علمی-پژوهشی

ارائه تیپولوژی معماری مسکونی با رویکرد بهسازی عملکرد حرارتی مسکن در شهر بابلسر

Developing Residential Building Typologies with Thermal Efficiency Approach for Residential Buildings in Babolsar City

ماریا کردجمشیدی[1] (نویسنده مسئول)

تاریخ ارسال:	تاریخ بازنگری:	تاریخ پذیرش:	تاریخ انتشار آنلاین:
۱۳۹۷/۰۱/۰۹	۱۳۹۸/۰۲/۱۰	۱۳۹۸/۱۲/۱۷	۱۳۹۹/۰۴/۳۱

چکیده

با افزایش قابل توجه مصرف انرژی در بخش ابنیه، توجه به ویژگی‌های ساخت و ساز و سیاست‌گذاری برای بهینه‌سازی مصرف انرژی امری ضروری است. اصولا برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری برای تک تک ساختمان‌ها امری غیر ممکن بوده و راهبردهای کلی برای تدوین چارچوب‌های بهسازی ساختمانها براساس مطالعه بر روی تیپولوژی‌های منطبق با ساختار هر منطقه تدوین می‌گردند. در همین راستا، هدف این مطالعه استخراج تیپولوژی وضع موجود مسکن شهر بابلسر، با تاکید بر پارامترهای تاثیرگذار بر مصرف انرژی، و به منظور بهسازی عملکرد حرارتی آن‌ها بر مبنای مقررات ملی ساختمان است. گردآوری اطلاعات به روش میدانی بر روی ۳۸۴ نمونه مسکونی ساخته شده در بازه زمانی سال‌های ۱۳۴۲- ۱۳۹۵ در شهر بابلسر انجام گردید. تحلیل داده‌ها با راهبرد توصیفی- تحلیلی و استفاده از روش‌های آماری در تحلیل کمی و همچنین ساده‌سازی تصاویر پلان‌های مسکونی انجام گرفت. نتیجه تحلیل‌های ارائه شده، هشت تیپولوژی برای ساختمان‌های مسکونی بابلسر در دو گروه ویلایی و آپارتمانی ارائه می‌کند. نتایج حاصل از تحلیل عملکرد حرارتی تیپولوژی‌های استخراج‌شده نشان داد که نمونه‌ها حداقل شرایط لازم بر مبنای مقررات ملی مبحث ۱۹ را دارا نمی‌باشند و برای ارتقا عملکرد حرارتی آنها، اضافه نمودن حداقل یک لایه عایق حرارتی مانند یونولیت به ضخامت پنج سانتیمتر به جداره خارجی بنا شامل دیوارها و بام ضروری است. نتایج این مطالعه برای بهسازی مصرف انرژی ساختمان‌ها و تدوین مقررات ملی منطقه‌ای اقلیم معتدل خزری قابل استفاده می‌باشد.

واژه‌های کلیدی:

تیپولوژی، ساختمان‌های مسکونی، بهینه‌سازی، انرژی.

۱. استادیار، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه مازندران، مازندران، ایران. m.kordjamshidi@umz.ac.ir

۱- مقدمه

رشد رو به افزایش مصرف انرژی در بخش ساختمان علی‌رغم پیشرفت تکنولوژی، تدوین مقررات جامع و استانداردها، و تمام تلاش‌های همه‌جانبه برای بهینه‌سازی مصرف انرژی، مبین ناکارآمد بودن اقدامات پراکنده در راستای بهینه‌سازی مصرف در این بخش می‌باشد. ساختمان‌های امروزی به طور نامتجانس و اکثرا بدون توجه به بستر محیط و ویژگی‌های اقلیمی شکل گرفته‌اند. در دنیای مدرن امروزی، ساختمان‌های مشابه در اقلیم‌های متفاوت با محیط خود هماهنگ نیستند (Soleymanpour et al., 2015). استفاده از معماری‌های مشابه، تاسیسات مکانیکی (Zhao et al., 2017) و مصالح جدید بدون در نظر گرفتن تاثیر آن‌ها بر آسایش حرارتی ساکنین و ریزاقلیم سایت، از عواملی هستند که باعث افزایش مصرف انرژی و وابستگی ساختمان‌ها به مصرف انرژی برای گرمایش و سرمایش شده‌اند. سهم چهل درصدی ساختمان‌ها از کل مصرف انرژی سالانه قابل تامل بوده و کاهش آن نیازمند برنامه‌ریزی جامع می‌باشد.

بدیهی است که برنامه‌ریزی مجزا برای هر ساختمان به عنوان یک سیاست کلان امری محال است. اساسا" تدوین مقررات، سیاست‌گذاری و ارائه راهبردهای جامع بر اساس شرایط اقلیمی و تیپولوژی غالب ساختمان‌ها در هر منطقه انجام می‌گردد. تحقیق‌های متعددی بر روی گونه‌شناسی مسکن، به ویژه مسکن روستایی انجام گرفته است (Askari rabri et al, 2015; Khakpour et al, 2010; Iranmanesh et al, 2014; Raheb, 2014).تاکید این مطالعات بر شناخت ساختارهای شکل گرفته در تطابق با شرایط اقلیمی و بارز کردن ویژگی‌های معماری بومی و هویتی است که متاسفانه امروزه به دست فراموشی سپرده شده‌اند. احیای عناصر معماری اقلیمی در معماری امروزی کاری ارزنده است، ولی با توجه به طیف وسیع معماری‌های متفاوت امروزی لازم است انواع تیپولوژی‌های شکل گرفته شناسایی شوند تا با ارزیابی عملکرد حرارتی آن‌ها بتوان برای ارتقای کیفی و بهسازی آن‌ها برنامه‌ریزی کرد.

تجزیه و تحلیل عملکرد حرارتی ساختمان‌ها بر مبنای شاخص انرژی به منظور کاهش مصرف در تمام کشورهای جهان مورد توجه تحلیلگران انرژی قرار گرفته است. بهینه‌سازی ساختمان‌های موجود موثرترین راهکاربرای کاهش مصرف انرژی در این بخش شناخته شده است. به همین منظور، شناخت وضعیت ساختمان‌ها و ارزیابی آن‌ها با جزئیات کامل از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. مطالعات متعددی در حیطه ساختمان و انرژی بر روی نمونه‌های واقعی یا مجازی انجام شده است؛ از جمله: بررسی ویژگی‌های مسکن و ارتباط آن‌ها با مصرف انرژی (Brady et al., 2017, Amassable, 2018)؛ تحلیل‌های آماری مصرف انرژی در بخش ابنیه (Theodoridou et al., 2011, Yang et al., 2017) ؛بررسی و تحلیل نمونه‌های موردی با استفاده از داده‌های واقعی (Balaras et al., 2017)، (Pourmousa et al., 2017) یا براساس نتایج حاصل از مدل‌سازی کامپیوتری (De Lieto Vollaro et al., 2015)؛ روش‌های ارزیابی عملکرد حرارتی و مصرف انرژی در ساختمان‌ها (Roulet et al., 2002, Fracastoro and Serraino, 2011; Corgnati et al., 2008).

هر اقدام جزئی در جهت بهینه‌سازی می‌تواند تاثیری چشمگیر در کاهش مصرف انرژی سالانه ساختمان‌ها داشته باشد (Desideri et al., 2012) و هر اقدام اساسی در مقیاس کلان مانند راهبردهای کشورهای اروپایی (Balaras, 2007; Ahern, 2013, Sousa et al., 2017) می‌تواند منجر به ذخیره انرژی و صرفه‌جویی در مصرف انرژی گردد. راهبردها بایست بر مبنای مطالعه و بررسی دقیق ساختارهای موجود انتخاب شوند (Heidari, 2009).

رویکردهای متفاوتی در مطالعات حوزه انرژی و ساختمان دیده می‌شود. تمرکز بسیاری از مطالعات بر روی شناسایی عواملی معطوف شده است که می‌تواند برای بهسازی ساختمان‌های موجود به کار برده شوند (Brecha et al., 2011; Roberts, 2008). در این مطالعات عواملی چون پایداری اقتصادی (Galvin et al., 2013; Ouyang et al., 2009) ،تاثیر بر بازار ساخت و ساز(Weiss et al., 2012) ،تاثیرات زیست محیطی (Ardente et al., 2009) ،تطابق مصرف واقعی انرژی با تئوری‌های موجود (Majcen et al., 2011)، و استفاده از ابزارها و روش‌های سیستماتیک (Mechri et al., 2010) لحاظ شده است. اکثر این مطالعات بر روی گونه‌های شناسایی شده و تیپولوژی‌های معرفی شده در منطقه مرتبط انجام شده‌اند و بنابراین نتیجه حاصله قابلیت تعمیم داشته و در برنامه‌ریزی‌های کوتاه و بلند مدت مورد استفاده قرار می‌گیرند. استفاده این مطالعات از گونه‌ها و تیپولوژی‌های مسکونی منطقه برای بهسازی مصرف انرژی، نشان‌دهنده اهمیت و ضرورت شناسایی تیپولوژی مسکن برای استفاده در مطالعات و اقدامات آتی می‌باشد.

تیپولوژی ساختمان‌های مسکونی با عنوان‌هایی دیگری مانند "ساختمان مرجع" (Schafer & Ghisi, 2016) و "مدل بنچ مارک " (Famuyibo et al., 2012; Attia at al., 2012) نیز شناخته شده است. تیپولوژی به طبقه‌بندی

ساختمان‌ها بر اساس ویژگی‌های مشترک آن‌ها در یک حوزه و با رویکردی هدفمند اطلاق می‌شود، که بر آن اساس هر الگوی نمونه ارائه شده سمبل ساختمان‌های گروه خود می‌باشد. اصولا حوزه تعریف شده، معیارهای انتخاب ویژگی‌های مشترک را تعیین می‌کند. عوامل متعدد بسیاری چون عوامل فرهنگی، اجتماعی، اقتصادی، سیاسی، اقلیمی و تکنولوژیکی در شکل‌گیری مسکن تاثیرگذار بوده‌اند. هر یک از این عوامل رویکردی را برای ارائه گونه خاصی از مسکن در مطالعات مختلف (Fatahi et al., 2016; Raheb, 2014) شکل داده‌اند. لذا ، اگر چه رویکرد و روش شناسایی تیپولوژی در مطالعات مختلف تقریبا مشابه می‌باشد ولی معیارهای انتخاب بر مبنای هدف مطالعه متفاوت می‌باشد.

مطالعات متعددی در کشورهای مختلف بر روی تیپولوژی ساختمان‌ها از نظر انرژی انجام شده است. به عنوان نمونه؛ تیپولوژی مسکن مصر که بر اساس متوسط میزان مصرف انرژی ساختمان‌ها به منظور ارزیابی اقتصادی و بررسی تاثیر استانداردهای جدید تدوین شده در بخش مسکن ارائه گردیده است؛ مطالعات مشابهی درسیسیلی (Filogamo et al., 2014)، دانمارک (Kragh & Wittchen, 2014) و آفریقا (Muringathuparambil et al., 2017) نیز انجام شده است. پروژه شناسایی تیپولوژی مسکن برای ارزیابی انرژی در کشورهای اروپایی بین سال‌های ۲۰۰۹- ۲۰۱۲ تحت حمایت (TABULA) با هدف هماهنگ‌سازی ساختار تیپولوژی مسکن در اروپا با مشارکت ۱۶ کشور اروپایی و با تاکید بر جنبه‌های مختلف مصرف انرژی در مسکن انجام گرفت (Loga et al., 2016). این مطالعه جامع و کاربردی در تحقیقات متعدد دیگری که هدف همه آن‌ها بررسی و بهسازی مسکن بوده مورد استفاده قرار گرفته است (Ballarini, 2014; 2017). مطالعات مذکور منجر به استخراج تیپولوژی مسکن در محدوده تعریف شده خاص خود می‌باشد و مبنایی برای مطالعات گسترده‌تر در زمینه بهینه‌سازی مسکن فراهم کرده اند. تحقیق‌های دیگری نیز برای ارزیابی استفاده از انرژی خورشیدی در تیپولوژی‌های ارائه شده (Horvath et al., 2016; Kosir et al., 2014) با روشی مشابه انجام شده‌اند.

