



## تأثیر مصالح و الگوهای معماری بومی اقلیم گرم و خشک در پایداری (مطالعه موردی معماری بومی استان خراسان جنوبی)

رحمان روبیاتی 1\* - فرید فروزانفر 2

1- دانشجوی کارشناسی ارشد معماری، دانشگاه آزاد بیرجند، email: rahman.robeyati.635@gmail.com

2- دکترای معماری، عضو هیات علمی دانشگاه آزاد بیرجند، email: fforoozanfar@yahoo.com

### چکیده

هر نگاهی اجمالی به معماری بومی مناطق مختلف ایران، حکایت از شناخت دقیق معماران سنتی از خصوصیات محیطی و اقلیمی این سرزمین و بکارگیری هوشمندانه عوامل طبیعی جهت تامین شرایط آسایش و مقابله با ناهنجاری‌های اقلیمی دارد. شناخت مصالح و الگوهای معماری بکار رفته در اقلیم گرم و خشک، بسیاری از مفاهیم نوین در عرصه معماری پایدار را در برمی‌گیرد. شکل‌گیری معماری بومی متأثر از ویژگی‌های اقلیمی، روابط اجتماعی، اقتصادی با محیط طبیعی و نمادهای فرهنگی می‌باشد. در این راستا شناخت ویژگی‌های اقلیمی، بی‌شک یکی از عوامل بهینه‌سازی مصرف انرژی در توسعه پایدار معماری این مناطق می‌باشد. در این پژوهش که مبتنی بر مطالعات کتابخانه‌ای و بهره‌گیری از منابع مکتوب و با رویکرد تحلیلی می‌باشد، با هدف شناخت معماری بومی اقلیم گرم و خشک از منظر پایداری ابتدا به معرفی مصالح و الگوهای معماری بومی پرداخته و سپس به بررسی تأثیرات آن در خلق معماری پایدار با مصالح بوم‌آورد و همساز با اقلیم پرداخته شده است. بدلیل تنوع اقلیمی کشور ایران، اقلیم استان خراسان جنوبی به عنوان نمونه موردی این پژوهش، مورد مطالعه قرار گرفته است.

**واژه‌های کلیدی:** معماری پایدار، اقلیم گرم و خشک، مصالح بوم‌آورد، معماری بومی



## 1- مقدمه

معماری سنتی ایران دارای ویژگیهای منحصر به فردی بوده که ضمن توجه به محیط زیست پاسخگوی نیازهای اقلیمی هر منطقه نیز می باشد که متأثر از شرایط آب و هوایی و جغرافیای منطقه ای بوده است. آنچه در بافتهای قدیمی مشاهده میکنیم منطبق بودن با اقلیم و در نتیجه استفاده از مصالح مطلوب آن محیط در نیارش و ساخت بنا میباشد بنابراین می توان با شناخت و بررسی معماری بومی و ویژگیهای متناسب و هم ساز با اقلیم هر منطقه در بهبود معماری بناهای امروزی بهره برد و شرایط طبیعی و اقلیمی مبدل به یکی از مهمترین تدابیر در معماری شده و معماران ملزم به رعایت اصول طراحی متناسب میگرددند. از این رو در مقاله فوق به بررسی ویژگیهای معماری سنتی و بومی ایران پرداخته ایم و معماری اقلیم گرم و خشک خراسان جنوبی را در جهت بیان این ویژگی مطرح کرده ایم و از آن جهت که منطقه خراسان جنوبی دارای اقلیم گرم و خشک است معماری در گذشته متأثر از این خصایص بوده که امروزه بدون توجه به نکات اقلیمی بناهای مدرن با قابلیت های محدود محیطی شکل گرفته است. بنابراین در این مقاله سعی شده با نظر به اصول معماری پایدار به بررسی ویژگیهایی مانند تاثیر اقلیم، زمین و طبیعت، در طراحی پایدار برای رسیدن به هدف که همان دستیابی به معماری سنتی به عنوان الگوی معماری پایدار و توسعه پایدار و حفظ زمین و منابع انرژی آن است بپردازیم. و در نهایت راهکارهای پیشنهادی برای ساخت بناها در اقلیم گرم و خشک با شناخت اصولی که در گذشته رعایت می شده و جوابگوی نیازهای یک بنا در اقلیم می باشد داده شود.

## 2- روش تحقیق

در این تحقیق تلاش شده است که با در نظر گرفتن خصوصیات اقلیمی گرم و خشک به معرفی مصالح و الگوهای معماری بومی استان خراسان جنوبی در حیطه صنعت ساختمان به بهبود کیفیت فضاهای ساختمانی در جهت رسیدن به معماری پایدار پرداخته شود.

## 3- پیشینه معماری پایدار

ریشه های اصلی نهضت حفظ محیط زیست و معماری پایدار به قرن ۱۹ برمی گردد. جان راسکین، ویلیام موریس، ریچارد لتابی از پیشگامان نهضت معماری پایدار محسوب می شوند. راسکین در کتاب «هفت چراغ معماری» خود می گوید که برای دستیابی به رشد و پیشرفت می توان نظم هارمونیک موجود در طبیعت را الگو قرار داد. موریس بازگشت به فضای سبز حومه شهر و خود کفایی و احیاء صنایع محلی را توصیه می کرد. لتابی در یکی از اعلامیه های بلیغ خود از معماران خواسته که قدر نظم و زیبایی طبیعت را بدانند. همه این پیشگامان از واژه طبیعت استفاده کرده اند و امروز تنها لغتی که می تواند به خوبی جانشین این کلمه «طبیعت» گردد، واژه «معماری پایدار» است.

## 4- ضرورت معماری پایدار

حفاظت از انرژی و استفاده پایدار از آن پیشرفت های عظیم تکنولوژی استخراج نفت و سایر ذخایر زیرزمینی، استفاده هر چه بیشتر این منابع تجدید ناپذیر را فراهم آورده است لذا طراحی ساختمان ها باید به گونه ای باشد که مصرف سوخت فسیلی را به حداقل برساند. همچنین توجه به این مسئله که منابع بهره برداری شده در سامانه های توسعه در کجا استفاده می شوند و چگونگی پایدار نگهداشتن آنها و استفاده از منابعی که امکان جایگزینی سریعتری دارند بسیار مهم است. به عنوان مثال از چوب درختانی باید استفاده شود که سریع تر رشد کرده و می توانند جایگزین شوند.



