

DOI: <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2025.72.329-345>

УДК 728/747

**Емам'янфар 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](mailto: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](mailto: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](mailto:kosarevska.ro@knuba.edu.ua)

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

## **ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ АРХІТЕКТУРНІ РІШЕННЯ ШКІЛЬНИХ БУДІВЕЛЬ ІРАНУ ХХІ СТОЛІТТЯ**

Анотація: у статті досліджено архітектурні рішення, спрямовані на підвищення енергоефективності шкільних будівель Ірану ХХІ ст. в контексті кліматичної різноманітності країни. Проаналізовано приклади сучасних шкільних комплексів, зокрема в регіонах Ширази та Чабахара, з урахуванням застосування пасивних архітектурних прийомів та інноваційних технологій, таких як сонячні панелі, вітрогенератори, системи збору дощової води. Окрему увагу приділено архітектурно-просторовій організації навчальних закладів, інтеграції природного освітлення, вентиляції та озеленення як важливих факторів створення енергоефективного середовища. Висвітлено проблематику відсутності системного підходу до енергоефективного проєктування в існуючій практиці, попри наявність значного потенціалу використання відновлюваних джерел енергії в освітній інфраструктурі Ірану.

Ключові слова: шкільна архітектура; енергоефективність; архітектурні рішення; Іран; сонячні панелі; вітрові турбіни; внутрішній двір; кліматична адаптація; освітній простір.

**Постановка проблеми.** Упродовж останнього десятиліття в Ірані активно впроваджуються принципи енергоефективності в архітектурному проєктуванні шкіл. Проте практика свідчить, що результати залежать не лише від вартості використаних технологій, а насамперед від відповідності архітектурних рішень кліматичним умовам. Так, початкова школа Джадгал у місті Чабахар стала успішним прикладом енергоефективного проєктування: будівлю було зведено без використання систем механічного опалення, охолодження чи кондиціонування повітря. Завдяки орієнтації на традиційну кліматичну архітектуру, просторове планування та вентиляційні стратегії забезпечили комфортний мікроклімат за мінімальних енергетичних витрат. Натомість Ширазька школа медичних наук, спроєктована із застосуванням дорогих матеріалів і сучасних технічних систем, виявилася менш ефективною: високі експлуатаційні витрати та залежність від енергоємного обладнання свідчать про недостатню адаптацію архітектурного рішення до кліматичних реалій. Таким чином, основна проблема полягає у відсутності сталого балансу між використанням технологій і кліматично адаптованим архітектурним проєктуванням, що ускладнює досягнення справжньої енергоефективності в освітніх просторах Ірану.

**Актуальність теми.** Архітектурне проєктування шкіл в Ірані демонструє складну еволюцію, що відображає соціальні, політичні та технологічні зміни в країні протягом останнього століття. Особливо помітні трансформації відбувалися у зв'язку з переходами від періоду Пехлеві (1925–1979) до етапів існування Ісламської Республіки (з 1979 року), де кожен період мав свої підходи до планування освітніх просторів і використання природних ресурсів. Принципи енергоефективності при цьому впроваджувалися нерівномірно, часто в залежності від доступності технологій і рівня усвідомлення їх важливості на державному рівні.

Впродовж зазначених чотирьох періодів — Пехлеві I, Пехлеві II, Ісламська Республіка I та Ісламська Республіка II — змінювались просторові схеми, об'ємно-планувальні рішення, структура класів, орієнтація будівель, а також принципи формування шкільного подвір'я. Зокрема, традиційні архітектурні методи, які враховували кліматичну адаптацію, частково втратили позиції в періоди технологічної експансії, але сьогодні знову набувають актуальності як основа для сталого проєктування.

З огляду на те, що станом на 2024 рік в Ірані функціонує понад 151 000 навчальних закладів, де навчається більше 14 мільйонів учнів, питання енергоефективності в шкільній архітектурі набуває не лише економічного, а й екологічного значення. Створення просторових рішень, які поєднують

традиційні архітектурні принципи з сучасними технологіями, стає необхідною умовою для розвитку сталого освітнього середовища.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Останніми роками в Ірані спостерігається зростання наукового інтересу до проблеми енергоефективності в архітектурі освітніх закладів. Зокрема, у книзі *«Управління та сталий розвиток у школах»* (2024) Зареазаде Мегрізі Д. акцент зроблено на ролі адміністративного менеджменту та плануванні в досягненні сталих цілей у шкільному середовищі. Попри те, що архітектурна проблематика не є центральною темою видання, праця висвітлює нормативні та організаційні умови, у яких формується державна політика шкільного проєктування [1].

У книзі *«Зелені школи»* (2023) Резаян Н. розглянуто поняття екологічно орієнтованого освітнього середовища, у тому числі через архітектурно-планувальні рішення, такі як використання природного освітлення, озеленення шкільних територій, організація внутрішнього простору. Робота також містить посилання на міжнародні підходи до створення енергоефективних шкіл [2].

Обидві наукові праці відображають більш широкий контекст переосмислення ролі шкільного середовища в Ірані, проте не надають систематизованої типології архітектурних рішень сучасних шкіл. Таким чином, дослідження, присвячене аналізу архітектурної типології шкіл в Ірані з погляду енергоефективності, залишається актуальним і заповнює наукову прогалину.

**Метою даної статті** є аналіз архітектурних рішень, спрямованих на впровадження енергоефективних технологій у шкільних будівлях Ірану ХХІ ст., а також визначення ефективних підходів до оптимізації енергоспоживання через архітектурне проєктування.