بررسی منابع داخلی مرتبط با موضوع مطرح شده در این مطالعه نشان داد که پژوهش‌های محدودی بر روی گونه‌شناسی مسکن در شهرها و مناطق مختلف در ایران انجام شده است (Memarian, 2008; Iranmanesh et al., 2014; Askari rabri et al., 2015; Khakpour et al., 2010) تاکید این مطالعات بر روی روابط داخلی، معماری بومی و سنتی است و گاهی توجه به ساختارهای همساز با اقلیم است که با محوریت این مطالعه متفاوت می‌باشد. مطالعات انجام شده بر روی شهر بابلسر بیشتر، مربوط به ساختار شهری و چگونگی رشد و توسعه شهری با توجه به جاذبه‌های توریستی شهر می‌باشد (Mirkatouli, 2012). مطالعات پراکنده‌ای نیز بر روی مصالح بومی در ناحیه خزری (Sadeghi & Kordjamshidi, 2014; Naghibirad & Kordjamshidi, 2014) انجام شده که به طور جزئی بر روی یک پارامتر خاص تمرکز داشته‌اند. جامعیت این تحقیق و تاکید آن بر پارامترهای موثر بر مصرف انرژی در تعیین الگوی مسکن، آن را از پژوهش‌های انجام شده متمایز می‌کند. ضمن اینکه نتایج این تحقیق مبنایی برای مطالعات گسترده‌تر در راستای بهینه‌سازی ابنیه و ارائه روشی برای استخراج الگوی مسکن در سایر مناطق کشور می‌باشد.

هدف اصلی این مطالعه استخراج الگوهای مسکونی در اقلیم معتدل و مرطوب، شهر بابلسر است. اگر چه نتایج این مطالعه قابل استفاده برای بهسازی مسکن در ناحیه خزری می‌باشد لیکن مطالعه گسترده‌تری، شامل بررسی نمونه‌های مسکونی از هر سه بخش شرقی، غربی، و مرکزی ناحیه خزری، لازم است تا تطابق تیپولوژی ارائه شده برای کل ناحیه خزری تایید شود.

این مطالعه ضمن بررسی پارامترهای تاثیرگذار برمصرف انرژی ساختمان‌های مسکونی و تحلیل انواع نمونه‌های مسکونی در شهربابلسر؛ تیپولوژی‌های غالب مسکن برای این شهر را ارائه می‌کند تا برای اقدامات بعدی در راستای بهسازی مصرف انرژی در مسکن اعم از برنامه‌ریزی، تدوین مقررات، و هرگونه فعالیت پژوهشی مورد استفاده قرار گیرد.

۲- سوالات تحقیق

پژوهش حاضر بر معماری مسکن در شهر بابلسر به عنوان مهم‌ترین بخش شهری از نظر مصرف انرژی تمرکز کرده است. شناخت الگوی مسکن بر مبنای مستندات، اصلی‌ترین قدم در بهسازی مصرف انرژی بازار مسکن امروزی است. این مطالعه در پی پاسخگویی به سوالات زیر می‌باشد:

- تنوع تیپولوژی مسکن در بابلسر چند نوع و چگونه است؟
- تیپولوژی‌های موجود تا چه حد با مقررات مبحث ۱۹ تطابق دارند؟
- مهم‌ترین اقدامات برای بهسازی الگوی مصرف انرژی در تیپولوژی‌های ارائه شده کدامند؟

۳- راهبرد تحقیق

این مطالعه با توجه به هدف تعریف شده، در دسته تحقیق‌های کاربردی، از نوع تحلیلی قرار می‌گیرد و مبتنی بر

مطالعات کتابخانه‌ای، میدانی و محاسباتی است. در مطالعات میدانی نمونه‌گیری هدفمند استفاده شده است. ابزار تحقیق، مشاهده و مصاحبه بر مبنای پرسشنامه تهیه شده، و تهیه کروکی و نقشه است. تحلیل داده‌ها در دو بخش مجزا به صورت کمی برای استخراج شاخصه‌های پرتکرار؛ و بصورت کیفی به روش تصویرسازی (Nikghadam, 2013) برای استخراج الگوی معماری انجام گردیده است. در بخش محاسبات، عملکرد حرارتی الگوهای استخراج شده تحلیل و بهسازی هر الگو برای رسیدن به شرایط قابل قبول بر مبنای مقررات ملی ساختمان- مبحث ۱۹- ارائه شده ست. روند پژوهش را می‌توان درچهار مرحله به شرح ذیل خلاصه کرد:

۱- شناسایی معیارهای انتخاب تیپولوژی مسکن (مطالعات کتابخانه‌ای)

۲- بررسی شهر بابلسر و تعیین جامعه آماری و برداشت نمونه‌ها (مطالعات میدانی)

۳- دسته‌بندی و ارائه تیپولوژی پلان (تحلیل آماری و تصویرسازی)

۴- بررسی ضریب انتقال حرارت الگوها و ارائه الگوهای بهینه (محاسبات بر اساس مبحث ۱۹ مقررات ملی)

۴- معیارهای تعیین تیپولوژی مسکن

تیپولوژی ساختمان‌ها بر پایه طبقه‌بندی ویژگی‌های مشترک آن‌ها تعیین می‌شود. در این تعریف ساختمان‌ها با ظاهری متفاوت ولی عملکرد حرارتی مشابه از نظر مصرف انرژی در یک دسته قرار می‌گیرند. بنابراین کانسپت تیپولوژی بر اساس عوامل تاثیرگذار بر مصرف انرژی در ساختمان‌ها شکل می‌گیرد.

۴-۱- پارامترهای تاثیرگذار بر مصرف انرژی در ساختمان‌های مسکونی

مصرف انرژی در ساختمان‌ها به عوامل انسانی، تاسیسات مکانیکی و پارامترهای فیزیکی ساختمان وابسته است. مورد اول مربوط به ساکنین ساختمان ومتاثر از تعداد نفرات، مدت زمان و نحوه استفاده از بنا می‌باشد. مطالعات نشات داده‌اند که ۴۶٪ مصرف انرژی در ساختمان‌ها مرتبط به عوامل انسانی و ۵۴٪ دیگر مرتبط به عوامل فیزیکی ساختمان می‌باشد (Sonderegger, 1978). اما عوامل انسانی، به ویژه نحوه استفاده از بنا به درستی قابل پیش‌بینی نیستند (Szokolay, 1992) و در محاسبات و برنامه‌ریزی برای بهینه‌سازی مصرف انرژی معمولا به‌صورت یک پیش‌فرض ثابت در نظر گرفته می‌شوند. بهره‌وری تاسیسات مکانیکی برای گرمایش و سرمایش ساختمان نیز تاثیر قابل توجهی بر میزان مصرف انرژی دارد و معمولا در ممیزی ابنیه بیشتر مورد توجه قرار می‌گیرند، ولی در تعیین تیپولوژی مسکن لحاظ نمی‌شوند. پارامترهای فیزیک ساختمان که در واقع عوامل سازنده بنا می‌باشند را می‌توان در دودسته طراحی معماری و ساخت، دسته‌بندی نمود. طراحی معماری مربوط به پلان/ ترکیب حجمی و ساخت شامل عوامل تشکیل‌دهنده بنا مانند مصالح، نما وجزئیات اجرایی می‌باشند. مطالعات متعددی میزان تاثیر این عوامل را بر رفتارهای حرارتی و مصرف انرژی بنا بررسی کرده‌اند (Krichkanok, 1997; Willrath, 1997; Willrath, 1998; Hyde, 2000; Planning, 2006; Tavares and Martins, 2007; Zhai and Chen, 2006; Kordjamshidi, 2011, Peren, 2015; Lee 2017; Feng, 2016; DAgostino, 2017). نتایج مطالعات فوق نشان می‌دهد که میزان تاثیر عوامل فوق بر مصرف انرژی، بسته به اقلیم و کاربری ساختمان متفاوت است و به طور کلی میزان عایق حرارتی پوسته ساختمان بیشترین تاثیر را بر مصرف انرژی سالانه بنا دارد. معماران و طراحان ساختمان با تغییر دادن این عوامل سعی می‌کنند طراحی معماری را از نظر مصرف انرژی بهینه کنند. مهم‌ترین پارامترهایی که در این دسته قرار می‌گیرند شامل: ضخامت و مصالح جدار خارجی، نوع و مصالح بازشوها، موقعیت و تناسبات بازشوها، ابعاد سایبان، مقاومت عایق حرارتی، رنگ جداره خارجی، جهت‌گیری بنا، و نوع بنا می‌باشد. لذا در این مطالعه این پارامترها در تدوین پرسشنامه ساختمانی برای استخراج اشتراکات ساختمان‌های مسکونی و تدقیق تیپولوژی مسکن مورد استفاده قرار گرفت.

تاثیر طراحی معماری برمصرف انرژی بیشتر درمساحت پوسته خارجی، سطح اشغال، جایگیری و ارتباط زون‌های کنترل شده و کنترل نشده تعریف می‌شود. این موضوع برای ایران که درآن مقررات ملی مبحث ۱۹ ساختمان ملاک بهسازی است ،اهمیت دارد. معیار ارزیابی ساختمان‌ها در این آیین نامه، در محاسبه میزان تبادل حرارتی و نحوه بهره‌گیری از نور خورشید خلاصه می‌شود. لذا برای استخراج تیپولوژی مسکن علاوه بر مساحت هر زون، نحوه قرارگیری زون‌ها نسبت به هم در پلان ساختمان و نسبت سطوح شفاف به غیر شفاف در پوسته خارجی بنا برداشت و بررسی شده است.

۴-۲- طبقه‌بندی ساختمان‌های مسکونی

با استناد به مطالعات مشابه ، مهم‌ترین معیارهای طبقه‌بندی ساختمان‌ها برای ارائه تیپولوژی در سه دسته زیر خلاصه می‌شود (Ballarini, 2017) .

الف- منطقه اقیمی

ب- زمان ساخت که در واقع معماری و ساختار بنا را مشخص می‌کند. با گذشت زمان ممکن است استانداردهای ساختمانی تغییر کرده و بر نحوه ساخت و ساز و همچنین مصالح استفاده شده تاثیر بگذارد.

ج- اندازه و شکل ساختمان مانند ساختمان‌های ویلایی و آپارتمانی

سه روش کلی برای استخراج تیپولوژی ساختمان‌های مسکونی (Rakuscek et al., 2012) ارائه شده است:

۱. انتخاب نمونه‌های واقعی که بر اساس نظر کارشناسان باتجربه در هر منطقه انتخاب می‌شوند.

۲. انتخاب نمونه‌های واقعی که بر اساس آزمونهای آماری از میان جامعه آماری گسترده‌ای از ساختمان‌های مسکونی در هر منطقه به دست می‌آیند. تحلیل‌های آماری به منظوراستخراج یک ساختمان واقعی، که ویژگی‌هایی شبیه میانگین ویژگی هندسی و ساختاری جامعه آماری را داشته باشد، استفاده می‌شود.

۳. تعیین نمونه مجازی که عملکردی مشابه با عملکرد ساختمان‌های مشابه داشته باشد. این نمونه بر اساس تحلیل‌های آماری و از میان شاخصه‌های پرتکرار در جامعه آماری مرتبط به دست می‌آید. این کانسپت در مطالعات مشابه دیگر (Sartori et al., 2009; Caputo et al., 2013) نیز استفاده شده است.

