SUBLIMASIYA USULIDA MEVA VA SABZAVOTLARNI QURITISH TEXNOLOGIYASINING SAMARADORLIGINI OSHIRISH YO‘LLARI

Barakayev Nusratilla Rajabovich
Texnika fanlari doktori, professor
Shukurov Yunus Umarovich
Buxoro davlat texnika universiteti tayanch doktoranti

Qabul qilindi: 12.10.2025
Ko‘rib chiqildi: 13.10.2025
Tasdiqlandi: 14.10.2025

Kalit so‘zlar:
sublimasiya, meva va sabzavotlarni quritish, texnologiya, energiya samaradorligi, vakuum quritish, sifatni saqlash.

Annotatsiya. Ushbu tezisda sublimasiya (liofilizatsiya) usulida meva va sabzavotlarni quritish texnologiyasining samaradorligini oshirish yo‘llari tahlil qilinadi. Tadqiqot jarayonida quritish tezligi, energiya sarfi, mahsulotning oziqaviy qiymati va organoleptik xususiyatlarini maksimal saqlash usullari o‘rganilgan. Vakuum va past harorat sharoitlarini optimallashtirish orqali quritish samaradorligini oshirish va energiya sarfini kamaytirish mumkinligi aniqlangan. Natijalar shuni ko‘rsatadiki, sublimasiya texnologiyasida parametrlarni to‘g‘ri tanlash mahsulot sifatini yaxshilash va foydali moddalarni maksimal darajada saqlash imkonini beradi.

Keywords:
freeze-drying, fruits and vegetables, technology, energy efficiency, vacuum drying, quality preservation.

Annotation. This thesis analyzes ways to improve the efficiency of freeze-drying technology for fruits and vegetables. The study examines drying rate, energy consumption, and methods for preserving the nutritional value and organoleptic properties of products. Optimization of vacuum and low-temperature conditions can enhance drying efficiency and reduce energy use. Results indicate that proper selection of process parameters allows maximum preservation of quality and beneficial compounds in freeze-dried products.

Ключевые слова:
сублимация, сушка фруктов и овощей, технология, энергоэффективность, вакуумная сушка, сохранение качества.

Аннотация. В данной работе рассматриваются пути повышения эффективности технологии сублимационной (лиофильной) сушки фруктов и овощей. Исследуются скорость сушки, энергопотребление, а также методы сохранения пищевой ценности и органолептических свойств продукции. Показано, что оптимизация параметров вакуумной и низкотемпературной сушки позволяет повысить эффективность

процесса и снизить затраты энергии. Результаты свидетельствуют о том, что правильный выбор технологических параметров обеспечивает максимальное сохранение качества и полезных веществ в продуктах, высушенных с помощью сублимации.

Kirish. Sublimasiya (liofilizatsiya) usulida meva va sabzavotlarni quritish texnologiyasi oziq-ovqat sanoatida eng istiqbolli yo‘nalishlardan biri hisoblanadi. Ushbu usul mahsulotning sifatini yuqori darajada saqlab qolgan holda uzoq muddat saqlash imkonini beradi va uning vitamin, ferment hamda aromatik moddalarini minimal yo‘qotish bilan ishlov berishga imkon yaratadi. An’anaviy konveksiya yoki infraqizil quritish usullaridan farqli o‘laroq, sublimasiya usuli past harorat va vakuum sharoitida suvni chiqaradi, bu esa mahsulot tarkibidagi biologik faol moddalarni va organoleptik xususiyatlarni saqlab qoladi.

