International Conference on Civil Engineering
Architecture and urban infrastructure
29-30 July 2015, Tabriz , Iran

طراحی مسکن روستایی با استفاده از تکنیک ساخت با خاک فشرده

فرشید ترابیان مقدم [۱]، مهران قرائتی [۲]

۱- کارشناسی ارشد معماری،دانشگاه آزاد اسلامی،واحد اصفهان(خوراسگان)،باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان،اصفهان،ایران
Farshidtorabian@yahoo.com

۲- دکترای معماری، عضو هیئت علمی دانشگاه هنر اصفهان
Mehrangharaati@gmail.com

چکیده

واژه سکونت و تلاش انسان برای فراهم آوردن فضایی برای زندگی از مهم ترین و ابتدایی ترین مسائل و دغدغه های انسان در طول تاریخ بوده است.مسکن مفهومی است که انسان برای رفع نیازهای اولیه خود با توجه به فرهنگ،اقلیم و دیگر موارد تاثیر گذار آن را تعریف و برای خود بنا می کند.به همین دلیل انسان روستایی که به طور معمول یا کشاورز است ویا دامدار فضایی را برای خود طراحی کرده است که کاملاً مطابق با نیازها و فعالیت های روزانه خود می باشد.با توجه به اینکه مصالح به کار گرفته شده در خانه روستایی مصالح بوم آورد می باشد و همچنین خاک به عنوان در دسترس ترین مصالح در جهان قابل استفاده است،استفاده از تکنیک های ساخت با خاک می تواند بسیار مفید و مقرون به صرفه باشد.این مقاله با بررسی مفهوم مسکن روستایی و همچنین مطالعه مصالح پایدار و به ویژه خاک به دنبال معرفی سیستم ساخت با خاک فشرده و مراحل کار با آن در ساخت خانه به ویژه خانه روستایی می باشد.

واژه‌های کلیدی: مسکن روستایی،مصالح پایدار،خاک،سیستم خاک فشرده

۱- مقدمه

خانه اولین برخورد انسان پس از تولد یکی از مهمترین فضاهایی است انسان در طول دوران حیات با آن درگیر می شود.به همین خاطر کیفیت فضای خانه و هماهنگ بودن با نیازهای انسان همیشه دغدغه طراحان و معماران بوده است.خانه روستایی به دلیل اینکه فضاییست برای انسانی که نیازهای آن تا حدودی با انسان شهرنشین متفاوت است فرم و فضای مختص به خود داشته است[۱].می توان بیان داشت که خانه های روستایی همیشه به صورت طبیعی مطابق با نیازهای ساکنین تغییر و تحول داشته است.همچنین مسکن در روستا همیشه با مصالح و ساخت و سازهایی همراه بوده که در دسترس و در توان ساکنین آن روستا بوده است.مصالح از یکی از مهمترین مسائل در طراحی و همچنی اجرای ساختمان می باشد.پایدار بودن مصالح به معنی پایداری در چرخه حیات مصالح از اولین مراحل یعنی استخراج با انتقال،استفاده و حتی بازیافت می باشد.خاک یکی از در دسترس ترین و پایدارترین مصالح است که در طول تاریخ مورد استفاده قرار گرفته است.تکینک های زیادی با استفاده از خاک در ساخت و ساز به کار گرفته شده است.یکی از معروفترین این تکنیک ها که در سال های اخیر شکلی مدرن و پیشرفته به خود گرفته است تکینک خاک فشرده است.این مقاله با هدف بررسی تکنیک ساخت با خاک فشرده مراحل و روش های کار با این سیستم را مورد مطالعه قرار می دهد.

این مقاله از پایان نامه کارشناسی ارشد نویسنده اول با راهنمایی استاد گرامی جناب آقای دکتر مهران قرائتی استخراج شده است.

۲- مسکن

تاریخ سکونت بشر نشان می دهد که انسان از ابتدا مکانی را برای سکونت انتخاب می کرده است که طبیعت برای او فراهم آورده است.این فضاها برای انسان سرپناه بودند.این سرپناه این طور معنی می شود که فضایی است که انسان در آن پناه می گیرد تا حداقل ایمنی در برابر عوامل محیطی و جوی را برای انسان به وجود آورد.در این عصر انسان به برآوردن نیازهای فطری خود می پردازد و شروع به طراحی و تزئین داخل دیوارهای می کند.پیدایش اولین سرپناه های انسان ساخت در ایران را می توان مقارن با پیدایش اولین نشانه های یکجانشینی در حدود ۶۰۰۰سال پیش از میلاد دانست.در این زمان انسانی که در غارها و کوه ها ساکن بود به سمت دشت های حاصلخیز حرکت کرد[۲].

در نتیجه بررسی مفهموم واژه های سرپناه و خانه که معادل با مسکن در نظر گرفته شده است لنگ(۱۳۸۱) استنباط می کند که مسکن دارای مفهومی محیطی است که معنایی فراتر از سرپناه و خانه دارد و در این مرتبه نیازمند ابزاری است که به پیوند بین زندگی،خانواده و محیط کمک می کند.سکونت کردن رابطه ای است که توسط فعالیت خودآگاه و هدفمند انسان،میان کارکردهای حیاتی وی مانند لازمات زندگی،رفتارهای اجتماعی و حیات شخصی او و یک مکان برقرار می گردد.این رابطه ظهور مفاهیم بنیادینی چون قلمرو،فضای شخصی و قابل دفاع را به دنبال می آورد که نیازمند دخالت در محیط و ایجاد فضا است[۳].

شولتز(۱۳۸۱) شروع شکل گیری مسکن را زمانی می داند که انسان دیگر به دنبال سرپناه نرفت و سعی به بناکردن آن کرد.با بالارفتن فرهنگ یکجانشینی و شکل گیری تمدن و هویت خانوادگی و فردی،مفهوم فضایی خانه شکل گرفت و مفاهیمی چون قلمرو شخصی و فضای امن وارد عرصه زندگی انسان شد.چنین نیازی همزمان با تغییر رویکرد انسان از مرحله تأمین فضا به صورت سرپناه برای حفاظت به مرحله ای والاتر بود و فضایی برای شکل گیری محور اصلی زندگی یعنی خانواده لازم داشت.چنین فضایی خانه بود اولین فضای مرتبط با انسان محسوب می شود که به صورت مداوم بر رفتار وی تأثیر می گذارد و اولین جایی است که انسان احساس تعلق به فضا را در آن تجربه می کند.تنها مکانی که اولین تجربه های بی واسطه با فضا در انزوا و جمع،خلوت با خود،همسر و فرزندان،دوستان و دیگران در آن صورت می گیرد،خانه است[۴].

