

DOI: <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2025.74.354-367>

УДК 728/747

Емам'яфар Алі,

доктор філософії зі спеціальності

18.00.02 «Архітектура будівель та споруд»,

доцент кафедри дизайну

Київського національного університету будівництва і архітектури

emamianfar.al@knuba.edu.ua

<https://orcid.org/0000-0002-2729-3590>

Третяк Юлія Вікторівна,

доктор архітектури, професор, завідувач кафедри дизайну

Київського національного університету будівництва і архітектури

tretiak.iuv@knuba.edu.ua

<https://orcid.org/0000-0002-7537-5929>

Косаревська Раддаміла Олександрівна,

кандидат архітектури, доцент, доцент кафедри дизайну

Київського національного університету будівництва і архітектури

kosarevska.ro@knuba.edu.ua

<https://orcid.org/0000-0003-1076-0364>

АДАПТИВНИЙ ПІДХІД ДО ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОГО АРХІТЕКТУРНОГО ПРОЄКТУВАННЯ ОСВІТНІХ БУДІВЕЛЬ В ЄВРОПЕЙСЬКИХ КРАЇНАХ ТА ІРАНІ

Анотація: у статті розглянуто архітектуру сучасних шкіл у Європі та можливості адаптації закордонного досвіду для іранських умов. Для аналізу обрано два приклади з Франції: школи в портовому регіоні з вологим кліматом, що є подібним до умов півдня Ірану (узбережжя Перської затоки), та морфологічні школи для гірських і сільських районів, актуальні для західних регіонів країни. Окремо проаналізовано британську стійку школу з позицій упровадження енергоефективності та сучасних технологій, а також данський приклад, у якому досліджено роль природного освітлення через застосування модульних світлових вікон. Проведене дослідження демонструє, що поєднання архітектурних рішень із сучасними інженерними системами забезпечує ефективність, комфорт та енергоощадність навчальних будівель. Висновки статті спрямовані на формування наукового підґрунтя для моделювання сталої архітектури шкіл в Ірані, що враховуватиме кліматичне різноманіття та історико-культурний контекст країни.

Ключові слова: архітектура освітніх будівель; енергоефективність; сталий дизайн; освітні простори; кліматичні умови Ірану.

Постановка проблеми. У європейських країнах взаємозв'язок між архітектурними рішеннями та енергоефективністю формується під впливом кліматичних умов, нормативних вимог і рівня технологічного розвитку; застосовані там просторово-планувальні схеми, огорожувальні конструкції та інженерні системи працюють як контекстно залежні, узгоджені комплекси рішень. Іран, з огляду на значну кліматичну різноманітність, має власні кліматосумісні архітектурні практики, однак модернізація освітніх просторів потребує інтеграції сучасних технологій і методів, узгоджених із місцевими умовами. Отже, постає завдання науково обґрунтованого відбору та адаптації успішних європейських моделей енергоефективного шкільного проєктування з урахуванням регіональних кліматичних, сейсмічних і ресурсних чинників, а також подальшої верифікації їх ефективності на основі вимірюваних показників.

Актуальність теми. Запровадження у школах фотоелектричних систем, малих вітроустановок, високоефективного опалення й охолодження, а також технологій очищення та збору води дає результат лише за умови їх інтеграції з архітектурними принципами сталого проєктування. Технологічні рішення мають працювати не ізольовано, а як частина цілісної стратегії, що включає просторово-планувальну структуру, адаптовану до кліматичних умов, енергоефективну будівельну оболонку, раціональну організацію денного світла та природної вентиляції, акустичний комфорт і водно-ландшафтні підходи. Такий системний підхід дозволяє одночасно зменшити енергоємність і експлуатаційні витрати навчальних будівель, забезпечити стабільні параметри мікроклімату та відповідність нормативним вимогам, а також створити відтворювані моделі для масштабування у шкільній інфраструктурі.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Взаємозв'язок між методами архітектурного проєктування шкіл та впровадженням сучасних технологій окреслено й у низці іраномовних праць, які формують теоретичний і методичний контекст енергоефективного проєктування. Зокрема, узагальнення принципів сталості та енергозбереження у будівлях подано в монографії М. Малекі-Черквані та Н. Ахмаді-Маджед «Здорова стійка архітектура та методи енергозбереження в будівлях» (2018) [1]; питання «розумних» середовищ і керованих систем розглянуто в праці М. Табібі «Розумні будівлі: крок до створення розумних міст» (2020) [2]; просторово-семантичні підходи до читання архітектурного простору у виданні Х. Расулпура «Архітектурне прочитання простору» (2021) [3]; сучасні інтерпретації «іранського стилю» в архітектурі, релевантні для добору матеріалів і морфології, у праці М. Модждехі «Сучасна архітектура в «іранському стилі» в оцінках провідних фахівців» (2014) [4]. Хоч ці джерела не зосереджені безпосередньо на шкільних будівлях, вони надають концептуальні орієнтири для інтеграції технологій в архітектурні рішення

освітніх об'єктів і допомагають окреслити рамку критеріїв для подальшого порівняльного аналізу.

