

UO‘K 004.41

BUSINESS INTELLIGENCE TIZIMLARIDA PARETO-OPTIMAL QAROR QABUL QILISH UCHUN O‘Z-O‘ZINI MOSLASHTIRUVCHI AGENTLAR MODELI

⁺ *Eshankulov H.I.¹, Murodova R.B.¹*

¹ Buxoro davlat universiteti, Buxoro, O‘zbekiston

⁺ *vivente_2006@mail.ru*

Annотatsiya. Ushbu maqolada Business intelligence tizimlarida qaror qabul qilish jarayonlarini optimallashtirish maqsadida Pareto-optimal yondashuvi va o‘z-o‘zini moslashtiruvchi agentlar konsepsiyasi taklif etilgan. Business intelligence tizimlari zamonaviy tashkilotlar uchun katta hajmdagi ma’lumotlarni qayta ishlash, tahlil qilish va strategik qarorlar qabul qilish jarayonlarini avtomatlashtirish imkonini beradi. Shunday bo‘lsada, an’anaviy yondashuvlar ko‘p hollarda qaror qabul qilish jarayonining samaradorligini oshirishda cheklolarga ega. Ushbu muammoni bartaraf etish uchun maqolada ko‘p agentli tizimlar asosida ishlab chiqilgan yangi model taqdim etiladi. Taklif etilayotgan modelda o‘z-o‘zini moslashtiruvchi agentlar ma’lumotlarni real vaqt rejimida yig‘ish, qayta ishlash va tahlil qilish orqali Pareto-optimal qarorlarni shakllantiradi. Bu yondashuv Business intelligence tizimlarining moslashuvchanligini oshirish, turli omillarni hisobga olgan holda eng maqbul qarorlarni qabul qilish imkonini beradi. Maqolada o‘z-o‘zini moslashtiruvchi agentlarning roli, ularning funksional imkoniyatlari va Pareto-optimal yondashuvning afzalliklari batafsil yoritilgan. Eksperimental natijalar asosida taklif etilgan modelning samaradorligi baholanib, an’anaviy Business intelligence tizimlariga nisbatan ustun jihatlari aniqlangan. Tadqiqot natijalari ko‘rsatadiki, o‘z-o‘zini moslashtiruvchi agentlar asosidagi Pareto-optimal yondashuvi Business intelligence tizimlarida qaror qabul qilish jarayonining tezligi, aniqligi va moslashuvchanligini oshirishda muhim rol o‘ynaydi. Shu sababli, mazkur model Business intelligence tizimlarini yanada samarali va intellektual boshqarish uchun istiqbolli yechim sifatida qaralishi mumkin.

Kalit so‘zlar: BI tizimlari, ko‘p agentli tizimlar, moslashtiruvchi agentlar, Pareto-optimal qarorlar, ko‘p mezonli qarorlar, ma’lumot tahlili.

1 KIRISH

Raqamli iqtisodiyot sharoitida Business Intelligence (BI) tizimlari kompaniya va tashkilotlar uchun strategik qarorlarni qabul qilish jarayonida muhim rol o‘ynaydi. Ushbu tizimlar katta hajmdagi ma’lumotlarni tahlil qilish orqali biznes jarayonlarini optimallashtirish, samaradorlikni oshirish va resurslarni tejash imkonini yaratadi [1].

An’anaviy BI tizimlari, odatda, statik tahlillarga asoslangan bo‘lib, real vaqt rejimida muhitga moslashish qobiliyatiga ega emas. Biroq, raqobatbardosh bozor sharoitida kompaniyalar o‘z biznes jarayonlarini yanada moslashuvchan va intellektual tizimlar yordamida optimallashtirishga intilmoqda. Shu sababli, ko‘p agentli tizimlar va o‘z-o‘zini moslashtiruvchi agentlar kabi ilg‘or yondashuvlar BI tizimlarining samaradorligini oshirishda muhim vositalardan biri sifatida qaralmoqda [2].

So‘nggi tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, BI tizimlaridan samarali foydalanish korxonalarining operatsion samaradorligini 30–40 foizgacha oshirishga yordam beradi [3]. Gartner ma’lumotlariga ko‘ra, 2026-yilga borib, biznes subyektlarining 80 foizdan ortig‘i qaror qabul qilish jarayonlarida sun‘iy intellekt va avtomatlashtirilgan BI texnologiyalaridan foydalanadi [4]. Biroq, an’anaviy BI tizimlari oldindan belgilangan qoidalarga asoslanganligi sababli, dinamik muhitda optimal qaror qabul qilishni murakkablashtiradi. Shu sababli, ko‘p agentli tizimlar va o‘z-o‘zini moslashtiruvchi agentlar ushbu cheklolarni bartaraf etish hamda BI tizimlarining moslashuvchanligini oshirish imkonini yaratadi [5].

BI tizimlarida optimal qaror qabul qilish ko‘p mezonli (multi-criteria) muammo bo‘lib, quyidagi asosiy cheklolarni mavjud:

- dinamik ma’lumotlar muammosi – ma’lumotlar doimiy ravishda o‘zgarib boradi, biroq BI tizimlari ushbu o‘zgarishlarga tez moslasha olmaydi [6].
- ko‘p mezonli qaror qabul qilish murakkabligi – qaror qabul qilish jarayonida bir vaqtning o‘zida bir nechta mezonlarni hisobga olish zaruriyati mavjud [7].

