Xalqaro tadqiqotlarning qiyosiy tahlili asosida Passive House turar joylarini O‘zbekiston sharoitiga moslashtirishni baholash

Umarkulova Shaxodat Mashrab qizi
Toshkent arxitektura-qurilish universiteti assistenti, Toshkent, O‘zbekiston
E-mail: sh.umarkulova@taqu.uz
ORCID ID: 0009-0004-1265-7699
doi:https://doi.org/10.5281/zenodo.23033063

Abstract. This article aims to comparatively analyze international studies on Passive House residential buildings and propose an approach for assessing how their design solutions could be adapted to conditions in Uzbekistan. Twenty purposively selected studies were analyzed in terms of energy performance, summer thermal comfort, climate responsive architectural design, and operational monitoring. The findings indicate that building orientation, glazing, shading, the building envelope, ventilation, and occupancy patterns should be assessed together. Measures that reduce heating demand should also be evaluated for their effects on cooling demand and the risk of summer overheating. The comparison further shows that differences in climate, building configuration, occupancy, and monitoring conditions must be considered when interpreting the energy performance reported for projects in other countries. The article proposes an assessment approach that identifies the conditions under which a solution performs effectively, determines what requires local verification, selects an adaptation measure, and specifies how its performance should be evaluated. Future research should assess the resulting design solutions through energy simulation across different climatic regions of Uzbekistan and verify their operational performance through monitoring of pilot buildings.
Keywords: Passive House; residential buildings; energy performance; climate adaptation; summer thermal comfort; architectural design; operational monitoring.

Аннотация. Цель статьи провести сравнительный анализ международных исследований жилых зданий стандарта Passive House и предложить подход к оценке возможности адаптации рассмотренных решений к условиям Узбекистана. По результатам целенаправленного отбора проанализированы 20 исследований, посвящённых энергетической эффективности, летнему тепловому комфорту, климатически адаптированным архитектурным решениям и мониторингу в период эксплуатации. Установлено, что ориентацию здания, остекление, солнцезащиту, параметры ограждающих конструкций, вентиляцию и режим эксплуатации необходимо оценивать во взаимосвязи. Решения, направленные на снижение потребности в отоплении, следует также проверять с точки зрения потребности в охлаждении и риска летнего перегрева. Сравнительный анализ показал, что при интерпретации энергетических показателей зарубежных проектов необходимо учитывать различия в климате, конфигурации зданий, режиме эксплуатации и условиях мониторинга. В статье предложен подход, предусматривающий определение условий эффективной работы решения, выявление потребности в его проверке в местных условиях, выбор меры адаптации и способа оценки результата. В дальнейших исследованиях проектные решения, выбранные на основе этого подхода, следует оценить с помощью энергетического моделирования для различных климатических регионов Узбекистана, а их показатели в период эксплуатации проверить посредством мониторинга пилотных объектов.

Ключевые слова: Passive House; жилые здания; энергетическая эффективность; адаптация к климатическим условиям; летний тепловой комфорт; архитектурное проектирование; эксплуатационный мониторинг.

Annotatsiya. Ushbu maqolaning maqsadi xalqaro Passive House turar joylariga oid tadqiqotlarni qiyosiy tahlil qilish va ulardagi yechimlarni O‘zbekiston sharoitiga moslashtirish uchun baholash yondashuvini taklif etishdan iborat. Maqsadli saralangan 20 ta tadqiqot energiya samaradorligi, yozgi issiqlik qulayligi, iqlimga mos arxitekturaviy yechimlar va ekspluatatsion monitoring yo‘nalishlari bo‘yicha tahlil qilindi. Natijalar bino yo‘nalishi, oynalanish, soyalanish, tashqi qobiq, shamollatish va foydalanish rejimini o‘zaro bog‘liq holda baholash zarurligini ko‘rsatdi. Isitish talabini kamaytiruvchi yechimlar bilan birga sovitish ehtiyoji va yozgi qizib ketish xavfi ham tekshirilishi lozim. Qiyosiy tahlil xorijiy loyihalardagi energiya natijalarini talqin qilishda iqlim, bino konfiguratsiyasi, foydalanish rejimi va monitoring sharoitlari farqini hisobga olish zarurligini ko‘rsatdi. Maqolada xalqaro yechimlarning ishlash shartlarini aniqlash, mahalliy tekshirish ehtiyojini belgilash, moslashtirish chorasini tanlash va natijani baholashga asoslangan yondashuv taklif etildi. Taklif etilgan yondashuv asosida tanlanadigan loyihaviy yechimlar keyingi tadqiqotlarda O‘zbekistonning turli iqlim hududlari uchun energetik simulyatsiya orqali baholanishi, ularning foydalanish davridagi natijalari esa pilot obyektlarda monitoring orqali tekshirilishi lozim.

Kalit so‘zlar: Passive House; turar joy binolari; energiya samaradorligi; iqlimga moslashtirish; yozgi issiqlik qulayligi; arxitekturaviy loyihalash; ekspluatatsion monitoring.

1. Kirish

Turar joy binolarida energiya sarfini kamaytirish arxitektura sohasida faoliyat yuritayotgan olimlarning va soha mutaxassislarining oldida turgan muhim vazifalardan biridir. Bu masala binoning tashqi ko‘rinishi yoki alohida qurilish materialini tanlash bilangina hal etilmaydi. Binoning joylashuvi, hajmiy-rejaviy tuzilishi, tashqi to‘siq konstruksiyalari va muhandislik tizimlari loyihalashning dastlabki bosqichidayoq o‘zaro muvofiqlashtirilishi zarur. Xalqaro energetika agentligining 2025-yilgi hisobotida binolar jahon energiya talabining qariyb 30 foizini tashkil etishi, ushbu sektor talabining taxminan 70 foizi turar joylarga to‘g‘ri kelishi qayd etilgan [1]. Bu ko‘rsatkichlar uy-joy qurilishida energiya talabini kamaytirishga qaratilgan yechimlarni kengroq o‘rganish zaruratini ko‘rsatadi.

O‘zbekistonda ham turar joylarning energiya iste’molidagi ulushi ushbu masalaga alohida e’tibor qaratishni talab qiladi. Xalqaro energetika agentligining 2018-yil ko‘rsatkichlarini yoritgan mamlakat profilida turar joy sektori yakuniy energiya iste’molining qariyb 40 foizini tashkil etuvchi eng yirik iste’molchi sifatida ko‘rsatilgan [2]. Mazkur ma’lumot bugungi holatni to‘liq ifodalamasada, turar joylar energiya samaradorligining mamlakat energetikasi uchun ahamiyatini ochib beradi. Shu sababli xalqaro tajribada qo‘llanilgan yondashuvlarni o‘rganish, ularning mahalliy qurilish amaliyotiga qanchalik mos kelishini aniqlash muhimdir. Passive House ana shunday yondashuvlardan biri hisoblanadi.

Passive House standartida asosiy e’tibor qulay ichki muhitni saqlagan holda binoning energiyaga bo‘lgan ehtiyojini kamaytirishga qaratiladi va shu bilan birga binoning isitish va sovitishga bo‘lgan energiya talabini keskin kamaytirishdan iborat. Bunga bino qobig‘ining yuqori darajadagi issiqlik izolyatsiyasi, energiya samarador deraza tizimlari, havo o‘tkazmaydigan konstruktiv qobiq, issiqlik ko‘priklarini minimallashtirish hamda issiqlikni qayta tiklovchi mexanik shamollatish tizimlarini kompleks qo‘llash orqali erishiladi[3,4]. Mazkur tamoyillarning natijasi ularni alohida qo‘llashdan ko‘ra, yagona loyiha doirasida qanchalik muvofiqlashtirilganiga bog‘liq. Shuning uchun Passive House tajribasini

o‘rganishda tayyor konstruktiv yechimlar bilan birga loyihalash, qurish va sifatni tekshirish jarayonlariga ham e’tibor berish lozim.