در حالیکه خانه مفهومی است که به فضای درون توجه و تأکید بیشتری دارد،واژه مسکن بر ارتباط با فضاهای بیرون بیشتر توجه می نماید.خانه قبل از هر چیز فضا و مکانی درونی است.درونی بودن آن در رابطه با بیرون آن،کوچه و خیابان،رودخانه و مزرعه،گستره های بیرونی شهر و روستا،دریا و زمین و آسمان،طبیعت و جهان،و سرانجام همه هستی معنا و ارزش می یابد.مهمترین حسن خانه این است که رویا را در خود می پروراند و به ما این امکان را می دهد که در آرامش در تخیلات خود غرق شویم.ارزش ها،تصورات،ادراکات و شیوه های زندگی به صورت مستقیم در خانه انعکاس می یابند.

سکونت از ریشه سکْنَ به مفهوم آرام و قرار است.واژه های هم خانواده سکونت شامل مسکّن (آرام بخش)،تسکین (دلداری دادن و آرام کردن)،ساکن (کسی که در جایی قرار و آرام گرفته است)،سکونت (استقرار در مکانی که فراتر از مسکن است و در حد مفهوم فضایی محله،روستا و شهر)،اسکان (مستقر کردن،مستقر شدن)،مسکون (ساکن شده،مستقر شده)،مسکونی (مکانی که در آن خانواده یا افرادی ساکن هستند)،سکینه (اسم مؤنث،کسی که آرام و قرار دارد)،و مسکَن (اسم مکانی که در آن گروه و خانواری ساکن هستند) می باشند.مهمترین واژه های مترادف مسکن در ادبیات ایران شامل سرپناه ،خانه، سرا، منزل،بیت،اطاق، چادر،خیمه، آلاچیق،کلبه، سراچه، باب،بنا، خانه سرا،دار،کده(دهکده) و خان است[۲].

۳- مسکن روستایی

اولین روستاهای ایران را می توان از بقایای بجا مانده در شهر سوخته،تپه حصار و سیلک یافت،که زندگی مبتنی بر کشاورزی،دامداری و شکار را نشان می دهد.ورود آریایی ها به ایران در حدود ۲۰۰۰ سال پیش از میلاد و فراگیری کشاورزی از بومیان،مراحل شکل گیری و گسترش تمدن را سرعت بخشید.گروهی به دلیل زندگی چادرنشینی در طی مهاجرت و مقتضیات جغرافیایی فلات ایران شیوه زیست مبتنی بر کوچ نشینی را دنبال کردند.در مناطقی که شرایط برای کشاورزی مساعد بود،اسکان دائم شکل گرفت و اولین سکونتگاه های روستایی به وجود آمد.استقرار در مکان برپا می شود و مکان،بخشی از

فضای جغرافیایی است که سطح و بعد دارد و توسط افراد،اشیاء و دیگر موجودات زنده اشغال شده است.از منظر سکونت،مکان بخش ویژه ای از فضا است که به صورت شهر،روستا،آبادی و مانند آنها تبلور یافته است.آنچه به عنوان آبادی از آن یاد میشود مشتمل بر انواع سکونتگاه های انسانی است وبرخانه، مزرعه، قلعه،کلاته ،قریه،روستا، قصبه،شهرک و شهر شمول دارد[۱].

واژه روستا در فرهنگ ایرانی به ده و قریه نسبت داده شده است.ده واژه ای پارسی است که از دهی و به معنی سرزمین و کشور گرفته شده است.در دایره المعارف دهخدا روستا از ریشه رستن و روئیدن معنا شده است.در زبان پهلوی به روستا،روستاک،رسداق،رزداق و رستاق می گفتند که معنی وسیعتری از ده داشته است.در برخی از تعاریف در مورد روستا آن را محلی که فعالیت اغلب ساکنان آن وابسته به زمین مانند کشت و زرع باشد،ذکر کرده اند چون بدون کشاورزی روستا معنی نمی یافته است.ده و قریه ممکن است برمبنای کشاورزی نباشد و ساکنان آن زارع،برزگر،کشاورز و دامدار روستایی نباشند و معیشت آنان مبتنی بر فعالیتهایی دیگر مانند خدمات،صنایع دستی،استخراج معدن،بهره وری از آب معدنی و صیادی باشد ولی اگر این واحد معیشت با بهره وری از فضاها یا فعالیتهای کشاورزی و مرتبط با آن نظیر باغداری،مزرعه داری،نخیلات،دامداری،پرورش طیور،پرورش زنبور عسل،پرورش ماهی،صید ماهی،شکار حیوانات و نیز صنایع دستی که مواد اولیه آن از گیاهان و حیوانات اهلی است،شکل گرفته باشد،روستا نامیده می شود[۲].

۴ - انسان روستایی

نصر(۱۳۸۰) در مورد روستا و انسان روستایی بیان می دارد که معماری بومی و سنّتی،رمز کیهانشناسی روستایی است.به عبارت دیگر رمز معماری روستایی در این است که برای انسان روستایی (بومی) ساختن خانه عبارت است از آرایش نوینی از گیتی و زندگی.انسان روستایی در کار معماری خود نیازی برای تکرار دوباره آفرینش احساس می کند و ساختن خانه و تکرار و بازسازی آن،او را با لحظهٔ اساطیری آغاز کائنات معاصر میکند و این احساس درونی انسان روستایی از شناخت او نسبت به هستی،رمزی است که در معماری او عیان می شود.ازاینرو،کیهانشناسی (چگونگی نگاه به هستی) شاه کلید رمز و راز معماری روستایی در ایران (و بلکه در تمامی نقاط جهان) است.نصر همچنین اعتقاد دارد که انسان روستایی هر چه می سازد دارای وحدت است.چون نگاه او به جهان هستی وحدانی است.از این دیدگاه است که خانهٔ او،روستای او،گلیم او،لباس او و هرچه می سازد،زیباست؛ زیرا که خالق او زیباست و او را زیبا آفریده است و تا وقتی که به سنّت آفریدگار خود عمل کند،هرچه بسازد زیبا خواهد بود[۲].