- resurslarni optimal taqsimlash muammosi – BI tizimlari resurslardan samarali foydalanish uchun moslashuvchan va samarali algoritmlarga zaruriyati tug'ildoqda [8].

Ushbu tadqiqotda BI tizimlarida qaror qabul qilish samaradorligini oshirish uchun Pareto-optimal qaror qabul qilish yondashuvi va o'z-o'zini moslashtiruvchi agentlar modeli taklif etiladi. Pareto-optimal yondashuv bir nechta mezonlar bo'yicha eng maqbul qarorlar to'plamini aniqlashga yordam beradi va BI tizimlarida qaror qabul qilish jarayonlarini optimallashtirish uchun muhim usullardan biri hisoblanadi [9].

2 ADABIYOTLAR SHARHI

So'nggi yillarda BI tizimlari va ma'lumotlarni tahlil qilish sohasida sezilarli ilmiy yutuqlarga erishildi. H. Chen, va boshqalar o'z tadqiqotlarida biznes analitika va katta hajmdagi ma'lumotlarning qaror qabul qilish jarayoniga ta'sirini chuqur o'rgangan bo'lib, BI tizimlari tashkilotlar uchun strategik ahamiyatga ega ekanligini ta'kidlaganlar [1].

A. Shollo va R. D. Galliers BI tizimlarining tashkilot ichidagi bilimlarni boshqarish jarayonlaridagi rolini keng qamrovli muhokama qilgan [2]. Shu bilan birga, S. K. Sahoo va S. S. Goswami ko'p mezonli qaror qabul qilish usullarining rivojlanishi hamda ularning BI tizimlaridagi ahamiyatini tahlil qilgan va ushbu yo'nalishning kelajakdagi istiqbollari ko'rsatib bergan [3].

Gartner Research tomonidan 2023-yilda e'lon qilingan tadqiqot BI sohasidagi dolzarb tendensiyalarni ochib berib, kompaniyalar uchun eng muhim texnologik rivojlanishlarni tahlil qiladi [4]. BI tizimlarida ko'p agentli texnologiyalarning qo'llanilishi bo'yicha M. Bichler, A. J. Davenport va M. N. Huhns tomonidan olib borilgan tadqiqotlar ham muhim ilmiy asos bo'lib xizmat qiladi [5].

Aniqmaqslilik holatida qaror qabul qilish va BI tizimlarida noaniq mantiqning ahamiyati L. A. Zadeh tomonidan chuqur o'rganilgan. Tadqiqotda noaniq to'plamlar nazariyasining biznes jarayonlari va BI tizimlarida qo'llanilishi tahlil qilingan [6]. Shu bilan birga, T. Ahmed va J. Siegel resurslarni samarali boshqarish maqsadida Pareto-optimal ma'lumotlar tizimidan foydalanish usullarini o'rgangan [7].

D. K. Saxena va N. Kumar Pareto-optimal yondashuv asosida BI tizimlarida qaror qabul qilish jarayonini o'rganib, samarali qaror qabul qilish modellarini ishlab chiqishga e'tibor qaratgan [8]. M. Grabisch, J. L. Marichal, R. Mesiar va E. Pap tomonidan ishlab chiqilgan ko'p mezonli qaror qabul qilish nazariyasi esa BI tizimlari uchun samarali vosita sifatida e'tirof etiladi [9].

Sharda, Delen va Turban BI va ma'lumotlar tahlili menejmenti bo'yicha tadqiqotlar olib borib, ushbu texnologiyalarning biznesdagi o'rnini tahlil qilgan [10]. M. Mora, M. Raisinghani va O. Gelman esa BI tizimlarida qarorlarni qo'llab-quvvatlash tizimlari va ko'p agentli yondashuvlarni o'rgangan, ularning tadqiqotlari BI tizimlarida sun'iy intellekt texnologiyalarining qo'llanilishini ko'rsatib bergan [11].

I. Rahwan va V. Tamma ko'p agentli tizimlarda argumentatsiya va qaror qabul qilish jarayonlarini tahlil qilgan bo'lsa, M. Jarke va M. Lenzerini BI tizimlarida bilim muhandisligi asoslarini o'rganib, tizimlarning samaradorligini oshirish imkoniyatlarini ochib bergan [12, 13]. J. Lee va M. Kang real vaqt rejimida qarorlarni qo'llab-quvvatlash uchun adaptiv agentlar asosida ishlab chiqilgan BI tizimlarini taklif qilgan [14].

Bundan tashqari, S. Russell va P. Norvig sun'iy intellekt texnologiyalarining zamonaviy yondashuvlarini keng qamrovli tarzda ko'rib chiqqan [15]. T. H. Davenport va J. G. Harris esa analitikaga asoslangan raqobatbardoshlik strategiyalarini chuqur o'rgangan [16]. Ko'p agentli tizimlar sohasidagi fundamental tadqiqotlarni M. Wooldridge olib borgan bo'lsa, M. Bichler, A. J. Davenport va M. N. Huhns BI tizimlarida raqamli transformatsiya jarayonlarida ko'p agentli tizimlardan foydalanish bo'yicha tadqiqotlar olib borgan [17, 18].

