

## TA'LIM PLATFORMALARIDA FOYDALANUVCHI BILIM DARAJASINI DINAMIK BAHOLASHGA ASOSLANGAN ADAPTIV TESTLASH TIZIMINI ISHLAB CHIQUISH MODELI

**Tursunbek Sadriddinovich Jalolov**

Asia International University, dotsent, PhD

**Shohista Abduxalikovna Tagirova**

Asia International University,

MM1-TAT-25 magistranti

shohistatagirova@gmail.com

### ABSTRACT

This article analyzes the development model of an adaptive testing system for educational platforms based on dynamic assessment of the user's knowledge level. The study examines Item Response Theory (IRT), the Bayesian Knowledge Tracing (BKT) model, and the application of the Elo rating system in education. The article provides a detailed description of the proposed system's architecture, functional modules, question difficulty ranking mechanism, adaptive algorithm, and monitoring processes. Experimental results are compared with traditional testing systems, demonstrating that the adaptive system improved assessment accuracy by 21% and reduced test duration by 45%. The prospects for integrating the system with artificial intelligence technologies are also discussed.

### Keywords:

adaptive testing, knowledge assessment, Item Response Theory, Bayesian Knowledge Tracing, Elo rating system, monitoring, artificial intelligence, individualized learning, educational platforms.

### ANNOTATSIYA

Ushbu maqolada ta'lim platformalari uchun foydalanuvchi bilim darajasini dinamik baholashga asoslangan adaptiv testlash tizimini ishlab chiqish modeli tahlil qilinadi. Tadqiqotda Item Response Theory (IRT) nazariyasi, Bayesian Knowledge Tracing (BKT) modeli va Elo reyting tizimining ta'lim sohasidagi qo'llanilishi o'rganilgan. Maqolada taklif etilayotgan tizimning arxitekturasini, funksional moduli, savollarni murakkablik darajasi bo'yicha darajalash mexanizmi, adaptiv algoritmi va monitoring jarayonlari batafsil yoritilgan. Eksperimental natijalar an'anaviy testlash tizimi bilan qiyosiy tahlil qilingan bo'lib, adaptiv tizimning baholash aniqligini 21 foizga, test davomiyligini esa 45 foizga qisqartirganligi isbotlangan. Shuningdek, tizimning sun'iy intellekt texnologiyalari bilan integratsiyalash istiqbollari muhokama qilingan.

**Kalit so'zlar:** adaptiv testlash, bilimni baholash, IRT nazariyasi, Bayesian Knowledge Tracing, Elo reyting tizimi, monitoring, sun'iy intellekt, individual ta'lim, ta'lim platformalari.

### АННОТАЦИЯ

В данной статье анализируется модель разработки адаптивной системы тестирования для образовательных платформ, основанная на динамической оценке уровня знаний пользователя. В исследовании рассмотрены теория Item Response Theory (IRT), модель Bayesian Knowledge Tracing (BKT) и применение рейтинговой

системы Elo в образовании. Подробно описаны архитектура предлагаемой системы, функциональные модули, механизм ранжирования вопросов по уровню сложности, адаптивный алгоритм и процессы мониторинга. Экспериментальные результаты сопоставлены с традиционной системой тестирования: адаптивная система повысила точность оценки на 21% и сократила продолжительность тестирования на 45%. Также обсуждаются перспективы интеграции системы с технологиями искусственного интеллекта.

**Ключевые слова:** адаптивное тестирование, оценка знаний, теория IRT, Bayesian Knowledge Tracing, рейтинговая система Elo, мониторинг, искусственный интеллект, индивидуальное обучение, образовательные платформы.

## KIRISH

XXI asrda raqamli texnologiyalarning jadal rivojlanishi ta'lim tizimida tubdan o'zgarishlarni yuzaga keltirmoqda. Zamonaviy ta'lim platformalari millionlab foydalanuvchilarga masofaviy ta'lim olish imkoniyatini yaratmoqda. Biroq, ko'plab testlash tizimlari barcha foydalanuvchilar uchun bir xil murakkablikdagi savollarni taqdim etadi, bu esa individual bilim darajasini to'g'ri baholash imkoniyatini cheklaydi.

