مطالعات معماری ایران ۲۰

دوفصلنامه علمی دانشکده معماری و هنر، دانشگاه کاشان

سال دهم، شماره ۲۰، پاییز و زمستان ۱۴۰۰

◆ کاشی‌های هفت‌رنگ مزار در زیارتگاه‌های سلطان عطابخش و سلطان امیراحمد کاشان (سدهٔ دهم تا سیزدهم ه. ق)
● محمدرضا غیاثیان/ محمد مشهدی نوش‌آبادی

◆ بررسی آرایه‌های آجری خانه‌های تاریخی بهبهان در دورهٔ پهلوی
● زینب مشهور

◆ مساجد جامع شهر کرمان؛ شناسایی و تبیین جایگاه شهری و تاریخی
● ذات‌الله نیک‌زاد

◆ مقایسهٔ عملکرد حرارتی شگردهای اقلیمی دُرچَه، کُلَک و خارخُنَه در دورهٔ گرم سال در مسکن بومی منطقهٔ سیستان
● محمدعلی سرگزی/ منصوره طاهباز/ اکبر حاج ابراهیم زرگر

◆ سنجش عملکرد عناصر اقلیمی خانه‌های سنتی بافت تاریخی شیراز با رویکرد آسایش حرارتی؛ مورد پژوهی: ایوان
● جمشید کریم‌زاده/ جمال‌الدین مهدی‌نژاد درزی/ باقر کریمی

◆ ارزیابی میزان خلاقیت و موفقیت تحصیلی دانشجویان معماری دانشگاه تهران از منظر ربع‌های چهارگانهٔ مغزی ند هرمان
● فؤاد خرّمی/ سید امیرسعید محمودی/ مصطفی مختاباد

◆ تحلیل فناوری ساخت بنای سد تاریخی کریت طبس
● امیرحسین صادق‌پور

◆ مطالعهٔ تطبیقی ریخت‌شناختی بافت شهری بیرجند از منظر تقاضای انرژی
● مصطفی حسینی/ محمود شکوهی/ فرشاد نصرالهی

◆ مطالعهٔ تطبیقی لانهٔ موریانه و مجموعهٔ زیرزمینی نوش‌آباد
● بابک عالمی

◆ شاخص‌های به‌کارگیری ظرفیت میراث‌فرهنگی برای توسعهٔ پایدار اقتصاد محلی
● سارا تیمورتاش/ پیروز حناچی/ محمدحسن طالبیان

◆ واکاوی مؤلفه‌های مؤثر بر طبقه‌بندی آثار میراث معماری بر اساس رویکردها و سیاست‌های حفاظت در کشورهای اروپا
● ساشا ریاحی‌مقدم/ محمدحسن طالبیان/ اصغر محمدمرادی

◆ یک مدل نظری برای مطالعهٔ روابط همسایگی در محیط‌های مسکونی
● رضا سرّعلی/ شهرام پوردیهیمی

مطالعات معماری ایران

دوفصلنامه علمی دانشکده معماری و هنر، دانشگاه کاشان

سال دهم، شماره ۲۰، پاییز و زمستان ۱۴۰۰
صاحب امتیاز: دانشگاه کاشان
مدیر مسئول: دکتر علی عمرانی‌پور
سردبیر: دکتر غلامحسین معماریان
مدیر داخلی: دکتر بابک عالمی

هیئت تحریریه (به‌ترتیب الفبا):
دکتر ایرج اعتصام. استاد دانشگاه آزاد اسلامی. واحد علوم و تحقیقات
دکتر عباس اکبری. دانشیار دانشگاه کاشان
دکتر حمیدرضا جیحانی. دانشیار دانشگاه کاشان
دکتر پیروز حناچی. استاد دانشگاه تهران
دکتر شاهین حیدری. استاد دانشگاه تهران
دکتر محمدصادق طاهر طلوع دل. دانشیار دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی
دکتر علی عبد الرئوف. استاد دانشگاه حمد بن خلیفه قطر
دکتر علی عمرانی‌پور. دانشیار دانشگاه کاشان
دکتر فاطمه کاتب. استاد دانشگاه الزهرا (س)
دکتر حسین کلانتری. استاد جهاد دانشگاهی
دکتر اصغر محمد مرادی. استاد دانشگاه علم و صنعت ایران
دکتر غلامحسین معماریان. استاد دانشگاه علم و صنعت ایران
دکتر محسن نیازی. استاد دانشگاه کاشان

درجه علمی پژوهشی دوفصلنامه مطالعات معماری ایران طی نامه شماره ۱۶۱۶۷۶ مورخ ۱۳۹۰/۰۸/۲۱ دبیرخانه کمیسیون نشریات علمی کشور، وزارت علوم، تحقیقات و فناوری ابلاغ گردیده است.

پروانه انتشار این نشریه به شماره ۹۰/۲۳۰۳۰ مورخ ۹۱/۹/۷ از وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی صادر شده است.

این نشریه حاصل همکاری مشترک علمی دانشگاه کاشان با دانشکده معماری دانشگاه تهران، دانشگاه تربیت مدرس، دانشگاه الزهرا (س)، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه شهید رجایی و پژوهشکده فرهنگ، هنر و معماری جهاد دانشگاهی است.

نشریه مطالعات معماری ایران در پایگاه استنادی علوم کشورهای اسلامی (ISC)، پایگاه اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی (SID)، پایگاه مجلات تخصصی نور (noormags.ir)، پرتال جامع علوم انسانی (ensani.ir) و بانک اطلاعات نشریات کشور (magiran.com) نمایه می‌شود.

تصاویر بدون استناد در هر مقاله، متعلق به نویسنده آن مقاله است.

(نسخه الکترونیکی مقاله‌های این مجله، با تصاویر رنگی در تارنمای نشریه قابل دریافت است.)

عکس روی جلد: محمد موحدنژاد
(شبستان مسجد جامع اصفهان)
ویراستار ادبی فارسی: معصومه عدالت‌پور
ویراستار انگلیسی: غزل نفیسه تابنده
همکار اجرایی: نغمه اسدی چیمه
دورنگار: ۵۵۹۱۳۱۳۲-۰۳۱
نشانی دفتر نشریه: کاشان، بلوار قطب راوندی، دانشگاه کاشان، دانشکده معماری و هنر، کدپستی: ۵۳۱۵۳-۸۷۳۱۷
رایانامه: j.ir.arch.s@gmail.com
پایگاه اینترنتی: jias.kashanu.ac.ir
شاپا: ۰۶۳۵-۲۲۵۲

ناشر: مرکز منطقه‌ای اطلاع‌رسانی علوم و فناوری (RICeST)
انتشارات: ۳۶۴۶۸۴۵۲-۰۷۱
نمابر: ۳۶۴۶۸۳۵۲-۰۷۱

این نشریه در «ایران ژورنال» نظام نمایه‌سازی مرکز منطقه‌ای اطلاع‌رسانی علوم و فناوری (RICeST) به نشانی http://ricest.ac.ir و پایگاه استنادی علوم جهان اسلام (ISC) به نشانی http://isc.gov.ir نمایه می‌شود.

فهرست

۵ **کاشی‌های هفت‌رنگ مزار در زیارتگاه‌های سلطان عطابخش و سلطان امیراحمد کاشان (سدهٔ دهم تا سیزدهم ه. ق)**
محمدرضا غیاثیان/ محمد مشهدی نوش‌آبادی

۲۷ **بررسی آرایه‌های آجری خانه‌های تاریخی بهبهان در دورهٔ پهلوی**
زینب مشهور

۴۹ **مساجد جامع شهر کرمان؛ شناسایی و تبیین جایگاه شهری و تاریخی**
ذات‌الله نیک‌زاد

۶۷ **مقایسهٔ عملکرد حرارتی شگردهای اقلیمی دُرچَه، کُلَک و خارخُنَه در دورهٔ گرم سال در مسکن بومی منطقهٔ سیستان**
محمدعلی سرگزی/ منصوره طاهباز/ اکبر حاج ابراهیم زرگر

۸۹ **سنجش عملکرد عناصر اقلیمی خانه‌های سنتی بافت تاریخی شیراز با رویکرد آسایش حرارتی؛ مورد پژوهی: ایوان**
جمشید کریم‌زاده/ جمال‌الدین مهدی‌نژاد درزی/ باقر کریمی

۱۱۷ **ارزیابی میزان خلاقیت و موفقیت تحصیلی دانشجویان معماری دانشگاه تهران از منظر ربع‌های چهارگانهٔ مغزی ند هرمان**
فؤاد خرّمی/ سید امیرسعید محمودی/ مصطفی مختاباد

۱۳۵ **تحلیل فناوری ساخت بنای سد تاریخی کُریت طبس**
امیرحسین صادق‌پور

۱۵۳ **مطالعهٔ تطبیقی ریخت‌شناختی بافت شهری بیرجند از منظر تقاضای انرژی**
مصطفی حسینی/ محمود شکوهی/ فرشاد نصراللهی

۱۷۷ **مطالعهٔ تطبیقی لانهٔ موریانه و مجموعهٔ زیرزمینی نوش‌آباد**
بابک عالمی

۱۹۵ **شاخص‌های به‌کارگیری ظرفیت میراث‌فرهنگی برای توسعهٔ پایدار اقتصاد محلی**
سارا تیمورتاش/ پیروز حناچی/ محمدحسن طالبیان

۲۱۳ **واکاوی مؤلفه‌های مؤثر بر طبقه‌بندی آثار میراث معماری بر اساس رویکردها و سیاست‌های حفاظت در کشورهای اروپا**
ساشا ریاحی‌مقدم/ محمدحسن طالبیان/ اصغر محمدمرادی

۲۳۹ **یک مدل نظری برای مطالعهٔ روابط همسایگی در محیط‌های مسکونی**
رضا سرّعلی/ شهرام پوردیهیمی

۲۵۹ **راهنمای تدوین و ارسال مقاله**

۲۶۱ **بخش انگلیسی**

علمی پژوهشی

مطالعهٔ تطبیقی لانهٔ موریانه و مجموعهٔ زیرزمینی نوش‌آباد

بابک عالمی*

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۵

چکیده

طبیعت منبع عظیم الگوبرداری همساز و متناسب با محیط بوده و انسان با نگرش بیونیک و با الهام از این الگوها می‌تواند به خلق فضاها و عناصر متناسب با محیط بپردازد و شرایط زندگی خود را اعتلا و ارتقا بخشد. در این میان، مقایسهٔ تطبیقی الگوهای مصنوع و طبیعی، انسان را در فهم بیشتر این موضوع کمک می‌کند. به همین سبب این پژوهش به مقایسهٔ تطبیقی دو الگوی طبیعی و انسان‌ساز پرداخته و دو مجموعهٔ لانهٔ موریانه و مجموعهٔ زیرزمینی اویی را مورد تحلیل و بررسی قرار داده است. در این پژوهش ابتدا از طریق مطالعات میدانی و برداشت‌ها و پیمایش‌های محلی، مجموعهٔ زیرزمینی اویی مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته و شناسایی شده است؛ سپس از طریق روش اسنادی در حوزهٔ شناختِ موریانه و لانهٔ آن مطالعات کتابخانه‌ای صورت گرفته و اصول و معیارهای قابل قیاس برای دو نمونه با بررسی منابع مختلف در پیشینهٔ موضوع، در سه حوزهٔ فرم و ساختار، راهکارهای اقلیمی و تکنیک‌های امنیتی دسته‌بندی شده و این دو مجموعه با روش استدلال منطقی، آنالیز، تجزیه و تحلیل شده‌اند. در نهایت با بررسی و تحلیل معیارها و اصول‌ها برای هر مجموعه و مقایسهٔ تطبیقی آن‌ها می‌توان گفت مجموعهٔ اویی و الگوی طبیعی لانهٔ موریانه‌ها در حوزه‌های مختلف شباهت زیادی داشته و در ایجاد مجموعه‌ها و دست‌کندهای مصنوع و طبیعی، تکنیک‌ها و راهکارهای مشترکی وجود دارد و الگوبرداری از طبیعت در طول تاریخ بشر، چه در زندگی امروزین و در قالب معماری بیونیک و چه در بحث تقلید از طبیعت در گذشته، در روح و جان بشر بوده است.

