Journal of Research on
ARCHAEOMETRY
A Peer-Reviewed Academic Journal of Archaeological and Conservation Science Studies

Tabriz Islamic Art University

Downloaded from jra-tabriziau.ir at 19:22 +0330 on Sunday November 22nd 2026

Research Paper

Pathology and 3D Documentation of Historic Building Using Laser Scanning Technology: Case Studies of Tasouj Jame Mosque and Khosravi Leather Factory Chimney in Tabriz

Safiyeh Nami*[1], Niusha Ghanini[2], Farhad Akhoundi[3]

1. Associate Professor, Faculty of Applied Arts, Tabriz Islamic Art University, Tabriz, Iran
2. Independent Researcher in Field of Archaeology, Tehran, Iran
3. Associate Professor, Architecture Department, Faculty of Architecture and Urbanism, Tabriz Islamic Art University, Tabriz, Iran

* Correspondence: s.nami@tabriziau.ac.ir

Abstract

Historical buildings, as vital components of a nation's cultural identity, require precise understanding, targeted diagnostics, and systematic conservation. The application of advanced technologies, particularly three-dimensional laser scanning, has had a significant impact on the field of architectural heritage. This technology plays a key role in documentation, non-destructive testing, and continuous monitoring of historic structures, enabling more accurate conservation interventions. The present study, emphasizing the Brandi and Feilden approaches to restoration (minimal intervention and the use of modern tools), aims to introduce recent advancements and innovative technologies to architects and conservators as rapid, valuable, and non-destructive solutions for documentation, diagnostics, and preservation of historic buildings. In this research, documentation and diagnostics of historical structures are examined with a focus on 3D laser scanning, and the capabilities of this technology are assessed through case studies of the Tasuj Jame Mosque and the chimney of the Khosravi Leather Factory. The study is both applied and descriptive-analytical, highlighting the practical application of 3D laser scanning. The scan data provide accurate three-dimensional models of these structures, allowing for the analysis of damages such as vertical deviations, settlement, and structural cracks. The Tasuj Mosque case study demonstrates how this technology enhances diagnostic accuracy for historical and cultural monuments, underscoring the importance of cultural heritage preservation. Moreover, the examination of the Khosravi Factory chimney emphasizes the significance of employing new technologies for surveying and documenting historic buildings, particularly those with challenges of height or limited accessibility. Findings indicate that 3D laser scanning, with its high precision and geometric analysis capabilities, is an effective tool in the processes of understanding, evaluating, and designing conservation interventions.

Keywords: 3D laser scanning, heritage documentation, architectural pathology, non-destructive conservtion, Tasuj Jame Mosque, Khosravi Leather Factor

Received: 2024/06/1
Revised: 2025/08/27
Accepted: 2025/09/5
Published: 2025/12/30

Copyright: ©2025 by the Authors. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution Noncommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0 license)

https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0

Introduction

TLS directly serves this paradigm. Unlike selective hand measurement or total station campaigns, TLS captures millions of points as dense, metrically reliable point clouds. These clouds can be sliced, compared to ideal references (e.g., vertical plumb lines), and resampled into orthophotos, sections, and 3D meshes suitable for analysis and monitoring. Literature has consolidated its advantages: when integrated with photogrammetry, TLS increases

[DOI: 10.66224/jra.2025.11.209]

Downloaded from jra-tabriziau.ir at 19:22 +0330 on Sunday November 22nd 2026

modeling completeness in complex environments (e.g., Guarnieri et al.); when paired with material surveys, point-based metrics support surface pathologies mapping (e.g., Lezzerini et al.); and in seismic territories, high-fidelity geometry from TLS underpins robust numerical assessments (e.g., Takhirov et al.). This study positions TLS at the knowledge–diagnosis interface: first, to document geometry comprehensively; second, to quantify deviations and damage patterns; and third, to feed subsequent conservation design—whether structural consolidation, environmental mitigation, or monitoring regimens.

Methodology

Design and Scope. The research is applied and descriptive-analytical, structured around two contrasting case studies to test TLS across typologies and access conditions: (1) Tasuj Jame Mosque, a masonry complex with domes, arcades, and thick load-bearing walls, where out-of-plane behavior and settlement were suspected; (2) Khosravi Leather Factory chimney, a 32 m-tall unreinforced brick stack with an octagonal base, where height and access constraints historically hindered reliable measurement.

Acquisition. A Stonex X300 TLS was deployed.

For the mosque, a mixed network of exterior and interior scans targeted full coverage and overlap (e.g., 6 interior and multiple exterior stations, complemented by roofline/gable vantage points), culminating in 19 registered scans. For the chimney, three perimeter stations at ground and a higher vantage point focused on the upper stack where deterioration was visually suspected.

Processing. Raw scans were registered and cleaned in Stonex Reconstructor; the consolidated point clouds were exported for AutoCAD 3D interrogation. Deliverables included: vertical and horizontal sections through critical wall segments; elevation orthoprojections for crack/void mapping; and radial profiles for the chimney to compute eccentricity and wall-thickness trends.

Diagnostics. The team implemented quantitative checks beyond visual appraisal:

Plumbness: comparison of wall centroids versus ideal verticals to detect out-of-plane drifts; Levelness: differential floorscape elevations to identify settlement bowls; Continuity: gap analysis along vault–wall and dome–wall interfaces to localize active cracks; Tapering & Eccentricity (chimney): diameter and wall-thickness gradients, and axis deviation relative to vertical.

Results

The registered mosque point cloud exposed a composite damage mechanism: Out-of-plane wall drift: the west wall showed a maximum 13–15 cm outward deviation, peaking around 2.8 m above the floor; the south wall exhibited a persistent outward lean (≈10 cm at upper reaches); the east wall presented a mid-height bulge (~15 cm). Settlement indicators: the southern prayer hall floor was 2–3 cm lower than adjacent zones, consistent with localized foundation settlement. Crack patterns: linear cracks at vault-to-wall and dome haunch interfaces aligned with the measured drifts, suggesting membrane thrusts and wall rotation as contributory factors.

These findings convert previously non-evident vulnerabilities into measured facts, clarifying that any consolidation scheme must address both vertical support (foundation/soil improvement, diaphragm action) and lateral stability (out-of-plane strengthening compatible with heritage values). TLS yielded a metrically robust geometric synopsis of the industrial stack: Morphology: a hollow frustum with ~25.86 m shaft height above an ~6.01 m octagonal base; external diameters reduce from ≈4.59 m (base) to ≈1.90 m (top). Wall thickness: a near-linear taper from ≈1000 mm at the base to ≈400 mm at the top (≈60% reduction). Axis deviation: cumulative offset of ~7 cm in the upper half, trending south-west. Crown deterioration: TLS panoramas captured mortar loss and brick dislodgement near the rim not readily visible from the ground. These metrics enable preliminary checks on slenderness and overturning susceptibility under wind and seismic actions, and they define a baseline for FEA and future monitoring.

Discussion

Epistemic Value of TLS. The results illustrate why TLS is central—not auxiliary—to conservation knowledge production. First, it de-biases diagnosis by replacing selective hand measurements with exhaustive spatial sampling. Second, it resolves scale mismatches: millimetric data can be aggregated (sections, grids) without losing traceability to the original cloud. Third, TLS transforms hypotheses (e.g., "there may be out-of-plane rotation") into measurable, communicable quantities that stakeholders can debate.

From Data to Decisions. In the mosque, three interlocking threads emerge: (i) settlement at the south; (ii) cumulative out-of-plane drifts on west/south/east walls; (iii) thrust-induced cracking at vault interfaces. In practical terms, a conservation design consistent with Brandi/Feilden would:

[DOI: 10.66224/jra.2025.11.209]

Downloaded from jra-tabriziau.ir at 19:22 +0330 on Sunday November 22nd 2026

1. Stabilize soils/footings at the south (drainage correction, micro-piles or grout curtains as minimally invasive options after geotechnical confirmation);
2. Enhance diaphragm action to redistribute lateral forces (reversible, hidden ties or compatible timber elements where historically attested);
3. Implement selective, reversible wall consolidation (e.g., lime-based injection for delaminations, discreet in-plane reinforcement where decay has compromised tensile continuity);
4. Establish a TLS-based monitoring regime (annual–biennial rescan) to quantify drift evolution.

For the chimney, the measured taper and axis deviation point to a serviceability–safety dialogue: brick-masonry stacks are sensitive to combined wind/seismic and thermal gradients. Recommended next steps include: (a) material characterization (masonry compressive/tensile strength, mortar quality), (b) dynamic identification (ambient vibration tests), and (c) TLS-informed FE models to evaluate demand/capacity with realistic geometry. Crown repairs should adopt compatible bricks and lime mortars; if anchors or bands are proposed, their reversibility and legibility must be addressed.

Integration with Other Methods. TLS is not a panacea. It excels at geometry and kinematics, but not at material pathology by itself. Best practice marries TLS with high-resolution photogrammetry (texture-aware crack cartography), IR/thermography (moisture pathways), and flat-jack/NDT (mechanical proxies). Nevertheless, without TLS-grade geometry, subsequent analyses risk model-form errors.

Limitations and Practicalities. Challenges include line-of-sight occlusions (mitigated via thoughtful station planning), large datasets (demanding careful decimation and structured archiving), and cost/skills barriers. Yet the mosque and chimney demonstrate that even targeted campaigns—well-planned stations, disciplined registration, focused sections—deliver disproportionate diagnostic value.

Conclusion

This research demonstrates that TLS advances conservation practice from descriptive observation to quantified diagnosis while honoring the doctrinal core of modern conservation (Brandi; Feilden; Nara). In the Tasuj Jame Mosque, TLS revealed and measured out-of-plane instabilities (≈13–15 cm) and localized settlement (≈2–3 cm), directly informing stabilization priorities and reversible strengthening concepts. In the Khosravi chimney, TLS established the true geometry (heights, diameters, thickness taper), detected a ~7 cm axis deviation, and documented crown deterioration—information indispensable for seismic/wind verification and crown repairs. Across both cases, TLS proved to be: Precise and non-destructive, suitable for sensitive heritage; Efficient, enabling comprehensive capture of complex morphologies; Actionable, producing metrics that feed FE modeling and monitoring plans. Accordingly, TLS should be conceived in project briefs not as an optional add-on but as a foundational knowledge instrument—the empirical bedrock upon which minimally invasive, reversible, and value-conscious conservation decisions are made. Establishing TLS-based baselines and periodic re-scans will institutionalize learning over time, reduce diagnostic uncertainty, and ultimately enhance the stewardship of architectural heritage.

Author Contributions: Safieh Nami and Nyusha Ghanini: Conceptualization, methodology, writing the main draft, data collection, modeling, analysis Farhad Akhoundi: Review and editing, obtaining financial support, project management

Funding: This research has not received any external funding.

Data Availability Statement: The data presented in this study are available upon request from the corresponding author.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflicts of interest.

