}} \le 5$$

بنابراین : فیلتر $D_{85} \le \frac{10}{5} = 2/0 \ \ mm$

فیلتر $D_{85} \ge \frac{10}{5} = 2/0 \ \ mm$



شکل م ۴-۳- شبکه جریان مثال ۴-۳

همچنین لازم است درصد مصالح قشر صافی که از الک ۲۰۰ عبور می‌کنند، بیش از ۵ درصد باشد و منحنی دانه‌بندی خاک صافی تقریباً موازی خاک حفاظت شده باشد. بنابراین نمودار دانه‌بندی صافی مطابق نمودار ۶-۱ رسم می‌شود.

برای تعیین ظرفیت عبور آب از قشر زهکش از رابطه دارسی استفاده می‌شود.

$Q=KiA$

که Q و K همانند تعریف قبلی،i گرادیان هیدرولیکی و A سطح عمود بر جریان آب در داخل زهکش بر حسب فوت مربع است. بنابراین برای واحد طول راه داریم :

$$T \times 1 = \frac{Q}{Ki}$$

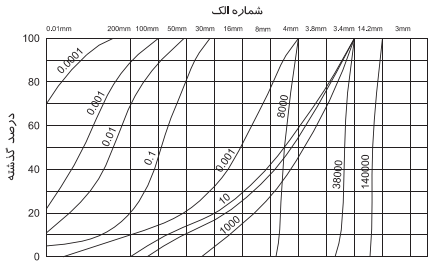
که T ضخامت زهکش بر حسب فوت است.
میزان نفوذپذیری قشر زهکش براساس آزمایش‌ها و یا نمودارهای تجربی شبیه نمودار ۴-۲ به دست می‌آید. بر این اساس و با فرض گرادیان هیدرولیکی معادل با شیب عرضی جاده (۰/۰۲) داریم:

$$T = \frac{0/372}{(38000)(0/02)} = 0/0005 \quad ft = 1.52 \times 10^{-4} m$$

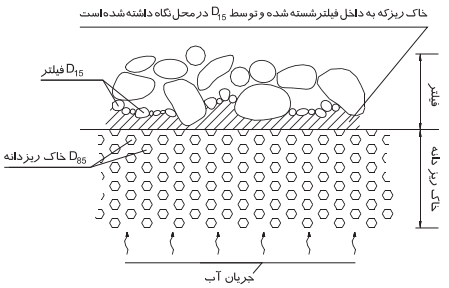
مقدار ضخامت به دست آمده بیانگر آنست که نفوذپذیری دانه لیکای مصرفی به حدی است که با هر ضخامت کوچکی قادر است دبی وارده را منتقل کند. پس تنها با توجه به مسایل اقتصادی و امکانات اجرایی از ۱۰ س‌م دانه لیکا اســتفاده می‌کنیم، ضخامت صافی نیز معادل ۱۰ س‌م خواهد بود. اگر بخواهیم به جای روش فوق از تنها یک لایه از مصالح صافی اســتفاده کنیم. ضخامت آن براســاس ضریب نفوذپذیری حاصل از نمودار م۲-۴ چنین به دست می‌آید:

$$T = \frac{0/372}{(10)(0/02)} = 1/85 \ ft \# 0/56 \ m$$

بدیهی است ضخامت ۵۶ س‌م در مقایسه با حالت دو لایه، اقتصادی نیست.
شکل‌های م۴-۴ و م۴-۵ جزییات بهتری از روش زهکشی مثال فوق را نشان می‌دهند



نمودار م ۴-۲- ضریب نفوذپذیری برای چند دانه بندی مختلف



شکل م ۴-۴- اصول کار فیلتر یا صافی

مثال ۴-۴ مطلوبست ارتفاع صعود آب در نمونه‌ای از دانه‌های لیکا در اندازه ۱۰ تا ۲۰ مم با مشخصات زیر:

$$e = 0/49 \ , \ n = \%32 \ , \ d_{10} = 10_{mm} \ , \ \nu = 0/66$$

ارتفاع صعود آب h_c به روش موبینگی در یکی از دو رابطه زیر به دست می‌آید:

$$h_c = \frac{c}{ed_{10}}$$

که e ضریب تخلخل، d_{10} قطری اســت که ۱۰درصد ذرات از آن عبور می‌کنند (س م) و c ضریب ثابت بین ۰/۱ تا ۰/۵ بر حسب س م مربع است.

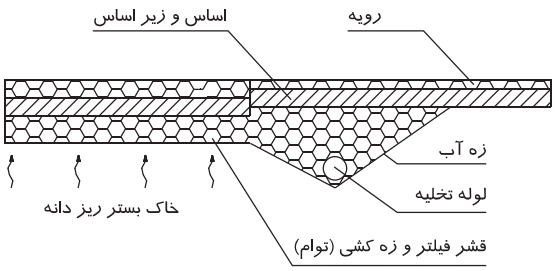
$$h_c = 0/482\frac{100H^{-n}}{n}.\nu$$

که n نشانه تخلخل و v سطح مخصوص است.
پس از رابطه اول داریم:

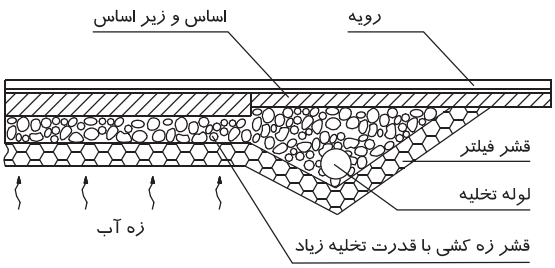
$$h_c = \frac{c}{0/49\times 1/0} \Rightarrow h_c = 0/20 \sim 1/0 \ cm$$

و از رابطه دوم:

$$h_c = 0/482 \times \frac{100-32}{32} \times 0/66 = 0/68 \ cm$$



قشر فیلتر و زه کشی متشکل از یک لایه



قشر فیلتر و زه کشی متشکل از دو لایه

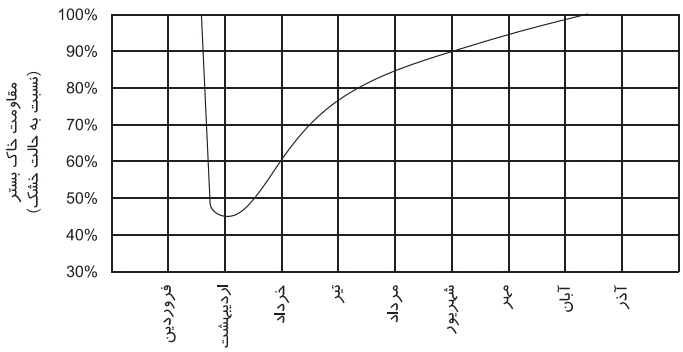
شکل م ۴-۴- اصول کارفیلتر یا صافی

۴-۱-۳-کاهش آسیب یخ‌زدگی

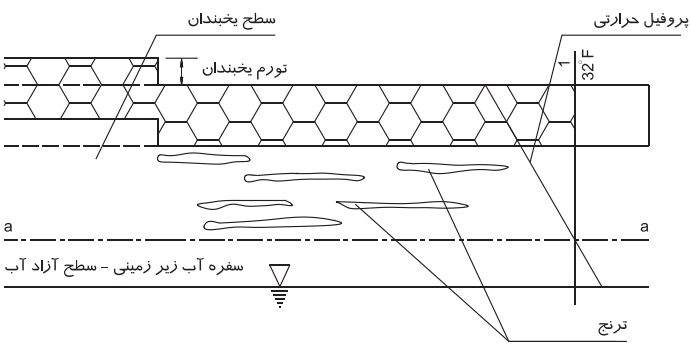
هنگامی که درجه حرارت هوا برای مدت دو تا سه روز در زیر صفر درجه سانتی‌گراد باقی بماند، آب موجود در بدنه خاک یخ می‌زند. خاک سبب تورم و درنهایت ترک خوردن و ناهمواری روسازی می‌شود. مقطع راه نشان داده شده در شکل ۴-۶ چگونگی این فرآیند را نشان می‌دهد و لنزهای یخ به موازات سطح زمین تشکیل می‌شوند و میزان تورم اغلب برابر با ضخامت مجموع لنزهای یخ در زیر بستر وتا عمق نفوذ یخبندان است. یخ‌زدگی زیراساس در شرایط ناهمگونی زیراساس، تغییرات شرایط محیطی و جریان آب، سبب تورم ناهمگن و ترک می‌شود. با ذوب شدن یخ‌ها، آب حاصل از ذوب یخ سبب کاهش ظرفیت باربری زیراساس و بدنه راه می‌گردد و باعث آسیب تحت اثر بار آمدو شد می شود. (نمودار ۴-۱)

افزایش حجم آب در اثر یخ‌زدن ۹ درصد است، پس در خاک اشباع با ضریب تخلخل (e) ۰/۷ و با عمق یخبندان ۵۰ س‌م تورم باید حدود ۲ س‌م باشد. اما درعمل با تشکیل اولین بلورهای یخ در داخل حفره‌های خاک، چنانچه

آب کافی از راه حفره‌های زیرزمینی یا رطوبت بدنه تامین شـود، آب به سـمت بلور یخ جذب و حجم یخ افزایش می‌یابـد، انتقـال آب به روش موئینگی انجام می‌شـود و از آنجا که اغلب یخ‌زدگی در حفره‌های درشـت روی می‌دهد، حفره‌های ریز برای رساندن آب به لنزهای یخ باز می‌مانند. بنابراین میزان تورم می‌تواند بسیار بیش از افزایش حجم آب باشد و در نمونه‌ای مانند مثال بالا به ۱۰ س‌م نیز برسد.



نمودار ۴-۱- نمونه تغییرات مقاومت خاک بستر در ماه‌های مختلف



شکل ۴-۶- فرآیند تشکیل لنز یخ و تورم

به طور کلی شرایط لازم برای ایجاد تورم یخبندان عبارت است از :

الف- وجود خاک مستعد یخبندان (نمودار۴-۲)

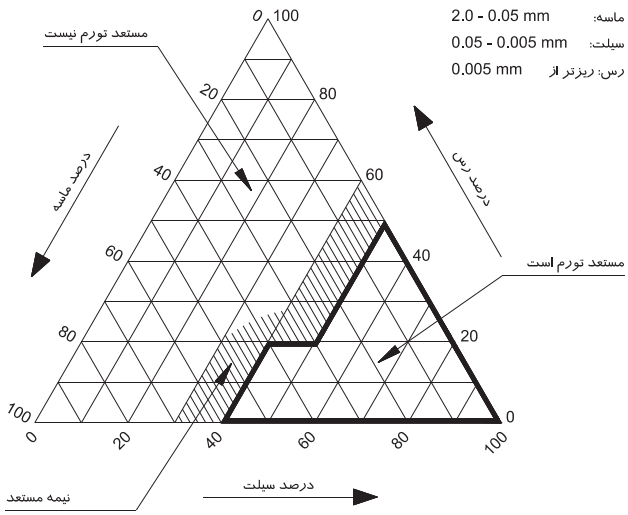
ب- باقی ماندن درجه حرارت هوا در زیر صفر درجه سانتی‌گراد به مدت کافی

پ- وجود آب به صورت سفره آب زیرزمینی یا آب سطحی که بتواند درون خاک نفوذ کند.