Європейський досвід у цій сфері значною мірою спирається на комплексні підходи до енергоефективності та сталості шкільного середовища. Зокрема, у колективній праці Д. Брихкова та ін. «Системна структура енергоефективності в школах: досвід шести європейських країн» (A systemic framework of energy efficiency in schools: experiences from six European countries, 2023) [5] обґрунтовано міждисциплінарну модель підвищення ефективності будівель освітнього призначення через поєднання архітектурних, технічних та поведінкових факторів.

Детальні техніко-економічні підходи до модернізації будівель проаналізовано в дослідженні Д. Ранджеловича та ін. «Підвищення енергоефективності шкільних будівель: приклад термоізоляції та заміни вікон із використанням аналізу витрат і вигод та енергетичного моделювання» (Improving Energy Efficiency of School Buildings: A Case Study of Thermal Insulation and Window Replacement Using Cost-Benefit Analysis and Energy Simulations, 2024) [6]. Автори доводять, що системна реновація шкільних будівель із використанням комп'ютерного моделювання дозволяє скоротити споживання енергії майже на половину, забезпечуючи при цьому відповідність екологічним стандартам ЄС.

Крім того, у звіті Європейського агентства з довкілля «Природоорієнтовані рішення у школах: зелений шлях адаптації будівель до зміни клімату в Солані-де-лос-Баррос, Естремадура (Іспанія)» (Nature-based solutions in schools: A green way to adapt buildings to climate change in Solana de los Barros, Extremadura (Spain), 2024) [7] підкреслено роль інтеграції природних елементів у проектування навчальних споруд. Розглянуто приклад використання зелених дахів, систем збору дощової води та природної вентиляції як засобів адаптації архітектури до підвищення температури та зменшення навантаження на охолодження будівель.

Такі європейські підходи, засновані на інтеграції архітектурних, технологічних і природоорієнтованих стратегій, можуть бути адаптовані до кліматичних і соціокультурних умов Ірану для формування сталих моделей розвитку освітнього середовища.

Мета статті: відповідно до адаптивного підходу обґрунтувати застосування енергоефективних архітектурних рішень будівель шкіл у європейських країнах до різних кліматичних регіонів Ірану.

Методи дослідження. Дослідження базується на визначенні базових принципів і підходів, що застосовувалися в іранській шкільній архітектурі, з подальшим їхнім аналізом у контексті створення енергоефективних освітніх просторів. Методологія охоплює загальнонаукові, міждисциплінарні та

спеціалізовані методи, серед яких: системний підхід, перехід від абстрактного до конкретного, ідеалізація, уявний експеримент, формалізація, а також аксіоматичний і дедуктивно-аксіоматичний підхід. На етапі емпіричного аналізу було застосовано методи, традиційні для архітектурно-проектної практики: натурне обстеження, фотофіксація, аналоговий метод моделювання, графоаналітичний підхід тощо. Такий поєднаний підхід дозволив комплексно оцінити архітектурні рішення з погляду функціональності, адаптивності та енергоефективності.

Виклад основного матеріалу. Розглянемо декілька європейських об'єктів, відібраних за критеріями кліматичної релевантності, наявності верифікованих проєктних матеріалів і відтворюваності рішень.

Середня школа «Порт-Маріанна» / Port Marianne Secondary School, Франція (A+Architecture, 2023). Об'єкт розташований в історичному районі портового міста; площа забудови: $\approx 5\,675\text{ м}^2$; школа відзначена знаком сталого будівництва (Рис. 1.А, Б). Корпус піднято на колонах із низьковуглецевого бетону (pilotis), що формує відкритий, продувний цокольний рівень і затінену громадську зону. Несуча система та оболонка виконані з використанням деревини: каркас і облицювання з модульних елементів, теплоізоляція - біопроходження; застосовано дугласію (для більшості фасадів) та ялину (для каркасних стін і службових приміщень). Вертикальні дерев'яні ламелі «розчиняють» масу будівлі, забезпечуючи керований сонцезахист (Рис. 1.Б, Г, Д, Е).

Планувально передбачено подвійну орієнтацію класів для перехресної природної вентиляції; озеленений внутрішній двір із дорослими листяними деревами працює як мікрокліматичний буфер (тінь, охолодження випаровуванням). Архітектоніка об'єму організована «шарово», з чітким розмежуванням відкритих, напіввідкритих і закритих просторів; це поєднується з модульністю, що дає змогу нарощувати, переставляти або демонтувати функціональні блоки впродовж життєвого циклу об'єкта [5].



Рис. 1. Середня школа «Порт-Маріанна», Франція.

А - План першого поверху; Б - Загальний вигляд будівлі; В - План другого поверху;
Г - Вигляд із першого поверху; Д - Головний фасад; Е - Вигляд згори [8].

Наведений приклад релевантний для спекотно-вологих прибережних зон (південне узбережжя Перської затоки): піднятий корпус забезпечує продування та тінь, подвійна орієнтація класів - перетікання повітря, озеленений двір - зниження теплового навантаження. Під час адаптації до умов соляного аерозолі та високої вологості доцільні: захист і добір порід деревини та кріплень, контроль містків вологи в огороженнях, корозійностійкі елементи, а також алгоритми керування фрамугами/жалюзі для нічного провітрювання й обмеження блиску [9–11].