## 5- تعاریفی از معماری پایدار

معماری پایدار به قرن نوزدهم بر می‌گردد، جان راسکین، ویلیام موریس و ریچارد لتابی از پیشگامان نهضت معماری پایدار محسوب می‌شوند. راسکین در کتاب «هفت مشعل معماری» خود می‌گوید که برای دستیابی به رشد و پیشرفت می‌توان نظم هارمونیک موجود در طبیعت را الگو قرار داد. موریس بازگشت به فضای سبز حومه شهر و خودکفایی و احیای صنایع محلی را توصیه می‌کرد. هدف از طراحی ساختمان‌های پایدار کاهش آسیب آن بر روی محیط از نظر انرژی و بهره‌برداری از منابع طبیعی است، که شامل قوانین زیر می‌باشد: ( بهادری، کاشانی جو، 1392)

- 1- کاهش مصرف منابع غیر قابل تجدید
- 2- توسعه محیط طبیعی
- 3- حذف یا کاهش مصرف مواد سمی و یا آسیب رساندن بر طبیعت در صنعت ساختمان

## 6- اصول معماری پایدار

اصولی که باید رعایت شود تا یک ساختمان در زمره بناهای پایدار طبقه بندی شود به شرح زیر است: ( بهادری، کاشانی جو، 1392)

- \* اصل اول: حفظ انرژی (conserving energy)
- \* اصل دوم: هماهنگی (Working with climation)
- \* اصل سوم: کاهش استفاده از منابع جدید (Minimizing new resources)
- \* اصل چهارم: برآوردن نیازهای ساکنان (Respect for users)
- \* اصل پنجم: هماهنگی با سایت (Respect for site)
- \* اصل ششم: کل گرایی (Holism)

## 7- الگوهای معماری پایدار

بطور کلی در تعریف پایداری سه رکن اصلی وجود دارد: 1- ارتقای کیفی زندگی و سلامت انسانها (نسل حاضر و نسل های آینده) 2- تامین نیازهای روزمره انسان 3- حفظ سیستم های اکولوژیکی و منابع انرژی هدف کلی از طراحی پایدار در یک ساختمان این است که به واسطه بهره‌وری صحیح از انرژی و منابع طبیعی تاثیر سوء ساختمان بر محیط زیست کاهش یابد. یک طرح پایدار همزمان در پی رسیدن به ارزش‌های زیباشناختی، محیط زیستی، اجتماعی، اقتصادی، اخلاقی و معنوی است. بنابراین می‌توان الگوهای زیر را در معماری پایدار ارائه کرد:

- \* به حداقل رساندن بهره‌برداری از منابع تجدید ناپذیر و به کار گیری انرژی های طبیعی و تجدیدپذیر
- \* ارتقاء کیفیت محیط زیست و گسترش محیط زیست طبیعی
- \* از بین بردن یا به حداقل رساندن مصرف مواد آلوده و سمی
- \* حفظ هویت فرهنگی و قومی
- \* ترویج زندگی سالم
- \* استفاده خردمندانه از زمین و همگونی شکل ساختمان با محیط زیست
- \* اقتصاد بودن ساخت و ساز با استفاده از فناوری های جایگزین کارآمد
- \* جلوگیری از ایجاد آلودگی صوتی و هوا



بنابراین معماری پایدار به خلق یک محیط سالم و پایه بهره وری از منابع، حفاظت از منابع تجدید ناپذیر، کاهش مصرف انرژی‌های تجدید پذیر و ارتقاء کیفی زیست کمک خواهد کرد. ( بهادری، کاشانی جو، 1392)

## 8- اصول معماری در اقلیم گرم و خشک

### 8-1- ویژگی‌های عمومی اقلیم گرم و خشک

بارندگی بسیار اندک سالیانه - رطوبت بسیا بسیار ناچیز - نوسان درجه حرارت زیاد در طول شبانه روز به دلیل عدم وجود رطوبت - کم بودن پوشش گیاهی - جریان هوا : حیاط مرکزی با بادگیر متعدد و چند طرفه به خصوص در ضلع جنوبی جهت استفاده از باد مطلوب (خنک نمودن فضاهای داخلی)

### 8-2- طراحی معماری در اقلیم گرم و خشک

حفظ آسایش حرارتی، از تعادل دما میان بدن و محیط اطراف ناشی می‌گردد. 1: طراحی مناطق نیمه محافظت شده در خارج بنا 2: استفاده از پوشش گیاهی برای خنک کردن محوطه 3: استفاده از گیاهان در کنار دیوارهای خارجی ساختمان 4: استفاده از بام و دیوار دو جداره جهت تهویه در داخل پوسته ساختمان 5: استفاده از پوسته‌های دو جداره جهت جابجایی حرارت

### 8-3- معماری پایدار در اقلیم گرم و خشک

اهداف طراحی اقلیمی در اقلیم گرم و خشک موارد زیر می‌باشد:

1- کاهش گرمای داخلی 2- محافظت از ساختمان در برابر تابش نور خورشید با ایجاد حداکثر سایه اندازی 3- استفاده از جریان هوا برای ایجاد تهویه طبیعی.

## 9- بررسی معماری سنتی اقلیم گرم و خشک ایران با توجه به ساخت و ساز پایدار

شرایط تنوع اقلیمی موجب شده اقوام گوناگونی که در این آب و خاک زیسته اند، برای بهره وری از امکانات و مقابله با شرایط متغیر و بیشتر نامساعد اقلیمی تدابیری بیاندیشد که قابل توجه و تأمل است. معماری سنتی ایران که در اقلیم‌های گوناگون شکل متفاوتی به خود گرفته است خود گویای این مطلب است و راهکارهایی که به طور تجربی دستیابی به آنها میسر شده بود و به آسایش بیشتر کمک کرده بودند در معماری بومی ایران بسیارند مانند پلانهای حیاط مرکزی نواحی گرم و خشک که حیاط نقش حیاتبخش در آن ایفا می‌کند.

### 9-1- جهت قرارگیری خانه (سویابی فضایی)

یکی از مسائل بسیار مهم در مورد خانه در معماری سنتی، جهت قرارگیری خانه یا رون است. این مربوط به آب و هوا، طرز تابش، جهت ورزش و مکان قرارگیری و جنس زمین می‌شده است. مثلا خانه‌های قدیمی در بافت‌های کویری از نظر وضعیت استقرار نوعاً در جهت قبله قرار دارند.

