MEVA VA SABZAVOTLARNI SUBLIMASIYA USULIDA QURITISH JARAYONINING NAZORAT VA OPTIMALLASHTIRISH METODLARI

Barakayev Nusratilla Rajabovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti
Shukurov Yunus Umarovich
Buxoro davlat texnika universiteti tayanch doktoranti

Annotatsiya. Ushbu maqolada meva va sabzavotlarni sublimatsiya usulida quritish jarayonini nazorat qilish va optimallashtirish metodlari tahlil qilinadi. Tadqiqotda jarayon parametrlarini harorat, vakuum bosimi, vaqt va muz kristallari hajmini real vaqtda kuzatish va boshqarishning samarali usullari ko‘rib chiqiladi. Shuningdek, avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimlari va energiya tejamkor texnologiyalar orqali mahsulot sifatini maksimal darajada saqlash imkoniyatlari muhokama qilinadi. Natijalar shuni ko‘rsatadiki, optimal parametrlarni tanlash va jarayonni ilmiy asosda boshqarish meva va sabzavotlarning rang, tuzilma, ta’m va reydratsiya qobiliyatini saqlashda muhim ahamiyatga ega.

Kalit so‘zlar. Sublimatsion quritish, jarayon nazorati, optimallashtirish, mahsulot sifati, avtomatlashtirilgan boshqaruv.

Annotation. This article analyzes the control and optimization methods of freeze-drying (sublimation) process for fruits and vegetables. The study focuses on effective methods for monitoring and controlling process parameters such as temperature, vacuum pressure, time, and ice crystal size in real-time. The discussion also includes automated control systems and energy-efficient technologies to maximize product quality. Results indicate that selecting optimal parameters and scientifically managing the process is crucial for maintaining color, texture, flavor, and rehydration ability of fruits and vegetables.

Key words. Freeze-drying, process control, optimization, product quality, automated control.

Аннотация. В данной статье рассматриваются методы контроля и оптимизации процесса сублимационной сушки фруктов и овощей. Исследование посвящено эффективным методам мониторинга и управления параметрами процесса, такими как температура, вакуумное давление, время и размер кристаллов льда в режиме реального времени. Обсуждаются автоматизированные системы управления и энергосберегающие технологии для максимального сохранения качества продукции. Результаты показывают, что выбор оптимальных параметров и научное управление процессом имеют ключевое значение для сохранения цвета, структуры, вкуса и способности к регидратации фруктов и овощей.

Ключевые слова: Сублимационная сушка, контроль процесса, оптимизация, качество продукции, автоматизированное управление.

ISSN 3030-3907

Kirish.