Ushbu standartning amaliy samaradorligi ilmiy tadqiqotlarda ham keng o‘rganilgan. 2 000 dan ortiq yangi qurilgan va rekonstruksiya qilingan Passive House turar joylarining real ekspluatatsion ko‘rsatkichlari tahlil qilingan tadqiqotda isitish uchun o‘rtacha yillik energiya iste’moli 14,6 kWh/(m² yil) ni tashkil etgani aniqlangan [5]. Tadqiqot natijalariga ko‘ra, o‘rganilgan loyihalarning o‘rtacha haqiqiy ko‘rsatkichlari loyihaviy hisob-kitoblarga yaqin bo‘lgan. Shu bilan birga, ayrim turar joylarda energiya iste’molining sezilarli farqlanishi foydalanuvchilarning xatti-harakatlari va ekspluatatsiya sharoitlari bilan bog‘liq ekani qayd etilgan. Bu esa binolarning energiya samaradorligini baholashda texnik yechimlar bilan bir qatorda foydalanish omillarini ham hisobga olish zarurligini ko‘rsatadi.

O‘zbekistonda Passive House tamoyillarini rivojlantirish masalasi nafaqat ilmiy adabiyotlarda, balki normativ-huquqiy va amaliy darajada ham bosqichma-bosqich shakllanib bormoqda. Mamlakatda binolarning energiya samaradorligini oshirish, energiya tejamkor texnologiyalarni joriy etish va past energiya sarfiga ega turar joylarni rivojlantirishga qaratilgan qator qonun hujjatlari hamda qurilish me’yorlari ishlab chiqilmoqda. Shu bilan birga, energiya samarador va passiv tamoyillarga yaqin pilot loyihalarni amalga oshirish bo‘yicha dastlabki amaliy tajribalar ham shakllanmoqda. Sharipov, Avezova va Salomovning tahliliy maqolasida xalqaro tajriba, Passive House standartlari, O‘zbekiston sharoitida quyosh energiyasidan foydalanish imkoniyatlari ko‘rib chiqilgan [6]. Shu jihatdan mazkur manba O‘zbekistondagi normativ rivojlanish, ilmiy yondashuvlar va dastlabki amaliy loyihalarni o‘zaro solishtirish hamda umumlashtirish uchun muhim nazariy asos bo‘lib xizmat qiladi. Biroq mavjud tajribalarni aniq arxitekturaviy parametrlar, energiya samaradorlik mezonlari va loyihaviy yechimlar bilan tizimli bog‘lash zarurati saqlanib qolmoqda. Mazkur tadqiqot aynan shu yo‘nalishda xalqaro tajriba, milliy normativ talablar va O‘zbekiston sharoitidagi amaliy yechimlarni o‘zaro bog‘liq holda tahlil qilishga qaratiladi.

O‘zbekistonda qurilish sohasining turli yo‘nalishlarida binolarning energiya samaradorligini oshirishga qaratilgan ilmiy tadqiqotlar olib borilgan. Xususan, kam qavatli turar joy binolarida quyosh energiyasidan passiv isitish maqsadida foydalanish va ushbu tizimlarning konstruktiv yechimlarini ishlab chiqish [7], bino qobig‘i orqali yuzaga keladigan issiqlik yo‘qotishlarini kamaytirish va issiqlik izolyatsiyasi parametrlarini mahalliy iqlim sharoitlariga mos optimallashtirish [8], tashqi devorlardagi issiqlik ko‘priklarini aniqlash hamda ularning binoning umumiy issiqlik himoyasiga ta’sirini kamaytiruvchi konstruktiv yechimlarni ishlab chiqish [9], quyosh energiyasidan passiv foydalanish, Trombe devori va issiqlikni akkumulyatsiya qiluvchi materiallar yordamida binolarning isitish energiyasiga bo‘lgan talabini kamaytirish [10], shuningdek, turli hududlarning iqlim xususiyatlarini hisobga olgan holda turar joylarning hajmiy-rejaviy, orientatsion va konstruktiv yechimlarini shakllantirish bo‘yicha alohida tadqiqotlar amalga oshirilgan [11,12].

Mazkur tadqiqotlar O‘zbekiston sharoitida energiya samarador binolarni shakllantirishning alohida komponentlari bo‘yicha muhim ilmiy asos yaratgan. Biroq passiv quyosh energiyasidan foydalanish, yuqori darajadagi issiqlik himoyasi, issiqlik ko‘priklarini minimallashtirish, bino orientatsiyasi, quyoshdan himoyalanish, energiya samarador deraza tizimlari, bino qobig‘ining havo o‘tkazmasligi hamda issiqlikni qayta tiklovchi shamollatish kabi yechimlarni yagona turar joy modeli doirasida o‘zaro bog‘lab, Passive House mezonlari asosida kompleks baholashga qaratilgan tadqiqotlar O‘zbekiston sharoitida yetarli darajada shakllanmagan.

Tadqiqot doirasida Passive House va Zero/Net Zero Energy Building (ZEB/Net ZEB) tushunchalarini ularning baholash mezonlari bo‘yicha farqlash muhimdir. Zero Energy Building konsepsiyasida asosiy e’tibor ma’lum hisob davri, odatda bir yil davomida binoga yetkazib berilgan energiya bilan qayta tiklanuvchi manbalardan ishlab chiqarilib, tarmoqqa

uzatilgan energiya o‘rtasidagi balansga qaratiladi. Bunda hisob chegarasi, energiya balansi ko‘rsatkichi, birlamchi energiya, energiya tashuvchilari, qayta tiklanuvchi energiyaning joylashuvi hamda bino va energiya tarmog‘i o‘rtasidagi energiya almashinuvi natijaviy bahoga bevosita ta’sir qiladi [13,14].

Passive House standarti esa birinchi navbatda binoning energiyaga bo‘lgan talabini arxitekturaviy, konstruktiv va muhandislik yechimlari orqali minimal darajaga tushirishga asoslanadi. Shu sababli yillik energiya balansini nolga yetkazgan har qanday bino avtomatik ravishda Passive House hisoblanmaydi. Bunday bino Passive House uchun belgilangan isitish va sovitish talabi, bino qobig‘ining havo o‘tkazmasligi, issiqlik komforti va boshqa sertifikatsiya mezonlariga ham javob berishi kerak.

Shu bilan birga, zamonaviy Passive House sertifikatsiyasi qayta tiklanuvchi energiya ishlab chiqarishni ham hisobga oladi. Passive House Institute standartida binolar Renewable Primary Energy (PER) talabi va qayta tiklanuvchi energiya ishlab chiqarishiga ko‘ra Classic, Plus va Premium sinflariga ajratiladi. Classic darajasida PER talabi 60 kWh/(m² yil) dan oshmasligi kerak va qayta tiklanuvchi energiya ishlab chiqarish majburiy emas. Plus darajasida PER talabi 45 kWh/(m² yil) dan oshmasligi va qayta tiklanuvchi energiya ishlab chiqarish kamida 60 kWh/(m² yil) bo‘lishi kerak. Premium darajasida esa PER talabi 30 kWh/(m² yil) dan oshmasligi va qayta tiklanuvchi energiya ishlab chiqarish kamida 120 kWh/(m² yil) ni tashkil etishi talab qilinadi [15].

Zero/Net Zero Energy Building va Passive House tushunchalari bir-birini istisno qilmaydi, biroq ular bir xil mezonlarga asoslanmaydi. Energiya ishlab chiqarish hisobiga yillik nol balansga erishgan bino Passive House mezonlarini bajarmasligi mumkin. Aksincha, energiya talabi avvalo Passive House talablari darajasigacha kamaytirilgan va keyinchalik qayta tiklanuvchi energiya tizimlari bilan ta’minlangan bino bir vaqtning o‘zida Passive House Plus yoki Premium sinfiga hamda tegishli hisoblash metodologiyasiga ko‘ra Net Zero Energy Building holatiga ham erishishi mumkin. Demak, ikki konsepsiyani qiyoslashda “energiya talabi” va “energiya balansi” tushunchalarini alohida baholash zarur.

Xorijiy loyihalarda olingan natijalar O‘zbekistonda Passive House qurilishini o‘rganish uchun asos bo‘la oladi. Biroq ular mahalliy sharoitda aynan shunday samaraga erishilishini oldindan tasdiqlamaydi. Buning uchun bir qator savollarga javob topish zarur: qaysi arxitekturaviy yechimlar mos keladi, isitish va sovitish talablari qanday muvozanatlashtiriladi, kerakli qurilish komponentlari va malakali mutaxassislar mavjudligi qanday baholanadi, qurilish sifati qaysi usullar bilan tekshiriladi? Mazkur tadqiqot xalqaro loyihalarda kuzatilgan samaradorlik bilan ularni mahalliy amaliyotga joriy etish shartlari o‘rtasidagi bog‘liqlikni o‘rganishga qaratiladi. Bunda asosiy masala Passive House afzalliklarini sanab o‘tish emas, balki uning O‘zbekistonda amalga oshirilishi uchun zarur shartlarni aniqlashdir.

