

مقاله پژوهشی

بررسی رعنائی جرز ایوان از دوره آل مظفر تا صفوی در بناهای تاریخی یزد

حامد عزیزی بندرآبادی^{۱*}، داوود امامی میبدی^۲

۱- استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه یزد، یزد، ایران

۲- دانشجوی دکتری مرمت و احیای بناها و بافت‌های تاریخی، دانشکده حفاظت و مرمت، دانشگاه هنر اصفهان

چکیده

نسبت رعنائی ایوان از دوره ایلخانی تا صفوی در بناهای یزد دچار تحولات گسترده‌ای شده است. تحولات ساختاری ایوان حامل دگرگینی‌های نظری و عملی معماری این ناحیه بوده که نتیجه آن در گوناوندی فضای ایوان مشاهده می‌گردد. به دلیل تنوع به‌کارگیری ایوان در این مقطع تاریخی و عدم انجام تحقیقی جداگانه درباره کروئولوژی و تحولات ضریب رعنائی ایوان در شهر یزد، این پژوهش به آن مبادرت ورزیده است. روش انجام این تحقیق، تحلیلی - تاریخی بوده و داده‌های موردنیاز پژوهش از طریق اسناد و مدارک کتابخانه‌ای، تحلیل نقشه‌ها و بررسی میدانی جمع‌آوری گردیده است. در این پژوهش تحولات ساختاری، تناسبات، ابعاد و اندازه‌های ایوان مدارس، خانه‌ها و مساجد دوره آل مظفر، تیموری و صفوی تحلیل و بررسی شده‌اند. ضمن اینکه به‌عنوان نمونه با استفاده از مدل‌سازی عددی و تحلیل سازه، رفتار سازه‌ای ایوان خانه‌های دوره‌های آل مظفر و صفوی نیز با یکدیگر مقایسه شده‌اند. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که ضریب رعنائی در دوره آل مظفر در خانه‌ها و مدارس به نهایت خود می‌رسد. در این دوره ضریب رعنائی از تناسبات کشیده و هندسه جهت نمایش عمودیت و اقتدار کمک می‌گیرد. در دوره آل مظفر، رعنائی از اینرسی جرز به‌صورت توپر، مهار جانبی و قیود تعریف‌شده در ارتفاع استفاده شایانی می‌نماید همچنین کوشش می‌شود ضخامت جرز با میزان بارگذاری روی جرز متناسب شود. ضریب رعنائی در دوره تیموری کاهش یافته و با استعانت جرز - ستون، چکاد زیاد، کوشکواره و متخلخل شدن جرز، تعریف تکیه‌گاه با ساخت کمرپوش، تقطیع طاق آهنگ و سبک‌سازی سعی در جبران رعنائی نموده است. در دوره صفوی کاهش تناسبات داخلی فضا تداوم داشته و اقداماتی همچون ایجاد جرز منقطع و دیوار-ستون، سبک‌سازی سربار جرز با تعریف پرکننده سبک، خنثی‌سازی نیروها، افزایش اینرسی با ایجاد ساختار نردبانی، ایجاد تکیه‌گاه در راستاهای متفاوت جرز و خطای بصری، رعنائی ایوان را تحت تأثیر قرار داده است.

تاریخ دریافت:

۰۸ فروردین ۱۴۰۳

تاریخ پذیرش:

۰۸ دی ۱۴۰۳

کلیدواژه‌ها:

ضریب رعنائی

ایوان

ابنیه تاریخی

یزد.

doi : 10.22034/AHDC.2025.21689.1805

E-ISSN: 2645-372X /© 2023. Published by Yazd University This is an open access article under the CC BY 4.0 License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



۱- مقدمه

ایوان بخشی مسقف از ساختمان است که جلو آن باز است و در و پنجره ندارد (قیومی و بهشتی، ۱۳۸۸: ۳۷). هم کالبد و هم واژه ایوان حضوری مستمر در فرهنگ ایران داشته‌اند، چه کالبدش که در ترکیب با شبستان یا به صورت منفرد بارها و بارها به کار رفته است و چه واژه‌اش که تداعی‌های ضمنی و دلالت‌های صریح آن همواره ذوق افزار شاعران و نویسندگان بوده است (طاهری و دیگران، ۱۳۹۷: ۱۱۴). فضای ایوان جزئی لاینفک از معماری قرون میانه یزد بوده و حضور آن را در مساجد، مدارس و خانه‌های این دوران پررنگ است. مبنای این مقاله، تحقیق و مستندنگاری است که قبلاً در منطقه یزد و میبد و ندوشن بر روی خانه، مدارس و مساجد توسط نگارندگان، پایگاه پژوهشی یزد و میبد انجام شده است. در این پژوهش هدف صرفاً شناخت کالبد ایوان در راستای تحولات رعنائی جرز ایوان از دوره آل مظفر تا صفوی در مساجد، مدارس و خانه‌های این دوران است. از جمله روش‌های تقرب به شناخت تحولات ایوان نحوه کاربست نظام ساختاری - هندسی در کالبد این فضا است. اطلاعات ما از ضریب لاغری و تحولات رعنائی^۱ جرزهای ایوان بناهای این دوران روشن‌کننده محدودیت‌های نیارشی و راهکارهای الگوهای معماری برای فائق آمدن بر این معضل‌های ساختاری است. در ادبیات معماری سنتی یزد از اصطلاح نسبت «قد و پا» برای ضریب لاغری بکار گرفته می‌شود.

پرسش‌های پژوهش

- ۱- نسبت ضریب رعنائی در بناهای تاریخی یزد از دوره آل مظفر تا صفوی چه تحولاتی را پشت سر گذاشته است؟
- ۲- در سیر تحول ساختار ایوان، چه ویژگی‌های کالبدی به تغییر ضریب رعنائی کمک کرده است؟

۲- پیشینه تحقیق

درباره تناسبات در بناهای تاریخی یزد تحقیقاتی صورت گرفته ولی پژوهشی که منحصرأً به ضریب لاغری بپردازد صورت نگرفته است؛ بنابراین در میان تحقیقات و مقاله‌های موجود درباره تناسبات و هندسه به کار رفته در بناهای تاریخی یزد که به این دوران تاریخی می‌پردازند مورد مطالعه قرار گرفته است. ویلبر در کتاب خود در بخش «خصوصیات نقشه» به تأثیر هندسه در ظرافت بناهای ایلخانی پرداخته است (ویلبر، ۱۳۹۳). این پژوهش فارغ از داده‌های کمی بوده و سعی نموده کشیدگی فضاها را به عنوان ویژگی مشترک این دوره توصیف کند. در این پژوهش متناسب سازی وزن را عامل افزایش رعنائی دانسته است. ویلبر در پژوهش بعدی خود به همراه گلمبگ سعی نموده هندسه و تناسبات بناهای دوره تیموری را در فصل اصول طرح ذکر نموده و معماری یزد را به عنوان جلوه‌های ناحیه‌ای دوره تیموری معرفی نموده است (ویلبر و گلمبگ، ۱۳۷۴). در این تحقیق تناسبات در پلان و نمای برخی ابنیه تیموری به صورت ترسیمی بیان شده است. این تحقیق ویلبر برخلاف پژوهش قبلی وارد تحلیل هندسه پلان و نماها شده است ولی وارد تحلیل و بررسی لاغری جرزها نمی‌شود. با همین رویکرد، اوکین در تحقیق مرتبط با بناهای تیموری خراسان در بخش مقیاس شناسی و شبکه به سیر تحول مصالح و تأثیر آن بر هندسه پرداخته است (اوکین، ۱۳۸۶). ایشان علاوه بر تحلیل هندسی، به بررسی مدول گز و خشت در بناهای این دوره مبادرت ورزیده است ولی به ارتباط مدول به کار رفته در پلان و نما با دلایل ساختاری و لاغری جرز نمی‌نماید. در سه تحقیق ذکر شده خانه‌های آل مظفر خارج از محدوده پژوهش بوده و به تناسبات آن هیچ اشاره‌ای نشده است. اسفنجاری و ذاکر عاملی تناسبات ایوان در خانه‌های آل مظفر میبد را به صورت کمی بیان نموده و به شرح ایوان خانه‌های این دوره پرداخته‌اند (اسفنجاری و ذاکر عاملی، ۱۳۸۵). با توجه به نتایج این پژوهش، نسبت ارتفاع ایوان به دهانه در این خانه‌ها بین ۲،۸-۲،۳ است ولی درباره نسبت لاغری جرز ایوان صحبتی به میان نمی‌آید. خادم‌زاده نیز در کتاب خود صرفاً به توصیف بناهای آل مظفر شهر یزد مبادرت ورزیده و سعی نموده با نگاهی توصیفی بناهای این دوره را معرفی نماید (خادم‌زاده، ۱۳۸۷). ایشان در کتاب دیگر خود به معرفی مساجد شهر یزد مبادرت ورزیده است (خادم‌زاده، ۱۳۸۴). ذاکر عاملی و اسفنجاری در پژوهش جداگانه معماری خانه‌های صفوی میبد را مورد کنکاش قرار داده و سعی نموده تغییر تناسبات این دوره را به همراه

تغییر ساختار تشریح نمایند (ذاکرعاملی و اسفنجاری، ۱۳۸۷). ذاکرعاملی در مقاله‌ای دیگر به مقایسه ایوان آل مظفر و صفوی خانه‌های میبد پرداخته و از رهگذر آن تغییرات تناسبات و سازه را مورد کنکاش قرار داده است (ذاکرعاملی و جبل عاملی، ۱۳۹۲). نتایج این تحقیق حاکی از آن است که نسبت افراز طاق به دهانه ایوان اصلی خانه‌های میبد از ۲٫۸-۲٫۲ دوره آل مظفر تا صفوی از ۱٫۶-۱٫۹ تغییر پیدا می‌کند و تناسبات ایوان تعدیل یافته است. این پژوهش هرچند دارای مطالعات کمی و کیفی دقیقی بوده ولی مقوله لاغری جرز و تأثیر آن بر تحولات کالبدی موردعنایت قرار نگرفته است. اسفنجاری به صورت جامع به تحولات تناسبات و ساختار بناهای تاریخی میبد از پیدایش تا دوره قاجار پرداخته است (esfanjari, 2017). در این پژوهش هرچند تحولات ضریب لاغری موردبررسی قرار نگرفته ولی سیر تحول خشت از پیش از اسلام تا قاجار ارائه شده که ارتباط بین مدول به کاررفته در بناهای تاریخی و ابعاد ساختمانی در هر دوره تاریخی را روشن می‌نماید. حاج صادقی در رساله خود اشاره‌ای به ضریب لاغری جرز ایوان خانه‌های دوره قاجار می‌کند و نیاز مبرم به ارزیابی تأثیر حداکثر ضریب لاغری بر رفتار لرزه‌ای طاق خشتی را خاطرنشان می‌کند (haji Sadeghi, 2018)؛ بنابراین این جستار، نخستین پژوهش در ارتباط با لاغری جرزهای ایوان از دوره آل مظفر تا صفوی است که در آن با در نظر گرفتن تحولات تاریخی مورد مذاقه قرار گرفته است.

۳- روش تحقیق

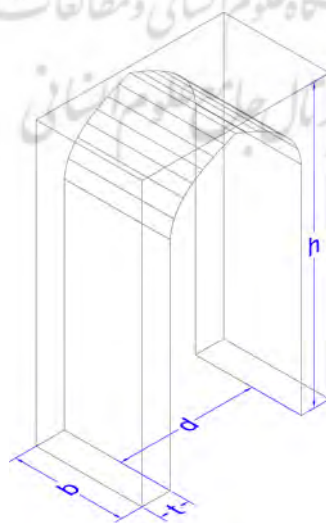
این تحقیق بر مبنای روش تحلیلی - توصیفی است. داده‌های این پژوهش بر مبنای اسناد و مدارک کتابخانه‌ای، تحلیل نقشه‌ها و همچنین مطالعات میدانی گردآوری شده است. این پژوهش در دو مرحله انجام گرفته است: در مرحله اول به گردآوری اطلاعات لازم از متون کتابخانه‌ای و تاریخی مبادرت ورزیده و در مرحله دوم، به جمع‌آوری داده‌ها و مستندسازی آنها از طریق بررسی‌های میدانی پرداخته شده است. روش تحقیق، استقرایی بوده که با توجه به انتخابی بودن نمونه‌های موردبررسی، ابعاد و اندازه‌های ایوان‌های بناهای تاریخی بر مبنای ضریب لاغری و تناسبات مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌اند. در نمونه‌گزینی این تحقیق نه با بررسی همه نمونه‌های یک متغیر بلکه با طیفی از نمونه‌ها که شناخت کلی وضع موجود را مقدور می‌نماید، استفاده شده است. در این بررسی از پنج مدرسه، شش خانه متعلق به دوره آل مظفر و هفت مسجد آل مظفر- تیموری استفاده شده است. علاوه بر آن از پنج مسجد محلی خارج شهر یزد متعلق به دوره آل مظفر نیز کمک گرفته شده است. همچنین در دوره صفوی از دو مدرسه، پنج خانه و دو مسجد بهره گرفته شده است. لازم به ذکر است در بخش مقایسه تطبیقی و ارجاع به نمونه‌های تاریخی از بناهای دیگری که قبلاً در کتاب‌های «معماری دوره آل مظفر یزد» و «مساجد تاریخی یزد» مورد مطالعه قرار گرفته نیز استفاده شده است. در بررسی بناهای تاریخی یزد، نگارنده مساجد شبستانی را که جزو ستون‌های چاق^۲ محسوب می‌شوند را از پژوهش منفک نموده است. این مقاله به بررسی ایوان‌های لاغر و ضریب رعنائی آنها می‌پردازد. به همین دلیل ایوان برخی مساجد و همگی خانه‌ها و مدارس دوره آل مظفر تا صفوی که دارای ایوان‌های باریک و بلند هستند و در دسته ستون‌ها و دیوارهای لاغر قرار می‌گیرند، نمونه‌های موردبررسی این پژوهش هستند. پارامترهای ارتفاع (h)، دهانه (d)، عمق (b) و ضخامت ایوان (t) در نمونه‌های موردبررسی در شکل پایه نشان داده شده است (تصویر ۱).