انسان روستایی به علت ارتباط مداوم با عناصر طبیعی (آیات خداوند) به انسان معنوی تبدیل شده است.ذهن او در اثر عقل شهودی برگرفته از طبیعت،تقدس و تبرک یافته و چشمانش نور تازه ای به دست آورده است که از چشم دل (بصیرت) منشأ می گیرد.او همیشه در جبههٔ طبیعت قرار دارد؛ زیرا در طبیعت تجلی عظیم خداوند را می بیند.او به کمک طبیعت وحدت معنوی را درک می کند و به برکت این درک معنوی در عین اینکه در درون صُوِر خالق هستی قرار دارد،می تواند از سطح این جهان فراتر رود و در همه حالت حضور آن واقعیت اصیل را که هم در ورا و هم در درون صُوِر طبیعی قرار دارد،ببیند.به تعبیر دیگر او به واسطهٔ حضور در طبیعت – در حال فعالیت و تولید- مدام در تأمل و تدبر در جهان هستی،است و این یعنی خدا را در همه جا دیدن[۲].

۵ - اصول معماری پایدار

اصولی که بایدرعایت شود تا یک ساختمان در زمره بناهای پایدار طبقه بندی شود به شرح زیراست:

اصل اول	حفظ انرژی
اصل دوم	هماهنگی با اقلیم
اصل سوم	کاهش استفاده از منابع جدید
اصل چهارم	برآوردن نیازهای ساکنان
اصل پنجم	هماهنگی با سایت

جدول۲-اصول معماری پایدار

۶ - الگوهای معماری پایدار

امروزه ساختمان ها نیز بخشی از محیط زیست را تشکیل می دهند و بخش اعظمی از آلودگی های زیست محیطی را ایجاد می کنند.البته نمی توان ساخت و ساز را متوقف کرد ولی با یک تفکر،طراحی و برنامه ریزی دقیق،می توان ساختمان هایی ساخت که کمترین تاثیر منفی را بر محیط زیست داشته باشند.معماری پایدار یکی از ایده های برنامه ریزی و طراحی برای ساخت چنین ساختمان هایی است.بطور کلی در تعریف پایداری سه رکن اصلی زیر وجود دارد[۵].

۱	ارتقای کیفی زندگی و سلامت انسان ها (نسل حاضر و نسلهای آینده)
۲	تامین نیازهای روزمره انسان
۳	حفظ سیستم های اکولوژیکی و منابع انرژی

جدول۳-ارکان اصلی معماری پایدار

هدف کلی از طراحی پایدار در یک ساختمان این است که به واسطه بهره وری صحیح از انرژی و منابع طبیعی تأثیر سوء ساختمان بر محیط زیست کاهش یابد.یک طرح پایدار همزمان در پی رسیدن به ارزش های زیباشناختی،زیست محیطی،اجتماعی،اقتصادی،اخلاقی و معنوی است.بنابراین می توان الگوهای زیر را در معماری پایدار ارائه کرد[۳].

۱	به حداقل رساندن بهره برداری از منابع تجدید ناپذیر و به کارگ یری انرژی های طبیعی و تجدید پذیر
۲	ارتقاء کیفیت محیط زیست و گسترش محیط زیست طبیعی
۳	از بین بردن یا به حداقل رساندن مصرف مواد آلوده و سمی
۴	حفظ هویت فرهنگی و قومی
۵	ترویج زندگی سالم
۶	استفاده خردمندانه از زمین و همگونی شکل ساختمان با محیط زیست
۷	اقتصادی بودن ساخت و ساز با استفاده از فناوریهای جایگزین کارآمد
۸	جلوگیری از ایجاد آلودگی صوتی و هوا

جدول۴-الگوهای معماری پایدار

بنابراین معماری پایدار به خلق یک محیط سالم بر پایه بهره وری از منابع،حفاظت از منابع تجدید ناپذیر،کاهش مصرف انرژی های تجدید پذیر و ارتقاء کیفی زیست کمک خواهد کرد[۵].

۷ - مصالح پایدار

اثرات مصالح بر روی محیط و سلامتی انسان جزء هزینه های پنهان در ساخت و ساز می باشد.در طی چرخه استخراج،حمل،اجرا،استفاده و دفع پسماندهای مصالح این تاثیرات می تواند چشمگیر و حتی غیر محسوس باشد.استخراج مصالح از معادن در بیشتر مواقع در فاصله ای بسیار دور از سایت پروژه انجام می گیرد،به همین منظور انرژی های به شکل های مختلف صرف می شوند تا مصالح به مقصد برسند و در این فرآیند آلودگی های بسیاری نیز بوجود می آید.به طور مثال

سوخت ماشین آلات حمل و نقل و آلوده کردن هوا از جمله تاثیرات در این فرآیند است.بسیاری از این اثرات منفی غیر محسوس و پنهان هستند مثلاً در اجرای مقاوم سازی وفونداسیونی که حالت مرداب یا باتلاق دارد میزان استفاده از بتن بسیار زیاد است به همین سبب مقدار تولید گاز CO_2 در فرآیند تولید بتن زیاد می شود و این خود باعث گرم شدن زمین و آلودگی هوا می شود[۶].

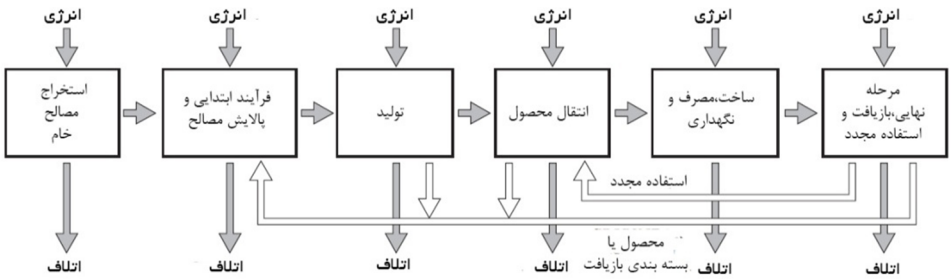
قیمت بالا،تجدید ناپذیر بودن و اثرات منفی بروی انسان و محیط زیست این گونه مصالح باعث شده است که توجه و علاقه به استفاده از مصالح پایدار بطور قابل توجهی افزایش یابد.بهترین معیار برای انتخاب مصالح استفاده از ارزیابی چرخه حیات مصالح و تاثیر آن بروی محیط زیست است.با بررسی چرخه حیات مصالح در می توان دریافت که مصالح خاصی بطور مطلق پایدار یا ناپایدار نمی تواند باشد هر کدام از مصالح می تواند در هر شرایط ویژگی و خاصیت متفاوتی داشته باشد به طور مثلا در شرایطی استفاده از سیمان پایدار و در شریطی دیگر ناپایدار است که این ظرایط همان چرخ حیات مصالح است[۶].

