

احیای شوادون ها با پدیده زمین گرمایی - سرمایی

مریم السادات سید اقامیری^۱، معصومه حاجی زاده^۲، ندا مسروری جنت^۳

^۱ کارشناسی ارشد معماری، ایران، تهران.

^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد معماری منظر، موسسه آموزش عالی رسام، گروه معماری، کرج، ایران.

^۳ دکتری معماری، مدرس موسسه آموزش عالی رسام، گروه معماری، کرج، ایران.

نام نویسنده مسئول:

معصومه حاجی زاده

چکیده

معماران ایرانی در مناطق مختلف اقلیم گرم و خشک و نیمه مرطوب ایران با هدف سازگاری با طبیعت و اقلیم هر منطقه ابتکارات بسیاری از خود به جا گذاشته اند که این معماری های خود ایستا، با ورود به عمق زمین شکل گرفته اند. و نمونه ی شاخص آن در استان خوزستان، شوادون می باشد.

با توجه به ویژگی خاک دزفول، شوادون نه صرفاً یک فضای حفر شده در دل زمین که فاقد مصالح بنایی در بناهای سنتی دزفول به عمق ۵ تا ۱۲ متر می باشد، بلکه این فضا اندیشه معمار قدیم بر مبنای تعامل با طبیعت و همزیستی با محیط و اقلیم است. شوادون سازه سرمایشی زیرزمینی در معماری بومی این شهر است که در معماری مدرن امروز، به دلیل عدم هماهنگی با نیازهای عصر حاضر، فاقد استقبال و کارایی لازم شده است. روش مطالعه و تدوین مقاله توصیفی- تحلیلی و بر اساس مطالعه منابع مکتوب، اسناد و مدارک با توجه به طراحی اقلیمی پایدار به بررسی شوادون به عنوان یکی از شاخص ترین روش های طراحی مناسب با اقلیم در بنا معرفی و نحوه عملکرد آن را مورد بررسی قرار می دهد و همچنین به چگونگی الگوپذیری از شوادون در ساخت بناهای جدید می پردازد.

واژگان کلیدی: شوادون، معماری پایدار، معماری بومی، پدیده زمین گرمایی- سرمایی، دزفول.

مقدمه

دزفول^۱، شهری است در بخش‌های شمالی جلگه خوزستان، با گستردگی نزدیک به ۴۷۶۲ کیلومتر مربع، ارتفاع ۱۴۳ متر از سطح دریا در عرض جغرافیایی ۲۸ درجه شمالی و ۴۸ درجه شرقی در دامنه‌های زاگرس میانی و در کنار رود دز^۲ گسترده شده و پیشینه تاریخی آن به دوران ایلامی باز می‌گردد. شهر دزفول بر روی یک فورماسیون سنگ کنگلومرا و با ارتفاع از سطح رودخانه دز بنا شده است و همواره از آب زلال و سرد جاری از کوه‌های بختیاری بهره‌مند بوده است. اگرچه در معماری شهر دزفول بافت‌های شهری متراکم و کوچه‌های کم عرض با هدف ایجاد سایه و کوران به چشم می‌خورد ولی حفر شوادون به دلایل پایین بودن سطح آب‌های زیر زمینی و زمین مناسب، موهبتی بوده که خداوند در اقلیم و زمین آن شهر ارزانی داشته است و معماران خوش ذوق را به خلق این معماری منسجم و با هویت هدایت می‌کند. رود دز، از دیرباز مهم‌ترین عامل آسایش حرارتی شهر بوده و شبکه‌ای زیرزمینی از قمش^۳، کت^۴، سربه طاق^۵، تال^۶ و شوادون^۷، نیازهای گوناگون آسایشی در شهر را فراهم می‌کرده. علاوه بر جمع آوری، نگهداری و انتقال آب‌های زیرزمینی خنک از طریق سازه‌هایی به نام قمش و سر به طاق، هوای خنک و مرطوب سطح رودخانه نیز توسط کت (حفره‌هایی که در ساحل رودخانه و در دل خاک حفر می‌شده) و از طریق تال‌ها (تونل‌ها) به فواصل دورتر به شوادون‌ها انتقال داده می‌شود. شوادون‌ها سازه‌هایی زیرزمینی هستند که در عمق بیش از ده متری زمین حفر شده و هوای خنک زمین را با کانال‌های عمودی به فضاهای زیستنی انتقال می‌دهند و مانند کولرهای طبیعی عمل می‌کنند^۸، و در ضمن اتاق‌هایی خنک را جهت اقامت بعد از ظهرهای تابستان، نگهداری و ذخیره مواد خوراکی و برقراری روابط همسایگی و خویشاوندی بین چندین خانوار یا بعضاً^۹ محلات را فراهم می‌آورده و گاهی از این فضاهای زیرزمینی جهت عبور و مرور داخلی نیز استفاده می‌شده است. روشنایی این تونل‌ها توسط کانال‌های عمودی به نام دریزه^۹ (در شوشتر این حفره‌ها "سی سرا" نامیده می‌شوند) تامین می‌گردد. "جنس خاک کنگلومرا^{۱۰} در دزفول به عنوان بتن طبیعی و مقاومت بالای خاک امکان حفر تونل‌های زیرزمینی بدون وجود سازه، دیوار و سقف در عمق بیش از ده متری را فراهم می‌آورده.^{۱۱}"

^۱ Dezful^۲ Dez river^۳ Qomeš^۴ Kat^۵ sarbetāq^۶ Tal^۷ shavadoon

^۸ جهت مطالعه بیشتر در خصوص تعریف شوادون و فضاهای آن نگاه کنید به: ۱- محسن بینا-تجزیه و تحلیل اقلیمی شوادونها در خانه های دزفول، ۲- شوادون، معماری پایدار در شهر دزفول- محمد مهدی صفایی ۳- دزفول دیرینه شهری بنیاد شده بر فرهنگ مردم فناوری شوادون، کت و صفه، با نگاهی ویژه به چاس گشت (چاشت گشت)- سید محمود سجادی.

^۹ Darize



تصویر شماره ۱- مجموعه مسکونی و شوادون‌های به هم مرتبط در محله کهن‌دز دزفول

منبع: شناخت شهر و مسکن بومی ایران - رحیمیه، ربوبی-۱۳۵۳

دزفول نیز همانند سایر شهرهای تاریخی ایران از روند ساخت و سازه‌ای جدید بی‌بهره نمانده، عاملی چون افزایش روز افزون جمعیت سبب رشد فزاینده ساخت و ساز شهری و روستایی در سال‌های اخیر در دزفول و حومه آن شده و این تغییرات به انواع مختلف موزون و ناموزون بر پیکره شهر جدید مشاهده می‌گردد. شوادون‌ها نیز از این روند تجدید بنا و ساخت و ساز پی در پی بی‌نصیب نمانده و غالباً این تأثیرات منجر به تغییرات کالبدی و کاربری نادرست، تخریب و نابودی این سنت پایدار می‌گردد.

