

Environmental Effects of Concrete, Brick and Wood Usage in Construction on Energy Consumption and Carbon Emissions; Case Study of Northwestern Iran

ARTICLE INFO

Article Type

Original Research

Authors

Aghakhani S.¹ MSc,
Haghparast F.*¹ PhD,
Asefi M.¹ PhD

How to cite this article

Aghakhani S, Haghparast F, Asefi M. Environmental Effects of Concrete, Brick and Wood Usage in Construction on Energy Consumption and Carbon Emissions; Case Study of Northwestern Iran. Geographical Researches. 2021;36(3):313-321.

¹Faculty of Architecture and Urbanism, Tabriz Islamic Art University, Tabriz, Iran

*Correspondence

Address: Farzin Haghparast, Behnam House, Ark-e-Jadid street, Tabriz, Iran. Postal code: 51377-53497
Phone: +98 (41) 35541090
Fax: +98 (41) 35539200
f.haghparast@tabriziau.ac.ir

Article History

Received: February 18, 2021
Accepted: March 07, 2021
ePublished: September 21, 2021

ABSTRACT

Aims Increasing consumption of the earth's primary resources (materials and energy) in addition to the production of environmental and atmospheric pollutants (especially CO₂), poses a serious threat to sustainable human life. The aim of this study was to evaluate the effect of using concrete, brick and wood in traditional construction in northwestern Iran on energy consumption and carbon emissions.

Methodology This quantitative experimental study was conducted during 2015-2020 in two provinces of West- and East Azerbaijan (northwest of Iran). Concrete, brick and wood were selected as the materials studied. For each of the selected materials, 3 factories were selected. Preliminary information on the number of employees, gas input and electricity consumption was obtained from the HSE center of each plant. Data obtained from the survey of industrial units, quantities related to the amount of electricity consumption, the amount of gas consumption, the amount of manpower employed in the production line and in the transportation sector and the amount of diesel fuel used in rail and road transport. Using Revit software for modeling and Energyplus for energy analysis, the average of different industrial units was calculated for each material. Daily energy consumption of manpower was determined according to BMR and PAL according to the type of activity, height and weight dimensions and age.

Findings The average consumption of electrical energy to produce each ton of cement was 110kw.h, each ton of brick was 35kw.h and each ton of wood was 900kw.h. The total latent energy for the production of each ton of ready-mixed concrete was 559290kw and released 92t of CO₂, each ton of produced brick was 283220kw and released 47.5t of CO₂ and each ton of timber produced was 7213kw and the released 675kg of CO₂.

Conclusion Despite the long distances due to the lack of gas in the production line, wood is the greenest material and concrete is the most polluting material due to the high dependence of the production line on gas consumption.

Keywords Embodied Energy; Embodied Carbon; Azerbaijan; Life Cycle Assessment; Sustainability

CITATION LINKS

[Asif M, et al; 2007] Life cycle assessment: a case study of a dwelling ...; [Bahrinezhad A, Khazaeeian A; 2013] Industrial applications of fast-growing species of poplar ...; [Bastos J, et al; 2014] Life-cycle energy and greenhouse gas analysis of three ...; [Bayer C, et al; 2010] AIA guide to building life cycle assessment ...; [Bejo L; 2017] Operational vs. embodied energy ...; [Chel A, Tiwari GN; 2009] Thermal performance and embodied energy ...; [Curran MA; 2000] Life cycle assessment: An international ...; [Fava JA, et al; 1993] A conceptual framework for life cycle impact ...; [Gustavsson L, Sathre R; 2006] Variability in energy and carbon dioxide ...; [Kam M; 2017] Working Group for Sustainable ...; [Layton BE; 2008] A comparison of energy densities of prevalent ...; [Lazarus N; 2002] Construction materials report toolkit for ...; [Mateus R, Braganca L; 2011] Life-cycle assessment of residential ...; [Muñoz C, et al; 2012] Study of Energy Flow in the life cycle ...; [Ouldoukhitine SE, et al; 2011] Assessment of green roof thermal behavior: A ...; [Paul J, Tretsiakova-McNally S; 2010] Sustainable non-metallic building ...; [Ramesh T, et al; 2010] Life cycle energy analysis of buildings ...; [Roaf S, et al; 2013] Ecohouse: A design guide ...; [Rogers R; 2005] Action of Sustainability ...; [Sartori I, Hestnes AG; 2007] Energy use in the life cycle of conventional ...; [SATBA; 2016] Renewable energies ...; [Spielmann M, et al; 2007] Transport Services ...; [Stumpf G, et al; 2014] A case study about embodied energy in ...; [unitconverters.net; 2020] Houston: Texas publication ...; [United States Environmental Protection Agency; 2020] Greenhouse gas equivalencies calculator ...; [Weiqlan Z, et al; 2014] Life cycle assessment of a single-family ...; [World Health Organization; 2000] Preventing and managing the global ...; [Zachariah JL, et al; 2002] What makes a building ...; [Zhang W, et al; 2014] Life cycle assessment of a single-family ...

اثرات زیست‌محیطی استفاده از بتن و آجر و چوب در ساختمان‌سازی بر مصرف انرژی و آزادسازی کربن؛ مطالعه موردی شمال-غرب ایران

سحر آقاخانی MSc

دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران

فرزین حق‌پرست* PhD

دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران

مازیار آصفی PhD

دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران

چکیده

اهداف: مصرف روزافزون منابع اولیه زمین (مواد و انرژی) علاوه بر تولید آلاینده‌های محیطی و اتمسفر (مخصوصاً CO₂)، حیات پایدار بشر را با تهدید جدی مواجه کرده است. هدف این پژوهش، ارزیابی تاثیر استفاده از بتن، آجر و چوب در ساختمان‌سازی سنتی شمال-غرب ایران بر مصرف انرژی و آزادسازی کربن بود. **روش‌شناسی:** این مطالعه تجربی کمی در سال‌های ۱۳۹۹-۱۳۹۴ در دو استان آذربایجان غربی و شرقی (شمال-غرب ایران) انجام شد. بتن، آجر و چوب به عنوان مصالح مورد بررسی انتخاب شدند. برای هر یک از مصالح انتخابی، ۳ کارخانه، انتخاب شد. اطلاعات اولیه تعداد کارکنان، ورودی گاز و مصرف برق از مرکز HSE هر کارخانه به دست آمد. داده‌های به دست آمده از بررسی واحدهای صنعتی، کمیت‌های مربوط به مقدار مصرف انرژی الکتریکی، مقدار مصرف گاز، مقدار نیروی انسانی شاغل در خط تولید و در بخش حمل و مقدار سوخت گازوییل مصرف شده در حمل‌ونقل‌های ریلی و جاده‌ای جمع‌آوری و با استفاده از نرم‌افزار Revit برای مدلینگ و Energyplus برای تحلیل انرژی، میانگین واحدهای صنعتی مختلف برای هر یک از مصالح محاسبه شد. مصرف روزانه انرژی نیروی انسانی نیز با توجه به نوع فعالیت، ابعاد قدی و وزنی و سن بر اساس شاخص BMR و PAL تعیین شد.

یافته‌ها: میانگین مصرف انرژی الکتریکی برای تولید هر تن سیمان ۱۱۰kw.h، هر تن آجر ۳۵kw.h و هر تن چوب ۹۰kw.h بود. مجموع انرژی نهان به‌ازای تولید هر تن بتن آماده، ۵۵۹۲۹۰kw.h و CO₂ آزاد شده ۹۲۲، هر تن آجر تولیدی، ۲۸۳۲۲۰kw.h و CO₂ آزاد شده ۵/۴۷۲ و هر تن الوار چوبی تولیدی، ۷۲۱۳kw.h و CO₂ آزاد شده ۶۷۵kg بود.