Meva va sabzavotlarni saqlash va ularning sifatini maksimal darajada ushlab qolish masalasi oziq-ovqat sanoati va qishloq xo‘jaligi sohasida dolzarb muammolardan biridir. An’anaviy quritish usullari konvektiv, infraqizil yoki issiqlik bilan ishlov berish texnologiyalari ko‘pincha mahsulotning tabiiy rangini, tuzilmasini, ta’mini va vitamin miqdorini yo‘qotishiga olib keladi. Shu sababli, yuqori sifatli, uzoq muddat saqlanishga yaroqli mahsulotlar ishlab chiqarish uchun zamonaviy va samarali texnologiyalarni joriy etish zarurati yuzaga keladi. Sublimatsiya asosida quritish (yoki muzlatilgan holda quritish) texnologiyasi aynan shu muammolarga yechim sifatida paydo bo‘ldi. Ushbu jarayonda mahsulotdagi suv muz holatidan to‘g‘ridan-to‘g‘ri bug‘ga aylanadi, suyuqlik bosqichi chetlab o‘tadi. Natijada, mahsulotning tabiiy shakli, rangi, ta’mi va ozuqaviy qiymati deyarli saqlanadi. Sublimatsiya jarayoni past harorat va past bosim sharoitida amalga oshiriladi, bu esa issiqlikka sezgir mahsulotlar, xususan meva va sabzavotlar uchun juda qulay. Shu bilan birga, jarayonning murakkabligi va energiya sarfi yuqori bo‘lishi sababli, jarayon parametrlarini optimallashtirish va boshqarish masalalari tadqiqotning markaziy yo‘nalishlariga aylanadi. Sublimatsion quritishning nazorat va optimallashtirish metodlari nafaqat mahsulot sifatini saqlash, balki energiya tejamkorligini oshirish, ishlab chiqarish samaradorligini yaxshilash va ishlab chiqarish xarajatlarini kamaytirishda ham muhim ahamiyatga ega. Jarayon parametrlarini harorat, bosim, sublimatsiya vaqti va muz kristallari o‘lchami avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimi yordamida nazorat qilish orqali mahsulot sifati barqaror saqlanadi. Shu bilan birga, tadqiqotlar sublimatsion quritish jarayonida energiya samaradorligini oshirish va mahsulotning organoleptik va ozuqaviy xususiyatlarini maksimal darajada saqlash imkoniyatlarini ko‘rsatadi. Mazkur maqolada meva va sabzavotlarni sublimatsiya usulida quritish jarayonini nazorat qilish va optimallashtirish metodlari, jarayon parametrlarini boshqarish usullari, avtomatlashtirilgan tizimlar va ularning samaradorligi tahlil qilinadi. Shu bilan birga, ilmiy asosda ishlab chiqilgan optimal boshqaruv rejimlari va tajriba natijalari orqali energiya tejamkor va sifatli quritish texnologiyasini yaratish imkoniyatlari muhokama qilinadi. Ushbu tadqiqot nafaqat ilmiy-amaliy ahamiyatga ega, balki oziq-ovqat sanoatining innovatsion rivojlanishi va eksport salohiyatini oshirishga ham xizmat qiladi.

Adabiyotlar tahlili. Meva va sabzavotlarni sublimatsiya asosida quritish texnologiyasi so‘nggi yillarda oziq-ovqat sanoatida muhim ilmiy va amaliy yo‘nalishlardan biri bo‘lib, bu borada bir qator xorijiy va mahalliy tadqiqotchilar tomonidan izlanishlar olib borilgan. Sublimatsion quritishning asosiy afzalligi mahsulotdagi biologik faol moddalarni, vitaminlar va minerallarni saqlagan holda, uzoq muddatli saqlash imkonini berishdir [1]. Sublimatsiya jarayoni mahsulotdagi

ISSN 3030-3907

suvni muz holatidan to‘g‘ridan-to‘g‘ri bug‘ga aylantiradi, suyuqlik bosqichi chetlab o‘tadi. Natijada, mahsulot o‘zining tabiiy shakli, rangi va ta’mini deyarli yo‘qotmaydi [2]. Shu bilan birga, past harorat va past bosim sharoitida amalga oshiriladigan sublimatsion quritish issiqlikka sezgir mahsulotlar, xususan meva va sabzavotlar uchun eng maqbul usul hisoblanadi [3]. Jarayon parametrlarini avtomatik boshqarish mahsulot sifatini saqlash va energiya samaradorligini oshirishning eng muhim omillaridan biridir. Harorat, vakuum bosimi, vaqt, issiqlik oqimi va muz kristallari o‘lchamini nazorat qiluvchi tizimlar mahsulotning ichki tuzilmasini saqlashda va deformatsiyalarning oldini olishda katta rol o‘ynaydi [4]. Vakuumli tizimlar, issiqlik almashinuv mexanizmlari va sensor texnologiyalarining takomillashtirilgan modellaridan foydalanish energiya sarfini sezilarli darajada kamaytiradi va jarayon samaradorligini oshiradi [5]. Sublimatsion quritish an’anaviy konvektiv yoki infraqizil usullarga nisbatan 20–30% yuqori samaradorlikka ega ekanligi ko‘plab tadqiqotlarda qayd etilgan. Shu bilan birga, quritilgan mahsulotlarning qayta namlanish (reydratsiya) qobiliyati yuqori bo‘lib, ularni qayta ishlash jarayonida sifatini saqlash imkonini beradi [6]. Tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, jarayon parametrlarini optimallashtirish va avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimini joriy etish mahsulot sifatini maksimal darajada saqlash va energiya sarfini kamaytirishda muhim ahamiyatga ega [7]. Shu sababli, meva va sabzavotlarni sublimatsiya asosida quritish texnologiyasida energiya samaradorligi va mahsulot sifati o‘rtasidagi muvozanatni ta’minlash, qurilma parametrlarini takomillashtirish va jarayonni optimallashtirish tadqiqotning asosiy yo‘nalishlari hisoblanadi.

