دریافت: ۱۷ خرداد ۱۴۰۴ تاریخ پذیرش: ۶ آذر ۱۴۰۴ صفحات ۱ الی ۲۴

کاربرد ترموگرافی در نگه‌داری از ساختمان‌ها و جلوگیری از اتلاف انرژی

مهدی ثقفی[۱]

استادیار گروه مهندسی مکانیک، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بناب، بناب، ایران
msaghafi@ubonab.ac.ir

علیرضا علیزاده میلانی

کارشناسی رشته مهندسی مکانیک، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بناب، بناب، ایران
a.milani8186@gmail.com

چکیده:

تأمین انرژی یکی از اصلی‌ترین چالش‌ها در دنیای امروزی است. با وجود پیشرفت‌های صورت گرفته در استفاده از منابع انرژی پاک، هنوز هم سهم بزرگی از تولید توان با سوزاندن سوخت‌های فسیلی تأمین می‌شود که با انتشار گازهای آلاینده همراه است. بخش عمده‌ای از انرژی تولیدی، در ساختمان‌ها به مصرف می‌رسد و کاهش اتلاف انرژی در این بخش، می‌تواند گامی مؤثر در جهت کاهش انتشار گازهای آلاینده باشد. بازرسی و تشخیص زودهنگام عیوب در اجزای مختلف ساختمان نظیر بازشوها، تأسیسات گرمایشی و سرمایشی، تأسیسات الکتریکی و تأسیسات بهداشتی، می‌تواند منجر به کاهش اتلاف انرژی در حین بهره‌برداری از ساختمان‌ها شود. دوربین‌های ترموگرافی ابزاری مناسب جهت تشخیص خرابی‌های مرتبط با تغییر دما هستند که می‌توانند بدون نیاز به تماس مستقیم در بازرسی از تجهیزات مختلف ساختمان‌ها مورد استفاده قرار گیرند. در این پژوهش، جهت تشخیص محل دقیق عیوب و خرابی‌های مرتبط با تغییر دما در پنجره‌ها، تأسیسات گرمایشی، الکتریکی و بهداشتی موجود در ساختمان‌های پردیس اصلی دانشگاه بناب، از روش ترموگرافی استفاده شده است. بررسی نتایج نشان می‌دهد که توزیع غیرعادی دما در محل خرابی‌ها می‌تواند به طور مؤثری برای تشخیص عیوب در تجهیزات مختلف ساختمان استفاده شود. همچنین، روش ترموگرافی می‌تواند به عنوان یک روش سریع، ارزان و دقیق در برنامه‌ریزی و اولویت‌بندی اقدامات لازم برای تعمیرات و نگه‌داری بخش‌های مختلف ساختمان‌ها مورد استفاده قرار گیرد و منجر به کاهش هزینه‌های بهره‌برداری شود.

واژه‌های کلیدی: ترموگرافی، ساختمان، اتلاف انرژی، اختلاف دمایی

[۱] نویسنده مسئول

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-28]

۱. مقدمه

۱.۱. بیان مسئله

امروزه سهم قابل‌توجهی از انرژی تولید شده در جهان، جهت تأمین نیازهای گرمایشی، سرمایشی، روشنایی و ... در ساختمان‌ها به مصرف می‌رسد (González-Torres, Pérez-Lombard, Coronel, Maestre, & Yan, 2022; Khakimotnag & Ahmadzadeh Talatapeh, 2023). با رشد روز افزون جمعیت و افزایش شهرنشینی تقاضا برای انرژی در این بخش نیز به شدت در حال افزایش است (Boogen, Datta, & Filippini, 2021). با وجود پیشرفت‌های چشمگیر فناوری در زمینه انرژی‌های تجدیدپذیر و پاک، هنوز هم سهم قابل توجهی از تولید انرژی با سوزاندن سوخت‌های فسیلی انجام می‌شود (Moazen & Saghafi, 2023). استفاده بیشتر از سوخت‌های فسیلی منجر به رهاسازی بیشتر گازهای آلاینده محیط‌زیست شده و روند گرمایش کره زمین را تسریع می‌کند (Saghafi & Hajiabdollahi Mamaghani, 2024). در سال ۲۰۱۹، بخش ساختمان به تنهایی با مصرف انرژی حدود یک سوم انرژی جهان، منجر به انتشار حدود ۱۹٪ از کل CO_2 شده است (González-Torres et al., 2022). یکی از راه‌حل‌ها برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌ها است.

استفاده از مصالح با کیفیت بالا، ساخت بر مبنای اصول مهندسی، و ارزیابی‌های حین و پس از ساخت نیز می‌تواند به صورت قابل ملاحظه‌ای موجب کاهش هزینه‌های مربوط به مصرف انرژی ساختمان‌ها شود (Arabsolghar, Rabiee, Iranmanesh, & shafiey dehaj, 2023; Gupta & Chakraborty, 2021). جهت افزایش بهره‌وری یا بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌ها، نیاز است تا بازرسی‌های لازم، قبل و پس از شروع بهره‌برداری ساختمان‌ها انجام شود (Zhao, Abdul Aziz, Deng, Ujang, & Xiao, 2024). بازرسی‌های پس از اتمام فرآیند ساخت، به منظور حصول اطمینان از کاربرد صحیح مصالح با کیفیت بالا و ساخت بر مبنای اصول مهندسی است؛ تا هزینه‌های مربوط به مصرف انرژی ساختمان‌ها در حین بهره‌برداری کاهش یابد (Al Mughairi, Beach, & Rezgui, 2023). از طرفی، با افزایش عمر ساختمان‌ها، کیفیت مصالح و تجهیزات استفاده شده نیز کاهش می‌یابد و نیاز به

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-28]

بهبود و نوسازی پیدا می‌کنند (Azizi, Mashayekh, Mehdizadeh, & Yazdani, 2024; Dabbagh, Javid, Sobhani, Aghayi, & Parsa, 2021; Eskandarzadeh Sabet & Torkaman, 2019; Taki & Zakharanka, 2023). انجام بازرسی‌های لازم در حین بهره‌برداری ساختمان‌ها می‌تواند موجب تشخیص، اولویت‌بندی، برنامه‌ریزی و انجام بهینه اقدامات مورد نیاز برای تعمیرات و نگه‌داری ساختمان شود و از هدر رفت انرژی با افزایش طول عمر (فرسودگی) ساختمان بکاهد. یکی از ابزارهای بسیار مفید در اجرای تعمیرات و نگه‌داری ساختمان‌ها، دوربین ترموگرافی است (Tabet Aoul, Hagi, Abdelghani, Syam, & Akhozheya, 2021). با استفاده از این ابزار و بر مبنای اختلاف دمای نقاط مختلف می‌توان به صورت بلادرنگ عیوب و خرابی‌های مربوطه را تشخیص داد (Mauriello, Chazan, Gilkeson, & Froehlich, 2017).

۲.۱. مرور تاریخچه پژوهش

دوربین ترموگرافی یکی از کاربردی‌ترین ابزارها، در ارزیابی‌های غیرمخرب تجهیزات مرتبط با پدیده انتقال حرارت است (Mauriello, Norooz, & Froehlich, 2015). با تصویر ارائه شده این دوربین‌ها، می‌توان تفکیک مابین حالت کار عادی و حالت خرابی تجهیزات را از روی توزیع دمایی در نقاط مختلف تشخیص داد (Łopata & Kocot, 2017). با توجه به اینکه برای تهیه این تصاویر نیازی به تماس با سطوح و یا نزدیک شدن به تجهیزات نیست، این وسیله ابزاری بسیار کاربردی برای بازرسی تجهیزات در حین کار است که می‌تواند در شرایط محیطی خطرناک نظیر دمای زیاد یا ولتاژ بالا، ایمنی لازم را برای بازرسی ایجاد کند. به‌علاوه، هزینه پایین و سرعت بالا در تشخیص عیوب از دیگر مزایای استفاده از دوربین‌های ترموگرافی است که منجر به کاربرد گسترده این ابزار در انجام تعمیرات و نگهداری پیشگیرانه شده است (Martin, Chong, Biljecki, & Miller, 2022).