نتیجه‌گیری: الوار چوب با وجود طی مسافت‌های طولانی به علت عدم استفاده از گاز در خط تولید، سبزترین مصالح و بتن به دلیل وابستگی بالای خط تولید به مصرف گاز، آلاینده‌ترین مصالح است.

کلیدواژه‌ها: انرژی نهان، کربن نهان، آذربایجان، چرخه حیات انرژی، LCA، پایداری

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۱۷

*نویسنده مسئول: f.haghparast@tabriziau.ac.ir

مقدمه

ساخت‌وساز، فی‌نفسه پروسه‌ای سازگار با محیط زیست نیست [Mateus & Bragança, 2011]. آلودگی کمتر زیست‌محیط، مصرف انرژی کمتر و آزادسازی کربن کمتر، یکی از موضوعات بسیار کلیدی است که امروزه جهانیان دغدغه آن را دارند. در این میان راهکارهایی برای تعدیل این سواثر وجود دارد، یکی از عمده‌ترین این فاکتورها مصالح سبزتر است که با کمترین اثرات مخرب نسبت

به محیط زیست استخراج شوند، فرآوری شوند، به سایت مورد نظر انتقال یابند، در ساخت بناها مورد استفاده قرار گیرند و در طول عمر بهره‌برداری ساختمان نیز پاسخگو باشند. انتخاب مصالح ساختمان تاثیر بالقوه‌ای در سلامت محیط و سلامت ساکنین دارد. این انتخاب بسته به شرایط مختلف (اعم از مقیاس خرد همان پروژه تا سیاست‌ها و محدودیت‌های منطقه‌ای، کشوری و حتی جهانی) همواره تحت تاثیر عوامل مختلف قرار می‌گیرد. در دهه‌های اخیر معماری پایدار و متعاقباً طراحی پایدار در پاسخ به تعارض صنعت ساخت و زیست‌محیط مطرح شده. بر اساس تعریف پایداری، طراحی پایدار قصد دارد تا علاوه بر حال، نیازهای نسل آینده را نیز در نظر بگیرد. در مورد ساختمان‌ها، طراحی پایدار به کارآیی منابع، انرژی حداقل، انعطاف‌پذیری و عمر طولانی اشاره می‌کند [Rogers, 2005].

برخلاف آنچه که اخیراً در محافل علمی با محوریت پایداری بسیار مورد توجه قرار گرفته، این انرژی فقط انرژی زمان بهره‌برداری ساختمان را شامل نمی‌شود و تمامی مراحل قبل از بهره‌برداری از استخراج تا انتقال را شامل می‌شود. چرا که با دید جامع‌تر وقتی در مورد یک ساختمان صحبت می‌کنیم، تمام مراحل طراحی، ساختمان‌سازی، تجهیز و تخریب یا استفاده دوباره از آن در توسعه پایدار تاثیرگذار خواهند بود. ساختمان محصول مرکبی از مصالح، مواد و ترکیبات است که متقابلاً بر هم اثر می‌گذارند [Kam, 2017]. در این دیدگاه کل‌نگر در مورد مصرف انرژی و تخمین مقدار صحیح اثر محیطی ساختمان و مصالح به‌کاررفته در آن، مفهوم "انرژی نهان" به‌عنوان یک ابزار موثر معرفی می‌شود. انرژی نهان، میزان مجموع انرژی‌ای است که برای ساخت یک ساختمان مورد استفاده قرار گرفته است [Roaf et al., 2013].

فاکتورهایی که عموماً در مباحث پایداری ساختمان مکرراً مطرح شده است در حوزه "انرژی بهره‌برداری" قرار می‌گیرند. اما در مبحث انرژی حوزه "انرژی نهان" نیز بسیار گسترده است. ساخت یا بازسازی ساختمان‌های امروزی باید با این رویکرد انجام شود که سوخت‌های فسیلی به مانند گذشته به‌عنوان منابع فراوان، ارزان و قابل اتکا مطرح نخواهند بود و همچنین به‌کارگیری انرژی‌های تجدیدپذیر نیز به امکانات و تجهیزات پرهزینه‌ای نیاز دارد، به همین دلیل برای تعیین راهبرد و تصمیم‌گیری صحیح و طرح مناسب انرژی برای ساختمان به‌نحوی که نیاز به انرژی‌های فسیلی و تجهیزات پرهزینه را هم در فاز تولید و استخراج و هم در فاز بهره‌برداری، به حداقل برساند، امری حیاتی در پروژه‌های ساختمانی تلقی می‌شود [Zachariah et al., 2002].

مجموع کل انرژی مصرف شده و همچنین CO₂ آزاد شده در برخی از مراحل چرخه عمر (استخراج، فرآوری کارخانه‌ای و حمل‌ونقل)، تحت عنوان بازه گهواره تا دروازه (Cradle to Gate) معرفی می‌شود [Zachariah et al., 2002]. بازه گهواره تا دروازه تمامی مراحل است که مصالح طی می‌نماید تا به مرحله ساخت نهایی برسد و در سایت کارگاهی مورد استفاده قرار گیرد. چون انرژی مصرفی در این

کرد. تأثیرات محیطی، استخراج، فرآوری و انتقال این مواد و دفع زباله‌های آن‌ها سبب انتشار گازهای گلخانه‌ای و مواد سمی، تخریب زیست بوم و منابع طبیعی می‌شود [Lazarus, 2002].

به‌طور کلی می‌توان گفت: مصالح ساختمانی در طی چرخه حیات خود تأثیراتی بر محیط طبیعی و مصنوع خواهند داشت. هر مصالحی با توجه به ویژگی‌های خاص خود می‌تواند سبب کاهش مصرف انرژی، استفاده از انرژی‌های محیطی، تأثیرات زیست‌محیطی کمتر و آزادسازی کربن کمتر شود [Lazarus, 2002].

برای ارزیابی پایداری زیست‌محیطی فازهای مختلف چرخه حیات مصالح (فرآوری‌های کارخانه‌ای، نیروی انسانی شاغل در پروسه تولید و همچنین نقل و انتقالات توسط هرگونه وسایل حمل و نقل) اطلاعات دقیق عددی مصرف انرژی محاسبه و در نهایت جمع می‌شود. این اندازه‌گیری در مدلی با عنوان ارزیابی چرخه حیات (Life Cycle Assessment; LCA) صورت می‌پذیرد. البته ذکر این نکته بسیار حائز اهمیت است که در بحث تولید الوار ساختمانی، برای حفظ منابع طبیعی کشور و اراضی جنگلی که هم‌اکنون نیز با خطر تخریب مواجه هستند، می‌بایست به‌صورت برنامه‌ریزی‌شده جنگل‌های کاشت صنعتی ایجاد شود تا علاوه بر امکان استفاده از چوب به عنوان یکی از گزینه‌های مصالح پایدار و دوستدار محیط زیست، جنبه‌های دیگر زیست‌محیطی کشور (حفظ منابع جنگلی) با مخاطره روبرو نشود. بدین منظور می‌بایست از نرم‌چوبان سبک همچون درخت تبریزی و صنوبر و پالونبا که دارای چگالی کم بوده (انرژی کمتری در حملشان مورد استفاده قرار می‌گیرد) و در بازه زمانی کمتری به رشد کامل برای استفاده الواری می‌رسند [Bahrinezhad & Khazaeian, 2013] بهره گرفت تا عرصه منابع طبیعی محدود کشور با مخاطره بیش از پیش مواجه نشود.