۳-۱- مبانی نظری

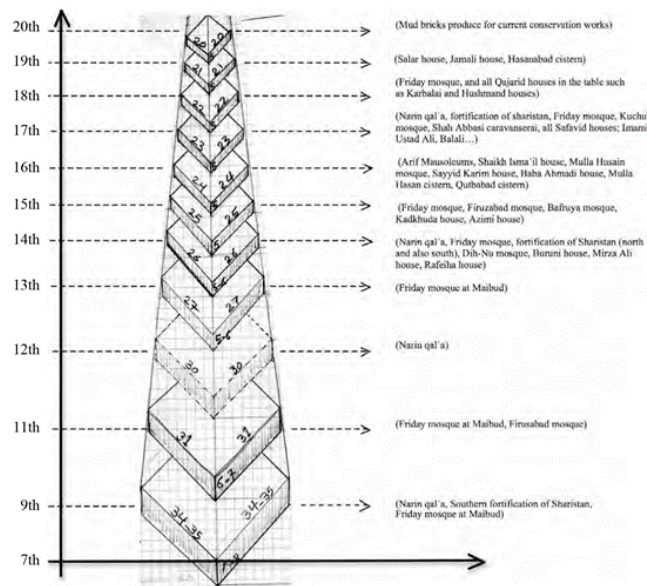
ضریب لاغری^۳ ایوان به نسبت ارتفاع مؤثر ایوان یا صفه به حداقل شعاع چرخش مقطع عرضی دیوار یا ستون ایوان گفته می‌شود. طول مؤثر ایوان (Le) فاصله بین دونقطه عطف کمانش بوده و به شرایط تکیه‌گاهی وابسته است. یکی از پارامترهای مهم در طراحی جان گذار معماری^۴، میزان تحمل نیروی فشاری جرز ایوان است. در بررسی حداکثر مقاومت ایوان دو معیار می‌توان در نظر گرفت. اولی معیار لهیدگی است که در ستون‌های چاق موضوعیت پیدا می‌کند. معیار مقاومت در ستون چاق از حاصل ضرب مقاومت فشاری و مساحت به دست می‌آید. این بدان معنا است که مقاومت ستون خشتی تا جایی نیرو تحمل می‌کند که له شود به همین خاطر قدرت باربری این جرزها بالا است. معیار دوم، کمانش است. زمانی که

حداقل برش افقی یک شیء (ضخامت جرز) در مقابل بیشترین طول همان شیء تحت تأثیر ارتعاش نیروی وارده بر آن قرار گیرد، نیروی کمانش ظاهر می‌شود. درواقع زمانی که نسبت عرض برش به طول آن در حدود $\frac{1}{15}$ یا کمتر باشد، شکستن شیء هم‌زمان با له‌شدگی صورت می‌پذیرد (رضازاده، ۱۳۹۰: ۱۷۳). معیار مقاومت این جرزها وابسته به نسبت ارتفاع به ضخامت جرز، مقاومت فشاری، مقاومت کششی و مقاومت برشی مصالح است. این بدان معنا است که این جرزها تا جایی مقاومت فشاری تحمل می‌نماید که دچار کمانش نشود. نسبت رعنائی ایوان (KL_e/r_{min}) نسبت معکوسی با بار بحرانی کمانش ایوان ($P_{CR} = \pi^2 EI / (KL_e)^2$) دارد؛ بنابراین هر تغییری در رعنائی ایوان بر بار بحرانی قابل تحمل ایوان اثر گذاشته و قدرت باربری ایوان را تحت الشعاع قرار می‌دهد. از سویی دیگر کمینه شعاع چرخش (r_{min}) نسبتی بامان اینرسی (I) و مساحت مقطع (A) جرز داشته و از آن‌ها تأثیر می‌پذیرد ($r_{min} = \sqrt{I/A}$)؛ ابراین می‌توان گفت متغیرهایی مانند بلندای ایوان (L_e)، ممان اینرسی جرز، ضریب ارتجاعی مصالح (I) و مساحت مقطع جرز بر نسبت رعنائی ایوان تأثیرگذار هستند.

به نظر پیرنیا در معماری سنتی ایران، تقسیم نیرو بر اساس «پیمون» انجام می‌گرفت. این تقسیم نیروی نظام‌مند موجب انتقال صحیح نیرو به پی می‌شد، علاوه بر آن رعایت پیمون در ظاهر بنا نیز تناسب هندسی را به وجود می‌آورد و موجب زیبایی بنا می‌شود (رضازاده، ۱۳۹۰: ۱۷۳). یکی از پارامترهای تأثیرگذار بر روی لاغری جرزهای ایوان اندازه خشت یا مدول سازنده ساختار است. در دوره تیموری غالب اوقات، ضخامت دیوار به‌عنوان واحد اندازه‌گیری به کار می‌رفت. این واحد اندازه‌گیری سپس به واحدهای کوچک‌تر تقسیم می‌شد که متناسب با آن بود. این واحدهای کوچک‌تر معادل اندازه آجر (خشت) به انضمام یک‌بند بین دو آجر بود، به‌طوری‌که معمار می‌توانست اندازه‌ها را با اعداد حقیقی یا حتی برحسب شماره‌های آجر بیان کند (ویلبر و گلمبگ، ۱۳۷۴: ۱۹۶). اسفنجاری با توجه به سیر تحول معماری خشتی در پهنه یزد - اردکان هرم کرونولوژی خشت را ارائه نموده است (esfanjari, 2017: 204). با توجه به این هرم مشخص می‌گردد که پهنای خشت از دوره ایلخانی تا دوره معاصر حدود ۷ سانتیمتر کوچک‌تر شده است (تصویر ۲). همچنین اگر تحولات پهنای جرز ایوان با توجه به اندازه خشت بررسی شود مشخص می‌گردد هرچند پهنای جرزها تا دوره معاصر کاهش یافته است ولی نسبت بین پهنای جرز به اندازه خشت در یک محدوده قابل قبول نگه‌داشته شده است. این بدان معنا است که هرچند پهنای جرز ایوان به‌مرورزمان کاهش می‌یابد ولی به همان نسبت پهنای خشت نیز کاهش یافته است. استفاده از خشت با ابعاد کوچک‌تر زمینه را برای سبک‌سازی و متخلخل نمودن جرز فراهم می‌نماید. بدین مفهوم که جرزها با خشت‌هایی ابعاد کوچک‌تر، بهتر و بیشتر مورد سبک‌سازی و تخلخل سازی قرار می‌گیرند و در جرزهایی با خشت‌های بزرگ‌تر (مانند خشت‌های یک ارشی در صدر اسلام) کمتر مبادرت به سبک‌سازی نموده‌اند.



تصویر ۱: متغیرهای مورد مقایسه ایوان در پژوهش (مأخذ: نگارندگان)



تصویر ۲: تغییرات کالبدی خشت در گذر زمان در محدوده میبد (مأخذ: esfanjari, 2017)

جدول ۱: پلان و تصاویر بخشی از بناهای مورد مطالعه (مأخذ: مرکز اسناد سازمان میراث فرهنگی یزد)

مساجد					
پیر حسین دامغانی (تیموری)		امیر خضر شاه (تیموری و صفوی)		امیر چقماق (تیموری)	
ریگ (اتابکان)		مصلی عتیق (آل مظفر)		اهرستان (تیموری)	
سرپلک (تیموری)		خلف باغ (صفوی و قاجار)		جامع (آل مظفر)	
مدارس					
رکنیه (آل مظفر)		شاه ابوالقاسم طراز (آل مظفر)		شمسیه (آل مظفر)	
مصلی صفدرخان (صفوی)		کمالیه (آل مظفر)		ضیائیه (اتابکان و آل مظفر)	
خانه‌ها					

ربابه ابو (آل مظفر)		ممتاز (آل مظفر)		کلانتری (آل مظفر)	
کریمی (آل مظفر)		قاضی جلال‌الدین (آل مظفر)		حاتم (آل مظفر)	
نخ کش (صفوی)		بیانی (صفوی)		مشروطه (صفوی)	

۴- یافته‌های پژوهش

۴-۱ رعنایی ایوان مدارس

۴-۱-۱ تحلیل تناسبات و ضریب لاغری

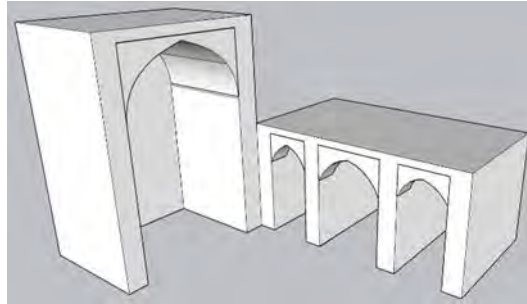
نسبت ارتفاع ایوان به دهانه در مدارس محلی یزد بین ۱٫۷۹ - ۲٫۲ است (جدول ۲). در برخی مدارس مانند مدرسه شمسیه که این نسبت به بالای ۲ می‌رسد، معمار از ایجاد ایوانچه‌های دوطبقه برای مهار جانبی جزر ایوان استفاده کرده است. ایوان مدارس محلی یزد همانند ایوان خانه‌های این دوره به صورت جزر توپر بوده و اینرسی دیوار در طول دیوار، به صورت ثابت است و اینرسی بر اساس مقطع مستطیل کشیده توپر محاسبه می‌شود.

جدول ۲: نسبت ارتفاع ایوان در مدارس صفوی و آل مظفر یزد (مأخذ: نگارندگان)

شمسیه	ضیائییه	کمالیه	رکنیه	طراز
$h/d = 2.07$	$h/d = 1.79$	$h/d = 2.20$	$h/d = 1.99$	$h/d = 1.93$
آل مظفر				
شفیعیه	مصلی صفدرخان			
$h/d = 1.39$	$h/d = 1.42$			
صفوی				

نسبت ارتفاع ایوان به ضخامت جزر در مدارس این دوره بین ۰٫۵ - ۱۰ متغیر است. در مدرسه رکنیه نسبت لاغری جزر ایوان به حداکثر خود می‌رسد. همچنین این ایوان بیشترین نسبت دهانه به ضخامت را به خود اختصاص داده است. در مدارس مورد مطالعه آل مظفر نسبت ضخامت جزر به دهانه ایوان بین ۰٫۲ الی ۰٫۲۸ متغیر است. در این مدارس اگر ایوان

مدرسه کمالیه که در دوران معاصر بازسازی شده را صرف نظر کنیم آنگاه نسبت عمق ایوان به ضخامت جرز بین ۴٫۳ الی ۵ است. به عبارتی نسبت ضخامت جرز به عمق فضا بین ۰٫۲-۰٫۲۵، نوسان دارد (جدول ۳)؛ بنابراین با کمی اغماض می توان گفت که در دوره آل مظفر فضای ایوان مدارس تقریباً مربعی است و بلندای ایوان را تقریباً دو برابر دهانه در نظر گرفته اند. در محدود مدارس که در دوره صفوی در یزد ساخته می شود، ایوان فضایی شاخص و برجسته همانند مساجد چهار ایوانی اصفهان نیست. ایوان در مدارس شفیعیه و مصلی تناسبات کشیده دوره آل مظفر و تیموری را ندارد. در این مدارس نسبت ارتفاع به ضخامت جرز بین ۵-۶ بوده و دهانه تقریباً ۴ برابر ضخامت پایه ایوان است. نسبت افراز به دهانه برخلاف بناهای آل مظفر که در محدوده ۱٫۹-۲٫۲ قرار داشت کاهش محسوس داشته و در بازه ۱٫۴ قرار می گیرد.



تصویر ۳: الگوی کلی مدارس آل مظفر یزد (مأخذ: نگارندگان)

جدول ۳: تناسبات ساختاری ایوان مدارس یزد (مأخذ: نگارندگان)

دوره	بنا	h	d	b	t	h/t	d/t	b/t
مدرسه آل مظفر	شمسیه	۱۳٫۵	۶٫۵	۸٫۷	۱٫۸۵	۷٫۲۹	۳٫۵۱	۴٫۷
	رکنیه	۱۴٫۴۵	۷٫۲۵	۶٫۲	۱٫۴۵	۹٫۹۶	۵	۴٫۲۷
	کمالیه	۱۱٫۸	۵٫۳۵	۲٫۱۵	۱٫۵۵	۷٫۶۱	۳٫۴۵	۱٫۳۸
	ضیائییه	۱۰٫۶	۵٫۹	۸٫۴	۱٫۶۵	۶٫۴۲	۳٫۵۷	۵٫۰۹
	طراز	۹٫۹۵	۵٫۱۵	۵٫۶۵	۱٫۲۵	۷٫۹۶	۴٫۱۲	۴٫۵۲
صفوی	شفیعیه	۵٫۲۱	۳٫۷۳	۴٫۸۵	۰٫۹	۵٫۷۸	۴٫۱۴	۵٫۳۸
	مصلی	۶٫۷	۴٫۷	۵٫۷	۱٫۲	۵٫۵۸	۳٫۹۱	۴٫۷۵

۲-۱-۴- تحولات رعنائی ایوان مدرسه

وجود مدارس باقیمانده آل مظفر مانند مدرسه شمسیه، کمالیه و رکنیه ما را قادر می سازد که وجود مکتب ساختمانی یزد را بپذیریم و می توان گفت که این نواحی سبک محلی مخصوص به خود داشتند (ویلبر، ۱۳۹۳: ۳۶). در مدارس آل مظفر یزد، الگوی بدنه های جانبی روبه حیاط برخلاف الگوی خانه ها که از الگوی دو قسمتی استفاده می کند، در این بناها مشابه الگوی مساجد از الگوی سه قسمتی تبعیت می کند (تصویر ۳). به استناد متون تاریخی می توان گفت که مدارس زیادی در دوره تیموری ساخته شده است (خادم زاده، ۱۳۸۷: ۴۲۱). ولی برخلاف مساجد و خانه ها، مدارس ایوان دار از دوران تیموری باقی نمانده است ولی با توجه به متون تاریخی می توان اذعان نمود، این مدارس در امتداد مدارس آل مظفر بوده است. معمولاً مدارس یزد در هماهنگی با الگوهای خانه و مسجد دارای یک صفا بزرگ بوده و سه جبهه دیگر ساختمان در یک تراز و پایین تر از صفا احداث شده اند (ذاکر عاملی و اسفنجاری، ۱۳۸۵: ۱۸۴). همچنین با توجه به اینکه تغییر در قالب های معماری از دوره مظفریان تا تیموریان با انتقالی تدریجی پدید آمد و با تغییرات بنیادی سبکی همراه نبود (اوکین، ۱۳۸۶: ۷۹) می توان بیان کرد که رعنائی ایوان مدارس تیموری از الگوی مظفری خود تبعیت می کند. رعنائی جرز ایوان مدارس یزد پس از حداقل سه قرن در دوره صفوی کاهش می یابد. هرچند پوشش طاقی ایوان مدارس برخلاف خانه ها در نمونه های مورد بررسی تغییر نمی کند ولی ایوان که چهره عنصری مسلط و قاهر را بر حیاط اعمال می نمود، هم تراز با جبهه های دیگر شده است. با در نظر گرفتن این نکته که مدارس مظفری یزد، مدارس تدفینی^۵ هستند می توان اقرار نمود رعنائی در مدارس

مظفری و تیموری در راستای نمایش مقام رفیع بانی و ترکیب همیشگی شریعت و علم با کمک دروازه رفیع ایوان است. باریک شدن جرز برای نمایش رعنائی در مدرسه رکنیه تا نسبت یک‌دهم ارتفاع پیش می‌رود و معمار تا آنجا که جرز پایدار بماند، به سمت آسمان اوج می‌گیرد. هرچند ایوان رفیع و کشیده همچون درگاهی برای ورود به گنبدخانه (مدفن بانی) این‌گونه مدارس تعریف می‌شود و از ساختار بشن گنبدخانه متأثر می‌شود ولی برخلاف مساجد، تخلخل در جرز ایوان بکار نرفته است تا به‌عنوان نگه‌دارنده گنبد دچار نقصان عملکرد نگردد. در دوره صفوی با اشباع رسیدن مدارس و رهایی الگوی مدارس تدفینی، ضریب رعنائی هم تنزل پیدا کرده و در محدوده حداکثری ۶ قرار می‌گیرد. با کاهش ضریب رعنائی، قدرت باربری جرز افزایش می‌یابد به همین دلیل در دوره صفوی مبادرت به ساخت طاق با قوس خیز کم می‌کنند و نیروهای رانشی جایگزین پتانسیل ناشی از قدرت باربری فزاینده شده است.

