صفحات ۷۰-۶۱

مطالعــه‌ی تطبیقی جداره‌هــای خارجی (نما) در ســاختمان‌های مسکونی تهران با روش تحلیل سلسله‌مراتبی

مهندس محمدحسین شیرازیان*، دکتر سید باقر حسینی**، مهندس سعید نوروزیان ملکی***

تاریخ دریافت مقـاله: ۱۳۹۱/۰۳/۲۲
تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۱/۰۶/۱۳

چکیده

امروزه در شهر تهران رشد فزاینده ساختمان‌های مسکونی در راستای تأمین مسکن جدید برای شهروندان و از طرفی نوسازی بافت فرســوده، مشــاهده می‌شود. پوسته خارجی ســاختمان به عنوان یکی از مؤثرترین عناصر زیبایی‌شناختی در نمای شهری و همچنین به عنوان مفصل درون و بیرون فضای مســکونی، نقش مهمی بر ســیمای شــهر عهده دارد. در این تحقیق سعی بر آن اســت تا سیستمی مناســب برای جداره خارجی ساختمان مسکونی در تهران معرفی شود. در این راستا، ابتدا مطالعاتی بر مبنای تحقیقات موجود صورت گرفته و چهار نمونه از سیستم نماهای شناخته شده و موجود در کشور، معرفی شده است. سپس با تکنیک دلفــی نظریــات متخصصان بر مبنای چهار عامل ویــژه تعیین‌کننده‌ی کیفیت، جمع‌آوری و مورد ارزیابی واقع شــده و در نهایت با روش تحلیل سلســله‌مراتبی، چهار سیســتم نما با هم مقایسه گرفته اســت. تحلیل یافته‌ها نشان می‌دهد که سیستم صفحات ساندویچی با بتن پاششی، سیستم نمای مناسب برای ساختمان‌های مسکونی تهران می‌باشد.

واژه‌های کلیدی

پوسته خارجی، ساختمان‌های مسکونی، اتلاف انرژی، روش‌های اجرا

* کارشناسی ارشد معماری گرایش مسکن، دانشکده مهندسی معماری و شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت‌ایران. (مسئول مکاتبات)
Email: mhshirazian210@yahoo.com
** دانشیار گرایش مسکن، دانشکده مهندسی معماری و شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت‌ایران. Email: hosseini@iust.ac.ir
*** دکترای معماری، دانشکده مهندسی معماری و شهرسازی، دانشگاه تربیت دبیر شهیدرجایی. Email: s.norouzian@srttu.edu

Archive of SID
www.SID.ir

مقدمه

صنعت ساختمان مأمن بسیار گسترده‌ای برای ابداعات و نوآوری‌های فناوری است *(قهرمانی، ۱۳۸۷)*. امروزه در شهری مانند تهران با وجود اینکه در صنعت ساختمان پیشرفت‌های قابل‌توجهی صورت گرفته و طرح‌هایی به بهره‌برداری می‌رسد که سال‌های گذشته امکان طراحی و ساخت آنها برای ما نبود، ولی متاسفانه اصولی بنیادی و اولیه در ساخت بناهای مسکونی و غیره لحاظ نمی‌شود *(حسینعلی‌پور و حقیقی، ۱۳۸۹)*. از جمله این اصول می‌توان به صنعتی‌سازی، مقاوم‌سازی، عایق‌بندی و اصل سبک‌سازی سازه‌ها، اشاره کرد. از میان موارد ذکر شده بحث عایق‌بندی حرارتی و جلوگیری از اتلاف انرژی به‌طور ویژه در ساختمان‌های مسکونی، موضوع بحث تحقیق می‌باشد.

مهم‌ترین بخش ساختمان در بحث اتلاف انرژی، پوسته خارجی آن است که خود شامل سه بخش پوسته صلب، بازشو و همچنین بخش متصل‌کننده‌ی این دو عنصر می‌باشد *(ابراهیم‌پور و همکاران، ۱۳۸۳)*. پوسته‌ی صلب به عنوان عمده‌ترین عامل تشکیل‌دهنده‌ی پوسته خارجی در این تحقیق مورد مطالعه قرار گرفته است. در ساختمان‌های مسکونی تهران در حال حاضر، نقاط ضعف متعددی در اجرای پوسته و نمای خارجی مشاهده می‌شود. علل این نابسامانی را در دو عامل عمده می‌توان جستجو کرد. اول اینکه بسیاری از طرح‌های عمرانی توسط متخصصین واجد شرایط اجرا نمی‌شود و در بعضی موارد مجری بدون علم و تحصیلات دانشگاهی، تنها بر مبنای تجربیات شخصی به اجرای طرح می‌پردازد. دوم آنکه در مواردی که مجری، متخصص در این رشته هم می‌باشد، عدم اطلاع کافی از علوم روز و نبود مرجع مناسب برای ارتقاء این علوم در مورد افرادی که سال‌ها پیش تحصیلات خود را به پایان رسانیده‌اند، موجب می‌شود تا همچنان روش‌های قدیمی و پر مشکل گذشته به کار گرفته شود *(فرجزاده اصل و همکاران، ۱۳۹۰)*. در رابطه با مورد اول نیاز به بررسی و تحقیق گسترده در ساختار شغلی کشور و مسائل مرتبط لازم است که در این مقاله اشاره‌ای به آن نخواهد شد ولی در مورد مؤلفه دوم می‌توان باایجاد مراجعی کاربردی برای مجریان، اطلاع‌رسانی کافی برای بهبود روش‌های ساخت امروزی را فراهم کرد.

