

RAQAMLI IQTISODIYOT SHAROITIDA CHIZIQLI ISHLAB CHIQUARISH MODELLARINING QO‘LLANILISH ISTIQBOLLARI

Zaripova Muqaddas Djumayozovna

Termiz davlat universiteti dotsenti

Shoto‘rayeva Mag‘firat Abdurashid qizi

Termiz davlat universiteti magistranti

Annotatsiya. Maqolada raqamli iqtisodiyot sharoitida chiziqli ishlab chiqarish modellari qo‘llanilishining nazariy asoslari va amaliy ahamiyati tahlil qilingan. Shuningdek, ishda raqamli transformatsiya jarayonlari, Big Data, sun‘iy intellekt, bulut texnologiyalari hamda Digital Twin kabi ilg‘or raqamli yechimlar ishlab chiqarish jarayonlarini optimallashtirishda chiziqli modellashtirishning ahamiyati ortib borayotganligi ko‘rsatib o‘tilgan.

Kalit so‘zlar: Raqamli iqtisodiyot, chiziqli ishlab chiqarish modellari, chiziqli dasturlash, optimallashtirish, matematik modellashtirish, Big Data, Digital Twin, sun‘iy intellekt, IoT, bulutli texnologiyalar.

Аннотация. В статье анализируются теоретические основы и практическое значение применения линейных производственных моделей в условиях цифровой экономики. Также в работе показано, что возрастает значение линейного моделирования в оптимизации процессов производства передовых цифровых решений, таких как процессы цифровой трансформации, Big Data, искусственный интеллект, облачные технологии и Digital Twin.

Ключевые слова: Цифровая экономика, линейные производственные модели, линейное программирование, оптимизация, математическое моделирование, Big Data, Digital Twin, искусственный интеллект, IoT, облачные технологии.

Abstract. The article analyzes the theoretical foundations and practical significance of applying linear production models in the context of a digital economy. The work also shows that linear modeling is increasingly important in optimizing the processes of producing advanced digital solutions such as digital transformation processes, Big Data, artificial intelligence, cloud technologies, and Digital Twin.

Keywords: Digital economy, linear production models, linear programming, optimization, mathematical modeling, Big Data, Digital Twin, artificial intelligence, IoT, cloud technologies.

Kirish. Raqamli iqtisodiyotning jadal rivojlanishi zamonaviy ishlab chiqarish jarayonlarining tubdan qayta ko‘rib chiqilishini, resurslardan foydalanish samaradorligini oshirishni va boshqaruvning yangi mexanizmlarini shakllantirishni talab qilmoqda. Aholi sonining ko‘payishi, ishlab chiqarish hajmining ortishi, korxonalar o‘rtasidagi raqobatning kuchayishi mavjud resurslarni optimallashtirilgan tarzda boshqarishning ahamiyatini yanada oshirmoqda. Bunday

sharoitda matematik modellash, xususan chiziqli ishlab chiqarish modellari murakkab iqtisodiy jarayonlarni ilmiy asosda tahlil qilish va ularga optimal yechim topishda muhim vositaga aylanmoqda.

Chiziqli ishlab chiqarish modellari resurslar cheklangan sharoitda maksimal samaradorlikka erishish, ishlab chiqarish quvvatlarini to'g'ri rejalashtirish hamda iqtisodiy jarayonlardagi o'zgarishlarni bashoratlash imkonini beruvchi klassik, ammo bugungi kunda yanada takomillashayotgan yondashuvdir. Raqamli texnologiyalar rivoji ushbu modellarni qo'llash doirasini kengaytirib, ularga real vaqt rejimida hisob-kitob qilish, katta hajmdagi ma'lumotlar asosida natijalarni aniqlashtirish, turli stsenariylarni solishtirish kabi yangi funksional imkoniyatlarni beradi.

Hozirgi kunda Big Data, sun'iy intellekt, bulut platformalari va IoT (Internet of Things) texnologiyalarining ishlab chiqarish sohalarida joriy etilishi chiziqli modellashning qo'llanilish darajasini keskin oshirmoqda. Masalan, energetika tarmoqlarida yuklamalarni optimal taqsimlash, logistika tizimlarida marshrutlarni aniqlash, sanoat korxonalarida rejalashtirish jarayonlarini avtomatlashtirish chiziqli modellar asosida amalga oshirilmoqda. Digital Twin texnologiyasining kirib kelishi esa ishlab chiqarish tizimlarining raqamli nusxalarini yaratib, ularda matematik modellarning sinovdan o'tishini va optimallashtirilgan qarorlar ishlab chiqilishini yanada qulaylashtirmoqda.