کلیدواژه‌ها:

نوش‌آباد، مجموعهٔ زیرزمینی اویی، لانهٔ موریانه، معماری دست‌کند، تهویه.

*استادیار، دانشکده معماری و هنر، دانشگاه کاشان، alemi@kashanu.ac.ir

مطالعات معماری ایران
دو فصلنامه معماری ایرانی
شماره ۲۰ ـ پاییز و زمستان ۱۴۰۰
صفحات ۱۹۴-۱۷۷ ۱۷۷

پرسش‌های پژوهش

۱. چه راهکارها و وجوه مشترکی در مجموعه‌های زیرزمینی انسان‌ساخت و طبیعی می‌تواند وجود داشته باشد؟
۲. این راهکارها به چه نحو در مجموعهٔ اویی و لانهٔ موریانه متبلور شده و چه ویژگی‌هایی دارند؟

مقدمه

طبیعت و موجودات زنده غالباً دارای فرم و ساختار مناسب و کارکرد منحصربه‌فرد هستند. فرم‌های طبیعی و اجزای آن‌ها با شرایط گوناگون محیطی منطبق بوده و سازگاری حاصل از آن‌ها یکی از اساسی‌ترین آموزه‌های طبیعت برای معماران، طراحان و هنروران است. لانه‌ها و دست‌سازهای موجودات زنده نیز از جمله الگوهای متنوع طبیعت هستند و معماران به‌کمک این الگوها به خلق فضاهای معمارانه در جهت معماری پایداری می‌پردازند. موریانه‌ها از دسته حشرات اجتماعی هستند که مهارت زیادی در ساخت لانه و کلنی‌های خود دارند. به‌گفتهٔ مارگولیس[1] «همهٔ ما در این سیاره با همزیستی زندگی می‌کنیم و همزیستی اصلی طبیعی و رایج است»، بنابراین انسان برای زنده ماندن در طول زمان می‌تواند از توانایی‌های همزیستی موریانه‌ها تقلید کند (French and Ahmed 2011). با بررسی الگوهای طبیعی در معماری و نحوهٔ استفاده از این لانه‌ها، به نظر می‌رسد اصول مشابهی در معماری حشرات دارای لانه‌های زیرزمینی با ویژگی‌ها و تمهیدات معماری، امنیتی، اقلیمی انسان در زمان استفاده از مجموعه‌های سکونتی زیرزمینی وجود داشته باشد.

بشر در طول تاریخ همیشه و در هرجا که در برابر عوامل محیطی و خارجی احساس خطر کرده، به زیر سطح زمین پناه برده است. مجموعه‌های زیرزمینی نمونه‌ای از استفادهٔ انسان از فضای زیرِ زمین است که با هدف اصلی امنیت در برابر هجوم دشمن ساخته شده است. مجموعهٔ زیرزمینی اویی واقع در نوش‌آبادِ کاشان نیز به‌علت حفاظت از جان و مال مردم در مواقع ناامنی، به‌طور گسترده و در دو سطح افقی و عمودی زیر بافت سنتی و تاریخی شهر ایجاد شده و تا تراز کنونی شهر گسترده شده است. پژوهش‌های اندکی برای شناسایی این مجموعه صورت گرفته که برخی ویژگی‌های عمومی و ظاهری آن را بررسی کرده‌اند، لذا شناخت دقیقی از معماری مجموعه در دست نیست. بر این اساس، این پژوهش تلاش‌می‌کند با بررسی و شناخت دقیق مجموعهٔ اویی، معماری و تکنیک‌های مختلف اقلیمی و امنیتی این مجموعه را بررسی و تحلیل نماید. همچنین این پژوهش به شناخت و بررسی معماری و الگوی مسکونی لانهٔ موریانه‌ها و نحوهٔ رفتار آن‌ها در زمان استفاده از لانه پرداخته و در نهایت مجموعهٔ زیرزمینی اویی را با ساختار طبیعی لانهٔ موریانه مورد مقایسهٔ تطبیقی قرار داده است. به همین سبب، اصول و معیارهای مشترک و قابل قیاس در هر دو نمونه به‌کمک منابع مختلف گردآوری شده و عواملی از قبیل فرم و ساختار، راهکارهای اقلیمی و امنیت (جدول ۱) مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته و میزان تشابه احتمالی آن‌ها سنجیده شده است.

۱. پیشینهٔ پژوهش

ایده‌ها و الگوهای زندهٔ موجود در طبیعت، از گذشته تا امروز همواره مورد استفاده قرار گرفته و مطالعات زیادی در این حوزه انجام شده است. سوگار و همکاران‌ش به بررسی معماری بومی و ساختارهای الهام‌گرفته از طبیعت پرداخته و نقش الگوهای موجودات زنده در معماری از جمله الگوگیری مناره‌ها از لانه‌های موریانه، ساختمان‌های قبیلهٔ آفریقایی هادزا[2] از لانهٔ بافندگان و... را بررسی کرده‌اند (Sugar, Leczovics, and Horkai 2017). یکی از الگوبرداری‌های موجود در معماری، الگوبرداری و الهام از لانه‌ها و دست‌کندهای موجودات زنده است. فرنچ و احمد به بررسی طراحی اجتماعی موریانه برای الهام بخشیدن و ایجاد سیستم‌های پایدار پرداخته‌اند (French and Ahmed 2010). عبدالله و همکارانش در پژوهش خود به استراتژی‌های خنک‌سازی در سیستم‌های بیولوژیکی موریانه‌ها پرداخته و معتقدند الگوبرداری از آن‌ها در معماری پایدار و مهندسی بیونیک، منجر به طراحی خلاقانه با صرفه‌جویی قابل توجه انرژی می‌شود (AbdUllah, Bin Said, and Ossen 2018). تورنر و سوآر ساختار و عملکرد تپه‌های موریانه را مورد تحلیل قرار داده و تحقق آن‌ها

را در ساختمان‌ها تحلیل کرده‌اند (Turner and Soar 2008). سینگ و همکاران نیز طراحی معماری سیستم‌های تهویه و زهکشی هوشمند در لانه‌های موریانه را تحلیل و بررسی کرده‌اند (Singh et al. 2019).

در راستای بررسی الگوهای مشابه در لانهٔ موریانه‌ها و ساخت‌وساز انسانی از قبیل پناهگاه‌ها، به برخی از پژوهش‌ها و مطالعات صورت‌گرفته در مورد مجموعهٔ زیرزمینی اویی پرداخته می‌شود. شایان ذکر است به‌دلیل تازگی کشف این مجموعه، اطلاعات و پژوهش‌های زیادی در این حوزه نیست. سادات‌بیدگلی و ساروخانی در پژوهش خود به بررسی علل تاریخی– اقلیمی ایجاد اویی‌ها در منطقهٔ کاشان و معرفی بستر این مجموعه پرداخته‌اند (سادات‌بیدگلی و ساروخانی ۱۳۸۷). همچنین صالحی و همکارانش معماری زیرزمینی مجموعهٔ اویی را مورد تحلیل و بررسی قرار داده‌اند (صالحی، عبدالحسینی، و ارمغانی ۱۳۹۵) وفایی و هاشمی به بررسی تدابیر و تکنیک‌های دفاع غیرعامل در مجموعهٔ زیرزمینی اویی پرداخته و معتقدند با اعمال برخی تمهیدات، علاوه بر کارکرد عادی خود این شهر برای مردم بی‌دفاع ایمن بوده است (وفایی و هاشمی فشارکی ۱۳۹۱). همچنین ساروخانی در گزارش سازمان میراث‌فرهنگی کشور به کاوش و شناخت مجموعهٔ اویی پرداخته است (ساروخانی ۱۳۸۳). با توجه به پژوهش‌های ذکرشده، پژوهش‌های اندکی در مورد مجموعهٔ زیرزمینی اویی صورت گرفته و معماری این مجموعه به‌صورت دقیق بررسی نشده است.

این پژوهش در نظر دارد پس از شناخت و بررسی مجموعهٔ اویی، به مقایسه و مطالعهٔ تطبیقی مجموعهٔ دست‌کند اویی و الگوی طبیعی لانهٔ موریانه بپردازد و تکنیک‌ها و اصول به‌کارگرفته‌شده در آن‌ها را مورد تحلیل و بررسی قرار دهد. با بررسی منابع مرتبط با حوزهٔ مجموعه‌ها و الگوهای زیرزمینی طبیعی، می‌توان معیارهای اصلی مقایسهٔ تطبیقی این دو نمونه را به دست آورد. بررسی منابع مختلف موجود در این حوزه نشان‌می‌دهد سه وجه فرم و ساختار، راهکارهای اقلیمی و امنیت در معماری لانهٔ موریانه‌ها مؤثر بوده که این وجوه سه‌گانه و مؤلفه‌های آن‌ها در جدول (۱) بر اساس منابع مختلف ارائه شده است. در نهایت در این پژوهش، این وجوه و مؤلفه‌های آن‌ها برای مقایسهٔ معماری مجموعهٔ اویی و لانهٔ موریانه به کار برده می‌شود و راهکارها و تکنیک‌های مشترک در دو نمونهٔ مصنوع و طبیعی مورد تحلیل و بررسی قرار می‌گیرد.

جدول ۱: بررسی وجوه و معیارهای معماری لانهٔ موریانه در منابع مختلف

وجه	معیار	منابع
فرم و ساختار	بررسی کاربری‌ها	(French and Ahmed2011 ; Mizumoto and Matsura2013 ; AbdUllah, Bin Said, and Ossen 2018; Worall 2011)
	ابعاد و تناسبات	(Singh et al. 2019; Mizumoto and Matsura 2013; AbdUllah, Bin Said, and Ossen 2018; Ockoa et al. 2017)
	نوع مصالح	(Ireland and Garnier 2017; Oberšt, Lai, and Evans 2016; Cheika et al. 2018)
راهکارهای اقلیمی	تهویهٔ غیرفعال	(Ireland and Garnier 2017, AbdUllah, Bin Said, and Ossen 2018, Turner and Soar 2008; Vesala et al. 2019; Cosarinsky and Roces 2011; King, Ockao, and Mahadevan 2015)
	کنترل دما	(Pawlyn 2011; AbdUllah, Bin Said, and Ossen 2018; Turner and Soar 2008)
	کنترل رطوبت	(Pawlyn 2011; AbdUllah, Bin Said, and Ossen 2018; Oberšt et al. 2021)
امنیت	حفاظت در برابر شکارچیان	(Noirot and Darlington 2000; Ireland and Garnier 2017; Pernaa et al. 2008)
	حفاظت در برابر بلایای طبیعی	
	تکنیک‌های امنیتی	

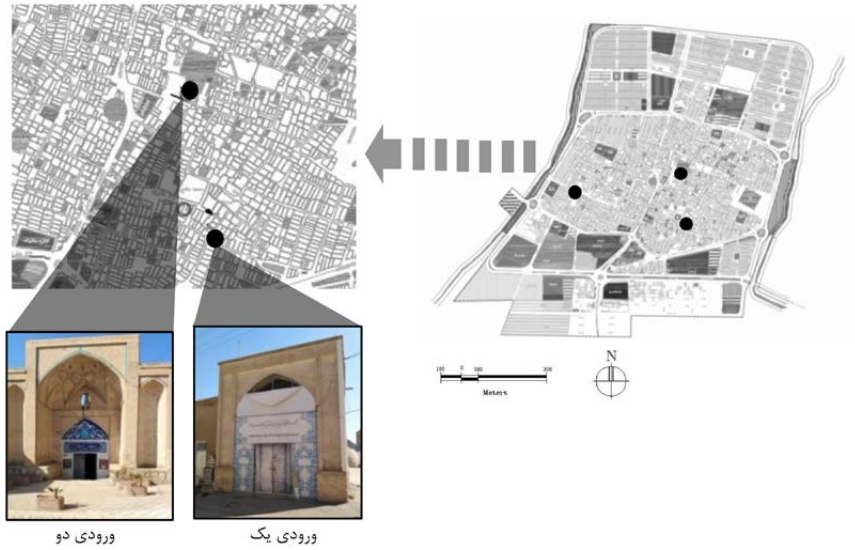
۲. شناخت کلی مجموعهٔ زیرزمینی اویی

مجموعهٔ زیرزمینی اویی در تاریخ ۸ مرداد ۱۳۸۵ با شمارهٔ ۱۵۸۱۶ به‌عنوان یکی از آثار ملی ایران به ثبت رسیده است (دانشنامهٔ تاریخ معماری و شهرسازی ایران‌شهر ۱۳۹۷). تاریخ ایجاد و استفاده از این مجموعه به دوران ساسانی و اوایل اسلام می‌رسد و مجموعه در دوره‌های بعد از سلجوقی تا قاجار مورد استفاده بوده (صالحی، عبدالحسینی، و ارمغانی ۱۳۹۵) که به‌دلیل مهارت و تجربهٔ مردم این محدوده در ساخت قنات، پناهگاه بسیار مقاومی در زمان حملات بوده است. علاوه بر کاربرد جان‌پناه در برابر تاخت‌وتاز دشمنان، به‌دلیل روان بودن آب قنات از زیر بافت مسکونی و نیاز به

انبار کردن مواد غذایی با توجه به اقلیم گرم و خشک کاشان، این ساختار شکل گرفته و اویی نامیده شده است. کلمهٔ اویی از دو جزء «او/u» و «یی/i» تشکیل شده که جزء اول به‌معنی آب است و جزء دوم، پسوند نسبت به چیز یا جایی است؛ به‌معنای آبی یا آبگاه (سادات‌بیدگلی و ساروخانی ۱۳۸۷).