روش تحقیق

هدف این تحقیق، انتخاب سیستمی مناسب برای جداره خارجی ساختمان‌های مسکونی در شهر تهران می‌باشد. در این راستا، ابتدا مطالعاتی بر مبنای تحقیقات موجود صورت گرفته و چهار نمونه از نماهای شناخته شده و موجود در کشور که دو مورد آنها تک جداره و دو مورد دیگر دو جداره می‌باشند، معرفی می‌شود. این چهار سیستم نما عبارتند از: تخته سیمانی روی عایق حرارتی، عایق قالب ماندگار (ICF)[1]، دیوار دو لایه با قالب سر خود بتنی و صفحات ساندویچی با بتن پاششی روی نما. سیستم‌های موجود برای نمای ساختمان دارای ویژگی‌های مختلفی هستند که هر کدام می‌توانند در ارتقای کیفیت سیستم نما تأثیر ویژه‌ای داشته باشند. برخی از مهم‌ترین این ویژگی‌ها روی چهار نمونه نمای حاضر، مورد سنجش قرار گرفته‌اند. گر چه قابلیت‌های واقعی سیستم‌های نمای ساختمانی شامل ویژگی‌های بسیار متعددی می‌شود، اما با توجه به محدودیت‌های این تحقیق، چهار ویژگی‌انتخاب گردیده و با توجه به میزان اهمیت آنها در نمونه‌های مورد بررسی، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌اند. چهار معیار انتخابی عبارتند از: مقاومت در برابر زلزله، هزینه و سرعت اجرا، عایق حرارتی، زیبایی‌شناسی معماری. در این تحقیق، اطلاعات لازم از طریق مطالعات میدانی، مصاحبه، استفاده از مدارک و اطلاعات جامع موجود در سازمان تحقیقات مسکن و شهرسازی، گردآوری شده است. روش تحقیق در پژوهش حاضر، کیفی است و برای مقایسه تطبیقی نمونه‌های موردی از سنجش کمی نیز استفاده می‌گردد. پس از تعیین معیارهای مورد مطالعه روی نما، تحلیل کمی از طریق امتیازدهی به این معیارها، صورت می‌گیرد. در مرحله تحلیل، ابتدا با توجه به اهداف تحقیق، دسته‌بندی اطلاعات اسنادی به صورت موضوعی انجام و یافته‌ها طبقه‌بندی گردیده تا در انجام تحلیل استفاده گردند. بررسی تطبیقی این چهار نمونه نما با توجه به دیدگاه‌های متخصصان در مورد میزان اهمیت هر یک از چهار معیار انتخابی، انجام می‌شود. در این زمینه، از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)[2] برای مقایسه تطبیقی چهار سیستم نما استفاده گردیده که نمودار درختی آن در شکل ۱ ارائه شده است.

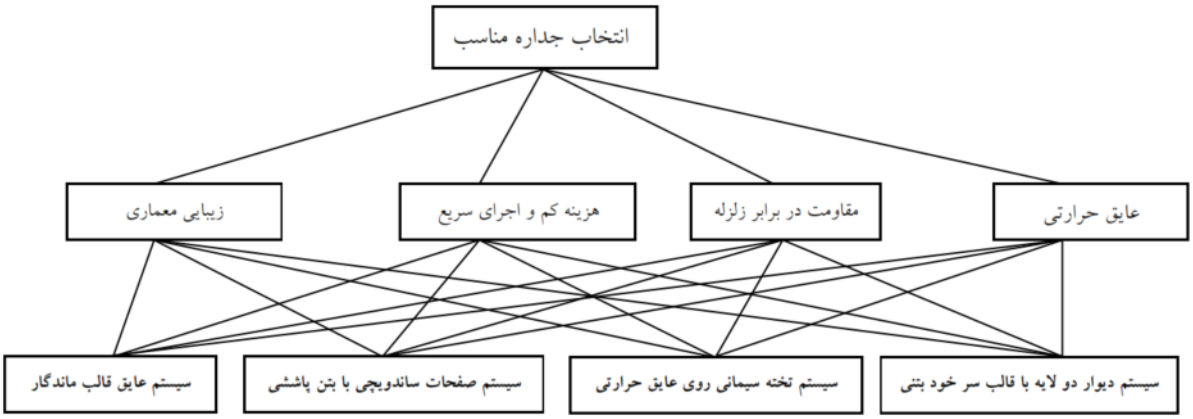
تعاریف و مفاهیم موجود پیرامون جداره‌های مورد بررسی

سیستم صفحات ساندویچی با بتن پاششی روی نما

در سیستم پانل ساندویچی[3]، صفحات متشکل از پانل عایق حرارتی (پلی استایرن منبسط یا پلی‌یورتان)، همراه با دو شبکه فلزی در طرفین عایق، که به وسیله‌ی مفتول‌های فولادی مورب به یکدیگر متصل شده‌اند، یک شبکه فلزی سه بعدی را تشکیل می‌دهد. این قطعات پس از انتقال به محل احداث ساختمان، به یکدیگر متصل و از دو طرف بتن پاشیده[4] می‌شود. میلگرد (مفتول) مورد استفاده با قطرهای مختلف، ۲/۵ تا ۵ میلی‌متر، و شبکه‌ها با چشمه‌های متفاوت، ۵۰×۵۰ تا ۱۵۰×۱۵۰ میلی‌متر، توسط تولیدکنندگان مختلف ساخته می‌شود *(محمدکاری و احمدی، ۱۳۸۷)*. فاصله دو شبکه موازی نیز بسته به

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۱. نمودار درختی انتخاب جداره‌ی مناسب با توجه به چهار معیار مورد مطالعه

نوع مصرف، میزان بتن وارد شده و ضخامت عایق حرارتی از ۷۰ تا نزدیک ۱۵۰ میلی‌متر تغییر می‌کند *(Pokharel & Mahendran, 2003; Frostig, 2003)*. کشورهای ارائه کننده این سیستم در ابتدا اتریش و ایتالیا بودند. لازم به توضیح است این سیستم، با توجه به ضوابط حاکم در کشورهای نام‌برده،کاربرد چندانی ندارد و محدود به ساخت و ساز معدود ویلایی در خارج از شهرها می‌شود. در سال‌های بعد، ساخت و فروش آن در کشورهایی مانند چین، افغانستان، عراق، ترکیه، برزیل، آرژانتین، کلمبیا و ایران گسترش یافت.