مشکل آلاینده‌گی سوخت‌های فسیلی و افزایش هزینه انرژی، مدیریت نادرست در روند استفاده از حوزه آبرگیر رود دز و انتقال سرشاخه‌های دز به استان‌های پر جمعیت شمالی، و بروز پدیده گردوغبار در استان‌های غربی و در نتیجه تغییرات شاخص آب و هوایی در این مناطق، همه و همه سبب گرم‌تر شدن شهر، کاهش: "شاخص‌های آسایش و استفاده از سرمایش طبیعی در این منطقه" شده و احتیاج به سرمایش و تهویه مناسب هوا، توأم با روند فزاینده کمبود منابع فعلی انرژی، نیاز ما را به جایگزینی انرژی‌های پاک و استفاده از سنت‌های پایدار معماری در شهر دزفول صد چندان می‌سازد. این امر نیاز به شناخت سیستم‌های آسایش در معماری بومی دزفول و طراحی بهینه و امروزی روش‌های استفاده از این سیستم‌ها را ایجاب می‌نماید.

شوادون، شاید مهم‌ترین و شاخص‌ترین وسیله آسایش پایدار در این خطه باشد که همان‌گونه که ذکر گردید، به دلیل: ۱- بستر کنگلومرای (Conglomerate) نام نوعی از جنس بستر طبیعی زمین است که به دلیل دانه‌بندی مناسب شن و ماسه و ترکیبات آهکی در معرض رطوبت زمین بسیار سخت می‌شود که به آن بتن طبیعی نیز می‌گویند. و ۲- وجود رود دز، این سیستم سرمایشی طرحی منحصر به فرد داشته و از نظر میزان سرمایش، در برابری با سیستم‌های امروزی شرایط کاملاً قابل مقایسه‌ای دارد. هدف تالیف این مقاله بررسی روش‌های نوین سرمایش و گرمایش غیر فعال از طریق حفر تونل‌های زیرزمینی جدید با استفاده از پدیده زمین گرمایی- سرمایی و بررسی امکان احیای اقلیمی و کاربردی شوادون‌ها می‌باشد.

مروری بر ادبیات موضوع

پدیده زمین سرمایی و زمین گرمایی

تاریخچه

سیستم‌هایی گرمایش و سرمایش که بر مبنای تبادل حرارت زمین عمل می‌کنند.^{۱۲} از جمله گزینه‌هایی است که توسط محققان برای حل مشکلاتی از قبیل: افزایش هزینه سوخت، آلودگی محیط زیست مربوط به سیستم‌های مرسوم و انتشار گازهای گلخانه‌ای مطرح

شده است. طبق انتخاب آژانس حفاظت از محیط زیست آمریکا^{۱۳}، سیستم‌های سرمایش و گرمایش از طریق زمین به عنوان در دسترس‌ترین و کارآمدترین انرژی پاک، در محیط زیست، و مقرون به صرفه‌ترین فضای سیستم‌های تهویه و پمپ‌های حرارتی انتخاب شد. علاوه بر این، پتانسیل قابل توجهی برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای دارد؛ به خصوص هنگامی که برای هر دو منظور گرمایش و سرمایش مورد استفاده قرار گرفته یا برق از منابع تجدیدپذیر تولید شده است.^{۱۴} این روش در سال ۱۸۵۳ برای اولین بار توسط "لرد کلون" ^{۱۵} شرح داده شد و در سال ۱۸۵۵ توسط "ریتر" ^{۱۶} بسط داده شد.^{۱۷}

روش کار سیستم‌هایی سرمایش و گرمایش از زمین

انرژی زمین گرمایی یکی از انواع انرژی تجدیدپذیر برای گرمایش و تهویه مطبوع ساختمان‌ها است. جریان زیرزمینی سراسر جهان مربوط به افزایش تبادل حرارتی است که از طریق دو مکانیزم برای هدایت مواد آبخوان و همرفت در آب‌های زیرزمینی به خودی خود اتفاق می‌افتد. گرما می‌تواند بین دو رسانه با اختلاف دما رد و بدل شود. ممکن است از زمین‌هایی با عمق کم به عنوان منبع حرارت مایع خنک کننده‌ای استفاده شود که در زیر زمین به صورت افقی مدفون شده است. که در نتیجه از آن در درجه حرارت فصلی متوسط بهره‌گیری می‌کنید. در تابستان، روند معکوس می‌شود و به استخراج گرما از ساختمان‌ها و انتقال آن به زمین می‌انجامد. انتقال حرارت به محیط کولر به مصرف انرژی کمتری می‌انجامد. به طوری هرچه اختلاف درجه حرارت بین این دو رسانه دخیل، بزرگتر باشد، خنک کننده GHE، بهره وری بالاتری خواهد داشت.^{۱۸}

این عمل انتقال حرارت از طریق هوا، آب و سایر سیال‌ها در قالب لوله‌های دفن شده زیر زمین، با مبدل حرارتی لوله زمین، هوا^{۱۹} با استفاده از پمپ‌های حرارتی، گردش طبیعی هوا، حتی استفاده از بستر خاکی و سنگی در مجاورت سیستم‌های فعال گرمایشی و سرمایشی^{۲۰} انجام می‌گیرد. اگر بر سرعت جریان هوای محیط افزوده و از دمای آن کاسته شود، میزان تبادل حرارت از طریق همرفت افزایش می‌یابد، اما با بالا رفتن دمای محیط، از میزان تبادل همرفتی کاسته و به تبادل تبخیری افزوده خواهد شد.^{۲۱} سرعتی که در آن حرارت از طریق یک ماده مبادله می‌شود متناسب است با نسبت مساحت معمولی به جریان هوا و به تغییرات هوا در طول مسیر جریان حرارت. در بهترین اندازه‌گیری‌ها، در حالت پایدار جریان حرارت، از این روش در محاسبات استفاده می‌شود. این مطلب توسط معادله فوریه ارائه شده.^{۲۲}

$$Q=kA\Delta T/d$$

Where:

Q = rate of heat flow, W
 k = thermal conductivity, W/m-K
 A = contact area, m²
 d = distance of heat flow, m
 ΔT = temperature difference, K

بنابراین، هدف از طراحی برای هرگونه تنظیمات GHE، ترکیب دخالت مناسب مصالح (تبادل حرارت رسانه) برای خواص حرارتی است و ابعاد لوله کشی، طول و قطر، که منجر به جذب یا رد مقدار مورد نیاز از انرژی حرارتی می‌شود.^{۲۳} در نتیجه، انتخاب مواد اولیه‌ای که اجازه تبادل حرارتی آسان بین خاک و لوله را فراهم آورد، ضروری است و این عمل با اشباع حرارتی زمین اطراف آن انجام می‌شود. لوله‌ها

