

UO‘K: 621.354

<https://doi.org/10.70769/2181-4732.ITJ.2025-4.05>

FOTOELEKTRIK MODULLAR BILAN INTEGRATSIYALANGAN TROMB DEVORINING SAMARADORLIGIGA TASHQI OMILLAR VA IQLIM O‘ZGARISHINING TA‘SIRINI EKSPERIMENTAL TAHLILI

Komilov Asliddin G‘ulomovich¹ -texnika fanlari doktori, katta ilmiy xodim,
ORCID:0000-0002-5406-0477, E-mail: asliddin@rambler.ru;

Nasrullayev Yusuf Zokirovich² -texnika fanlari falsafa doktori (PhD), dotsent,
ORCID: 0000-0001-7051-5307, E-mail: nasrullayevyusuf2431@gmail.com

¹Energetika vazirligi huzuridagi Qayta tiklanuvchi energiya manbalari milliy ilmiy-tadqiqot instituti, Toshkent sh., O‘zbekiston

²Qarshi davlat texnika universiteti, Qarshi sh., O‘zbekiston

Annotatsiya. Fotoelektrik modullar integratsiyalangan Tromb devorlari binolarning energiya samaradorligini oshiruvchi barqaror tizim sifatida baholandi. DC ventilatorli va ventilatorsiz ikki model orqali changli hamda changsiz kunlar tahlil qilindi. Changsiz kunlarda ventilator qo‘llanganda tizimning issiqlik va elektr samaradorligi mos ravishda 12,2% va 18,4% teng bo‘ldi, ventilatorsiz rejimda esa bu ko‘rsatkichlar sezilarli oshdi. Changli kunlarda esa har ikki modelda samaradorlik pasaygani kuzatildi.

Tadqiqotda binolarning tomi va fasadlariga quyosh energiyasini integratsiya qilish orqali energiya iste‘molini sezilarli darajada kamayishiga etibor qaratilmoqda sovitish tizimlarining ventilatorlar o‘rnatilgan devor “ventilatsiyalangan Tromb devori”, ventilatorsiz variant esa “ventilatorsiz Tromb devoridagi harorat o‘zgarishlari hisobga olinib taqqoslandi.

Tadqiqotda FEM harorati va tizim samaradorligi ob-havo sharoiti, chang va ventilatorlar ishlashiga bog‘liqligini ko‘rsatdi. Ventilatorlar FEMni sovitib, elektr samaradorligini oshiradi, ammo issiqlik va umumiy samaradorlik ventilatorsiz, changsiz sharoitda yuqori bo‘ladi. Chang quyosh nurlanishini kamaytirib, tizim samaradorligini pasaytiradi, natijada umumiy energiya samaradorligiga issiqlik samaradorligi hal qiluvchi ta‘sir ko‘rsatadi.

Tadqiqotda fotoelektrik modullar bilan integratsiyalangan Tromb devori tizimi turli sharoitlarda sinovdan o‘tkazildi. Changli havoda haroratlar va elektr samaradorligi pasaydi. Changsiz kunda elektr samaradorlik 2,4% ga yuqori bo‘lib, eng yaxshi natijalar majburiy konveksiyada 10,2% va tabiiy konveksiyada 8,4% ni tashkil etdi. Issiqlik samaradorligi esa ventilatorlar bilan 17,6%, ventilatorsiz holatda 40,1% gacha yetdi.

Kalit so‘zlar: bino energiya iste‘moli, Changli ob-havo; Elektr va Issiqlik samaradorligi; Fotoelektrik (PV) modullar bilan integratsiyalashgan Tromb devor tizimi.

УДК: 621.354

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ И КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ СТЕНЫ ТРОМБА, ИНТЕГРИРОВАННОЙ С ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ МОДУЛЯМИ

Комилов Аслиддин Гуломович¹ - доктор технических наук, старший научный сотрудник;
Насруллаев Юсуф Закирович² - доктор философии по техническим наукам (PhD), доцент

¹Национальный научно-исследовательский институт возобновляемых источников энергии, г. Ташкент, Узбекистан

²Каршинский государственный технический университет, г. Карши, Узбекистан

Аннотация. Стены Тромба, интегрированные с фотоэлектрическими модулями, были оценены как устойчивые системы, повышающие энергетическую эффективность зданий. Анализ проводился на двух моделях — DC-вентиляторами и без них — в условиях запылённых и незапылённых дней. В незапылённые дни при использовании вентиляторов тепловая и

электрическая эффективность системы составила соответственно 12,2% и 18,4%, тогда как в режиме без вентиляторов данные показатели были значительно выше. В запылённых условиях снижение эффективности наблюдалось в обеих моделях.

В данном исследовании изучены возможности значительного снижения энергопотребления зданий за счёт интеграции солнечной энергии в кровельные и фасадные конструкции. Проведён сравнительный анализ температурных режимов «вентилируемой стены Тромба» с системой охлаждения на основе вентиляторов и «невентилируемой стены Тромба».

Исследование показало, что температура фотоэлектрических модулей и эффективность системы зависят от погодных условий, запылённости и работы вентиляторов. Вентиляторы повышают электрическую эффективность за счёт охлаждения модулей, тогда как тепловая и общая эффективность выше при отсутствии пыли и работе без вентиляторов. Накопление пыли снижает солнечное излучение и уменьшает эффективность системы, при этом тепловая эффективность оказывает решающее влияние на общий показатель.

Ключевые слова: энергопотребление здания; запылённые погодные условия; электрическая и тепловая эффективность; система стены Тромба, интегрированная с фотоэлектрическими (PV) модулями.