Школа «Ле Кото Флері» / Les Coteaux Fleuris School, Франція (НЕМАА Architectes; Hesters Oyon, 2022). Об'єкт розташований на схилах нормандського села долини Сени з панорамами на лісистий ландшафт; загальна площа $\approx 1\,500\text{ м}^2$. Архітектурна мова спирається на локальну традицію фахверку та дерев'яних будівель: фасади й покрівлю виконано з модульних дерев'яних елементів, а покрівельний матеріал - сланцева черепиця. Просторове планування розвиває ідею «садибної» композиції: будівлі та навіси формують ієрархію відкритих/напіввідкритих просторів, що поєднуються з водно-ландшафтними рішеннями - збір дощових вод із ділянки та їх акумулювання у підземних резервуарах для поливу зелених насаджень (Рис. 2.Б). Конструкція галерей і

навісів без проміжних опор та модульність фасадно-покрівельних елементів забезпечують поетапне розширення: у початковому генеральному плані закладено можливість добудови класів, розширення їдальні та дворів, мережі й протипожежні системи передбачено з урахуванням зростання (Рис. 2.В, Г). Екологічна стратегія включає локальну деревину, сланець, фотоелектричні панелі та повну відмову від викопного палива в опаленні, що знижує вбудовану та експлуатаційну вуглецеву складову [12]. Планувальні рішення корелюють із пасивним використанням природної енергії: орієнтація класів, глибина навісів і буферні простори стабілізують світлоповітряний режим (Рис. 2.А).

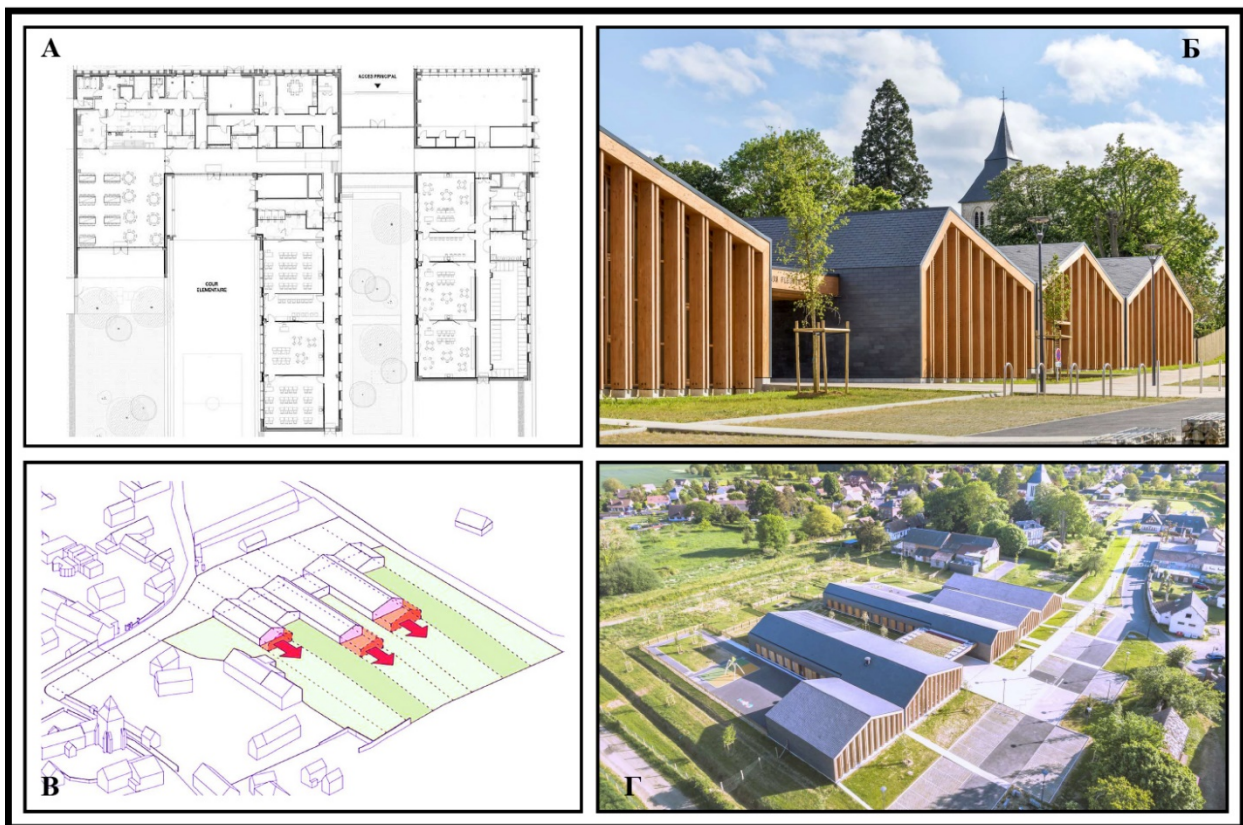


Рис. 2. Школа «Ле Кото Флері», Франція.

А - План; Б - Загальний вигляд будівлі; В - Схема розвитку; Г - Вигляд згори [12].

Приклад релевантний передгір'ям Загросу та Ельбурсу (Альборзу), де поширені сільські поселення на схилах і доступні камінь та деревина. Для холодніших і континентальніших умов доцільні: підвищені вимоги до теплотехнічних показників оболонки (U -значення) та повітронепроникності, продумана пароізоляція, вітрозахист галерей, перевірка снігових/вітрових навантажень і сейсмостійкості вузлів; водно-ландшафтні рішення варто адаптувати як інфільтраційні лінії/резервуари для посушливих сезонів. Модульна дерев'яна система забезпечує масштабованість і ремонтпридатність,

а поетапне розширення відповідність демографічній динаміці сільських громад [13-15].

