

**TABIIY FANLARNI RIVOJLANTIRISH VA BOSHLANG'ICH SINFLARDA
AMALIY DARSLARNI INTEGRATSIYALASH: DALILLARGA
ASOSLANGAN IMRAD TAHLI**

Termiz iqtisodiyot va servis universiteti Pedagogika fakulteti

Boshlang'ich ta'lim yo'nalishi 3-kurs 2.23 - guruh talabasi

Xursanova Gavhar Umar qizi

gavharxursanova5@gmail.com

Annotatsiya

Mazkur maqolada tabiiy fanlarni rivojlantirish va boshlang'ich sinflarda amaliy darslarni integratsiyalashning ilmiy-pedagogik asoslari tahlil qilinadi. Boshlang'ich ta'lim davri bolalarda kuzatish, savol qo'yish, tajriba o'tkazish, dalilga tayanib xulosa chiqarish va real hayot muammolarini tushuntirish kompetensiyalarini shakllantirish uchun eng qulay bosqichlardan biridir. Xalqaro baholash dasturlari natijalari shuni ko'rsatadiki, matematika, o'qish savodxonligi va tabiiy fanlar bo'yicha natijalar so'nggi yillarda bir qator mamlakatlarda pandemiya, ijtimoiy tengsizlik, o'qituvchi resurslari va raqamli tafovutlar ta'sirida pasaygan. OECD PISA 2022 ma'lumotlariga ko'ra, OECD mamlakatlarida matematika natijasi 2018-yilga nisbatan rekord darajada 15 ballga kamaygan, o'qish 10 ballga pasaygan, fan natijasi esa umumiy o'rtacha darajada keskin o'zgarmagan; IEA TIMSS 2023 esa 4- va 8-sinf darajasida matematika hamda fan savodxonligi uchun mintaqaviy farqlar saqlanib qolayotganini ko'rsatdi. Tadqiqot dizayni integrativ sharh va kvazi-empirik sinf modeli sifatida tuzildi: 1–4-sinf o'quvchilari uchun 12 haftalik integratsiyalashgan amaliy dars modeli, o'qituvchi kuzatuvlari, diagnostik testlar, loyiha ishlari rubrikasi va dars jarayoni protokollari tahlil qilindi. Natijalar amaliy-integrativ yondashuv o'quvchilarning konseptual tushunishi, ilmiy nutqi, muammoli vaziyatni tahlil qilishi va hamkorlik ko'nikmalarini sezilarli kuchaytirishini ko'rsatdi. Maqolada sun'iy intellekt, real ta'lim ma'lumotlari, adaptiv baholash va o'quv analitikasi imkoniyatlari ham tanqidiy ko'rib chiqildi. Xulosa sifatida boshlang'ich tabiiy fanlar ta'limida amaliy darslarni ona tili, matematika, texnologiya, tasviriy san'at va ekologik tarbiya bilan integratsiyalash mazmuniy chuqurlik, motivatsiya va funksional savodxonlikni oshiruvchi muhim strategiya ekani asoslandi.

Kalit soʻzlar: tabiiy fanlar, boshlangʻich taʼlim, amaliy dars, integratsiya, STEM, STEAM, ilmiy savodxonlik, inquiry-based learning, loyiha asosida oʻqitish, oʻquv analitikasi, sunʼiy intellekt, real taʼlim maʼlumotlari, kompetensiyaviy yondashuv, baholash, konstruktiv pedagogika.

Introduction

Tabiiy fanlar boshlangʻich taʼlimda faqat alohida predmet emas, balki bolalarning dunyoni anglash usuli, sabab-oqibat bogʻlanishlarini koʻrish qobiliyati va dalilga asoslangan fikrlash madaniyatini shakllantiruvchi markaziy taʼlim maydonidir. Bola havo, suv, tuproq, oʻsimlik, hayvon, inson organizmi, yorugʻlik, harakat yoki energiya haqidagi dastlabki tasavvurlarni kundalik hayot tajribasi orqali oladi; maktab esa bu tasavvurlarni tartibga soladi, ilmiy tushunchalarga yaqinlashtiradi va kuzatuv-tajriba-xulosa zanjiri orqali mustahkamlaydi.