بنابراین راه حل مقابله با این مشـکل نیز باید شـامل حذف یک یا چند عامل فوق باشـد. در مواردی که عمق

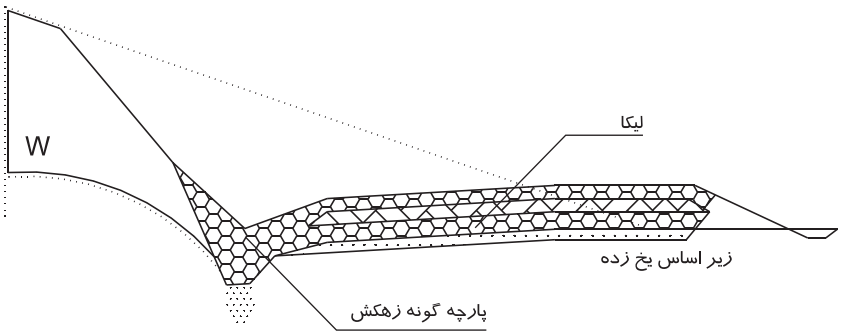
نفوذ یخبندان کم باشـد، می‌توان قشـر اساس و زیراساس را به ضخامتی معادل عمق نفوذ یخبندان ساخت، اما این روش در اغلب اوقات پرهزینه است. تعویض یا اصلاح خاک مستعد یخبندان تا عمق ۱/۲ و ۳/۴ اینچ نیز تا حدودی کمک می‌نماید. همچنین گاهی خاکسـتر بسـتر را تا عمق نفوذ یخبندان بر می دارند و سـپس آن را مجدداً مخلوط و متراکم می‌کنند در این حالت اگر چه از تورم ناهمگن کاسته می‌شود، اما از بروز تورم جلوگیری نمی‌شود.

قطع مسیر نفوذ آب به روش‌های گوناگون نظیر زهکشی و کاهش مویینگی نیز راه دیگری برای مقابله با مشکل اسـت. در این مدت برای جلویگری از نفوذ آب سـطحی، ترک‌های سـطح روسازی باید هر سال تعمیر شوند و شانه‌های راه با مواد قیری اندود گردند.



نمودار ۴-۲- نمودار تشخیص خاک مستعد تورم

کاربرد دانه‌های لیکا، راهی برای کاهش اثرات هر سـه عامل فوق اسـت. دانه‌بندی دانه‌های لیکا آن را خارج از محدوده خاک مستعد یخزدن قرار می‌دهد و از سویی میزان آب انتقال یافته به روش مویینگی را حذف می‌کند و با زهکشـی مناسـب بدنه راه را از ورود آب محافظت می‌کند. همچنین ویژگی رسانایی حرارتی کم لیکا سبب کنترل نفوذ یخبندان در عمق می‌شود. مثال ۴-۵ راهنمای خوبی برای چگونگی کارکرد این دانه‌ها در جلوگیری از آسـیب‌های ناشی از یخبندان اسـت. همانگونه که در شکل‌های ۴-۷ و ۴-۸ دیده می‌شود، لایه‌های لیکا در بین بدنه راه قرار می‌گیرند و از یخزدگی بسـتر راه جلویگری می‌کنند. در شکل ۴-۸ ضخامت کناره‌های متغییر در نظر گرفته شده است تا اثرات ناشی از تورم غیریکنواخت جلویگری شود این لایه‌ها عمل زهکشی را نیز در بدنه راه بر عهده دارند.



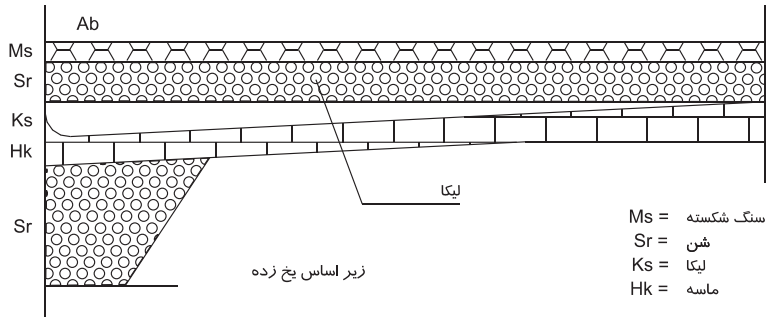
شکل ۴-۷- کاربرد لایه‌ای از لیکا برای جلوگیری از یخ زدگی

مثال ۴-۵- مطلوب است عمق نفوذ یخبندان برای نمونه‌های خاک و لیکای داده شده در جدول م۴-۲

جدول م ۴-۲ مشخصات نمونه‌های خاک و لیکا

ویژگی‌های نمونه	خاک	دانه لیکا
وزن مخصوص خشک r_d Ib/ft^3	۱۰۰	۵۰
رطوبت(٪)	۱۵	۳۰
معیار برودت(درجه فارنهایت- روز)	۵۰۰	۵۰۰
زمان یخبندان (روز)	۸۰	۸۰
حرارت میانگین سالیانه($^{\circ}F$)	۵۰	۵۰

معیار برودت تفاضل بیشـینه و کمینه مقادیر تجمعی تفاضل‌های درجه حرارت روزانه از ۳۲ درجه فارنهایت، در طول یک سال است(نمودار م ۴-۳)



شکل ۴-۸- کاربرد لیکا برای تسطیح تورم ناشی از یخبندان

عمق نفوذ یخبندان (z بر حسب ft) مطابق فرمول الدریچ (Aldrich) چنین است:

$$Z = \lambda\sqrt{\frac{48KF}{L}}$$

کـه λ ضریـب تصحیح حاصل از نمودار م ۴-۴، F معیار بـرودت (درجه فارنهایت – روز)، K ضریب هدایت حرارتی و L گرمای نهان (Btu/ft^3) است.

تعریف K: ضریب رسانایی خاک، مقدار حرارتی (Btu) که از واحد سطح (ft^2)
در واحد زمان (ساعت) و به ازاء گرادیان واحد دما (یک درجه فارینهایت / یک فوت) عبور می‌کند.

الف – محاسبه عمق نفوذ یخبندان نمونه خاک

گرمای ویژه خاک رس چنین به دست می‌آید.

$$C_u = \gamma_d(0/17 + \frac{w(c_w)}{100}) = 100(0/17 + \frac{15\times1}{100}) = 32 \quad \text{خاک یخ نزده}$$

$$C_f = \gamma_d(0/17 + \frac{w(c_i)}{100}) = 100(0/17 + \frac{15\times0/5}{100}) = 24/5 \quad \text{خاک یخ زده}$$

(گرمای ویژه خاک $(Btu/b\ /^\circ f)$ ۰/۱۷، آب ۱/۰ و یخ ۰/۵ است.)

$$C_m = \frac{C_u + C_f}{2} = 28/25$$

$$L = 143/5\gamma_d \frac{W}{100} = 1/435\gamma_d = 1/435\times15\times100 = 2150 \quad \text{گرمای نهان}$$

(گرمای نهان (btu/lb) آب ۱۴۳ است.)

$$K_u = \frac{8/5}{12} = 0/706$$

$$\Rightarrow K_m = \frac{K_u + K_f}{2} = 0/769$$

$$K_f = \frac{10}{12} = 0/843$$

(عدد ۱۲ در مخرج کسر بابت تبدیل اینچ به فوت است.)
ضریب تصحیح λ براساس مقادیر α و μ از نمودار م ۴-۴ به دست می‌آید:

$$\alpha = \frac{\nu_o t}{F} \quad , \quad \mu = \frac{CF}{Lt}$$

که ν_o اختلاف درجه حرارت میانگین سالیانه از $32^\circ F$ و t مدت یخبندان است.

$$\alpha = \frac{(50-32)80}{500} = 2/88$$

$$\mu = \frac{28/25 \times 500}{80 \times 2150} \qquad \Rightarrow \lambda = 0/69$$

$$Z = \lambda\sqrt{\frac{48KF}{L}} = 0/69\sqrt{\frac{48 \times 0/769 \times 500}{2150}} = 2/03\,ft = 0/62m$$

ب- محاسبه عمق نفوذ یخبندان نمونه لیکا

گرمای ویژه لیکا:

لیکای یخ نزده $C_u = \gamma_d(0/17 + \frac{w(c_w)}{100}) = 50(0/17 + \frac{30 \times 1}{100}) = 23/5$

لیکای یخ زده $C_f = \gamma_d(0/17 + \frac{w(c_i)}{100}) = 50(0/17 + \frac{30 \times 0/5}{100}) = 16/0$

$$c_m = \frac{c_u + C_F}{2} = 19/75$$

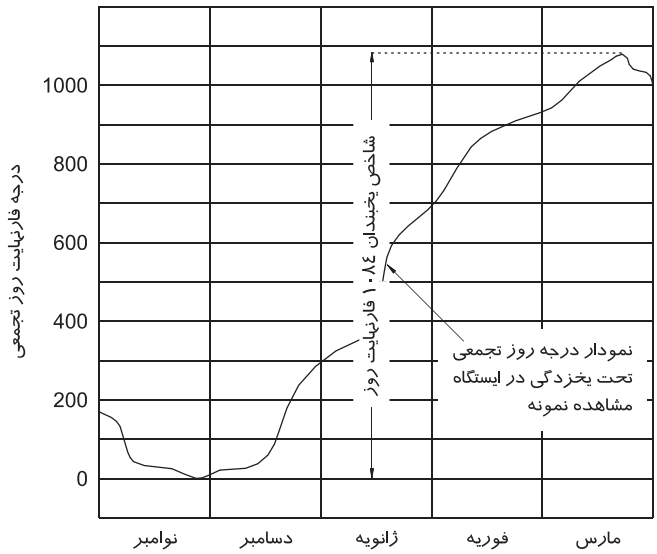
گرمای نهان $L = 143/5w\gamma_d = 1/435 \times 30 \times 50 = 2150$

$$K_m = 0/064\,Btu/h.ft.^o f$$

$$\alpha = \frac{\nu_\circ t}{F} = 2/88$$

$$\mu = \frac{CF}{Lt} = \frac{19/75 \times 500}{80 \times 2150} = 0/057 \qquad \lambda = 0/72$$

$$Z = \lambda\sqrt{\frac{48KF}{L}} = 0/72\sqrt{\frac{48 \times 0/064 \times 500}{2150}} = 0/61\,ft = 0/185m$$



نمودار م ۴-۳- طرز تعیین یک نمودار نمونه یخبندان
(شاخه سر بالای منحنی مربوط به فصل سرما است.)