۴-۲ رعنائی ایوان خانه‌ها

۴-۲-۱- تحلیل تناسبات و ضریب لاغری

نسبت ارتفاع به دهانه در خانه‌های آل مظفر در مقایسه با مدارس این دوره افزایش می‌یابد به‌گونه‌ای که این نسبت در محدوده ۲٫۴ - ۲٫۸ قرار دارد (جدول ۴). نسبت ارتفاع ایوان به ضخامت جرز آن تقریباً در محدوده عدد ۱۰ قرار دارد به عبارتی پهنای جرز ایوان یک‌دهم ارتفاع کلی ایوان است. این در حالی است که نسبت دهانه ایوان به ضخامت جرز در محدوده ۳٫۸ - ۵ قرار دارد. در خانه‌های این دوره عمق ایوان خیلی بزرگ‌تر از دهانه آن نیست و نسبت عمق ایوان به جرز آن در بازه ۴٫۵ - ۶ نوسان دارد. در خانه‌های مظفری جرز شعاع چرخش (ژی‌راسیون) جرز همیشه به‌صورت مقطعی مستطیلی تعریف می‌شود. شعاع چرخش جذر نسبت ممان اینرسی ($I=1/12 bh^3$) به مساحت مستطیل جرز ایوان ($A=bh$) بوده که در این جرزها به‌صورت $r_{min}=h/\sqrt{12}$ تعریف می‌گردد.

جدول ۴: نسبت ارتفاع به دهانه ایوان در خانه‌های صفوی و آل مظفر یزد (مأخذ: نگارندگان)

کرمی	ربابه ابو	قاضی جلال	ممتاز	عراقی	مشروطه
$h/d=2.41$	$h/d=2.45$	$h/d=2.47$	$h/d=2.79$	$h/d=1.87$	$h/d=1.61$
آل مظفر				صفوی	
بیانی		نقیب الاشراف		نخ کش	
$h/d=1.79$		$h/d=1.63$		$h/d=1.6$	
صفوی					

در دوره صفوی به‌طور کلی ارتفاع ایوان خانه‌ها کاهش می‌یابد و در محدوده ۵ - ۷ متر تغییر می‌کند. کاهش نسبت ارتفاع به دهانه ایوان نسبت به دوره آل مظفر چشمگیر بوده و بازه ۱٫۶ - ۱٫۸ قرار دارد. بلندای ایوان خانه‌های این دوره بین ۶ الی ۸ برابر ضخامت پایه بوده و سعی شده از نسبت‌های بحرانی و ناپایدار فاصله بگیرد (جدول ۵). به‌صورت نسبی ضخامت جرزهای ایوان صفوی و آل مظفر برابر بوده ولی با توجه به در نظر گرفتن طاقچه و رف در دو طرف پایه ایوان صفوی، ضخامت جرز کمتر به چشم می‌آید. در دوره صفوی نسبت عمق به ضخامت پایه ایوان نیز کاهش یافته است و حتی در برخی نمونه‌ها عمق ایوان تنها به‌اندازه عمق ایوانچه‌های کناری ایوان است.

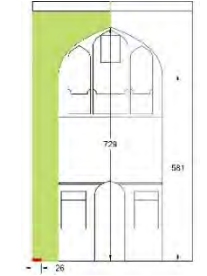
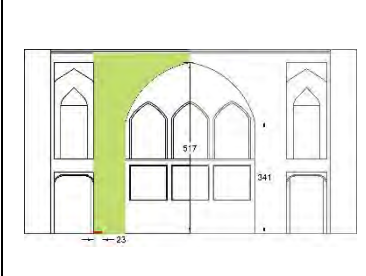
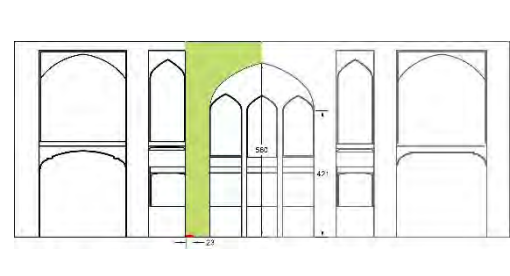
جدول ۵: تناسبات ساختاری ایوان خانه‌های یزد (مأخذ: نگارندگان)

b/t	d/t	h/t	t	b	d	h	بنا	دوره	خانه
۶,۶۵	۴,۲۳	۹,۴۷	۰,۸۵	۵,۶۵	۳,۶	۸,۰۵	حاتم	آل مظفر	
۴,۵۴	۳,۷۶	۱۰,۵۳	۰,۶۵	۲,۹۵	۲,۴۵	۶,۸۵	ممتاز		
۵,۸	۳,۹۳	۹,۶۶	۰,۷۵	۴,۳۵	۲,۹۵	۷,۲۵	ربابه ابو		
۵,۸۱	۴,۰۶	۹,۸۱	۰,۸	۴,۶۵	۳,۲۵	۷,۸۵	کریمی		
۵,۹۳	۴,۳۳	۱۰,۷۳	۰,۷۵	۴,۴۵	۳,۲۵	۸,۰۵	قاضی جلال‌الدین		
۵,۲۷	۳,۷۷	–	۰,۹	۴,۷۵	۳,۴	–	طهرانی		
۶,۰۷	۵	۱۰,۳۸	۰,۶۵	۳,۹۵	۳,۲۵	۶,۷۵	بابایی	صفوی	
۳,۱۶	۳,۷۳	۶,۶۶	۰,۷۵	۲,۳۷	۲,۸۰	۵,۰۰	عراقی		
۲,۴۷	۴,۱	۵,۸۶	۰,۹۵	۲,۳۵	۳,۹	۵,۵۷	مشروطه		
۲,۸	۴,۳۳	۸,۱۲	۰,۸	۲,۲۴	۳,۴۷	۶,۵۰	بیانی		
۳,۱۹	۴,۰۷	۷,۰۲	۰,۷۸	۲,۴۹	۳,۱۸	۵,۴۸	نقیب‌الاشرف		
۳,۳۸	۴,۷۹	۷,۶۴	۰,۶۸	۲,۳۰	۳,۲۶	۵,۲	نخ کش		

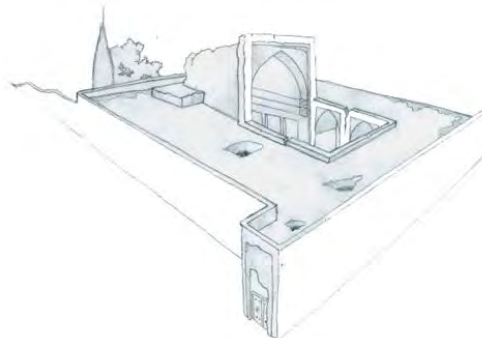
۴-۲-۲- تحولات رعنائی ایوان خانه

در خانه‌های دوره آل مظفر یزد دهانه ایوان تقریباً برابر با دهانه حیاط بوده و به واسطه کوچکی و فشردگی حیاط در این دوره، دهانه و جرزهای ایوان کم‌پهنا بوده است (تصویر ۴). نسبت دهانه به پهنای جرز در اکثر خانه‌های آل مظفر در محدوده ۳-۴ بوده درحالی‌که این نسبت در خانه‌های صفوی در محدوده ۴-۵ قرار دارد. دهانه کوچک و نیروی رانش کم طاق زمینه را برای ظهور ایوان‌های کشیده فراهم نموده است. از سویی دیگر قوس‌هایی با خیز زیاد و پا راسته بلند به کشیدگی ایوان‌های باریک مظفری کمک نموده است. با نگاهی دیگر به دلیل اینکه در این بوم از خشت‌هایی متنوع برای پایه (جرز) و پوشش (طاق) استفاده می‌کنند، هرچه اختلاف بین ابعاد خشت پایه و پوشش فاحش باشد زمینه برای برافراشتن و ارتفاع یافتن جرز ایوان بیشتر فراهم می‌گردد. ایوان خانه‌های مظفری برخلاف خانه‌های دوران بعد بدون طاقچه در دو سوی خود و خلل فرج است. این ساختار حجیم باعث شده اینرسی جرز در ارتفاع تقریباً ثابت باشد درحالی‌که در بناهای صفوی اینرسی در طول و ارتفاع جرز ایوان تغییر پیدا می‌کند و این خود عاملی در جهت کاهش ضریب لاغری بوده است. در دوره صفوی هرچند ارتفاع ایوان کاسته شده ولی پهنای ایوان‌های اصلی افزایش یافته است و این خود عاملی جهت کاهش ضریب لاغری بوده است. البته ضریب لاغری در برخی خانه‌های صفوی که تقسیمات پنج‌قسمتی بر نما حاکم بوده به واسطه پشت‌بند بودن فضای راهرو و ایوانچه‌ها، به نسبت تقسیمات سه‌قسمتی، افزایش یافته است. در خانه‌های این دوره راهروها، ایوانچه‌های روبه حیاط و کمر پوش‌های جانبی ایوان از جمله عواملی در راستای جلوگیری از کماتش جانبی و افزایش رعنائی ایوان هستند (جدول ۶).

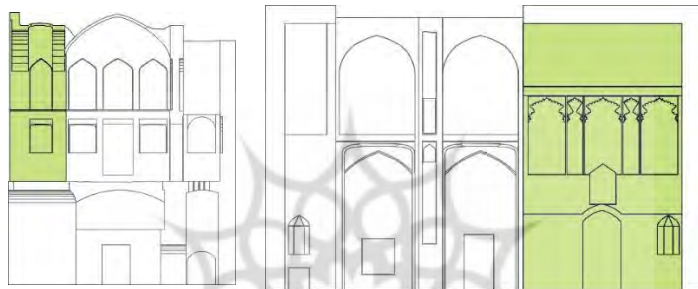
جدول ۶: نسبت ارتفاع ایوان به پهنای خشت در خانه‌های صفوی و آل مظفر یزد (مأخذ: نگارندگان)

		
تقسیمات تک قسمتی	تقسیمات سه قسمتی	تقسیمات پنج قسمتی
آل مظفر	صفوی	صفوی

با توجه به اینکه در خانه‌های کویری پهنای نما برابر با عرض حیاط بوده، به دلیل افزایش عرض حیاط در دوره صفوی پهنای نما نیز افزایش می‌یابد. این افزایش امکان ایجاد راهروهای دو طرف ایوان فراهم می‌نماید. این راهروهای جانبی کمک شایانی در راستای رعنایی جرز ایوان صفوی می‌کنند.



تصویر ۴: الگوی کلی ایوان خانه‌های آل مظفر یزد (مأخذ: مرکز اسناد سازمان میراث فرهنگی یزد)



تصویر ۵: نمای بدنه داخلی ایوان خانه مظفری قاضی جلال‌الدین (راست) و خانه صفوی بیانی (چپ)

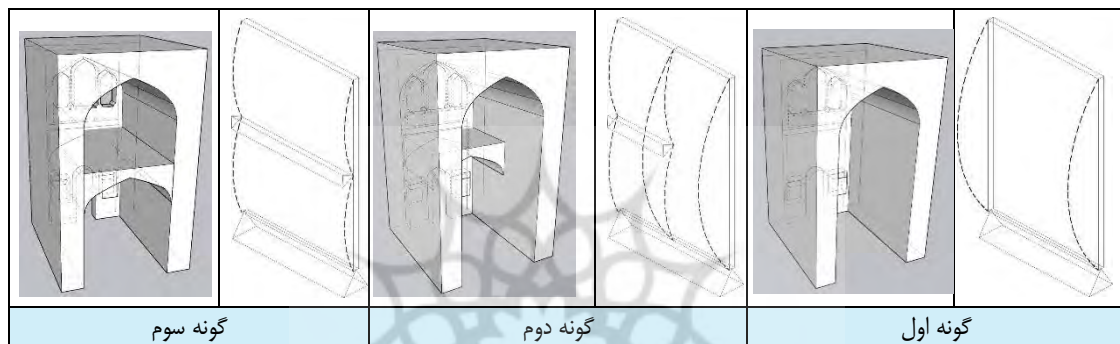
یکی دیگر از پارامترهای تأثیرگذار روی ضریب لاغری جرز ایوان، طول مؤثر (طول آزاد) جرز است. در خانه‌های آل مظفر مورد پژوهش سه رویکرد در ارتباط با طول مؤثر جرز مشاهده می‌گردد. در گونه اول کل بدنه جرز از بالا تا پایین با پهنای ثابت رؤیت شده و ایوانچه‌های شرقی - غربی نسبت به جرز ایوان جنوبی پس نشسته است. در این خانه‌ها طول آزاد جرز، کل ارتفاع ایوان بوده است، حتی در برخی خانه‌ها به خاطر لاغری زیاد جرز در طول زمان دچار سرسفتی و کمانش شده است. گونه دوم که بیشترین تعداد نمونه‌ها را تشکیل می‌دهد در میانه بلندای ایوان تکیه‌گاه تعریف شده است. در این خانه‌ها، ایوانچه‌های جانبی حیاط بدنه ایوان را می‌پوشانند و فقط لغازی با پهنای ۱۰ الی ۲۰ سانتیمتر از بدنه ایوان دیده می‌شود. در این گونه خانه‌ها طول آزاد جرز فقط به فاصله بالای بام ایوانچه تا کف بام ایوان بوده است. با این اقدام یعنی کاهش طول آزاد (L = 1/2H) امکان افزایش بلندا و رعنایی ایوان فراهم می‌گردد. در گونه سوم که کمترین تعداد نمونه‌ها را به خود اختصاص داده، معمار ایوانچه‌های شرقی - غربی را به صورت دوطبقه در نظر گرفته و با این عمل دو تکیه‌گاه جانبی را برای ایوان رفیع خانه تعریف نموده است. در این دسته به واسطه کاهش طول آزاد جرز و کمانش ایوان، کشیدگی فضایی به حداکثر خود می‌رسد (جدول ۷).