این مطالعه با تمرکز بر اقلیم معتدل و مرطوب ناحیه خزری، نمونه‌های مسکونی شهر بابلسررا تحت پوشش قرار می‌دهد به دلیل عدم دسترسی به جزئیات مصرف انرژی ساختمان‌های مسکونی روش سوم را مبنای کارخود قرار داده است. در روش سوم الگوهای ارائه شده بیشترین ویژگی مربوط به اکثریت نمونه‌ها ی مسکونی را ارائه می‌کند و می‌تواند مبنای مطالعات گسترده‌تر در برنامه‌های راهبردی بهسازی مصرف انرژی باشد.

۵- بررسی وضعیت شهر بابلسر و نمونه‌های مسکونی

شهر بابلسر درمنطقه معتدل و مرطوب در حاشیه دریای خزر واقع شده است. بر اساس گونه‌بندی جغرافیایی ارائه شده در مبحث ۱۹ مقررات ملی، نیاز ساختمان‌های این شهر و اکثر شهرهای استان مازندران به انرژی گرمایشی و سرمایشی کم می‌باشد. این در حالی است (Mehr News Agency, ID:1051942, 2010) که شدت مصرف انرژی واحدهای مسکونی در استان مازندران ۳۵۰ تا ۴۰۰ کیلو وات ساعت بر مترمربع در سال و حدودا ۷ برابر شدت مصرف انرژی در جهان است. اگر چه در اقلیم معتدل و مرطوب مازندران ساختمان‌های مسکونی سنتی از بهترین و کم مصرف‌ترین نمونه‌های ساختمانی این منطقه می‌باشد ولی امروزه به دلایل متعددی ساختمان‌ها برای تامین آسایش حرارتی وابسته به مصرف انرژی بوده و طراحی‌های جدید به جای تطابق و سازگاری با محیط، بیشتر به سمت جدا شدن از شرایط ناسازگار اقلیمی و ایزوله کردن ساختمان سوق داده شده‌اند. لذا بهینه‌سازی ساختمان‌ها در عایق‌بندی مناسب‌تر و استفاده از تاسیسات با بهره‌وری بالا معنی پیدا می‌کند. این رویکرد باعث ضعف طراحی‌های معماری و نادیده گرفتن معماری‌های پسیو خواهد شد.

روند گسترش شهر بابلسر (Mirkatouli, 2012) در تصویر شماره ۱ نشان داده شده است. رنگ‌های مختلف، به ترتیب شماره‌گذاری مراحل توسعه شهر از پنج قرن پیش تا کنون را نشان می‌دهد. ساختمان‌های مسکونی قابل استفاده و موجود حداکثر ۵۰ سال قدمت دارند. و ساختمان‌های با قدمت بیشتر یا تخریب شده‌اند و یا متروکه و بدون استفاده مانده‌اند. به دلیل وجود باغات و زمینهای کشاورزی که به مرور زمان از بین رفته‌اند، پراکندگی نمونه‌های مختلف ساختمان‌های مسکونی، در تمام سطح شهر و تقریبا به طور یکسان دیده می‌شود. بنابراین روند تغییر ساختار مسکن هم از نظر معماری و سازه با نفشه توسعه شهر تطابق کامل ندارد. البته در طی دهه اخیر ساختمان‌های آپارتمانی بلند، بیش از پنج طبقه، در حاشیه ساحل بیشتر به چشم می‌خورند. بنابراین توزیع انتخاب نمونه‌ها به طور تقریبا یکسان در سطح شهر انجام گردید.

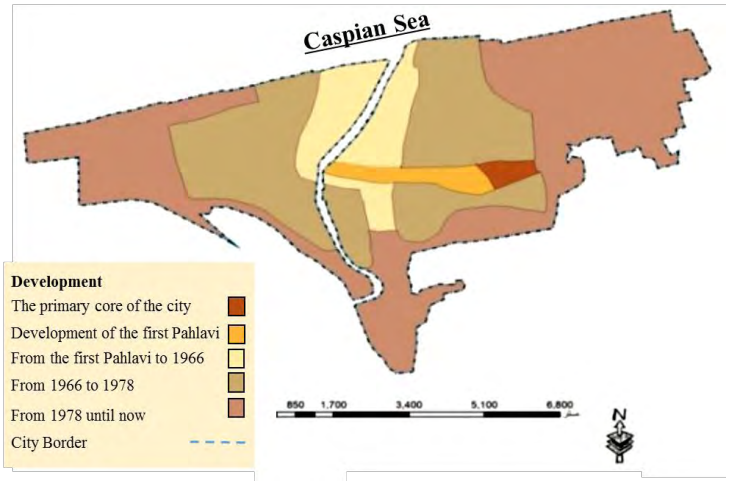


Fig. 1 The expansion and development process of Babolsar City (Source: Mikartolet et al., 2011)

براســـاس آخرین آمار اعلام شـــده از مرکز آمار نفوس و مسکن سال ۹۵ ، تعداد ۴۵۵۱۴ واحد مسکونی در شهرستان بابلسر در حال استفاده بوده‌اند. توزیع این واحدهای مسکونی بر حسب متراژ زیر بنا ساختمان در تصویر ۲ نشان داده شده اســـت. ســـاختمـان‌هـا با زیربنای بین ۷۶- ۱۵۰ مترمربع بیشترین درصد را به خود اختصاص داده‌اند.

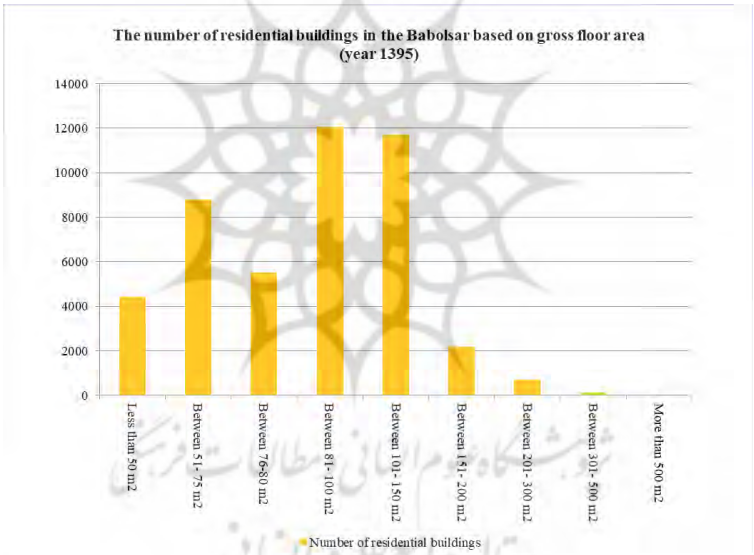


Fig. 2 Frequency of residential buildings in Babolsar based on the 2016 National Population and Housing Census

۵- تـعـیـیـن جـامـعـه آمـاری برای اســتخراج تیپولوژی ساختمان‌های مسکونی در بابلسر

تعداد نمونه‌های مســکونی با اســتفاده از فرمول کوکران (فرمول شـماره ۱)، با سطح اطمینان ۹۵٪ حاصل گردید. بر این اســاس تعـداد نمونه‌ها ۳۸۱ مورد تعیین شـــد. در این مطالعه ۴۰۰ نمونه سـاختمانی برداشـت شد که ۱۶ مورد به دلیل نقص در اطلاعات از جامعه آماری حذف گردید.

$$n=\frac{\frac{z^2pq}{d^2}}{1+\frac{1}{N}\left(\frac{z^2pq}{d^2}-1\right)} \qquad (۱)$$

برای انتخاب جامعه آماری ابتدا بر اسـاس نقشـه توسـعه شـهر بابلسـر (تصـویر ۱) در۵ منطقه، متناسب با وسعت هر منطقه، نمونه‌ها به طور تصـادفی انتخاب شدند. با این فرض که سـاخت و سـاز در هرمنطقه، متناسـب با زمان توسعه از ویژگی‌های مشـــترک بیشـــتر با پراکندگی کمتری برخوردار باشـد و در محله‌های قدیمی‌تر بناهای سـنتی مسکونی و در محله‌های جدید ســـاختمان‌های آپارتمانی بیشـــتری احداث شـــده باشـــد. ولی بر خلاف انتظار در مراحل اولیه برداشـــت مشخص گردید که نوع ساخت ابنیه در تطابق کامل با مرحله شکل‌گیری آن منطقه نمی‌باشد؛ به دلیل اینکه ساختمان‌های قـدیمی در محلـه‌هـای قـدیمی‌تر اکثرا تخریـب شـــده و

ساختمان‌های مسکونی آپارتمانی جایگزین شده بودند. لذا در مرحله بعد برداشت‌ها بدون توجه به محله به صورت تصادفی و هدفمند، در تطابق با نمودار شماره ۱ و در ۸ گروه مشخص شده، بر اساس زیربنا، انتخاب شدند. در نهایت ۳۸۴ نمونه ساختمان مسکونی با توزیعی مطابق با تصویر ۳ مورد بررسی قرار گرفت.

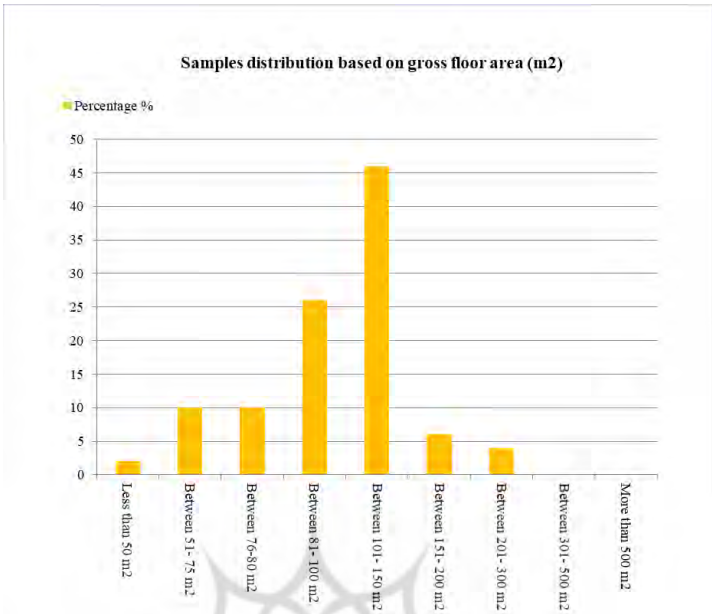


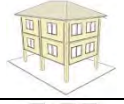
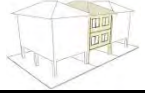
Fig. 3 Frequency of samples (in %)

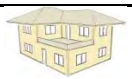
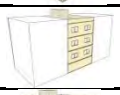
۶- دسته‌بندی ساختمان‌ها

به منظور استخراج کلیه اطلاعات و دسته‌بندی ساختمان‌ها پرسشنامه‌ای مشتمل بر اطلاعات عمومی ساختمان، مشخصات معماری و جزئیات ساخت موثر در مصرف انرژی، مصرف انرژی سالانه گاز و برق تدوین گردید. مشخصات عمومی شامل اطلاعاتی چون زمان ساخت، نوع ساختمان (ویلایی یا آپارتمانی)، تعداد طبقات، و تعداد واحد در هر طبقه؛ مشخصات معماری شامل کروکی سایت، چیدمان فضاهای داخلی بر اساس زون‌های کنترل شده/ کنترل نشده/ در تماس با هوای آزاد؛ و جزئیات ساخت مشتمل بر تمامی مشخصات فیزیکی بنا (Kordjamshidi, 2011) اعم از مساحت بازشوها، مصالح ساخت، طول سایبان‌ها، جهت‌گیری،...در پرسشنامه درج گردید. مصرف سالانه گاز و برق بر اساس شماره اشتراک نیز در پرسشنامه گنجانده شد که متاسفانه به دلایلی دسترسی به این اطلاعات حاصل نگردید.

