

**ТОШКЕНТ КИМЁ-ТЕХНОЛОГИЯ ИНСТИТУТИ  
ХУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ  
DSc.03/30.12.2019.Т.04.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

---

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ**

**ТАРАВАДЕ АБХИЖИТ**

**ТУТ МЕВАСИНИ ҚУРИТИШ УЧУН ИНФРАҚИЗИЛ ҚУРИЛМАНИ  
ТАКОМИЛАШТИРИШ**

**02.00.16 - Кимё технологияси ва озиқ-овқат ишлаб чиқариш жараёнлари ва  
аппаратлари (техника фанлари)**

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)  
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

**Фалсафа доктори (PhD) диссертацияси автореферати мундарижаси**  
**Оглавление автореферата диссертации доктори философии (PhD)**  
**Contents of the dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD)**

**Тараваде Абхижит**

Тут мевасини қуритиш учун инфрақизил қурилмани такомлаштириш .....3

**Tarawade Abhijit**

Improvement of the infrared equipment for drying mulberry fruits .....21

**Тараваде Абхижит**

Совершенствование инфракрасной установки для сушки плодов тутовника .....41

**Эълон қилинган ишлар рўйхати**

Список опубликованных работ

List of published works.....44

**ТОШКЕНТ КИМЁ-ТЕХНОЛОГИЯ ИНСТИТУТИ  
ХУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ  
DSc.03/30.12.2019.Т.04.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

---

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ**

**ТАРАВАДЕ АБХИЖИТ**

**ТУТ МЕВАСИНИ ҚУРИТИШ УЧУН ИНФРАҚИЗИЛ ҚУРИЛМАНИ  
ТАКОМИЛАШТИРИШ**

**02.00.16 - Кимё технологияси ва озик-овқат ишлаб чиқариш жараёнлари ва  
аппаратлари (техника фанлари)**

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)  
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2022.3.PhD/T3039 рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертация Ислон Каримов номидаги Тошкент давлат техника университетида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгаш веб-саҳифаси ([www.tdtu.uz](http://www.tdtu.uz)) ҳамда «Ziyonet» ахборот-таълим порталида ([www.ziyonet.uz](http://www.ziyonet.uz)) жойлаштирилган.

**Илмий раҳбар:** Султанова Шахноза Абдувахитовна  
техника фанлари доктори

**Расмий оппонентлар:** Каримов Икромали Тожиматович  
техника фанлари доктори, профессор  
Курбанов Жамшед Мажидович  
техника фанлари доктори, профессор

**Етақчи ташкилот:** Умумий ва ноорганик кимё институти

Диссертация ҳимояси Тошкент кимё-технология институти ҳузуридаги DSc.03/30.12.2019.T.04.01 рақамли Илмий кенгашнинг «22» 06 2023 йил соат «900» даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100011, Тошкент шаҳар, Шайхонтохур тумани, А.Навоий кўчаси, 32-уй. Тел.: (99871) 244-79-20, факс: (99871) 244-79-17; e-mail: [tkti\\_info@edu.uz](mailto:tkti_info@edu.uz). Тошкент кимё-технология институти Маъмурий биноси, 2-қават, анжуманлар зали).

Диссертация билан Тошкент кимё-технология институтининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (510 рақами билан рўйхатга олинган). Манзил: 100011, Тошкент ш., Шайхонтохур тумани, А.Навоий кўчаси 32-уй. Тел.: (99871) 244-79-20).

Диссертация автореферати 2023 йил « 10 » 06 куни тарқатилди.  
(2023 йил « 10 » 06 даги № 329 рақамли реестр баённомаси).



**С.М.Туробжонов**  
Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш раиси, т.ф.д., профессор

**Х.И.Қодиров**  
Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш илмий котиби, к.ф.д., доцент

**К.П.Серкаев**  
Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш қўшмадаги илмий семинар раиси, т.ф.д., доцент

## **КИРИШ (фалсафа доктори(PhD) диссертацияси аннотацияси)**

**Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурияти.** Жаҳонда аҳоли сонининг жадал ўсиб бориши, табиийки озиқ-овқат маҳсулотларига бўлган талабни кескин равишда ошишига олиб келмоқда. Маълумки, қишлоқ хўжалиги маҳсулотлари инсониятни озиқ-овқат билан таъминлашда асосий манбаа бўлиб хизмат қилади. Бироқ, маҳсулотларнинг озуқавий қийматини узоқ вақт давомида сақлаб қолиш, уларни йиғим давридан бошқа вақтларда ҳам истеъмол қилиниши учун ички ва ташқи бозорларга юқори сифатда етказиб бериш муҳим аҳамиятга эга ҳисобланади.

Дунёда конвектив ва инфрақизил қуритиш технологиясини оптималлаштириш бўйича илмий тадқиқотлар олиб борилмоқда. Бу борада, қуритишни жадаллаштириш, қайта ишлаш жараёнида хомашёнинг биоактив моддаларини сақлашга имкон берувчи энергиятежамкор техника ва технологияларни ишлаб чиқиш, маҳсулотларнинг бошқа сифат кўрсаткичлари каби, уларнинг иссиқлик фаоллигини ҳисобга олган ҳолда иссиқлик алмашинуви жараёнларидан оқилона фойдаланиш, экологик қуритиш қурилмаларини ишлаб чиқиш ва уларни такомиллаштириш, озиқ-овқат хомашёсини қайта ишлаш жараёнларини математик моделлаштириш ҳамда мавжуд қуритиш усулларидан оқилона фойдаланиш орқали янги турдаги юқори сифатли маҳсулотлар олишга катта эътибор қаратилмоқда.

Республикамизда қишлоқ хўжалиги маҳсулотларини етиштириш ва қайта ишлаш саноатини самарали ривожлантириш, қишлоқ ва ўрмон хўжалиги маҳсулотларини сифатли қайта ишлаш, импорт ўрнини босувчи экспортбоп озиқ-овқат ва фармацевтика маҳсулотлари ишлаб чиқаришга алоҳида эътибор қаратилиб, муайян илмий натижаларга эришилмоқда. Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегиясида «Тузилмавий ислохотларни чуқурлаштириш ва қишлоқ хўжалиги маҳсулотларини қайта ишлаш қувватларини изчил ривожлантириш, мамлакатнинг озиқ-овқат хавфсизлигини янада мустаҳкамлаш, экологик тоза, сифатли маҳсулотлар ишлаб чиқаришни кенгайтириш, ишлаб чиқариш ҳажмини ва қишлоқ хўжалигининг экспорт салоҳияти сезиларли даражада ошириш» буйича муҳим вазифалар белгилаб берилган. Бу борада, қишлоқ хўжалиги маҳсулотларини етиштириш ва қайта ишлаш саноатини самарали ривожлантириш, экспортга йўналтирилган импорт ўрнини босувчи сифатли истеъмол товарларини ишлаб чиқариш ҳамда аҳолини сифатли ва арзон нархдаги озиқ-овқат маҳсулотларини таъминлаш муҳим аҳамият касб этади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2022 йил 28 январдаги ПФ-60-сонли «Янги Ўзбекистоннинг 2022-2026 йилларга мўлжалланган ривожланиш стратегияси тўғрисида»<sup>1</sup>, Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2019 йил 23 октябрдаги ПҚ-5853-сонли «Ўзбекистон Республикаси қишлоқ хўжалигини ривожлантириш стратегиясини 2020-2030 йилларда тасдиқлаш тўғрисида»<sup>ги</sup>, 2019 йил 29 июлдаги ПҚ-4406-сонли «Қишлоқ хўжалиги маҳсулотларини чуқур қайта

<sup>1</sup> Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2022 йил 28 январдаги ПФ-60-сонли «Янги Ўзбекистоннинг 2022-2026 йилларга мўлжалланган ривожланиш стратегияси тўғрисида»<sup>ги</sup> фармони. Электрон манба: <https://lex.uz/uz/docs/5841077>.

ишлаш ва озиқ-овқат саноатини янада ривожлантириш бўйича кўшимча чоратadbирлар тўғрисида» қарорлари ҳамда ушбу фаолиятга тегишли бошқа меъёрий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга хизмат қилади.

**Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига боғлиқлиги.** Тадқиқот ишлари республика фан ва технологиялар ривожланишининг V “Қишлоқ хўжалиги, биотехнология, экология ва атроф-муҳитни муҳофаза қилиш” устувор йўналиши доирасида бажарилган.

**Муаммонинг ўрганилганлик даражаси.** Қишлоқ хўжалиги маҳсулотларини қуритишнинг самарали технологиясини ишлаб чиқиш ва жадаллаштиришга қаратилган илмий тадқиқотлар қуйидаги хорижий олимлар томонидан амалга оширилган: Y.Huo, R.K.Datta, A.K.Awasthi, I.Güven, R.P.Srivastava, J.Li, H.Chen, Y.Garnida, N.Meeso, A.S.Majumdar, T.Furuno, V.Srijesdaruk, L.G.Tabil, W.R.Daud, Z.Yapar, C.Ertekyñ, A.B.Лыков, A.C.Гинзбург, Н.И.Вавилов, П.А.Ребиндер, Б.М.Касымбаев, И.Б.Левитин, О.С.Натареев, П.Д.Лебедев, А.В.Нестеров, Б.С.Сажин, шунингдек, маҳаллий олимлардан: Н.Р.Юсупбеков, З.С.Салимов, Дж.Н.Мухиддинов, А.Ф.Сафаров, Ж.М.Курбанов, А.А.Артиков, Х.С.Нурмухамедов, К.О.Додаев, К.Т.Норкулова, Х.Ф.Джураев ва бошқалар томонидан озиқ-овқат саноати жараёнлари ва аппаратларини такомиллаштириш бўйича тадқиқотлар олиб борилган ва самарали технологиялар ишлаб чиқилган.

Шу билан биргаликда, жаҳон ҳамжамияти олимлари қуритиш технологиясини ривожлантириш ва юқори самарали ресурс ва энергиятежамкор қурилмаларни лойиҳалаш ҳамда тут меваларидан юқори сифатли маҳсулотлар олиш ва қуритиш жараёнини моделлаштиришнинг устувор йўналишлари бўйича фаол илмий тадқиқотлар олиб боришмоқда. Бироқ энергиятежамкор қуритиш қурилмаларини ишлаб чиқиш ва такомиллаштириш ҳамда тут меваларини қуритиш жараёнини математик моделлаштириш етарли даражада амалга оширилмаган.

**Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган олий таълимнинг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги.** Диссертация тадқиқоти Ислом Каримов номидаги Тошкент давлат техника университетининг илмий-тадқиқот ишлари режасига мувофиқ №С-И-19 «Доривор ўсимликларни биофаол моддаларини сақланган ҳолда қуритадиган импорт ўрнини босувчи инновацион қурилмани яратиш ва фармацевтика саноатига жорий этиш» (2019-2021 йй.) мавзусидаги илмий-амалий лойиҳаси доирасида бажарилган.

**Тадқиқотнинг мақсади** тут меваларини қуритиш учун инфрақизил қурилмани такомиллаштиришдан иборат.

**Тадқиқотнинг вазифалари:**

қуритиш жараёнини оқилона ташкил этиш ҳисобига тайёр маҳсулотнинг юқори сифатини таъминлаш мақсадида тут меваларининг хусусиятларини тадқиқ этиш;

математик ҳисоб-китобларни бажариш, жараён моделларини танлаш ва қуритиш тезлиги эгри чизиғини олиш;

қуритиш жараёнининг намлик диффузияси ва фаолланиш энергиясининг самарали коэффицентини аниқлаш;

тут меваларининг кимёвий хусусиятларини кимёвий таркиби ва доривор хусусиятларини сақлаш нуқтаи назаридан аниқлаш;

олинган тажриба натижаларини Windows операцион муҳитида замонавий Comsol Multiphysics 5.5, Solidworks, Microsoft Excel 2019 компьютер дастурлари ёрдамида қайта ишлаш;

тут меваларини қуритиш учун инфрақизил қурилмани такомиллаштириш; диссертация тадқиқотлари давомида олинган натижаларни ишлаб чиқаришга жорий этиш.

**Тадқиқотнинг объекти** сифатида оқ (*Morus alba* L.) ва қора (*Morus nigra* L.) тут мевалари олинган.

**Тадқиқотнинг предмети** инфрақизил қуритиш қурилмаси, радиацион қуритиш усулининг объект таркибига таъсири, қуритиш жараёнининг математик модели ва унинг параметрлари ташкил этган.

**Тадқиқотнинг усуллари.** Диссертация ишини бажаришда кимёвий технологиянинг назарий асосларидан фойдаланилган ҳолда тизимли таҳлил қилиш ҳамда мураккаб техник ва технологик тизимларни синтез қилиш методологияси, технологик жараён ва тизимларни математик моделлаштириш ва оптималлаштириш усулларида фойдаланилган.

**Тадқиқотнинг илмий янгилиги** қуйидагилардан иборат:

тут мевасини ИҚ-нур ёрдамида қуритишда самарали намлик диффузияси коэффициенти ҳарорат ва қувватга боғлиқ ҳолда  $2,58 \times 10^{-9} \dots 8,37 \times 10^{-9}$  м<sup>2</sup>/с оралиғида ўзгариши аниқланган;

тут мевасини қуритиш жараёни замонавий Comsol Multiphysics 5.5 дастурида ёрдамида математик моделлаштирилган;

ИҚ-қуритиш жараёнини Пейдж модели энг яхши тавсифлайди, бунда энг юқори ўртача  $R^2$  (0,99882), энг паст ўртача  $\chi^2$  ( $2,89 \times 10^{-4}$ ), RMS ( $9,86 \times 10^{-4}$ ) ҳамда фаолланиш энергияси 53,97 кж/мол эканлиги аниқланган;

тут мевасининг биологик фаол моддаларни 90-95% гача сақлаш имконини берувчи қуритиш технологияси ишлаб чиқилган.

**Тадқиқотнинг амалий натижалари** қуйидагилардан иборат:

тут меваларини қуритишда ИҚ нурланишдан фойдаланиш, қуритиш самарадорлигини сезиларли даражада ошириши (қуритиш самарадорлиги 70 °С да ортади) ҳамда Пейджнинг тақсимланиш модели турли қуритиш ҳароратларида ИҚ нурланиш ва конвекцияли қуритиш жараёнини яхши тавсифлаши аниқланган;

такомиллаштирилган қуритиш қурилмаси 70 °С қуритиш ҳароратида ва 230 Вт ИҚ нур қувватда 300 дақиқада маҳсулот таркибидаги намликни 83-91% дан 16-25% гача камайтириш қобилиятига эга эканлиги аниқланган;

қуритилган тут мевалари таркибида глутамин кислотаси 1,11 мг/г, глицин 1,06 мг/г, аспарагин 1,09 мг/г, треонин 1,70 мг/г, аланин 1,25 мг/г, валин 1,32 мг/г, гистидин 1,59 мг/г, лейцин 1,65 мг/г, фенилаланин 0,27 мг/г, рутин 15,45 мг/г, кверцитин 0,90 мг/г ва галл кислотаси 7,68 мг/г миқдорда сақланиши аниқланган;

**Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги** олинган натижалар замонавий усул ва воситалар ёрдамида амалга оширилган назарий ва экспериментал тадқиқот натижаларининг уйғунлиги, ҳамда Windows операцион муҳитида

замонавий Comsol Multiphysics 5.5, Solidworks, Microsoft Excel 2019 компьютер дастурлари ёрдамида амалга оширилганлиги билан асосланади.

**Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.** Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти юқори сифатли якуний маҳсулот олиш учун тут меваларидаги иссиқлик ва намлик алмашилиш ҳамда сувсизланиш жараёнларининг мақбул параметрларини танлашда ҳарорат таъсирини ҳисобга олган ҳолда ҳарорат параметрлари ва ИҚ нурланиш қувватининг турли хил комбинацияларида қуритиш кинетикасини ҳисоблаб чиқилганлиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти тут меваларини инфрақизил қуритишда ҳарорат ва ИҚ-нур қувватнинг мақбул параметрларини танлаш бўйича тавсиялар ишлаб чиқилганлиги, тут мевасидаги биофаол моддаларни сақлаган ҳолда юқори сифатли якуний маҳсулот олиш имконини берувчи энергиятежамкор инфрақизил қуритилма конструктив жиҳатдан такомиллаштиришга хизмат қилади.

**Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши.** Тут меваларини қуритиш учун конвектив инфрақизил қуритиш қурилмасини такомиллаштириш бўйича олинган илмий натижалар асосида:

тут меваларини қуритиш учун энергиятежамкор технологияси «Sunny Land Products» МЧЖда амалиётга жорий қилинган (Ўзбекистон озиқ-овқат саноати уюшмасининг 2023 йил 4 январдаги 04-1/01-23-сон маълумотномаси). Натижада, юқори самарали ИҚ технологиясидан фойдаланиш ҳисобига маҳсулот ишлаб чиқариш 1,1 баробарга ошириш ва хомашё йўқотилиши 12% гача камайтириш имконини берган;

тут меваларини қуритиш усули «Sunny Land Products» МЧЖда амалиётга жорий қилинган (Ўзбекистон озиқ-овқат саноати уюшмасининг 2023 йил 4 январдаги 04-1/01-23-сон маълумотномаси). Натижада, юқори самарали усулдан фойдаланиш натижасида якуний маҳсулот таркибидаги биологик фаол моддалар 90-95% гача сақлаб қолиш имконини берган;

тут меваларини қуритиш учун такомиллаштирилган инфрақизил қуритилма «Sunny Land Products» МЧЖда амалиётга жорий қилинган (Ўзбекистон озиқ-овқат саноати уюшмасининг 2023 йил 4 январдаги 04-1/01-23-сон маълумотномаси). Натижада, ИҚ нурлатгичларнинг мақбул жойлашувини тўғри танлаш ҳамда такомиллаштирилган энергиятежамкор қуритиш қурилмасини амалиётга жорий этилиши ҳисобига мавжуд технология ва қурилмаларга нисбатан 1,25 баравар кам энергия сарфлашга имкон берган.

**Тадқиқот натижаларининг апробацияси.** Тадқиқот натижалари 3 та халқаро ва 4 та республика илмий-техник анжуманларида муҳокамадан ўтказилган.

**Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги.** Диссертация мавзуси бўйича 14 та илмий иш, жумладан, 1 та монография, 6 та илмий мақола, булардан 2 та халқаро журналларда, 4 та республика журналларида чоп этилган.

**Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми.** Диссертация иши кириш, тўртта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва 10 та иловалардан иборат. Диссертациянинг асосий қисми 103 бетдан ташкил топган бўлиб, унда 54 та расм ва 37 та жадваллар келтирилган.

## ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Диссертациянинг **кириш қисмида** тадқиқот мавзусининг долзарблиги, тадқиқотнинг мақсади, объекти ва вазифалари шакллантирилган, шунингдек, тадқиқотнинг Ўзбекистон Республикаси фан ва технологиясини ривожлантиришнинг устувор йўналишларига тегишлилиги, ишнинг илмий янгилиги ва амалий натижаларининг ишончлилиги, ҳамда ушбу тадқиқот натижалари ишлаб чиқаришга жорий қилинганлиги тўғрисида маълумотлар келтирилган.

Диссертация ишининг «**Тут меваларини қуритиш усуллари ва қурилмаларининг ҳозирги ҳолати ва ривожланиш истиқболлари**» номли биринчи бобида маҳаллий хомашё асосида қуритилган доривор мева ишлаб чиқаришни ривожлантиришнинг бугунги ҳолати таҳлил қилинган ва истиқболлари очиб берилган. Шунингдек, қуритилган тут меваларини ишлаб чиқаришда мавжуд жараёнлар ва аппаратлар, қуритиш қурилмаларида содир бўладиган жараёнларни математик моделлаштириш, қуритиш қурилмаларини ҳисоблаш ва лойиҳалаш бўйича илмий адабиётлар таҳлилий кўриб чиқилган.

Мамлакатимиз агросаноатида кенг тарқалган қуритиш қурилмаларини лойиҳалаш масалалари ва қуритиш усуллариининг бугунги ҳолатига баҳо берилиб, тут меваларини қуритишнинг саноат усуллариини яратишни тақозо этувчи муаммолар мавжудлиги ҳақида хулоса қилинган. Бобнинг фактик материалларини таҳлил қилиш асосида тадқиқотнинг асосий мақсад ва вазифалари белгиланган.

Диссертация ишининг «**Инфрақизил усулда тут меваларини қуритиш жараёнини математик моделлаштириш**» номли иккинчи бобида тут мевасини қуритиш жараёнини математик моделлаштириш натижалари келтирилган.

*Намлик нисбати.* Намлик коэффициентини ( $W$ ) ҳисоблаш қуйидаги формула ёрдамида амалга оширилади

$$W = \frac{W_t - W_p}{W_n - W_p} \quad (1)$$

бу ерда  $W_n$  - тут мевасининг қуруқ асосидаги дастлабки намлик, г/г;  $W_p$  - қуритиш мувозанатида тут меваларининг қуруқ асосидаги намлик;  $W_t$  - мос равишда  $t$  қуритиш вақтида қуруқ тут асосидаги намлик.

Агарда,  $W_p$  миқдори  $W_n$  ва  $W_t$  ларга нисбатан анча кичик бўлса, у ҳолда (1) тенгламани қуйидагича соддалаштириш мумкин.

$$W = \frac{W_t}{W_n} \quad (2)$$

*Қуритиш тезлиги.* Қуритиш тезлиги ( $C$ ) материалнинг сувсизланиш тезлигини ифодалаш учун ишлатилади. Ушбу формула (3) тенгламада кўрсатилган.

$$C = \frac{W_1 - W_2}{t_1 - t_2} \quad (3)$$

бу ерда  $W_1$  ва  $W_2$  - қуритиш жараёнида  $t_1$  ва  $t_2$  бўлганда тутнинг қуруқ асосидаги намлик миқдори.

*Намликнинг самарали диффузия коэффициенти.* Намликнинг самарали диффузия коэффициенти ( $D_{эфф.}$ ) материалнинг масса ўтказувчанлигини ифодалайди. Шунингдек, у қуритиш жараёнида намликнинг тарқалиш қобилятини ёки даражасини ифодалайди ҳамда қуритиш жараёнини ҳисоблаш ва моделлаштиришда муҳим омил ҳисобланади. Секинлаштирилган қуритиш даврида маҳсулотнинг қуриш хусусиятларини Фикнинг иккинчи

диффузия тенгламаси орқали тавсифлаш мумкин. Фик тенгламасига кўра, қуритиш вақтида  $\ln W$  нинг вақтга боғлиқлиги учун (4) чизиқли тенглама материалдаги намликнинг самарали диффузия коэффициентини қуйидагича тавсифлаш учун ишлатилиши мумкин.

$$\ln W = \ln \frac{8}{\pi^2} - \frac{\pi^2 D_{\text{эфф.}} \cdot t}{L^2} \quad (4)$$

ушбу тенгламада  $t$  - қуритиш вақти, с;  $L$  - материал қалинлиги, м.

Қиялик усули самарали диффузия коэффициентини ҳисоблаш учун ишлатилади. (4) тенгламадан келиб чиқадики,  $\ln W$  вақтга нисбатан тўғри чизиқ шаклида чизилади ва чизиқнинг қиялиги (5) тенгламага мос келади.

$$\text{Қиялик} = \frac{\pi^2 D_{\text{эфф.}}}{L^2} \quad (5)$$

*Қуритишнинг фаоллашув энергияси.* Қуритишнинг фаоллашув энергияси қуритиш жараёнида бир мол буғлатиш учун зарур бўлган энергияни ифодалайди. Самарали намлик диффузия коэффициенти ва материалнинг қуритиш ҳарорати ўртасидаги боғлиқлик Аррениус тенгламаси орқали қуйидагича ифодаланиши мумкин:

$$D_{\text{эфф.}} = D_0 \exp \left[ - \frac{E_a}{R(T+273,15)} \right] \quad (6)$$

бу ерда  $D_0$  - материалдаги диффузион асос, доимий,  $\text{м}^2/\text{с}$ ;  $E_a$  - материални қуритишнинг фаолланиш энергияси,  $\text{кЖ}/\text{мол}$ ;  $R$  - қиймати  $8,314$  бўлган газнинг моляр доимийси  $\text{Ж}/(\text{мол}\cdot\text{к})$ ;  $T$  - материалнинг қуритиш ҳарорати,  $^{\circ}\text{C}$ .

Агар (6) тенгламанинг иккала томони натурал логарифмини олсак, у ҳолда қуйидагига эга бўламиз

$$\ln D_{\text{эфф.}} = \ln D_0 - \frac{E_a}{R} \cdot \frac{1}{(T+273,15)} \quad (7)$$

Самарали намлик диффузияси коэффициентининг натурал логарифми  $\ln D_{\text{эфф.}}$  (7) тенгламадаги  $\frac{1}{(T+273,15)}$  ва қиялик  $\frac{-E_a}{R}$  билан чизиқли боғлиқдир. Ҳолбуки,  $\ln D_{\text{эфф.}}$  ва  $\frac{1}{(T+273,15)}$  ўзаро боғлиқлиги маълум бўлгани учун  $E_a$  қийматини топиш учун қиялик усулидан фойдаланиш мумкин.

*Математик моделлар.* Тадқиқот натижалари 1-жадвалда келтирилган энг кўп ишлатиладиган олтига классик модель тенгламалари қуритиш тажрибалари маълумотларига мос равишда танлаб олинди.

## 1-жадвал

### Тут меваларини қуритишнинг математик моделлари

| № | Модель номи               | Модель тенгламаси                       |
|---|---------------------------|---|
| 1 | Пейдж                     | $W = \exp(-kt^n)$                       |
| 2 | Модификацияланган Пейдж   | $W = \exp(-kt)^n$                       |
| 3 | Хендерсон ва Пабис        | $W = a \exp(-kt)$                       |
| 4 | Логарифмик                | $W = a \exp(-kt) + c$                   |
| 5 | Икки каррала              | $W = a \exp(-kt_0 t) + b \exp(-kt_1 t)$ |
| 6 | Икки каррала экспоненциал | $W = a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-kat)$  |

Детерминация коэффициентининг қиймати ( $R^2$ ) экспериментал ва башорат қилинган қийматлар ўртасидаги боғлиқликни ифодалайди ва қуритиш модели тенгламаларини танлашда асосий омил ҳисобланади. Мувофиқлик даражасини тавсифлаш учун аниқланиш коэффициентидан ташқари ( $\chi^2$ ) қиймати ва квадратик

хатолар йиғиндиси (RMS) дан ҳам фойдаланиш мумкин. Бунда,  $R^2$  нинг қиймати 1 га қанчалик яқин бўлса ҳамда  $\chi^2$  ва RMS ларнинг қийматлари қанчалик паст бўлса, модель шунчалик яхши мос келади деб қабул қилиш мумкин. Ушбу статистик параметрлар (8) - (10) тенгламаларга мувофиқ ҳисобланди.

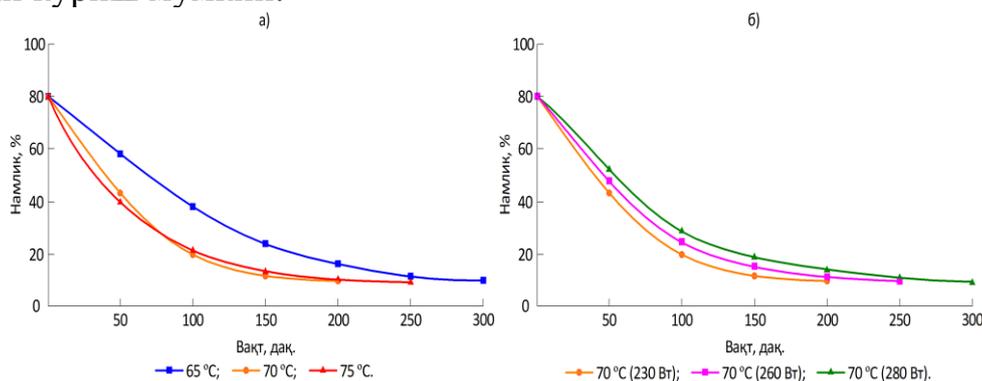
$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (W_{\text{отбор}} - W_{\text{прог.}})^2}{\sum_{i=1}^N (W_{\text{отбор}} - \bar{W}_{\text{отбор}})^2} \quad (8)$$

$$\chi^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (W_{\text{отбор}} - W_{\text{прог.}})^2}{N-n} \quad (9)$$

$$\text{RMS} = \sqrt{\sum_{i=1}^N (W_{\text{отбор}} - W_{\text{прог.}})^2} \quad (10)$$

Шундай қилиб, (8) ва (10) тенгламаларда:  $W_{\text{отбор}}$  - биринчи намуна олиш нуқтасида ўлчанган қуруқ асоснинг намлигини англатади;  $W_{\text{прог.}}$  - биринчи башорат қилиш нуқтасида қуруқ асосдаги намлик миқдорини;  $N$  - намуна олиш вақтлари сони;  $n$  - модель константалари сони.

*Тутни турли ҳароратларда ва ИҚ нурланиш қувватларида қуритиш хусусиятлари.* Турли ҳароратларда ва ИҚ нурланиш қувватида тутнинг қуритиш эгри чизиқлари ва қуритиш тезлиги эгри чизиқлари мос равишда 1 ва 2 расмларда кўрсатилган. 1-расм қуритиш ҳароратининг ошиши билан қуритиш вақти сезиларли даражада камайганлигини кўрсатади ( $p < 0,05$ ). Ҳарорат  $70^\circ\text{C}$  бўлганда тут меваларини қуритиш вақти  $65^\circ\text{C}$  га нисбатан анча қисқа эканлигини кўриш мумкин.



**1-расм. Конвектив инфрақизил қуритиш қурилмасида турли ҳароратларида (а) ва ИҚ нурланиш қувватларида (б) тут меваларини қуритишнинг эгри чизиқлари**

*Турли ҳароратларда ва қуритиш қувватларида тут меваларида намликнинг самарали диффузия коэффициенти.* 2-жадвалда тут меваларини турли синов шароитларида конвектив ИҚ қуритиш учун самарали намлик диффузияси коэффицентлари келтирилган.

**2-жадвал**

**Тут меваларини турли қуритиш шароитларида олинган самарали диффузия коэффицентлари**

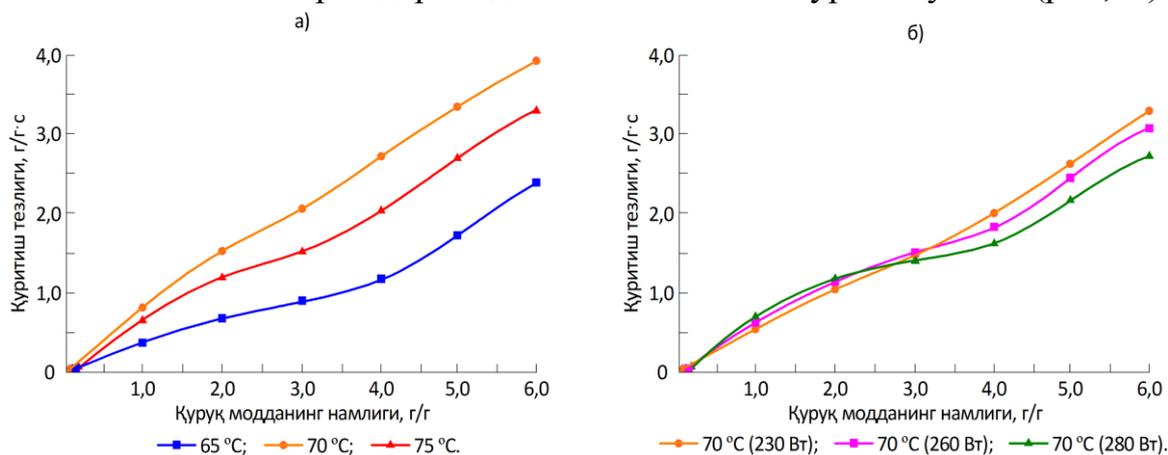
| Қуритиш шароити               | Чизикли регрессия тенгламаси                    | $R^2$ | $(D_{\text{эфф.}} \times 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с})$ |
|-------------------------------|---|-------|---|
| $65^\circ\text{C}$ , (230 Вт) | $\ln MR = -1,17 \times 10^{-4} \cdot t - 0,097$ | 0,983 | 4,17  |
| $70^\circ\text{C}$ , (230 Вт) | $\ln MR = -2,53 \times 10^{-4} \cdot t - 0,118$ | 0,985 | 5,69  |
| $75^\circ\text{C}$ , (230 Вт) | $\ln MR = -3,69 \times 10^{-4} \cdot t - 0,115$ | 0,983 | 5,51  |
| $70^\circ\text{C}$ , (260 Вт) | $\ln MR = -2,32 \times 10^{-4} \cdot t - 0,124$ | 0,981 | 5,29  |
| $70^\circ\text{C}$ , (280 Вт) | $\ln MR = -2,48 \times 10^{-4} \cdot t - 0,185$ | 0,973 | 5,57  |

2-жадвалда қуритиш ҳарорати самарали намлик диффузия коэффициентига сезиларли таъсир кўрсатади, яъни конвектив қуритиш ҳарорати ошиши билан қуритиш ҳарорати мос равишда ортади. Намуналарда намликнинг самарали диффузия коэффициенти 65 °C да  $4,17 \times 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с}$  дан 70 °C да  $5,69 \times 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с}$  гача ошди ва 70 °C, (280 Вт) да  $5,57 \times 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с}$  максимал қийматга етди.