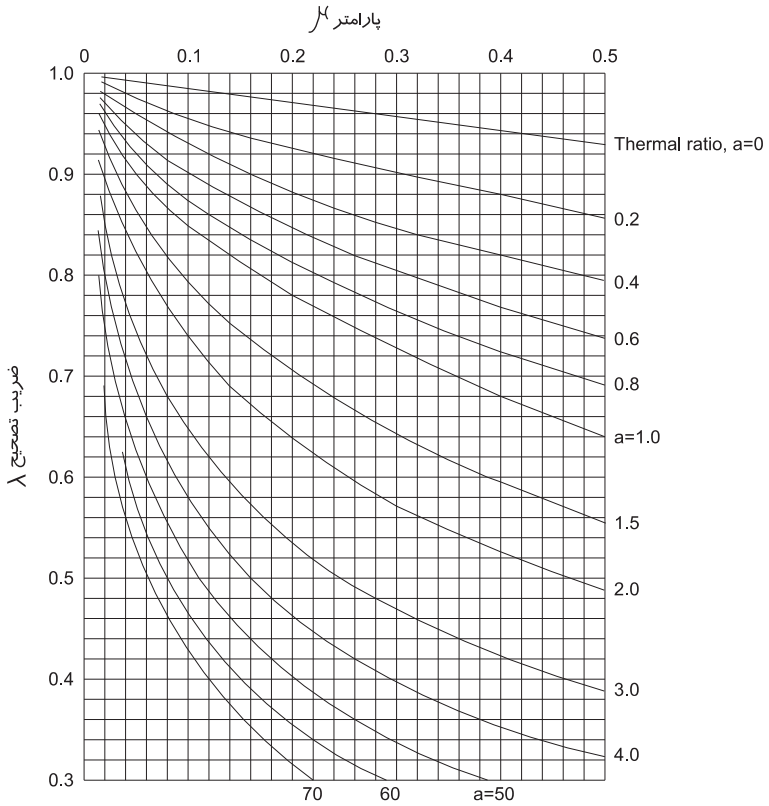
۴-۲- روسازی راه

۴-۲-۱- روکش آسفالتی لیکا

همانگونه که پیش از این اشاره شد، دانه های لیکا می توانند جایگزین سنگدانه های معمولی در انواع مخلوطهای قیری شوند. این مخلوط ها بسته به روش و ترکیب ساخت می‌توانند به عنوان اساس یا رویه آسفالتی در جاده‌ها و یا روکش عایق برای بام ساختمان ها به کار روند. در این بخش مهمترین ویژگی‌های این فرآورده‌ها در کاربردهای راهسازی مطرح می‌گردد. به طور کلی یکی از ویژگی‌های این فرآورده‌ها در کاربردهای راه‌سازی مطرح می‌گردد. به طور کلی یکی از ویژگی‌های قابل توجه مخلوط‌های قیر لیکا وزن کم آنهاست. بنابراین در راهسازی بر خاک‌های مسئله‌دار و هرجا که نیاز به سبک کردن بدنه راه باشد می‌توان از این مخلوط‌ها استفاده نمود.

الف- رویه‌های آسفالتی لیکا

مخلوط‌های آسفالتی برای روکش جاده‌ها شامل ترکیبی از لیکا، سنگ‌دانه طبیعی، پرکننده و قیر هستند. براساس نوع کاربرد و شرایط محیطی می‌توان طرح‌های اختلاط گوناگونی را تهیه نمود. جدول ۴-۱ و نمودار ۴-۳ برخی انواع دانه‌بندی‌های قابل قبول را نشان می‌دهد.



نمودار م ۴-۴- مقدار ضریب تصحیح (λ) برای فرمول الدریچ

جدول ۴-۱ نسبت‌های نمونه طرح اختلاط آسفالت لیکا بر حسب درصد

مصالح	الف	ب	پ
شن ۵/۱۰مم	۳۰	–	۲۲
شن ۷/۱۲مم	–	۲۰	۲۵
لیکا ۳/۸ مم	۱۵	۲۵	–
لیکا ۱/۳ مم	۲۵	–	۲۰
لیکای شکسته	۳۰	–	–
ماسه شکسته	–	۵۰	۲۸
پرکننده(سیمان)	–	۵	۵

مقاومت فشاری مصالح پس از ۱۰ چرخه حرارتی بین ۲۰ درجه تا ۴۰درجه به صورت زیر است:

لیکا ۰–۱ م م، ۳۲/۵ kg/cm^2

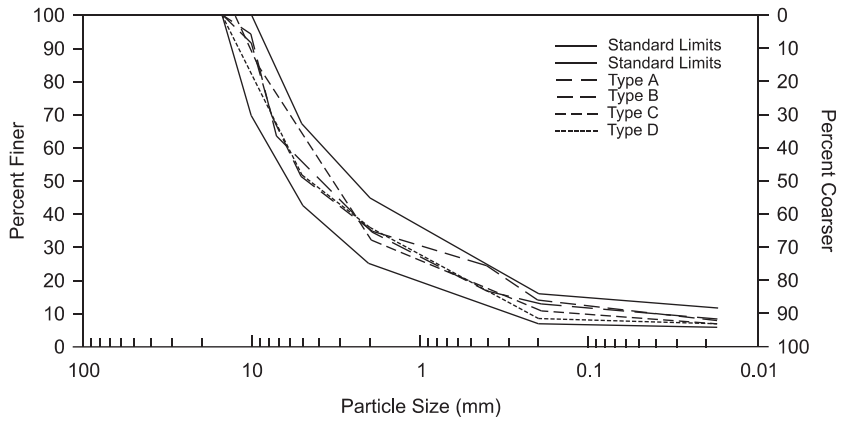
لیکا ۱–۴ م م، ۲۷/۴ kg/cm^2

لیکا ۴–۱۰ م م، ۱۴/۲ kg/cm^2

لیکا شکسته، ۴۸/۷ kg/cm^2

وزن فضایی دانه‌های لیکا در اندازه ۰ تا ۴ مم ماکسیمم برابر با، ۷۱۰ و در اندازه ۴ تا ۱۰ مم برابر، ۴۳۰ کیلوگرم بر متر مکعب به دســت آمده اســت. نتایج آزمایش لس آنجلس برای دانه‌های طرح پ، ۲۹ درصد است که قابل مقایسه با مقدار مشابه برای نمونه‌های با سنگ‌دانه معمولی –معادل ۲۱ درصد– می‌باشد.

معیارهای ارزیابی یک طرح اختلاط مناسب، اغلب شامل مقاومت مارشال بیش از ۱۰۰۰ کیلوگرم، درصد تخلخل نمونه‌های مارشال ۳ تا ۶ درصد و سختی – به صورت نسبت مقاومت بر تغییر مکان –بیش از ۳۰۰ kg/mm اســت. جدول ۴–۲ نتایج آزمایش‌های انجام شــده را برای انواع دانه‌بندیهای الف، ب، پ با مقادیر مختلف قیر نشان می‌دهد.



نمودار ۴–۳– دانه بندی آزمایش های نمونه های آسفالت لیکا

جدول ۴-۲ نتایج آزمایش های نمونه‌های آسفالت لیکا

دانه بندی	درصد قیر	مقادیر مارشال kg	تغییر شکل مارشاالmm	تخلخل ٪	سختی kg/mm	وزن فضایی kg/cm^3
الف	۹	۹۹۷	۱/۸	۷/۳	۵۵۴	۱۰۷۸
	۱۰	۱۰۸۲	۱/۹	۵/۱	۵۶۹	۱۱۰۴
	۱۱	۱۱۷۰	۲/۱	۴/۹	۵۵۷	۱۱۰۳
	۱۲	۱۱۳۱	۲/۱	۳/۹	۵۳۸	۱۱۱۷
ب	۷	۱۰۷۹	۲/۱	۷/۸	۵۱۴	۱۴۵۶
	۷/۵	۱۰۶۲	۲/۳	۷/۰	۴۶۲	۱۴۵۰
	۸	۱۰۵۰	۲/۶	۶/۳	۴۰۴	۱۴۵۷
	۸/۵	۱۰۲۰	۲/۹	۵/۳	۳۵۲	۱۴۶۷
پ	۶	۹۷۰	۱/۳		۷۴۶	۱۷۰۰
	۶/۵	۱۰۳۰	۱/۳		۷۹۲	۱۷۱۰
	۷	۱۱۰۰	۱/۵		۷۳۳	۱۷۱۲
	۷/۵	۹۸۰	۱/۶		۶۹۲	۱۷۲۰

همانگونه که مشاهده می‌شود با هر یک از دانه‌بندی‌های فوق، به ازای درصد معینی از قیر می‌توان به یک طرح اختلاط مناسب دست یافت.

برای تعیین تغییر شکل آسفالت تحت بارهای آمد و شد، نمونه‌های ساخته شده تحت اثر یک میلیون گردش یک چرخ با فشار باد، kg/cm^2 ۳ و وزن kg ۳۰۰ با بسامد ۷۵۰۰۰ بار در روز قرار گرفتند. دما در طول آزمایش از $^{\circ}c$ ۱۷۰ به $^{\circ}c$ ۳۳ پس از ۲۵۰۰۰ دور افزایش یافت و دمای میانگین در سطح تماس بین چرخ و آسفالت $^{\circ}c$ ۳۷ اندازه گیری شد.

نتایج این آزمایش در نمودارهای ۴-۴ نشان داده شده است. مشاهده می‌گردد که نمونه الف تا ۱۰۰۰۰۰ دور، تغییر شکل قابل قبولی داشته است. این نمونه به دلیل مقدار زیادی دانه گرد گوشه، سخت تحت پیش تراکم قرار گرفته است. نمونه ب نیز به دلیل وجود مقدار زیادی دانه شکسته نسبت به دانه‌های گرد گوشه، مقاومت بهتری در برابر بارهای آمد و شد دارد. نتایج ارائه شده قابل مقایسه با نمونه آسفالت معمولی است. قابل ذکر است که روان شدن قیر در لبه‌های جعبه آزمایش به دلیل نرمی قیر مصرفی است وارتباطی با نوع سنگ‌دانه‌ها ندارد.