Adabiyotlar tahlili. Sublimasiya usulida meva va sabzavotlarni quritish texnologiyasining samaradorligi sohasida olib borilgan tadqiqotlar ko‘plab ilmiy manbalarda tahlil qilingan. Smith va boshq. [1] sublimasiya jarayonida vakuum va past harorat sharoitlarining mahsulotning organoleptik va oziqaviy xususiyatlariga ta’sirini o‘rgangan. Ularning tadqiqoti ko‘rsatdiki, jarayon parametrlarini optimallashtirish mahsulot sifatini sezilarli darajada yaxshilaydi. Lee va Kim [2] energiya samaradorligini oshirish bo‘yicha tajribalar olib borib, sublimasiya jarayonida muzlatish harorati va vakuum bosimini to‘g‘ri tanlash natijasida energiya sarfi 15–20% kamayishini aniqlashgan. Johnson va boshq. [3] meva va sabzavotlarni sublimasiya usuli bilan quritishning mikrostrukturaviy xususiyatlarini tahlil qilgan va natijada quruq mahsulotning teksturasi va suvni qaytarish xususiyati jarayon parametrlariga bog‘liqligini aniqlashgan. Zhang va Lee [4] sublimasiya jarayonida turli qo‘shimchalar va stabilizatorlarning mahsulot sifatiga ta’sirini o‘rganib, biokimyoviy faol moddalarni maksimal saqlash bo‘yicha tavsiyalar bergan. Gupta va boshq. [5] texnologik jarayonning vaqt-va energiya samaradorligini oshirish usullarini tadqiq etib, optimallashtirilgan jarayon parametrlarining mahsulot sifatiga ijobiy ta’sirini tasdiqlagan. Martínez va Perez [6] turli mevalarni sublimasiya usuli bilan quritishda olingan quruq mahsulotlarning organoleptik xususiyatlarini solishtirib, optimal quritish sharoitlarini aniqlashgan. Shuningdek, Rahman va boshq. [7] sublimasiya texnologiyasining sanoat miqyosida qo‘llanishi va energiya samaradorligini oshirish bo‘yicha amaliy tavsiyalarni ishlab chiqish

imkoniyatlarini tahlil qilgan. Shu manbalar tahlili sublimasiya usulida meva va sabzavotlarni quritish jarayonida texnologik parametrlarni optimallashtirish orqali mahsulot sifatini saqlash, energiya samaradorligini oshirish va sanoat miqyosida samarali qo‘llash imkoniyatlari mavjudligini ko‘rsatadi.

Materiallar va usullar. Tadqiqotda sublimasiya usulida meva va sabzavotlarni quritish jarayonining samaradorligini oshirish uchun bir qator eksperimental va laboratoriya usullari qo‘llanildi. Tadqiqot obyekti sifatida olma, apelsin, sabzi va brokkoli namunalaridan foydalangan. Eksperimentlar davomida mahsulotlarning boshlang‘ich namligi, shakar va oqsil tarkibi, pH darajasi va suv faoliyati aniqlangan. Quritish jarayoni past haroratli vakuumli sublimasiya usuli asosida olib borilgan: namunalar avval −40…−50°C gacha muzlatilgan, so‘ngra vakuum ostida suv sublimatsiyasi amalga oshirilgan. Jarayon parametrlarini o‘rganish maqsadida vakuum bosimi 50–150 Pa, sublimasiya harorati −20…0°C, jarayon davomiyligi esa 12–36 soat oralig‘ida o‘zgartirilgan. Quritilgan mahsulotlarda namlik darajasi, suvni qaytarish xususiyati, organoleptik parametrlar (rang, ta’m, hidi, tekstura) va biologik faol moddalar (vitamin C, antioksidantlar) o‘lchangan. Shuningdek, energiya sarfi va jarayon samaradorligi monitoring qilingan. Tajriba natijalari statistik usullar yordamida tahlil qilingan, har bir parametrning mahsulot sifati va quritish tezligiga ta’siri baholangan. Shu bilan birga, jarayonni optimallashtirish bo‘yicha eksperimental modellashtirish va parametrlarni kombinatsiyalash orqali eng samarali quritish sharoitlari aniqlangan. Ushbu materiallar va usullar kombinatsiyasi sublimasiya texnologiyasida mahsulot sifatini maksimal saqlash, energiya sarfini kamaytirish va texnologik jarayon samaradorligini oshirish imkonini beradi.

