

UO‘K: 662.997:621.181.6

## QUYOSH ISSIQLIK AKKUMULYATORLARI SOHASIDA DUNYODAGI ILMIIY TADQIQOTLAR TAHLILI

**Juraboyev Nodirbek Ihtiyorjon o‘g‘li** – doktorant (PhD),  
ORCID: 0009-0002-5538-4606, E-mail: [nodirbek\\_juraboyev@ferpi.uz](mailto:nodirbek_juraboyev@ferpi.uz)

Farg‘ona davlat texnika universiteti, Farg‘ona sh., O‘zbekiston

**Annotatsiya.** Ushbu maqolada quyosh issiqlik energiyasini saqlash texnologiyalari, xususan, issiqlik akkumulyatorlari sohasida olib borilgan xalqaro ilmiy tadqiqotlar chuqur tahlil qilinadi. Tadqiqotlar 2013–2024-yillar oralig‘ida chop etilgan ilmiy maqolalar asosida o‘rganildi. Tahlil davomida turli texnologik yondashuvlar — yashirin (latent) issiqlik saqlash, sezilarli (sensible) issiqlik saqlash va kimyoviy (thermochemical) issiqlik saqlash tizimlari ko‘rib chiqildi. Har bir yondashuvning texnik ko‘rsatkichlari, afzalliklari, kamchiliklari va iqtisodiy samaradorligi solishtirildi. Natijalar quyosh issiqlik akkumulyatorlarini ishlab chiqishda innovatsion yo‘nalishlarni belgilashga yordam beradi.

Ushbu tahliliy ishda ilmiy maqolalarni tizimli o‘rganish metodologiyasidan foydalanildi. Maqolalar “Scopus”, “ScienceDirect”, “SpringerLink” va “Web of Science” kabi ilmiy bazalardan tanlab olindi. Tahlil uchun 2013–2024-yillar oralig‘ida chop etilgan ilmiy nashrlar ko‘rib chiqildi. Kalit so‘z sifatida “Latent heat storage”, “sensible heat storage”, “thermochemical heat storage”, iboralari tanlandi. Har bir yil bo‘yicha maqolalar soni maxsus jadvalga yozilib, grafik ko‘rinishda taqdim etildi. Tahlil faqat maqola sarlavhasi va mavzusi mos kelgan ilmiy nashrlar bilan cheklangan.

O‘tkazilgan bibliometrik tahlil natijalariga ko‘ra, 2014–2024-yillar oralig‘ida issiqlik energiyasini saqlash texnologiyalari bo‘yicha nashrlar soni izchil ortib borgan bo‘lib, ayniqsa yashirin (latent) issiqlik saqlash yo‘nalishida ilmiy faollik yuqori bo‘lgan. Springer nashriyoti mazkur sohadagi eng ko‘p maqola chop etgan platforma sifatida ajralib turgan bo‘lsa, MDPI bazasida chop etilgan maqolalar nisbatan kam sonli bo‘lgan. Davlatlar kesimida esa Xitoy, Buyuk Britaniya va AQSH o‘zaro xalqaro hamkorlikda eng faol ishtirok etgan mamlakatlar bo‘lib, ayniqsa Xitoy Fanlar Akademiyasi va Tsinghua Universiteti kabi muassasalar eng ko‘p nashr chop etgan tashkilotlar sifatida yetakchilik qilmoqda.

**Kalit so‘zlar:** quyosh issiqlik akkumulyatori, bibliometrik tahlil, yashirin (latent) issiqlik saqlash, sezilarli (sensible) issiqlik saqlash, kimyoviy (thermochemical) issiqlik saqlash

УДК: 662.997:621.181.6

## АНАЛИЗ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ СОЛНЕЧНЫХ ТЕПЛОВЫХ АККУМУЛЯТОРОВ В МИРЕ

**Журабоев Нодирбек Ихтиёржон угли** – докторант (PhD)

Ферганский государственный технический университет, г. Фергана, Узбекистан

**Аннотация.** В данной статье проводится углублённый анализ международных научных исследований в области технологий накопления солнечной тепловой энергии, в частности, в сфере тепловых аккумуляторов. Исследования основаны на научных публикациях, вышедших в период с 2013 по 2024 годы. В ходе анализа рассмотрены различные технологические подходы — накопление скрытого (латентного) тепла, чувствительного (сенсильного) тепла и термохимическое накопление тепловой энергии. Сравнены технические характеристики, преимущества, недостатки и экономическая эффективность каждого подхода. Полученные результаты способствуют определению инновационных направлений в разработке солнечных тепловых аккумуляторов.