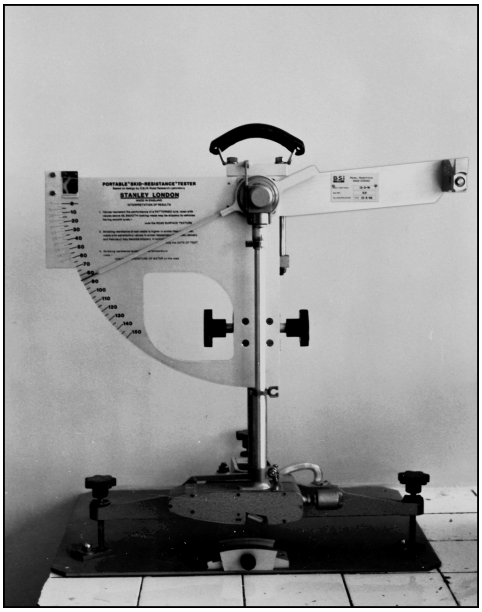
آزمایش دیگر انجام شده اندازه‌گیری ضریب اصطکاک با دستگاه آونگی شکل ۴-۹ است. این آزمایش در حین آزمایش شبیه سازی بار آمد و شد فوق انجام شده است و نتایج آن در جدول ۴-۳ آمده است. در انتهای آزمایش فوق، مقادیر وزن فضایی نمونه‌ها مجددا اندازه گیری شد. ارقام قبل و بعد آزمایش در جدول ۴-۴ مقایسه شده‌اند. همچنین جدول ۴-۵ مسافت ترمز را در شرایط جاده مرطوب برای آسفالت‌های با و بدون دانه لیکا مقایسه می‌کند. برتری آسفالت لیکا در این جدول بسیار قابل توجه است.

جدول ۴-۳ مقادیر نشانه اصطکاک نمونه‌های آسفالت لیکا و معمولی

تعداد تکرار بار	نمونه الف	نمونه ب	نمونه آسفالت معمولی
۰	۶۴	۷۰	۷۱
۱۰۰۰۰	۶۵	۷۳	۷۲
۵۰۰۰۰	۶۸	۶۸	۷۳
۱۰۰۰۰۰	۶۸	۷۰	۷۰
۳۰۰۰۰۰	۷۰	۷۲	۵۷
۵۰۰۰۰۰	۶۸	۶۳	۵۴
۷۰۰۰۰۰	۷۰	۶۵	
۹۰۰۰۰۰	۷۱	۶۷	
۱۰۰۰۰۰۰	۷۳	۶۷	

جدول ۴-۴ مقایسه وزن فضایی نمونه‌های آسفالت

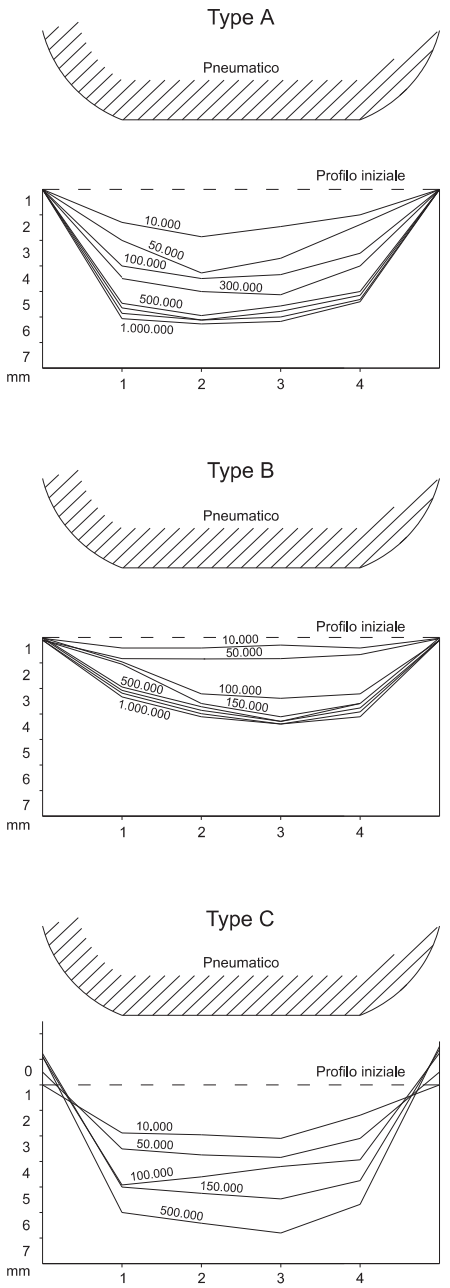
نمونه	قبل از آزمایش، kg / m^3	پس از آزمایش ، kg / m^3
الف	۱۰۵۰	۱۲۸۰
ب	۱۲۹۰	۱۴۰۰
آسفالت معمولی	۲۳۵۰	۲۴۱۰



شکل ۴-۹- دستگاه آونگی اندازه گیری ضریب اصطکاک

جدول ۴-۵- مقایسه مسافت ترمز آسفالت با و بدون لیکا

سرعت km/h	نمونه آسفالت لیکا(متر)	نمونه آسفالت معمولی(متر)
۵۰	۱۲/۴۵	۱۴/۹۵
۸۰	۳۴/۷۶	۴۵/۸۶



نمودار ۴-۴- نتایج آزمایش تغییر شکل آسفالت

ب- رویه‌های بازیافتی با آسفالت لیکا

دانه‌هـای لیکا می‌توانند در طرح‌های بازیافت آسـفالت نیز به کار رونـد. در روش متداول برای این کاربرد ابتدا حدود ۴ س‌م از لایه آسـفالت قدیمی با یک دستگاه خراشنده برداشته شده و برای استفاده به عنوان سنگ دانه در کارهای دیگر به یک کارخانه آسـفالت منتقل می‌شـود. سـپس یک لایه دیگر در حدود ۱۰ س‌م از آسفالت با دسـتگاه خراشـنده عمیق‌تری برداشته می‌شود و مقادیر مشخص شده‌ای از سـنگ دانه جدید با اندازه معین، براسـاس نمودار دانه‌بندی که در محل با توجه به دانه‌بندی موجود آسـفالت قدیمی تهیه می‌شود- به آن اضافه می‌گردد. مخلوط حاصل در طول راه و در فواصل معین توده می‌شـود. سپس دانه‌های لیکا به صورت یکنواخت با مقدار و دانه‌بندی مشخص در طول راه پخش می‌شوند. در آخرین بخش از کار، یک دستگاه ویژه مخلوط کن مصالح توده شـده را به درون می‌برد و آن را با قیر داغ مخلوط و روی راه پخش می‌کند. تراکم لایه‌های اجرا شده مطابق روشهای معمول انجام می‌شود. مقدار لیکا در این روش بین ۱۰ تا ۲۰ درصد وزن کل مخلوط است. دانه‌های لیکا-اغلب در اندازه متوسط بین ۲ تا ۴ م‌م و ۴ تا ۱۰ م‌م هستند.

کاربرد دانه‌های لیکا سـبب کاهش لرزش (حدود ۴ دسـی دبل) و چسـبندگی بهتر در سطح تماس راه و چرخ، بـدون افت در دراز مدت می گردد. ایـن کاربردی با توجه به مقدار کم مصرف دانه‌های لیکا برابر با ۷۰ تا ۱۲۰ لیتر بر مترمربع در هر سانتی‌متر ضخامت(حدود ۳۸۰ لیتر بر مترمربع ضخامت‌های معمول)اثر چندانی بر افزایش هزینه‌ها نخواهد داشت.

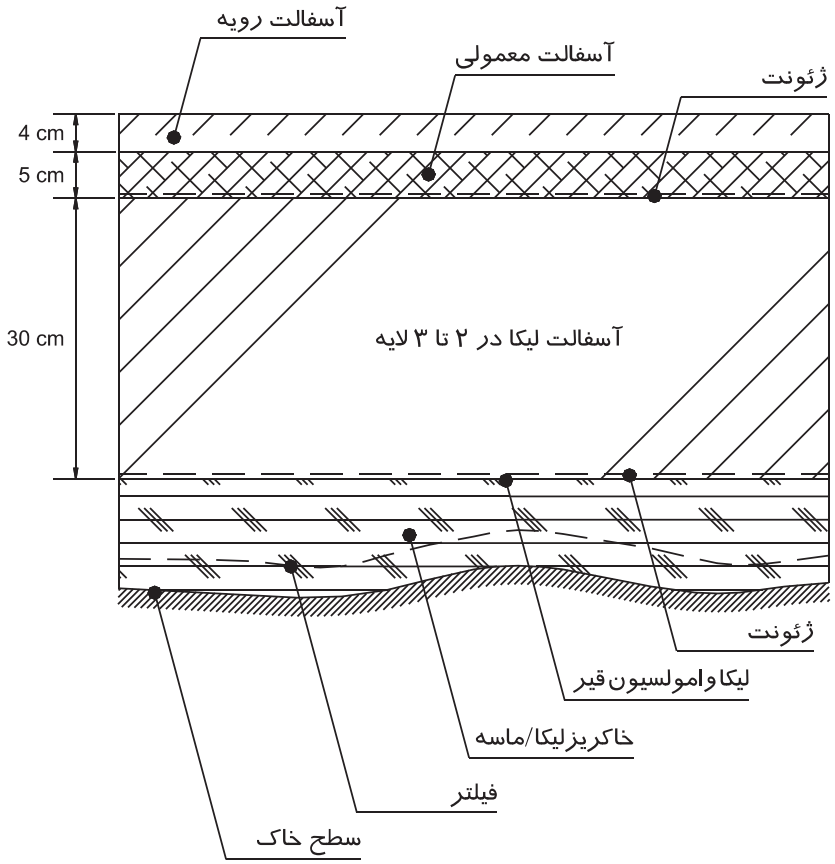
پ- اساس آسفالتی لیکا

همانگونه که پیش از این اشـاره گردید، کاربرد دانه‌های لیکا نقش مهمی در کنترل نشسـت راه در بسـترهای سست دارد. روش کار برای استفاده از لیکا در زیراساس قبلاً به خوبی شرح داده شد. در این بخش روش دیگری برای کاربرد لیکا در اساس آسفالتی مطرح می‌شود. این روش نیاز به هرگونه اصلاح در بستر را حذف می نماید یا کاهش می دهد در واقع وزن کم اساس ساخته شده با لیکا سبب افزایش ایمنی بستر در برابر نشست می‌گردد. شـکل ۴-۱۰ مقطعی از یک روسـازی با اساس آسفالتی لیکا را نشـان‌می‌دهد. یک نمونه طرح اختلاط نیز در جدول ۶-۶ ارائه شده است. وزن فضایی این نمونه حدود ۱۲۲۰ kg/m^3 است. نتایج آزمایش شکافتگی نمونه استوانه‌ای مقاومت این آسفالت بین ۵ kg/cm^2 تا ۶ kg/cm^2 به دست می‌دهد.