### 9-2- پنام

شیوه‌های پیشگیری از رخنه گرما و سرما و آفتاب آزار دهنده بدون فضا و چگونگی عایق بندی آنها می‌باشد که به آن پنام می‌گفتند. پنام در برابر عایق و مانع است. در معماری سنتی ایران هیچ ساختمانی چه با پوشش تخت یا منحنی نیست که پوشش آن دو پوش نباشد، در بعضی محل‌ها بدلیل چسبیده نبودن خاک و همینطور در دسترس قرار داشتن چوب به اندازه‌ی نیازشان از

پوشش تخت استفاده شده است، مثل ابیانه و روستای اطراف آن. پنام باعث سبک شدن پوشش و جلوگیری از انتقال گرمای بیرون به داخل شده و در انواع افقی و عمومی موجود بوده است.

### 3-9- سقف و بام ساختمان ها

در هر یک از نواحی با ناحیه دیگری متفاوت است. در مناطق کویری بامهای خانه ها گنبدی و از خشت و گل ساخته و پوشش آن کاهگلی می باشد و در جایی دیگر سقفها به علت ریزش باران زیاد شیبدار ساخته می شود. در این بناهای بومی و سبک محلی در می یابیم سازندگان در جهت آسایش و راحتی انسان از عوامل محیطی همچون تابش افتاب، وزش باد، جریان آب و... به نحوه مطلوب استفاده کرده اند و در نهایت فرم و زیبایی و سازگاری بنا با محیط از آن منتج شده است.

### 4-9- انرژی زمین گرمایی

زمین نه تنها انرژی گرمایی در اختیار ما قرار می دهد؛ بلکه مکان مناسبی نیز برای ذخیره انرژی محسوب می شود. قراردعی ساختمان در زمین، پاسخگوی بسیاری از نیازها و مشکلات مربوط به اقلیم است. عوامل جوی و نوسان درجه حرارت بر ساختمانهای زیر زمینی تأثیر بسیار کمی دارند و پوسته زمین مانند یک حائل، ساختمان را در مقابل این تغییرات محافظت می کند. توفان و باد نمی تواند به داخل زمین نود کند و نیز پوسته زمین به مثابه یک عایق حرارتی ضخیم، از انتقال حرارت به داخل زمین جلوگیری می کند. در شهرها و روستاهای ایران، ابینه متعددی به خاطر مسائل اقلیمی، در درون زمین قرار گرفته اند تا از انرژی عمیق آن استفاده کنند. مانند: حمامها، مساجد، آب انبارها، یخچالها و نیز روستاهای زیر زمینی. معماری سنتی ایران نمونه آشکار و بارزی از استفاده بجا و ارزنده از انرژی زمین گرمایی را به نمایش گذاشته است و به گونه ای معماری پایدار دست یافته است که برخی الگوهای استفاده از انرژی زمین گرمایی در معماری سنتی ایران شامل سیزان، سرداب (شبستان)، شودان، حوضخانه، زمهریر، گودال باغ و... می باشد. (جفری، مزینی، 1375).

### 5-9- حیاط یا میانسرا

معماری ایران بر اساس یک عنصر مهم شکل گرفته و آن چیزی نیست جز "حیاط". از آنجا که ایرانیان همواره برای طبیعت ارزشی خاص قائل بودند و هیچ گاه حاضر به گسستن پیوند خود با طبیعت نبودند همواره حضور طبیعت در خانه آنان از ارزش بسیاری برخوردار بود و سازماندهی باقی فضاها بر اساس این عنصر حیات بخش است، در واقع حیاط در معماری ایران حیات را به خانه و اهالی خانه هدیه می کند.



شکل 1- تجلی حیاط در معماری ایران



اگر چنانچه قبول کنیم که شکل، اعم از پدیده‌های اجتماعی یا طبیعی، متعلق به جهان بیرون و دارای خصوصیات ویژه یا دارای انرژی خاص است (آن انرژی که می‌تواند هر چیز را بدل به چیز دیگری کند) و اگر باز بپذیریم که انسان در تدارک فضای ساخته شده با استفاده از شکل‌ها (با امکانات و محدودیت‌های محیطی) در قالب کاربری‌ها به نیازهای خود، اعم از جسمانی و غیر جسمانی، و ضرورت‌ها جواب می‌گفته است، در آن حالت می‌توان ادعا کرد که معماری بومی در هر مقطعی از تاریخ کاربردی است البته با مفهوم فراگیر جسمانی و غیر جسمانی. (ربوبی، 1384: 66)

## 10-1- جنبه های فرهنگی-اجتماعی:

- 10-1-1- مردم‌واری: معماری بومی نسبت به فرهنگ اعضای اجتماع، حساس، رفتار می‌کند؛ از جمله، درون‌گرایی که در نظر گرفتن نیازهای استفاده‌کننده، از نظر نیاز او به حریم خصوصی و امنیت.
- 10-1-2- سازگاری: سازگاری با ساکنان ساختمان به دلیل قابلیت انعطاف پذیری
- 10-1-3- معنادار نمودن طبیعت در معماری: که موجب ایجاد فرهنگ مصرف صحیح و قناعت می‌شود.
- 10-1-4- پس‌نگری (تغییر عادات بد): پرهیز کردن از چیزهای غیر ضروری است که کارایی را پایین می‌آورد. توانایی و آمادگی ما برای تغییر ذهنمان، ممکن است بتواند مشکلاتی را حل کند، حتی بیش از یافتن یک راه حل قطعی برای یک مشکل.

## 10-2- جنبه های محیطی

- 10-2-1- توجه به ویژگی‌های معنایی طبیعت که منجر به ایجاد حس احترام به طبیعت و قناعت و معنادار شدن محیط ساخته شده میشود
- 10-2-2- توجه به ویژگی‌های مادی طبیعت و طراحی اقلیمی و سازگاری با محیط پیرامون
- 10-2-3- خودبسندگی استفاده از مصالح بوم‌آورد: استفاده از مصالح بی‌خطر، سالم و بومی، تکنولوژی موجود، جوابگویی و شدنی بودن عملکردها که پیامدهای مرتب‌شده در فعالیتهای ساختمانی امروزه هستند. انرژی متمرکز شده و پیامدهایی چون مفاهیم ماندگاری، نگهداشت پذیری، تعمیر پذیری و سادگی، مورد توجه قرار گرفته‌اند.