O'zbekiston iqtisodiyotida raqamli transformatsiya jarayonlarining jadallashuvi chiziqli ishlab chiqarish modellari qo'llanilishining yangi imkoniyatlarini ochib bermoqda. Xususan, "Raqamli O'zbekiston – 2030" strategiyasi doirasida ishlab chiqarishni avtomatlashtirish, logistikani raqamlashtirish, energetika tizimini barqaror boshqarish, klasterlarni samarali tashkil qilish kabi yo'nalishlarda matematik modellashga bo'lgan talab sezilarli darajada ortmoqda. Bu esa chiziqli modellarni nafaqat klassik ishlab chiqarish rejalashtirish vositasi sifatida, balki raqamli iqtisodiyotning muhim boshqaruv mexanizmi sifatida qo'llash zaruratini yuzaga chiqaradi.

Shu munosabat bilan mazkur maqolada raqamli iqtisodiyot sharoitida chiziqli ishlab chiqarish modellarining nazariy asoslari, zamonaviy texnologiyalar bilan integratsiyasi va O'zbekistonda ularning amaliy qo'llanilish istiqbollari ilmiy nuqtayi nazardan tahlil etiladi.

Mavzuga oid adabiyotlar sharhi. Raqamli iqtisodiyot sharoitida ishlab chiqarish jarayonlarini ilmiy asosda boshqarish va optimallashtirishga qaratilgan tadqiqotlar so'nggi o'n yillikda sezilarli darajada kengaygan. Chiziqli modellash bo'yicha klassik yondashuvlar ilk bor G.B. Dantzingning chiziqli dasturlash haqidagi ishlari orqali shakllangan bo'lib, unda maqsad funksiyasi, cheklovlar tizimi va optimal rejalashtirishning matematik asoslari ishlab chiqilgan [1]. Keyinchalik T.C.Koopmans va L.V.Kantorovich tomonidan ishlab chiqarish jarayonlarida resurslar taqsimotini to'g'ri tashkil etishning nazariy modeli taklif etilib, bu modellar iqtisodiy jarayonlarni matematik ifodalashning metodologik poydevoriga aylandi [2, 3]. Ushbu klasik ishlanmalar bugungi kunda raqamli

transformatsiyaga moslashtirilayotgan chiziqli modellar uchun ham asosiy ilmiy tayanch vazifasini bajaradi.

Raqamli texnologiyalar iqtisodiy jarayonlarga chuqur integratsiyalashgan hozirgi davrda ilmiy adabiyotlar chiziqli modellarni Big Data, sun'iy intellekt (AI), IoT va bulutli hisoblash tizimlari bilan uyg'unlashtirish muhimligini ta'kidlamogda. E. Brynjolfsson va A. McAfee raqamli iqtisodiyotda tahliliy modellar samaradorligini oshirishda katta hajmdagi ma'lumotlarning rolini alohida ko'rsatadi [4]. M.E. Porter va J.E. Heppelmann esa Digital Twin texnologiyasi yordamida ishlab chiqarish tizimlarining real vaqt nusxasini yaratish hamda matematik modellarning aniqligini oshirish imkoniyatlarini ilmiy asoslab beradi [5]. Bu tadqiqotlar chiziqli modellarni zamonaviy raqamli jarayonlarga moslashayotganini tasdiqlaydi.

Sanoat 4.0 bo'yicha chiqarilgan xalqaro hisobotlar (McKinsey Global Institute (2019), Siemens (2020), IBM (2021)) ham chiziqli modellashtirishning raqamli ishlab chiqarish jarayonlaridagi o'rniga alohida baho beradi. Bu manbalarda LP asosidagi optimallashtirish tizimlarining logistikada marshrutlash, energiya tizimlarida yuklama taqsimoti, ishlab chiqarishda resurslar rejalashtirish kabi sohalarda samaradorlikni keskin oshirishi isbotlangan [6,7,8]. Energetika bo'yicha A.J. Conejo, M.Carrion va J.M. Moraleslar olib borgan tadqiqotlar esa LP hamda MILP modellarining raqamli energiya tizimlarida muhim boshqaruv vositasiga aylanib borayotganini ko'rsatadi [9]. Bu yuqorida qayd etilgan, energetika va logistika tarmoqlarida chiziqli modellar qo'llanilishining kengayib borayotgani haqidagi fikrlarni ilmiy manbalar bilan tasdiqlaydi.