**Методи дослідження.** Методологічною основою дослідження стало поєднання загальнонаукових, міждисциплінарних та спеціальних методів, що дозволяють проаналізувати архітектурні особливості шкільних будівель Ірану ХХІ ст. з позиції енергоефективності. Теоретичну частину дослідження становлять системний підхід, метод переходу від абстрактного до конкретного, прийоми ідеалізації, уявного експерименту, формалізації, а також аксіоматичний та дедуктивно-аксіоматичний аналіз. Практична частина базується на емпіричних методах, зокрема: натурному обстеженні об'єктів, фотофіксації, графоаналітичному аналізі, аналоговому методі проєктування.

**Виклад основного матеріалу.** Архітектурна типологія шкільних будівель Ірану ХХІ ст. демонструє поступовий перехід від стандартизованих проєктів до індивідуальних рішень, орієнтованих на адаптацію до кліматичних умов та енергоефективність. У сучасному проєктуванні все більше враховується необхідність природного освітлення, вентиляції, терморегуляції, застосування місцевих матеріалів і впровадження технологічних систем контролю

мікроклімату. Особливої актуальності набувають школи, побудовані після 2005 року, проекти яких поєднують інноваційні підходи з регіональним контекстом.

*Початкова жіноча школа «Мер і Данеш».* Ця школа розташована в місті Шираз і була побудована у 2008 році як триповерхова освітня будівля з комплексною інфраструктурою. До складу функціональних приміщень входять навчальні кабінети, обладнані сучасними інтелектуальними системами, лабораторії, бібліотека, комп'ютерна майстерня, плавальний басейн та тренажерний зал. Архітектурно-просторова композиція будівлі вирізняється округлою формою та м'якими обрисами, що сприяє зниженню вітрового навантаження та формує психологічно комфортне середовище (Рис. 1. А, Б).

У внутрішньому подвір'ї передбачено зони відпочинку із озелененням та трав'яним покриттям, що забезпечує м'яку поверхню для ігор і позитивно впливає на мікроклімат. Криті проходи, облаштовані по периметру двору, виконують функцію тінєвих навісів і слугують захистом від перегріву (Рис. 1. В).



Рис. 1. Початкова школа «Мер і Данеш», м. Шираз:

А – головний фасад; Б – вигляд з висоти (Google Maps);

В – внутрішній двір із дитячим простором; Г, Д – двері до класних кімнат з вентиляційними отворами і маркуванням за кольором [4].

Формування навчального середовища здійснено з урахуванням психологічного комфорту та орієнтації дітей у просторі. Поділ на класи

реалізовано через щорічне групування учнів із застосуванням кольорового маркування, що полегшує ідентифікацію навчальних груп і навігацію у приміщеннях.

На дверях кожного класу передбачено оглядове вікно та вентиляційний отвір для зручного нагляду з коридору. Додатковий вентиляційний отвір у нижній частині дверей сприяє покращенню повітрообміну, забезпечуючи природну циркуляцію повітря (Рис. 1. Г, Д) [4].

*Ширазька дошкільна та початкова школа медичних наук.* Школа розташована в місті Шираз і була спроектована архітектором Саїдом Растегаріаном у 2018 році. Комплекс школи включає 8 класних кімнат, розрахованих на 200 дітей, обладнаних відповідно до міжнародних стандартів з повним інтелектуальним та аудіовізуальним оснащенням. Інфраструктура доповнюється 3D-кінотеатром, консультаційною кімнатою, медичним кабінетом, залом для сніданків зі скляним дахом, кав'ярнею, зеленим дахом, кімнатою, кухнею та зоною для йоги. Загальна площа забудови становить 2000 кв.м.

Особливістю архітектурного рішення даного об'єкту є інноваційний фасад, виконаний з HPL-панелей у 23 кольорах. Понад 2000 елементів фасадної обшивки виконані у формі пазлів за мотивами Lego, що створює асиметричний дизайн. Вітражні елементи для сходових клітин були спеціально замовлені в Іспанії через вимоги до кольорової прозорості. Для школи було індивідуально виготовлено скляні стіни різних розмірів, що дозволило забезпечити природне освітлення і візуальний зв'язок із довкіллям (Рис. 2. А, Б).

Враховуючи видовженість ділянки та багатоярусне планування, архітектори використали принцип лінійної композиції з формуванням терас і консольних виступів різної глибини. Це дозволило зменшити візуальне сприйняття масивності об'єму будівлі та адаптувати її до масштабу дитини.

Однією з ключових ідей проекту стало використання природних краєвидів: гір, садів і зелених зон, що знайшло відображення у створенні високих панорамних вікон, скляних стін холу та зеленого даху. Яскраві кольори в оформленні фасадів, віконних рам, сходових майданчиків підкреслюють дитячий характер середовища, стимулюють уяву та сприяють мотивації до навчання (Рис. 2. В).

Технологічна інфраструктура включає інтелектуальні системи управління освітленням, температурою, звуковим супроводом, електричними шторами, а також інтеграцію з локальною інтернет-мережею та 3D-кінотеатром. В усіх класах реалізовано багаторівневе освітлення з можливістю налаштування сценаріїв освітлення відповідно до навчальних потреб. Просторове зонування



доповнюється скляним містом з вертикальним озелененням, який формує функціональний та естетичний центр комплексу (Рис. 2. Г, Д) [4].



Рис. 2. Дошкільна та початкова школа медичних наук, Шираз.