امروزه دوربین‌های ترموگرافی در زمینه‌های مختلف نظیر خودروسازی، پتروشیمی، صنایع غذایی، کشاورزی، تشخیص پزشکی، نیروگاهی و صنعت ساختمان به صورت گسترده استفاده می‌شوند. در صنعت خودروسازی از دوربین ترموگرافی می‌توان برای کنترل عملکرد صحیح سیستم گرمایش کابین خودرو، ترمزها، چرخ‌ها و گرم‌کن صندلی‌ها استفاده کرد (Srajbr, Tanasie, Dilger, &

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-28]

BÖhm, 2011). در صنایع پتروشیمی و پالایشگاهی، علاوه بر بازرسی خطوط انتقال فرآورده‌های نفتی با استفاده از این دوربین‌ها، می‌توان ارتفاع دقیق نفت خام، آب و مواد ته‌نشین شده در مخازن را به هنگام جداسازی اولیه تعیین کرد (Chen, Guo, Li, & Wei, 2024). در تشخیص پزشکی با استفاده از تصویربرداری ترموگرافی، می‌توان وجود توده‌های سرطانی نزدیک به پوست را شناسایی کرد (Kesztyüs, Brucher, Wilson, & Kesztyüs, 2023). توده‌های سرطانی به علت نرخ تکثیر بالا حرارت بیشتری نسبت به سایر قسمت‌های بدن تولید می‌کنند و دمای بالاتری دارند (Jasti et al., 2019). در صنایع غذایی، می‌توان از دوربین‌های ترموگرافی برای بررسی تغییرات دمایی و میزان رطوبت طی فرآیند خشک کردن میوه و سبزی‌ها بدون ایجاد تماس استفاده کرد (Pasban, Sadrnia, shahidi, & Mohebbi, 2022). در صنایع نیروگاهی نیز از دوربین‌های حرارتی می‌توان در بازرسی و تشخیص عیوب در تجهیزات حامل جریان الکتریکی استفاده کرد (Balakrishnan et al., 2022; Du, He, He, & Zhang, 2020). در صنعت ساختمان نیز از دوربین‌های ترموگرافی علاوه بر ممیزی انرژی، می‌توان در بازرسی از تجهیزات گرمایشی، سرمایشی، بهداشتی و الکتریکی ساختمان نیز استفاده کرد (Kim, Lamichhane, Kim, & Shrestha, 2023; Kylili, Fokaides, Christou, & Kalogirou, 2014).

۳.۱. نوآوری پژوهش

نوآوری پژوهش جاری پرداختن خاص به کاربرد ترموگرافی در صنعت ساختمان و پوشش زمینه‌های مختلف کاربرد آن در اجزای مختلف ساختمان شامل پنجره‌ها، تأسیسات گرمایشی، الکتریکی و بهداشتی است. توجه به پژوهش‌های پیشین در مراجع مرور و دسته‌بندی شده در بخش ۲ مقاله، نشان می‌دهد که اغلب پژوهش‌های انجام گرفته در این حوزه، محدود به یکی از کاربردها در تجهیزات گرمایشی، بهداشتی و الکتریکی است و به صورت جامع به کاربرد ترموگرافی در صنعت ساختمان پرداخته نشده است. در این پژوهش ضمن ارائه روش استفاده از ترموگرافی در تجهیزات مختلف برای جلوگیری از اتلاف انرژی در صنعت ساختمان، نتایج تجربی استفاده از این روش نیز ارائه و ارزیابی شده است. به طور خلاصه از نقاط قوت این مقاله می‌توان به جامع بودن آن برای تجهیزات مختلف

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-28]

موجود در صنعت ساختمان و پیاده‌سازی عملی آن اشاره کرد و از نقاط ضعف آن می‌توان به عدم ارائه نتایج برای خطا در تأسیسات الکتریکی بررسی شده (به علت عدم وجود خرابی در زمان بازرسی) اشاره کرد. در بخش ۳ به اصول حاکم بر ترموگرافی پرداخته شده است. در بخش ۴ نیز، به منظور بهره‌گیری از مزایا و ویژگی‌های این ابزار در تشخیص هرگونه خرابی و تلفات انرژی در صنعت ساختمان، نتایج تصویربرداری حرارتی از پنجره‌ها، تأسیسات گرمایشی، بهداشتی و الکتریکی ساختمان‌های موجود در پردیس اصلی دانشگاه بناب ارائه و بحث شده است. در انتها، جمع‌بندی در بخش ۵ مقاله انجام شده است.

۲. کاربردهای دوربین ترموگرافی در صنعت ساختمان

در این بخش کاربردهای تصویربرداری حرارتی در قسمت‌های مختلف صنعت ساختمان در ۴ گروه (۱) تشخیص نشت حرارتی از طریق بازشوها (پنجره‌ها، درها و ...)، (۲) بررسی اتلاف حرارتی از تأسیسات حرارتی و برودتی، (۳) تشخیص خرابی در تأسیسات الکتریکی و (۴) تشخیص نشتی از تأسیسات بهداشتی دسته‌بندی گردیده‌اند.

۱.۲. تشخیص نشت حرارتی از طریق بازشوها:

بازشوهایی نظیر پنجره‌ها و درها به علت نیاز به باز و بسته شدن مکرر در حین بهره‌برداری و همچنین داشتن ساختار سبک و شفاف می‌توانند تأثیر زیادی در اتلاف حرارتی ساختمان‌ها داشته باشند (Sadhukhan et al., 2020). جلوگیری از جریان هوای کنترل نشده (نشت یا نفوذ) از طریق بازشوها می‌تواند بهره‌وری انرژی را به شکل قابل توجه افزایش دهد (Janotte et al., 2024). به عبارتی اتلاف انرژی در فصول گرم به صورت نفوذ هوای محیط به داخل ساختمان و کاستن از سرمای ایجاد شده توسط سیستم سرمایشی است، و در فصول سرد به شکل خروج هوای گرم ایجاد شده توسط سیستم گرمایشی به محیط بیرون است (Namazian & Sepehri, 2016). جریان کنترل نشده هوا از بازشوها می‌تواند ناشی از وجود شکستگی یا ترک در سازه، نقص نشت‌بندی و اشکال در یراق‌آلات آن‌ها

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-28]

باشد، یا از طریق درزهای مسدود نشده مابین دیوار و سازه بازشو باشد. نقص نشت‌بند می‌تواند در اثر کشیدگی، لهیدگی و پاره‌شدگی باشد و سبب نفوذ هوا شود. نصب غیر صحیح یراق‌آلات و همچنین تغییر شکل یا شکستگی آن‌ها در طول مدت بهره‌برداری، از دیگر عواملی هستند که منجر به ایجاد فاصله بین اجزای بازشو شده و در نتیجه اتلاف حرارتی را افزایش می‌دهند (O'Grady, Lechowska, Harte, & Buildings, 2018). با توجه به اینکه در تمامی موارد فوق به علت نشت کنترل نشده هوا، اختلاف دما مابین محل‌های وقوع خرابی و سایر نقاط وجود خواهد داشت، می‌توان با استفاده از دوربین‌های حرارتی محل خرابی را به سرعت تشخیص داد (Feng, Shen, Shrestha, & Hun, 2024; Tabet Aoul et al., 2021; Zheng, Gao, Zhong, & Zhao, 2022).

۲.۲. بررسی اتلاف حرارتی از تأسیسات حرارتی و برودتی:

حدود ۳۶٪ از مصرف انرژی در بخش ساختمان مربوط به سیستم‌های گرمایش و سرمایش مورد استفاده برای دستیابی به دمای مطلوب در فصول مختلف از سال است (González-Torres et al., 2022) که با توجه به سهم بخش ساختمان (یک سوم)، ۱۲٪ از کل انرژی مصرفی جهان را شامل می‌شود (Devkota, Rasul, Chowdhury, & Azad, 2025). علاوه بر استفاده از تجهیزات پر بازده در سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی، توجه به میزان هدر رفت انرژی از قسمت‌های مختلف نیز اهمیت ویژه‌ای در بهینه‌سازی مصرف انرژی و افزایش بهره‌وری دارد (Wi, Kim, Chang, Berardi, & Kim, 2024). تأسیسات سیستم‌های سرمایش و گرمایش ساختمان دارای اختلاف دمای قابل توجهی نسبت به سایر قسمت‌های ساختمان هستند و عایق‌کاری مناسب این قسمت‌ها سبب کاهش مصرف انرژی و هزینه‌های پرداختی مرتبط با آن می‌شود (Saleem & Ugalde-Loo, 2025).

انتقال حرارت همواره از دمای بیشتر به کمتر صورت می‌گیرد، هرچقدر اختلاف دمایی زیاد باشد پدیده انتقال تسریع پیدا می‌کند. بالا بودن دمای اجزای تأسیسات گرمایشی و پایین بودن دمای اجزای تأسیسات سرمایشی، عامل اصلی اتلاف انرژی در این سیستم‌ها است (Guan et al., 2022). راه‌کار مناسب برای جلوگیری از هدر رفت انرژی، ایجاد مانع در اجزای مختلف سیستم جهت کاهش انتقال حرارت هست. عایق‌کاری سطوح مختلف نظیر لوله‌های رفت و برگشت انتقال سیال و دیگ‌های

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-28]

سیستم گرمایش با مواد دارای ضریب رسانش حرارتی پایین‌تر، مناسب‌ترین کار جهت جلوگیری از اتلاف حرارت است (Lakatos, 2023). وجود هرگونه پارگی در عایق و فرسودگی در اثر گذر زمان موجب تماس هوا با سطوح گرم‌تر یا سردتر شده و انتقال حرارت را افزایش خواهد داد. بررسی و شناسایی نقاط دارای اختلاف دمایی بالا می‌تواند به راحتی با استفاده از دوربین‌های ترموگرافی انجام شود و محل‌های ضعیف از نظیر عایق‌کاری تعیین شود (Lu et al., 2025). در تأسیسات گرمایش مرکزی که تأمین‌کننده گرمایش چندین ساختمان مجاور هم هستند نیز می‌توان با استفاده از ترموگرافی مسیر خطوط لوله، خرابی‌های منجر به نشت حرارتی را در محوطه بیرونی ساختمان تشخیص داد (Sledz, Unger, & Heipke, 2020).