Бу эса ҳароратнинг ошиши тут меваларида намликнинг самарали диффузия коэффициентининг ошишига сезиларли таъсир кўрсатганлигини кўрсатади. Шундай экан, сифатни таъминлаш асосида ишлаб чиқариш ҳароратини ошириш орқали ишлаб чиқариш самарадорлигини ошириш мумкин. Қуритиш қувватини ўзгартириш орқали қуритилаётган намуналардаги намликнинг самарали диффузия коэффициенти ўзгариши ҳарорат ўзгаришидан камроқ бўлади: 230 Вт ИҚ нурланиш қувватида  $4,17 \times 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с}$  да энг паст кўрсаткичга эришди.

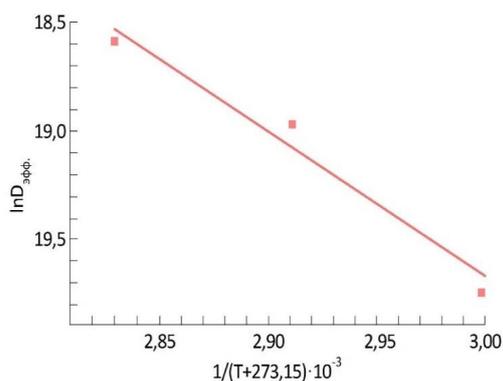
Олиб борилган тадқиқот натижалари шуни кўрсатадики, конвектив ИҚ қуритишда материалга максимал даражада кириб борадиган ИҚ нурланиш, унинг ички массасини ичкаридан ташқарига ўтказиш йўналишини ўзгартириши мумкин. Бунда намликнинг самарали диффузия коэффициенти ошади ва тут меваларининг сувсизланиш даражаси бошқа қуритиш усуллариغا нисбатан юқори бўлади.

2-расмда қуритишнинг дастлабки босқичларида ИҚ қувватнинг ошиши билан қуритиш тезлиги сезиларли даражада пасайганлигини кўриш мумкин ( $p < 0,05$ ).



**2-расм. Конвектив инфрақизил қуритиш қурилмасида турли ҳароратларида (а) ва ИҚ нурланиш қувватларида (б) тут меваларини қуритиш тезлигининг эгри чизиқлари**

Тут меваларини конвектив-инфрақизил қуритишнинг фаолланиш энергияси. Тут меваларини конвектив-ИҚ қуритиш вақтида қуритиш ҳарорати (ИҚ нурланиш кучи 230 Вт да белгиланган) ва намликнинг самарали диффузия коэффициенти ўртасидаги боғлиқлик 3-расмда кўрсатилган. (7) тенгламадаги чизиқли регрессия қиялиги  $E_a$  дан тут мевасини қуритиш учун фаолланиш энергияси 53,97 кж/мол эканлиги келиб чиқади.



$T$  - қуритиш ҳарорати, °C;  
 $D_{эфф.}$  - намликнинг самарали  
 диффузия коэффициентини, м<sup>2</sup>/с.  
**3-расм. Намликнинг самарали  
 диффузия коэффициентига  
 боғлиқ бўлган конвектив ИҚ  
 қуритиш ҳарорати**

Қуритиш кинетикаси моделини танлаш. Қуйдаги 3-жадвалда тут меваларини қуритиш жараёнини ҳисоблаш натижалари келтирилган. Пейдж модели энг юқори ўртача  $R^2$  (0,99882) ва энг паст ўртача  $\chi^2$  ва RMS ( $2.89 \times 10^{-4}$ ,  $9.86 \times 10^{-4}$ ) га эга бўлиб, бу эса Пейдж модели ушбу тадқиқот ишига энг яхши мос келишини кўрсатади.

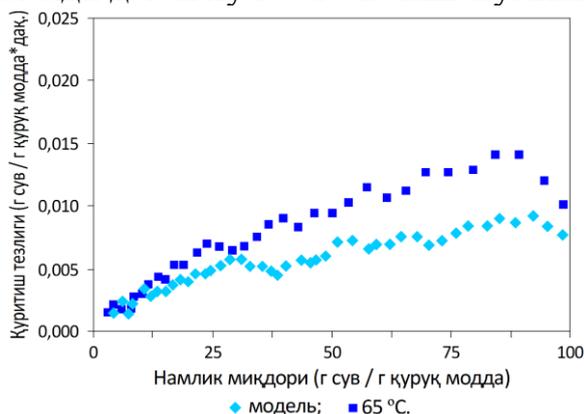
**3-жадвал**

**Турли хил конвектив-ИҚ қуритиш шароитларида тут мевасини қуритиш моделлари**

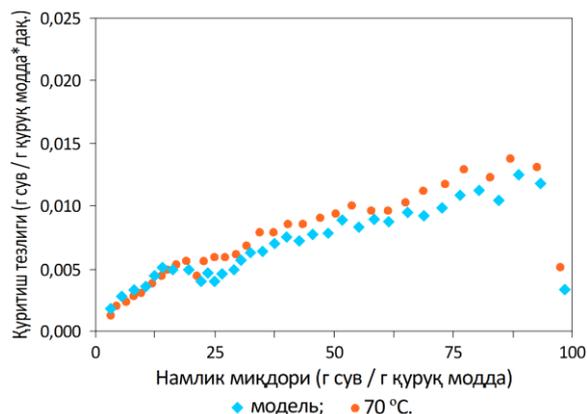
| Моделларнинг номланиши    | Қуритиш шароити | $R^2$   | $\chi^2$              | RMS                   |
|---------------------------|-----------------|---------|-----------------------|-----------------------|
| Пейдж                     | 65 °C (230 Вт)  | 0,99537 | $3,92 \times 10^{-4}$ | 0,00744               |
|                           | 70 °C (230 Вт)  | 0,99882 | $2,89 \times 10^{-4}$ | $9,86 \times 10^{-4}$ |
|                           | 75 °C (230 Вт)  | 0,99712 | $1,41 \times 10^{-4}$ | 0,00318               |
|                           | (70 °C 260 Вт)  | 0,99791 | $1,82 \times 10^{-4}$ | 0,002                 |
|                           | (70 °C 280 Вт)  | 0,99141 | $8,49 \times 10^{-4}$ | 0,00934               |
| Модификацияланган Пейдж   | 65 °C (230 Вт)  | 0,99463 | $4,54 \times 10^{-4}$ | 0,0864                |
|                           | 70 °C (230 Вт)  | 0,99387 | $6,13 \times 10^{-4}$ | 0,00675               |
|                           | 75 °C (230 Вт)  | 0,99428 | $6,81 \times 10^{-4}$ | 0,00477               |
|                           | (70 °C 260 Вт)  | 0,99592 | $1,82 \times 10^{-4}$ | 0,002                 |
|                           | (70 °C 280 Вт)  | 0,99137 | $8,49 \times 10^{-4}$ | 0,00934               |
| Хендерсон ва Пабис        | 65 °C (230 Вт)  | 0,99464 | $4,54 \times 10^{-4}$ | 0,00863               |
|                           | 70 °C (230 Вт)  | 0,9942  | $5,80 \times 10^{-4}$ | 0,00638               |
|                           | 75 °C (230 Вт)  | 0,99467 | $6,35 \times 10^{-4}$ | 0,00445               |
|                           | (70 °C 260 Вт)  | 0,99591 | $3,55 \times 10^{-4}$ | 0,0039                |
|                           | (70 °C 280 Вт)  | 0,9905  | $9,37 \times 10^{-4}$ | 0,0103                |
| Логарифмик                | 65 °C (230 Вт)  | 0,99675 | $2,76 \times 10^{-4}$ | 0,00496               |
|                           | 70 °C (230 Вт)  | 0,99552 | $4,48 \times 10^{-4}$ | 0,00448               |
|                           | 75 °C (230 Вт)  | 0,99591 | $4,88 \times 10^{-4}$ | 0,00292               |
|                           | (70 °C 260 Вт)  | 0,99568 | $3,77 \times 10^{-4}$ | 0,00377               |
|                           | (70 °C 280 Вт)  | 0,99299 | $6,90 \times 10^{-4}$ | 0,0069                |
| Икки каррали              | 65 °C (230 Вт)  | 0,99401 | $5,08 \times 10^{-4}$ | 0,00863               |
|                           | 70 °C (230 Вт)  | 0,99292 | $7,09 \times 10^{-4}$ | 0,00638               |
|                           | 75 °C (230 Вт)  | 0,99253 | $8,89 \times 10^{-4}$ | 0,00445               |
|                           | (70 °C 260 Вт)  | 0,99488 | $9,80 \times 10^{-4}$ | 0,00821               |
|                           | (70 °C 280 Вт)  | 0,98536 | $6,00 \times 10^{-4}$ | 0,01031               |
| Икки каррали экспоненциал | 65 °C (230 Вт)  | 0,99593 | $3,45 \times 10^{-4}$ | 0,00655               |
|                           | 70 °C (230 Вт)  | 0,99529 | $2,71 \times 10^{-4}$ | 0,00298               |
|                           | 75 °C (230 Вт)  | 0,9826  | $1,4 \times 10^{-4}$  | 0,00979               |
|                           | (70 °C 260 Вт)  | 0,99599 | $8,82 \times 10^{-4}$ | 0,00821               |
|                           | (70 °C 280 Вт)  | 0,99142 | $8,45 \times 10^{-4}$ | 0,00845               |

Диссертация ишининг «Қуритилган тут меваларининг физик-кимёвий хусусиятлари экспериментал тадқиқотлари ва лаборатория таҳлиллари» номли учинчи бобида қуритилган тут меваларини экспериментал ва лаборатория тадқиқоти натижалари келтирилган.

Намликнинг қуритиши тезлигига боғлиқ ҳолда ўзгариши. Қуйидаги 4-6 расмларда (1) тенглама бўйича ҳисобланган намлик коэффиценти қийматларига мос равишда қуритиш тезлиги қийматларининг ўзгаришини кўриш мумкин. Ушбу графикларга асосланиб, қуритиш ҳавосининг ҳарорати ошиши билан қуритиш тезлиги ошади ва натижада намлик миқдори аста-секин камаяди деган хулосага келиш мумкин.

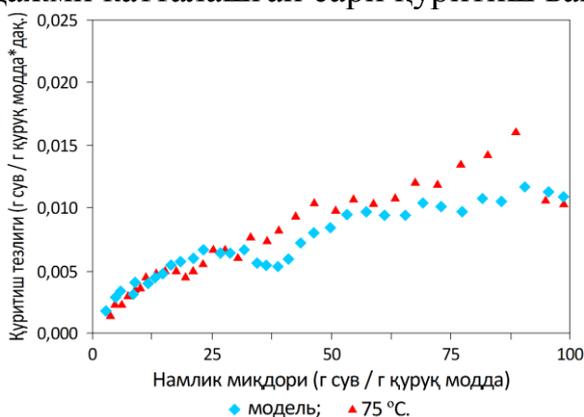


**4-расм. 65 °C да қуритилган тут меваларини қуритиш тезлигининг намликка боғлиқ ҳолда ўзгариши**



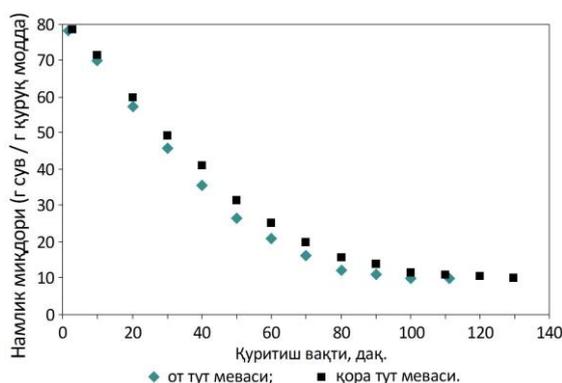
**5-расм. 70 °C да қуритилган тут меваларини қуритиш тезлигининг намликка боғлиқ ҳолда ўзгариши**

Натижада, оқ тут меваси намуналари учун сирт майдони камайиши билан мос равишда қуритиш вақти қисқариши кузатилди. Мисол тариқасида 6-расмда 75 °C ҳароратда оқ ва қора тут меваси намуналари намлигининг қуритиш вақтига боғлиқлик графиги кўрсатилган. Адабиётлар таҳлили натижаларига кўра, намуна ҳажми катталашган сари қуритиш вақти ортиб бориши қайд этилган.



**6-расм 75 °C да қуритилган тут меваларини қуритиш тезлигининг намликка боғлиқ ҳолда ўзгариши**

Оқ ва қора тут меваларини қуритиш бўйича экспериментал маълумотлар чизиқли бўлмаган регрессия таҳлили ёрдамида математик моделлаштириш орқали олинган намлик миқдори ва қуритиш вақти эгри чизиқлари билан таққосланди. 1-жадвалда берилган математик моделлар ёрдамида олинган регрессия коэффицентлари ( $R^2$ ), ( $\chi^2$ ) ва квадратик хатоларнинг тахминий йиғиндиси (RMS) ҳисоблаб чиқилган ва 4-жадвалда батафсил келтирилган.



**7-расм. 70 °С да қуритилган оқ ва қора тут намуналари намлигининг қуритиш вақтига боғлиқ ҳолда ўзгариши**

Тенгламанинг мослигини аниқлаш учун  $R^2$  нинг энг юқори,  $\chi^2$  нинг энг кичик ва RMS қийматлари текширилади. Бунда, регрессия коэффициенти маҳсулотларнинг қуриш эгри чизиқларини тавсифловчи энг яхши моделни аниқлаш имконини беради. Квадратик хатолар йиғиндиси (RMS) математик модель томонидан олинган қийматлар ва экспериментал қийматлар ўртасидаги мутаносибликни кўрсатади.

#### 4-жадвал

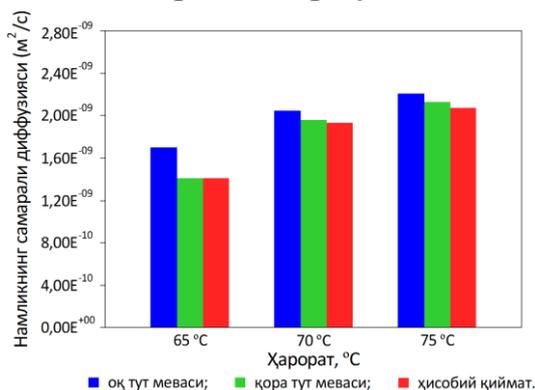
**Тут мевалари учун ҳисобланган статистик маълумотлар**

| Қуритиш ҳарорати | Модель                    | $R^2$  | $\chi^2$ | RMS      |
|------------------|---------------------------|--------|----------|----------|
| 65 °С            | Пейдж                     | 0,9896 | 0,000162 | 0,005350 |
|                  | Модификацияланган Пейдж   | 0,9853 | 0,000355 | 0,065276 |
|                  | Хендерсон ва Пабис        | 0,9882 | 0,000018 | 0,062612 |
|                  | Логарифмик                | 0,9799 | 0,000042 | 0,027125 |
|                  | Икки каррали              | 0,9892 | 0,000037 | 0,029292 |
|                  | Икки каррали экспоненциал | 0,9888 | 0,000115 | 0,050341 |
| 70 °С            | Пейдж                     | 0,9954 | 0,002748 | 0,012609 |
|                  | Модификацияланган Пейдж   | 0,9913 | 0,001476 | 0,080652 |
|                  | Хендерсон ва Пабис        | 0,9903 | 0,000442 | 0,024257 |
|                  | Логарифмик                | 0,9898 | 0,000057 | 0,034874 |
|                  | Икки каррали              | 0,9912 | 0,000313 | 0,064854 |
|                  | Икки каррали экспоненциал | 0,9893 | 0,000063 | 0,035937 |
| 75 °С            | Пейдж                     | 0,9815 | 0,001717 | 0,166649 |
|                  | Модификацияланган Пейдж   | 0,9869 | 0,001277 | 0,177182 |
|                  | Хендерсон ва Пабис        | 0,9990 | 0,005111 | 0,263803 |
|                  | Логарифмик                | 0,9998 | 0,000010 | 0,263190 |
|                  | Икки каррали              | 0,9997 | 0,005390 | 0,032990 |
|                  | Икки каррали экспоненциал | 0,9981 | 0,000181 | 0,048546 |

Икки намунага татбиқ этилган 6 та қуриш моделларининг натижаларини ўрганиш вақтида  $R^2$  нинг энг юқори қийматлари ва RMS ҳамда  $\chi^2$  нинг энг кичик қийматлари Пейдж моделига энг яқин эканлиги аниқланди. Шунинг учун ушбу модель тут меваларини қуриш модели учун энг мос келади деб хулоса қилинди.