Початкова школа громади Сандал Магна / Sandal Magna Community Primary School, Велика Британія (Sarah Wigglesworth Architects, 2010). Будівля розрахована на 210 учнів (5-11 років) і дитячий садок; передбачено громадські простори для навчання дорослих і можливість подальшого розширення. Планувальна структура: три паралельні одноповерхові крила з чіткою ієрархією відкритих/напіввідкритих зон та прямими виходами з класів на навчально-ігрові майданчики (Рис. 3.А). Архітектура підкреслює «читабельність» інженерії: у внутрішніх просторах відкрито демонструються вентиляційні канали, акустичні елементи, спринклерна мережа та система збору дощової води (Рис. 3.Б); різні типи облицювань і дерев'яних екранів маркують функціональні блоки та працюють як керований сонцезахист.

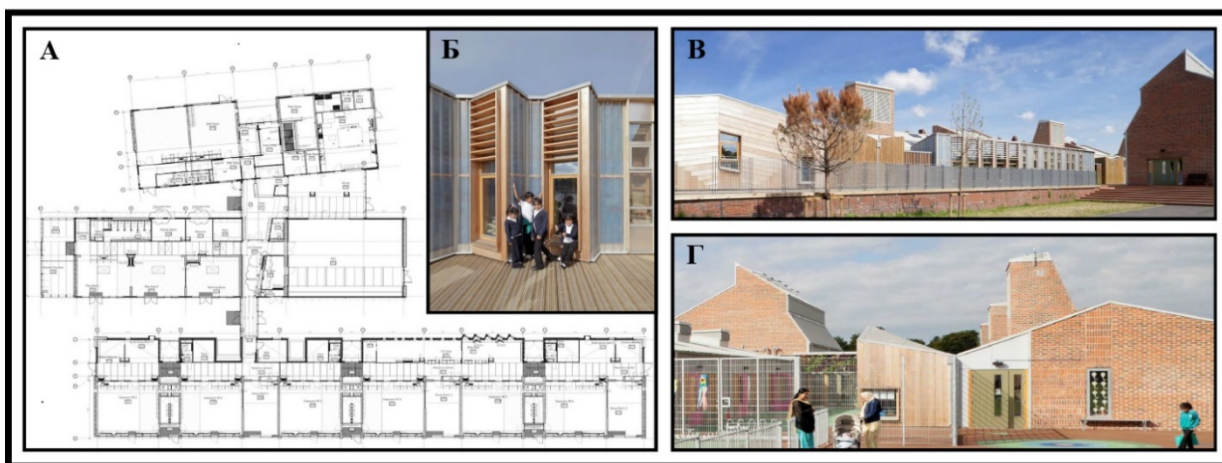


Рис. 3. Початкова школа громади Сандал Магна, Велика Британія (Вейкфілд).

А - Плани поверхів; Б - Вигляд із двору; В - Вигляд із вулиці; Г - Головний вхід [15].

Школа орієнтована на повністю природну вентиляцію з можливістю перехресного провітрювання; геотермальний тепловий насос забезпечує опалення/ГВП/охолодження; близько 100 м² фотоелектричних панелей інтегровано в огорожувальні конструкції для власного виробництва електроенергії. Використано теплову масу в класах (експоновані важкі конструкції), передбачено збір і повторне використання дощової води, а також вторинну цеглу зі старої школи для підпірних стін і ландшафтних елементів (Рис. 3.В, Г). Просторово організований «центральний кільцевий рух» пов'язує класи, групові зони та бібліотеку, мінімізуючи «сліпі» кути; зовнішній простір зоновано на навчальні, озеленені, тихі та ігрові ділянки з прямим доступом із класів [16].

Для спекотних і напівпосушливих регіонів доцільні: нічне провітрювання через верхні фрамуги, поєднання природної вентиляції з простими системами керування (CO₂/температура), сонцезахист вертикальними екранами, локальні матеріали з високою теплоємністю, а також PV + тепловий насос як гібридна енергетична «зв'язка». У зонах пилових бур варто додати фільтрацію припливу та сценарії експлуатації, що зменшують занесення пилу. Рекомендоване повторне використання матеріалів у благоустрої (вторинна цегла/камінь) для зниження вбудованої енергії та вартості. За цих умов досвід школи Сандал Магна є релевантним орієнтиром для гарячих і сухих підзон, де критичними є охолодження й контроль блиску [17-19].

Реконструкція та розширення школи Grøndalsvængets / Grøndalsvængets Skole, Данія — Копенгаген (JJW Architects). Майже 100-річну будівлю доповнено новими навчальними, музичними та спортивними просторами із збереженням історичного матеріалу й чітким екологічним профілем. Перша стратегія сталості: повторне використання ≈250 тис. цеглин із сусідньої напівзруйнованої лікарні, що зменшило вбудовані вуглецеві викиди та зберегло локальну фактуру матеріалу (Рис. 4.А). Друга - інтеграція модульних дахових світлових ліхтарів типу Northlight: 77 модулів і 4 акрилові куполи забезпечують рівномірне верхнє освітлення великих внутрішніх просторів і керовану природну вентиляцію; в теплий період це знижує потребу у штучному світлі та механічному охолодженні, а в міжсезоння підтримує ефективний повітрообмін (Рис. 4.В). Вимірювання до й після монтажу ліхтарів засвідчили істотне зростання рівномірності та достатності денного світла в навчальних зонах (Рис. 4.Б) [20-21]. Архітектори доповнили систему жалюзі/екранів для контролю блиску, передбачили прості сценарії нічного провітрювання (високі витяжні точки) і зберегли «читабельність» інженерії в інтер'єрах, формуючи здорові, безпечні для занять середовища (Рис. 4.Г).