پژوهه باستان سنجی
دانشگاه هنر اسلامی تبریز

[DOI: 10.66224/jra.2025.11.209]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 19:22 +0330 on Sunday November 22nd 2026

مقاله پژوهشی

آسیب‌شناسی و مستندسازی سه‌بعدی بناهای تاریخی با فناوری لیزر اسکن: مطالعات موردی مسجد جامع تسوج و دودکش کارخانهٔ چرم خسروی تبریز

صفیه نامی[1*]، نیوشا غنینی [2]، فرهاد آخوندی[3]

۱. مربی، گروه معماری، دانشکدهٔ معماری و شهرسازی، دانشگاه هنراسلامی تبریز، تبریز، ایران
۲. دانشجوی دکتری، گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنراسلامی تبریز، تبریز، ایران
۳. دانشیار، گروه معماری، دانشکدهٔ معماری و شهرسازی، دانشگاه هنراسلامی تبریز، تبریز، ایران
* مسئول مکاتبات: s.nami@tabriziau.ac.ir

چکیده

بناهای تاریخی به‌عنوان مؤلفه‌های حیاتی هویت فرهنگی یک ملت، نیازمند شناخت دقیق، آسیب‌شناسی هدفمند و حفاظت اصولی هستند. استفاده از فناوری‌های نوین، به‌ویژه اسکن لیزری سه‌بعدی، تأثیر قابل‌توجهی بر حوزل میراث معماری داشته است. این فناوری در فرآیندهای شناخت، آزمایش‌های غیرمخرب و پایش مستمر بناهای تاریخی نقش کلیدی ایفا می‌کند و امکان اقدامات مداخلاتی دقیق‌تر را فراهم می‌سازد. هدف پژوهش حاضر با تأکید بر رویکرد براندی و فیلدن در مرمت (حداقل مداخله و استفاده از ابزارهای مدرن) ، معرفی پیشرفت‌ها و فناوری‌های جدید به معماران و مرمتگران به‌عنوان راه‌حل‌های سریع، ارزشمند و غیرمخرب جهت شناخت، آسیب‌شناسی و حفاظت از بناهای تاریخی می‌باشد. در این مطالعه، مستندسازی و آسیب‌شناسی بناهای تاریخی با تمرکز بر اسکن لیزری سه‌بعدی مورد بررسی قرار می‌گیرد و قابلیت‌های این فناوری از طریق مطالعات موردی مسجد جامع تسوج و دودکش کارخانهٔ خسروی ارزیابی می‌شود. این تحقیق هم کاربردی و هم توصیفی–تحلیلی است و بر کاربرد عملی اسکن لیزری سه‌بعدی تأکید دارد. داده‌های به دست آمده از اسکن، مدل‌های سه‌بعدی دقیقی از این بناها را ارائه داده و تحلیل آسیب‌ها مانند انحرافات عمودی، نشست و شکست‌های سازه‌ای را امکان پذیر می‌سازد. مطالعهٔ موردی مسجد تسوج نشان می‌دهد که چگونه این فناوری دقت آسیب شناسی در آثار تاریخی و فرهنگی را افزایش می‌دهد و بر اهمیت حفاظت از میراث فرهنگی تأکید می‌کند. علاوه بر این، بررسی دودکش کارخانهٔ خسروی بر اهمیت استفاده از فناوری‌های جدید در برداشت و ثبت بناهای تاریخی که ممکن است به دلیل ارتفاع یا دسترسی محدود، چالش‌هایی را به همراه داشته باشد، تأکید می‌کند. نتایج نشان می‌دهد که فناوری اسکن لیزری سه‌بعدی، با دقت بالا و قابلیت تحلیل هندسی، ابزاری مؤثر در مراحل شناخت، ارزیابی و طراحی مداخلات حفاظتی است.

دریافت: ۱۴۰۳/۳/۱۲
آخرین اصلاح: ۱۴۰۴/۶/۵
پذیرش: ۱۴۰۴/۶/۱۴
انتشار: ۱۴۰۴/۱۰/۹

Copyright: ©2025 by the Authors. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution Noncommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0 license)

https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0

واژگان کلیدی: اسکن لیزری سه‌بعدی، مستندسازی میراث، آسیب‌شناسی معماری، حفاظت غیرمخرب، مسجد جامع تسوج، کارخانهٔ چرم خسروی

۱. مقدمه

در سند نارا حفاظت به‌عنوان کوششی در راستای درک میراث فرهنگی، شناخت تاریخی و مفاهیم آن، اطمینان از صیانت مادی و نیز معرفی، مرمت و ارتقاء آن تعریف می شود. در این سند، مستندسازی و ثبت و ضبط از راه‌های اصلی جهت شناسایی معنا، دریافت، تعریف و تشخیص ارزش‌های فرهنگی به شمار رفته و بخش اساسی روند حفاظت محسوب می‌شود (ICOMOS,1994).

[DOI: 10.66224/jra.2025.11.209]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 19:22 +0330 on Sunday November 22nd 2026

مستندسازی در حوزهٔ میراث فرهنگی، نقشی محوری در حفاظت، مدیریت و انتقال دانش مرتبط با آثار ملموس و ناملموس برعهده دارد. عدم ثبت و مستندسازی نظام مند میراث فرهنگی و از بین رفتن داده‌ها نه تنها منجر به خسارات جبران‌ناپذیر به دانش میراث فرهنگی می‌شود، بلکه فرآیندهای حفاظت، بازسازی و آموزش را نیز با دشواری مواجه می‌سازد (فدایی، ۱۴۰۳).

پیشرفت‌های فناورانه در دهه‌های اخیر، ابزارهای جدیدی برای شناخت، مستندسازی و حفاظت از بناهای تاریخی فراهم آورده است. تمامی این فناوری‌ها در کنار روش‌های سنتی با هدف شناخت هر چه دقیق‌تر بنا با ایجاد کم‌ترین مداخله و تخریب و در ادامهٔ حفاظت بنا شکل می‌گیرند. امروزه استفاده از فناوری‌های جدید در تسهیل و سرعت بخشیدن به روند بازسازی تأثیر به‌سزایی دارند. در این میان، فناوری اسکن لیزری سه‌بعدی با ارائهٔ داده‌های دقیق هندسی، امکان تحلیل وضعیت سازه‌ای و آسیب‌شناسی را بدون دخالت فیزیکی و تخریب بنا فراهم می‌سازد. این فناوری در تعامل با نرم‌افزارهای طراحی و تحلیل سازه، امکان ارزیابی وضعیت سازه، تحلیل آسیب‌ها و پایش تغییرات را برای معماران و مرمتگران فراهم می‌سازد.

در بناهای تاریخی به موجب عدم دسترسی به مدارک هندسی کامل، برداشت دقیق امری ضروری می‌باشد تا علاوه بر مشخصات هندسی با آسیب‌های احتمالی سازه نیز آشنا شویم. اسکن لیزری با ایجاد مدل‌های سه‌بعدی دقیق و ثبت سطوح کامل به‌جای چند نقطهٔ پراکنده، امکان تولید نقشه‌های دوبعدی، مدل‌های عددی و مستندات دقیق برای تحلیل‌های سازه‌ای و مرمتی را فراهم می‌کند (Vatan et al., 2009). همچنین، این فناوری امکان پایش مداوم و تشخیص آسیب‌های کوچکی را که با چشم قابل تشخیص نیستند فراهم می‌آورد که برای اقدامات پیشگیرانه و حفاظت اصولی بسیار مؤثر است.

هرچند در ایران، کاربرد فناوری لیزر اسکن در حوزهٔ میراث فرهنگی هنوز نوپا است، اما با توجه به اهمیت حفاظت و مرمت بناهای تاریخی، مطالعات موردی می‌تواند نقش مؤثری در معرفی و ترویج این فناوری ایفا کند. در این پژوهش، بهره‌گیری از این فناوری در مطالعهٔ دو بنای تاریخی شاخص در آذربایجان شرقی به منظور تبیین مزایا، محدودیت ها و کاربردهای آن در فرآیند آسیب‌شناسی و مستندسازی می‌باشد. هدف از این پژوهش بررسی کاربرد تخصصی فناوری اسکنر لیزری سه‌بعدی در روند شناخت و آسیب‌شناسی دقیق بناهای تاریخی است. هر یک از بناهای انتخابی در این پژوهش موجب شناخت یکی از کاربردهای اصلی این دستگاه می‌شود. دودکش کارخانهٔ چرم خسروی به دلیل ارتفاع زیاد و سختی برداشت به روش‌های سنتی، توسط این دستگاه برداشت شده و شکل هندسی آن مورد مطالعه قرار گرفته است. مسجد جامع تسوج نیز با هدف بررسی هندسی و آسیب‌شناسی توسط دستگاه برداشت شده.

۲. پیشینهٔ پژوهش/چارچوب نظری

با وجود پیشرفت‌های اخیر در فناوری مستندسازی و ابزارهای دیجیتال، استفاده از اسکنرهای لیزری سه‌بعدی برای آسیب‌شناسی و شناخت هندسی بناهای تاریخی در ایران هنوز در مراحل آغازین قرار دارد. بیش‌تر پژوهش‌های داخلی موجود بر روی کاربرد این فناوری در زمینه‌هایی چون مرمت اشیاء یا مستندسازی کلی متمرکز بوده‌اند و کم‌تر به تحلیل آسیب‌های سازه‌ای در مقیاس بنای تاریخی پرداخته‌اند. این در حالی است که در بسیاری از مطالعات بین‌المللی، از این فناوری به‌عنوان ابزاری کلیدی در ارزیابی‌های فنی و طراحی مداخلات مرمتی استفاده شده است.

در پژوهشی توسط ناپولیتانو و همکاران (۲۰۱۹)، از ترکیب اسکن لیزری و مدل‌سازی عددی برای تحلیل ترک‌ها و انحرافات در دیوارهای تاریخی استفاده شده است. این مقاله به تحلیل ترک‌ها و آسیب‌های شکل‌گرفته در این دیوارها می‌پردازد و از داده‌های به‌دست‌آمده از اسکن لیزری برای شبیه‌سازی هندسه و شرایط واقعی دیوارها استفاده کرده است. آن‌ها با مقایسهٔ داده‌های میدانی و خروجی‌های نرم‌افزار اجزای مجزا، منشأ آسیب‌ها را شناسایی کردند و امکان ارائهٔ راهکارهای دقیق برای مرمت را فراهم آوردند.

بالادو و همکاران (۲۰۲۱) اسکن لیزری را به‌عنوان ابزاری برای تشخیص خودکار آسیب‌ها در سازه‌های صنعتی تاریخی معرفی کردند. همچنین اسکنر سه بعدی به عنوان یک ابزار دقیق و مؤثر برای به دست آوردن اطلاعات سه‌بعدی از سازه‌ها و ساختمان‌ها مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است. در نتیجه، این ابزار می‌تواند به تجزیه و تحلیل وضعیت و ویژگی‌های مختلف سازه‌ها، از جمله دودکش‌ها، در محیط‌هایی که به دلیل ارتفاع و سختی دسترسی، از انجام معاینات مستقیم ناتوان هستیم کمک کند.

در مطالعه‌ای دیگر، گوارنیری و همکاران (۲۰۱۳) تلفیق اسکن لیزری و فتوگرامتری را در مدل‌سازی سه‌بعدی سازه‌های تاریخی بررسی کردند. آن‌ها بر مزیت ترکیب این دو فناوری در افزایش دقت مستندسازی، به‌ویژه در محیط‌های پیچیده تأکید کردند و نشان دادند که ادغام اطلاعات به دست آمده می‌تواند در تحلیل رفتار سازه‌ای نیز مؤثر باشد.

همچنین، لززرینی و همکاران (۲۰۱۶) با استفاده از اسکن لیزری، نقشه‌های تحلیلی از مصالح و آسیب‌های سطحی کلیسای نیکلاس را تولید کردند. آن‌ها با تطبیق داده‌های ابرنقطه‌ای با ویژگی‌های فیزیکی سنگ‌ها، به تحلیل فرسایش و تخریب در نما پرداختند.

در حوزهٔ مطالعات آسیای مرکزی، تاخیروف و همکاران (۲۰۱۸) از اسکن لیزری برای ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای بناهای تاریخی در ازبکستان استفاده کردند. آن‌ها نشان دادند که مدل‌های دقیق سه‌بعدی می‌توانند به‌عنوان پایه‌ای برای شبیه‌سازی‌های لرزه‌ای در نرم‌افزارهای المان محدود مورد استفاده قرار گیرند. این مطالعه الگویی قابل‌توجه برای تحلیل‌های آتی در کشورهایی با بافت تاریخی لرزه‌خیز به‌شمار می‌رود. این برنامه در سال ۲۰۱۳ با اسکن ریگستان

[DOI: 10.66224/jra.2025.11.209]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 19:22 +0330 on Sunday November 22nd 2026

در سمرقند آغاز گردید. در سال ۲۰۱۵، این برنامه گسترش یافته و اسکن لیزری در شهرها و آثار بیش‌تری انجام شده است.

در ایران، با وجود انجام برخی مطالعات مانند پایان‌نامهٔ نامی (۱۴۰۱) در خصوص استحکام‌بخشی دودکش‌های صنعتی، هنوز مقاله‌ای که به‌طور ترکیبی از اسکن لیزری برای برداشت هندسی دقیق و تحلیل آسیب‌شناسی در دو بنای تاریخی پرداخته باشد، منتشر نشده است. از این‌رو، پژوهش حاضر با تمرکز بر دو نمونهٔ موردی متفاوت، تلاشی برای پرکردن این خلأ و ارائهٔ یک الگوی عملی در زمینهٔ بهره‌گیری از فناوری‌های نوین در حفاظت معماری به‌شمار می‌آید.