UDC: 621.354

EXPERIMENTAL ANALYSIS OF THE EFFECTS OF EXTERNAL FACTORS AND CLIMATE CHANGE ON THE PERFORMANCE OF A TROMBE WALL INTEGRATED WITH PHOTOVOLTAIC MODULES

Komilov, Asliddin Gulomovich¹- Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher;
Nasrullaev, Yusuf Zokirovich² - Doctor of Philosophy in Technical Sciences

Abstract. Trombe walls integrated with photovoltaic (PV) modules were evaluated as sustainable systems enhancing the energy efficiency of buildings. The analysis was conducted on two models — with DC fans and without — under dusty and dust-free conditions. On dust-free days, when fans were used, the system's thermal and electrical efficiencies were 12.2% and 18.4%, respectively, whereas these values were significantly higher in the fan-free mode. Under dusty conditions, a decrease in efficiency was observed in both models.

This study explores the potential for significantly reducing building energy consumption by integrating solar energy into roof and façade structures. A comparative analysis was performed on the temperature profiles of two Trombe wall configurations: a ventilated wall with a fan-assisted cooling system and a non-ventilated wall.

The study revealed that the temperature of photovoltaic (PV) modules and the overall system performance depend on weather conditions, surface dust accumulation, and the operation of fans. Fans enhance electrical efficiency by cooling the modules, whereas thermal and overall efficiency are higher under dust-free conditions and without fan operation. Dust accumulation reduces solar radiation, decreasing system efficiency, with thermal performance having a decisive impact on the overall energy output.

Keywords: building energy consumption; dusty weather conditions; electrical and thermal efficiency; Trombe wall system integrated with photovoltaic (PV) modules.

Kirish

Mavjud qazilma yoqilg'i resurslarining cheklanganligi sababli ularning kamayish sur'ati iqtisodiy rivojlanish va ijtimoiy farovonlikni o'sishidan sezilarli darajada yuqori bo'lib bormoqda.

Shuningdek, iqlim o'zgarishi jarayonida energiya manbalarining katta qismi hali ham qazilma yoqilg'ilarga tayanib kelayotgani global miqyosda jiddiy tashvish uyg'otmoqda. Bugungi kunda past uglerodli qayta tiklanuvchi energiya manbalarini har tomonlama tadqiq etish CO₂ chiqindi gazlarini kamaytirish hamda energiya tanqisligini bartaraf etishda muhim omil hisoblanadi iqlim o'zgarishi bilan kurashish va qayta tiklanuvchi energiya manbalarini kengaytirishda quyosh energiyasining