## 10-3- جنبه های اقتصادی

- 10-3-1- پرهیز از بیهودگی (قناعت): که منجر به صرفه‌جویی در مصرف منابع و در نتیجه کاهش هزینه‌ها خواهد شد.
- 10-3-2- انعطاف پذیری بنا که باعث افزایش عمر آن می‌گردد و در نتیجه نیاز به ایجاد فضاهای جدید و تخریب فضاهای بی‌استفاده را کاهش می‌دهد.
- 10-3-3- نیارش: ایجاد ساختمانهایی مستحکم که هزینه‌های تعمیرات و نگهداری را کاهش می‌دهد.

## 11- رویکرد پایداری در اصول معماری بومی ایران

- اصول ساختمان سنتی ایرانی، از طریق واحد اندازه‌گیری استاندارد، طراحی مدولار و تناسب در طراحی پدیدار می‌شود. چیزی که اصول معماری ایرانی ارائه می‌کند، مبتنی بر توجه به مراحل و سطوح در طراحی و مدیریت ساخت می‌باشد. منظور از این بحث، توصیه تکرار الگو و شکل نیست، بلکه هدف شناسایی اصول معماری بومی و شناسایی مشکلاتی است که معماری بومی برای حل آن مطرح شده بود. معماری سنتی ایران، اساساً بر موارد ذیل متمرکز شده است:
- 1- نگاه به طبیعت و تداعی تقدس آن. 2- مراحل طراحی و طراحی انسانی. 3- پایایی بنا

## 11-1- نگاه به طبیعت و تداعی تقدس آن

یک اثر معماری، از هنگام زاده شدن، از لحظه ای که باید اولین گام های خود را برای کالبدی شدن بر دارد، با زمین در می آمیزد: از زمین آب دریافت می کند و پس از دگرکردن شکل ظاهری و محتوای شیمیایی - فیزیکی اش، به میزان متفاوت، بازپس اش می دهد؛ روی به نسیم می کند و پشت به بادهایی که آزارش می دهند؛ در آمیختگی با طبیعت، هم با تبعیت از طبیعت همراه است و هم با بهره وری از آن . استقرار در محیط طبیعی، خواه به دلیل تبعیت و احترام به آن و خواه در رابطه با مجموعه اعتقاداتی که از فرهنگ کهن و تاریخ پر ماجرای سرزمین زاده شده، با ظرافت و لطافت صورت می گیرد. (فلامکی، 1384: 83-82).

## 11-1-1- طبیعت معنادار در معماری

در اجتماع و فرهنگ ایرانی، احترام به همه عناصر طبیعت وجود دارد. در عرفان، اعتقاد بر این است که آب، باد (هو)، خاک و آتش (نور و فاکتورهای دنیوی)، عناصر اصلی تشکیل دهنده پیرامون ما هستند. از این رو در معماری ایران حضور این عناصر همواره آشکار است. اعتقاد به این چهار عنصر، هنوز هم راه حل های مناسبی را برای نگرش و ارتباط متقابل ساختمان و محیط اطراف فراهم می کند. انسان سنتی همیشه طبیعت را برای بهتر شناختن پروردگار کاویده است.



شکل 2- تجلی طبیعت و باغ ایرانی در فرش . نمادهای طبیعت معنادار و حضور آن در زندگی انسان سنتی

## 11-1-2- طراحی اقلیمی

وجود بادگیر یا حوض آب در حیاط خلوت، مثالهای خوب معماری ایرانی می باشند. الهام از طبیعت در بسیاری از ویژگی های ساختمان دیده می شود. استفاده از گیاهان طبیعی، روشنایی طبیعی، تهویه طبیعی و خصوصیات دمایی زمینی و دیگر نیروهای طبیعت، همه در این معماری گنجانده شده است. هم چنین در مقیاس طرح ریزی، برنامه ریزی و کاربرد شهری، استفاده از پتانسیل های طبیعی مشهود است. جهت ساختمان (رون در فارسی)، موثرترین جهت قرارگیری برای استفاده از منابع و پتانسیل های طبیعی به دست آمده است. (پیرنیا، 1382: 1)



شکل 3- وجود بادگیر یا حوض آب در حیاط خلوت

همچون هر موجود طبیعی که در محیط زیست خود زندگی می کند و به آن وابسته است، معماری سنتی نیز در بستر طبیعی خود و هماهنگ و وابسته به آن، شکل گرفته است. مصالح سازنده آن از دامن طبیعت محیط زیستش به دست آمده است. طرح و نقشه آن به گونه ای است که با اقلیم محل، بیشترین سازگاری را دارد و کمترین تحمیل و تخریب را چه برای محیط زیست و چه برای خود بنا بوجود می آورد ( طاهباز، 1383، 112-114).

بر طبق اصول ایرانی، هر اثری که موجب آسیب به محیط شود، خودش و اجزایش ممنوع است. این همان چیزی است که به عنوان اولین قدم یا اساس پایداری ملاحظه می شود (Vakili, et al.2006).

همانطور که دیده می شود، احترام به طبیعت و عناصرش تأثیر مهمی بر روی مفهومی کردن و نوآوری در مرحله اولیه طراحی دارد.

### 11-1-3- خودبسندهی استفاده از مصالح بومی (بوم آورد)

برای مثال آن ها عادت به استفاده از خاک فونداسیون حفاری شده، برای ساختن آجرها داشتند (پیرنیا، 1383: 32)

### 11-1-4- پرهیز از بهبودگی (قناعت)

این ویژگی سعی دارد که تمام کوشش های عملی انجام شده به منظور رسیدن به بیشترین کارایی را، برای استفاده کنندگان نشان دهد، که پیا مدهایی چون کنترل هدررفتن هزینه و پرهیز از بارهای ساختمانی (سبک ساختن ساختمان تا جایی که ممکن است، از طریق حذف بخش هایی از بارهای مرده) را مد نظر قرار می دهد. امروزه شرایط مساوی برای چنین مفهومی هایی از طریق کم بودن، کفایت، کارایی و سطوح مختلف مدیریت اقتصادی و تکنولوژی بدست می آید. (همان: 28)

البته در این میان اشاره به فرهنگ مصرف ایرانی ها در گذشته نیز، ضروری است. قناعت به معنای مطلوبترین درجه بهره برداری از منابع در دسترس و مدیریت زندگی فردی و اجتماعی بر اساس امکانات موجود می باشد (نقی زاده، 1381: 43).