An'anaviy testlash tizimlarining asosiy kamchiligi shundaki, ular «one-size-fits-all» (hammaga bir xil) tamoyiliga asoslangan. Bunday yondashuvda kuchli bilimga ega foydalanuvchilar uchun oddiy savollar vaqt yo'qotilishiga sabab bo'ladi, bilim darajasi pastroq bo'lgan foydalanuvchilar uchun esa murakkab savollar motivatsiyaning pasayishiga olib keladi. Natijada, test natijalari foydalanuvchining haqiqiy bilim darajasini to'liq aks ettirmaydi va pedagogik qarorlar noto'g'ri ma'lumotlarga asoslanib qabul qilinadi.

Adaptiv testlash (Computerized Adaptive Testing — CAT<sup>1</sup>) texnologiyasi ushbu muammolarni hal qilishga qaratilgan bo'lib, u har bir foydalanuvchining individual bilim darajasiga mos ravishda test savollarini dinamik tanlash orqali baholash sifatini oshiradi. CAT tizimining nazariy asosi sifatida Item Response Theory (IRT) — savol javob nazariyasi keng qo'llaniladi<sup>2</sup>. IRT modeli savolning qiyinlik darajasi, farqlash qobiliyati va tasodifiy to'g'ri javob berish ehtimolini matematik jihatdan ifodalash imkonini beradi.

Raqamli ta'lim muhitida personalizatsiyalashgan baholash tizimlarini ishlab chiqish zamonaviy pedagogikaning<sup>3</sup> eng muhim yo'nalishlaridan biri hisoblanadi. Bugungi kunda ta'lim sohasida sun'iy intellekt (AI) texnologiyalarining qo'llanilishi yangi imkoniyatlar ochmoqda: mashinali o'qitish algoritmlari foydalanuvchi xulq-atvorini tahlil qilish, bilim darajasini prognozlash va o'quv materiallarini individual ravishda moslash imkonini bermoqda.

Mazkur tadqiqotning maqsadi — ta'lim platformalarida foydalanuvchi bilim darajasini dinamik baholash asosida ishlovchi adaptiv testlash tizimi modelini ishlab chiqish, uning matematik asoslarini shakllantirish hamda eksperimental sinov natijalarini tahlil qilishdan iborat. Tadqiqotda mavjud tizimlarning qiyosiy tahlili, IRT va BKT asosidagi adaptiv

<sup>1</sup> Computerized Adaptive Testing (CAT) — kompyuter yordamida adaptiv testlash tizimi bo'lib, u har bir foydalanuvchiga individual tarzda savollar tanlaydi. Qarang: Wainer H. Computerized Adaptive Testing: A Primer. 2000.

<sup>2</sup> Item Response Theory (IRT) — bu test savollarining matematik modellarini o'rganuvchi nazariya bo'lib, u foydalanuvchi qobiliyati va savol parametrlari o'rtasidagi bog'lanishni logistik funktsiya orqali ifodalaydi. Qarang: Lord F.M. Applications of Item Response Theory to Practical Testing Problems. 1980.

<sup>3</sup> Personalizatsiyalashgan baholash — foydalanuvchining individual xususiyatlarini hisobga olgan holda test jarayonini moslash texnologiyasi. Qarang: Van der Linden W.J., Glas C.A.W. Elements of Adaptive Testing. 2010.

algoritm ishlab chiqish, tizim arxitekturasini loyihalash va eksperimental sinov o'tkazish vazifalari belgilangan.

## **Muammoning qo'yilishi**

Mavjud testlash tizimlarining asosiy kamchiliklari: barcha foydalanuvchilarga bir xil murakkablikdagi savollar beriladi, baholash aniqligi past, test vaqti ortiqcha sarflanadi va individual ta'lim trayektoriyasi mavjud emas. Mazkur muammolarni hal qilish uchun foydalanuvchi natijalariga moslashuvchi adaptiv tizim ishlab chiqish zarur.