ahamiyati sezilarli darajada oshib bormoqda. Hozirgi davrda quyosh energiyasidan foydalanish va uni rivojlantirish faoliyatida fotoelektrik modullar tizimi, issiq suv ta'minoti hamda binolarni isitish va sovitish kabi qurilish sohalarida keng qo'llanilmoqda [1]. Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, binolarning tomi va fasadlariga quyosh energiyasini integratsiya qilish orqali energiya iste'molini sezilarli darajada kamayishiga e'tibor qaratilmoqda [2]. Tosh, g'isht, beton va qum kabi katta issiqlik sig'imiga ega materiallar quyosh energiyasini yutib, issiqlik hosil qiladi. Tromb devorining yuqori teshiklari havo kanalida yig'ilgan issiq havoni binoga yetkazsa, quyi teshiklar bino ichidagi sovuq havoni qayta isitish uchun kanalga yo'naltiradi [3]. Issiqlik uzatilishi issiqlik o'tkazuvchanligi va tabiiy konveksiya orqali yoki majburiy konveksiya ya'ni ventilatorlar yordamida amalga oshiriladi [4]. Ventilatorlar hosil bo'lgan issiqlikni tezroq uzatib, sovuq kunlarda bino ichini isitishda foydalanish orqali fotoelektrik modullarning energiya ishlab chiqarish samaradorligini oshiradi [5]. Binoning qazilma yoqilg'iga bog'liqligini kamaytirish, tashqi ko'rinishini yaxshilash, elektr energiyasi ishlab chiqarish hamda fotoelektrik modullarda hosil bo'lgan issiqlikni binoni isitishda qo'llash maqsadida Tromb devori takomillashtirilib, unga fotoelektrik modullar o'rnatilgan va ular shisha qoplama bilan himoyalangan [6]. Fotoelektrik modullar bilan bog'liq eng muhim muammolardan biri ularning samaradorligining chang to'planishi yoki haddan tashqari qizib ketishi natijasida pasayishidir [7]. Bunda samaradorlik pasayishi chang qatlamining quyosh nurlarining kremniy fotoelementi qatlamiga yetib borishini cheklashidan kelib chiqadi. Natijada, chang to'planishi tizimning issiqlik muvozanatiga salbiy ta'sir ko'rsatib, haroratning normadan yuqori ko'tarilishiga olib keladi. Shu bois, fotoelektrik modullarning samaradorligini optimal darajada saqlash uchun ularni muntazam tozalash talab etiladi [8]. Bugungi kunda fotoelektrik modullar bilan integratsiyalangan tromb devorining samaradorligini oshirish masalasi ko'plab tadqiqotchi olimlar diqqat markazida turibdi. Tahlillar natijalari shuni ko'rsatdiki, past ventilyatsiyali shisha Tromb devori an'anaviy devorga nisbatan isitish ehtiyojini 11,1% ga, konditsioner tizimi bilan integratsiya qilinganda esa 61,4% ga kamaytirgan. Wang va boshqalar tajribasida fotoelektrik modullar bilan integratsiyalangan tromb devorining samaradorligini oshirish maqsadida havoli sovitish tizimi orqali issiqlik quvurlari bilan sovitishning ta'sirini tahlil qilingan [9]. Qish mavsumida tizim samaradorligiga ta'sir qiluvchi asosiy omillar ham ko'rib chiqilgan. Natijalar shuni ko'rsatdiki, qo'llanilgan texnologiyalar tizimning issiqlik va elektr samaradorligini sezilarli darajada oshirib, o'rtacha kunlik issiqlik samaradorligini 56,76%, maksimal ichki haroratni 21,46°C, o'rtacha elektr samaradorligini esa 13,52% ga oshishi kuzatilgan. Tahlillar natijalari shuni ko'rsatdiki, havoning aylanish tezligi va devor qalinligi binoning ichki muhit qulayligiga sezilarli darajada ta'sir ko'rsatadi. Tahlillar shuni ko'rsatdiki, yarim shaffof tromb devori yorug'likni o'tkazmaydigan devorga nisbatan samaraliroq bo'lib, ichki haroratni 15°C gacha ko'tarilishiga imkon beradi. Abdullah va boshqalar tajribasida [8] DC ventilatorlar va issiqlik almashinish qurilmasi integratsiyasi asosida fotoelektrik modullar bilan integratsiyalangan tromb devor tizimining sovitish mexanizmlarini baholab, ularning issiqlik va elektr samaradorligiga ta'sirini o'rgangan [5]. Siddique va boshqalar [15] ikki xil tajriba modelini ishlab chiqishgan biri fotoelektrik modullar bilan integratsiyalangan tromb devor tizimi, ikkinchisi esa janubga yo'naltirilgan standart fotoelektrik modulli devor. Har bir devor modelining samaradorlik ko'rsatkichlari etalon xonasi ma'lumotlari bilan taqqoslab tahlil qilingan. Olingan tadqiqot natijalari fotoelektrik modullar bilan integratsiyalangan tromb devorining issiqlikni yutish samaradorligi janubga yo'naltirilgan fotoelektrik modulli devorga nisbatan 3,2 baravar yuqoriligini ko'rsatadi. Tizimlarning o'rtacha kunlik samaradorligi esa mos ravishda 39,67% va 13,16% ga teng bo'lganligi aniqlangan. Olingan natijalar fotoelektrik modullar bilan integratsiyalangan tromb devor tizimining umumiy samaradorlik jihatidan ancha yuqori ko'rsatkichlarga ega ekanligini ko'rsatadi. Yao va boshqa olimlar tajribasida [10] fotoelektrik modullarini changdan tozalash jarayoniga ta'sir qiluvchi asosiy omillar tomonidan shamol yo'nalishi va tezligi, yog'ingarchilik miqdori hamda optimal o'rnatish burchagini tizimli ravishda tahlil qilgan. Tadqiqot natijalariga ko'ra, 45° burchak ostida 30 kun davomida janub yo'nalishida chang yig'ilishi sharqqa nisbatan 1,90% kam, shimolga va g'arbga nisbatan esa mos ravishda 11,95% va 7,32% ko'p bo'lgan. Bu natija janubga yo'naltirilgan fotoelektrik modullarning shamol ta'siriga nisbatan yuqori sezuvchanligini, yomg'irning ta'siri bilan chang to'planishi kamayadi va natijada fotoelektrik modullarning samaradorligi oshiga olib keladi.

Fatima va boshqa olimlar tajribalarida chang yig'ilishining quyosh tizimining ish faoliyatiga ta'sirini ishlab chiqarilgan elektr energiyasining kamayishi, yutilgan nur miqdorining pasayishi hamda panellarni tozalashning optimal vaqtini aniqlash jihatidan tadqiq qilgan [11]. Tahlillar shuni ko'rsatadiki, fotoelektrik modullarni har ikki haftada muntazam ravishda tozalab borish ularning samaradorligini sezilarli darajada oshiradi. Xususan, bunday tozalash chorolari changlangan FEMga nisbatan energiya yo'qotilishini qariyb 7% gacha kamayishiga olib keladi.

Long va boshqalar tomonidan amalga oshirilgan tadqiqotlarda fotoelektrik modullar bilan integratsiyalangan tromb devorini qishloq uylariga joriy etish natijasida binoning issiqlik barqarorligi, energiya samaradorligi va passiv isitish tizimida yuzaga keladigan o'zgarishlari o'rganilgan. Tromb devori quyoshdan tushgan issiqlik energiyasini yutish va uni issiqlik akkumulatsiya qatlamida saqlash orqali qishloq uylarining passiv isitish tizimi samaradorligini oshirishda qo'llangan. Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatadiki, Tromb devorining optimal konfiguratsiyada qo'llanilishi qishloq uylarida yiliga 38 492 kVt·soat elektr energiyasini tejash bilan birga, atmosferaga chiqariladigan CO₂ miqdorini 38,4 tonnaga kamaytiradi hamda 15,4 tonna ko'mir sarfini qisqartirish imkonini beradi [12].