*Диффузия коэффицентини ҳисоблаш натижалари.* Самарали диффузия коэффицентининг қийматлари (6) тенглама ёрдамида ҳисобланган. Қуриш ҳарорати ошиши билан  $D_{эфф.}$  қийматлари мос равишда ошиб бориши кузатилди. Намуналар юқори ҳароратда қуришганда, кўтарилган иссиқлик энергияси сув молекулаларининг фаоллигини оширади ва натижада диффузия кучаяди. Қуйидаги 8-расмдан диффузия коэффицентлари ҳарорат ошиши билан ортиб боришини

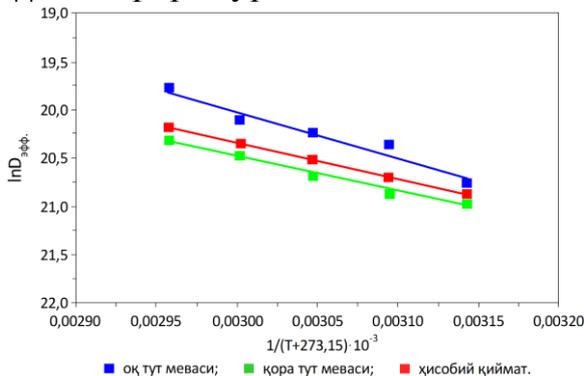
кўриши мумкин, чунки юқори ҳароратларда тут меваларидаги намликнинг бугланиши тезроқ содир бўлади.



**8-расм. Турли ҳароратларда қуритилган тут меваларининг самарали диффузия коэффицентлари**

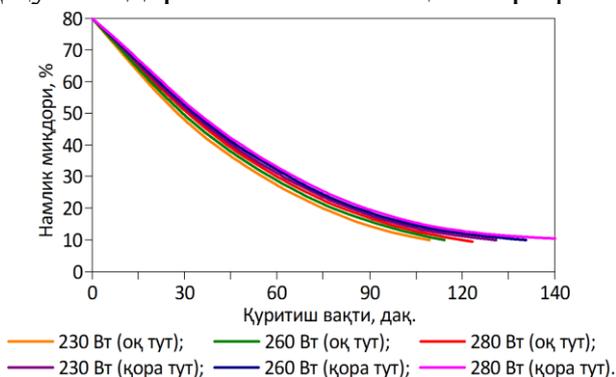
Агарда, тут меваларининг ҳар икки намуналарини  $D_{эфф.}$  қийматлари бўйича такқосласак, у ҳолда номинал ҳароратда оқ тут мевалари қора тут меваларидан диффузия ҳисобига кўра бир оз тезроқ қурийдиган хулосага келишимиз мумкин.

*Фаолланиш энергиясини ҳисоблаш натижалари.* Фаолланиш энергияси  $\ln D_{эфф.}$  ва ҳарорат ўртасидаги боғлиқлик (7) формула ёрдамида ҳисобланган.



**9-расм. Ҳароратнинг самарали диффузия коэффицентига таъсири**

*Инфрақизил қувват даражасининг қуритиш вақтига таъсири.* Инфрақизил қуритиш қурилмасида қуритиш жараёни учун 100 гр оқ ва қора тутлар мос равишда 230 Вт, 260 Вт ва 280 Вт қувватларда охириги намлик миқдори ўртача 16% га қадар қуритилган. Қуритилаётган намуналар ҳар бир соатда ўлчанган ва қайд этилган. Таҷрибалар натижасида қуритилган намликнинг қуритиш вақти ва ИҚ қувват даражасига боғлиқлик графиклари 10-расмда келтирилган.



**10-расм. Турли қувватларида қуритилган тут меваларининг намлик миқдорини қуритиш вақтига боғлиқлик графиги**

10-расмдан маълум бўладики, қуритишнинг энг қисқа вақти 230 Вт инфрақизил қувватида қуритилган намуналарда кузатилди. Шундай қилиб, қўлланиладиган қувват ортиши билан қуритиш вақти мос равишда ортади. Инфрақизил қувватида қуритилган намуналар учун энг узок қуритиш давомийлиги 280 Вт да қайд этилди.

*Математик моделлаштириш натижалари.* Регрессия коэффициенти ( $R^2$ ), ( $\chi^2$ ) ва квадратик хатолар йиғиндисининг тахминий қийматлари (RMS) тут мевасини қуритиш эгри чизигининг мослигини аниқлаш учун киритилган параметрлар ҳисобланади. Ушбу параметрларни солиштириш учун олти хил қуритиш моделидан фойдаланилди. Ушбу моделлар турли қувват даражаларида инфрақизил қуритиш қурилмасида қуритилган тут намуналаридан олинган маълумотларга нисбатан қўлланилган. Башорат қилинган статистик маълумотлар 5-жадвалда багафсил келтирилган.

### 5-жадвал

**Тут меваларини ИҚ қуритиш қурилмасида 230, 260 ва 280 Вт қувватларда қуритиш моделларининг статистик натижалари**

| Қувват даражаси | Модель                    | $R^2$  | $\chi^2$ | RMS      |
|-----------------|---------------------------|--------|----------|----------|
| 230 Вт          | Пейдж                     | 0,9995 | 0,000052 | 0,028978 |
|                 | Модификацияланган Пейдж   | 0,9763 | 0,002140 | 0,206862 |
|                 | Хендерсон ва Пабис        | 0,9966 | 0,000274 | 0,062159 |
|                 | Логарифмик                | 0,9656 | 0,003622 | 0,225477 |
|                 | Икки каррала              | 0,9978 | 0,000366 | 0,076037 |
|                 | Икки каррала экспоненциал | 0,9981 | 0,000211 | 0,08272  |
| 260 Вт          | Пейдж                     | 0,9992 | 0,000083 | 0,025061 |
|                 | Модификацияланган Пейдж   | 0,9656 | 0,003073 | 0,190663 |
|                 | Хендерсон ва Пабис        | 0,9750 | 0,002297 | 0,144812 |
|                 | Логарифмик                | 0,9476 | 0,000077 | 0,028583 |
|                 | Икки каррала              | 0,9929 | 0,001059 | 0,117551 |
|                 | Икки каррала экспоненциал | 0,9981 | 0,002103 | 0,03892  |
| 280 Вт          | Пейдж                     | 0,9996 | 0,000045 | 0,018225 |
|                 | Модификацияланган Пейдж   | 0,9868 | 0,001274 | 0,050824 |
|                 | Хендерсон ва Пабис        | 0,9968 | 0,000399 | 0,052891 |
|                 | Логарифмик                | 0,9819 | 0,002039 | 0,110248 |
|                 | Икки каррала              | 0,9977 | 0,000399 | 0,052515 |
|                 | Икки каррала экспоненциал | 0,9990 | 0,000295 | 0,02529  |

5-жадвалдаги маълумотлар бўйича  $R^2$  нинг энг юқори даражаси ҳамда RMS ва  $\chi^2$  ларнинг энг кичик қийматлари Пейдж моделига мос келади. Шу боисдан Пейдж модели, инфрақизил қуритиш қурилмасида қуритилган тут меваларининг қуритиш эгри чизикларини энг яхши тавсифловчи модель сифатида танланган.

*Турли қуритиш усулларида қуритилган тут мевалари таркибидаги аминокислоталар.* Ҳар бир қуритилган намуна қуйидаги тартибда таҳлил қилиш учун алоҳида тайёрланди: №1-ЎЮЧ да қуритилган оқ тут мевалари; №2-инфрақизил қуритгичда қуритилган оқ тут мевалари (муаллиф томонидан таклиф этилган қуритиш усули); №3-табиий усулда қуритилган оқ тут мевалари; №4-ЎЮЧ да қуритилган қора тут мевалари; №5-инфрақизил қуритгичда қуритилган қора тут мевалари (муаллиф томонидан таклиф этилган қуритиш усули); №6-табиий усулда қуритилган қора тут мевалари.

### 6-жадвал

**Турли қуритиш усуллари ёрдамида қуритилган тут мевалари таркибидаги аминокислоталар**

| Аминокислота таркиби | Бошланғич микдори | Намуна рақами      |          |          |          |          |          |
|----------------------|-------------------|--------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                      |                   | №1                 | №2       | №3       | №4       | №5       | №6       |
|                      |                   | Концентрация мг/гр |          |          |          |          |          |
| Серин                | 0,22              | 0,203444           | 0,325893 | 0,375    | 0,185587 | 0,228954 | 0,281888 |
| Глицин               | 0,30              | 0,336118           | 1,062339 | 0,503213 | 0,438946 | 0,554627 | 0,296915 |
| Аспарагин            | 0,6               | 0,338046           | 0,504499 | 1,090046 | 0,423522 | 0,289846 | 0,55527  |
| Глутамин             | 0,88              | 1,118194           | 0,525896 | 0,478752 | 0,131474 | 0,650066 | 0,38911  |
| Цистеин              | 0,021             | 0,889617           | 0,82623  | 1,506011 | 0,375956 | 1,989071 | 1,468852 |
| Треонин              | 0,2               | 0,804171           | 1,708048 | 1,408276 | 0,26002  | 1,627892 | 1,061584 |
| Аргенин              | 0,30              | 0,359408           | 0,725461 | 1,083661 | 0,808819 | 0,811235 | 0,760495 |
| Аланин               | 0,30              | 0,658374           | 1,251749 | 0,825066 | 0,238843 | 0,825066 | 0,593065 |
| Пролин               | 0,1               | 0,563989           | 0,786408 | 0,738747 | 0,673433 | 1,074139 | 0,571933 |
| Тирозин              | 0,2               | 1,203562           | 0,704835 | 0,857506 | 0,826124 | 1,001696 | 0,597116 |

Тут меваси кукуни таркибида бир қанча аминокислоталарни сақлайди. 6-жадвалдан кўришиб турибдики, тут мевалари кукуни таркибида 10 турдаги аминокислоталар мавжуд. Қуритишнинг учта усулидан фойдаланган ҳолда олинган олти намуналар орасида №2-намуна (муаллиф томонидан тавсия этилган қуритиш усули) конвектив инфрақизил қуритиш қурилмасида қуритилган оқ тут мевалари таркибидаги аминокислоталарнинг концентрацияси: глутамин кислотаси 1,11 мг/г; глицин 1,06 мг/г; аспарагин 1,09 мг/г; треонин 1,70 мг/г; аланин 1,25 мг/г; валин 1,32 мг/г; гистидин 1,59 мг/г; лейцин 1,65 мг/г; фенилаланин 0,27 мг/г.

Турли қуритиш усуллари ёрдамида қуритилган тут мевалари таркибидаги флавоноидлар. Тут мевалари таркибидаги флавоноидларни аниқлаш бўйича экспериментал тадқиқотлар натижалари 7-жадвалда келтирилган.

7-жадвал

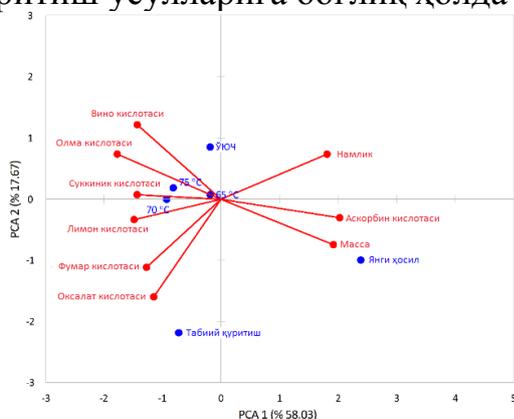
### Қуритилган тут мевалари таркибидаги флавоноидлар

| Аминокислота таркиби | Бошланғич миқдори | Намуна рақами      |              |               |               |               |               |
|----------------------|-------------------|--------------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
|                      |                   | №1                 | №2           | №3            | №4            | №5            | №6            |
|                      |                   | Концентрация мг/гр |              |               |               |               |               |
| Рутин                | 3,9442            | 4,984              | 15,456       | 2,328         | 10,64         | 11,16         | 8,504         |
| Кверцитин            | 0,1393            | 0,904              | 0,536        | 0,44          | 0,584         | 0,496         | 0,504         |
| Галл кислота         | 6,1911            | 3,384              | 3,648        | 7,688         | 3,624         | 4,208         | 6,8           |
| <b>ИТОГО</b>         | <b>10,2746</b>    | <b>9,272</b>       | <b>19,64</b> | <b>10,456</b> | <b>14,848</b> | <b>15,864</b> | <b>15,808</b> |

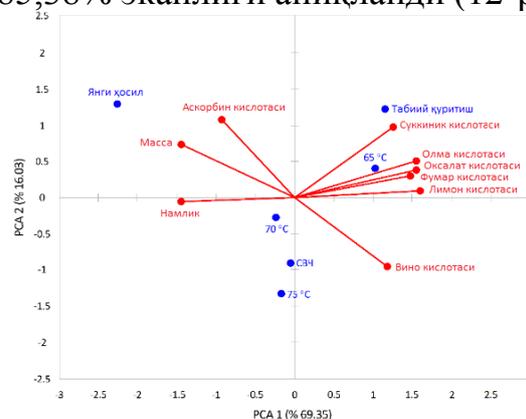
Қуритишнинг учта усулидан фойдаланган ҳолда олинган олти намуналар орасида №2-намуна (муаллиф томонидан тавсия этилган қуритиш усули) конвектив инфрақизил қуритиш қурилмасида қуритилган оқ тут мевалари таркибидаги флавоноидларнинг концентрацияси: рутин 15,45 мг/гр, кверцитин 0,90 мг/гр и галл кислота 7,68 мг/гр. Шундай қилиб, инфрақизил қуритиш усулидан фойдаланган ҳолда қуритилган тут мевалари таркибидаги аминокислоталар концентрацияси бошқа қуритиш усуллариغا нисбатан анча юқори. Олинган якуний маҳсулотлар озиқ-овқат ва фармацевтика саноатида қўлланилиши мумкин.

Тут мевалари таркибидаги органик кислоталар таҳлили. Тадқиқотнинг ушбу қисмда турли қуритиш усуллари органик кислоталар таркибига ҳамда оқ тут меваларининг айрим сифат кўрсаткичларига таъсири, шунингдек, асосий компонентлар таҳлиллари натижаларидан содир бўладиган ўзгаришлар ўрганилди. Бунда, оқ тут меваларининг биокимёвий таркиби ўртача 75,7% эканлиги қайд этилди (11-расм).

Қора тут мевалари таркибидаги органик кислоталарни аниқлаш. Тадқиқот давомида қора тут мевалари биокимёвий таркибининг ўзгариш даражаси турли қуритиш усуллариغا боғлиқ ҳолда ўртача 85,38% эканлиги аниқланди (12-расм).

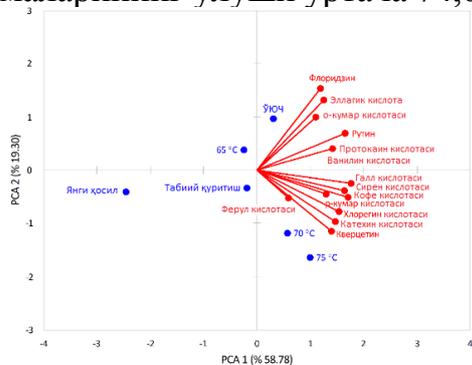


11-расм. Оқ тут мевасининг турли қуритиш усуллари ҳамда органик кислоталари ўртасидаги боғлиқлик

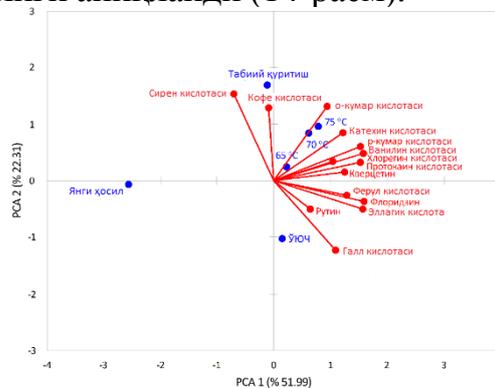


12-расм. Қора тут мевасининг турли қуритиш усуллари, органик кислоталар ва айрим сифат кўрсаткичлари ўртасидаги боғлиқлик

Тадқиқот жараёнида оқ тут мевалари таркибидаги фенол бирикмалари турли қуритиш усулларига мос равишда ўртача 78,08% ни ташкил этди (13-расм). Шу билан биргаликда, қора тут меваси таркибидаги фенол бирикмалар таркибига турли қуритиш усулларининг таъсири ҳамда асосий компонентлар таҳлилига кўра уларда содир бўладиган ўзгаришлар ўрганилди. Қора тут мевалари таркибидаги фенол бирикмаларининг улуши ўртача 74,03% эканлиги аниқланди (14-расм).