جدول ۴-۶ طرح اختلاط نمونه براساس آسفالتی لیکا

مصالح	درصد وزنی
قیر ۱۸۰	۱۱/۰
سنگدانه شکسته ۰-۴ م م	۴۴/۵
دانه لیکا۴-۱۰ م‌م	۱۴/۸
دانه لیکا ۱۰-۲۰ م‌م	۲۹/۷

کاربرد شـبکه های ساخته شـده از مصالح پولی‌استر (ژئونت) به حفظ مقاومت جسم راه کمک می‌کند وزن این شبکه‌ها حدوداً gr/m^2 ۲۶۰ است.



شکل ۴-۱۰- نمونه مقطع روسازی با اساس آسفالتی لیکا

۴-۲-۲-تجهیزات ایمنی

یکـی از مسـایل مطرح در زمینه ایمنی جـاده، خطر برخورد با عناصر سـخت نظیر پایه‌هـای پل‌ها، نرده‌ها و پیش‌آمدگی‌ها است. راه‌حل این مسئله نصب تجهیزاتی در جلوی این موانع برای جذب ضربه وسیله نقلیه است تا اثر برخورد این وسـایل را در یک حد ایمنی قابل قبول کاهش دهد. موضوع قابل توجه در این زمینه، صرفه اقتصادی سیستم در مراحل ساخت، نصب و بازسازی پس از برخورد است. بنابراین در ساخت این ابزارها باید از مصالح استفاده کرد که ارزان قیمت باشند، سریع و آسان ساخته و نصب شوند و نیاز دائمی به نگهداری نداشته

باشـــند. قابل ذکر اســـت که سهولت بازسازی نیز باعث افزایش سرعت عملیات پس از سانحه می‌شود و بنابراین از اغتشاشی که به دلیل حضور گروه ترمیم در جاده روی می‌دهد، می‌کاهد.

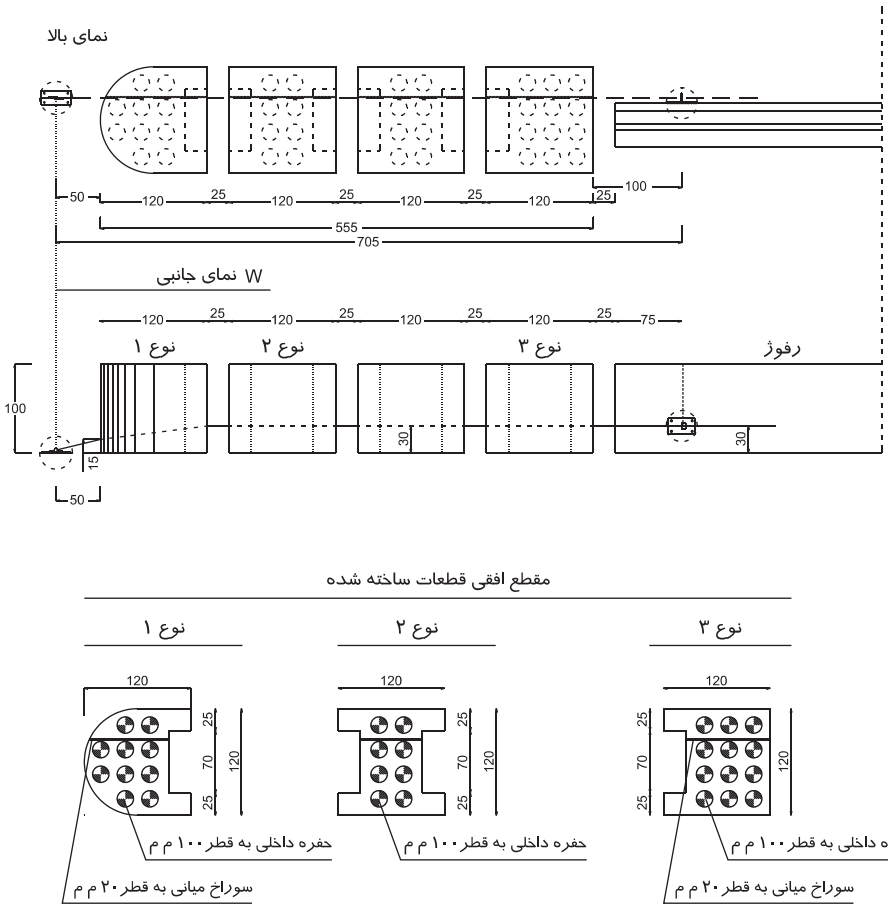
روش پیشنهادی برای جاده‌ها کاربرد قطعات ساخته شده از دانه‌های سبک لیکا است. تجهیزات ضربه‌گیر شامل ســه قطعه مکعب شــکل با یک سطح نیم دایره‌ای در یک سمت آن اســت. ارتفاع هر قطعه ۱۰۰ س‌م و قاعده آن ۱۲۰ در ۱۲۰ س‌م است.

مکعب‌ها از دانه‌های سبک لیکا با مقدار کمی ملات سیمان ساخته شده‌اند. این مصالح به نحوی در یک پاکت ریخته شــده‌اند که مکان جابجایی و حرکت داشــته باشند. در حین ریختن، تعدادی استوانه توخالی قائم تشکیل می‌شــود که قطرآن ۱۶ س‌م اســت. تعداد این استوانه‌ها بسته به محل نصب چراغ ۲۵ در ۷۰ س‌م مستطیل در لبه داخلی کناره‌ها تغییر می‌کند. قطعه جلویی ۱۰ حفره دارد و حجم کل آن ۱/۲۸ مترمکعب اســت. یک چراغ در سطح کناری آن در ادامه مکعب‌ها نصب می‌شود دوقطعه میانی دارای ۸ حفره و دو چراغ با حجم ۱/۴۴ متر مکعب است و قطعه مکعبی آخر دارای ۱۲ حفره، یک چراغ و حجم یک ۱/۳۳ متر مکعب است.

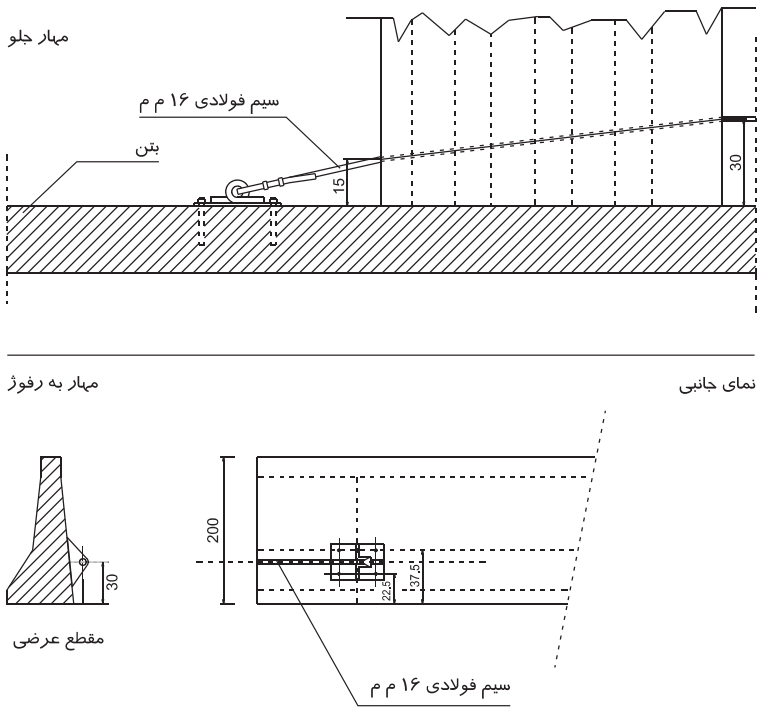
این عناصر با یک پوشــش ویژه روکش می‌شــود که آنها را از دور قابل مشاهده می‌کند. سیستم به سادگی روی زمین قرار می‌گیرد. فاصله قطعات ۲۵س‌م است. این قطعات با یک کابل با قطر ۱۶ م‌م که به دو صفحه مهاری فلزی بسته شده است به هم متصل می‌شوند. یک مهار با چسب شیمیایی به کناره داخلی مانع و دیگری به زیر بتن روسازی جاده بسته می‌شود.

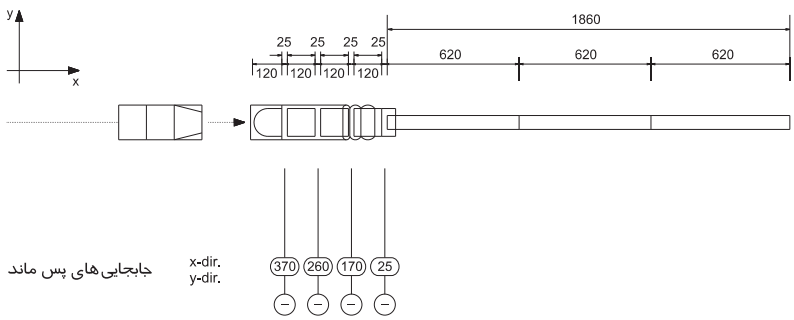
آزمایش‌های انجام شده برای ایجاد برخورد مستقیم با این تجهیزات، براساس ویژگی‌های جدول ۶-۷ نشان داد که این روش نقش موثری در کاهش آسیب به خودرو داشته است.

ضربه در امتداد مســتقیم وارد گردید و باعث شــده تا قطعات سبک در امتداد طولی جابجا شوند همچنین وجود مهار فولادی سبب گردید تا تجهیزات در اثر ضربه خودرو بلند نشوند چگونگی جابجایی قطعات در شکل ۴-۱۳ نشــان داده شــده است. همچنین ضربه خودرو سبب شســکت اتصال ضعیف بین ملات سیمان و دانه‌های لیکا گردید، در حالی که تنها آسیب ناچیزی به خودرو وارد شد.