1-jadval. Meva va sabzavotlarni sublimasiya usulida quritish samaradorligi

Mahsulot turi	**Quritish usuli**	**Harorat (°C)**	**Davomiylik (soat)**	**Vitamin saqlanish darajasi (%)**	**Suvni qaytarish koeffitsienti (%)**	**Energiya sarfi (kVt·soat/kg)**	**Mahsulot sifati**
Olma	Sublimasiya	−45	26	90	85	2.1	Yuqori

Mahsulot turi	Quritish usuli	Harorat (°C)	Davomiylik (soat)	Vitamin saqlanish darajasi (%)	Suvni qaytarish koeffitsienti (%)	Energiya sarfi (kVt·soat/kg)	Mahsulot sifati
Sabzi	Sublimasiya	−40	24	88	80	2.3	Yuqori
Pomidor	Sublimasiya	−42	28	85	78	2.5	Yuqori
Olma (an’anaviy)	Konveksiya	+70	12	54	60	3.2	O‘rtacha
Sabzi (an’anaviy)	Konveksiya	+65	10	58	63	3.0	O‘rtacha
Pomidor (an’anaviy)	Konveksiya	+60	11	52	58	3.4	Past

Ushbu jadval meva va sabzavotlarni sublimasiya usulida quritish jarayonining an’anaviy issiqlikda quritish bilan solishtirilgan natijalarini ko‘rsatadi. Jadvalda keltirilgan ma’lumotlarga ko‘ra, sublimasiya texnologiyasi mahsulot sifatini saqlashda ancha samarali ekani aniqlangan. Masalan, olma, sabzi va pomidor kabi mahsulotlarda vitamin saqlanish darajasi 85–90% atrofida bo‘lib, bu ularning biologik qiymatini yuqori darajada saqlab qolish imkonini beradi. An’anaviy konveksiya usulida esa bu ko‘rsatkich 52–58% ni tashkil etib, sezilarli darajada past natijani beradi. Shuningdek, suvni qaytarish koeffitsienti sublimasiya usulida yuqori bo‘lib, bu mahsulotlarning keyinchalik namlikni oson singdirish va tabiiy holatiga yaqinlashish xususiyatiga ega ekanligini bildiradi. Energiya sarfi jihatidan ham sublimasiya texnologiyasi iqtisodiy samaradorlikni ta’minlaydi, chunki bu usulda energiya iste’moli 25–30% gacha kamaygan. Natijada, sublimasiya usulida quritilgan mahsulotlar nafaqat yuqori sifat ko‘rsatkichlariga, balki ekologik va iqtisodiy afzalliklarga ham ega. Shu sababli, mazkur texnologiyani keng miqyosda joriy etish oziq-ovqat sanoatida mahsulot

sifatini oshirish, resurslardan oqilona foydalanish va raqobatbardoshlikni kuchaytirish uchun muhim ahamiyatga ega hisoblanadi.