بر اساس تعریف انجمن سم‌شناسی و شیمی زیست‌محیطی (Society of Environmental Toxicology and Chemistry; SETAC)، ارزیابی چرخه حیات روشی برای تعیین میزان تأثیرات محیطی فعالیت‌هاست که با محاسبه ماده و انرژی استفاده‌شده از یک سو و سنجش ضایعات انتشاریافته به محیط از سوی دیگر، فرصت‌هایی را که به ارتقای شرایط زیست‌محیطی کمک می‌کند شناسایی، اولویت‌بندی و ارزش‌گذاری می‌نماید. در این ابزار، ساختمان ماهیتی پیوسته داشته و شامل مراحل مختلف اعم از تولید و حمل مصالح، ساخت، بهره‌برداری، تعمیر و تخریب است. بنابراین در این روش، میزان اثرات زیست‌محیطی می‌بایست در کلیه مراحل حیات محاسبه شود [Fava et al., 1993]. به‌طور کلی دو روش ارزیابی فاکتورهای زیست‌محیطی مصالح در چرخه حیات وجود دارد. این روش‌ها با عنوان فرآیندمحور و اقتصاد ورودی-خروجی نام‌گذاری شده‌اند. عمده پروژه‌های ساختمانی به روش اول یعنی فرآیندمحور مورد ارزیابی زیست‌محیطی قرار می‌گیرند [Bayer et al., 2010]. در این روش به فراخور فرآیند اجرایی پروژه، بخش‌های مختلفی برای چرخه حیات آن تعریف می‌شود.

مراحل معمولاً از چشم پنهان مانده و در حوزه مصرف انرژی دیده نمی‌شود، از آن تحت عنوان انرژی نهان (Embodied Energy) نیز یاد می‌شود. این رویه قیاس و تصمیم‌گیری را برای کارشناسان و تصمیم‌گیرندگان این زمینه تسهیل می‌کند [Zachariah et al., 2002].

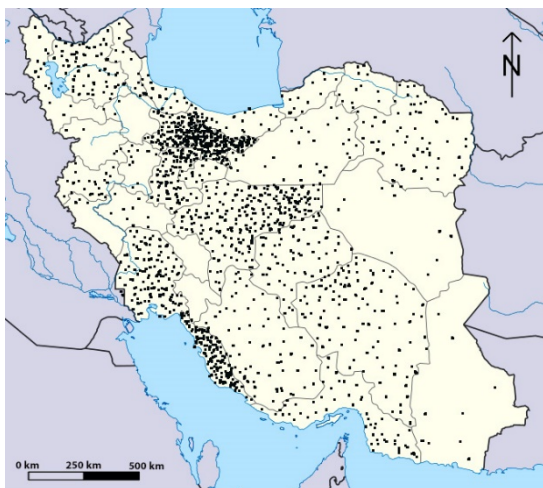
سرعت و شدت مصرف انرژی در ایران در مقایسه با سایر کشورهای جهان تفاوت قابل ملاحظه‌ای دارد. شدت مصرف انرژی در ایران ۹ برابر ژاپن و نروژ، ۷ برابر کشورهای پیشرفته اروپایی، ۳ برابر عربستان سعودی و ۴ برابر ترکیه و متوسط جهان است [SATBA, 2016]. ایران با جمعیت ۱٪ دنیا بیش از ۴٪ از میزان گاز دنیا را مصرف می‌کند که حدود ۴۰٪ از کل گاز مصرفی کشور در خانه‌ها مصرف می‌شود [SATBA, 2016]. مطالعات انجام‌شده در سازمان بهره‌وری انرژی ایران (سایا)، حکایت از مصرف ۳۱ درصدی انرژی الکتریکی در بخش خانگی دارد [SATBA, 2016]. به گزارش دفتر مقررات ملی ساختمان ایران، اگر روند مصرف به همین منوال صورت پذیرد به‌طور قطع تا سال ۲۰۴۰ ایران به یک واردکننده بزرگ انرژی تبدیل می‌شود [SATBA, 2016]. در اروپا ۴۰٪ از انرژی مصرفی و ۳۶٪ CO₂ انتشاریافته، سالانه مربوط به بخش ساختمان است. چنین سهم بزرگی منجر به آن شده که ذخیره‌سازی و صرفه‌جویی انرژی در ساختمان‌ها در مرکز استراتژی‌های مقابله با مسائل اقتصادی و گرم‌شدن زمین قرار گیرد [Ouldoukhitine et al., 2011].

اقدام اولیه در راستای پایداری و کاهش مصرف انرژی، بررسی کامل چگونگی جریان انرژی و مصرف آن در مراحل مختلف چرخه حیات ساختمان و متعاقباً مصالح ساختمانی است. یک ساختمان در تمام طول عمر خود از مرحله ساخت تا تخریب، انرژی مصرف می‌کند [Sartori & Hestnes, 2007]. مصالح ساختمانی در صنعت ساخت‌وساز از لحاظ وزنی بیش از نیمی از منابع طبیعی را تاکنون مصرف نموده‌اند. فرآیند ساخت و تخریب، ۴ برابر بیشتر از ضایعات بخش خانوار، نخاله تولید می‌کند که معادل بیش از اتن به ازای هر نفر است. اثرات زیست‌محیطی استخراج، فرآوری، حمل‌ونقل این مصالح و در نهایت ضایعات ناشی از آن بیش از همه به تولید گازهای گلخانه‌ای، مسمومیت، تخریب سکونتگاه‌های طبیعی و فرسایش منابع منجر خواهد شد [Lazarus, 2002].

مصالح ساختمانی علاوه‌بر استفاده گسترده از منابع طبیعی تجدیدنپذیر در طی فرآیندی از ابتدا تا انتها، یعنی از استخراج تا تخریب، علاوه‌بر مصرف انرژی، زنجیره‌ای از تأثیرات محیطی را نیز به‌وجود خواهند آورد. صنعت ساخت‌وساز بیشترین مصرف منابع طبیعی را (به‌خصوص از طریق استخراج مصالح ساختمانی از پوسته زمین) به خود اختصاص می‌دهد. این تأثیرات شامل ابعاد مختلف زیست‌محیطی در مقیاس محلی و جهانی خواهد بود. از جمله مهم‌ترین آنها می‌توان به آلودگی هوا و آب، تخریب لایه اوزون، انقراض گونه‌های گیاهی و جانوری و انتشار گازهای سمی اشاره

[Zhang et al., 2014] چرخه حیات یک ساختمان مسکونی تک واحد در کشور کانادا را بررسی کرده و اهمیت نسبی میزان انرژی مصرفی و اثرات زیست‌محیطی در مراحل مختلف چرخه حیات ساختمان را شناسایی کردند. آنان در انتها پیشنهاداتی به منظور کاهش انرژی مصرفی در برای افزایش پایداری ساختمان ارائه دادند. *باستوس* و همکاران در سال ۲۰۱۴ [Bastos et al., 2014] مراحل مختلف چرخه حیات سه ساختمان مسکونی واقع در کشور پرتغال را از نظر میزان انرژی مصرفی و انتشار گازهای گلخانه‌ای بررسی و در انتها نتایج را بر اساس دو شاخص عملکردی مختلف بیان کرده‌اند.