جدول ۷: گونه‌های تعریف تکیه‌گاه در جرز ایوان خانه‌های آل مظفر یزد (مأخذ: نگارندگان)

گونه سوم: قاضی جلال‌الدین، قاری‌ها	گونه دوم: حاتم، حسن آبادی، کریمی، کلانتری، ممتاز، ربابه ابو	گونه اول: آقا سیدگل سرخ، بارجینی، دوست گل، شهنه‌ای	

از مشخصه‌های تأثیرگذار رعنائی زیاد عامل کمانش جانبی است. در ارتباط با کمانش جانبی ایوان، چه به صورت طراحی شده و چه به صورت الحاق در گذر زمان، سه رویکرد در بناهای تاریخی رؤیت می‌شود. در رویکرد اول هیچ‌گونه مهار جانبی برای جرز ایوان در نظر گرفته نشده و ارتفاع جرز از زمین تا پاکارطاق، طول آزاد پایه است. گونه اول شامل بناهایی است که از دوران آل مظفر به جامانده و فضای ایوان به شکل اصیل خود باقیمانده است. در رویکرد دوم بخش انتهایی جرز ایوان را با کمرپوش پوشانده‌اند و با این کار هم عمق کمانش را کاهش داده‌اند و هم از کمرپوش به عنوان پل ارتباطی بین فضاها استفاده نموده‌اند. این رویکرد در خانه‌های صفوی و الحاق در خانه‌های مظفری و ایوان مساجد تیموری رؤیت می‌گردد. در گونه سوم کل فضای ایوان را به صورت دو اشکوبه درآورده‌اند و با تعریف تکیه‌گاه سرتاسری، کمانش جانبی ایوان را مهار نموده‌اند. دو گونه متأخر هم به صورت طراحی در بناهای صفوی و هم به صورت الحاق در بناهای آل مظفر (خانه آقا سیدگل سرخ) مشاهده می‌گردد. سیر تحولات کالبدی بناهای آل مظفر واجد درس‌هایی برای تأثیر رعنائی زیاد و کمانش جانبی در طول زمان است (جدول ۸).

جدول ۸: گونه‌های مهار جانبی (عمود بر صفحه) جرز ایوان خانه‌های آل مظفر یزد (مأخذ: نگارندگان)



۳-۴ رعنائی ایوان مساجد

۳-۴-۱- نسبت لاغری در ایوان مساجد

نسبت ارتفاع به دهانه ایوان جنوبی مساجد این دوره به عدد ۲ نمی‌رسد (جدول ۹) و با وجود اینکه ارتفاع ایوان برخی از خانه‌های این دوره بیشتر است ولی نسبت ارتفاع به ضخامت جرز به پای همین نسبت در خانه‌ها نمی‌رسد و این نسبت در محدوده ۲٫۵ - ۷٫۲ نگه‌داشته شده است؛ ولی نسبت دهانه ایوان به ضخامت جرز تقریباً مشابه خانه‌ها حداکثر در مقدار ۴٫۳ نگه‌داشته شده است. به همین منوال عمق ایوان نیز در محدوده ۲ - ۵٫۲ در حال نوسان است. برخلاف خانه‌های این دوره که جرزهای ایوان همگی دارای مقطعی ثابت مستطیلی از کف تا بام هستند در مساجد این دوره تنوع ساختاری در جرز ایوان مشاهده می‌گردد. در برخی مساجد مانند رکن‌آباد و فیروزآباد جرز به گونه توپر ساخته شده ولی برخی مساجد مانند بندرآباد ساختار مجوف داشته و پهنای زیادی دارند. در ساختارهای متخلخل ضخامت جرز بین ۲ الی ۳ متر است و در درون خود راهرویی را جای داده است.

جدول ۹: نسبت ارتفاع به دهانه ایوان در مساجد صفوی و آل مظفر یزد (مأخذ: نگارندگان)

مسجد مصلی عتیق	مسجد خلف باغ	مسجد سرپلک	مسجد امیرچقماق	مسجد جامع
$h/d = 1.67$	$h/d = 1.64$	$h/d = 1.76$	$h/d = 1.79$	$h/d = 1.86$

در مساجد یزد نسبت ارتفاع به دهانه ایوان باگذشت زمان کوچک‌تر شده است. این نسبت از ۲٫۵ در مسجد ریگ متعلق به قرن ششم تا ۱٫۴ در مسجد برخوردار متعلق به دوره معاصر کاهش یافته است. هرچند تناسب فضای ایوان مساجد تا دوره متأخر سیر نزولی داشته است ولی نسبت ارتفاع به ضخامت جرز ایوان از این قاعده تبعیت نمی‌کند. برای مثال نسبت ارتفاع به پهنای جرز ایوان مسجد ریگ حدوداً عدد ۹ است درحالی‌که این نسبت در مسجد برخوردار نیز عدد ۹٫۵ را روایت می‌کند. اگر از مسجد برخوردار صرف‌نظر نماییم آنگاه در نود درصد مساجد یزد نسبت پهنای پایه ایوان حدود یک‌سوم الی یک‌چهارم ارتفاع ایوان است. به سخن دیگر نسبت افراز به ضخامت ایوان بین ۳ الی ۴ در حال تغییر است. همچنین فارغ از ایوان مسجد ریگ (که عمق آن با مرور زمان الحاق شده است) نسبت عمق ایوان به پهنای جرز بین ۳ - ۵ تغییر پیدا می‌کند (جدول ۱۰).

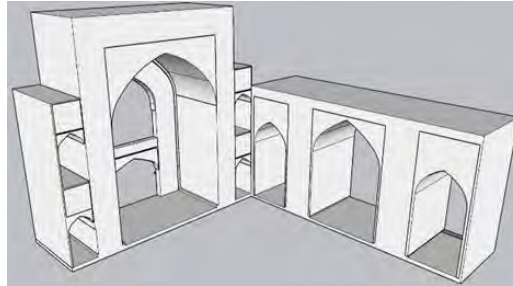
جدول ۱۰: تناسبات ساختاری ایوان مساجد یزد (مأخذ: نگارندگان)

بنا	h	d	b	t	h/t	d/t	b/t
جامع	۱۶٫۴	۸٫۸	۱۳٫۲	۲٫۶۵	۶٫۱۸	۳٫۳۲	۴٫۹۸
امیرچقماق	۱۶٫۳	۹٫۱	۸٫۵	۲٫۲۵	۷٫۲۴	۴٫۰۴	۳٫۷۷
پیرحسین دامغانی	۱۰٫۹	۵٫۲	۷٫۸	۱٫۶۵	۶٫۶	۳٫۱۵	۴٫۷۲
اهرستان	۱۱٫۳	۵٫۸	۸٫۹	۱٫۹	۵٫۹۵	۳٫۰۵	۴٫۶۸
سرپلک	۸٫۳	۴٫۷	۷٫۲۵	۱٫۵	۵٫۵۳	۳٫۱۳	۴٫۸۳
ریگ	۱۴٫۷	۵٫۸	۱۳٫۱	۱٫۶۵	۸٫۹	۳٫۵۱	۷٫۹۳
خلف باغ	۱۰٫۱	۶٫۱۵	۸٫۷۵	۲٫۶۵	۳٫۸۱	۲٫۳۲	۳٫۳
مصلی عتیق	۹٫۴۰	۵٫۶۳	۸٫۹۰	۱٫۶۵	۵٫۷	۳٫۴۱	۵٫۴
خضرشاه	۸٫۶	۵٫۳۳	۱۳٫۴	۱٫۵	۵٫۷۳	۳٫۵۵	۸٫۹۳
رکن آباد	۵٫۹	۳٫۱۵	۴٫۳۸	۰٫۹۵	۶٫۲۱	۳٫۳۱	۴٫۶۱
فیروزآباد	۶٫۹۰	۴٫۰۵	۴٫۹۵	۰٫۹۵	۷٫۲۶	۴٫۲۶	۵٫۲۱
بفروئی	۷٫۲۰	۴٫۱۶	۵٫۵	۲٫۸	۲٫۵۷	۱٫۴۸	۱٫۹۶
بندرآباد	۹٫۳	۶٫۵۵	۷٫۳	۲٫۳	۴٫۰۴	۲٫۸۵	۳٫۱۷
ابرندآباد	۹٫۶۵	۵٫۳	۶٫۱	۲٫۸	۳٫۴۵	۱٫۸۹	۲٫۱۸

۲-۳-۴- تحولات رعنائی ایوان مسجد

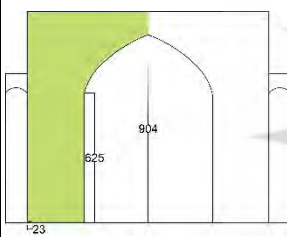
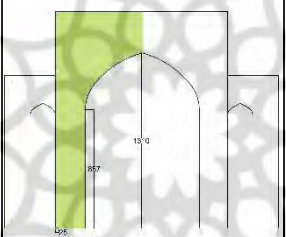
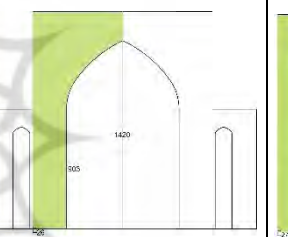
یکی از عوامل تأثیرگذار روی لاغری جرزهای ایوان نوع قوس و میزان خیز آن است. با بررسی ایوان‌های مساجد یزد مشخص گردید که با گذر زمان قوس‌های جناغی و تیزه دار با خیز و پاراستی زیاد جای خود را به قوس‌های تیزه دار با خیز کم و پاراستی کم داده است. مسجد ریگ با قوس‌های تیزه دار و چکاد کم در دوره اتابکان و ایلخانی، کشیدگی فضایی را به حداکثر خود رسانده است (جدول ۱۱). در این مسجد پاکار طاق تا ارتفاع سه اشکوب (حدوداً ۱۳ متر) بالا می‌رود و فضای داخلی ایوان را به‌مثابه نیزه می‌نماید. مسجد جامع یزد در مقایسه با مساجد قبلی دارای جهش در دهانه ایوان بوده است. این جهش با کاهش پاکار طاق و رسیدن به دو اشکوب (حدوداً ۹ متر) قادر شده است. افزایش دهانه با کاهش لاغری جرز مقدور شده است و از عواملی دیگری مانند افزایش پاراستی و ایجاد بروار (راهرو کناری) و سه‌قسمتی کردن نما جهت ایجاد پشت‌بند در ناحیه پاکار استفاده کرده است. این الگو در مساجد آل مظفر و تیموری یزد به‌دفعات مورد استفاده قرار می‌گیرد (تصویر ۶). در دوره تیموری در مسجد جامع نو (مسجد امیرچقماق) خیز طاق ایوان کاهش یافته است ولی چکاد قوس افزایش یافته است. این کار با ثابت نگه‌داشتن پاکار طاق به‌اندازه دو اشکوب (حدوداً ۹ متر) صورت گرفته است. معمار با ایجاد بروار با دهانه بزرگ‌تر و بالا آوردن تراز سقف راهرو کناری تا شکرگاه طاق ایوان و مهار افزایش وزن ناشی از چکاد بزرگ‌تر، توانسته است لاغری جرز ایوان را افزایش دهد. در مسجد خلف باغ (پشت باغ) هرچند دهانه و افراز کاهش یافته است ولی معمار لاغری جرز را افزایش نداده است. این بنا مانند مسجد گوهرشاد ستون ایوان، میله مناره هم هست و مناره از روی زمین برافراشته می‌شود به‌عنوان پشت‌بند تعریف شده است. در این بنا پاکار به‌اندازه نیم اشکوب دوباره کاهش

می‌یابد تا بر ظرفیت باربری ثقلی و جانبی آن افزوده شود. در دوره صفوی و این مسجد نوع تکنیک طاقپوشی به ترکیب طاق و تویزه تغییر پیدا می‌کند. پوشش کجاوه‌ای (کژاوه‌ای) به لحاظ سادگی اجرا به تبعیت از منحنی تویزه پوشش می‌شود (پیرنیا، ۱۳۷۰: ۱۰۳). در مسجد خلف باغ معمار نقشی را برای بروار کناری قائل نشده و صرفاً مسیر عبوری است. ساختار حجیم و توپر جرز در این‌گونه مساجد برای مقابل با رانش طاق با خیز کم و خفته، ضریب لاغری را کاهش داده است. همین رویکرد در مسجد ملا اسماعیل پیگیری می‌شود. در این مسجد قاجاری دهانه نسبت به مسجد جامع دو برابر و ضخامت جرز نیز دو برابر می‌شود ولی با توجه به اینکه ارتفاع ایوان دو برابر نمی‌شود، ضریب لاغری پایین‌تری نسبت به جامع یزد دارد. در نهایت در مسجد برخوردار در دوره پهلوی به مدد ساختمایه‌های نوین، لاغری جرز ایوان افزایش می‌یابد.



تصویر ۶: الگوی کلی مساجد آل تیموری یزد (مأخذ: نگارندگان)

جدول ۱۱: نسبت ارتفاع ایوان به پهنای خشت در مساجد صفوی و آل مظفر یزد (مأخذ: نگارندگان)

			
مسجد خلف باغ	مسجد امیرچقماق	مسجد جامع	مسجد ریگ

در زیر بررسی تحولات کالبدی مساجد یزد نکاتی وجود دارد که به روشن شدن تحولات رعنایی ایوان کمک می‌نماید. نسبت پهنای جرز به دهانه ایوان در بناهای ماقبل ششم (دوره آل کاکوئیه) بسیار زیاد است که برای مثال می‌توان به مسجد شیخی‌ها و مسجد کوفه شیخداد اشاره نمود. در مسجد کمتر شناخته‌شده شیخداد، ایوان عرض (دهانه) کمی به نسبت جرزهایی قطور دارد و نسبت عرض جرز ایوان به دهانه ایوان بسیار کم است. در این مسجد الگوی دو درگاه بودن در جرز ایوان استفاده شده است. در مسجد ریگ پهنای جرز به همراه دهانه ایوان کاهش و بلندای ایوان افزایش یافته است و ضریب لاغری جرز به عدد ۹ نزدیک می‌شود. در مسجد ریگ برخلاف مسجد کوفه که از طاق آهنگ سرتاسری به‌عنوان راهرو پشت‌بند ایوان استفاده شده، از طاق چهاربخشی بهره برده‌اند ولی جرز هنوز به‌صورت توپر و سرتاسری و درگاه به‌صورت یک طبقه با کشیدگی زیاد است. در مسجد جامع یزد از دیوار-ستون برای ساخت ایوان استفاده شده است. در این مسجد جرز برابر ایوان با تبعیت از روح زمانه به سمت جرزهای کوشکواره^۶ حرکت می‌کند و با خالی نمودن داخل جرز و کمک گرفتن از طاق کلبو و آهنگ ساختار ترکیبی ایجاد نموده است. معمار با ایجاد فضایی تقریباً چلیپایی درون جرز ایوان، سختی و اینرسی آن را افزایش داده و بستر را برای قرار دادن طاق فراهم نموده است. با این اقدام نسبت ارتفاع به پهنای جرز پنجاه درصد نسبت به مسجد ریگ کاهش یافته و به عدد ۶ می‌رسد. الگوی درگاه دوتایی در جرز و طاق سراسری آهنگ در این بنا نیز تکرار می‌شود. دوطبقه نمودن درگاه‌های ایوان و ایجاد غرفه درون ایوان در مساجد مصلی عتیق و اهرستان نیز ادامه می‌یابد. در مسجد سرپلک به‌جای دودرگاه کوچک، نیمی از جرز مبدل به بازشو شده و با ایجاد کمرپوش ساختار تضعیف شده جرز تقویت گردیده است از سویی دیگر طاق آهنگ سرتاسری نیز تقطیع شده و نیمی از جای خود را به طاق کجاوه‌ای داده است.