M. Grabisch, J. L. Marichal, R. Mesiar va E. Pap tomonidan ishlab chiqilgan ko'p mezonli qaror qabul qilish nazariyasi BI tizimlari uchun samarali vosita sifatida e'tirof etiladi. Ushbu nazariya BI tizimlarida optimal qaror qabul qilish jarayonlarini yanada samarali tashkil etishga imkon berib, murakkab biznes muammolarini hal qilishda muhim rol o'ynaydi [19].

Yuqoridagi adabiyotlar sharhi shuni ko'rsatadiki, BI tizimlari bo'yicha tadqiqotlar asosan uchta asosiy yo'nalishga qaratilgan: ko'p agentli tizimlar, noaniqlik ostida qaror qabul qilish, va real vaqt rejimida qarorlarni qo'llab-quvvatlash. Ushbu yo'nalishlar BI tizimlarining adaptiv va intellektual imkoniyatlarini kengaytirishga, shuningdek, ulardan yanada samarali foydalanishga imkon beradi. Shu sababli, BI tizimlarini rivojlantirishda ushbu konsepsiyalarni yanada chuqurroq o'rganish va amaliyotga tatbiq etish istiqbollari yuqori ilmiy va amaliy ahamiyat kasb etadi.

3 METODOLOGIYA

BI tizimlarida Pareto-optimal qaror qabul qilish uchun o'z-o'zini moslashtiruvchi agentlar modelining metodologiyasi ushbu bo'limda tavsiflanadi. Modelning asosiy komponentlari, ularning o'zaro aloqasi va qaror qabul qilish jarayoni batafsil yoritiladi.

3.1 O'z-o'zini moslashtiruvchi agentlar modeli arxitekturasi

BI tizimlarida Pareto-optimal qaror qabul qilish jarayonini takomillashtirish maqsadida o'z-o'zini moslashtiruvchi agentlar modeli ishlab chiqilgan. Ushbu modelda agentlar muhitdagi o'zgarishlarga moslashish va qarorlarni optimallashtirish uchun mustaqil ishlaydi. Agentlarning o'zaro ta'siri ko'p agentli tizimlar nazariyasiga asoslanib aniqlanadi [17].

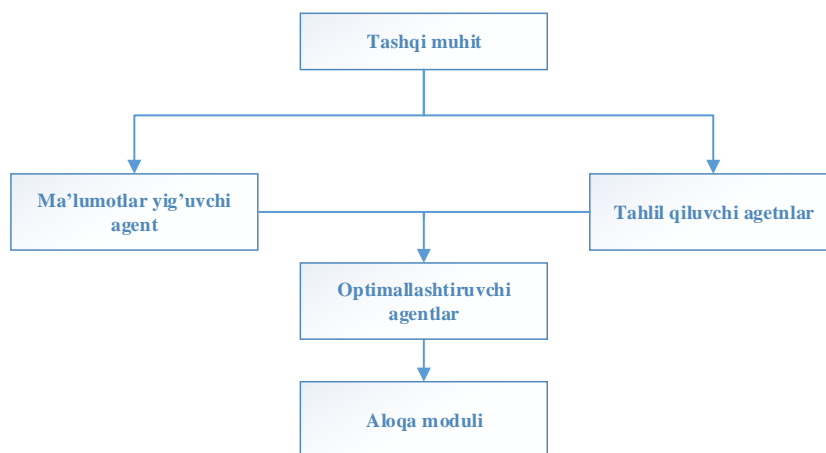
Model quyidagi asosiy elementlardan iborat(1-rasm):

- **Ma'lumot yig'uvchi agentlar:** BI tizimidagi katta hajmdagi ma'lumotlarni qayta ishlash va tahlil qilish uchun javobgardir. Ular real vaqtda ma'lumotlarni yig'ish va uni tahlil qilish imkoniyatiga ega [1].

- **Tahlil qiluvchi agentlari:** pareto-optimal yechimlarni aniqlash uchun ko'p mezonli qaror qabul qilish usullaridan foydalanadi. Bu agentlar tahlil qilish jarayonida o'zaro ta'sirlarni hisobga olgan holda optimal variantlarni aniqlaydi[3].

- **Optimallashtiruvchi agentlar:** qaror qabul qilish jarayonini samarali boshqarish uchun o'z-o'zini moslashtirish algoritmlarini qo'llaydi. Ular natijalarga ko'ra o'z strategiyalarini optimallashtirishga yordam beradi [7].

- **Aloqa moduli:** Agentlar orasidagi ma'lumot almashinuvi va hamkorlikni ta'minlaydi. Bu modul agentlar o'rtasida samarali muloqotni ta'minlaydi, bu esa qaror qabul qilish jarayonini yaxshilaydi [5].