13 EPA(Environmental Protection Agency of America)

14 Greenhouse Gas Technology Center, 2005

15 Lord Kelvin

16 Ritter

17 International- Ground Source Heat Pump Association, 2009

18 Hwang, Ooka and Namb, 2010

19 ETHE

20 www.azsolarcenter.org- Passive Solar Heating & Cooling Manual, Part 3 of 4

22 Investigation of the Readiness of Ground Soils for the Installation of Ground Heat Exchange Systems in

Baghdad City-Salam J. Bash Al-Maliky

23 - In Investigation of the Readiness of Ground Soils for the Installation of Ground Heat Exchange Systems in

Baghdad City-Salam J. Bash Al-Maliky

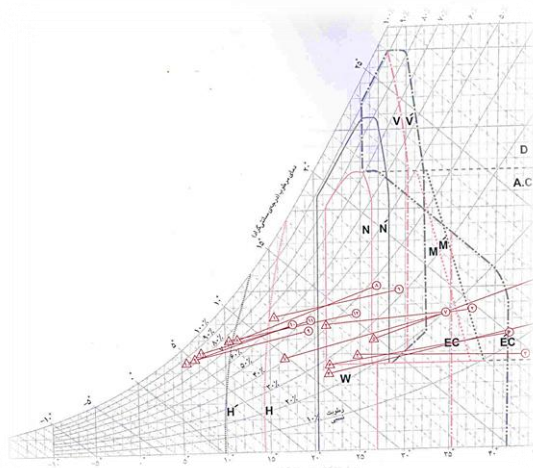
باید سراسیمگی کم و زهکشی مناسب داشته باشند تا آب وارد شده از زمین به داخل کانال مسیر عبور هوا را مسدود نکنند. نقطه انتهای ورودی باید به نمایش گذاشته و دیده شود و در یک نقطه سایه و به دور از عبور و مرور پیاده و ماشین‌ها قرار گیرد.^{۲۴}

برای ارزیابی وجود اختلاف درجه حرارت خاک یا سیال مناسب و پایدار در اعماق زمین، قرارگیری سیستم‌های ثبت دما به منظور تضمین عملکرد کارآمد و مستمر در جایی که سیستم GHE نصب شده است، ضروری است. بخشی از مشکلات در این فرآیند، پیش بینی واکنش حرارتی خاک اطراف لوله‌هایی است که از طریق آن یا آب گرم و یا سرد جریان دارد. گرچه از سال ۱۹۶۵ توسط "کاسودا" و آرچنباخ^{۲۵}، یک مدل توزیع درجه حرارت در زمین که مرتبط دمای زمین ارائه شده بود، عمق نفوذ و حرارت زمین.^{۲۶} که در سال‌های مختلف مورد استفاده قرار گرفت فرم‌ها توسط بسیاری از محققان از جمله: روش "ویلیامز و گلد"^{۲۷} که درجه بالایی از دقت در هر نقطه را ممکن می‌سازد، بنابراین در بسیاری از عوامل راهبردی سیستم مانند: هندسه سیستم زمین سرمایی و خاک محلی و شرایط آب و هوایی سایت‌هایی که ممکن است انتخاب شود، بستگی دارد به نوسانات: خواص حرارتی هدایت حرارتی و گرمایی ویژه و خواص هیدرولیکی زمین این عوامل به عنوان عوامل راهبردی بسیار مهم مطرح می‌شوند. مانند: انتقال حرارت بین زمین حرارت مبدل و زمین، ژئوتکنیک بررسی عدم قطعیت در تعیین خواص حرارتی زمین را کاهش می‌دهد. همچنین، عواملی مانند جهت شیب زمین، تابش خورشیدی، باد، باران و غیره می‌تواند بر رفتار حرارتی زمین، تاثیر داشته باشد.^{۲۸}

تحلیل پدیده زمین سرمایی-گرمایی در شواودنهای دزفول

تحلیل شرایط آسایش در دزفول

با بررسی نمودارهای هواشناسی دزفول و مقایسه آن با شاخص‌های آسایش ماهانی و شاخص زیست - اقلیمی ساختمانی، و در نظر گرفتن حداکثر و حداقل مطلق دما و رطوبت^{۲۹} در می‌یابیم که:



- در دزفول از ماه‌های اردیبهشت تا مه، میانگین دمای هوا به بالاتر از محدوده آسایش تابستانی می‌رسد. در این میان گرم‌ترین ماه این تابستان طولانی مرداد ماه است که در آن میانگین متوسط حداقل و حداکثر دما در مرداد ماه به ۲۴/۹ و ۴۴/۹ درجه و میانگین حداکثر رطوبت نسبی به ۶۰ درصد می‌رسد. از شهریور ماه گرما رفته رفته فروکش می‌کند تا در مهر ماه به شرایط اعتدال و محدوده آسایش تابستانی می‌رسد. در این ماه‌ها نیاز به جلوگیری از تبادل حرارت تابشی، بهره‌گیری از سایه و سرمایش به همراه تهویه و کوران هوا الزامی است.
- در ماه‌های مهر و فروردین اگرچه میانگین درجه حرارت در محدوده آسایش قرار دارد، اما در ساعاتی از روزهای فروردین و مهر ماه میانگین متوسط حداکثر دمای هوا به ترتیب به ۲۹/۳ و ۳۵/۱ و رطوبت هوا به ترتیب به ۱۰۰ و ۹۲ درصد می‌رسد. این میزان به میانگین

24 www.azsolarcenter.org - Passive Solar Heating & Cooling Manual, Part 3 of 4

۲۵ Kasuda & Archenbach-۱۹۶۵

۲۶ Florides and Kalogirou, 2005

۲۷ WILIAMS & Gold-1976

۲۸ Charoenvisal, 2008- in Investigation of the Readiness of Ground Soils for the Installation of Ground Heat Exchange Systems in Baghdad City-Salam J. Bash Al-Maliky

۲۹ نگاه کنید به: رازجویان، محمود-آسایش در پناه معماری همساز با اقلیم و کسمایی-اقلیم و معماری

متوسط حداکثر و رطوبت رسیده است. بنابراین ضمن این که از گرمای تابشی خورشید استفاده می‌کنیم، هم‌چنان ساختمان را در معرض کوران هوا قرار داده تا از سکون بیش از حد رطوبت در فضاها بکاهیم.