В данном аналитическом исследовании была использована методология системного изучения научных публикаций. Статьи были отобраны из таких научных баз данных, как “Scopus”, “ScienceDirect”, “SpringerLink” и “Web of Science”. Для анализа были рассмотрены научные публикации, опубликованные в период с 2013 по 2024 годы. В качестве ключевых слов

были выбраны выражения: “Latent heat storage”, “Sensible heat storage”, “Thermochemical heat storage”. Количество статей по каждому году было занесено в специальную таблицу и представлено в графическом виде. Анализ ограничен только теми научными публикациями, заголовки и темы которых соответствуют указанной тематике.

Проведённый библиометрический анализ показал, что в период с 2014 по 2024 годы количество публикаций по технологиям аккумулирования тепловой энергии стабильно увеличивалось, особенно в направлении скрытого (латентного) теплового аккумулирования. Издательство Springer выделяется как ведущая платформа с наибольшим количеством публикаций в данной области, тогда как база данных MDPI содержит относительно меньшее количество статей. В разрезе стран Китай, Великобритания и США являются наиболее активными участниками международного научного сотрудничества, при этом Китайская академия наук и Университет Цинхуа занимают лидирующие позиции по количеству публикаций.

**Ключевые слова:** солнечный тепловой аккумулятор, библиометрический анализ, накопление скрытого (латентного) тепла, накопление чувствительного (сенсительного) тепла, термохимическое накопление тепла.

UDC: 662.997:621.181.6

## ANALYSIS OF GLOBAL SCIENTIFIC RESEARCH IN THE FIELD OF SOLAR THERMAL ENERGY STORAGE SYSTEMS

**Juraboev, Nodirbek Ikhtiyorjon ugli** – Doctoral student (PhD)

Fergana State Technical University, Fergana city, Uzbekistan

**Abstract.** This article presents an in-depth analysis of international scientific research in the field of solar thermal energy storage technologies, with a particular focus on thermal energy storage systems. The study is based on scientific publications published between 2014 and 2024. Various technological approaches — latent heat storage, sensible heat storage, and thermochemical heat storage systems — were examined during the analysis. The technical parameters, advantages, disadvantages, and economic efficiency of each method were compared. The results contribute to identifying innovative directions in the development of solar thermal energy storage systems.

This analytical study employed a systematic methodology for reviewing scientific publications. Articles were selected from reputable scientific databases such as “Scopus”, “ScienceDirect”, “SpringerLink”, and “Web of Science”. The analysis covered scientific publications published between 2014 and 2024. The selected keywords included “Latent heat storage”, “Sensible heat storage”, and “Thermochemical heat storage”. The number of articles for each year was recorded in a dedicated table and presented in graphical form. The analysis was limited to scientific publications whose titles and topics corresponded specifically to the research focus.

The bibliometric analysis conducted shows that from 2014 to 2024, the number of publications on thermal energy storage technologies steadily increased, with the highest research activity observed in the field of latent heat storage.

Springer emerged as the leading platform with the highest number of publications in this area, while MDPI contained relatively fewer articles.

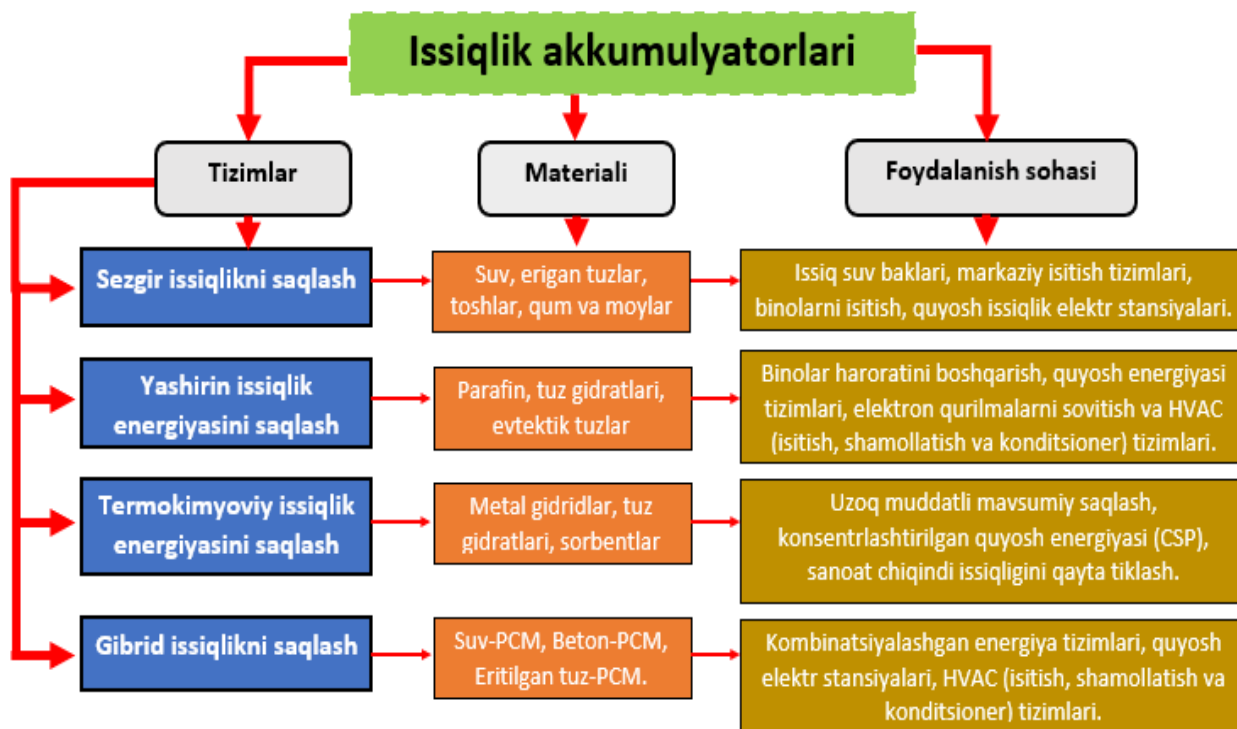
In terms of countries, China, the United Kingdom, and the United States were the most active in international research collaboration, with the Chinese Academy of Sciences and Tsinghua University leading in the number of publications.