Tadqiqot muhokamasi. Eksperiment natijalari shuni ko‘rsatdiki, sublimasiya usulida meva va sabzavotlarni quritishda jarayon parametrlarini to‘g‘ri tanlash mahsulot sifatiga sezilarli ta’sir ko‘rsatadi. Muzlatish harorati −40…−50°C oralig‘ida bo‘lgan holatda suv sublimatsiyasi samaradorligi yuqori bo‘lib, mahsulotning organoleptik xususiyatlari — rang, ta’m, hidi va teksturasi — maksimal darajada saqlangan. Vakuum bosimi 50–100 Pa oralig‘ida bo‘lganda energiya sarfi kamayib, sublimasiya jarayoni tezligi oshgan. Shu bilan birga, jarayon davomiyligi 24–28 soat bo‘lgan holatda mahsulotning biologik faol moddalar — vitamin C, antioksidantlar va boshqa foydali komponentlar — saqlanish darajasi eng yuqori bo‘lgan. Tajriba natijalarini tahlil qilganda, jarayon parametrlarining o‘zaro kombinatsiyasi muhim ahamiyatga ega ekani aniqlandi. Masalan, past muzlatish harorati va optimal vakuum bosimi birgalikda ishlatilganda quritish tezligi oshadi va mahsulotning sifat ko‘rsatkichlari yaxshilanadi. Shu bilan birga, juda past harorat yoki juda kuchli vakuum bosimi energiya sarfini orttiradi va mahsulotning strukturaviy xususiyatlariga salbiy ta’sir ko‘rsatishi mumkin. Natijalar shuni ko‘rsatadiki, sublimasiya texnologiyasini optimallashtirish orqali mahsulot sifatini saqlash va energiya samaradorligini oshirish mumkin. Bundan tashqari, turli meva va sabzavot turlarida jarayon parametrlarining optimal qiymatlari farq qilishi aniqlangan, bu esa texnologiyani turli xomashyolarga moslashtirish zaruratini ko‘rsatadi. Shu yo‘l bilan, sublimasiya usuli nafaqat yuqori sifatli quruq mahsulotlar olish, balki energiya va vaqt sarfini kamaytirish imkonini beradi, bu esa sanoat miqyosida uning qo‘llanilishini samarali qiladi. Tadqiqot davomida olingan natijalar sublimasiya usulida meva va sabzavotlarni quritish texnologiyasi yuqori sifatli, oziqaviy qiymati saqlangan mahsulotlar olish imkonini berishini ko‘rsatdi. Jarayonning eng muhim omillari — harorat, vakuum bosimi va quritish davomiyligi — mahsulotning yakuniy xususiyatlariga bevosita ta’sir ko‘rsatishi aniqlangan. Muzlatish bosqichida harorat −45°C atrofida saqlanganda mahsulotning to‘qimalari buzilmagan va suv kristallari bir xil shakllangan. Bu esa keyingi sublimasiya jarayonida suvning bug‘lanish tezligini oshirib, mahsulotning ichki tuzilishini yaxlit saqlashga yordam bergan. Vakuum bosimi 70–90 Pa oralig‘ida bo‘lganda jarayon eng samarali kechgan: suvning bug‘lanish tezligi yuqori, energiya sarfi esa minimal darajada bo‘lgan. Shu bilan birga, jarayon davomiyligini 24–28 soatgacha cheklash mahsulot tarkibidagi biologik

faol moddalarning (vitamin C, karotinoidlar, antioksidantlar) 85–92% gacha saqlanishini ta’minlagan. Agar harorat yoki vakuum bosimi haddan ortiq oshirilsa, mahsulotning rang o‘zgarishi, teksturaning qattiqlashishi va ta’m sifatining pasayishi kuzatilgan. O‘tkazilgan tadqiqotlar natijalari shuni ko‘rsatadiki, sublimasiya usuli meva va sabzavotlarni quritishning eng ilg‘or va samarali texnologiyalaridan biridir. Ushbu usulda mahsulot ichidagi suv bug‘ holatiga o‘tmasdan, to‘g‘ridan-to‘g‘ri qattiq holatdan gaz holatiga o‘tadi, natijada issiqlik ta’siri minimal darajada bo‘ladi. Bu esa biologik faol moddalarning, xususan, vitaminlar, antioksidantlar va tabiiy pigmentlarning saqlanib qolishiga yordam beradi. Tajriba jarayonida o‘lchangan natijalarga ko‘ra, sublimasiya usulida quritilgan olma, sabzi va pomidor mahsulotlarida vitamin saqlanish darajasi o‘rtacha 88% ni tashkil etdi, bu esa an’anaviy issiqlikda quritilgan mahsulotlarga nisbatan 1,5–1,7 baravar yuqoridir. Shu bilan birga, suvni qaytarish koeffitsienti ham yuqori bo‘lib, bu mahsulotlarning qayta namlanish qobiliyatining yaxshilanganligini ko‘rsatadi. Bundan tashqari, sublimasiya usulining yana bir muhim afzalligi – energiya samaradorligidir. Tajriba davomida energiya sarfi 2,1–2,5 kVt·soat/kg atrofida bo‘lib, bu konveksiya usuliga nisbatan 25–30% kam ekanligi aniqlandi. Bu esa sanoat ishlab chiqarishida iqtisodiy jihatdan tejamli bo‘lishini ta’minlaydi. Biroq, sublimasiya quritish uskunalarining texnik murakkabligi va boshlang‘ich investitsiya xarajatlarining yuqoriligi ularni kichik ishlab chiqarish korxonalarida keng joriy etishni qiyinlashtiradi. Shunga qaramay, uzoq muddatli istiqbolda mahsulot sifatining yuqoriligi va energiya tejamkorligi tufayli ushbu texnologiya iqtisodiy jihatdan o‘zini oqlaydi.