А, Б – головний фасад будівлі; В – рекреаційна зона та зелений простір;  
Г – план першого поверху; Д – план другого поверху [5].

*Початкова школа Джадгал.* Ця школа розташована в селі Саїдбар Джадгал (місто Чабахар), була збудована у 2020 році за проектом архітектора Араша Аліабаді та його команди (Махса Хоссейні, Назанін Моджахід). Проект став результатом трирічної волонтерської роботи та реалізовувався з ендегенним підходом до розвитку — за активної участі місцевої громади.

З причини обмеженого бюджету, сформованого виключно за рахунок благодійних внесків, архітектурне рішення базувалося на принципах самодостатності, мінімізації витрат та максимального використання місцевих матеріалів. Школа увійшла до переліку номінантів Всесвітньої архітектурної премії Ага Хана 2022 року як зразок соціально орієнтованого проекту сталого розвитку.

Просторова організація школи була підпорядкована концепції «навчання разом» та демократичного освітнього середовища. Центральним елементом виступає круглий двір, навколо якого розташовані чотири класні кімнати, бібліотека та майстерня. Розміщення об'єму за принципом обертання забезпечило ефективну природну вентиляцію, створення додаткових затінених зон для групових занять на відкритому повітрі та комфортного мікроклімату (Рис. 3. А, Б, В).

Особливістю фасадного рішення є оболонка з отворами різних розмірів і форм, які забезпечують як огляд навколишніх ландшафтів зсередини приміщень, так і природне освітлення та провітрювання. Товщина зовнішніх стін

використовується функціонально: у ній інтегровані допоміжні приміщення — магазин, охорона, склад. Головний вхід акцентується конструктивним вирішенням стіни, що також слугує запрошенням для місцевих мешканців (Рис. 3. Г, Д, Е).

Важливою рисою школи Джадгал є її багатофункціональність: окрім освітньої діяльності, будівля виконує роль громадського центру, простору для проведення культурних заходів, місця для занять ремеслами та туристичного сервісу. Фінансування утримання школи здійснюється за рахунок доходів від продажу місцевого рукоділля та екскурсійного обслуговування.

Будівля відзначається сейсмостійкістю та гармонійною інтеграцією в ландшафт завдяки облицюванню сумішшю цементу та місцевого ґрунту, що підкреслює її відповідність принципам енергоефективності та сталого розвитку [7].

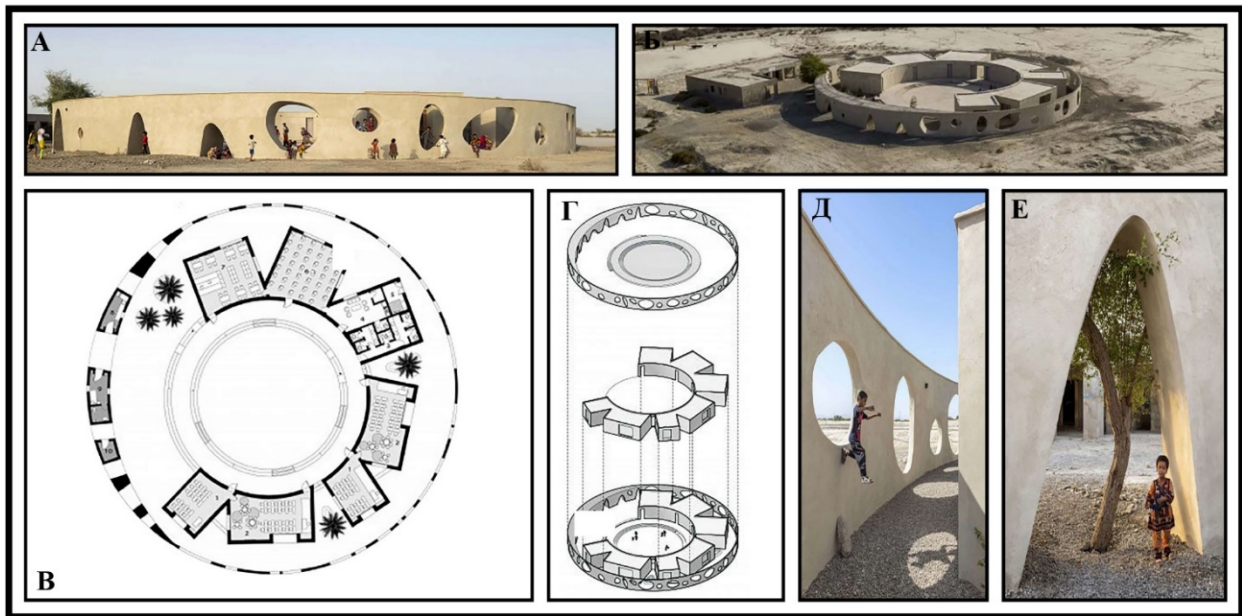


Рис. 3. Школа Джадгал, Чабахар.

А, Б – головний фасад; В – план першого поверху; Г – схема об’ємно-просторового рішення комплексу; Д, Е – внутрішній двір [6].

Розглянуті вище приклади демонструють різні підходи до архітектурного проектування шкіл в Ірані — від масштабних освітніх комплексів із використанням сучасних технологій до локальних проєктів, заснованих на принципах ендогенного розвитку. Проте, незалежно від масштабу та фінансування, спільним викликом для всіх типів шкільних будівель залишається досягнення енергоефективності в умовах різноманітних кліматичних зон Ірану.