Soʻnggi yillarda tabiiy fanlar taʼlimi global miqyosda qayta koʻrib chiqilmoqda. OECD PISA 2022 natijalari 81 mamlakat va iqtisodiyotda 15 yoshli oʻquvchilarning real hayot muammolarini matematika, oʻqish va fan bilimlari bilan hal qilish salohiyatini baholadi. OECD hisobotida matematika boʻyicha oʻrtacha natija 2018-yildan 2022-yilgacha 15 ballga pasaygani, oʻqish 10 ballga kamaygani, fan natijalari esa keskin oʻzgarmagani qayd etildi [1]. Bu pasayish boshlangʻich bosqichdagi poydevor bilimlarining sifati keyingi taʼlim natijalari uchun qanchalik muhimligini koʻrsatadi.

Boshlangʻich sinfda amaliy darslarni integratsiyalash deganda tabiiy fan mazmunini matematika, ona tili, texnologiya, tasviriy sanʼat, axborot texnologiyalari, ekologik tarbiya va ijtimoiy-emotsional koʻnikmalar bilan uygʻunlashtirish tushuniladi. Masalan, oʻsimlik oʻsishini kuzatish mavzusi biologiya elementi boʻlish bilan birga oʻlchash, jadval tuzish, diagramma chizish, kuzatuv kundaligi yozish, guruhda rol taqsimlash va tabiatga masʼul munosabatni shakllantirishni ham oʻz ichiga oladi.

UNESCO STEM taʼlimini XXI asr kompetensiyalarini rivojlantirish, gender tengligi, barqaror rivojlanish va innovatsion iqtisodiyot uchun strategik yoʻnalish sifatida koʻradi. UNESCOning Global Microscience Experiments tashabbusi kam xarajatli, xavfsiz va qoʻl bilan bajariladigan tajribalar orqali boshlangʻich va oʻrta taʼlimda fan oʻrganishni jonlantirishga qaratilgan [2]. EEF 2023-yilgi boshlangʻich fan boʻyicha tavsiyalarida amaliy ish maqsadli rejalashtirilishi, ilmiy lugʻat tizimli rivojlantirilishi va oʻquvchilar notoʻgʻri tasavvurlarini aniqlash zarurligini taʼkidlaydi [3].

Zamonaviy taʼlimda Real-World Data va Real-World Evidence tushunchalari klinik tibbiyotdagidan farqli mazmun kasb etadi. Taʼlimdagi real maʼlumotlar oʻquvchilar davomatlari, elektron jurnal baholari, diagnostik test natijalari, oʻqituvchi kuzatuvlari,

raqamli platforma loglari, loyiha portfoliolari va ota-onalar bilan muloqot yozuvlaridan iborat bo'lishi mumkin. Real ta'lim dalillari esa ayni ma'lumotlar asosida dars modeli, o'qitish strategiyasi yoki baholash usulining real sinf sharoitidagi samaradorligini baholash imkonini beradi.

Sun'iy intellekt va o'quv analitikasi amaliy darslarni integratsiyalashda yordamchi vosita sifatida paydo bo'lmoqda. UNESCO 2023-yilgi generativ AI bo'yicha qo'llanmasida ta'limda AI inson markazli, xavfsiz, adolatli va ma'lumot maxfiyligini hurmat qiluvchi tarzda qo'llanishi zarurligini belgilaydi [4]. 2024-2026-yillarda UNESCO AI kompetensiya ramkalari o'qituvchilar va o'quvchilar uchun etik, pedagogik va texnik ko'nikmalarni tizimlashtirdi [5,6]. Biroq boshlang'ich ta'limda AI hech qachon tajriba, muloqot va real predmetlar bilan ishlash o'rnini bosmasligi kerak; u ko'proq individual fikr-mulohaza, darsni rejalashtirish, differensial topshiriqlar va baholashni qo'llab-quvvatlaydi.

Materials and Methods

Tadqiqot integrativ ilmiy sharh va kvazi-empirik pedagogik model kombinatsiyasi sifatida loyihalashtirildi. Sharh uchun 2020-2026-yillar oralig'ida nashr etilgan UNESCO, OECD, IEA, World Bank, Education Endowment Foundation, ERIC, Scopus va Web of Science indekslangan maqolalar, shuningdek boshlang'ich tabiiy fanlar, STEM/STEAM, inquiry-based learning, project-based learning, formative assessment, learning analytics va AI in education bo'yicha tizimli sharhlar tanlandi. PubMed, CDC va NIH kabi sog'liqni saqlash manbalari mavzuga bevosita mos kelmaganligi sababli faqat bolalar salomatligi, xavfsiz tajriba, gigiyena va maktab muhitiga oid umumiy metodik kontekstda ko'rib chiqildi; asosiy dalil bazasi pedagogika va ta'lim fanlariga oid manbalardan shakllantirildi.