۳.۲. تشخیص خرابی در تأسیسات الکتریکی:

بخش دیگری از ساختمان که اهمیت ویژه‌ای دارد و عدم توجه به آن می‌تواند خطرساز باشد، تأسیسات الکتریکی ساختمان است. با توجه به اینکه تأمین انرژی تمامی مصرف‌کننده‌های الکتریکی در ساختمان توسط تأسیسات الکتریکی صورت می‌پذیرد، بازرسی‌های دوره‌ای و تعمیرات تجهیزات به کار رفته در این سیستم جهت افزایش بهره‌وری و قابلیت اطمینان، همچنین برای افزایش ایمنی ساختمان الزامی است (Caciotta, Leccese, Spagnolo, & Cozzella, 2014). عدم رعایت استانداردها به هنگام توزیع جریان الکتریسیته می‌تواند موجب اتلاف انرژی شود، تلفات صورت گرفته در این بخش بدین صورت است که انرژی الکتریکی به جای منتقل شدن، از سیم یا سایر تجهیزات به کار رفته در سیستم توزیع جریان الکتریسیته موجب تولید گرما شود. عامل اصلی بروز این پدیده، عبور جریان اضافی هست، اگر جریان عبوری بیش‌تر از حد توان این سیم باشد، قسمتی از انرژی عبوری به انرژی گرمایی تبدیل می‌شود، نهایتاً این موضوع منجر به افزایش غیر معمول دما و کاهش ایمنی می‌شود (Abdelmalik, Muhammed, Muhammad, Ismaila, & Aliyu, 2020). علاوه بر اضافه جریان، مشکلاتی همچون وجود اتصال کوتاه در مسیر توزیع جریان، شل بودن اتصالات، خرابی قطعات واسط و عدم تعادل بار، همگی با تولید گرمای غیرطبیعی همراه خواهد بود، عدم توجه به این مشکلات بخصوص در زمان اوج مصرف می‌تواند موجب قطعی‌های ناخواسته

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-28]

جریان الکتریکی و آسیب رسیدن به مصرف‌کننده‌ها شود (Huda & Taib, 2013; Jadin, Taib, & Kabir, 2011). برای جلوگیری از وقوع برخی آسیب‌ها و حوادث جبران ناپذیر، بازدیدهای دوره‌ای و برنامه‌ریزی شده از تمامی تجهیزات به کار رفته این سیستم لازم و ضروری هست. به‌کارگیری سیستم نگهداری و تعمیرات به منظور پیشگیری از وقوع حوادث احتمالی در تأسیسات الکتریکی و سایر بخش‌ها صورت می‌پذیرد (Huda, Taib, Jadin, & Ishak, 2012; Sambhi, 2018). در صفحات فتوولتائیک نصب شده در ساختمان‌ها نیز برخی از خرابی‌ها منجر به افزایش دما می‌شود که با استفاده از دوربین ترموگرافی قابل تشخیص است. در مواردی که بازرسی باید در ارتفاع بالا و یا برای تعداد زیادی از صفحات انجام شود، می‌توان از پهبادها برای حرکت برنامه‌ریزی شده دوربین بر فراز صفحات خورشیدی استفاده کرد تا هزینه و زمان اجرای بازرسی به صورت قابل توجهی کاهش یابد (Bakır, Kuzhippallil, & Merabet, 2023).

۴.۲. تشخیص نشتی از تأسیسات بهداشتی:

با توجه به اینکه تأسیسات بهداشتی نظیر آب مصرفی (سرد یا گرم) و فاضلاب به صورت سیستم باز هستند و در صورت وجود نشتی، کاهش فشار در آن‌ها مشابه سیستم‌های بسته نظیر سیستم گرمایشی اتفاق نمی‌افتد. از این رو، تشخیص نشتی در تأسیسات بهداشتی معمولاً دیرتر اتفاق می‌افتد و در این مدت می‌تواند منجر به آسیب‌های قابل توجه به سایر اجزای ساختمان نظیر نازک‌کاری دیوارها وارد کند. ورود رطوبت به سازه‌ها، منجر به بروز تبخیر سطحی و کاهش دمای محسوس در قسمت‌های مرطوب می‌شود. با آگاهی یافتن از وجود اختلاف دما به وسیله دوربین‌های ترموگرافی می‌توان تشخیص محل‌های مرطوب در اثر نشت آب مصرفی یا فاضلاب را در داخل ساختمان انجام داد (Shakmak & Al-Habaibeh, 2015). البته باید توجه داشت که با گذشت زمان از شروع نشتی، انتشار رطوبت در محیط بیشتر شده و تعیین محل دقیق نشتی دشوارتر می‌شود (Yahia et al., 2021). از دوربین‌های ترموگرافی علاوه بر تشخیص نشتی در داخل ساختمان می‌توان برای تشخیص نشتی لوله‌های آب‌رسانی مدفون در زمین نیز استفاده کرد (Fahmy & Moselhi, 2010).

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-28]

۳. اصول روش ترموگرافی

و اجسام در هر دمایی بالاتر از صفر کلوین امواجی الکترومغناطیسی را متناسب با شدت دمایی از خود منتشر می‌کند. این امواج ساطع شده مادون قرمز نام دارند و دارای طول موج حدود ۰.۸ تا ۱۰۰۰ میکرومتر هستند. امواج مادون قرمز خارج از بازه بینایی انسان بوده و با چشم غیرمسلح قابل مشاهده نیست (Khalili, Farahani, & Asghari, 2020). دوربین ترموگرافی ابزاری جهت شناسایی و اندازه‌گیری شدت امواج مادون قرمز ساطع شده از جسم است. این دوربین متشکل از تعداد زیادی حسگر حرارتی هست که هرکدام، دمای قسمت محدودی از دید دوربین را اندازه‌گیری می‌کنند. امواج مادون قرمز منتشر شده پس از دریافت به وسیله دوربین ترموگرافی، توسط حسگرهای موجود به سیگنال‌های الکترونیکی تبدیل می‌شوند. این سیگنال‌ها پس از تجزیه و تحلیل، به کدهای رنگی تبدیل می‌شوند تا به صورت تصاویر رنگی بر روی نمایشگر دوربین نمایش داده شوند. شدت امواج منتشر شده از هر جسم بستگی به دمای سطح، ضریب انتشار و دمای محیط به هنگام تصویربرداری است (Hasani, Akbari, Behravesh, & Faraji Kalajahi, 2022). برای محاسبه شدت امواج مادون قرمز منتشر شده از یک جسم سیاه از رابطه (۱) استفاده می‌شود (Kolagar, Cheraghzadeh, Akbari, & Farahani, 2020):

$$I_{\lambda.b} = \frac{2hc^2}{\lambda^5 \exp\left(\frac{hc}{\lambda KT}\right) - 1} \qquad (۱)$$

در این رابطه h ثابت پلانک، T دمای مطلق ، c سرعت نور، λ طول موج منتشر شده و K ثابت بولتزمن است. با انتگرال‌گیری از این رابطه می‌توان مجموع پرتوهای منتشر شده از جسم سیاه را در تمام طول موج‌ها به دست آورد. مطابق رابطه (۱) می‌توان نتیجه گرفت، هرچقدر یک جسم درجه حرارت بیشتری داشته باشد، میزان امواج مادون قرمز منتشر شده از آن به همان نسبت بیشتر خواهد بود، امواج ساطع شده با طول موج پایین‌تر و فرکانس بالاتر خواهند بود (Hasani et al., 2022).

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-28]

۴. نتایج ترموگرافی بخش‌های مختلف ساختمان‌های پردیس اصلی دانشگاه بناب

در این بخش از مقاله، تصاویر ترموگرافی تهیه شده از بخش‌های مختلف ساختمان‌های موجود در پردیس اصلی دانشگاه بناب آورده شده است. تصاویر ترموگرافی به صورت رنگی از طیف آبی تا قرمز بوده و به همراه تصاویر واقعی جهت تشخیص دقیق محل خرابی ارائه شده‌اند. هر چه اختلاف دمایی بین محل خرابی و سایر نقاط بیشتر باشد، احتمال عدم تشخیص کمتر می‌شود. به این منظور تمام تصویربرداری‌های انجام شده در این پژوهش، در فصل زمستان انجام شده است که دمای هوای بیرون از ساختمان به طور متوسط ۱۲ درجه سانتی‌گراد و دمای محیط داخل ۲۵ درجه سانتی‌گراد بوده است. به هنگام انجام ارزیابی‌های ترموگرافی، تمامی موارد منجر به بروز تداخل در تهیه تصاویر رعایت شده است تا نتایج دارای وضوح بالا بوده و عواملی نظیر تابش مستقیم خورشید و بازتابش حرارتی از بدن انسان و سایر تجهیزات حداقل تأثیر را در نتایج داشته باشند. دوربین ترموگرافی مورد استفاده در این پژوهش از نوع FLIR-E8 با وضوح تصاویر ۲۴۰ * ۳۲۰ نقطه است که می‌تواند از فاصله مناسب تصاویر دمایی با کیفیت بالایی را ارائه کند. دقت این دوربین در محدوده سنجش دمایی ۲۰- درجه سانتی‌گراد تا ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد برابر با ۲± درجه سانتی‌گراد یا ۲± درصد دمای اندازه‌گیری‌شده (هرکدام بزرگ‌تر باشد) است. همچنین، وضوح حرارتی این دوربین در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد برابر با ۰.۰۶ درجه سانتی‌گراد است. با توجه به گواهی کالیبراسیون دستگاه، نتایج سنجش در محیط با دمای ۱۰ تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت ۸۰ درصد، با دقت ۲± درجه سانتی‌گراد یا ۲± درصد دمای اندازه‌گیری‌شده (هرکدام بزرگ‌تر باشد) معتبر هستند. نتایج تصویربرداری، مطابق با تقسیم‌بندی انجام شده در بخش ۲ مقاله، در این بخش نیز برای بازشوها، تأسیسات حرارتی، تأسیسات الکتریکی، و تأسیسات بهداشتی به صورت مجزا ارائه شده است و خرابی‌های مربوط به هر بخش جداگانه مورد بحث قرار گرفته است.