Особливо актуальною ця проблема постає в регіонах із жарким та сухим кліматом, які займають понад 60% території країни. Центр та схід Ірану, де

домінують пустельні та напівпустельні ландшафти, мають значний потенціал для використання відновлюваних джерел енергії, насамперед сонячної. Незважаючи на успішне впровадження сонячних панелей на промислових об'єктах, у будівлях шкільного призначення подібні рішення практично не застосовуються.

Таким чином, інтеграція енергоефективних технологій у шкільне будівництво потребує системного підходу, враховуючи як кліматичні особливості регіонів, так і соціально-економічні чинники. При цьому використання локальних матеріалів, проектування з урахуванням традиційної архітектури та впровадження сучасних систем енергозбереження мають стати основою для розвитку архітектури освітніх закладів в Ірані (Рис. 4. А, Б, В).



Рис. 4. Застосування сонячних панелей в Ірані.

А – сонячна електростанція;

Б, В – сонячні панелі, встановлені на заводських та промислових будівлях [8].

Таким чином, попри наявності успішних прикладів впровадження архітектурних рішень, адаптованих до місцевих умов, питання ефективного використання відновлюваних джерел енергії в іранських школах залишається актуальним. Особливо це стосується використання сонячної енергії, яка в регіонах з жарким та сухим кліматом має найбільший потенціал для енергоефективного забезпечення навчальних закладів.

Наразі сонячні панелі в Ірані застосовуються переважно для промислових об'єктів та електростанцій, тоді як шкільна архітектура залишається осторонь цих технологій. Проте, у багатьох розвинених країнах світу, включно з Великою Британією та США, сонячні батареї активно використовуються для покриття енергоспоживання шкіл навіть у регіонах з меншою кількістю сонячних днів, ніж в Ірані. Використання дахів шкільних будівель для встановлення сонячних панелей дозволяє суттєво знизити витрати на електроенергію, що особливо важливо для підтримання комфортного мікроклімату в навчальних приміщеннях (Рис. 5. А, Б, В).





Рис. 5. Використання сонячних батарей у шкільних будівлях Європи та США.  
А – Приклад встановлення сонячних панелей на даху школи в Англії; Б, В –  
Реалізація сонячних енергосистем у шкільних комплексах США [9 - 11].

Сонячні панелі виробляються у різних розмірах та конфігураціях, що дозволяє їхню індивідуальну адаптацію до конструктивних особливостей кожної школи. Ці системи не лише забезпечують власне енергоспоживання, але й створюють можливості для формування автономного енергетичного балансу шкільних закладів. Конструктивні елементи та принцип їх роботи наведені на (Рис. 6. А, Б).

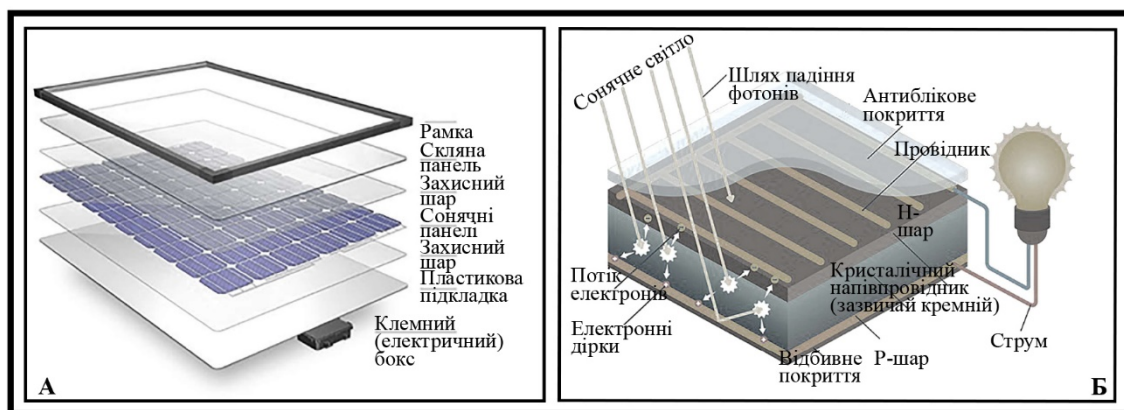


Рис. 6. Схема сонячних батарей.  
А – компоненти сонячних батарей;  
Б – принцип роботи сонячної панелі [12, 13].

Окрім використання сонячної енергії, значний потенціал для підвищення енергоефективності в шкільних комплексах Ірану має застосування вітрових турбін, особливо у регіонах з холодним кліматом, який охоплює понад 30% території країни (захід та північний захід). У цих зонах постійні західні вітри створюють сприятливі умови для використання вітроенергетичних технологій.

Енергоефективні рішення можуть включати встановлення малих вітрових турбін безпосередньо на дахах шкільних будівель — такі системи менш потужні, однак простіші в експлуатації та ефективні для автономного енергозабезпечення (Рис. 7. Б, Г). Для шкіл з великими відкритими територіями або розташованих на

схилах гірських районів доцільним є впровадження потужніших наземних турбін, здатних забезпечити значну частину енергоспоживання навчального комплексу (Рис. 7. А, В).

Розміщення таких установок вимагає врахування просторово-архітектурних рішень, включаючи формування вітрозахисних козирків та забезпечення гармонійного інтегрування турбін у шкільне середовище..