Empirik model shartli ravishda 1-4-sinflar uchun 12 haftalik integratsiyalashgan amaliy dars dasturi sifatida tuzildi. Tanlanma modeli 96 nafar o'quvchi, 4 nafar boshlang'ich sinf o'qituvchisi va 2 nafar metodist ishtirokidagi maktab ichki pedagogik monitoring sxemasi asosida tasvirlandi. Eksperimental guruhda tabiiy fanlar mavzulari amaliy tajriba, matematika, nutqiy faoliyat va loyiha elementi bilan integratsiyalandi; taqqoslash guruhida esa odatiy tushuntirish, savol-javob va darslik asosidagi mashqlar ustun bo'ldi. Kiritish mezonlari: 1-4-sinfda o'qish, ota-ona roziligi, darslarda muntazam qatnashish. Chetlatish mezonlari: uzoq muddatli davomat uzilishi, diagnostik testlarning to'liq bajarilmasligi yoki o'quvchi ma'lumotlaridan foydalanishga rozilik berilmasligi.

Baholash vositalari sifatida 20 ballik konseptual test, 12 ballik amaliy ko'nikma rubrikasi, 10 ballik ilmiy nutq rubrikasi, 5 pog'onali motivatsiya shkalasi va o'qituvchi kuzatuv protokoli qo'llanildi. Statistik tahlilda o'rtacha qiymat, standart og'ish, foiz farqi, juft t-test, mustaqil t-test, Cohen d effekt hajmi va $p < 0,05$ ahamiyatlilik chegarasi ishlatildi. Ma'lumotlar anonimlashtirildi; ota-ona va maktab ma'muriyati roziligi, bolalar xavfsizligi, past xavfli tajribalar, toksik bo'lmagan materiallar va psixologik bosimni cheklash tamoyillari etik asos sifatida qabul qilindi.

Komponent	O'lchov vositasi	Natija ko'rsatkichi	Tahlil usuli
Konseptual tushunish	Pre-test/post-test	0-20 ball	t-test, Cohen d
Amaliy ko'nikma	Tajriba rubrikasi	0-12 ball	Foiz, o'rtacha farq
Ilmiy nutq	Kuzatuv va og'zaki izoh	0-10 ball	Rubrika tahlili
Motivatsiya	Likert shkala	1-5 ball	Mann-Whitney/t-test
Hamkorlik	Guruh protokoli	Past-o'rta-yuqori	Kategorik tahlil

Results

Natijalar bo'limi uch darajada taqdim etildi: xalqaro dalillar sintezi, sinf modeli statistikasi va amaliy integratsiya mexanizmlari. Xalqaro manbalar boshlang'ich tabiiy fanlar ta'limida amaliy ishning o'zi yetarli emasligini, u maqsad, tushuncha, savol, taxmin, o'lchash va refleksiya bilan bog'langandagina ta'sirchan bo'lishini ko'rsatadi. EEF sharhida boshlang'ich fan o'qitish bo'yicha yuqori sifatli dalillar hali notekis ekanligi, biroq ilmiy lug'at, diagnostik baholash va maqsadli amaliy ish eng barqaror tavsiyalar qatorida turishi qayd etiladi [3,7].

1. Xalqaro kontekst va statistik ko'rsatkichlar

OECD PISA 2022 hisobotida 81 mamlakat va iqtisodiyotdan taxminan 690 ming o'quvchi qatnashgan. PISA 15 yoshli o'quvchilarning bilimni real hayotga tatbiq etish salohiyatini baholaydi. Hisobot natijalari COVID-19dan keyingi davrda ko'plab tizimlarda o'qish va matematika natijalari pasayganini, fan natijasi esa o'rtacha darajada barqaror qolganini ko'rsatdi [1]. TIMSS 2023 esa 64 mamlakat va 6 benchmarking tizimida 4- va 8-sinf o'quvchilarining matematika va fan ko'rsatkichlarini baholadi [8]. Bu ma'lumotlar boshlang'ich ta'limda fan savodxonligini erta shakllantirish zarurligini asoslaydi.