ساختمان‌ها به صورت ویلایی یا آپارتمانی بنا شده‌اند و می‌توان آن‌ها را بر اساس شاخصه‌های معماری: حجم کلی بنا، سطح تماس جداره خارجی با هوای آزاد یا واحد همسایه و زمان ساخت دسته‌بندی نمود. کانسپت حجمی ارائه شده در جدول ۱ تقریبا کل ناحیه خزری را پوشش می‌دهد.

Table 1: Residential building typology matrix in the Babolsar city

Building type	Construction year class	Building image	Building concept/ 3D model	General specifications	Number of households
House 1	1961-1991			Detached house, Floor above ground (1m), Solid structure, Loadbearing wall, one storey	Single Family
House 2	1971-1991			Semi attached house, Floor above ground (1m), Solid structure, Load bearing wall, one/ two storey	Single Family
House 3	1991-present			Detached house, frame structure, one or two storey, Sub- Pilot/ Breezeway	Single Family
House 4	1996-present			Attached house, frame structure, one or two storey, Sub- Pilot/ Breezeway	Single Family

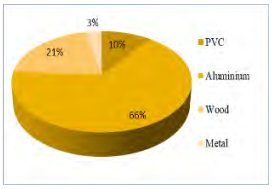
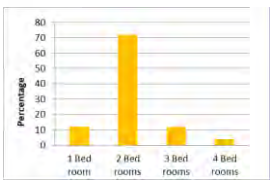
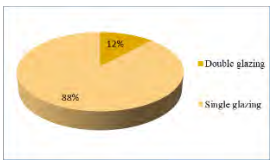
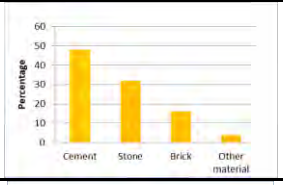
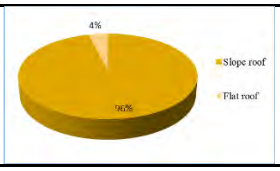
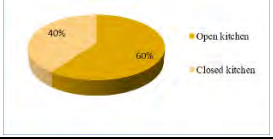
House 5	1996-present			Detached house, Duplex, Solid structure	Single Family
House 6	1996-present			Detached house, Duplex, Sub-Pilot/ Breezeway	Single Family
Apartment 1	1996-present			Detached apartment, Frame structure, Up to 3- 4 storey	Multi Family
Apartment 2	1996-present			Attached apartment, Frame structure, Up to 3 to 4 storey	Multi Family
Apartment 3	2001-present			Detached apartments, Frame structure, More than 4 storey	Multi Family
Apartment 4	2001-present			Attached apartments, Frame structure, More than 4 storey	Multi Family

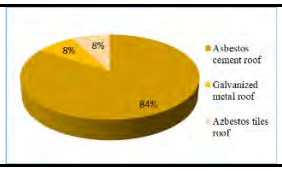
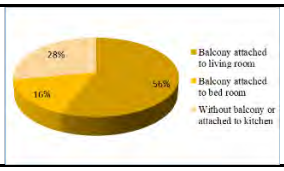
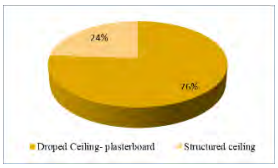
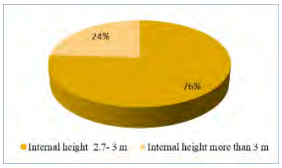
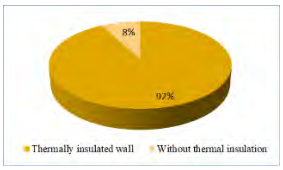
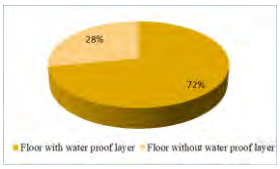
ویژگی‌های کلی و جزئیات اجرایی هر یک از دو گروه ویلایی و آپارتمانی بر اساس بیشترین فراوانی به دست آمده از هر شاخصه در تحلیل‌های آماری به شرح ذیل استخراج گردید[1].

۱-۶- مسکن‌های ویلایی

ساختمان‌های ویلایی قدیمی با قدمت بیش از ۳۰ سال اکثرا" بازسازی شده بودند. ۴۸٪ نمونه‌های ویلایی برداشت شده، که زمان ساخت آن‌ها قبل از سال ۱۳۷۵ بوده ، در این دسته قرار دارند. ساختار ۵۴٪ نمونه‌ها با مصالح بنایی و ۴۶٪ اسکلت با سازه بتنی می‌باشند. جدول شماره ۲ ویژگی‌های استخراج شده برای این دسته را نشان می‌دهد. ستون اول مشخصه‌هایی که در پرسشنامه ذکر شده‌است، ستون دوم نتیجه بررسی آماری و ستون سوم مشخصه انتخابی بر اساس بیشترین فراوانی را نشان می‌دهد. در اینجا ویژگی‌هایی مانند عایق حرارتی بام که در تمامی نمونه‌ها وجود نداشت ذکر نشده است. و نهایتا مشخصه با فراوانی بیشتر برای درج در نمونه تیپولوژی انتخاب شده است. به عنوان مثال مصالح استفاده شده برای پروفیل پنجره‌ها در ۶۸٪ نمونه‌ها آلومینیومی، ۲۱٪ PVC ، ۷٪ چوبی و ۴٪ فلزی بوده‌اند. برخی از نمونه‌های قدیمی هر دو نوع پروفیل چوبی و آلومینیومی را داشتند. در این نمونه‌ها پنجره‌های قدیمی چوبی فرسوده تعویض شده بودند و بیشترین مصالح استفاده شده برای آن‌ها ثبت گردید. این پنجره‌ها تک‌جداره بوده و ۷٪ پنجره دو جداره ثبت شده در این گروه مربوط به ساختمان‌های با پنجره PVC می‌باشد. بنابراین پنجره آلومینیومی تک جداره به عنوان تیپ برای ساختمان‌های ویلایی لحاظ گردید.

Table 2: General specifications of Houses (Villa)

Building parameter	Graphs of statistical analyses	Choice for Typology	Building parameter	Graphs of statistical analyses	Choice for Typology
Window frame		Aluminum	Number of Bedrooms		Two or three beds Area of sleep zone 24-32 m2
Window		Single glazing window	Facade Materials		Cement Stone
Roof type		Slope roof	Connecting kitchen with Hall and Living room		Kitchen style (Open)

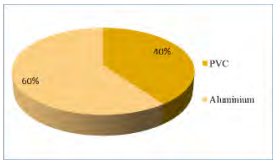
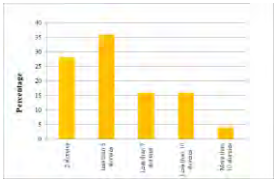
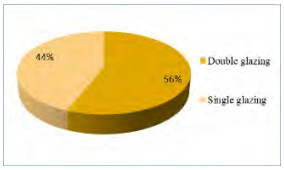
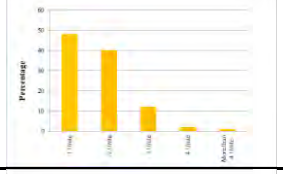
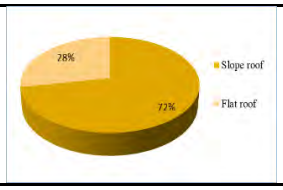
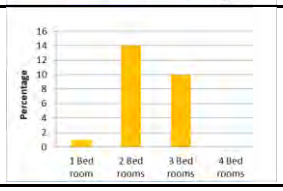
Roof cover		Asbestos	Terrace position		Terrace attached to the living room
Ceiling material		Plaster board	Internal height (finished floor – under ceiling)		3 m
External wall insulation		Non-insulated	Kitchen Floor Waterproofing		Waterproof insulation

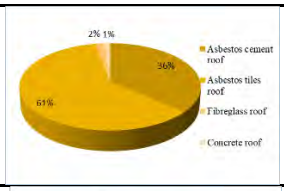
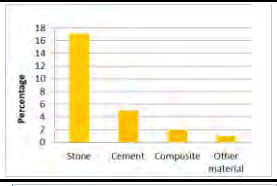
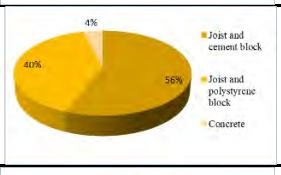
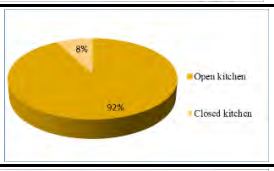
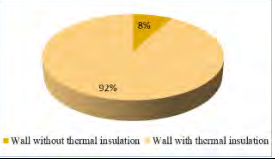
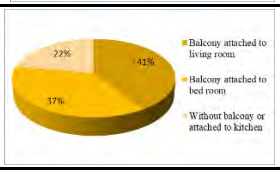
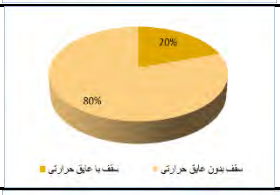
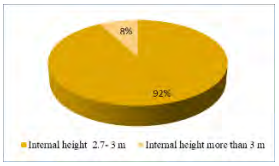
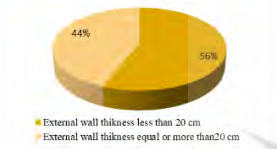
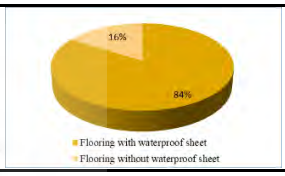
۲-۶- ساختمان‌های آپارتمانی

احداث ساختمان‌های چند طبقه و آپارتمانی در این منطقه تقریبا" از اوایل دهه ۷۰ آغاز گردیده است. ابتدا خانه‌های مسکونی ۲ یا ۳ طبقه که در هر طبقه یک واحد ساختمانی قرار داشت وسپس آپارتمان‌های بیش از ۴ طبقه با ۲-۴ واحد در هر طبقه به طور پراکنده در سطح شهر احداث شدند. ساختمان‌های آپارتمانی ۵ طبقه و ۳ واحد در هر طبقه بیشترین تعداد را در بین نمونه‌ها به خود اختصاص دادند. با توجه به اینکه هدف این مطالعه ارائه تیپولوژی برای واحدهای آپارتمانی می‌باشد، لذا تعداد طبقات تاثیری بر نوع تیپولوژی نداشته و در این مطالعه لحاظ نشده است. اگر چه ارتفاع هر واحد ساختمانی از سطح زمین بر روی میزان بهره وری از نور خورشید و تهویه طبیعی ساختمان تاثیرگذار است.

متاسفانه در مقررات ملی ساختمان مبحث ۱۹ تاثیر تهویه طبیعی بر عملکرد حرارتی بنا و کاهش مصرف انرژی دیده نشده است، این چالش در بسیاری از برنامه‌ها و آیین‌نامه‌های ساختمانی دیگر کشورها نیز وجود دارد (Kordjamshidi et.al, 2006). بحث تهویه طبیعی در ساختمان‌های امروزی بحث نسبتا پیچیده ایست و در محدوده این مطالعه نمی‌گنجد لذا در مطالعه دیگری به آن پرداخته خواهد شد. بهره‌وری از نور خورشید در تیپ ارائه شده بر مبنای موقعیت مکانی در سایت و در ساختمان به راحتی قابل بررسی است و تاثیری بر نوع تیپولوژی نخواهد داشت. سایر مشخصات برای واحدهای آپارتمانی در جدول شماره ۳ خلاصه شده است.