با مرور مطالعات انجام‌شده، می‌توان دریافت که فناوری اسکن لیزری سه‌بعدی در زمینه‌های گوناگونی از مستندسازی دقیق تا تحلیل آسیب‌های سازه‌ای مورد استفاده قرار گرفته است. جدول ۱ نمونه‌هایی از این کاربردها را در پژوهش‌های منتخب بین‌المللی و داخلی نمایش می‌دهد.

جدول ۱. تقسیم‌بندی کاربردهای فناوری لیزر اسکن سه‌بعدی در مطالعه و آسیب‌شناسی بناهای تاریخی

Table 1. Categorization of 3D Laser Scanning Technology Applications in the Study and Pathology of Historic Buildings

ردیف	کاربردها	شرح عملکرد و هدف کلیدی	منبع
۱	مستندسازی دقیق هندسی	برداشت سه‌بعدی برای تولید پلان، مقطع، مدل سه‌بعدی، مستندسازی	Balado et al., 2021 Guarnieri et al., 2013
۲	تحلیل آسیب‌ها و انحرافات مورفولوژیک	شناسایی و سنجش ترک، نشست، واگرایی و انحراف سازه‌ای با مقایسه با خط شاقول	Napolitano et al., 2019 Biagini et al., 2022
۳	نقشه‌برداری و تحلیل مصالح	ارزیابی وضعیت مصالح (فرسایش، شکست، زبری سطح) از روی داده‌های ابری	Lezzerini et al., 2016
۴	مدل‌سازی برای تحلیل پیشرفته	ساخت مدل‌های المان محدود برای شبیه‌سازی سازه‌ای و تصمیم‌گیری مرمتی	Gonizzi Barsanti et al., 2020 Takhirov et al., 2018 Nami(2022)

۲-۱. نظریه‌های حفاظت

حفاظت آثار معماری، مبتنی بر شناخت معماری است و معماری، ظرف زندگی انسان است. حفاظت از شناخت آغاز می‌شود و پس از آن، رویکرد مداخله و روش‌ها و تمامی اقدامات حفاظتی تعیین می‌شوند (سعدوندی و کلانتری، ۱۳۹۹، ۳۲). با بررسی دقیق، آسیب‌نگاری و آسیب‌شناسی بنای تاریخی راه‌حل‌های مداخلاتی پیشنهادی به دست می‌آید. هر چقدر میزان شناخت نسبت به آثار تاریخی افزایش یابد روش مداخلهٔ مناسب‌تری در راستای حفاظت از بنا ارائه خواهد شد (رضازاده اردبیلی، ۱۳۹۶).

حفاظت از بناهای تاریخی، فرآیندی پیچیده و چندلایه است که از شناخت دقیق معماری آغاز می‌شود و به انتخاب رویکردهای مداخله‌ای و روش‌های فنی ختم می‌گردد. این فرآیند تنها به‌معنای تعمیر و ترمیم فیزیکی بناها نیست، بلکه شامل درک عمیق از تاریخ، فرهنگ و فرآیندهای طبیعی است که موجب شکل‌گیری یک اثر معماری شده است. از این رو، پیش از هرگونه اقدام فیزیکی، لازم است وضعیت فعلی بنا به صورت جامع، غیرمخرب و دقیق مستند گردد. این رویکرد با اصول نظریه‌های حفاظت مدرن به‌ویژه در قرن بیستم هم‌راستا است. مبانی نظری حفاظت به‌ویژه در قرن ۱۹ و ۲۰ توسط اندیشمندان و معمارانی شکل گرفت که هرکدام دیدگاه خاصی نسبت به مداخله در آثار تاریخی ارائه داده‌اند. از نخستین نظریه‌پردازان این حوزه، جان راسکین (John Ruskin) بود که در قرن نوزدهم، با رویکردی محافظه‌کارانه، هرگونه بازسازی یا مداخله را رد می‌کرد. از نظر او، زیبایی بنا در فرسایش طبیعی آن نهفته بود و دخالت انسان را موجب تخریب اصالت تاریخی تلقی می‌کرد (Ruskin, 1849). او معتقد بود که زنگار و فرسایش ناشی از گذر زمان، بخشی از هویت طبیعی هر اثر معماری است و به هیچ عنوان نباید از بین برود. طبق دیدگاه راسکین، زمان به‌عنوان یک عنصر طبیعی و ضروری در روند حفاظت از بناهای تاریخی باید حفظ شود. (یوکیلهتو، ۱۳۸۷) با این حال، این دیدگاه به دلیل عدم امکان حفظ عملی بسیاری از سازه‌های در حال زوال، مورد نقد قرار گرفت. در سوی دیگر طیف، اوژن ویوله لودوک (Viollet-le-Duc)، معمار فرانسوی، بر ضرورت بازسازی خلاقانه تأکید داشت. وی معتقد بود که مرمت، نه صرفاً بازگرداندن کالبد گذشته، بلکه بازیابی فرم ایده‌آل تاریخی بناست؛ حتی اگر آن فرم، هرگز به‌صورت کامل وجود نداشته باشد (Viollet-le-Duc, 1858). لودوک بر این باور بود که در برخی موارد، بازسازی بخش‌هایی از بنا که به دلایل مختلف تخریب شده‌اند، نه تنها لازم است بلکه می‌تواند باعث احیای هویت اولیهٔ بنا شود. او با روش‌های خاص خود، در پروژه‌هایی مانند مرمت کلیسای نوتردام، به بازسازی اجزای تخریب‌شده پرداخت و این کار را با حفظ اصول زیبایی‌شناسی و معماری انجام داد. دیدگاه لودوک در حقیقت از تفکر بهینه‌سازی بهره می‌برد که در آن، نه تنها به حفظ وضعیت فعلی توجه می‌شود، بلکه بنا باید به شکل ایده‌آل و اصلی خود برگردد. (رجبی، مظفری، ۱۳۹۰) این رویکرد، گرچه در برخی بازسازی‌ها موفق بود، اما به دلیل مداخلات شدید، در حفاظت مدرن کمتر پذیرفته شده است. میان این دو رویکرد افراطی، نظریهٔ چزاره براندی (Cesare Brandi) در دههٔ ۱۹۶۰ جایگاه ویژه‌ای دارد. در کتاب «نظریهٔ مرمت»، براندی

[DOI: 10.66224/jra.2025.11.209]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 19:22 +0330 on Sunday November 22nd 2026

مرمت را «لحظه‌ای در تاریخ اثر» تعریف می‌کند و اصل «حداقل مداخله» و «قابلیت بازگشت‌پذیری» را پایه‌گذار مرمت معاصر می‌سازد (Brandi, 1963). براندی تأکید می‌کند که هرگونه اقدام باید مبتنی بر شناخت دقیق و علمی از ساختار، مواد، و تاریخ اثر باشد. دیدگاه او، برخلاف ویوله لودوک، بر احتیاط، مطالعه، و پرهیز از بازسازی تخیلی تأکید دارد. براندی معتقد بود که مرمت باید تنها به‌گونه‌ای صورت گیرد که ساختمان را از خطرات احتمالی حفظ کند و در عین حال، تغییرات بی‌جا و غیرضروری در ساختار بنا انجام نشود. او بر حفظ ویژگی‌های اصلی اثر و جلوگیری از دست‌برد به هویت تاریخی آن تأکید داشت. این رویکرد بر این اصل استوار است که هرگونه تغییر در بنا باید حداقلی و تنها در موارد ضروری باشد تا اثر معماری از خطرات مختلف در امان بماند، بدون آن‌که هویت اصلی آن دچار تغییر شود. دیدگاه براندی در حقیقت به‌عنوان یک نقطهٔ تعادلی بین دو رویکرد دیگر قرار می‌گیرد. او نه مانند راسکین به‌طور کامل مخالف مداخله است و نه مانند لودوک خواستار بازسازی همه‌جانبه است، بلکه می‌خواهد که مرمت با حداکثر دقت و علمی‌ترین روش‌ها انجام گیرد تا بنا حفظ شود بدون آن‌که تغییری در آن ایجاد شود. (یوکیلهتو، ۱۳۸۷) در همین راستا، برنارد فیلدن (Feilden, 2003) در کتاب راهنمای حفاظت از محوطه‌های میراث جهانی، مفهوم «مداخلهٔ علمی» را توسعه داد. او تأکید می‌کرد که شناخت ساختار کالبدی بنا باید پیش از هر اقدامی از طریق ابزارهای دقیق، و ترجیحاً غیرمخرب، انجام گیرد. از نظر فیلدن، مستندسازی اولیه، پایه‌ای برای تحلیل آسیب و طراحی راهکارهای حفاظت است. از دیدگاه فلیدن، حفاظت از آثار تاریخی باید به‌گونه‌ای صورت گیرد که هیچ‌گونه تغییر عمده‌ای در ویژگی‌های اصلی بنا صورت نگیرد. این نگرش به معنای مداخله غیرمستقیم و غیرمخرب در اثر است، به‌طوری‌که هرگونه بازسازی و مرمت تنها باید با هدف حفظ تاریخ‌نگاری و ساختار واقعی بنا انجام گیرد. (پاکزاد، ۱۳۸۹)

مطابق با این دیدگاه‌ها، فناوری‌های نوین از جمله اسکن لیزری سه‌بعدی، دقیقاً در مرحلهٔ شناخت و آسیب‌شناسی نقش کلیدی دارند. این فناوری، بدون تماس فیزیکی و با دقت میلی‌متری، امکان برداشت دیجیتال کامل بنا را فراهم می‌کند و اطلاعات هندسی و ساختاری لازم برای تصمیم‌گیری مرمتی را ارائه می‌دهد.

بنابراین، پژوهش حاضر با تکیه بر نظریه‌های براندی و فیلدن، تلاش دارد نشان دهد که بهره‌گیری از اسکن لیزری در دو بنای تاریخی منتخب نه‌تنها با مبانی نظری حفاظت مطابقت دارد، بلکه الگویی عملی برای مستندسازی، تحلیل و طراحی مداخلات آینده فراهم می‌کند.

۲-۲. فناوری اسکن لیزری سه‌بعدی

برای شروع هرگونه بررسی و مداخله در یک بنای تاریخی، دسترسی به اطلاعات دقیق و معتبر از وضعیت فعلی آن بنا ضروری است. این اطلاعات شامل هندسه، آسیب‌شناسی و داده‌های مربوط به پایش سازه‌ای است که با استفاده از روش‌های نوین قابل استخراج می‌باشد. در بناهای تاریخی که دسترسی به نقشه‌های اولیه یا اطلاعات مستند محدود است، برداشت دقیق هندسی از طریق ابزارهای مدرن مانند لیزر اسکنر سه‌بعدی یا فتوگرامتری اهمیت مضاعفی می‌یابد. در پژوهش حاضر، اسکن لیزری سه‌بعدی به‌عنوان ابزار اصلی برداشت مورد استفاده قرار گرفته است.

در میان روش‌های گوناگون برداشت، استفاده از لیزر اسکنر سه‌بعدی یکی از دقیق‌ترین و کاربردی‌ترین گزینه‌ها به شمار می‌رود، به‌ویژه در مورد بناهایی با ابعاد زیاد، ارتفاع بالا، بخش‌های تخریب‌شده یا مواردی که به‌عنوان آثار ثبت‌شدهٔ تاریخی، مستندسازی آن‌ها باید کاملاً غیرمخرب باشد. در این فناوری، مکان، اندازه و جهت اجزای بنا بدون تماس مستقیم ثبت می‌گردد. در این فرآیند، مجموعه‌ای از پرتوهای لیزر به صورت سیستماتیک و با زوایای مشخص به سطوح هدف تابانده شده و اطلاعات بازتابی آن‌ها برای تولید مدل دیجیتال مورد استفاده قرار می‌گیرد. کاربرد اصلی این فناوری از اواخر قرن بیستم آغاز شد و به‌ویژه در زمینهٔ بازسازی سطوح، طراحی، تحلیل و مرمت، نقش کلیدی ایفا کرده است. اولین فناوری‌های اسکن سه‌بعدی در دههٔ ۱۹۶۰ میلادی توسعه یافتند و بر پایهٔ نور ساخت‌یافته، دوربین و پروژکتور عمل می‌کردند (Ebrahim, 2014, p. 2). فناوری اسکن لیزری سه‌بعدی با استفاده از ابرنقاط، جزئیات فیزیکی و هندسی بناهای تاریخی را با دقت بالا ثبت کرده و امکان تولید مدل‌های دیجیتال سه‌بعدی فراهم می‌آورد. این مدل‌ها در فرآیندهای مرمت و بازسازی مورد استفاده قرار گرفته و به مرمت‌گران این امکان را می‌دهند تا مداخلات لازم را به شیوه‌ای دقیق، مؤثر و غیرمخرب انجام دهند. در نتیجه، بهره‌گیری از این فناوری کاملاً هم‌راستا با اصول مرمت علمی و حفاظت حداقلی است، زیرا ضمن ثبت کامل وضعیت موجود، از آسیب به بنا جلوگیری می‌کند (Ebrahim, 2014, p. 14).