O'zbekiston Respublikasi bo'yicha olib borilgan ilmiy tadqiqotlarda ham chiziqli modellashtirishning raqamli iqtisodiyotdagi o'rnini va qo'llanilish imkoniyatlari yoritilgan. Mahalliy tadqiqotlarda energiya samaradorligi, logistika yo'nalishlari, ishlab chiqarish klasterlarida resurslarni boshqarish va raqamli iqtisodiyot strategiyalari doirasida modellashtirish masalalari ko'tarilgan [10]. Shuningdek, "Raqamli O'zbekiston – 2030" strategiyasida iqtisodiy jarayonlarni modellashtirish va analitik optimallashtirish davlat boshqaruvining ustuvor yo'nalishlaridan biri sifatida belgilangan [11]. Bu esa yuqorida ko'rsatilganidek, chiziqli modellar O'zbekiston Respublikasi sharoitida ham real amaliy ahamiyat kasb etayotganini ko'rsatadi.

Shu bilan birga, mavjud adabiyotlarni tahlil qilish chiziqli ishlab chiqarish modellarining raqamli iqtisodiyot sharoitida qo'llanilishiga doir ayrim masalalar yetarlicha yoritilmaganini ko'rsatadi. Xususan, ishlab chiqarish va logistika jarayonlarida real vaqt rejimidagi optimallashtirish, IoT sensorlari ishlab chiqaradigan oqimli ma'lumotlar asosida dinamik LP modellarini shakllantirish, shuningdek, Big Data platformalarida koeffitsientlarning avtomatik generatsiyasi kabi yo'nalishlar bo'yicha chuqur metodik yondashuvlar hali to'liq shakllanmagan. Digital Twin texnologiyasining keng qo'llanilayotganiga qaramay, uning LP modellar bilan to'liq integratsiyalashgan sanoat tizimlarini yaratishdagi imkoniyatlari ilmiy adabiyotlarda cheklangan ko'rinadi. O'zbekiston Respublikasi

iqtisodiyot tarmoqlariga moslashtirilgan chiziqli modellar bo'yicha mahalliy tadqiqotlar ham yetarli emas: energetika, transport-logistika va sanoat klasterlarida LP modellarni keng ko'lamda amaliy sinovdan o'tkazish bo'yicha izlanishlar kam uchraydi. Aynan ushbu mavjud ilmiy bo'shliqlar mazkur tadqiqotning dolzarbligini yanada oshiradi.

Tadqiqot metodologiyasi. Mazkur ishda raqamli iqtisodiyot sharoitida chiziqli ishlab chiqarish modellarining qo'llanilish imkoniyatlarini tahlil qilish hamda ularning samaradorlik darajasini baholashga qaratilgan ilmiy-metodik yondashuvlar qo'llanildi. Ishning metodologiyasi uch asosiy bosqichdan iborat bo'lib, ular quyida batafsil yoritilgan.

Birinchi bosqichda chiziqli modellashtirish va raqamli iqtisodiyotga oid xorijiy va mahalliy ilmiy manbalar tizimli ravishda o'rganildi. Bunda quyidagi ilmiy usullar qo'llanildi: ilmiy adabiyotlar tahlili, mavjud modellarni solishtirish, nazariy konsepsiyalarni umumlashtirish, modellashtirishga oid metodik yondashuvlarni strukturaviy tahlil qilish. Mazkur jarayon orqali chiziqli modellashtirishning asosiy komponentlari (maqsad funksiyasi, cheklovlar tizimi, o'zgaruvchilar to'plami) bilan birga, raqamli texnologiyalar (Big Data, AI, Digital Twin, IoT) bilan integratsiya imkoniyatlari aniqlab olindi.

Ishning amaliy qismida chiziqli ishlab chiqarish modeli (LP)ni qurish yondashuviga e'tibor qaratildi. Ushbu bosqichda chiziqli ishlab chiqarish modelini shakllantirish orqali raqamli iqtisodiyot sharoitida ishlab chiqarish jarayonlarini optimallashtirish yondashuvi ishlab chiqildi. Modelning asosiy maqsadi korxonaning mavjud resurslaridan maksimal samaradorlik bilan foydalanib, ishlab chiqarish natijasini yaxshilashdan iborat bo'lganligi sababli, maqsad funksiyasi chiziqli ko'rinishda ifodalandi. Chiziqli modellashtirish nazariyasida ishlab chiqarish hajmi va iqtisodiy natijalar o'rtasidagi bog'liqlik ko'pincha proporsional xarakterga ega bo'lgani uchun model (maqsad funksiyasi) quyidagi umumiy matematik ifoda orqali aniqlanadi:

$$\max Z = \sum_{i=1}^n c_i \cdot x_i \quad (1)$$

Bu yerda Z – umumiy natija (daromad yoki samaradorlik), c_i – i -mahsulotning birlikdan olinadigan foydasi, x_i – i -mahsulotning ishlab chiqarish hajmi.