Tadqiqotning maqsadi xalqaro tajriba va mahalliy loyiha haqidagi ma’lumotlarni qiyosiy tahlil qilish orqali O‘zbekistonda Passive House turar joylarini amalga oshirish shartlari, mavjud to‘siqlari va arxitekturaviy yechimlarni moslashtirish yo‘nalishlarini aniqlashdan iborat. Buning uchun ilmiy adabiyotlardagi loyihalar va hisoblash modellari tizimlashtirildi, energiya hamda qulaylik ko‘rsatkichlari baholandi.

Tadqiqot natijalari pilot turar joy loyihalariga dastlabki talablarni shakllantirish, mutaxassislarni tayyorlash yo‘nalishlarini belgilash hamda keyingi energetik modellashtirish va monitoring ishlarini rejalashtirishda qo‘llanishi mumkin. Taklif etiladigan tavsiyalar mahalliy energiya tejamkorligi va iqtisodiy samaradorlikni tekshirish uchun boshlang‘ich ilmiy asos vazifasini bajaradi.

2. Materiallar va metodlar

2.1. Ushbu tadqiqot Passive House turar joy binolarining energetik samaradorligi, iqlimga moslashuvi, yozgi issiqlik qulayligi, bino qobig‘i, foydalanish sharoitlari va ekspluatatsion monitoringiga oid ilmiy ishlarni tizimli ravishda guruhlash va qiyosiy tahlil qilishga asoslangan strukturaviy tahliliy sharh sifatida bajarildi.

Tadqiqotning asosiy maqsadi xalqaro Passive House tajribalarida samaradorlikka ta’sir qiluvchi arxitekturaviy, konstruktiv va ekspluatatsion omillarni aniqlash hamda ularning O‘zbekiston iqlim va qurilish sharoitiga moslashtirilishi uchun zarur bo‘lgan tekshirish yo‘nalishlarini belgilashdan iborat.

Asosiy tahlil korpusiga Passive House turar joylariga bevosita aloqador 20 ta ilmiy tadqiqot kiritildi. Tahlil birligi sifatida alohida maqolada bayon etilgan real turar joy binosi, tajriba obyekti, hisoblash modeli, parametrik tadqiqot yoki ko‘p obyektli monitoring dasturi qabul qilindi. Qurilgan va ekspluatatsiyada o‘lchangan binolar, faqat simulyatsiyaga asoslangan tadqiqotlar hamda ko‘p obyektli monitoring ishlari bir xil dalil darajasida talqin qilinmadi. Bu yondashuv real ekspluatatsion natijalarni nazariy yoki hisoblangan natijalardan ajratib baholash imkonini berdi. Maqolaning amaldagi versiyasida ham aynan shu farqlash tamoyili ko‘zda tutilgan.

Passive House Institute (PHI), Passive House Institute US (PHIUS) va boshqa milliy energiya samaradorlik standartlariga asoslangan tadqiqotlar o‘zaro to‘liq ekvivalent deb qabul qilinmadi. Shuningdek, yangi qurilgan obyektlar natijalari rekonstruksiya qilingan binolar natijalari bilan avtomatik tarzda birlashtirilmadi. Bu cheklovlar turli sertifikatsiya tizimlari va bino holatlarining energetik mezonlari o‘rtasidagi farqlarni saqlab qolish maqsadida qo‘llandi.

Tadqiqot doirasida yangi energetik simulyatsiya, mustaqil dala o‘lchovlari yoki iqtisodiy hisob-kitoblar bajarilmadi. Shu sababli maqolada keltirilgan xulosalar O‘zbekistonda aniq energiya tejamkorlik foizini tasdiqlashga emas, balki xalqaro tajribada samaradorlikka ta’sir qilgan omillarni aniqlash va ularni mahalliy sharoitda tekshirish uchun ilmiy asos yaratishga qaratildi. Bu chegaralash maqolaning hozirgi metodologik mazmuniga to‘liq mos keladi.

2.2. Manbalar tarkibi va saralash mezonlari

Adabiyotlar Passive House turar joylarining energetik ishlashi, iqlimga moslashuvi, yozgi qizib ketish xavfi, bino qobig‘i, orientatsiya va oynalanish, soyalanish, shamollatish, foydalanish xatti-harakati, monitoring hamda uzoq muddatli ishlash masalalariga aloqadorligi bo‘yicha tanlandi.

Qidiruvni mavzu bo‘yicha chegaralashda quyidagi asosiy kalit tushunchalardan foydalanildi: “Passive House”, “Passivhaus”, “residential building”, “energy performance”, “overheating”, “climate adaptation”, “monitoring”, “hot climate”, “continental climate”, “implementation” va “Uzbekistan”. Mahalliy adabiyotlarni aniqlashda mazkur tushunchalarning o‘zbekcha va ruscha ekvivalentlari ham hisobga olindi. Ushbu yo‘nalishlar maqolaning amaldagi metod bo‘limida ham ko‘rsatilgan.

Tadqiqotga kiritiladigan manbalar quyidagi mezonlarga javob berishi talab qilindi:

-tadqiqot Passive House yoki unga bevosita bog‘liq yuqori energiya samarador turar joy binosiga tegishli bo‘lishi;

-bino turar joy vazifasiga ega bo‘lishi yoki turar joylarga oid natijalar alohida ko‘rsatilgan bo‘lishi;

-tadqiqot usuli, obyekt tavsifi yoki energiya ko‘rsatkichlari aniqlanishi mumkin bo‘lishi;

-tahlil qilinayotgan yo‘nalish bo‘yicha yetarli texnik yoki ekspluatatsion ma’lumot mavjud bo‘lishi.

Faqat umumiy “passiv dizayn” tushunchasiga bag‘ishlangan, lekin Passive House bilan bevosita bog‘lanmagan ishlar, texnik asosga ega bo‘lmagan reklama materiallari, shuningdek asosiy ko‘rsatkichlarning kelib chiqishi yoki metodologiyasi aniqlanmaydigan manbalar tahlildan chiqarildi. Bu mezonlar maqoladagi 1-jadval mazmuniga mos keladi.

Tanlangan maqolalar quyidagi tahlil kategoriyalari asosida guruhlandi:

-yozgi qulaylik va qizib ketish;

-energetik ishlash va monitoring;

-iqlim va arxitekturaviy optimallashtirish;

-uzoq muddatli foydalanish;

-ko‘p mamlakatli joriy etish tajribasi.

Har bir tadqiqot asosiy ilmiy savoliga ko‘ra bitta dominant kategoriyaga kiritildi, biroq maqolaning boshqa yo‘nalishlarga oid natijalari ham sifat jihatidan tahlil qilindi. Mazkur tasnif amaldagi natijalar bo‘limida qo‘llanilgan besh guruhga mos keladi.

Adabiyotlarni tahlil qilishda har bir ish uchun iqlim sharoiti, bino turi, tadqiqot usuli, asosiy loyihaviy parametrlar, energiya ko‘rsatkichlari, yozgi issiqlik qulayligi, foydalanish sharoitlari va monitoring natijalari ajratib olindi. Ushbu ma’lumotlar keyinchalik O‘zbekiston sharoitiga moslashtirish imkoniyati nuqtayi nazaridan qiyoslandi.