با نگاهی دقیق به معماری بومی شمال غرب ایران و دو استان آذربایجان شرقی و غربی در می‌یابیم که معمول‌ترین مصالح مورد استفاده آجر، چوب و در ده‌های اخیر بتن است. در این پژوهش میزان دوستدار محیط زیست بودن این مصالح عموماً مورد استفاده مورد سنجش قرار خواهد گرفت. دو فاکتور اصلی و اساسی در این دوستدار محیط‌زیست بودن میزان مصرف انرژی و آزادسازی کربن است. دو استان آذربایجان غربی و شرقی با ۸۲ هزار کیلومتر مربع مساحت در شمال غربی ایران در حدود ۵٪ مساحت کشور را به خود اختصاص می‌دهند، ۱۰/۵٪ از صنعت کشور (به ترتیب ۵/۹۹٪ در آذربایجان شرقی و ۴/۴۱٪ در آذربایجان غربی) در این ناحیه مشغول به فعالیت هستند. طی دو دهه گذشته غرب و شمال غرب ایران به علت نزدیکی به منابع سنگی و معدنی روند رو به رشدی در صنایع فعال کشور داشته است. وفور منابع آهک و رس با تمرکز در جاده تبریز-صوفیان باعث شکل‌گیری متمرکز کوره‌های آجرپزی در این محدوده شده است. نزدیکی جنگل‌های ارسباران و باغات محلی خوی، سلماس و ارومیه و همچنین بندر آستارا که چوب‌های وارداتی عمدتاً از این مسیر وارد کشور می‌شوند و همچنین پراکندگی پرتراکم کارخانجات سیمان که در مقیاس فراتر از استان نیز توزیع دارند، موقعیت استراتژیکی به سه صنعت مذکور در شمال غرب داده و همچنین باعث وفور استفاده از هر سه این متریاها در صنعت ساخت‌وساز شده است (شکل ۱).



شکل ۱) پراکنش مراکز صنعتی فعال طی دهه گذشته

سپس مواد درون‌داد و برونداد آنها شناسایی و محاسبه می‌شود تا میزان آثار زیست‌محیطی برای هر یک از بخش‌ها تعیین شود [Curran, 2000].

باید دانست که با استفاده از هر ترم (thm) گاز طبیعی، ۵/۳ کیلوگرم CO₂ به جو منتقل می‌شود. یک تن گاز طبیعی حدود ۴۹۲ thm گاز طبیعی است [unitconverters.net, 2020]. همچنین، مصرف یک گالن بنزین (۳۲۱۷ گرم)، ۸/۹ کیلوگرم CO₂ در هوا منتشر می‌کند. هر انسان، به‌طور متوسط ۹۰۰ گرم CO₂ در روز تولید می‌کند که هر مگاژول (MJ) انسانی به معنای ۶۰ گرم انتشار CO₂ است [Layton, 2008]. همچنین، طبق آمار آژانس حفاظت از محیط زیست، استفاده از هر کیلووات‌ساعت برق می‌تواند ۰/۷۰۷ کیلوگرم CO₂ در جو منتشر کند [United States Environmental Protection Agency, 2020].

بر اساس پژوهش بجو [Bejo, 2017] که اثرات محیط زیستی مصالح چوبی را با مصالح غیرطبیعی چون استیل مقایسه کرده است، انرژی نهان و بهره‌برداری ساختارهای چوبی در از مصالح غیرطبیعی مشابه کمتر به دست آمده است. *استامف* و همکاران [Stumpf et al. 2014] انرژی نهان بتن را با مصالح بنایی در کشور برزیل مورد قیاس قرار داده است و نتایج نشان داده است که مصالح بتنی با انرژی نهان ۱/۲۲ گیگاژول در هر مترمربع برابر انرژی نهان بیشتری نسبت به مصالح بنایی با ۱/۲۶ گیگاژول در هر مترمربع دارند. این نسبت در مورد تولید CO₂ هر یک نیز برقرار بوده است. چل و تیواری [Chel & Tiwari, 2009] در هندوستان انرژی نهان در مراحل پیش از ساخت خشت‌های سنتی با بلوک‌های پخته آجری را مورد مقایسه قرار دادند و نتایج به دست آمده، نشان داد که مصرف انرژی آجر ۱/۱۶ برابر نمونه نپخته آن یعنی خشت است. *آسیف* و همکاران [Asif et al., 2007] انرژی نهان یک خانه دو طبقه در اسکاتلند را با سازه بتنی و دیوارهای چوبی مورد محاسبه قرار دادند و به عدد ۱/۶۲ گیگاژول در مترمربع رسیدند. در شیلی، مونز و همکاران [Muñoz et al., 2012] دو طبقه متفاوت از یک خانه که در یک طبقه جنس جداره‌ها چوب و در طبقه دیگر مصالح بنایی بود مقایسه کردند و به این نتیجه رسیدند که خانه با جداره‌های بنایی ۶۰٪ انرژی نهان بیشتری خواهد داشت. گومز در سال ۲۰۱۰ [United States Environmental Protection Agency, 2020] انرژی نهان را در مورد برخی مصالح ساختمانی پراستفاده نظیر فولاد و بتن سنجید و راهکارهایی برای بازدهی بالای زیست‌محیطی آن‌ها ارائه داد. *پال و ترسیا کوو-مکنالی* [Paul & Tretsiakova-McNally, 2010] فاکتورهای پایداری زیست‌محیطی را در ساختمان‌های غیروابسته به فلز در اروپا مورد بررسی قرار داد. *رامش* و همکاران [Ramesh et al., 2010] با بررسی ۷۳ مطالعه موردی انجام‌شده، شامل ساختمان‌های مسکونی و اداری، در ۱۳ کشور مختلف، انرژی نهان و انرژی مصرفی در کل چرخه حیات ساختمان را بررسی کرده و فازهایی که بیشترین مصرف را دارا بوده‌اند، شناسایی کرده‌اند. در سال ۲۰۱۴، *ژانگ* و همکاران

۵×۱۰×۲۰ چینی شده در دیوار یک‌ونیم آجره به ضخامت ۳۰ سانتی‌متر) تعریف و انتخاب شدند. برای هر یک از سه مصالح انتخابی، ۳ کارخانه به صورت تصادفی انتخاب شدند. بدین ترتیب، کارخانجات سیمان آرتا، ارومیه و صوفیان و کوره‌های آجرپزی زرین، متحد و الوار و کارگاه‌های چوب‌بری پرهیزکاری، طاهری و ذوالفقاری وارد مطالعه شدند.