در این معماری به پیروی از طبیعت و خلقت، مصالح و مواد با رعایت اصل قناعت به کار رفته اند و از حداکثر کارایی و توان آنها بهره گیری شده است. در استفاده از آب به انواع روش های بهره گیری از آب قنات، حوض، فواره و آبخیز دست یافته که با به کارگیری آن در معماری، باغ ها و کوشک های رویایی و دل انگیزی در دل کویر ساخته است. ( طاهباز، 1383، 112).



شکل 4- نمایش آب در باغ ایرانی: اشاره به مفاهیم آب همچون تقدس و پاکی و جاری بودن زندگی در آن. مدیریت مصرف آب در باغ و توجه به مفهوم قناعت در باغ ایرانی به وضوح مشهود است.

مثالهای زیادی از این قبیل، در مفاهیم معماری امروز، در طراحی ساختمان پایدار (SBD)، گنجانده شده است. انتخاب مصالح بومی سازگار، کاربرد انرژی درونی و انرژی غیرفعال و روشهای محیطی طراحی، در مدیریت تکنولوژی که مربوط به تاثیرات بر محیط می باشد، مفاهیم اساسی اشاره شده در SBD هستند.





## 11-2- مراحل طراحی و طراحی انسانی

در معماری پایدار برآورده شدن نیازهای روحی و جسمی ساکنان از اهمیت خاصی برخوردار است (سفلایی، 1383) طراحی انسانی، مهم ترین اصل طراحی پایدار است که به قابلیت زیست تمام اجزای تشکیل دهنده نظام زیست جهانی، می پردازد. این اصل عمیقاً ریشه در نیاز به حفظ عناصر زنجیره ای نظام های زیستی دارد که تداوم حیات و بقای انسان، منوط به وجود آن هاست. در جوامع مدرن، بیش از 70 درصد طول عمر هر شخص در فضاهای داخلی می گذرد. بنابراین ضروری ترین نقش معماری، خلق محیط های ساخته شده ای است که امنیت، سلامت، آسایش فیزیکی، صحت روانی و بهره وری ساکنان خود را تداوم بخشد. در این میان، نباید عامل کارایی طرح را از یاد برد: آیا کارایی فرآورده های که مصرف انرژی پایینی دارد، میتواند به اندازه محصول قبلی، که فاقد این ویژگی است، باشد؟ (Kim, 1998:14)

## 11-2-1- درونگرایی

هر اجتماعی، احترام فوق العاده ای، برای فرهنگ، عادت ها و سنت هایش قائل است. فرهنگ ایرانی ها، به خانواده و خلوت آن احترام میگذارد. بر این اساس، آن ها دو نوع فضا، در طراحی نشان دادند. فعالیت های وابسته به خانواده و خلوت آنها باید در فضای جداگانه ای نسبت به فعالیت های عمومی مستقر شود (همان 35:36)

مردم واری که به نیازها و پیامدهای مربوط به قابلیت کاربردی بودن یک ساختمان، مربوط می شود؛ یعنی تمام نیازهای استفاده کننده ساختمان با وجود رتبه اجتماعی آن ها باید پاسخ داده شود (پیرنیا، 1383: 26)

## 11-2-2- انعطاف پذیری

در معماری بومی، هدف درک روح مکان است و نه خود آن. عدم توجه به پویایی و کاربردهای درون مکان و تأکید بر اشیاء یا شکل ایستای کالبدی آن، باعث می شود که امروزه اغلب معماران و برنامه ریزان، با اعتقاد به این که با تغییر بردارهای ارزشی در معماری، شکل کالبدی نیز تغییر می یابد، از رشد، تغییر، قابلیت انطباق و انعطاف پذیری سخن بگویند؛ ولی متأسفانه این تحرک همچنان در قالب همان شکل کالبدی، بدون توجه به معنا و مفهوم آن، باقی می ماند. این نوع نگرش به دلیل توجه به پوسته ها و معیارهای ظاهری، موفق نخواهد شد. چراکه در این مقوله هدف اصلی قابلیت انطباق و انعطاف پذیری اشکال کالبدی نیست بلکه قابلیت انطباق و انعطاف پذیری کارکردهاست. مفهوم قابلیت انطباق کارکردها در معماری بیانگر این واقعیت است که هیچ پدیده و عنصری نمی تواند پایدار و برقرار بماند مگر در شرایط مکانی مناسب، به نحوی که ماهیت درونپاش پذیرای آن باشد. چراکه هرگز یک درخت در شوره زار نمیروید (ربوبی، 1384: 59)

عناصری چون در - پنجره، برخلاف کارکردهای تخصصی امروز، عملکردهای متنوعی چون امکان عبور و ارتباط به حیاط، نوردگی به فضاهای داخلی را به طور همزمان، به عهده داشتند. پنجره های ارسی، اگر چه برای عبور استفاده نمیشدند، با تنوع در نقش های هندسی و استفاده از شیشه رنگی، با گردش شبانه روز و تغییر تابش نور، فضاهای داخلی متنوعی را بوجود می آوردند (عینی فر، 1382: 69-74)

## 11-3- پایایی بنا

یکی از خصوصیات معماری ایرانی استفاده از هندسه در طرح هایش است. قواعد هندسی در طراحی منجر به درک بهتر اندازه، تناسب و زیبایی و نیروهای مربوط به سازه که با ساخت ساختمان سروکار دارد، می شود. فهم دقیق هندسه و موارد مربوط به آن معماری ایرانی را قادر به ارائه فرم های پایدارتر و باارزش می کند (پیرنیا، 1382: 25)



## 11-3-1- واحد مدول (پیمون)

واحد پایه اندازه گیری در ساختمان، پیمون نامیده می شود که اساس سایر اندازه گیری ها، می باشد. پیمون، اندازه های خرد و یکسانی بود که در هر جا درخور نیازی که بدان بود، به کار گرفته می شد (پیرنیا، 1383: 31-30). این سیستم اندازه گیری، کمک می کند تا هندسه و فوایدش را، برای درک بهتر رفتار نیروها در ساختار ساختمان به کار برد. همانطور که گفته شد، استفا ده از پیمون، معمار را قادر به ایجاد فضاهایی انعطاف پذیر مینموده است و این انعطاف پذیری منجر به افزایش عمر بنا می شود.

## 11-3-2- نیارش (استحکام ساختار)

« نیارش به دانش ایستایی، فن ساختمان و ساختمایه (مصالح) شناسی گفته می شود. این نظام، دربرگیرنده نیازهای ضروری دینامیکی و استاتیکی ساختمان میباشد و شامل تلاش های انجام گرفته در ساختن، برای تطابق با سطوح موجود دانش و تکنولوژی است.