پس از دههٔ ۱۹۸۵، اسکنرهایی با توانایی استفاده از نور سفید، لیزر و سایه جایگزین نسل‌های پیشین شدند. اسکنرهای جدید عمدتاً مبتنی بر فناوری‌های Time-of-Flight یا Phase Shift هستند و قادرند در فواصل تا ۳۰۰ متر، با دقت میلی‌متری برداشت کنند. مدل نهایی حاصل از فرآیند اسکن، قابلیت انتقال به نرم‌افزارهایی مانند AutoCAD، Revit، Rhino و سایر پلتفرم‌های تحلیلی، طراحی معماری یا مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (BIM) را دارد. همچنین امکان استفاده از این مدل‌ها در زمینه‌هایی چون تحلیل سازه‌ای، شبیه‌سازی، گردشگری مجازی، آموزش و آرشیو دیجیتال وجود دارد. از جمله مزایای مهم این روش می‌توان به سرعت بالا، عدم نیاز به تماس فیزیکی، دقت میلی‌متری، توانایی ثبت فرم‌های پیچیده و انطباق کامل با اصول حفاظت غیرمخرب اشاره کرد. بدین ترتیب، اسکن لیزری سه‌بعدی به‌عنوان ابزاری پیشرفته، به معماری میراثی کمک می‌کند تا در کوتاه‌ترین زمان ممکن، دقیق‌ترین تصویر از وضعیت فعلی بنا ثبت شود و در صورت نیاز، طرح‌های مداخلاتی مبتنی بر داده‌های

[DOI: 10.66224/jra.2025.11.209]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 19:22 +0330 on Sunday November 22nd 2026

واقعی طراحی گردد. در این پژوهش نیز، اسکن لیزری سه‌بعدی برای تحلیل هندسه و آسیب‌های سازه‌ای دو بنای تاریخی (مسجد جامع تسوج و دودکش کارخانهٔ چرم خسروی) مورد استفاده قرار گرفت. فرایند برداشت، پردازش، و تحلیل داده‌ها در بخش‌های بعدی توضیح داده می‌شود.

توسعهٔ این فناوری نیز، همانند دیگر ابزارهای دیجیتال، دارای روند تکاملی خاص خود بوده است. در گذشته، برداشت اطلاعات سازه‌ای به کمک ابزارهایی مانند متر یا تراز صورت می‌گرفت. در دههٔ ۱۹۹۰، با رشد دیجیتالی‌شدن، روش فتوگرامتری وارد عرصه شد. این روش با استفاده از تلفیق تصاویر متعدد از زوایای مختلف و نرم‌افزارهای تخصصی، مدل سه‌بعدی ایجاد می‌کرد، اما با پیشرفت‌های فناورانه در دو دههٔ اخیر، اسکن لیزری سه‌بعدی جای خود را به‌عنوان ابزاری دقیق، سریع و مؤثر در حوزهٔ مستندسازی و آسیب‌شناسی سازه‌های تاریخی تثبیت کرده است. این فناوری با اندازه‌گیری فاصلهٔ میان اسکنر و سطوح، میلیون‌ها نقطه را به صورت ابرنقطه (Point Cloud) ثبت می‌کند. هر نقطه دارای مختصات دقیق سه‌بعدی (x, y, z) است و بلافاصله پس از اسکن می‌توان مدل ابرنقطه را به صورت سه‌بعدی مشاهده و تحلیل کرد. میدان دید این اسکنرها، به دلیل عدم نیاز به رفلکتور، مشابه دید انسان عمل کرده و تمام بخش‌های قابل مشاهده از موقعیت اسکنر را ثبت می‌نمایند. اسکنرهای لیزری معمولاً از اجزایی برای اندازه‌گیری طول و زاویه تشکیل شده‌اند و عملیات آن‌ها شامل سه مرحله است: ارسال پرتو لیزر از طریق آینه‌های دوار، بازتاب پرتو از سطح هدف، و دریافت داده‌های برگشتی. داده‌های خام حاصل که شامل میلیون‌ها اندازه‌گیری با دقت میلی‌متری یا کم‌تر هستند، پس از پردازش به مدل‌های سه‌بعدی تبدیل می‌شوند (نامی، ۱۴۰۱، ص ۶۱).

این فناوری به‌ویژه در مواردی که نیاز به تحلیل تغییرات حجمی، هندسهٔ پیچیده یا پایش در طول زمان وجود دارد، نقش کلیدی ایفا کرده و می‌تواند به‌عنوان مرجعی قابل‌اعتماد برای برنامه‌ریزی مداخلات حفاظتی مورد استفاده قرار گیرد. به کمک این ابزار، بازسازی دیجیتال بنا، تهیهٔ مدل‌های سه‌بعدی با دقت بالا، و تحلیل هندسی در سطوح مختلف امکان‌پذیر است و بدین ترتیب، اسکنر لیزری به ابزاری چندمنظوره در فرآیند حفاظت بدل شده است (Vatan et al., 2022). استفاده از اسکنر لیزری زمینی (Terrestrial Laser Scanner - TLS) به‌عنوان ابزاری مؤثر برای اندازه‌گیری دقیق انحرافات و تغییرشکل‌های سازه‌ای در بناهای تاریخی ابزاری کارآمد بوده است (Selbesoglu et al., 2016). در پروژه‌های مختلف حفاظت از بناهای تاریخی از فناوری اسکن لیزری سه‌بعدی در زمینه‌های مختلف استفاده شده است، یکی از این پروژه‌ها مستندسازی کلیسای جامع کلن به‌عنوان میراث جهانی یونسکو است. در این پروژه، از اسکنرهای لیزری برای برداشت دقیق سه‌بعدی سطوح داخلی و خارجی، برج‌ها، پشت‌بندها و سایر عناصر معماری این کلیسای گوتیک استفاده شد. این فناوری توانست به‌طور همزمان داده‌های هندسی با دقت میلی‌متری و تصاویر HDR را فراهم آورد، که امکان تولید مدل‌های واقع‌گرایانه، تحلیل‌های سازه‌ای، ثبت تغییرات سطحی، و تهیهٔ نقشه‌های CAD و تصاویر ارتوفتو را فراهم ساخت. با بهره‌گیری از این داده‌ها، تحلیل‌هایی نظیر بررسی آسیب‌های سطحی، انحرافات، نشست، و تخریب مصالح ممکن شد. افزون بر این، مستندات به‌دست‌آمده مبنایی برای طراحی مداخلات حفاظتی، پایش وضعیت بنا در طول زمان، و همچنین آموزش عمومی و تعامل با مخاطب فراهم کردند (Pritchard et al., 2017).

باتوجه به جدول ۲ می توان مزایا و معایب این فناوری را مورد بررسی قرار داد.

۳. مواد و روش‌ها

۳-۱. معرفی نمونه‌های مورد مطالعه

در این پژوهش، دو بنای تاریخی به‌عنوان نمونه‌های موردی انتخاب شدند که از نظر ساختار، کاربری و موقعیت مکانی دارای تفاوت‌های معناداری هستند. این تنوع، امکان بررسی قابلیت‌های فناوری اسکن لیزری در مواجهه با سازه‌های متفاوت را فراهم می‌سازد.

جدول ۲. معایب و مزایای فناوری اسکن لیزری سه بعدی (Arayici et al, 2006,9)

Table 2. Advantages and Disadvantages of 3D Laser Scanning Technology (Arayici et al., 2006, p.9)

مزایا	معایب
قابلیت اعمال بر روی تمامی سطوح	مجموعه های داده سه بعدی بزرگ نیاز به پس پردازش دارند تا خروجی قابل استفاده تولید شود
جمع آوری سریع داده های سه بعدی	دشواری در استخراج گوشه ها و نقاط تحت سایه از داده‌های ابر نقاط نامشخص
قابلیت انتخاب میزان حجم داده ها و کیفیت برداشت	برای دستیابی به کیفیت قابل قبول نیاز به دستکاری خروجی است.
ایده آل برای همه اهداف مدلسازی و تصویرسازی سه بعدی	در حال حاضر فرمت مشترک تبادل داده بین اسنکرهای مختلف موجود نیست
امکان مشاهده برداشت‌های انجام شده به صورت تصویر	حجم بالای اطلاعات
فناوری اسکنر سه بعدی در حال توسعه سریع و تحقیق و توسعه گسترده در سراسر جهان در حال انجام است	سخت افزار گران قیمت و نرم افزارهای پیچیده برای پردازش داده مورد نیاز است.

[DOI: 10.66224/jra.2025.11.209]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 19:22 +0330 on Sunday November 22nd 2026

۳-۱-۱. مسجد جامع تسوج

مسجد جامع تسوج یکی از شاخص‌ترین آثار باستانی شهر تسوج در آذربایجان شرقی است که در جانب جنوب بازار و در محلهٔ بابا هدایت واقع شده است. این اثر که با توجه به مطالعات انجام شده سابقه‌ای از دورهٔ اتابکان آذربایجان دارد، در دوره‌های ایلخانی و تیموریان توسعه یافته است. برای ساخت این مسجد یک سکوی مرتفع با مصالح سنگی ایجاد شده و سپس بنای مسجد با مصالح آجری و ستون‌های سنگی بر روی آن اجرا شده است. بر پیشانی در ورودی مسجد،کتیبهٔ فرمانی وجود دارد که در سال۹۸۹ هجری قمری با استفاده از خط ثلث برجسته و زیبا روی سنگ فلفلی یک پارچه نقل شده است (نبیی، ۱۳۸۲، ۲۰۱). در یک نگاه کلی مسجد جامع تسوج از بخش‌هایی همچون گنبد، صفهٔ روباز برای نماز جماعت، سرداب مقبره، شش حجره مخصوص طلبه‌ها و یک باغ در بخش جوبی تشکیل شده است. در دو طرف در ورودی مسجد دو مناره به چشم می‌خورند که فاقد کلاهک هستند و راه پله‌ای مارپیچ دارند (شکل ۱). مسجد بیست‌وچهار ستون دارد. چهار ستون جنوبی آجری و بقیه سنگی و دارای پایه و سرستون مقرنس سنگی هستند. سی‌وپنج گنبد آجری مسجد بر روی آن‌ها قرار گرفته و مساحت مسجد در حدود ۳۵ در ۳۳ متر است. به عبارت دیگر، مسجد مساحتی بالغ بر ۱۱۲۰ مترمربع دارد. همچنین مسجد جامع تسوج دارای زیرزمین یا سرداب در دو سمت می‌باشد که بخشی از آن با قطعات شکسته کلوخ و آجر پر شده است . طاق‌ها شیوه‌ی ایلخانی و اشکال مختلفی دارند. معلوم است بنای مسجد چندین بار مرمت و تعمیر شده است. یک بار در سال ۱۲۵۲ه.ق به امر محمد شاه قاجار تعمیر کلی یافته و بعید نیست گچ‌بری و مقرنس‌کاری طاق مدخل و طاق محراب مسجد در همین دوران صورت گرفته باشد. در سال ۱۳۷۹ هجری شمسی نیز مرحلهٔ دیگری از بازسازی و تعمیرات به همت سازمان میراث فرهنگی استان آذربایجان شرقی در این مسجد به اجرا درآمده است (نبیی، ۱۳۸۲، ۲۰۳).

