

## مطالعه مقایسه‌ای مقرنس‌های دارای تخت و نمای آجری مساجد تاریخی اصفهان در گستره‌ی هندسه دوبعدی مقرنس\*

الهام رضایی<sup>۱</sup> - شهریار ناسخیان<sup>۲\*</sup> - نیما ولی بیگ<sup>۳</sup>

۱. پژوهشگر دکتری مرمت بنا و بافت‌های تاریخی، دانشکده حفاظت و مرمت، دانشگاه هنر اصفهان، اصفهان، ایران.
۲. دانشیار گروه مرمت بنا و بافت‌های تاریخی، دانشکده حفاظت و مرمت، دانشگاه هنر اصفهان، اصفهان، ایران (نویسنده مسئول).
۳. دانشیار گروه مرمت بنا و بافت‌های تاریخی، دانشکده حفاظت و مرمت، دانشگاه هنر اصفهان، اصفهان، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۶/۲۷ تاریخ اصلاحات: ۱۴۰۳/۰۵/۱۲ تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۳/۰۶/۰۶ تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۹/۳۰

### چکیده

گستره‌ی هندسه دوبعدی برای بررسی وجوه اشتراک و افتراق مقرنس‌های دارای تخت و نمای آجری در مساجد تاریخی اصفهان مؤثر است. تحلیل تفاوت‌ها و شباهت‌ها می‌تواند ویژگی‌های عام و خاص مقرنس‌های مذکور را آشکار سازد. روش مطالعه‌ی مقایسه‌ای، راهکاری برای چگونگی و چرایی شباهت‌های این مقرنس‌ها، علی‌رغم وجود تفاوت‌ها ارائه می‌دهد. محمل هندسه‌ی دوبعدی تاکنون برای یک مطالعه‌ی مقایسه‌ای جهت شناخت و دسته‌بندی مقرنس‌های دارای تخت و نمای آجری مساجد تاریخی اصفهان به‌کار گرفته نشده است. جامعه آماری پژوهش، هشت مقرنس از مساجد تاریخی اصفهان شامل مسجد لبنان، مسجد حکیم، مسجد جامع اصفهان، مسجد ساروتقی، مسجد ایلچی، مسجد شیشه و مسجد شعیا را در بر دارد که این مقرنس‌ها به‌صورت نیم‌کار اجرا شده‌اند. به منظور گردآوری داده، برداشت مقرنس، با تکنیک فتوگرامتری برد کوتاه و مدل‌سازی ابرنقطه و تهیه‌ی عکس تخت از مدل و سپس ترسیم در اتوکد، انجام شده و برای تحلیل داده از روابط هندسی و ریاضی بهره‌گیری شده است. با نادیده نگرفتن وجوه افتراق، اشتراکات بسیاری بین مقرنس‌های مذکور در بررسی روابط بین عناصر پلان، تناسبات و تقسیمات پلان و خصوصیات نما مشاهده می‌شود که از آن جمله عدم وجود تی در مقرنس‌ها بوده است. ویژگی‌های تکرار شونده بین مقرنس‌ها، راهکارهایی برای ترسیم دوبعدی مقرنس ارائه می‌نماید. اهم این موارد شامل تناسب تخت‌های اصلی با طول ضلع ترنج، قرارگیری دوایر محاطی یا محیطی شمسه یا محیطی ترنج‌ها بر روی نقاط وسط طول یا عرض نصف زمینه یا قطر نصف زمینه و در نظر گرفتن طول ضلع ترنج برابر نصف ارتفاع قطار و اضلاع بزرگ شاپرک‌ها و پاپاریک‌ها با تقریبی، حدوداً معادل ضلع ترنج است.

واژگان کلیدی: مقرنس با نمای آجر، عنصر تخت، هندسه دوبعدی، مساجد تاریخی اصفهان.

\* این مقاله برگرفته از رساله دکتری نویسنده اول با عنوان «ارائه الگوریتم هندسی برای بازیابی بخش‌های مفقود مقرنس دارای نمای آجری و عنصر تخت در هندسه صفحه؛ نمونه مطالعاتی: مقرنس مساجد تاریخی در مناطق مرکزی ایران» است که به راهنمایی نویسندگان دوم و سوم در دانشگاه هنر اصفهان در حال انجام است.

\*\* E-mail: s.nasekhian@au.ac.ir

## ۱. مقدمه

مقرنس یک بخش افزوده به ساختمان بنا است. این بخش ابتدا در گوشه‌های گنبدخانه‌ها برای پوشاندن فاصله ایجاد شده بین بدنه اصلی ساختمان و گنبد به کار گرفته شد. به مرور زمان این بخش به عنوان یک پوسته دوم در پوشش ایوان‌ها، سردرها و زیر تاق یا گنبد و بیش‌تر به منظور تزیین به کار رفت. مقرنس انواع مختلف دارد. بر اساس چگونگی وجود عنصر تخت و با توجه به مصالح دسته‌بندی‌هایی از آن ارائه شده است. مقرنس را می‌شود برحسب چگونگی قرارگیری‌اش در موضع نیز به دو دسته طبقه‌بندی کرد. محیط بر یک حجم اجرا شده که پیرامون آن را فرامی‌گیرد، مانند مقرنس سرستون یا مناره؛ و مقرنس محصور شده که از دو طرف یا بیش‌تر، پیرامونش دیوار احاطه می‌گردد، همچون مقرنس نیم‌کار یا چشمه. برای مقرنس، تعاریف گوناگون در منابع آمده است. می‌توان آن را شامل ردیف‌هایی افقی با فاصله برابر دانست که از عناصر مقرنس تشکیل شده است. عناصری که ردیف پایینی را به بالایی می‌رسانند، فضاهای پر و خالی ایجاد می‌کنند تا یک قطار پدید آید. مجموع چند قطار و شمشه مرکزی، مقرنس را تشکیل می‌دهد. منظور از مقرنس با نمای آجر، مقرنسی است که عمده‌ترین مصالح در نمای آن، آجر باشد.

این پژوهش بنا دارد که مقرنس‌های تاریخی دارای نمای آجری و عنصر تخت را مورد توجه قرار دهد. علی‌رغم فراوانی اندک این نوع مقرنس‌ها، بیش‌ترین تعداد آن‌ها در اصفهان و در مساجد و مدارس تاریخی مشاهده شده است. این مکتوب، جامعه هدف را مساجد تاریخی اصفهان در نظر می‌گیرد. در این جامعه، مقرنس‌ها در نیم‌کار و یا در سکنج اجرا شده‌اند.

به دلیل ویژگی‌های هندسی آجر، هندسه دوبعدی، عرصه‌ای است که می‌تواند برای دسته‌بندی خصوصیات مقرنس‌های دارای نمای آجری و عنصر تخت در مساجد تاریخی اصفهان به کار گرفته شود و شباهت‌ها و تفاوت‌های آن‌ها را آشکار سازد. تحلیل وجوه اشتراک و افتراق، ویژگی‌های خاص و عام مقرنس‌های دارای نمای آجری و عنصر تخت در مساجد تاریخی اصفهان را مشخص می‌کند. پرسش اصلی پژوهش این است که هندسه دوبعدی، چه شباهت‌ها و تفاوت‌هایی را در مقرنس‌های دارای نمای آجری و عنصر تخت در مساجد تاریخی اصفهان شناسایی می‌کند و در صورت غلبه اشتراکات، چه عواملی سبب بروز تفاوت‌ها شده است؟ چیدمان‌های پرتکرار در پیرامون تخت‌ها، چه ترکیب‌هایی را معرفی می‌کنند؟ ویژگی‌های تکرارشونده در تحلیل هندسه‌ی صفحه‌ی این مقرنس‌ها، چه راهکارهایی برای جزییات ترسیم پلان و نمای مقرنس پیشنهاد می‌دهند؟

در پژوهش‌های انجام‌شده تاکنون، مقرنس‌های آجری دارای تخت، کم‌تر مورد توجه بوده‌اند و جزییات ترسیم،

تناسبات و ترکیب‌های پرتکرار در این نوع مقرنس‌ها، علی‌رغم خصوصیات مدولار آجر، مدنظر قرار نگرفته است.

## ۲. پیشینه پژوهش

پژوهش‌هایی که در زمینه هندسه دوبعدی به مقرنس پرداخته‌اند را می‌توان در چند دسته طبقه‌بندی کرد. دسته‌ای از مطالعات از منظر تاریخ ریاضی، با آرای غیاث‌الدین جمشید کاشانی و عمدتاً با تحلیل پلان، به مقرنس نگریسته‌اند. این پژوهش‌ها به محاسبه مساحت مقرنس، نوع قوس بین قطارها و چندضلعی‌های شکل‌دهنده صفحات می‌پردازند (Ozdural 1990; Ozdural 1991; Dold-Samplonius 1992; Zamani, Fattahi, and Ekhtari 2019). پژوهش‌های مذکور اشاره دارند که علی‌رغم اشاره کاشانی به مقرنس شیرازی (Kashani 2008)، تحلیل وی از مقرنس، فقط نوع خاصی را در بر می‌گیرد و عناصر پلان در مقرنس‌های مدنظر وی غالباً از طریق هشت ضلعی به دست می‌آیند. مقرنس مورد بررسی در پژوهش‌های مذکور تنوع عناصر مقرنس دارای تخت را ندارد.