سیستم دیوار دو لایه با قالب سر خود بتنی

سیستم سازه‌ای دیوارهای قالب سرخود بتنی ابتدا در کشورهای اسکاندیناوی، به‌ویژه سوئد مطرح گردیده است. در این سیستم، قسمتی از دیوارهای بتن مسلح به‌صورت پیش ساخته در کارخانه تولید می‌شود. این دیوارها از دولایه بتن مسلح با فاصله نسبت به یکدیگر ساخته می‌شود. فاصله بین دو لایه، علاوه بر تأثیری که بر کاهش وزن دیوار در زمان حمل و جابجایی (در مقایسه با دیوارهای پیش ساخته یکپارچه توپر) دارد، نصب و برپایی آن را نیز تسهیل می‌کند. در این سیستم، بتن‌ریزی درجا می‌تواند به یکپارچگی اعضای سازه‌ای کمک کند و عملکرد لرزه‌ای ساختمان را بهبود بخشد. بتن پیش‌ساخته و بتن درجا، توسط میلگردهایی که میان دوجداره تعبیه شده‌اند و همچنین توسط قفل و بست بین لایه‌ها، به یکدیگر متصل می‌شوند. معمولاً قطعات پیش ساخته قالب سرخود، بدون میلگرد انتظار طراحی و تولید می‌شوند. اتصال دو لایه بتنی طرفین قطعه، توسط خرپاهای فلزی صورت می‌گیرد تا عملکردی مرکب داشته باشند. این اقدام، در عین دارا بودن مزایای اجرایی، خطر آسیب دیدن در زمان حمل را کاهش می‌دهد، و باعث می‌گردد نیاز به قالب‌بندی کاملاً منتفی گردد یا به حداقل کاهش یابد. در برخی مدارک و مستندات موجود درخصوص ساختمان‌های با سیستم دیوارهای بتنی دولایه قالب سرخود، جزئیات اتصال مناسب بین عناصر باربر سازه‌ای برای مناطق با خطر لرزه‌خیزی کم و زیاد ارائه شده است. ولی به نظر می‌رسد بیشترین کاربرد این‌گونه ساختمان‌ها در مناطق با خطر لرزه‌خیزی کم بوده باشد *(محمدکاری و همکاران، ۱۳۸۷)*.

سیستم عایق قالب ماندگار (ICF)

سیستم قالب‌های عایق ماندگار اساساً شامل قالب‌های دائمی است که برای بتن‌ریزی و ساخت دیوارهای بتن مسلح استفاده شده و پس از بتن‌ریزی، جزئی از دیوار محسوب می‌شوند. در کشورهای صنعتی، این محصول برای ساخت واحدهای کوچک مسکونی مورد استفاده قرار می‌گیرد. عمده قالب‌ها در این سیستم از جنس پلی‌استایرن[۵] منبسط شده است، ولی به ندرت از پلاستیک‌ها یا مصالح دیگر نیز استفاده می‌شود. از جمله می‌توان از کامپوزیت پلی‌استایرن ـ سیمان یا فوم پلی‌یورتان[۶] به عنوان انواع دیگر قالب نام برد، که به نسبت پلی‌استایرن، میزان استفاده از آنها بسیار اندک است.

در این سیستم، قطعات به عنوان قالب گم (ماندگار) برای بتن سازه‌ای اعم از دیوار باربر و غیرباربر، زیر سطح زمین یا روی سطح زمین به کار می‌روند. این قطعات برای ساخت تیر، نعل‌درگاه، دیوار خارجی و داخلی، شالوده و دیوار حایل بتنی مسلح یا غیر مسلح نیز به کار می‌رود. این قطعات پس از بتن‌ریزی و عمل‌آوری بتن، در محل باقی می‌مانند و می‌بایست با مواد نازک‌کاری داخلی و خارجی محافظت شوند. انواع مختلفی از این قالب‌ها وجود دارد که از نظر ابعاد بلوک،

Archive of SID
www.SID.ir

شـکل هندسـی سـوراخ‌ها (یا فضای داخلی برای بتن‌ریزی) و نوع اجزای تشـکیل‌دهنده با هم متفاوت هستند *(محمدکاری و خلیلی‌جهرمی، ۱۳۸۷)*.

سیستم تخته‌سیمانی روی عایق حرارتی

در چنـد دهه اخیر، تولیدکنندگان مصالح سـاختمانی تلاش کرده‌اند تا محصولاتی در صنعت ساختمان عرضه کنند که ضمن کمک به اهداف فوق، مشـخصات فنی مناسبی از جهات بیان شده داشته باشد. از جمله این محصولات می‌توان «نمای تخته سـیمانی روی عایق حرارتی» را بـه عنوان یک زیر سیسـتم نام برد که در این تحقیـق به آن پرداخته شده اسـت. به‌طورکلی در ساختمان‌سازی، کاربرد فراوانی برای قطعات تخته‌ای شکل وجود دارد. این قطعات با مصالح مختلف از جمله گچ یا چوب ساخته می‌شوند، و بسته به محل و نوع استفاده، انتظارات مختلفی در هـر حالت وجود دارد. برای کاربردهای خارجی، و در مواردی که حد بالای مشـخصات مکانیکی مد نظر است، تخته‌های سیمانی به عنوان یکی از مناسب‌ترین راه‌حل‌ها مطرح می‌شود. با توجه به مشخصات برتر ایـن محصول در مناطق مرطوب و با بارندگـی زیاد، فناوری تولید آن، خصوصاً درکشـورهای اروپایی، در طول چند دهه گذشـته، با تحولات چشـمگیری همراه بوده است *(محمدکاری، ۱۳۸۷)*. این محصول، علاوه‌بر داشتن مشخصات فنی مناسب، امکانات جدیدی را نیز در طراحی نمای ساختمان ایجاد می‌کند *(Georgiades & Vakakis, 2009)*.

عوامل مؤثر در کیفیت جداره‌ها

در ایـن قسـمت با توجـه به جمع‌بنـدی اطلاعات گردآوری شـده، خصوصیات سیستم‌های مورد مطالعه به تفکیک معیارها و زیرمعیارها، بررسی شدند (جدول ۱).

یافته‌ها

در این قسـمت، خصوصیات سیسـتم‌های نما به تفکیـک معیارها، بررسی شدند و در نهایت در قالب جدول خلاصه گردید (جدول ۱).