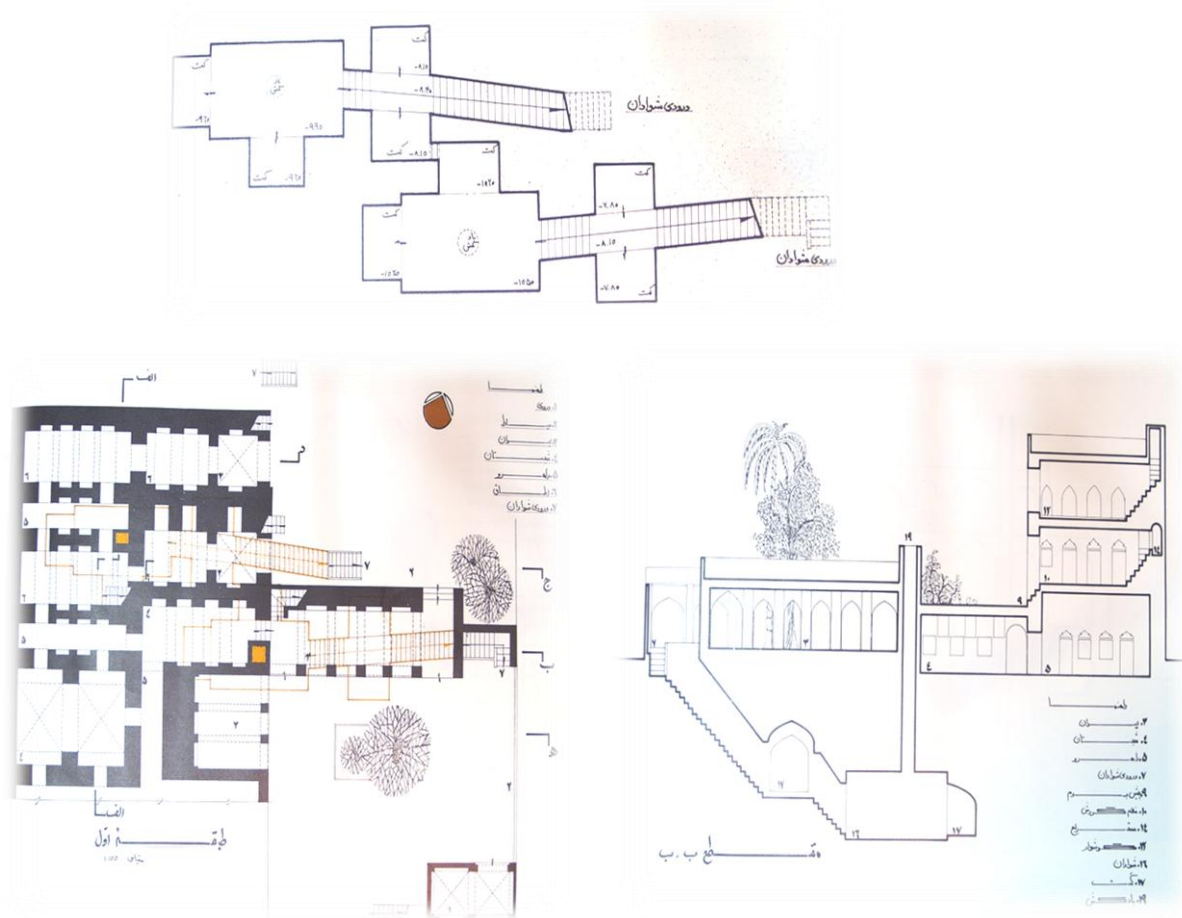
• در ماه آبان دمای هوا کاملاً در منطقه آسایش زمستانی (اعتدال) واقع شده ولی هم‌چنان میانگین رطوبت هوا بین ۷۳-۲۵ بوده و نیاز به تهویه هوا در کنار بهره‌گیری از آفتاب الزامی است.

• از ماه آذر تا اسفند، دزفول شرایط پاییز و زمستان خود را تجربه نموده، میانگین تعداد روزهای یخبندان دزفول ۴ روز در سال بوده است. دزفول هیچ گاه بارش برف نداشته، میانگین بیشینه و کمینه دما بین ۵/۷ و ۲۶/۳ درجه سانتیگراد می‌رسد. اما میانگین حداقل و حداکثر رطوبت در این ماه‌ها بین ۲۷-۹۸ درصد رسیده و در ماه‌های زیادی بیشینه مطلق رطوبت به ۱۰۰ درصد است. هم‌چنین حداکثر میزان بارندگی روزانه در سال به میزان ۱۲۰ میلی‌متر در بهمن ماه می‌رسد. بنابراین، در این ماه‌ها نیاز به: حفاظت در برابر باران شدید، بهره‌گیری از حرارت تابشی خورشید، به همراه گرمایش همراه با جابه‌جایی هوای گرم جهت جلوگیری از سکون رطوبت نیازمندیم. بر اساس اطلاعات فوق می‌توان به جمع بندی زیر دست یافت:

- ۱- دزفول ۶ ماه گرم، ۲ ماه معتدل و ۴ ماه پاییزی دارد و فاقد زمستان سرد و یخبندان می‌باشد.
- ۲- در دزفول به پدیده استفاده از گرمایش و سرمایش زمین در همه ماه‌های سال به صورت تهویه فضاها همراه با گرمایش یا سرمایش جهت کاهش رطوبت در مواقع شرجی و افزایش رطوبت در مواقع خشک هوا نیازمندیم.
- ۳- در فصل سرد ۴ ماه اختلاف میانگین حداقل و حداکثر درجه حرارت با منطقه آسایش زمستانی به ۳-۵ درجه می‌رسد که با استفاده از گرمایش ناشی از پدیده زمین گرمایی می‌شود آن را جبران کرد. اما در شب‌های سردتر نیاز به طراحی تمهیداتی جهت گرمایش کامل فضاها داریم.
- ۴- در فصول گرم اختلاف درجه حرارت با منطقه آسایش تابستانی به حدود ۲۰ درجه رسیده و در ۶ ماه گرم تابستان نیاز به تولید هوای خنک با استفاده از پدیده زمین سرمایی خواهیم داشت.

طرز کار سیستم سرماسیسی و گرمایشی شوا دون

هوای سرد و خشک داخل شده در شب به تونل شوا دون، در تبادل حرارت همرفتی با سطح خنک و مرطوب خاک تماس پیدا می‌کند. این عمل گردش هوای داخلی، علاوه بر سرمایش با ایجاد کوران داخلی هوا، در روزهای شرجی سال، عمل تنظیم رطوبت را نیز بر عهده داشته است و این سیستم تهویه حتی در روزهای زمستان و هوای معتدل نیز کارکرد کوران و رطوبت‌زدایی دارد.