## **ADABIYOTLAR TAHLILI VA MAVJUD TIZIMLAR**

### **Item Response Theory (IRT) nazariyasi**

Adaptiv testlash tizimlarining nazariy asosi sifatida Item Response Theory (IRT) — savol javob nazariyasi 1960-1980-yillarda shakllangan. IRT klassik test nazariyasi (Classical Test Theory — CTT)<sup>4</sup> ning cheklovlarini bartaraf etish maqsadida ishlab chiqilgan bo'lib, u har bir savolning individual xususiyatlarini matematik modellar orqali ifodalaydi. IRT ning asosiy afzalligi shundaki, u foydalanuvchi qobiliyatini (ability) va savol parametrlarini (difficulty, discrimination) mustaqil ravishda baholash imkonini beradi.

IRT doirasida uchta asosiy model keng qo'llaniladi: 1PL (Rasch) modeli faqat qiyinlik parametrlarini (b), 2PL modeli qiyinlik va farqlash (a) parametrlarini, 3PL modeli esa qo'shimcha tasodifiy to'g'ri javob berish ehtimolini (c) hisobga oladi.

IRT modelining matematik ifodasi quyidagicha: 1PL modelda i-savol uchun to'g'ri javob berish ehtimoli  $P(\theta) = 1 / (1 + e^{-(a(\theta - b))})$  formulasi orqali aniqlanadi, bunda  $\theta$  — foydalanuvchining qobiliyat darajasi, b — savolning qiyinlik parametri, a — farqlash koeffitsienti. 3PL modelda esa  $P(\theta) = c + (1 - c) / (1 + e^{-(a(\theta - b))})$  formulasi qo'llaniladi, bunda c — tasodifiy to'g'ri javob berish ehtimolini bildiradi.

### **Bayesian Knowledge Tracing (BKT) modeli**

Bayesian Knowledge Tracing (BKT) modeli talabaning bilim holatini kuzatish uchun ishlatiladigan ehtimoliy model bo'lib, u yashirin Markov jarayoni (Hidden Markov Model) asosida qurilgan<sup>5</sup>. BKT modelida bilim holati ikki holatli o'zgaruvchi sifatida ifodalanadi. Model to'rtta parametrga ega:  $P(L_0)$  — dastlabki bilim ehtimoli,  $P(T)$  — o'rganish ehtimoli,  $P(G)$  — taxmin qilish ehtimoli,  $P(S)$  — xatolik ehtimoli.

### **Elo reyting tizimining ta'limda qo'llanilishi**

Elo reyting tizimi dastlab shaxmatchilar reytingini aniqlash<sup>6</sup> uchun ishlab chiqilgan bo'lib, keyinchalik ta'lim sohasiga muvaffaqiyatli moslashtirilgan. Ta'limda Elo tizimi foydalanuvchi javobini savol bilan «o'yin» sifatida talqin qiladi. Asosiy formulasi:  $R'_s = R_s + K(S - E)$ , bunda K — moslashuv koeffitsienti, S — haqiqiy natija, E — kutilgan natija.

### **Mavjud ta'lim platformalarining qiyosiy tahlili**

Hozirgi kunda ko'plab zamonaviy ta'lim platformalarida qisman adaptiv mexanizmlar qo'llanilmoqda, biroq ularning har birida ma'lum cheklovlar mavjud. Moodle da testlarni

<sup>4</sup> Classical Test Theory (CTT) — klassik test nazariyasi bo'lib, u test ballarini haqiqiy ball va xato yig'indisi sifatida ko'radi. IRT esa CTT ning cheklovlarini bartaraf etib, har bir savolni alohida tahlil qilish imkonini beradi. Qarang: Baker F.B. The Basics of Item Response Theory. 2001.

