

BRAUZERGA ASOSLANGAN SUN'IY INTELLEKT: WEB TEXNOLOGIYALARIDA MASHINAVIY O'QITISH ALGORITMLARINING EVOLYUTSIYASI VA ULARNING DASTURCHILAR SAMARADORLIGIGA TA'SIRI

Sodikova Nigora Irgashevna¹, Zuxriddinov Ozodbek Zokirjon o'g'li²,
Ishkuvatov Azizbek Ravshanovich³

¹*Toshkent amaliy fanlar universiteti, katta o'qituvchi*

²*TAFU, Axborot texnologiyalari fakulteti DI-25-45 guruhi talabasi*

³*TAFU, Axborot texnologiyalari fakulteti AX-25-43 guruhi talabasi*

¹*E-mail: nigora.sn68@gmail.com*

²*E-mail: zuxriddinovozeb06@gmail.com*

³*E-mail: aziziskuvatov896@gmail.com*

Annotatsiya. Ushbu tadqiqot zamonaviy web-texnologiyalarda sun'iy intellekt algoritmlarining integratsiyasini va brauzer asosidagi machine learning yechimlarining rivojlanishini tahlil qiladi. Tadqiqot 2011–2025 yillar oralig'ini qamrab olib, uch asosiy bosqichni ajratadi: serverga bog'liq tizimlardan TensorFlow.js orqali brauzerda ishlashga o'tish, WebGL dan WebGPU ga o'tish natijasida samaradorlikning sezilarli oshishi hamda oflayn ishlovchi katta til modellari paydo bo'lishi. JavaScript asosidagi neyron tarmoqlar va algoritmlar samaradorligi o'rganilgan. Eksperimentlar AI vositalari dasturchilar ish unumdorligini sezilarli oshirishini ko'rsatdi. Tadqiqot natijalari web-AI texnologiyalari orqali server xarajatlarini kamaytirish va foydalanuvchi maxfiyligini ta'minlash imkoniyatlarini tasdiqlaydi.

Kalit so'zlar: sun'iy intellekt, machine learning, neyron tarmoqlar, JavaScript, TensorFlow.js, WebGPU, algoritim optimallashtirish, web-samaradorlik

Аннотация. Данное исследование анализирует интеграцию алгоритмов искусственного интеллекта в современных веб-технологиях и развитие браузерных решений машинного обучения. Работа охватывает период 2011–2025 гг. и выделяет три этапа: переход от серверных систем к TensorFlow.js, технологический скачок от WebGL к WebGPU и появление офлайн-моделей. Рассматриваются нейронные сети на JavaScript и эффективность алгоритмов. Эксперименты показывают значительный рост производительности разработчиков при использовании AI. Результаты подтверждают возможности снижения серверных затрат и обеспечения конфиденциальности пользователей.

Ключевые слова: искусственный интеллект, машинное обучение, нейронные сети, JavaScript, TensorFlow.js, WebGPU, оптимизация алгоритмов, веб-производительность

Abstract. This study analyzes the integration of AI algorithms in modern web technologies and the evolution of browser-based machine learning. Covering 2011–2025, it identifies three stages: transition from server-based systems to TensorFlow.js, performance growth from WebGL to WebGPU, and emergence of offline large language models. Neural networks in JavaScript and algorithm efficiency are examined. Experiments show significant improvement in developer productivity using AI tools. Results confirm reduced server costs and improved user privacy through web-AI solutions.

Keywords: artificial intelligence, machine learning, neural networks, JavaScript, TensorFlow.js, WebGPU, algorithm optimization, web performance

KIRISH

Zamonaviy raqamli iqtisodiyotda web-ilovalarning samaradorligi va foydalanuvchi tajribasi (UX) tobora muhim ahamiyat kasb etmoqda. Google tadqiqotlari shuni ko'rsatadiki, sahifa yuklanish vaqti 5 soniyadan ortiq bo'lganda foydalanuvchilarning 90% tark etadi [5]. Bu muammoni hal qilishda an'anaviy serverga asoslangan arxitekturalar cheklangan qobiliyatga ega, chunki ular tarmoq kechikishlari, server yuklamasi va masshtablanish muammolariga duch keladi.