دسترسی به مجموعهٔ اویی در گذشته از طریق چاه‌های مخفی موجود در فضاهایی از قبیل بازار، مساجد، قنات‌ها، باغ‌ها، قلعه خشتی، زیرزمین منازل و اصطبل احشام و همچنین از طریق تنور موجود در خانه‌ها صورت می‌گرفته که امروزه به‌دلیل تخریب‌های صورت‌گرفته در بافت قدیمی، بیشتر این دسترسی‌ها قابل استفاده نیست و برخی نیز هنوز کشف نشده‌اند (صالحی، عبدالحسینی، و ارمغانی ۱۳۹۵؛ وفایی و هاشمی فشارکی ۱۳۹۱). تصویر ۱ نمونه‌ای از دسترسی به این مجموعه را نشان می‌دهد که از طریق چاه‌های مجموعه میسر شده است. در گذشته به‌دلیل مسائل امنیتی، اویی‌ها را مستقل از یکدیگر می‌ساختند تا با شناسایی یک اویی، دیگر اویی‌ها در امان بماند (سادات‌بیدگلی و ساروخانی ۱۳۸۷). مطابق با تصویر ۵ امروزه دسترسی به سه قسمت از این مجموعه از طریق سه ورودی مختلف صورت می‌گیرد. ورودی اول در سال ۱۳۸۱ در حین حفر چاه کشف شد. ورودی دوم که در سال ۱۳۸۳ کشف شده، مجاور آب‌انبارِ حاشیهٔ مجموعه است. مسیر جدیدی از آب‌انبار به مجموعه در سال ۱۳۸۵ حفر شد. ورودی سوم نیز در سال ۱۳۸۴کشف شد که فضای داخل آن در حال مرمت است (کدخدایی ۱۳۹۹). گفتنی است هنوز برخی قسمت‌های این مجموعه کشف نشده و متأسفانه در برخی موارد، فاضلاب خانه‌ها در مجموعه نفوذ کرده و عملیات کاوش را سخت نموده است.

تصاویر ۱ تا ۴: از راست به چپ: راه‌های دسترسی به مجموعه از طریق چاه‌های حفرشده در گذشته (وفایی و هاشمی فشارکی ۱۳۹۱)، آب‌انبار موجود در ورودی دوم. فضای داخلی مجموعهٔ اویی در ورودی سوم (پایگاه میراث‌فرهنگی نوش‌آباد)، راهروهای مجموعهٔ اویی در ورودی دوم (پایگاه میراث‌فرهنگی نوش‌آباد)



تصویر ۵: موقعیت ورودی‌های مجموعهٔ اویی. نقشهٔ شهر نوش‌آباد در سال ۱۳۸۹ (پایگاه میراث‌فرهنگی نوش‌آباد). ورودیِ یک مجموعهٔ اویی در منطقهٔ بالاده یا شهید مطهری. ورودی دوم مجموعهٔ اویی در منطقهٔ توده یا شهید بهشتی

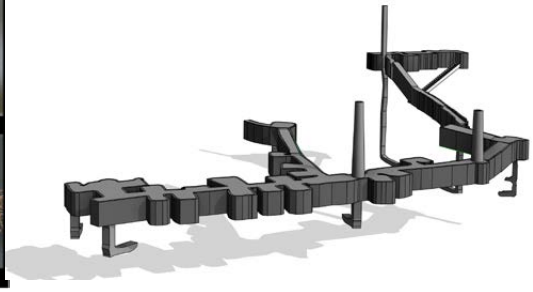
۳. یافته‌ها و تحلیل آن‌ها

خصوصیات مجموعه‌های زیرزمینی را می‌توان بر اساس منابع مرتبط با موضوع، مطابق با جدول ۱ از سه وجه مورد بررسی قرار داد که هر وجه دارای معیارها و اصول‌هایی است. بر این اساس، در ادامهٔ پژوهش، به بررسی ویژگی‌های مجموعهٔ اویی در مقایسه با لانهٔ موریانه بر مبنای چهارچوب نظری پژوهش پرداخته می‌شود.

۳. ۱. فرم و ساختار

بسیاری از حیوانات و گیاهان دارای ساختارهای پیشرفتهٔ فیزیکی و مهارت‌های عملیاتی هستند (Singh et al. 2019). موریانه‌ها با استفاده از ساخت لوله‌های پناهگاهی به‌عنوان یک سیستم، معماری خاص کلنی را ایجاد می‌کنند (Mizumoto and Matsura 2013). این ساختمان‌ها، پیچیده و مختلف بوده به‌طوری که می‌توانند از سازه‌های سادهٔ متشکل از یک ورودی واحد، منتهی به یک محفظه تا لانه‌های پیچیده حاوی صدها شفت و اتاق متصل باشند (Ireland and Garnier 2017). فرم ساخته‌شده توسط موریانه‌ها از نظر شکل و اندازه در گونه‌های مختلف، متفاوت است (Mizumoto and Matsura 2013). علاوه بر سیستم یکپارچهٔ لانهٔ زیرزمینی و شبکهٔ پیچیده تونل‌ها، تپهٔ موریانه‌ها نیز در این معماری نقش بسزایی دارد (Turner and Soar 2008). ارتفاع آن‌ها در برخی موارد می‌تواند تا هشت متر برسد. مطابق تصویر ۶ شکل تپه‌ها از نظر محیط، گونه‌ها و عملکرد از قبیل میزان تخلخل دیوارها، ضخامت، طراحی سطح و ساختار داخلی تپه با نوع دیگر متفاوت است. تپهٔ موریانه در طبیعت می‌تواند از تپه‌های کشیدهٔ بشقاب‌مانند، تپه‌های مسطح و تپه‌های گنبدی‌شکل باشد (AbdUllah, Bin Said, and Ossen 2018). این تپه به‌عنوان زیرساخت کنترل آب‌وهوا و تهویه برای لانهٔ زیرزمینی کلنی موریانه‌ها عمل می‌کند (Turner and Soar 2008).

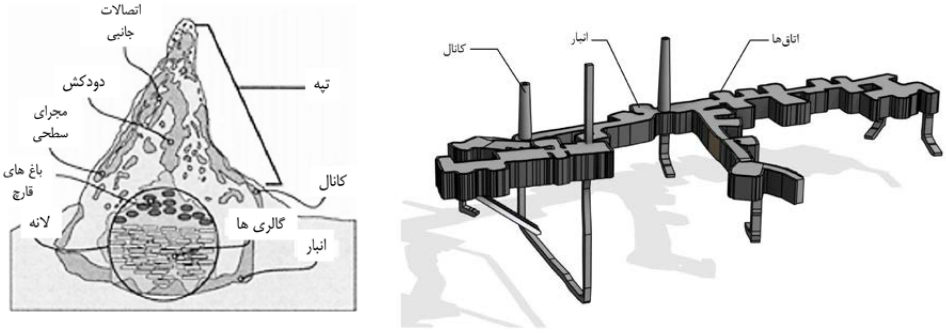
معماری لانهٔ موریانه منطبق بر شرایط محیطی بوده و به‌عنوان الگویی پیچیده و چندعملکردی می‌تواند الهام‌بخش معماران در ساخت بناها باشد. معماری مجموعهٔ زیرزمینی اویی نیز به‌صورت کانال‌های متعدد و دالان‌های تودرتو در زیر سطح شهر به‌صورت گسترده، در سه طبقه ساخته شده است. این ساختار پراکنده بوده به‌گونه‌ای که این طبقات لزوماً روی هم قرار نگرفته و ممکن است در یک مقطع، فقط یک طبقه وجود داشته باشد. این معماری دارای کانال‌ها و چاه‌های متعدد با عملکردهای متفاوت از قبیل برقراری ارتباط با محیط بیرون، تهویهٔ هوا و فریب دشمنان است. بنابراین با توجه به مطالب ذکرشده می‌توان ساختار لانهٔ موریانه و مجموعهٔ اویی را از نظر دارا بودن شبکه‌های متخلل و دالان‌های تودرتو مشابه دانست. لانهٔ موریانه و مجموعهٔ اویی هر دو در دل زمین و داخل خاک ساخته شده‌اند اما تفاوت اصلی در نحوهٔ قرارگیری تپهٔ لانهٔ موریانه یا شبکهٔ تهویهٔ آن است که در موقعیت بالاتری از سطح زمین قرار دارد، درحالی‌که کانال‌ها و چاه‌های مجموعه در داخل خاک قرار دارند و تا سطح زمین امتداد یافته‌اند.



تصاویر ۶ و ۷: از راست به چپ؛ اشکال مختلف تپه‌ها در لانهٔ موریانه‌ها (Ockoa, Heydeb, and Mahadevan 2019).
نمای سه‌بعدی مجموعهٔ اویی

۳. ۱. ۱. بررسی کاربری‌ها

موریانه‌ها به‌دلیل ایجاد لانه‌های بزرگ و بسیار پیچیده شناخته‌شده‌اند. در داخل لانهٔ اکثر گونه‌های موریانه، شبکه‌های عظیمی از گالری‌ها و اتاق‌ها وجود دارد. اتاق‌های مجاور را می‌توان از طریق یک راهرو کوتاه به هم متصل کرد (Perna et al. 2008)؛ به‌عبارتی اتاق‌ها در لانه‌های یک کلونی توسط تونل‌ها و لوله‌های زیرزمینی به هم متصل می‌شوند (Mizumoto and Matsura 2013). مطابق تصویر ۱۰، کاربری‌های این معماری شامل لانه، انبار موادغذایی و تپه است. لانه که در زیر سطح زمین قرار دارد، شامل گالری‌ها و باغ‌های قارچ است. تپهٔ موریانه نیز واقع در بالای سطح زمین بوده و از دودکش یا شفت مرکزی برای خروج هوای داخل لانه و بسیاری از کانال‌ها و مجاری هوای محیطی و سطح متخلخل برای تهویه و تنظیم دمای لانه تشکیل شده است (AbdUllah, Bin Said, and Ossen 2018; Worall 2011).