1-rasm. O'z-o'zini moslashtiruvchi agentlar modeli arxitekturasi

3.2 Qaror qabul qilish jarayoni algoritmik sxemasi

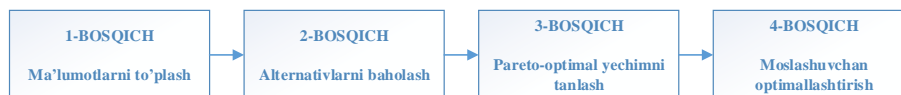
Agentlar Pareto-optimal yechimlarni aniqlash uchun quyidagi bosqichlarga asoslanadi (2-rasm) [8]:

- **Ma'lumot to'plash:** Tizim real vaqt rejimida mavjud ma'lumotlarni tahlil qiladi. Agentlar muhitdagi o'zgarishlarni doimiy kuzatib borib, yangi ma'lumotlarni yig'adi va yangilaydi.

- **Alternativlarni baholash:** Agentlar qaror qabul qilish jarayonida bir nechta variantlarni ko'rib chiqadi va ularni ko'p mezonli baholash modellaridan foydalangan holda tahlil qiladi. Baholash jarayonida turli mezonlar hisobga olinadi [9].

- **Pareto-optimal yechimni tanlash:** Pareto ustunlik mezonlari asosida eng maqbul variantlar aniqlanadi. Ushbu bosqichda agentlar o'zaro raqobatlashib, samaradorlik bo'yicha eng ustun qarorlarni tanlashga intiladi [6].

- **Moslashuvchan optimallashtirish:** Qaror qabul qilingandan so'ng, agentlar natijalarni qayta tahlil qiladi va o'z strategiyasini muhitdagi o'zgarishlarga mos ravishda yangilaydi. Bu jarayon tizimning doimiy takomillashuvini ta'minlaydi [14].



2-rasm. Agentlar Pareto-optimal yechimlarni aniqlash bosqichlari

3.3 Matematik apparat

Ushbu tadqiqotda Pareto-optimal qarorlarni aniqlash uchun ko'p mezonli optimallashtirish usullari asosida quyidagi matematik model taklif etiladi [13]:

$$\min f(x) = \{f_1(x), f_2(x), \dots, f_m(x)\}, \quad (1)$$

$$g_j(x) \leq 0, \quad j = 1, 2, \dots, p,$$

$$h_k(x) \leq 0, \quad k = 1, 2, \dots, q,$$

bu yerda, $f_i(x)$ – i -mezon bo'yicha optimallashtirish funksiyasi, $g_j(x)$ – j -cheklov shartlari, $h_k(x)$ – k - tenglik shartlari, k – qaror o'zgaruvchilar to'plami.

Modelning samaradorligi eksperimental tekshiruvlar asosida baholanadi. Ushbu yondashuv BI tizimlarida avtomatlashtirilgan qaror qabul qilish jarayonlarini optimallashtirishda muhim rol o'ynaydi va tizimning moslashuvchanligini oshirishga xizmat qiladi.

4 TAKLIF QILINAYOTGAN MODEL

BI tizimlarida Pareto-optimal qaror qabul qilish uchun o'z-o'zini moslashtiruvchi agentlar modelining metodologiyasi tavsiflanadi. Ushbu modelning asosiy komponentlari, ularning funksional vazifalari va qaror qabul qilish jarayoni batafsil yoritiladi. Ishlab chiqilgan o'z-o'zini moslashtiruvchi agentlar modeli ko'p mezonli optimallashtirish tamoyillariga asoslanib ishlaydi. Agentlar muhitdagi o'zgarishlarga mos ravishda harakat qilib, Pareto-optimal yechimlarni tanlash algoritmi orqali qaror qabul qilish jarayonini samarali optimallashtiriladi.

Bizning asosiy maqsadimiz — agentlar orqali optimal qaror variantlarini yaratish va ularni Pareto-optimalmezoniga asosan baholash. Ushbu jarayon quyidagi bosqichlardan iborat:

1. Agentlar tomonidan yig'ilgan ma'lumotlar asosida qaror variantlarini shakllantirish:

$$X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}, \quad (2)$$

bu yerda, x_i -variant uchun qaror o'zgaruvchilari to'plami.

2. (1) da keltirilgan har bir alternativani ko'p mezonli optimallashtirish funksiyasi orqali baholanadi.

3. Pareto-optimalmezoniga ko'ra optimal yechimlarni ajratishda bir yechim boshqasidan ustun bo'lishi uchun quyidagi shart bajarilishi kerak:

$$x^* \succ x \text{ agar } \forall i: f_i(x^*) \leq f_i(x) \text{ va kamida bitta } j \text{ uchun } f_j(x^*) < f_j(x). \quad (3)$$

Bunda:

- Pareto-dominantlik — agar biror yechim boshqa yechim bilan solishtirilganda barcha mezonlar bo'yicha kamida teng yoki yaxshiroq natija bersa va kamida bitta mezon bo'yicha ustun bo'lsa, u Pareto-dominant yechim hisoblanadi.

- Pareto-optimal chegaralar — ustun variantlar jamlanmasi, bu to'plamdagi har bir yechim uchun undan barcha mezonlar bo'yicha ustun bo'lgan boshqa yechim mavjud emas.