جدول ۱. خصوصیات سیستم‌های موردمطالعه به تفکیک معیارها و زیرمعیارها
(مأخذ: محمدکاری و همکاران، ۱۳۸۷؛ محمدکاری و خلیلی جهرمی، ۱۳۸۷؛ محمدکاری و احمدی، ۱۳۸۷)

معیار	زیر معیار	سیستم دیوار دو لایه با قالب سر خود بتنی	سیستم تخته سیمانی روی عایق حرارتی	سیستم صفحات ساندویچی با بتن پاششی روی نما	سیستم عایق قالب ماندگار ICF
مقاومت در برابر زلزله	پیوستگی بین اجزای نما	بتن‌ریزی درجا منجر به یکپارچگی می‌شود.	–	بتن پاششی باعث پیوستگی بین اجزاست.	بتن‌ریزی درجا منجر به یکپارچگی می‌شود.
	اتصال به اجزای باربر	اتصال مناسب ندارد.	دارای اتصال مناسب (پیچ و مهره)	دارای اتصال مناسب (جوش)	–
	وزن	–	سبکی تخته سیمانی عامل مؤثر است.	وزن نسبتاً بالایی دارد.	–
هزینه و سرعت اجرا	سرعت و سهولت نصب	دارای سرعت بالای نصب	–	سرعت نصب بسیار بالاست.	سرعت بالای قالب‌بندی
	میزان نیاز به تجهیزات	نیاز به امکانات سنگین	عدم نیاز به امکانات سنگین نصب	عدم نیاز به امکانات سنگین نصب	عدم نیاز به امکانات گران‌قیمت
	سهولت تأمین مصالح	–	در بعضی موارد گرانی مصالح	سهولت تأمین مصالح در داخل کشور	–
	امکان موازی کردن اقدامات اجرایی	وجود دارد.	وجود دارد.	وجود دارد.	وجود دارد.
	محدودیت‌های فصلی و دمایی در اجرا	دارد.	وجود محدودیت‌های اندک فصلی	به‌طورجدی محدودیت دارد.	به دلیل وجود عایق، محدودیت ندارد.
	میزان اتلاف و ضایعات مصالح	کم است.	–	در مورد بتن پاشش می‌تواند بالا باشد.	–

Archive of SID
www.SID.ir

ادامه جدول ۱. خصوصیات سیستم‌های موردمطالعه به تفکیک معیارها و زیرمعیارها
(مأخذ: محمدکاری و همکاران، ۱۳۸۷؛ محمدکاری و خلیلی جهرمی، ۱۳۸۷؛ محمدکاری و احمدی، ۱۳۸۷)

معیار	زیر معیار	سیستم دیوار دو لایه با قالب سر خود بتنی	سیستم تخته سیمانی روی عایق حرارتی	سیستم صفحات ساندویچی با بتن پاششی روی نما	سیستم عایق قالب ماندگار ICF
زیبایی‌شناسی معماری	سهولت شکل‌دهی به اجزای نما	قابلیت شکل‌دهی ندارد	قابلیت شکل‌دهی دارد	دارای قابلیت کم شکل‌دهی	قابلیت شکل‌دهی بالا
	امکان‌ایجاد تغییرات در ساخت و بهره‌برداری	(مناسب برای طراحی مدولار).	(مناسب برای طراحی مدولار).	ندارد.	دارد.
	خطر جذب آب و یخ‌زدگی	ندارد.	دارد.	دارد.	ندارد.
	عملکرد در فضاهای خورنده یا مناطق با نوسان دمایی بالا	–	ندارد.	ضعیف	به دلیل وجود پلی‌استایرن، مناسب است.
عایق حرارتی	با توجه به میزان ضریب هدایتی مصالح تشکیل‌دهنده، به‌طورجداگانه در هر سیستم محاسبه می‌شود.	–	–	با توجه به میزان ضریب هدایتی مصالح تشکیل‌دهنده، به‌طورجداگانه در هر سیستم محاسبه می‌شود.	با توجه به میزان ضریب هدایتی مصالح تشکیل‌دهنده، به‌طورجداگانه در هر سیستم محاسبه می‌شود.

مقاومت در برابر زلزله

عوامل متعددی در تعیین میزان مقاومت جداره نقش دارند. از جمله آنها به سه مورد ذیل که مهم‌ترین آنها است، اشاره می‌شود:

وزن مخصوص: با توجه به رابطه محاسبه میزان نیروی وارده در زلزله، $V=CW, C=ABI/R$ (V برابر نیروی زلزله، C ضریبی ثابت و W برابر وزن می‌باشد). می‌توان نتیجه گرفت که وزن دیوار با میزان نیرویی که زلزله‌ایجاد می‌کند، رابطه مستقیم دارد *(معین‌فر، ۱۳۸۵)*.

همان‌طورکه در جدول ۲ مشاهده می‌شود، دیوار قالب سر خود بتنی سبک‌ترین و سیستم صفحات ساندویچی سنگین‌ترین جداره می‌باشند.

اتصالات: چگونگی اتصال نما به ساختمان در هنگام زلزله می‌تواند سرنوشت‌ساز باشد. سیستم‌های تک جداره از این عامل مستثنی هستند ولی سیستم‌های تخته سیمانی و صفحات ساندویچی نیازمند اتصال مناسب جداره دوم به دیوار بنایی می‌باشند. در سیستم صفحات ساندویچی، جداره دوم توسط جوش به سازه اصلی متصل شده (در اسکلت فلزی) و شبکه فلزی پانل‌های ساندویچی نیز به قیدهای افقی و عمودی متصل به سازه، جوش داده می‌شوند. به دلیل عدم محدودیت درایجاد اتصال و همچنین مقاومت قابل قبول جوش (در صورت اجرای مناسب)، مقاومت اتصال نما به سازه در برابر نیروهای ناشی از زلزله، مناسب خواهد بود. این امر در سیستم تخته سیمانی نیز صادق خواهد بود با این تفاوت که به جای جوش، از پیچ ومهره برای اتصال استفاده می‌شود (به دلیل اینکه قیدهای افقی و عمودی، از جنس آلومینیوم می‌باشد).

میزان تردی و شکنندگی مصالح: استفاده از مصالحی چون سنگ و شیشه در هر سیستم نمایی، می‌تواند در هنگام زلزله خطرساز باشد *(فرجزاده اصل و همکاران، ۱۳۹۰)*. به کارگیری فراوان نماهای شیشه‌ای تغییر مکان ساختمان را افزایش می‌دهد *(موسوی، ۱۳۸۹)*.