**Keywords:** solar thermal accumulator, bibliometric analysis, latent heat storage, sensible heat storage, thermochemical heat storage.

### Kirish

So‘nggi o‘n yillikda energiya xavfsizligini ta‘minlash, atrof-muhit muhofazasi va barqaror rivojlanish masalalari global miqyosda dolzarb bo‘lib bormoqda. Shu munosabat bilan qayta tiklanuvchi energiya manbalariga, ayniqsa, quyosh energiyasiga bo‘lgan qiziqish keskin oshdi.

Ammo quyosh energiyasidan foydalanishda bir qancha kamchiliklar mavjud. Ularning eng asosiysi quyosh energiyasining uzluksizligi tabiati hisoblanadi [1-2]. Chunki quyosh energiyasi kunning 24 soati davomida mavjud emas. Shuning uchun quyosh energiyasini samarali foydalanish yo'llaridan biri bu quyosh issiqlik energiyasini to'plash va saqlash texnologiyalarini joriy etishdir [3]. Quyosh issiqlik akkumulyatorlari yordamida kun davomida yig'ilgan energiyani talabga qarab kechroq yoki boshqa sharoitda foydalanish imkoniyati yaratiladi [4-5].



**1-rasm. Issiqlik akkumulyatorlarining sinflanishi.**

Issiqlik energiyasini saqlash mexanizmlari materialning sovishi, qizishi, erishi, qattiqlashishi yoki bug'lanish jarayonlari orqali amalga oshadi. Issiqlik energiyasini saqlash tizimlari odatda quyidagi turlarga bo'linadi: sezgir issiqlikni saqlash (Sensible heat storage), yashirin issiqlik energiyasini saqlash (Latent heat storage), termokimyoviy issiqlik energiyasini saqlash (Thermochemical heat storage), gibrid issiqlikni saqlash [4]. Issiqlik akkumulyatorlarining sinflanishi va ularda foydalaniladigan materiallar 1-rasmga batafsil keltirib o'tilgan.