دسته دیگری از پژوهش‌ها در این حوزه به سیر تحول پلان مقرنس، الگوشناسی و یا نحوه ترسیم آن‌ها توجه دارند. «هندسه و تزیین در معماری اسلامی (طومار توپقاپی)» علاوه بر معرفی اولین پلان یافت‌شده مقرنس، لوح گچی تخت سلیمان، به طومارهای تاشکند و توپقاپی پرداخته؛ این پژوهش بیان می‌دارد که از اواخر قرن هشتم هجری، شبکه زیرنقشی شعاعی در پلان مقرنس شکل گرفته و جایگزین شبکه‌های عمودبرهم دوره‌های قبل شده است (Necipoglu 2018). کتاب مذکور علی‌رغم توجه به زیرنقش دوبعدی شعاعی در طومارهای توپقاپی، نه تنها روشی برای ترسیم مقرنس‌ها ارائه نمی‌کنند بلکه در موارد بسیاری به اصلاح هندسی طرح‌ها روی آورده و تفاوت‌ها را در بهره‌گیری طرح‌ها از اصول هندسی، نادیده گرفته است. فوکامی در مقاله «استفاده از مقرنس در ناحیه انتقال گنبد‌ها در معماری اسلامی مصر» (Fukami 2017) و کاشف در «ورودی‌های مقرنس‌دار دوره مملوکان بحری در مصر»، به سیر تحول پلان در مقرنس‌های مصری پرداخته‌اند (Kashef 2017). در پژوهشی دیگر، نظم هندسی پلان گنبد‌های دارای مقرنس گچی در ادرنه‌ی ترکیه مورد بررسی قرار گرفته است (Büyükdigan 2001). در این سه پژوهش، علاوه بر این که مقرنس‌ها عنصر تخت ندارند، بلکه تنوع عناصر نیز در پلان آن‌ها مشاهده نمی‌شود. از همین گروه، مکتوباتی ضمن تبیین احکام رسم پلان و ساخت مقرنس، نقشه‌هایی از انواع مقرنس را با مشخص کردن لب قطارها و معرفی عناصر آن ارائه می‌کنند (Reiszade and Mofid 2014; Lorzade 1980). پژوهش‌های مذکور، اگرچه به هندسه دوبعدی مقرنس پرداخته‌اند اما مخاطب اصلی را فردی درنظر

گرفته‌اند که قرار است یک مقرنس را اجرا کند نه این که به طراحی آن بپردازد و از این رو، جزییات ترسیم پلان مقرنس در آن‌ها اولویت نبوده است. در «گره و کاربندی» نیز ضمن معرفی عناصر تشکیل‌دهنده مقرنس، نحوه ترسیم آن بر صفحه دوبعدی با ذکر سه نمونه، یک مقرنس دو قطاره و یک مقرنس چهار قطاره و یک مقرنس شش قطاره ارائه می‌شود (Sharbaf 2006). علی‌رغم تمرکز این منبع بر مقرنس‌های دارای عنصر تخت، جزییات ترسیم و ابعاد و اندازه‌ها در آن ذکر نشده است. ترسیم و هندسه‌ی دوبعدی، در «آموزش کاربردی مقرنس» نیز مورد توجه قرار گرفته است. در این پژوهش، نحوه ترسیم مقرنس در زمینه‌های دایره، مستطیل، بیضی و چندضلعی بیان می‌شود (Piran 2018). کتاب مذکور، نه تنها صرفاً طرح ثابتی را در زمینه‌های مختلف نشانده، بلکه برای کمان‌های به‌کارگرفته شده، اندازه‌های مشخصی (اعداد غیرصحیح) به عنوان شعاع ارائه کرده که مشخص نیست بر چه مبنایی به دست آمده است. در ادامه‌ی معرفی پژوهش‌های مرتبط با این دسته از مطالعات، اگریباس و همکاران در «ارتباط بین شبکه عمودبهرم و چندضلعی‌های ستاره‌ای پلان مقرنس» و «ریشه چندضلعی‌های ستاره‌ای نامنتظم در پلان مقرنس» نشان داده‌اند که در مقرنس‌های سنگی ترکیه یا از شبکه بیضوی و یا تلفیق شبکه تار عنکبوتی و شبکه مربعی برای شکل‌دهی پلان استفاده شده است (Agribas and Yildiz 2021; Agribas, Yildiz, and Sahin 2022). پژوهش‌های نام‌برده نیز صرفاً نوع خاصی از مقرنس را تحلیل کرده‌اند که نه تنها از نظر مصالح ساخت، بلکه در پلان نیز با مقرنس هدف این نوشتار تفاوت دارد. دسته دیگری از پژوهش‌ها، به طبقه‌بندی مقرنس‌ها بر اساس معیار پلان پرداخته‌اند. شیرو تاکاهاشی در پایگاهی اینترنتی نمونه‌های مقرنس را جمع‌آوری کرده و به صورت آنلاین به اشتراک گذاشته؛ وی با توجه به پلان، سه سبک مختلف از مقرنس معرفی کرده است. تاکاهاشی دسته‌بندی‌ای از مقرنس‌های سبک شعاعی که تنوع بسیار دارند، نداده، به علاوه، مقرنس‌هایی که عناصرشان از طریق هشت‌ضلعی پدید می‌آیند را ذیل عنوان سبک مربعی قرار داده است. در ادامه‌ی پژوهش‌های این مجموعه، مأمون سکال در رساله دکتری خویش با عنوان «هندسه مقرنس در معماری اسلامی»، تقسیم‌بندی‌ای بر مبنای پلان برای گنبد‌های مقرنس با بلوک‌های منظم ارائه کرده است (Sakkal 1982). پژوهش دیگری با عنوان «مقاله‌ای در طبقه‌بندی مقرنس، مبنایی هندسی براساس کاربرد در عمل» مقرنس‌ها را به سه دسته تقسیم کرده که یا عناصر تشکیل‌دهنده پلان مقرنس از طریق هشت‌ضلعی منتظم به دست می‌آیند و زوایای عناصر مضرب صحیحی از ۲۲.۵ درجه است، یا از طریق شش‌ضلعی منتظم و زوایای عناصر، مضرب صحیحی از ۳۰ درجه و یا از طریق ده ضلعی منتظم و با زاویه پایه ۱۸ درجه (Kilicoglu

2022). طبقه‌بندی‌های این دو مکتوب نیز تعداد محدودی از مقرنس‌ها را دربرمی‌گیرد و مقرنس‌های دارای تخت که تنوعی از زوایا را در پلان دارند، شامل نمی‌شود. آخرین دسته مطالعات در حوزه مورد بررسی، پژوهش‌هایی هستند که با بهره‌گیری از علوم و فن‌آوری‌های جدید به تحلیل پلان مقرنس پرداخته‌اند. سیلویا هارمسون در رساله دکتری ریاضیش، «بازسازی الگوریتمی مقرنس در معماری اسلامی»، با بهره‌گیری از نظریه گراف تمام اطلاعات سه‌بعدی مقرنس‌های دوره سلجوقی و ایلخانی را بر روی پلان می‌آورد. این پژوهش بازسازی مقرنس‌های مذکور را در صورت تخریب و با فرض موجود بودن پلان مدنظر قرار می‌دهد (Harmsen 2006). مقرنس‌های مورد بررسی در رساله وی، مقرنس با تعریف غیاث‌الدین جمشید کاشانی و با پایه هشت ضلعی منتظم است. پژوهشگران دیگری در مکتوب «اندازه‌گیری انتروپی پلان مقرنس‌های سینان»، یک مدل محاسباتی جدید برای اندازه‌گیری مقدار انتروپی الگوهای هندسی دوبعدی معرفی کرده‌اند (Güzelci et al. 2021). و پژوهشی دیگر نیز به اندازه‌گیری پیچیدگی پلان مقرنس پرداخته و مقدار پیچیدگی را در پلان یک نمونه مقرنس در ترکیه که یک مقرنس پایه هشت ضلعی با عناصر مربع و لوزی است، مورد ارزیابی قرار داده است (Güzelci and Alaçam 2019).

پژوهش‌های گذشته در حوزه هندسه دوبعدی مقرنس، تاکنون به طور اخص به مقرنس‌های آجری دارای عنصر تخت که عناصر متنوع در پلان دارند نپرداخته‌اند. علی‌رغم مشاهده دستگردانی و عدول از انتظام هندسی در برخی پلان‌های مقرنس‌های گچی و کاشی دارای عنصر تخت، این مسئله به ندرت در مقرنس‌های آجری به دلیل ویژگی‌های مدولار آجر و محدودیت‌های اجرایی آن از نظر ابعاد وجود دارد و از این نظر، هندسه دوبعدی می‌تواند محمل مناسبی برای مقایسه در این نوع مقرنس‌ها باشد. این پژوهش علاوه بر خوانش ویژگی‌های خاص و عام مقرنس‌های هدف پژوهش، از خلال این بررسی‌ها، جزییاتی برای ترسیم پلان مقرنس ارائه می‌کند.