جدول ۲. وزن مخصوص سیستم‌های نما

نوع نما	سیستم دیوار دو لایه با قالب سر خود بتنی	سیستم تخته سیمانی روی عایق حرارتی	سیستم صفحات ساندویچی با بتن پاششی روی نما	سیستم عایق قالب ماندگار ICF
وزن در مترمربع (kg)	۱۱۵	۱۹۸	۳۵۴	۲۴۵

Archive of SID
www.SID.ir

عایق حرارتی

سیســتم عایق قالب ماندگار (ICF) طبق نتایج به‌دست آمده از جدول ۳، بهتریــن عایق حرارتی بین سیســتم‌های موردمطالعه می‌باشــد. این در حالی اســت که طبق نظر متخصصان به ترتیب سیســتم صفحات ساندویچی و سیستم ICF از لحاظ عدم‌انتقال حرارت عملکرد بهتری دارند (جدول ۳).

هزینه و سرعت اجرا

مؤلفه‌های متعددی در تعیین میزان هزینه سیســتم نما نقش دارند که به سه مورد عمده آن اشاره می‌شود:

قیمــت مواد و مصالح: در جدول زیر قیمت تقریبی حال حاضر مصالح سیستم‌های مختلف با اســتخراج قیمت اجزای تشکیل‌دهنده هریک، مشخص شده است. شایان ذکر است قیمت‌های روز مصالح از مجریان و شرکت‌های پیمانکاری مختلف، جمع‌آوری شده است (جدول ۴). همان‌طورکه مشــاهده می‌شود برای سیســتم‌های دو جداره، هزینه‌ی بیشتری برای تأمین مصالح باید صرف شود.

دستمزد: بسته به اینکه هر سیستم چه مقدار نیاز به نیروی متخصص دارد یا مدت زمان اجرای هر سیســتم چقدر می‌باشد، دستمزد نیروی اجرا می‌تواند متنوع باشد. بعضی سیستم‌ها در عین سرعت بالای اجرا، نیــاز به نیروی متخصص برای کار می‌باشــند کــه اگر چه عامل اول می‌تواند در کاهش هزینه مؤثر باشــد ولی آموزش نیروی کار می‌تواند هزینه‌بر باشد.

نیاز به تجهیزات: بعضی از سیستم‌ها توسط ابزارهای عادی موجود در کارگاه قابل اجرا می‌باشــند در مقابل سیستم‌هایی مانند قالب سر خود بتنی نیاز به تجهیزات خاص برای جابجایی یا نصب قطعات دارند.

محدودیت‌های اجرا: بعضی سیســتم‌ها امکان اجرای موازی مراحل مختلف ســاخت هم‌زمان با اجرای نما را دارا می‌باشــند؛ در مقابل در بعضی سیستم‌ها سلسله‌مراتب زمانی در اجرای بخش‌های مختلف باید رعایت شــود که این می‌تواند عاملی در جهت کاهش ســرعت ساخت قلمداد شــود. همچنیــن محدودیت‌های اقلیمــی و دمایی می‌تواند در تعیین مدت زمان اجرا بسیار مؤثر باشد. برای مثال در سیستم صفحات ســاندویچی، برای اجرا محدوده دمایی معینی وجود دارد که می‌تواند

جدول ۳. محاسبه‌ی ضریب تبادل حرارت سیستم‌های نما [۷]

سیستم نما	مصالح تشکیل‌دهنده	ضخامت e(m)	ضریب هدایت حرارت λ (W/m °C)	ضریب تبادل حرارت (W/m^2 °C) $k=\frac{1}{0.2+\sum\frac{e}{\lambda}}$
سیستم دیوار دو لایه با قالب سر خود بتنی	بتن سبک	0.15	0.31	0.35+0.22=0.57
	لایه هوا	0.05	0.024	
	نما	0.015	0.35	
	نازک‌کاری داخلی	0.02	0.35	
سیستم تخته سیمانی روی عایق حرارتی	دیوار سفالی	0.21	1.15	0.4+ 0.22 +0.22 =0.84
	نازک‌کاری	0.02	0.35	
	ایزولاسیون پشم سنگ	0.08	0.041	
	تخته سیمانی	0.02	0.17	
سیستم صفحات ساندویچی با بتن پاششی روی نما	عایق پلی استایرن (EPS)	0.1	0.038	0.18 +0.22 +0.22=0.62
	بتن پاششی	0.045	0.33	
	لایه هوا	0.05	0.024	
	دیوار سفالی	0.21	1.15	
	نازک‌کاری	0.02	0.35	
	لایه نما	0.015	0.35	
سیستم عایق قالب ماندگار (ICF)	دو لایه پلی استایرن	2× 0.06	0.038	0.24 +0.22=0.46
	نازک‌کاری	0.02	0.35	
	بتن	0.2	0.33	
	لایه نما	0.015	0.35	

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۴. محاسبه‌ی هزینه‌ی ساخت هر یک از سیستم‌های نما

نوع نما	سیستم دیوار دو لایه با قالب سر خود بتنی	سیستم تخته سیمانی روی عایق حرارتی	سیستم صفحات ساندویچی با بتن پاششی روی نما	سیستم عایق قالب ماندگار ICF
قیمت هر مترمربع (تومان)	۳۷۰۰۰	۵۱۰۰۰	۴۸۰۰۰	۳۵۰۰۰

امکان کار در بعضی فصول را از بین ببرد.

برای استفاده از امتیازات حاصل از نظرسنجی که در مورد ویژگی‌های موردمطالعه روی هر نما از پرسش‌نامه به‌دست آمده و محاسبه امتیازات کل برای هر یک از سیستم‌های نما و مقایسه میان آنها، از روش تحلیل فرایند سلسله‌مراتبی بهره‌گیری شد. برای تعیین ضریب اهمیت معیارهای مشخص‌کننده‌ی کیفیت نما، از جدول ۱۶ کمیتی استفاده می‌شود (جدول ۵). با توجه به اینکه چهار معیار برای هر نما مشخص شده، مقایسه‌های دوبه‌دو در جدول ۴×۴ به صورت زیر آورده می‌شود *(عزیزی و ملک‌محمدنژاد، ۱۳۸۶؛ قدسی‌پور، ۱۳۸۵؛ ماکوئی، ۱۳۸۶)*.