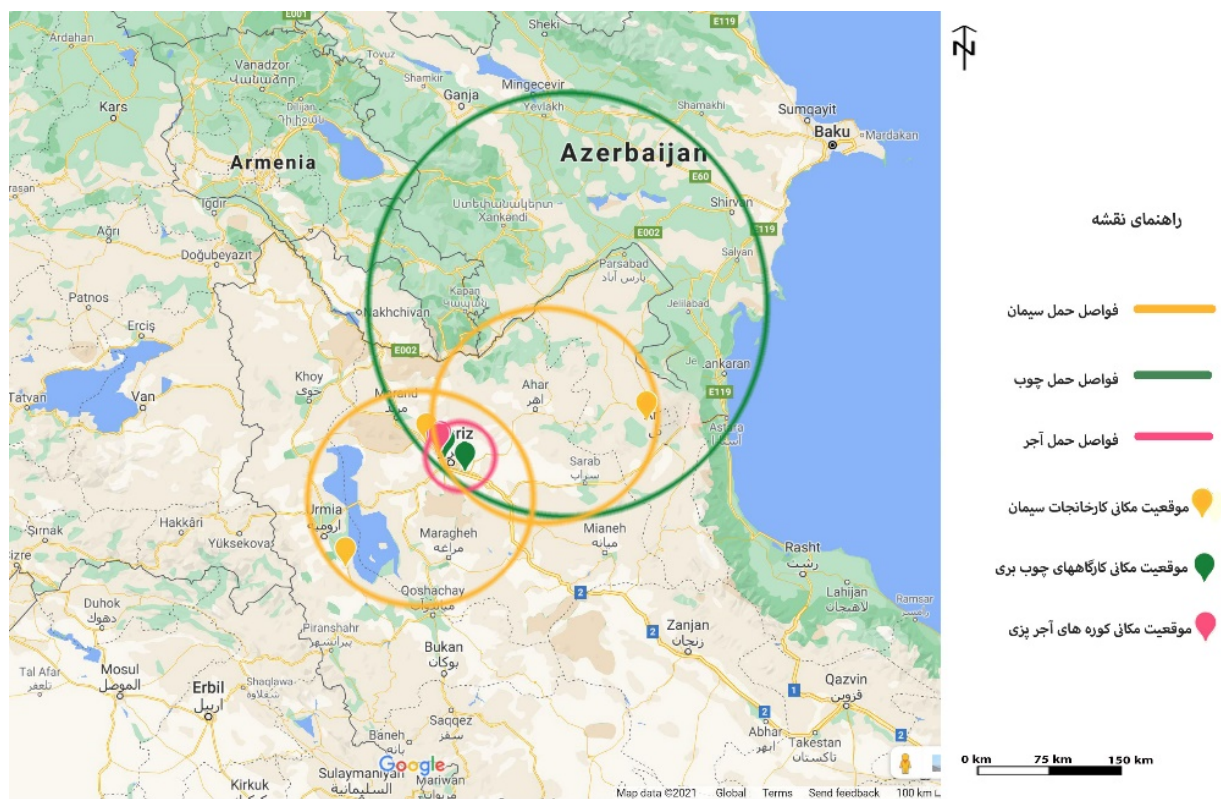
با وجود انتخاب واحدهای بومی، استخراج مواد اولیه و متعاقباً فواصل حمل به دلیل محدودیت جغرافیایی از لحاظ تامین منابع لزوماً در داخل محدوده صورت نمی‌پذیرد و می‌تواند کیلومترها دورتر باشد. کما اینکه در مورد الوار چوب حتی بخشی از تامین به خارج از مرزهای جغرافیایی کشور نیز (مطابق شکل ۲) کشیده می‌شود.

ارزیابی چرخه حیات به‌کاررفته در این تحقیق، طبق استاندارد ایزو ۱۴۰۴۰ در قالب مراحل چهارگانه تعریف اهداف و محدوده، تحلیل فهرست موجودی، ارزیابی تأثیرات و تفسیر [Bayer et al., 2010] انجام شده است. در فاز نخست یعنی فاز تعریف اهداف و محدوده، تولیدات و عملیاتی که باید ارزیابی شوند تعریف می‌شود، سپس واحد عملکردی (در این پژوهش واحد صنعتی مربوطه) انتخاب شده و سطح مد نظر برای ارزیابی تعیین می‌شود؛ بنابراین همان گونه که در نمودار ۱ مشخص شده، بازه چرخه حیات مذکور به انرژی‌های ورودی کارخانه، نیروهای انسانی مشغول و انرژی صرف‌شده برای حمل‌ونقل محدود شده است.

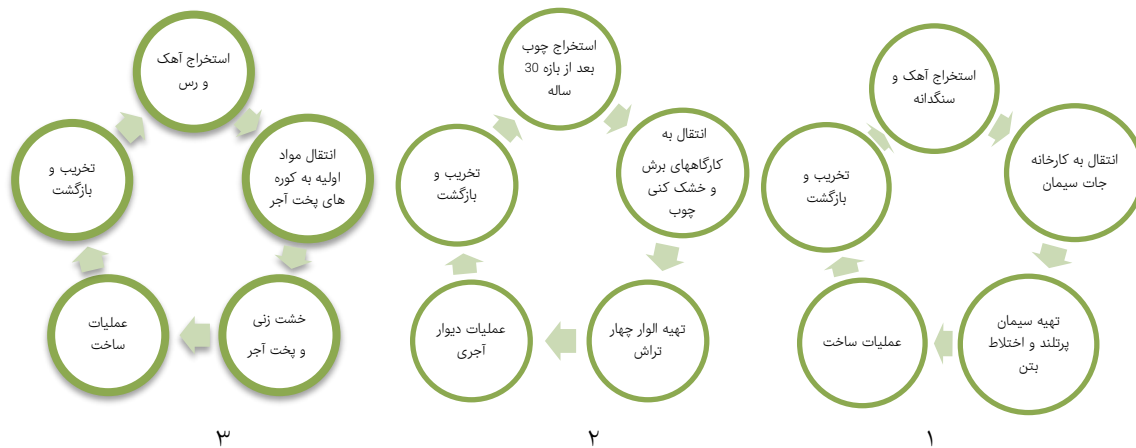
توجه به میزان مصرف انرژی در فرآیند فرآوری کارخانه‌ای، میزان نیروی انسانی شاغل و انرژی مختص حمل‌ونقل در بررسی پایداربودن یا نبودن ساختمان، همواره مغفول مانده‌اند، ولی با دید چرخه‌حیاتی به این ماجرا و توجه به این نکته که پرمصرف یا کم‌مصرف‌بودن ساختمان صرفاً مختص فاز بهره‌برداری آن نمی‌شود و تمام مراحل پیشین را نیز در بر می‌گیرد، بسیار پررنگ و حائز اهمیت می‌شود. از سوی دیگر پرداختن جامع و کامل به تمامی مراحل (فاز طراحی و برنامه‌ریزی و فاز تخریب و بازیافت مجدد) بسیار گسترده است و مستلزم انجام پژوهش‌های متعدد است؛ لذا هدف این پژوهش، ارایه یک رویکرد کمی برای ارزیابی دو فاکتور مصرف انرژی و آزادسازی کربن در مراحل پیش‌ساخت (گهواره تا دروازه) شامل استخراج، فرآوری و انتقال در حوزه شمال غرب، بود.

روش‌شناسی

این مطالعه تجربی کمی در سال ۱۳۹۹-۱۳۹۴ در دو استان آذربایجان غربی و شرقی (شمال غرب ایران) انجام شد. سه ماده بتن، آجر و چوب، با مشخصات مورد نظر (بتن با مقاومت فشاری ۳۵ مگاپاسکال و از نوع بتن درجا و با استفاده از سیمان پرتلند تیپ ۲، در دیواری به ضخامت ۳۰ سانتی‌متر؛ چوب از الوار درختان نرم چوب، چهارتراش‌شده و به ضخامت ۳۰ سانتی‌متر و آجر ماسه‌آهکی



شکل ۲) فواصل واحدهای صنعتی و واحدهای استخراج



نمودار (۱) محدوده گهواره تا دروازه چرخه حیات برای ۱: بتن؛ ۲: الوار چوب و ۳: آجر

فعالیت روزانه) ارایه شده توسط سازمان بهداشت جهانی [World Health Organization, 2000] تعیین و محاسبه شد. بدین منظور نیروی انسانی شاغل در خط تولید (فعالیت شدید) و بخش اداری (فعالیت متوسط) در نظر گرفته شد و اعداد مصرف نیروی انسانی بر حسب مگاژول (MJ؛ قابل تبدیل به کیلووات ساعت) به دست آمد.

یافته‌ها

میانگین مصرف انرژی الکتریکی برای کارخانجات سیمان به ازای هر تن تولید سیمان ۱۱۰kw.h بود. این رقم برای کوره‌های آجرپزی ۳۵kw.h و برای کارگاه‌های چوب‌بری ۹۰۰kw.h بود. مصرف گاز تا حدی برعکس میانگین مطرح شده در مورد برق بود. در کارگاه‌های چوب‌بری هیچ دستگاه گازسوزی در خط تولید الوار مورد استفاده نبود. میانگین گاز (برحسب تن) مصرف شده در کوره‌های آجرپزی به ازای هر تن تولید آجر، ۱۸/۲t و در کارخانجات سیمان ۳۵t بود. میزان گازوئیل مصرف شده برای حمل با توجه به تعداد کامیون‌ها و مسافت طی شده برای تحویل هر تن بار برای بتن معادل ۱/۶۲۵ کیلوگرم، برای چوب معادل ۰/۴۹۵ کیلوگرم و برای آجر معادل ۰/۲۵ کیلوگرم بود. انرژی انسانی مصرف شده برای تولید هر تن چوب معادل ۱۷۰ مگاژول، هر تن آجر معادل ۷۲ مگاژول و هر تن بتن معادل ۲ مگاژول محاسبه شد (جدول ۱).