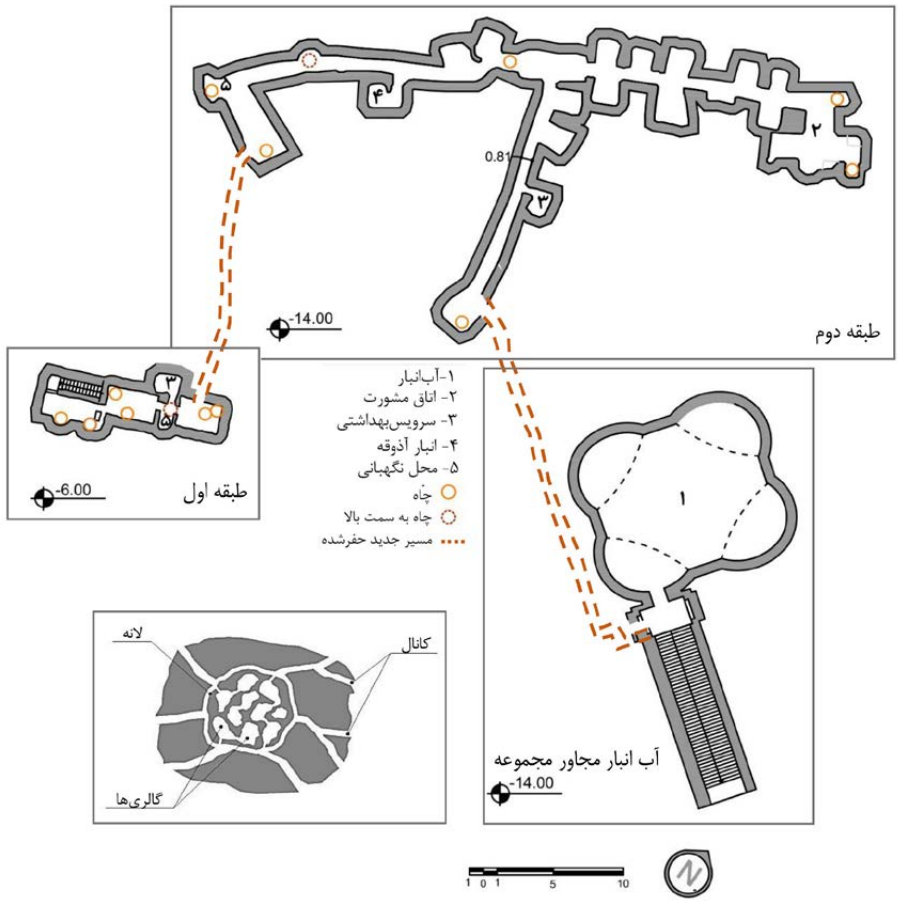


تصاویر ۸ و ۹: از راست به چپ؛ سه‌بعدی مجموعهٔ اویی و فضاهای موجود در آن. مقطع لانهٔ موریانه و فضاهای آن (Worall 2011)

مجموعهٔ اویی نیز از کانال‌ها، چاه‌ها، اتاق‌ها و راهروهای اتصالی بین اتاق‌ها در زیر سطح زمین تشکیل شده است. بررسی دقیق این مجموعه نشان می‌دهد طبقهٔ اول این مجموعه شامل اتاق‌ها، سرویس‌بهداشتی و دسترسی به قنات است که از این قنات‌ها برای تأمین آب، تهویهٔ هوا و راه گریز به خارج از شهر در صورت ورود دشمن به مجموعه استفاده می‌شده است. طبقهٔ دوم نیز بیشتر متعلق به کاربری مسکونی است. این طبقه دارای فضاهایی از قبیل اتاق‌ها، انبار آذوقه، سرویس‌بهداشتی و اتاق مشورت است (کدخدایی ۱۳۹۹). در طبقهٔ سوم نیز کانال‌های تهویه، مسیرهای ارتباطی و فریب قرار گرفته‌اند. تصویر ۱۰، پلان آب‌انبار مجاور مجموعه، طبقات اول و دوم مجموعهٔ زیرزمینی موجود در ورودی دوم در کنار پلان شماتیک لانهٔ موریانه‌ها را نشان می‌دهد و با بررسی این دو پلان می‌توان ساختار اتاق‌ها و راهروهای موجود در هر دو مجموعه را مشاهده کرد که بیانگر کاربری‌های مشابه از قبیل اتاق‌ها، راهروها، انبار موادغذایی و کانال‌های تهویهٔ هوا بوده و فقط در برخی موارد جزئی مانند اتاق مشورت در مجموعهٔ اویی متفاوت‌اند.

۳. ۱. ۲. ابعاد و تناسبات

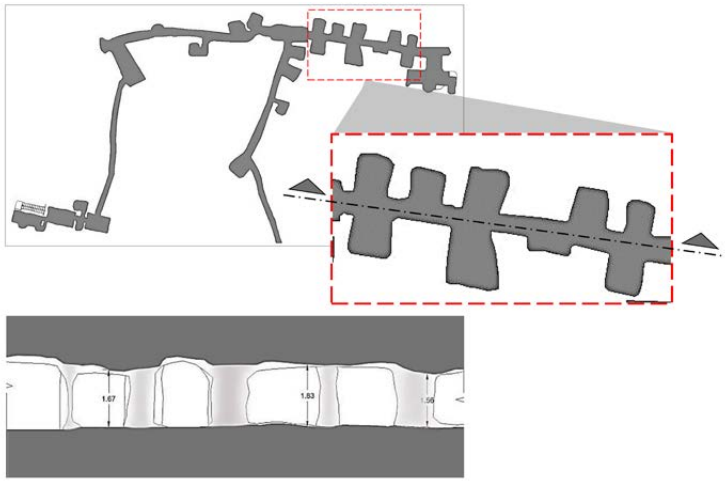
گونه‌های مختلف موریانه‌ها ظاهر و رفتار متفاوتی دارند؛ به‌طور متوسط این حشرات در حدود ۵ میلی‌متر ارتفاع دارند (Singh et al. 2019) و متوسط طول این حشرات ۱۹/۵ میلی‌متر و عرض آن‌ها در حدود ۴/۹ میلی‌متر است. معماری ساخته‌شده توسط این حشرات اجتماعی از نظر اندازه و شکل در گونه‌های مختلف، متفاوت است (Mizumoto and Matsura 2013). ابعاد لانه‌های متمرکز این‌گونه است: از کمتر از یک سانتی‌متر قطر با گالری‌های به‌هم‌پیوسته که طول آن‌ها فقط به چند متر می‌رسد، تا تپه‌های بزرگ ماکروترمس[۳] در آفریقا یا اودونتوترمس[۴] زیرزمینی در آفریقا و هندوستان که قطر آن‌ها چندین متر است، با گالری‌های جست‌وجوی غذا منشعب به‌هم‌پیوسته که تا شعاع ۵۰ متر یا بیشتر به‌سمت بیرون امتداد دارند (مترلینگ ۲۰۰۷). به‌طور دقیق لانه‌های متمرکز، دارای لوله‌های با قطر داخلی۶ میلی‌متر، طول تقریبی کمتر از یک متر در مکان‌های اصلی در امتداد محور مرکزی تپه قرار گرفتند. تپه‌های لانهٔ موریانه



تصویر ۱۰: پلان مجموعهٔ اویی در طبقات اول و دومِ ورودی دوم و آب‌انبار مجاور آن و پلان شماتیک لانهٔ موریانه

نیز شبیه یک پایهٔ تقریباً مخروطی در ابعاد مختلف یک تا سه‌متری هستند (Ockoa et al. 2017)؛ البته در برخی موارد ارتفاع آن‌ها می‌تواند تا هشت متر هم برسد (AbdUllah, Bin Said, and Ossen 2018).

ابعاد و اندازه‌های مجموعهٔ اویی متناسب با کارایی و ابعاد حداقلی انسان شکل گرفته است. در واقع پرهیز از کاربرد اندازه‌های بیش از نیاز باعث جلوگیری از هدر رفتن انرژی، زمان و نیروی انسانی می‌شود (وفایی و هاشمی فشارکی ۱۳۹۱). عرض دالان‌های مجموعه به‌طور متوسط ۸۰ سانتی‌متر است. همچنین غیر از ورودی آب‌انبار، مطابق با تصویر ۱۱ ارتفاع تمام فضاهای اویی به قد طبیعی یک انسان و بین ۱۷۰ تا ۱۸۰ سانتی‌متر است. عمق این مجموعه از سطح زمین در طبقات مختلف اندازه‌گیری شده که طبقهٔ اول این مجموعه در عمق ۴ تا ۶ متری سطح زمین قرار گرفته است. طبقهٔ دوم نیز در عمق ۱۲ تا ۱۴ متری سطح زمین و طبقهٔ سوم نیز در عمق ۱۸ تا ۲۱ متری سطح زمین قرار دارد (کدخدایی ۱۳۹۹). جدول ۲ تناسبات مختلف موجود در دو مجموعه را نشان می‌دهد که در آن با در نظر گرفتن ابعاد کاربران و عرض و ارتفاع مجموعه‌ها می‌توان تناسبات به‌کاررفته در دو نمونهٔ مذکور را به دست آورد. بر این اساس، نسبت عرض مجموعه به عرض کاربر به‌ترتیب برای انسان و موریانه برابر ۱/۲۸ و ۱/۲۲ بوده و نسبت ارتفاع مجموعه به ارتفاع کاربر به‌ترتیب برای انسان و موریانه برابر ۱/۰۵ و ۱/۲۰ است. بنابراین با توجه به اطلاعات عددی به‌دست‌آمده می‌توان دریافت که در دو نمونهٔ یادشده از ابعاد حداقلی و متناسب با کاربر استفاده شده و این تناسبات در دو مجموعه، بسیار به هم نزدیک‌اند.



تصویر ۱۱: مقطع از راهروهای مجموعه و موقعیت آن در پلان

جدول ۲: بررسی ابعاد و تناسبات انسان و موریانه

	قطر راهروهای لانه	متوسط عرض موریانه	نسبت قطر لانه به متوسط عرض موریانه	ارتفاع راهروهای لانه	قد موریانه	نسبت ارتفاع لانه به عرض موریانه
لانه موریانه	۶Mm	۴/۹Mm	$\frac{۶mm}{۴/۹mm} = ۱/۲۲$	۶Mm	۵Mm	$\frac{۶mm}{۵mm} = ۱/۲$
	عرض راهروهای مجموعه	**متوسط عرض انسان**	**نسبت عرض راهرو به متوسط عرض انسان**	**ارتفاع راهروهای مجموعه**	**متوسط قد انسان**	**نسبت ارتفاع راهرو به متوسط قد انسان**
مجموعه اویی	۸۰Cm	۶۲/۵Cm	$\frac{۸۰cm}{۶۲/۵cm} = ۱/۲۸$	۱۸۰Cm	۱۷۰Cm	$\frac{۱۸۰Cm}{۱۷۰Cm} = ۱/۰۵$

۳. ۱. ۳. مصالح

موریانه‌ها از خاک یا چوب موجود در محل زندگی خود در ساخت لانه‌هایشان استفاده می‌کنند. برای ساخت لانه با خاک، آن‌ها ترکیبی از خاک، بزاق و مدفوع خود را به‌منظور ساخت طیف وسیعی از سازه‌ها، از گالری‌های ساده و موقت بالای زمین تا تپه‌های مفصل و بادوام استفاده می‌کنند. در ساخت مجموعهٔ اویی نیز از مصالح موجود و محلی منطقه استفاده شده است. در واقع حین ساخت مجموعهٔ اویی نه‌تنها مصالحی استفاده نشده بلکه مصالح زیادی برای تولید خشت‌ها و آجرهای مصرفی خانه‌ها و قلعه خشتی سیزان در مجاورت مجموعه ایجاد شده است. بر اساس نظر کارشناسان و کاوشگران و طی آزمایش‌های صورت‌گرفته روی خاک منطقه، خاک رس پیکره و مصالح اصلی زیرِ سطح شهر را تشکیل داده است که می‌توان گفت خاک رس به‌دلیل نفوذپذیری خیلی کم، ظرفیت بالای جذب آلاینده‌ها، انعطاف‌پذیری مناسب در اثر تغییر رطوبت، نشست‌پذیری محدود و استحکام کافی در برابر بار (Mishra et al. 2005) تا حدودی برای سازه‌ها و مجموعه‌های پناهگاهی مناسب است. البته در برخی موارد و بسته به شرایط محلی موریانه‌ها نیز در خاک‌های رسی اقدام به حفر لانهٔ خود می‌کنند. این خاک با اندازهٔ ذرات خاص، همراه با بزاق و مدفوع، دارای خصوصیات ساختاری مطلوبی مانند جمع‌شدگی کم، ضدآب بودن، نگه داشتن آب و پایداری زیاد است و استفاده می‌شود (Oberst, Lai, and Evans 2016; Cheika et al. 2018). بنابراین می‌توان نتیجه گرفت در هر دو نمونه از مصالح محلی منطقه استفاده شده و به‌دلیل تراکم خاک رس، امکان حفاری و تراشیدن تونل و مسیرهای زیرزمینی فراهم شده است.