شکل ۴-۱۱- تجهیزات ضربه گیر برای جاده‌ها





شکل ۴-۱۳- آزمایش تجهیزات ضربه‌گیر، نوامبر ۱۹۸۹

جدول ۴-۶-ویژگی‌های آزمایش ضربه

زاویه برخورد	صفر درجه
نوع ضربه گیر	دانه سبک لیکا
خودرو	Alfetta ۱/۸
وزن خودرو	۱/۳۹ تن
ارتفاع مرکز گرانش خودرو	۰/۵۲ متر
سرعت خودرو	۸۷/۲ کیلومتر در ساعت

علاوه بر تجهیزات ضربه‌گیر فوق، توده‌های محافظ و رفوژ کنار یا وسط راه و راه‌آهن نیز می‌توانند با بتن سبک لیکا ساخته شوند. کاربرد فولاد در این حفاظها اغلب پرهزینه است و نیاز به نگهداری و نیز ترمیم آسیب‌های ناشی از خوردگی دارد. استفاده از بتن سنگین نیز به دلیل سختی بالا، سبب آسیب شدید خودروها در برخورد با آن می‌شود. بتن دانه سبک لیکا به ویژه با عیار سیمان ناچیز، دارای مدول کشسان پایینی است که می‌تواند به خوبی انرژی حاصل از ضربه‌ها را بدون وارد آوردن خسارت به خودروها جذب نماید. برای ایجاد تخلخل کافی در این نوع بتن، اغلب از ترکیب دانه‌های لیکا با بیش از ۵۰ درصد درشت دانه استفاده می‌شود.

۴-۳- المان های حائل

۴-۳-۱- خاکریزی پشت المان‌های حایل

وزن کم‌دانه‌های لیکا سبب برتری قابل ملاحظه این مصالح برای پر کردن فضاهای خالی در ابنیه ژئوتکنیکی می‌شود. در بسیاری از موارد جهت جلوگیری از رانش و لغزش زمین در ابنیه فنی مانند پل‌ها، تونل‌ها، ساختمان‌های پایین‌تر از تراز زمین و بندرسازی‌ها از المان‌های حایل استفاده می‌شود. فضای پشت این المان‌ها اغلب با مصالح دانه‌بندی پر و متراکم می‌شود. این مصالح باید دارای ویژگی‌های مکانیکی و فیزیکی مناسبی نظیر قابلیت زهکشی و زاویه اصطکاک داخلی مناسب باشند. وزن چسبندگی و زاویه اصطحکاک داخلی مصالح نقش اساسی در طرح المان‌های حایل دارند. جدول ۴-۷ ویژگی‌های دانه لیکا و برخی مصالح متداول را نشان دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌گردد دانه‌های لیکا همانند سنگدانه‌های طبیعی نظیر شن و ماسه، فاقد چسبندگی هستند، اما زاویه اصطکاک داخلی این دانه‌ها در حد بسیار خوبی است. در مقایسه با سنگدانه‌های شنی، به عنوان متداولترین مصالح برای خاکریزی پشت المان‌های حایل- می‌توان دریافت که دانه‌های لیکا دارای اصطحکاک داخلی بالاتر ولی وزن فضایی معادل ۲۰٪ شن می‌باشند، از سوی دیگر قابلیت زهکشی این دانه ها نیز مطابق آنچه که در بخش ۴-۱-۲ بررسی گردید، بسیار مطلوب است.

جدول ۴-۷- ویژگی‌های اساسی مصالح برای کاربردهای ژئوتکنیکی

مصالح	وزن فضایی (KN/m^3)	زوایه اصطحکاک داخلی φ (درجه)	مقاومت برشی زهکشی شده c(Kpa)
شن	۲۰/۰۰	۳۰/۰	۰/۰
رس	۱۷/۰۰	۰/۰	۶/۰
لای	۱۹/۰۰	۲۰/۰	۵/۰
یخرفت	۲۱/۰۰	۳۵/۰	۰/۰
لیکا	۵/۰۰	۳۵/۰	۰/۰

یک نکته قابل توجه آن است که در برخی المان‌های حایل نظیر دیوارهای طره‌ای، وزن مصالح روی پاشنه دیوار در افزایش نیروی مقاوم در برابر رانش، نیز همانند نیروی رانش موثر است. بنابراین اثر کاربرد دانه لیکا در این موارد به زهکشی و زاویه اصطحکاک داخلی مطلوب محدود می‌گردد. اما در مورد سپرها که نیروی مقاوم براساس مقاومت مقطع سپر تعیین می‌شود، وزن کم دانه‌های لیکا نیز به برتری آن افزوده می‌گردد در صورت وجود بارهای بارهای ناشی از آمد و شد یا نیاز به ایجاد هرگونه سطح مقاوم، می‌توان از روسازی‌های متداول در بخش‌های بالای خاکریز استفاده کرد. شکل‌های۴-۱۴ و ۴-۱۵ نمونه‌هایی از انواع کاربردهای لیکا را نشان می‌دهند.

مثال ۴-۶- مطلوبست آنالیز مقایسه ای سپر نشان داده شده در شکل م۴-۶ برای دو حالت استفاده از ماسه و لیکا

مشخصات طرح نمونه در شکل م ۴-۶ ارایه شده است روش حل برای هر دو حالت به شرح زیر است:

الف- حالت متداول

نمودار توزیع تنش به صورت شکل م ۴-۷ رسم شده است بخش هاشور خورده برآیند مقادیر تنش را نشان می‌دهد. ابتدا عمق سپر کوبی را تعیین می‌کنیم.

شکل ۴-۱۴- نمونه‌های اجرای خاکریزی با لیکا

فشارهای متحرک به صورت زیر محاسبه می‌شوند:

$$K_A = \frac{1-\sin 30}{1+\sin 30} = 0/33$$

$$P_a = \gamma(H - H_w)K_A = 2/0(3/5 - 2/5)(0/333) = 0/666$$

$$P_{a1} = [\gamma(H - H_w) + (\gamma - \gamma_w)H_w]K_A$$

$$= [2/0(3/5 - 2/5) + (2/0 - 1/0)(2/5)](0/333) = 1/5$$

$$P_{a2} = [\gamma(H + D) - (H_w + D)_{\gamma w}]K_A$$

$$= [2/0(3/5 + D) - (1/0 + D)(1/0)](0/333) = 2/0 + 0/333D$$

$$P_{a3} = (\gamma - \gamma_w)DK_A = (2/0 - 1/0)D(0/333) = 0/333D$$

فشارهای مقاوم به صورت زیر محاسبه می‌شوند:

$$K_p = \frac{1}{K_A} = 3/0$$

با احتساب ضریب اطمینان ۱/۵ فرض می‌کنیم:

$$K_{pm} = \frac{3/0}{1/5} = 2/0$$

$$P_{p1} = (\gamma - \gamma_w)DK_{pm} = (2/0 - 1/0)D(2/0) = 2D$$

$$P_{p2} = [\gamma(H - H_w) + (\gamma - \gamma w)(H_w + D)]K_{pm}$$

$$= [2/0(3/5 - 2/5) + (2/0 - 1/0)(2/5 + D)](2/0) = 9/0 + (2/0)D$$

محل صفر شدن تنش از تعادل نیروها به دست می‌آید:

$$\sum F = 0 \Rightarrow S_{FBC} - S_{ABCE} - S_{FGI} = 0$$

$$\Rightarrow \frac{1}{2}P_{p1}D - [\frac{1}{2}P_{ao}(H - H_w) + P_{ao}(H_w + D) + \frac{1}{2}(P_{a2} - P_{ao})(H_w + D)] - \frac{1}{2}Z(P_{p1} - P_{p2} - P_{a3}) = 0$$

$$\Rightarrow Z = \frac{DP_{p1} - (H + D)P_{ao} - (H_w + D)P_{a2}}{(P_{p1} - P_{p2}) - (P_{a2} + P_{a3})}$$

$$Z = \frac{D(2D) - (3/5 + D)(0/666) - (2/5 + D)(2 + 0/333D)}{(2D + 9 + 2D) - (2 + 0/333D + 0/333D)} \Rightarrow$$

$$Z = \frac{1/666D^2 - 3/5D - 7/333}{3/333D + 7/0}$$

از معادل تعادل لنگر داریم:

$$\sum M_E \geq 0 \qquad \sum M_{FBC} - \sum M_{ABCE} - \sum M_{FGI} = 0$$

$$\Rightarrow \frac{1}{2}P_{p1}D(\frac{D}{3}) - \frac{1}{2}(P_{ao}) - (H - H_w)(D + H_w + \frac{H - H_w}{2}) - P_{ao}\frac{(H_w + D)^2}{2}$$

$$-\frac{1}{2}\frac{(H_w + D)^2}{3}(P_{a2} - P_{ao}) - \frac{1}{2}\frac{Z^2}{3}[(P_{a1} - P_{a2}) + (P_{a2} - P_{a3})] = 0$$

$$\Rightarrow \sum M = \frac{1}{6}[P_{p1}D^2 - P_{ao}(H - H_w)(3D + 2H_w + H)$$

$$-(P_{a2} + 2P_{ao})(P + H_w)^2 - (P_{p1} - P_{a2} + P_{p2} - P_{a3})Z^2]$$

$$\Rightarrow \sum M = \frac{1}{6}[2D^3 - 0/666(1/0)(3D + 2\times 2/5 + 3/5) - [2 + 0/333D + 2\times 0/666]$$

$$(D + 2/5)^2 - (2D - 2 - 0/333D + 9 + 2D - 0/333D)Z^2]$$

$$\Rightarrow \sum M = \frac{1}{6}[2D^3 - 0/666(3D + 8/5) - [3/333 + 0/333D)(d + 2/5)^2 - 3/333(D + Z)Z^2]$$

$$try\ D = 5m \Rightarrow Z = 0/70 \Rightarrow \sum M = -9/79$$

$$try\ D = 6m \Rightarrow Z = 1/17 \Rightarrow \sum M = -1/3$$

$$try\ D = 6/5m \Rightarrow Z = 1/41 \Rightarrow \sum M = 4/7 \Rightarrow L = 6/5 + 3/5 = 10/0m$$