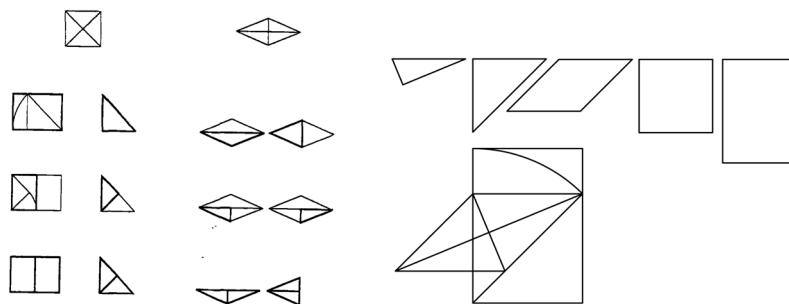
### ۳. مبانی نظری

پژوهش پیش رو به استادکاران شاخص یا نظریه‌پردازانی اشاره می‌کند که با توجه به هندسه دوبعدی، مقرنس را بررسی کرده‌اند؛ دولت سمپلونیوس از منظر تاریخ ریاضی و تمرکز بر آرای کاشانی، یغان با نگاهی تکاملی نسبت به مقرنس غرب جهان اسلام (با پلان متشکل از مربع و لوزی)، هارمسون از حوزه ریاضی و نظریه گراف نسبت به مقرنس‌های منتسب به دوره سلجوقی/ایلخانی، گوزلکی و آلاسم با رویکرد طراحی دیجیتال و حسین لرزاده و اصغر شعریاف، با تمرکز بر هندسه ترسیم و چیدمان مقرنس (جدول ۱).

## جدول ۱: نظریه پردازان یا استادکاران شاخص حوزه مقرنس از منظر هندسه

نظریه پرداز یا استادکار شاخص	رویکرد	توضیحات
دولد سمپلونیوس	تاریخ ریاضی (محاسبه سطح مقرنس)	سمپلونیوس به پیروی از کاشانی، مقرنس را متشکل از سلول‌ها و عناصر میانی می‌داند. وی روش کاشانی در محاسبه سطح مقرنس را مورد تحلیل قرار می‌دهد. محاسبات وی در مورد مساحت عناصر میانی و سلول‌ها در مقرنس‌های منحنی در دو مورد کم‌تر از مقادیر کاشانی و در دو مورد بیش‌تر بوده. وی ادعا می‌کند که کاشانی مقدار میانگین را تقریر کرده است (Dold-Samplonius 1992).
جلال یغان	نگاه تکاملی به مقرنس غرب جهان اسلام با توجه به پلان	یغان با نگاه تکاملی به مقرنس‌های غرب جهان اسلام، دو دسته واحد پیش‌طراحی شده‌ی جدید ارائه می‌دهد (شکل ۱). هدف وی ایجاد فرم‌های نوآورانه‌ای است که در پیوند با گذشته اما تکرار آن نباشند. عناصر پلان این نوع مقرنس یا از خانواده مربع یا لوزی هستند و او این اشکال را به مثلث‌های کوچک‌تر تقسیم کرده و واحدهای جدید بر مبنای مثلث‌ها شکل می‌گیرد (Yaghan 2001).
سیلویا هارمسون	بهره‌گیری از نظریه گراف در پلان	از آن جایی که تشخیص لب قطار در مقرنس‌های منتسب به دوره سلجوقی/ ایلخانی مشکل است، هارمسون از نظریه گراف برای حل این مسئله بهره می‌گیرد. وی معتقد است که با استفاده از نظریه گراف می‌توان تمام اطلاعات سه بعدی مقرنس را در پلان آن نمایش داد. برای بازسازی سه بعدی این دسته از مقرنس‌ها وقتی پلان موجود باشد نیز نظریه وی راه‌گشاست (Harmsen 2006).
زینل گوزلکی و سما آلاسام	رویکرد طراحی دیجیتال	رویکرد طراحی دیجیتال به کشف پتانسیل‌های دیده نشده‌ی مقرنس، همچون محاسبه آنتروپی در پلان کمک می‌کند و از نتایج این محاسبات می‌توان در زمینه شناخت ویژگی‌های سبکی در تاریخ معماری استفاده کرد (Güzelci et al. 2021).
حسین لرزاده	هندسه ترسیم و اجرای مقرنس	تطابق نمای مقرنس با قوس نیم‌کار در مقرنس نیم‌کار. تقسیم‌بندی مقرنس به سه دسته براساس مصالح. مقرنس‌هایی که صرفاً با گچ و یا با گچ و روپوش آینه اجرا شده‌اند، مقرنس‌هایی که با آجر هستند و مقرنس‌هایی با روپوش کاشی. وی عناصر تشکیل‌دهنده مقرنس را آلت می‌نامد. طاس و تخت و مدنی را آلت‌های اصلی تعریف کرده که با آلت‌های ترنج و شاپرک به هم متصل می‌شوند. وی آلت‌های پای قطار را موش یا نام می‌گذارد. به عقیده وی پای موش یا را می‌توان به هر اندازه می‌توان بلندتر یا کوتاه‌تر در نظر گرفت. ولی از ارتفاعی نباید کوتاه‌تر نباشد (Lorzade 1980).
اصغر شعرباف	هندسه ترسیم و اجرای مقرنس	اصغر شعرباف از واژه کاربندی برای تمامی نقوش سه بعدی (مقرنس، رسمی بندی، کاسه‌سازی و یزدی بندی) استفاده کرده و مقرنس را زیرمجموعه کاربندی می‌داند. شعرباف نیز عناصر تشکیل‌دهنده مقرنس را آلت می‌نامد. دسته بندی وی از مقرنس به دو دسته با آلت تخت و بدون تخت است. وی تأکید دارد که تخت‌های مقرنس روی شعاع خط‌گیرهای شمشه قرار بگیرند. همچنین ترسیم را از جانمایی تخت‌ها شروع می‌کند (Sharbaf 2006).

شکل ۱: عناصر مقرنس غرب جهان اسلام؛ راست - واحدهای تشکیل‌دهنده اصلی مقرنس مربع مینا؛ چپ - دو دسته واحد پیش‌طراحی شده جدید



(Derived from Yaghan 2001)

ترسیم و اجرای مقرنس توجه دارند، از بین نظریه‌پردازان ذکر شده، تنها افرادی هستند که مقرنس‌های دارای عنصر

با توجه به جدول ۱، پژوهش بر آرای حسین لرزاده و اصغر شعرباف تکیه می‌کند، زیرا علاوه بر آن که به هندسه‌ی

تخت را مدنظر قرار داده‌اند.

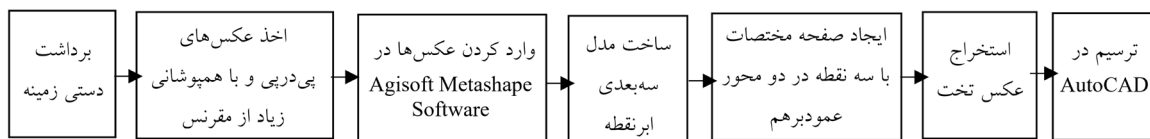
#### ۴. توصیف و بررسی

در این بخش، روش تحقیق و بحث و تحلیل پژوهش ارائه می‌گردد.

#### ۴-۱- روش تحقیق

روش پژوهش، چگونگی گردآوری داده و تحلیل آن را دربردارد. برای گردآوری داده از روش میدانی و کتابخانه‌ای استفاده می‌شود. روش میدانی شامل برداشت دستی، عکس‌برداری و استفاده از تکنیک فتوگرامتری برد کوتاه شامل تهیه مدل سه‌بعدی ابرنقطه از مقرنس و استخراج عکس تخت از مدل ابرنقطه و ترسیم در محیط اتوکد است. تهیه مدل ابرنقطه و عکس تخت در نرم‌افزار ای‌جی‌آی سافت متاشیپ<sup>۱</sup> انجام می‌شود (شکل ۲). پژوهش کمی است و برای تجزیه و تحلیل داده نیز از روابط ریاضی و هندسی بهره می‌گیرد. به منظور ساده شدن تحلیل‌ها، به عناصر مقرنس و اسامی‌شان در پژوهش، رنگ و علامت

شکل ۲: فرآیند مستندسازی دیجیتال مقرنس‌ها



جدول ۲: علائم اختصاری، نام و رنگ اختصاص داده‌شده به عناصر مقرنس

نمای عنصر مقرنس	پلان عنصر مقرنس	علامت اختصاری	نام عنصر از دید		
			نگارندگان <sup>۳</sup>	شعریاف	لرزاده
		S	شمسه	شمسه	شمسه
		R	ترنج	ترنج	ترنج
		T	طاس	طاس	طاس (طاسه)
		H	شاپرک	شاپرک	شاپرک (پرک)
		P	پرک	شاپرک	نیزه
		B	پاباریک	پاباریک	ترنج
		M	مدنی	تنوره	مدنی

نمای عنصر مقرنس	پلان عنصر مقرنس	علامت اختصاری	نام عنصر از دید		
			نگارندگان ۳	شعرباف	لرزاده
		F	سرسفت	سرسفت	سوسن
-		A	تخت	تخت چندلنگه	تخت (اگر بیش از شش پر باشد، شمسه)
		I	تی	-	تی

می‌شود: تبدیلات هندسی<sup>۴</sup> و ارتباط بین عناصر در یک قطار (جدول ۳). این ارتباط، به دلیل وجود تقارن بازتابی نسبت به خط وسط پلان در همه مقرنس‌ها، فقط در نیمی از پلان بررسی شده است.