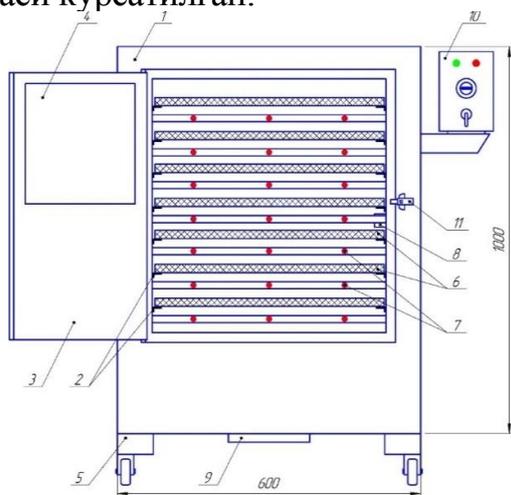
**13-расм. Оқ тут мевасининг турли қуритиш усуллари ва фенол бирикмалари ўртасидаги боғлиқлик**



**14-расм. Қора тут мевасининг турли қуритиш усуллари ва фенол бирикмалари ўртасидаги боғлиқлик**

Диссертациянинг «Тут меваларини қуритиш учун инфрақизил қуритиш қурилмасини такомиллаштириш» номли тўртинчи бобда инфрақизил қуритиш қурилмаси бўйича олиб борилган тадқиқот натижалари келтирилган.

Қуритгичнинг конструкциясини лойиҳалаш замонавий Solidworks дастури ёрдамида орқали амалга оширилди. Қайта ишлаш корхоналарида қуритиш қурилмаларидан фойдаланиш даврида юзага келадиган муаммоларни ҳал қилиш мумкин бўлган натижаларни олиш учун технология биринчи навбатда синов жараёнидан ўтиши лозим. Ушбу босқичдан сўнг, инфрақизил қуритиш қурилмасининг концепцияси ишлаб чиқилди ва у Ўзбекистон Республикасининг микро, кичик ва ўрта корхоналари эҳтиёжларига мослаштирилди. 15-расмда тут меваларини қуритиш бўйича ўтказилган таҳлиллар, мавжуд техника ва технологиялар асосида ишлаб чиқилган ИҚ қуритиш қурилмасининг конструктив схемаси кўрсатилган.



- 1-корпус; 2-жавонлар (тагликлар учун жавонлар); 3-эшик; 4-қуритиш жараёнини кузатиш учун дарча; 5-оёқлар; 6-тўрли тагликлар; 7-ИҚ нурлатгичлар; 8-терможуфтликлар; 9-вентилятор; 10-бошқарув блоки; 11-кулф.

**15-расм. Такومиллаштирилган ИҚ қуритиш қурилмаси**

Такомиллаштирилган инфрақизил қуритиш қурилмаси қуйидаги тартибда ишлайди. Тут меваларининг янги ҳосили чанг ва бошқа ифлослантйрувчи моддалардан тозаланеди ва ювилади ҳамда тўрли таглик 6 га жойлаштирилади, сўнгра тагликлар қуритиш камераси 1 даги жавонлар 2 га жойлаштирилади. Эшик 3 эшик қулфи 11 ёрдамида маҳкам ёпилади. Инфрақизил нурлатгичлар 7

бошқарув блоки 10 томонидан ишга туширилади ва камера ичидаги ҳаво тезлиги вентилятор 9 нинг тезлигини ўзгартириш орқали бошқарилади. Камерадаги ҳарорат эса термоджувликлар 8 ёрдамида автоматик равишда бошқарилиб турилади. Маҳсулотлар тўлиқ қуритилганидан сўнг, қурилма ўчирилади, тагликлар чиқариб олинади ва қуритилган маҳсулотлар туширилади, сўнгра янги мевалар яна уларга юкланади ва камерага қайтарилади. Шундай қилиб, қуритиш жараёни ушбу амаллар кетма-кетлиги натижасида амалга оширилади. Ушбу қуритиш қурилмаси ИҚ сувсизланиш ҳисобига якуний маҳсулотларда фойдали хусусиятларни сақлаб қолиш имконини беради. ИҚ қурилманинг хомашё билан контактда бўладиган барча элементлари стандартларга мувофиқ рухсат этилган тегишли материаллардан тайёрланиши талаб этилади.

## ХУЛОСА

1. Тут меваларини конвектив ИҚ қуритиш жараёнида ҳароратнинг қуритиш тезлигига таъсири ИҚ нур қувватига нисбатан аҳамиятли эканлиги аниқланган. Бунда қуритиш ҳарорати ва ИҚ нур қуввати ошиши билан қуритиш вақти қисқарган, қуритиш тезлиги эса сезиларли ошган.

2. Тут мевалари паст ҳароратларда конвектив ИҚ қуритиш қурилмасида қуритилганда, намликнинг самарали диффузия коэффиценти бевосита қуритиш ҳарорати ва қувватига боғлиқ ҳолда  $2,58 \times 10^{-9} \sim 8,37 \times 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с}$  оралиғида ўзгаради, шунингдек, фаолланиш энергияси 53,97 кж/молни ташкил этади ва инфрақизил қуритиш усули учун энг мос қуритиш модели Пейдж модели ҳисобланади.

3. Қуритиш ҳарорати 70 °С ва ИҚ нур қуввати 230 Вт бўлган шароитда қуритилган тут маҳсулотлари энг яхши физик-кимёвий сифатларга эга эканлиги аниқланган. Шунингдек, ИҚ қуритиш қурилмасидан фойдаланилганда қуритиш вақти қисқарган ҳамда якуний маҳсулот сифати сақлаб қолинган.

4. Инфрақизил қуритиш қурилмасида қуритилган оқ тут мевалари (муаллиф томонидан тавсия этилган қуритиш усули) таркибидаги аминокислоталарнинг концентрацияси: глутамин кислотаси 1,11 мг/г; глицин 1,06 мг/г; аспарагин 1,09 мг/г; треонин 1,70 мг/г; аланин 1,25 мг/г; валин 1,32 мг/г; гистидин 1,59 мг/г; лейцин 1,65 мг/г; фенилаланин 0,27 мг/г ни ташкил этган.

5. Инфрақизил қуритиш қурилмасида қуритилган оқ тут мевалари (муаллиф томонидан тавсия этилган қуритиш усули) таркибидаги флавоноидларнинг концентрацияси: рутин 15,45 мг/г, кверцитин 0,90 мг/г и галловая кислота 7,68 мг/г ни ташкил этган.

6. Оқ тут меваларининг бошланғич намлиги 83,63%, қора тут меваларининг намлиги эса 91,97% ни ташкил қилади. Табиий усулда қуритилган намуналарнинг якуний намлиги: оқ тут мевасида 17,87 % га, қора тут мевасида 16,94 % гача камайди. Инфрақизил қуритиш қурилмасида қуритилган баъзи қора тут намуналарнинг якуний намлиги табиий қуритилганларига нисбатандан бироз юқори бўлиши аниқланган (оқ тут 13,73%, қора тут 25,70%).

7. Тут мевасини қуритиш учун ИҚ қурилма такомиллаштирилган. Шунингдек, тавсия этилган рационал тажриба-саноат қуритиш қурилмасининг параметрлари, габарит ўлчамлари ва унумдорлик кўрсаткичлари аниқланган.

8. Такومиллаштирилган инфрақизил қуритиш қурласи 65 °С, 70 °С ва 75 °С қуритиш ҳароратларида якуний намлик микдори 83-91% дан 16-25% гача бўлган маҳсулотларни қуритиш қобилиятига эга эканлиги аниқланган. Ушбу қуритиш қурилмасидан микро, кичик ва ўрта корхоналарда самарали фойдаланиш мумкин.

9. Тут меваларини биологик фаол моддаларни сақлаган ҳолда қуритиш техникаси ва технологияси бўйича ишланма ва тавсиялар «Sunny Land Products» МЧЖда амалиётга жорий қилинган (Ўзбекистон озиқ-овқат саноати уюшмасининг 2023 йил 04 январдаги 04-1/01-23-сон маълумотномаси).

**SCIENTIFIC COUNCIL ON THE CONFERMENT OF SCIENTIFIC  
DEGREES DSc.03/30.12.2019.T.04.01 AT THE  
TASHKENT CHEMICAL - TECHNOLOGICAL INSTITUTE**

---

**TASHKENT STATE TECHNICAL UNIVERSITY**

**TARAWADE ABHIJIT**

**IMPROVEMENT OF INFRARED EQUIPMENT FOR DRYING  
MULBERRY FRUITS**

**02.00.16 - Processes and apparatuses of chemical technologies and food production  
(technical sciences)**

**ABSTRACT OF A DISSERTATION OF THE DOCTOR PHILOSOPHY (PhD)  
IN TECHNICAL SCIENCES**

**Tashkent – 2023**

**The theme of dissertation doctor of philosophy (PhD) was registered in the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under B2022.3.PHD/T3039.**

The dissertation was carried out at the Tashkent State Technical University.

The thesis abstract in three languages (uzbek, russian, english (resume)) is placed on the web page of the academic council at (www.tdtu.uz) and information-educational portal "Ziyonet" (www.ziyonet.uz).

**Scientific supervisor:** **Sultanova Shakhnoza Abduvahitovna**  
doctor of technical sciences

**Official opponents:** **Karimov Ikromali Tojimatovich**  
doctor of technical sciences, professor

**Kurbanov Jamshed Majidovich**  
doctor of technical sciences, professor

**Leading organization:** **Institute of General and Inorganic Chemistry**

The defense of the dissertation will take place «23» 06 2023 at 900 the meeting of Scientific council DSc.03/30.12.2019.T.04.01 at the Tashkent chemical-technological institute. (Address:100011, Tashkent, Shaykhontohur region, A.Navoi St., 32. phone.: (99871 244-79-21, fax: +99871 244-79-17, email: tkti\_info@edu.uz).

The dissertation has been registered at the Information Resource of the Tashkent Chemical Technological Institute under №510 Address: Navoi str., 32, Tashkent, 100011, Administrative Building of the Tashkent Chemical Technological Institute, Tel.: +998-71-244-79-20).

The dissertation author's abstract was sent out on «10» 06 2023.  
(mailing protocol № 329 of «10» 06 2023.



**S.M.Turobjonov**  
Chairman of scientific council for  
awarding of scientific degree,  
doctor of technical sciences, Professor

**Kh.I.Qodirov**  
Scientific secretary of scientific council  
awarding of scientific degree,  
doctor of chemical sciences, docent

**K.P.Serkaev**  
Chairman of scientific seminar under scientific  
council on award of scientific degree,  
doctor of technical sciences, docent

## INTRODUCTION (abstract of PhD dissertation)

**Relevance and demand of the dissertation.** The rapid growth of the world's population naturally leads to a dramatic increase in the demand for food. It is known that agricultural products serve as the main source of human food supply. However, preserving the nutritional value of products over the long term, supplying them to the domestic and foreign market with high quality for consumption outside the harvest period are considered to be pressing challenges.

Scientific research is being carried out worldwide to optimise convection and infra-red drying technologies. In this regard, much attention is paid to the development of energy-saving techniques and technologies to speed up drying, preservation of biologically active substances in raw materials during processing, rational use of heat exchange processes taking into account their thermal activity and other indicators of food quality, development and improvement of ecological drying apparatuses, mathematical modelling of food industry processes and rational use of existing drying methods to obtain new types of high-quality food.

The Republic pays special attention to the cultivation of agricultural products and the effective development of the processing industry, high-quality processing of agricultural and forestry products, and the production of import-substituting food and pharmaceutical products, as a result of which certain scientific achievements have been made. The Action Strategy for the Further Development of the Republic of Uzbekistan envisages "deepening structural reforms and consistent development of agricultural processing capacity, further strengthening food security of the country, expanding the production of environmentally friendly, high-quality products and significantly increasing the export potential of the agricultural sector". Important tasks have been identified. It is therefore important to effectively develop agricultural production and processing industry, to produce quality consumer goods to replace export-oriented imports, and to provide the population with quality and affordable food.

This dissertation research to a certain extent serves the implementation of the tasks outlined by the Decree of the President of the Republic of Uzbekistan dated January 28, 2022 No. PD-60 "On the development strategy of the new Uzbekistan for 2022-2026"<sup>1</sup>, in the resolutions of the President of the Republic of Uzbekistan dated October 23, 2019 OP-5853 "On approval of the Strategy for the Development of Agriculture of the Republic of Uzbekistan for 2020-2030", July 29, 2019 No. OP-4406 "On additional measures for the deep processing of agricultural products and the further development of the food industry", as well as in other legal and regulatory documents related to this activity.

**Relevance of the research to the priority areas for the development of science and technology in the Republic of Uzbekistan.** This study has been carried out in accordance with the priority areas for the development of science and technology of the Republic of V "Agriculture, Biotechnology, Ecology and Environmental Protection".

**The extent to which the problem has been studied.** Scientific research aimed at developing efficient technology and speeding up the drying process of agricultural

---

<sup>1</sup> Mirziyoev Sh.M. Decree of the President of the Republic of Uzbekistan dated January 28, 2022 No. PD-60 "On the development strategy of the new Uzbekistan for 2022-2026". Electronic source: <https://lex.uz/uz/docs/5841077>.

products has been carried out by the following foreign scientists: Y. Huo, R.K.Datta, A.K.Awasthi, I.Güven, R.P.Srivastava, J.Li, H.Chen, Y.Garnida, N.Meeso, A.S.Majumdar, T.Furuno, V.Srijesaruk, L.G.Tabil, W.R.Daud, Z.Yapar, C. Ertekýn, A.V.Lykov, A.S.Ginzburg, N.I.Vavilov, P.A.Rebinder, B.M.Kasymbaev, I.B.Levitin, O.S. N.I. Vavilov, P.A. Rebinder, B.M. Kasymbayev, I.B. Levitin, O.S. Levitin, P.D. Lebedev, A.V. Nesterov, B.S. Sazhin, and also local scientists: N.R. Yusupbekov, Z.S. Salimov, J.N. Mukhiddinov, A.F. Safarov, J.M. Kurbanov, A.A. Artikov, H.S. Nurmukhamedov, K.O. Dodaev, H.F. Dzhuraev and others have conducted effective research to improve processes and apparatuses in the food industry and they have developed effective technologies.

At the same time, scientists in the global community are actively conducting research in the priority areas of drying technology development and design of highly efficient resource- and energy-saving equipments, obtaining quality products from mulberry fruits, and modelling the drying process. However, the development and improvement of the energy-saving drying equipment and mathematical modelling of the mulberry fruit drying process have been insufficient.

**Relationship of dissertation research with the plans of research work of the educational institution where the dissertation was carried out.** Dissertation research has been carried out in accordance with the plans of research works of Tashkent State Technical University named after Islom Karimov within the scientific-applied project C-I-19 - "Creation of import-substituting innovative drying equipment for preservation of biologically active substances of medicinal plants and introduction into pharmaceutical industry" (2019-2021).

**The aim of the research is** to improve the infrared equipment for drying mulberry fruit.

**Research objectives:**

study of the characteristics and properties of mulberry fruits in order to ensure the high quality of the finished product through a rational organisation of the drying process;

mathematical calculation, selection of process models and obtaining the drying speed curve;

determination of the effective moisture diffusion coefficient and the activation temperature of the drying process;

determination of the chemical characteristics of mulberry fruits in terms of preservation of their chemical composition and therapeutic properties;

processing of the obtained experimental results using modern computer programs Comsol Multiphysics 5.5, Solidworks, Microsoft Excel 2019 in the Windows environment;

improvement of energy-efficient infrared equipment for mulberry fruit drying;

implementation of the results obtained during the dissertation research in industry.

**The objects of the study** are white (*Morus alba* L.) and black (*Morus nigra* L.) mulberry fruits.

**The subject of the study** is the infrared drying plant, the effect of the radiation drying method on the composition of the object, the mathematical model of the drying process and its parameters.