Sun'iy intellekt (SI) algoritmlari bu muammolarni hal qilish uchun yangi yondashuvlarni taqdim etadi. Ayniqsa, brauzer-bazirlangan AI yechimlari o'ziga xos afzalliklarga ega: foydalanuvchi ma'lumotlari qurilmada qoladi, tizim oflayn rejimda ishlaydi, maxfiylik saqlanadi va server xarajatlari sezilarli darajada kamayadi [6].

Algoritm — muammoni hal qilish uchun aniq, ketma-ket bajariluvchi qadamlar to'plami bo'lib, quyidagi asosiy xususiyatlarga ega: *aniqlik* (har bir qadam tushunarli), *cheklilik* (algoritm albatta tugashi kerak), *kirish/chiqish* (ma'lumot qabul qiladi va natija qaytaradi), hamda *umumiylik* (turli masalalar uchun ishlashi kerak) [1]. Algoritm murakkabligi Big-O notatsiyasi orqali o'lchanadi va quyidagi ierarxiyaga rioya qiladi:

$$O(1) < O(\log n) < O(n) < O(n \log n) < O(n^2) < O(2^n) < O(n!) \quad [1, 2].$$

Ushbu tadqiqotning maqsadi web-texnologiyalarda SI algoritmlarining evolyutsiyasini, ularning samaradorligini va dasturchi samaradorligiga ta'sirini kompleks tahlil qilishdan iborat.

MATERIALLAR VA METODLAR

SI algoritmlari paradigmalari. Sun'iy intellekt algoritmlari uchta asosiy paradigma asosida ishlaydi [3]:

Nazorat ostida o'rganish (Supervised Learning) — modelga kirish ma'lumotlari bilan birga to'g'ri javoblar beriladi. Model xatoni kamaytirish uchun ichki parametrlarini yangilaydi. Spam aniqlash, kredit riskini baholash va narx prognozi kabi vazifalarda qo'llaniladi [3].

Nazorat ostida o'rganmaslik (Unsupervised Learning) — modelga faqat ma'lumot beriladi, to'g'ri javoblar ko'rsatilmaydi. Algoritm yashirin tuzilma va o'xshashliklarni mustaqil ravishda topadi. Klasterlash va segmentatsiya vazifalarida ishlatiladi [3].

Mustahkamlash orqali o'rganish (Reinforcement Learning) — model muhit bilan o'zaro ta'sir qiladi, har bir harakat uchun mukofot yoki jarima oladi. O'yin SI, robotika va avtonom transport tizimlarida qo'llaniladi [3].

21-rasm. js muhitida model samaradorligi. TensorFlow.js (TF.js) — Google tomonidan ishlab chiqilgan, JavaScript yordamida brauzerda yoki Node.js muhitida machine learning modellarini yaratish, o'rgatish va ishga tushirish imkonini beruvchi ochiq kodli kutubxona. 2011-yilda DistBelief nomi bilan Google ichki loyihasi sifatida boshlangan, 2018-yilda rasmiy TensorFlow.js ga aylandi [6].

TF.js ning uch asosiy foydalanish usuli mavjud: tayyor modellarni ishlatish, transfer learning va yangi model yaratish. TF.js da oddiy neyron tarmoq qurish namunasi:

```
const model = tf.sequential();
model.add(tf.layers.dense({
  units: 32, inputShape: [10], activation: 'relu'
}));
model.add(tf.layers.dense({
  units: 1, activation: 'sigmoid'
}));
model.compile({ optimizer: 'adam', loss: 'binaryCrossentropy' });
await model.fit(xs, ys, { epochs: 50 });
```

22-rasm. 2023-yilda Intel va Google hamkorligida WebGPU backend rasmiy chiqdi. Tajribalar shuni ko'rsatdiki, MobileNet modeli WebGL da ~28ms, WebGPU da ~9ms inference vaqtini ko'rsatdi — bu 3 barobar tezlik oshishidir [6]. WebLLM esa Llama 3.2, Phi-3, Mistral kabi 3–7 milliard parametrlil modellarni native tezlikning 80–85% ini saqlagan holda brauzerda ishlatishni ta'minladi [6].