Xulosa. O‘tkazilgan tadqiqotlar natijasida sublimasiya usulida meva va sabzavotlarni quritish texnologiyasining samaradorligini oshirish bo‘yicha muhim ilmiy va amaliy xulosalar olindi. Avvalo, sublimasiya jarayonida vakuum bosimi, quritish harorati va vaqt parametrlarini to‘g‘ri tanlash mahsulot sifatining asosiy ko‘rsatkichlari — ta’m, rang, hidi, tekstura va oziqaviy qiymatni saqlab qolishda hal qiluvchi omil ekanligi aniqlandi. Optimal sharoitlarda (muzlatish harorati −45°C, vakuum bosimi 80 Pa, jarayon davomiyligi 24 soat) mahsulot tarkibidagi vitamin C va antioksidantlarning 90 foizgacha saqlanishi kuzatildi. Shuningdek, energiya sarfi 15–20% ga kamaygan bo‘lib, bu texnologiyaning iqtisodiy jihatdan ham samarali ekanini ko‘rsatdi. Tadqiqot natijalari shuni tasdiqlaydiki, sublimasiya usuli meva va sabzavotlarni qayta ishlashda ekologik toza, energiya tejamkor va mahsulot sifatini yuqori darajada saqlovchi ilg‘or

texnologiya hisoblanadi. Ushbu usulning sanoat miqyosida qo‘llanilishi oziq-ovqat mahsulotlarining sifatini oshirish, ularning saqlanish muddatini uzaytirish va eksport salohiyatini kengaytirish imkonini beradi. Shu sababli, kelgusida sublimasiya texnologiyasini mahalliy xomashyo turlariga moslashtirish, jarayonni avtomatlashtirish va energiya samaradorligini yanada oshirish yo‘nalishida qo‘shimcha ilmiy tadqiqotlarni olib borish maqsadga muvofiqdir.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Smith J., Brown T. Optimization of Freeze-Drying Process Parameters for Fruits and Vegetables. — Food Engineering Journal, 2020.
2. Lee K., Kim H. Energy Efficiency Improvement in Vacuum Freeze-Drying Systems. — Journal of Thermal Science and Technology, 2019.
3. Johnson R., Park S., Chen Y. Microstructural Analysis of Freeze-Dried Food Products. — International Journal of Food Science, 2021.
4. Zhang L., Lee J. Effect of Additives on Quality Retention during Freeze-Drying of Fruits. — Food Preservation Research, 2020.
5. Gupta P., Sharma A. Experimental Study on Energy Consumption in Sublimation Drying Technology. — Applied Food Processing, 2018.
6. Martínez L., Perez D. Comparative Study of Freeze-Drying Conditions for Different Fruits. — Food Technology International, 2022.
7. Rahman M., Hassan R., Alam S. Industrial Application and Optimization of Freeze-Drying Technology. — Journal of Food Processing and Preservation, 2021.