Table 3: General specifications of apartment housing

Building parameter	Graphs of statistical analyses	Choice for Typology	Building parameter	Graphs of statistical analyses	Choice for Typology
Window frame		Aluminum	Number of floors		5 Storey
Window		Double Glazed	Number of units per floor		2-3 unites
Roof type		Slope roof	Number of bedrooms		Two or three bedrooms, Area of sleep zone 24-30 m2

Roof cover		Asbestos tiles roof	Facade Materials		Stone attached to external wall
Interior floor/ ceiling		Joists and thermal insulation blocks	Connecting kitchen with Hall and living room		kitchen style (Open)
External wall thermal insulation		Non-insulated	Balcony position		Balcony connected with both living and sleeping room
Roofing Thermal Insulation		Non-thermal insulation	Internal height (finished floor – under ceiling)		2.85 m
Exterior wall thickness		Front external wall 20 cm Other Walls 12 cm	Kitchen Floor Waterproofing		Waterproof insulation

۷- دسته‌بندی ساختمان‌ها بر اساس پلان

پلان تیپ، نشـــان‌دهنده الگوی طراحی معماری موجود می‌باشـــد. الگوی مجازی باید ویژگی‌های غالب گروه خود را داشـته باشـد. در مرحله قبل با اسـتفاده از اطلاعات آماری، ویژگی‌های پرتکرار اسـتخراج شـدند؛ برای اسـتخراج روابط داخلی و جـایگیری فضـــاهـای داخلی پلان‌هـای نمونـه سـاده‌سـازی شـده و در دو حوزه: سـرویس‌های بهداشتی به عنوان فضـــای کنترل نشـــده، اتـاق‌هـای خواب/ پـذیرایی/ آشـپزخانه به عنوان فضـاهای کنترل شـده در یک کانسـپت شـماتیک از پلان تفکیک شـدند. بدین ترتیب مسـاحت هر زون و موقعیت زون‌ها نسبت به هم به سادگی قابل تشخیص بوده و برای تعیین کانسپت تیپ مورد استفاده قرار گرفتند.

مراحل استخراج تیپولوژی پلان مطابق پروسه نشان داده شـده در تصـویر شـماره ۴ انجام گردید. با توجه به تصـاویر شـماره ۲و۳، مشـخص اسـت که بر اساس مساحت، بناها را می‌توان در دو گروه ویلایی و واحـدهای آپارتمانی و هر گروه را سـه دسته: کمتر از ۱۰۰ متر مربع (A) ، ۱۰۰- ۱۵۰ متر مربع (B)،۱۵۰- ۲۰۰ متر مربع (C) - (D) و بیش از ۲۰۰ متر مربع (E)[۲] قرار داد. معیـار اصـــلی تفکیک تیپولوژی‌ها فاکتورهای تاثیرگذار بر عملکرد حرارتی بر اســـاس آیین‌نامه مبحث ۱۹ می‌باشد. بر همین اساس مساحت زونهای کنترل شـده، کنترل نشـده، مسـاحت جداره‌های مجاور هوای آزاد، مجاور فضـای کنترل نشـده، مسـاحت بازشوها و جداره‌های نورگـذر در طراحی تیپولوژی اهمیت دارند. به همین منظور بـا اســـتفـاده از روش کـدگذاری باز (Nikghadam, 2013) مبتنی بر هدف تعیین شـده برای هر نمونه مشـخصات فوق اســـتخراج و غـالـب‌ترین حالت برای اســـتفاده در طراحی تیپولوژی به کار گرفته شد.

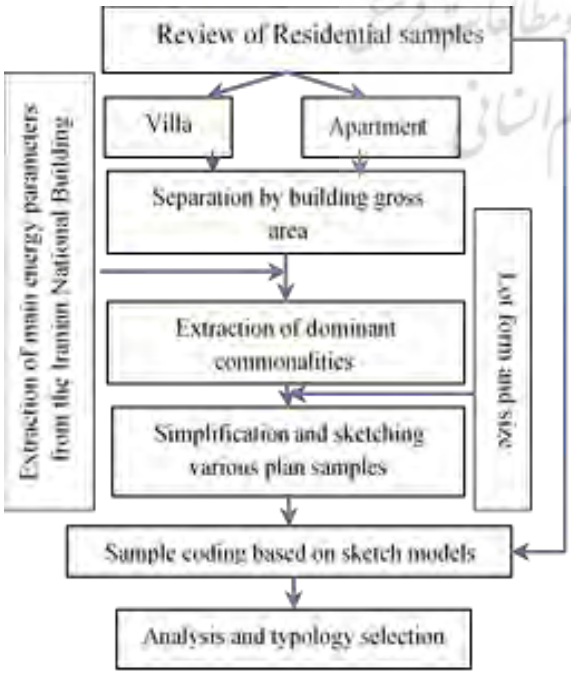


Fig. 4 The process of extracting plan typology

در محاسبات انتقال حرارت، مساحت بدنه خارجی مجاور فضای کنترل نشده یا مجاور هوای آزاد، اهمیت دارد. بررسی‌های اولیه بر روی نمونه‌های استخراج شده نشان داد دامنه تغییرات سطح خارجی بنا برای نمونه‌های با سطح زیربنای مشابه بین ۲-۸٪ تغییر خواهد کرد، که تاثیر قابل توجهی در روش‌های بهکارگیری بهینه‌سازی مصرف انرژی و برچسب انرژی ساختمان‌های مشابه نخواهد داشت. لذا محاسبات مربوط به انتقال حرارت و مصرف انرژی سالانه برای بررسی عملکرد حرارتی بنایی با مساحت مشخص، در صورتی که سایر جزئیات اجرایی بنا مانند عایق‌بندی و مصالح به کار برده شده در دو بنا مشابه باشند می‌تواند تا ۹۰٪ مطابق با محاسبات مربوط به تیپولوژی استخراج شده برای همان گروه باشد.

۷-۱- تیپولوژی مسکن‌های ویلایی

اصولا" کشیدگی و جهت ساختمان‌ها مطابق با ابعاد و جهت زمین است. بررسی زمین‌های موجود نشان داد که غالبا پلان‌ها را می‌توان به دو فرم مربع یا مستطیل تلخیص نمود. در مرحله بعد، حالت‌های ممکن جایگیری فضاهای داخلی در پلان برای دو فرم مربع و مستطیل ترسیم گردید. تصویرشماره ۵ نمونه ترسیم شده برای مسکن‌های ویلایی زیر ۱۰۰ متر (A) در زمینه مربع را نشان می‌دهد.

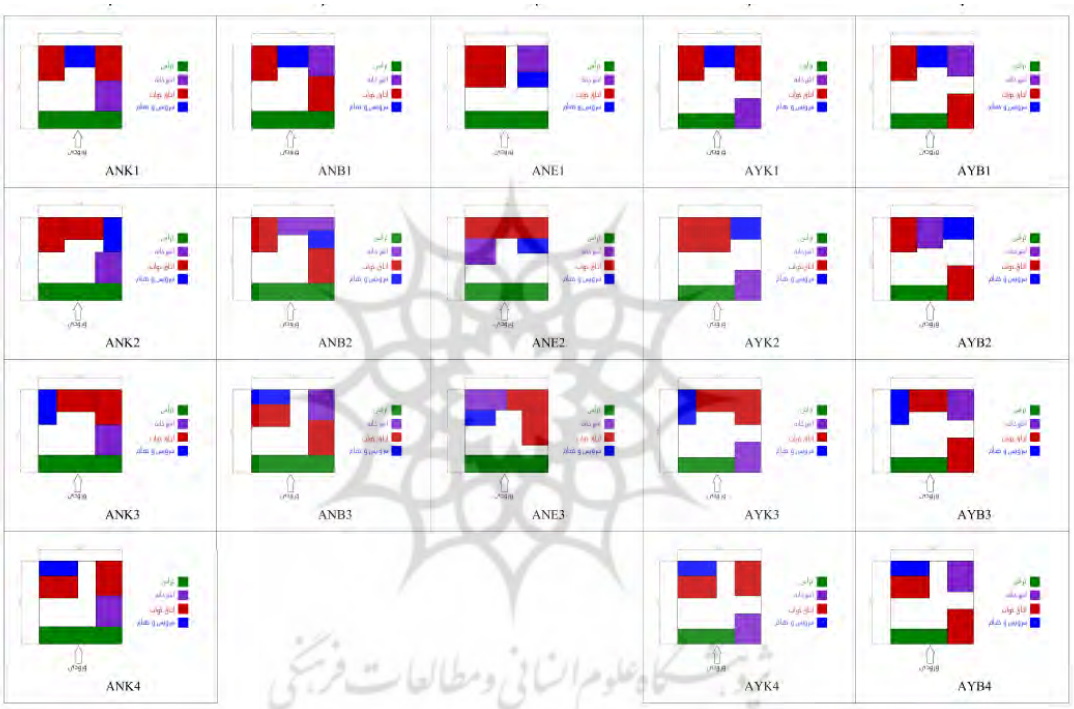
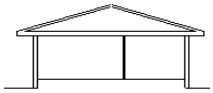
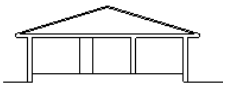
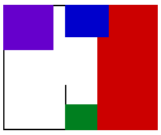
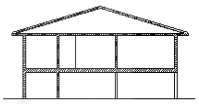
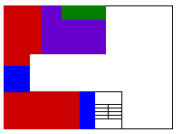
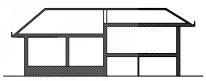
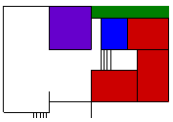


Fig. 5 An example of possible concepts for samples with under 100 m^2 floor area

کروکی‌های برداشت شده بر اساس تصویر فوق کدگذاری شدند و نمونه پرتکرار به عنوان کانسپت طراحی پلان برای تیپولوژی مسکن گروه مشخص شده مورد استفاده قرار گرفت. باتوجه به اینکه کشیدگی پلان تاثیری کمتر از ۱۰٪ درمساحت خارجی بدنه ساختمان‌های هم گروه دارد، کانسپت مربع/ مستطیل به عنوان کانسپت ساده‌تر برای استخراج تیپولوژی به کار گرفته شد.

مشخصات تیپولوژی‌های استخراج شده در جدول شماره ۴ ارائه شده است. در این دسته‌بندی، مساحت جداره‌های مجاور فضای کنترل نشده و هوای آزاد برای هر نمونه بر مبنای نوع واحد همسایگی (جدول شماره ۱) می‌تواند متفاوت باشد؛ بنابراین در اینجا صرفاً مساحت جداره‌ها برای هر تیپ ارائه شده است. بدیهی است در صورت استفاده از این نمونه‌ها در مطالعات دیگر، سطوح کنترل نشده باید بر مبنای موقعیت تعریف شده برای واحدهای همسایگی محاسبه شوند. موقعیت تعریف شده می‌تواند هر یک از حالت‌های ترسیم شده در جدول شماره ۱ باشند.