**Research methods.** When performing the dissertation work using the

theoretical foundations of chemical technology applied the methodology of system analysis and synthesis of complex technical and technological systems, used methods of mathematical modeling and optimization of chemical-technological processes and systems.

**The scientific novelty** of the study lies in the following:

it was determined that the effective moisture diffusion coefficient when drying mulberry fruits using infrared radiation varies within  $2.58 \times 10^{-9} \dots 8.37 \times 10^{-9}$  m<sup>2</sup>/s depending on temperature and power;

mathematical modelling of mulberry fruit drying process using modern software Comsol Multiphysics 5.5;

Page model best describes the IR drying process, with the highest mean R<sup>2</sup> value (0.99882), lowest mean  $\chi^2$  value ( $2.89 \times 10^{-4}$ ), RMS value ( $9.86 \times 10^{-4}$ ) and the activation energy of mulberry fruit was 53.97 kJ/mol;

the technology of mulberry fruit drying process was developed, which allows preserving the biological active substances by 90-95%;

**The practical results** of the study are as follows:

it was determined that drying by infra-red radiation can significantly increase the efficiency of mulberry fruit drying (drying efficiency increases at 70 °C), and the Page distribution model well simulates the process of drying by infra-red radiation and convection at different drying temperatures;

it is established that the improved drying system is able to dry products from 83-91% moisture content to 16-25% moisture content with a drying temperature of 70 °C and a power of 230 W in 300 minutes;

dried mulberry fruits contain: glutamic acid 1.11 mg/g, glycine 1.06 mg/g, asparagine 1.09 mg/g, threonine 1.70 mg/g, alanine 1.25 mg/g, valine 1.32 mg/g, histidine 1.59 mg/g, leucine 1.65 mg/g, phenylalanine 0.27 mg/g, rutin 15.45 mg/g, quercetin 0.90 mg/g and gallic acid 7.68 mg/g;

**Reliability of the results of the study.** The reliability of the results obtained is confirmed by the consistency of the results of theoretical and experimental studies performed using modern methods and tools, provided by the results of computer simulation performed using modern computer programs Comsol Multiphysics 5.5, Solidworks, Microsoft Excel 2019 in the Windows environment.

**Scientific and practical significance of the research findings.**

The scientific significance of the results of the study is explained by the fact that we have calculated the process of heat and moisture exchange in mulberry fruits, taking into account the influence of the temperature regime in choosing the optimal parameters of dehydration process, drying kinetics at various combinations of temperature parameters and power of infrared radiation to obtain a high-quality final product.

Practical significance of results of researches is explained by that recommendations on choice of optimum parameters of temperature and power of infra-red radiation at infra-red drying of fruits of a mulberry are developed, the energy-saving infra-red installation allowing to receive a high-quality end-product with preservation of bioactive substances in fruits of a mulberry is constructively improved.

**Implementation of the findings of the study.** Based on the scientific and practical results obtained to improve the convective infrared equipment for the drying of mulberry fruit:

energy-saving technology for mulberry fruit drying has been introduced into production at Sunny Land Products LLC (certificate No. 04-1/01-23 of the Food Industry Association of Uzbekistan dated 04 January 2023). As a result, due to the use of high-efficiency IR technology, production increased by 1.1 times and the loss of raw materials decreased by 12%;

the mulberry fruit drying method has been introduced into production at Sunny Land Products LLC (Certificate No. 04-1/01-23 of the Food Industry Association of Uzbekistan dated January 04, 2023). As a result, it made it possible to preserve 90-95% of the biologically active substances in the final product through the use of a highly efficient method;

the improved infra-red plant for drying mulberry fruits are put into practice in "Sunny Land Products" Ltd (certificate №04-1/01-23 of the Food Industry Association of Uzbekistan dated January 04, 2023). As a result, the introduction of a highly efficient energy-saving equipment using infra-red heating and due to the optimal choice of location of the infrared temperature, it is possible to consume 1.25 times less energy compared to existing technologies and installations.

**Approbation of the research results.** The research results are presented, discussed and approved at 7 international and 2 republican scientific and technical conferences.

**Publication of research results.** On the topic of the dissertation 18 scientific works were published, including 1 monograph, 8 scientific articles, including 4 in international journals, 4 in national journals.

**Structure and scope of the thesis.** The thesis consists of four chapters, a list of references and 4 appendices. The total volume of the dissertation comprises 103 pages, 54 figures and 37 tables.

## THE MAIN CONTENT OF THE DISSERTATION

**The introduction** substantiates the relevance and relevance of the thesis topic, formulates the purpose, object and objectives of the research, and shows the compliance of the research with the priority directions of development of science and technology of the Republic of Uzbekistan, presents the scientific novelty and practical results of the work, justifies the reliability of the results obtained, reveals the scientific and practical value, provides information on the implementation of research results in production.

The first chapter of the dissertation, "**State of the art and prospects for the development of mulberry fruit drying methods and equipments**", analyses the current state and reveals the prospects of development of production of dried medicinal fruits on the basis of local raw materials. An analytical review of scientific literature on existing processes and apparatuses, industrial production of mulberry fruit drying, mathematical modelling of processes occurring in drying plants, calculation and design of dryer schemes is performed.

Evaluating the current state of the issues of drying plant designs, which have become widespread in the agro-industrial complex of the country, methods of drying, it is concluded that there are problems requiring the creation of industrial methods of drying mulberry fruits. Based on the analysis of the factual material of the chapter, the main aims and objectives of the research were set.

The second chapter of the thesis, "**Mathematical modeling of the process of drying mulberry fruits by the infrared method**", presents the results of mathematical modelling of the drying process of mulberry fruit.

*Moisture ratio.* The formula for calculating the moisture coefficient ( $W$ ) is given in the equation

$$W = \frac{W_t - W_p}{W_H - W_p} \quad (1)$$

here  $W_H$  is initial moisture content in the dry mulberry base (g/g);  $W_p$  is moisture content in the dry base of mulberry fruits at drying equilibrium;  $W_t$  is the moisture content of the dry mulberry base at drying time  $t$ , respectively.

If  $W_p$  is much smaller than  $W_H$  and  $W_t$ , equation (1) can be simplified as

$$W = \frac{W_t}{W_H} \quad (2)$$

*Drying rate.* The drying rate ( $C$ ) is used to denote the rate at which the material is dewatered. The formula is shown in equation (3).

$$C = \frac{M_1 - M_2}{t_1 - t_2} \quad (3)$$

here  $W_1$  and  $W_2$  are moisture content in the dry mulberry base at  $t_1$  and  $t_2$  during the drying process.

*Effective moisture diffusion coefficient.* The effective moisture diffusion coefficient ( $D_{\text{eff}}$ ) is an important material mass transfer characteristic that indicates the capacity or degree of moisture diffusion during drying and is important for the calculation and modelling of the drying process. The drying characteristics of products during the drying period with reduced rate can be described by the second Fick's diffusion equation. According to Fick's equation, the linear equation (4) for the time dependence of  $\ln W$  during drying can be used to describe the effective moisture diffusion coefficient in the material as follows

$$\ln W = \ln \frac{8}{\pi^2} - \frac{\pi^2 D_{\text{eff}} \cdot t}{L^2} \quad (4)$$

In this equation,  $t$  is the drying time (s);  $L$  is the thickness of the material (m). The slope method is used to calculate the effective diffusion coefficient. From equation (4) it follows that  $\ln W$  is plotted against time as a straight line and the slope of the line corresponds to equation (5).

$$\text{Slope} = \frac{\pi^2 D_{\text{eff}}}{L^2} \quad (5)$$

*Drying activation energy.* The drying activation energy indicates the energy required to remove one mole of water during the drying process. Since the relationship between the effective moisture diffusion coefficient and the drying temperature of the material can be expressed by the Arrhenius equation as:

$$D_{\text{eff}} = D_0 \exp \left[ -\frac{E_a}{R(T+273,15)} \right] \quad (6)$$

here  $D_0$  is diffusion base in the material, constant,  $m^2/s$ ;  $E_a$  is activation energy of material drying,  $kJ/mol$ ;  $R$  is molar constant of the gas, with a value of  $8.314 J / (mol \cdot k)$ ;  $T$  is material drying temperature,  $^{\circ}C$ .

If we take the natural logarithm of both sides of equation (6), we get

$$\ln D_{\text{eff.}} = \ln D_0 - \frac{E_a}{R} \cdot \frac{1}{(T+273,15)} \quad (7)$$

The natural logarithm of the effective moisture diffusion coefficient  $\ln D_{\text{eff.}}$  is linearly related to  $\frac{1}{(T+273,15)}$  by the slope  $\frac{-E_a}{R}$  from equation (7). Since  $\ln D_{\text{eff.}}$  is related to  $\frac{1}{(T+273,15)}$  is known, therefore the slope can be used to find the value of  $E_a$ .

*Mathematical models.* After a literature review, the six most commonly used classical model equations shown in Table 1 were chosen to fit the data from the drying experiments.

**Table 1**

**Mathematical model for drying mulberry fruit**

| <b>№</b> | <b>Model name</b>    | <b>Model equations</b>                  |
|----------|----------------------|---|
| 1        | Page                 | $W = \exp(-kt^n)$                       |
| 2        | Modified Page        | $W = \exp(-kt)^n$                       |
| 3        | Henderson and Pabis  | $W = a \exp(-kt)$                       |
| 4        | Logarithmic          | $W = a \exp(-kt) + c$                   |
| 5        | Two-term             | $W = a \exp(-kt_0 t) + b \exp(-kt_1 t)$ |
| 6        | Two-term exponential | $W = a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-kat)$  |

The value of the coefficient of determination ( $R^2$ ) indicates the correlation between the experimental and predicted values and is the main factor in the selection of drying model equations. In addition to the coefficient of determination, the value of ( $\chi^2$ ) and the sum of squared errors (RMS) can also be used to describe the degree of compliance. In the case of the best fit of the drying model, the closer  $R^2$  is to 1 and the smaller the values of  $\chi^2$  and RMS, the better the fit. These statistical parameters were calculated in accordance with equations (8) - (10).

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (W_{\text{samp.}} - W_{\text{pred.}})^2}{\sum_{i=1}^N (W_{\text{samp.}} - \bar{W}_{\text{samp.}})^2} \quad (8)$$

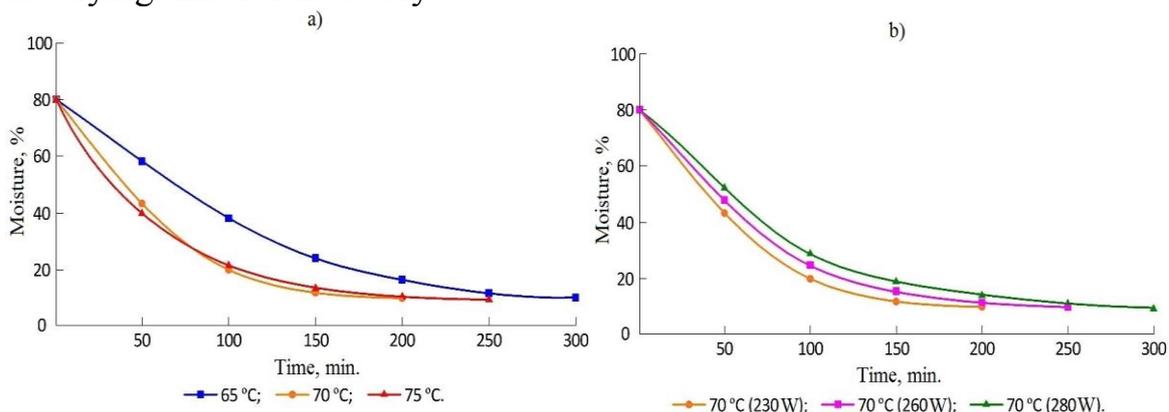
$$\chi^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (W_{\text{samp.}} - W_{\text{pred.}})^2}{N-n} \quad (9)$$

$$\text{RMS} = \sum_{i=1}^N (W_{\text{samp.}} - W_{\text{pred.}})^2 \quad (10)$$

In equations (8) and (10)  $W_{\text{samp.}}$  - means the moisture content in the dry basis, measured at the first sampling point;  $W_{\text{pred.}}$  - means the moisture content in the dry base at the first point of the forecast;  $N$  - number of sampling times;  $n$  - number of model constants.

*Drying characteristics of mulberries at different temperatures and convection drying capacities.* Drying curves and drying rate curves for mulberry at different temperatures and convective drying capacities are shown in figs. 1 and 2 respectively. From fig. 2 it can be seen that the drying time decreased significantly ( $p < 0.05$ ) as the

drying temperature increased. The drying time for mulberry at 70 °C was much shorter than the drying time for mulberry at 65 °C.



**Fig. 1. Drying curves for mulberry fruits at different convective infrared drying temperatures (a) and infrared radiation power (b)**

*Effective moisture diffusion coefficient in mulberry at different temperatures and drying capacities.* table 2 shows the effective moisture diffusion coefficients for convection-IR drying of mulberry under various test conditions. Table 2 shows that the drying temperature has a significant effect on the effective moisture diffusion coefficient; as the convective drying temperature increases, the drying temperature increases.

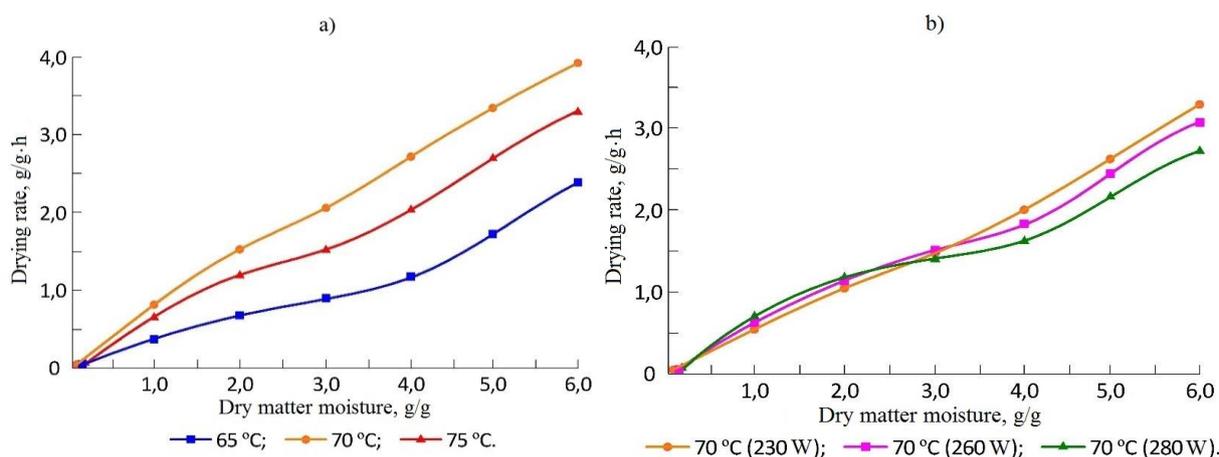
**Table 2**

**Effective mulberry diffusion coefficients under different drying conditions**

| Drying conditions | Linear regression formula                    | R <sup>2</sup> | (D <sub>eff.</sub> × 10 <sup>-9</sup> m <sup>2</sup> /s) |
|-------------------|--|----------------|--|
| 65 °C, (230 W)    | ln MR = -1,17 × 10 <sup>-4</sup> · t - 0,097 | 0,983          | 4,17   |
| 70 °C, (230 W)    | ln MR = -2,53 × 10 <sup>-4</sup> · t - 0,118 | 0,985          | 5,69   |
| 75 °C, (230 W)    | ln MR = -3,69 × 10 <sup>-4</sup> · t - 0,115 | 0,983          | 5,51   |
| 70 °C, (260 W)    | ln MR = -2,32 × 10 <sup>-4</sup> · t - 0,124 | 0,981          | 5,29   |
| 70 °C, (280 W)    | ln MR = -2,48 × 10 <sup>-4</sup> · t - 0,185 | 0,973          | 5,57   |

The effective moisture diffusion coefficient in the samples increased from 4.17 × 10<sup>-9</sup> m<sup>2</sup>/s at 65 °C to 5.69 × 10<sup>-9</sup> m<sup>2</sup>/s at 70 °C. At the same time it reached a maximum value of 5.57 × 10<sup>-9</sup> m<sup>2</sup>/s at 70 °C, (280 W). This indicates that the increase in temperature had a significant effect on increasing the effective moisture diffusion coefficient in the mulberry. Therefore, production efficiency can be improved by increasing the production temperature based on quality assurance.