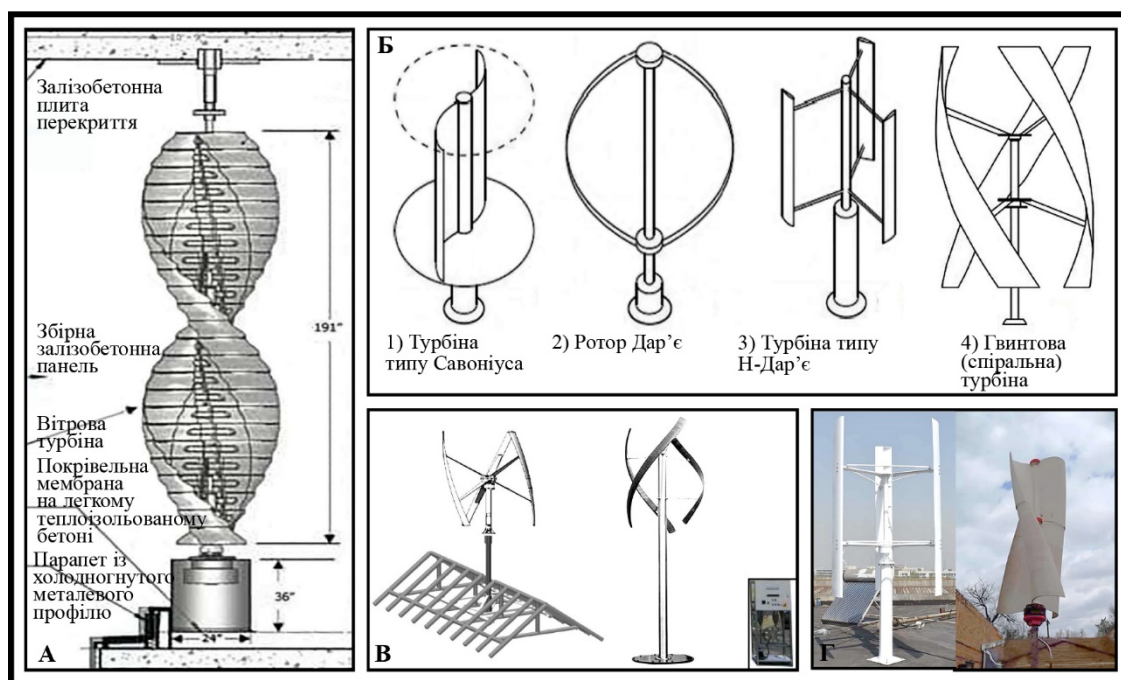


Рис. 7. Застосування вітрових турбін для енергоефективності шкільних комплексів. А – Вітрогенератор для встановлення у шкільних подвір'ях; Б – Основні типи вітрових турбін; В, Г – Види малогабаритних турбін для монтажу на дахах шкільних будівель [14 - 18].

Ще одним напрямом підвищення енергоефективності є раціональне використання опадів у регіонах із помірним і вологим кліматом. До таких територій належать північні області Ірану та прибережні зони Каспійського моря, де річна кількість опадів становить від 500 до 1000 мм. В умовах інтенсивного зволоження дощова вода стає цінним ресурсом, який може бути використаний для потреб шкільних закладів.

Особливо актуальним є застосування систем збору дощової води на дахах шкільних будівель, де ухил покрівель дозволяє ефективно спрямовувати стоки до спеціальних водоприймачів. Системи фільтрації, інтегровані у водозбірні комунікації, забезпечують очищення води до рівня, придатного для технічного або навіть питного використання. Це рішення дозволяє знизити навантаження на водопровідну інфраструктуру та сприяє формуванню автономних екосистем освітніх закладів (Рис. 8. А, Б).

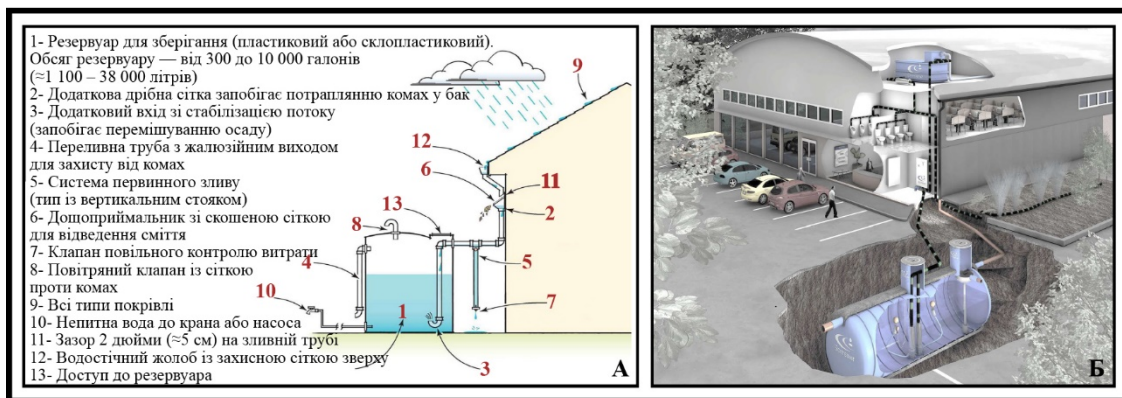


Рис. 8. Системи збору та очищення дощової води для шкільних будівель:

А — схематична схема очищення та накопичення дощової води;

Б — інженерне рішення інтеграції систем збору дощової води [19, 20].

Водночас у регіонах із жарким і вологим кліматом зберігається проблема недостатньої інтеграції сучасних технологій в архітектурне проектування шкіл. Використання традиційних підходів без належної адаптації до мікрокліматичних умов суттєво знижує енергоефективність будівель. Це підкреслює необхідність впровадження інноваційних рішень, спрямованих на підвищення терморегуляції, вентиляції та автономного енергозабезпечення освітніх просторів.