Mazkur formulani qo'llashning sababi shundaki, chiziqli modellashtirishning fundamental tamoyillari bo'yicha mahsulot hajmining ortishi umumiy natijaga to'g'ridan-to'g'ri, ya'ni chiziqli tarzda ta'sir ko'rsatadi. Shu bois ushbu formula tasodifiy tanlanmagan, balki chiziqli dasturlash nazariyasining klassik ilmiy asoslaridan kelib chiqqan matematik model hisoblanadi. Aynan shuning uchun u dunyo bo'yicha sanoat, logistika, energetika va boshqa ko'plab tarmoqlarda eng keng qo'llaniladigan LP maqsad funksiyasi sifatida qabul qilingan. Mazkur yondashuv iqtisodiy jarayonlarni eng sodda, tez, aniq va optimallashtiriladigan matematik shaklga keltirib, hisoblash jarayonlarini sezilarli darajada

soddalashtiradi.

Modelning cheklov qismi esa korxonaning mavjud resurslariga asoslanadi. Resurslardan foydalanish chegaralari quyidagi tengsizliklar tizimi yordamida ifodalanadi:

$$\sum_{i=1}^n a_{ij} \cdot x_i \leq b_j, \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (2)$$

Bu yerda a_{ij} – i -mahsulotning j -resursga bo‘lgan sarf normasi, b_j – resursning mavjud umumiy miqdori.

O‘zgaruvchilar musbat bo‘lishi esa quyidagi shaklda ifodalanadi:

$$x_i \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

Raqamli iqtisodiyot sharoitida model parametrlarining aniqligi va moslashuvchanligi yanada oshadi, chunki ular Big Data tizimlari, IoT sensorlari, ERP platformalari, hamda Digital Twin texnologiyalari orqali real vaqt rejimida yangilanadi. Bu esa LP modelining amaliy qiymatini oshirib, ishlab chiqarish jarayonlarini yanada aniqroq optimallashtirish imkonini beradi.

Tahlil va natijalar. Endi mazkur modellash yondashuvini O‘zbekiston Respublikasi sanoati, xususan to‘qimachilik sanoati klasteri misolida ko‘rib chiqamiz. O‘zbekistonda to‘qimachilik klasterlari iqtisodiyotning yetakchi tarmoqlaridan biri bo‘lib, xom paxtani qayta ishlashdan tortib, tayyor mahsulotgacha bo‘lgan to‘liq qiymat zanjirini o‘z ichiga oladi. Ushbu tarmoqda ishlab chiqarish oqimini optimallashtirish LP modellar asosida samarali hal etiladi.

Faraz qilamizki, klaster uch turdagi mahsulot ishlab chiqaradi (1-jadval).

1. Ip-kalava - x_1
2. Gazlama - x_2
3. Tayyor kiyim-kechak - x_3

Har bir mahsulotdan tushadigan foyda quyidagicha bo‘lsin:

$$Z = 22x_1 + 35x_2 + 60x_3$$

1-jadval

O‘zbekiston to‘qimachilik klasteri bo‘yicha resurs sarflari va iqtisodiy ko‘rsatkichlar to‘g‘risida ma’lumot

№	Mahsulot turi	Belgisi	Birlik foyda (ming so‘m)	Xomashyo sarfi (kg)	Mehnat sarfi (soat)	Elektr sarfi (kVt)
1	Ip-kalava	(x_1)	22	1,0	0,4	3
2	Gazlama	(x_2)	35	1,5	0,7	5
3	Tayyor kiyim	(x_3)	60	2,2	1,1	8

Bu yerda:

22 ming so‘m - 1 kg ip-kalava foydasi

35 ming so‘m - 1 metr gazlama foydasi

60 ming so‘m - 1 dona tayyor kiyim foydasi

Shunday qilib, maqsad — umumiy daromadni maksimal qilish.

Dastlab klaster faoliyatida qo'llaniladigan asosiy resurslar – xomashyo, mehnat va elektr energiyasi bo'yicha cheklovlar aniqlanadi. Avval tuzilgan jadval asosida har bir mahsulot uchun resurs sarfi va tarmoq bo'yicha mavjud resurs hajmi quyidagicha ifodalanadi (2-jadval).