جدول ۱) مجموع انرژی دریافتی بتن، آجر و چوب در بازه گهواره تا دروازه

نوع مصالح	نیروی انسانی شاغل (MJ)	گاز (kg)	انرژی الکتریکی (kw.h)
بتن	۲	۱/۶۲۵	۱۱۰
آجر	۷۲	۰/۲۵	۳۵
چوب	۱۷۰	۰/۴۹۵	۹۰۰

با تبدیل همه واحدهای انرژی به کیلووات ساعت (MJ=۰/۲۸kw.h) و همچنین در نظر گرفتن ارزش حرارتی گاز طبیعی (چگالی ۰/۶۵kg/m³ و ارزش حرارتی ۱۰kw.h/m³) و گازوئیل (چگالی

اطلاعات اولیه تعداد کارکنان، ورودی گاز و مصرف برق از مرکز HSE هر کارخانه به کمک چک‌لیست استخراج و ثبت شد. برای انرژی‌های مصرف شده در کارخانه (اعم از انرژی الکتریکی یا هر گونه سوخت فسیلی مصرفی) و انتقال استخراجات و مصالح خام از کارخانه و همچنین نیروی انسانی شاغل در این فرآیند، مبنای محاسبات، مقادیری است که از منابع معتبر میدانی استخراج شدند. فرض بر این بود که بتن در ایستگاه بتنی تولید می‌شود و توسط یک میکسر به محل ساخت منتقل می‌شود. میزان سوخت مصرفی با ماشین‌آلات سنگین (کامیون، میکسر یا قطار) بر اساس استاندارد خدمات حمل‌ونقل [Spielmann et al., 2007] تخمین زده شد. با تعیین مسافت طی شده، می‌توان مصرف سوخت کامیون‌ها و قطارها را محاسبه کرد. تعداد افرادی که در هر کارخانه کار می‌کنند نیز از مطالعه میدانی تعیین شد؛ سپس با توجه به معادلات استاندارد WHO به (Mj انرژی تبدیل شد [World Health Organization, 2000]. به منظور شناسایی جزئیات ماشین‌های مورد نیاز برای هر مرحله (ظرفیت، اسب بخار، وزن و غیره)، داده‌ها با استفاده از چک‌لیست به طور میدانی جمع‌آوری شد.

داده‌های به دست آمده از بررسی واحدهای صنعتی، کمیت‌های مربوط به مقدار مصرف انرژی الکتریکی (kw.h) مقدار مصرف انرژی گاز (ton) مقدار نیروی انسانی شاغل در خط تولید و در بخش حمل (MJ) و مقدار سوخت گازوئیل مصرف شده در حمل‌ونقل‌های ریلی و جاده‌ای (kg) با استفاده از نرم‌افزارهای Revit برای مدلینگ و Energyplus برای تحلیل انرژی، میانگین واحدهای صنعتی مختلف برای هر یک از مصالح محاسبه شد. متوسط مصرف سوخت خودروهای مختلف (حمل‌ونقل ریلی/جاده‌ای) بر اساس استاندارد خدمات حمل‌ونقل [Spielmann et al., 2007]، که با توجه به نوع وسیله نقلیه و تناژ حمل آن، میزان مصرف گازوئیل در هر کیلومتر را به دست می‌دهد، در نظر گرفته شد و محاسبات حمل‌ونقل بر اساس داده‌های حاصل از آن ارایه شد. در مورد نیروی انسانی نیز مصرف روزانه انرژی با توجه به نوع فعالیت، ابعاد قدی و وزنی و سن بر اساس شاخص BMR (نیاز روزانه انرژی) و PAL (حد متوسط

نمود مطالعات بالادست کمتر دیده شده و اصولاً مفهوم انرژی نهان برای محصولات مفهومی است که هنوز ایرانی نشده است.

در مورد نمونه‌های مورد بررسی در این تحقیق، انرژی انسانی صرف‌شده به‌ازای هر تن چوب الوار تولید شده ۲/۵ برابر هر تن آجر و ۸۵ برابر هر تن بتن است! مصرف انرژی انسانی [۱۷۰MJ] به‌ازای هر تن الوار چهار تراش آماده است. این رقم در مقایسه با متناظر آن در سایر صنایع مصالح ساختمانی بسیار بالاست. عدد مربوطه در صنعت سیمان و بتن به‌ازای هر تن مصالح نهایی [۲M] است که حاکی از مصرف بسیار پایین نیروی انسانی و عدم وابستگی صنعت مربوطه به کار انسانی در مقیاس عمده است. جایگاه صنعت آجر از لحاظ نیروی انسانی درگیر جایی در بین دو نتیجه قبلی است. از یک سو تولید عمده و قالب‌زنی‌های سریع در خطوط تولید و همچنین پخت‌کردن و خشک‌کردن در کوره‌های تونلی راندمان انرژی را افزایش می‌دهد و از سوی دیگر وابستگی به نیروی انسانی در تمام این مراحل همچنان پا بر جاست. نیروی متوسط انسانی در صنعت آجر به‌ازای هر تن تولید [۲۲M] شده است.

در پژوهشی که *گوستاوسون* [Gustavsson & Sathre, 2006] در مورد مصرف انرژی چرخه حیات و انرژی اولیه تزریقی (معمولاً سوخت‌های فسیلی) در تولید محصولات چوبی و بتنی در اروپا انجام دادند، مصرف سوخت فسیلی بتن حدود ۸۰-۶۰٪ بالاتر بوده است، با در نظرگیری اعداد این پژوهش می‌بینیم که این پرمصرف بودن بستر ایران بسیار شدیدتر برقرار است و به حدود ۴۰٪ می‌رسد. در بخش مصرف برق کارخانه‌ها، نتایج بررسی‌های میدانی و اطلاعات مستخرج از بخش HSE بخش‌های تولیدی حاکی از آن است که میانگین مصرف برق کارخانجات بتن به‌ازای هر تن بتن تولیدی، ۱۱۰Kw، کارخانجات آجر ۳۵Kw به‌ازای هر تن آجر سفال تولیدی و کارخانجات چوب ۹۰۰Kw به‌ازای هر تن الوار چهارتراش تولیدی هست و این در حالی است که در مصرف گاز، واحدهای تولیدی بتن، آجر و چوب به‌ترتیب میانگین مصرف ۳۵، ۱۸/۲ و صفر دارند. در واحدهای تولیدی چوب تمامی مستقل از سوخت کوره بوده و بنابراین مصرف برق صفر است.