Table 4: Typology of Houses (Villas)

Structure	Exterior walls (m^2) Doors	Window	West	East	South	North	Area (m^2)		Schematic concept		Area (m^2)	Type
Sold structure/ Load bearing	5	9.6	32.7	Conditioned= 24.6 Unconditioned = 8.1	18	19	12	Kitchen			85	A
							19	Sleeping zone				
							7	Service (unconditioned))				
							47	Hall and Living room				
Sold structure/ Load bearing	5	10.2	36	34.2	30.3	Conditioned = 23.7 Unconditioned = 3.7	16	Kitchen			120	B
							36	Sleeping zone				
							8	Service (Unconditioned)				
							57	Hall and Living room				
							3	Porch				
Concrete structure	4.8	10.8	Conditioned = 32.4,	38.4	Conditioned = 27.6, Unconditioned = 3.9	34.5	16	Kitchen			145	C
							38	Sleeping zone				
							8	Services				
							63	Hall and Living room				
							4	Balcony				
							8	Stair box (Unconditioned)				
							10	Ground Floor Storage				
Sold structure/ Load bearing	5	12	30.9	29.1	38.4	Conditioned = 31.2 Unconditioned = 7.5	18	Kitchen			170	D
							45	Sleeping zone				
							12	Service (Unconditioned)				
							82	Hall, Living room, Corridor				
							13	Ground floor Storage & Service (Unconditioned)				

The structural characteristics of these samples are defined in the Table 2. For each bedroom and kitchen, a window with an area of 1.8 square meters, for living room windows with the total area of 3 square meters would be considered. If living room is overlooking the balcony, windows area would be 4 square meters. The building eave is at least 60cm.

۲-۷- تیپولوژی مسکن آپارتمانی

آپارتمان‌ها بر مبنای تعداد طبقات و تعداد واحدهای ساختمانی دسته‌بندی می‌شوند. واحدهای مسکونی یک آپارتمان ضرورتا و اساسا مشابه نیستند و الزاما تاسیسات مشابهی هم ندارند، از طرفی برچسب انرژی معمولا برای هر واحد مسکونی به طور مستقل صادر می‌شود. ضمن اینکه محاسبات مربوط به مصرف انرژی در هر واحد مستقل از سایر واحدها است، لذا در این مطالعه تیپولوژی واحدهای مسکونی آپارتمانی به صورت مجزا ارائه میشود. لازم به ذکر است که در اکثر آپارتمان‌ها مصرف انرژی بوسیله دو کنتور مشترک برای همه واحدها محاسبه می‌شود، اما به دلیل اینکه در پروسه ممیزی انرژی و بهسازی اقدامات برای هر واحد متقاضی به طور مجزا انجام می‌شود، در اینجا تیپولوژی‌ها برای واحدهای آپارتمانی ارائه شده‌اند نه مجموعه آپارتمان. از بررسی قرارگیری واحدهای مسکونی دریک طبقه آپارتمانی مشخص گردید که این واحدها اکثراً کانسپتی مستطیل یا L شکل دارند. تصویر شماره ۶ این کانسپت را برای سه نمونه پرتکرار در جامعه آماری این مطالعه نشان می‌دهد.

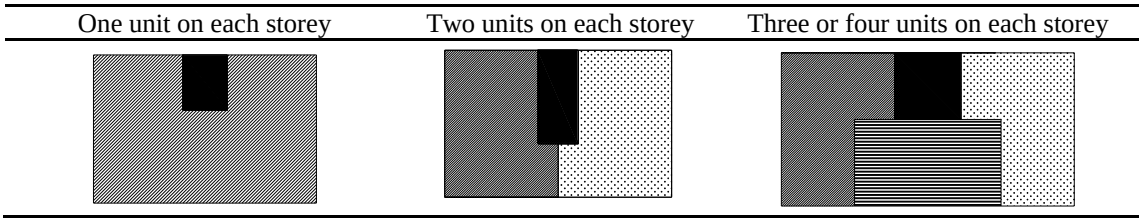
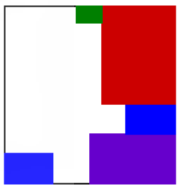
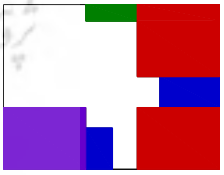
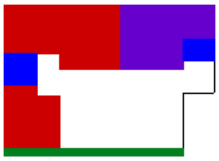
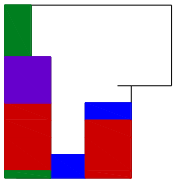


Fig. 6 Unites neighborhood in apartments typology

استخراج تیپولوژی واحدهای آپارتمانی مشابه واحدهای ویلایی به شیوه تصویرسازی و کدگذاری و بر اساس انتخاب شاخصه‌های پرتکرار، در سه گروه D, C, B, A برای واحدهای یک – سه خوابه تعیین گردید. چهار تیپولوژی تعریف شده برای دو کانسپت مستطیل و L شکل از نظر چیدمان فضاهای داخلی متفاوت هستند، در اینجا مساحت پوسته خارجی (فصل مشترک فضاهای کنترل شده با هوای آزاد یا فضای کنترل نشده) به عنوان مهم‌ترین عامل تاثیرگذار بر عملکرد حرارتی اهمیت دارد. سطوح محاسبه شده برای واحدهای با سطح زیر بنا و موقعیت قرارگیری مشابه حداکثر ۸٪ تفاوت خواهد داشت، به عبارتی، هر گونه عملیات بهسازی بر روی نمونه تیپولوژی می‌تواند تاثیری مشابه بر عملکرد حرارتی ساختمان‌های هم گروه (مربع یا L شکل) داشته باشد؛ بر همین اساس و بر مبنای کانسپت پرتکرار در جامعه آماری این مطالعه، کانسپت مستطیل برای واحدهای با مساحت کمتر از ۸۰ متر (A) و کانسپت L برای سایر تیپولوژی‌ها انتخاب شده‌اند. مشخصات تیپولوژی‌های واحدهای آپارتمانی به اختصار در جدول شماره ۵ نشان داده شده است.

Table 5: Apartment typologies

Structure	Exterior walls (m^2) Door	Window	West	East	South	North	Area (m^2)		General concept	Area (m^2)	Position	Type
Concrete frame structure	3	7.2	Conditioned = 19.1 Unconditioned= 3.42	Conditioned = 16.25 Unconditioned = 3.42	Conditioned = 9.45 Unconditioned = 4.85	12.9	8	Kitchen		48	Middle Square in the concept with three unites	A
							12	Sleeping zone				
							5	Services				
							22	Hall and Living room				
							1	Balcony				
Concrete frame structure	3	11.6	21	Conditioned = 20.80 Unconditioned = 4.25	Conditioned = 21.42 Unconditioned = 3.7	21.9	12	Kitchen		84	Middle Square in the concept of three unites	B
							25	Sleeping room				
							6	Services				
							39	Hall and Living room				
							2	Balcony				
Concrete frame structure	3	14.7	Conditioned = 19.95 Unconditioned = 5.7	Conditioned = 21.4 Unconditioned = 4.4	28.87	32.1	18	Kitchen		120	L in the concept of two, three and four units	C
							40	Sleeping zone				
							8	Services				
							48	Hall and Living room				
							4	Balcony				
Concrete structure	3	23	28.79	Conditioned = 32.63 Unconditioned = 4.27	Conditioned = 27.75 Unconditioned = 8.55	27.7	18	Kitchen		170	L in the concept of three or four units	D
							48	Sleeping zone				
							11	Services				
							85	Hall, Living room and corridor				
							12	Balcony				

The structural characteristics of these samples are defined in Table 3. For each bedroom and kitchen, a window with an area of 1.8 square meters, for living room windows with the total area of 3 square meters would be considered. If living room is overlooking the balcony, windows area would be 4 square meters. The building eave is at least 60 cm.

۸- بررسی عملکرد حرارتی تیپولوژی‌های استخراج شده، بر اساس ضوابط مقررات ملی مبحث ۱۹

عملکرد حرارتی ساختمان‌ها را می‌توان بر مبنای مصرف انرژی سالانه، روز درجه گرمایش /سرمایش سالانه یا ضریب انتقال حرارت بنا بررسی کرد (Kordjamshidi,2011). در اینجا ملاک ارزیابی بر اساس ضوابط مقررات ملی مبحث ۱۹، به "روش کارکردی" و محاسبه ضریب انتقال حرارت طرح انتخاب شده است، تا بر آن اساس راهکارهای بهینه‌سازی نیز ارائه گردد. پس از محاسبه ضریب انتقال حرارت طرح و ساختمان مرجع، مراحل بهسازی براساس راهکارهای مورد استفاده در بازار مسکن امروزی اعمال و تاثیر آن راهکارها بر ضریب انتقال حرارت طرح در مقایسه با ضریب انتقال حرارت مرجع مورد بررسی قرار گرفت.

جدول ۶ نتیجه محاسبات ضریب انتقال حرارت مرجع ، ضریب انتقال حرارت طرح و ضریب انتقال حرارت طرح پس از بهسازی را برای هر الگو نشان می‌دهد[۳]. مقایسه ضریب انتقال حرارت الگوهای تیپ در جدول ۶ نشان می‌دهد که هیچ یک از الگوهای موجود شرایط مندرج در مقررات ملی را دارا نمی‌باشند و اقدامات اولیه برای بهسازی عملکرد حرارتی آن‌ها ضروری است. ضریب انتقال حرارت الگوها بسته به طراحی معماری و در واقع بسته به مساحت ساختمان تغییر می‌کند؛ دامنه تغییرات در نمونه‌های ویلایی بیشتر از تغییرات در نمونه‌های آپارتمانی است؛ این واقعیت به دلیل مساحت بیشتر پوسته خارجی ساختمان‌های ویلایی نسبت به آپارتمانی است. با توجه به اینکه الگوهای ارائه شده وضعیت موجود را نشان می‌دهند و امکان تغییرات زیادی در آن‌ها وجود ندارد، سه مرحله پیشنهادی شامل تغییر بازشوهای خارجی به پنجره‌های دو جداره با یک لایه هوا به فاصله ۶ میلیمتر/پروفیل پی وسی ، افزودن یک لایه عایق حرارتی (یونولیت به ضخامت ۵ سانتیمتر) بر روی دیوارهای خارجی به جز نمای اصلی و سپس تغییر نما با افزایش لایه عایق حرارتی برای همه الگوها؛ افزودن یک لایه عایق حرارتی (۵ سانتیمتر فوم پلی یورتان) زیر بام شیب‌دار و روی سقف برای نمونه‌های ویلایی انجام گردید. لازم به ذکر است که عایق سقف فقط برای نمونه‌های ویلایی اعمال گردید چون نمونه‌های آپارتمانی واحدهای میانی، مجموعه در نظر گرفته شده‌اند. بدیهی است که عایق سقف برای بالاترین واحد با سقف مجاور هوای آزاد بایست اعمال گردد.