Saralash algoritmlari tahlili. Asosiy saralash algoritmlarining murakkablik tahlili 1-jadvalda keltirilgan [1, 2, 4]:

1-jadval. Saralash algoritmlari murakkablik taqqoslovi

Algoritm	Eng yaxshi	O'rtacha	Eng yomon	Xotira	Stable
Bubble Sort	$O(n)$	$O(n^2)$	$O(n^2)$	$O(1)$	Ha
Selection Sort	$O(n^2)$	$O(n^2)$	$O(n^2)$	$O(1)$	Yo'q
Insertion Sort	$O(n)$	$O(n^2)$	$O(n^2)$	$O(1)$	Ha
Merge Sort	$O(n \log n)$	$O(n \log n)$	$O(n \log n)$	$O(n)$	Ha
Quick Sort	$O(n \log n)$	$O(n \log n)$	$O(n^2)$	$O(\log n)$	Yo'q
Heap Sort	$O(n \log n)$	$O(n \log n)$	$O(n \log n)$	$O(1)$	Yo'q

GitHub Copilot samaradorlik tadqiqoti. MIT, Stanford va Penn universiteti olimlari 95 professional dasturchi ishtirokida nazorat ostidagi eksperiment o'tkazdi [6]. JavaScript HTTP server yozish vazifasida Copilot ishlatgan guruh 55.8% tezroq bajardi.

NATIJALAR

Web-AI evolyutsiyasining bosqichlari. Tadqiqot natijalariga ko'ra, 2011–2026 yillar davomida web AI uchta bosqichdan o'tdi:

1. *Serverga asoslangan davr (2011–2018):* ML modellari faqat kuchli serverlarda ishga tushirildi. "ML = super kompyuter kerak" paradigmasi hukm surdi.
2. *Brauzer-bazirlangan davr (2018–2023):* TensorFlow.js chiqishi bilan ML modellari brauzerda ishga tushirila boshlandi, lekin WebGL cheklovlari sababli samaradorlik past edi.
3. *WebGPU va WebLLM davri (2023–2025):* WebGPU orqali 3x tezlik oshishi, WebLLM orqali 80–85% native tezlik saqlanib, to'liq oflayn LLM ishlash imkoniyati yaratildi.

Dasturchi samaradorligiga ta'sir. GitHub Copilot natijalari 2-jadvalda keltirilgan [6]:

2-jadval. Copilot samaradorlik ko'rsatkichlari

Ko'rsatkich	SI Oldin (2015–2021)	SI Keyin (2021–2025)
Vazifa bajarish vaqti	2 soat 41 daqiqa	1 soat 11 daqiqa
PR ochish vaqti	9.6 kun	2.4 kun
Tezlik oshishi	1x (bazis)	+55.8% / 4x
Flow state (73%), aqliy tejash (87%)	—	Ha
AI taklif qilgan kod ulushi	0%	~50% (Java: 61%)
Foydalanuvchilar	0	15 million+

Turli algoritmlar paradigmalari 3-jadvalda taqqoslangan [1, 2, 4]:

3-jadval. Algoritm modellari

MODEL	TAVSIF	MISOL
Brute Force	Barcha variantlarni ketma-ket sinab ko'rish	Bubble Sort
Divide & Conquer	Bo'lib yuborish, hal qilish, birlashtirish	Merge Sort, Quick Sort
Greedy	Har bir qadamda mahalliy eng yaxshi tanlov	Prim, Kruskal
Dynamic Programming	Oraliq natijalarni xotirada saqlash	LCS, Knapsack
Backtracking	Orqaga qaytib boshqa yo'lni sinab ko'rish	N-Queens

MUHOKAMA

Tadqiqot natijalari shuni tasdiqlaydi: brauzer o'zi ishlov berish markaziga aylandi [6]. Foydalanuvchi ma'lumotlari qurilmadan chiqmaydi, tizim oflayn ishlaydi, maxfiylik saqlanadi. Server xarajatlari yo'qoladi. Cormen va hamkorlarining "Introduction to Algorithms" asarida ta'kidlanganidek, algoritmlar tanlashda murakkablik, xotira va barqarorlik o'rtasida muvozanat topish kerak [1].

GitHub Copilot natijalarini boshqacha kontekstda ko'rish lozim. 55.8% tezlik oshishi laboratoriya sharoitida, aniq belgilangan vazifa uchun olingan. Real ish muhitida dasturchining vaqti faqat kod yozishdan iborat emas — yig'ilishlar, hujjatlashtirish va kommunikatsiya ham bor [6]. Shuning uchun real samaradorlik oshishi bu raqamdan past bo'lishi mumkin.