۸ - اهمیت مصالح پایدار

از دیدگاه سیستم ارزیابی زیست محیطی ساختمانی لید مصالح حدود ۱۵ درصد از این سیستم را تشکیل می دهد.طبق سیستم لید ذخیره و جمع آوری مواد قابل بازیافت الزامی است.استفاده مجدد از ساختمان با نگهداری دیوارها و کف های موجود و عناصر غیر سازه ای داخل ساختمان و همچنین مدیریت پسماندهای حاصل از سوخت و ساز از فاکتورهای مهم این سیستم می باشد.سیستم لید همچنین تاکید زیادی روی استفاده از مصالح بازیافتی در ساخت و ساز دارد.انتخاب مصالح محلی و بوم آورد و اهمیت استفاده از این نوع مصالح بر محیط زیست از مهمترین مسائل مورد بررسی دراین سیستم می باشد [۶].

مصالح در سیستم ارزیابی محیط زیست بریم از اهمیت بالایی برخوردار است.اختصاص مصالح و عناصر عمده با حداقل اثرات زیست محیطی از جمله مواردی است که در این سیستم بررسی شده است.استفاده از مصالح پایدار در ساخت محوطه و استفاده مجدد مصالح و محصولات به کار رفته در نمای ساختمان از دغدغه های اصلی این سیستم ساختمانی است.مصالح با دوام و اهمیت آن در پایداری ساختمان و استفاده از مصالح با تولید مشخص و همچنین کاربرد عایق های حرارتی در ساختمان از موارد مهم سیستم بریم می باشد[۷].

دیگر سیستم ارزیابی محیط زیست مروارید که تحت مدیریت امارات متحده عربی می باشد مصالح را به عنوان یکی از اصلی ترین رویکرد های خود به معماری پایدار دسته بندی کرده است.از دیدگاه های این سیستم نسبت به مصالح میتوان به حذف فرآورده های آزبستی و کاهش میزان کربن در چرخه حیات مصالح ساختمانی اشاره کرد.همچنین این سیستم بر مصالحی که در تولیدشان آب کمتری استفاده شده تاکید می کند.در طی سال های اخیر به خصوص اوایل قرن ۲۱ تغییرات و قوانین زیادی در زمینه مصالح در جهت سازگاری با محیط زیست انجام شده است.انتخاب و تشخیص مصالح در جهت ساخت و ساز پایدار به عواملی همچون اولویت های تاثیرگذاری،مسائل منطقه ای،بودجه های پروژه و عملکرد مورد نیاز،می باشد[۷].



شکل۱-چرخه حیات مصالح

۹ - معماری با خاک

معماری با خاک مطالعه ای است که به استفاده های خاک در شکل دادن محیط زیست بشر اختصاص داده شده است،موضوعی که از نزدیک به بوم شناسی زندگی انسان مرتبط است.معماری با خاک شامل نمونه های معاصر،تاریخی و بومی گرفته شده از فرهنگ های بسیار و دوره های زمانی طولانی است.سازه های ساخته شده از خاک در حال حاضر ۱,۵ میلیارد نفر حدود ۳۰ درصد از جمعیت جهان را در خود اسکان داده است.در دوران باستان بیشترین استفاده از خاک در تمدن بین النهرین و مصر بوده است.در اروپا،آفریقا و خاورمیانه تمدن های رومی سپس مسلمانان،در آسیا هندی ها،بودایی ها و امپراطوران چین،در اروپای قرون وسطی،سرخ پوستان در آمریکای شمالی،تولتک ها و آزتک ها در مکزیک،مشیکاها در کوه های آند،همه برای معماری و شهرسازی خود از خاک استفاده می کردند[۸].باستان شناسان شواهدی را از سازه های آجری گلی مربوط به ۱۰ هزار سال پیش در خاورمیانه،شمال آفریقا پیدا کرده اند.اگر چه،ایجاد سازه های خاکی شیوه ای آشنا در بسیاری از مناطق جهان امروزی است،اما شیوه تغییر شکل زمین برای ایجاد محیط های انسانی جدید کمتر شناخته شده است.مقاله حاضر معماری با خاک از دوران باستان تا به امروز را مورد مطالعه قرار می دهد[۹].

۹-۱-روش های مختلف ساخت با مصالح خاک

نوع	قدرت فشاری و کاربرد	نسبت های مصالح	توضیحات
خشت تثبیت نشده	تکنیک بنایی پخته نشده ساخته شده از خاک،آب و کاه بدون مواد افزودنی ۵۸۰-۴۳۰psi دیوار های بصورت آزاد ایستا	اختلاط بصورت گسترده ای متنوع است. میانگین درصد تخریب: شن و ماسه درشت:۲۳٪ شن و ماسه نرم: ۳۰٪ گل:۳۲٪ خاک رس:۱۵٪ آب و کاه	بیشترین اندازه ذرات توصیه شده۱ به ٤ ۱۰ تا ١٤ روز قرارگیری در زیر نور خورشید قبل از استفاده مناسب برای دیوارهای کوتاه که بلوک ها درهم قفل شده باشند
خشت تثبیت شده	تکنیک بنایی پخته نشده با استفاده از خاک،آب و کاه و مواد افزودنی مانند سیمان امولسیون که در مرحله تولید اضافه می شود برای محدود کردن جذب آب و افزایش دوام ٤۵۰-۴۳۰psi	میانگین درصد تخریب: شن و ماسه درشت:۲۳٪ شن و ماسه نرم: ۳۰٪ گل:۳۲٪ خاک رس:۱۵٪ آب و کاه ۳-٤٪ آسفالت امولسیون برای نیمه تثبیت ٤-٦٪ آسفالت امولسیون برای تثبیت کامل	بیشترین اندازه ذرات توصیه شده۱ به ٤ ۱۰ تا ١٤ روز قرارگیری در زیر نور خورشید قبل از استفاده مناسب برای دیوارهای کوتاه که بلوک ها درهم قفل شده باشند