جدول ۱۲: تحولات تأثیرگذار پوشش بر رعنائی ایوان

مساجد				
طاق آهنگ با چیدمان متعارف پر یا ضریبی	نیمی از ایوان توپزه و نیمی کجاوه پهن با چیدمان ضریبی یا رومی	کاهش پهنای کجاوه و توپزه	افزایش تعداد توپزه و طاق کجاوه‌ای کم‌پهنا	رواج عام تکنیک توپزه با طاق کجاوه‌ای با چیدمان تیغه‌ای

در مسجد امیرچقماق همین رویه دنبال شده ولی رعنائی بدنه داخلی با کاهش طول تقسیمات دوتایی افزایش یافته است. با افزایش چکاد در این مسجد، نسبت ارتفاع به پهنا نیز نسبت به مسجد جامع افزایش پیدا کرده و به عدد ۷ می‌رسد. در مسجد پیرحسین جای نیمه جرز توپر نیز به ساختار مجوف با طاق کجاوه‌ای می‌دهد و بدین ترتیب زمینه را برای ظهور پوشش کامل طاق و توپزه در سرتاسر طول فراهم می‌آورد (جدول ۱۲). تجربه ساخت طاق الحاقی مسجد خضرشاه با ساخت طاق و توپزه با دهانه‌های مختلف، در تداوم تجربه‌های پیشین بوده و در مسجد پشت باغ نمونه عالی کاربست این نوع سیستم طاقپوشی هنگام طراحی در مساجد متأخر است؛ بنابراین می‌توان اذعان نمود بدنه داخلی ایوان نیز به همراه بدنه روبه حیاط شاهد دگرگینی‌های ساختاری و معماری جهت نمایش رعنائی بوده است (جدول ۱۳). حرکت از بدنه صاف و یکدست به بدنه با دو درگاه کوتاه و سپس افزایش کشیدگی در دوره بعد با تحولاتی بعدی مانند استفاده از کمپوش و دوطبقه نشان دادن بدنه، تبدیل دودرگاه کوچک به درگاه بزرگ که نیمی از طول ایوان را اشغال می‌کند به همراه ادامه خط درگاه تا سقف، نزدیک کردن فاصله خط‌های کشیده در بدنه و پر نمودن تمام بدنه با خطوط نزدیک هم با تعریف طاق و توپزه و کشاندن پای خطوط تا روی زمین از جمله راهکارهایی جهت نمایش رعنائی بدنه داخلی ایوان است.

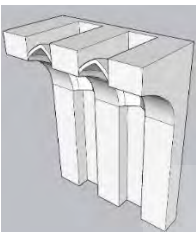
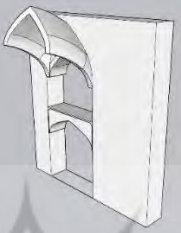
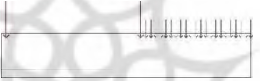
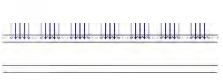
جدول ۱۳: تغییرات رعنائی بدنه جانبی ایوان مساجد یزد (مأخذ: نگارندگان)

سرپک	مصلی عتیق	جامع	ریگ
خلف باغ	امیر خضرشاه	پیرحسین دامغانی	امیرچقماق

از دیگر عوامل تأثیرگذار بر روی ضریب لاغری ایوان، تحول اینرسی دیوار و طاق ایوان است. در بررسی بناهای یزد معلوم می‌شود که ساختار جرز ایوان تا دوره ایلخانی به‌صورت توپر بوده است. اینرسی در این گونه ایوان‌ها بر اساس مقطع مستطیلی ($I=1/12 bh^3$) محاسبه می‌شود. طاق نیز در این دوران بیشتر به گونه طاق آهنگ بوده و بار وزن و رانش به‌صورت خطی بر سر جرز ایوان اعمال می‌شود. در دوران تیموری مانند مسجد امیرچقماق ساختار جرز ایوان از حالت توپر به متخلخل تغییر پیدا می‌کند. در این مساجد پهنای جرز از ۱-۱٫۵ متر به‌صورت توپر به میانگین ۲٫۲-۲٫۸ متر به‌صورت متخلخل افزایش می‌یابد. در این مساجد معمولاً نیمی از عمق ایوان را که روبه حیاط است را ساختار توپر و نیمه‌نزدیک گنبدخانه را ساختار توخالی تشکیل می‌دهد. در این دوره با ایجاد کمپوش در میانه جرز ایوان و کاربردی نمودن فضای داخل جرز به‌عنوان غرفه (غلام‌گردش جهت استفاده زنان) اینرسی جرز ایوان را افزایش داده‌اند. افزایش پهنای جرز ایوان به خاطر ایجاد راهرو داخل آن و اتصال با فضای بروار کناری ایوان، ساختاری نردبانی برای جرز به وجود آورده است. در این ساختارها با توجه به اینکه پهنای جرز افزایش می‌یابد، اینرسی و مساحت جرز نیز افزایش می‌یابد. شعاع ژیراسیون جرز نردبانی از جذر نسبت ممان اینرسی بر مساحت به دست می‌آید ($r_{min}=\sqrt{I/A}$)؛ بنابراین وقتی اینرسی و مساحت افزایش می‌یابد با نسبتی شعاع ژیراسیون نیز افزایش یافته و ضریب لاغری جرز ایوان کاهش می‌یابد. تغییر در سیستم جرز برابر موجب تغییر در سیستم پوشش نیز شده است. در این مساجد پوشش نیمه دوم جرز ایوان را معمولاً طاق کژاوه‌ای (کجاوه‌ای)

تشکیل می‌دهد. در این سیستم بار گسترده خطی جای خود را به ترکیب بار خطی و بار نقطه‌ای می‌دهد. بار نقطه‌ای برآیند بار گسترده سطحی طاق کجاوه‌ای بر روی ساختار خطی توزیه است. این روند در مساجد صفوی یزد تاووم می‌یابد به گونه‌ای که تمام طول جرز را ترکیبی از جرز باربر (ستون) و غیر باربر فرامی‌گیرد. در مساجد صفوی مورد بررسی نگارنده خبری از جرز مجوف و حجیم تیموری نیست بلکه معمار صفوی با تقطیع جرز و ایجاد ساختاری ترکیبی سعی در افزایش رعنائی جرزها داشته است. در ایوان‌های این مساجد اینرسی و مساجد جرز نسبت به ساختار توپر ایلخانی کاهش یافته است ولی معمار با کاهش بار ثقلی و ایجاد سربار سبک‌تر سعی نموده معضل کاهش شدید رعنائی جرز را جبران نماید. در طاق‌های کجاوه‌ای دوره تیموری وزن سربار نسبت به دوره قبل تفاوتی فاحش ندارد و این به خاطر این است که به واسطه دهانه زیاد طاق کجاوه‌ای معمار از چیدمان ضربی (اکثراً) و رومی (به ندرت) استفاده می‌کند. در حالی که در دوره صفوی به دلیل دهانه کم طاق کجاوه‌ای از چیدمان تیغه‌ای (لاپوش) استفاده می‌شود و میزان بار اعمالی بر روی دیوار کاهش می‌یابد (جدول ۱۴).

جدول ۱۴: تحولات بارگذاری روی جرز ایوان از دوره آل مظفر تا صفوی در مساجد یزد

		
		
خلف باغ، امیرخضرشاه، پیرحسین	امیرچقماق، سرپلک، بندرآباد، ابرندآباد	جامع یزد، اهرستان، کوفه

۴-۴- بحث و تحلیل

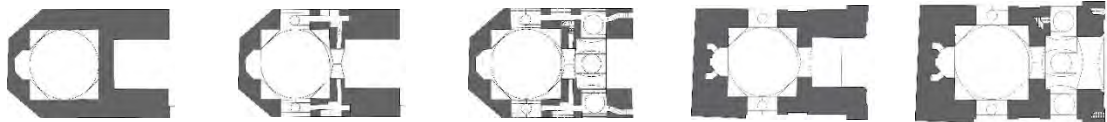
برای بررسی رعنائی ایوان در بناهای تاریخی یزد باید در بستر تحولات ساختاری و به صورت کروئولوژیکال مورد بررسی و تحلیل قرار گیرد. به همین دلیل در بخش تحلیل وارد سیر تحولات کالبدی ایوان در راستای تغییرات لاغری می‌گردد. قدیمی‌ترین ایوان اصیل در بناهای مورد تحقیق یزد متعلق به انتهای دوره اتابکان است. در این دوره همانند بناهای ایلخانی رعنائی ایوان‌ها در جهت نمایش ظرافت همراه با اقتدار، افزایش می‌یابد. مساجد در دوره ایلخانی باظرافت هرچه تمام‌تر از طریق دست‌کاری در تناسبات تغییر یافتند (هیلن برند، ۱۳۸۳: ۱۰۰). در این دوره ضریب رعنائی جرز افزایش می‌یابد ولی این افزایش با کاهش دهانه همراه است و تناسبات به رعنائی کمک می‌نماید. نسبت دهانه به پهنای جرز در این دوره در محدوده ۲ برای مساجد و مدارس و ۲٫۵-۲٫۸ برای خانه‌ها است. معماری سال‌های اولیه سده چهاردهم، احساس بلند بودن را از طریق کم شدن نسبت‌ها به وجود می‌آورد، در اینجا ارتفاع مطلق به گونه‌ای است که نیاز با این آثار فریبده را برطرف می‌سازد (اوکین، ۱۳۸۶: ۲۱۳). در دوره ایلخانی با تغییر الگوی زیبایی‌شناسی، به جای ساختن بناهای مهیب، از هندسه و تغییر تناسبات کمک می‌گیرند تا بناهای ظریف و رعنا به وجود بیاورند. معمار در دوره ایلخانی با کوچک نمودن دهانه و بالا بردن پاکار طاق (تا سه اشکوب) و استفاده از خطوط کشیده و عمودی که همپای ایوان تا بالا کشیده می‌شود، حس ابهت و فرازایی (تعالی) را به مخاطب القاء می‌کند. این اقدام مرسوم ذوجهین بوده به گونه‌ای که در برخی محل‌ها معمار مبادرت به سبک‌سازی جرز (مانند اسپر) و ایجاد روزن و تعبیه طاقچه‌های شاه و وزیری (مادر و بچه) می‌نماید. از یک طرف عمودیت نمای ساختمان آگاهانه اراده شد و با دقت در خطوط صعودی، پدید آمد از طرف دیگر کالبد ساختمان به جز در نقاطی که بار سنگین بنا باید نگاه داشته شود، سبک‌تر و نازک‌تر گردید (ویلبر، ۱۳۹۳: ۸۲). رعنائی جرز در این دوره ابزاری جهت نمایش زیبایی و قدرت است.

مکتب معماری که تیموریان دنبال کردند معماری آل مظفر بود که ظاهراً آن را الگوی اولیه خود در نظر گرفته‌اند (اوکین، ۱۳۸۶: ۲۱۰). در دوره تیموری رعنائی ایوان بی کمک گرفتن از تغییر تناسبات و با ساخت بناهایی عظیم بازتعریف

می‌شود. ارتفاع ایوان در دوره تیموری به تناسبی بلند اوج گرفته و مانند نشانه‌هایی از دور قابل تشخیص است (ویلبر و گلمبگ، ۱۳۷۴: ۱۱۴). در این دوره به ضخامت و بلندای ایوان افزوده می‌شود و بجای تغییر در نسبت بلندا به پهنای ایوان مساجد، تماماً پهنای جرز را افزایش داده و بناهای رفیع را متناسب با ضخامت جرز به وجود آوردند. این اقدام در راستای رفع تمرکز تنش فشاری در جرزهای لاغر دوره ایلخانی و اتابکان بوده است به‌طوری‌که با افزایش پهنای هم از مقطع بحرانی فاصله گرفته و هم امکان ساخت ایوان رفیع‌تر فراهم می‌آمده است (پیوست). علاقه آگاهانه به تأکید در عمودیت و دراز نمایش دادن بنا در سراسر قرن چهاردهم (هفتم ه.ق) وجود داشت، ولی در قرن پانزدهم از اهمیت افتاد (ویلبر، ۱۳۹۳: ۸۴). در این دوره رعنائی ایوان از حالت اغراق‌شده خارج و به‌صورت طبیعی درمیآید. رعایت مقیاس انسانی با در نظرگیری عظمت و رعنائی ازجمله ویژگی‌هایی این دوره است. در دوره تیموری با استفاده از تناسبات و اعمال نماهایی با هندسه شبکه‌ای مانند به بنا، باعث انسانی کردن مقیاس آن می‌شدند که در غیر آن صورت هیبتی دلهره‌آور پیدا می‌کرد (هیلن برند، ۱۳۸۳: ۲۲۹). در این دوره سبک‌سازی جرز به کمک رعنائی شتافته و معمار با استمداد از مجوف‌سازی اقدام به افزایش رعنائی ایوان می‌نماید. در دوره دوم شیوه آذری (زمانی که تیمور معمارانی چون قوام‌الدین و استاد محمود اصفهانی را به سمرقند و بخارا می‌برد) اصلاحاتی صورت می‌گیرد و به‌تدریج در نقاطی که دیوار باربر نیست، خالی و سبک می‌شود (پیرنیا، ۱۳۷۰: ۱۰۰). ایجاد توزیه‌های عرضی و ساخت طاق کجاوه‌ای (مانند مسجد امیرچقماق و بندرآباد) و متخلخل سازی جرزهای ایوان برای ساخت غرفه و تعبیه دستگاه پله درون آن، ازجمله تکنیک‌هایی در راستای سبک‌سازی جرز و کاهش سربار مرده در راستای افزایش رعنائی ایوان است. در دوره تیموری به‌جای ساختن طاق مستقیماً روی دو دیوار موازی، قوس‌هایی از سر این دیوار تا آن دیوار بر روی فضای بین آن دو زده می‌شد سپس بر روی دهانه‌ای که به این طریق تشکیل می‌شد، یک نوع پوششی از طاق می‌زدند (ویلبر و گلمبگ، ۱۳۷۴: ۱۴۸). کوشک‌واره نمودن جرزهای ایوان مساجد این دوره به دلایلی همچون تزریق روشنایی به داخل فضا، تزئین نمودن لبه‌های تعریف‌شده (مانند جان‌پناه‌های غرفه) و افزایش دسترسی صورت گرفته است. این عوامل به افزایش رعنائی و درنهایت امکان تزئین نمودن بدنه جرز ایوان منتهی شده است. معماران تیموری با کاستن عوامل باربر و وسیع‌تر کردن فضا برای نور بیشتر و تزئین کاربردی، امکانات تزئینی آن را توسعه دادند (بلر و بلوم، ۱۳۹۱: ۲۸).