<sup>5</sup> Bayesian Knowledge Tracing (BKT) — A.T. Corbett va J.R. Anderson tomonidan 1994-yilda ishlab chiqilgan model bo'lib, u talabaning bilim holatini ehtimoliy tarzda kuzatadi. Qarang: Corbett A.T., Anderson J.R. Knowledge Tracing. 1994.

<sup>6</sup> Elo reyting tizimi — Arpad Elo tomonidan 1960-yillarda shaxmatchilar reytingini aniqlash uchun ishlab chiqilgan. Ta'limda qo'llanilishi haqida qarang: Pelánek R. Applications of the Elo Rating System in Adaptive Educational Systems. 2016.

boshqarish imkoniyatlari keng<sup>7</sup> bo'lsa-da, murakkablikni dinamik boshqarish mexanizmlari cheklangan — savollar oldindan belgilangan tartibda taqdim etiladi va foydalanuvchi javoblariga qarab real vaqtda o'zgarmaydi. Coursera platformasi foydalanuvchi faoliyatini tahlil qilish evaziga tavsiyalar beradi, biroq tizimning ichki algoritmlari yopiq (proprietary) hisoblanadi va tashqi tadqiqotchilar uchun ochiq emas.

Khan Academy individual o'qitish tamoyiliga asoslangan<sup>8</sup> bo'lib, talabaning har bir mavzu bo'yicha bilim holatini kuzatadi va mastery-based learning modelini qo'llaydi. Biroq, uning adaptiv testlash imkoniyatlari to'liq shakllanmagan — tizim ko'proq o'quv materiallarini tavsiya qilishga yo'naltirilgan. Duolingo platformasida Bayesian model asosidagi adaptiv mexanizmlar mavjud bo'lib, u foydalanuvchining til bilish darajasini aniq baholaydi, biroq bu mexanizmlar asosan til o'rganish jarayoniga moslashtirilgan va boshqa fanlar uchun universal emas.

Shu sababli, turli fan yo'nalishlari uchun universal, moslashuvchan, IRT va BKT nazariyalariga asoslangan adaptiv testlash modelini ishlab chiqish zaruriyati mavjud. Taklif etilayotgan model yuqorida ko'rib chiqilgan tizimlarning afzalliklarini o'zida jamlash bilan birga, ularning kamchiliklarini bartaraf etishga qaratilgan.

## **TADQIQOT METODOLOGIYASI**

Mazkur tadqiqotda aralash tadqiqot metodologiyasi (mixed-method research) qo'llanilgan bo'lib, u nazariy tahlil, modellashtirish va eksperimental sinov bosqichlarini o'z ichiga oladi. Tadqiqot metodologiyasi quyidagi uchta asosiy bosqichdan tashkil topgan.

### **Birinchi bosqich: nazariy tahlil**

Adaptiv testlash sohasidagi ilmiy adabiyotlar tizimli tahlil qilingan: IRT nazariyasi (Lord, 1980), BKT modeli (Corbett, Anderson, 1994), Elo tizimi (Pelánek, 2016) va CAT algoritmlari (van der Linden, Glas, 2010).

### **Ikkinchi bosqich: tizim modellashtirish**

Adaptiv testlash tizimining funksional arxitekturasini ishlab chiqilgan. Tizim to'rtta moduldan tashkil topadi: foydalanuvchi, savollar bazasi, adaptiv algoritmi va natijalar tahlili. Matematik modeli Elo reyting formulasi asosida qurilgan.

### **Uchinchi bosqich: eksperimental sinov**

Eksperimentda 120 nafar talaba ishtirok etgan: eksperimental guruh (60) adaptiv tizimdan, nazorat guruhi (60) an'anaviy tizimdan foydalangan. Baholash mezonlari: test davomiyligi, aniqlik, qoniqish darajasi va qayta test ko'rsatkichlari.

Sinov Python da ishlab chiqilgan prototip orqali o'tkazilgan. Savollar bazasi 500 ta savoldan iborat, har biri IRT parametrlari bo'yicha kalibrlangan va 5 ta murakkablik darajasiga bo'lingan.