این مسجد با پلان منظم (شکل۲)، گنبد آجری و دیوارهای بنایی قطور ساخته شده و به دلیل عوامل محیطی، دچار نشست، ترک‌های سطحی و فرسایش در برخی بخش‌ها شده است.

شرایط کالبدی خاص، موقعیت شهری و مستندات تاریخی مسجد، آن را به گزینه‌ای مناسب برای بررسی آسیب‌های هندسی و ساختاری با فناوری اسکن لیزری تبدیل کرده است.

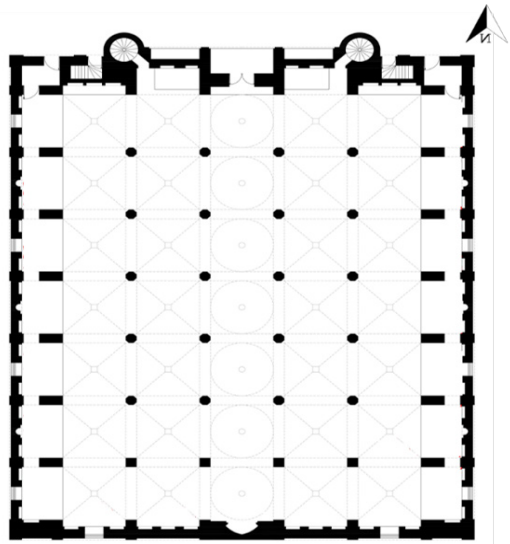
۳-۱-۲. کارخانهٔ چرم خسروی تبریز

تبریز یکی از پیشگامان صنعت و استفاده از روش‌های جدید ساختمانی و صنایع در ایران بوده است. از دلایل این امر نزدیکی این شهر به مرزهای کشورهایی مثل ترکیه در غرب و شوروی در شمال و مرکزیت و بزرگی که در شهرهای این منطقه داشته است بود. صنایع چرم‌سازی در شهر تبریز شهرت دیرینه دارد و قدمت چرم آن تقریباً با پیشینهٔ تاریخی شهر برابری می‌کند (نژادابراهیمی و همکاران،۱۳۹۸).



شکل ۱. تصاویری از مسجد جامع تسوج

Figure 1. Photographs of the Jameh Mosque of Tasouj



شکل ۲. پلان معماری مسجد جامع تسوج

Figure 2. Architectural Plan of the Jameh Mosque of Tasouj

ساختمان کارخانهٔ چرمسازی خسروی تبریز از جمله ابنیهٔ صنعتی تاریخی شهر، یادگاری باارزش از دورهٔ ورود صنایع نوین به ایران محسوب می‌گردد (شکل ۳). در سال‌های اخیر و با تأسیس دانشگاه هنراسلامی تبریز، بنای متروکهٔ کارخانهٔ چرم‌سازی احیا شده و تغییر کاربری یافت و در نهایت به مجموعه ساختمان‌های دانشگاه افزوده شد (آصفی و همکاران، ۱۳۹۳، ۳۹).

مجموعهٔ کارخانهٔ چرم خسروی در ابتدای دورهٔ پهلوی به منظور ایجاد کارخانهٔ چرم با مساحتی در حدود ۳۶ هزار مترمربع احداث گردید پس از انتقال تجهیزات این کارخانه به اطراف شهر تبریز مجموعهٔ چرم خسروی در سال ۱۳۷۷ در اختیار دانشگاه صنعتی سهند قرار گرفت تا تغییر کاربری داده و به‌عنوان فضای آموزشی قرار گرفته شد. بر اساس تصمیم شورای گسترش آموزش عالی بعد از استقلال دانشکدهٔ هنر از دانشگاه صنعتی سهند و تبدیل آن به دانشگاه هنر اسلامی تبریز در سال ۱۳۷۸ فعالیت‌هایی که از سال ۷۷ از سوی دانشگاه صنعتی سهند جهت تکمیل روند مرمتی ساختمان‌های چرم خسروی انجام گرفته بود از سوی دانشگاه هنر اسلامی تبریز پیگیری شد. مجموعهٔ تاریخی چرم‌سازی خسروی اکنون دارای ۸ ساختمان مجزا می‌باشد که به صورت منفرد و کوشکی در محوطهٔ ۳۸۰۰۰ متر مربعی واقع شده‌اند، به غیر از

[DOI: 10.66224/jra.2025.11.209]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 19:22 +0330 on Sunday November 22nd 2026

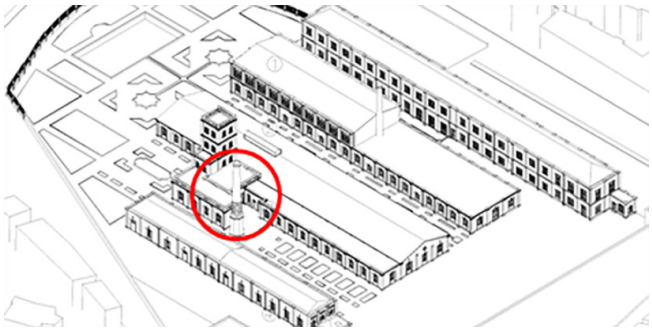
دانشکدهٔ هنرهای کاربردی، بقیهٔ بناها تاریخی هستند و در طی ۱۰ سال گذشته مورد مرمت و بازسازی قرار گرفته و بعد از تغییر کاربری مجموعه از چرم‌سازی به پردیس اصلی دانشگاه هنر اسلامی مورد استفاده قرار می‌گیرد (نژادابراهیمی و همکاران،۱۳۹۸).



شکل۳. نماهایی از کارخانهٔ چرم خسروی (دانشگاه هنر اسلامی تبریز)

Figure 3. Architectural Views of the Khosravi Leather Factory (Tabriz Islamic Art University)

از جمله بناهای مجموعهٔ چرم خسروی که سبب زیبایی چندین برابر آن شده، دودکش‌ها می‌باشند که روزگاری نشانه‌ای بوده از رونق چرخ صنعت و کارخانه، اما امروزه با وجود این که دیگر عملکردی جز بیان تاریخ ندارد، بخشی جدانشدنی از این مجموعه بوده و به نمادی از دانشگاه هنر تبریز بدل شده است (شکل۴).



شکل ٤. موقعیت دودکش در مجموعهٔ کارخانهٔ چرم خسروی

Figure 4. Location of the Chimney in the Khosravi Leather Factory Complex

دودکش‌های آجری با مصالح بنایی تا پایان دهه ۱۹۶۰ در بسیاری از مناطق صنعتی ساخته شده است. پس از آن زمان روش‌ها یا مصالح دیگری برای ساخت دودکش‌ها استفاده شد.توسعه مناطق شهری به سمت مناطق صنعتی گذشته، این سازه‌ها را به نمادهایی که بیانگر دوره صنعتی قدیمی است تبدیل کرده که وارد شهرسازی معاصر شده‌اند. درواقع بسیاری از این دودکش‌ها به دلایل اجتماعی و تاریخی خود به عنوان بناهای محافظت شده ثبت شده‌اند. این بدان معناست که در مناطقی با خطر لرزه‌خیزی بالا ضروری است مقاومت آن‌ها در برابر نیروهایی که در زمان ساخت مورد توجه قرار نگرفته بررسی شود. علاوه براین بسیاری از دودکش‌ها در مناطق شهری قرار دارند از این رو باید رفتار سازه‌ای آن‌ها جهت محافظت از بناها و جمعیت اطراف آن‌ها مورد بررسی قرار گیرد. بنابراین حفظ و نگهداری این بناها در برابر حوادث طبیعی و غیر طبیعی همچون زلزله و بررسی آسیب‌های موجود امری ضروری قلمداد می‌شود(Bru et al,2018, 33).

برج دودکش آجری کارخانهٔ چرم خسروی با ارتفاع حدود ۳۲ متر، دارای فرم مخروط ناقص توخالی با پایهٔ هشت‌ضلعی است. این سازه به‌عنوان عنصر شاخص در منظر صنعتی تبریز شناخته می‌شود و تاکنون مستندسازی دقیقی از آن انجام نشده است.

ماهیت عمودی، آسیب‌های ناشی از گذر زمان، و وضعیت بحرانی در رأس دودکش، ضرورت بررسی هندسه، انحراف از محور و تغییر ضخامت جداره را برجسته می‌سازد.

۳-۳. اسکن لیزری سه بعدی

در این پژوهش، به منظور برداشت دقیق هندسی بناهای تاریخی، از فناوری اسکن لیزری سه‌بعدی (3D Laser Scanning) استفاده شد. این روش به دلیل دقت بالا و ماهیت غیرتماسی آن، نسبت به روش‌های سنتی برداشت میدانی برتری دارد. دستگاه مورد استفاده لیزر اسکنر Stonex X300 با برد موثر ۳۰۰ متر و دقت برداشت ۲± میلی‌متر بوده است. مشخصات اصلی این دستگاه در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳ . مشخصات دستگاه Stonex X300

Table 3. Technical Specifications of the Stonex X300 Scanner

ویژگی	مشخصات
برد موثر	300 متر
دقت برداشت	2± میلی‌متر
فرمت خروجی	ابر نقاط با مختصات XYZ
نرم‌افزار همراه	Stonex Reconstructor
سرعت برداشت	40000 نقطه بر ثانیه

برای پردازش داده‌ها، ابتدا از نرم‌افزار Stonex Reconstructor به منظور پاک‌سازی نویزها و هم‌ترازی ابر نقاط (Point Cloud) استفاده شد. سپس داده‌های اصلاح‌شده به نرم‌افزار AutoCAD 3D منتقل گردید تا مدل سه‌بعدی، نقشه‌های هندسی و برش‌های مورد نیاز استخراج شوند. داده‌های حاصل، مبنای تحلیل‌ها و ارزیابی‌های بعدی در این پژوهش قرار گرفتند.

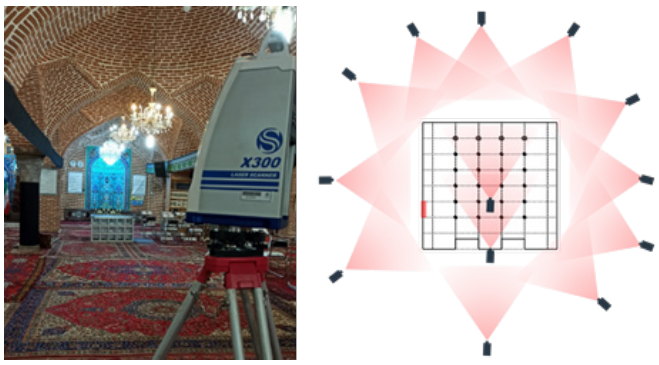
۳-٤. پردازش داده‌ها

این پژوهش از نظر هدف، کاربردی و از نظر روش، توصیفی-تحلیلی در قالب مطالعهٔ موردی است. فرایند تحقیق شامل سه مرحلهٔ اصلی بوده است:

۱. برداشت میدانی و جمع‌آوری داده‌ها

در هر یک از دو بنای مورد مطالعه، چندین ایستگاه اسکن داخلی و خارجی برای دست‌یابی به پوشش کامل و هم‌پوشانی داده‌ها تعریف شد.

[DOI: 10.66224/jra.2025.11.209]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 19:22 +0330 on Sunday November 22nd 2026



شکل ۵. محل قرارگیری دستگاه در برداشت های متعدد مسجد جامع تسوج

Figure 5. Location of the Device during Multiple Survey Sessions at the Jameh Mosque of Tasuj

با توجه به شکل ۵ در پروژهٔ مسجد جامع تسوج به دلیل ابعاد بزرگ بنا، ۱۱ ایستگاه جهت قرارگیری دستگاه و برداشت خارجی آن انتخاب شده به‌طوری که برداشت‌های متوالی با یکدیگر همپوشانی داشته باشند. همچنین دو برداشت از فضاهای داخلی با زاویهٔ ۳۶۰ درجه نیز انجام گرفت. علاوه بر این موارد چندین برداشت از قسمت‌های مختلف بام جهت برداشت گنبدها نیز صورت گرفته است که مجموع برداشت‌های این بنا را به عدد ۱۹ می‌رساند.