### Tadqiqot ishining uslubiyoti

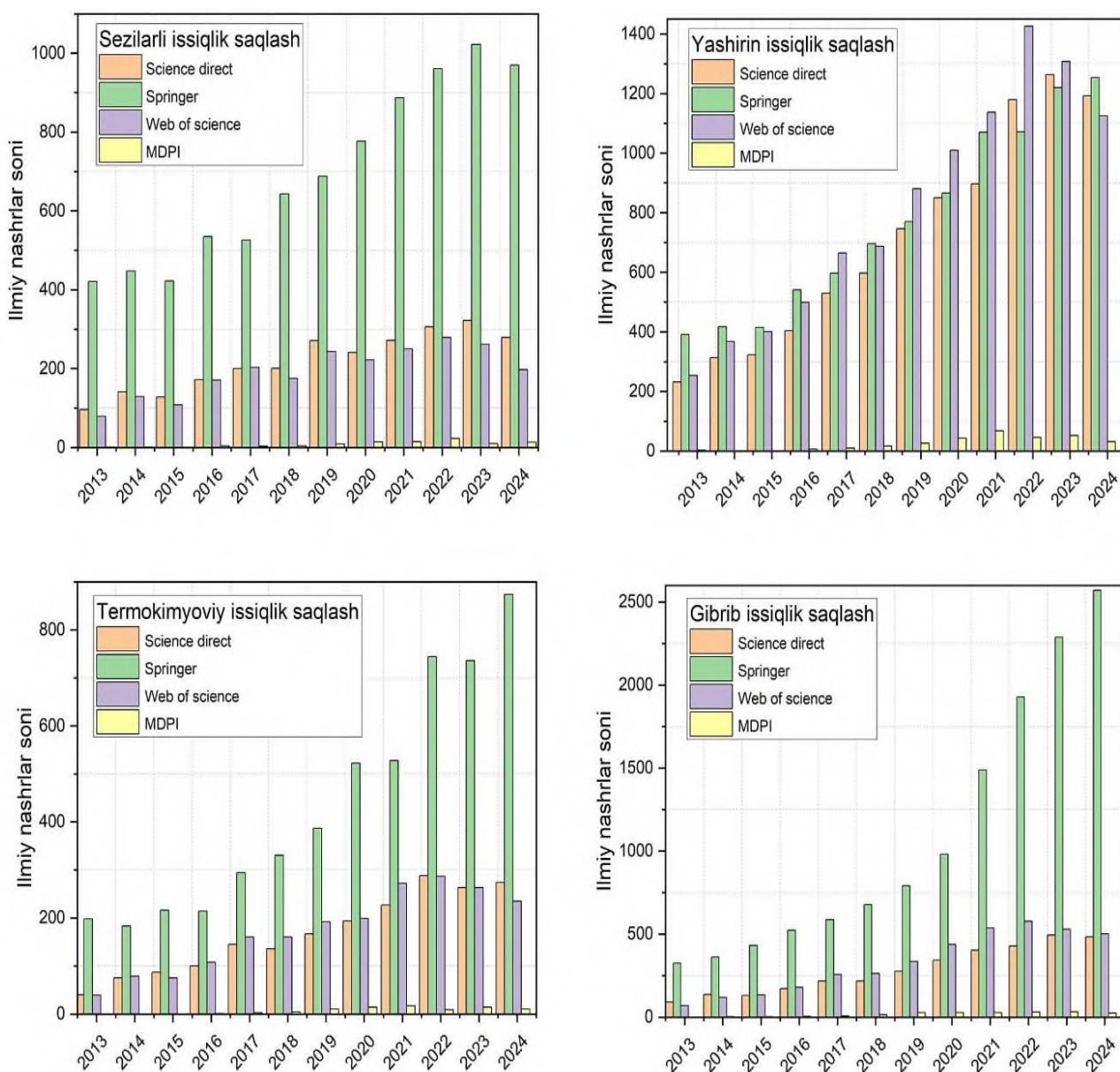
Ushbu tahliliy ishda ilmiy maqolalarni tizimli o'rganish metodologiyasidan foydalanildi. Maqolalar "Scopus", "ScienceDirect", "SpringerLink" va "Web of Science" kabi ilmiy bazalardan tanlab olindi. Tahlil uchun 2013–2024-yillar oralig'ida chop etilgan ilmiy nashrlar ko'rib chiqildi. Kalit so'z sifatida "Latent heat storage", "sensible heat storage", "thermochemical heat storage", iboralari tanlandi. Har bir yil bo'yicha maqolalar soni maxsus jadvalga yozilib, grafik ko'rinishda taqdim etildi. Tahlil faqat maqola sarlavhasi va mavzusi mos kelgan ilmiy nashrlar bilan cheklangan.

### Tahlil natijalari

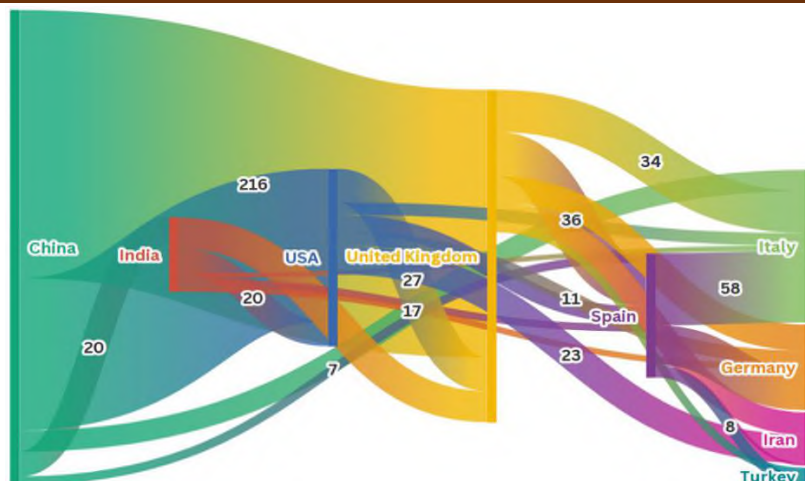
Xalqaro ilmiy ma'lumotlar bazalarida indekslangan maqolalar sonini aniqlash uchun taqqoslash tahlili o'tkazildi. Ushbu tahlil uchun ma'lumotlar yig'ish jarayoni uch xil bosqichda amalga oshirildi. Dastlab, ScienceDirect.com, Springer.com, Webofscience.com va MDPI.com kabi tegishli ilmiy ma'lumotlar bazalari tanlab olindi, chunki bu platformalar quyosh issiqlik akkumulyatorlari sohasidagi ko'plab ilmiy maqolalar va konferensiya materiallar to'g'risida ma'lumotlar olish uchun juda muhim hisoblanadi. Keyingi bosqichda, qidiruv natijalarini olish uchun "Sensible heat storage", "Latent heat thermal energy", "Thermochemical heat storage", "Hybrid heat storage" kabi aniq kalit so'zlar belgilab olindi.