محل قرارگیری شوادون، پلان و برش شوادون- منزل پاشاخان رشیدیان-دزفول- منبع: شناخت شهر و مسکن بومی ایران - رحیمیه، ربوبی-۱۳۵۳

این مساله در فصول مختلف سال بر اساس شرایط آسایش و اختلاف دمای سطح و عمق زمین متفاوت بوده و شوادون در هر کدام از این شرایط، رفتار متفاوتی از پدیده زمین سرمایی و زمین گرمایی نشان می‌دهد. بر این اساس و بر اساس بررسی شرایط آسایش دمایی شهر دزفول به جمع بندی زیر در قالب جدول شماره ۱ می‌رسیم:

زمان	مدت	شرایط آسایش	نیاز اقلیمی	راهکار پدیده زمین سرمایی- گرمایی	راهبرد شوادون
آذرماه تا اسفند	۴ ماه	۱۰-۰ درجه تا شرایط آسایش زمستانی	گرمایش	ذخیره سازی حرارت	سرمای هوای زمستان دمای هوای شوادون را نیز کاهش می‌دهد. دمای هوای شوادون با یک حرکت ملایم از ابتدای زمستان به سمت پایین حرکت می‌کند و در ماه بهمن به حداقل خود ۱۸ درجه می‌رسد و در اسفند رو به افزایش می‌یابد.
آبان و فروردین	۲ ماه	منطقه آسایش تابستانی	تهویه و کوران	خاصیت همدمای زمین و منطقه آسایش	در شهریور ماه پس از مصرف سرمای ذخیره شده در جداره ها، همدمای بین زمین و منطقه آسایش (حدود ۲۵ درجه) اتفاق افتاده، در این حالت حجم بستر اطراف شوادون به قدری زیاد و سنگین است که توانایی

جذب دمای هوای آن را دارد. به گونه ای که این دما تا پایان تابستان از ۲۷ درجه تجاوز نکند.					
در روزهای بسیار گرم تامین حرارت برای شوا دون به ندرت صورت می گیرد جداره های خنک خاک با تبادل حرارتی گرمای هوای شوا دون را جذب می کنند.	ذخیره سازی برودت در جداره های شوا دون	سرمایش	۲۰ درجه بالاتر از آسایش تابستانی	۶ ماه	اردیبهشت تا مهر ماه

عمق نفوذ و حرارت زمین

دمای پوسته زمین در قسمت تحتانی خود حدود ۸۰ درجه سیلسیوس می باشد. که تقریباً به ازای افزایش هر ۱۰۰ متر ارتفاع ۳ درجه کاهش می یابد. پوسته زمین با وصل شدن به اجسام سردتر یا گرمتر از این مقدار می تواند اجسام را هم دمای خود کند بدون این که تغییر دمایی در کل پوسته زمین حاصل شود (با توجه به حجم و بزرگی زمین). قسمتی که ما در آن ساختمان سازی می کنیم سطح فوقانی آن است که دمای هوا می تواند آن را تحت تاثیر خود قرار بدهد. این بخش از زمین را با توجه به تغییرات دمای آن به دو قسمت تقسیم می کنیم:

یک- سطح رویه پوسته - طبقه همکف ساختمان- این سطح بر اساس نوسانات دمای روز به نسبت مصالح گرم و سرد می شود و میزان دمای محیط را بوجود می آورد.

دو- سطح زیرین پوسته - عمق حائل یک متری تا ۱۰-۲۰ متری زمین. در عمق یک متری زمین محدوده تغییرات دمایی روزانه (حدود ۱۷ درجه) حد اکثر یک درجه تاثیر می کند. در این محدوده می توان سرمای زمستان و گرمای تابستان را برای ۶ ماه ذخیره نمود. نهایتاً در عمق ۵-۶ متری تغییر دمای هوا اثری ندارد.^{۳۰}

انتقال حرارت سطح خاک

"دمای هر نقطه از خاک در یک لحظه معین از دو دسته کلی عوامل محیطی و درونی اثر می پذیرد: ۱- عوامل محیطی: که تعیین کننده مقدار کل انرژی دریافت شده سطح خاک است و به تبدلات محیطی بین خاک با محیط بیرونی آن مربوط می شوند. ۲- عوامل درونی: که شامل مجموعه فرایندهای پیچیده انتقال گرما در خاک هستند و شدت آن ها وابسته به ویژگی های گرمایی خاک است و نحوه توزیع دما در خاک وابسته به این عوامل است ترکیب مواد آلی و معدنی خاک اشاره کرد،^{۳۱} در زمره اثر گذارترین این عوامل می توان به: چگالی حجمی و مقدار رطوبت و هوای خاک اشاره نمود که در این میان رطوبت خاک را می توان اصلی ترین عامل به حساب آورد.^{۳۲}

"انتقال گرما در خاک به طرز مهم و موثری فرایندهای انتقال انرژی در سطح خاک را به هم مرتبط می سازد." ^{۳۳} انتقال دما در یک محیط متخلخل و مرکب از چندین فاز (نظیر خاک) از پیچیدگی های بیشتری نسبت به محیط های تک فازی نظیر اجسام کاملاً جامد برخوردار است. با وجود این، اصول بنیادی حاکم بر انتقال گرما در محیط های تک فازی و چند فازی شبیه هم است و قوانین مشابهی بر آن ها حاکم اند.^{۳۴} فرایند رسانایی نسبت به سایر فرایندها بیشترین سهم را در انتقال گرما در خاک بر عهده دارد و تابع قانونی است که فوریه در ۱۸۸۲ برای انتقال گرما در جامدات بدست آورده است.^{۳۵} این قانون بیان می کند که جریان گرما در یک جسم همگن در جهت گرادیان دما و مناسب با آن است و در شرایط ایستا و در حالت یک بعدی، شار گرما (مقدار گرمایی که در واحد زمان از سطح مقطع جسم عبور می کند بر حسب وات بر متر مربع) با ضریب رسانش گرمایی (بر حسب وات بر متر بر کلوین) و تغییرات دما نسبت به عمق (بر حسب کلوین بر متر) رابطه مستقیم دارد. برای تبیین انتقال گرما در شرایط غیر ایستا، لازم است از اصل پایستگی انرژی در قالب معادله پیوستگی استفاده شود که در حالت یک بعدی رابطه زیر حاصل می شود:

۳۰ محسن بینا- تجزیه و تحلیل اقلیمی شوا دونها در خانه های دزفول

۳۱ Hilel-1980

۳۲ Bekman& Partners-2001, Lipick&partners-2007

۳۳ شبیه سازی عددی و بررسی آزمایشگاهی ضریب پخشیدگی گرمایی خاک یخ زده در شرایط رطوبتی متفاوت- یونس خوشخو، علی خلیلی، حسن رحیمی، پرویز ایران نژاد- مجله فیزیک، زمین و فضا، دوره ۳۵، شماره ۱

۳۴ جری و هورتن- ۲۰۰۴

۳۵ هیل- ۱۹۸۰

$$P_{Cm} = \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T}{\partial z} \right)$$