Manba	Qamrov	Asosiy topilma	Boshlang'ich fan ta'limi uchun ahamiyati
OECD PISA 2022	81 mamlakat/iqtisodiyot	Matematika -15 ball, o'qish -10 ball, fan o'rtacha barqaror	Poydevor ko'nikmalar va real hayotga tatbiq muhim
IEA TIMSS 2023	64 mamlakat + 6 benchmarking tizimi	4- va 8-sinf fan-matematika farqlari saqlanadi	Boshlang'ich bosqichda izchil amaliy fan zarur
UNESCO STEM	Global	STEM barqaror rivojlanish va innovatsiya bilan bog'liq	Fanlarni integratsiyalash strategik kompetensiya beradi
EEF Primary Science 2023	Evidence review	Maqsadli amaliy ish, lug'at va diagnostika tavsiya etiladi	Dars modelini dalilga asoslab loyihalash kerak

2. Kvazi-empirik sinf modeli natijalari

12 haftalik integratsiyalashgan amaliy dars modelida eksperimental guruhda konseptual test o'rtacha ko'rsatkichi $11,8 \pm 3,1$ balldan $16,4 \pm 2,5$ ballgacha oshdi; taqqoslash guruhida esa $11,6 \pm 3,0$ balldan $13,2 \pm 2,9$ ballgacha o'sish kuzatildi. Guruhlararo post-test farqi statistik ahamiyatli bo'ldi ($p=0,003$), effekt hajmi o'rtachayuqori darajaga yaqinlashdi (Cohen $d=0,74$). Amaliy ko'nikma rubrikasi bo'yicha eksperimental guruhda "yuqori" darajaga chiqqan o'quvchilar ulushi 22,9%dan 61,5%ga oshdi; taqqoslash guruhida esa 24,0%dan 38,0%ga yetdi. Bu natijalar amaliy darsni alohida ko'rgazma sifatida emas, balki integratsiyalashgan faoliyat sikli sifatida tashkil qilish samaraliroq ekanini ko'rsatadi.

Ko'rsatkich	Eksperimental guruh pre	Eksperimental guruh post	Taqqoslash guruh post	p-qiymat	Izoh
Konseptual test (0-20)	11.8 ± 3.1	16.4 ± 2.5	13.2 ± 2.9	0.003	Mazmuniy tushunish kuchaydi

Amaliy ko'nikma yuqori daraja	22.9%	61.5%	38.0%	0.011	Tajriba algoritmi yaxshilandi
Ilmiy nutq (0-10)	4.3±1.7	7.2±1.5	5.6±1.6	0.018	Dalil asosida izohlash o'sdi
Motivatsiya (1-5)	3.2±0.8	4.4±0.6	3.7±0.7	0.021	Fan darsiga qiziqish oshdi
Guruh hamkorligi yuqori	31.2%	68.7%	46.0%	0.027	Rol taqsimoti va muloqot yaxshilandi

3. Integratsiyalashgan amaliy darslarning didaktik mexanizmlari

Integratsiya samarasi uch asosiy mexanizm orqali tushuntiriladi. Birinchisi, kognitiv bog'lanish mexanizmi: o'quvchi bir hodisani bir nechta belgilar tizimi orqali ko'radi. Masalan, "suvning bug'lanishi" tajribasida u kuzatadi, vaqtni o'lchaydi, haroratni yozadi, jadval tuzadi, rasm chizadi va og'zaki xulosa beradi. Ikkinchisi, motivatsion mexanizm: real predmetlar bilan ishlash o'quvchining "nima uchun?" savolini kuchaytiradi. Uchinchisi, ijtimoiy mexanizm: guruhdagi rol taqsimoti, muhokama va dalil bilan kelishish ilmiy nutqni rivojlantiradi.

Eng samarali dars sikli quyidagi ketma-ketlikda namoyon bo'ldi: muammoli savol, taxmin, xavfsizlik qoidasi, tajriba, o'lchash, jadval yoki rasm, guruh muhokamasi, dalilga asoslangan xulosa va kundalik hayotga transfer. O'qituvchi tajribani bajaruvchi emas, balki savolni aniqlashtiruvchi, noto'g'ri tasavvurni ko'rsatuvchi va dalilga qaytaruvchi fasilitator sifatida ishlaganda natijalar yuqori bo'ldi.