O'rganilgan tadqiqot natijalariga ko'ra FEMni tozalash orqali elektr energiyasi ishlab chiqarishni 15% ga oshirish mumkinligini aniqlagan. Tajriba natijalarida chang zarrachalarining kattaligi oshgani sari ularning FEM yuzasiga cho'kish ehtimoli kamayishini ko'rsatdi. Zarracha diametri 150 µm bo'lganida cho'kish darajasi 2,54%, 500 µm bo'lganda esa atigi 0,03% ni tashkil qilgan. Bundan tashqari, tom qiyaligi 22,6° va 36,9° bo'lgan hollarda cho'kish darajasi mos ravishda 2,54% va 3,74% bo'lgani aniqlangan. Xususan, FEMlar sirtida chang massasi 480 mg ga yetganda samaradorlikning taxminan 2,1 % ga kamayishi aniqlangan. Iqlim o'zgarishi bugungi kunda global miqyosdagi eng dolzarb muammolardan biri bo'lib, mamlakatimiz hududlarida bahor va yoz oylarida tez-tez kuzatiladigan chang bo'ronlari bu jarayonning ta'sirini yanada kuchaytiradi. Bugungi kundagi tadqiqotlardan asosiy maqsad changning FEMlar yuzasida to'planishi ularning issiqlik va elektr samaradorligiga ta'sir ko'rsatishini aniqlash hamda fotoelektrik modullar bilan integratsiyalangan tromb devor tizimining ishlash samaradorligini tajriba asosida baholashdan iboratdir.

Materiallar va usullar

Bugungi kunda quyosh energiyasidan foydalanishning eng muhim yo'llanilish yo'nalishlaridan biri rivojlanayotgan mamlakatlarda elektr energiyasini ishlab chiqarish salohiyatini oshirishga qaratilgan investitsiyalarni amalga oshirishdir. Shu bilan birga, tizim samaradorligining sezilarli darajada pasayishiga olib keladigan muhim omillardan biri o'zgaruvchan iqlim sharoitlari tufayli quyosh nurlanishi intensivligining kamayishi va FEMlar yuzasida changning yig'ilib borishidir. Bunday sharoitlarda FEMlarni muntazam tozalash ularning yorug'lik yutilishini oshirib, elektr energiyasi ishlab chiqarish samaradorligini yaxshilaydi. Tajriba ishlari Qarshi davlat texnika universiteti, Energetika muhandisligi kafedrasida poligonida aprel oyining to'rt kunlik muddatda amalga oshirildi. Fotoelektrik modullar bilan integratsiyalangan tromb devori tizimining ikkita modeli keltirilgan bo'lib, ular ish rejimlari va meteorologik sharoitlarning tizim samaradorligiga ta'sirini o'rganish maqsadida ishlab chiqilgan. Har ikki model FEM (SP), havo kanali (duct) va bino devoridan tashkil topgan. Tajriba modellaridan biri yuqori va pastki teshiklariga o'rnatilgan DC ventilyatorlar bilan jihozlangan. Ikkinchi modelda ventilyatorlar mavjud emas issiqlik esa tabiiy konveksiya orqali harakatlanadi. Issiqlik yo'qotilishini kamaytirish maqsadida tajriba modellarining devorlari yopiq konstruksiyaga ega, issiqlik izolyatsiyalangan FEMdan tashkil topgan 1-rasmda keltirilgan.

Samaradorlikni baholash jarayonining eng muhim bosqichlaridan biri haroratni aniq o'lchashdir. 1-rasmda ko'rsatilganidek, har bir modelda harorat taqsimotini aniqlash maqsadida jami 11 ta harorat datchigi o'rnatilgan. To'rtta harorat datchigi bino va havo kanali ichiga joylashtirilib, yuqori teshiklardan havo chiqishini va pastki teshiklardan kirishini o'lchaydi, shuningdek, uchta datchik fotoelektrik modullar (SP) old yuzasida ularning sirt haroratini qayd etadi. Harorat, shamol tezligi va quyosh nurlanishini aniqlash uchun esa piranometr, CTV110-ANA300 - harorat va havo oqimi tezligi datchiga qo'llanilgan. PVA-1500T—PV FEMlarning I-V xarakteristikasini o'lchash va

maksimal quvvat nuqtasini aniqlash orqali ularning samaradorligini nazorat qilish qurilmasi orqali aniqlangan. FEMlar orqali ishlab chiqarilgan elektr energiya akkumulatorga zaxiralanib, MPPT tizimi orqali boshqariladi. Tajriba jarayonida tashqi suv bochkasi bilan birga soatiga 0,18 litr suv hayday oladigan nasosdan foydalanilgan.



1-rasm. Fotoelektrik modullar bilan integratsiyalangan tromb devori tizimining tashqi ko‘rinishi uning asosiy konstruktiv elementlari va umumiy tuzilishi keltrilgan.

Samaradorlikni baholash jarayonining eng muhim bosqichlaridan biri haroratni aniq o‘lchashdir. 1-rasmda ko‘rsatilganidek, har bir modelda harorat taqsimotini aniqlash maqsadida jami 11 ta harorat datchigi o‘rnatilgan. To‘rtta harorat datchigi bino va havo kanali ichiga joylashtirilib, yuqori teshiklardan havo chiqishini va pastki teshiklardan kirishini o‘lchaydi, shuningdek, uchta datchik fotoelektrik modullar (SP) old yuzasida ularning sirt haroratini qayd etadi. Harorat, shamol tezligi va quyosh nurlanishini aniqlash uchun esa piranometr, CTV110-ANA300 - harorat va havo oqimi tezligi datchiga qo‘llanilgan. PVA-1500T—PV FEMlarning I-V xarakteristikasini o‘lchash va maksimal quvvat nuqtasini aniqlash orqali ularning samaradorligini nazorat qilish qurilmasi orqali aniqlangan. FEMlar orqali ishlab chiqarilgan elektr energiya akkumulatorga zaxiralanib, MPPT tizimi orqali boshqariladi. Tajriba jarayonida tashqi suv bochkasi bilan birga soatiga 0,18 litr suv hayday oladigan nasosdan foydalanilgan.