در یزد معماران تیموری با احداث دهلیزهایی در سطح میان اشکوب در دیوارهای قطور به‌ویژه در عرض دیوار خلفی ایوان مقصوره، توانستند توده حجیم دیوارها را سبک کنند (ویلبر و گلمبگ، ۱۳۷۴: ۲۶۳). هرچند در دوره تیموری با استعانت از تغییر در بارگذاری روی جرز و استفاده از توزیه‌های عرضی و بارگذاری روی توزیه مبادرت به سبک‌سازی نمودند ولی با نگاه کلی وزن ثقیل پوشش کاهش زیادی نیافته ولی در دوره صفوی به این امر دست یافتند. در دوره صفوی الگوی زیبایی کالبدی به‌سوی گشایش و شفافیت فضایی، انعطاف‌پذیری در فرم پوشش، تقطیع نمودن ساختار و فاصله گرفتن از ساختارهای یکدست و خشن است. رعنائی و کشیدگی جرز توپر هماهنگی تام و تمام با طاق آهنگ ایوان دارد و در استیلای اقتدار و خشونت به ایوان کمک می‌کند. از دید ساختاری در سده‌های سوم و چهارم که طاق‌ها به گونه آهنگ بوده، بام خانه بلند و مرتفع می‌شده است، چون طاق آهنگ را نمی‌شد کوتاه‌تر از یک اندازه‌ای درست کنند. از این‌رو خانه‌های کهن شاید خشن به دیده آیند (معماریان، ۱۳۸۷: ۱۵۸). این سنت که تا دوران تیموری در خانه‌سازی منطقه یزد تداوم می‌یابد با فروریختن الگوهای زیبایی‌شناسی فرومی‌ریزد. معمار صفوی هنگام برخاستن جرز از زمین برای پویا نمودن ساختار، جرز را منقطع ساخته و ساختار یکپارچه جرز را به ستون - دیوار مبدل می‌نماید. بسیاری از اوقات به‌جای استفاده از دیوار سرتاسری باربر از ستون استفاده می‌کنند. ستون‌ها مقاطعی چون دایره، مربع و مربع‌مستطیل را دارا هستند (پیرنیا، ۱۳۷۰: ۴۷). معمولاً در دیوار سراسری باربر در فواصل معینی از جرز یا پایه استفاده می‌کنند تا بتوانند از طول یکدست که ضریب مقاومت و ایستائی کمتری دارد بکاهند و فضای داخل ساختمان را متنوع و وسیع‌تر سازند (پیرنیا، ۱۳۷۰: ۴۷). به‌تبع این اقدام معمار صفوی مبادرت به ساخت پوشش متناسب با پایه می‌نماید. پوشش در نظر گرفته برای ستون - دیوار، تیر اصلی با پوشش پرکننده بین تیرهای اصلی است. تیر را توزیه (اکثراً ضربی) و پرکننده را طاق کجاوه‌ای یا چیدمان تیغه‌ای (لاپوش یا چپله) در این دوره تشکیل می‌دهد. به این صورت که بار روی ستون‌ها به‌صورت خطی و بار پرکننده به‌صورت نقطه‌ای به گوشه

ستون‌ها اعمال می‌شود. تکرار و ریتم خطوط پوشش با طولیل شدن در افق و گسترده‌تر شدن بیشتر به چشم می‌آید بنابراین در این دوره افزایش دهانه هماهنگ با ضرباهنگ تکرار پوشش بوده است. از سویی با افزایش دهانه طاق، نیروی رانشی بیشتری به پایه وارد شده که معمار صفوی را مجبور به کاربرد پهنای بیشتر برای جرز و در نهایت کاهش رعنائی می‌نموده است. اگر در یک دیوار یکنواخت در بعضی قسمت‌ها باری چون بار سقف وارد کنیم و بقیه دیوار را آزاد بگذاریم، بخشی که بار روی آن است نشست بیشتری خواهد داشت لذا دیوار در محل بین دو بخش ترک می‌خورد و می‌شکند. برای جلوگیری از شکست محلی را که بار اضافی ندارد سبک می‌کنند (پیرنیا، ۱۳۷۰: ۴۷).



تصویر ۷: تحولات اینرسی جرز از کف تا بام جرز ایوان مسجد جامع بندرآباد (مأخذ: مرکز اسناد سازمان میراث فرهنگی یزد)

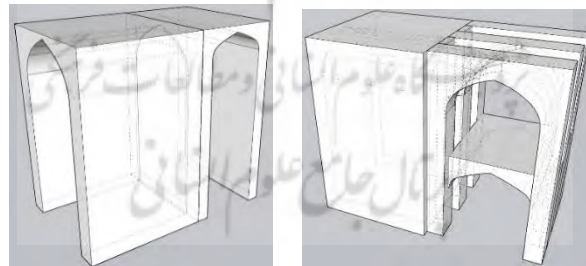
معمار صفوی با انتخاب جرز ستون - دیوار و سبک کردن سقف هم کاهش رعنائی ایوان را جبران نموده و هم ظرافت فضایی را افزایش داده است. این روش به خاطر ویژگی‌های چندی مانند افزایش سرعت و ساده‌سازی تکنیک اقبال سرزمینی پیدا می‌کند. رفته‌رفته پوشش طاق و تویزه بسیار متداول می‌شود به‌طوری‌که اغلب خانه‌های کویر حتی در مناطق آبادی چون اصفهان خانه‌ها را با طاق و تویزه می‌پوشانند (پیرنیا، ۱۳۷۰: ۱۰۰). با این اقدام شفافیت فضایی نیز افزوده شده و پنجره تعبیه‌شده بین تویزه‌ها در نمایش ریتم و تکرار خطوط نیز عمل می‌کند. از زمانی که در ساخت طاق‌ها از روش طاق و تویزه بهره‌گیری شد، هم از بلندای خانه کاسته شد و هم اینکه می‌شد زیر طاق پنجره گذاشته شود (معماریان، ۱۳۸۷: ۱۵۸). تکرار و ضرب‌آهنگ طاق و تویزه یکی از ابزارهای این دوره برای نمایش ظرافت و انعطاف است.

یکی دیگر از تحولاتی که در دوره صفوی وارد امور رایج و استاندارد معماری مسکونی شد و بر ضریب رعنائی جرز تأثیر گذاشت، استفاده از کمربوش بود. نیاز به کمربوش در برخی بناها مانند مسجد جامع نائین در قرن هشتم به وجود آمد (پیرنیا، ۱۳۸۲: ۱۴۷). تجربه‌های تاریخی مانند الحاق کمربوش در داخل فضای ایوان خانه‌های آل مظفر، ساخت کمربوش در جرز ایوان مساجد آل مظفر و تیموری زمینه را برای حضور همیشگی کمربوش در معماری خانه صفوی هموار نمود. رانش ناشی از استفاده قوس‌هایی با خیز کم در دوره صفوی هرچند باعث کاهش ضریب لاغری جرزها می‌گردید ولی با ساخت کمربوش و ایجاد تکیه‌گاه میانی امکان افزایش رعنائی جرز مقدور گردید. اجرای کمربوش در صورتی میسر است که ارتفاع ساختمان بالاتر از سطح تراز کمربوش باشد و دیگر آنکه پایه‌ها نیز از ضخامت کافی برخوردار باشند تا مانع رانش نیروها به خارج گردند (پیرنیا، ۱۳۷۳: ۹۸). به کارگیری کمربوش با خیز کم در بناهای این دوره با کمک راهروهای جانبی و افزایش اینرسی جرزهای ایوان به دست می‌آید. با محدود نمودن تغییر مکان‌های جانبی بالای ایوان با کمک نیروی رانشی زیاد و فضای مجوف راهرو، کمربوش قابلیت اجرا پیدا می‌کند. پوشش‌های کمربوش با خیز کم در جاهایی قابلیت اجرا دارد که اولاً فشار زیادی روی پایه‌ها باشد تا اصطلاحاً پایه‌ها در نرود ثانیاً شانه‌های بنا گرفته‌شده باشد (پیرنیا، ۱۳۷۳: ۹۸).

از نکات قابل تأمل دیگر برای ارائه رعنائی ایوان استفاده از کرسی در ساختمان است. استفاده از فضای زیرزمین برای خانه‌های آل مظفر امری متعارف نبوده است و ذکر آن در متون تاریخی نشانی از خاص و نادر بودن این فضا برای خانه‌های کوچک و فشرده این دوران است. درحالی‌که در دوران صفوی ساخت زیرزمین به‌صورت رایج بوده که معماران از قابلیت‌های آن بهره برده‌اند. با به کارگیری زیرزمین امکان ساخت طاق کمربوش با خیز کم که رانش زیادی به همراه داشته فراهم می‌گردد درعین حال این نیروی رو به بیرون طاق به‌وسیله خاک پیرامون زیرزمین مهار می‌شود. معمار صفوی با ساخت کمربوش در زیرزمین امکان برپایی جرز ایوان رفیع فراهم می‌گردد. از طرف دیگر در این گونه خانه‌ها جهت روشن نمودن فضای زیرزمین از کرسی بهره می‌گرفتند که به نموداری بلندای ایوان در چشم مخاطب کمک می‌کند. در خانه‌های صفوی یزد، بیننده نقطه شروع جرز ایوان را از کف حیاط مشاهده می‌کند درحالی‌که طول ارتفاع مؤثر جرز از کف طبقه یا به عبارتی از روی کرسی تعریف می‌شود. ارتفاع اضافه‌شده کرسی ساختمان به بلندای ایوان به رعنائی آن کمک کرده و تفاوت فاحش بین رعنائی دوره آل مظفر و صفوی کمتر جلوه می‌نماید.

عمق ایوان خانه در دوره صفوی نسبت به دوره آل مظفر کاهش می‌یابد و این تقلیل بر رعنائی ایوان اثر گذاشته است. ایوان در دوره آل مظفر نقش‌های متفاوت و متنوعی را بر عهده می‌گیرد که در دوره صفوی این وظایف به عناصر دیگری واگذار می‌گردد. ایوان به مثابه جذب‌کننده باد، ایوان به عنوان فضایی ارتباطی و راهرویی اشرافی، ایوان به مثابه مرکز ثقل ساختمان و پخش‌کننده روابط فضایی در دوره آل مظفر به عناصری همچون بادگیر، راهروهای ارتباطی و تالار محول می‌گردد. با تحویل این وظایف به دیگر فضاها، ایوان صفوی خانه‌های یزد صرفاً پیش در آمدی بر فضای تالار پشت خود است. با کاهش عمق طاق امکان ساخت جرزهایی رعنا فراهم می‌گردد. در ایوان‌های صفوی هر چند خیز طاق کاهش یافته است ولی معمار با ترفند کاهش عمق بارگذاری (۲،۲-۲،۵ متر) توانسته است جرزهایی ظریف را به وجود بیاورد.

مهار جانبی بالای جرز ایوان یکی دیگر از روش‌هایی است که به تقویت رعنائی جرز ایوان یاری می‌رساند. جابجایی جانبی ایوان برافراشته آل مظفر حتی تحت بار ثقلی نیز یکی از عواملی است که باعث ناپایداری جرز ایوان در طول زمان می‌شده است (پیوست). با مطالعات میدانی مشخص گردید در برخی از خانه‌هایی که در طبقه دوم جبهه جنوبی فضایی ساخته نشده به خاطر بحرانی بودن جابجایی سر ایوان جنوبی و تغییر مکان جانبی سرایوان بلند، در دورانی پس از ساخت ایوان مظفری، طاق ایوان فرو ریخته است (مانند خانه طنبی بندرآباد و خانه آقا سیدگل سرخ). فضای فروار^۶ که اتاقی در اشکوب دوم و هم‌جوار فضای ایوان مظفری است، از جمله روش‌های تعریف تکیه‌گاه در سر جرز ایوان است. اتاق فروار پشت‌بند ایوان کشیده مظفری بوده و امکان ساخت ایوان با دهانه‌های بزرگ را در خانه‌های این دوره فراهم می‌نموده است. در دوره صفوی نیز این تکنیک ادامه می‌یابد و اتاق گوشوار هم‌ارتفاع فضای ایوان شده است. در خانه‌های صفوی با توجه به اینکه بلندای ایوان نسبت به دوره قبل کاهش می‌یابد، اتاق گوشوار مجبور به استفاده از طاق‌های خیلی کم‌خیز و گفته (گلوبی دار و خوابیده) شده که نیروی رانشی زیادی به جرز وارد می‌کند. این معذورت با به‌کارگیری طاق دوم به صورت طاق و تویزه و افزایش اینرسی جرز ایوان مرتفع شده است. همچنین باید متذکر شد فضاهای خصوصی که در خدمت فضای شهری هستند مانند ساباط نیز به کمک رعنائی می‌شتابند (تصویر ۸). برخی ایوان‌های آل مظفر هم به شواهد متون تاریخی و هم شواهد میدانی در پشت خود عنصر ساباط را همراهی می‌کنند که به مثابه شخصیت ایوان خانه از ویژگی‌های این دوران بهره‌مند است. سیستم سازه‌ای اجرای طاق‌های ساباط‌ها، بر طبق سیستم طاق خانه‌ها، به صورت طاق و تویزه در اشکوب دوم و به صورت ضربی در طبقه اول است (ذاکرعاملی و اسفنجاری، ۱۳۸۷: ۷۴). در دوره صفوی با تعریف کمرپوش در ساباط و دوطبقه نمودن آن جلوی کمانش جانبی فضای ایوان را گرفته و ساخت ایوان دوطبقه را ممکن ساخته است.