1-jadval. Manbalarni mazmuniy saralash mezonlari

Saralash mezoni	Kiritish sharti	Chiqarib tashlash sharti
Mavzuga muvofiqlik	Passive Housening ishlashi, loyihalanishi yoki joriy etilishini o‘rganadi	Faqat umumiy passiv dizayn haqida bo‘lib, Passive House bilan bog‘liqligi aniqlanmagan
Bino vazifasi	Turar joy binosi yoki turar joylarga tegishli natijalar alohida berilgan	Natijalarni turar joylar uchun ajratib bo‘lmaydi
Ma’lumotning tekshirilishi	Manba, tadqiqot usuli yoki loyiha ko‘rsatkichlari aniqlanadi	Texnik dalilsiz reklama va tasdiqlanmagan bayonlardan iborat
Ma’lumotning yetarliligi	Tegishli tahlil yo‘nalishi uchun zarur ma’lumot mavjud	Asosiy ko‘rsatkichlarning mazmuni yoki kelib chiqishi noma’lum

2.3. Adabiyotlarni saralash jarayoni

Tadqiqot uchun Passive House turar joy binolarining energiya samaradorligi, iqlimga moslashuvi, yozgi qulayligi, monitoringi va uzoq muddatli ishlashiga oid ilmiy manbalar maqsadli ravishda saralandi. Dastlab mavzuga aloqador ilmiy ishlar aniqlanib, ularning sarlavha, annotatsiya va mavjud to‘liq matnlari tadqiqot maqsadiga muvofiqligi bo‘yicha ko‘rib chiqildi. Turar joy binolariga bevosita aloqador bo‘lmagan, Passive House bilan bog‘lanishi aniq bo‘lmagan yoki texnik va metodologik ma’lumotlari yetarli bo‘lmagan ishlar chiqarib tashlandi. Yakuniy tahlil korpusiga 20 ta asosiy ilmiy tadqiqot kiritildi. Ushbu tanlov statistik jihatdan barcha Passive House adabiyotlarini ifodalashga emas, balki maqola doirasidagi asosiy tahlil yo‘nalishlarini qamrab olishga qaratilgan.

Asosiy korpusdagi 20 ta tadqiqot statistik jihatdan barcha Passive House adabiyotlarini reprezentativ ifodalash uchun emas, balki maqolaning asosiy tahlil yo‘nalishlari ya’ni, yozgi qulaylik va qizib ketish, energetik ishlash va monitoring, iqlim va arxitekturaviy optimallashtirish, uzoq muddatli foydalanish hamda turli mamlakatlardagi joriy etish tajribalarini qamrab olish uchun tanlandi.

Shu sababli tadqiqot natijalari Passive House bo‘yicha mavjud barcha ilmiy ishlarning bibliometrik taqsimoti sifatida emas, balki O‘zbekiston sharoitiga moslashtirish uchun muhim bo‘lgan dalillarni strukturali qiyoslash sifatida talqin qilinadi.

2.4. Mahalliy moslashtirish va dalillarni umumlashtirish

Mahalliy moslik besh yo‘nalishda ko‘rib chiqildi: iqlim va arxitektura; materiallar va texnologiyalar; mutaxassislar va qurilish sifati; me’yoriy talablar va tekshirish tartiblari; iqtisodiy shartlar. Har bir yo‘nalishda xalqaro yechimning samarali ishlash shartlari, mavjud mahalliy ma’lumotlar va qo‘shimcha tekshirish zarurati aniqlandi. Tahlil natijalari uch guruhga ajratildi: mavjud mahalliy dalillar bilan asoslanadigan yechimlar; qo‘shimcha hisob-kitob, modellashtirish yoki amaliy sinovlarni talab qiladigan yechimlar; hamda O‘zbekiston sharoitida baholash uchun mahalliy ilmiy va eksperimental dalillar yetarli bo‘lmagan yo‘nalishlar.

3. Natijalar

3.1. Xalqaro tajribaning umumiy natijalari

Passive House loyihalarini O‘zbekistonda amalga oshirish istiqbollarini baholashda ikki masalani ajratish zarur: standart talablariga texnik jihatdan erishish imkoniyati va ushbu yechimlarni mahalliy qurilish amaliyotiga joriy etish shartlari. Xalqaro tadqiqotlar birinchi masala bo‘yicha ilmiy asos beradi, ikkinchisi esa mahalliy materiallar, loyihalash amaliyoti, qurilish sifati va iqtisodiy sharoitlarni alohida o‘rganishni talab qiladi.

Schnieders, Feist va Rongen turli iqlim zonalari uchun bajarilgan dinamik issiqlik-namlik modellashtirish natijalariga asoslanib, Passive House turar joylarini turli iqlim sharoitlarida loyihalash texnik jihatdan mumkinligini ko‘rsatgan [21]. Ushbu tadqiqotdan O‘zbekiston uchun kelib chiqadigan xulosa shuki, xalqaro standartga erishish imkoniyatini bitta xorijiy binoning konstruksiyalarini takrorlash orqali baholab bo‘lmaydi. Mahalliy hudud uchun bino shakli, oynalanish, quyoshdan himoyalash va tashqi qobiq xususiyatlarini birgalikda tekshirish zarur.

Issiq hududlar tajribasi ham taqqoslashda muhim o‘rin tutadi. Khalfan va Sharples Fors ko‘rfazi hududidagi dastlabki Passivhaus loyihasini o‘rganishda modellashtirish va joyida o‘lchash ma’lumotlaridan foydalangan. Taqqoslangan ikki villaning rejasi bir xil bo‘lsada, qurilish materiallari, sovitish tizimi, yoritish va maishiy jihozlari farqlangan [22]. Bu holat energiya sarfidagi farqni faqat devor materiali yoki izolyatsiya bilan izohlash yetarli emasligini ko‘rsatadi. O‘zbekiston uchun loyihalar taqqoslanganda ham muhandislik tizimlari va foydalanish sharoitlari hisobga olinishi kerak.

Joriy etish masalasi texnik hisoblar bilan cheklanmaydi. Alnashri va hammualliflarning Saudiya Arabistoni qurilish sektori bo‘yicha tadqiqotida Passive House’ni qo‘llash bilan bog‘liq to‘siqlar, jumladan, malaka va o‘qitish dasturlariga oid muammolar ko‘rib chiqilgan [23]. Bu omillar O‘zbekistonda ham tekshirilishi lozim bo‘lgan yo‘nalishlardir, biroq xorijda aniqlangan to‘siqlarni mahalliy tadqiqotsiz mamlakat uchun tasdiqlangan holat sifatida qabul qilish mumkin emas.

3.2. Tadqiqotlarning asosiy mavzular bo‘yicha tahlili

Ko‘rib chiqilgan 20 ta tadqiqot asosiy savoliga ko‘ra besh mavzuga ajratildi: yozgi qulaylik va qizib ketish (6 ta), energetik ishlash va monitoring (6 ta), iqlim va arxitekturaviy optimallashtirish (5 ta), uzoq muddatli foydalanish (2 ta) hamda ko‘p mamlakatli joriy etish (1 ta). Ayrim maqolalar bir nechta masalani o‘rgangan bo‘lsada, hisobda har biri faqat bitta asosiy mavzuga kiritildi.

Yozgi qulaylik va qizib ketish

Ushbu yo‘nalishdagi olti tadqiqot [26, 27, 30, 37, 38, 43] Passive House binosida yillik energiya ko‘rsatkichlari bilan yozgi issiqlik qulayligini alohida tekshirish zarurligini ko‘rsatadi.

Kiprdagi turar joy monitoringida yozda barcha kuzatilgan zonalarda qizib ketish aniqlangan, optimallashtirilgan tungi shamollatish esa ichki havo haroratini o‘rtacha 1,4 °C pasaytirgan [26]. Foydalanilayotgan boshqa passiv uyda o‘lchovlar va simulyatsiya soyalanish, tungi shamollatish hamda ichki issiqlik ajralishining yozgi haroratga ta’sirini ko‘rsatgan [27]. Xitoyning yozi issiq, qishi sovuq hududidagi kvartira variantlarida qobiq izolyatsiyasi va havo o‘tkazmasligini yaxshilash qishki energiya sarfini kamaytirgan; yozgi ishlashni baholashda esa soyalanish va shamollatish ssenariylari ham muhim bo‘lgan [30]. Shunday qilib, qishki issiqlik yo‘qotilishini kamaytiruvchi yechimlar yozgi harorat va sovitish talabi bilan birgalikda tekshirilishi zarur [26, 27, 30].

Real foydalanish sharoitidagi tadqiqotlar qizib ketishni baholash usuli ham natijaga ta’sir qilishini ko‘rsatadi. Buyuk Britaniyadagi 25 ta ijtimoiy kvartiraning uch sovitish mavsumidagi monitoringida Passivhaus’ning qat’iy harorat mezoni bo‘yicha kvartiralarning uchdan ikki qismidan ko‘prog‘i belgilangan chegaradan oshgan [37]. Irlandiyadagi turar joyda PHPP hisoblagan qizib ketish chastotasi o‘lchangan haroratlar bilan qiyoslanib, bino bo‘yicha umumlashtirilgan ko‘rsatkichni alohida xonalardagi sharoitdan farqlash zarurligi ko‘rsatilgan [38]. Mexiko shahridagi sertifikatlangan uy esa Passivhaus, mahalliy va adaptiv qulaylik mezonlari asosida baholangan [43]. Ushbu natijalar yozgi qulaylik haqidagi xulosa kuzatilgan xona, vaqt davri va tanlangan baholash mezoniga bog‘liqligini ko‘rsatadi [37, 38, 43].