**Висновки.** Історичний аналіз архітектурних рішень шкільних будівель в Ірані демонструє послідовну еволюцію підходів до просторової організації та енергоефективності. У різні періоди — від епохи Каджарів і Пехлеві до сучасної Ісламської Республіки — використовувалися елементи, які сприяли природному освітленню, вентиляції та кліматичному захисту: розташування класних кімнат навколо внутрішніх дворів, використання вестибюлів (кріїв), ганків, арочних вікон, вертикальних і горизонтальних світлових прорізів, а також просторових перегородок, які забезпечували доступ денного світла у глибинні частини будівель.

У період Ісламської Республіки ці принципи трансформувалися, адаптуючись до нових технологічних та соціальних викликів. З'явилися нові просторові рішення — світлові атріуми, вузькі функціональні веранди, ефективне озеленення внутрішніх дворів, скляні фасади та розмежування зон через прозорі матеріали перегородок, що зберігають природну освітленість при зниженні енергоспоживання.

Попри ці зрушення, як державним, так і некомерційним школам Ірану бракує систематичного впровадження сучасних енергоефективних технологій. Використання сонячних панелей, вітрогенераторів, систем збору та очищення дощової води залишається локальним явищем, а не сталою практикою проектування і будівництва освітніх закладів.

Ключовим чинником ефективності є не лише застосування технологій, а й їх інтеграція в архітектурний контекст конкретної школи з урахуванням кліматичних, функціональних і соціальних особливостей регіону. Це вимагає залучення фахових архітекторів, які володіють компетенціями у сфері проєктування освітніх просторів і енергоефективних рішень.

Таким чином, подальша стратегія розвитку шкільної архітектури в Ірані повинна ґрунтуватися на комплексному поєднанні локальної архітектурної традиції та сучасних технологій енергозбереження, адаптованих до регіональних умов.

#### Список літератури

1. Зареазаде Мегрізі Д. Управління та сталий розвиток у школах. Тегеран: Зарневешт, 1403 [2024]. 110 с. ISBN 978-622-380-359-8. URL: <https://www.gisoom.com/book/44880884/کتاب-مدیریت-و-توسعه-یادار-در-مدارس> (дата звернення: 20.04.2025) [перською].
2. Резаян Н. Зелені школи. Тегеран: Фарзанеган-е Данешгах, 1402 [2023]. 108 с. ISBN 978-622-583-261-9. URL: <https://www.gisoom.com/book/44839455/کتاب-مدارس-سبز> (дата звернення: 21.04.2025) [перською].
3. Початкова жіноча школа «Мер і Данеш» (Шираз) [Електронний ресурс] // Mehr-Danesh: офіційний вебсайт. URL: <https://mehr-danesh.ir/elementary%20School/dabestan.aspx> (дата звернення: 22.04.2025) [перською].
4. Мехр С. М., Маджиді В. Визначення критеріїв архітектурного проєктування шкіл на основі теорії субстанційного руху Мулли Сафра як чинника формування ідентичності людини (на прикладі п'яти сучасних шкіл Ірану) // Дослідження фундаментальних наук про людину / Fundamental Research in the Humanities (تحقیقات بنیادین علوم انسانی). 1401 [2022]. №27. С.101–132. URL: <https://ecc.isc.ac/showJournal/39676/270072/3429606> (дата звернення: 23.04.2025). [перською з англійською анотацією].
5. Катемірі М. Дошкільний навчальний заклад Медичного університету Ширази [Електронний ресурс] // AOApedia: освітньо-дослідницький портал. 01.12.2018. URL: <https://aoapedia.ir/پیش-دبستانی-علوم-پزشکی-شیراز> (дата звернення: 24.04.2025) [перською].
6. Початкова школа Джедгал [Електронний ресурс] // CAOІ: Центр архітектурної документації Ірану. Останнє оновлення: 19.02.2022. URL: <https://www.caoi.ir/fa/projects/item/1678--مدارسه-ابتدایی-جدگال-چابهار-اداره-معماری-داز> [آرش-علی-آبادی.html](https://www.caoi.ir/fa/projects/item/1678--مدارسه-ابتدایی-جدگال-چابهار-اداره-معماری-داز) (дата звернення: 25.04.2025) [перською].