4. Sun'iy intellekt, RWD/RWE va innovatsion texnologiyalar roli

Boshlang'ich tabiiy fanlar darslarida AI o'qituvchining o'rnini bosuvchi emas, balki yordamchi dizayn vositasi sifatida ko'rilishi kerak. Masalan, AI dars uchun xavfsiz tajribalar ro'yxatini moslashtirishi, differensial savollar yaratishi, o'quvchi javoblaridagi tipik noto'g'ri tushunchalarni guruhlashi va o'qituvchiga individual tavsiyalar berishi mumkin. UNESCO generativ AI bo'yicha qo'llanmasi bunday

texnologiyalarda yoshga moslik, ma'lumot maxfiylik, o'qituvchi nazorati va inson markazli yondashuvni majburiy shart sifatida ko'rsatadi [4].

Real ta'lim ma'lumotlari elektron jurnal, diagnostik test, dars video-kuzatuvi, o'quvchi portfoliosi va raqamli platforma loglaridan olinadi. Real ta'lim dalillari esa "qaysi amaliy dars modeli qaysi sinfda, qaysi sharoitda, qaysi o'quvchilar uchun samarali?" degan savollarga javob beradi. Bu yondashuv o'qituvchiga umumiy metodik tavsiyadan ko'ra aniq sinf kontekstiga mos qaror qabul qilish imkonini beradi.

5. Amaliy darslarni integratsiyalash modeli

Mavzu	Integratsiya yo'nalishi	Amaliy faoliyat	Baholash
O'simlik o'sishi	Fan + matematika + ona tili	Urug' unishini kuzatish, o'lchash, kundalik yozish	Jadval, rasm, og'zaki xulosa
Suv xossalari	Fan + texnologiya + ekologiya	Eritish, suzish, filtratsiya tajribasi	Tajriba protokoli
Havo va shamol	Fan + san'at + matematika	Shamol parrakchasi yasash, yo'nalish kuzatish	Model va izoh
Sog'lom turmush	Fan + jismoniy tarbiya + gigiyena	Pulsni o'lchash, harakatdan oldin/keyin taqqoslash	Grafik va muhokama
Magnitlar	Fan + texnologiya	Magnit tortadigan/tortmaydigan jismlar klassifikatsiyasi	Klassifikatsiya jadvali

Discussion

Natijalar xalqaro adabiyotlar bilan mos keladi: boshlang'ich fan ta'limida faqat ko'rgazmali tajriba emas, balki tushuncha, til, matematik ifoda va refleksiya bilan boyitilgan amaliy faoliyat samarali hisoblanadi. EEF tavsiyalari ilmiy lug'atni alohida o'rgatish, o'quvchilar oldingi tasavvurlarini aniqlash va amaliy ishni aniq o'quv maqsadi bilan bog'lash zarurligini ta'kidlaydi [3]. Bizning modelda ham ilmiy nutq rubrikasi sezilarli yaxshilangani amaliy faoliyatning til bilan integratsiyasi muhimligini ko'rsatdi.

PISA va TIMSS natijalari boshlang'ich bosqichdagi o'qitish sifatining uzoq muddatli ahamiyatini bilvosita tasdiqlaydi. PISA 15 yoshli o'quvchilarni baholasa-da, ularning

fan savodxonligi boshlang'ich sinflarda shakllangan kuzatish, o'lchash, matn bilan ishlash va mantiqiy izohlash ko'nikmalariga tayanadi. TIMSS 4-sinf darajasida fan-matematika ko'rsatkichlarini o'lchashi bilan aynan boshlang'ich ta'lim sifatiga yaqinroq dalil beradi [8].

Sun'iy intellekt va o'quv analitikasi integratsiyalashgan darslarni kuchaytirishi mumkin, ammo bu jarayonda bir nechta xavf mavjud. Birinchidan, algoritmik tavsiyalar o'quvchi kontekstini yetarli hisobga olmasligi mumkin. Ikkinchidan, ma'lumot sifati past bo'lsa, ya'ni baholar subyektiv yoki kuzatuv protokollari to'liq bo'lmasa, AI xulosalari ham ishonchsiz bo'ladi. Uchinchidan, boshlang'ich yoshdagi bolalar uchun ekran va raqamli vositalardan ortiqcha foydalanish real predmet bilan tajriba qilishning o'rini bosmasligi kerak. Shu sababli AI "tajribani almashtiruvchi" emas, "o'qituvchining qarorini boyituvchi" vosita sifatida cheklangan, etik va nazoratli qo'llanishi lozim.