#### ۴-۲- بحث و تحلیل

گستره هندسه دوبعدی، اشتراکات و افتراقات در مقرنس‌های مساجد تاریخی اصفهان را در سه زیرمجموعه اصلی مورد بررسی قرار می‌دهد: ۱. روابط بین عناصر پلان، ۲. تناسبات پلان، ۳. ویژگی‌های عناصر نما.

#### ۴-۲-۱- روابط بین عناصر پلان

در بررسی روابط بین عناصر پلان، دو مورد ارزیابی

#### جدول ۳: روابط بین عناصر پلان مقرنس

نام	تبدیلات هندسی	ارتباط بین عناصر در هر قطار (در نیمی از پلان)
نیمکار مسجد لنجان		قطار ۳ T,R,M,R,T,R,M,R,T قطار ۲ F,P,T,P,M,P,B,T,B,T,B,P,M,P,B,T,B,F قطار ۱ H,B,P,H,F,H,H,T,H,H,F,H,P,B,P
نیمکار محراب مسجد حکیم		قطار ۴ T,R,M,R,T,R,M,R,T قطار ۳ T,P,T,H,M,H,B,T,B,T,B,T قطار ۲ P,T,H,T,P,H,T,H,F,H,T,H,F,H,T,H,P,T,H,T,P قطار ۱ H,B,H,H,B,H
نیمکار ورودی شرقی مسجد حکیم		قطار ۴ T,R,M,R,T,R,M,R,T,R,M,R,T قطار ۳ T,P,T,H,M,P,B,T,B,T,B,P,M,P,B,T,B,P,M,P,B,T,B قطار ۲ T,H,H,B,T,B,H,T,H,B,T,B,H,T,H,B,T,B,H,T قطار ۱ P,H,F,P,P,T,H,P,P,H,T,P,P,F,H,P
نیمکار ورودی مسجد ساروتقی		قطار ۳ T,R,T,R,T,R,T قطار ۲ T,H,T,H,B,T,B,T,B,T,B,H,T,H,F قطار ۱ H,H,H,H,H

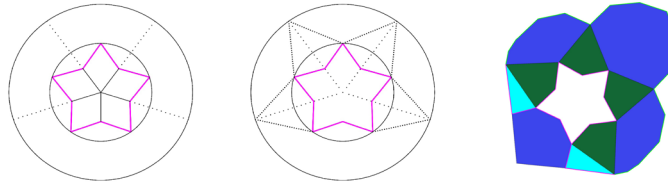
نام	تبدیلات هندسی	ارتباط بین عناصر در هر قطار (در نیمی از پلان)
نیمکار ورودی مسجد شعبیا		نقشه ۱: T,R,M,R,T,R,M,R,T نقشه ۲: T,P,T,H,M,P,B,T,B,T,B,P,M,P,B,T,B,T نقشه ۳: T,H,T,H,T,B,H,T,P,H,B,T,B,T,B,T,B,T,B,H,P,T,H,B,T,H,T,B,T,B,T,B نقشه ۴: T,H,H,T,H,B,T,B,H,T,H,T,H,H,T,H,T,H,B,T,B,H,H,H,T,H,T,H,T نقشه ۵: P,H,F,H,B,H,H,B,H,H,F,P,H,T,H,P
نیمکار محراب مسجد ایلچی		نقشه ۱: T,R,T,R,T نقشه ۲: T,H,P,B,T,B,T,B,P,H,T نقشه ۳: H,H,H,H
نیمکار ورودی مسجد شیشه		نقشه ۱: T,R,T,R,M,R,T نقشه ۲: T,H,P,B,M,B,T,B,P,T,P,M,P,T,P,B,T,B نقشه ۳: T,H,M,B,T,B,T,B,T,H,T,H,P,H,T,H نقشه ۴: H,P,H,H,H,H
نیمکار ۵ ایوان شرقی مسجد جامع عتیق		نقشه ۱: T,R,T,R,T,R,T,R,T,R نقشه ۲: T,H,H,T,H,B,T,B,H,B,T,B,H,B,T,B,H,B,T نقشه ۳: T,P,B,T,B,H,H,T,H,H,T,H,H,T,H,H,T,H,B,T,P,T نقشه ۴: H,B,T,B,H,T,H,T,P,H,T,H,P,T,H,P,T,H,H,T,H,T نقشه ۵: H,P,T,H,H,T,H,T,H,T,H,H,T,B,T,B,H,H,P,T,P,T,H نقشه ۶: H,T,H,T,H,H,T,H,H,H,T,P,T,H,T,H,B,H,B,T,B,T نقشه ۷: H,H,T,H,T,H,T,H,B,T,B,T,B,T,B,T,B,H,T,H,B,T,B,T نقشه ۸: H,T,H,T,H,T,H,T,H,F,H,T,H,T,H,F,H,T,H,T,H,T,B,T,B,H,P,B,T,B,F نقشه ۹: H,B,H,H,T,H,H,B,H,H,B,T,B,H

کنار هم است. سرسفت F، اغلب در قطار اول و دوم دیده می‌شود. پرتکرارترین همنشینی، مجاورت طاس، پاباریک، طاس، پاباریک است که در قطار ماقبل آخر دیده می‌شود. در هر قطار که پاباریک B مشاهده می‌گردد، نشانگر وجود عنصر تخت در تخته همان قطار است. در قطار اول چهار مقرنس عنصر تخت دیده می‌شود.

ترکیب پرتکرار در چیدمان عناصر متصل به تخت در ۷ نمونه از ۸ مقرنس نمونه، تنوره با تخت ۵ وجود دارد (در برخی از نمونه‌ها بیش از یکی)، یعنی جمع ستاره پنج پر، با چهار پاباریک و سه طاس بین پاباریک‌ها. یک طاس هم در قطار بالای تخت قرار می‌گیرد که دو ضلع پایین آن با تخت مشترک است. متصل به پاباریک‌ها از دو طرف نیز پرک وجود دارد. رأس‌های انتهایی پاباریک‌ها، حدوداً روی یک دایره قرار می‌گیرند (شکل ۳).

در بررسی همنشینی عناصر و با توجه به جدول ۳، صرفاً در قطار اول مقرنس مسجد لبنان، بین عناصر انقطاع وجود ندارد. یعنی هر دو عنصر قطار اول که در کنار هم قرار گرفته‌اند، با یکدیگر ضلع مشترک دارند. در مشاهده قطارهای دیگر در تمام نمونه‌ها، فقط در قطار دوم مقرنس مسجد شعبیا بین عناصر انقطاع به چشم می‌آید. یعنی در قطار دوم این مقرنس است که دو عنصر که مجاور هم قرار گرفته‌اند، با یکدیگر ضلع مشترکی ندارند. مقرنس‌های مورد بررسی، در هیچ کدام از قطارها، عنصر تی ندارند. چیدمان عناصر در قطار آخر چهار مقرنس T, R, M, R, T یعنی طاس، ترنج، مدنی، ترنج، طاس و چیدمان در قطار آخر چهار مقرنس دیگر به صورت T, R, T, R یعنی طاس، ترنج، طاس، ترنج است. بیش‌ترین عنصر تکرار شده در قطارهای اول، H یعنی شاپرک است. بیش‌ترین همنشینی دو عنصر در کنار هم در قطار اول، HH یعنی دو شاپرک در

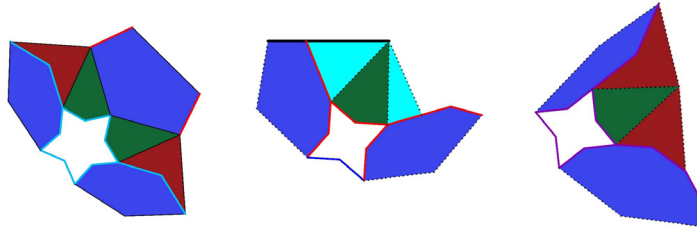
شکل ۳: تنوره با تخت پنج‌پر؛ راست- تنوره‌ی پرتکرار از مقرنس‌های جدول؛ چپ- نحوه ترسیم پاباریک‌ها



مسجد جامع نیز، بین دو پاباریک، سرسفت به چشم می‌آید. چیدمان پیرامون تخت‌های غیر تنوره نیز در نمونه‌های پژوهش اغلب به صورت زیر هستند (شکل ۴).

با بررسی تمام تنوره‌ها در مقرنس‌های جامعه آماری، مشاهده می‌شود که در تمام تنوره‌ها، بین پاباریک‌های متصل به تخت، طاس قرار می‌گیرد، فقط در دو نمونه استثنا وجود دارد. در مقرنس مسجد شیشه، بین دو پاباریک تنوره، مدنی قرار گرفته و در مقرنس ایوان شرقی

شکل ۴: چیدمان‌های غالب پیرامون تخت غیر تنوره؛ جمع تخت، دو طاس در طرفین و پاباریک




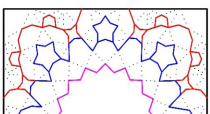
مقرنس بررسی شده است (جدول ۴). اگرچه در نمونه‌ها نیمکار تنک نیز دیده می‌شود، اما در اغلب مقرنس‌های مورد بررسی، زمینه، نیمکار مربع است یا از طریق نیمکار مربع به دست می‌آید. نیمکار مربع، مستطیلی متشکل از دو مربع متصل تعریف می‌شود، یعنی مستطیلی که طول آن دو برابر عرضش است (Reiszade and Mofid 2014, 38).