بلوک خاک فشرده	یک سیستم ساخت که شامل دیوارهای ساخته شده از مصالح خاکی شکل گرفته درون یک بلوک قالب یندی شده توسط خاک مرطوب فشرده شده تثبیت نشده ۱۱۰۰psi تثبیت شده ۳۰۰۰psi	"تثبیت نشده"۳۰٪ رس،۶–۸٪ آب "نیمه تثبیت شده" شامل ۲–۵٪ سیمان پرتلند یا پزولانی "تثبیت شده" شمال ۵–۱۰٪ سیمان پرتلند و پزولانی	فوراً بعد از شکل گیری می تواند قرارگیرد.چند روز برای عمل آمدن نیاز است مناسب برای دیوارهای کوتاه که بلوک ها به هم قفل شده باشند
خاک فشرده	یک سیستم ساخت که شمال دیوارهایی ساخته شده از خاک مرطوب،شنی یا خاک تثبیت شده که درون قالب قرار میگیرد ۸۰۰–۴۵۰psi	اختلاط تنوع گونانی دارد ۱۵–۱۸٪ خاک رس پایدار ۳۵٪ گل ۵۰٪ شن بعض مواقع ۳–۸٪ سیمان پرتلند،آهک،یا خاکستر شامل آب کمتری نسبت به بقیه انواع ساخت و ساز	مناسب در بسیاری از اقلیم ها زمان زیادی نسبت به خشت برای تولید
خاک تثبیت شده فشرده فنوماتیکی(pise)	نسخه اصلاح شده ساخت با خاک فشرده بطوری که مخلوط خاک به درون قالب اسپری می شود و تحت فشار قرار میگیرد این روش،مشابه با شاتکریت خشک برای استفاده از دیوارهای استخرها به دلیل افزایش سرعت ساخت	خاک و سیمان	در حالی که زمان ساخت کمتر می به تجهیزات Piseشود تکنیک قیمتی بیشتری نیاز دارد و ۶–۸ نفر کارگر

خاک قالب بندی شده	یک سیستم ساخت با استفاده از دوغاب حاوی خاک،گچ اکسیدش ده و آب که درون قالب هایی مشابه سیستم قالب بتن ریخته می شود عمل شیمیایی گچ باعث می شود که مخلوط خاک درون قالب سریعتر بعمل بیاید،بنابر این نسبت اختلاط برای تنظیم زمان بندی برای قالب گیری کاربرد دارد ۷۰۰-۶۰۰psi	خاک(۱۵٪-۴۰٪ رس)،گچ اکسید شده(۱۵٪)،آب،کند کننده مخلوط،بعضی مواقع اکسیدآهن انواع مختلف خاک برای این تکنیک مناسب می باشد وجود گچ می تواند با تمایل رس در خاک با منبسط شدن مقابله کند	عمل آوری سریع می تواند باعث شود که قالب ها سریعتر برداشته شوند مانند بقیه تکنیک های استفاده شده از خاک این تکنیک نیز باید از سطح خارجی محافظت شود با استفاده از پلاستر سیمان،پلاستر گل،مواد دافع آب سیلیکونی.
کاه گل	تکنیک ساخت با استقاده از قلمبه های خاک مرطوب که روی همدیگر انباشته می شوند یراس تقویت کردن مخلوط گاهی موادی مانند کاه و شاخه های کوچک اضافه می شود	خاک با ۵٪-۲۵٪ رس حاوی ۱۰٪ کاه	
کیسه های خاک	کیسه های خاک از پلاستیک یا پارچه تهیه می شوند که از خاک و یا شن و سنگریزه پر می شوند،به ترتیب قرار می گیرند تا فشرده و یکپارچه شوند.	در این تکنیک مخلوط خاک می تواند تنوع زیادی از نسبت ها و ترکیبات داشته باشد. سیمان،آهک،یا خاکستر بعضی مواقع به مخلوط برای افزایش مقاومت اضافه می شوند. در مواردی کیسه بدون خاک از سنگریزه پر می شود مخصوصاً در ردیف های پایین.	عالی در برپایی دیوار

لاستیک های خاک فشرده	لاستیک های جمع آوری شده که کاربردی ندارند با مخلوط خاک مرطوب،مانند خاک فشرده پر می شود و بوسیله ابزاری مثل پتک یا کوبگر بادی بصورت فشرده در می آید.	در این تکنیک مخلوط خاک می تواند تنوع زیادی از نسبت ها و ترکیبات داشته باشد. ترکیب خاک در این تکنیک از اهمیت کمتری نسبت به بقیه تکنیک ها برخوردارد است.	لاستیک ها باید روی هم چیده شودند و با ابزاری روی لالستیک ها ضربه وارد شود به ضورتی که بتواند دیواری پایدار شکل دهد. استحکام به بار مرده لاستیک های پر شده از خاک فشرده دارد،که حدود ۳۰۰-۴۰۰ پوند در هر لاستیک است.

جدول۵-روش های ساخت با خاک

۱۰ - تکنیک ساخت با خاک فشرده

در تمامی ۵ قاره جهان،خاک فشرده برای قرن هاست که به عنوان یک تکنیک ساخت و ساز سنتی مشهور شده است.در حقیقت سیستم فونداسیون های خاک فشرده در تمدن آشوریان ۵۰۰۰ سال قبل از میلاد کشف شده است.با تکنیک خاک فشرده،خاک مرطوب به درون قالب ها در لایه هایی با ضخامت ۱۵ سانتی متری ریخته می شود،و سپس با کوبیدن فشرده می شود.قالب معمولاً شامل دو دیوار موازی جدا و متصل به هم بوسیله جداکننده ها است.این تکنیک به نام پایز دتره یا تره پایز در فرانسوی،در اسپانیایی بارو آپیزونادو یا تاپیال و در آلمانی استمفلکبا گفته می شود.تکنیک های خاک فشرده سنتی هنوز در بسیاری از کشورهای در حال توسعه استفاده می شود.سیستم های قالب بندی اصلاح شده و کوبگرها به روش برقی و بادی نیروی کارگری را به شدت کاهش داده و تکنیک های خاک فشرده را در کشورهای صنعتی نیز مطرح کرده است.(محیط زیست) اولین نمونه های خاک فشرده به وسیله فشرده کردن خاک مرطوب به طور همزمان درون قالب های چوبی درست شدند.خاک می تواند بوسیله دست خارج شود و در یک زمانی که رطوبت کافی باشد درون قالب ها ریخته شود.زمان،قالب های ساده و ابزار متراکم سازی لزوماً اولین منابع مورد نیاز برای ساخت این ساختار ساده و معمولی اما پایدار و ماندگار می باشد.،پیشرفت های قابل توجهی در میان کشورها در این زمینه انجام گرفته است.زیبایی شناسی مربوط به خاک فشرده مدرن به سختی با تاریخ بی آلایش آن قابل مقایسه است [۹].