ب- کاربرد لیکا

براساس نمودار توزیع تنش و روابط ارایه شده در بخش الف داریم:

$$K_{A(L)} = \frac{1 - \sin 35}{1 + \sin 35} = 0/27 \qquad ,K_{A(S)} = 0/333$$

$$P_{ao} = 2(1/0)(0/333) = 0/666$$

$$P_{a1} = 0/666 + (-0/5)(0/27)(2/5) + 0/3285$$

$$P_{a2} = 0/3285 + (2-1)D(0/333) = 0/3285 + 0/333D$$

$$P_{a3} = (2-1)D(0/333) = 0/333D$$

$$K_{p(L)} = \frac{1}{K_{A(L)}} = 3/70, K_{p(s)} = 3/0 \Rightarrow K_{pm(s)} = 2/0, K_{pm(L)} = 2/47$$

$$P_{p1} = 2D$$

$$P_{p2} = 2(3/5 - 2/5)(2/0) + (0/5 - 1/0)(2/5)(2/47) + (2-1)(D)(20) = 0/91 + 2D$$

$$\Rightarrow Z = \frac{DP_{p1} - (H+D)P_{ao} - (H_w+D)P_{a2}}{(P_{a1}+P_{a2}) - (P_{a2}+P_{a3})}$$

$$\Rightarrow Z = \frac{D\times 2D - (3/5+D)(0/666) - (2/5+D)(0/3285+0/333D)}{(2D+0/91+2D) - (0/3285+0/333D+0/333D)}$$

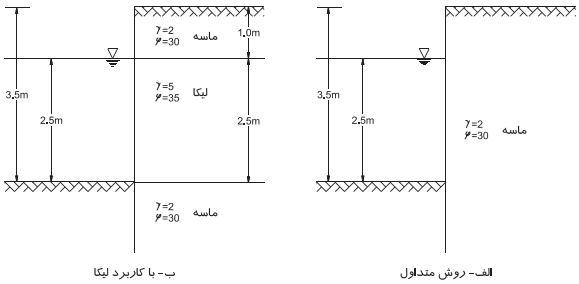
$$\Rightarrow Z = \frac{1/666D^2 - 1/827D - 315}{3/333D - 0/582}$$

$$\Rightarrow \sum M = \frac{1}{6}[2D^3 - 0/666(1/0)(3D+8/5) - (1/66+0/333D)(D+2/5)^2 - (3/333D+0/582)Z^2]$$

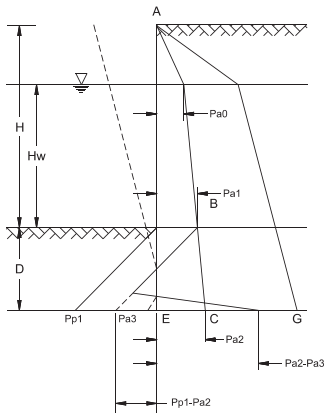
$$D = 5m \Rightarrow Z = 1/82 \Rightarrow \sum M = -1/64$$

$$D = 5/5m \Rightarrow Z = 2/10 \Rightarrow \sum M = 1/54 \Rightarrow L = 5/5 + 3/5 = 9/0m$$

ملاحظه می‌گردد که با کاربرد لیکا، عمق نفوذ سپر تا ۱۵ درصد کاهش می‌یابد بدیهی است مقادیر لنگر طراحی مقطع نیز در این حالت کاهش خواهد یافت.



شکل م ۴-۶- جزئیات سپر مثال ۴-۶

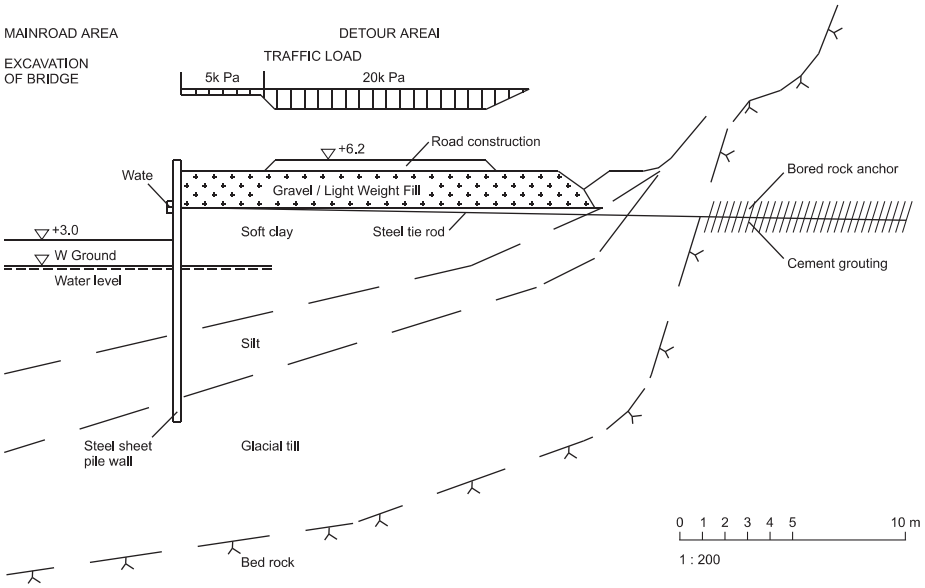


شکل م ۴-۷- توزیع تنش در حالت الف

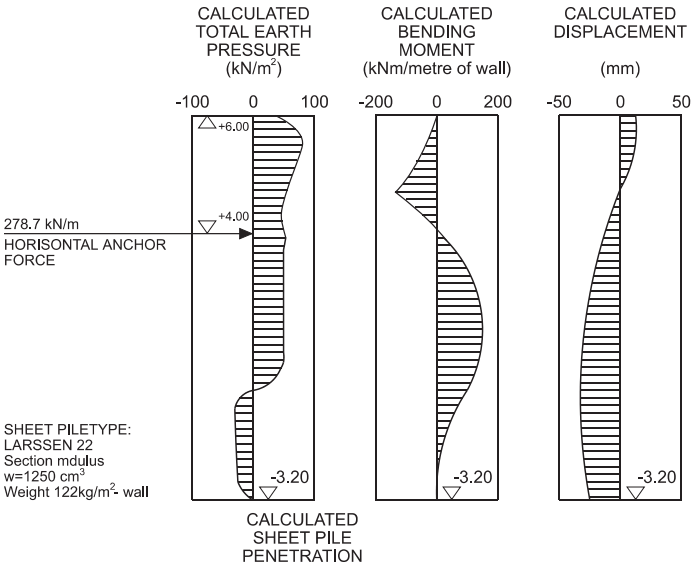
مثال ۴-۷: نتایج تحلیل دقیق‌تر یک سـپر برای محاسبه مقادیر تغییر مکان‌ها و لنگرهای سپر شکل م ۴-۸ در جدول م ۴-۳ و نمودارهای م ۴-۵ و م ۴-۶ آمده اسـت. بررسـی‌های اقتصادی نشان می‌دهد که با کاربرد لیکا نزدیک به ۳۰٪ صرفه‌جویی ایجاد می‌شود.

جدول م ۴-۳- مقایسه نتایج آنالیز سپر مثال ۴-۷

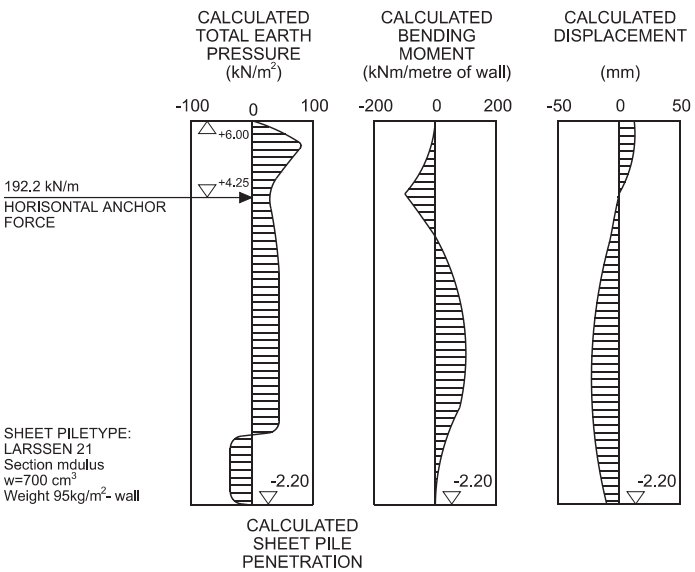
ویژگی ها	حالت متداول با شن	حالت کاربرد لیکا	درصد کاهش به ازای کاربرد لیکا
طول سپر m	۹/۲	۸/۲	-۱۱
نیروهای افقی	۲۸۷/۷	۱۹۲/۲	-۳۳
بیشینه لنگر خمشیKNm/m	۱۴۹/۱	۹۳/۸	-۳۷
بیشینه جا به جایی mm	۱۹/۳	۳۲/۶	+۶۹



شکل م ۴-۸- مقطع سپر حایل مثال ۴-۷



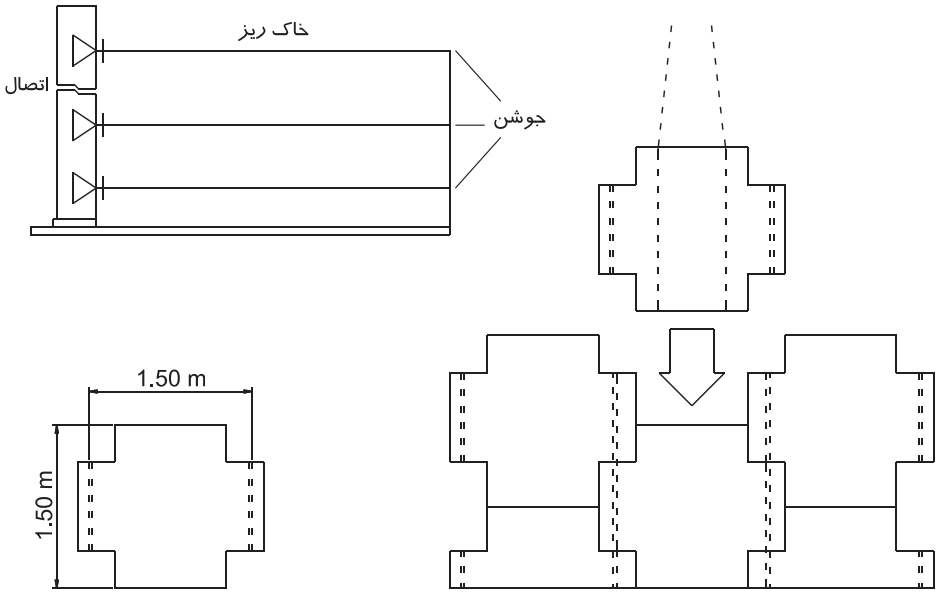
نمودار م ۴-۵- نتایج آنالیز در حالت متداول



نمودار م ۴-۷- نتایج آنالیز در حالت کاربرد لیکا

۴-۳-۲- خاک مسطح

در دهه‌های اخیر، برای مهار کردن رانش در ابنیه‌ی ژئوتکنیکی، ســامانه خاک مســلح بسیار متداول شده است. در این روش از زوایه اصطکاک خاک برای مهار کردن تسمه‌های نگهدارنده قطعات حایل استفاده می‌شود برای اجرای این روش پس از هر لایه خاکریزی و تراکم، تعداد طراحی شــده‌ای از تسمه‌های فولادی–مقاوم شده یا طرح شــده برای شــرایط خوردگی در دراز مدت– روی بستر فراهم شــده قرار می‌گیرند. انتهای این تسمه‌ها در محل دیوار نگهبان به قطعات پیش ســاخته بتنی یا فلزی متصل می‌شــود، به گونه‌ای که این قطعات به خوبی روی هم ســوار شــوند و یک دیوار یکپارچه را تشــکیل دهند. این عملیات تا رســیدن به ارتفاع مورد نظر ادامه می‌یابد نیروی حاصل از رانش خاک که به قطعات بتنی وارد می‌شود با نیروی مقاوم ناشی از اصطحکاک خاک و تسمه‌ها در طول آن‌ها جبران می‌شود.