Tromb devori tizimining turli ish sharoitlaridagi energiya samaradorligi uning issiqlik va elektr samaradorligi ko‘rsatkichlari orqali baholanadi. Havoning tizim orqali olgan issiqlik miqdori 1-chi tenglama orqali aniqlanadi.

$$Q_h = \dot{m}_h c p_h (T_t - T_{ich}). \quad (1)$$

Tabiiy konveksiya sharoitida tizimning issiqlik samaradorligi, uzatilgan issiqlik miqdorining quyosh paneli kesim yuzasiga va quyosh nurlanishi intensivligiga nisbati 2-chi tenglama orqali aniqlanadi.

$$\eta_i = \frac{Q_h}{I \cdot A}. \quad (2)$$

Massaviy oqim sarfi — bir birlik vaqt ichida kanal kesimidan o‘tadigan havo massasi bo‘lib, u havo oqim tezligi, kanalning ko‘ndalang kesim yuzasi va havoning zichligiga bog‘liq holda 3-chi tenglama orqali aniqlanadi.

$$\dot{m}_h = p_h \cdot A_{h.k} \cdot V_h. \quad (3)$$

Kanal ichidagi havo tezligi tabiiy konveksiya orqali, zichlik farqi tufayli hosil bo‘lgan ko‘tarilish kuchlari yordamida aniqlanadi; hisoblash quyidagi 3-tenglama bo‘yicha amalga oshiriladi.

$$V_h = \sqrt{\frac{0.5 \cdot g \cdot \beta \cdot H (T_t - T_i)}{c_{fr} \frac{H}{D_h} + \frac{c_y \cdot A_{hk}^2}{A_{in}^2} + \frac{c_{yt} \cdot A_{hk}^2}{A_t^2}}} \cdot 6 \quad (4)$$

$$c_d = 0.3 \cdot 1.368 \cdot G_r^{0.0846} \quad (5)$$

$$c_y = 0.25,$$

$$c_{yt} = 0.3$$

$$\beta = \frac{1}{T_f} = \frac{1}{T_t + T_{ich}}. \quad (6)$$

Ikkinchi holat majburiy konveksiya bo'lib, bunda DC ventilatorlar orqali xonaga havo oqimi majburan ta'minlanadi.

$$V_h = C_v \cdot I. \quad (7)$$

Bu parametrlar doimiy bo'lib, 0,00073 m³/J qiymatiga ega [32].

Yuklama va ventilatorlar iste'mol qilgan umumiy elektr energiya quvvati hisobga olinib, tizimning haqiqiy elektr energiya quvvati quyidagi formula orqali aniqlanadi [33].

$$P = V \cdot I - P_y. \quad (8)$$

P_{consumed} ventilatorlar va yuklama tomonidan iste'mol qilingan umumiy elektr energiya quvvatini, I va V esa FEMlar tomonidan ishlab chiqarilayotgan tok va kuchlanishni ifodalaydi.

Quyidagi formula orqali tizimning umumiy samaradorligi aniqlanadi [34].

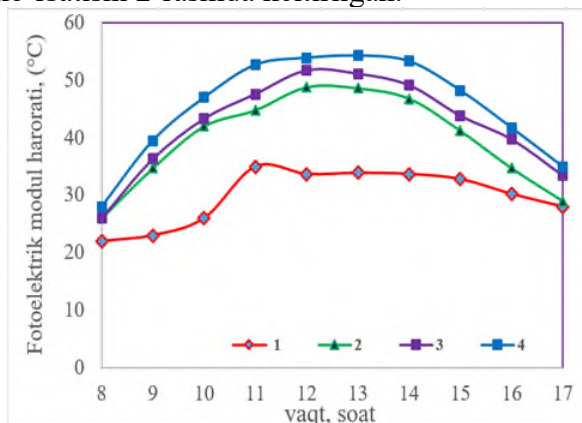
$$\eta_e = \frac{P_e}{I_s \cdot A}. \quad (9)$$

Quyidagi formula yordamida tizimning umumiy samaradorligi aniqlanadi.

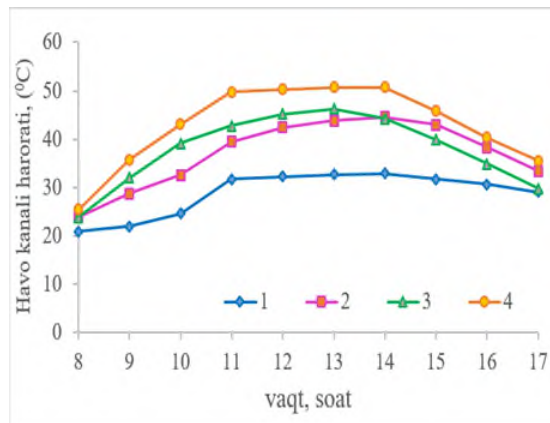
$$\eta_u = \eta_e \cdot \eta_i. \quad (10)$$

Natijalar

Tizimning harorati turli ob-havo sharoitlarida o'rganildi xususan, changli va changsiz kunlarda olingan natijalar asosida tahlil qilindi hamda ventilator bilan jihozlangan model ventilatorsiz modelga nisbatan solishtirib baholandi. Ventilatorlar FEM yuzasida hosil bo'ladigan ortiqcha issiqlikni tashqi muhitga chiqarib yuboradi. FEMning bunday sovutilishi uning ishlash barqarorligini ta'minlab, bino ichidagi issiqlik-energiya balansining qulayligini yaxshilaydi. Turli iqlim sharoitlarida harorat o'zgarishi va ventilatorlar qo'llanilishining FEMning orqa sirtining haroratiga qanday ta'sir ko'rsatishi 2-rasmda keltirilgan.