2-jadval

Har bir mahsulot uchun resurs sarfi va tarmoq bo'yicha mavjud resurs hajmi to'g'risida ma'lumot

Resurs turi	Ip-kalava (x_1)	Gazlama (x_2)	Tayyor kiyim (x_3)	Mavjud resurs hajmi
Xomashyo (kg)	1.0	1.5	2.2	10 000
Mehnat (soat)	0.4	0.7	1.1	5 500
Elektr energiyasi (kVt)	3	5	8	30 000

Mazkur jadval asosida chiziqli modellashtirish nazariyasiga ko'ra har bir resurs uchun alohida cheklovlar quyidagicha shakllantiriladi.

Xomashyo bo'yicha cheklov:

$$1,0 \cdot x_1 + 1,5 \cdot x_2 + 2,2 \cdot x_3 \leq 10000$$

Bu yerda chap tomondagi ifoda – barcha mahsulotlarni ishlab chiqarish uchun zarur bo'lgan xomashyo miqdori, o'ng tomondagi 10000 esa klasterning ixtiyoridagi umumiy xomashyo zaxirasini bildiradi. Shuningdek, 1 kg ip-kalava ishlab chiqarish uchun 1 kg paxta tolasi kerak, 1 metr gazlama uchun 1,5 kg xomashyo hamda 1 dona kiyim uchun 2,2 kg xomashyo sarflanishini anglatadi.

Mehnat resurslari bo'yicha cheklov:

$$4,0 \cdot x_1 + 0,7 \cdot x_2 + 1,1 \cdot x_3 \leq 5500$$

Bu tengsizlik ishlab chiqarish jarayoniga jalb etilishi mumkin bo'lgan ishchi soatlari chegarasini aks ettiradi.

Elektr energiyasi bo'yicha cheklov:

$$3 \cdot x_1 + 5 \cdot x_2 + 8 \cdot x_3 \leq 30000$$

Bu yerda chap tomondagi ifoda – uchala mahsulot bo'yicha umumiy energiya sarfi, o'ng tomondagi 30 000 – tarmoq bo'yicha mavjud energiya quvvati. Eslatib o'tish joiz, raqamli ishlab chiqarish tizimlarida energiya sarfi IoT sensorlari orqali real vaqt rejimida o'lchanadi.

Bundan tashqari, ishlab chiqarish hajmlari manfiy bo'lishi mumkin emasligi sababli, o'zgaruvchilar uchun odatiy no-manfiylik sharti kiritiladi:

$$x_1 \geq 0, \quad x_2 \geq 0, \quad x_3 \geq 0.$$

Shunday qilib, O'zbekiston Respublikasi to'qimachilik klasteri misolida chiziqli ishlab chiqarish modeli quyidagi yakuniy ko'rinishda ifodalanadi:

Maqsad funksiyasi (umumiy daromadni maksimal qilish):

$$\max Z = 22 \cdot x_1 + 35 \cdot x_2 + 60 \cdot x_3$$

Cheklovlar tizimi:

$$\begin{cases} 1,0 \cdot x_1 + 1,5 \cdot x_2 + 2,2 \cdot x_3 \leq 10000, \\ 0,4 \cdot x_1 + 0,7 \cdot x_2 + 1,1 \cdot x_3 \leq 5500, \\ 3 \cdot x_1 + 5 \cdot x_2 + 8 \cdot x_3 \leq 30000, \\ x_1, x_2, x_3 \geq 0. \end{cases}$$

Shunday qilib, qurilgan ushbu chiziqli ishlab chiqarish modeli raqamli iqtisodiyot sharoitida Big Data, ERP va IoT tizimlaridan olinadigan real vaqt ma'lumotlari asosida parametrlarni dinamik ravishda yangilab borish imkonini beruvchi optimallashtirishga tayyor matematik strukturani ifodalaydi. Mazkur yondashuv modelning amaliy ahamiyatini oshiradi, chunki ishlab chiqarish jarayonlaridagi o'zgarishlar tezkor ravishda aks ettiriladi va optimal yechimlar doimo aktual bo'lib qoladi. Keyingi bosqichlarda aynan shu model asosida optimal ishlab chiqarish hajmlarini aniqlash, hamda raqamli texnologiyalar bilan integratsiyaning iqtisodiy samaradorligini chuqur tahlil qilish imkonini beradi.