Energetik ishlash va monitoring

Loyihada hisoblangan energiya samaradorligini foydalanish davridagi ko‘rsatkichlar bilan qiyoslash Passive House binolarining amaldagi ishlashini baholashga imkon beradi. Shimoliy Xitoydagi turar joyning qishki monitoringida 47% bandlik sharoitida isitish talabi 28 kWh/(m² yil) deb qayd etilgan [32]. Bu natija binolar energiya sarfini qiyoslashda aholi soni va foydalanish sharoitini hisobga olish zarurligini ko‘rsatadi. Ruminiyadagi tadqiqotlardan birida mahalliy iqlim, materiallar va qurilish usullariga mos Passive House yechimlari milliy energiya talablariga muvofiq namunaviy uy bilan taqqoslangan [33]. Boshqa tadqiqotda esa Buxarestdagi passiv uyning energetik ishlashi qobiq va muhandislik tizimlari bilan birgalikda o‘rganilgan [34]. Shu bois energiya natijasini ayrim konstruktiv elementlar orqali emas, bino va uning tizimlari ishlashi orqali baholash asosliroqdir [34, 34].

Shvetsiyadagi to‘qqizta passiv uyda energiya iste’moli va ichki issiqlik muhiti an’anaviy uylar bilan qiyoslanib, yashovchilarning qulaylik haqidagi fikrlari ham o‘rganilgan [36]. Londondagi Camden Passivhaus misolida esa loyihadagi energiya prognozlari real foydalanish ko‘rsatkichlari bilan tekshirilgan [39]. Bu ishlar o‘lchangan sarfni binodan foydalanish tartibi va ichki muhit haqidagi ma’lumotlar bilan birga talqin qilish zarurligini ko‘rsatadi [36, 39]. Pensilvaniyadagi yonma-yon joylashgan ikki ko‘p kvartirali binoning ikki yillik monitoringida PHIUS+ 2015 talablari asosida qurilgan bino an’anaviy binoga nisbatan taxminan 50% kam energiya iste’mol qilgan [42]. Mazkur foiz o‘rganilgan binolarga xos natija bo‘lib, uni boshqa iqlim yoki bino turiga tayyor tejamkorlik ko‘rsatkichi sifatida ko‘chirish mumkin emas.

Iqlim va arxitekturaviy optimallashtirish

Passive House yechimlarining samaradorligi hudud iqlimi va bino konfiguratsiyasiga bog‘liq [24, 25, 28, 29, 31]. Portugaliyadagi real bino asosida energiya ishlashi va yozgi qizib ketish birgalikda hisobga olinib, izolyatsiya darajasi hamda issiqlikni qayta tiklash tizimining

maqsadga muvofiqligi joylashuvga qarab o‘zgarishi ko‘rsatilgan [24]. Shu mamlakatdagi ikki qavatli uy modeli orqali issiqlik qulayligi va energiya natijalarining loyiha parametrlariga sezgirligi o‘rganilgan [25]. Birgalikda bu ishlar avval natijaga kuchli ta’sir qiluvchi parametrlarni aniqlash, so‘ng ularning maqbul kombinatsiyasini izlash zarurligini ko‘rsatadi [24, 25].

Sevilyadagi yakka tartibdagi uy loyihasida iliq iqlim uchun Passive House talablari Ispaniya qurilish kodeksidagi nZEB yondashuvi bilan bir bino doirasida qiyoslangan [28]. Bu usul xalqaro standartning natijasini mahalliy me’yoriy yechimga nisbatan baholash imkonini beradi. Turli Yevropa iqlimlari bo‘yicha o‘tkazilgan tahlilda bino yo‘nalishi, shu jumladan asosiy geografik yo‘nalishlardan og‘ishi, optimal oynalanish maydonini o‘zgartirishi aniqlangan [29]. Xitoyning turli iqlim zonalaridagi parametrik tadqiqotda esa qobiq, deraza va shamollatish omillarining ahamiyati hududga qarab baholangan [31]. Demak, maqbul arxitekturaviy yechimni bitta element uchun belgilangan universal qiymatdan chiqarib bo‘lmaydi; fasad yo‘nalishi, oynalanish, qobiq va shamollatishning iqlim bilan o‘zaro ta’siri hisobga olinishi kerak [24, 25, 29, 31].

Uzoq muddatli foydalanish

Passive House binosining loyihada belgilangan samaradorligi foydalanish davrida ham saqlanishi alohida tekshiruvni talab qiladi. Markaziy Yevropadagi yengil yig‘ma passiv uyning uzoq muddatli energiya sarfi tahlil qilinib, standart ko‘rsatkichlariga foydalanuvchi xatti-harakati va energiya manbasining birlamchi energiya koeffitsiyenti ta’sir qilishi aniqlangan [35]. Darmstadt-Kranichstein prototipida esa 25 yillik foydalanishdan so‘ng qobiq va ventilyatsiya komponentlari tekshirilgan. O‘rganilgan binoda ularning ishlashi hamda ichki havo sifati uzoq muddat saqlangani qayd etilgan [40]. Ushbu natijalar samaradorlikni faqat loyiha bosqichida emas, foydalanish davomida ham energiya sarfi va komponentlar holati orqali baholash zarurligini ko‘rsatadi. Biroq bitta prototipning xizmat muddati haqidagi natijani boshqa iqlim va materiallarga bevosita tatbiq etib bo‘lmaydi [40].

Turli mamlakatli joriy etish

Cost Efficient Passive Houses as European Standards (CEPHEUS) dasturi Passive House yondashuvini turli sharoitlarda qo‘llash tajribasini beradi. Dastur doirasida beshta Yevropa mamlakatida 221 ta turar joy birligi Passive House talablari asosida qurilgan. Tadqiqotda energiya o‘lchovlari yashovchilarning qoniqishi bilan birga baholangan [41]. Uning muhim jihati turli obyektlar natijalarini qiyoslash orqali konsepsiyaning bir nechta mamlakatdagi amaliy ishlashini tekshirish imkoniyatidir.

3.3. Tanlangan tadqiqotlarning qiyosiy tahlili

Ko‘rib chiqilgan 20 ta tadqiqot asosiy yo‘nalishi bo‘yicha yozgi qulaylik va qizib ketish, energetik ishlash va monitoring, iqlim va arxitekturaviy optimallashtirish, uzoq muddatli foydalanish hamda ko‘p mamlakatli joriy etish tajribasi doirasida tahlil qilindi. 2-jadvalda har bir tadqiqotning obyekti va usuli, asosiy natijasi hamda O‘zbekiston sharoitiga moslashtirish uchun ahamiyati qiyoslanadi.

2-jadval. Tadqiqotning natijalari va O‘zbekiston sharoitiga moslashtirish ahamiyati

Manba	Hudud	Usul va obyekt	Asosiy natija	O‘zbekiston uchun ahamiyati
Figueiredo va boshq., 2016 [24]	Portugaliya	Energiya modeli va optimallashtirish	Izolyatsiya, rekuperatsiya va yozgi qizib ketish birga baholangan.	Isitish, sovitish va qizib ketishni birga hisoblash.