Materiallar va usullar. Ushbu tadqiqotda meva va sabzavotlarni sublimatsiya asosida quritish jarayonini tahlil qilish va optimallashtirishga qaratilgan eksperimental ishlar olib borildi. Tadqiqot materiali sifatida olma, nok, sabzi va brokkoli tanlandi, chunki ular turli suv miqdori, tarkibiy xususiyatlar va issiqlikka sezgirlik darajalariga ega. Har bir mahsulot namunasi toza, shikastlanmagan va yetarli darajada pishgan holda tanlab olindi. Quritish jarayoniga tayyorgarlik sifatida mahsulotlar −40°C gacha muzlatildi, so‘ngra vakuumli sublimatsion quritish kameralariga joylashtirildi. Tajriba jarayonida ishlatilgan qurilma avtomatik boshqaruv tizimi bilan jihozlangan bo‘lib, unda harorat, bosim va vaqt parametrlarini real vaqtda kuzatish va sozlash imkoniyati mavjud edi. Quritish jarayonida vakuum bosimi 0,05–0,1 Pa oralig‘ida saqlandi, harorat esa 20–40°C darajasida o‘zgartirildi. Har bir mahsulot turining quritilishi davomiyligi, energiya sarfi, shuningdek yakuniy quritilgan mahsulotning rang, tuzilma, ta’m va reydratsiya qobiliyati o‘lchandi. Shu bilan birga, mahsulotlarning quruq moddalar miqdori va organoleptik xususiyatlari ham baholandi. Tajriba davomida har bir parametrning mahsulot sifati va energiya sarfiga ta’siri tahlil

ISSN 3030-3907

qilindi, natijada optimal sublimatsiya sharoitlari aniqlanib, qurilma parametrlarini takomillashtirish uchun ilmiy asos yaratildi. Shu yo‘l bilan tadqiqot natijalari asosida energiya samaradorligi yuqori va mahsulot sifatini maksimal darajada saqlaydigan sublimatsion quritish texnologiyasi ishlab chiqildi, bunda har bir mahsulot turiga mos individual boshqaruv rejimlari joriy etildi va natijalar tajriba jarayonida qayta tekshirildi.

1-Jadval.

Sublimatsiya jarayonining asosiy parametrlarining tavsifi

Mahsulot turi	Boshlang‘ich harorat (°C)	Vakuum bosimi (Pa)	Sublimatsiya vaqti (soat)	Optimal quritish harorati (°C)	Natija (sifat va reydratsiya)
Olma	-40	0,05	18	22	Rang va yumshoqlik saqlangan, yuqori reydratsiya
Nok	-40	0,06	20	23	Tabiiy ta’m saqlangan, yuqori reydratsiya
Sabzi	-38	0,07	22	32	Tuzilma va mikroelementlar saqlangan
Brokkoli	-38	0,08	24	34	Vitaminlar saqlangan, qattiqligi mos

1- Jadval mahsulotlar uchun sublimatsiya jarayonining asosiy parametrlarini boshlang‘ich harorat, vakuum bosimi, sublimatsiya vaqti va optimal quritish haroratini ko‘rsatadi. Ushbu parametrlar mahsulot sifatiga, energiya sarfiga va quritish samaradorligiga bevosita ta’sir qilishi sababli, jadval tadqiqotning eksperimental qismi sifatida muhim ahamiyatga ega. Jadval yordamida har bir mahsulot turi uchun optimal boshqaruv rejimini aniqlash va jarayonni takomillashtirish imkoniyati mavjud.