شکل۲- تکنیک خاک فشرده در ساختمان های مدرن

برخی خصوصیات و ملزومات استفاده از خاک فشرده نیاز دارد که این مصالح با سیمان تثبیت شود،با آهن تقویت شود.در کاربردهای پیچیده تکنیک خاک فشرده یک مصالح ساختمانی مهندسی،بادوام با مقاومت بالا و از نظر محیطی پاسخ ده است که بوسیله ماشین آلات پیشرفته برپا می شود.نیاز به تکنولوژی پایین و نرخ کارگری کم باعث شده که هنوز خاک فشرده ارزش زیادی داشته باشد.در جوامع در حال توسعه که هزینه کارگر گران و منابع ساختمانی سنتی نادر است تکنولوژی خاک فشرده بسیارمناسب و موثر است.ساختار خاک فشرده دامنه زیادی از نگرش ها و رویکردها دارد اما در یک فرایند ساخت با خاک فشرده به طور معمول تنها نیاز به الوار چوبی،بیل،سطل و ابزار کوبیدن چوبی سنگین دارد.مصالح می تواند بصورت محلی استفاده شود و همچنین از الوارها می توان بعداً برای سقف یا دیگر عناصر استفاده.در روش های مدرن ورقه های تخته ۳ لا،تکیه گاه های آلومینیومی،تسمه نقاله،کمپرسور هوا،ابزار کوبیدن،تراکتور،ماشین آلات اختلاط و آزمایشگاه نیز به کار می رود[۹].

برای اصلاح مقاومت فشاری و دیگر ویژگی های پایداری،خاک فشرده با آهن تقویت می شود تا از دیوار در هنگام زلزله و خرابی های احتمالی پشتیبانی کند و با مواد افزودنی برای اصلاح کیفیت خاک ترکیب شود.خاک فشرده در ایالات متحده به خصوص در کالیفرنیا که از نظر زمین لرزه فعال است مورد استقبال قرار گرفته است ولی به طور طبیعی به سمت تقویت شدن و تثبیت شدن رفته است.نتیجه دامنه نگرش ها نسبت به ساختمان های ساخته شده با خاک فشرده می تواند متفاوت باشد.این تفاوت ها را می توان در قیمت،نیاز به کارگر،مقدار و دفعات تولید و اثرات مربوط به بوم شناختی یافت[۱۰].

۱۰-۱- قالب

اگر انتخاب مصالح را به عنوان بزرگترین محرک روی قیمت و مزیت های محیطی مرتبط با خاک فشرده در نظر بگیریم،انتخاب سیستم قالب بندی دومین اصل بعد از آن خواهد بود.همانند اجرای بتن در محل،تعداد بسیار زیادی از روش های طراحی و نصب قالب مناسب برای خاک فشرده وجود دارد.هر کدام از این تعداد زیاد سیستم هایی که در هر پروژه معین استفاده می شود توسط چندین عامل تاثیر گذار خواهد بود.مانند قیمت،طراحی سازه،قابلیت استفاده مجدد و نیروی انسانی در دسترس [۱۰].

در قالب های سنتی،دو قسمت قالب جدا از هم و به وسیله جداکننده ها از هم با فاصله ای حفظ شده نگه داشته می شوند.این جدا کننده ها دیوار را سوراخ می کنند،و بعد از برداشتن قالب ها باید دوباره پر شوند.یک تکنیک جداکننده نازک کششی(۴ در ۶ میلی متری)که در دیوار نفوذ می کند و در آزمایشگاه تحقیقاتی ساختمان توسعه یافته است کاربرد زیادی پیدا کرده است اما هنوز در زمینه ایجاد سوراخ در دیوار ضعف داشته است.به منظور برطرف کردن این ضعف،یک تکنیک بدون جاکننده گسترش یافته است.همانطور که در شکل مشخص است،قالب ها بدون جداکننده میانی که به دو طرف محکم بسته شده اند نیاز به فضای بسیار زیاد دارد و مانع حرکت های سایت به طور قابل توجهی است[۱۰].

سیستم های قالب بندی رایج که برای بتن استفاده می شود نیز می تواند برای خاک فشرده استفاده شود،اما معمولاً سنگین و گران است.در اروپا،معمولاً پانل های تخته ای چوبی با ضخامت ۱۹ میلی متری برای این منظور استفاده می شود.این پانل ها باید در فواصل ۷۵ سانتی متری بطور عمودی محکم شوند.اگر این کار انجام نشود،در سطح خارج خاک فشرده خم خواهند شد.بنابر این،بسیار مقرون به صرفه خواهد بود که از صفحات ۳۰ تا ۴۵ میلی متری استفاده شود که تنها نیاز به فواصل ۱۰۰ تا ۱۵۰ سامتی متری برای محکم کردن آن ها می باشد.اگر خاک زیاد رسی باشد،قالب نباید ناگهان و با شدت باز شود،باید در امتداد سطوح به آرامی بلغزد،بنابر این برای جلوگیری از خراب شدن دیوار،ذرات رسی نباید به قالب بچسبند.به علاوه،مطلوب است که نه سطح بسیار سخت باشد(مانند تخته های اره برش) و نه بسیار نرم(مانند تخته های رنده شده وجلا داده شده).

در گذشته قالب در سیستم خاک فشرده شامل یک ترکیبی از الوار و کش بوده که در محل نصب می شده و به عنوان دیوارهای کوچک استفاده می شده است.مزیت های این سیستم قیمت پایین و استفاده مجدد آن می باشد.معایب آن نیز نصب دشوار آن،تعداد تولید کم و نبودن دقت در اجرا می باشد.لبه های ناموزون و خطوط اتصال سخت از مشکلات جدانشدنی این روش می باشد.متعلقات این سیستم قالب بندی هنوز در بسیاری از کشورهای در حال توسعه ای که نه سرعت نصب و نه

کیفیت سطح دیوار اهمیت دارد استفاده می شود.بر عکس،در پروژه هایی که کیفیت دیوار در بالاترین اولویت قرار دارد،زمانی که درز اتصال پانل ها و خطوط اتصال بین مصالح باید کاملاً پنهان باشد،انتخاب سیستم قالب بندی بسیار مهم می باشد[۱۱].