و در نهایت در بخش حمل‌ونقل بیشترین مصرف مربوط به بخش بتن با میانگین ۱۶۲۵ گرم گازوئیل به‌ازای هر تن محصول تولیدی است و دلیل این امر فاصله نسبتاً بیشتر کارخانجات سیمان و بتن نسبت به مراکز شهری است، در حالی که کوره‌های آجرپزی در حاشیه شهر تبریز و در فواصل حدودی ۲۰-۲۵ کیلومتری واقع‌اند و به همین دلیل میانگین مصرف حمل‌ونقل در این حوزه ۲۵۰ گرم گازوئیل به‌ازای هر تن محصول تولیدی است. در صنعت چوب با وجود واردات بخش عمده‌ای از محصولات از کشورهای همسایه است ولی به‌دلیل حمل‌ونقل ریلی مصرف گازوئیل جایی در بین این دو عدد و حدود ۴۹۵ گرم گازوئیل به‌ازای هر تن الوار تولیدی است. *آسیف و همکاران* [Asif et al., 2007] میزان انتشار CO₂ در ۸ ساختمان مسکونی در اسکاتلند با مصالح چوب، بتن، شیشه، آلومینیوم، سنگ، کاشی‌های سرامیکی، صفحه‌های گچی، عایق‌های

lit/۰/۸۸g و ارزش حرارتی ۱۰/۷۳kw.h/lit) و محاسبه کربن نهان معادل، داده‌های نهایی به شکل جدول ۲ در آمد.

جدول ۲) مجموع انرژی نهان مصالح بر حسب کیلووات‌ساعت و کربن نهان مصالح بر حسب کیلوگرم‌ساعت

متغیر	بتن	آجر	چوب
انرژی نهان معادل (کیلووات‌ساعت)			
نیروی انسانی شاغل	۰/۵۶	۲۰	۴۷
گازوئیل	۲۰،۵۸۰	۳،۱۶۵	۶،۲۶۶
گاز	۵۳۸،۶۰۰	۲۸۰،۰۰۰	-
انرژی الکتریکی	۱۱۰	۳۵	۹۰۰
مجموع انرژی نهان	۵۵۹،۲۹۰	۲۸۳،۲۲۰	۷،۲۱۳
کربن نهان معادل (کیلوگرم‌ساعت)			
نیروی انسانی شاغل	۰/۱۲	۴/۳۲	۱۰/۲۰
گازوئیل	۴/۵۰	۰/۶۸	۱/۳۰
گاز	۹۱،۲۱۷	۴۷،۴۲۹	-
انرژی الکتریکی	۷۷/۸۰	۲۴/۷۰	۶۳۶
مجموع کربن نهان	۹،۱۲۹،۹۴۲	۴۷،۴۵۸،۷۰۴	۶۷۴/۵۰

به‌طور کلی، بتن در جایگاه اول انرژی نهان قرار داشت که ۱۱۰kw.h برق، ۳۵t گاز، [۲M] انرژی انسانی و ۱/۶kg گازوئیل به‌ازای تولید ۱t بتن مورد استفاده قرار گرفت و مجموعاً معادل ۵۶۰۰۰kw.h انرژی بود. در حالی که آجر با ۳۵kw.h انرژی الکتریکی، ۱۸/۲t گاز طبیعی، [۲M] انرژی انسانی و ۰/۲۵kg گازوئیل که مجموعاً معادل ۲۸۳۰۰۰kw.h انرژی بود، در رتبه دوم آلودگی بود. در نهایت چوب با ۹۰۰kw.h انرژی الکتریکی، بدون مصرف گاز طبیعی، [۱۷۰MJ] انرژی انسانی و ۰/۵kg گازوئیل که معادل ۷۲۰۰kw.h انرژی در جایگاه آخر آلودگی بود. کربن نهان برای ۹۱t CO₂ به‌ازای هر تن تولید بتن، ۴۸t CO₂ به‌ازای هر تن تولید آجر و ۰/۶۸t CO₂ به‌ازای هر تن تولید الوارچوب است که در جو منتشر می‌شود.

بحث

مبحث اثرات زیست‌محیطی (مصرف انرژی و تولید CO₂) صنعت ساخت چه از دیدگاه ساختمان به‌عنوان یک مجموعه و چه به‌عنوان تک تک اجزا و متریکال‌های ساختمانی موضوعی است که در اقصی نقاط دنیا به اشکال گوناگون مطرح شده و مورد سنجش و پژوهش قرار گرفته است. این تحقیقات در خصوص در مباحث پایداری و خصوصاً در عرصه ساخت‌وساز عموماً انرژی بازه بهره‌برداری ساختمان‌ها مورد سنجش قرار می‌گیرد. این در حالی است که انرژی‌های پیش ساخت که تحت عنوان انرژی نهان شناخته می‌شوند، خود نقش قابل توجهی در میزان پرمصرف و آلوده‌بودن محصولات دارند. این مفهوم جدید که در ۳ دهه گذشته بسیار بیش از پیش در جامعه جهانی مورد توجه قرار گرفته است، در ایران به‌علت

انواع سوختهای مصرفی در هر منطقه و کشور و تعداد افراد شاغل در خط تولید دستخوش تغییر می‌شود. امید است که با مطالعات بیشتر در زمینه LCA بتوانیم دیدگاه جامع‌تری نسبت به سبز و پایدار بودن مصالح داشته باشیم که کدام متریال ساختمانی برای کدام شهر دارای انرژی نهان کمتر و کربن نهان کمتر است و در نتیجه در تصمیم‌گیری بهتر در این زمینه کمک‌رسان باشد.

نتیجه‌گیری

الوار چوب با وجود طی مسافت‌های طولانی به علت عدم استفاده از گاز در خط تولید، سبب‌ترین مصالح و بتن به دلیل وابستگی بالای خط تولید به مصرف گاز آلاینده‌ترین مصالح است.

تشکر و قدردانی: موردی بیان نشده است.

تأییدیه اخلاقی: این پژوهش با جمع‌آوری تمام داده‌های میدانی توسط پژوهشگر انجام شده و هرگونه استفاده از سایر منابع در مآخذ ذکر شده است.

تعارض منافع: این مقاله مستخرج از رساله دکتری با عنوان "بررسی تطبیقی میزان مصرف انرژی مصالح ساختمانی مورد استفاده متداول (چوب، بتن و آجر) در شمال غرب ایران" است که با راهنمایی دکتر فرزین حق‌پرست در دانشگاه هنر اسلامی تبریز انجام گرفته است و تعارض منافی وجود ندارد.

سهم نویسندگان: سحر آقاخانی (نویسنده اول)، پژوهشگر اصلی و تحلیلگر داده (۵۰٪)؛ فرزین حق‌پرست، (نویسنده دوم)، روش‌شناس (۳۵٪)؛ مازیار آصفی، (نویسنده سوم)، نگارنده مقدمه (۱۵٪).

حامی مالی: تمامی هزینه‌های پژوهش بر عهده نویسندگان بود.

منابع

- Asif M, Muneer T, Kelley R (2007). Life cycle assessment: a case study of a dwelling home in Scotland. *Building and Environment*. 42(3):1391-1394.
- Bahrinezhad A, Khazaeian A (2013). Industrial applications of fast-growing species of poplar and Paulownia species. The Second National Conference on Sustainable Development of Agriculture and Healthy Environment, 12 September 2013, Hemedan, Iran. Tehran: Civilica. [Persian]
- Bastos J, Batterman SA, Freire F (2014). Life-cycle energy and greenhouse gas analysis of three building types in a residential area in Lisbon. *Energy and Buildings*. 69:344-53.
- Bayer C, Michael G, Gentry R, Surabhi J (2010). AIA guide to building life cycle assessment in practice. Unknown City: AIA.
- Bejo L (2017). Operational vs. embodied energy: a case for wood construction. *Drvna Industrija*. 68(2):163-72.
- Chel A, Tiwari GN (2009). Thermal performance and embodied energy analysis of a passive house – Case study of vault roof mud-house in India. *Applied Energy*. 86(10):1956-1969.
- Curran MA (2000). Life cycle assessment: An international experience. *Environmental Progress and Sustainable Energy*. 19(2):65-71.
- Fava JA, Consoli F, Denison R, Dickson K, Mohin T, Vigon B (1993). A conceptual framework for life cycle impact assessment. Pensacola: Society of Environmental

رطوبتی و ملات را قیاس کردند. نتایج تحقیق نشان داد که ۶۱٪ انرژی نهان مصرف‌شده در ساختمان مربوط به بتن بوده است. همان‌طور که نتایج این تحقیق نیز نشان می‌دهد کربن نهان ۱۴ بتن دو برابر ۱۲ آجر و ۱۵ برابر یک تن الوار چوب است.