7. Особлива архітектура іранської школи (початкова школа Джедгал, Систан і Белуджистан) [Електронний ресурс] // FarsNews: інформаційне агентство. 06.06.2022. URL: <https://farsnews.ir/FarsNews/1654512419000627915/-معماری-ویژه-یک-مدرسه-ایرانی> (дата звернення: 26.04.2025) [перською].
8. Комплексний посібник з ремонту та обслуговування сонячних панелей [Електронний ресурс] // Dadmann: офіційний сайт. URL: <https://dadmann.com/solar-panel-maintenance-مقالات/راهنمای-تعمیر-نگهداری-پنل-خورشیدی> (дата звернення: 27.04.2025) [перською].
9. Churchill Academy School [Електронний ресурс] // Solarsense UK: офіційний сайт. URL: <https://www.solarsense-uk.com/casestudies/churchill-academy/> (дата звернення: 27.04.2025) [англійською].
10. Facilities & Operations: Solar Panels. [Електронний ресурс] // Libertyville School District 70: офіційний вебсайт. URL: <https://www.d70schools.org/departments/finance-operations/facilities> (дата звернення: 28.04.2025) [англійською].
11. Slabbekoorn A. Working on solar powered education in the Netherlands. [Електронний ресурс] // Panorama Solutions: офіційний вебсайт. Останнє оновлення: 11.11.2022. URL: <https://panorama.solutions/en/solution/working-solar-powered-education-netherlands/> (дата звернення: 29.04.2025) [англійською].
12. Метод виготовлення сонячної панелі [Електронний ресурс] // Sunan.ir: офіційний вебсайт. URL: <https://sunan.ir/Content/Item/62/how-to-work-solar-panels/> (дата звернення: 29.04.2025) [перською].
13. Мамандзаде М. Що таке сонячна панель Solar? Розмова з директором компанії Rojan Sanat Boukan [Електронний ресурс] // Peace Mark: офіційний сайт. 23.10.2021. URL: <https://www.peace-mark.org/conversation/126-15/> (дата звернення: 30.04.2025) [перською].
14. Castellani F., Astolfi D., Peppoloni M., Natili F., Buttà D., Hirschl A. Experimental Vibration Analysis of a Small Scale Vertical Wind Energy System for Residential Use. Machines, 2019, 7(2), 35. <https://doi.org/10.3390/machines7020035> [англійською].
15. Oklahoma Medical Research Foundation (OMRF): Wind and Solar PV Design and Engineering. Phase II [Електронний ресурс] / Submitted to Perkins+Will. 2009. 29 p. URL: <https://www.energime.com/downloads/OMRFphase2.1.pdf> (дата звернення: 02.05.2025) [англійською].
16. Lo Faro R. Hercules firma l'eolico per la casa. [Електронний ресурс] // VilleGiardini: вебсайт. 19.12.2016. URL: <https://www.villegiardini.it/hercules-firma-eolico-la-casa/> (дата звернення: 03.05.2025) [італійською].



17. FH 5KW–30KW vertical wind turbine generator. [Електронний ресурс] // FlytPower: офіційний сайт. URL: <https://www.flytpower.com/fh-5kw-30kw-vertical-wind-turbine-generator-product/> (дата звернення: 04.05.2025) [англійською].

18. A 3D printed wind turbine – Part 1 – Two years on the fence. [Електронний ресурс]. 23.03.2016. URL: <https://kansascitykitcompany.com/explorations-and-speculation/wind-turbine-part-1> (дата звернення: 04.05.2025). [англійською].

19. Соуза Е. Поради щодо використання дощової води в архітектурних проєктах [Електронний ресурс] // Sabat Arch: вебсайт. 08.06.2020. URL: <https://sabataarch.com/2020/06/08/tips-of-using-rain-water-in-architecture/> (дата звернення: 05.05.2025) [перською].

20. Delhi makes rainwater harvesting systems for schools and colleges compulsory. [Електронний ресурс] // Smart City: вебсайт. 16.11.2017. URL: <https://smartcity.eletsonline.com/rainwater-harvesting-systems-for-schools-and-colleges> (дата звернення: 06.05.2025) [англійською].

#### References

1. Zāre‘zādeh Mehrīzī, D. (2024). Modīriyyat va tose‘eh-ye pāydār dar madāres (Sustainable management and development in schools). Tehran: Zarnevesht. ISBN 978-622-380-359-8. Retrieved April 20, 2025, from <https://www.gisoom.com/book/44880884/کتاب-مدیریت-و-توسعه-پایدار-در-مدارس> (in Persian).

2. Rezāyān, N. (2023). Madāres-e sabz (Green schools). Tehran: Farzanegān-e Dāneshgāh. ISBN 978-622-583-261-9. Retrieved April 21, 2025, from <https://www.gisoom.com/book/44839455/کتاب-مدارس-سبز> (in Persian).

3. Mehr-Dānesh. (n.d.). Dabestān-e dokhtarāneh-ye Mehr o Dānesh (Shīrāz) (Elementary girls' school "Mehr o Danesh" (Shiraz)). Retrieved April 22, 2025, from <https://mehr-danesh.ir/elementary%20School/dabestan.aspx> (in Persian).

4. Mehr, S. M., & Majidi, V. (2022). Shenāsāyi meyhā-ye tarāhi-ye me‘māri-ye madreseh mobtani bar nazariye-ye harekat-e jawhari-ye Mulla Sadra be masābeh-ye āmel-e mo‘assar dar sheklgiri-ye hoviyyat-e ensān (barrasi-ye panj nemuneh az madāres-e mo‘āser dar Iran) [Identifying school architectural design criteria based on Mulla Sadra's theory of substantial motion as an effective factor in the formation of human identity (a case study of five contemporary schools in Iran)]. Tahqiqat-e Bonyadini-ye Oloum-e Ensani, 27, 101–132. Retrieved April 23, 2025, from <https://ecc.isc.ac/showJournal/39676/270072/3429606> (in Persian).

5. Ghatemiri, M. (2018, December 1). Pish dabestāni-ye oloum-e pezeshti-ye Shiraz [Preschool of Shiraz University of Medical Sciences]. AOApedia. Retrieved April 24, 2025, from <https://aoapedia.ir/پیش-دبستانی-علوم-پزشکی-شیراز> (in Persian).