Manba	Hudud	Usul va obyekt	Asosiy natija	O‘zbekiston uchun ahamiyati
Figueiredo va boshq., 2016 [25]	Portugaliya	Sezgirlik tahlili	Natija loyiha parametrlarining kombinatsiyasiga sezgir.	Ta’sirchan parametrlarni aniqlab, birgalikda optimallashtirish.
Fokaides va boshq., 2016 [26]	Kipr	Turar joy monitoringi	Yozgi qizib ketish qayd etilgan; tungi shamollatish haroratni o‘rtacha 1,4 °C pasaytirgan.	Soyalanish va tungi shamollatishni mahalliy sinash.
Mlakar va Štrancar, 2011 [27]	Sloveniya	O‘lchov va simulyatsiya	Soyalanish, tungi shamollatish va ichki issiqlik yuklari yozgi haroratga ta’sir qiladi.	Yozgi boshqaruv ssenariylarini loyihaga kiritish.
Borrallo-Jiménez va boshq., 2022 [28]	Ispaniya	PH va nZEB qiyosiy hisobi	Sevilyadagi yakka tartibdagi uyda Passive House va Ispaniyaning nZEB me’yorlari qiyoslangan. Mualliflar aynan shu loyiha va issiq iqlim sharoitida mahalliy me’yorlarga asoslangan yechimni afzal deb baholagan.	Bir xil modelda PH va O‘zbekiston me’yorlarini solishtirish.
Potrč Obrecht va boshq., 2019 [29]	Yevropa	Parametrik tahlil	Orientatsiya optimal oynalanish maydoniga ta’sir qiladi.	Deraza ulushini fasad yo‘nalishi bo‘yicha aniqlash.
Li va boshq., 2023 [30]	Xitoy	Modernizatsiya ssenariylari	Qobiq va havo o‘tkazmasligi qishki sarfni kamaytiradi; yozgi natija soyalanish va shamollatishga bog‘liq.	Qobiqni isitish va sovitish talabi bo‘yicha tekshirish.
Li va boshq., 2021 [31]	Xitoy	Iqlim zonalari bo‘yicha model	Qobiq, deraza va shamollatish ta’siri iqlim zonasiga qarab o‘zgaradi.	Hududlar uchun alohida parametr kombinatsiyalarini sinash.
Han va boshq., 2023 [32]	Shimoliy Xitoy	Qishki monitoring	Qishki monitoring asosida, 47% bandlik sharoitida isitish ko‘rsatkichi 28 kWh/(m² yil) deb hisoblangan.	Bandlik va foydalanish rejimini hisobga olish.

	Manba	Hudud	Usul va obyekt	Asosiy natija	O‘zbekiston uchun ahamiyati
10	Dan va boshq., 2016 [33]	Ruminiya	Mahalliy yechim qiyosi	Yechimlar iqlim, material va qurilish usuliga moslashtirilgan.	Mahalliy material va qurilish amaliyotini baholash.
11	Mihai va boshq., 2017 [34]	Ruminiya	EnergyPlus simulyatsiyasi va amaliy ko‘rsatkichlar tahlilil	Buxarestdagi Passive House energiya ko‘rsatkichlari EnergyPlus dinamik simulyatsiyasi va amaliy ma’lumotlar asosida tahlil qilingan.	Qobiq, HVAC va ventilyatsiyani yagona modelda hisoblash.
12	Wąs va boshq., 2020 [35]	Markaziy Yevropa	Uzoq muddatli monitoring	Foydalanish va energiya manbasining koeffitsiyenti natijaga ta’sir qiladi.	Pilot uylarni uzoq muddat kuzatish.
13	Rohdin va boshq., 2014 [36]	Shvetsiya	9 uy: o‘lchov va so‘rov	Energiya bilan birga ichki muhit va yashovchi qulayligi baholangan.	Energiya va issiqlik qulayligini birga tekshirish.
14	Sameni va boshq., 2015 [37]	Buyuk Britaniya	25 kvartira: 3 yoz monitoringi	Qat’iy mezonda kvartiralarning uchdan ikki qismidan ko‘prog‘ida qizib ketish qayd etilgan.	Har bir xona kesimida yozgi qulaylikni baholash.
15	Finegan va boshq., 2020 [38]	Irlandiya	PHPP va o‘lchov qiyosi	Umumiy qizib ketish ko‘rsatkichi xona holatini to‘liq ochmasligi mumkin.	Xona darajasidagi simulyatsiya va monitoring.
16	Ridley va boshq., 2013 [39]	Buyuk Britaniya	Camden Passivhaus monitoringi	Loyihaviy prognozlar real foydalanish natijalari bilan qiyoslangan.	Prognoz va amaldagi sarf tafovutini aniqlash.
17	Feist va boshq., 2020 [40]	Germaniya	25 yildan keyingi tekshiruv	Prototip komponentlarining uzoq muddatli holati o‘rganilgan.	Mahalliy komponentlarning xizmat muddatini tekshirish.
18	Schnieders va Hermelink, 2006 [41]	5 Yevropa mamlakati	CEPHEUS: 221 turar joy	Energiya o‘lchovlari va yashovchi qoniqishi birga ko‘rilgan.	Turli hududlarda pilot uylar orqali tekshirish.

	Manba	Hudud	Usul va obyekt	Asosiy natija	O‘zbekiston uchun ahamiyati
19	Mirhosseini va boshq., 2024 [42]	AQSh	Ikki bino: 2 yil monitoring	Ikki yillik kuzatuvda PHIUS+ 2015 binosining umumiy energiya iste’moli qo‘shni an’anaviy binonikidan taxminan 50% kam bo‘lgan.	Bir xil sharoitda bazaviy va samarador binoni qiyoslash.
20	Moreno-Rangel va boshq., 2021 [43]	Meksika	Issiqlik qulayligi bahosi	Natija tanlangan qulaylik mezoniga bog‘liq.	PH va adaptiv qulaylik mezonlarini qiyoslash.

2-jadval tahlili xalqaro Passive House tadqiqotlarida samaradorlikni belgilovchi yagona universal arxitekturaviy yoki konstruktiv yechim mavjud emasligini ko‘rsatadi. Natijalarga iqlim, bino orientatsiyasi va oynalanishi, qobiq xususiyatlari, quyoshdan himoyalash, shamollatish, muhandislik tizimlari hamda foydalanuvchi xatti-harakati o‘zaro bog‘liq holda ta’sir qiladi. Ayniqsa iliq va issiq iqlimlarga oid tadqiqotlarda qishki energiya talabini kamaytirish bilan birga yozgi qizib ketish va sovitish talabini nazorat qilish zarurligi kuzatiladi. Monitoring tadqiqotlari esa hisoblangan samaradorlikni real foydalanish sharoitida alohida tekshirish kerakligini ko‘rsatadi. Shu sababli O‘zbekiston uchun xalqaro loyihalardagi tayyor parametrlarni bevosita ko‘chirishdan ko‘ra, ularda natijani ta’minlagan shartlarni mahalliy iqlim, qurilish va foydalanish sharoitlarida qayta baholash asosli hisoblanadi.

4. Muhokama

4.1. Xalqaro natijalarni mahalliy sharoitga ko‘chirish chegaralari

Tahlil qilingan tadqiqotlar Passive House yechimlarining samaradorligi iqlim, bino konfiguratsiyasi, muhandislik tizimlari va foydalanish sharoitlariga bog‘liqligini ko‘rsatadi. Shu sababli alohida xorijiy loyihalarda qayd etilgan energiya tejamkorligi yoki issiqlik qulayligi natijalarini O‘zbekiston uchun tayyor ko‘rsatkich sifatida qabul qilish mumkin emas. Mahalliy moslashtirish jarayonida natijani yuzaga keltirgan shartlar iqlim, orientatsiya, oynalanish, soyalanish, qobiq parametrlari, shamollatish va foydalanish tartibi birgalikda baholanishi kerak.

4.2. Isitish va sovitish talablarini birgalikda optimallashtirish

Sharh natijalari Passive House loyihasini faqat qishki issiqlik yo‘qotishlarini kamaytirish asosida optimallashtirish yetarli emasligini ko‘rsatadi. Yuqori issiqlik himoyasi qishki talabni kamaytirishi mumkin, biroq yozgi quyosh yuklari, ichki issiqlik ajralishi va cheklangan shamollatish sharoitida sovitish ehtiyoji yoki qizib ketish xavfi oshishi mumkin. Shu sababli O‘zbekiston uchun taklif etiladigan modelda isitish talabi, sovitish talabi va yozgi issiqlik qulayligi bir vaqtda baholanishi lozim.

Bunda fasad yo‘nalishi, deraza maydoni, tashqi soyalanish, qobiqning issiqlik xususiyatlari va shamollatish strategiyasi mustaqil parametrlar sifatida emas, o‘zaro bog‘liq loyihaviy o‘zgaruvchilar sifatida qaralishi kerak.