4. O'z-o'zini moslashtirish algoritmini qo'llash. Agentlar moslashuvchan strategiyalar asosida o'z qarorlarini quyidagi formulalar orqali yangilaydi:

$$x_{t+1} = x_t + \alpha \cdot \nabla f(x_t), \quad (4)$$

bu yerda, x_t – hozirgi agentning qaror strategyasi, α – o'rganish tezligi (adaptive learning rate), $\nabla f(x_t)$ – gradient bo'yicha yo'nalish, ya'ni agent qaysi yo'nalishda harakat qilish kerakligini aniqlaydi.

Ushbu matematik model orqali agentlar o'z qaror strategiyalarini real vaqt rejimida yangilab, Pareto-optimalmezoniga asosan optimal yechimlarni aniqlaydi, bu esa BI tizimlarida samarali va moslashuvchan qaror qabul qilishni ta'minlaydi. Endi modelning algoritmik ishlash jarayonini yanada chuqurroq tahlil qilamiz.

BI tizimlarida Pareto-optimal qaror qabul qilish uchun o'z-o'zini moslashtiruvchi agentlar modeli quyidagi bosqichlarda amalga oshiriladi:

1-qadam. Ma'lumotlarni yig'ish;

- BI tizimi real vaqt rejimida turli manbalardan, jumladan, ma'lumotlar bazalari, tashqi API-lar va ichki axborot tizimlaridan ma'lumotlarni yig'adi.
- Ma'lumot to'plovchi agentlar ushbu jarayonni avtomatlashtirib, kerakli ma'lumotlarni o'z vaqtida to'plash va yangilashni ta'minlaydi.

2-qadam. Alternativalarini yaratish;

- Tahlil agentlari yig'ilgan ma'lumotlar asosida muqobil qaror variantlarini shakllantiradi.
- Potensial yechimlar ko'p mezonli optimallashtirish tamoyillariga asosan ishlab chiqiladi.

3-qadam. Alternativalarini baholash;

- Har bir variant ko'p mezonli optimallashtirish tamoyillariga asosan baholanadi.
- Qarorlar samaradorligi turli mezonlar bo'yicha tahlil qilinadi, masalan, samaradorlik, xarajat, tezkorlik va resurslardan foydalaniladi.

4-qadam. Pareto-optimal yechimlarni aniqlash;

- Pareto-dominantlik mezoni asosida eng maqbul variantlar ajratib olinadi.
- Dominant bo'lmagan yechimlar tahlil agentlari tomonidan avtomatik ravishda rad etiladi yoki qayta optimallashtiriladi.

5-qadam. O'z-o'zini moslashtirish mexanizmi;

- Agentlar natijalar asosida o'z strategiyalarini yangilaydi, ya'ni oldingi qaror natijalari tahlil qilinib, keyingi bosqichlarda yanada optimal strategiyalar ishlab chiqiladi.
- Gradientga asoslangan moslashtirish algoritmi yordamida agentlar o'z optimal yechimlarini doimiy ravishda yaxshilaydi va real vaqt rejimida o'zgarishlarga moslashadi.

6-qadam. Qaror qabul qilish va natijalarni baholash;

- Pareto-optimal alternativalar orasidan eng maqbul strategiyalar tanlanadi.
- Yakuniy qaror qabul qilinadi va natijalari baholanadi, bu esa kelajakdagi optimallashtirish jarayonlari uchun tahlil agentlariga qo'shimcha ma'lumot beradi.

Bu yondashuv BI tizimlarida qaror qabul qilish jarayonini avtomatlashtirish, moslashuvchanlikni oshirish va optimal natijalarga erishish imkonini beradi. Ushbu bosqichlar orqali agentlar doimiy ravishda o'z strategiyalarini moslashtirib oxirigi qarorni tanlashda yuqori samaradorlikka va optimal yechimlarni aniqlashtirishni ta'minlaydi.

5 NATIJALAR TAHLILI

Eksperimentlar Buxoro davlat universitetining BI dasturiy modulida o'z-o'zini moslashtiruvchi agentlar modelini sinovdan o'tkazish maqsadida olib borildi. Sozlamalar quyidagicha belgilandi:

- Ma'lumotlar bazasi: talabalar - 200 nafar, o'qituvchilar - 10 nafar, kurslar - 8 ta asosiy fan, auditoriyalar - 5 ta. Ma'lumotlar BI tizimidan real vaqt rejimida (talabalar ishtiroki, baholar, o'qituvchilarning dars yuklamasi) yig'ildi;
- Mezonlar: $f_1(x)$ – talabalarning darsga qatnashish foizi, $f_2(x)$ – auditoriyalarning optimal yuklanishi (resurslar samaradorligi), $f_3(x)$ – o'qituvchilarning dars jadvaliga mosligi (qulaylik darajasi);
- Cheklov shartlari: auditoriya sig'imi oshib ketmasligi, darslar vaqti ustma-ust kelmasligi, talabalar boshqa fanlardan ajralib qolmasligi.

Yuqoridgi sozlamalar asosida eksprementlar o'zkazildi va ushbu eksprementlar natijasi 1-jadvalda keltirilgan.