۱۰-۲- ابزارها

در زمان های قدیم،خاک به صورت دستی با استفاده از کوبگرهای پایه گوه ای،مخروطی یا تخت،کوبیده می شد.اگر از کوبگرهای پایه مخروطی یا گوه ای استفاده شود،لایه های مختلف بهتر مخلوط می شوند و اگر رطوبت لازم فراهم شود،چسبندگی بهتری نیز به دست می آید.اگرچه این زمان زیادی نسبت به کوبیدن با کوبگرهای پایه تخت مصرف می کند.دیوارهای فشرده شده با کوبگرهای پایه تخت مقاومت برشی جانبی کمتری نشان می دهند و بنابر این باید به صورت عمودی بارگذاری شوند.پایه ی کوبگر نباید بیش از حد تیز باشد،اگر قالب ها از تخته های چوبی ساخته شوند آسیب می بینند.پایه کوبگر نباید کوچکتر از ۶۰ سامتی متر مربع،و بزرگتر از ۲۰۰ سانتی متر مربع باشند.وزن کوبگر باید بین ۵ تا ۹ کیلوگرم باشد.ترجیحاًاستفاده از کوبگر دو دسر که یک سر دایره ای و سر دیکر مربعی شکل توصیه می شود.این به کوبگر اجازه می دهد که با سر دایره ای در کارهای عمومی و با سر مربعی در لبه ها و گوشه ها کار شود[۱۱].کوبگرهای بادی و برقی در نیمه اول قرن بیستم در آلمان،فرانسه و استرالیا به کار گرفته شد و اغلب در زمان های قدیم برای فشرده کردن خاک استفاده می شده است.این یک عمل چکش مانند با بالابری ۳۳ میلی متری،و ضربات مکرر ۵۴۰ ضربه در دقیقه می باشد[۱۲].

به طور معمول،ابزارهای فشرده سازی خاک که در راه سازی به کار می روند برای سیستم خاک فشرده مناسب نمی باشند،به دلیل اینکه تعداد ضربه های آن بسیار بالا و بالابری بسیار پایینی دارند.ابزارهایی که فقط لرزاننده هستند تنها برای خاک های ماسه ای و نه رسی مناسب می باشند.کوبگرهای بادی که در شکل نشان داده شده اند به صورت بسیار موثر برای کارهای خاک فشرده مناسب می باشند..تمامی کوبگرها نیاز به یک فشار ۶ بار و یک شدت باد ۰,۴ تا ۰,۹ متر مربع بر دقیقه دارند.به خاطر قیمت بالا ونیاز به فراهم کردن زیرساخت ها و انرژی مورد نیاز برای کارکردن آنها،این کوبگر ها تنها برای پروژه های ساختمانی بزرگ استفاده می شوند[۱۲].

۱۰-۳-نسبت بندی

در فرمولاسیون های ابتدایی،زمانی که فقط یک مصالح سنگدانه ای و یک تثبیت کننده وجود دارد،نسبت بندی تنها میان سیمان و خاک است.یکی از نسبت ها می تواند شامل تثبیت کننده ۷٪ سیمان باشد،که تقریبا برابر با ۱۳ بخش خاک و یک بخش سیمان است.برای اندازه گیری با بیل،این ترکیب برابر است با ۱ بیل سیمان و ۱۳ بیل خاک.در مقیاس بزرگتر،نسبت بندی با بیل تراکتورها انجام می شود.سیمان با کیسه اندازه گیری می شود،یک کیسه برابر است با یک فوت مربع.بیل های تراکتور به طور معمول ۱/۴ یارد،۱/۳ یارد یا ۱/۲ یارد می باشند (به طور معمول ۷ فوت مربع،۹ فوت مربع یا ۱۳ فوت مربع).یک چالش اساسی در اندازه گیری بیل تراکتورها،معیار خط پر شدن آن می باشد.یک بیل پرشده تراکتور ممکن است ۵۰٪ بیشتر از یک بیل صاف شده از نظر حجمی مصالح در خود جای دهد.

زمانی که از ابزار ها و تجهیزات مختلفی در کارها استفاده می شود لازم است یک معیار ثابت برای اندازه گیری آن ها مشخص شود.برای مثال زمانی که از بیل تراکتور ۱/۳ یاردی استفاده می شود که برابر است با ۶ بیل سطح صاف شده،این مقدار وقتی درون پد اختلاط ریخته می شود،نتیجه تقریباً ۲ یارد مربع خواهد شد.برای نسبت سیمان ۷٪ باید ۴ کیسه سیمان به مخلوط انباشت اضافه کرد.موردی دیگر ۶ بیل تراکتور سطح پر شده را درون پد اختلاط میریزد،نتیجه ۳ یارد مربع خواهد بود وبا ۴ کیسه سیمان اضافه شده به انباشت حاصل یک نسبت تثبیت ۵ ٪ می دهد،که کاهش در محتوی کل سیمان حدود ۳۰٪ است.افزایش کنترل روی نسب بندی می توان با استفاده از ماشین آلات اختلاط حجمی تولید بتن نیز انجام شود.ماشین آلاتی وجود دارند که برای نسبت دادن دقیق بین سیمان،سنگ دانه،آب و ترکیبات طراحی می شوند.

در فرمولاسیون هایی که در آن دو یا چند مصالح خام در حال مخلوط شدن هستند،پیش بینی نسبت بندی قبل از اختلاط مصالح بسیار موثر می باشد.اگر قبل از ترکیب تمام مقدار خاک و سنگ دانه که برای کل سیستم دیوار نیاز است محاسبه می شود،نتایج منسجم تر و محکم تری بدست خواهد آمد.یک تنوع زیادی از روش ها ی ترکیب مصالح برای آماده سازی و اجرا با

درجه های مختلف دقت و هزینه وجود دارد.تشخیص بهترین و مناسب ترین روش به گستره پروژه،بودجه ۳،زمان موجود،مهارت کارگری و کیفیت تمام شده دلخواه دیواربستگی دارد.به طور کلی روش های اختلاط می تواند به دو گروه اختلاط روی زمین و اختلاط ماشینی تقسیم شود[۱۳].

۱۰-۴- تکنیک ها و ابزار های فشرده سازی

دو روش دستی و ماشینی برای فشرده کردن خاک کاربرد دارد.روش فشرده کردن دستی بسیار آهسته و پرزحمت است،اگرچه می تواند کاملاً مانند روش ماشینی موثر باشد [۱۴].

۱۰-۵- فشرده سازی دستی

بر اساس شواهد تاریخی،تمامی سیستم های خاک فشرده با دست به وسیله کوبگر چوبی متراکم می شده است.فشرده سازی دستی هنوز قابل انجام ترین روش در کشورهای در حال توسعه می باشد و همچنین هزینه های تمام شده در این روش بسیار پایین است.وسیله کوبش فلزی ساخته شده از لوله ۱ اینچی و سر ۴ اینچ مربعی یک تحولی در برابر نوع چوبی سنگین هستند.فشرده سازی دستی در یک گروه می تواند خستگی و ملالت را در حین کار از بین ببرد [۱۴].