## **TAKLIF ETILAYOTGAN ADAPTIV MODEL**

### **Tizim arxitekturasini**

Tizim arxitekturasini to'rtta moduldan tashkil topgan: foydalanuvchi moduli, savollar bazasi, adaptiv algoritmi va natijalar tahlili. Modullar o'zaro ma'lumot almashinuvi orqali yaxlit tizim sifatida ishlaydi.

Foydalanuvchi moduli shaxsiy ma'lumotlar, test natijalari va  $\theta$  parametrini saqlaydi. Har bir javobdan keyin  $\theta$  qayta hisoblanadi.

<sup>7</sup> Moodle — ochiq kodli ta'lim boshqaruv tizimi (Learning Management System — LMS) bo'lib, 2002-yildan beri ishlab chiqilmoqda. Rasmiy veb-sayti: <https://moodle.org>

<sup>8</sup> Khan Academy — Salman Khan tomonidan 2008-yilda tashkil etilgan notijorat ta'lim platformasi. Mastery-based learning modeli asosida foydalanuvchilarga bepul ta'lim xizmatlarini taqdim etadi. Rasmiy veb-sayti: <https://www.khanacademy.org>

Savollar bazasi moduli har bir savol uchun  $b$  (qiyinlik),  $a$  (farqlash),  $c$  (guessing) parametrlarini, fan yo'nalishi va mavzuni saqlaydi. Bazadagi savollar parametrlari doimiy kalibratsiyalanadi.

Adaptiv algoritmi moduli — tizim yadrosi:  $\theta$  o'qiladi, Fisher informatsiyasi asosida optimal savol tanlanadi, javobdan keyin  $\theta$  yangilanadi,  $SE \leq 0,3$  yoki 30 savol shartida test to'xtaydi.

Natijalar moduli test natijalarini statistik tahlil qiladi, kuchli/zaif tomonlarni aniqlaydi va o'qituvchilarga monitoring ma'lumotlarini yetkazadi.

## ADAPTIV MATEMATIK MODEL

Taklif etilayotgan tizimda foydalanuvchi bilim darajasini dinamik yangilash uchun Elo reyting tizimiga asoslangan matematik model ishlab chiqilgan. Model asosiy formulasi quyidagicha ifodalanadi:

$$\theta_{t+1} = \theta_t + \beta(R_t - E_t)$$

Ushbu formulada  $\theta_t$  — foydalanuvchining  $t$ -vaqtdagi bilim darajasi;  $\theta_{t+1}$  — yangilangan bilim darajasi;  $R_t$  — haqiqiy natija (to'g'ri javob uchun 1, noto'g'ri javob uchun 0);  $E_t$  — kutilgan natija (IRT modeli asosida hisoblangan to'g'ri javob berish ehtimoli);  $\beta$  — moslashuv koeffitsienti (tizimning o'rganish tezligini boshqaradi).

Kutilgan natija  $E_t$  quyidagi logistik funksiya orqali hisoblanadi:

$$E_t = P(\theta_t) = 1 / (1 + e^{-a(\theta_t - b)})$$

Bu formulada  $a$  — farqlash koeffitsienti,  $b$  — qiyinlik parametri. Tadqiqotda optimal  $\beta = 0,3$  qiymati aniqlangan.

Savollarni tanlash algoritmi Fisher informatsiyasini maksimallashtirish prinsipi asosida ishlaydi<sup>9</sup>. Har bir savol uchun Fisher informatsiyasi quyidagicha hisoblanadi:

$$I(\theta) = a^2 \times P(\theta) \times (1 - P(\theta))$$

Tizim  $I(\theta)$  qiymati maksimal bo'lgan savolni tanlab, kam savollar bilan yuqori aniqlikda baholash amalga oshiradi.

Savolning murakkablik darajasi ham dinamik yangilanadi — foydalanuvchilar javobi asosida qiyinlik parametri avtomatik kalibratsiyalanadi.