P = چگالی جسم

C_m = گرمای ویژه

$\frac{\partial T}{\partial t}$ = آهنگ تغییر زمان

در نتیجه، هرچه رسانایی گرمایی خاک بیشتر شود و عمق زمین افزایش یابد، میزان دمای انتقال داده شده از سطح خاک به سیال مورد نظر نیز افزایش یافته و هرچه خاک مرطوب‌تر و متخلخل‌تر باشد، برای انتقال برودت و پدیده زمین‌سرمایی مناسب‌تر است. بنابراین، فرم چین و چروک دار سطوح کنگلومرایی که پوشیده از سنگ‌های ریز و سطوح نامنظم خاک مرطوب و قلوه سنگ‌های رودخانه‌ای است، می‌تواند ضریب رسانایی دمایی و انتقال حرارت را به چندین برابر افزایش دهد. در این شرایط، به علت چین و چروک‌های نامنظم سطح قلوه سنگ‌ها، سطح تماس خاک با هوا چندین برابر می‌شود. انتقال حرارت و رطوبت از سطح نامنظم چند برابر سطح منظم است. بنابراین تبادل حرارتی صورت گرفته به چندین برابر افزایش می‌یابد. باران‌های تند و اقلیم نیمه مرطوب دزفول، وجود سفره‌های آب زیرزمینی و نزدیکی با بستر رود نیز می‌تواند از موثرترین عوامل در افزایش رطوبت خاک در سطوح زیرزمین باشند و میزان تبادل حرارت سطح خاک را به بیشینه ممکن افزایش دهند. همچنین، "عواملی مانند جهت شیب زمین، تابش خورشیدی، باد، باران و غیره می‌تواند بر رفتار حرارتی زمین، تاثیر داشته باشد."^{۳۶}

جنس خاک دزفول

چهره نهایی دشت خوزستان در دوره کوارتنر شکل گرفته و تحت تاثیر دوره یخچالی و پس از آن سطح آب دریاها آزاد بالاتر رفته و دشت خوزستان سراسر پوشیده از رسوبات آبرفتی کوارتنر است. در شمال خوزستان - دزفول - منطقه موسوم به کنگلومرای بختیاری (امتداد رشته کوه زاگرس) مقاوم‌تر بوده و هرچه به جنوب نزدیک‌تر می‌شویم مقدار رسوبات آبرفتی بیشتر می‌شود. با این وجود، در سیر جریان رودخانه‌های سرچشمه گرفته از زاگرس، سهم رسوبات فرسایش آبی که از این گروه سنگ‌ها به رودخانه وارد و حمل می‌شود، اندک است. بنابراین، این منطقه در گروه سنگ‌های با درجه فرسایش و رسوبزایی ضعیف قرار دارد.^{۳۷}

کنگلومرا، نام نوعی از جنس بستر طبیعی زمین است که به دلیل دانه‌بندی مناسب شن و ماسه و ترکیبات آهکی در معرض رطوبت زمین بسیار سخت می‌شود که به آن بتن طبیعی نیز می‌گویند. اجزاء تشکیل دهنده این دسته از سنگ‌های آواری اندازه بزرگتر از ۲ میلی متر داشته و از قطعات گرد و دانه درشتی تشکیل شده. اگر ده درصد ذرات سنگی ابعاد بیش از ۲ میلی متر داشته باشند آن سنگ را کنگلومرا می‌نامند.^{۳۸} که نوع خاصی از سنگ‌های رسوبی است که متشکل از سنگریزه‌های جامد در بافتی از مواد نرم می‌باشد که می‌تواند ماسه، مخلوط ماسه و رس یا کربنات باشد به این مجموعه کنگلومرا گفته می‌شود. کنگلومرا شن سیمانه شده است اما می‌تواند حاوی قطعات گرد شده سنگ‌های دیگر با اندازه‌های قابل توجه نیز باشد. این سنگ معمولاً محکم، سفت و سخت می‌باشد و حفاری در آن خیلی مشکل‌تر از ماسه سنگ و شیل است. بسیاری از بسترهای کنگلومرا نسبتاً نازک هستند. اگر چه بسترهایی با ضخامت ۱۰۰ فوت نیز^{۳۹} دیده شده و گاهی نیز کنگلومراهایی که از رسوبات رودخانه‌ای تشکیل شده‌اند دارای چندصد فوت ضخامت هستند.

مصالح شواهد

۳۶ Charoenvisal, 2008- in Investigation of the Readiness of Ground Soils for the Installation of Ground Heat Exchange Systems in Baghdad City-Salam J. Bash Al-Maliky

۳۷ - فرم و فرایندهای رودخانه ای دشت خوزستان در کوارتنر-سید حجت موسوی، عبدالحمید تقی زاده-رشد آموزش جغرافیا-دوره بیست و چهارم-شماره ۴-تابستان ۸۹
۳۸ Pettijohn

۳۹- پایگاه ملی داده های علوم زمین کشور- زمین شناسی نظامی- فصل اول

انتخاب مصالح برای جداره‌های داخلی شوا دون باید به گونه‌ای باشد که بیشترین مقدار تبادل و انتقال حرارت از خاک به محیط داخل صورت پذیرد. این مقدار انتقال حرارت برای خاک موجود در عمق ۱-۲۰ متری در دزفول که از جنس کنگلومرایی و متشکل از ماسه سنگ‌های کوارتزی و آهکی است، در جدول با سایر مصالح برای پوشش برای بدنه کانال‌ها و تونل‌های زیرزمینی مقایسه شده:^{۴۰}

$\lambda = \text{thermal conductivity, w/(m.k)}$ ضریب انتقال حرارت سطحی

ماسه سنگهای کوارتزی ۲/۶

۱/۹ ماسه سنگهای آهکی

۱/۳۵ سفال

۱/۷۵ بتن

۵۲ فولاد

بنابراین: مشاهده می‌گردد که ضریب انتقال حرارت سطحی در ماسه سنگ‌های کوارتزی ۲/۶ (تقریباً ۲ برابر بتن) و در ماسه سنگ‌های آهکی ۱/۹ (کمی بیشتر از بتن) در حالت خشک می‌باشد و همان‌گونه که اشاره شد این میزان در حالت مرطوب و در سطوح نامنظم به خاک به چندین برابر افزایش می‌یابد و این خود گواهی است که طراحی بومی شوا دون و انتخاب مصالح به صورت طبیعی بهترین راهکار جهت اجرای شوا دون می‌باشد.

ابعاد شوا دون و روش محاسبه حجم هوا

جهت محاسبه حجم کانال ابتدا باید میزان انتقال حرارت از سطح خاک را محاسبه و سپس داده‌های فوق را به فرمول‌های محاسبه میزان انتقال حرارت سطحی یا میزان جریان حرارت منتقل کرده و با توجه به داشتن سطوح فضاهای با نیاز گرمایش - سرمایش و تهویه حجم هوای داخل شوا دون، ابعاد و عمق بهینه تونل و تعداد کت‌ها و تال‌های شوا دون و نهایتاً "حجم هوای خروجی و ابعاد کانال را محاسبه نمود.