## 12- دو اصل کلی برای طراحی اقلیمی در مناطق گرم و خشک

### 12-1- جلوگیری از تاثیر هوای گرم در فضاهای داخلی مجموعه

- الف. طراحی مناطق نیمه محافظت شده در خارج بنا
- ب. استفاده از پوشش گیاهی برای خنک کردن محوطه
- ج. استفاده از گیاهان در کنار دیوارهای خارجی ساختمان
- د. استفاده از بام و دیوار دو جداره جهت تهویه در داخل پوسته ساختمان
- ه. استفاده از پوسته های دو جداره جهت جابجایی حرارت

### 12-2- محافظت ساختمان در برابر تابش آفتاب در مواقع گرم سال

- الف. طراحی محوطه
- ب. ایجاد سایه برای پنجره های رو به آفتاب تابستان
- ج. شکل و جهت دادن به بدنه ساختمان به منظور کاهش اثر آفتاب تابستان
- د. کاهش انعکاس زمین و سطوح بیرون از پنجره های رو به آفتاب تابستان
- ه. تأمین سایه برای دیوارهایی که رو به آفتاب تابستانی هستند.
- ی. ایجاد سایه برای پنجره های رو به آفتاب تابستان

## 13- راهکارهای معماری بومی در نواحی گرم و خشک

مطالعه نواحی گرم و خشک ایران نمایانگر مطابقت های متعددی است که دامنه ای وسیع از طراحی شهری، طراحی مساکن و انتخاب مصالح تا اجزای اضافه شده به ابنیه، بسته به شرایط گوناگون را شامل می شود. آنچه در پی می آید، اشاره ای به برخی از این متدهای اتخاذی برای دستیابی به گرمایش و سرمایش بهینه و آسایش حرارتی انسان توسط طراحی خلاقانه شهری و معماری برای استفاده از انرژی طبیعی محیطی در دسترس است.

13-1- در طراحی شهری، پیوستگی و یکپارچگی ساختمان های سنتی، بافت به هم فشرده شهر همراه با کوچه های باریک و نامنظم با دیوارهای بلند طرفین آنها منجر به ایجاد حداکثر سایه و حداقل تابش اشعه آفتاب شده است. این فضاها و عناصر، خنکی و تهویه را در فضاهای شهری برای تأمین آسایش فراهم می کند.



13-2- مسقف کردن پیاده راه ها، ماکزیمم سایه را در سطح زمین ایجاد می کند که می توان آن را در جای جای بافت شهری این مناطق ملاحظه نمود. راه های پوشیده شهری در آب و هوای گرم و خشک ایران "ساباط" نامیده می شود که به منظور خنک کردن عابران و سایه اندازی بر دیوارهای خانه های اطراف آن استفاده می شود. ساباط ها یا صرفاً به صورت قوسی هستند که دیوارهای مجاور راه ها را به هم متصل می کنند یا اینکه به دلیل واقع شده فضایی متعلق به یکی از خانه های مجاور در بالای کوچه شکل گرفته اند.

13-3- در طراحی خانه های مناطق گرم و خشک، فضاهای محصور خانه های حیاط مرکزی، دارای حداکثر سایه هستند. در این خانه ها تمامی اضلاع اطراف حیاط ساخته می شود تا محیط های داخلی متنوعی برای دریافت نور و گرمای خورشید ایجاد شود. بسته به میزان در معرض نور آفتاب بودن، جوانب گوناگون حیاط می تواند در فصول گوناگون استفاده شوند. معمولاً بخش های جنوبی به دلیل پشت به آفتاب بودن و داشتن حداکثر سایه، در تابستان استفاده می شوند. بخش های شمالی نیز زمستان نشین نامیده می شوند، چرا که ساکنان در زمستان ها به بخش های شمالی نقل مکان می کنند. به عبارت دیگر، ساکنان این خانه ها، فضای زندگی خود را در هماهنگی با تغییرات منطقه ای و در مطابقت با فصول سال تغییر می دهند. علاوه بر اینکه راه حل های دیگری نیز می تواند آسایش حاصل و سایه درون این حیاط های مرکزی را افزایش دهند، مانند تجهیز تابستان نشین با بادگیر یا ساخت حیاط های مرکزی درون زمین در بعضی مناطق کشور که "گودال باغچه" نامیده می شوند یا ساختن این حیاط ها با فرم های طولی و باریک، همراه با کاشت درختان و گل ها دور حوضی کم عمق درون آنها.

13-4- درختان سبز در حیاط های مرکزی سایه را افزایش می دهند و در نتیجه، موجب کاهش حرارت می شوند و علاوه بر آن، با تبخیر آب به وسیله درختان، رطوبت نسبی محیط نیز افزایش می یابد. این امر به خنک سازی فضاهای داخلی اطراف حیاط مرکزی کمک می کند، کما اینکه واتسون نیز اظهار داشته است، تبخیر توسط یک درخت به میزان یک میلیون BTU در خنک سازی هوا تأثیر می گذارد که معادل کارکردن یک وسیله تهویه مطبوع به مدت بیست ساعت در روز برای ۱۰ اتاق معمولی است. همچنین، انبوه گیاهان و درختان درون حیاط های مرکزی به واسطه پایین بودن ظرفیت گرمایی ویژه هوا به عنوان سیستم خنک کننده طبیعی عمل می کنند و برعکس، دیوارهای ضخیم محوطه حیاط مرکزی ظرفیت گرمایی ویژه بالایی دارد و به عنوان ذخیره کننده حرارتی عمل می کنند که سرما را در طی شب، ذخیره می کند و آن را به تدریج و در نیمه های روز که هوا گرم است آزاد می کند. بدین طریق ضخامت دیوارهای خشتی باعث می شود تغییرات کوچک در درجه حرارت نتواند تأثیرگذار باشد.

13-5- ضلع جنوبی خانه ها که به طرف شمال قرار دارد و نور خورشید را دریافت نمی کند، در فصل تابستان استفاده می شود و "تابستان نشین" نامیده می شود. معمولاً این ضلع خانه ها دارای ایوان هایی نیمه باز هستند که در معرض نور خورشید نیست و در سایه کامل قرار می گیرد و در عین حال، از هوای خنک حیاط مرکزی نیز استفاده می کند. اگرچه اغلب خانه های حیاط مرکزی در هر چهار طرف دارای ایوان هستند که بزرگترین آنها به طرف جنوب، "نالار" نامیده می شود و معمولاً حدود یک متر بالاتر از سطح حیاط است و بر روی زیرزمینی به نام "سرداب" قرار گرفته اند.