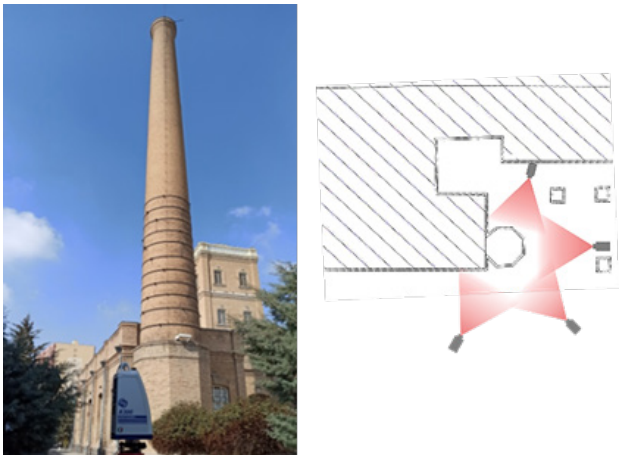
شکل ۶ مدل سه بعدی ابر نقاط به دست آمده از اسکن مسجد جامع تسوج را نشان می‌دهد. بعد از برداشت‌های میدانی صورت‌گرفته داده‌های به دست آمده وارد نرم افزار شده و روند پردازش و ایجاد مدل نهایی صورت گرفت و در مرحلهٔ نهایی آسیب‌های بنا به صورت جزئی‌تر بررسی گردید.



شکل ٦ . مدل سه بعدی اسکن شدهٔ مسجد جامع تسوج

Figure 6. 3D Scanned Model of the Jameh Mosque of Tasouj

در کارخانه چرم خسروی، تمرکز بر دودکش آجری و دیواره‌های مجاور آن بود. سه ایستگاه پیرامونی در پایین و یک ایستگاه از ارتفاع نزدیک انجام گرفت. با توجه به ارتفاع زیاد دودکش مورد بررسی و عدم دسترسی راحت به بخش‌های بالایی دودکش و همچنین موجود نبودن مدارک کافی از هندسه بنا در این پروژه سعی بر آن بوده است با استفاده از فناوری اسکن لیزری سه‌بعدی بتوان مدل کلی و هندسه سازه را جهت اقدامات بعدی حفاظتی از جمله مدلسازی و بررسی بنا در نرم افزارهای المان محدود استفاده کرد. از این رو همانگونه که در شکل ۷ نشان داده شده است چهار برداشت در اطراف بنا مورد نظر انجام گرفت و سپس با پردازش و استفاده از داده های برداشت شده مدل و هندسه بنا به دست آمده تا نهایتا از آن جهت تحلیل‌های سازه‌ای در نرم افزارهای المان محدود استفاده شود.



شکل ۷. محل قرارگیری دستگاه در برداشت‌های متعدد دودکش کارخانهٔ چرم خسروی

Figure 7. Position of the Device in Multiple Survey Campaigns of the Chimney at the Khosravi Leather Factory

۵-۳. پردازش داده‌ها

داده‌های خروجی در نرم‌افزارهای Stonex Reconstructor و AutoCAD پردازش شدند. مدل‌های سه‌بعدی حاصل از ابرنقاط، برای تحلیل انحرافات هندسی، شکست‌ها، و نشست‌های سازه‌ای به‌کار رفتند.

٦-۳. تحلیل آسیب‌شناسی و استخراج یافته‌ها

مدل‌های سه‌بعدی موردتحلیل قرار گرفتند تا الگوهای رفتاری و نواحی آسیب‌پذیر شناسایی شوند. در مورد مسجد جامع تسوج، داده‌ها به آسیب‌هایی مانند خروج از صفحهٔ دیوار و نشست اشاره داشتند؛ در مورد دودکش کارخانهٔ چرم خسروی، مدل هندسی مخروط ناقص و تغییر ضخامت سازه مورد بررسی قرار گرفت.

با استفاده از مدل سه‌بعدی تولیدشده، نقاطی که دارای خروج از شاقول، نشست، شکستگی یا تغییر ضخامت جداره بودند، استخراج شدند. تحلیل‌های هندسی شامل موارد زیر بود:

- محاسبهٔ زاویهٔ انحراف دیوارها از عمود
- بررسی ناهمسانی ضخامت جدارهٔ دودکش از قاعده تا رأس
- مقایسهٔ تراز نقاط مختلف کف و پایهٔ دیوارها برای شناسایی نشست
- تحلیل ترک‌ها و ناپیوستگی‌های سطحی از طریق گپ‌های بین نقاط در ابرنقاط

نتایج تحلیل‌ها در بخش یافته‌ها به تفصیل ارائه شده و به صورت جدول‌های تحلیلی و تصاویر مدل‌سازی‌شده همراه شده است.

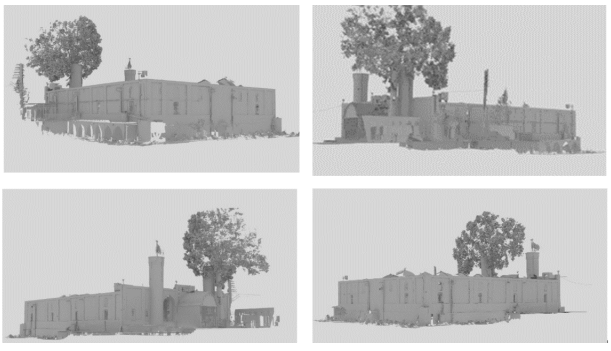
[DOI: 10.66224/jra.2025.11.209]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 19:22 +0330 on Sunday November 22nd 2026

٤. یافته‌ها و بحث

پس از برداشت میدانی و پردازش داده‌های سه‌بعدی با استفاده از فناوری لیزر اسکنر، مدل‌های دقیقی از دو نمونهٔ موردی تهیه شد (شکل ۸). بر پایهٔ این مدل‌ها، تحلیل‌های هندسی و آسیب‌شناختی صورت گرفت. نتایج به صورت تفکیکی برای هر بنا در ادامه ارائه می‌شود.

٤-١. مسجد جامع تسوج

مسجد جامع تسوج در دوره‌های زمانی مختلف چندین بار مورد تعمیر و مرمت قرار گرفته است. با این حال، با گذشت زمان و به دلیل مداخلات صورت‌گرفته در بعضی قسمت‌ها این مسجد دچار آسیب‌های جدی شده است. از جمله خطرناک‌ترین نوع آسیب‌پذیری دیوارهای بنایی، خرابی خارج از صفحهٔ دیوارها است که معمولاً به‌راحتی قابل‌تشخیص نیست. زیرا این نوع آسیب‌پذیری می‌تواند باعث از بین رفتن تکیه‌گاه سقف و در نتیجه، فروریختن آن شود؛ از طرفی شکست خارج از صفحهٔ دیوارهای بنایی باعث حذف خصوصیات مثبت داخل صفحهٔ دیوار، یعنی سختی و مقاومت، می‌شود. با بررسی‌های انجام‌شدهٔ اولیه مشاهده شد در دیوارها، کف و گنبدهای مسجد جامع تسوج ترک‌هایی وجود دارد که می‌تواند ناشی از نشست و حرکت خارج از صفحهٔ دیوارها باشد (شکل ۹) اما با توجه به ابعاد بنا این تغییرات و آسیب‌ها مشهود نبوده و با چشم قابل تشخیص نیستند. از این رو، برای اثبات این فرضیه، مدل سه‌بعدی برداشت‌شده با استفاده از فناوری اسکن لیزری سه‌بعدی در نرم‌افزار اتوکد به صورت دقیق مورد بررسی قرار گرفت. در بررسی‌های صورت‌گرفته، تمامی قسمت‌های بنا به صورت کلی و جزئی بررسی شده و آسیب‌های مربوط به هر بخش از بنا دسته‌بندی گردید. با توجه به جدول ۴ و با بررسی های انجام گرفته، مشهود است که ساختمان در بخش جنوبی دچار نشست شده است. همچنین دیوار شرقی بنا دارای رفتار خروج از صفحه در مرکز دیوار می باشد که در تصاویر قرار گرفته در جدول به‌وضوح دیده می شود. علاوه بر این دیوارهای جنوبی و غربی در طول ارتفاع خود دارای شیب رو به خارج پلان می‌باشد که تأثیر آن را در دیوارهای مجاور نیز می‌توان مشاهده کرد.



شکل ۸ . مدل‌های سه‌بعدی به دست آمده از اسکن مسجد جامع تسوج

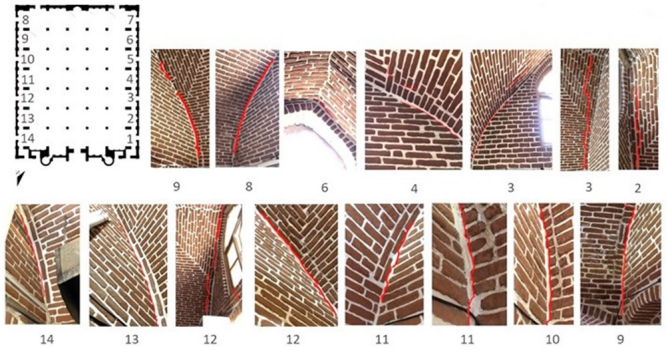
Figure 8. 3D Models Obtained from the Scan of the Jameh Mosque of Tasuj

تحلیل مقاطع قائم از مدل سه‌بعدی نشان داد که دیوارهای غربی و جنوبی در طول ارتفاع، دارای انحرافی حدود ۱۳ تا ۱۵ سانتی‌متر به سمت خارج پلان هستند. بیشترین انحراف در دیوار غربی در ارتفاع ۲.۸ متر از سطح کف رخ داده است.

نقاط برداشت‌شده از کف شبستان جنوبی، کاهش تراز حدود ۲ تا ۳ سانتی‌متر نسبت به دیگر بخش‌ها را نشان می‌دهند که به احتمال زیاد ناشی از نشست موضعی پی است. این نشست می‌تواند یکی از عوامل ایجاد ترک در اتصال گنبد به دیوار جنوبی باشد.

در تصاویر سه‌بعدی و مقاطع مدل، ترک‌هایی در محل اتصال طاق به دیوارها و گنبد مشاهده شد که به صورت خطی و قائم در دیوار شرقی و شمالی امتداد یافته‌اند. عمق این ترک‌ها قابل‌تخمین دقیق نیست، اما در مدل مشهود است.

الگوی کلی آسیب در این بنا، ترکیبی از نشست موضعی، فشار جانبی گنبد، و انحراف تدریجی دیوارها است. مدل‌سازی نشان می‌دهد که ساختار گنبد نسبت به تغییرات دیوارهای پیرامونی واکنش نشان داده و فشارهای نامتعادلی ایجاد شده‌اند.