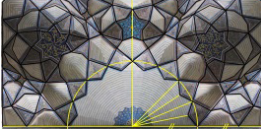
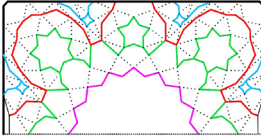
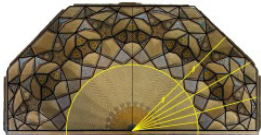
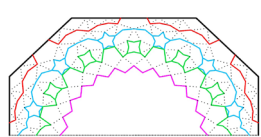

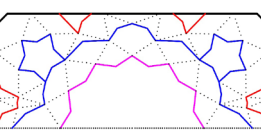

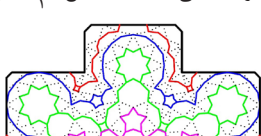
در تخت‌های غیر تنوره، هر دو ضلع تخت، از دو طرف محور تقارن تخت، به طاس متصل شده، بقیه اضلاع تخت نیز به پاباریک متصل می‌گردد. شاپرک یا پرک، به پاباریک متصل شده و با آن ضلع مشترک دارد.


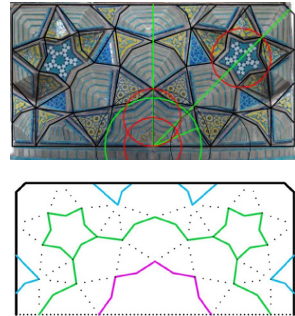
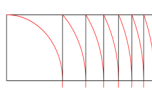
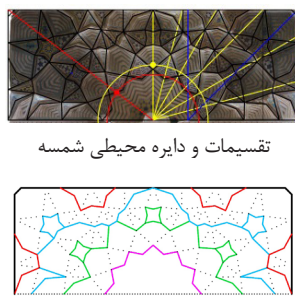
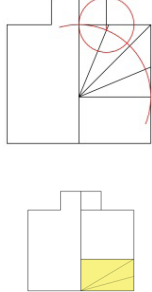
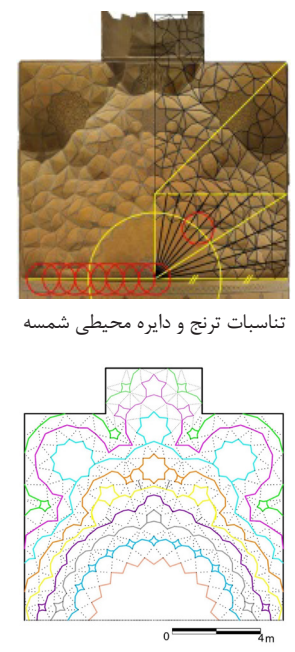
#### ۴-۲-۲- تناسبات و تقسیمات پلان

در این بخش، نوع زمینه، تناسبات شمشه، ترنج، شاپرک‌ها، پاباریک‌ها و تخت‌ها نسبت به زمینه، برای هر

جدول ۴: تناسبات پلان مقرنس‌ها

نوع مقرنس	زمینه	نوع شمشه/واحد زاویه	دایره محیطی شمشه	دایره محاطی شمشه	دایره محیطی ترنج‌ها	طول ضلع ترنج <sup>۲</sup>	تناسبات تخت‌ها	عکس تخت و پلان
نیمکار مسجد نبیل (سه قطره)	مستطیل به ابعاد ۱ به ۲	شمشه ۱۲/۵، ۱۴ درجه	به شعاع $\frac{1}{3}$ ضلع مربع (نیمه زمینه)	---	---	$\frac{1}{2}$ ضلع مربع (نیمه زمینه)	۱. تخت پنج‌پر: طول ضلع پنج‌ضلعی محیطی این تخت برابر با طول ضلع ترنج ۲. تخت چهارپر: شعاع دایره محیطی این تخت، $\frac{1}{3}$ قطر دایره محیطی تخت پنج‌پر	 
								پلان

نوع مقرنس	زمینه	نوع شمشه/واحد زاویه	دایره محیطی شمشه	دایره محاطی شمشه	دایره محیطی ترنج‌ها	طول ضلع ترنج <sup>۱</sup>	تناسبات تخت‌ها	عکس تخت و پلان
نیمکار محراب حکیم (چهار قطاره)	مستطیل به ابعاد ۱ به ۲	شمشه ۱۱/۲۵، ۱۶ درجه	شمشه ۱/۲ ضلع مربع (نیمه زمبینه)	به شعاع ۱/۲	---	---	۱. تخت هفت‌پر: شعاع دایره محیطی تخت برابر با ضلع ترنج ۲. تخت پنج‌پر: طول ضلع پنج‌ضلعی محیطی این تخت برابر با طول ضلع ترنج ۳. تخت چهارپر: قطر دایره محیطی آن، ۱/۵ قطر ستاره پنج‌پر	 <p>دایره محیطی شمشه</p>  <p>پلان</p>
نیمکار ورودی شرقی حکیم (چهار قطاره)	نیمه هشت‌ضلعی غیرمنتظم	شمشه ۷/۵، ۲۴ درجه	مستطیل ۱ به ۲	به شعاع ۱/۲	پاره خط زاویه قطری	به شعاع ۱/۲	۱. تخت چهارپر: طول ضلع چهارضلعی محیطی آن برابر با طول ضلع ترنج ۲. تخت پنج‌پر: شعاع دایره محیطی تخت پنج‌پر برابر با شعاع دایره محیطی تخت چهارپر	 <p>دایره محاطی شمشه</p>  <p>پلان</p>
نیمکار ورودی ساورتقی (سه قطاره)	مستطیل کشیده (نیمکار تنک)	شمشه ۱۵، ۱۲ درجه	مستطیل ۱ به $\sqrt{6}$	به شعاع ۱/۲	---	---	۱. تخت پنج‌پر: طول ضلع پنج‌ضلعی محیطی آن برابر با طول ضلع ترنج این طرح دو محور قطری اصلی دارد یکی برای شمشه و یکی برای تخت	 <p>دایره محاطی شمشه بین دو دایره</p>  <p>پلان</p>
نیمکار ورودی شعبیا (پنج قطاره)	ترکیب دو مستطیل ۱ به ۲ (نیمکار شبه نقل)	شمشه ۱۱/۲۵، ۱۶ درجه	به شعاع ۱/۴ قطر مربع بزرگ زمبینه	به شعاع ۱/۲ طول نیمه زمبینه	---	---	۱. تخت پنج‌پر بزرگ: طول ضلع پنج‌ضلعی محیطی آن برابر طول ضلع ترنج ۲. تخت هشت‌پر بزرگ: طول ضلع هشت‌ضلعی محیطی آن برابر طول ضلع ترنج ۳. تخت چهارپر بزرگ: طول ضلع چهارضلعی محیطی آن برابر ۱/۲ ضلع ترنج ۴. تخت پنج‌پر کوچک: طول ضلع پنج‌ضلعی محیطی آن برابر ۱/۳ ضلع ترنج ۵. تخت هشت‌پر کوچک (در محور عمود): شعاع دایره محیطی آن، به اندازه ۰.۱ شعاع دایره محیطی تخت هشت‌پر بزرگ، از آن کوچک‌تر است.	 <p>دایره محیطی شمشه به شعاع ۱/۴ قطر</p>  <p>پلان</p>

نوع مقرنس	زمینه	نوع شمسه/ واحد زاویه	دایره محیطی شمسه دایره محاطی شمسه دایره محیطی ترنج‌ها	طول ضلع ترنج <sup>۱</sup>	تناسبات تخت‌ها	عکس تخت و پلان
نیمکار محراب ایلیچی (سه قطاره)	مستطیل به ابعاد ۱ به ۲ 	شمسه ۲۲/۵، ۰، ۸ درجه	به شعاع $\frac{1}{4}$ قطر مربع بزرگ زمینیه دایره محیطی زمینیه ضلع مربع زمینیه کمی کمتر از $\frac{1}{4}$ (کمی بیش از $\frac{1}{4}$ ) $\frac{2}{7}$	۱. تخت پنج‌پر: شعاع دایره محیطی این تخت برابر نصف شعاع دایره محیطی شمسه طول ضلع پنج‌ضلعی محیطی تخت، کوچک‌تر از طول ضلع ترنج		
نیمکار ورودی شیشه (چهار قطاره)	مستطیل کشیده (نیمکار تنک)  مستطیل به $\sqrt{7}$	شمسه ۱۵، ۱۲ درجه	بین دو دایره به شعاع $\frac{1}{2}$ عرض زمینیه و $\frac{1}{4}$ قطر زمینیه	۱. تخت چهارپر: قطر چهارضلعی محیطی این تخت برابر با ضلع ترنج ۲. تخت پنج‌پر: قطر پنج‌ضلعی محیطی این تخت برابر با ضلع ترنج این طرح، دو محور قطری اصلی دارد یکی برای شمسه و یکی برای تخت.		
نیمکار ایوان شاگرد جامع (نه قطاره)	ترکیب دو مستطیل ۱ به ۲ و یک مستطیل کشیده (نیمکار شبه نقل) 	شمسه ۸/۱۸، ۲۲ درجه	طول زمینیه زمینیه $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$	۱. تخت چهارپر کوچک دور شمسه: شعاع دایره محیطی آن برابر $\frac{1}{3}$ ضلع ترنج ۲. تخت ۱۰ پر: قطر دایره محیطی آن برابر ۳ برابر ضلع ترنج ۳. تخت پنج‌پر: قطر دایره محیطی آن برابر $\frac{1}{4}$ قطر دایره محیطی تخت ۱۰ پر ۴. تخت هشت‌پر: شعاع دایره محیطی آن برابر ضلع ترنج ۵. تخت هفت‌پر: طول ضلع هفت‌ضلعی محیطی آن برابر طول ضلع ترنج		

۴-۲-۳- ویژگی‌های مقرنس‌ها در نما و ارتباط ارتفاع قطار با طول ضلع ترنج تحلیل می‌گردد (جدول ۵).