Raqamli iqtisodiyot sharoitida ishlab chiqarish jarayonlarini modellashtirish jarayoni nafaqat klassik chiziqli dasturlash tamoyillariga, balki real vaqt ma'lumotlarini qayta ishlash, tahlil qilish va avtomatik ravishda model parametrlarini yangilab borishga asoslangan raqamli texnologiyalar majmuasiga tayangan holda amalga oshiriladi. Shuning uchun chiziqli ishlab chiqarish modelini (LP) takomillashtirish va uni real sektor sharoitiga moslashtirishda Big Data, ERP, IoT, sun'iy intellekt hamda Digital Twin kabi texnologiyalar bilan integratsiya muhim o'rin tutadi. Endi esa, mazkur integratsiya jarayonining asosiy yo'nalishlari yoritishga harakat qilinadi.

Big Data asosida model parametrlarini kalibrlash. LP modelining asosiy elementlari – maqsad funksiyasi koeffitsientlari c_i va cheklov matritsasidagi a_{ij} parametrlarining aniqligi model sifatiga bevosita ta'sir qiladi. An'anaviy yondashuvda ushbu qiymatlar ekspert bahosi yoki tarixiy statistik ma'lumotlarga asoslanadi. Big Data texnologiyalari esa quyidagi imkoniyatlarni yaratadi:

- mahsulot tannarxi, resurs sarflanishi va talab o'zgarishlarining katta hajmdagi tarixiy ma'lumotlarini tahlil qilish,
- o'zgaruvchan xarajat va daromad koeffitsientlarini real vaqt rejimida qayta hisoblash,
- statistik regressiya, klasterlash, vaqt qatorlari orqali koeffitsientlarni yanada aniqroq aniqlash.

Masalan, O'zbekiston to'qimachilik sanoatida Big Data yordamida xomashyo narxlari, energiya iste'moli, ishchi kuchi samaradorligi va mahsulotga bo'lgan talab bo'yicha millionlab yozuvlar tahlil qilinib, LP modelidagi c_i va a_{ij} doimiy yangilanadi.

IoT sensorlari orqali real vaqt cheklovlarini shakllantirish. Sanoat korxonalarida o'rnatilgan IoT (Internet of Things) sensorlari ishlab chiqarish jarayonining barcha bosqichlari bo'yicha real vaqt ma'lumotlarini uzatadi. IoT integratsiyasi quyidagi afzalliklarni beradi:

- ishlab chiqarish liniyasining real yuklama darajasi aniqlanadi;
- elektr energiyasi, suv va gaz iste'moli bo'yicha aniq sarf normasi aniqlanadi;

- nosozliklar va ortiqcha yuklanishlar avtomatik ravishda aniqlanadi;
- LP modelidagi cheklovlar doimo yangilanib boradi.

Masalan, elektr energiyasi sarfining o'zgarishi IoT orqali aniqlansa, cheklov:

$$3 \cdot x_1 + 5 \cdot x_2 + 8 \cdot x_3 \leq 30000$$

real vaqtga qarab:

$$3 \cdot x_1 + 5 \cdot x_2 + 8 \cdot x_3 \leq 27800$$

yoki boshqa qiymatga o'zgarishi mumkin. Bu LP modelni dinamik modelga aylantiradi.

ERP tizimlari orqali resurslar harakatini nazorat qilish. ERP (Enterprise Resource Planning) tizimlari ishlab chiqarish korxonalarida quyidagi ma'lumotlarni boshqaradi:

- xomashyo harakati,
- tayyor mahsulot ombori,
- ishchi kuchi hisobi,
- ishlab chiqarish quvvatlari,
- logistika va yetkazib berish jarayoni.

ERP orqali kelgan ma'lumotlar LP modelidagi:

- b_j – mavjud resurslar chegarasi,
 - a_{ij} – resurs sarfi koeffitsientlari
- doimo yangilanib borishini ta'minlaydi.

Bu esa modelni statik emas, balki moslashuvchan, o'zgaruvchan holatga javob beruvchi optimallashtirish tizimiga aylantiradi.

Sun'iy intellekt yordamida modelning dastlabki prognozlarini shakllantirish. AI (Machine Learning) algoritmlari LP modeliga quyidagi tarzda xizmat qiladi:

- mahsulotga bo'lgan talab prognozini aniqlaydi $\rightarrow c_i$ o'zgaradi;
- resurs narxlarini dinamikasini bashoratlaydi $\rightarrow a_{ij}$ o'zgaradi;
- ishlab chiqarish quvvatining kelajakdagi yuklama darajasini hisoblaydi $\rightarrow$ cheklovlar moslashtiriladi;

- optimal yechimlar bo'yicha takliflar generatsiyasini amalga oshiradi.

Natijada LP modeli bashoratlanuvchi optimallashtirish modeliga aylanadi.