- میزان انتقال حرارت سطحی خاک نیز همان‌گونه که ذکر شد تابعی از عوامل زیر می‌باشد:

۱. **جنس خاک محل** - هرچه رسانایی گرمایی خاک و عمق زمین افزایش یابد، میزان دمای انتقال داده افزایش می‌یابد. سطوح نامنظم خاک با فرم چین دار و پوشیده از قلوه سنگ‌ها، ضریب رسانایی دمایی و انتقال حرارت را به چندین برابر افزایش می‌دهد.

۱- **میزان رطوبت سطح خاک** - خاک مرطوب و متخلخل، برای انتقال برودت و پدیده زمین سرمایی مناسب‌تر است. باران‌های تند اقلیم نیمه مرطوب دزفول، سفره‌های آب زیرزمینی و نزدیکی بستر رود دز می‌توانند از موثرترین عوامل در افزایش رطوبت خاک باشند و میزان تبادل حرارت سطح خاک را به بیشینه ممکن افزایش دهند.

۲- **عمق زمین** - هرچه عمق زمین بیشتر باشد، هوا خنک‌تر و پایدارتر بوده و اختلاف درجه حرارت در عمق ۱۰ متری زمین با دمای سطح زمین حدود ۲۰ درجه سانتی‌گراد است.

- **حجم هوا** - حجم شوا دون بر اساس حجم هوای مورد نیاز هر فضاها محاسبه می‌گردد. "تازه ترین هوای خنک شوا دون‌ها، هوایی است که در شب گذشته در شوا دون ذخیره شده و می‌توان بر اساس نیاز هوایی افراد در فضا حجم شوا دون را تعیین نمود. برای افزایش حجم هوای ذخیره شده از شبستان‌ها نیز می‌توان استفاده نمود.^{۴۱}

- **محل و ابعاد ابعاد کانال هوا** - محل کانال‌های عبوری هوا از هر قسمت شوا دون، با توجه به نیازهای فضایی و آسایشی معماری تعیین و در مناسب‌ترین قسمت از نظر پخش و توزیع هوا قرار گرفته و هوارسانی توسط کانال‌های افقی در کلیه سطوح انجام گیرد. با توجه به ارتفاع سطح مورد نظر و فاصله ممکن از سطح شوا دون، افت فشار هوا تعیین، و ابعاد نهایی کانال محاسبه می‌گردد. هم‌چنین هرچه نسبت طول به عرض کانال‌های عمودی بیشتر و اختلاف دمای داخل و خارج بالاتر باشد، در افزایش میزان فشار هوا موثر است. در صورت لزوم جهت افزایش فشار هوا، در محل کانال‌ها می‌توان فن تعبیه نمود.

۴۰ مقررات ملی ساختمان-مبحث ۱۹-صرفه جویی در مصرف انرژی-پیوست ۷

۴۱ تجزیه و تحلیل اقلیمی شوا دون‌ها در خانه های دزفول- محسن بینا-نشریه هنرهای زیبا- بهار ۸۷

• **دریچه‌های تخلیه**- باید به اتاق‌ها و فضاهای ساختمان ختم شود تا بتوانند شب هنگام جریان هوایی را در اتاق‌ها ایجاد کنند. (با دمایی حدود ۲۸ درجه سانتی‌گراد) تا گرمای ذخیره شده در دیوارهایی با زمان تاخیر با سرعت مضاعف تخلیه و سرد شوند. در این حالت فضای ساختمان برای روز بعد حداقل ۸ ساعت قابل استفاده می‌باشد.^{۴۲}

راهکارهای پیشنهادی اجرای نوین شوادون‌ها

مکان‌یابی شوادون‌ها

در صورت اجرای شوادون جدید، در انتخاب محل شوادون به موارد ذیل توجه شود:

- ۱- بررسی محل از نظر: جنس خاک، میزان رطوبت، فاصله از محل دفع آب‌های سطحی، کانال‌های آب زیرزمینی، چاه‌های آب، میزان تردد خودروهای سنگین
- ۲- گمانه‌زنی از خاک موجود به صورت حفر چاه‌های تا عمق ۲۰ متر
- ۳- فاصله از گسل‌های موجود

تمهیدات طراحی معماری

استفاده از عملکردهای محل آسایش در کاربری‌های فضای شوادون کاملاً منع می‌گردد. علاوه بر این فضاهای احتمالی باید به گونه‌ای تعبیه و طراحی گردند که محل عملکرد تهویه و گردش کامل هوای ذخیره شده نشوند. بنابراین، الزامات طراحی معماری ذیل پیشنهاد می‌گردد:

- استفاده از پلان‌های باز در داخل شوادون
- قرار دادن فضاهای ارتباطی دور تا دور جداره‌های خاکی و سنگی
- تعبیه فضاهای احتمالی به صورت هسته میانی داخل کت‌ها جهت حفظ فضای باز برای کوران داخلی
- در صورت کاربری مسکونی- آپارتمانی چند واحدی، تعبیه کت‌هایی به تعداد واحدها و اختصاص دادن هر کت و تال به یک واحد مسکونی الزامی است.
- از فضای شبستان نباید به عنوان پارکینگ یا انبار استفاده گردد. (به دلیل نیاز به هوای پاک و قابل تهویه ورودی شوادون)
- از تعبیه فضاهایی با نیاز به تهویه مانند سرویس بهداشتی یا آشپزخانه دارای اجاق گاز، در شوادون خودداری گردد و در صورت تعبیه این فضاها ارائه راه حل‌های کاربردی جهت تهویه کامل فضا الزامی است
- توجه به نورگیری طبیعی در شوادون‌ها و تعبیه نورگیرهای سقفی مناسب یا استفاده از سایر راهکارها جهت استفاده از نور طبیعی در فضا.