در این بخش، نوع قوس نما، تناسبات قوس بین قطار

### جدول ۵: ویژگی‌های مقرنس‌ها در نما

مقرنس		ویژگی		
ارتباط ارتفاع قطار و طول ضلع ترنج	تناسبات قوس بین قطار	نوع قوس نما		
نصف ارتفاع قطار = طول ضلع ترنج	بخش قائم $\frac{2}{3}$ بخش منحنی $\frac{1}{3}$		پنج‌اوهفت تند	نیمکار مسجد لبنان (مقرنس سه‌قطاره)
نصف ارتفاع قطار = طول ضلع ترنج	بخش قائم $\frac{2}{3}$ بخش منحنی $\frac{1}{3}$		پاتوپای ساده	نیمکار محراب مسجد حکیم (مقرنس چهارقطاره)
نصف ارتفاع قطار $\cong$ طول ضلع ترنج	بخش قائم $\frac{2}{3}$ بخش منحنی $\frac{1}{3}$		پنج‌اوهفت تند	نیمکار ورودی شرقی مسجد حکیم (مقرنس چهارقطاره)
نصف ارتفاع قطار > طول ضلع ترنج ضلع ترنج = نصف قطار $\frac{1}{5}$ + نصف قطار	بخش قائم $\frac{2}{3}$ بخش منحنی $\frac{1}{3}$		پنج‌اوهفت تند	نیمکار ورودی مسجد ساروتقی (مقرنس سه‌قطاره)
نصف ارتفاع قطار $\cong$ طول ضلع ترنج	بخش قائم $\frac{2}{3}$ بخش منحنی $\frac{1}{3}$		پنج‌اوهفت تند	نیمکار ورودی مسجد شعیا (مقرنس پنج‌قطاره)
نصف ارتفاع قطار > طول ضلع ترنج ضلع ترنج = نصف قطار $\frac{2}{3}$ + نصف قطار	بخش قائم $\frac{1}{2}$ بخش منحنی $\frac{1}{2}$		پنج‌اوهفت تند	نیمکار محراب مسجد ایلچی (مقرنس سه‌قطاره)
نصف ارتفاع قطار > طول ضلع ترنج ضلع ترنج = نصف قطار $\frac{2}{5}$ + نصف قطار	بخش قائم $\frac{2}{3}$ بخش منحنی $\frac{1}{3}$		پنج‌اوهفت تند	نیمکار ورودی مسجد شیشه (مقرنس چهارقطاره)
ارتفاع قطار = طول ضلع ترنج	بخش قائم $\frac{1}{2}$ بخش منحنی $\frac{1}{2}$		شبدری کند	نیمکار ایوان شرقی مسجد جامع (نه‌قطاره)

ترنج، نصف ارتفاع قطار بوده است.

#### ۴-۳- یافته‌ها

با توجه به بررسی‌های انجام‌شده در بخش‌های قبل، یافته‌های پژوهش حاصل می‌شود (جدول ۶).

ارتفاع همه قطارها به غیر از قطار اول برابر است. از آن جایی که ترنج براساس خطوط زوایه‌ای شمسه پدید می‌آید و دقیقاً مبتنی بر هندسه‌ی مسطحه است، تناسب ارتفاع قوس بین قطار در هر مقرنس براساس طول ضلع آن سنجیده شده است. در نیمی از نمونه‌ها، طول ضلع

## جدول ۶: یافته‌ها

روابط بین عناصر پلان	تناسبات و تقسیمات عناصر پلان	خصوصیات نمای مقرنس
<p>- عنصر تی ندارند.</p> <p>- همه مقرنس‌ها در قطارهای ۳ به بعدشان، سرسفت ندارند.</p>	<p>- هر چه پره‌های شمسه بیش‌تر باشد، اندازه ضلع ترنج نسبت به زمینه کوچک‌تر می‌شود و بالعکس.</p> <p>- تناسبات تخت‌های اصلی (در محور زوایا) با طول ضلع ترنج ارتباط دارد.</p> <p>- تخت ۵ در مقرنس‌ها متداول‌ترین است.</p>	-
<p>- در قطار اول تمام مقرنس‌ها به‌جز نیمکار لنبان، عدم پیوستگی بین عناصر مقرنس وجود دارد.</p> <p>- در قطار دوم همه مقرنس‌ها پیوستگی بین عناصر مشاهده می‌شود به این معنا که همه عناصر مجاور با هم ضلع مشترک دارند و تنها موردی که این ویژگی را ندارد، مقرنس نیمکار ورودی مسجد شعیا است که در قطار دومش بین عناصر انقطاع وجود دارد.</p> <p>- پنج مقرنس از هشت مقرنس در قطار آخر مدنی دارند. یعنی تیزه یا رأس مدنی در قطار آخر است.</p> <p>- ترکیب دو شاپرک متصل به‌هم در قطار اول اغلب مقرنس‌ها مشاهده می‌شود.</p> <p>- در هفت مقرنس در قطار ماقبل آخر دنباله طاس، پاباریک، طاس، پاباریک پرتکرار است.</p>	<p>- در هفت مقرنس زاویه ۴۵ درجه بین زوایای تمام شمسه‌ها کوچک‌ترین مضرب مشترک است.</p> <p>- در هفت مقرنس، نقطه وسط طول، عرض و یا قطر نیمه‌ی زمینه غالباً دایره محیطی یا محاطی شمسه و یا دایره محیطی ترنج قرار گرفته است.</p> <p>- در شش مقرنس، در هر کدام تختی وجود دارد که طول ضلع چندضلعی محیطی تخت، برابر با ضلع ترنج باشد.</p>	<p>- در شش مقرنس، قوس بین قطارها <math>\frac{1}{3}</math> بخش قائم و <math>\frac{1}{3}</math> بخش منحنی دارد.</p> <p>- قوس نیمکار در شش نمونه، قوس پنج‌اوهفت تند است.</p>
<p>- سه مقرنس در قطار اول سرسفت دارند.</p> <p>- سه مقرنس در قطار دوم سرسفت دارند.</p>	<p>- در مقرنس مسجد شیشه و محراب ایلچی تختی نیست که طول چندضلعی محیطی آن برابر با ضلع ترنج باشد.</p> <p>- در دو مقرنس مسجد شعیا و صغه شاگرد تخت با بیش از هفت‌پر دیده می‌شود.</p>	<p>- در ایوان شرقی مسجد جامع و محراب ایلچی، قوس بین قطار، <math>\frac{1}{4}</math> بخش قائم و <math>\frac{1}{4}</math> بخش منحنی دارد.</p>
<p>- فقط در قطار اول مقرنس نیمکار مسجد لنبان عناصر مجاور با هم ضلع مشترک دارند و انقطاعی بین عناصر نیست.</p> <p>- مقرنس مسجد شیشه در قطاری دیگر به‌جز قطار آخر هم مدنی دارد (تیزه یا رأس مدنی در قطار دیگری به غیر از قطار آخر است).</p> <p>- در قطار ماقبل آخر، فقط در مقرنس ساروتقی سرسفت در کنار شاپرک است.</p>	<p>- در مقرنس صغه شاگرد زاویه ۴۵ درجه مضرب زوایای شمسه نیست.</p> <p>- در مقرنس ایلچی نقطه وسط طول، عرض و یا قطر نیمه‌ی زمینه دایره محیطی یا محاطی شمسه و یا دایره محیطی ترنج قرار نگرفته است.</p>	-

در همه مقرنس‌ها

ویژگی عام مقرنس‌ها

در اکثرین

در تعدادی کم

ویژگی خاص مقرنس‌ها

در بزرگ‌مورد خاص

## ۵. نتیجه‌گیری

یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که تمام هشت مقرنس بررسی‌شده، فاقد عنصر تی هستند. چهار مقرنس از هشت مقرنس، شامل مقرنس نیمکار ورودی شرقی حکیم، نیمکار ورودی مسجد ساروتقی، نیمکار محراب ایلچی و نیمکار ورودی مسجد شیشه، در تخته قطار اول، فاقد تخت و چهار مقرنس نیمکار ورودی شعیا، نیمکار ایوان شرقی مسجد جامع، و نیمکار محراب حکیم و نیمکار مسجد لنبان در تخته قطار اول دارای تخت هستند.