ISSN 3030-3907

2-Jadval.

Quritilgan mahsulotlarning sifat ko‘rsatkichlari

Mahsulot turi	Rangni saqlash (%)	Ta’m sifati (%)	Rehydratsiya qobiliyati (%)	Quruq moddalar miqdori (%)	Umumiy baho (5 ballik)
Olma	95	90	92	88	4,8
Nok	93	88	90	86	4,6
Sabzi	90	85	88	84	4,3
Brokkoli	88	83	85	82	4,1

2- Jadval esa quritilgan mahsulotlarning sifat ko‘rsatkichlarini rangni saqlash, ta’m sifati, qayta namlanish (rehydratsiya) qobiliyati, quruq moddalar miqdori va umumiy bahoni aks ettiradi. Ushbu jadval mahsulot sifatini baholash va jarayon parametrlarini mahsulot sifati bilan bog‘lashga yordam beradi. Natijalar shuni ko‘rsatadiki, optimal sublimatsiya sharoitlarini tanlash va boshqarish mahsulot sifatini maksimal darajada saqlash va energiya samaradorligini oshirish imkonini beradi.

Tadqiqot muhokamasi. Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatdiki, meva va sabzavotlarni sublimatsiya asosida quritish jarayonida jarayon parametrlarini optimallashtirish mahsulot sifatiga bevosita ta’sir ko‘rsatadi. Tajribalar davomida harorat, vakuum bosimi va sublimatsiya vaqti o‘zgarishi mahsulotlarning rang, tuzilma, ta’m va ozuqaviy qiymatiga sezilarli ta’sir qilgani aniqlangan. Masalan, olma va nokning sublimatsiyasi past harorat (20–25°C) va past bosim (0,05–0,07 Pa) sharoitida amalga oshirilganda, mahsulotning tabiiy rangi, yumshoqligi va reydratsiya qobiliyati maksimal darajada saqlangan. Shu bilan birga, sabzi va brokkoli kabi sabzavotlar biroz yuqoriroq haroratlarda (30–35°C) va ozroq uzaytirilgan vaqt davomida sublimatsiya qilinsa, ularning tuzilmasi, qattiqligi va vitaminlar miqdori yuqori darajada saqlangan. Avtomatik boshqaruv tizimi orqali jarayon parametrlarini real vaqtda kuzatish va sozlash energiya sarfini sezilarli darajada kamaytirganini ko‘rsatdi. Tadqiqot natijalariga ko‘ra, takomillashtirilgan qurilma modeli an’anaviy quritish usullariga nisbatan 20–25% energiya tejamkorligini ta’minlaydi. Shu bilan birga, quritish jarayoni davomida mahsulotlarning ichki strukturasida deformatsiyalar minimal bo‘lib, bu ularni qayta ishlash va iste’molga tayyorlash jarayonida sifatni saqlash imkonini beradi. Shuningdek, tajribalar sublimatsion quritish jarayonida muz kristallari hajmi va harorat-bosim kombinatsiyasining mahsulot sifati bilan bevosita bog‘liqligini ko‘rsatdi. Katta kristallarga ega mahsulotlar quritishda yumshoqlik va elastiklikni yo‘qotadi, kichik kristallarga ega mahsulotlar esa tabiiy tuzilmani saqlaydi. Shu sababli, jarayonni optimallashtirish va har bir mahsulot turi uchun individual boshqaruv rejimini ishlab chiqish juda muhimligi aniqlanadi. Natijalar shuni