Zamonaviy texnologiyalarga e'tibor qaratish maqsadida, qidiruv 2013-yildan 2024-yil 10-noyabrigacha bo'lgan davrdagi ilmiy nashrlarni cheklovchi filtrlar orqali amalga oshirildi.. Yakuniy bosqichda, belgilangan mezonlarga javob bergan jurnal maqolalari, konferensiya materiallari va boshqa nashrlar to'planib, ulardan issiqlik akkumulyatori kategoriyalariga tegishli maqolalar tanlab olinib, tahlil qilindi.

2-rasmda so'nggi o'n yil ichida yuqorida ko'rsatilgan ilmiy ma'lumotlar bazalarida issiqlik akkumulyatorining har bir sinfi bo'yicha nashr etilgan maqolalar sonining asta-sekin o'sib borayotgani ko'rsatilgan. Tahlil qilingan maqolalarning sezilarli qismi Springer ilmiy bazasi tomonidan nashr etilgan bo'lib, bu ushbu bazaning issiqlik akkumulyatorlari sohasiga salmoqli hissa qo'shganini ko'rsatadi. Shu bilan birga, MDPI tomonidan nashr etilgan maqolalar soni oxirgi o'n yillikda nisbatan kamroq hajmni tashkil etadi. Biroq, "Latent heat thermal energy" yashirin issiqlik saqlash turidagi akkumulyatorlar bo'yicha uchta ilmiy ma'lumotlar bazasida nashrlar yillar bo'yicha deyarli teng ekanligini ko'rishimiz mumkin. Springer ma'lumotlar bazasida issiqlik energiyasini saqlash tizimining "Hybrid heat storage" gibrid turi bo'yicha nashrlar ushbu yo'nalishga qiziqish ortib borayotganini ko'rsatadi.

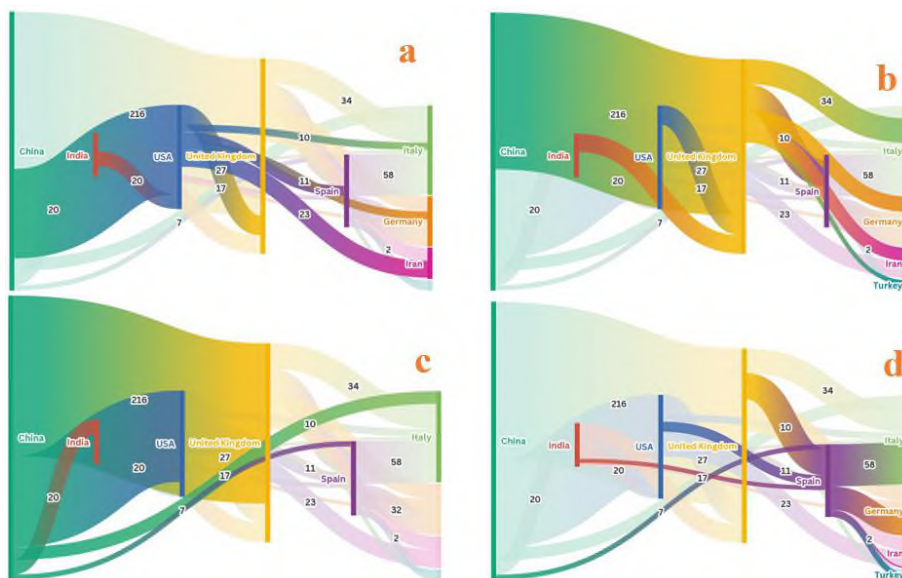


2–rasm. 2013–2024-yillar davomida turli kalit soʻzlar boʻyicha toʻrt xil xalqaro ilmiy qidiruv bazasidagi maqolalar soni.