در قطار اول تمام مقرنس‌ها به غیر از مقرنس نیمکار

مسجد لنبان بین عناصر مقرنس در نیمه پلان، انقطاع وجود دارد.

در قطار دوم همه مقرنس‌ها به‌جز مقرنس نیمکار ورودی مسجد شعیا بین عناصر در نیمه پلان پیوستگی وجود دارد. یعنی صرفاً در قطار دوم نیمکار مسجد شعیا است که در نیمه پلان در قطار دوم، دو عنصر مجاور هستند که با یکدیگر ضلع مشترک ندارند.

در شش مقرنس، در قطار ماقبل آخر، همنشینی بلافضل طاس، پاباریک، طاس، پاباریک به‌چشم می‌خورد و فقط در دو مقرنس نیمکار ایوان شرقی مسجد جامع و

بر اساس مربع طراحی شده است. تفاوت دو مقرنس نیمکار ایوان شرقی مسجد جامع و نیمکار ورودی مسجد شعیا با دیگر مقرنس‌ها در بهره‌گیری از تخت با بیش از هفت‌پر، به دلیل شبه‌نقل بودن زمینه این دو مقرنس بوده است. چراکه هر چه تعداد پره‌های تخت بیش‌تر باشد، محورهای پیرامونی برای هم‌نشینی عناصر متصل به تخت مانند طاس و پاباریک بیش‌تر می‌گردد و باید سطح کافی در پلان برای این عناصر پیرامونی وجود داشته باشد. اگر زمینه غیرنقل باشد و ضرورت باشد که تخت بیش از هفت‌پر طراحی شود، ناگزیر باید تخت مذکور، کوچک باشد. کوچک طراحی کردن تخت، ایجاد می‌کند که عناصری که ضلع مشترک با آن دارند هم کوچک طراحی شوند. حال آن‌که امکان اجرای طرح مقرنس دارای عناصر ریز، با آجر امکان‌پذیر نخواهد بود. ترکیب پرتکرار پیرامون تخت در پلان مقرنس‌ها، تنوره با جمع تخت ستاره پنج‌پر، چهار پاباریک و طاس بین پاباریک‌ها را نشان می‌دهد.

ویژگی‌های تکرار شده در مقرنس‌های مورد بررسی، نکاتی برای ترسیم پلان و نمای مقرنس به‌دست می‌دهد. در طراحی پلان نیمکار مقرنس آجری و دارای عنصر تخت (با قید تنگ نبودن)، می‌توان دایره محاطی یا محیطی شمسه یا دایره محیطی ترنج‌ها (دایره به مرکز شمسه و شعاع رأس انتهایی ترنج‌ها) را با شعاع نصف نیمه‌ی طول ( $\frac{1}{4}$  طول زمینه) یا نیمه عرض زمینه ( $\frac{1}{2}$  عرض زمینه)، یا نیمه‌ی قطر نصف زمینه انتخاب کرد، برای طول ضلع ترنج، نصف ارتفاع قطار می‌تواند در نظر گرفته شود و برای قوس بین قطارها نیز  $\frac{2}{3}$  بخش عمود و  $\frac{1}{3}$  بخش دارای انحنا؛ عنصر تخت تنوره با ضلع ترنج در تناسب است. اگر تخت ستاره‌ی کم‌تر از هفت‌پر به عنوان تنوره مورد توجه باشد، به عنوان ضلع چندضلعی محیطی آن، می‌توان اندازه ضلع ترنج را به کار برد<sup>۷</sup>. اضلاع بزرگ شاپرک‌ها و پاباریک‌ها را نیز حدوداً معادل ضلع ترنج برگزید.

نیمکار ورودی مسجد شیشه، در قطار ماقبل آخر، چنین هم‌نشینی‌ای بین عناصر وجود ندارد.

زاویه ۴۵ درجه، بین زوایای تمام مقرنس‌های مساجد مورد بررسی، به غیر از مقرنس ایوان شرقی مسجد جامع، کوچک‌ترین مضرب مشترک است.

همه مقرنس‌های پژوهش غیر از دو مقرنس، دارای تخت ستاره هفت‌پر و کم‌تر از آن هستند. دو مقرنس مذکور یعنی مقرنس نیمکار ایوان شرقی مسجد جامع و نیمکار ورودی مسجد شعیا، عنصر تخت ستاره‌ای با بیش از هفت‌پر دارند.

در همه مقرنس‌ها به غیر از مقرنس ایوان شرقی مسجد جامع و محراب مسجد ایلچی، قوس بین قطار  $\frac{1}{3}$  بخش قائم و  $\frac{1}{3}$  بخش منحنی دارد و صرفاً در دو مقرنس ذکر شده، این قوس دارای  $\frac{1}{3}$  بخش قائم و  $\frac{1}{3}$  بخش منحنی است.

مقایسه دو نیمکار مربع سه قطاره یعنی مقرنس محراب ایلچی و نیمکار مسجد لبنان، نشان می‌دهد این‌که در مقرنس نیمکار مسجد لبنان، بین عناصر در نیمه پلان قطار انقطاع وجود ندارد، به دلیل کوچک‌تر در نظر گرفته شدن ضلع ترنج و تخت تنوره در این مقرنس نسبت به مقرنس محراب ایلچی بوده است.

در توضیح افتراق دو مقرنسی که در قطار ماقبل آخر هم‌نشینی طاس، پاباریک، طاس، پاباریک را ندارند، باید به این نکته اشاره کرد که نیمکار ایوان شرقی مسجد جامع، تنها مقرنس در بین مقرنس‌های بررسی شده است که در قطار ماقبل آخر، تنوره ندارد. نیمکار ورودی مسجد شیشه نیز تنها مقرنس در جامعه هدف پژوهش است که در قطار دیگری بجز قطار آخر مدنی دارد و علی‌رغم شکل‌گیری تنوره در قطار دوم این مقرنس، هم‌نشینی مدنی در کنار پاباریک دیده می‌شود نه طاس در کنار پاباریک.

زاویه ۴۵ درجه، مضرب زاویه شمسه در نیمکار ایوان شرقی مسجد جامع نیست. علت آن است که شمسه (شمسه ۲۲)، در نیمکار ایوان شرقی مسجد جامع بر اساس یک مستطیل شکل گرفته (به دلیل زمینه خاص آن)، در صورتی که شمسه در دیگر مقرنس‌های پژوهش،

## تشکر و قدردانی

این مقاله هیچ حامی مالی و معنوی نداشته است.

## تعارض منافع

این مقاله فاقد هرگونه تعارض منافی است.

## تاییدیه اخلاقی

نویسندگان متعهد می‌شوند که کلیه اصول اخلاقی انتشار اثر علمی را براساس اصول اخلاقی COPE رعایت کرده‌اند و در صورت احراز هر یک از موارد تخطی از اصول اخلاقی، حتی پس از انتشار مقاله، حق حذف مقاله و پیگیری مورد را به مجله می‌دهند.

## درصد مشارکت

نویسندگان اعلام می‌دارند به‌طور مستقیم در مراحل انجام پژوهش و نگارش مقاله مشارکت فعال داشته‌اند.

## پی‌نوشت

### 1. Agisoft Metashape

۲. مقرنس نیمکار ورودی مسجد ایلچی هم در این جامعه هدف قرار می‌گیرد که چون در پرونده ثبتی بنا به تخریب و جابجایی این سردر در سال ۱۳۱۵ اشاره شده، در صحت اجرای این مقرنس مطابق با فرم اصیل تردید وجود داشت. به علاوه به دلیل وجود آسیب بصری (تابلو و قاب عکس)، امکان برداشت آن به‌طور کامل ممکن نشد.

۳. تعریف عناصر مقرنس از دید نگارندگان:

- ابتدا واژه عنصر تعریف می‌شود: به اجزای تشکیل دهنده مقرنس، که در شکل (هندسه دوبعدی) به صورت چندضلعی‌های محدب یا مقعر و از نظر حجمی (سه‌بعدی)، فضاهای پرو خالی را ایجاد می‌کنند و از گردآمدنشان در ترکیب با هم مقرنس پدید می‌آید، عنصر گفته می‌شود.

- شمشه: به شکل کامل (در چشمه)، نیمه (در نیمکار) یا ربع (در سکنج) به کار می‌رود. چندضلعی مقعری است که زوایای شعاعی مساوی دارد. از نظر فرمی در بیش‌ترین ارتفاع واقع است.

- ترنج: از نظر شکلی، چهارضلعی‌ای محدب است و به لوزی شباهت دارد اما غالباً دوضلع بالای آن با هم و دو ضلع پایین آن با هم مساوی‌اند. دو ضلع بالای ترنج، به شمشه اتصال دارد. دو ضلع پایین، اتصال‌دهنده بین قطارها هستند.

- طاس: دو طرفش، تی، یا شاپرک، یا ترنج، یا پاباریک، یا پرک قرار می‌گیرد. از نظر شکلی، تعداد اضلاعش حداقل چهار است و می‌تواند منتظم یا غیرمنتظم باشد. از نظر فرم، دو ضلع آن، اتصال‌دهنده بین قطارها و بقیه اضلاع در صفحه افقی واقع‌اند.