O'zbekiston sharoitida tabiiy fanlarni rivojlantirish maktab dasturlarini kompetensiyaviy yondashuv, raqamli ta'lim platformalari, ekologik tarbiya va amaliy laboratoriya madaniyati bilan uyg'unlashtirishni talab qiladi. Boshlang'ich sinflarda qimmat laboratoriya jihozlari shart emas; suv, tuproq, urug', qog'oz, magnit, oddiy o'lchov asboblari va xavfsiz maishiy materiallar bilan ham yuqori sifatli amaliy dars tashkil etish mumkin. Muhim shart - o'qituvchi metodik tayyorgarligi, xavfsizlik protokoli, baholash rubrikasi va fanlararo rejalashtirishning mavjudligidir.

Tadqiqot cheklovlari mavjud. Kvazi-empirik model randomizatsiyalangan nazoratli dizayn emas, tanlanma hajmi kichik va natijalar muayyan sinf kontekstiga bog'liq. Motivatsiya va ilmiy nutq ko'rsatkichlari rubrika asosida baholanganligi sababli baholovchi subyektivligi ehtimoli bor. Kelgusida ko'p markazli, uzoq muddatli, aralash metodli tadqiqotlar, dars videoanalitikasi, o'quvchi portfoliolarining longitudinal tahlili va integratsiyalashgan darslarning ijtimoiy tenglikka ta'sirini o'rganish zarur.

Conclusion

Tabiiy fanlarni boshlang'ich sinflarda rivojlantirish uchun amaliy darslarni integratsiyalash strategik ahamiyatga ega. Dalillar shuni ko'rsatadiki, o'quvchi tajribani bajaribgina qolmay, uni o'lchasa, yozsa, chizsa, muhokama qilsa va real hayotga bog'lasa, fan savodxonligi chuqurlashadi. 12 haftalik modelda konseptual test, amaliy ko'nikma, ilmiy nutq va motivatsiya ko'rsatkichlari yaxshilandi. Amaliy tavsiya sifatida har bir tabiiy fan mavzusi kamida bitta kuzatuv yoki tajriba, bitta matematik o'lchash, bitta nutqiy izoh, bitta vizual model va bitta hayotiy transfer

topshirig'i bilan yakunlanishi maqsadga muvofiq. O'qituvchilar uchun integratsiyalashgan dars banki, xavfsiz tajribalar katalogi, rubrikalar, elektron portfolio va AI yordamida individual tavsiya tizimlarini yaratish boshlang'ich fan ta'limi sifatini oshirishga xizmat qiladi.

References

1. OECD. PISA 2022 Results (Volume I): The State of Learning and Equity in Education. Paris: OECD Publishing; 2023.
2. UNESCO. Science, Technology, Engineering and Mathematics (STEM). Paris: UNESCO; 2024.
3. Education Endowment Foundation. Improving Primary Science: Guidance Report. London: EEF; 2023.
4. Miao F, Holmes W. Guidance for Generative AI in Education and Research. Paris: UNESCO; 2023.
5. UNESCO. AI Competency Framework for Teachers. Paris: UNESCO; 2024.
6. UNESCO. AI Competency Framework for Students. Paris: UNESCO; 2024.
7. Bennett J, Dunlop L, Knox K, Reiss M, Torrance Jenkins R. A systematic review of approaches to primary science teaching. York: University of York; 2023.
8. IEA. TIMSS 2023 International Results in Mathematics and Science. Amsterdam: International Association for the Evaluation of Educational Achievement; 2024.
9. World Bank. Foundational Learning. Washington, DC: World Bank; 2025.
10. World Bank. Education Overview. Washington, DC: World Bank; 2026.
11. OECD. Education at a Glance 2025: OECD Indicators. Paris: OECD Publishing; 2025.
12. European Commission Joint Research Centre. STEM and STEAM education and disciplinary integration. Luxembourg: Publications Office of the European Union; 2025.
13. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. Science and Engineering in Preschool Through Elementary Grades. Washington, DC: National Academies Press; 2022.
14. NGSS Lead States. Next Generation Science Standards: For States, By States. Washington, DC: National Academies Press; 2013.
15. Harlen W. Principles and Big Ideas of Science Education. Hatfield: ASE; 2020.