پس از تشکیل جدول A، محاسبه ضریب اهمیت معیارها انجام پذیرفته است. ابتدا میانگین هندسی ردیف‌های جدول A محاسبه و سپس آنها را استاندارد (نرمالیزه) می‌نمایند (رابطه‌ی ۱). پس از انجام این مرحله سازگاری منطقی قضاوت‌ها بررسی شده‌اند *(زبردست، ۱۳۸۴)*. ضریب اهمیت نهایی برای هر عامل مورد بررسی به قرار زیر است (جدول ۶):

سپس جهت انجام مقایسه میان امتیازات کسب شده توسط هر کدام از سیستم‌های نمای مورد مطالعه، با استفاده از رابطه زیر، امتیاز هر سیستم مبنی بر چهار عامل اصلی، محاسبه گردیده است (رابطه‌ی ۲). در این رابطه، A سیستمی است که امتیاز آن قرار است محاسبه شود. وزن یکی از چهار عامل مورد مطالعه در سیستم‌های نما است که از روش تحلیل فرایند سلسله‌مراتبی به‌دست آمده و امتیاز همان عامل است که در سنجش دیدگاه‌ها به سیستم A داده شده است. i نیز تعداد عوامل مورد بررسی در مورد هر یک از سیستم‌های نما می‌باشد *(Forman & Gass, 2001; Bhushan & Kanwal, 2004; Saaty, 2008; Saaty & Peniwati, 2008)*.

پرسش‌نامه تهیه شده شامل دو جدول مجزا می‌باشد که در جدول اول متخصصان از بین اعداد ۱ تا ۹ کیفیت جداره نما را به تفکیک در ارتباط با هر یک از چهار ویژگی منتخب مشخص می‌کنند. برای مثال سیستم ICF نسبت به هر یک از چهار مؤلفه عایق حرارتی، مقاومت در برابر زلزله، هزینه و سرعت اجرا و زیبایی‌شناسی، نمره مشخصی

جدول ۵. جدول مقایسه زوجی معیارها

	عایق حرارتی	مقاومت در برابر زلزله	هزینه و سرعت اجرا	زیبایی شناسی معماری
عایق حرارتی	1	0.25	1	0.50
مقاومت در برابر زلزله	4	1	9	1
هزینه و سرعت اجرا	1	0.11	1	0.33
زیبایی شناسی معماری	2	1	3	1
جمع هر ستون	8	2.361	14	2.833

جدول ۶ ضریب اهمیت معیارهای مورد مطالعه

ویژگی	عایق حرارتی	مقاومت در برابر زلزله	هزینه و سرعت اجرا	زیبایی‌شناسی معماری
ضریب اهمیت	0.115	0.490	0.086	0.309

$$x_{1j} = \frac{a_{1j}}{\sum_{i=1}^{n} a_{i1}} \rightarrow x_{11} = \frac{1}{1+4+1+2} = 0.125$$

رابطه‌ی ۱: روند استاندارد (نرمالیزه) کردن ستون‌های جدول

Archive of SID
www.SID.ir

$$\text{Score A} = \sum w_i \times q_i \text{ , i} = 1,2,3,\ldots$$

رابطه‌ی ۲. محاسبه وزن نهایی گزینه‌ها

دریافت می‌کند و این روند برای سه سیستم دیگر نیز تکرار می‌شود. پرسش‌نامه‌ها توسط ۲۵ متخصص که در زمینه ساخت و ساز مشغول به کار هستند، تکمیل گردیده است (جدول ۷).

در جدولی دیگر نیز چهار مؤلفه مورد مطالعه روی سیستم‌های نما، دارای ضریب اهمیت می‌شوند. به این ترتیب که توسط متخصصان نسبت اهمیت هر عامل به عامل دیگر با اعدادی از بین ۱ تا ۹ مشخص می‌شود (جدول ۸).

در نهایت میانگین نمرات به‌دست آمده برای هر سیستم توسط هر متخصص و سایر امتیازات به‌دست آمده از بقیه پرسش‌نامه‌ها، محاسبه گردید که نتیجه نهایی در جدول ۹ ذکر شده است. امتیازات نهایی نشان می‌دهد از دیدگاه متخصصان، عامل مقاومت در برابر زلزله، مهم‌ترین معیار و عامل هزینه و سرعت اجرا، کم اهمیت‌ترین معیار برای سنجش میزان کیفیت سیستم نما می‌باشد و با در نظر گرفتن کلیه معیارهای مطرح شده در پرسش‌نامه، سیستم صفحات ساندویچی با بتن پاششی روی نما، مناسب‌ترین سیستم برای ساختمان‌های مسکونی تهران می‌باشد. این در حالی است که سیستم دیوار دو لایه با قالب سر خود بتنی، از نقطه نظر متخصصان، نامناسب‌ترین سیستم پیشنهادی می‌باشد. از سیستم‌های موردبررسی، دو مورد به صورت دو جداره و دو سیستم دیگر به صورت تک‌جداره اجرا می‌شوند. این نکته باید مدنظر قرار گیرد که سیستم‌های دو جداره در مقابل انتقال انرژی مقاوم‌ترند ولی هزینه آنها می‌تواند از دیوارهای تک جداره بیشتر باشد. سیستم‌های ICF و دیوار دو لایه با قالب سر خود بتنی، دیوارهایی هستند که لایه عایق‌بندی در آنها موجود است، پس رقابت برای این سیستم‌ها برای کسب بیشترین مقبولیت با توجه به همه عوامل منطقی خواهد بود.

همان‌طورکه مشاهده می‌شود، سیستم‌های دو جداره، از دید متخصصان در مجموع امتیاز بیشتری کسب کرده‌اند. علت آن می‌تواند ضریب اهمیت ۰/۱۱۵ عایق حرارتی (که در دیوارهای دو جداره بهتر است) در مقابل ضریب اهمیت ۰/۰۸۶ هزینه و سرعت اجرا (که در دیوارهای تک–جداره بهتر است)، باشد. این در حالی است که بر خلاف دیدگاه متخصصان که سیستم‌های دوجداره را عایق‌های بهتری در مقابل انتقال حرارت می‌دانند، سیستم‌های تک‌جداره ضریب هدایت کوچکتری در محاسبات به‌دست آوردند؛ یعنی عایق‌های بهتری هستند. می‌توان گفت نکته‌ای که متخصصان بدان توجه نداشته‌اند، پل حرارتی است که شبکه نگه‌دارنده دیوارهای دو جداره‌ایجاد می‌کند. با توجه به همه عوامل، سیستم صفحات ساندویچی با بتن پاششی روی نما به عنوان بهترین سیستم از دید متخصصان، انتخاب