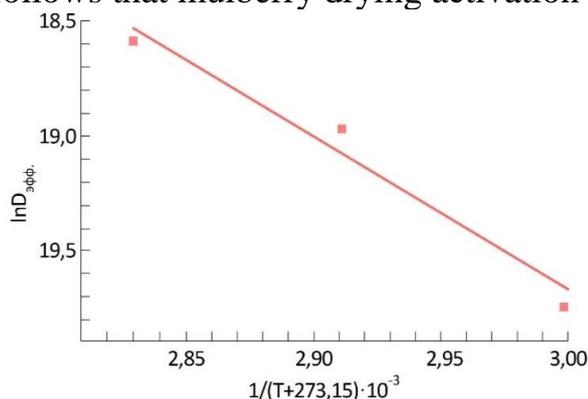
While the change in the effective moisture diffusion coefficient in the samples with increasing drying power was less than the change in temperature: it was lowest at an IR power of 230 W, at 4.17 × 10<sup>-9</sup> m<sup>2</sup>/s. The effective coefficient of moisture diffusion in convective-IR drying of mulberry is much higher than in microwave drying and amounts to 4.57 × 10<sup>-10</sup> m<sup>2</sup>/s. This indicates that in convective-IR drying the more penetrating infrared radiation may cause a change in the direction of internal mass transfer from inside to outside the material. The effective moisture diffusion coefficient is increased and the rate of mulberry dehydration is higher than in purely convective drying.



**Fig. 2. Drying speed curves for mulberry fruits at different convective infrared drying temperatures (a) and infrared radiation power (b)**

As can be seen from fig. 2 the power was constant and the drying rate increased significantly ( $p < 0.05$ ) with increasing temperature.

*Activation energy of convective-infrared drying of mulberry fruit.* The relationship between the drying temperature (IR power recorded at 230 W) and the effective moisture diffusion coefficient during convection-IR drying of mulberry fruit is shown in fig. 3. From the slope of the linear regression in equations (7) it follows that mulberry drying activation energy  $E_a$  is 53.97 kJ/mol.



$T$  is drying temperature, °C;  
 $D_{\text{eff}}$  - effective moisture diffusion coefficient,  $\text{m}^2/\text{s}$ .

**Fig. 3. Convective infrared drying temperature as a function of the effective moisture diffusion coefficient**

*Selection of the drying kinetics model.* The Page model had the highest mean  $R^2$  (0.99882) and the lowest mean  $\chi^2$  and RMS ( $2.89 \times 10^{-4}$ ,  $9.86 \times 10^{-4}$ ), indicating the best fit of the Page model, which is consistent with the results obtained by Page.

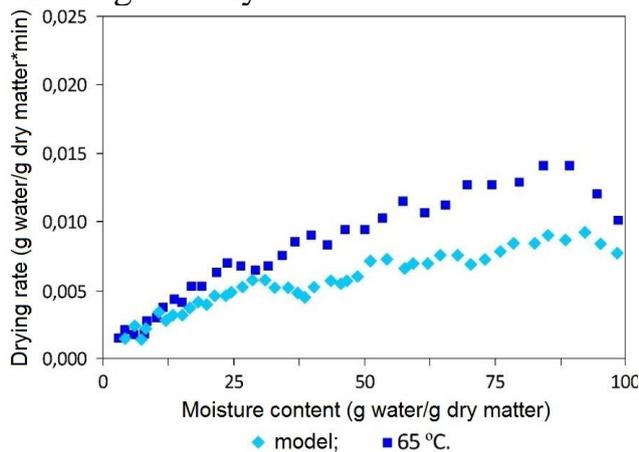
**Table 3**  
**Models for mulberry drying under different convection-IR drying conditions  $\chi^2$ ,  $R^2$  and RMS**

| Название модели $b$ | Условия сушки | $R^2$   | $\chi^2$              | RMS                   |
|---------------------|---------------|---------|-----------------------|-----------------------|
| Page                | 65 °C (230 W) | 0,99537 | $3,92 \times 10^{-4}$ | 0,00744               |
|                     | 70 °C (230 W) | 0,99882 | $2,89 \times 10^{-4}$ | $9,86 \times 10^{-4}$ |
|                     | 75 °C (230 W) | 0,99712 | $1,41 \times 10^{-4}$ | 0,00318               |
|                     | (70 °C 260 W) | 0,99791 | $1,82 \times 10^{-4}$ | 0,002                 |
|                     | (70 °C 280 W) | 0,99141 | $8,49 \times 10^{-4}$ | 0,00934               |
| Modified Page       | 65 °C (230 W) | 0,99463 | $4,54 \times 10^{-4}$ | 0,0864                |
|                     | 70 °C (230 W) | 0,99387 | $6,13 \times 10^{-4}$ | 0,00675               |
|                     | 75 °C (230 W) | 0,99428 | $6,81 \times 10^{-4}$ | 0,00477               |
|                     | (70 °C 260 W) | 0,99592 | $1,82 \times 10^{-4}$ | 0,002                 |
|                     | (70 °C 280 W) | 0,99137 | $8,49 \times 10^{-4}$ | 0,00934               |

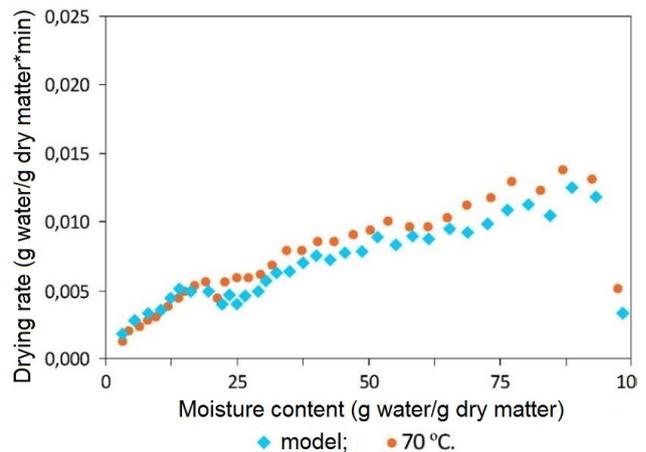
|                      |               |         |                       |         |
|----------------------|---------------|---------|-----------------------|---------|
| Henderson and Pabis  | 65 °C (230 W) | 0,99464 | $4,54 \times 10^{-4}$ | 0,00863 |
|                      | 70 °C (230 W) | 0,9942  | $5,80 \times 10^{-4}$ | 0,00638 |
|                      | 75 °C (230 W) | 0,99467 | $6,35 \times 10^{-4}$ | 0,00445 |
|                      | (70 °C 260 W) | 0,99591 | $3,55 \times 10^{-4}$ | 0,0039  |
|                      | (70 °C 280 W) | 0,9905  | $9,37 \times 10^{-4}$ | 0,0103  |
| Logarithmic          | 65 °C (230 W) | 0,99675 | $2,76 \times 10^{-4}$ | 0,00496 |
|                      | 70 °C (230 W) | 0,99552 | $4,48 \times 10^{-4}$ | 0,00448 |
|                      | 75 °C (230 W) | 0,99591 | $4,88 \times 10^{-4}$ | 0,00292 |
|                      | (70 °C 260 W) | 0,99568 | $3,77 \times 10^{-4}$ | 0,00377 |
|                      | (70 °C 280 W) | 0,99299 | $6,90 \times 10^{-4}$ | 0,0069  |
| Two-term             | 65 °C (230 W) | 0,99401 | $5,08 \times 10^{-4}$ | 0,00863 |
|                      | 70 °C (230 W) | 0,99292 | $7,09 \times 10^{-4}$ | 0,00638 |
|                      | 75 °C (230 W) | 0,99253 | $8,89 \times 10^{-4}$ | 0,00445 |
|                      | (70 °C 260 W) | 0,99488 | $9,80 \times 10^{-4}$ | 0,00821 |
|                      | (70 °C 280 W) | 0,98536 | $6,00 \times 10^{-4}$ | 0,01031 |
| Two-term exponential | 65 °C (230 W) | 0,99593 | $3,45 \times 10^{-4}$ | 0,00655 |
|                      | 70 °C (230 W) | 0,99529 | $2,71 \times 10^{-4}$ | 0,00298 |
|                      | 75 °C (230 W) | 0,9826  | $1,4 \times 10^{-4}$  | 0,00979 |
|                      | (70 °C 260 W) | 0,99599 | $8,82 \times 10^{-4}$ | 0,00821 |
|                      | (70 °C 280 W) | 0,99142 | $8,45 \times 10^{-4}$ | 0,00845 |

The third chapter of the thesis "**Experimental study and laboratory analyses of the physico-chemical properties of dried mulberry fruits**" presents the results of experimental and laboratory examination of dried mulberry fruits.

*Changes in humidity depending on the rate of drying.* The variation of the drying speed values calculated from equation (1) with the moisture coefficient values can be seen in figures 4-6. Based on these graphs, as the drying air temperature increases, the drying speed increases, and as a result the moisture content gradually decreases.



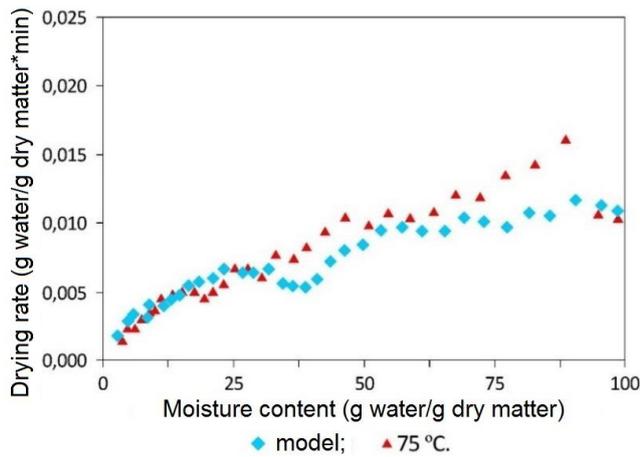
**Fig. 4. Variation in the drying rate of mulberry fruit dried at 65 °C as a function of moisture content**



**Fig. 5. Variation in the drying rate of mulberry fruits dried at 70 °C as a function of moisture content**

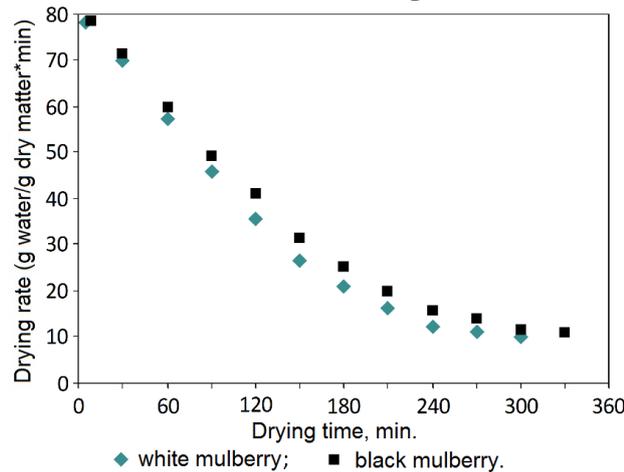
As a result, it was observed that for samples of white mulberry, the drying time decreases as the surface area decreases. As an example, in fig. 6 shows a plot of humidity vs. drying time for white and black samples at 75 °C. When examining studies

in the literature, it is noted that the drying time increases as the size of the sample increases.



**Fig. 6. Variation in the drying rate of mulberry fruits dried at 75 °C as a function of moisture content**

Experimental data on drying of white and black mulberry fruits were compared with moisture content and drying time curves obtained by mathematical modelling using non-linear regression analysis. The coefficient of determination ( $R^2$ ), ( $\chi^2$ ) and the estimated sum of squares of errors (RMS) obtained using the mathematical models in table 1 were calculated and given in table 4.



**Fig. 7. Changes in the moisture content of white and black mulberry fruits dried at 70 °C as a function of the drying time**

High  $R^2$  values, low  $\chi^2$  and RMS values are checked to determine the suitability of the equation. The regression coefficient determines the best model describing the product drying curves. The sum of squares of errors (RMS) shows the deviation between the estimated values obtained by the model and the experimental values.

**Table 4**

**Statistical data calculated for mulberry fruits**

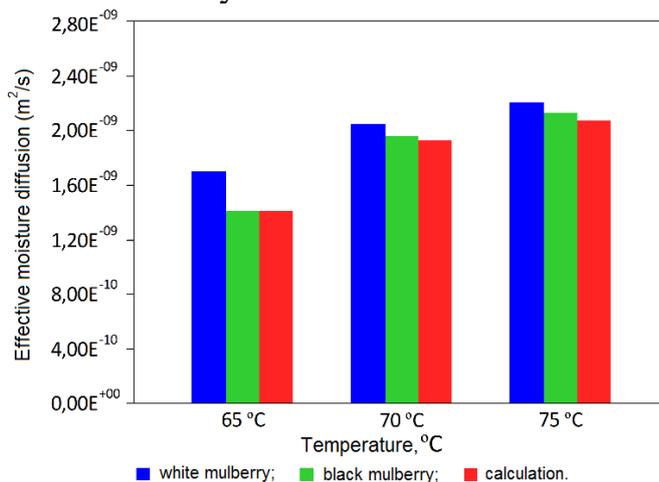
| Drying temperature | Model                | $R^2$  | $\chi^2$ | RMS      |
|--------------------|----------------------|--------|----------|----------|
| 65 °C              | Page                 | 0,9896 | 0,000162 | 0,005350 |
|                    | Modified Page        | 0,9853 | 0,000355 | 0,065276 |
|                    | Henderson and Pabis  | 0,9882 | 0,000018 | 0,062612 |
|                    | Logarithmic          | 0,9799 | 0,000042 | 0,027125 |
|                    | Two-term             | 0,9892 | 0,000037 | 0,029292 |
|                    | Two-term exponential | 0,9888 | 0,000115 | 0,050341 |

**Continuation of table 4**

|       |                      |        |          |          |
|-------|----------------------|--------|----------|----------|
| 70 °C | Page                 | 0,9954 | 0,002748 | 0,012609 |
|       | Modified Page        | 0,9913 | 0,001476 | 0,080652 |
|       | Henderson and Pabis  | 0,9903 | 0,000442 | 0,024257 |
|       | Logarithmic          | 0,9898 | 0,000057 | 0,034874 |
|       | Two-term             | 0,9912 | 0,000313 | 0,064854 |
|       | Two-term exponential | 0,9893 | 0,000063 | 0,035937 |
| 75 °C | Page                 | 0,9815 | 0,001717 | 0,166649 |
|       | Modified Page        | 0,9869 | 0,001277 | 0,177182 |
|       | Henderson and Pabis  | 0,9990 | 0,005111 | 0,263803 |
|       | Logarithmic          | 0,9998 | 0,000010 | 0,263190 |
|       | Two-term             | 0,9997 | 0,005390 | 0,032990 |
|       | Two-term exponential | 0,9981 | 0,000181 | 0,048546 |

Examining the results of the 6 drying models applied to the two samples, it can be seen that the Page model has the highest  $R^2$  values and the lowest RMS and  $\chi^2$  values. Therefore, this model is the most appropriate for the mulberry fruit drying model.

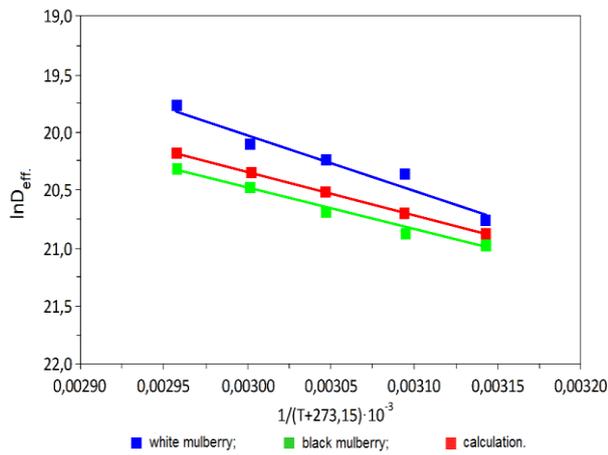
*Diffusion coefficient calculation results.* The effective diffusion coefficient values were calculated from equation (6). It was observed that the  $D_{\text{eff}}$  values increase strongly with increasing drying temperature. When samples are dried at a higher temperature, the increased heating energy increases the activity of the water molecules, resulting in increased moisture diffusion. If you look at fig. 8, it can be seen that the diffusion coefficients increase with increasing temperature because the evaporation of water in mulberry fruits is faster.