6. CAOI. (2022, February 19). Madrese-ye ebtedāyi-ye Jedgāl [Jedgal Primary School]. Retrieved April 25, 2025, from <https://www.caoi.ir/fa/projects/item/1678-مدرسه-ابتدایی-جدگال-چابهار-اداره-معماری-داز-آرش-علی-آبادی.html> (in Persian).
7. FarsNews. (2022, June 6). Me'māri-ye vizheh-ye yek madreseh-e Irāni [Special architecture of an Iranian school]. Retrieved April 26, 2025, from <https://farsnews.ir/FarsNews/1654512419000627915/معماری-ویژه-یک-مدرسه-ایرانی/> (in Persian).
8. Dadmann. (n.d.). Rāhnamā-ye jāme'-e ta'mir va negahdāri-ye panelhā-ye khorshidi [Comprehensive guide to repair and maintenance of solar panels]. Retrieved April 27, 2025, from <https://dadmann.com/مقالات/راهنمای-تعمیر-نگهداری-پنل-خورشیدی-solar-panel-maintenan> (in Persian).
9. Solarsense UK. (n.d.). Churchill Academy School. Retrieved April 22, 2025, from <https://www.solarsense-uk.com/casestudies/churchill-academy/> (in English).
10. Libertyville School District 70. (n.d.). Facilities & Operations: Solar Panels. Retrieved April 28, 2025, from <https://www.d70schools.org/departments/finance-operations/facilities> (in English).
11. Slabbekoorn, A. (2022, November 11). Working on solar powered education in the Netherlands. Panorama Solutions. Retrieved April 29, 2025, from <https://panorama.solutions/en/solution/working-solar-powered-education-netherlands> (in English).
12. Sunan.ir. (n.d.). How to work solar panels. Retrieved April 29, 2025, from <https://sunan.ir/Content/Item/62/how-to-work-solar-panels/> (in Persian).
13. Mamandzadeh, M. (2021, October 23). Panelhā-ye khorshidi solar chist? Goftogu-ye Mohammad Mamandzadeh bā modir-e sherkat-e Rojan Sanat Boukan [What is a solar panel? Interview with the director of Rojan Sanat Boukan]. Peace Mark. Retrieved April 30, 2025, from <https://www.peace-mark.org/conversation/126-15/> (in Persian).
14. Castellani, F., Astolfi, D., Peppoloni, M., Natili, F., Buttà, D., & Hirschl, A. (2019). Experimental Vibration Analysis of a Small Scale Vertical Wind Energy System for Residential Use. *Machines*, 7(2), 35. <https://doi.org/10.3390/machines7020035> (in English).
15. Synergy California L.P. (2009). Oklahoma Medical Research Foundation (OMRF): Wind and Solar PV design and engineering. Phase II. Submitted to Perkins+Will. Retrieved May 02, 2025, from <https://www.energime.com/downloads/OMRFphase2.1.pdf> (in English).
16. Lo Faro, R. (2016, December 19). Hercules firma l'eolico per la casa [Hercules signs wind power for the home]. VilleGiardini. Retrieved May 03, 2025, from <https://www.villegiardini.it/hercules-firma-eolico-la-casa/> (in Italian).

17. FlytPower. (n.d.). FH 5KW–30KW vertical wind turbine generator. Retrieved May 04, 2025, from <https://www.flytpower.com/fh-5kw-30kw-vertical-wind-turbine-generator-product/> (in English).
18. Kansas City Kit Company. (2016, March 23). A 3D printed wind turbine – Part 1 – Two years on the fence. Retrieved May 04, 2025, from <https://kansascitykitcompany.com/explorations-and-speculation/wind-turbine-part-1> (in English).
19. Souza, E. (2020, June 8). Nokāti dar mored-e estefādeh az āb-e bārān dar projhehā-ye me‘māri [Tips on using rainwater in architectural projects]. Sabat Arch. Retrieved May 05, 2025, from <https://sabatarch.com/2020/06/08/tips-of-using-rain-water-in-architecture/> (in Persian).
20. Elets News Network. (2017, November 16). Delhi makes rainwater harvesting systems for schools and colleges compulsory. Smart City. Retrieved May 06, 2025, from <https://smartcity.eletsonline.com/rainwater-harvesting-systems-for-schools-and-colleges/> (in English).

#### 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.

#### **Energy-Efficient Architectural Solutions for School Buildings in Iran in the 21st Century**

This article explores architectural solutions aimed at enhancing the energy efficiency of school buildings in Iran in the 21st century, within the context of the country's diverse climatic conditions. The study analyzes contemporary examples of educational complexes, particularly in the Shiraz and Chabahar regions, focusing on the application of passive architectural strategies and the integration of modern technologies such as photovoltaic panels, wind turbines, and rainwater harvesting systems.

Special attention is given to the spatial organization of schools, including the role of courtyards, orientation of classrooms, use of shading devices, and incorporation of vegetation to improve microclimate conditions. The study emphasizes the importance of natural lighting and ventilation as key factors in reducing energy consumption while enhancing the educational environment.

Despite Iran's significant potential for utilizing renewable energy sources, the current practice of school design often lacks a systematic approach to energy efficiency. The findings highlight that, while some projects demonstrate successful integration of passive design principles with locally adapted solutions (e.g., the Jadgal School), others rely heavily on expensive technologies without achieving optimal energy performance.

The article concludes that achieving true energy efficiency in school architecture requires a balanced approach, combining climate-responsive design, traditional architectural elements, and appropriate technological interventions. The results of this research can serve as practical recommendations for architects, policymakers, and educational authorities in Iran, fostering the development of sustainable and energy-efficient educational infrastructure.

Keywords: school architecture; energy efficiency; architectural solutions; Iran; photovoltaic panels; wind turbines; courtyard; climatic adaptation; educational space.