2-rasm. FEM haroratining turli atrof-muhit sharoitlarida o'zgarishi.



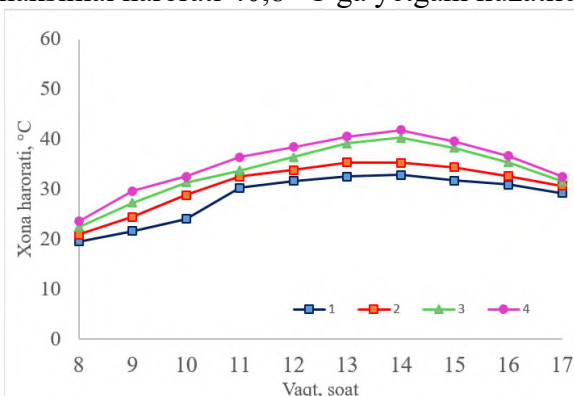
3-rasm. Havo kanallarida turli atrof-muhit sharoitlarida havo haroratlarining o'zgarishi.

(1-Quyoshli kunda, sovutish tizimi ishlatilmagan holda, 2- Quyoshli kunda tizim faqat havoli sovutish orqali ishlagan, 3- Sovitishsiz changli kun, 4- Sovitish qo'llanilgan changli kun)

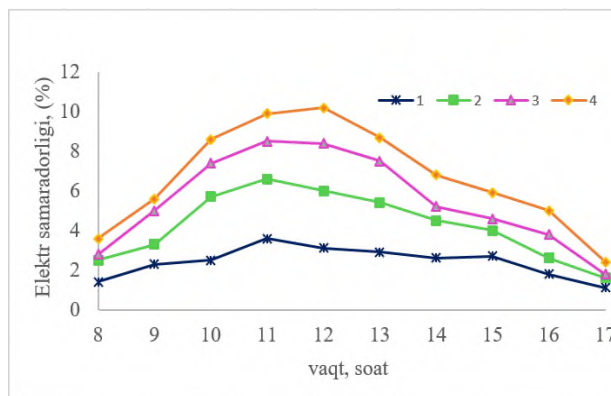
Changsiz kunlarda ventilatorlarning ishlashi FEM haroratining pasayishiga olib kelgani kuzatildi. Ventilatorsiz ishlash rejimida tizimning harorati ertalabki 11:00 da 54,5 °C darajasigacha ko'tarilganligi aniqlangan. Ventilator bilan jihozlangan tizimda FEMning maksimal harorati kunning eng issiq vaqtida 51,5 °C ga ko'tarilda. Changli va bulutli ob-havo sharoitida ventilatorsiz model kunning eng issiq vaqtida 48,7 °C gacha qizigan. Xuddi shu kunda ventilatorli tizimda esa FEM harorati ancha past bo'lib, eng yuqori qiymat 34,6 °C ertalab soat 11:00 da kuzatildi. Changning yig'ilishi fotoelektrik modullarning haroratini suv yordamida pasaytirish orqali ularning elektr samaradorligini oshiradigan va shu bilan birga issiqlik energiyasini ham qayta tiklaydigan fotoelektrik-issiqlik qurilmalar tizimining umumiy samaradorligiga sezilarli darajada salbiy ta'sir ko'rsatadi. FEM yuzasida to'plangan chang zarrachalari quyosh nurlarining muhim qismini aks ettirib, tizimga tushayotgan foydali nurlanishni kamaytiradi. Natijada FEMlar tomonidan qabul qilinadigan sof quyosh nurlanishi qisqaradi, bu esa o'z navbatida butun tizimning energetik samaradorligining pasayishiga olib keladi. FEMda changning yig'ilishiga yo'l qo'ymaydigan

texnologiyalarni qo'llash hamda FEMni muntazam ravishda tozalash muhim ahamiyat kasb etadi. FEMning harorati, avvalo, quyosh nurlanishi intensivligidagi o'zgarishlar bilan bevosita bog'liq tarzda o'zgaradi. Havo kanali haroratining o'zgarishi 3-rasmda keltirilgan. Changsiz kunda soat 14:00 da ventilatorsiz ya'ni tabiiy konveksiya sharoitida havo kanalining maksimal harorati 50,8 °C bo'lgan va majburiy havo oqimi (ventilatorlar yoqilgan holat) qo'llanganda havo oqimi harorati soat 14:00 da 44,5 °C ga o'zgarishi kuzatildi. Tadqiqot natijalariga ko'ra, o'zgaruvchan ob-havo sharoitida changli kunda tizimning maksimal harorati mos ravishda soat 13:00 da 46 °C va soat 14:00 da 33 °C ga o'zgarishi kuzatildi. Tajriba tadqiqotlarida, ventilatorlar mavjud bo'lganda, havo kanalidagi harorat pasayishi kuzatilgan. Bu esa bino ichidagi havoning yangilanishi va qulaylik darajasining yaxshilanishiga olib keladi.

Changli ob-havoda va ventilatorlarning tajriba xonasi haroratiga ta'siri 4-rasmda keltirilgan. Changsiz kunda, soat 14:00 da DC ventilatorlar ishlamaganida, xonaning harorati 39,7 °C bo'lgan. Agar shu kunda ventilatorlar yoqilgan bo'lsa, xona harorati biroz oshgan, bu tizimni ventilatorli FEMda hosil bo'lgan issiqlikni faol ravishda xona ichiga uzatgani uchun, soat 14:00 da xonaning maksimal harorati 40,8 °C ga yetgani kuzatildi.