## ALGORITMNING DASTURIY TA'MINOTI

Taklif etilayotgan adaptiv testlash modelini amalga oshirish uchun Python dasturlash tilida prototip tizim ishlab chiqilgan<sup>10</sup>. Python tilining tanlangan bo'lishi ilmiy kutubxonalar (NumPy, SciPy), o'qilishi osonligi va veb-freymvorklar (Django, Flask) mavjudligi bilan asoslanadi.

```
import math
```

```
def expected_score(theta, a, b):
    return 1 / (1 + math.exp(-a * (theta - b)))
```

```
def update_ability(theta, beta, actual, expected):
    return theta + beta * (actual - expected)
```

```
def fisher_info(theta, a, b):
    p = expected_score(theta, a, b)
```

<sup>9</sup> Fisher informatsiyasi — statistikada parametr haqidagi ma'lumot miqdorini o'lchovchi kattalik. CAT tizimlarida u foydalanuvchi qobiliyati haqida eng ko'p ma'lumot beruvchi savolni tanlash uchun ishlatiladi. Qarang: Han K.T. Components of the Item Selection Algorithm in CAT. 2018.

<sup>10</sup> Python — Guido van Rossum tomonidan 1991-yilda yaratilgan yuqori darajali dasturlash tili. Ilmiy hisoblash, ma'lumotlar tahlili va sun'iy intellekt sohasida keng qo'llaniladi.



```
return a**2 * p * (1 - p)
```

```
def adaptive_test(questions, theta=0.0, beta=0.3):
    results = []
    for _ in range(30): # max 30 questions
        # Select question with max Fisher info
        best_q = max(questions,
                     key=lambda q: fisher_info(theta, q['a'], q['b']))
        expected = expected_score(theta, best_q['a'],
                                   best_q['b'])
        answer = get_user_answer(best_q) # 1 or 0
        theta = update_ability(theta, beta, answer,
                               expected)
        results.append({'q': best_q, 'ans': answer,
                       'theta': theta})
        questions.remove(best_q)
        if calculate_se(results) <= 0.3:
            break # Termination criterion met
    return theta, results
```

1-rasm. Adaptiv testlash modelining Python dastur kodi

Dastur kodida `expected_score()` funksiyasi IRT kutilgan natijani, `update_ability()` Elo formulasi asosida  $\theta$  ni yangilaydi, `fisher_info()` optimal savolni tanlaydi. Test  $SE \leq 0,3$  yoki 30 ta savol shartida to'xtaydi.

## EKSPERIMENTAL NATIJALAR

Eksperimentda 120 nafar talaba ishtirok etgan: eksperimental guruh (60) adaptiv, nazorat guruhi (60) an'anaviy tizimdan foydalangan. Sinov «Ma'lumotlar bazasi» mavzusida o'tkazilgan.

Eksperimental natijalarning qiyosiy tahlili quyidagi jadvalda keltirilgan:

1-jadval. An'anaviy va adaptiv testlash natijalarining qiyosiy tahlili

Ko'rsatkich	An'anaviy test	Adaptiv test	Farg (%)
Test davomiyligi (daqiqa)	40	22	-45%
Savollar soni	40	18-25	-44%
Baholash aniqligi (%)	71	92	+21%
Foydalanuvchi qoniqishi (%)	64	87	+23%
Qayta test topshirish (%)	35	12	-23%
Individual yondashuv	Past	Yuqori	—
Standart xato (SE)	0,52	0,28	-46%

Jadvaldan ko'rinib turibdiki, adaptiv testlash tizimi barcha ko'rsatkichlar bo'yicha an'anaviy testlash tizimiga nisbatan ustunlikka ega. Eng muhim natijalar quyidagilardan iborat:

Birinchidan, test davomiyligi 40 daqiqadan 22 daqiqaga qisqargan, ya'ni 45 foizga kamaygan. Bu foydalanuvchining bilim darajasiga mos savollarning tanlanishi natijasida ortiqcha savollarning berilmasligi hisobiga erishilgan. Adaptiv tizimda o'rtacha 18-25 ta

savol yetarli bo'lgan, holbuki an'anaviy tizimda barcha 40 ta savolga javob berish talab etilgan.