علی‌رغم این باور عمومی که چوب همیشه سبزتر و پایدارتر از بتن یا آجر است اما نتایج دقیق و کمی این تحقیق نشان می‌دهد که در مراحل مختلف چرخه زندگی مانند مصرف انرژی انسانی سرانه چوب تولید شده انسان ۲/۵ برابر آجر و ۸۵ برابر سیمان و بتن است. دلیل این امر به کارخانه‌های کوچک برش چوب (کمتر از ۱۲ نفر)، کارخانه‌های آجر با جمعیت متوسط (کمتر از ۷۰ نفر) و کارخانه‌های سیمان با جمعیت بالا (معمولاً بیش از ۵۰۰ نفر) است که باعث کاهش بهینه‌سازی خط تولید می‌شود و در نتیجه سرانه انرژی انسان افزایش می‌یابد. همچنین از نظر انرژی حمل‌ونقل به دلیل نزدیک بودن کارخانه‌های تولید آجر به شهر تبریز (میانگین ۲۰ کیلومتر) مجموع انرژی حمل‌ونقل کمتر از چوب و بتن است. اما در مقایسه چوب با بتن، اگرچه فاصله منابع چوب بیشتر است اما از آنجا که ۸۰٪ از حمل‌ونقل آن از طریق قطار انجام می‌شود مقدار نهایی سوخت مصرفی یک چهارم بتن است.

با توجه به نتایج به‌دست آمده قابل مشاهده است که مجموع انرژی نهان یک تن الوار چوب یک‌پنجم یک تن آجر تولیدی و یک‌نهم یک تن بتن تولیدی است. در مورد CO₂ آزادشده به اتمسفر به‌ازای تولید هر کدام از مصالح نیز تقریباً همین نسبت برقرار است. در بستر جغرافیایی آذربایجان و به‌خصوص شهر تبریز دوستدار محیط زیست‌ترین مصالح چوب به‌دست آمده که گرچه بدون پایش دقیق این تصور عمومی برقرار است ولی با توجه به بستر جغرافیایی و فواصل جاده‌ای این نسبت‌ها کاملاً دچار دگرگونی می‌شوند و از این روست که نتایج ارزیابی انرژی نهان منحصربه‌فرد است و در بستر جغرافیایی، اقلیمی و صنعتی هر منطقه به‌طور مشخص برای آنجا سنجیده می‌شود.

ارایه داده‌های کمی دقیق در بازه جغرافیایی مذکور، اولین نوآوری تحقیق پیش رو نسبت به تحقیقات قبلی است. برای افزایش دقت مقایسه بین مراحل مختلف استخراج، پردازش و حمل‌ونقل هر یک از نمونه‌های موردی مورد بررسی، سه واحد صنعتی در شمال غربی کشور در صنایع تولید بتن، آجر، و چوب، در نظر گرفته شد؛ محدودکردن تحقیقات روی این مواد دومین نوآوری تحقیق است، چرا که در شرایط فعلی این مصالح از پرمصرف‌ترین مواد در عرصه کارهای ساختمانی هستند؛ لذا داشتن دیدی جامع‌تر از میزان آلودگی زیست‌محیطی هر یک از آنها در عرصه انتخاب یا عدم انتخاب آنها و در نتیجه پایداری بیشتر معماری حال حاضر ایران اثرگذار خواهد بود. همان‌طور که در این تحقیق مشخص شد انرژی نهان و کربن نهان وابسته به عوامل مختلفی است که ممکن است در ابتدا مورد توجه قرار نگیرند و بنابراین همیشه یک عامل تاثیرگذار نیست و با توجه به فاکتورهای مختلف مانند مسافت، انواع وسایل نقلیه، مقیاس کارخانه و در نتیجه بهینه‌سازی آن در خط تولید،

Architecture. 60:129.

-Sartori I, Hestnes AG (2007). Energy use in the life cycle of conventional and low-energy buildings: A review article. *Energy and Buildings*. 39(3):249-257.

-SATBA (2016). Renewable energies [Internet]. Tehran: SATBA; [cited 2020 April 22] Available from: <http://www.satba.gov.ir/>. [Persian]

-Spielmann M, Bauer C, Dones R (2007). *Transport Services*. Unknown city: Oxford Scholarship.

-Stumpf G, Aurelio M, Kulakowski MP, Breitenbach LG, Kirch F (2014). A case study about embodied energy in concrete and structural masonry buildings. *Revista de La Construcción*. 13(2):9-14.

-unitconverters.net (2020) [Internet]. Houston: Texas publication; [Unknown Cited]. Available from:

-United States Environmental Protection Agency (2020). Greenhouse gas equivalencies calculator [Internet]. Washington: United States Environmental Protection Agency; [cited 2019, 3 February]. Available from: <https://www.epa.gov/energy/greenhouse-gas-equivalencies-calculator>.

-Weiqian Z, Tan S, Lei Y, Wang Sh (2014). Life cycle assessment of a single-family residential building in Canada: a case study. *Building Simulation*. 7(4):429-438.

-World Health Organization (2000). Preventing and managing the global epidemic [Internet]. Geneva: World Health Organization; [Unknown cited]. Available from: https://www.who.int/nutrition/publications/obesity/WHO_TRS_894/en/.

-Zachariah JL, Kennedy C, Pressnail K (2002). What makes a building green. *International Journal of Environmental Technology and Management*. 2(1-3):38.

-Zhang W, Tan S, Lei Y, Wang S (2014). Life cycle assessment of a single-family residential building in Canada: A case study. *Building Simulation*. 7(4):429-438.

Toxicology and Chemistry and SETAC Foundation for Environmental Education.

-Gustavsson L, Sathre R (2006). Variability in energy and carbon dioxide balances of wood and concrete building materials. *Building and Environment*. 41(7):940-951.

-Kam M (2017). Working Group for Sustainable Construction. *Zero Carbon Building Journal*. 5(2):33-41.

-Layton BE (2008). A comparison of energy densities of prevalent energy sources in units of joules per cubic meter. *International Journal of Green Energy*. 5(6):438-455.

-Lazarus N (2002). *Construction materials report toolkit for carbon neutral developments part 1*. London: Beddington Zero (Fossil) Energy Development.

-Mateus R, Braganca L (2011). Life-cycle assessment of residential buildings. *International Conference Sustainability of Construction*. Unknown publisher.

-Muñoz C, Zaror C, Saelzer G, Cuchí A (2012). Study of Energy Flow in the life cycle of a housing and its implication on emissions of greenhouse gases, during the construction phase Case Study: Social Typology. Biobío Region of Chile. *Revista de La Construcción*. 11(3):125-145. [Spanish]

-Ouldboukhitine SE, Belarbi R, Jaffal I, Trabelsi A (2011). Assessment of green roof thermal behavior: A coupled heat and mass transfer model. *Building and Environment*. 46(12):2624-2631.

-Paul J, Tretsiakova-McNally S (2010). Sustainable non-metallic building materials. *Sustainability*. 2(2):400-427.

-Ramesh T, Prakash R, Shukla KK (2010). Life cycle energy analysis of buildings: an overview. *Energy and Buildings*. 42(10):1592-1600.

-Roaf S, Fuentes M, Thomas S (2013). *Ecohouse: A design guide*. Abingdon: Routledge.

-Rogers R (2005). *Action of Sustainability*. Japanese