4-rasm. Turli atrof-muhit sharoitlarida xona haroratining o'zgarishi.



5-rasm. Turli atrof-muhit sharoitlarida elektr samaradorligini o'zgarishi.

(1-Sovitishsiz changli kundagi elektr samaradorligi, 2- Sovitish tizimi bilan ishlagan changli kundagi elektr samaradorlik, 4-Sovitishli quyoshli kundagi elektr samaradorligi)

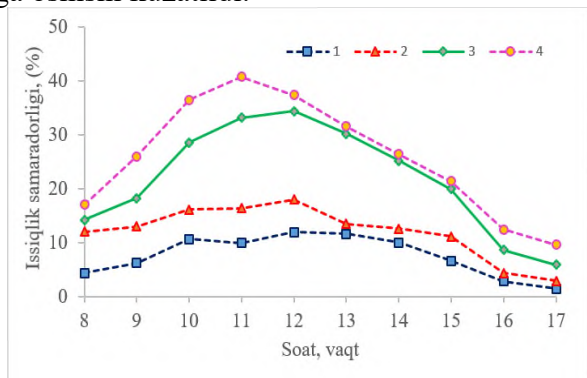
Tizimning samaradorligi, ya'ni elektr, issiqlik va umumiy samaradorlik, tajriba davomida ish rejimlari va ob-havo sharoitlariga bog'liq bo'lib, asosiy baholash mezoni sifatida xizmat qiladi.

Fotoelektrik modullar bilan integratsiyalangan tromb devori tizimining elektr samaradorligiga ish sharoitlari va meteorologik omillarning ta'siri 5-rasmda ko'rsatilgan. Quyosh nurlanishi intensivligi oshgan sari, kun davomida tizimning elektr samaradorligi ham ortib boradi. Eng yuqori samaradorlik odatda kunning o'rtasida, yani quyosh nurlanishi eng yuqori bo'lganda kuzatildi.

Ventilatorlar yordamida FEMda orqa yuza sirtida hosil bo'ladigan issiqlikni tashqi muhitga uzatib, FEMning haroratini pasaytiradi va bu elektr samaradorligining oshishiga olib keladi. Tajriba natijalarida (changsiz va ventilatorsiz sharoit)da elektr samaradorlikning maksimal darajada ertalab soat 11:00 da 8,2% ga o'zgarishi kuzatildi. Shu bilan birga, kun o'rtalarida soat 12:00 da ventilatorlar yordamida sovitish natijasida FEMning elektr samaradorligi 10,2% ga oshishi kuzatildi. Ventilatorsiz va changli kunda mavjud bo'lgan tabiiy serkulyatsiyali havo oqimi sharoitida o'tkazilgan tajribalar natijasida elektr samaradorlikning maksimal darajasi soat 11:00 da kuzatildi va 3,5% gacha o'zgardi. Ventilatorlar orqali majburiy sovitish tizimi qo'llanilganda esa eng yuqori elektr samaradorlik 6,6% gacha o'zgarishi kuzatildi. Tajriba natijalariga ko'ra, chang bo'lmagan kunlarda ventilatorlar yordamida havo orqali amalga oshirilgan sovitish tizimning elektr samaradorligini oshirishga xizmat qilgan.

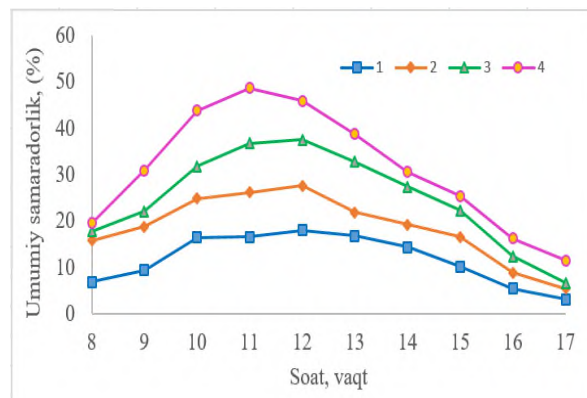
Tizimning issiqlik samaradorligining o'zgarishi 6-rasmda keltrilgan. Issiqlik samaradorligi haroratning o'zgarishi hamda tizimning ish sharoitlariga bevosita bog'liq holda o'zgarib boradi. Tajriba natijalariga ko'ra, kunduzi issiqlik samaradorligi ortib borib, tabiiy konveksiya (ventilatorsiz) sharoitda soat 11:00 da maksimal 40,1% gacha o'zgarishi kuzatildi. Majburiy konveksiya

(ventilatorlar yordamida) holatida soat 12:00 da issiqlik samaradorligining eng yuqori holati 17,6% ga oshishi kuzatildi.



6-rasm. Turli atrof-muhit sharoitlarida issiqlik samaradorligini o'zgarishi.

(1-Sovitishsiz changli kundagi elektr samaradorligi, 2- Sovitish tizimi bilan ishlagan changli kundagi elektr samaradorlik, 4-Sovitishli quyoshli kundagi elektr samaradorligi)



7-rasm. Turli atrof-muhit sharoitlarida umumiy samaradorligini o'zgarishi.