۳. ۲. راهکارهای اقلیمی

بسیاری از گونه‌های حشرات اجتماعی برای حفظ شرایط زندگی پایدار، مستقل از تغییرات محیط خارج، آب‌وهوای خرد اقلیم درون لانه‌های خود را تنظیم می‌کنند. تپه‌های موریانه بدون شک برجسته‌ترین نمونه‌های ساخت‌وساز توسط حشرات اجتماعی است (Ireland and Garnier 2017) که برای تسهیل کنترل آب‌وهوا در نظر گرفته می‌شوند و شامل تنظیم دما، رطوبت و غلظت گاز تنفسی است (Ockoa et al. 2017). فعل و انفعال بین باد و ساختار لانه نیز یکی از عوامل تهویه در لانه‌های موریانه است (Ireland and Garnier 2017). دانشمندان، معماری تپهٔ موریانه را به‌عنوان یک مدل زیستی مناسب برای ایجاد مکانیسم خنک‌کنندهٔ غیرفعال در ساختمان پیشنهاد داده‌اند. معماران می‌توانند از سیستم ساختاری و فنی تپه تقلید کنند تا شرایط گرمایی هوای داخلی را در محدودهٔ آسایش حرارتی برای انسان کنترل کنند (King, Ocko, and Mahadevan 2015). بشر از مدت‌ها قبل سازه‌هایی برای دفاع و محافظت در برابر آب‌وهوا ساخته است؛ به همان میزان که مهندسان از پیشرفت تکنولوژی استقبال کرده‌اند، تأثیر جو را بر ساخت‌وساز انسانی کاهش داده‌اند. انسان‌ها گودال‌های موجود در زمین را اشغال کرده، ساختمان‌ها و شبکه‌های زیرزمینی را تراشیده و از ویژگی‌های مختلف برای تنظیم آب‌وهوای خرد در فضاها و حفظ شرایط زندگی پایدار استفاده کرده‌اند (Ireland and Garnier 2017). مجموعهٔ زیرزمینی اویی نیز علاوه بر کارایی جان‌پناه در زمان خود، دارای ویژگی‌ها و خصوصیات اقلیمی بوده و می‌تواند شرایط مناسبی از نظر اقلیمی، برای اسکان افراد و در محدودهٔ آسایش انسان مهیا کند. عواملی از قبیل کانال‌ها و چاه‌های مجموعه در تهویه و ایجاد دمای مناسب فضا تأثیر زیادی دارند. در ادامه به بررسی و تحلیل وجوه اقلیمی این مجموعه در مقایسه با لانهٔ موریانه پرداخته شده است.

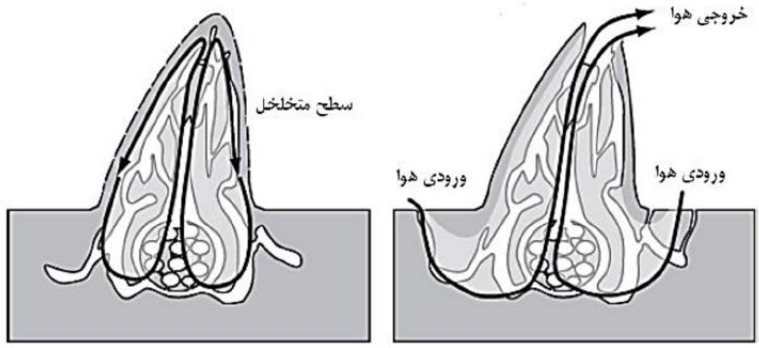
۳. ۲. ۱. تهویهٔ غیرفعال

حرکات هوا در لانهٔ موریانه، تحت‌تأثیر همرفت طبیعی است که توسط متابولیسم قابل توجهی که در لانه متمرکز است تأمین می‌شود. جریان همرفت به سطح تپه گسترش می‌یابد و شبکه‌ای از کانال‌های عمودی را در بر گرفته و از تونل‌های خروجی کوچک باز می‌شود که به سطح بیرون می‌آیند و به‌عنوان مناطق تخلخل تپه عمل می‌کنند. در مجراهای سطح و تونل‌های خروجی، حرکت هوا به‌شدت توسط باد هدایت می‌شود (Turner and Soar 2008). در واقع در دیوارهٔ بیرونی یا تپه‌ها، علاوه بر دهانه‌های در مقیاس میلی‌متر، منافذ کوچک‌تری نیز وجود دارد که به‌عنوان منبع تبادل گاز برای تهویه نیز ساخته شده‌اند (Cosarinsky and Roces 2011; King, Ocko, and Mahadevan 2015; Singh et al. 2019).

دو مدل تپهٔ باز و بسته وجود دارد؛ تهویه برای تپه‌های بسته به‌صورت جریان ترموسیفون تصور می‌شود و برای تپه‌های باز جریان القایی صورت می‌گیرد (Turner and Soar 2008). تپه‌های بسته فاقد شفت تهویهٔ باز بوده اما سطح آن‌ها متخلخل است و گردش هوا در داخل تپه انجام می‌شود. در طول روزهای آفتابی و به‌دلیل سرعت بالای متابولیسم تولیدشده توسط کلنی که تقریباً ۱۰۰ وات است، هوای گرم از باغ‌های لانه و قارچ، از طریق شفت مرکزی به‌سمت بالا جریان می‌یابد و تبادل گاز در بالای تپه از طریق سطح خارجی متخلخل ناشی از نفوذ و باد انجام می‌شود؛ در نتیجه هوای خنک‌تری با چگالی بالا جذب شده و به‌سمت لانه، به پایین منتقل می‌شود.

تپه‌های باز مجهز به شاخه‌های تهویهٔ بزرگ قیف‌مانند هستند که به سطح تپه باز می‌شوند. هوا به‌طور معمول از دهانه‌های بزرگ واقع در بالای تپه از طریق اثر ونتوری خارج می‌شود و هوای تازه از طریق منافذ پایین به داخل تپه مکیده می‌شود (AbdUllah, Bin Said, and Ossen 2018; Vesala et al. 2019). وقتی هوا یا سیال از یک قسمت بزرگ‌تر به یک بخش کوچک‌تر عبور می‌کند، افزایش سرعت جریان همراه با کاهش فشار استاتیک هوا حاصل می‌شود که این پدیده به‌عنوان اثر ونتوری[۵] شناخته می‌شود (Dorel 2016). در واقع در تپه‌های باز، مقطع مسیر عبور هوای داخل لانه به‌سمت بالا باریک‌تر می‌شود، بنابراین طبق اثر ونتوری جریان هوا سریع شده و فشار در یک مجرای انقباضی کاهش می‌یابد. بنابراین مطابق تصویر ۱۲ با ایجاد فشار منفی در بالای تپه، هوا از داخل لانه که دارای فشار مثبت است به بیرون مکیده می‌شود. به‌طور کلی سیستم تهویه در تپهٔ دودکش باز بهتر از تپه بسته است (AbdUllah,

Bin Said, and Ossen 2018). اندازه‌گیری‌های انجام‌شده در ژانویه–آگوست ۲۰۱۵ نشان می‌دهد دمای داخلی در تپه‌های بسته بیشتر از تپه‌های باز است (Vesala et al. 2019).

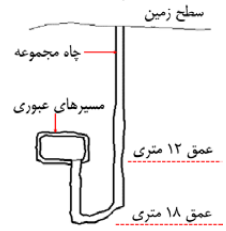
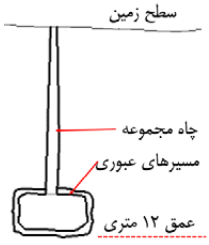


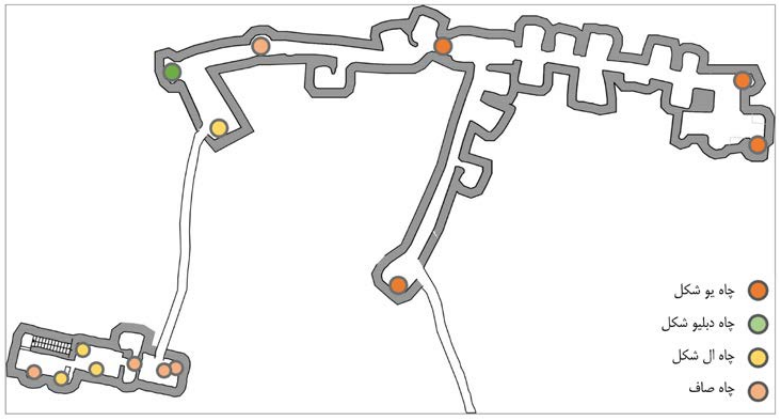
تصویر ۱۲: تهویهٔ هوا در تپه‌های باز و بستهٔ لانهٔ موریانه (https://archline.ir)

تهویه نقش بسیار اساسی در آسایش حرارتی انسان دارد، زیرا انرژی بسیاری صرف تهویهٔ هوا می‌شود و این انرژی هزینه‌بر، آلوده‌کننده و تجدیدناپذیر است. تلاش‌های زیادی برای جایگزین کردن شیوهٔ مناسب و کم‌هزینه انجام شده است. تهویهٔ غیرفعال یکی از این موارد بوده که علاوه بر تهویهٔ فضا، امکان تعدیل دما را نیز میسر کند. در مجموعهٔ اویی از مکانیزم تهویهٔ غیرفعال استفاده شده و حرکت هوا و تنظیم دما در آن، مانند لانهٔ موریانه از طریق همرفت طبیعی به‌کمک چاه‌ها و کانال‌های عمودی صورت می‌گیرد. این چاه‌ها کاربری‌های متفاوت از قبیل ارتباط، انحراف یا فریب دشمنان و تهویه دارند. عمل تهویهٔ هوا از طریق چاه‌های ارتباطی یا کانال‌های اِل شکل که مخصوص تهویه هستند، صورت می‌گیرد. این کانال‌ها از طبقهٔ اول با سطح زمین در ارتباط هستند و چاه‌های بین طبقات علاوه بر عملکرد عبورومرور باعث جریان یافتن هوا در طبقات پایین می‌شوند.

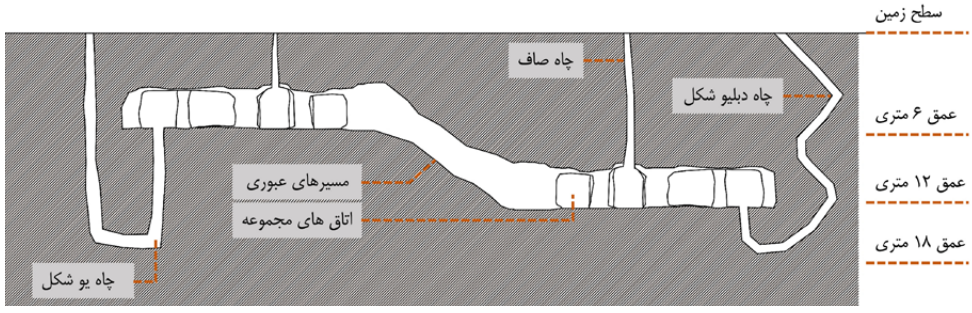
در جدول ۳، مقطع کانال‌های مجموعهٔ اویی با اشکال مختلف نشان داده شده و در تصویر ۱۳ موقعیت آن‌ها مشخص شده است. مقطع این کانال‌ها با نزدیک شدن به سطح زمین کاسته می‌شود؛ در نتیجه می‌توان تهویهٔ هوا را مطابق اثر ونتوری دانست، زیرا در سطح زمین با باریک شدن مقطع سرعت جریان هوا بیشتر و فشار کم می‌شود. در واقع در این قسمت، فشار منفی و در داخل مجموعه فشار مثبت ایجاد شده و فشار منفی باعث مکش هوای داخل مجموعه می‌شود. بنابراین می‌توان عملکرد تهویه در مجموعهٔ اویی را تا حدودی به عملکرد تهویهٔ لانهٔ موریانه در تپه‌های باز نسبت داد.