Рішення релевантні вологим помірним і холодним гірським підзонам півночі та заходу Ірану, де дефіцит денного світла (через опади/хмарність) відчутний у колективних просторах. Для шкіл із похилими покрівлями доцільні ритмічні північні ліхтарі з дифузним світлом, керовані фрамуги для міжсезонної вентиляції, а також вторинна цегла в благоустрої/огородженнях задля зниження вбудованої енергії [22-23]. Під час адаптації потрібно врахувати: паро- та вітрозахист вузлів ліхтарів (конденсація), снігові й вітрові навантаження, акустичні абсорбери під ліхтарями, а в більш теплих підзонах — посилений сонцезахист і алгоритми запобігання перегріву.

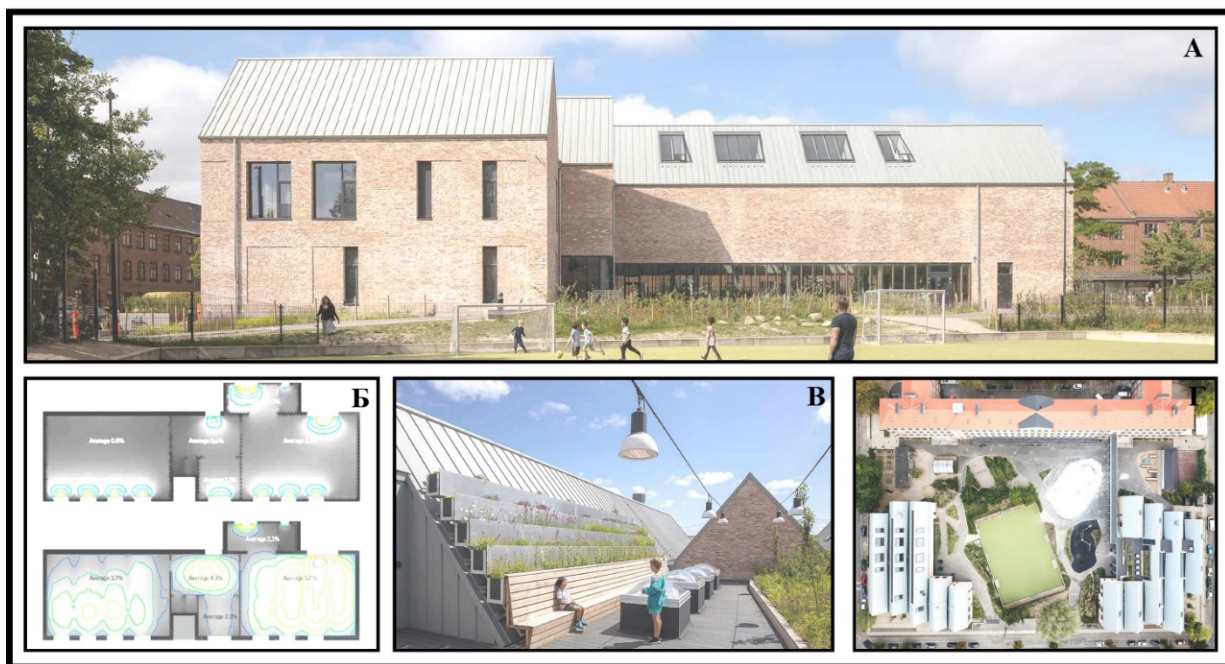


Рис. 4. Проєкт реконструкції та розширення школи Grøndalsvængets, Данія (Копенгаген).

А - Загальний вигляд будівлі; Б - Схема внутрішнього освітлення;

В - Розміщення модулів VELUX на покрівлі; Г - Вигляд згори [23].

Висновки. Аналіз європейських прикладів показує, що сучасні освітні простори проєктуються з урахуванням інноваційних потреб навчального процесу та енергоефективності. Використання відновлюваних джерел енергії, зокрема сонячних панелей та вітрових турбін, забезпечує школи необхідною електроенергією, а продумане архітектурне проєктування створює умови для ефективного опалення й охолодження приміщень у різні пори року. Застосування двошарових стін, якісної тепло- та звукоізоляції оболонки будівлі, а також інтегрованих систем збору й очищення води значно підвищує комфорт і якість навчального середовища.

У контексті розвитку матеріалознавства та будівельних технологій сучасні системи вентиляції й кондиціонування поєднують механічні та автоматизовані рішення з архітектурними засобами, що враховують місцеві кліматичні особливості й культурну спадщину. Такий підхід забезпечує гармонійне поєднання традиційної архітектури з новітніми технологіями, дозволяючи створювати здорове, енергоефективне та продуктивне освітнє середовище.