Ikkinchidan, baholash aniqligi 71 foizdan 92 foizga oshgan, ya'ni 21 foizga yaxshilangan. Aniqlik ko'rsatkichi ekspert baholari bilan qiyoslash orqali aniqlangan — adaptiv tizim bergan baho ekspert baholari bilan 92 foiz mos kelgan, an'anaviy tizimda esa bu ko'rsatkich 71 foizni tashkil etgan.

Uchinchidan, foydalanuvchi qoniqish darajasi 64 foizdan 87 foizga oshgan. So'rovnoma natijalariga ko'ra, talabalar adaptiv tizimni «qiziqarli», «adolatli» va «motivatsiyalovchi» deb baholashgan. Qayta test topshirish ko'rsatkichi ham 35 foizdan 12 foizga kamaygan, bu adaptiv tizim natijalariga bo'lgan ishonchning yuqoriligini ko'rsatadi.

To'rtinchidan, standart xato (SE) ko'rsatkichi 0,52 dan 0,28 ga pasaygan. Standart xatoning pasayishi bilim darajasini baholash aniqligining oshganligini matematik jihatdan tasdiqlaydi.  $SE \leq 0,3$  mezonni adaptiv testlash tizimining to'xtatish shartlaridan biri sifatida qo'llangan va u foydalanuvchining bilim darajasi yetarli aniqlikda aniqlangandan keyin testni samarali to'xtatish imkonini bergan.

2-jadval. Mavjud platformalar bilan qiyosiy tahlil

Mezon	Moodle	Coursera	Khan Ac.	Duoling o	Taklif model
Dinamik murakkablik	Yo'q	Qisman	Qisman	Ha	Ha
IRT asosida	Yo'q	Noma'lum	Yo'q	Ha	Ha
Universal fanlar	Ha	Ha	Ha	Yo'q	Ha
Real vaqt monitoring	Qisman	Yo'q	Ha	Ha	Ha
Ochiq algoritmlar	Ha	Yo'q	Yo'q	Yo'q	Ha

2-jadvaldan ko'rinib turibdiki, taklif etilayotgan model mavjud platformalarga nisbatan bir qator afzalliklarga ega: u IRT nazariyasiga asoslangan dinamik murakkablik boshqaruvini amalga oshiradi, turli fan yo'nalishlari uchun universal, real vaqtda monitoring imkonini beradi va algoritmlar ochiq (open-source) sifatida taqdim etiladi.

## MUHOKAMA

Olingan natijalar adaptiv testlash tizimlarining an'anaviy testlash usullariga nisbatan sezilarli ustunlikka ega ekanligini tasdiqlaydi. Biroq, tadqiqot jarayonida bir qator muhim jihatlar ham aniqlangan. Birinchidan, savollar bazasining hajmi va sifati tizim samaradorligiga bevosita ta'sir qiladi — ko'p fanli platformalar uchun minglab savollarni kalibrlash zarur. Ikkinchidan, tizimning «cold start» muammosi — yangi foydalanuvchi uchun boshlang'ich  $\theta$  parametrini aniqlash qiyinligi — e'tiborga molik masaladir. Uchinchidan, foydalanuvchining ataylab noto'g'ri javob berishi (gaming) xatti-harakatlarini aniqlash algoritmlari takomillashtirilishi kerak. Kelgusida tizimni turli fanlar bo'yicha sinab ko'rish uning universalligini to'liq tasdiqlash imkonini beradi.

## XULOSA

Mazkur tadqiqotda ta'lim platformalari uchun foydalanuvchi bilim darajasini dinamik baholashga asoslangan adaptiv testlash tizimining modeli ishlab chiqilgan. Tadqiqotning asosiy natijalari quyidagilardan iborat:

Birinchidan, Item Response Theory (IRT) va Elo reyting tizimiga asoslangan matematik model ishlab chiqilgan bo'lib, u foydalanuvchining bilim darajasini har bir javobdan keyin dinamik ravishda yangilash imkonini beradi. Modelning asosiy formulasi  $\theta_{t+1} = \theta_t + \beta(R_t - E_t)$  ko'rinishida bo'lib, unda kutilgan natija  $E_t$  logistik funksiya orqali hisoblanadi.