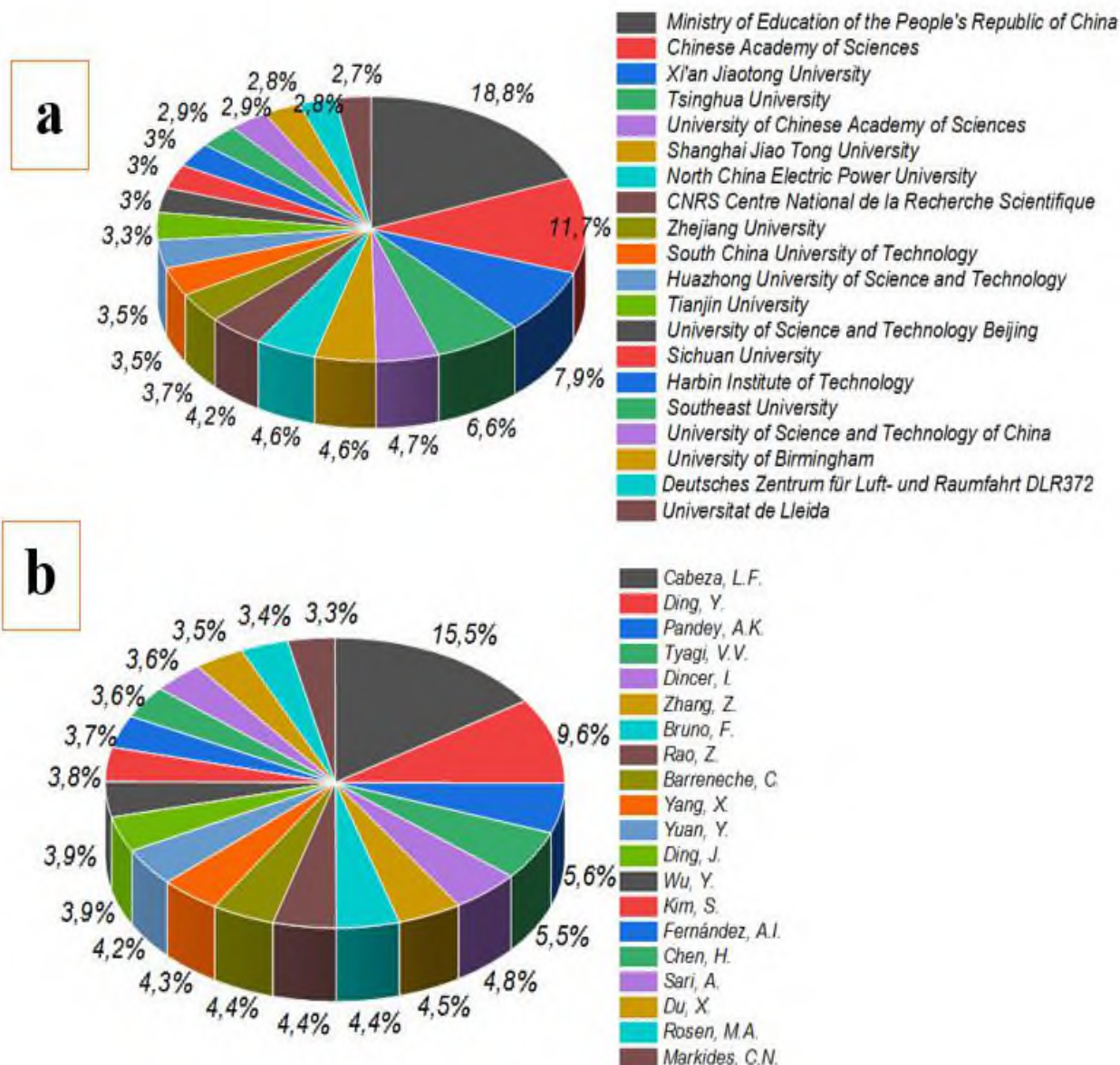
**3 – rasm. Turli mamlakatlar o‘rtasida hammualliflikda nashr qilingan ilmiy ishlar.**

3-rasmda so‘ngi 10 yillikda turli mamlakatlar tomonidan hammualliflikda qilingan ilmiy ishlar taqsimoti tasvirlangan. Buyuk Britaniya va Xitoy eng ko‘p hamkorlikdagi 216 ta maqolar soni bilan yetakchi mamlakatlar sifatida ajralib turibdi. Bundan tashqari Xitoy va AQSH (20 nashr), Buyuk Britaniya va AQSH (27 nashr) bilan yetakchi ko‘rsatkichlarga ega. 4(a)-rasm AQSHning ilmiy hamkorligiga, 4(b)-rasm Buyuk Britaniyaning ilmiy ilmiy hamkorligiga, 4(c)-rasm Xitoyning xalqaro hamkorligiga, 4(d)-rasm Ispaniyaning boshqa mamlakatlar bilan ilmiy hamkorlik tarmoqlarni ko‘rsatadi.