Tajriba natijalariga ko'ra, changli kunda tabiiy konveksiya (ventilyatorsiz) holatida soat 12:00 da issiqlik samaradorligi maksimal 34,1% o'zgarishi kuzatildi. Ventilyatorlar yordamida majburiy konveksiya holatida soat 12:00 da tizimning maksimal issiqlik samaradorligi 11,9% ga oshishi kuzatildi. Tajriba natijalari shuni ko'rsatadiki, issiqlik samaradorligidagi o'zgarishlar asosan turli ish sharoitlari va iqlim o'zgarishlari bilan bog'liq hisoblanadi.

Fotoelektrik modullar bilan integratsiyalangan Tromb devori tizimining umumiy energiya samaradorligi natijalari 7-rasmda keltirilgan. Umumiy samaradorlik issiqlik va elektr samaradorligi ko'rsatkichlariga bog'liq bo'lib, o'rganilgan turli atrof-muhit sharoitlarida issiqlik samaradorligi elektr samaradorligiga qaraganda yuqori ko'rsatkichlarga ega. Natijada, tizimning umumiy samaradorligiga issiqlik samaradorligi ko'proq ta'sir ko'rsatadi. Tajriba natijalariga ko'ra, tizimning eng yuqori umumiy samaradorligi changsiz kunda, DC ventilatorlarsiz rejimda kuzatilgan bo'lib, u soat 11:00 da 48,6% oshishi kuzatildi. Changli kunda ham ventilatorsiz holatda tizimning umumiy samaradorligi eng yuqori bo'lib, soat 11:00 da 36,4% ni oshishi kuzatildi.

Xulosa

Ushbu maqolada fotoelektrik modullar bilan integratsiyalangan Tromb devori tizimining ishlashiga turli atrof-muhit sharoitlaridagi o'zgarishlarning ta'siri tajribaviy usulda o'rganildi. Tajriba natijalariga ko'ra, changli ob-havo sharoitida binoning ichki harorati va fotoelektrik modullar harorati pasaygan bo'lib, ular o'rtasidagi haroratlar farqi 12% gacha pasaygan.

Changli kunlarda fotoelektrik modullar bilan integratsiyalangan Tromb devori tizimining elektr samaradorligi pasayadi. Changsiz kunda o'rtacha kunlik elektr samaradorligi changli kunga nisbatan 2,4% ga yuqori bo'lgan. Eng yuqori elektr samaradorlik changsiz kunda kuzatilgan: Majburiy konveksiya (ventilyatorlar bilan) holatida samaradorlik 10,2% ga, tabiiy konveksiya (ventilyatorsiz) holatida esa 8,4% ga o'zgarishi kuzatildi. Tizimning maksimal issiqlik samaradorligi changsiz kunda, DC ventilatorlar ishlagan holda, 17,6% ni tashkil etdi. Ventilatorsiz modelda tizim samaradorligi 40,1 % gacha o'zgarishi kuzatildi.

Adabiyotlar

- [1] Abdullah AA., Atallah FS., Ahmed OK., Daoud RW., "Enhancement of the performance of Photovoltaic/Trombe wall system using the porous medium: Experimental and theoretical study," *Energy*, vol. 171, pp. 14–26, 2019.
- [2] Daigle Q., O'Brien PG., "Heat generated using lumi nescent solar concentrators for building energy applications," *Energies*, vol. 13, p. 5574, 2020.
- [3] Bhadra S., Sen N., AK K., Singh H., "Design and evaluation of a water-based, semitrans parent photovoltaic thermal trombe wall," *Energies*, vol. 16, pp. 16–18, 2023.

- [4] Ibrahim AM., Ibraheem RR., Weli RB., “Energy saving in batteries using the photovoltaic system,” *Al-Kitab J Pure Sci*, vol. 4, pp. 78–94, 2023.
- [5] Abdullah AA., Attulla FS., Ahmed OK., Algburi S., “Effect of cooling method on the performance of PV/ Trombe wall: Experimental assessment,” *Therm Sci Eng. Prog*, vol. 30, p. 101273, 2022.
- [6] Abdullah AA., Atallah FS., Ahmed OK., Daoud RW., “Performance improvement of photovoltaic/Trombe wall by using phase change material: Experimental assessment,” *J Energy Storage*, vol. 55, p. 105596, 2022.
- [7] Abed AA., Ahmed OK., Weis MM., Hamada KI., “Performance augmentation of a PV/Trombe wall using Al₂O₃/Water nano-fluid: An experimental investigation,” *Renew Energy*, vol. 157, pp. 515–529, 2020.
- [8] Sánchez-Barroso G., González-Domínguez J., García Sanz-Calcedo J., Sanz JG., “Markov chains estimation of the optimal periodicity for cleaning photovoltaic panels installed in the dehesa,” *Renew Energy*, vol. 179, pp. 537–549, 2021.
- [9] Wang L., Zhou J., Zhong W., Ji Y., Yuan Y., “Analysis of factors affecting the performance of a novel micro-channel heat pipe PV-Trombe wall system for space heating,” *Sustain Energy Technol Assess*, vol. 58, p. 103347, 2023.
- [10] Yao W., Han X., Huang Y., Zheng Z., Wang Y., Wang X., “Analysis of the influencing factors of the dust on the surface of photovoltaic panels and its weakening law to solar radiation: A case study of Tianjin,” *Energy*, p. 124669, 256AD.
- [11] Fatima K., Minai AF., Malik H., García Márquez FP., “Experimental analysis of dust composition impact on Photovoltaic panel Performance: A case study,” *Sol Energy*, vol. 267, p. 112206, 2023.
- [12] Long H., Fu X., Kong W., Chen H., Zhou Y., Yang F., “Key technologies and applications of rural energy internet in China,” *Inf Process Agric*, 2022, doi: 10.1016/j.inpa.2022.03.001.