- **بررسی نشت حرارتی از طریق بازشوها:**

در این پژوهش، بازشوهای از نوع پنجره‌های UPVC در دو ساختمان دانشکده علوم و فناوری‌های بین‌رشته‌ای (جدیدالاحداث) و دانشکده فنی و مهندسی (مدت بهره‌برداری در حدود ۱۰ سال) مورد

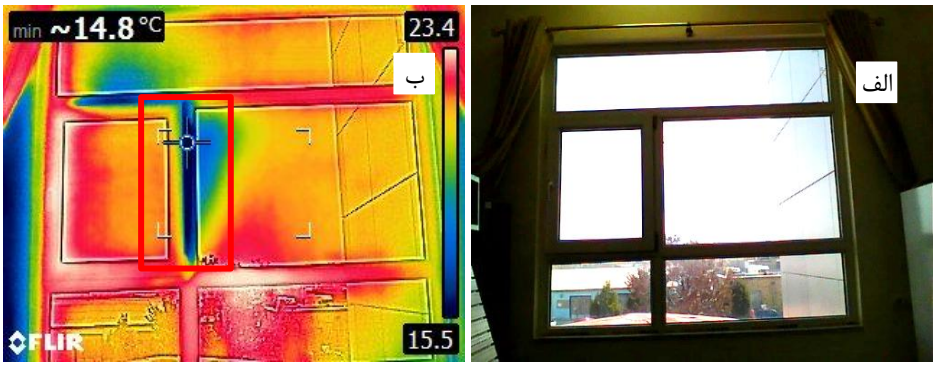
[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-28]

بررسی قرار گرفته‌اند. با توجه به جدیدالاحداث بودن دانشکده علوم و فناوری‌های بین‌رشته‌ای، عیوب مشاهده شده که منجر به اتلاف حرارتی ساختمان می‌شدند، عموماً مربوط به نصب غیر صحیح اجزا و یراق‌آلات پنجره یا درزبندی میان پنجره و دیوار بود که منجر به ایجاد فاصله هوایی و نشت حرارتی می‌گردید. در شکل۱ نمونه نصب غیر صحیح اجزای پنجره در قسمت بازشو که منجر به نفوذ هوای سرد به داخل ساختمان می‌شود، نشان داده شده است. تصویر ترموگرافی شکل۱ نشان می‌دهد که نصب لولا به پروفیل پنجره به درستی انجام نشده است و اتلاف حرارتی از این قسمت نسبت به سایر اجزای پنجره بسیار بیشتر است. در این شکل، حداکثر دمای روی پنجره ۲۳.۴ درجه سانتی‌گراد و حداقل دمای پنجره در محل نفوذ هوای سرد ۱۴.۸ درجه سانتی‌گراد است. لذا نفوذ هوای سرد منجر به کاهش ۳۶.۸ درصدی دما در محل نفوذ هوا شده است. در شکل۲ نیز نمونه عدم درزبندی صحیح مابین دیوار و پروفیل پنجره نشان داده شده است. تصویر ترموگرافی شکل۲ نشان می‌دهد که در گوشه چپ پایین بین دیوار و پروفیل پنجره منفذ عبور هوا وجود دارد و علی‌رغم سالم بودن سایر اجزای پنجره، نفوذ هوای سرد بیرون به داخل ساختمان از این طریق انجام می‌شود. در شکل۲ نیز حداکثر دمای روی پنجره ۱۹.۲ درجه سانتی‌گراد و حداقل دما در محل نفوذ هوای سرد ۱۲.۶ درجه سانتی‌گراد است. مشابه حالت قبل، نفوذ هوای سرد منجر به کاهش ۳۴.۴ درصدی دما در محل نفوذ هوا شده است. در شکل۳ نمونه‌ای از یکی از پنجره‌های سالم آورده شده است که تصویر ترموگرافی نشان می‌دهد که پنجره از نظر اتلاف حرارتی وضعیت قابل قبولی دارد. در این پنجره، حداکثر و حداقل دما به ترتیب برابر با ۲۷ درجه سانتی‌گراد و ۲۰ درجه سانتی‌گراد است که اختلاف دمایی برای حالت عادی پنجره را در حدود ۲۶ درصد نشان می‌دهد.

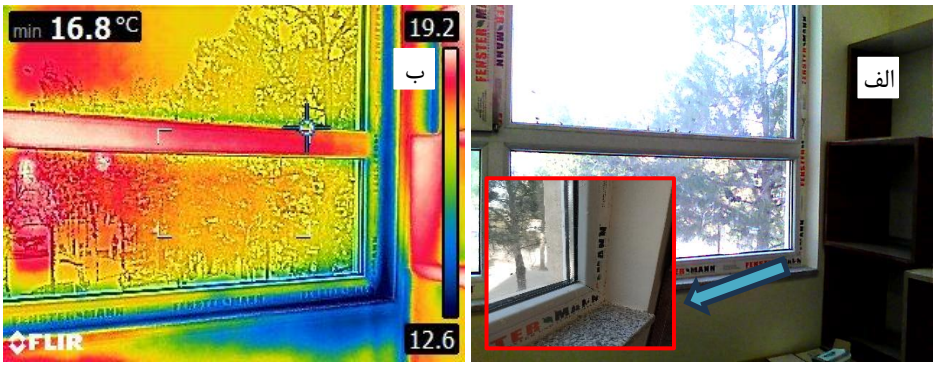
نتایج بازرسی پنجره‌های دانشکده علوم و فناوری‌های بین‌رشته‌ای، نشان می‌دهد که از روش ترموگرافی می‌توان برای ارزیابی کیفیت نصب بازشوها در ساختمان‌های جدیدالاحداث استفاده کرد و عیوب حرارتی را در حین فرآیند تحویل از پیمانکار رفع نمود. این امر منجر به کاهش مصرف انرژی در طول عمر ساختمان شده و بهره‌وری انرژی را افزایش می‌دهد. در دانشکده فنی و مهندسی که از ۱۰ سال قبل مورد بهره‌برداری قرار گرفته است، عموماً عیوب حرارتی مشاهده شده مربوط به فرسودگی (پارگی در لاستیک‌های نشت‌بند و تغییر شکل لولاهای پنجره‌ها) بودند. در شکل۴، نمونه

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-28]

یکی از پنجره‌هایی که هم‌زمان فرسودگی در لاستیک‌های نشت‌بند و لولاهای پنجره‌ها اتفاق افتاده است، نشان داده شده است. رنگ آبی در قسمت‌های بالا و پایین بازشوی پنجره نشان می‌دهد که نشت هوای سرد به طور قابل توجه وجود دارد. در این حالت حداکثر دمای پنجره ۱۵.۶ درجه سانتی‌گراد و حداقل دمای آن ۶.۵ درجه سانتی‌گراد است که کاهش تقریباً ۶۰ درصدی دما ناشی از نفوذ هوای سرد را نشان می‌دهد. با ترموگرافی پنجره‌های ساختمان‌های فرسوده، محل‌های نیاز به تعمیر جهت جلوگیری از اتلاف حرارتی تشخیص داده می‌شود و نسبت به سایر خرابی‌ها می‌توانند در اولویت قرار گیرند تا با محدودیت‌های هزینه‌ای، حداکثر بهره‌وری حاصل شود.