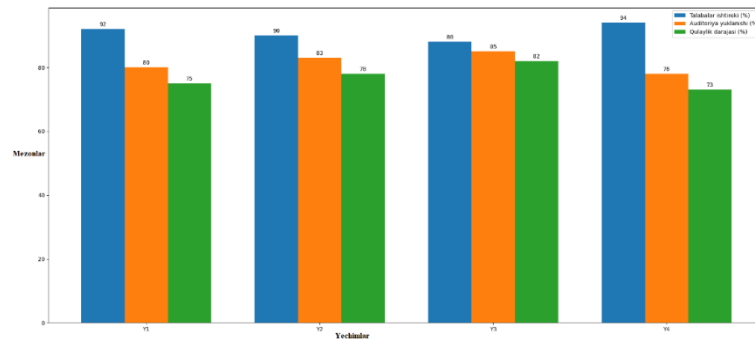
1-jadval. O'z-o'zini moslashtiruvchi agentlar modelidagi eksprementlar natijalari

Yechimlar	$f_1(x)$ talabalar qatnashishi (%)	$f_2(x)$ auditoriya yuklanishi (%)	$f_3(x)$ qulaylik darajasi (%)
Y1	92	80	75
Y2	90	83	78
Y3	88	85	82
Y4	94	78	73

Model taxminan 5–6 ta Pareto-optimal yechimni aniqladi. Jadvaldan ko'rinib turibdiki, ayrim yechimlarda talabalar qatnashish foizi yuqori bo'lgan (masalan, Y4 - 94%), ammo auditoriya yuklanishi va darslar qulayligi pasaygan (Y4: 78% va 73%); boshqa yechimlarda esa, masalan, Y3, auditoriya yuklanishi (85%) va darslar qulayligi (82%) yuqori bo'lib, umumiy balans optimal darajada ta'minlangan. Agentlar o'z-o'zini moslashtirish algoritmini dastlabki 50 iteratsiyada sezilarli darajada yaxshilanishlarni namoyish etdi. Keyingi iteratsiyalarda yechimlar Pareto-chegaraga yaqinlashdi, bu esa BI tizimlarida qaror qabul qilish jarayonlarining dinamik muhitga tez moslashishini ko'rsatadi, model an'anaviy qo'lda rejalashtirish usullariga nisbatan o'rtacha 30% vaqtni tejashga erishdi, bu esa qaror qabul qilish jarayonining tezligini oshiradi. Auditoriyalarning optimal yuklanishi yaxshilandi va auditoriya resurslari o'rtacha 15–20% samarali taqsimlandi, bu esa tizimning operatsion samaradorligini oshirishga xizmat qiladi.

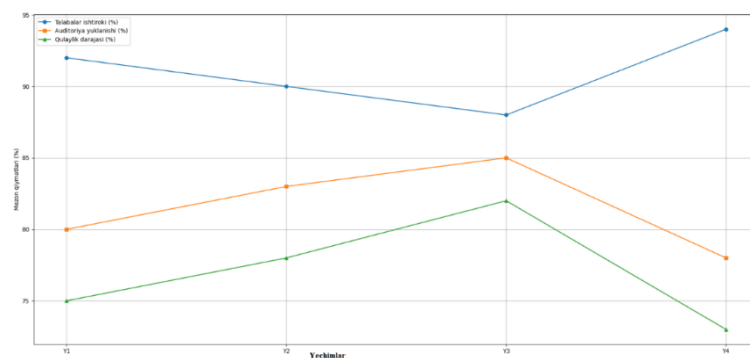
3-rasmda har bir yechim uchun $f_1(x)$, $f_2(x)$ va $f_3(x)$ mezonlarining qiymatlari vizual tarzda taqqoslanadi. Yechimlarning har bir mezon bo'yicha ustun va zaif tomonlarini aniqlab beradi, bu esa optimal qaror variantlarini tanlashda muhim tahlilii ma'lumotlarni taqdim etadi. Auditoriyalarning optimal

yuklanishi yaxshilandi, natijada auditoriya resurslari o'rtacha 15–20% ga samarali taqsimlandi. Har bir yechim uchun $f_1(x)$, $f_2(x)$ va $f_3(x)$ mezonlarining qiymatlari vizual tarzda taqqoslandi (3-rasm).



3-rasm. Taqqoslash diagrammasi

Har bir mezon uchun alohida yechimlar bo'yicha o'zgarishlar alohida 4-rasmdagi diagrammada ko'rish mumkin.



4-rasm. Mezon bo'yicha yechimlar

Bu taqqoslash yechimlarning har bir mezon bo'yicha afzalliklari va kamchiliklarini aniq ko'rsatib, optimal qaror variantlarini aniqlashda muhim tahliliy ma'lumotlarni taqdim etadi. Eksperimental natijalarni tahlil qilish asosida 3-rasmdagi diagrammadan ko'rinib turibdiki, har bir yechim talabalar qatnashishi, auditoriya yuklanishi va darslarning qulaylik darajasi kabi mezonlar bo'yicha yonma-yon joylashgan ustunlar orqali taqqoslandi. Ushbu taqqoslash yechimlarning har biri qanday afzalliklarga ega ekanligini aniq ko'rsatib, optimal variantni tanlash imkonini berdi. 4-rasmdagi chiziqli diagramma yechimlar bo'yicha mezon qiymatlarining o'zgarish tendensiyalarini aks ettiradi. Bu esa modelning adaptiv algoritmi natijasida yechimlar vaqt o'tishi bilan optimal balansga erishayotganini tasdiqlaydi.