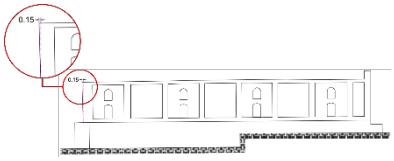
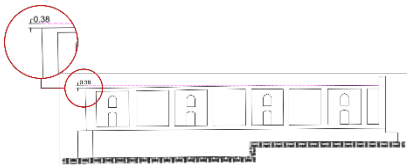
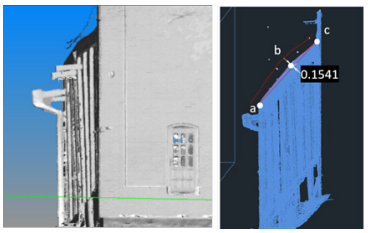
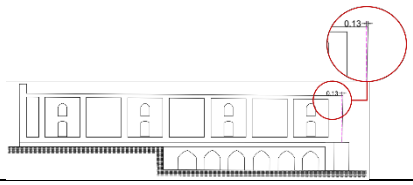
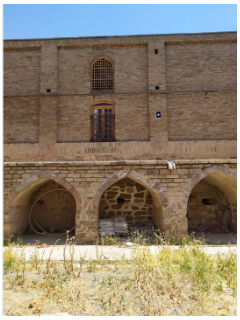
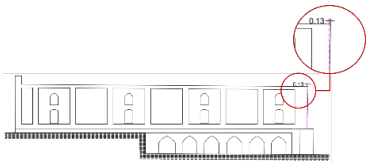
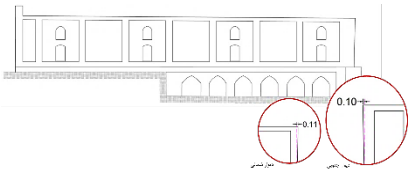
شکل ۹. ترک‌های محل اتصال دیوار و طاق‌ها که ناشی از نشست و حرکت خارج از صفحهٔ دیوار در مسجد جامع تسوج باشد

Figure 9. Cracks at the Junction of Walls and Vaults Resulting from Settlement and Out-of-Plane Displacement in the Jameh Mosque of Tasouj

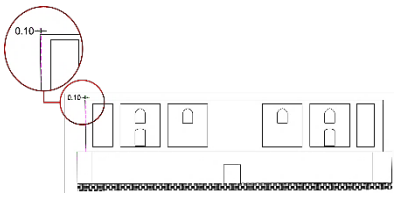
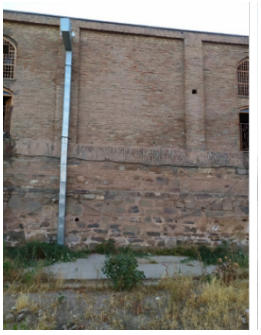
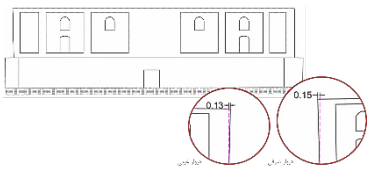
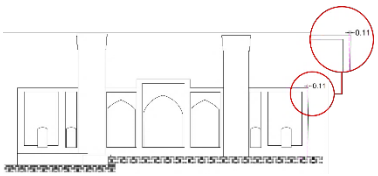
[DOI: 10.66224/jra.2025.11.209]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 19:22 +0330 on Sunday November 22nd 2026

جدول ٤. بررسی آسیب ها در مسجد جامع تسوج

Table 4. Assessment of Damages in the Jameh Mosque of Tasuj

بخش مورد بررسی	تصاویر	مدارک	نوع آسیب	جزئیات
دیوار ضلع شرقی مسجد			کج شدن دیوار	فاصله ابتدا دیوار از خط افق نسبت به انتهای دیوار ۳۸ سانتی‌متر اختلاف دارد و دیوار در بخش انتهایی دچار حدودا ۱٪ نشست شده است.
			زاویه رو به بیرون بخش انتهایی دیوار	ضلع سمت چپ همان‌طور که نشان داده شده در دیوار شرقی دارای شیب رو به بیرون می‌باشد و در بیش‌ترین حالت حدود ۱۵ سانتی‌متر از خط عمود فاصله دارد.
			رفتار خروج از صفحه در دیوار شرقی	دیوار شرقی در میانه تقریباً ۱۵ سانتی‌متر از صفحهٔ خود خارج شده است.
دیوار ضلع غربی مسجد			زاویه رو به بیرون بخش انتهایی دیوار	ضلع سمت راست همان‌طور که نشان داده شده در دیوار غربی دارای شیب رو به بیرون می‌باشد. و در بیش‌ترین حالت حدود ۱۳ سانتی‌متر از خط عمود فاصله دارد.
			کج شدن دیوار	فاصلهٔ ابتدای دیوار از خط افق نسبت به انتهای دیوار ۲۶ سانتی‌متر اختلاف دارد و دیوار در بخش انتهایی دچار حدودا ۰۵٪ نشست شده است.
			شیب دیوار به سمت خارج پلان	با توجه به شرایط ضلع انتهایی دو وجه شمالی و جنوبی و شیب رو به بیرون این دو دیوار می‌توان نتیجه گرفت دیوار غربی در طول خود رو به سمت خارج پلان دارای شیب می‌باشد.

[DOI: 10.66224/jra.2025.11.209]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 19:22 +0330 on Sunday November 22nd 2026

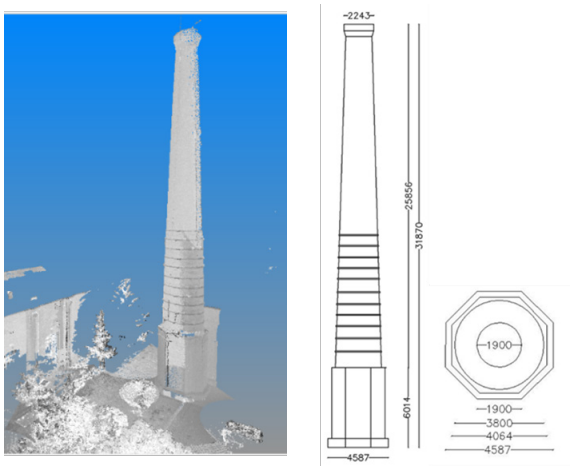
بخش مورد بررسی	تصاویر	مدارک	نوع آسیب	جزئیات
دیوار ضلع جنوبی مسجد			زاویه‌دار بودن ضلع سمت چپ در دیوار جنوبی	ضلع انتهایی در دیوار جنوبی دارای شیب رو به بیرون می‌باشد و در بیش‌ترین حالت حدود ۱۰ سانتی متر از خط عمود فاصله دارد.
			شیب دیوار به سمت خارج پلان	با توجه به شرایط ضلع انتهایی دو وجه شرقی و غربی و شیب رو به بیرون این دو دیوار می‌توان نتیجه گرفت که دیوار جنوبی در طول خود رو به سمت خارج پلان دارای شیب می‌باشد.
دیوار ضلع شمالی مسجد			زاویه‌دار بودن ضلع سمت راست در دیوار شمالی	ضلع سمت راست همان‌طور که در تصاویر نشان داده شده، در دیوار شمالی دارای شیب رو به بیرون می‌باشد و در بیش‌ترین حالت حدود ۱۱ سانتی‌متر از خط عمود فاصله دارد.

٤-٢. دودکش کارخانهٔ چرم خسروی

در پروژهٔ مربوط به دودکش کارخانهٔ چرم خسروی با توجه به ارتفاع زیاد دودکش و عدم دسترسی راحت به قسمت‌های فوقانی جهت ایجاد مدل کامل بنا و به دست آوردن هندسهٔ آن از دستگاه اسکنر لیزری سه‌بعدی استفاده گردید.

بر اساس مدل‌سازی صورت‌گرفته و مراحلی که در بخش های قبلی به آن اشاره گردید، هندسهٔ دودکش بنای صنعتی موردمطالعه، یک مخروط ناقص توخالی به ارتفاع ۲۵۸۵۶ میلی‌متر و پایهٔ هشت‌ضلعی به ارتفاع ۶۰۱۴ میلی‌متر است. قطر خارجی در تراز پایهٔ ۴۵۸۷ میلی‌متر و در تراز رآس ۱۹۰۰ میلی‌متر بوده و ضخامت جدارهٔ آن از ۱۰۰۰ میلی‌متر در پایه تا ۴۰۰ میلی‌متر در رأس و به‌طور یکنواخت متغییر است (شکل ۱۰).

از مدل ایجادشده و هندسهٔ به دست آمده در این پژوهش می‌توان جهت ایجاد مدل‌سازی‌های مورد نظر در نرم افزارهای المان محدود و انجام بررسی‌های سازه به جهت پیشبرد اهداف حفاظتی استفاده کرد.



شکل ۱۰. مدل سه بعدی دودکش و اطلاعات به‌دست‌آمده از اسکن لیزری سه بعدی

Figure 10. 3D Model of the Chimney and Data Obtained from 3D Laser Scanning

[DOI: 10.66224/jra.2025.11.209]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 19:22 +0330 on Sunday November 22nd 2026

بررسی مدل سه‌بعدی نشان داد که ضخامت جدارهٔ دودکش از پایه به رأس به‌طور یکنواخت کاهش یافته است؛ از حدود ۱۰۰۰ میلی‌متر در قاعده به حدود ۴۰۰ میلی‌متر در رأس. این میزان کاهش، حدود ۶۰٪ است و می‌تواند بر پایداری سازه در برابر بارهای جانبی تأثیرگذار باشد.

مقایسهٔ پروفیل عمودی محور دودکش با خط شاقول نشان‌دهندهٔ انحراف حدود ۷ سانتی‌متر در نیمهٔ بالایی سازه است. این انحراف به سمت جنوب‌غربی میل دارد و ممکن است ناشی از فشار باد یا تغییرات خاک زیر پی باشد.

در تصاویر پانورامای برداشت‌شده از رأس دودکش، جداشدگی در آجرهای فوقانی و تخریب ملات‌ها مشهود است. به دلیل ارتفاع زیاد، این آسیب‌ها از سطح زمین قابل رؤیت نبودند، اما مدل‌سازی دقیق، امکان بررسی فراهم کرد.

۵. نتیجه‌گیری

امروزه فناوری‌های نوین, منجر به درک بهتر بناهای تاریخی و حفاظت بی‌خطر آن‌ها شده‌اند. از این رو، آشنایی معماران مرمت‌گر با این فناوری و روش‌ها، جهت شناخت، بررسی و حفاظت هرچه بهتر و سریع‌تر بناهای تاریخی امری ضروری می‌باشد. پژوهش حاضر با هدف بررسی قابلیت‌های فناوری اسکن لیزری سه‌بعدی در شناخت و آسیب‌شناسی دقیق بناهای تاریخی انجام شد.

فناوری اسکن لیزری سه‌بعدی، به‌عنوان ابزاری دقیق و غیرمخرب، نقش مهمی در فرآیند شناخت و حفاظت از بناهای تاریخی ایفا می‌کند. پژوهش حاضر نشان داد که این فناوری نه‌تنها امکان برداشت هندسی کامل از سازه‌های پیچیده و مرتفع را فراهم می‌آورد، بلکه با تحلیل داده‌های ابرنقطه‌ای، می‌توان آسیب‌هایی مانند نشست، واگرایی و انحراف از محور را نیز با دقت بالا تشخیص داد. با بهره‌گیری از دستگاه Stonex X300، دو نمونهٔ موردی شامل مسجد جامع تسوج و دودکش کارخانهٔ چرم خسروی تبریز مورد برداشت و تحلیل قرار گرفتند.

در پژوهش صورت گرفته در ابتدا مسجد جامع تسوج، کارآمدی این فناوری علاوه بر امر مدل‌سازی و برداشت هندسه در بحث آسیب شناسی و بررسی علل آسیب‌های موجود در بنا به‌وضوح دیده می‌شود. با توجه به آنچه که پیش از این گفته شد، با بررسی مدل ایجادشده از این مسجد با استفاده از فناوری اسکن لیزری سه‌بعدی این بنا در جدارهٔ غربی دارای خروج از صفحهٔ حدود ۱۵سانتی‌متری بوده، همچنین در بررسی‌های انجام‌شده، وجود شیب حدود ۱٪ در دیوارهای شرقی و غربی نشان‌دهندهٔ وجود نشست در بخش جنوبی این بنا می‌باشد. در نمونهٔ مسجد جامع تسوج، اسکن لیزری منجر به شناسایی انحراف حدود ۱۵ سانتی‌متر در دیوار غربی و نشستی در جنوب بنا شد که با چشم غیرمسلح قابل‌مشاهده نبود. از این رو، در این نمونه کارایی استفاده از فناوری اسکن لیزری سه‌بعدی علاوه بر بحث مدل‌سازی و برداشت سریع و دقیق‌تر هندسه، در بخش آسیب‌شناسی و همچنین تحلیل علل آسیب‌های محسوس و نامحسوس بنا مشخص گردید.