**4 – rasm. Turli mamlakatlar o‘rtasida hammualliflikda nashr qilingan ilmiy ishlar.**

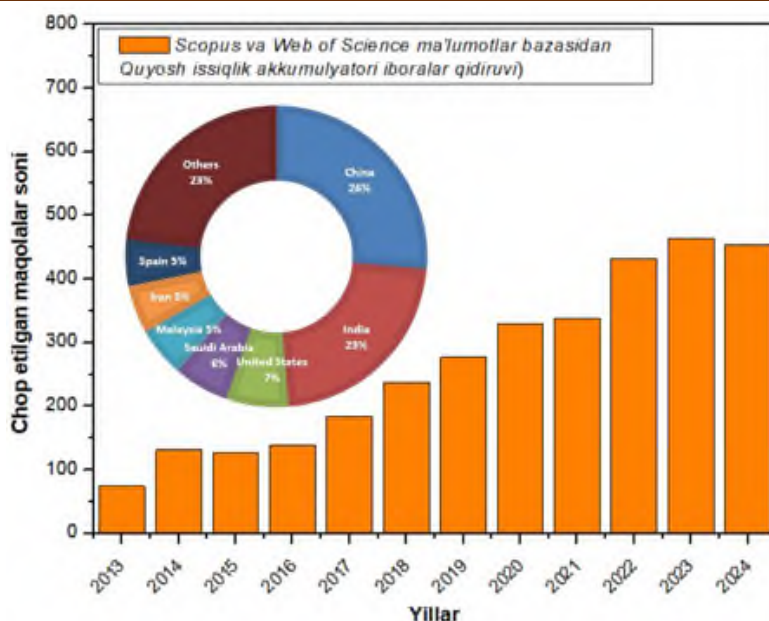
5(a)-rasmda issiqlik akkumulyatorlari sohasida eng faol 20 ta tashkilotning so‘nggi o‘n yil ichida chop etgan ilmiy nashrlarining foiz ko‘rsatkichlarini ko‘rishimiz mumkin. 2024-yil 10-noyabr holatiga ko‘ra ScienceDirect.com hisobotiga asosan, ro‘yxatning yetakchi o‘rnida 2500 ta ilmiy hujjatlar bilan Xitoy Xalq Respublikasining Ta‘lim vazirligi joylashgan. Xitoy Fanlar Akademiyasi ikkinchi o‘rinda bo‘lib, deyarli 1575 ta nashrni o‘z ichiga oladi, undan keyin Xi’an Jiaotong Universiteti va Tsinghua Universiteti mos ravishda taxminan 1062 va 890 ta nashr bilan joylashgan. Shuningdek, Xitoy Fanlar Akademiyasi Universiteti, Shanxay Jiaotong Universiteti, va Shimoliy Xitoy Elektr Quvvat Universiteti kabi tashkilotlar har biri 600 dan 650 gacha nashrni chop etgan. Boshqa tashkilotlarning ham ilmiy faoliyatlari issiqlik akkumulyator texnologiyalarini rivojlantirishga sezilarli darajada hissa qo‘shganini ko‘rishimiz mumkin.



5 – rasm. 2013-2024 yilar oralig‘ida ilmiy institutlar va mualliflar tomonidan ilmiy nashrlar sonining o‘zgarishi.

5(b)-rasmda issiqlik akkumulyatorlari bo‘yicha asosiy mualliflarning nashrlarini soni ko‘rsatilgan. Ushbu ilmiy guruhning yetakchisi L. F. Cabeza [6] bo‘lib, uning taxminan 340 ta nashri issiqlik akkumulyator texnologiyalarini rivojlantirishdagi muhim rolini ko‘rsatadi. E‘tiborga loyiq boshqa muallif Ding Y [7] bo‘lib, u taxminan 231 ta nashr bilan ushbu tadqiqot sohasiga katta hissa qo‘shgan. Shuningdek A.K. Pandey[8], C. Barreneche [9], DR. V. V. Tyagi [10], Dr. Ramalingam Senthil (Hindiston), Adarsh Kumar Pandey, Mahendran Samykano (Malaysia), Ahmet SARI, Gökhan Hekimoğlu (Turkiya), Frank Bruno (Australiya), Ming Liu (Kaliforniya), Abd Elnaby Kabeel (Misr) va boshqa bir qator olimlarning ishlarida quyosh ishitish tizimida faza o‘zgaruvchan materiallar asosidagi issiqlik energiyasini saqlovchi tizimlar o‘rganilgan. va boshqa tadqiqotchilar TES tizimlarini tadqiq qilish va rivojlantirishda faol ishtirok etayotganligini ko‘rsatadigan ko‘plab ilmiy maqolalari bilan diqqatga sazovordir.

Issiqlik akkumulyatori (Thermal energy storage) bo‘yicha “Scopus” va “Web of Science” ma‘lumotlar bazasidagi ilmiy nashrlar sonining 10yil davomida o‘zgarishi 6-rasmda keltirilgan bo‘lib, yillar davomida issiqlik akkumulyatori sohasiga qiziqish sezilarli darajada ortayotganini ko‘rishimiz mumkin. Bundan tashqari umumiy ilmiy nashrlarning 26% bilan Xitoy xalq respublikasi yetakchi o‘rindaligini ko‘rishimiz mumkin. Ikkinchi o‘rinda Hindiston, uchinchi o‘rinda esa AQSH, tortinchi o‘rinda Saudiya Arabistoni va boshqa davlatlarning ulishi ketma ketligi ko‘rsatilgan.