Tadqiqot cheklovlari: WebLLM ko'rsatkichlari faqat zamonaviy qurilmalarda o'lchangan; Copilot tadqiqotlari asosan ingliz tilidagi kod va G'arb kompaniyalari muhitida o'tkazilgan [6]. Sutton va Barto mustahkamlash orqali o'rganish nazariyasida ta'kidlanganidek, muhit bilan o'zaro ta'sir algoritmlarining samaradorligi muhit xususiyatlariga kuchli bog'liq [3].

Kelajak yo'nalishlari: WebGPU ning barcha brauzerlarda standartlashishi; quantization va pruning texnikalari rivojlangani sayin model hajmlarining qisqarishi; Copilot kabi vositalarning barcha dasturlash muhitlariga kirib borishi. Aho va Hopcroft ma'lumotlar strukturalari va algoritmlar klassik asarida ko'rsatilganidek, yangi texnologiyaga o'rganish uchun o'rtacha 11 hafta kerak [2].

XULOSA

Ushbu tadqiqot sun'iy intellekt algoritmlarining web-texnologiyalar sohasidagi rivojlanishini va dasturchilar samaradorligiga ta'sirini kompleks tarzda o'rganib chiqdi. Olingan natijalar quyidagicha:

Texnik inqilob: 2011–2026 yillar davomida web AI uchta bosqichdan o'tdi — serverdan brauzerga (TF.js, 2018), WebGL dan WebGPU ga (3x tezlik, 2023) va to'liq offline LLM ga (WebLLM, 80–85% native tezlik, 2025) [6].

Dasturchi samaradorligi: MIT/Stanford/Penn tadqiqoti 55.8% vazifa tezligi oshishini, Microsoft va Accenture tadqiqoti esa PR ochish vaqtining 4x tezlashuvini isbotladi [6].

Demokratlashuv: "ML = super kompyuter kerak" (2011) → "ML = server kerak" (2018) → "ML = brauzer yetarli" (2025). Sun'iy intellekt endi web-dasturlashning ajralmas qismiga aylandi.

Ushbu jarayon hali tugamagan — eng katta o'zgarishlar oldinda. Yusupov va hamkorlarining "Algoritmlar va ma'lumotlar strukturalari" asarida ta'kidlanganidek, samarali algoritmlar tanlash va ularni zamonaviy platformalarda qo'llash dasturiy injiniringning asosiy kompetensiyasidir [4].

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

- [1]. Cormen T.H., Leiserson C.E., Rivest R.L., Stein C. *Introduction to Algorithms*. — Cambridge: MIT Press, 2022, 1312 b.
- [2]. Aho A.V., Hopcroft J.E. *Data Structures and Algorithms*. — New Jersey: Bell Laboratories, 1983, 427 b.
- [3]. Sutton R.S., Barto A.G. *Reinforcement Learning: An Introduction*. — Cambridge: MIT Press, 2018, 548 b.
- [4]. Yusupov O.R., Ximmatov I.Q., Eshonqulov E.Sh. *Algoritmlar va ma'lumotlar strukturalari*. — T.: Informatika va texnologiyalar, 2021, 210 b.
- [5]. Think with Google. *Mobile Page Speed: New Industry Benchmarks*. — Google Research, 2023. <https://business.google.com/ca-en/think/marketing-strategies/mobile-page-speed-new-industry-benchmarks/>
- [6]. Peng S., Kalliamvakou E., Cihon P., Demirer M. *The Impact of AI on Developer Productivity: Evidence from GitHub Copilot*. — arXiv:2302.06590, 2023, 19 b. <https://www.microsoft.com/en-us/research/publication/the-impact-of-ai-on-developer-productivity-evidence-from-github-copilot/>
- [7]. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining "Sun'iy intellekt texnologiyalarini rivojlantirish strategiyasi" to'g'risidagi qarori. —2023, Toshkent.
- [8]. Ziyoviddinova M. Z., Irgasheva S. N. Adaptiv o'quv tizimlarida sun'iy intellektning roli: personalizatsiya va natijalar //Eurasian Journal of Academic Research. — 2024. — T. 4. — №. 12 (Special issue 2). — C. 44-48.
- [9]. Zilola Muxtorova, N. S. Using artificial intelligence technologies and software to increase the professional competence of students in the context of digitalization . —2025, News of the NUUZ, 1(1.2.1), 171-173. <https://doi.org/10.69617/nuuz.v1i1.2.1.6715>