جدول ۳: اشکال مختلف چاه‌ها و کانال‌ها

اشکال چاه‌ها	یو شکل	دبلیو شکل	اِل شکل	صاف
مقطع شماتیک				

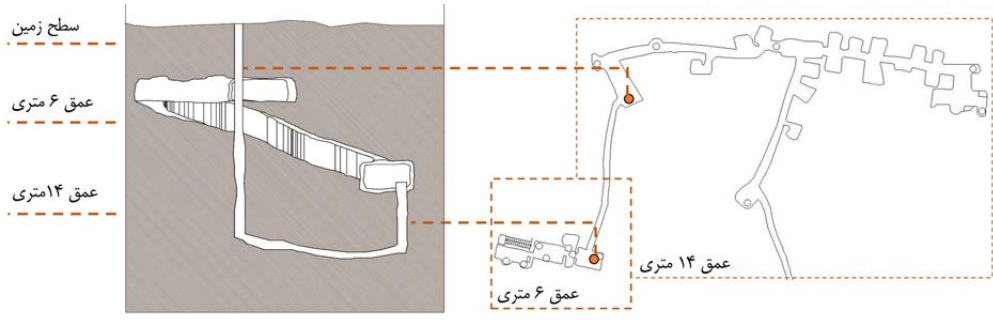


تصویر ۱۳: موقعیت اشکال مختلف کانال‌ها در پلان



تصویر ۱۴: مقطع شماتیک قسمتی از مجموعه

علاوه بر مقاطع ارائه‌شده برای چاه‌های مجموعهٔ اویی، یکی از چاه‌های این مجموعه عملکرد متفاوتی دارد. این چاه طبق قانون پاسکال عمل می‌کند که کارشناسان و کاوشگران مجموعه، این چاه را چاه اکسیژن نام‌گذاری کرده‌اند، زیرا مطابق با مقطع ترسیم‌شده (تصویر ۱۵) این چاه، هوا را از طبقهٔ اول به طبقهٔ دوم انتقال می‌دهد. در واقع اختلاف ارتفاع باعث ایجاد اختلاف فشار شده و باعث انتقال هوا از طبقهٔ اول به طبقهٔ دوم می‌شود که این گردش هوا در طبقهٔ دوم قابل حس است.



تصویر ۱۵: دهانهٔ چاه اکسیژن در طبقهٔ دوم و مقطع چاه اکسیژن

بنا بر موارد ذکرشده می‌توان گفت تهویهٔ این دو مجموعه تهویهٔ غیرفعال بوده که به‌واسطهٔ دمش و مکش هوا از شفت‌ها و کانال‌های موجود در دو نمونه با مقاطع مختلف انجام می‌شود و این کانال‌ها هوا را به‌واسطهٔ همرفت طبیعی و اثر ونتوری تهویه می‌کنند و باعث گردش هوا در مجموعه می‌شوند.

۳. ۲. ۲. کنترل دما

آنچه دانشمندان را به مطالعهٔ معماری تپهٔ موریانه‌ها جذب می‌کند، دمای ثابت ۳۱ درجهٔ سانتی‌گراد، رطوبت زیاد و غلظت کم کربن دی‌اکسید در داخل لانه است؛ گرچه دمای محیط بین روز و شب در برخی موارد تا ۳۹ درجهٔ سانتی‌گراد در نوسان است. موریانه‌ها برای تأمین این نیازها و نگهداری قارچ‌های پرورش‌یافته و نهالستان مرکزی در شرایط زندگی، سازهٔ عظیم خود را با طراحی خاص ساخته‌اند (AbdUllah, Bin Said, and Ossen 2018; Pawlyn 2011). در واقع، موریانه‌ها برای زنده ماندن باید در دمای ثابت دقیقاً ۸۷ درجهٔ فارنهایت یا ۳۰/۵ درجهٔ سانتی‌گراد زندگی کنند که دمای لانهٔ آن‌ها طبق آزمایش‌های صورت‌گرفته ۳۱ درجهٔ سانتی‌گراد در طول شبانه‌روز بوده و شرایط آسایش موریانه‌ها را فراهم می‌کند (Turner and Soar 2008). این خصوصیات از قبیل دما و تهویهٔ خودپایدار، انگیزهٔ اصلی برای طراحی ساختمان‌های سازگار با محیط‌زیست بوده است (Singh et al. 2019).

بیشینه و کمینهٔ دما در شهر نوش‌آباد به‌ترتیب برابر ۳۷ و ۱ درجهٔ سانتی‌گراد بوده و متوسط روزهای آفتابی در ماه‌های سال برابر ۲۴ روز است (worldweatheronline 2021) که بیانگر آب‌وهوای گرم این منطقه است. با وجود این، داخل مجموعه دمای متفاوتی نسبت به روی زمین دارد. به‌طور کلی آسایش حرارتی بیانگر احساس رضایت فرد از محیطی مشخص است که انسان از نظر ذهنی و فکری در شرایط مطلوبی قرار می‌گیرد (Faghih and Bahadori 2009). در حالت طبیعی، دمای درونی بدن ۳۷ و پوست ۳۲ درجهٔ سانتی‌گراد است. اگر بدن در محیطی گرم‌تر از پوست قرار گیرد، شروع به جذب حرارت می‌کند و برعکس، در محیطی سردتر از پوست، حرارت خود را به‌تدریج از دست می‌دهد. اگر در اثر این تبادل حرارتی، حرارت تولیدشده در بدن و حرارت دفع‌شده یا جذب‌شده از محیط متعادل نشود، بدن برای برقراری تعادل به‌ناچار حرارت درونی خود را افزایش یا کاهش می‌دهد و دچار اختلالات گوناگون می‌شود (کسمایی ۱۳۸۲). در واقع دمای آسایش برای انسان در زمستان و تابستان به‌ترتیب برابر ۲۰ و ۲۶ درجهٔ سانتی‌گراد است (تائو و جانیس ۱۹۹۵) و درجهٔ دما در مجموعهٔ اویی نیز به این محدوده نزدیک بوده و از ۱۵ تا ۲۰ درجه بالای صفر در نوسان است و باعث می‌شود افراد داخل مجموعه از لحاظ گرما و سرما در امان بمانند (صالحی، عبدالحسینی، و ارمغانی ۱۳۹۵). با توجه به این مطالب می‌توان گفت این مجموعه شرایط آسایش حرارتی انسان را تا حد قابل توجهی مهیا می‌کند.

در نهایت می‌توان گفت در هر دو نمونهٔ مذکور به‌دلیل عدم ورود مستقیم هوای سرد و گرم، وجود رطوبت در خاک و تهویه از طریق کانال‌ها و چاه‌ها، کنترل دما صورت می‌گیرد. همچنین خاکی که این نمونه‌ها را احاطه کرده به‌عنوان تعدیل‌کنندهٔ دما عمل کرده و دریافت حرارت تابستان و از دست رفتن آن را در زمستان کاهش می‌دهد. در واقع به‌دلیلِ دمای ثابت خاک، بنا در تابستان، حرارت دریافتی از هوای اطراف به خاک سرد منتقل می‌شود و در زمستان خاکِ نسبتاً گرم، دمای محیطی مطلوب‌تری را نسبت به دمای هوای زیر صفر ایجاد می‌کند و شرایط آسایش حرارتی را برای انسان و موریانه فراهم می‌کند.

۳. ۲. ۳. کنترل رطوبت

کنترل رطوبت، نقش مهمی در اکولوژی محیط موریانه‌ها دارد. موریانه‌ها میزان رطوبت را متناسب با شرایط دست‌کاری کرده و از آن برای اهداف مختلف استفاده می‌کنند. این دست‌کاری و تغییر رطوبت توسط موریانه‌ها به‌گونه‌ای است که رطوبت در لانه در تابستان و زمستان به‌ترتیب، به‌طور متوسط ۴۱ و ۲۹ درصد باشد و شرایط زندگی را برای موریانه‌ها تسهیل بخشد. استفاده از کامپوزیت رس– مدفوع موریانه، در تغییر رطوبت لانه مؤثر است (Oberst et al. 2021). همچنین تهویهٔ هوا و مکش و دمش ایجادشده در کانال‌ها و شفت‌های موجود در لانه سبب کنترل رطوبت می‌شوند.

در مجموعهٔ اویی نیز وجود چاه‌ها و کانال‌ها که عمل تهویه را انجام می‌دهند، در کنترل رطوبت مجموعه

نیز نقش مهمی دارند. میزان متوسط رطوبت نوش‌آباد در زمستان و تابستان به‌ترتیب برابر ۴۸ و ۲۰ درصد است (worldweatheronline 2021). حد آسایش رطوبت نسبی برای انسان در هوای سرد و گرم به‌ترتیب برابر ۳۰ و ۵۵ درصد است و این نکته بیانگر این است که این منطقه از لحاظ رطوبت، شرایط مطلوبی ندارد. با این حال، در مجموعهٔ اویی کانال‌ها، شبکهٔ تهویهٔ مجموعهٔ زیرزمینی، دالان‌ها و فضاهای تودرتو کار تهویهٔ هوا را انجام می‌دهند و به همین علت مشکل تنفس در طبقات وجود نداشته و نم‌زدگی و رطوبت نیز احساس نمی‌شود (وفایی و هاشمی فشارکی ۱۳۹۱)؛ بر این اساس می‌توان گفت کنترل رطوبت دو مجموعهٔ در حال بررسی، از طریق کانال‌های تهویه و تبادل هوا با بیرون صورت می‌گیرد. البته در لانهٔ موریانه‌ها علاوه بر مورد ذکرشده نقش موریانه‌ها و استفاده از کامپوزیت رس- مدفوع برای کنترل رطوبت هوا تأثیر دارد.

۳. ۳. امنیت

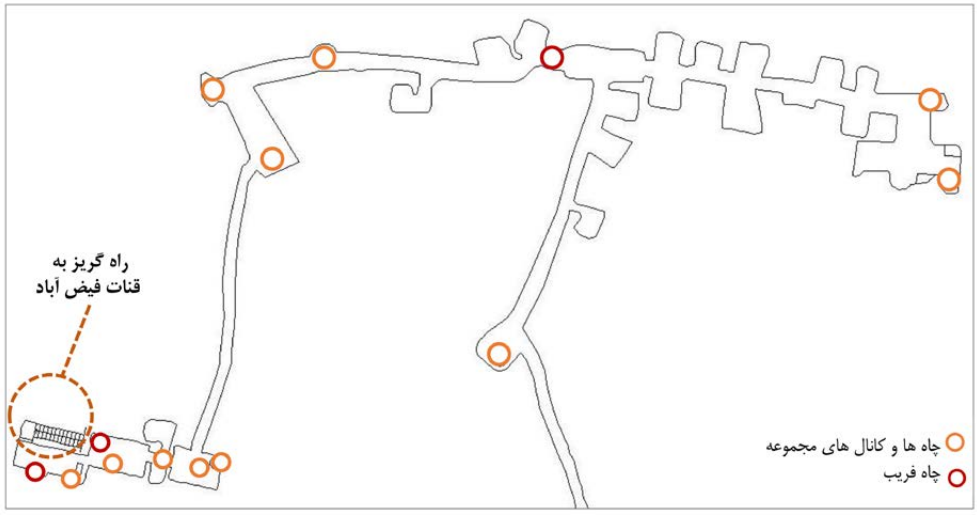
یکی از مهم‌ترین اهداف ساخت‌وساز، ایجاد تفکیک بین دنیای خارج، عمدتاً ناامن و غیرقابل پیش‌بینی و دنیای درون، باثبات‌تر است. ساختار لانهٔ موریانه به‌گونه‌ای است که می‌تواند برای مدتی آن‌ها را در برابر هرگونه تهدید طبیعی و مصنوعی محافظت کنند. موریانه‌ها در ساختن لانهٔ خود مهارت دارند تا کلنی خود را در برابر متجاوزان محافظت کنند. این لانه‌ها برای محدود کردن دسترسی به خارج، با تعداد کمی ورودی طراحی شده‌اند. در بسیاری از گونه‌ها، کارگران ماهری که از نظر مورفولوژیکی از سایر کارگران متمایز هستند، از این ورودی‌ها در برابر متجاوزان محافظت می‌کنند (Noirot, Johanna, and Darlington 2000). در برخی از گونه‌های موریانه، این محافظان حتی سازگاری‌های مورفولوژیکی یا رفتاری را تکمیل کرده‌اند که به آن‌ها امکان می‌دهد ورودی‌ها را با بدن خود متصل‌کنند و به‌سرعت از دسترسی به داخل لانه در هنگام حمله جلوگیری کنند. در خارج از لانه نیز معابر محافظت‌شده‌ای ایجاد می‌کنند که لانه را به منابعی تا صدها متر دورتر متصل می‌کند (Ireland and Garnier 2017). همچنین هنگامی که بخشی از شبکهٔ گالری مورد حمله قرار می‌گیرد، دفاع موریانه شامل قطع شدن محفظه‌های مورد حمله با بستن راهروهای مجاور با گلوله‌های خاک رس است (Pernaa et al. 2008).