Для Ірану актуальним завданням є інтеграція сучасних енергоефективних технологій у шкільні будівлі з урахуванням регіональних кліматичних відмінностей. Попри існування різноманітних архітектурних рішень, широке застосування таких технологій ще не стало поширеною практикою. Тому необхідні цілеспрямовані архітектурні дослідження, адаптація європейського досвіду до локальних умов та розробка моделей, здатних поєднати інноваційні

системи з місцевими будівельними традиціями. Це дозволить сформувати сталу архітектурну стратегію розвитку шкіл, яка відповідатиме і сучасним енергетичним викликам, і культурному контексту країни.

Список літератури

1. ملکی چرکوانی مرتضی؛ احمدی مجد ندا. معماری سالم پایدار و روش‌های صرفه‌جویی در مصرف. ISBN 978-600-408-553-3. انرژی در ساختمان. تهران: روبان پژوه، ۱۳۹۷. ۲۷۲ ص.
2. طبیبی محمد. کتاب ساختمان‌های هوشمند: گامی در ایجاد شهرهای هوشمند. تهران: انتشارات زرین. ISBN 978-622-7467-71-7. اندیشمند، ۱۳۹۹. ۳۹۹ ص.
3. رسول پور هژیر. کتاب خوانش معماری فضا. تهران: انتشارات شهرسازی، ۱۴۰۰. ۱۵۲ ص. ISBN 978-622-984699-4.
4. مهدی مزدجی. کتاب معماری روز دنیا به سبک ایرانی از نظر صاحب نظران. تهران، ۱۳۹۳. ۱۴۱ ص.
5. Brychkov D., Goggins G., Doherty E., Romero N., Roudil N., Di Trani A., Singh A., Smit S., McLoughlin E., de Castro Rodrigues Lima R., Günbay S. M., Delmonte B. A., Hill A., Domegan C., Clifford E. A systemic framework of energy efficiency in schools: experiences from six European countries. Energy Efficiency, 2023, 16(4), 21. <https://doi.org/10.1007/s12053-023-10099-4>
6. Randelović D., Jovanović V., Ignjatović M., Marchwiński J., Kopyłow O., Milošević V. Improving energy efficiency of school buildings: a case study of thermal insulation and window replacement using cost-benefit analysis and energy simulations. Energies, 2024, 17(23), 6176. <https://doi.org/10.3390/en17236176>
7. European Environment Agency. Nature-based solutions in schools: a green way to adapt buildings to climate change in Solana de los Barros, Extremadura (Spain). Climate-ADAPT: Sharing adaptation knowledge for a climate-resilient Europe., 05.02.2024. URL: <https://climate-adapt.eea.europa.eu/en/metadata/case-studies/nature-based-solutions-in-schools-a-green-way-to-adapt-buildings-to-climate-change-in-solana-de-los-barros-extremadura-spain> (дата звернення: 06.08.2025).
8. Port Marianne Secondary School / Ateliers A+. ArchDaily, 11.02.2023. URL: <https://www.archdaily.com/996286/port-marianne-secondary-school-a-plus-architecture> ISSN 0719-8884. (дата звернення: 06.08.2025).
9. سلیقه، الهام؛ سعادت‌جو، پریا. بررسی نقش تخلخل در خودسایه‌اندازی و کاهش انرژی دریافتی جداره‌ها در ساختمان‌های اقلیم گرم و مرطوب. نقش جهان - مطالعات نظری و فناوری‌های نوین معماری و شهرسازی، ۱۳۹۸، T. 9, № 4, C. 257–271. URL: <http://bsnt.modares.ac.ir/article-۲-۳۵۵۴۷-fa.html> (дата звернення: 07.08.2025).
10. حزبی، مرتضی؛ ادیب، زهرا؛ نصراللهی، فرشاد. تهویه طبیعی در شواون‌های شهر دزفول با CFD. بهره‌گیری از مدل‌سازی، باغ نظر، T. 11, № 30, C. 37–48. URL: https://www.bagh-sj.com/article_6496.html