**6-rasm. Kalit soʻzlar boʻyicha qidirilgan nashrlar soni (Issiqlik energiyasini saqlovchi tizimlar) atamalari. Turli mamlakatlarning qoʻshgan hissasi boʻyicha nisbati hisoblangan.**

### Xulosa

Ushbu maqolada quyosh issiqlik akkumulyatorlari sohasida 2013–2024-yillar davomida dunyodagi ilmiy nashrlar tahlili asosida bibliometrik tadqiqot olib borildi. Tahlil natijalari shuni koʻrsatdiki, ushbu soha global miqyosda jadal rivojlanmoqda va ilmiy qiziqish yildan-yilga ortib bormoqda. Jumladan:

- Issiqlik energiyasini saqlash texnologiyalari orasida yashirin (latent) issiqlik saqlash eng koʻp oʻrganilgan yoʻnalish boʻlib, parafin muamlari va tuz gidratlari asosidagi tadqiqotlar ustunlik qilmoqda.

- Springer va ScienceDirect kabi yirik ilmiy maʼlumotlar bazalari ushbu yoʻnalishda yetakchi maqolalar bazasi boʻlib xizmat qilmoqda.

- Xitoy, Hindiston, AQSH va Buyuk Britaniya kabi mamlakatlar bu sohada eng faol ilmiy markazlar hisoblanadi. Ayniqsa, Xitoy Xalq Respublikasi ilmiy nashrlar soni va ilmiy muassasalari soni boʻyicha yetakchilik qilmoqda.

- Ilmiy faol mualliflar — L.F. Cabeza, Ding Y, A.K. Pandey va boshqalar ushbu yoʻnalishda yetakchi tadqiqotchilar sifatida ajralib turmoqda.

Tadqiqotlar shuni koʻrsatdiki, quyosh issiqlik energiyasini saqlash texnologiyalari barqaror energiya tizimlari uchun strategik ahamiyatga ega boʻlib, ularni rivojlantirish kelajakda quyosh energiyasining uzluksiz va samarali foydalanilishini taʼminlaydi. Shu sababli, texnik samaradorligi yuqori, iqtisodiy jihatdan maqsadga muvofiq va ekologik xavfsiz energiya saqlash tizimlarini loyihalash boʻyicha izlanishlarni yanada chuqurlashtirish tavsiya etiladi.

### Adabiyotlar

- [1] O. A. Al-Shahri et al., “Solar photovoltaic energy optimization methods, challenges and issues: A comprehensive review,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 284, p. 125465, Feb. 2021, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.125465.
- [2] M. H. Alsharif, J. Kim, and J. H. Kim, “Opportunities and Challenges of Solar and Wind Energy in South Korea: A Review,” *Sustainability*, vol. 10, no. 6, p. 1822, Jun. 2018, doi: 10.3390/su10061822.
- [3] Y. Tian and C. Y. Zhao, “A review of solar collectors and thermal energy storage in solar thermal applications,” *Applied Energy*, vol. 104, pp. 538–553, Apr. 2013, doi: 10.1016/j.apenergy.2012.11.051.

- 
- [4] N. I. Juraboev et al. “A Comparative Study on Thermal Analysis of Latent Heat Energy Storage Systems Using Phase Change Materials,” presented at the International Conference on Thermal Engineering, 2024. [Online]. Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85199170053&partnerID=40&md5=8007ba192adc886e8ce0bbadc55187b9>
- [5] Juraboyev N.I., Akhatov J.S. Thermal performance simulation of encapsulated pcm for latent heat storage applications. *Alternative energy*. 2025. 3(19). pp. 86-92.
- [6] B. Zalba, J. M. Marín, L. F. Cabeza, and H. Mehling, “Review on thermal energy storage with phase change: materials, heat transfer analysis and applications,” *Applied Thermal Engineering*, vol. 23, no. 3, pp. 251–283, Feb. 2003, doi: 10.1016/S1359-4311(02)00192
- [7] A. Palacios, C. Barreneche, M. E. Navarro, and Y. Ding, “Thermal energy storage technologies for concentrated solar power – A review from a materials perspective,” *Renewable Energy*, vol. 156, pp. 1244–1265, Aug. 2020, doi: 10.1016/j.renene.2019.10.127.
- [8] B. Kalidasan and A. K. Pandey, “Next generation phase change materials: State-of-the-art towards sustainable future,” *Progress in Materials Science*, vol. 148, p. 101380, Feb. 2025, doi: 10.1016/j.pmatsci.2024.101380.
- [9] L. F. Cabeza, A. Castell, C. Barreneche, A. De Gracia, and A. I. Fernández, “Materials used as PCM in thermal energy storage in buildings: A review,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 15, no. 3, pp. 1675–1695, Apr. 2011, doi: 10.1016/j.rser.2010.11.018.
- [10] A. Sharma, V. V. Tyagi, C. R. Chen, and D. Buddhi, “Review on thermal energy storage with phase change materials and applications,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 13, no. 2, pp. 318–345, Feb. 2009, doi: 10.1016/j.rser.2007.1