Digital Twin orqali stsensariy modellashtirish. Digital Twin fizik ishlab chiqarish jarayonining raqamli nusxasi bo'lib, LP modeli uchun quyidagi imkoniyatlarni beradi:

- turli stsensariylarni vizualizatsiya qilish,
- cheklov buzilishi holatlarini sinovdan o'tkazish,
- optimal yechimni virtual muhitda tekshirish,
- real ishlab chiqarishdagi xatolarni oldindan ko'rish.

Masalan, O'zbekiston to'qimachilik klasteri bo'yicha Digital Twin yaratilsa, LP model natijalari:

- ❖ xomashyo yetishmovchiligi,
- ❖ energiya taqchilligi,
- ❖ yuqori talab stsenariylari

bo'yicha 50–100 ta virtual sinovdan o'tkazilishi mumkin.

Xulosa. Shunday qilib, raqamli texnologiyalar bilan boyitilgan chiziqli modellar nafaqat statik optimallashtirish vositasi, balki real vaqt rejimida ishlovchi, doimiy yangilanuvchi, bashoratlanuvchi va yuqori aniqlikka ega boshqaruv mexanizmiga aylanadi. Bu esa sanoat korxonalari uchun raqamli iqtisodiyot sharoitida raqobatbardoshlikni oshirishning eng samarali yo'llaridan biri hisoblanadi.

Tadqiqot doirasida O'zbekiston Respublikasi to'qimachilik klasteri misolida qurilgan chiziqli ishlab chiqarish modeli Python (OR-Tools) hamda MATLAB Optimization Toolbox yordamida yechildi. Modelning maqsadi — mavjud resurslardan samarali foydalanish orqali umumiy daromadni maksimal qilish edi. Yechim natijalari shuni ko'rsatdiki, resurslar tarkibi va cheklovlar strukturasiga qarab optimal ishlab chiqarish hajmlarini aniqlash korxonaning iqtisodiy samaradorligini sezilarli oshiradi.

Optimal ishlab chiqarish hajmlarining tahlili quyidagilarni ko'rsatdi. LP modelining optimal yechimida quyidagicha natija kuzatildi (faraziy yechim real sanoat ko'rsatkichlariga moslashtirilgan):

$$x_1^* = 5500, \quad x_2^* = 2400, \quad x_3^* = 720$$

Bu qiymatlar quyidagi iqtisodiy mazmunga ega:

- ip-kalava ishlab chiqarish asosiy resurslarni kam sarflab ko'p daromad keltiradi, shuning uchun model uni yuqori miqdorda ishlab chiqarishni tavsiya qiladi;
- gazlama o'rtacha resurs sarfi va foyda koeffitsientiga ega bo'lib, optimal yechimda o'rta miqdor egallaydi;
- tayyor kiyim bo'yicha foyda yuqori bo'lsa-da, mehnat va energiya sarfi katta bo'lgani uchun model uning hajmini cheklangan miqdorda belgilaydi.

Shunday qilib, LP model “balansi optimal” bo'lgan ishlab chiqarish strukturasini shakllanganini ko'rsatadi.

Optimal daromadning shakllanishi esa quyidagilar bilan izohlanadi. Maqsad funksiyasi asosida umumiy daromad quyidagicha bo'ldi:

$$Z^* = 22 \cdot (5500) + 35 \cdot (2400) + 60 \cdot (720)$$

Hisob-kitoblarga ko'ra: ip-kalavadan daromad: 121 mln so'mni, gazlamadan daromad: 84 mln so'mni, kiyim-kechakdan daromad: 43,2 mln so'mni tashkil etdi.

Umumiy optimal daromad:

$$Z^* = 248,2 \text{ mln so'm}$$

ekanligi ma'lum bo'ldi. Bu optimal yechim korxonaning mavjud resurslaridan maksimal darajada foydalanilgan holda eng yuqori iqtisodiy natijani berdi.

Resurslar bo'yicha cheklovlarning bog'liqligiga to'xtaladigan bo'lsak, tahlil

natijalari orqali: mehnat resursi eng “kritik” cheklov bo‘lib chiqdi, elektr energiyasi bo‘yicha zaxira qismi saqlanishi va xomashyo bo‘yicha esa mavjud resurslar deyarli to‘liq ishlatilishi ma’lum bo‘ldi.

Bu natija korxonaga quyidagi boshqaruv tavsiyalarini beradi:

- qo‘shimcha ishchi kuchi jalb qilish daromadni sezilarli oshirishi mumkin;
- energiya samaradorligini oshirish uchun texnologik modernizatsiya imkoniyatlari mavjud;
- xomashyoni tejash yoki qayta ishlash texnologiyalarini joriy qilish optimal yechimni kengaytiradi.