تصویر ۸: نقش ساباط به عنوان تعریف تکیه‌گاه جرز و اسپر ایوان در بناهای صفوی (راست) و آل مظفر (چپ)

۵- نتیجه‌گیری

رعنائی جرز ایوان بناهای یزد از دوره ایلخانی تا صفوی دستخوش دگرگونی‌های بسیاری بوده است (جدول ۱۵). مطالعات نشان می‌دهد که در دوره ایلخانی هندسه به یاری رعنائی ایوان شتافته و در تعامل با یکدیگر ابهت و اقتدار را با دست‌کاری در نسبت‌ها القاء می‌نمایند. در این مسیر لاغری جرز به مقدار کمینه خود نزدیک شده و ظرافت را با زیبایی به پیشینه می‌رساند. آمیزش هندسه با رعنائی در راستای فریبندگی مخاطب، تحمیل سلطه و نمایش حسن با تبعاتی ساختاری - معماری همراه است. این پیامدهای ساختاری در دوره تیموری با رهایی هندسه اغواگر و بازگشت به آغوش حقیقت مرتفع می‌گردد. در اثر همپایی با حقیقت و هم‌نشینی با فضای طنبی، جرز ایوان آل مظفر کششی به سمت کوشک و ارگی پیدا می‌کند و رعنائی جرز در دوره نسبت به دوره قبل کاهش می‌یابد. ساختار خشن هندسه و زمخت طاق آهنگ زمینه را برای

تغییر ضریب لاغری جرز پیوسته فراهم می‌آورد. بازاندیشی به رعنائی و ارتقای آن در دوره صفوی با مدد گرفتن از انعطاف‌پذیری، سطوح پوسته‌ای، کاهش جسمانیت و سبک‌سازی صورت می‌گردد. ضریب لاغری هرچند دیگر به مقادیر دوره آل مظفر باز نمی‌گردد ولی تحولات ساختاری در دوره تیموری و صفوی که همراه با اقتضائات زمانی و مکانی است، رعنائی را دستخوش تغییر می‌کند.

ضریب لاغری جرز ایوان در دوره آل مظفر در خانه‌ها به حداکثر می‌رسد و در مدارس و مساجد کمتر است. در دوره تیموری تدابیر متعددی برای مقابله با عوارض ناشی از لاغری زیاد سنجد شده و برای جلوگیری از کم‌انرژی و حرکت روبه بیرون ایوان بلند به استفاده از کم‌پوش و سبک‌سازی پوشش و متخلخل نمودن ساختار روی آورده‌اند. تجربه مهار ضریب لاغری زیاد در دوره‌های بعد منتهی به استفاده از جرزهای منقطع، تویزه و طاق کجاوه‌ای، تبدیل نیروهای سطحی به بارگذاری خطی و نقطه‌ای، بهره‌گیری از اندرکنش نیروها و خنثی‌سازی نیروهای متقابل شده است. ارتفاع مؤثر عضو که در دوره ایلخانی طول کل عضو بوده با تدابیری مانند تعریف تکیه‌گاه و قیدهایی از جمله کم‌پوش کاهش یافته است. حداقل شعاع چرخش از مقطع مستطیلی توپر دوره ایلخانی به مستطیل توخالی در دوره تیموری و در نهایت به مقطع دندانه‌ای صفوی تحول پیدا می‌نماید. اینرسی جرز در دوره ایلخانی ثابت بوده و بر اساس مقطع مستطیل باریک محاسبه می‌شود در حالی که دوره تیموری که جرز متخلخل و حجیم می‌شود، اینرسی افزایش یافته و دوره صفوی که جرز به صورت مقطع درمی‌آید، اینرسی کاهش می‌یابد. معمار دوره تیموری با ترکیب نمودن چند ستون درون یک ساختار و ایجاد جرز - ستون و دیگری توخالی نمودن یک جرز حجیم، اینرسی را افزایش داده در حالی که در دوره صفوی معمار با استمداد از فضای راهرو و ایجاد ساختاری نردبانی با دو جرز باریک بر مشکل کمبود اینرسی فائق آمده است. در پایان می‌توان گفت که قد و «نسبت قد و پا» در معماری یزد همیشه با «قواره»^۸ همراه و همبسته بوده است.

جدول ۱۵: عوامل تأثیرگذار بر روی رعنائی ایوان در بناهای یزد از دوره آل مظفر تا صفوی

ایوان		
صفوی	تیموری	آل مظفر (ایلخانی)
کاهش نسبت بلند به دهانه	تداوم سنت مدرسه و خانه‌سازی آل مظفر	جرز توپر مستطیلی
کاهش خیز و افزایش دهانه طاق	تغییر بارگذاری خطی به خطی - نقطه‌ای	پوشش طاق آهنگ
کاهش خیز قوس	تغییر جرز ایوان مساجد به جرز کوشکواره	قوس تیزه دار با پاراسته
تکرار بارگذاری نقطه‌ای - خطی	تغییر پوشش طاق آهنگ به ترکیب آهنگ و کجاوه	بارگذاری خطی روی جرز
افزایش ضربه‌نگ بارگذاری با کاهش طول بارگذاری	در مساجد	جرز به صورت توپر با بازشوهای کشیده
تعریف جرز به صورت ترکیب دیوار - ستون	ایجاد چیدمان کجاوه به صورت ضربی یا پر	ثابت بودن اینرسی و مساحت جرز در ارتفاع
متغیر بودن اینرسی در ارتفاع	ساخت کم‌پوش در انتهای داخل ایوان	بدنه جانبی صاف با دوال پهن
رایج شدن ساخت کم‌پوش و تعریف تکیه‌گاه	کاهش خیز و نوع قوس‌ها	ایجاد نغولکاری‌های برجسته با ضخامت کم
مهار نیروی رانش طاق کم‌خیز با ایجاد زیرزمین	تداوم بارگذاری خطی روی جرز در خانه‌ها	قطع خطوط عمودی بدنه داخلی
تغییر پوشش به طاق کجاوه‌ای و تویزه	جرز به صورت توپر با نغولکاری	تعریف تکیه‌گاه در امتداد صفحه ایوان
تبدیل جرز توپر به جرز به صورت منقطع	بدنه جانبی ایوان صاف با دوال پهن و خطوط عمودی فاصله‌دار	ایجاد ساباط یک طبقه بلند به عنوان پشت‌بند اسپر و ایوان
تغییر چیدمان کجاوه به تیغه‌ای یا لاپوش	افزایش اینرسی جرز در مساجد با افزایش پهنا	ایجاد اتاق‌های جانبی ایوان به عنوان پشت‌بند
کمک گرفتن از راهرو برای افزایش اینرسی	افزایش دهانه طاق آهنگ در خانه‌ها	ساخت فضای فروار به عنوان تکیه‌گاه جانبی ایوان
حذف دوال پهن و ایجاد دوال باریک و خطوط عمودی نزدیک	عدم استعانت از هندسه جهت القای هیبت اغراق شده	
	تعریف خطوط عمودی در بدنه جانبی و تقطیع دوال پهن	
	پایین آوردن خطوط عمودی تا نیمه بلندای جرز ایوان	

پی‌نوشت

^۱ در این مقاله از مفهوم ضریب لاغری برای مفاهیمی که قرابت بیشتری با مفاهیم ساختاری و سازه‌ای دارد استفاده شده است. نگارندگان معتقدند که ضریب لاغری زیرمجموعه ضریب رعنائی قرار دارد. بدین خاطر در این مقاله هنگامی که سخن از مفهوم کلی رعنائی و مفاهیم معماری می‌شود از ضریب رعنائی که بار معنایی گسترده‌تر و شمول فرهنگی پهناورتری دارد، استفاده شده است.

^۲ ستون چاق، ستون‌هایی هستند که نسبت طول عضو عمودی به کوچک‌ترین بعد مقطع آن کمتر از ۳ بوده و دارای مقاومت فشاری زیاد باشد. ستون‌های چاق با نسبت لاغری کم، دارای تنش بحرانی کم‌انحس بالایی بوده و به همین علت قابلیت تحمل نیروی فشاری زیادی دارند.

^۳ ضریب لاغری (slenderness ratio)، طبق مبحث هشتم مقررات ملی ساختمان ایران، نسبت لاغری در دیوار از تقسیم ارتفاع مؤثر بر عرض (ضخامت) مؤثر و با تقسیم طول مؤثر بر عرض مؤثر، هرکدام که بیشتر است، به دست می‌آید. درحالی که به نظر نگارندگان مقاله، یکی از پارامترهایی که نسبت رعنائی بهره می‌برد نسبت لاغری و نسبت ارتفاع بنا به پهنای جرز است.

^۴ معماران انواع نیروهایی را که به بنا وارد می‌آید و بنا برای ایستائی خود در تقابل با آن‌هاست مثل نیروهای فشاری، رانشی، خمشی و ... «جان گذار» گویند چون قابل‌رؤیت نیست (پیرنیا، ۱۳۷۰: ۱۲).

^۵ مدارس تدفینی، مدارسی که در خود یک مقبره دارند (هیل برنر، ۱۳۸۳: ۱۹۰). این مدارس بیشتر به قصد آن که مدفنی برای بانی باشد، ساخته می‌شد. این جزئی از خصوصیت معمارانه آن دوره بود و سازندگان از ابتدا بدین منظور گنبدخانه ای رفیع در کنار ایوان مدرسه برپا می‌کردند که محل دفن بانی شده است (خادم زاده، ۱۳۸۷: ۷۴).

^۶ جرزهای کوشکوار. اسفنجاری در مقاله خود اشاره می‌نماید که آنچه به عنوان تخلخل سازه در معماری ایلخانی خوانده شده در تیپ مساجد به شکل بارز و باشکوهی نمایان است؛ بنابراین ترکیب و کیفیت مجوف و سبک گنبدخانه و ایوان به همراه غرفه‌های زیبا و دل‌چسب فوقانی آن تا حد زیادی یادآور عبارت‌های شاه‌نشین و کوشک است (اسفنجاری، ۱۳۸۴: ۳۱). نگارندگان این تخلخل سازه‌ای دوره آل مظفر که در مساجد و کوشک‌ها نمود می‌یابد را با عنوان «جرزهای کوشکوار» تعبیر نموده‌اند.

^۷ فروار به اتاقی که در بالایی خانه می‌ساختند برای اقامت تابستانی گویند (قیومی و بهشتی، ۱۳۸۸: ۱۸۸). به نظر نگارنده فضای فروار همان‌گونه که در دیوان رودکی آمده به معنای بالاخانه تابستانی و فرواره است (رودکی، ۱۳۷۶: ۲۰۸). این واژه ترکیبی از «فر» و «وار» است و معنای فره ایزدی، نگهبان، بالا را در خود دارد. از سویی دیگر در اوستا، فروار به معنای «دیوار پهناور و گسترده» است (بهرامی، ۱۳۶۹: ۹۶۶). به عقیده نگارنده این معنای فروار که با پژوهش پیش رو موضوعیت دارد جنبه ساختاری و دلایل پدیداری فضای فروار را پیش رو قرار می‌دهد که پرداختن به آن مجال دیگری را طلب می‌نماید.

^۸ قواره (Configuration) یا پیکربندی، هیات، شکل و ترکیب کلی ساختمان که قاعداً درباره بسیاری از بناهای سنتی تکامل یافته صادق است. می‌توان در ترجمه مفهوم Configuration از لغت «قواره» و «قواره بندی» نیز استفاده کرد (اولیاء، ۱۳۶۹: ۵۶).

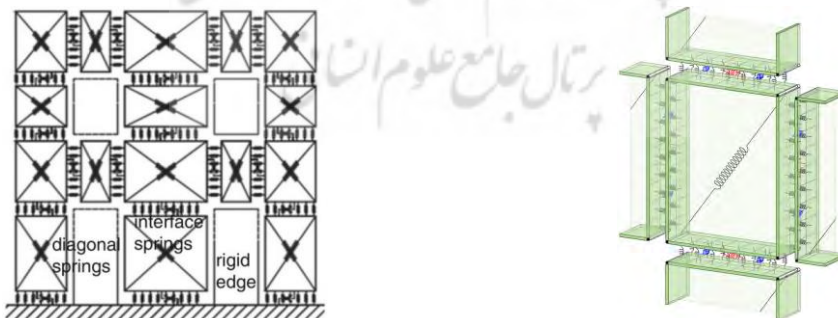
پیوست

هرچند محتوای اصلی این مقاله بررسی تغییرات جرز ایوان‌ها در بناهای تاریخی یزد با رویکردی تاریخی-معمارانه است، ولی از آنجاکه مبنای این بررسی معطوف به مفاهیم سازه‌ای است، در این بخش باهدف بررسی کمی تفاوت جرز ایوان‌ها در دوره‌های تاریخی مختلف و شناخت بهتر رفتار سازه‌ای آنها به تحلیل سازه دو نمونه از این ایوان‌ها تحت بار ثقلی پرداخته شده است. برای این کار از مدل درشت المان مجزا (discrete macroelement) به کار گرفته شده در نرم‌افزار هیسترا (HiStrA) (Gruppo Sismica, 2022)، که به‌طور اختصاصی برای شبیه‌سازی عددی و تحلیل سازه‌های مصالح بنایی توسعه داده شده است، استفاده شده است. درشت المان مذکور یک المان سه‌بعدی مبتنی بر فنر با هفت درجه آزادی (شش حرکت جسم صلب و یک تغییر شکل برشی داخل صفحه) است که می‌تواند مکانیسم‌های خرابی اصلی داخل و خارج از صفحه سازه‌های مصالح بنایی را شبیه‌سازی و پیش‌بینی کند. هر درشت المان از چهار صفحه صلب و چهار المان فصل مشترک که در امتداد این صفحات تعریف شده‌اند، تشکیل شده است. در این المان‌های فصل مشترک شبکه‌ای از فنرهای عرضی برای شبیه‌سازی مکانیسم‌های خمشی و محوری درشت المان تعبیه شده‌اند. درحالی که یک فنر در امتداد طولی و فنرهایی در امتداد ضخامت المان‌های فصل مشترک به ترتیب رفتار برشی-لغزشی داخل و خارج

از صفحه درشت المان را کنترل می کنند (تصویر ۱ پ) (Chácara, 2018). صحت سنجی درشت المان به کار گرفته شده در این مقاله نسبت به نتایج آزمایشگاهی و عددی موجود در ادبیات تحقیق بارها توسط محققین مختلف مورد بررسی قرار گرفته و اعتبار آن تأیید شده است (به عنوان نمونه رجوع شود به (Pantò et al., 2017)). از این درشت المان برای مدل کردن سازه های تاریخی طاق (Chácara et al., 2023) و گنبددار (Cannizzaro et al., 2024) با هندسه پیچیده نیز استفاده می شود.