11. حیدری، شاهین؛ قاندى، حجت. تاثیر كالبد بافت‌های ساحلى بر متغیرهای اقلیمی در مناطق گرم و ۱۳۹۹. C. (پیاپی 97) 6, № 22, T. 22, مرطوب (مطالعه موردی: بندر عباس). علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۱۳۹۹. 267–279. SID. URL: <https://sid.ir/paper/389984/fa>
12. Les Coteaux Fleuris School / HEMAA Architectes + Hesters Oyon. ArchDaily, 21.02.2024. URL: <https://www.archdaily.com/989035/les-coteaux-fleuris-school-hemaa-plus-hesters-oyon> ISSN 0719-8884 (дата звернення: 10.08.2025).
13. گیوئی، هالگر. معماری همساز با اقلیم: اصول طراحی معماری زیست‌محیطی در مناطق گرم / ترجمه فرزانه شفیعی. - تهران: مرکز مطالعاتی و تحقیقاتی شهرسازی و معماری، ۱۳۸۹. ۲۱۸ - ۶۰۰-۸۵۰۹-۰۸-۹. ISBN 978-600-8509-08-9.
14. کسمایی، مرتضی. اقلیم و معماری / ویراستاری محمد احمدی‌نژاد. - چاپ دوم. - تهران: شرکت سرمایه‌گذاری خانه‌سازی ایران، ۱۳۸۹. ۳۰۶ - ۶۰۰-۸۵۰۹-۰۸-۹. ISBN 978-600-8509-08-9.
15. سازمان نوسازی، توسعه و تجهیز مدارس کشور. ضوابط و معیارهای طراحی فضاهای آموزشی. - تهران: سازمان نوسازی، توسعه و تجهیز مدارس کشور، ۱۳۹۶. ۲۵۶ - ۶۰۰-۸۵۰۹-۰۸-۹. ISBN 978-600-8509-08-9.
16. Sandal Magna Community Primary School / Sarah Wigglesworth Architects. ArchDaily, 26.08.2011. URL: <https://www.archdaily.com/163779/sandal-magna-community-primary-school-sarah-wigglesworth-architects> ISSN 0719-8884. (дата звернення: 11.08.2025).
17. توسلی، محمود. ساخت شهر و معماری در اقلیم گرم و خشک ایران. تهران: محمود توسلی، ۱۳۹۱. ۲۵۲ - ۶۰۰-۸۵۰۹-۰۸-۹. ISBN 978-600-8509-08-9.
18. مضطرزاده، حامد؛ حجتی، وحیده. تحلیل و ارزیابی معیارهای کالبدی پایداری در محلات شهری در اقلیم گرم و خشک ایران. معماری و شهرسازی پایدار. ۱۳۹۴. ۳(۲). ص. ۵۹-۷۴. URL: https://jsaud.sru.ac.ir/article_739.html
19. خلیج، مهرشاد، و لشکری، الهام. اصول پایداری شهری در اقلیم گرم و خشک ایران با تاکید بر شهرهای کهن. تهران: گنج هنر، ۱۳۹۱. ۱۳۴ - ۶۰۰-۸۵۰۹-۰۸-۹. ISBN 978-600-8509-08-9.
20. Souza, Eduardo. The Impact of Daylight on a School Renovation Project in Copenhagen. ArchDaily, 07.04.2023. ISSN 0719-8884. URL: <https://www.archdaily.com/998587/the-impact-of-daylight-on-a-school-renovation-project-in-copenhagen> (дата звернення: 12.08.2025).
21. Daylight symposium: Where knowledge meets practice [Електронний ресурс] / VELUX. URL: <https://buildforlife.velux.com/en/daylight-symposium> (дата звернення: 13.08.2025).
22. شعبانی کسبجی، رکسانا. هنرهای بومی در معماری معاصر. تهران: انتشارات ویهان، ۱۳۹۸. ۱۲۸ - ۶۰۰-۸۵۰۹-۰۸-۹. ISBN 978-622-6591-41-6.
23. فاطمی، الهام. آشنایی با مرمت ابنیه. تهران: انتشارات کتابدار، ۱۳۹۶. ۲۶۶ - ۶۰۰-۸۵۰۹-۰۸-۹. ISBN 978-600-249-199-0.

References

1. Maleki Charkavani, M., Ahmadi Majd, N. (2019). Healthy sustainable architecture and methods of energy saving in buildings. Tehran: Roban Pazhouh. ISBN 978-600-408-553-3. (in Persian).
2. Tabibi, M. (2020). Smart buildings: A step towards creating smart cities. Tehran: Zarrin Andishmand Publishing. ISBN 978-622-7467-71-7. (in Persian).
3. Rasoulpour, H. (2021). Reading the architecture of space. Tehran: Shahrsazi Publishing. ISBN 978-622-984699-4. (in Persian).
4. Mazdahi, M. (2014). Modern world architecture in the Iranian style from the perspective of experts. Tehran. (in Persian).
5. Brychkov, D., Goggins, G., Doherty, E., Romero, N., Roudil, N., Di Trani, A., Singh, A., Smit, S., McLoughlin, E., de Castro Rodrigues Lima, R., Günbay, S. M., Delmonte, B. A., Hill, A., Domegan, C., & Clifford, E. (2023). A systemic framework of energy efficiency in schools: experiences from six European countries. *Energy efficiency*, 16(4), 21. <https://doi.org/10.1007/s12053-023-10099-4> (in English).
6. Randelović, D., Jovanović, V., Ignjatović, M., Marchwiński, J., Kopyłow, O., & Milošević, V. (2024). Improving Energy Efficiency of School Buildings: A Case Study of Thermal Insulation and Window Replacement Using Cost-Benefit Analysis and Energy Simulations. *Energies*, 17(23), 6176. <https://doi.org/10.3390/en17236176> (in English).
7. European Environment Agency. (2024, February 5). Nature-based solutions in schools: A green way to adapt buildings to climate change in Solana de los Barros, Extremadura (Spain). Climate-ADAPT: Sharing adaptation knowledge for a climate-resilient Europe. <https://climate-adapt.eea.europa.eu/en/metadata/case-studies/nature-based-solutions-in-schools-a-green-way-to-adapt-buildings-to-climate-change-in-solana-de-los-barros-extremadura-spain> (in English).
8. ArchDaily. (2023, February 11). Port Marianne Secondary School / Ateliers A+. ArchDaily. <https://www.archdaily.com/996286/port-marianne-secondary-school-a-plus-architecture> (in English).
9. Saligheh, E., Saadatjoo, P. (2020). Impact of building porosity on self-shading and absorbed solar heat reduction in hot and humid regions. *Naqshejahan*, 9(4), 257–271. <http://bsnt.modares.ac.ir/article-2-35547-fa.html> (in Persian).
10. Hazbei, M., Adib, Z., Nasrollahi, F. (2014). Natural ventilation effect on Shavadoons in Dezful by applying CFD modeling. *Bagh-e Nazar*, 11(30), 37–48. https://www.bagh-sj.com/article_6496.html (in Persian).
11. Heydari, Sh., Ghaedi, H. (2020). The effect of coastal urban fabric on climatic variables in hot and humid regions (Case study: Bandar Abbas). *Environmental Science and Technology*, 22(6[97]), 267–279. <https://sid.ir/paper/389984/fa> (in Persian).