- شاپرک: از نظر شکلی، چهارضلعی مقعر است. غالباً دو ضلع کوچک و دو ضلع بزرگ دارد. از نظر فرمی، دو ضلع کوچک آن در صفحه افقی قرار می‌گیرند و دو ضلع بزرگ، اتصال‌دهنده بین قطارها هستند.

- پرک: از نظر شکلی، سه ضلعی محدب است، از نظر فرمی ضلع کوچک در صفحه افقی و دو ضلع بزرگ اتصال‌دهنده بین قطارها هستند.

- پاباریک: از نظر شکلی مانند ترنج است. تفاوتش با ترنج، در موضع است. پاباریک به تخت متصل است و از این رو دو ضلع کوچک آن حتماً در صفحه افقی قرار می‌گیرند اما ترنج این الزام را ندارد.

- مدنی: طاسی است که ارتفاع آن دو قطار یا بیش‌تر باشد.

- سرسفت: از نظر شکلی، سه ضلعی محدب است. طاسی یک ترکی است.

- تخت: از نظر شکلی، چندضلعی غالباً مقعر و به شکل ستاره چندپر است. در صفحه‌ای موازی با افق قرار می‌گیرد. تخت‌ها انواع محدب هم دارند.

- تی: بین دو طاس یا دو مدنی قرار می‌گیرد. از نظر شکلی یک مستطیل بسیار باریک است و از نظر فرمی، تیغه نازکی است که موضعی بین دو طاس یا دو مدنی است و باعث می‌شود عمق طاس یا مدنی بیش‌تر شود.

- موش‌پا و تنوره، عنصر مجزا نیستند و به حالت خاص اجتماع بعضی عناصر در کنار هم گفته می‌شود. موش‌پا به شاپرک، ترنج یا پاریک در قطار اول اطلاق می‌گردد. تنوره نوعی گردهم آمدن تعدادی از عناصر است که حالت کاسه (در کاسه‌سازی) دارد. وقتی ایجاد می‌شود که بین پاریک‌های متصل به تخت، حداقل به تعداد نصف رأس‌های تخت، طاس یا سرفست قرار گیرد.
۴. در این بررسی، تقارن بازتابی موضعی عناصر متصل به تخت‌ها (در صورتی که فقط تقارن در عناصر بلافصل متصل به تخت باشد)، مدنظر قرار نمی‌گیرد.
۵. امکان برداشت دقیق از قسمت بیرون‌زده پلان ممکن نشد و پلان این قسمت براساس عکس از زوایای مختلف و تناسبات مقایسه‌ای ترسیم شده است.
۶. منظور از طول ضلع ترنج در تمام این جدول، ضلع بزرگ ترنج است (دو ضلع بزرگ ترنج با هم برابرند).
۷. ترسیم چندضلعی‌های منتظم با دانستن یک ضلع در صفحات ۲۵ تا ۲۸ کتاب هندسه ایرانی، کاربرد هندسه در عمل از بوزجانی ذکر شده است.

## فهرست منابع

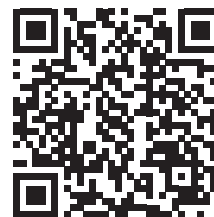
- Agirbas, Asli, Gulnur Yildiz, and Murat Sahin. 2022. "Interrelation between grid systems and star polygons of muqarnas ground projection plans." *Heritage Science* 10(1): 1-26. <https://doi.org/10.1186/s40494-022-00647-z>
- Agirbas, Asli, and Gulnur Yildiz. 2021. "Origin of irregular star polygons in ground projection plans of muqarnas." *Nexus Network Journal* 23: 507-548. <https://doi.org/10.1007/s00004-020-00516-x>
- Alaçam, Sema, and Orkan Zeynel Güzelci. 2016. "Computational interpretations of 2D Muqarnas projections in 3D form finding." 421-430. <https://hdl.handle.net/11413/3005>
- Alaçam, Sema, Orkan Zeynel Güzelci, Ethem Güreş, and Saadet Zeynep Bacınoğlu. 2017. "Reconnoitring computational potentials of the vault-like forms: Thinking aloud on muqarnas tectonics." *International Journal of Architectural Computing* 15(4): 285-303. <https://doi.org/10.1177/1478077117735019>
- Albuzjani, Abolvafa Mohammad Ibn Mohammad. 1997. "Applied Geometry". Translation by Alireza Jazbi. Soroosh. [in Persian]
- Büyükdığan, İ. 2001. "Muqarnas Domes in Edirne". *Architectural Science Review* 44(2): 161-171. <https://doi.org/10.1080/00038628.2001.9697467>
- Dold-Samplonius, Y. 1992. "Practical Arabic Mathematics: Measuring the Muqarnas by al-Kashi". Centaurus: 193-242.
- Fukami, N. 2017. "The Use of Muqarnas in the Transitional Zone of Domes in Egyptian Islamic Architecture". *Orient* 52: 93-119. <https://doi.org/10.5356/orient.52.93>
- Güzelci, O. Z., S. Alaçam, A. K. Şen Bayram, and I. Lacroix. 2021. "Measuring the Entropy of Sinan's Muqarnas Patterns". *Nexus Network Journal* 23: 85-105. <https://doi.org/10.1007/s00004-020-00521-0>
- Güzelci, O., and S. Alaçam. 2019. "A study on measuring complexity in Muqarnas patterns". *Turkish Online Journal of Design Art and Communication* 9(2): 191-201.
- Harmsen, Silvia. 2006. "Algorithmic computer reconstructions of stalactite vaults-muqarnas-in Islamic architecture." PhD diss.
- Kashani, Ghiath Al -Din Jamshid. 2008. "Taq va Azaj". Translation by Alireza Jazbi. Soroosh. [in Persian]
- Kashef, Mohamad. 2017. "Bahri Mamluk muqarnas portals in Egypt: Survey and analysis." *Frontiers of architectural Research* 6(4): 487-503. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2017.09.004>
- KILIÇOĞLU, Selim. 2022. "An Essay on the Classification of Muqarnas: Geometric Foundations Based on Application in Practice." *Türk İslâm Medeniyeti Akademik Araştırmalar Dergisi* 17(34): 331-347. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6468626>
- Lorzade, Hossein. 1980. "Revitalization of forgotten arts". Personal print by Khajavi. [in Persian]
- Najib Oghlu, Golru. 2000. "Geometry and decoration in Islamic Architecture, (Topkapi petition)". Translation by Bide Hendi, Mehrdad, Rozaneh, Tehran. [in Persian]
- Özdural, Alpay. 1990. "Gıyaseddin Jemshid El-Kashi and stalactites." *Metujfa*: 31-49. <https://hdl.handle.net/11511/51163>
- Özdural, Alpay. 1991. "Analysis of the geometry of stalactites: Buruciye Medrese". *Metujfa*: 57-71. <https://hdl.handle.net/11511/51150>
- Piran, Hassan. 2018. "Practical training of Muqarnas". Tehran. Sokhanvaran. [in Persian]
- Reiszade, Mahnaz, and Hossein Mofid. 2014. "Revitalization of forgotten arts: Ancient Architecture principles". Tehran: Mola. [in Persian]
- Sakkal, Mamoun. 1988. "An introduction to Muqarnas domes Geometry". *Structural Topology* 1988 núm 14. <http://hdl.handle.net/2099/1042>
- Sharbaf, Asghar. 2006. "Gereh and Karbandi". Tehran: Cultural heritage Organization. [in Persian]
- Takahashi, S. (n.d.). Muqarnas: A Three-Dimensional Decoration of Islam Architecture. Retrieved from <http://www.shiro1000.jp/muqarnas/default-.htm>
- Yaghan, Mohammad Ali Jalal. 2001. "The Muqarnas pre-designed erecting units: analysis, definition of the generic set of units, and a system of unit-creation as a new evolutionary step." *Architectural Science Review* 44(3): 297-318. <https://doi.org/10.1080/00038628.2001.9697485>
- Yaghan, Mohammad Ali Jalal. 2010. "The evolution of architectural forms through computer visualisation: muqarnas example." In *Electronic Visualisation and the Arts (EVA 2010)*. BCS Learning & Development: 113-120. <https://www.scienceopen.com/hosted-document?doi=10.14236/ewic/EVA2010.19>
- Zamani, Zahra, Kaveh Fattahi, and Maryam Ekhtiyari. 2022. "Studying Muqarnas Typology and Its Fundamental Components according to Al-Kāshī's Meftāh-ol-Hessāb Treatise." *Golestan-e Honar* 7(2): 16-5. <http://golestane-honar.ir/article-1-328-en.html>. [in Persian]

## نحوه ارجاع به این مقاله

رضایی، الهام، شهریار ناسخیان، و نیما ولی‌بیگ. ۱۴۰۳. مطالعه مقایسه‌ای مقرنس‌های دارای تخت و نمای آجری مساجد تاریخی اصفهان در گستره‌ی هندسه دوبعدی مقرنس. نشریه معماری و شهرسازی آرمان‌شهر ۱۷(۴۸): ۶۷-۸۳.

DOI: 10.22034/AAUD.2024.416947.2828

URL: [https://www.armanshahrjournal.com/article\\_203945.html](https://www.armanshahrjournal.com/article_203945.html)



## COPYRIGHTS

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to the Armanshahr Architecture & Urban Development Journal. This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution License.

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