13-6- سرداب در خانه های ایرانی نواحی گرمسیری، زیرزمینی است که سقف آن ۷۰ سانتیمتر تا یک متر بالاتر از سطح حیاط مرکزی است و معمولاً در بخش تابستان نشین خانه ها قرار گرفته است. پنجره ها مابین سطح حیاط و سقف سرداب هوای حیاط مرکزی را به سمت داخل سرداب هدایت می کنند و همچنین جویبار زیرزمینی یا قنات نیز که از این فضا عبور می کند، موجب خنک و مرطوب شدن آن می شود.

13-7- معماران سنتی جزئیاتی را نیز در طراحی هایشان مانند فرورفتگی ها و برآمدگی ها در نماها لحاظ کرده اند که حداکثر سایه ممکن توسط آنها فراهم شود. از جزئیات دیگر لحاظ شده در طراحی این خانه ها، "جان پناه" سقف ها را می توان نام برد. از آنجا که سقف ابنیه بیشترین مقدار انرژی نور خورشید را در مقایسه با دیگر جوانب آن دریافت می کنند. گاهی اوقات در نواحی گرم ایران، "جان پناه" بام ها به ۲ متر در ارتفاع می رسد که با ایجاد ماکزیمم سایه برای سقف، تابش حرارتی را به حداقل کاهش



می دهد. اگر چه این جان پناه های بلند، مزایای دیگری نیز دارند، مانند ایجاد فضای خصوصی در بام ها و محافظت پشت بام ها از بادهای بیابانی که گرد و غبار زیادی همراه خود دارند.

13-8- شوادان نوع دیگری از زیرزمین هایی است که معمولاً ۹ تا ۱۱ متر عمق دارند و نور آن از طریق سوراخ های کوچکی به سمت حیاط تأمین می شود. در عمق بیشتر از ۶ متری، دمای زمین ثابت و مساوی با دمای متوسط سالانه منطقه است. بنابراین شوادان ها از حرارت بالای بیرونی تبعیت نمی کنند و بیشتر اوقات در مناطق گرم و مرطوب استفاده می شوند.

13-9- ضخامت دیوارها در خانه های نواحی گرم ایران حدود یک متر است. ظرفیت ویژه گرمایی بالای خشت موجب می شود تا حرارت درون دیوار باقی بماند و این، بدان معناست که تغییرات اندک حرارتی، تأثیرگذار نیست. در طی شب، دیوارها گرمای خود را از طریق انتقال و تابش از دست می دهند و درجه حرارت آنها در طی روز پایین نگه داشته می شود و آسایش کافی را برای ساکنان فراهم می کند. بدین طریق خاک به عنوان عایق حرارتی عمل می کند و به واسطه ظرفیت بالای حرارتی، موجب استقلال درون و بیرون می شوند.

13-10- راه حل دیگری برای کاهش جذب حرارت توسط ساختمان ها، به ویژه در مناطق گرم و خشک ایران، استفاده از طاق ها و گنبدها بود. این فرم، نه تنها با مصالح در دسترس و دلایل سازه ای منطبق است، بلکه علاوه بر دارا بودن دلایل ترموفیزیکی، برای کاهش حرارت انتقالی نیز مناسب است، زیرا اولاً شکل محدب و کروی آنها برای ساطع کردن تابش حرارتی کاملاً مناسب است و خنک شدن آن را در طول شب آسان تر می کند. ثانیاً در طی روز و به هنگام صبح و عصر نیمی از گنبد در سایه نیمی دیگر است و این امر در کاهش درجه حرارت سقف نقش مهمی ایفا می کند. همچنین، سقف گنبدی به دلیل برآمده بودنش در معرض وزش باد قرار می گیرد و بنابراین، تابش حرارت تأثیر کمتری بر آن می گذارد.

13-11- راه حلی دیگر برای خنک سازی فضاهای داخلی، ساختن سقف های بالاتر از حد معمول بوده است. هوای گرم تر به سمت بالا حرکت می کند و هوای تازه از بازشوها از ترازوی پایین تر به سمت داخل وارد می شود و این موضوع، باعث حرکت هوا می شود.

13-12- سقف های دوپوسته، روش دیگری از انطباق با آب و هوای گرم است. ظرفیت حرارتی هوا بسیار کم و برابر ۰.۱۸ BTU/F است و هوای بین دو پوسته به مانند عایق حرارتی عمل می کند و بنابراین، گرما کمتر به داخل انتقال می یابد و در تابستان، پوسته درونی خنک تر از لایه خارجی خواهد بود.

13-13- انتخاب مصالح مناسب و همچنین ضخامت دیوارها در دستیابی به حداکثر عایق برای جو داخلی، همگی راه حل های خاص مناطق آب و هوایی گرم و خشک است. مصالح اصلی خانه های سنتی، خصوصاً بادگیر آنها، از خشت با مدت ۷ تا ۹ ساعت زمان عکس العمل است. نوسانات شدید حرارتی در این مناطق، مناسب بودن این مصالح را در خصوص آب و هوا ثابت می کند. همچنین، سازه های تاریخی و خصوصاً بادگیر، از قرارگیری خشت با ظرفیت حرارتی بالا در مجاورت هوا با ظرفیت ویژه حرارتی پایین برای دستیابی به شرایط آب و هوایی بهینه بهره مندند.

13-14- اما جالب ترین المان ها، از جمله بادگیرها، آنهایی هستند که صرفاً برای آسایش حرارتی محیط های داخلی اضافه شده اند. بادگیرها، تهویه کنندگان شگفت آوری بوده و هستند و نمونه بارزی از تطابق معماری سنتی ایرانی با شرایط سخت آب و هوایی توسط خنک سازی طبیعی به شمار می روند. ارتفاع بادگیرها در مناطق گرم و خشک، بلندتر از ارتفاع آنها در مناطق گرم و مرطوب است. زیرا در مناطق گرم و خشک بادهای خنک تر و با سرعت بالا، از ارتفاع بالاتر می وزند و برعکس، در مناطق گرم و مرطوب، باد مطلوب از پایین تر می وزد و نسیم ساحل را به درون هدایت می کند.