4.3. Hisoblangan va amaldagi samaradorlik o‘rtasidagi tafovut

Tahlil qilingan monitoring tadqiqotlari hisoblangan energiya ko‘rsatkichlari real ekspluatatsion natijani to‘liq kafolatlamasligini ko‘rsatadi. Buning asosiy sabablari foydalanuvchi xatti-harakati, bandlik, ichki issiqlik yuklari, shamollatish va soyalanishdan foydalanish, shuningdek muhandislik tizimlarini boshqarish bilan bog‘liq.

Shu sababli O‘zbekiston uchun ishlab chiqiladigan model faqat standart foydalanish ssenariysi bilan cheklanmasligi, balki alternativ ekspluatatsion holatlarni ham sinovdan o‘tkazishi kerak. Pilot loyihalarda esa hisoblangan natijalarni real o‘lchovlar bilan solishtirish zarur.

4.4. O‘zbekiston uchun moslashtirish tartibi va taqqoslash

Xalqaro tadqiqotlarda qayd etilgan Passive House natijalarini O‘zbekiston sharoitiga bevosita ko‘chirish mumkin emas, chunki ularning samaradorligi iqlim, arxitekturaviy yechimlar, qurilish sifati va foydalanish tartibiga bog‘liq. Shu asosda maqolada har bir yechimni baholash uchun uning ishlash shartlarini aniqlash, mahalliy sharoitda tekshirilishi zarur jihatlarni belgilash, moslashtirish chorasini tanlash va natijani baholash usulini ko‘rsatish taklif etiladi.

Baholash iqlim va arxitektura, materiallar va texnologiyalar, qurilish sifati, me’yoriy va iqtisodiy shartlar hamda foydalanish xususiyatlarini qamrab oladi. Har bir yechim bo‘yicha xulosa uch ko‘rinishda beriladi: qo‘llash uchun yetarli asos mavjud; qo‘shimcha hisoblash, simulyatsiya yoki dala sinovi zarur; xulosa uchun mahalliy ma’lumot yetarli emas. Ushbu yondashuv keyingi tadqiqotlarda O‘zbekistonning turli iqlim hududlari uchun arxitekturaviy loyihalash modelini ishlab chiqish va sinashga asos bo‘ladi.

4.5. Arxitekturaviy loyihalash modelining zarurati va tarkibi

Ko‘rib chiqilgan tadqiqotlar O‘zbekistonda Passive House loyihalarini rivojlantirish uchun alohida energiya tejovchi material yoki muhandislik uskunasini tanlashning o‘zi yetarli emasligini ko‘rsatadi. Binoning energiya talabi uning yo‘nalishi, arxitekturaviy rejalashtirish jarayoni, oynalanish maydoni, quyoshdan himoyalanishi, tashqi qobig‘i va foydalanish sharoitlarining o‘zaro ta’siri natijasida shakllanadi. Shu sababli keyingi tadqiqotlarda ushbu omillarni yagona loyihalash jarayonida bog‘laydigan, O‘zbekiston sharoitiga mos arxitekturaviy modelni ishlab chiqish maqsadga muvofiq.

Portugaliya bo‘yicha tadqiqotlarda isitish talabi va yozgi qizib ketishni birgalikda optimallashtirish zarurati ko‘rsatilgan [24,25]. Oynalanish va yo‘nalishga bag‘ishlangan ish esa deraza maydonini fasadning quyoshga nisbatan holatidan ajratib belgilash mumkin emasligini ochib beradi [29]. Xitoydagi kvartira ssenariylari tahlilida qishda foyda bergan qobiq yaxshilanishi yozgi sovitish sarfining oshishi bilan birga kuzatilgan [30]. Ushbu natijalar loyihalashda bitta parametrni maksimal yaxshilashdan ko‘ra, parametrlarning o‘zaro mosligini aniqlash muhimligini ko‘rsatadi.

5. Xulosa

Xalqaro tadqiqotlar Passive House turar joylarida energiya talabini kamaytirish imkoniyatini ko‘rsatadi. Biroq erishilgan natijalar iqlimga mos loyihaviy qarorlar, qurilish sifati, muhandislik tizimlari va binodan foydalanish sharoitlariga bog‘liq. Shu sababli xorijiy loyihalarda qayd etilgan tejamkorlik ko‘rsatkichlarini O‘zbekiston uchun tayyor natija sifatida qabul qilish mumkin emas.

Qiyosiy tahlil asosida O‘zbekiston sharoitida Passive House yechimlarini baholashda quyidagi masalalar ustuvor ekani aniqlandi:

-Isitish va sovitish talabi, shuningdek yozgi issiqlik qulayligi birgalikda baholanishi lozim. Qishki issiqlik yo‘qotishlarini kamaytiruvchi yechimlar yozgi soyalanish va ortiqcha issiqlikni chiqarish imkoniyatlari bilan muvofiqlashtirilishi kerak.

-Bino yo‘nalishi, hajmiy-rejaviy tuzilishi, oynalanish, soyalanish va tashqi qobiq parametrlari o‘zaro bog‘liq holda, mahalliy iqlim ma’lumotlari asosida tanlanishi lozim.

-Loyihaviy hisoblar binoning foydalanish davridagi natijasini kafolatlamaydi. Bandlik, ichki issiqlik yuklari, tizimlarni boshqarish va qurilish sifatining ta'siri pilot obyektlarda o'lchovlar orqali tekshirilishi kerak.

Maqolada xalqaro yechimlarning ishlash shartlarini aniqlash, mahalliy tekshirish ehtiyojini belgilash, moslashtirish chorasini tanlash va natijani baholashga asoslangan yondashuv taklif etildi. Keyingi tadqiqotda ushbu yondashuv O'zbekistonning turli iqlim hududlari uchun energetik simulyatsiya va pilot monitoring orqali sinovdan o'tkazilishi zarur. Olingan dalillar asosida kam qavatli Passive House turar joylarining arxitekturaviy loyihalash modeli va uslubiy tavsiyalar ishlab chiqilishi mumkin.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. International Energy Agency. (2025). Energy Efficiency 2025: Buildings. https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2025/buildings
2. International Energy Agency. (2020). Uzbekistan energy profile. https://www.iea.org/reports/uzbekistan-energy-profile
3. Umarkulova Shaxodat Mashrab qizi, Ashirmatova Nigina Baxodir, & Otabekova Laylo Umirbekovna. (2026). Zamonaviy arxitekturada energiya samarador binolarni loyihalashda powerhouse loyihalari asosida barqaror dizayn yechimlarining qiyosiy tahlili. In Problems of architecture and construction (Vol. 4, Issue 2, pp. 45–55). Zenodo. https://doi.org/10.5281/zenodo.20629023
4. Anand, V., Kadiri, V. L., & Putcha, C. (2023). Passive buildings: A state-of-the-art review. Journal of Infrastructure Preservation and Resilience, 4, 3. https://doi.org/10.1186/s43065-022-00068-z
5. Johnston, D., Siddall, M., Ottinger, O., Peper, S., & Feist, W. (2020). Are the energy savings of the passive house standard reliable? A review of the as-built thermal and space heating performance of passive house dwellings from 1990 to 2018. Energy Efficiency, 13, 1605–1631. https://doi.org/10.1007/s12053-020-09855-7.
6. Sharipov, K. A., Avezova, N. R., & Salomov, U. R. (2026). Review of International and National Experience in Passive House Development. Problems of Energy and Sources Saving, (2), 74–92. https://energy.tdtu.uz/index.php/journal/article/view/188
7. Norov, N. N. (2020). Passiv quyosh isitish tizimli kam qavatli turar-joy binolarining konstruktiv yechimi [Monografiya]. Toshkent arxitektura-qurilish instituti.
8. Avezova, N. R., Avezov, R. R., Rashidov, Y. K., & Samiev, K. A. (2014). Model-based analysis of nonstationary thermal mode in premises with an insolation passive heating system with a three-layer translucent shield. Applied Solar Energy, 50, 184–187.
9. Turdalieva, M. K., Arslanov, I. K., & Khasanov, J. O. U. (2026). Optimization of the connection node of the external wall, interfloor slab, balcony slab and seismic belt for improving thermal efficiency. The American Journal of Interdisciplinary Innovations and Research, 8(3), 9–14. https://doi.org/10.37547/tajiir/Volume08Issue03-02
10. Samiev, K. A., & Halimov, A. S. (2022). Annual thermal performance of the Trombe wall with phase change heat storage under climate conditions of Uzbekistan. Applied Solar Energy, 58(2), 297–305. https://doi.org/10.3103/S0003701X22020189
11. Halimov, A., Akhatov, J., & Iskandarov, Z. (2024). Optimization of phase change material properties for enhanced thermal performance in building envelopes. Applied Solar Energy, 60(4), 636–648. https://doi.org/10.3103/S0003701X22600424