دو نمونه ایوان انتخاب شده برای تحلیل سازه ای مربوط به خانه های صفوی و آل مظفر یزد هستند که ابعاد آنها برابر با میانگین مقادیر ارائه شده در جدول ۵ فرض شد. همچنین با توجه به محدودیت های این تحقیق در انجام مطالعات آزمایشگاهی، از نتایج آزمایش های انجام شده توسط (Eslami et al., 2012) بر روی نمونه های خشت های تاریخی شهر یزد استفاده شد که به شرح جدول ۱ پ در ادامه آمده است. همچنین فضای بالای طاق در هر دو نمونه به صورت کاملاً پر شده توسط خاک فرض شد. با فرضیات گفته شده، دو نمونه تحت تحلیل ناشی از بار ثقیلی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که ایوان آل مظفر در بحرانی ترین مقاطع خود یعنی مقطع تحتانی جرزها و محل های نشیمن طاق بر روی جرزها، متحمل تنش اصلی فشاری حدود $0.4/0$ مگاپاسکال می شود، در حالی که این مقدار برای ایوان صفوی حدود $0.2/0$ مگاپاسکال است (تصویر ۲ پ). همچنین الگوی ترک خوردگی دو ایوان (تغییرات کرنش پلاستیک) بیانگر تمرکز ترک ها در طاق هر دو نمونه است، هر چند خرابی طاق در ایوان آل مظفر گستردگی بیشتری دارد (تصویر ۳ پ). همچنین تصویر ۳ پ نشان می دهد که جرزهای هر دو ایوان علیرغم تحمل تنش دچار ترک خوردگی فشاری نمی شوند. به عنوان معیاری برای میزان کمناش جانبی جرزهای ایوان تحت بار ثقیلی، جابجایی های هر دو نمونه در تصویر ۴ پ ارائه شده اند. بر این اساس، در مقطع فوقانی جرزها، ایوان آل مظفر جابجایی جانبی حدود ۱۳ میلی متر و ایوان صفوی جابجایی جانبی حدود ۶ میلی متر را تحمل می کنند. مقدار بیشتر جابجایی ناشی از ضریب لاغری (نسبت ارتفاع به ضخامت) بزرگ تر جرزهای ایوان آل مظفر است که در قسمت های قبلی این مقاله هم مورد بررسی قرار گرفت.

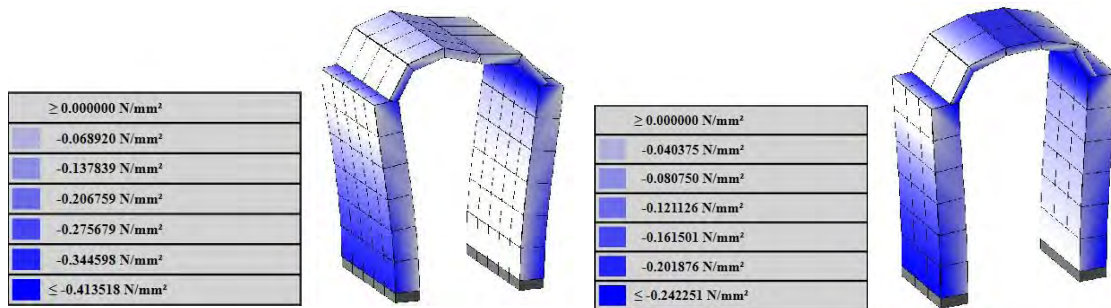
بنابراین می توان ادعان نمود این مطالعات کمی در راستای تأیید و تقویت بنیان های نظری کیفی این تحقیق بوده است. وجود تمرکز تنش بیشتر در جرز آل مظفر نسبت به دوره صفوی واجد این نکته ارزشمند است که جرزهای این دوره در معرض خطر بیشتر هستند به گونه ای که در این جرزهای باریک از ساخت طاقچه پرهیز می نمودند و حتی رف هایی که ساخته می شده به صورت طره و با نی و گچ به صورت کنسول ایجاد می شده است. همچنین این تمرکز تنش نشان دهنده جسارت معماران این دوره در به کارگیری حدنهايت باربری فشاری جرز در راستای القای زیبایی و هندسه ایستاده است. از سویی دیگر کاهش تنش فشاری درون جرز دوره صفوی نشان دهنده صحت کارایی نیروی رانشی در جهت جرز نردبانی صفوی و استفاده از قابلیت افزایش اینرسی برای جبران رعنایی ایوان است. تأیید تأثیر جابجایی جانبی ایوان بر اثر نیروی ثقیلی نکته قابل اشاره دیگر است که توسط مطالعات کیفی و میدانی نیز مورد تصدیق قرار می گیرد. تمام راهکارهایی که در سیر تحول ساختاری ایوان از دوره آل مظفر تا صفوی که به انحای گوناگونی با این موضوع مرتبط هستند مانند ایجاد فضای فرور، ایجاد راهروی بروار، تغییر شکل و جهت بارگذاری ثقیلی، تعریف قیدهای جانبی و استفاده از کمربوش، همگی در راستای کاهش اثر کمناش جانبی و جابجایی سر ایوان صورت گرفته است.



تصویر ۱ پ: درشت المان به کار گرفته شده در نرم افزار هیسترا (راست)، ساخت مدل دیوار بنایی با استفاده از درشت المان (چپ) (Chácara, 2018)

جدول ۱ پ: مشخصات مکانیکی خشت مورد استفاده در تحلیل های عددی

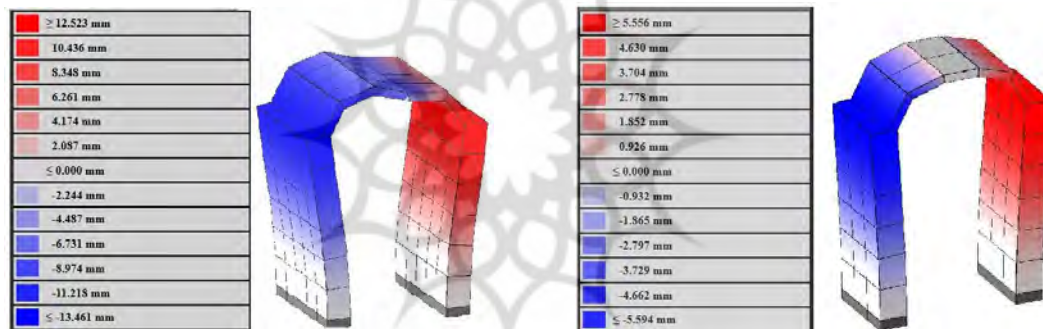
وزن مخصوص (kN/m ³)	مقاومت فشاری (MPa)	مدول الاستیسیته (MPa)	مقاومت کششی (MPa)	مقاومت برشی (MPa)
۱۷/۴۵	۱/۱۲	۲۱۴	۰/۱	۰/۰۵۷



تصویر ۲: تغییرات تنش اصلی فشاری تحت بار ثقی در نمونه ایوان خانه‌های صفوی (راست) و آل مظفر (چپ)



تصویر ۳: توزیع ترک کرنش پلاستیک تحت بار ثقی در نمونه ایوان خانه‌های صفوی (راست) و آل مظفر (چپ)



تصویر ۴: تغییرات جابجایی جانبی تحت بار ثقی در نمونه ایوان خانه‌های صفوی (راست) و آل مظفر (چپ)

منابع

- اسفنجاری کناری، عیسی و لیلا ذاکر عاملی. ۱۳۸۵. خانه‌های مظفری میبد، در میبد شهری که هست. به کوشش عیسی اسفنجاری کناری: سازمان میراث فرهنگی و گردشگری. پایگاه پژوهشی میراث فرهنگی شهر تاریخی میبد. ۱۵۷ - ۲۰۸.
- اوکین، برنارد. ۱۳۸۶. معماری تیموری در خراسان. ترجمه: علی آخشینی. مشهد: بنیاد پژوهش‌های اسلامی آستان قدس رضوی.
- بلر، شیلا و بلوم، جان‌تاتان. ۱۳۹۱. هنر و معماری اسلامی، ترجمه: اردشیر اشراقی، تهران: سروش.
- پیرنیا، محمدکریم. ۱۳۷۳. چفدها و طاق‌ها. فصلنامه اثر، تهران: سازمان میراث فرهنگی کشور.
- پیرنیا، محمدکریم. ۱۳۷۰. گنبد، فصلنامه اثر، تهران: سازمان میراث فرهنگی کشور.
- پیرنیا، محمدکریم. ۱۳۸۲. سبک‌شناسی معماری ایران. تدوین غلامحسین معاریان. چ ۲. تهران: پژوهنده.
- خادمزاده، محمدحسن. ۱۳۸۷. معماری دوره آل مظفر یزد. تهران: نشر همپا، با مشارکت سازمان میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری استان یزد.
- خادمزاده، محمدحسن. ۱۳۸۴. مساجد تاریخی شهر یزد. تهران: سازمان میراث فرهنگی و گردشگری و پایگاه میراث فرهنگی شهر تاریخی یزد.
- ذاکر عاملی، لیلا، و عبدالله جبل عاملی. ۱۳۹۲. بررسی سیر تحول ایوان در خانه‌های سنتی دشت یزد - اردکان از دوره مظفری تا قاجار. مجله صفه ۲۳ (۶۲): ۱۱۸-۱۰۳.

- ذاکر عاملی، لیلا و عیسی اسفنجاری کناری. ۱۳۸۷. «معماری خانه‌های صفوی میبد». مجموعه مقالات معماری و شهرسازی گردهمایی مکتب اصفهان. تهران: نشر فرهنگستان هنر جمهوری اسلامی ایران.
- رضا زاده اردبیلی، مجتبی. ۱۳۹۰. مرمت آثار معماری؛ شناخت، آسیب‌شناسی، فن شناسی، تهران: دانشگاه تهران، چ ۱.
- طاهری، محمدمهدی؛ خاقانی، سعید و مظاهریان، حامد. ۱۳۹۷. «گونه شناسی ایوان محور مسجدهای تاریخی ایران»، مجله صفه، شماره ۸۲، ص ۱۱۳-۱۲۵.
- قیومی بیدهندی، مهرداد و بهشتی، سیدمحمد. فرهنگ‌نامه معماری ایران در مراجع فارسی، اصطلاحات و مفاهیم، ج ۱. تهران: فرهنگستان هنر، ۱۳۸۸.
- معماریان، غلامحسین. ۱۳۸۷. معماری ایرانی، تقریر: محمدکریم پیرنیا، تهران: سروش دانش.
- ویلبر، دونالد. ۱۳۹۳. معماری اسلامی ایران در دوره ایلخانی. ترجمه عبدالله فریار. تهران: نشر علمی و فرهنگی.
- ویلبر، دونالد، و گلمبگ، لیزا. ۱۳۷۴. معماری تیموری ایران و توران. ترجمه کرامت‌الله افسر و محمدیوسف کیانی. چ ۱. تهران: سازمان میراث فرهنگی کشور.
- هیلن براند، روبرت. ۱۳۸۳. معماری اسلامی: شکل، کارکرد، معنی. ترجمه: باقرآیت الله زاده شیرازی، تهران: روزنه.
- Esfanjary, Eisa. 2017. Persian historic urban landscapes: Interpreting and Managing Maibud over 6000 years. Edinburgh: University press.
- Haji Sadeghi, Neda. 2018. Conservation and Safety Assessment of Vaulted Adobe Architecture in Yazd, Iran, Doctoral Thesis Civil Engineering, Work performed under the supervision of Professor Daniel V. Oliveira Professor Mariana Correia, Universidade do Minho Escola de Engenharia.
- CANNIZZARO, F., LIUZZO, M., MARGANI, G. & PANTÒ, B. 2024. An Interdisciplinary approach for the geometric, constructive, and structural assessment of historical masonry domes with application to the 'Badia di Sant'Agata' in Catania, Sicily. International Journal of Architectural Heritage, 18, 1033-1058.
- CHÁCARA, C. 2018. Macro-element nonlinear dynamic analysis for the assessment of the seismic vulnerability of masonry structures. PhD, University of Minho.
- CHÁCARA, C., PANTÒ, B., CANNIZZARO, F., RAPICAVOLI, D. & CALIÒ, I. 2023. Numerical simulation of the response of an unreinforced brick-masonry cross vault subjected to seismic loading. International Journal of Architectural Heritage, 1-21.
- ESLAMI, A., RONAGH, H. R., MAHINI, S. S. & MORSHED, R. 2012. Experimental investigation and nonlinear FE analysis of historical masonry buildings – A case study. Construction and Building Materials, 35, 251-260.
- GRUPPO SISMICA S.R.L. 2022. HiStrA (Historical Structure Analysis) Arches and Vaults. Ver.2022.1.6 ed. Catania, Italy.
- PANTÒ, B., CANNIZZARO, F., CALIÒ, I. & LOURENÇO, P. B. 2017. Numerical and experimental validation of a 3D macro-model for the in-plane and out-of-plane behavior of unreinforced masonry walls. International Journal of Architectural Heritage, 11, 946-964.

Original Research Article

Evaluating the slenderness of eivan from Al-Muzaffar to the Safavid period in the historical buildings of YazdHamed Azizi-Bondarabadi^{1*}, Davood Emami Meybodi²

1- Assistant professor, Department of Civil Engineering, Yazd University, Yazd, Iran.

2- PhD candidate in restoration of historical buildings, Faculty of Conservation and Restoration, Isfahan University of Arts, Iran.



10.22034/AHDC.2025.21689.1805

Received:

March 27, 2024

Accepted:

December 28, 2024

Keywords:Slenderness,
Eivan, Historical
buildings, Yazd**Abstract**

The slenderness of eivan (the building extension in height) has undergone extensive changes in the buildings of Yazd from the Ilkhani period to the Safavid period. The structural developments of eivan have brought theoretical and practical changes in the architecture of Yazd area, the result of which can be seen in the variety of eivan structures. Due to the diverse uses of eivan in this historical period and the lack of research on the chronology and structural changes of eivan in the city of Yazd, this research has undertaken it. Considering that eivan is an integral part of the buildings of this historical period, it seems that the slenderness of eivan developments determined its shape and size. The method of conducting this research is inductive, and the data have been collected through library documents, map analysis and field investigation. In this research, the proportions and dimensions of the eivans in schools, houses and mosques of the Al-Muzaffar and Safavid periods have been analyzed and investigated. The results of the research show that the slenderness ratio of eivan reaches its maximum in homes and schools during the period of Al-Muzaffar. In this period, the slenderness of eivan shows verticality and authority due to elongated proportions and geometry. During the period of Al-Muzaffar, the slenderness of eivan makes good use of the inertia of jars in the form of balls, lateral restraints and defined restrictions in height. The slenderness decreased in the Timurid period, but pillars, high rises, porousness of jars, girdles, and intersection of the arch and styling compensated for the slenderness of eivan. In the Safavid period, the reduction of the internal proportions of the space continued, and certain measures were taken, such as creating interrupted joists and wall-pillars, simplifying the overhead joists by defining light fillers, neutralizing the forces, increasing inertia by creating a ladder structure, creating supports in different joists directions and visual error, and renovating eivans.

E-ISSN: 2645-372X /© 2023. Published by Yazd University This is an open access article under the CC BY 4.0 License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