12. ArchDaily. (2024, February 21). Les Coteaux Fleuris School / HEMAA Architectes + Hesters Oyon. ArchDaily. <https://www.archdaily.com/989035/les-coteaux-fleuris-school-hemaa-plus-hesters-oyon> (in English).
13. Givoni, H. (2009). Climate-responsive architecture: Principles of environmental design in hot regions (F. Shafiei, Trans.). Tehran: Urban Planning & Architecture Research Center. ISBN 978-600-8509-08-9 (in Persian).
14. Kasmaei, M. (2010). Climate and architecture (2nd ed., M. Ahmadinejad, Ed.). Tehran: Iran Housing Investment Company. (in Persian).
15. Organization for Renovation, Development and Equipment of Schools of Iran. (2017). Standards and criteria for the design of educational spaces (256 pp.). Tehran: Organization for Renovation, Development and Equipment of Schools of Iran. (in Persian).
16. ArchDaily. (2011, August 26). Sandal Magna Community Primary School / Sarah Wigglesworth Architects. <https://www.archdaily.com/163779/sandal-magna-community-primary-school-sarah-wigglesworth-architects> (in English).
17. Tavasoli, M. (2012). Urban construction and architecture in the hot and dry climate of Iran. Tehran: Mahmoud Tavasoli. ISBN 9789640485880. (in Persian).
18. Moztarzadeh, H., Hojjati, V. (2015). Analysis of physical criteria of urban sustainable communities emphasized on Iran hot and arid climate. Sustainable Architecture and Urban Design, 3(2), 59–74. https://jsaud.sru.ac.ir/article_739.html (in Persian).
19. Khalaj, M., Lashkari, E. (2012). Principles of urban sustainability in Iran's hot and arid climate with emphasis on ancient cities. Tehran: Ganj Honar Publishing. (in Persian).
20. Souza, E. (2023, April 7). The impact of daylight on a school renovation project in Copenhagen. ArchDaily. <https://www.archdaily.com/998587/the-impact-of-daylight-on-a-school-renovation-project-in-copenhagen> (in English).
21. VELUX. (n.d.). Daylight symposium: Where knowledge meets practice. Build for Life. Retrieved August 13, 2025, from <https://buildforlife.velux.com/en/daylight-symposium> (in English).
22. Shabani Kasbaji, R. (2019). Indigenous arts in contemporary architecture. Tehran: Vihan Publishing. ISBN 9786226591416 (in Persian).
23. Fatemi, E. (2017). Introduction to the restoration of buildings. Tehran: Ketabdar Publishing. ISBN 978-600-249-199-0. (in Persian).

Abstract

Ali Emamianfar, Ph.D. of Architecture, Associate Professor of the Department of Design, Kyiv National University of Construction and Architecture.

Yuliia Tretiak, Doctor of Sciences of Architecture, Professor, Head of the Department of Design, Kyiv National University of Construction and Architecture.

Raddamila Kosarevska, Candidate of Sciences (comparable to the academic degree of Doctor of Philosophy, Ph.D.) of architecture, Docent, Associate Professor of the Department of Design, Kyiv National University of Construction and Architecture.

Adaptive approach to energy-efficient architectural design of educational buildings in European countries and Iran

This article examines architectural approaches to the design of contemporary schools in Europe and outlines the potential for adapting these experiences to the conditions of Iran. Several representative case studies were selected for analysis. The first example focuses on a French school located in a port area with a hot and humid climate, which directly parallels the climatic conditions of southern Iran along the Persian Gulf. The second example concerns morphological schools in mountainous and rural areas of France, which are particularly relevant to the western regions of Iran with their high concentration of rural schools. Special attention is given to a sustainable school in the United Kingdom, which demonstrates the integration of energy-efficient technologies and advanced air-conditioning and ventilation systems within the architectural environment. In addition, the study addresses innovative strategies of natural lighting in educational spaces through the case of a Danish school, where modular roof windows are applied to optimize daylight distribution inside classrooms. The comparative analysis highlights that the effectiveness of such projects depends not only on the implementation of advanced engineering systems but also on their harmonious integration with architectural solutions that respect local climate conditions, cultural context, and historical heritage. The study concludes that combining European best practices with regional specificities enables the formation of a new model of school architecture in Iran. Such a model adheres to the principles of sustainable development, increases energy efficiency, reduces operational costs, and creates a healthy and productive learning environment. The findings of the article may serve as a scientific basis for further architectural research and for practical projects on the modernization of school buildings in Iran.

Keywords: school architecture; energy efficiency; sustainable design; educational spaces; climatic conditions of Iran.