جدول ۷. امتیاز حاصل از نظرسنجی متخصصان در مورد ویژگی‌های موردمطالعه روی هر نما

نوع نما	عایق حرارتی	مقاومت در برابر زلزله	هزینه و سرعت اجرا	زیبایی‌شناسی معماری
سیستم دیوار دو لایه با قالب سر خود بتنی	۸	۶	۸	۹
سیستم تخته سیمانی روی عایق حرارتی	۸	۷	۷	۶
سیستم صفحات ساندویچی با بتن پاششی روی نما	۷	۸	۸	۵
سیستم عایق قالب ماندگارICF	۹	۸	۷	۷

جدول ۸. نمونه‌ای از ضرایب اهمیت مؤلفه‌های موردمطالعه روی سیستم‌های نما

	عایق حرارتی	مقاومت در برابر زلزله	هزینه و سرعت اجرا	زیبایی‌شناسی معماری
عایق حرارتی	۱	۱/۴	۱	۱/۲
مقاومت در برابر زلزله	۴	۱	۹	۱
هزینه و سرعت اجرا	۱	۱/۹	۱	۱/۳
زیبایی‌شناسی معماری	۲	۱	۳	۱

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۹. وزن نهایی هر یک از سیستم‌های نما

معیار	ضریب اهمیت	امتیازات حاصل از نظرات متخصصان			
		سیستم دیوار دو لایه با قالب سر خود بتنی	سیستم تخته سیمانی روی عایق حرارتی	سیستم صفحات ساندویچی با بتن پاششی روی نما	سیستم عایق قالب ماندگار (ICF)
عایق حرارتی	0.115	6.4	6.4	8.3	7.1
ضریب اهمیت عایق حرارتی × میانگین نمرات کسب شده		0.736	0.736	0.955	0.816
مقاومت در برابر زلزله	0.490	5.3	7.6	7.4	5.4
ضریب اهمیت مقاومت در برابر زلزله× میانگین نمرات کسب شده		2.597	3.724	3.626	2.646
هزینه و سرعت اجرا	0.086	7.1	6.4	5.8	7.1
ضریب اهمیت هزینه و سرعت اجرا × میانگین نمرات کسب شده		0.610	0.550	0.499	0.610
زیبایی‌شناسی معماری	0.309	4.3	6.3	6.4	5.1
ضریب اهمیت زیبایی‌شناسی معماری × میانگین نمرات کسب شده		1.329	1.947	1.978	1.576
امتیاز نهایی سیستم‌های نما		5.272	6.957	7.058	5.648

گردید و سیستم تخته سیمانی روی عایق حرارتی با اختلاف کمی در جایگاه دوم قرار گرفت.

نتیجه‌گیری

انتخاب سیستم نمای مناسب برای هر شهر و موقعیت جغرافیایی می‌تواند منحصر به فرد باشد. به علاوه مؤلفه‌های متنوعی میزان کیفیت یک سیستم نما را مشخص می‌کند. یعنی ممکن است که در چهار عامل موردمطالعه روی نما، یک سیستم در دو عامل قابل‌قبول و در دو عامل دیگر غیرقابل‌قبول باشد. به همین جهت در مقایسه‌ی تطبیقی سیستم‌های نما که با روش AHP صورت پذیرفت، به عوامل مؤثر در کیفیت نما، ضریب اهمیت اختصاص داده شد.

از آنجایی که شهر موردمطالعه تهران می‌باشد و مهم‌ترین عامل تعیین‌کننده طبق‌نظر متخصصان در این شهر، مقاومت در برابر زلزله می‌باشد، لذا در این تحقیق سیستمی پیشنهاد می‌گردد که از این نظر در اولویت بوده و به‌طورنسبی رتبه قابل‌قبولی در سایر عوامل کسب کند. از میان سیستم‌های نما، سیستم تخته سیمانی به‌طورقابل ملاحظه‌ای از سیستم صفحات ساندویچی سبک‌تر است و همچنین از میان دو سیستم دیگر، سیستم قالب سر خود بتنی به مراتب از سیستم ICF سبک‌تر است. پس می‌توان به این نکته اشاره کرد که نمای مناسب برای شهر زلزله‌خیزی مانند تهران، سیستم صفحات ساندویچی با بتن پاششی روی نما می‌باشد. شایان ذکر است که سیستم تخته سیمانی روی عایق حرارتی از دید متخصصان که بر خلاف ICF، امتیازبیشتری کسب کرده بود، با اختلاف کمی در جایگاه دوم مناسب‌ترین سیستم نما قرار گرفت.

پی‌نوشت‌ها

1.Insulating Concrete Forms
2. Analytical Hierarchy Process
3. Sandwich Panel
4. Shotcrete
5. Polystyrene
6.Polyurethane

۷. در جدول بالا، ضریب هدایت حرارت لایه نما برای همه سیستم‌ها، ۰/۳۵ برابر ضریب هدایت گچ در نظر گرفته شده است.
– برای همه سیستم‌ها لایه نازک‌کاری در نظر گرفته شده است.
– از جزئیاتی نظیر انتقال حرارت توسط اتصالات پیچ و مهره صرف‌نظر شده است.
– عملکرد سیستم‌ها در شهری همانند تهران مورد بررسی قرار می‌گیرد. در حالی که دمای داخل ۲۵+ و دمای خارج ۵– درجه سانتی‌گراد فرض شده که در این شرایط دمایی ضریب هدایت هوا ۰/۰۲۴ در نظر گرفته شده است.

Archive of SID
www.SID.ir

– مقدار ۰/۲۲ بر حاصل نهایی همه سیستم‌ها افزوده شده است. این مقدار میزان افزایش انتقال حرارت به واسطه پل حرارتی است که اسکلت ساختمان ایجاد می‌کند.

– در نمای تخته سیمانی و نمای صفحات ساندویچی با بتن پاششی روی نما، همچنین پل حرارتی که به واسطه شبکه فلزی نگهدارنده پوسته نما، ایجاد می‌شود، لحاظ گردیده است.

– کلیه مقادیر از نشریه شماره ۲۱۱ مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن اخذ شده است.

– نماهای مورد بررسی، شامل سیستم‌های به کار گرفته شده در ساختمان‌های مسکونی است.

– قطر جداره نما برای هر سیستم به متقدار متغارف و معمول آن در نظر گرفته می‌شود *(ریاضی، ۱۳۷۴؛ ابراهیم‌پور و همکاران، ۱۳۸۳؛ مظفری ترشیزی، ۱۳۸۲)*.