ISSN 3030-3907

ko‘rsatadiki, sublimatsion quritish jarayonida energiya samaradorligini oshirish va mahsulot sifatini maksimal darajada saqlash uchun avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimlari va optimal parametrlar majmuasidan foydalanish zarur. Tadqiqot davomida olingan ma’lumotlar asosida ishlab chiqilgan takomillashtirilgan qurilma modeli nafaqat ilmiy-amaliy jihatdan, balki sanoat ishlab chiqarish jarayonida ham yuqori samaradorlikka ega ekanligi tasdiqlandi. Shu bilan birga, ushbu tadqiqot natijalari meva va sabzavotlarni sublimatsiya asosida quritish texnologiyasini yanada rivojlantirish, energiya sarfini kamaytirish va mahsulot sifatini saqlash yo‘nalishida muhim ilmiy asos yaratdi. Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatdiki, meva va sabzavotlarni sublimatsiya asosida quritish jarayonida jarayon parametrlarini aniqlik bilan boshqarish mahsulot sifatiga sezilarli ta’sir ko‘rsatadi. Tajribalar davomida harorat, vakuum bosimi va sublimatsiya vaqti mahsulotlarning rang, tuzilma, ta’m va ozuqaviy qiymatini saqlashda muhim omillar ekanligi aniqlangan. Masalan, olma va nokning sublimatsiyasi past harorat (20–25°C) va past bosim (0,05–0,07 Pa) sharoitida amalga oshirilganda, mahsulotning tabiiy rangi, yumshoqligi va reydratsiya qobiliyati maksimal darajada saqlangan. Shu bilan birga, sabzi va brokkoli biroz yuqoriroq haroratlarda (30–35°C) va uzaytirilgan vaqt davomida quritilganda, ularning tuzilmasi, qattiqligi va vitaminlar miqdori yuqori darajada saqlangan.

Xulosa. Ushbu tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatdiki, meva va sabzavotlarni sublimatsiya asosida quritish jarayonini optimallashtirish va jarayon parametrlarini boshqarish mahsulot sifatini saqlash, energiya sarfini kamaytirish va quritish samaradorligini oshirishda muhim ahamiyatga ega. Tadqiqot davomida harorat, vakuum bosimi, sublimatsiya vaqti va muz kristallari hajmi kabi parametrlarni aniqlik bilan boshqarish mahsulotning tabiiy rangi, tuzilmasi, ta’mi va vitaminlar miqdorini maksimal darajada saqlash imkonini berdi. Avtomatik boshqaruv tizimi yordamida qurilma energiya samaradorligini an’anaviy usullarga nisbatan 20–25% oshiradi va mahsulot ichki strukturasidagi deformatsiyalarni minimal darajada ushlab turadi. Shu bilan birga, har bir meva va sabzavot turiga mos individual boshqaruv rejimlarini joriy etish orqali qayta namlanish qobiliyati yuqori bo‘lgan sifatli quritilgan mahsulotlar olish mumkin. Natijalar shuni ko‘rsatadiki, takomillashtirilgan sublimatsion quritish texnologiyasi nafaqat ilmiy-amaliy ahamiyatga ega, balki oziq-ovqat sanoatida energiya tejamkor va sifatli mahsulot ishlab chiqarish imkoniyatlarini kengaytiradi. Shu asosda, meva va sabzavotlarni sublimatsiya asosida quritish jarayonlarini yanada takomillashtirish va avtomatlashtirish yo‘nalishidagi tadqiqotlar davom ettirilishi tavsiya etiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. Krokida, M. K., & Philippopoulos, C. (2019). Drying Technology in Food Engineering. CRC Press.

ISSN 3030-3907

2. Rahman, M. S. (2021). Handbook of Food Preservation. Academic Press.
3. Mujumdar, A. S. (2020). Principles, Classification, and Selection of Dryers. Springer.
4. Aghbashlo, M., et al. (2022). "Intelligent control systems for freeze-drying processes in food industry." Journal of Food Engineering, 321, 110950.
5. Barresi, A. A., et al. (2020). "Optimization of freeze-drying processes for energy efficiency." Drying Technology, 38(3), 301–312.
6. Jangam, S. V., & Mujumdar, A. S. (2018). "Energy aspects in drying of foods: Review and analysis." Food and Bioproducts Processing, 106, 1–15.
7. Karimov, A., & Ergashev, B. (2023). “Sublimatsion quritish texnologiyasida energiya samaradorligini oshirish yo‘llari.” O‘zbekiston muhandislik jurnali, 4(2), 45–52.

ISSN 3030-3907