شکل ۴-۱۸- روش کلی اجرای خاک مسلح

ضخامـت لایه‌هـای خاکریزی معمولاً ۳۷/۵ س‌م و فاصله بین دو لایه از تسـمه‌ها ۷۵ س‌م اسـت. هر لایه از خاکریزی با ۴ تا ۵ نوبت غلتک لرزه‌ای با فشار $6\ kg/cm^2$ تا $15\ kg/cm^2$ یا ۸ نوبت غلتک لاستیکی با وزن چرخ ۴ تا ۵ تن با رطوبت مناسب متراکم می‌گردد.

خـاک مصرفـی در این روش بایـد دارای زاویه اصطحکاک داخلی بزرگ‌تر از ۲۵ درجه باشـد و میزان ریز دانه کوچک‌تـر از ۱۵ میکـرون کمتر از ۲۰ درصد باشـد تا ضمن ایجاد نیروی مقاوم، قابل پخش و کوبیدن باشـد. همچنیـن ایـن مصالـح باید از نظر مواد خورنده و PH کنترل شـوند. PH مصالح باید بیـن ۵ و ۱۰ و تمرکز یون‌های کلر و سولفات در خاک به ترتیب کمتر از ۲۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم باشد.

با توجه به مسایل فوق دانه‌ها لیکا به دلیل وزن کم، ضریب اصطکاک داخلی بالا و پایداری شیمیایی می‌توانند از طرح‌های خاکم مسلح به کار روند. برای این منظور از دانه‌های ۴ تا ۲۵ مم لیکا استفاده می‌شود در یک طرح پیشنهادی در هر متر لیکا ۲۰ س‌م ماسه اجرا شده است که با پارچه گونه‌ها (ژئوتکستایل‌ها) از آن جدا می‌شود. وزن فضایی میانگین چنین خاکریزی حدود $750\ kg/m^3$ خواهد بود برتری‌های کاربرد لیکا نسبت به روش‌های متداول را می‌توان با روش‌هایی نظیر آنچه که پیش از این برای سپرها گفته شد، نشان داد.

۵- منابع و مراجع

۱-انجمن سیمان‌پرتلند، طرح و کنترل مخلوط‌های بتن، ترجمه طسوجی- محمد ابراهیم، انتشارات کلینی، تهران، ۱۳۷۴.

۲- انستیتو مصالح ساختمانی دانشکده فنی دانشگاه تهران، سبکدانه سازه ای ،بولتن شماره ۲ و ۱، تهران ۱۳۸۶،۱۳۸۷

۳-ساتیش چاندرا، بتن سبکدانه، دانش، فناوری و کاربردها، ترجمه دکتر محمد شکرچی زاده، دکتر آرزو امدادی، دکتر نیکلاس علی لیبره، انتشارات دانشگاه تهران ۱۳۸۷

۴- بهینا- کامبیز، طباطبایی- امیرمحمد، « مکانیک خاک- ج۲، مهندس پی»، انتشارات دانشگاه تهران، تهران، ۱۳۶۸.

۵- تابش- حسن، مشخصات فنی عمومی کارهای ساختمانی- نشریه شماره ۵۵ فصل ۲،سازمان برنامه و بودجه، تهران، ۱۳۷۳.

۶- تاییدی-کامبیز، لیکا بتن- بتن سبک با استفاده از پوکه صنعتی، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، تهران، ۱۳۶۹.

۷- دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان، مقررات ملی ساختمانی ایران مبحث۵- فرآورده‌های ساختمانی، وزارت مسکن و شهرسازی، تهران، ۱۳۸۲.

۸- دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان، مقررات ملی ساختمانی ایران مبحث ۶ بارهای وارد بر ساختمان، تهران، ۱۳۸۷

۹- دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان، مقررات ملی ساختمانی ایران مبحث ۹- طرح و اجرای ساختمانهای بتن آرمه تهران، ۱۳۸۶

۱۰- دفتر منطقه‌ای یونسکو برای آموزش در آسیا، طراحی برای مقابله با آتش سوزی در مدارس، ترجمه قائم- گیسو، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، تهران، ۱۳۶۹.

۱۱- حسنی- ابوالفضل، محمدی تهرانی- فریبرز، تهرانی‌زاده- محسن، سیستم پی لغزشی برای محافظت ساختمان‌های کوچک در برابر زلزله، مرکز تحقیقات و ساختمان مسکن، تهران، ۱۳۷۵.

۱۲- حسینی- مازیار، پیشگیری و محافظت ساختمان‌ها در برابر حریق، مجله عمران و شریف، ش۱۴، ۱۳۷۳.

۱۳- خالو- علیرضا، رابطه مقاومت با وزن بتن سبک ساخته شده از لیکا، چهارمین کنفرانس بین المللی مهندسی عمران، تهران، ۱۳۷۶.

۱۴- علمی- مهدی، «روسازی راه»، دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۶۸.

۱۵- فامیلی- هرمز، پروژه تحقیقاتی بتن دانه سبک، جهاد دانشگاهی دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ۱۳۶۶.

۱۶- محمدی تهرانی- فریبرز، سیستم پی‌لرزش برای ایزوله کردن ساختمانهای کوچک آجری و روستایی مسلح نشده، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، پلی تکنیک تهران، ۱۳۷۲.

۱۷- محمدی تهرانی- فریبرز، طرح پژوهشی ارزیابی فنی و اقتصادی کاربردهای لیکا در ساختمان، شرکت لیکا، ۱۳۷۳ تا ۱۳۷۵.
۱۸- مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن،» پیش نویس آیین نامه صدابندی در ساختمان‌ها»، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، تهران، ۱۳۷۰.
۱۹- مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله (استاندارد ۸۴-۲۸۰۰ ایران) تهران، ۱۳۸۴
۲۰- موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، بلوک‌های سیمانی، موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تهران.
۲۱- نویل-آ-م، «بتن شناسی(خواص بتن)»، ترجمه فامیلی- هرمز، انتشارات جهاد دانشگاهی دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ۱۳۶۹.
۲۲- نویل-آ-م، «تکنولوژی بتن»، ترجمه رمضانپور - علی‌اکبر و شاه‌نظری- محمدرضا، انتشارات پرهام، تهران، ۱۳۷۴.

۲۳- American Concrete Institute, Committee ۳۱۳, «ACI Practice manual, ۲۱۳R-۷۹». ACI ۱۹۷۹.
۲۴- Camera FL, «Leca Light Weight Concrete End Treatment», National Research Council- Transportation Research Board, Annual Meeting ۱۹۹۰.
۲۵- Debernardo P.G., Marro p., « Leca block system AZ as load bearing Masonry for Seismic Areas», Leca International, No ۱۲۹۱, ۱۹۸۳.
۲۶- Ekland Lars «Mechanized Leca Block Laying». Leca International, Go teborg, ۱۹۸۸.
۲۷- Gysling H., «Leca Bitum Bound- In Two Project», Leca International No U.۰۴,۸۶, Switzerland, ۱۹۸۶.
۲۸- Hintikka Martti, «Leca-Bitumen-Geonet-Solution for Road Construction», Leca International, ۱۹۸۹.
۲۹- Kamperud John, «Leca in soil, Why, Where and how», Leca international No U.۱۱,۸۶, Copenhagen, ۱۹۸۶.
۳۰- Karkainen Mika,»Leca-Backfilling against The Sheet pile Wall», Leca International U.۰۱,۸۹, ۱۹۸۲.
۳۱- Kaschner Johannes R., «Development in the sector of ligh weight Masonry Mortar in The German Federal Republic», Leca International No

.۱۹۷۸.Copenhagen, Oct ,۹۰۹
۳۲- Maonsen Arnc ,»Measurements of Radioactive Radiation from Leca and other Materials», Leca International No ,۱۱۹۳ .Hamburg, Oct ۱۹۸۱.
۳۳- Mits D.De Seartele L, «Light Fillings and Foundations», Leca International ,۱۲۳۳ ,Copenhagen ۱۹۸۲.
۳۴- pinchetti L.,» Values of LECA Products», Leca International No ,۹۰۴ .Copenhagen, Oct ۱۹۷۸.
۳۵- Pinchetti Li., Construction and Data Measurement of a Leca Embedment on a High Compressible Soil», Leca International, U ,۹۰,۱۳.Copenhagen, ۱۹۹۰ Sep.
۳۶- Pinchetti L., «The Use of Leca as Substratum between Concrete Guard Rails», Leca International, U ,۸۹,۰۴.Bruxelles, Oct ۱۹۸۹.
۳۷- Pinchetti L., «The Use of Leca for Recycled Surface Layers on Italian Freeways», Leca International, U ,۸۹,۰۳.Bruxelles, Oct ۸۹.
۳۸- Pinchetti L. «The Influence of the Leca Grading on the Thermal Conductivity of Leca Block Concrete», Leca International No ,۱۱۴۸ ۱۹۸۱.
۳۹- – Bitum Leca: Development of a New product», Leca International No» ,۱۳۳۰ ۱۹۸۴.
۴۰- Lambdas Dependence on the Grading», Leca International No» ,۱۲۱۶ ۱۹۸۱.
۴۱- Leca as aggregate for Road sheeting: Why to use it after test results»,» Leca international No ,۱۳۲۱ ۱۹۸۴.
۴۲- Copenhagen, ,۹۰۱۴ .Leca Product survey», Leca International, No. M. U» ۱۹۹۰ Sep.