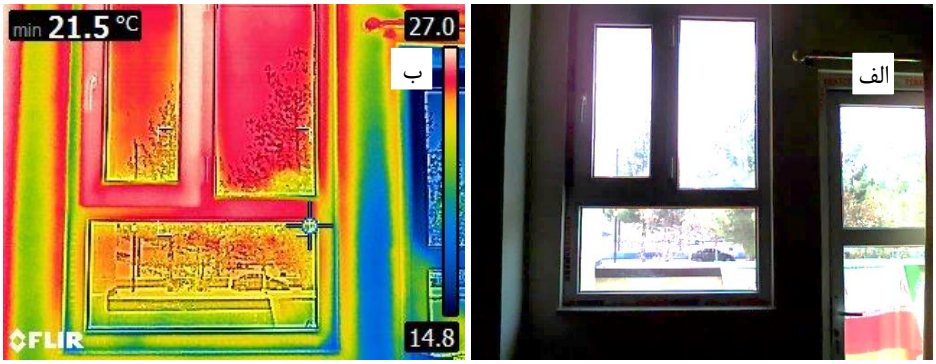


شکل۱. پنجره دارای عیب در قسمت بازشو: الف) تصویر واقعی ب) تصویر ترموگرافی

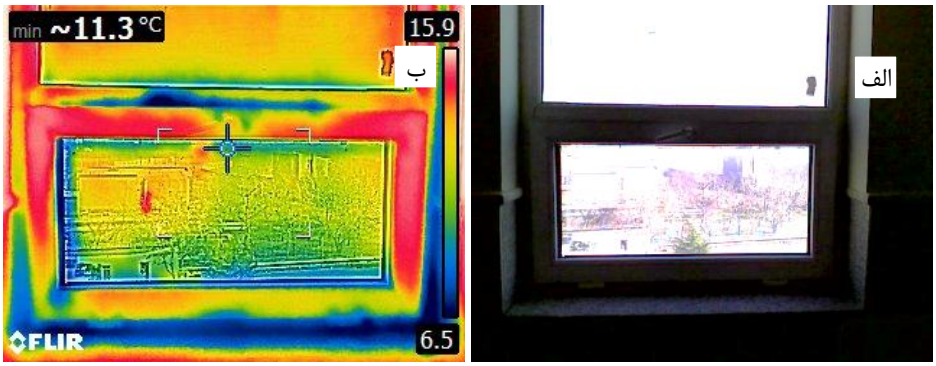


شکل۲. پنجره دارای عیب در محل اتصال بین پروفیل و دیوار: الف) تصویر واقعی، ب) تصویر ترموگرافی

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-28]



شکل۳. پنجره سالم و بدون عیب: الف) تصویر واقعی، ب) تصویر ترموگرافی



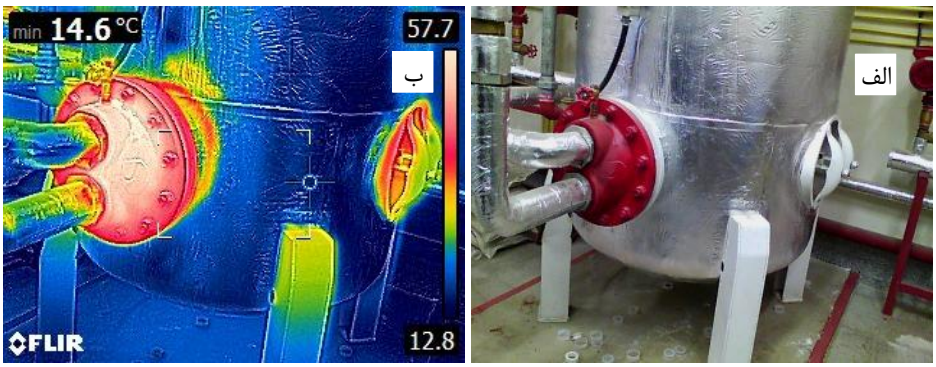
شکل۴. پنجره دچار فرسودگی در لاستیک‌های نشت‌بند و لولاهای پنجره: الف) تصویر واقعی، ب) تصویر ترموگرافی

- **بررسی نشت حرارتی از تأسیسات گرمایشی:**

در ادامه نمونه‌ای از تصویربرداری‌های صورت گرفته از سیستم گرمایشی ساختمان‌های دانشگاه، جهت تشریح نحوه اتلاف حرارت از قسمت‌های مختلف آورده شده است. در شکل۵، تصویر مخزن عایق‌بندی شده آب گرم تأسیسات گرمایشی نشان داده شده است. تصویر ترموگرافی نشان می‌دهد که در اغلب قسمت‌های عایق‌کاری شده دما در حدود ۱۳ درجه سانتی‌گراد است و هیچ‌گونه خرابی مشاهده نمی‌شود. محل‌های قرمز رنگ تصویر حرارتی با حداکثر دمای ۵۷.۷ درجه سانتی‌گراد، مربوط به بخش‌هایی هست که علی‌رغم دمای بالا، به علت نیاز به دسترسی یا بازرسی‌های دوره‌ای، عایق‌کاری در آن‌ها صورت نگرفته است. شکل۶ نیز لوله‌کشی‌های اصلی تأسیسات گرمایشی ساختمان دانشکده علوم و فناوری‌های بین‌رشته‌ای را نشان می‌دهد. مطابق تصویر ترموگرافی، عایق‌کاری به خوبی انجام

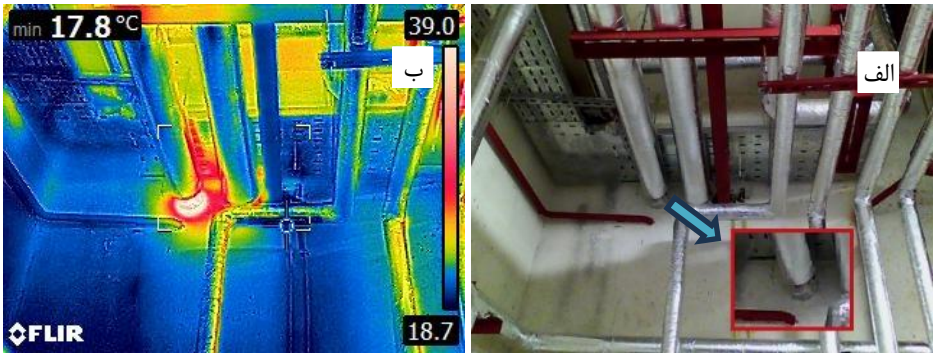
[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-28]

شده است و فقط در انتهای یکی از لوله‌ها به دلیل عایق‌کاری ناقص در کنار دیوار، اختلاف دمای حدود ۲ برابری مابین قسمت‌های عایق‌شده و عایق‌نشده وجود دارد. در شکل۷، لوله‌های اصلی تأسیسات دانشکده فنی و مهندسی نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، لوله‌ای که به‌تازگی اضافه شده و عایق‌کاری در آن صورت نگرفته است، با حداکثر دمای ۵۴.۶ درجه سانتی‌گراد اختلاف دمای حدود ۲۰ درجه سانتی‌گراد نسبت به لوله‌های عایق‌کاری شده دارد. با توجه به طول زیاد این لوله، با عایق‌کاری آن می‌توان از اتلاف انرژی قابل ملاحظه‌ای جلوگیری کرد. در شکل‌های ۸ و ۹، تصاویر ترموگرافی مربوط به محل عبور لوله‌های فرعی تأسیسات گرمایشی و سرمایشی ساختمان‌ها نشان داده شده است. با استفاده از این تصاویر می‌توان به دقت محل عبور لوله‌ها را با اختلاف دمایی در حدود ۵ درجه سانتی‌گراد در سقف کاذب و ۸ درجه سانتی‌گراد در کف تشخیص داد که در مواقع لزوم نظیر حفاری یا نشتی می‌تواند مفید باشد.

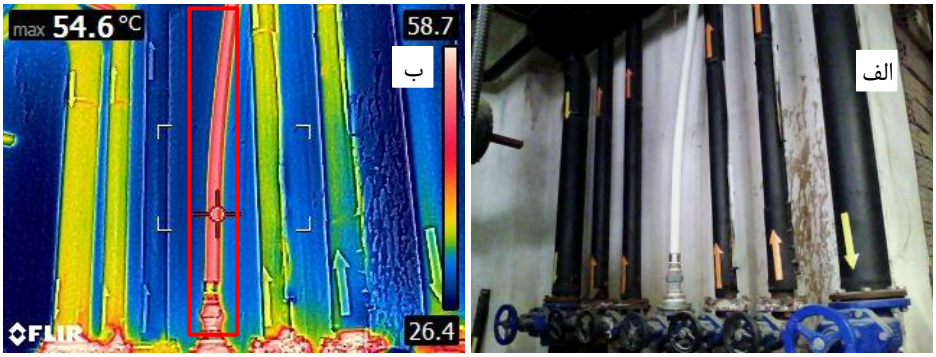


شکل۵. مخزن آب گرم تأسیسات ساختمان: الف) تصویر واقعی، ب) تصویر ترموگرافی

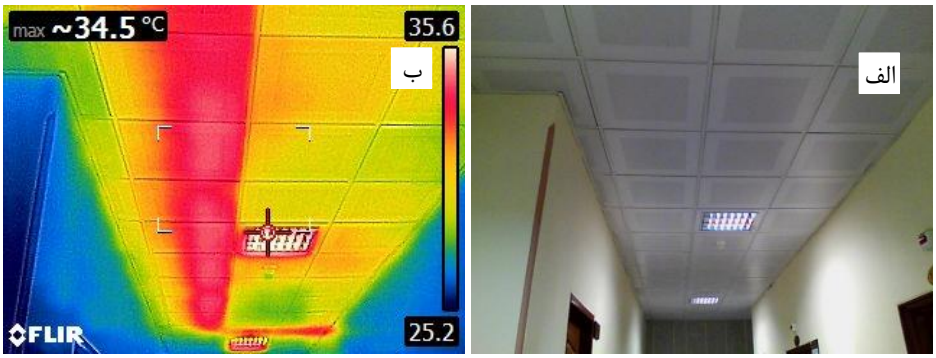
[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-28]



شکل۶. لوله‌های اصلی تأسیسات گرمایشی دانشکده علوم و فناوری‌های بین‌رشته‌ای: الف) تصویر واقعی، ب) تصویر ترموگرافی