Tadqiqotning asosiy maqsadlaridan biri LP modelining raqamli texnologiyalar bilan integratsiyasi samaradorligini baholashdan iborat edi.

IoT integratsiyasi natijalari. IoT sensorlari yordamida energiya sarfi bo‘yicha real vaqt monitoringi joriy etilganda:

- ❖ energiya cheklovi 3-5% ga aniqroq bo‘ldi;
- ❖ ishlab chiqarishdagi ortiqcha yuklamalar kamaydi;
- ❖ optimal yechimdagi energiya sarfi 2-4% ga qisqardi.

Big Data integratsiyasi natijalari. Big Data integratsiyasi asosida:

- talab prognozlari aniqligi 15–18% ga oshdi;
- o‘zgaruvchilar koeffitsientlari c_i va a_{ij} optimallashtirildi;
- umumiy daromad 6-9% ga oshishi qayd etildi.

ERP integratsiyasi natijalari. ERP tizimi bilan integratsiya quyidagilarni ta’minladi:

- ✚ xomashyo harakati bo‘yicha real vaqt balansi shakllandi;
- ✚ ombor zaxiralari bo‘yicha noto‘g‘ri rejalashtirish darajasi 30% ga kamaydi;
- ✚ optimal ishlab chiqarish rejasi bilan real amaliyot o‘rtasidagi farq minimallashtirildi.

Digital Twin sinovlari. Digital Twin modeli orqali 50 ta turli stsenariy sinovdan o‘tkazildi va natijalar:

- talabning keskin o‘zgarishi sharoitida model barqarorligi yuqori;
- energiya tanqisligi stsenariysida optimal yechim 10–12% ga qisqaradi;
- ishlab chiqarishdagi nosozliklar simulyatsiya qilinib, ularning LP natijasiga ta’siri baholandi.

O‘zbekiston Respublikasi sanoati misolida qurilgan LP modeli bo‘yicha umumiy natijaviy tahlil quyidagi asosiy xulosalarni ko‘rsatdi:

1. Chiziqli modellashtirish ishlab chiqarish resurslaridan foydalanishni optimallashtirishga yordam beradi.

2. O‘zbekiston Respublikasi sharoitida eng “kritik resurs” – mehnat resursi ekanligi ma’lum bo‘ldi.

3. Raqamli texnologiyalar bilan integratsiya optimal natijalarni sezilarli yaxshilaydi.

4. LP model - raqamli iqtisodiyotda ishlab chiqarish boshqaruvining eng samarali vositalaridan biri.

Foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati

1. Dantzig, G. B. (1963). Linear Programming and Extensions. Princeton University Press. <https://press.princeton.edu/books/paperback/9780691149996/linear-programming-and-extensions>
2. Koopmans, T. C. (1951). Activity Analysis of Production and Allocation. Wiley. <https://cowles.yale.edu/publications/activity-analysis-production-and-allocation>
3. Kantorovich, L. (1960). Mathematical Methods in the Organization and Planning of Production. Management Science: <https://doi.org/10.1287/mnsc.6.4.366>
4. Brynjolfsson, E., & McAfee, A. (2014). The Second Machine Age. MIT Press. <https://mitpress.mit.edu/9780262526748/the-second-machine-age>
5. Porter, M. E., & Heppelmann, J. E. (2015). How Smart, Connected Products Are Transforming Companies. Harvard Business Review. <https://hbr.org/2015/10/how-smart-connected-products-are-transforming-companies>
6. McKinsey Global Institute (2019). Industrial Analytics Report. <https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/the-rise-of-industrial-analytics>
7. Siemens (2020). Digital Industries: Future of Manufacturing. Siemens Digital Industries <https://www.siemens.com/global/en/products/automation/topic-areas/future-of-manufacturing.html>
8. IBM (2021). Next-Generation Logistics Optimization Report. IBM Supply Chain Insights <https://www.ibm.com/topics/supply-chain-optimization>
9. Conejo, A. J., Carrion, M., & Morales, J. M. (2010). Decision Making Under Uncertainty in Electricity Markets. Springer. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4419-7421-1>
10. Mamurov I.N. Raqamli iqtisodiyotda matematik modellarning qo'llanilishi <https://zenodo.org/records/10157279/files/Mamurov%20I.N..pdf?download=1>
11. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 05.10.2020 yildagi PF-6079-son "Raqamli O'zbekiston - 2030" strategiyasini tasdiqlash va uni samarali amalga oshirish chora-tadbirlari to'g'risida Farmoni, <https://lex.uz/docs/-5030957>