مجموعهٔ اویی نیز با هدف اصلی ایجاد امنیت ساخته‌شده، زیرا شهر در گذشته همواره مورد هجوم دشمنان و به‌دلیل عدم وجود برج و بارو در معرض آسیب زیاد بوده است؛ بنابراین مردم روستا برای محافظت از خود، فضاهایی به‌صورت چاه در خانه‌های خود ایجاد کرده و در نهایت مجموعهٔ اویی در سه طبقه شکل گرفته است. این مجموعهٔ زیرزمینی برای امنیت بیشتر به‌صورت مجموعه‌ای از راهروهای عمودی و افقی پراکنده شده و تعدد طبقات نیز سبب ارتقای امنیت می‌شود. در واقع در مجموعهٔ اویی، بسیاری از ملاحظات پدافند غیرعامل به‌دقت مورد توجه قرار گرفته است.

پدافند غیرعامل به مجموعه اقداماتی اطلاق می‌شود که مستلزم به‌کارگیری جنگ‌افزار نبوده و با اجرای آن می‌توان از وارد شدن خسارات مالی به تجهیزات و تأسیسات حیاتی و حساس نظامی و غیرنظامی و تلفات انسانی جلوگیری کرد یا میزان این خسارات و تلفات را به حداقل ممکن کاهش داد (یگانگی و بیات ۱۳۹۰). ملاحظات دفاع غیرعامل در مجموعهٔ زیرزمینی اویی کاملاً متناسب با نوع تهدیدات زمان خود بوده است. راه‌های ورود به داخل مجموعه به شکل مخفی بوده که در زمان حملهٔ دشمن، دسترسی سریع و فرار ساکنان را فراهم می‌کرده است. در گذشته، در محل ورود به مجموعه، مکانی برای نگهبانی طراحی شده که برای شناسایی افراد ساکن این مجموعه از مهاجمان، از آوای اویی استفاده می‌شده است. برای ورود به مجموعه نیز ناگزیر باید از پایین به بالا، یعنی از سطح زمین به طبقهٔ سوم که کانال‌های مجموعه قرار دارد، حرکت کرده و سپس به طبقات بالاتر دسترسی می‌یافتند که باعث کاهش قدرت تهاجمی افراد مهاجم شده و تسلط کافی برای مقابله با دشمن فراهم می‌شد. در سرپیچ راهروها، در خمیدگی ۴۵ درجه، فضایی برای نگهبان در نظر گرفته شده به‌گونه‌ای که مهاجم، از وجود نگهبان باخبر نبود. برخی از اقدامات نیز برای فریب و سرگردانی دشمن طراحی شده است. برخی چاه‌های ارتباطی انحرافی هستند و برای فریب دشمن حفر شده (تصویر ۱۶) که در صورت ورود دشمن به آن، مسیر اصلی به‌لحاظ هم‌شکل بودن راهروها قابل تشخیص نبوده و دشمن را سرگردان و در نهایت آسیب‌پذیر می‌کرده است. برخی راهروها، بن‌بست به نظر می‌آید و این عناصر، مهاجم را فریفته و گمراه

می‌کرده و او را به خیال بسته بودن مسیر، از رفتن بازمی‌داشته و برمی‌گردانده است. همچنین در صورت نیاز به گریز از مجموعه، طبقهٔ اول مجموعه از طریق پلکان، به قنات فیض‌آباد دسترسی داشته و دسترسی به خارج از شهر را میسر می‌کرده است (تصویر ۱۷). در ادامه موقعیت چاه‌های فریب و دسترسی به قنات فیض‌آباد در تصویر ۱۸ مشخص شده است. در نهایت می‌توان گفت برخی تکنیک‌های امنیتی غریزی موریانه‌ها با تکنیک‌ها و راهکارهای امنیتی موجود در اویی از قبیل طراحی متفاوت ورودی‌ها، استفاده از سربازان و نگهبانان برای حفاظت مجموعه و ایجاد راه گریز از فضا و دسترسی به مناطق بسیار دورتر از مجموعه، تشابه دارد.

تصاویر ۱۶ و ۱۷: از راست به چپ؛ چاه فریب در مجموعهٔ اویی (وفایی و هاشمی فشارکی ۱۳۹۱) راه گریز از مجموعهٔ اویی به قنات فیض‌آباد



تصویر ۱۸: چاه فریب در مجموعه

٤. جمع‌بندی

این پژوهش به بررسی و تحلیل معماری مجموعهٔ اویی و مقایسهٔ آن با الگوی طبیعی لانهٔ موریانه از طریق چهارچوب شکل‌گرفته در پیشینهٔ پژوهش پرداخته است. وجوه کاربردی برای قیاس دو مجموعهٔ مورد نظر با بررسی منابع مختلف استخراج شده و عواملی از قبیل فرم و ساختار، راهکارهای اقلیمی و امنیت است که هرکدام دارای معیارهای متفاوتی هستند.

در بخش فرم و ساختار، می‌توان ساختار لانهٔ موریانه و مجموعهٔ اویی را از نظر وجود مسیرهای دسترسی و شبکهٔ متخلّل آن‌ها که شامل کانال‌ها و چاه‌های تهویه است، مشابه دانست. همچنین لانهٔ موریانه و مجموعهٔ اویی هر دو در دل زمین و داخل خاک ساخته شده‌اند اما تفاوت اصلی در نحوهٔ قرارگیری تپهٔ لانهٔ موریانه یا شبکهٔ تهویهٔ هوای آن است که از سطح زمین بالاتر قرار گرفته درحالی‌که کانال‌ها و چاه‌های مجموعه در داخل خاک قرار دارند و تا سطح زمین امتداد می‌یابند. کاربری فضاها در هر دو مجموعه نیز شامل اتاق‌ها، راهروها، انبار موادغذایی و کانال‌های تهویهٔ هوا بوده و فقط در برخی موارد جزئی به‌واسطهٔ نیاز کاربر مانند اتاق مشورت در مجموعهٔ اویی متفاوت‌اند. ابعاد و اندازه‌های دو نمونه برای کاهش اتلاف انرژی و زمان متناسب با کارایی و ابعاد حداقلی شکل گرفته است و در هر دو نمونه از مصالح محلی منطقه استفاده شده و به‌دلیل تراکم خاک رس، امکان حفاری و تراشیدن تونل و مسیرهای زیرزمینی فراهم شده است.

در بخش راهکارهای اقلیمی نیز تهویهٔ نمونه‌های مذکور، تهویهٔ غیرفعال بوده و از طریق شفت‌ها و کانال‌های مختلف تهویه یا دمش و مکش هوا صورت گرفته است؛ در واقع این کانال‌ها هوا را به‌واسطهٔ همرفت و اثر ونتوری تبادل می‌کنند و باعث گردش هوا در مجموعه می‌شوند. دما نیز در هر دو نمونهٔ مذکور به‌دلیل وارد نشدن مستقیم هوای سرد و گرم، وجود رطوبت در خاک و تهویه از طریق کانال‌ها و چاه‌ها کنترل می‌شود و شرایط آسایش حرارتی را برای انسان و موریانه فراهم می‌کند. همچنین رطوبت دو مجموعه از طریق کانال‌های تهویه و تبادل هوا با بیرون کنترل می‌شود. البته در لانهٔ موریانه‌ها استفاده از کامپوزیت رس– مدفوع در کنترل رطوبت هوا تأثیر دارد.

در بخش امنیت نیز برخی تکنیک‌های امنیتی غریزی موریانه‌ها با تکنیک‌ها و راهکارهای امنیتی موجود در اویی از قبیل طراحی متفاوت ورودی‌ها، استفاده از سربازان و نگهبانان برای حفاظت مجموعه و ایجاد راه گریز از فضا و دسترسی به مناطق بسیار دورتر از مجموعه، تشابه دارد. در نهایت با بررسی معیارها و اصول قابل قیاس در دو نمونه می‌توان گفت لانهٔ موریانه‌ها و مجموعهٔ زیرزمینی اویی در حوزه‌های زیادی دارای ویژگی‌ها و خصوصیات مشترکی بوده و در بسیاری موارد عملکرد مشابهی دارند.

نتیجه

طبیعت منبع عظیمی از مصالح، الگوها و راهکارهایی است که به بهترین نحو با محیط خود مرتبط بوده و دانش بهره‌گیری و الگوبرداری از طبیعت، از گذشته‌های دور مورد استفادهٔ بشر بوده است. یکی از راهکارهایی که انسان را در این بخش کمک می‌کند مقایسهٔ الگوهای طبیعی با مصنوعات انسانی است. به همین سبب، این پژوهش با همین رویکرد دو گونهٔ مصنوع و طبیعی از دست‌کندها و مجموعه‌های زیرزمینی را انتخاب کرده و مورد بررسی و تحلیل قرار داده است. در وهلهٔ اول، این پژوهش به شناخت و معرفی مجموعهٔ اویی پرداخته و سپس مقایسهٔ تطبیقی بر دو نمونهٔ لانهٔ موریانه و مجموعهٔ زیرزمینی اویی صورت گرفته است. روش این پژوهش، اسنادی و توصیفی‌تحلیلی است؛ به این ترتیب که با استفاده از منابع کتابخانه‌ای ابتدا شاخص‌های پیشینهٔ موضوع و چهارچوب نظری پژوهش به دست آمده و در ادامه از طریق مطالعات میدانی و برداشت‌ها و پیمایش‌های محلی، مجموعهٔ اویی مورد کاوش و بازرسی قرار گرفته است. در نهایت، این دو نمونه با استدلال منطقی مورد مقایسهٔ تطبیقی قرار گرفته و در شاخص‌ها و معیارهایی مختلف به‌دست‌آمده در چهارچوب پژوهش با هم سنجیده شده‌اند؛ این شاخص‌ها نیز با بررسی منابع مختلف، در سه حوزهٔ فرم و ساختار، راهکارهای اقلیمی و تکنیک‌های امنیتی تدوین شده‌اند. در نهایت با بررسی و تحلیل نمونه‌ها در حوزه‌های مذکور دریافت می‌شود راهکارهای مشترکی در ایجاد مجموعه‌های زمین‌پناه و زمین‌ساخت در فرم‌های مصنوع و طبیعی وجود دارد و شباهت‌های زیادی در مجموعهٔ اویی و الگوی طبیعی لانهٔ موریانه‌ها به‌صورت ناخودآگاه به وجود آمده که نشان می‌دهد وقتی به‌صورت فطری و غریزی برای مقابله با مشکل در محیط زندگی کار شود، احتمالاً راه‌حل‌ها بسیار مشابه هم هستند و با وجود تفاوت در برخی از موارد، این راهکارها نسبت به یکدیگر همساز و مشابه‌اند. در نتیجه می‌توان گفت الگوبرداری از طبیعت در طول تاریخ بشر، چه در زندگی امروزین و در قالب معماری بیونیک و چه در بحث تقلید از طبیعت در گذشته، در روح و جان بشر بوده است.