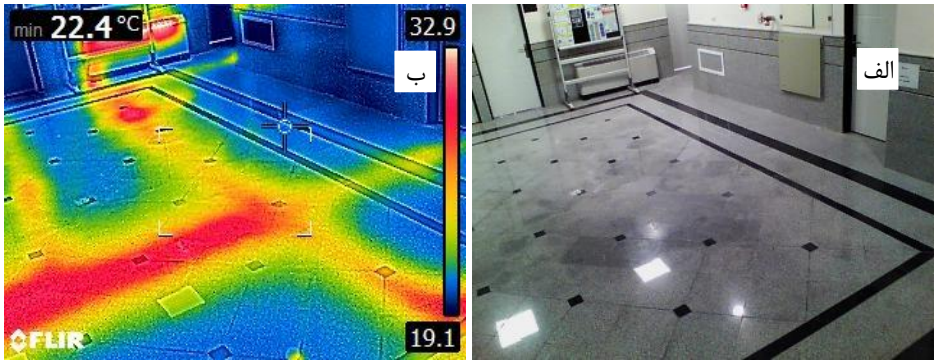


شکل۷. لوله‌های تأسیسات گرمایشی دانشکده فنی و مهندسی: الف) تصویر واقعی، ب) تصویر ترموگرافی



شکل۸. تشخیص محل لوله‌های تأسیسات گرمایشی در سقف : الف) تصویر واقعی ب) تصویر ترموگرافی

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-28]



شکل۹. تشخیص محل لوله‌های تأسیسات گرمایشی در کف : الف) تصویر واقعی ب) تصویر ترموگرافی

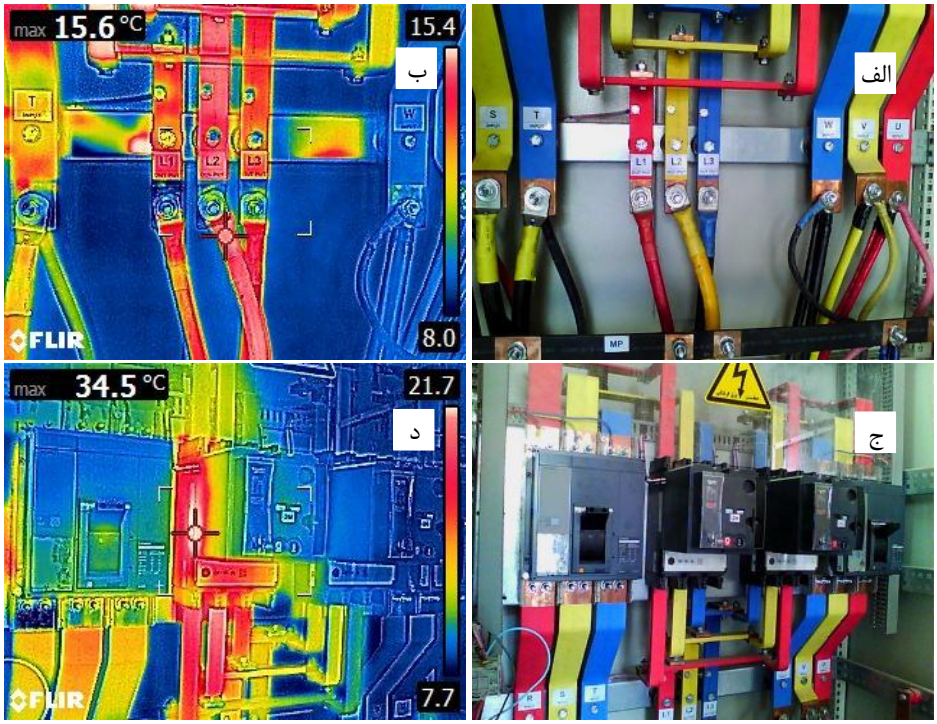
- **بررسی کارکرد تأسیسات الکتریکی:**

در این بخش نتایج تصویربرداری از تابلو برق اصلی دانشگاه بناب آورده شده است که برق تمامی مصرف‌کننده‌ها را تأمین می‌کند. در شکل ۱۰. الف، اتصالات ورودی برق از شبکه به تابلو برق نشان داده شده است. هدف از این بازرسی، شناسایی وجود عیب در محل اتصال سیم‌ها با پیچ و مهره است. در صورت شل بودن پیچ‌ها و چفت نشدن کامل اتصالات، مقاومت الکتریکی بالا خواهد رفت و حرارت اضافی تولید خواهد شد. مطابق شکل ۱۰. ب، در محل‌های ذکر شده هیچ‌گونه افزایش دمای غیرطبیعی مشاهده نمی‌شود، پس عیبی در اتصالات این تابلو برق وجود ندارد. شکل ۱۰. ج، تصویر کلیدهای محافظ حرارتی را نشان می‌دهد که در صورت بروز اتصال کوتاه یا هرگونه خرابی منجر به اضافه‌بار به طور خودکار مسیر جریان را قطع می‌کنند. تولید مقداری حرارت و اندکی بالا رفتن دمای این تجهیزات در هنگام عبور جریان از این کلیدها، طبیعی است. در شکل ۱۰. د، تصویر ترموگرافی کلید تحت عبور جریان عمده را نشان می‌دهد. با بررسی‌های صورت گرفته از تمامی سیم‌کشی‌های توزیع جریان و تابلو برق اصلی هیچ‌گونه خرابی منجر به افزایش دما مشاهده نشد. عدم توجه به عیب‌های سیستم توزیع جریان الکتریکی، می‌تواند تلفات انرژی زیادی داشته باشد و ضمن آسیب جدی به مصرف‌کننده‌ها، هزینه بهره‌برداری را افزایش دهد.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-28]

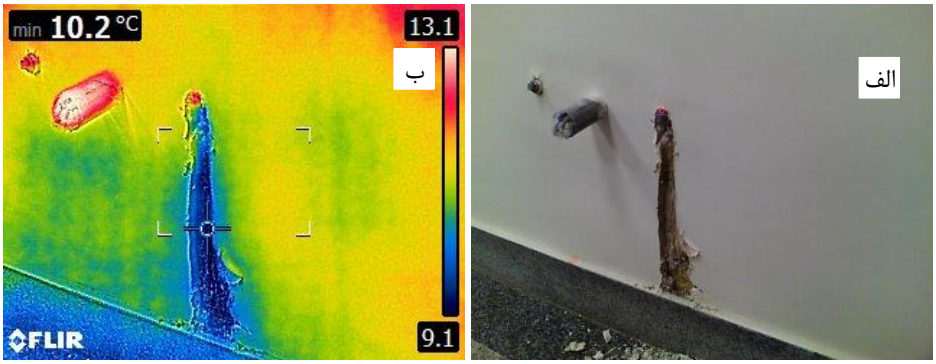
- **تشخیص نشتی از تأسیسات بهداشتی:**

در این بخش نتایج ترموگرافی تهیه شده از محل نشتی تأسیسات بهداشتی آورده شده است. شکل۱۱، محل نشتی از آب مصرفی را در دانشکده علوم و فناوری‌های بین‌رشته‌ای نشان می‌دهد که با تفکیک اختلاف دمایی کمتر از ۴ درجه سانتی‌گراد به سهولت قابل تشخیص است. همان‌طور که پیش‌تر نیز اشاره شد، تأسیسات بهداشتی نظیر آب مصرفی و فاضلاب به صورت سیستم باز هستند و در صورت نشتی، کاهش فشار در آن‌ها مشابه سیستم‌های بسته نظیر سیستم گرمایشی اتفاق نمی‌افتد. نشتی در این سیستم‌های باز در طول زمان منجر به افزایش رطوبت در محل نشتی می‌شود و رطوبت تبخیر شده باعث کاهش دمای محل نشتی نسبت به نقاط اطراف آن می‌گردد.



شکل ۱۰. تابلو برق اصلی دانشگاه: الف) تصویر واقعی اتصالات، ب) تصویر ترموگرافی اتصالات، ج) تصویر واقعی کلیدهای حرارتی، د) تصویر ترموگرافی کلیدهای حرارتی

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-28]



شکل ۱۱. تأثیر نشتی: الف) تصویر واقعی ب) تصویر ترموگرافی

۵. نتیجه‌گیری

امروزه کاهش انتشار گازهای آلاینده به محیط‌زیست، یکی از چالش‌های اصلی در جوامع است. با توجه به سهم بالای مصرف انرژی در بخش ساختمان، افزایش بهره‌وری در این بخش علاوه بر کاهش هزینه‌های بهره‌برداری، می‌تواند گامی مهم در جهت حفاظت از محیط‌زیست از طریق کاهش انتشار آلاینده‌ها باشد. شناسایی و رفع عیب محل‌های نشت حرارتی از طریق بازشوها یا تأسیسات گرمایشی و سرمایشی، می‌تواند منجر به کاهش مصرف انرژی برای تأمین دمای مطلوب گردد و بهره‌وری را افزایش دهد. از طرفی، تشخیص عیوب موجود در تأسیسات الکتریکی و بهداشتی نیز ضمن کاهش هزینه‌های الکتریسیته و آب مصرفی، از صدمات ثانویه به اجزای ساختمان جلوگیری کرده و هزینه پیش‌بینی نشده در بهره‌برداری را کاهش دهد. ترموگرافی به عنوان یک روش بازرسی غیر مخرب، می‌تواند به سرعت و با کمترین هزینه در تشخیص عیوب مرتبط با تغییر دما در قسمت‌های مختلف صنعت ساختمان استفاده شود. در این روش، با تبدیل امواج مادون قرمز نامرئی به رنگ‌های متناسب با دمای هر نقطه، تصویر رنگی بر مبنای دمای نقاط مختلف ارائه می‌شود. در این پژوهش، نتایج استفاده از دوربین ترموگرافی جهت بازرسی و تشخیص عیوب در قسمت‌های مختلف ساختمان‌های موجود در پردیس اصلی دانشگاه بناب نظیر پنجره‌ها، تأسیسات گرمایشی، الکتریکی و بهداشتی ارائه شده است. بررسی نتایج نشان می‌دهد که:

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-28]

- با انجام بازرسی از پنجره‌ها می‌توان محل نفوذ هوای سرد را از طریق خرابی‌های ایجاد شده در نشت‌بند بازشوها یا ترک‌های کنار قاب پنجره به خوبی تشخیص داد. لازم به ذکر است که خرابی‌های ذکر شده در حدود ۳۵ درصد تا ۶۰ درصد افت دمایی در محل نفوذ هوای سرد را در فصل زمستان ایجاد می‌کردند، در حالی که حداکثر اختلاف دمایی عادی برای اجزای پنجره‌های سالم در حدود ۲۵ درصد بود.
- در تأسیسات گرمایشی با ترموگرافی می‌توان محل‌های اتلاف حرارت که نیاز به عایق‌کاری دارند را مشخص نمود. اختلاف دمای حدود ۴۰ تا ۵۰ درصدی سطوح عایق شده و عایق نشده نشان می‌دهد که عایق‌کاری این سطوح می‌تواند تا ۵۰ درصد موجب کاهش انتقال حرارت تلف‌شده از طریق این سطوح شود.
- تصاویر ترموگرافی می‌توانند برای تشخیص محل عبور لوله‌های سیستم‌های گرمایشی و سرمایشی در مواقع حفاری و نشتی استفاده شوند. این تشخیص بر مبنای اختلاف دمایی مشاهده شده برای محل عبور لوله‌های گرمایشی با سطوح مجاور در سقف کاذب و کف که به ترتیب در حدود ۵ درجه سانتی‌گراد و ۸ درجه سانتی‌گراد است، قابل انجام است.
- محل نشتی در تأسیسات بهداشتی نیز با اختلاف دمایی کمتر از ۴ درجه سانتی‌گراد با استفاده از ترموگرافی به وضوح قابل تشخیص است.

ارزیابی انجام شده در این پژوهش، نشان می‌دهد که با پیاده‌سازی روش ترموگرافی در تجهیزات مختلف صنعت ساختمان نظیر پنجره‌ها، تأسیسات گرمایشی، الکتریکی و بهداشتی می‌توان عیوب و خطاهای ایجاد شده در حین بهره‌برداری از ساختمان‌ها را تشخیص داد. از این‌رو می‌توان از این روش در تدوین برنامه‌های تعمیرات و نگه‌داری ساختمان‌ها به منظور کاهش هزینه‌ها بهره گرفت و با بهینه‌سازی زمان‌های تکرار این بازرسی‌ها در ساختمان‌ها با کاربری‌های گوناگون، می‌توان اطمینان لازم را از بهره‌برداری بهینه ساختمان حاصل نمود.

استفاده از ترموگرافی در حین بهره‌برداری از ساختمان‌ها منجر به افزایش سرعت بازرسی‌ها، تشخیص عیوب بدون نیاز به تماس فیزیکی با سطوح، کاهش خطاهای تشخیص، افزایش دقت تعیین محل خرابی‌ها و افزایش ایمنی در بازرسی تجهیزات الکتریکی می‌شود. همچنین، این نتایج می‌تواند در

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-28]

تعیین و اولویت‌بندی اقدامات لازم در تعمیرات و نگه‌داری قسمت‌های مختلف ساختمان به کار گرفته شود. به عنوان ادامه پژوهش در آینده، می‌توان به منظور تشخیص محل‌های نشت هوا از سطوح خارجی ساختمان‌ها، از دوربین ترموگرافی نصب شده روی پهپادها برای نقاط مرتفع استفاده کرد. تحلیل این‌گونه تصاویر با استفاده از روش‌های مبتنی بر یادگیری ماشین می‌تواند منجر به افزایش سرعت بازرسی‌ها و کاهش خطاهای انسانی در تشخیص عیوب و خرابی‌ها گردد.

۶. منابع

Abdelmalik, A., Muhammed, M., Muhammad, A., Ismaila, A., & Aliyu, A. (2020). Infrared Thermographic Inspection of Electrical Junctions in Some Electricity Distribution Facilities in Ahmadu Bello University. *FUDMA Journal of Sciences, 4*(2), 46-52 .

Al Mughairi, M., Beach, T., & Rezgui, Y. (2023). Post-occupancy evaluation for enhancing building performance and automation deployment. *Journal of Building Engineering, 77*, 107388. doi: 10.1016/j.jobe.2023.107388

Arabsolghar, A., Rabiee, M., Iranmanesh, A., & Shafiey dehaj, m. (2023). Investigation of Thermal Behavior of Different Common Roofing Systems in Buildinings Using Computational Fluid Dynamic Method. *Energy Engineering and Management, 13*(1), 122-135. doi: 10.22052/jeem.2023.113609

Azizi ,A., Mashayekh, F., Mehdizadeh, E., & Yazdani, M. (2024). Presenting a multivariate model of the effect of maintenance and repairs on production quality in pharmaceutical industry processes using the Bayesian approach. *Journal of Quality Engineering and Management, 13*.

Bakır, H., Kuzhippallil, F. A., & Merabet, A. J. E. F. A. (2023). Automatic detection of deteriorated photovoltaic modules using IRT images and deep learning (CNN, LSTM) strategies. *146*, 107132 .

Balakrishnan, G. K., Yaw, C. T., Koh ,S. P., Abedin, T., Raj, A. A., Tiong, S. K., & Chen, C. P. (2022). A Review of Infrared Thermography for Condition-Based Monitoring in Electrical Energy: Applications and Recommendations. *Energies, 15*(16), 6000 .

Boogen, N., Datta, S., & Filippini, M . (2021) .Estimating residential electricity demand: New empirical evidence. *Energy Policy, 158*, 112561. doi: https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112561

Caciotta, M., Leccese, F., Spagnolo, G. S., & Cozzella, L. (2014). *Automatic industrial electrical circuit firing prevention using infrared termography.* Paper presented at the 20th IMEKO TC4 Symposium on Measurements of Electrical Quantities: Research on Electrical and Electronic Measurement for the Economic Upturn, Together with 18th TC4 International Workshop on ADC and DCA Modeling and Testing, IWADC 2014.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-28]

Chen, H.-W., Guo, Y.-J., Li, Y., & Wei, Y.-Y. (2024). Lab-based scale measurements of internal storage of crude oil tank based on non-contact infrared thermography technique. *Infrared Physics & Technology, 142*, 105543. doi: https://doi.org/10.1016/j.infrared.2024.105543

Dabbagh, S., Javid, Y., Sobhani, F. M., Aghayi, A., & Parsa, K. (2021). Reliability analysis and failure rate assessment (Case study: Heat Exchanger). *Journal of Quality Engineering and Management, 11*(1), 61-76 .

Devkota, K., Rasul, M. G., Chowdhury, A. A., & Azad, A. K. (2025). Recent advancements in low-energy buildings: Integrating bio-phase change materials and rooftop greenery systems. *Journal of Building Engineering, 101*, 111790 . doi: https://doi.org/10.1016/j.jobe.2025.111790

Du, B., He, Y., He, Y., & Zhang, C. (2020). Progress and trends in fault diagnosis for renewable and sustainable energy system based on infrared thermography: A review. *Infrared Physics & Technology, 109*, 10 .۳۳۸۳doi: https://doi.org/10.1016/j.infrared.2020.103383

Eskandarzadeh Sabet, A., & Torkaman, K. (2019). Implementation Condition Monitoring in Wind Turbines for Reducing Maintenance Cost with Using Scada Method *Journal of Quality Engineering and Management, 9*(3), 261-270 .

Fahmy, M., & Moselhi, O. (2010). Automated Detection and Location of Leaks in Water Mains Using Infrared Photography. *Journal of Performance of Constructed Facilities, 24*(3), 242-248. doi: doi:10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0000094

Feng ,T., Shen, Z., Shrestha, S. S., & Hun, D. E. (2024). A novel transient infrared imaging method for non-intrusive, low-cost, fast, and accurate air leakage detection in building envelopes. *Journal of Building Engineering, 91*, 109699. doi: 10.1016/j.jobe.2024.109699

González-Torres, M., Pérez-Lombard, L., Coronel, J. F., Maestre, I. R., & Yan, D. (2022). A review on buildings energy information: Trends, end-uses, fuels and drivers. *Energy Reports, 8*, 626-637. doi: 10.1016/j.egyr.2021.11.280

Guan, H., Xiao, T., Luo, W., Gu, J., He, R., & Xu, P. (2022). Automatic fault diagnosis algorithm for hot water pipes based on infrared thermal images. *Building and Environment, 218*, 109111. doi: 10.1016/j.buildenv.2022.1091۱۱

Gupta, J., & Chakraborty, M. (2021). 15 - Energy efficiency in buildings. In S. Dutta & C. Mustansar Hussain (Eds.), *Sustainable Fuel Technologies Handbook* (pp. 457-480): Academic Press.