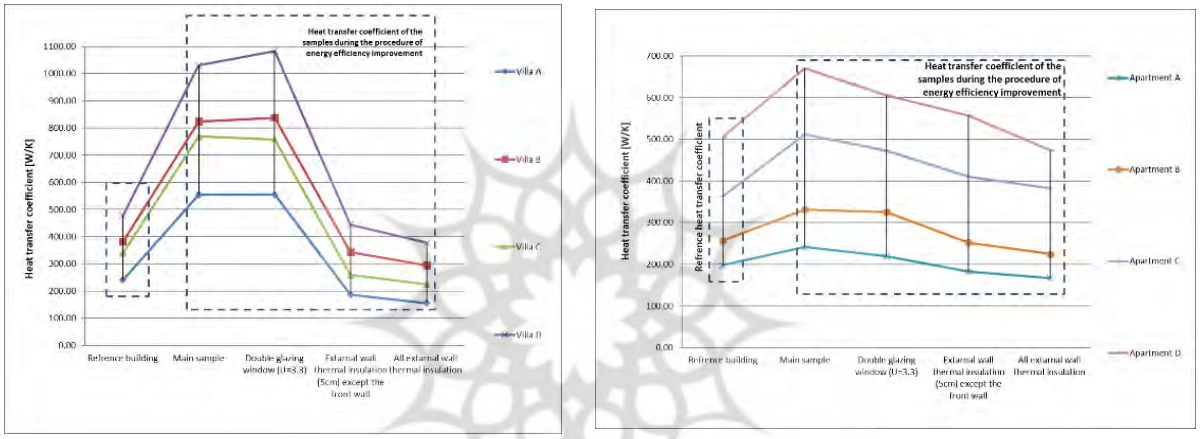
Table 6: Heat transfer coefficient of residential building typologies

Sample type		Reference heat transfer coefficient [W/K]	Sample's Heat transfer coefficient [W/K]	Heat transfer coefficient after improvement [W/K]	Reduction of heat transfer coefficient after improvement
House (Villa)	A	240.42	554.12	155.59	71.9%
	B	382.05	823.58	294.92	64.2%
	C	340.20	769.40	225.229	70.7%
	D	477.45	1084.22	377.85	63.3%
Apartment	A	198.13	241.23	167.24	30.6%
	B	257.25	331.49	224.95	32.1%
	C	363.3	511.84	382.343	25.3%
	D	505.62	669.69	473.88	29.2%

بررسی مقایسه‌ای تغییرات کمی ضریب انتقال حرارت هر الگوی ساختمانی در مقایسه با نمونه مرجع درشکل ۵ نشان داده شده است. با تغییر پنجره ساده تک جداره به پنجره دو جداره، ضریب انتقال حرارت درنمونه‌های ویلایی ۱- ۴٪ و در نمونه‌های آپارتمانی ۲-۹,۵٪ کاهش یافتند. تزریق یک لایه فوم پلی یورتان به ضخامت ۵ سانتی‌متر بر روی سقف داخلی مسکن‌های ویلایی منجر به ۴۰-۴۶٪ کاهش ضریب انتقال حرارت می‌شود. دو مرحله فوق‌الذکر راهکارهایی هستند که عموماً از طرف کارشناسان برای کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌های مسکونی به مالکان مسکن پیشنهاد می‌شود و با حداقل تغییرات در ساختمان اجرای آن‌ها امکان‌پذیر هست. اما با این تغییرات ضریب انتقال حرارت ساختمان در مقایسه با ضریب مرجع هنوزبه حداقل لازم مورد قبول نمی‌رسد. بنابراین با افزودن یک لایه عایق به دیوارهای خارجی مرحله سوم بهسازی پیشنهاد گردید. به منظور ایجاد حداقل تغییرات در بنای اصلی، ابتدا نمای ساختمان بدون تغییر و صرفا یک لایه یونولیت به ضخامت ۵ سانتیمتر (λ= ۰,۰۴۱) با روکش ماسه سیمان به دیوارهای خارجی افزوده شده. با این اقدام، تفاوت ضریب انتقال حرارت بنا و توان مرجع به طور قابل ملاحظه‌ای

کاهش می‌یابد. ضـــریب انتقال حرارت در نمونه‌های ویلایی ۵۶-۶۶٪ و در نمونه‌های آپارتمانی حدودا" ۱۷-۲۴٪ کاهش می‌یابد. بدیهی است برای بهره‌وری بیشتر جدار خارجی باید بـه طور یکدســـت عایق گردد، با عایق کردن نمای اصـــلی ســـاختمـان عملکرد حرارتی الگوهـای ویلایی و آپـارتمـانی می‌تواند تا ۷۲٪ بهبود یابد. لازم به ذکر است این تغییرات به معنی کاهش مصرف انرژی سالانه به همان نسبت نمی‌باشد.

نمودار ۳ نشـــان میدهد که الگوی تغییرات ضـــریب انتقـال حرارت نمونه‌های ویلایی مشـــابه، ولی متفاوت با الگوی تغییرات در نمونـه‌هـای آپارتمانی اســـت. تشـــابه تغییرات در هر گروه می‌تواند تاییدی بر رفتارهای حرارتی مشـــابه برای هر نوع ســـاختمان مســـکونی در گروه خاص خود بـاشـــد، بـه بیان دیگر راهکارهای ارائه شـــده برای بهسازی ساختمان‌های مسکونی در بابلسر برای نمونه‌های دیگر، مثلا" مســـکن ویلایی، بـا پلانی متفـاوت، تـاثیری مشـــابـه بـا نتـایج این مطالعه را در پی خواهد داشـــت. همچنین در بررســی‌های مقایسه‌ای و ارزیابی‌های عملکرد حرارتی ســـاختمان‌ها به منظور برچســـب‌گذاری ابنیه، دو گروه مســـکن ویلایی و آپـارتمانی به طور مجزا بایســـت بررســی و ارزش‌گذاری شـوند. این تصـاویر به وضوح تایید می‌کند که در پایان ســه مرحله بهســازی، ضـریب انتقال حرارت طرح نمونـه‌هـا کمتر از ضـــریـب انتقـال حرارت ســاختمان‌های مرجعشـان بوده و به طرحی قابل قبول بر مبنای مقررات مبحث ۱۹ تبدیل شده اند.



(A) (B)

Fig. 7 A comparison between changes in the heat transfer coefficient of residential typologies in the process of energy efficiency improvement A) Houses (Villa) B) Apartments

۹- نتیجه‌گیری

شـناسـایی تیپولوژی سـاختمان‌های مسـکونی و تدوین اطلاعات آماری مربوط به آن‌ها، راه را برای سیاست‌گذاری و هر اقدامی در زمینه بهینه‌سازی مصرف انرژی در بازار مسکن هموار می‌کنـد. این اطلاعـات برای تـدوین اســـتراتژی‌های کاربردی، شـناسـایی و پیگیری عملکرد انرژی سـاختمان‌ها ضـــروری اســـت. تیپولوژی‌های اســـتخراج شـــده نمایانگر ویژگی‌هـای ســـاختمـان‌هـای هم‌گروه خود در یـک اقلیم مشـــخص بوده و می‌تواند به عنوان بنچ مارک در ارزیابی‌ها و بررســـی‌های مقایســـه‌ای عملکرد انرژی ســـاختمان‌ها در دو مقطع ملی و محلی مورد استفاده قرار گیرد.

این مطـالعـه به عنوان بخشـــی از مطالعه جامع‌تر برای تدوین برچســـب‌های ســـاختمانی، و بر مبنای هدف کاربردی تعریف شده، تیپولوژی ساختمان‌های مسکونی شهر بابلسر را در قالب نمونه‌های مجازی مســـتخرج شـده از شـاخصـه‌های پرتکراربرای دو گروه مسـکن ویلایی و واحدهای آپارتمانی بر مبنای ویژگی‌های ســـاختاری و فرم پلان ارائه کرد. تفکیک تیپولوژی‌ها بر اساس سطح زیر بنای ساختمان برای هر گروه در چهار دســـته D, C, B, A در جداول ۴و ۵ و ویژگی‌های ساختاری آن‌ها در جداول ۲ و ۳ ارائه شده‌اند.نمونه‌های ارائه شـــده می‌تواند به عنوان ســـاختمان‌های رفرنس در هر گونه تحقیق مربوط بـه مســـکن بـه منظور ارزیـابی و پیش‌بینی عملکرد حرارتی مســـکن، تحلیـل‌هـای اقتصـــادی ، تحلیل مصـرف انرژی، تعمیرات ساختمان‌ها در جهت بهسازی مورد اســـتفاده قرار گیرند. این نمونه‌ها می‌تواند توســـط مشـــاوران انرژی در پروسه مقدماتی ممیزی انرژی برای ارائه راهکارهای ســـریع و ســـاده در مورد ســـاختمان‌های مشـــابه با استفاده از برنامه‌های مدل‌ســـازی کامپیوتری به کار برده شوند. استفاده از تیپولوژی‌ها امکان بررســـی مقایســـه‌ای و مشـــاهده جزئیات بســـتـه‌هـای مختلف مربوط به اقدامات بهینه‌ســـازی برای ساختمان‌ها در بازار بورس منطقه و زیر مجموعه‌های آن‌ها را فراهم می‌کند.

بررسی عملکرد حرارتی الگوهای استخراج شده نشان داد کـه هیچ کـدام از الگوهـا شـــرایط منـدرج در مقررات ملی ساختمان/ مبحث ۱۹، از نظر تطابق با ضریب انتقال حرارت مرجع، را دارا نمی‌بـاشـــنـد. برای بهســـازی و ارتقا عملکرد حرارتی نمونه‌ها، افزودن یک لایه عایق حرارتی به ضـــخامت ۵ ســـانتیمتر و ضـــریـب انتقال حرارت λ= ۰،۰۴۱ به بدنه خـارجی ســـاختمـان‌ها و تعویض پنجره‌ها به پنجره‌های دو جداره ضروری است.

نتـایج این مطالعه مبنایی اســـت برای مطالعات دیگر با هـدف ارزیـابی مالی، بررســـی تاثیر اقدامات مختلف بر روی هزینه ساختمان، مصرف انرژی، میزان تولید گازهای آلاینده هوا و میزان تطابق صـنعت سـاخت وسازمسکن در منطقه با مقررات و آیین‌نامه‌های ملی. پلان‌های ارائه شده در جداول ۴ و ۵ با ســـاختاری برگرفته از نتایج آماری ارائه شـــده در جداول ۲ و ۳ قابل اسـتفاده می‌باشند. در بررسی‌های مربوط بـه انتقـال حرارت و مصـــرف انرژی، فضـــاهـای مجاور هر ســـاختمان (فضـــای کنترل نشـــده یا هوای آزاد) بر اســـاس دسته‌بندی ارائه شده در جدول ۱ تعیین می‌شوند. به منظور تدقیق دامنه کاربرد تیپولوژی‌های ارائه شـــده، لازم اســـت بررســـی مقایســـه‌ای بر روی نمونه‌های مدل شـــده و عملکرد واقعی ساختمان‌های مشابه صورت گیرد تا دامنه تغییرات در پیش‌بینی محاسبات نیز مشخص شود.

۱۰- تقدیر و تشکر

این مطالعه با حمایت دانشـگاه مازندران در طی فرصـت مطالعاتی یکسـاله و نظارت مرکز تحقیقات وزارت راه مسکن و شهرسازی انجام گردید.

پی‌نوشت

۱. ســاختمان‌های مســکونی دوبلکس در زیر مجموعه ســاختمان‌های ویلایی قرار می‌گیرند. در این مطالعه به دلیل اینکه تعداد بســیار محدودی نمونه دوبلکس به طور تصادفی انتخاب شده بود، امکان شناسایی شاخصه‌های پرتکرار حاصل نگردید و این نمونه‌ها از جامعه آماری حذف گردیدند، بنابراین در این مطالعه تیپولوژی این دسته ارائه نشده است.

۲. گروه E بناهای ویلایی دوبلکس هستند که به دلایل ذکر شده از این مطالعه حذف شدند.

۳. محاسبات ضریب انتقال حرارت برای جداره‌های ساختمان‌ها بر اساس ضرایب مستخرج از آیین‌نامه مبحث ۱۹ و برای مصالح مستخرج از جداول ۲، ۳ و ۴ انجام گردید.