12. Shnekeev, J. K. (2020). Traditional settlements of the South Aral Sea (Traditional housing of the South Aral Sea region). Solid State Technology, 63(5).
13. D'Agostino, D., & Mazzarella, L. (2019). What is a Nearly zero energy building? Overview, implementation and comparison of definitions. Journal of Building Engineering, 21, 200–212. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.10.019
14. Taherahmadi, J., Noorollahi, Y., & Panahi, M. (2021). Toward comprehensive zero energy building definitions: A literature review and recommendations. International Journal of Sustainable Energy, 40(2), 120–148. https://doi.org/10.1080/14786451.2020.1796664
15. Passive House Institute. (2023). Criteria for the Passive House, EnerPHit and PHI Low Energy Building Standards. Passive House Institute. https://passivehouse.com/downloads/03_building_criteria_en.pdf
16. Passive House Institute. (n.d.). Passive House Database. https://passivehouse-database.org/
17. Nguyen, A.-T., Reiter, S., & Rigo, P. (2014). A review on simulation-based optimization methods applied to building performance analysis. Applied Energy, 113, 1043–1058. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.08.061
18. Tian, W. (2013). A review of sensitivity analysis methods in building energy analysis. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 20, 411–419. https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.12.014
19. Coakley, D., Raftery, P., & Keane, M. (2014). A review of methods to match building energy simulation models to measured data. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 37, 123–141. https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.05.007
20. de Wilde, P. (2014). The gap between predicted and measured energy performance of buildings: A framework for investigation. Automation in Construction, 41, 40–49. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.02.009
21. Schnieders, J., Feist, W., & Rongen, L. (2015). Passive Houses for different climate zones. Energy and Buildings, 105, 71–87. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778815301481
22. Khalfan, M., & Sharples, S. (2016). The present and future energy performance of the first Passivhaus project in the Gulf region. Sustainability, 8(2), 139. https://doi.org/10.3390/su8020139
23. Alnashri, H. A., Fnais, A. S., & Bin Mahmoud, A. A. (2025). Barriers and strategies for implementing Passive House design: The case of the construction sector in Saudi Arabia. Buildings, 15(17), 3117. https://doi.org/10.3390/buildings15173117
24. Figueiredo, A., Kämpf, J., & Vicente, R. (2016). Passive house optimization for Portugal: Overheating evaluation and energy performance. Energy and Buildings, 118, 181–196. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778816300925
25. Figueiredo, A., Figueira, J., Vicente, R., & Maio, R. (2016). Thermal comfort and energy performance: Sensitivity analysis to apply the Passive House concept to the Portuguese climate. Building and Environment, 103, 276–288. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.03.031

26. Fokaides, P. A., Christoforou, E., Ilic, M., & Papadopoulos, A. (2016). Performance of a Passive House under subtropical climatic conditions. Energy and Buildings, 133, 14–31. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778816309586
27. Mlakar, J., & Štrancar, J. (2011). Overheating in residential passive house: Solution strategies revealed and confirmed through data analysis and simulations. Energy and Buildings, 43, 1443–1451.
28. Borrallo-Jiménez va boshq. (2022). Comparative study between the Passive House Standard in warm climates and Nearly Zero Energy Buildings under Spanish Technical Building Code in a dwelling design in Seville, Spain. Energy and Buildings, 254, 111570.
29. Potrč Obrecht, T., Premrov, M., & Žegarac Leskovar, V. (2019). Influence of the orientation on the optimal glazing size for passive houses in different European climates (for non-cardinal directions). Solar Energy, 189, 15–25.
30. Li, Y., va boshq. (2023). Energy Consumption of Apartment Conversion into Passive Houses in Hot-Summer and Cold-Winter Regions of China. Buildings, 13(1), 168. https://doi.org/10.3390/buildings13010168
31. Li, X., Deng, Q., Ren, Z., Shan, X., & Yang, G. (2021). Parametric Study on Residential Passive House Building in Different Chinese Climate Zones. Sustainability, 13(8), 4416. https://doi.org/10.3390/su13084416
32. Han, F., Liu, B., Feist, W., Pfluger, R., & Dermentzis, G. (2023). Operational performance evaluation of a Passive house residential building in northern China based on long-term monitoring in winter. Indoor and Built Environment, 32, 1464–1486. https://doi.org/10.1177/1420326X231169874
33. Dan, D., va boshq. (2016). Passive house design—An efficient solution for residential buildings in Romania. Energy for Sustainable Development, 32, 99–109.
34. Mihai, M., Tanasiev, V., Dinca, C., Badea, A., & Vidu, R. (2017). Passive house analysis in terms of energy performance. Energy and Buildings, 144, 74–86.
35. Wąs, K., Radoń, J., & Sadłowska-Sałęga, A. (2020). Maintenance of Passive House Standard in the Light of Long-Term Study on Energy Use in a Prefabricated Lightweight Passive House in Central Europe. Energies, 13(11), 2801. https://doi.org/10.3390/en13112801
36. Rohdin, P., Molin, A., & Moshfegh, B. (2014). Experiences from nine passive houses in Sweden—Indoor thermal environment and energy use. Building and Environment, 71, 176–185.
37. Sameni, S., Gaterell, M., Montazami, A., & Ahmed, A. (2015). Overheating investigation in UK social housing flats built to the Passivhaus standard. Building and Environment, 92, 222–235.
38. Finegan, E., Kelly, G., & O'Sullivan, G. (2020). Comparative analysis of Passivhaus simulated and measured overheating frequency in a typical dwelling in Ireland. Building Research & Information, 48(6), 681–699.
39. Ridley, I., va boshq. (2013). The monitored performance of the first new London dwelling certified to the Passive House standard. Energy and Buildings, 63, 67–78.
40. Feist, W., Pfluger, R., & Hasper, W. (2020). Durability of building fabric components and ventilation systems in passive houses. Energy Efficiency, 13, 1543–1559.

41. Schnieders, J., & Hermelink, A. (2006). CEPHEUS results: Measurements and occupants' satisfaction provide evidence for Passive Houses being an option for sustainable building. Energy Policy, 34(2), 151–171.
42. Mirhosseini, H., Li, J., Iulo, L. D., & Freihaut, J. D. (2024). Quantifying the Enhanced Performance of Multifamily Residential Passive House over Conventional Buildings in Terms of Energy Use. Buildings, 14(6), 1866. https://doi.org/10.3390/buildings14061866
43. Moreno-Rangel, A., Sharpe, T., McGill, G., & Musau, F. (2021). Thermal comfort assessment of the first residential Passivhaus in Latin America. Journal of Building Engineering, 43, 103081.
44. Attia, S., Hamdy, M., O'Brien, W., & Carlucci, S. (2013). Assessing gaps and needs for integrating building performance optimization tools in net zero energy buildings design. Energy and Buildings, 60, 110–124. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.01.016
45. Mitchell, R., & Natarajan, S. (2019). Overheating risk in Passivhaus dwellings. Building Services Engineering Research and Technology, 40(4), 446–469. https://doi.org/10.1177/0143624419842006
46. Farrokhirad, E., Gao, Y., Pitts, A., & Chen, G. (2024). A Systematic Review on the Risk of Overheating in Passive Houses. Buildings, 14(8), 2501. https://doi.org/10.3390/buildings14082501
47. Goncalves, V. L., Costanzo, V., Fabbri, K., & Rakha, T. (2022). Overheating assessment in Passivhaus dwellings: The influence of prediction tools. Buildings and Cities, 3(1), 153–167. https://doi.org/10.5334/bc.151
48. Nicol, J. F., & Humphreys, M. A. (2002). Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings. Energy and Buildings, 34(6), 563–572. https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00006-3
49. Albayyaa, H., Hagare, D., & Saha, S. (2019). Energy conservation in residential buildings by incorporating Passive Solar and Energy Efficiency Design Strategies and higher thermal mass. Energy and Buildings, 182, 205–213. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.09.036