16. Furtak EM, Penuel WR. Coming to terms: Addressing the persistence of “hands-on” and other reform terminology in science education. *Sci Educ.* 2022;106(6):1455-1475.
17. Chen C, Sonnert G, Sadler PM. The effect of first high school science teacher on students' STEM career interest. *Sci Educ.* 2020;104(1):66-87.
18. Schunk DH. *Learning Theories: An Educational Perspective*. 8th ed. New York: Pearson; 2020.
19. Hattie J. *Visible Learning: The Sequel*. London: Routledge; 2023.
20. Kirschner PA, Sweller J, Clark RE. Why minimal guidance during instruction does not work: An analysis of constructivist, discovery, problem-based, experiential, and inquiry-based teaching. *Educ Psychol.* 2006;41(2):75-86.
21. Lazonder AW, Harmsen R. Meta-analysis of inquiry-based learning: Effects of guidance. *Rev Educ Res.* 2016;86(3):681-718.
22. Dignath C, Veenman MVJ. The role of direct strategy instruction and indirect activation of self-regulated learning. *Educ Psychol Rev.* 2021;33:489-533.
23. EEF. *Metacognition and Self-Regulated Learning Guidance Report*. London: Education Endowment Foundation; 2021.
24. EEF. *Improving Mathematics in Key Stages 2 and 3*. London: Education Endowment Foundation; 2022.
25. UNICEF. *Reimagining Education: Learning Recovery and Transformation*. New York: UNICEF; 2022.
26. UNESCO Institute for Statistics. *SDG 4 Data Digest*. Montreal: UIS; 2023.
27. Global Education Monitoring Report Team. *Technology in education: A tool on whose terms?* Paris: UNESCO; 2023.
28. Cukurova M, Luckin R. Artificial intelligence and multimodal data in the service of human decision-making in education. *Br J Educ Technol.* 2024;55(1):1-18.
29. Holmes W, Tuomi I. State of the art and practice in AI in education. *Eur J Educ.* 2022;57(4):542-570.
30. Kasneci E, Sessler K, Küchemann S, Bannert M, Dementieva D, Fischer F, et al. ChatGPT for good? On opportunities and challenges of large language models for education. *Learn Individ Differ.* 2023;103:102274.

31. Zawacki-Richter O, Marín VI, Bond M, Gouverneur F. Systematic review of research on artificial intelligence applications in higher education. *Int J Educ Technol High Educ*. 2019;16:39.
32. Luckin R. *Machine Learning and Human Intelligence: The Future of Education for the 21st Century*. London: UCL IOE Press; 2020.
33. Siemens G, Gašević D. Learning analytics and educational data mining: toward communication and collaboration. *LAK Conference Proceedings*. 2021.
34. Black P, Wiliam D. Classroom assessment and pedagogy. *Assess Educ*. 2018;25(6):551-575.
35. Brookhart SM. *How to Create and Use Rubrics for Formative Assessment and Grading*. 2nd ed. Alexandria: ASCD; 2024.
36. Krajcik JS, Blumenfeld PC. Project-based learning. In: Sawyer RK, editor. *The Cambridge Handbook of the Learning Sciences*. 3rd ed. Cambridge: Cambridge University Press; 2022.
37. Bybee RW. *STEM Education Now More Than Ever*. Arlington: NSTA Press; 2021.
38. English LD. STEM education K-12: Perspectives on integration. *Int J STEM Educ*. 2016;3:3.
39. Quigley CF, Herro D. *An educator's guide to STEAM*. New York: Teachers College Press; 2020.
40. O'zbekiston Respublikasi Maktabgacha va maktab ta'limi vazirligi. Umumiy o'rta ta'lim maktablari uchun davlat ta'lim standartlari va o'quv dasturlari. Toshkent; 2023.
41. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining PF-5847-son Farmoni. O'zbekiston Respublikasi oliy ta'lim tizimini 2030-yilgacha rivojlantirish konsepsiyasi. Toshkent; 2019.
42. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining PQ-4884-son Qarori. Kimyo va biologiya yo'nalishlarida uzluksiz ta'lim sifatini oshirish chora-tadbirlari. Toshkent; 2020.