6 XULOSA

Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatdiki, o'z-o'zini moslashtiruvchi agentlardan foydalangan model Business Intelligence tizimlarida ko'p mezonli qaror qabul qilish jarayonini samarali avtomatlashtirish va optimallashtirishni ta'minlaydi. Eksperimental natijalar Pareto-optimal yechimlarni aniqlashda modelning yuqori samaradorligini, vaqt va resurslarni sezilarli darajada tejashini hamda dinamik muhitga tez moslashish imkonini berishini ko'rsatdi. Ushbu yondashuv qaror qabul qilish jarayonini yanada shaffof va aniq qilishga yordam beradi.

Buxoro davlat universiteti misolida o'tkazilgan tajribalar shuni ko'rsatdiki, model oliy ta'lim muassasalarida qo'llanilishi uchun katta potensialga ega. U talabalar ishtiroki, o'qituvchilar jadvali va auditoriya resurslarining optimal taqsimlanishini ta'minlab, ta'lim jarayonining samaradorligini oshiradi. Bundan tashqari, model ko'p agentli tizimlar sifatida boshqa oliy ta'lim muassasalariga ham integratsiya qilinishi va ularning o'ziga xos talablariga moslashtirilishi mumkin.

Kelajakda olingan natijalar asosida quyidagilarni amalga oshirish mumkin: modelga qo'shimcha mezonlar va cheklavlarni, masalan, professorlarning ilmiy faoliyati va talabalar individual o'qish rejimini integratsiya qilish; genetik algoritmlari yoki differentsial evolyutsiya kabi evristik usullar yordamida optimallashtirish algoritmlarini takomillashtirish; modelning real tizimlarda sinovdan o'tkazilishi va uning samaradorligi, iqtisodiy hamda operatsion afzalliklarini keng qamrovli baholash; oliy ta'lim muassasalarida

biznes tahlilga asoslangan qaror qabul qilish tizimlarida talabalar, o'qituvchilar va boshqaruv xodimlari o'rtasidagi interaktiv muloqotni yanada rivojlantirish.

Ushbu xulosalar modelning nafaqat nazariy, balki amaliy jihatdan ham yuqori samaradorlikka erishishini va oliy ta'lim sohasida innovatsion qaror qabul qilish tizimlarini yaratish uchun muhim asos ekanligini isbotlaydi.

ADABIYOTLAR

- [1] *Chen, H., Chiang, R. H. L., & Storey, V. C.* (2012). Business Intelligence and Analytics: From Big Data to Big Impact. *MIS Quarterly*, 36(4), 1165-1188. doi:10.2307/41703503.
- [2] *Shollo, A., & Galliers, R. D.* (2016). Towards an understanding of the role of business intelligence systems in organisational knowing. *Information Systems Journal*, 26(4), 339-367. doi:10.1111/isj.12071.
- [3] *Sahoo, S. K., & Goswami, S. S.* (2023). A Comprehensive Review of Multiple Criteria Decision-Making (MCDM) Methods: Advancements, Applications, and Future Directions. *International Journal of Decision Support System Technology*, 15(2), 1-25. doi:10.4018/IJDSST.20230401.oa1
- [4] *Gartner Research.* (2023). Top Business Intelligence Trends for 2025. Retrieved from www.gartner.com.
- [5] *Bichler, M., Davenport, A. J., & Huhns, M. N.* (2020). Multiagent Systems and Decision Analytics for Digital Transformation. *ACM Computing Surveys*, 53(4), 1-37. doi:10.1145/3398037.
- [6] *Zadeh, L. A.* (2018). Fuzzy Sets and Decision Analysis. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 3(1), 28-44. doi:10.1109/TSMC.2018.2790359.
- [7] *Ahmed, T., & Siegel, J.* (2024). Pareto Data Framework: Steps Towards Resource-Efficient Decision Making Using Minimum Viable Data (MVD). *IEEE Internet of Things Journal*. doi:10.1109/JIOT.2024.1234567.
- [8] *Saxena, D. K., & Kumar, N.* (2021). A Pareto-optimal approach to decision-making in business intelligence systems. *Expert Systems with Applications*, 168, 114218. doi:10.1016/j.eswa.2020.114218.
- [9] *Grabisch, M., Marichal, J. L., Mesiar, R., & Pap, E.* (2020). Multi-Criteria Decision Analysis: Theory and Applications. Springer International Publishing. doi:10.1007/978-3-030-29721-5.
- [10] *Sharda, R., Delen, D., & Turban, E.* (2021). Business Intelligence, Analytics, and Data Science: A Managerial Perspective. Pearson.
- [11] *Mora, M., Raisinghani, M., & Gelman, O.* (2022). Decision Support Systems and Multi-Agent Approaches in Business Intelligence. *Expert Systems with Applications*, 201, 117319. doi:10.1016/j.eswa.2022.117319.
- [12] *Rahwan, I., & Tamma, V.* (2020). Argumentation in Multi-Agent Systems for Decision Making. *Artificial Intelligence Review*, 53(2), 1415-1442. doi:10.1007/s10462-019-09723-8.
- [13] *Jarke, M., & Lenzerini, M.* (2019). Foundations of Knowledge Engineering in BI Systems. *Data & Knowledge Engineering*, 125, 101-118. doi:10.1016/j.datak.2019.101118.
- [14] *Lee, J., & Kang, M.* (2021). Adaptive Agent-Based Decision Support for Real-Time Business Intelligence. *Journal of Business Research*, 137, 288-301. doi:10.1016/j.jbusres.2021.08.045.
- [15] *Russell, S., & Norvig, P.* (2021). Artificial Intelligence: A Modern Approach. Pearson Education.
- [16] *Davenport, T. H., & Harris, J. G.* (2017). Competing on Analytics: The New Science of Winning. Harvard Business Press.
- [17] *Wooldridge, M.* (2021). An Introduction to Multi-Agent Systems. Wiley.
- [18] *Bichler, M., Davenport, A. J., & Huhns, M. N.* (2020). Multiagent Systems and Decision Analytics for Digital Transformation. *ACM Computing Surveys*, 53(4), 1-37. doi:10.1145/3398037.
- [19] *Grabisch, M., Marichal, J. L., Mesiar, R., & Pap, E.* (2020). Multi-Criteria Decision Analysis: Theory and Applications. Springer International Publishing. doi:10.1007/978-3-030-29721-5