Hasani, M., Akbari, D., Behravesh, A. H., & Faraji Kalajahi, P. (2022). Non-destructive Evaluation of Artificial Defects in FDM Printed Parts Using Pulse Thermography. *Aerospace Mechanics, 18*(4), 77-87 .

Huda, A. N., & Taib, S. (2013). Application of infrared thermography for predictive/preventive maintenance of thermal defect in electrical equipment. *Applied Thermal Engineering, 61*(2), 220-227 .

Huda, A. N., Taib, S., Jadin, M. S., & Ishak, D. (2012). A semi-automatic approach for thermographic inspection of electrical installations within buildings. *Energy and Buildings, 55*, 585-591 .

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-28]

Jadin, M. S., Taib, S., & Kabir, S. (2011). Infrared thermography for assessing and monitoring electrical components within concrete structures. *Progress in Electromagnetics Research, 787* .

Janotte, N., Kölsch, B., Lüpfert, E., Pernpeintner, J., Schiricke, B., Estevam Schmiedt, J., Heuskin, D. (2024). Application of a combination of innovative non-destructive measurement techniques for structural, energetic and safety analysis of buildings. *Journal of Building Engineering, 95*, 109937, doi: https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.109937

Jasti, N., Bista, S., Bhargav, H., Sinha, S., Gupta, S., Chaturvedi, S., & Gangadhar, B. (2019). Medical Applications of Infrared Thermography: A Narrative Review. *Journal of Stem Cells, 14* .(۱)

Kesztyüs, D., Brucher, S., Wilson, C., & Kesztyüs, T. (2023). Use of Infrared Thermography in Medical Diagnosis, Screening, and Disease Monitoring: A Scoping Review. *Medicina, 59*(12), 2139 .

Khakimotnag, S., & Ahmadzadeh Talatapeh, M. (2023). The Feasibility Study of Employing an Ice Storage System in Air Conditioning Systems of Office Buildings in Warm Regions of Iran. *Energy Engineering and Management, 13*(2), 98-111. doi: 10.22052/jeem.2023.113713

Khalili, M. M., Farahani, M., & Asghari, S. (2020). Thermography of the cooling channels using steam heating. *Iranian Journal of Manufacturing Engineering, 7*(1), 39-44 .

Kim, H., Lamichhane, N., Kim, C., & Shrestha, R. (2023). Innovations in Building Diagnostics and Condition Monitoring: A Comprehensive Review of Infrared Thermography Applications. *Buildings, 13*(11), 2829 .

Kolagar, A. M., Cheraghzadeh, M., Akbari, D., & Farahani, M. J. N. T. (2020). Nondestructive Evaluation of Gas Turbine Blade Cooling Holes Blockage by Thermography. *2*(6), 46-52 .

Kylili, A., Fokaides, P. A., Christou, P., & Kalogirou, S. A. (2014). Infrared thermography (IRT) applications for building diagnostics: A review. *Applied Energy, 134*, 531-549. doi: https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.08.005

Lakatos, Á. (2023). Thermal insulation capability of nanostructured insulations and their combination as hybrid insulation systems. *Case Studies in Thermal Engineering, 41*, 102630. doi: https://doi.org/10.1016/j.csite.2022.102630

Łopata, S., & Kocot, M. (2017). The conditions for thermographic testing of thermal power engineering installations. *Technical Transactions, 114*(10), 179-192 .

Lu, S., Zhou, S., Ding, Y., Kim, M. K., Yang, B., Tian, Z., & Liu, J. (2025). Exploring the comprehensive integration of artificial intelligence in optimizing HVAC system operations: A review and future outlook. *Results in Engineering, 25*, 103765. doi: https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.103765

Martin, M., Chong, A., Biljecki, F., & Miller, C. (2022). Infrared thermography in the built environment: A multi-scale review. *Renewable and sustainable energy reviews, 165*, 112540 .

Mauriello, M. L., Chazan, J., Gilkeson, J., & Froehlich, J. E. (2017). *A temporal thermography system for supporting longitudinal building energy audits.* Paper presented at the Proceedings of the 2017 ACM International Joint Conference

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-28]

on Pervasive and Ubiquitous Computing and Proceedings of the 2017 ACM International Symposium on Wearable Computers.

Mauriello, M. L., Norooz, L., & Froehlich, J. E. (2015). *Understanding the role of thermography in energy auditing: current practices and the potential for automated solutions.* Paper presented at the Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems.

Moazen, M., & Saghafi, M. (2023). Investigating the environmental impacts of developing application of wind turbines and the need for the related policies. *Journal of Energy Planning And Policy Research, 9*(2), 194-216 .

Namazian, A., & Sepehri, Y. (2016). Fenestration Through the Ages and Its Role in Today's Energy Dilemma. *Journal of Housing and Rural Environment, 34*(152), 85-100 .

O'Grady, M., Lechowska, A. A., Harte, A. M. J. E., & Buildings. (2018). Application of infrared thermography technique to the thermal assessment of multiple thermal bridges and windows. *168*, 347-362 .

Pasban, a., Sadrnia, H., Shahidi, s. a., & Mohebbi, M. (2022). Evaluation the convective drying of apple slices: Investigation of temperature changes by infrared thermography. *Journal of food science and technology(Iran), 19*(128), 353-362. doi: 10.22034/fsct.19.128.353

Sadhukhan, D., Peri, S., Sugunaraj, N., Biswas, A., Selvaraj, D. F., Koiner, K., . . . Flynn, D. J. J. o. B. E. (2020). Estimating surface temperature from thermal imagery of buildings for accurate thermal transmittance (U-value): A machine learning perspective. *32*, 101637 .

Saghafi, M., & Hajiabdollahi Mamaghani, A. (2024). Modeling the dispersion of pollutant gases from the chimney of the Tabriz thermal power plant with AERMOD software. *Journal of Research in Environmental Health, 9*(4), 374-386. doi: 10.22038/jreh.2024.23859

Saleem, A., & Ugalde-Loo, C. E. (2025). Thermal performance analysis of a heat pump-based energy system to meet heating and cooling demand of residential buildings. *Applied Energy, 383*, 125306. doi: https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2025.125306

Sambhi, S. (2018). *Thermal imaging technology for predictive maintenance of electrical installation in manufacturing plant—a literature review.* Paper presented at the Proceedings of the 2nd IEEE International Conference on Power Electronics, Intelligent Control and Energy Systems (ICPEICES-2018), Delhi, India.

Shakmak, B., & Al-Habaibeh, A. (2015). *Detection of water leakage in buried pipes using infrared technology; A comparative study of using high and low resolution infrared cameras for evaluating distant remote detection.* Paper presented at the 2015 IEEE Jordan Conference on Applied Electrical Engineering and Computing Technologies (AEECT).

Sledz, A., Unger, J., & Heipke, C. (2020). UAV-Based Thermal Anomaly Detection For Distributed Heating Networks. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XLIII-B1-2020*, 499-505. doi: 10.5194/isprs-archives-XLIII-B1-2020-499-2020

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-28]

Srajbr, C ,.Tanasie, G., Dilger, K., & BÖhm, S. (2011). Active Thermography for Quality Assurance of joints in automobile manufacturing. *Welding in the World, 55*(7), 90-97. doi: 10.1007/BF03321312

Tabet Aoul, K. A., Hagi, R., Abdelghani, R., Syam, M., & Akhozheya ,B. J. S. (2021). Building envelope thermal defects in existing and under-construction housing in the UAE; infrared thermography diagnosis and qualitative impacts analysis. *13*(4), 2230 .

Taki, A., & Zakharanka, A. (2023). The Impact of Degradation on a Building's Energy Performance in Hot-Humid Climates. *Sustainability, 15*(2), 1145 .

Wi, S., Kim, Y. U., Chang, S. J., Berardi, U., & Kim, S. (2024). Novel exterior insulation finishing: Enhancing building energy efficiency and flame-retardancy through thermal storage and fire propagation prevention. *Case Studies in Thermal Engineering, 59*, 104541. doi: 10.1016/j.csite.2024.104541

Yahia, M., Gawai, R., Ali, T., Mortula, M. M., Albasha, L., & Landolsi, T. (2021). Non-Destructive Water Leak Detection Using Multitemporal Infrared Thermography. *IEEE Access, 9*, 72556-72567. doi: 10.1109/ACCESS.2021.3078415

Zhao, J., Abdul Aziz, F., Deng, Y., Ujang, N., & Xiao, Y. (2024). A Review of Comprehensive Post-Occupancy Evaluation Feedback on Occupant-Centric Thermal Comfort and Building Energy Efficiency. *Buildings, 14*(9), 2892 .

Zheng, H., Gao, G., Zhong, X., & Zhao, L. (2022). Monitoring and diagnostics of buildings' heat loss based on 3D IR model of multiple buildings. *Energy and Buildings, 259*, 111889 .doi: 10.1016/j.enbuild.2022.111889

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-28]