فهرست منابع — Refrences

- Ahern C, Griffiths P, Oflaherty M (2013). State of the Irish housing stock: Modelling the heat losses of Ireland's existing detached rural housing stock & estimating the benefit of thermal retrofit measures on this stock, Energy Policy, Vol. 55(Supplement C), pp. 139-151.
- Amasyali K, El-Gohary NM (2018). A review of data-driven building energy consumption prediction studies, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 81(Part 1), pp. 1192-1205.
- Ardente F, Beccali M, Cellura M, Mistretta M (2011). Energy and environmental benefits in public buildings as a result of retrofit actions, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 15, No. 1, pp. 460-470.
- Askari Rabri A, Abbaszadeh S, Abron A (2015). Investigation of spatial-physical elements affecting rural housing, Journal of Research and Rural Planning, Vol. 4, pp. 177-193.
- Attia S, Evrard A, Gratia E (2012). Development of benchmark models for the Egyptian residential buildings sector, Applied Energy, Vol. 94(Supplement C), pp. 270-284.
- Balaras CA, Gaglia AG, Georgopoulou E, Mirasgedis S, Sarafidis Y, Lalas DP (2007). European residential buildings and empirical assessment of the Hellenic building stock, energy consumption, emissions and potential energy savings, Building and Environment, Vol. 42, No. 3, pp. 1298-1314.
- Balaras CA, Lelekis J, Dascalaki E., Atsidaftis D (2017). High performance data centers and energy efficiency potential in Greece, Procedia Environmental Sciences, Vol. 38(Supplement C), pp. 107-114.
- Ballarini I, Corrado V, Madonna F, Paduos S, Ravasio F (2017). Energy refurbishment of the Italian residential building stock: energy and cost analysis through the application of the building typology, Energy Policy, Vol. 105(Supplement C), pp. 148-160.
- Brady L, Abdellatif M (2017). Assessment of energy consumption in existing buildings, Energy and Buildings, Vol. 149(Supplement C), pp. 142-150.
- Brecha RJ, Mitchell A, Hallinan K, Kissock K (2011). Prioritizing investment in residential energy efficiency and renewable energy: A case study for the U.S. Midwest, Energy Policy, Vol. 39, No. 5, pp. 2982-2992.
- Caputo P, Costa G, Ferrari S (2008). A method for heating consumption assessment in existing buildings: A field survey concerning 120 Italian schools, Energy and Buildings, Vol. 40, No. 5, pp. 801-809.
- Caputo P, Costa G, Ferrari S (2013). A supporting method for defining energy strategies in the building sector at urban scale, Energy Policy, Vol. 55(Supplement C), pp. 261-270.
- D'Agostino D, Cuniberti B, Bertoldi P (2017). Energy consumption and efficiency technology measures in European non-residential buildings, Energy and Buildings, Vol. 153(Supplement C), pp. 72-86.
- De Lieto Vollaro R, Guattari C, Evangelisti L, Battista G, Carnielo E, Gori P (2015). Building energy performance analysis: A case study, Energy and Buildings, Vol. 87(Supplement C), pp. 87-94.

- Desideri U, Leonardi D, Arcioni L, Sdringola P (2012). European project Educa-RUE: An example of energy efficiency paths in educational buildings, Applied Energy, Vol. 97(Supplement C), pp. 384-395.
- Famuyibo AA, Duffy A, Strachan P (2012). Developing archetypes for domestic dwellings: An Irish case study, Energy and Buildings, Vol. 50(Supplement C), pp. 150-157.
- Fatahi A, Pourtaheri M, Roknodin A (2016) Spatial assessment of rural sustainable housing: A case study of villages of Lorestan Province, Journal of Spatial Planning, Vol. 20, No. 4, pp. 139-17.
- Feng G, Sha S, Xu X (2016). Analysis of the building envelope influence to building energy consumption in the cold regions, Procedia Engineering, Vol. 146(Supplement C), pp. 244-250.
- Filogamo L, Peri G, Rizzo G, Giaccone A (2014). On the classification of large residential buildings stocks by sample typologies for energy planning purposes, Applied Energy, Vol. 135(Supplement C), pp. 825-835.
- Fracastoro GV, Serraino M (2011). A methodology for assessing the energy performance of large-scale building stocks and possible applications, Energy and Buildings, Vol. 43, No. 4, pp. 844-852.
- Galvin R, Sunikka-Blank M (2013). Economic viability in thermal retrofit policies: Learning from ten years of experience in Germany, Energy Policy, Vol. 54 (Supplement C), pp. 343-351.
- Heidari S (2009), Energy planning in Iran – Emphasizing on energy sector, Tehran University Press.
- HorvÃ¡th MS, Kassai-SzoÃ D, Csoknyai TS (2016). Solar energy potential of roofs on urban level based on building typology, Energy and Buildings, Vol. 111(Supplement C), pp. 278-289.
- Hyde R (2000). Climate Responsive Design: A Study of Buildings in Moderate and Hot-Humid Climates, New York, E & FN Spon.
- Iranmanesh E, Nosratpour D, Mirshakdaghiyan M, Hadi M (2014). Provide local housing design patterns with emphasis on design elements climatology, Case: Kerman, Journal of Urban Management, No. 38, pp. 347-370.
- Khakpour M, Ansari M, Taherian A (2010). The typology of houses in old urban tissues of Rasht, Journal of Fine Arts-Architecture & Urbanism, No. 41, pp. 29-42.
- KoÅ¡ir M, Capeluto IG, Krainer A, Kristl ÅI (2014). Solar potential in existing urban layouts - Critical overview of the existing building stock in Slovenian context, Energy Policy, Vol. 69(Supplement C), pp. 443-456.
- Kordjamshidi M (2011). House Rating Schemes: From Energy to Comfort Base, Springer.
- Kordjamshidi M, King S, Prasad D (2006). Why rating scheme always wrong? Regulatory frameworks for passive design and energy efficiency. International conference of PLEA, Geneva, Switzerland.
- Kragh J, Wittchen KB (2014). Development of two Danish building typologies for residential buildings, Energy and Buildings, Vol. 68(Part A), pp. 79-86.
- Krichkanok S (1997). A Collaborative approach to the development of a house energy rating scheme for bangkok: A Pilot Project. FBE. Sydney, University of New South Wales.
- Lee J, Kim J, Song D, Kim J, Jang C (2017). Impact of external insulation and internal thermal density upon energy consumption of buildings in a temperate climate with four distinct seasons, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 75(Supplement C), pp. 1081-1088.
- Majcen D, Itard LCM, Visscher H (2013). Theoretical vs. actual energy consumption of labeled dwellings in the Netherlands: Discrepancies and policy implications, Energy Policy, Vol. 54(Supplement C), pp. 125-136.
- Mechri HE, Capozzoli A, Corrado V (2010). USE of the ANOVA approach for sensitive building energy design, Applied Energy, Vol. 87, No. 10, pp. 3073-3083.
- Mirkatouli J, Ghadami M, Mehdian Bahnamiri M, Hohamadi S (2010). Study and investigation of the physical-spatial expansion of Babolsar city using Shannon Entropy and Holdern models, Journal of Studies of Human Settlements Planning, No. 16, pp. 115-133.
- Muringathuparambil RJ, Musango JK, Brent AC, Currie P (2017). Developing building typologies to examine energy efficiency in representative low-cost buildings in Cape Town townships, Sustainable Cities and Society, Vol. 33(Supplement C), pp. 1-17.
- Naghibi Rad P, Kordjamshidi M (2014). Application of indigenous materials in the building industry-a solution to improve environmental sustainability (Case study of rural houses in Mazandaran province), The First National Conference on Sustainable Ecology and Development, Arak.
- Nikghadam N (2013). Patterns of semi-open spaces in vernacular houses of Dezful, Bushehr and Bandar Lenge considering climate attributes, Journal of Fine Arts-architecture & Urbanism, Vol. 18, No. 3, pp. 69-80.
- Ouyang J, Ge J, Hokao K (2009). Economic analysis of energy-saving renovation measures for urban existing residential buildings in China based on thermal simulation and site investigation, Energy Policy, Vol. 37, No. 1, pp. 140-149.
- PerÃ©n JI, Van Hooff T, Leite BCC, Blocken B (2015). Impact of eaves on cross-ventilation of a generic isolated leeward sawtooth roof building: Windward eaves, leeward eaves and eaves inclination, Building and Environment, Vol. 92(Supplement C), pp. 578-590.
- Planning (2006). New 5-Star Requirements: Making Your Home More Energy Efficient, Retrieved from: www.planning.sa.gov.au, at July, 2009, 9:30:52
- Pourmousa M, Mofidi Shemirani SM, Mahmoodi Zarandi M (2017). Comparative investigation of thermal treatment and ventilation of Iran's indigenous residential buildings in temperate and humid climate, Case study: Kolbadi house (Sari) and Aghajan Nasab house (Babol), Journal of City Management, No. 47, pp. 337-350.

- Raheb G (2015). A study on rural housing zones in rural settlements of Iran interact with environmental factors, Journal of Fine Arts-Architecture & Urbanism, Vol. 19, No. 4, pp. 87-100.
- Rakuscek A, Zavrl MS (2012). IEE TABULA- Typology approach for building stock energy assessment, Slovenia.
- Roberts S (2008). Altering existing buildings in the UK. Energy Policy, Vol. 36, No. 12, pp. 4482-4486.
- Roulet CA, Flourentzou F, Labben HH, Santamouris M, Koronaki I, Dascalaki E, Richalet V (2002). ORME: A multicriteria rating methodology for buildings, Building and Environment, Vol. 37, No. 6, pp. 579-586.
- Sadeghi H, Kordjamshidi M, Rafat Jah A (2014). The study of indigenous materials of residential building's roof in the temperate climate of the Caspian Sea, the second National Show of Art: Indigenous Architecture, University of Mazandaran, Babolsar, Iran.
- Sartori I, Wachenfeldt BRJ, Hestnes AG (2009). Energy demand in the Norwegian building stock: Scenarios on potential reduction, Energy Policy, Vol. 37, No. 5, pp. 1614-1627.
- Schaefer A, Ghisi E (2016). Method for obtaining reference buildings, Energy and Buildings, Vol. 128(Supplement C), pp. 660-672.
- Soleymanpour R, Parsaee N, Banaei M (2015). Climate comfort comparison of vernacular and contemporary houses of Iran, Procedia - Social and Behavioral Sciences, Vol. 201(Supplement C), pp. 49-61.
- Sonderegger RC (1978). Movers and stayers: The resident's contribution to variation across houses in energy consumption for space heating, Energy and Buildings, Vol. 1, No. 3, pp. 313-324.
- Sousa G, Jones BM, Mirzaei PA, Robinson D (2017). A review and critique of UK housing stock energy models, modeling approaches and data sources, Energy and Buildings, Vol. 151(Supplement C), pp. 66-80.
- Szokolay S (1992). An energy rating system for houses. Energy-efficient Ratings and Standards for new houses, Brisbane, Queensland Energy Information Centre Department of Resource Industries.
- Tavares PFDAF, Martins AMDOG (2007). Energy efficient building design using sensitivity analysis -A case study, Energy and Buildings, Vol. 39, No. 1, pp. 23-31.
- Theodoridou I, Papadopoulos AM, Hegger M (2011). Statistical analysis of the Greek residential building stock. Energy and Buildings, Vol. 43, No. 9, pp. 2422-2428.
- Weiss J, Dunkelberg E, Vogelpohl T (2012). Improving policy instruments to better tap into homeowner refurbishment potential: Lessons learned from a case study in Germany, Energy Policy, Vol. 44(Supplement C), pp. 406-415.
- Willrath H (1997). Thermal sensitivity of Australian houses to variations in building parameters, 35th Annual conference Australian and New Zealand Solar Energy Society, Canberra.
- Willrath H (1998). Comparison of the thermal performance of free running and conditioned housing in the Brisbane climate, Proceeding of the 32nd annual conference Australia and New Zealand Architectural Science Association, New Zealand.
- Yang G, Zheng CY, Zhai XQ (2017). Influence analysis of building energy demands on the optimal design and performance of CCHP system by using statistical analysis, Energy and Buildings, Vol. 153(Supplement C), pp. 297-316.
- Zhai ZJ, Chen QY (2006). Sensitivity analysis and application guides for integrated building energy and CFD simulation, Energy and Buildings, Vol. 38, No. 9, pp. 1060-1068.
- Zhao D, McCoy AP, Du J, Agee P, Lu Y (2017). Interaction effects of building technology and resident behavior on energy consumption in residential buildings, Energy and Buildings, Vol. 134(Supplement C), pp. 223-233.

پرتال جامع علوم انسانی