هندسه و مدل بناهای موردمطالعه با استفاده از فناوری لیزر اسکنر سه‌بعدی به دست آمد. در پروژهٔ کارخانهٔ چرم خسروی، مدل سه‌بعدی دودکش نشان‌دهندهٔ تغییر ضخامت جداره از قاعده به رأس بود که برای تحلیل‌های لرزه‌ای و طراحی تقویت ضروری است. با توجه به ارتفاع زیاد دودکش کارخانهٔ چرم خسروی استفاده از اسکن لیزری سه‌بعدی روشی کارآمد جهت به دست آوردن هندسه و مدل ابتدایی سازه بوده تا نهایتاً از این اطلاعات برای انجام مدل‌سازی عددی، تحلیل‌های سازه‌ای در نرم‌افزارهای المان محدود و نهایتاً طراحی مداخلات حفاظتی استفاده گردد براساس مدل‌سازی صورت گرفته و مراحلی که در بخش‌های قبلی به آن اشاره گردید، هندسه دودکش بنایی صنعتی مورد مطالعه، یک مخروط ناقص توخالی به ارتفاع ۲۵۸۵۶ میلی‌متر و پایهٔ هشت‌ضلعی به ارتفاع ۶۰۱۴ میلی‌متر است. قطر خارجی در تراز پایهٔ ۴۵۸۷ میلی‌متر و در تراز رأس ۱۹۰۰ میلی‌متر بوده و ضخامت جدارهٔ آن از ۱۰۰۰ میلی‌متر در پایه تا ۴۰۰ میلی‌متر در رأس و به‌طور یکنواخت متغیر است. همچنین در نمونهٔ موردی دیگر که در این پژوهش مورد بحث و بررسی قرار گرفت، نتایج این تحقیق تأیید می‌کند که استفاده از فناوری‌های نوین مانند اسکن لیزری سه‌بعدی، می‌تواند فرآیند آسیب‌شناسی را دقیق‌تر، سریع‌تر و علمی‌تر کرده و به طراحی مداخلات حفاظتی مؤثر منجر شود.

سپاسگزاری: موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است.

مشارکت نویسندگان: میزان مشارکت نویسندگان در مقالهٔ فوق به شرح زیر است: صفیه نامی و نیوشا غنینی: مفهوم‌سازی، روش‌شناسی، نوشتن پیش‌نویس اصلی، جمع‌آوری داده‌ها، مدل‌سازی، تحلیل فرهاد آخوندی: بررسی و ویرایش، جلب اعتبار مالی، مدیریت پروژه

تأمین مالی: این پژوهش هیچ بودجهٔ خارجی دریافت نکرده است

تضاد منافع: نویسندگان هیچ‌گونه تضاد منافع را اعلام نمی‌کنند.

دسترسی به داده ها و مواد: داده‌های ارائه‌شده در این مطالعه در صورت درخواست از نویسندهٔ مسئول در دسترس هستند.

References

Arayici Y Hamilton A & Gamito P 2006 Modelling 3D scanned data to visualise and analyse the built environment for regeneration Surveying and Built Environment 17 2 7-28

Asafi M & Radmehr M 2014 Improving the rehabilitation of physical heritage in the technical and architectural conservation domain with an approach of reconciling two viewpoints Iranian Islamic City Studies 16 29-41 [in Persian]

[DOI: 10.66224/jra.2025.11.209]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 19:22 +0330 on Sunday November 22nd 2026

conservation Three-dimensional 3D laser scanning and geographical information system GIS techniques for thematic mapping of facade stonework of St Nicholas Church Pisa Italy International Journal of Architectural Heritage 10 1 9-19 https://doi.org/10.1080/15583058.2014.924605

Nabii A 2003 Tasuj through history pp 200-204 [in Persian]

Nami S 2022 Seismic evaluation and strengthening of chimneys of Khosravi Leather Factory Tabriz Islamic Art University Faculty of Architecture and Urban Planning Department of Architecture Master's thesis [in Persian]

Napolitano R K Hess M & Glisic B 2019 The foundation walls of the Baptistery Di San Giovanni A combination of laser scanning and finite-distinct element modeling to ascertain damage origins International Journal of Architectural Heritage 13 3 357-373 https://doi.org/10.1080/15583058.2019.1582726

Narangi M Beiti H Roshan M & Sani H 2014 Documentation of conservation activities in Building No 2 of Khosravi Leather Factory Complex in Tabriz In Second International Congress on Structure Architecture and Urban Development December 16-18 2014 Tabriz wwwicsauir [in Persian]

NejadEbrahimi A Farkhi Sh & Shabahang M 2018 Typology of industrial factories architecture of the First Pahlavi period in Tabriz Naqshejahan 9 1 33-44 [in Persian]

Pakzad J 2010 The course of ideas in architecture Tehran [in Persian]

Pritchard D Sperner J Hoepner S & Tenschert R 2021 Terrestrial laser scanning for heritage conservation the Cologne Cathedral documentation project Journal of Cultural Heritage 55 123-135

Rajabi M & Mozaffari A 2011 Tehran Jamal Honar [in Persian]

Ranjbar D Nabipour I Shirvais E Hashemi E & Mirzaei K 2007 Pathology of the historic-cultural architectural fabric of Bushehr from the perspective of urban planning culture and health Journal of Southern Medicine 1 82-90 [in Persian]

Ruskin J 1849 The seven lamps of architecture London

Sadavandi M & Kalantari M 2020 Levels of conservation of architectural heritage Iranian Journal of Conservation and Architecture 24 31-42 [in Persian]

Selbesoglu M O Bakirman T & Gokbayrak O 2021 Deformation measurement using terrestrial laser scanner for cultural heritage In ISPRS

Balado J Díaz-Vilariño L Azenha M & Lourenço P 2021 Automatic detection of surface damage in round brick chimneys by finite plane modelling from terrestrial laser scanning point clouds Case study of Bragança Dukes' Palace Guimarães Portugal International Journal of Architectural Heritage 15 2 156-175 https://doi.org/10.1080/15583058.2021.1925779

Brandi C 1963 Theory of restoration Italy ICCROM Publications

Bru D Reynau R Baeza F J & Ivorra S 2018 Structural damage evaluation of industrial masonry chimneys Materials and Structures 51 34 1-16

Ebrahim M 2014 3D laser scanners History applications and future Assiut University

Fadaei H 2024 Review of laws methods and documentation tools in international documents related to cultural heritage conservation and management Conservation and Restoration Knowledge 7 2 1-28 [in Persian]

Feilden B 2014 Conservation of historic buildings Translated by Mohammad Mahdi Houshyari Tehran Tahan [in Persian]

Feilden B M 2003 Conservation of historic buildings Routledge

Feilden B & Jokilehto J 2003 Management guidelines for cultural heritage sites Translated by Sussan Cheraghchi Tehran Research Institute of Cultural Heritage Organization [in Persian]

Fielding Bernard & Yukilehto J 2003 Guidelines for management of cultural heritage sites Translated by Sosan Cheraghchi Tehran Cultural Heritage Organization

Guarnieri A Milan N & Vettore A 2013 Monitoring of complex structures for structural control using terrestrial laser scanning TLS and photogrammetry International Journal of Architectural Heritage Conservation Analysis and Restoration 7 1 54-67 https://doi.org/10.1080/15583058.2011.606595

ICOMOS 1994 The NARA document on authenticity Available at https://www.icomos.org/en/179-articles-en-francais/ressources/charters-and-standards/386-the-nara-documenton-authenticity-1994 Accessed 13 Sep 2024

Jokilehto J 2008 History of architectural conservation Translated by Mohammad Hossein Talebian & Khashayar Bahari Tehran Rozaneh [in Persian]

Lezzerini M Antonelli F Columbu S Gadducci R Marradi A Miriello D Parodi L & Secchiari L 2016 Cultural heritage documentation and

[DOI: 10.66224/jra.2025.11.209]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 19:22 +0330 on Sunday November 22nd 2026

Archives – International Archives of the Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences XLVI-M-1-2021 331-338 https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVI-M-1-2021-331-2021

Takhirov M S Gilani A Quigley B & Myagkova L 2018 Assessment of seismic vulnerability and retrofit strategies of a historic building on the Great Silk Road based on its current condition captured by laser scans International Journal of Architectural Heritage https://doi.org/10.1080/15583058.2018.1497231

Vatan M Oğuz Selbesoğlu M & Bayram B 2009 The use of 3D laser scanning technology in preservation of historical structures XIIIth Scientific Technical Conference REMO2009 – Repair Conservation and Strengthening of Traditionally Erected Buildings and Historic Buildings 659-669

Vatan M Selbesoğlu M O & Bayram B 2022 The use of 3D laser scanning technology in preservation of historical structures Technical Transactions 7 7 113-128 https://doi.org/10.37705/TechTrans.2022.7.8

Viollet-le-Duc E 1858 Dictionnaire raisonné de l'architecture française du XIe au XVIe siècle Paris

آصفی، مازیار؛ رادمهر، مهسا. (۱۳۹۳). ارتقای بهسازی میراث کالبدی، در حوزهٔ فنی و مرمت معماری با رویکرد تفاهم بخشی دو دیدگاه. مطالعات شهر ایرانی اسلامی، ۱۶، ۴۱-۲۹.

پاکزاد، جهانشاه. (۱۳۸۹). سیر اندیشه‌ها در معماری. تهران:

رضازاده اردبیلی، مجتبی؛ رضازاده اردبیلی، رومینا. (۱۳۹۶). مطالعه و شناخت اثر تاریخی به منظور دستیابی به اصول مرمتی در شهر قزوین (مطالعه موردی: خانه اسدی در محله دیمج). در پنجمین کنگره بین المللی عمران، معماری و توسعه شهری، ۵ تا ۷ دی ۱۳۹۶ تهران.www.5icsau,com

رنجبر، داریوش؛ نبی پور، ایرج؛ شیرویس، عماد؛ هاشمی، عنایت؛ میرزایی، کامران. (۱۳۸۶). آسیب شناسی بافت معماری تاریخی–فرهنگی بندر بوشهر از دیدگاه شهرسازی، فرهنگی و بهداشت. دو فصلنامه طب جنوب، ۱، ۸۲-۹۰.

سر برنارد فیلدن. (۱۳۹۳). حفاظت از بناهای تاریخی (ترجمه محمد مهدی هوشیاری). تهران: طحان

سعدوندی، مهدی؛ کلانتری، مائده. (۱۳۹۹). مراتب حفاظت از میراث معماری. فصلنامه علمی مرمت و معماری ایران، ۲۴، ۳۱-۴۲.

فدایی حمید. (۱۴۰۳). بررسی قوانین، روش‌ها و ابزار مستندسازی در اسناد بین‌المللی مرتبط با حفاظت و مدیریت میراث فرهنگی. دانش حفاظت و مرمت.; ۷ (۲): ۲۸-۱

فیلدن، برنارد؛ یوکیلهتو، یوکا. (۱۳۸۲). رهنمودهای مدیریت برای محوطه‌های میراث فرهنگی (مترجم: سوسن چراغچی). تهران: اداره کل آموزش، پژوهشگاه سازمان میراث فرهنگی کشور.

محمد رجبی، اکرم مظفری. (۱۳۹۰). تهران: جمال هنر

نارنگی، مهدی؛ بیتی، حامد؛ روشن، مجتبی؛ ثانی، حسن. (۱۳۹۳). مستندسازی فعالیت‌های مرمتی ساختمان شمارهٔ ۲ مجموعهٔ چرم خسروی تبریز. در دومین کنگرهٔ بین‌المللی سازه، معماری و توسعه شهری، ۲۵ تا ۲۷ آذر ۱۳۹۳، تبریز.www.icsau.ir

نامی، صفیه. (۱۴۰۱). بررسی لرزه‌ای و استحکام بخشی دودکش¬های کارخانه چرم خسروی (دانشگاه هنر اسلامی تبریز). پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، دانشکده معماری و شهرسازی، گروه معماری.

نبیی، عباس. (۱۳۸۲). تسوج در گذر تاریخ، ۲۰۰-۲۰۴.

نژادابراهیمی، احد؛ فرخی، شهین؛ شباهنگ، مهسا. (۱۳۹۷). الگوشناسی معماری کارخانه‌های صنعتی پهلوی اول در تبریز. نقش جهان، ۹(۱)، ۳۳-۴۴.

یوکیلهتو، یوکا. (۱۳۸۷). تاریخ حفاظت معماری (ترجمه: محمدحسین طالبیان، خشایار بهاری). تهران: روزنه.

Nami, S., Ghanini, N., & Akhoundi, F. (2025). Pathology and 3D Documentation of Historic Building Using Laser Scanning Technology: Case Studies of Tasoj Jame Mosque and Khosravi Leather Factory Chimney in Tabriz, *Journal of research on Archaeometry, 11*(2), 11209. DOI: 10.66224/jra.2025.11.209