۱۰-۶- روش فشرده سازی مکانیکی

تقریباً تمام سازنده های خاک فشرده در کشورهای صنعتی از درفش های با قدرت باد استفاده می کنند.برخی از تجربیات موثر بودن ضربه زن های بادی و غلطک های لرزان برقی را نشان می دهد،اما تا به امروز کوبگرهای بادی ثابت کرده است که موثرترین ابزار بوده است.کوبگرهای بادی خصوصیت های زیادی دارند.مهمترین آن ها وزن،سایزوتعداد ضربه های مناسب در هر دقیقه،نیاز به فشار باد است.سنگینی و بزرگی کوبنده های بادید نتایجی موثر و سریع به همراه خواهد داشت.در جایی که کوبنده های بادی نمی توانند به بعضی از قسمت های قالب دسترسی داشته باشند،کوبنده های چوبی یا فولادی دستی هم قابل استفاده خواهند بود.داشتن تنوعی از ابزارهای موجود برای استفاده در تمام مراحل اجزایی ایده آل می باشد [۱۴].

شکل۴- کوبگر بادی

زمانی که دیوار ۱۸ اینچ یا بزرگتر باشد،اغلب برای مجری ممکن خواهد بود که قالب ها را تا تمام ارتفاع دیوار نصب کند.در نمونه هایی که ضخامت دیوار و یا فراوانی عناصر تعبیه شده به مجریان اجازه رفتن به درون قالب را نمی دهد،مجریان مجبور خواهند بود از بالای قالب کار کنند.کوبنده های بادی کوچک با دسته های بلند می توانند برای دیوار هایی به ارتفاع ۱۲ فوت مورد استفاده قرار گیرند،اگرچه کنترل کیفیت از بالای دیوار به هر اندازه که قالب بلند تر می شود دشوارتر خواهد بود [۱۴].

کوبنده های بادی با استفاده از کمپرسور هوا کار می کنند.وزن و تعداد کوبنده های بکار گرفته شده در پروژه خروجی مورد نیاز کمپرسور هوا را مشخص می کند که با فوت مکعب در دقیقه اندازه گیری می شود.میزان انتقال خاک نشان خواهد داد که به چه میزان از ابزارهای کوبش بکار گرفته شده است.انتقال از بیل تراکتور ممکن است نیاز به یک یا دو کوبنده،محفظه های بالابر دو تا چهارتا،انتقال تسمه نقاله شش تا ده کوبگر داشته باشد[۱۵].

۱۰-۷- نتیجه گیری

امروزه روستاها از آسیب پذیرترین فضاهای زندگی در ایران می باشند.مهاجرت ساکنین روستا به شهر ، تغییر روش ساخت و ساز و استفاده از مصالح غیر همساز با منطقه و اقلیم از عوامل تخریب روستاها است.به کارگیری از تکنیک های سنتی و همچنین در صورت نیاز استفاده از تکنولوژی مدرن می تواند راهکاری برای جلوگیری از این تخریب و عدم هماهنگی باشد. خاک که از دردسترس ترین و فراوان ترین مصالح دنیاست و در کشور ما ایران در اکثر نقاط مطابق با شرایط و اقلیم منطقه است می تواند الگویی برای ساخت خانه های روستایی پدید آورد. سیستم ساخت با خاک فشرده به دلیل استفاده از خاک و عدم نیاز به تخصص ابزارهای پیشرفته و همچنین نیاز به تعداد کاگر پایین می تواند به یکی از مقرون به صرفه ترین تکنیک های ساخت در ایران تبدیل شود.هماهنگ بودن خاک با اقلیم و شرایط آب و هوایی کشورمان و همچنین بهبود شرایط آسایش حرارتی با استفاد از این تکینک از ویژگی های مثبت این روش می باشد که می تواند کاملاً جایگزین روش ها و مصالح غیر پایدار شود.

۱۱- قدردانی

از جناب آقای دکتر مهران قرائتی که در مراحل انجام این پایان نامه اینجانب را راهنمایی فرمودند کمال تشکر و قدردانی را دارم.

مراجع

[۱]سرتیپی پور، محسن. شاخصهای مسکن روستایی و روند تحول و توزیع آن». طرح جامع مسکن کشور. تهران: وزارت مسکن وشهرسازی، ۱۳۸۳ .

[۲] سرتیپی پور، محسن، خانه های روستایی ایران. تهران، انتشارات بنیاد مسکن انقلاب اسلامی، ۱۳۸۹.

[۳]الکساندر، کریستوفر، سرشت نظم، ساختارهای زنده در معماری، ترجمهٔ رضا سیروس صبری و علی اکبری. تهران،پرهام نقش ،۱۳۸۰.

[۴]نورنبرگ شولتز،کریستین. ترجمهٔ محمود امیر یار احمدی،۱۳۸۴ ، تهران، تمثیلی مفهوم سکونت: به سوی معماری ، ۱۹۸۴ .

[۵]ادوارد،برایان، رهنمون هایی به سوی معماری پایدار،تهران،نشر مهرازان،۱۳۹۳.

[6] Calkins, Meg.:Materials for sustainable sites,USA 1995.

[7] McHenry, P.G.: Adobe and rammed earth buildings. New York, USA 1984.

[۸]دوتیه ،ژ،معماری با خاک ،انتشارات خاک، ۱۳۸۵ .

[9] Easton, D.: The Rammed Earth House, White River Junction, USA 1996.

McHenry, P.G.: Adobe and rammed earth buildings. New York, USA 1984.

[10] Rammed Earth. Stuttgart, Germany 1979. Pumpelly, R. (ed.): Explorations in Turkestan.

[11] Rauch, M.; Kapfinger, O.: Rammed Earth / Lehm und Architektur / Terra cruda. Basel,Berlin,Boston, Germany 2001 Rammed earth: design and construction guidelines. BREPress, Bracknell, Great Britain 2005.

[12] Easton, David, The Rammed Earth House – Revised Edition, VT, USA, 2007.

[13] Houben, Hugo and Guillaud, Hubert, Earth Construction – A Comprehensive Guide, London, 1994.

[14] Minke, Gernot, Building with Earth – Design and Technology of a Sustainable Architecture, Basel, Switzerland, Birkhauser,2006.

[15] Walker,Peter,Keable,R.,Marton,J.and Maniatidis,V, Rammed Earth – Design and Construction Guielines,Bracknell, 2005.