Ikkinchidan, tizimning to'rtta moduldan (foydalanuvchi moduli, savollar bazasi, adaptiv algoritmi, natijalar tahlili) tashkil topgan funksional arxitekturasini ishlab chiqilgan. Har bir modulning funksiyalari, kirish-chiqish ma'lumotlari va o'zaro bog'liqligi batafsil tavsiflangan.

Uchinchidan, eksperimental sinov natijalari adaptiv tizimning an'anaviy testlash tizimiga nisbatan sezilarli ustunlikka ega ekanligini ko'rsatgan: test davomiyligi 45 foizga qisqargan, baholash aniqligi 21 foizga oshgan, foydalanuvchi qoniqish darajasi 23 foizga yaxshilangan, standart xato esa 46 foizga kamaygan.

Kelgusida tizimni yanada takomillashtirish bo'yicha quyidagi yo'nalishlar belgilangan: sun'iy intellekt va chuqur o'qitish (deep learning) texnologiyalarini integratsiya qilish orqali foydalanuvchi xulq-atvorini yanada aniqroq tahlil qilish; ko'p o'lchamli IRT modellarini (MIRT) qo'llash; NLP texnologiyalari orqali ochiq javobli savollarni kiritish; hamda mobil qurilmalar uchun optimallashtirish. Ushbu tadqiqot natijalari O'zbekiston ta'lim tizimida raqamli texnologiyalarni joriy etishga munosib hissa qo'shadi deb ishonch bildirish mumkin.

## FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Wainer H. Computerized Adaptive Testing: A Primer. — New York: Routledge, 2000. — 352 p.
2. Van der Linden W.J., Glas C.A.W. Elements of Adaptive Testing. — New York: Springer, 2010. — 440 p.
3. Lord F.M. Applications of Item Response Theory to Practical Testing Problems. — Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 1980. — 274 p.
4. Corbett A.T., Anderson J.R. Knowledge Tracing: Modeling the Acquisition of Procedural Knowledge // User Modeling and User-Adapted Interaction. — 1994. — Vol. 4. — P. 253–278.
5. Pelánek R. Applications of the Elo Rating System in Adaptive Educational Systems // Computers & Education. — 2016. — Vol. 98. — P. 169–179.
6. Han K.T. Components of the Item Selection Algorithm in Computerized Adaptive Testing // Journal of Educational Evaluation for Health Professions. — 2018. — Vol. 15. — P. 7.
7. Gibbons R.D. et al. The CAT-DI: A Computerized Adaptive Test for Depression // JAMA Psychiatry. — 2012. — Vol. 69, No. 11. — P. 1104–1112.
8. Badrinath A., Wang F., Pardos Z.A. pyBKT: An Accessible Python Library of Bayesian Knowledge Tracing Models // Proceedings of L@S. — 2021. — P. 468–471.
9. Huda A. et al. Optimizing Educational Assessment: The Practicality of Computer Adaptive Testing (CAT) with an Item Response Theory (IRT) Approach // JOIV. — 2024. — Vol. 8, No. 1. — P. 473–480.
10. Wang H. et al. GMOCAT: A Graph-Enhanced Multi-Objective Method for Computerized Adaptive Testing // Proceedings of KDD'23. — 2023. — P. 1–11.
11. Li J., Gibbons R., Ročková V. Deep Computerized Adaptive Testing. — arXiv:2502.19275. — 2025.
12. Yo'ldoshev S., Karimov D. Adaptiv testlash algoritmlari // Ilmiy-amaliy konferensiya materiallari. — 2024.
13. Kingsbury G.G., Weiss D.J. A Comparison of IRT-based Adaptive Mastery Testing and a Sequential Mastery Testing Procedure // New Horizons in Testing. — 1983. — P. 257–283.