## 14- راهکارهای مدرن جهت نیل به طراحی پایدار در اقلیم گرم و خشک

### 1-14- راهکارهای کالبدی و عملکردی

- 1-1-14- استفاده از پوششی متحرک در مقابل نمای ساختمان که در هنگام طوفان شن، جلوی نفوذ گرد و غبار از طریق روزن های ساختمان را به داخل ابنیه بگیرد .
- 2-1-14- بهره گیری از عمق زمین جهت جلوگیری از فرسایش و همچنین محافظت ساختمان در نوسانات جوی .
- 3-1-14- استفاده از فرم های منحنی استخراج شده از طبیعت ماسه های روان. هرچه فرم نرم تر باشد حرکت بر روی آنها آهسته تر است و در نتیجه فرسایش و تخریب کمتری به بار می آورد .
- 4-1-14- بهره گیری از دیوارهای با مصالح سنگین در ضلع جنوبی ابنیه
- 5-1-14- طراحی مناسب فرم ساختمان برای ایجاد سایه در تابستان و دریافت گرمای مناسب در زمستان.

### 2-14- راهکارهای زیبایی شناختی و محیط زیستی

- 1-2-14- استفاده از باغ بام (بام سبز) در ساختمان برای گرم کردن آن در زمستان و نیز ایجاد جلوه بصری زیبا و دلپذیر در بافت شهر
- 2-2-14- استفاده از فضای سبز (آتریوم یا پاسیو) به عنوان حیاط مرکزی باتوجه به اصول لازمه طراحی برای حفظ گرمای داخل بنا در زمستان و ایجاد تهویه طبیعی مطبوع در تابستان
- 3-2-14- پوشاندن جداره های ساختمان با بوته و گیاهان همیشه سبز به منظور ایجاد آسایش
- 4-2-14- استفاده از پوشش گیاهی برای خنک کردن محوطه
- 5-2-14- بهره گیری از انرژی خورشیدی
- 6-2-14- کاهش اتلاف حرارت
- 7-2-14- بهره گیری از فرم شیب دار و منحنی که موجب کاستن تابش مستقیم خورشید می گردند .
- 8-2-14- بهره گیری از نوسانات روزانه دما
- 9-2-14- تأمین سایه برای دیوارهایی که رو به آفتاب تابستانی هستند
- 10-2-14- استفاده از بادشکن های - مختلف سبز مثل درختان
- 11-2-14- توجه به وزش بادهای غالب خصوصاً در زمستان
- 12-2-14- پیش بینی فضاهای خارجی آفتاب گیر خارجی و محافظت شده در برابر باد
- 13-2-14- افزایش رطوبت هوا (بهره گیری از رطوبت زایی گیاهان )
- 14-2-14- استفاده از عناصر محوطه
- 15-2-14- آب نماهای واقع در سایه
- 16-2-14- استفاده از فواره آب فشان و باغچه
- 17-2-14- پیش بینی آب نما در مسیر حرکت هوا به فضاهای داخلی.



## 15- نتیجه گیری

با بررسی راهکارهای اندیشیده شده در معماری سنتی و بومی با هدف انطباق با محیط زیست، خصوصاً در روزگارانی که بشر ناگزیر است صرفاً از انرژی های پاک و طبیعی استفاده کند، می توان برای معماری امروز درس آموخت. خصوصاً که امروزه با پیشرفت تکنولوژی می توان متدهای اتخاذ شده در قدیم را با نیازها و شرایط روز تطبیق داد و با استفاده بهینه و مؤثر از انرژی های پاک برای حفظ محیط زیست همت گماشت.

در مناطق گرم و خشک می توان با دقت در انتخاب مصالح، ضخامت دیوارها، طراحی نماها، طراحی جایگیری فضاهای گوناگون مسکن نسبت به جهت تابش آفتاب، توجه به بادهای مطلوب در منطقه و طراحی المان هایی که هدایتگر این انرژی ها به فضاهای داخلی باشند، با طراحی معماری اقلیمی عملاً به اهداف پایداری زیست محیطی دست یافت.

بدین طریق با حداقل استفاده از انرژی های فناپذیر فسیلی می توان قدمی در جهت حفظ محیط زیست برای آیندگان برداشت.

## مراجع

- [1] گلکار، کوروش، طراحی شهری پایدار در شهر های حاشیه کویر مجله هنرهای زیبا، شماره 8، صفحه 44
- [2] توسلی، محمود. 1381. کتاب ساخت شهر و معماری در اقلیم گرم و خشک ایران، صفحه 15
- [3] حائری، م (1389) در حد فاصل زمین و آسمان "فصلنامه معماری و شهرسازی، زمستان، شماره 101، صفحه 54
- [4] سفلائی، فرزانه. 1382. پایداری عناصر اقلیمی در معماری سنتی ایران، مجموعه مقالات همایش بهینه سازی مصرف سوخت در ساختمان، جلد اول، ص 134.
- [5] کاشانی جو، خشایار، مهدی، بهادری. 1392. «شناخت الگوهای معماری پایدار در بناهای مسکونی مناطق کویری ایران»، همایش ملی معماری پایدار و توسعه شهری: ص 1-12.
- [6] غفاریف علی، نظام استقرار و فرم معماری و شهرسازی در توسعه پایدار، نمونه مناطق حاشیه کویر ایران، مجله ی صفحه، شماره 34،
- [7] ادوارد، بریان. 1389. ترجمه شهروز تهرانی، رهنمون هایی به سومی معماری پایدار، نشر مهرآزان، صفحات 125-16
- [8] کسمایی، مرتضی (1382) اقلیم و معماری، 84
- [9] کلپرور فردف نازنین، انسان و طبیعت و معماری، جلد 1، نشر تهران، جان، 1378
- [10] معماریان، غلام حسین. 1386. آشنایی با معماری مسکونی ایرانی، گونه شناسی دورونگرا، صفحه 380
- [11] Andersen M.M, Molin M. Nano BYG: A Suevay of nanoinnorratio in Danish construction , Riso-R-1 2 3 4 (EN) Ris O National Laboratory, Roskilde; 2007.
- [12] Ashvani k. Rana, Shashi B, Anjnak and Vaishnavk, : Significance of Nanotechnology in Construction Engineering , International Journal of Recent Trends in Engineering , Vol 1, No.4, May 2009.
- [13] Bittnar Z, Bartos P.J.M, Nemecek J. Smilauer V. and Zeman J. Nanotechnology in Costruction 3( Procesings of the NICOM3), 1st edition, Springer; 2009.
- [14] F.Pacheco-Torgal, Said Jalali.; Nanotechnology: Advantages and Drawbacks in the field of Construction and Building materials. 1st edition Elsevier; 2010.