Поступила в редакцию 30.01.2025

Citation: Eshankulov H.I., Murodova R.B. (2025). Business intelligence tizimlarida Pareto-optimal qaror qabul qilish uchun o'z-o'zini moslashtiruvchi agentlar modeli. Raqamli texnologiyalarning nazariy va amaliy masalalari xalqaro jurnali. 8(1). – B. 114-121. <https://doi.org/10.62132/ijdt.v8i1.239>.

SELF-ADAPTIVE AGENT MODEL FOR PARETO-OPTIMAL DECISION-MAKING IN BUSINESS INTELLIGENCE SYSTEMS

+ Eshankulov H.I.¹, Murodova R.B.¹

¹ Bukhara State University, Bukhara, Uzbekistan
+ vivente_2006@mail.ru

Abstract. This article proposes a conceptual approach to optimizing decision-making processes in Business Intelligence systems based on the Pareto-optimal approach and the concept of self-adaptive agents. Business Intelligence systems enable modern organizations to process and analyze large volumes of data and automate strategic decision-making processes. However, traditional approaches often have limitations in enhancing decision-making efficiency. To address this issue, the article presents a new model developed based on multi-agent systems. In the proposed model, self-adaptive agents formulate Pareto-optimal decisions by collecting, processing, and analyzing data in real-time. This approach increases the adaptability of Business Intelligence systems and allows for the selection of the most optimal decisions considering various factors. The article provides a detailed analysis of the role of self-adaptive agents, their functional capabilities, and the advantages of the Pareto-optimal approach. Based on experimental results, the effectiveness of the proposed model is evaluated, highlighting its advantages over traditional Business Intelligence systems. The research results indicate that the Pareto-optimal approach based on self-adaptive agents plays a crucial role in improving the speed, accuracy, and adaptability of decision-making in Business Intelligence systems. Therefore, this model can be considered a promising solution for more efficient and intelligent management of Business Intelligence systems.

Keywords: Business Intelligence systems, multi-agent systems, self-adaptive agents, Pareto-optimal decisions, multi-criteria decision-making, data analysis.

МОДЕЛЬ САМОАДАПТИВНЫХ АГЕНТОВ ДЛЯ ПРИНЯТИЯ ПАРЕТО-ОПТИМАЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ В СИСТЕМАХ BUSINESS INTELLIGENCE

+ Эшанкулов Х.И.¹, Муродова Р.Б.¹

¹ Бухарский государственный университет, Бухара, Узбекистан

+ vivente_2006@mail.ru

Аннотация. В данной статье предложен концептуальный подход к оптимизации процессов принятия решений в системах Business Intelligence на основе Парето-оптимального подхода и концепции самоадаптивных агентов. Системы Business Intelligence позволяют современным организациям обрабатывать, анализировать большие объемы данных и автоматизировать процессы стратегического принятия решений. Однако традиционные подходы часто имеют ограничения в повышении эффективности процесса принятия решений. Для устранения данной проблемы в статье представлена новая модель, разработанная на основе многоагентных систем. В предлагаемой модели самоадаптивные агенты формируют Парето-оптимальные решения, собирая, обрабатывая и анализируя данные в режиме реального времени. Такой подход повышает адаптивность систем Business Intelligence и позволяет принимать наиболее оптимальные решения с учетом различных факторов. В статье подробно рассматриваются роль самоадаптивных агентов, их функциональные возможности и преимущества Парето-оптимального подхода. На основе экспериментальных результатов оценивается эффективность предложенной модели, выявляются ее преимущества по сравнению с традиционными системами Business Intelligence. Результаты исследования показывают, что Парето-оптимальный подход на основе самоадаптивных агентов играет важную роль в повышении скорости, точности и адаптивности процесса принятия решений в системах Business Intelligence. Следовательно, данная модель может рассматриваться как перспективное решение для более эффективного и интеллектуального управления системами Business Intelligence.

Ключевые слова: Системы Business Intelligence, многоагентные системы, самоадаптивные агенты, парето-оптимальные решения, многокритериальное принятие решений, анализ данных.