نتیجه گیری

- زمین به علت استعدادهای متفاوت حرارتی، می تواند در بسیاری از مناطق -پس از انجام مطالعات امکان سنجی- به عنوان مهم ترین عامل سرمایه و گرمایش استفاده شود. این امر در مناطقی با سابقه تاریخی پایدار چند صد ساله استفاده از سازه های سرمایه زیرزمینی، حاکی از صحت مطالعات امکان سنجی و راهکارها و اندازه های معماری بومی این مناطق دارد.
- در انتخاب هندسه سیستم زمین سرمایه: شرایط آب و هوایی، گمانه زنی جنس خاک محل، عمق نفوذ و حرارت زمین، استعداد انتقال حرارت از سطح خاک، ژئوتکنیک، جهت شیب زمین، تابش خورشیدی، باد، باران و ... موثر بوده و در مطالعات امکان سنجی یا احیای سازه های سرمایه -گرمایشی زیرزمینی و تعیین میزان کارایی و ابعاد کانال ها و حجم هوا، تحلیل و محاسبه می گردند.
- در طراحی معماری شواهد و تعبیه فضاها، با حفظ نورگیری و حریمیت و تقسیم کت ها برای هر واحد مسکونی، از پلان های باز، فضای ارتباطی آزاد به صورت حلقه ای در اطراف هسته میانی به گونه ای استفاده شود که تهویه و گردش هوای ذخیره شده در کلیه قسمت ها به خوبی انجام گیرد.
- محل کانال های عبوری هوا از هر قسمت شواهد، با توجه به نیازهای فضایی و آسایشی اجزای معماری تعیین و در مناسب ترین قسمت از نظر پخش و توزیع هوا قرار گرفته و هوارسانی توسط کانال های افقی در کلیه سطوح انجام گیرد.
- حجم شواهد بر اساس حجم هوای مورد نیاز هر فضاها محاسبه و پس از تعیین ارتفاع و افت فشار، ابعاد نهایی کانال محاسبه و در صورت لزوم از فن استفاده گردد. ارتفاع با افت فشار نسبت مستقیم و اختلاف درجه حرارت نسبت عکس دارد.

منابع و مراجع

- [۱] راز جویان، محمود. ۱۳۸۹. آسایش در پناه معماری همساز با اقلیم. ویرایش دوم. انتشارات دانشگاه شهید بهشتی.
- [۲] ریحانی، احمد. ۱۳۸۸. مقاله اثر زلزله بر سازه های زیر زمینی و تونل مترو.
- [۳] استاندارد ملی ایران ۲۸۰۰. طراحی ساختمانها در برابر زلزله. آیین کار. ۱۳۸۸. تجدید نظر سوم.
- [۴] تابان، محسن. پور جعفر، محمد رضا. بازشناسی عوامل هویتی بافت تاریخی دزفول و کاربرد آنها در توسعه شهر. فصلنامه مدیریت شهری. شماره ۲۲. زمستان ۱۳۸۷.
- [۵] گلابچی، محمود. حاجی زاده، معصومه. ۱۳۹۶. پل و سازه های آبی ایران- ج ۱ استان خوزستان. انتشارات پارس.
- [۶] پایگاه ملی داده های علوم زمین کشور. زمین شناسی نظامی. فصل اول.
- [۷] بینا، محسن. تجزیه و تحلیل اقلیمی شواذونها در خانه های دزفول. نشریه هنرهای زیبا، شماره ۳۳، بهار ۱۳۸۷.
- [۸] امام، سیدمحمدعلی. مقالاتی درباره تاریخ جغرافیایی دزفول. ۱۳۸۲. چاپ اول. انتشارات دارالمومنین.
- [۹] امام، سیدمحمدعلی. تاریخ جغرافیای خوزستان. ۱۳۳۱. موسسه مطبوعاتی امیرکبیر.
- [۱۰] سجادی، سید محمود. دزفول دیرینه شهری بنیاد شده بر فرهنگ مردم فناوری شواذون، کت و صفه، با نگاهی ویژه به چاس گشت (چاشت گشت). فصلنامه فرهنگ مردم. بهار و تابستان ۱۳۸۸.
- [۱۱] موسوی، سید حجت. تقی زاده، عبدالحکیم. فرم و فرایندهای رودخانه ای دشت خوزستان در کوتاه تر. رشد آموزش جغرافیا. دوره بیست و چهارم. شماره ۴، تابستان ۱۳۸۹.
- [۱۲] خوشخو، یونس. خلیلی، علی. رحیمی، حسن. ایران نژاد، پرویز. شبیه سازی عددی و بررسی آزمایشگاهی ضریب پخشیدگی گرمایی خاک یخ زده در شرایط رطوبتی متفاوت. مجله فیزیک، زمین و فضا، دوره ۳۵، شماره ۱، ۱۳۸۸.
- [۱۳] رحیمیه، فرنگیس. ربوبی، غلامرضا. ۱۳۵۳. شناخت شهر و مسکن بومی ایران در شرایط آب و هوایی گرم و نیمه مرطوب. انتشارات دانشگاه تهران.
- [۱۴] صفایی، محمد مهدی. ۱۳۸۸. شواذون؛ معماری پایدار در شهر دزفول.
- [۱۵] زندیه، مهدی. پروردی نژاد، سمیرا. ۱۳۸۹. توسعه پایدار و مفاهیم آن در معماری مسکونی ایران. مسکن و محیط روستا.
- [16] Gang, W. Chen, B. Liu, M. Raulin, S. Henke, J. (2004). "Analysis, Design, and Preliminary testing of solar chimney for residential air- conditioning applications". A Solar Harvest: Growing Opportunities. July 11-14, 2004, Portland, Oregon
- [17] Sharan, G. Jadhav, R. (2003). "Soil temperature regime at Ahmedabad". Journal of Agricultural Engineering . (forthcoming)
- [18] Sharan ,G. Sahu, R.K and Jadhav, R. (2001). "Earth-tube heat exchanger based airconditioning for tiger dwellings". Zoos' Print. 16:5, May (RNI 2:8).
- [20] Sharen, G. Jadhav, R.("Performance of Single Pass earth-Tube Heat Exchanger: An Experimental Study. Centre for Mgt in Agriculture. Indian Institute of Management, Ahmedabad".
- [21] Mark, A. Newman, M. Wang. (1983). "ANALYSIS OF THE PERFORMANCE OF EARTH CONTACT COOLING TUBES". A Senior Project, University of Nebraska, June 1983.

- [22] Bansal, V. Mathur, J. (2009) . “Performance enhancement of earth air tunnel heat exchanger using evaporative cooling”. Mechanical Engineering Department, Malaviya National Institute of Technology, Jaipur 302017, India
- [23] Hyun Koo, D. T. Ariaratnam, S. and Kavazanjian Jr, E .(2009). “ Development of a sustainability assessment model for underground infrastructure projects”. Canadian Journal of Civil Engineering, 2009, 36(5): 765-776.
- [24] Bash Al-Maliky S. (2011) . “Investigation of the Readiness of Ground Soils for the Installation of Ground Heat Exchange Systems in Baghdad City”. Journal of Geography and Geology. Vol. 3, No. 1; September 2011
- [25] Hillel D. (2003). Introduction to Environmental Soil Physics. 1st edition.
- [26] Al-Azri, N. , Zurigat , Y. and Al-Rawahi N.(2012) . “ Development of Bioclimatic Chart for Passive Building Design in Muscat-Oman”. International Conference on Renewable Energies and Power .Quality .Santiago de Compostela (Spain), 28th to 30th March, 2012. PROCEEDINGS TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE
- [27] Shavadoon, Sustaineable Architecture in Dezfoul/ Proceedings of 12 the international conference of Associated research centers for urban underground space.(Acuus 2009).