فهرست مراجع

۱. ابراهیم‌پور، عبدالسلام؛ معرفت، مهدی؛ و محمدکاری، بهروز. (۱۳۸۳). بهینه‌سازی عایق‌کاری در ساختمان‌های با استفاده مداوم در شرایط اقلیمی‌ایران از لحاظ بارهای حرارتی سالیانه. *فنی و مهندسی مدرس*، ۱۷، ۳۳-۵۲.

۲. حسینعلی‌پور، مجتبی؛ و حقیقی، حسین. (۱۳۸۹). راهبرد صنعتی‌سازی ساختمان در چشم‌انداز بیست ساله کشور (مطالعه موردی امکان‌سنجی استفاده از LSF در تهران). *راهبرد*، ۵۷، ۳۲۵-۳۳۹.

۳. ریاضی، جمشید. (۱۳۷۴). *اصول محاسبه انتقال حرارت در اجزای ساختمان*. تهران: مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن. (گزارش تحقیقاتی ۲۱۱).

۴. زبردست، اسفندیار. (۱۳۸۴). مکان‌یابی مراکز امداد رسانی با استفاده از GIS و روش ارزیابی چند محوری AHP. *هنرهای زیبا*، ۲۱، ۵-۱۷.

۵. عزیزی، محمدمهدی؛ و ملک‌محمدنژاد، صارم. (۱۳۸۶). بررسی تطبیقی دو الگوی مجتمع‌های مسکونی (متعارف و بلندمرتبه). *هنرهای زیبا*، ۳۲، ۲۷-۳۸.

۶. فرجزاده‌اصل، منوچهر؛ احدنژاد، محسن؛ و امینی، جمال. (۱۳۹۰). ارزیابی آسیب‌پذیری مساکن شهری در برابر زلزله (مطالعه موردی منطقه ۹ شهرداری تهران) . *مطالعات و پژوهش‌های شهری منطقه‌ای*، ۹، ۱۹-۳۶.

۷. قدسی‌پور، حسن. (۱۳۸۵). *مبحثی در تصمیم‌گیری چند معیاره، برنامه‌ریزی چند هدفه*. (چاپ دوم). تهران: امیر کبیر.

۸. قهرمانی، آرش. (۱۳۸۷). تغییرات در صنعت ساختمان‌ایران. *هویت شهر*، ۳، ۸۵-۹۴.

۹. ماکوئی، احمد. (۱۳۸۶). *تکنیک‌های تصمیم‌گیری*، تهران: مهر و ماه نو.

۱۰. محمدکاری، بهروز. (۱۳۸۷). *بررسی و ارزیابی چند سیستم مطرح در طرح‌های انبوه‌سازی ساختمان‌های مسکونی، زیر سیستم نمای تخته سیمانی روی عایق حرارتی*. تهران: مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن. (گزارش تحقیقاتی ۴۹۱).

۱۱. محمدکاری، بهروز؛ و احمدی، رسول. (۱۳۸۷). *بررسی و ارزیابی چند سیستم مطرح در طرح‌های انبوه‌سازی ساختمان‌های مسکونی، سیستم صفحات ساندویچی با بتن پاششی(تری دی)*. تهران: مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن. (گزارش تحقیقاتی ۴۸۶).

۱۲. محمدکاری، بهروز؛ و خلیلی‌جهرمی، کیان. (۱۳۸۷). *بررسی و ارزیابی چند سیستم مطرح در طرح‌های انبوه‌سازی ساختمان‌های مسکونی، سیستم قالب‌های عایق ماندگار*. تهران: مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن. (گزارش تحقیقاتی ۴۹۳).

۱۳. محمدکاری، بهروز؛ معصومی، علی؛ و طباطبایی‌فر، حمیدرضا. (۱۳۸۷). *بررسی و ارزیابی چند سیستم مطرح در طرح‌های انبوه‌سازی ساختمان‌های مسکونی، سیستم دیوار دولایه یا قالب سرخود بتنی*. تهران: مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن. (گزارش تحقیقاتی ۴۹۷).

۱۴. مظفری ترشیزی، حسین. (۱۳۸۲). روش‌های عایق‌کردن حرارتی مسکن، *هنرهای زیبا*، ۱۴، ۷۱-۸۲.

۱۵. معین‌فر، علی‌اکبر. (۱۳۸۵). آیین‌نامه ۲۸۰۰ *طرح ساختمان‌ها در برابر زلزله*. چاپ چهارم. تهران: مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی‌ایران.

۱۶. موسوی، حمیدرضا. (۱۳۸۹). کاهش آسیب‌پذیری در برابر زلزله در عرصه‌ی طراحی معماری با رویکرد طراحی لرزه‌ای مبتنی بر کارایی. *هویت شهر*، ۷، ۵۳-۶۰.

17.Bhushan, N., & Kanwal, R. (2004). Strategic Decision Making: Applying the Analytic Hierarchy Process. London: Springer-Verlag.

18.Forman, E. H., & Gass, S. I. (2001). The analytical hierarchy process—an exposition. Operations Research, 49 (4), 469–487, doi:10.1287/opre.49.4.469.11231.

19.Frostig, Y. (2003). Classical and high-order computational models in the analysis of modern sandwich panels. Composites Part B. Engineering, 34 (1), 83–100.

20.Georgiades, F., & Vakakis, A. F. (2009). Passive targeted energy transfers and strong modal interactions in the dynamics of a thin plate with strongly nonlinear attachments. International Journal of Solids and Structures, 46 (11-12), 2330-2353.

21.Pokharel, N., & Mahendran, M. (2003). Experimental investigation and design of sandwich panels subject to local buckling effects. Journal of Constructional Steel Research, 59 (12), 1533–1552.

22.Saaty, T. L. (2008). Relative Measurement and its Generalization in Decision Making: Why Pairwise Comparisons are Central in Mathematics for the Measurement of Intangible Factors - The Analytic Hierarchy/Network Process. RACSAM (Review of the Royal Spanish Academy of Sciences, Series A, Mathematics), 102 (2), 251–318.

23.Saaty, T. L., & Peniwati, K. (2008). Group Decision Making: Drawing out and Reconciling Differences. Pittsburgh, Pennsylvania: RWS Publications.

Archive of SID
www.SID.ir