پی‌نوشت‌ها

1. Margulis
2. Hadza
3. Macrotermes
4. Odontotermes
5. Venturi

منابع

– تائو، ویلیام، و ریچارد جانیس. ۱۹۹۵. *سیستم‌های مکانیکی و الکتریکی در ساختمان‌ها*. ترجمهٔ محمدرضا افضلی. ۱۳۹۷. تهران: کتاب دانشگاهی.

ـ *دانشنامهٔ تاریخ معماری و شهرسازی ایران‌شهر*. ۲۰۱۹. وزارت راه و شهرسازی. به‌همت فرهنگستان هنر جمهوری اسلامی ایران.

ـ سادات‌بیدگلی، سید محمود، و زهرا ساروخانی. ۱۳۸۷. بررسی علل تاریخی– اقلیمی ایجاد اویی‌ها در منطقهٔ کاشان. فصلنامه *گنجینه اسناد*.

ـ ساروخانی، زهرا .۱۳۸۳. *کاوش در اویی شهر نوش‌آباد*. سازمان میـراث‌فرهنگی کشور.

ـ صالحی، مانا، جواد عبدالحسینی، و ارسطو ارمغانی. ۱۳۹۵. بررسی معماری زیرزمینی شهر اویی. *اولین کنفرانس رویکردهای معماری و شهرسازی پیش‌رو*. کرمانشاه.

ـ کدخدایی، امیر. مصاحبهٔ شفاهی در تاریخ ۱۳۹۹/۱۰/۲۹.

ـ کسمایی، مرتضی. ۱۳۸۲. *اقلیم و معماری*. اصفهان: خاک.

– مترلینگ، موریس. ۲۰۰۷. *زندگی موریانه*. ترجمهٔ ذبیح‌الله منصوری. ۱۳۸۶. تهران: انتشارات نگارستان کتاب.

ـ وفایی، مهدی، و سید جواد هاشمی فشارکی. ۱۳۹۱. بررسی تدابیر دفاع غیرعامل در شهر زیرزمینی اویی. فصلنامه علمی‌ترویجی *پدافند غیرعامل* ۳ (۲): ۱۱ـ۲۲.

ـ یگانگی، کامران، و الهام بیات. ۱۳۹۰. مدیریت بحران شهری و پدافند غیرعامل. *سومین کنفرانس ملی عمران شهری*. سنندج.

- Abdullah, Amatalraof, Ismail bin Said, and Dilshan Remaz Ossen. 2018. Cooling Strategies in the Biological Systems and Termite Mound: The Potential of Emulating Them to Sustainable Architecture and Bionic Engineering. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences* 13 (19): 8127-8141.

- Cheika, Sougueh, Nicolas Bottinelli, Raman Sukumar, and Pascal Jouquet. 2018. Fungus-growing Termite Foraging Activity Increases Water Infiltration but Only Slightly and Temporally Impacts Soil Physical Properties in Southern Indian Woodlands. *European Journal of Soil Biology, ELSEVIER* 89: 20-24. 10.1016/j.ejsobi.2018.09.001

- Cosarinsky, Marcela I., and Flavio Roces. 2011. The Construction of Turrets for Nest Ventilation in the Grass Cutting Ant Atta Vollenweideri: Import and Assembly of Building Materials. *Journal of Insect Behavior* 25: 222-241. 10.1007/s10905-011-9290-8

- Dorel Scheaua, Fanel. 2016. Theoretical Approaches Regarding the Venturi Effect. *Magazine of Hydraulics, Pneumatics, Tribology, Ecology, Sensorics, Mechatronics* 3: 69-72.

- Faghih, A.K., and M.n. Bahadori. 2009. Experimental Investigation of Air Flow over Domed Roofs. *Iranian Journal of Science & Technology, Transaction B, Engineering* 33 (3): 207-216.

- French, J.R.J., and B.M. Ahmed. 2011. Biomimicry of Termite Social Cohesion and Design to Inspire and Create Sustainable Systems. *On Biomimetics*, 10.5772/19350

- French, John R.J., and Berhan M Ahmed. 2010. The Challenge of Biomimetic Design for Car-

bon-neutral Buildings Using Termite Engineering. *Insect Science* 17 (2): 154-162. 10.1111/j.1744-7917.2009.01306.x

- https://www.worldweatheronline.com/noshabad-weather averages/esfahan/ir.aspx.2021

- Ireland, Tim, and Simon Garnier. 2017. Architecture, Space and Information in Constructions Built by Humans and Social Insects: A Conceptual Review. *Bioligical Sciences* 373 (1753). 10.1098/rstb.2017.0244

- King, Hunter, Samuel Ocko, and L. Mahadevan. 2015. Termite Mounds Harness Diurnal Temperature Oscillations for Ventilation. *PNAS* 112 (37): 11589-11593. 10.1073/pnas.1423242112

- Mishra, Anil Kumar, Masami Ohtsubo, Loretta Li, and Takahiro Higashi. 2005, Effect of Salt Solution on the Permeability of the Mixtures of Soil and Bentonite, *Journal- Faculty of Agriculture Kyushu University* 50 (2): 837-849. 10.5109/4692

- Mizumoto, Nobuaki, and Kenji Matsuura. 2013. Colony-specific Architecture of Shelter Tubes by Termites. *Insectes Sociaux* 60 (4): 525-530. 10.1007/s00040-013-0319-1

- Noirot, Charles, and Johanna P. E. C. Darlington. 2000. *Termite Nests: Architecture, Regulation and Defence.* Termites: Evolution, Sociality, Symbioses, Ecology: 121-139. 10.1007/978-94-017-3223-9_6

- Oberst, Sebastian Joseph C. S. Lai, and Theodore Alfred Evans. 2016. Termites Utilise Clay to Build Structural supports and so Increase Foraging Resources. *Scientific Reports* 6 (20990). 10.1038/srep20990

- Oberst , Sebastian, Michael Lenz, Joseph C. S. Lai, and Theodore Alfred Evans. 2021. Termites Manipulate Moisture Content of Wood to Maximize Foraging Resources*. Biology Letters* 15 (7): 10.1098/rsbl.2019.0365

- Ockoa, Samuel A., Alexander Heyde, and L Mahadevan. 2019. Morphogenesis of Termite Mounds. *PNAS* 116 (9): 3379-3384. 10.1073

- Ockoa, Samuel A., Hunter King, David Andreen, Paul Bardunias, J. Scott Turner, Rupert Soar, and L. Mahadevan. 2017. Solar-Powered Ventilation of African Termite Mounds. *Journal of Experimental Biology* 220 (18): 3260-3269. 10.1242/jeb.160895

- Pawlyn, Michael. 2011. *Biomimicry in Architecture*. London: Riba Publishing.

-Perna, Andrea, Sergi Valverde, Jacques Gautrais., Christian Jost., Ricard Solé, Pascale Kuntz, Guy Theraulaz. 2008. Topological Efficiency in Three-Dimensional Gallery Networks of Termite Nests*. Elsevier. Physica A* 387 (24): 6235-6244. 10.1016/j.physa.2008.07.019

- Singh, Kamaljit, Bagus P. Muljadi, Ali Q. Raeini Christian Jost, Veerle Vandeginste, Martin J. Blunt, Guy Theraulaz, and Pierre Degond. 2019. The Architectural Design of Smart Ventilation and Drainage Systems in Termite Nests. *Science Advances Research Article* 5 (3): 10.1126/sciadv.aat8520

- Sugar, Viktória, Péter Leczovics, and András Horkai. 2017. Bionics in Architecture. *Ybl Journal of Built Environment* 5 (10): 31-42. 10.1515/jbe-2017-0003

- Turner, J Scott, and Rupert C Soar. 2008. Beyond biomimicry: What Termites Can Tell us About Realizing the Living Building. *First International Conference on Industrialized, Intelligent Construction (I3CON) Loughborough University.*

-Vesala, Risto Anni Harjuntausta, Anu Hakkarainen, and Petri Rönnholm. 2019. Termite Mound Archi-

tecture Regulates Nest Temperature and Correlates with Species Identities of Symbiotic fungi. *Peerj*, 6 (5956). 10.7717/peerj.6237

- Worall, Mark. 2011. Homeostasis in Nature: Nest Building Termites and Intelligent Buildings. *Intelligent Buildings International* 3 (2): 87-95: 10.1080/17508975.2011.582316

Comparative Study of Termite Nests and Nooshabad Underground Complex

Babak ʻAlemi
Assistant Professor, Faculty of Architecture and Art, University of Kashan

Nature is a key source of inspiration in environment-friendly design. In the bionic approach, humans can create spaces and elements adaptive to the environment and enhance their living conditions. Meanwhile, a comparative comparison of man-made and natural structures helps us to better understand this matter. This study conducts a comparative comparison of two natural and anthropogenic structure patterns by analyzing termite nests and the Ouee underground complex. First, through field studies and local surveys, the Ouee underground complex was investigated and analyzed. Then, termites and termite nests were investigated by documentary methods and library studies. Comparative criteria for the two samples were derived by examining different sources in three categories of form and structure, climatic solutions, and security techniques. The two samples were analyzed by the logical reasoning method. Finally, after a comparative review and analysis of the construction criteria and principles for each sample collection, it can be said that the Ouee complex and termite nests are very similar in structure. Similar techniques and solutions can be observed in the formation of troglodytes and natural complexes. Modeling of nature can be said to be an instinctive human behavior throughout history, as can be seen in the form of bionic architecture today or in the discussion of imitation of nature in the past.

Keywords: Noosh-abad city, Ouee underground complex, termite nest, troglodytic architecture, ventilation

JIAS

Journal of Iranian Architecture Studies

University of Kashan
School of Architecture and Art

20

Vol. 20, Autumn 2021 and Winter 2022
ISSN: 2252-0635
E-ISSN: 2676-5020

- **Cuerda Seca Tomb Tiles in the Shrines of Sultan ʻAta-bakhsh and Sultan Amir Ahmad in Kashan (16th-18th Centuries AH)**
  Mohamad-Reza Ghiasian, Mohammad Mashhadi Noosh-abadi
- **Investigating Brick Ornamentation of Historical Houses in the City of Behbahan during the Pahlavi Period**
  Zeinab Mashhoor
- **Kerman Jameʻ Mosques: Urban and Historical Status**
  Zatollah Nikzad
- **Thermal Performance of dorchah, kolak, and kharkhona during the Warm Period of the Year in the Vernacular Houses of the Sistan Region**
  Mohammad ʻAli Sargazi, Mansoureh Tahbaz, Akbar Haj Ebrahim Zargar
- **Climatic Performance of Traditional Houses in the Old Texture of Shiraz using the Thermal Comfort Approach, Case Study: the Iwan (Veranda)**
  Jamshid Karim-zadeh, Jamal ad-Din Mahdi-nejad Darzi, Baqer Karimi
- **Evaluating Creativity and Success among Architecture Students at the University of Tehran Based on the Four-Quadrant Brain Dominance Model of Ned Herrmann**
  Fo'ad Khorramy, Amir Saʻeid Mahmoodi, Mostafa Mokhtabad
- **Historical Kurit Dam in Tabas: Analysis of the Construction Technology**
  Amir-Hossein Sadegh-pour
- **Comparative Study of the Urban Texture Morphology of Birjand for Energy Efficiency**
  Mostafa Hosseini, Mahmoud Shokoohi, Farshad Nasrollahi
- **Comparative Study of Termite Nests and Nooshabad Underground Complex**
  Babak ʻAlemi
- **Cultural Heritage Potentials in Sustainable Local Economic Development**
  Sara Taymourtash, Pirooz Hanachi, Mohammad-Hasan Talebian
- **Key Criteria in the Classification of Architectural Heritage based on Approaches and Conservation Policies in European Countries**
  Sasha Riahi Moghadam, Mohammad-Hasan Talebian, Asghar Mohammad-Moradi
- **A Theoretical Model for Neighborhood Studies in Residential Environments**
  Reza Serr-e ʻAli, Shahram Pour-Deihimi