**Fig. 8. Effective diffusion coefficients of mulberry fruits dried at different temperatures**

If we compare the black mulberry samples by  $D_{\text{eff}}$  values, we can conclude that the white mulberry fruit dries out slightly faster at more nominal temperatures than the black mulberry fruit, due to diffusion.

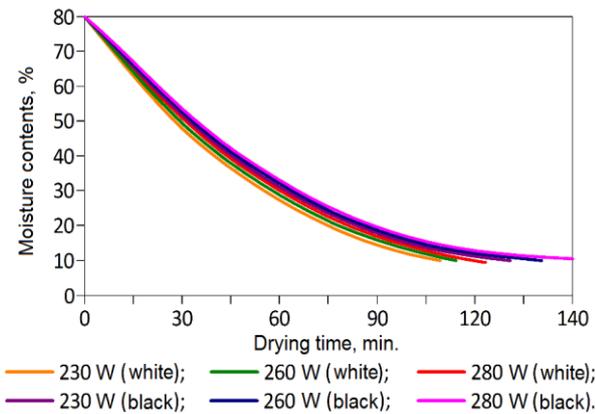
*Activation energy calculation results.* The activation energy values were calculated using formula (7), plotted between  $\ln D_{\text{eff}}$  and temperature.



**Fig. 9. Effect of temperature on the effective diffusion coefficient**

*Influence of infrared power level on drying time.* For the infrared drying process, 100 grams each of white and black mulberry fruits were dried at 230 W, 260 W and 280 W respectively to a final moisture content of about 16%. Drying times were weighed and noted every hour.

The moisture content-drying time plots from the experiments are shown in fig. 10.



**Fig. 10. Plot of the moisture content versus drying time of mulberry fruits dried at different power levels**

When looking at fig. 10, the drying time of the samples dried at an infra-red power level of 230 W is the shortest. Thus, as the applied power increases, the drying time increases. The longest drying time was observed for samples dried at an infrared power level of 280 W.

*Results of mathematical modelling.* The coefficient of determination ( $R^2$ ), ( $\chi^2$ ) and the estimated sum of squares of errors (RMS) are the parameters defined to determine the suitability of mulberry fruit drying curves. Six different drying models were used to compare these parameters. These models were applied to data obtained from mulberry samples dried in an infrared dryer at different power levels. The calculated statistics are given in table 5.

**Table 5**  
**Statistical results of drying models of mulberry fruits dried in an infrared dryer at a power of 230, 260 and 280 W**

| Power level | Model                | $R^2$  | $\chi^2$ | RMS      |
|-------------|----------------------|--------|----------|----------|
| 230 W       | Page                 | 0,9995 | 0,000052 | 0,028978 |
|             | Modified Page        | 0,9763 | 0,002140 | 0,206862 |
|             | Henderson and Pabis  | 0,9966 | 0,000274 | 0,062159 |
|             | Logarithmic          | 0,9656 | 0,003622 | 0,225477 |
|             | Two-term             | 0,9978 | 0,000366 | 0,076037 |
|             | Two-term exponential | 0,9981 | 0,000211 | 0,08272  |

Continuation of table 5

|       |                      |        |          |          |
|-------|----------------------|--------|----------|----------|
| 260 W | Page                 | 0,9992 | 0,000083 | 0,025061 |
|       | Modified Page        | 0,9656 | 0,003073 | 0,190663 |
|       | Henderson and Pabis  | 0,9750 | 0,002297 | 0,144812 |
|       | Logarithmic          | 0,9476 | 0,000077 | 0,028583 |
|       | Two-term             | 0,9929 | 0,001059 | 0,117551 |
|       | Two-term exponential | 0,9981 | 0,002103 | 0,03892  |
| 280 W | Page                 | 0,9996 | 0,000045 | 0,018225 |
|       | Modified Page        | 0,9868 | 0,001274 | 0,050824 |
|       | Henderson and Pabis  | 0,9968 | 0,000399 | 0,052891 |
|       | Logarithmic          | 0,9819 | 0,002039 | 0,110248 |
|       | Two-term             | 0,9977 | 0,000399 | 0,052515 |
|       | Two-term exponential | 0,9990 | 0,000295 | 0,02529  |

When examining the data in Table 3.8, the highest  $R^2$  value and the lowest RMS and  $\chi^2$  values were obtained from the Page model. For this reason, it was chosen as the drying model that best represents the drying curves of mulberry fruit dried in a convective infrared dryer.

*Amino acid components of mulberry fruits with different drying methods.* Each dried sample was prepared separately for analysis in the following order: No. 1-white mulberry fruits dried by microwave; No. 2-white mulberry fruits dried in a convective infrared dryer (drying method proposed by the author); No. 3-white mulberry fruits dried naturally; No. 4-black mulberry fruits dried by microwave; No. 5-black mulberry fruits dried in a convective infrared dryer (drying method proposed by the author); No. 6-black mulberry fruits dried by natural method. The content of essential amino acids and the proportion of essential amino acids in mulberry fruit powder were also the highest. Table 6 shows that mulberry fruit powder contains 18 types of amino acids.

Table 6

## Amino acids in mulberry fruit with different drying methods

| Amino acid composition | Initial amount  | Sample number      |          |          |          |          |          |
|------------------------|---|--------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                        |   | No.1               | No.2     | No.3     | No.4     | No.5     | No.6     |
|                        |   | Concentration mg/g |          |          |          |          |          |
| Serine                 | 0,22<br>[100; pp.14-20, 101; pp.189-196, 102; pp.47-53] | 0,203444           | 0,325893 | 0,375    | 0,185587 | 0,228954 | 0,281888 |
| Glycine                | 0,30<br>[100; pp.14-20, 101; pp.189-196]                | 0,336118           | 1,062339 | 0,503213 | 0,438946 | 0,554627 | 0,296915 |
| Asparagine             | 0,6<br>[100; pp.14-20, 101; pp.189-196]                 | 0,338046           | 0,504499 | 1,090046 | 0,423522 | 0,289846 | 0,55527  |
| Glutamine              | 0,88<br>[100; pp.14-20, 102; pp.47-53]                  | 1,118194           | 0,525896 | 0,478752 | 0,131474 | 0,650066 | 0,38911  |
| Cysteine               | 0,021<br>[103; pp.5679-5691]                            | 0,889617           | 0,82623  | 1,506011 | 0,375956 | 1,989071 | 1,468852 |

Continuation of table 6

|               |   |           |           |          |           |           |           |
|---------------|---|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|
| Threonine     | 0,2<br>[100; pp.14-20,<br>102; pp.47-53]    | 0,804171  | 1,708048  | 1,408276 | 0,26002   | 1,627892  | 1,061584  |
| Arginine      | 0,30<br>[100; pp.14-20,<br>102; pp.47-53]   | 0,359408  | 0,725461  | 1,083661 | 0,808819  | 0,811235  | 0,760495  |
| Alanine       | 0,30<br>[100; pp.14-20,<br>101; pp.189-196] | 0,658374  | 1,251749  | 0,825066 | 0,238843  | 0,825066  | 0,593065  |
| Proline       | 0,1<br>[100; pp.14-20,<br>101; pp.189-196]  | 0,563989  | 0,786408  | 0,738747 | 0,673433  | 1,074139  | 0,571933  |
| Tyrosine      | 0,2<br>[100; pp.14-20,<br>101; pp.189-196]  | 1,203562  | 0,704835  | 0,857506 | 0,826124  | 1,001696  | 0,597116  |
| Valine        | 0,30<br>[100; pp.14-20,<br>101; pp.189-196] | 1,064457  | 1,28124   | 1,129219 | 0,745515  | 1,323199  | 0,68045   |
| Methionine    | 0,1<br>[100; pp.14-20,<br>101; p.189-196]   | 0,818668  | 0,608205  | 0,517241 | 0,507134  | 0,491677  | 0,150416  |
| Histidine     | 0,1<br>[100; pp.14-20,<br>101; pp.189-196]  | 1,519207  | 1,552664  | 0,695167 | 1,593556  | 1,080545  | 1,421314  |
| Isoleucine    | 0,0485<br>[103; pp.5679-<br>5691]           | 0,28219   | 0,791056  | 0,767412 | 0,849139  | 1,432537  | 0,970445  |
| Leucine       | 0,15<br>[100; pp.14-20,<br>102; pp.47-53]   | 0,420071  | 1,436475  | 1,364426 | 1,659698  | 0,64844   | 0,22065   |
| Tryptophan    | 0,50<br>[103; pp.5679-<br>5691]             | 0,815403  | 0,577628  | 0,694377 | 0,506112  | 0,131418  | 0,514059  |
| Phenylalanine | 0,3<br>[100; pp.14-20,<br>101; pp.189-196]  | 0,270631  | 0,213592  | 0,14466  | 0,083738  | 0,125     | 0,13754   |
| Lysine HCl    | 0,02<br>[100; pp.14-20,<br>102; pp.47-53]   | 0,139078  | 0,392786  | 0,15992  | 0,284168  | 0,064529  | 0,061323  |
| TOTAL         | 4,6395                                      | 11,804628 | 15,275004 | 14,3387  | 10,591784 | 14,349937 | 10,732425 |

Among the six samples from the three mulberry fruit drying methods, sample No. 2-white mulberry fruit dried in a convective infrared dryer (drying method proposed by the author) the concentration of amino acids is: glutamic acid 1.11 mg/g; glycine 1.06 mg/g; asparagine 1.09 mg/g; threonine 1.70 mg/g; alanine 1.25 mg/g; valine 1.32 mg/g; histidine 1.59 mg/g; leucine 1.65 mg/g; phenylalanine 0.27 mg/g.

*Flavonoids in mulberry fruits with different drying methods.* The results of experimental studies on the determination of flavonoids contained in mulberry fruits are shown in table 7.

**Table 3.10**

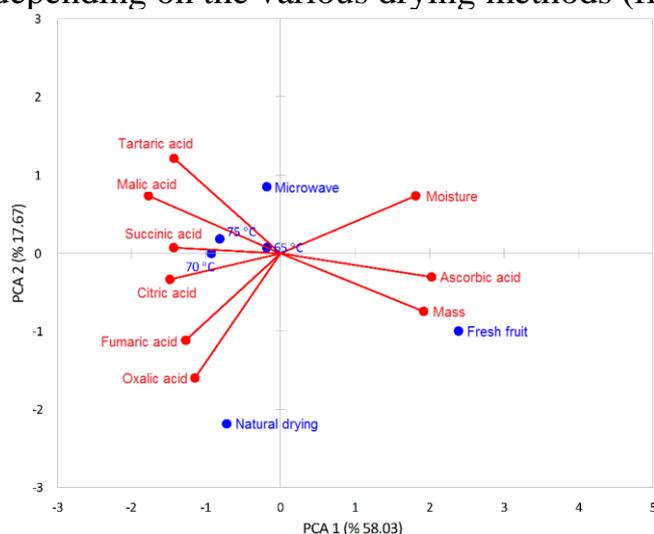
**Flavonoids in mulberry fruit with different drying methods**

| Flavonoids  | Initial amount  | Sample number      |        |        |        |        |        |
|-------------|---|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
|             |   | No.1               | No.2   | No.3   | No.4   | No.5   | No.6   |
|             |   | Concentration mg/g |        |        |        |        |        |
| Rutin       | 3,9442<br>[100; pp.14-20, 101;<br>pp.189-196, 102;<br>p.47-53, 103;<br>pp.5679-5691]  | 4,984              | 15,456 | 2,328  | 10,64  | 11,16  | 8,504  |
| Quercitin   | 0,1393<br>[100; pp.14-20, 101;<br>pp.189-196, 102;<br>pp.47-53, 103;<br>pp.5679-5691] | 0,904              | 0,536  | 0,44   | 0,584  | 0,496  | 0,504  |
| Gallic acid | 6,1911<br>[100; pp.14-20, 101;<br>pp.189-196, 102;<br>pp.47-53, 103;<br>pp.5679-5691] | 3,384              | 3,648  | 7,688  | 3,624  | 4,208  | 6,8    |
| TOTAL       | 10,2746   | 9,272              | 19,64  | 10,456 | 14,848 | 15,864 | 15,808 |

Among the six samples of the three methods of drying mulberry fruits, sample No. 2-white mulberry fruits dried in a convective infrared dryer (drying method proposed by the author) the concentration of flavonoids is: rutin 15.45 mg/gr, quercitin 0.90 mg/gr and gallic acid 7.68 mg/gr.

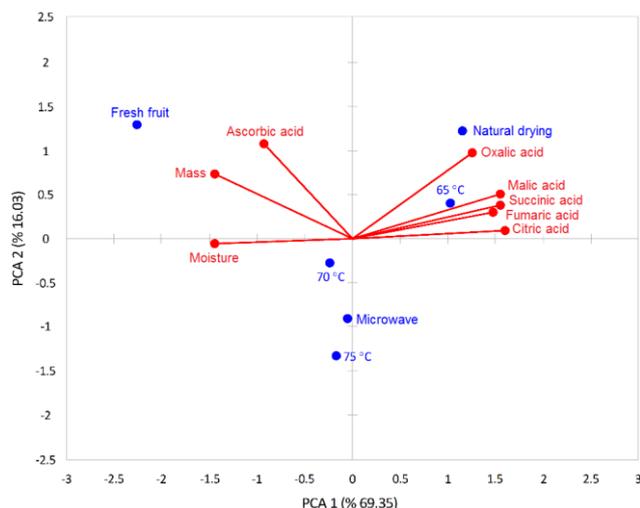
Thus, using the infrared drying method, the concentration of amino acids in mulberry fruits is quite higher than in other drying methods. The final products obtained can be used in the food and pharmaceutical industry.

*Analysis of organic acids in mulberry fruits.* The study examined the effect of various drying methods on the organic acid content and some quality parameters of white mulberry fruits, and examined the variability formed by the results of analyses of the main components. In the course of the study, the rate of change in the biochemical composition of white mulberry fruit was determined to be 75.7% depending on the various drying methods (fig. 11).



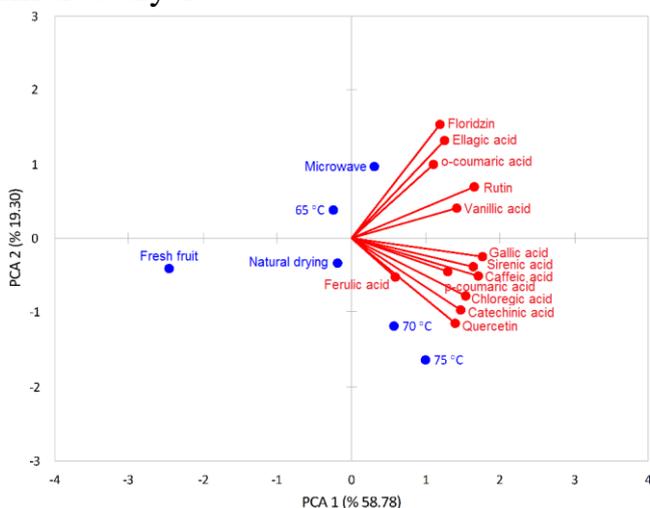
**Fig. 11. Relationship between different drying methods and organic acids in white mulberry fruits**

*Determination of organic acids in black mulberry fruit.* In this study, the rate of change in the biochemical composition of black mulberry fruit was determined to be 85.38%, depending on the various drying methods (fig. 12).



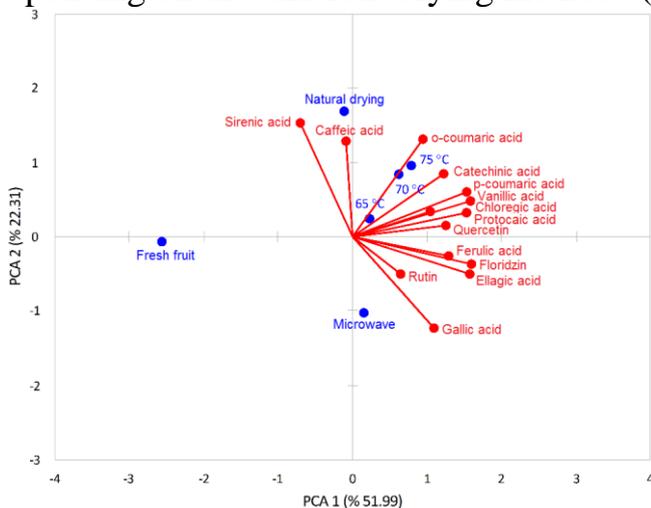
**Fig. 12. The relationship between the different drying methods, organic acids and some measures of quality of black mulberry fruits**

The degree of variation in the biochemical composition of white mulberry fruits depending on different drying methods was determined to be 78.08 % (fig. 13). Phenolic compounds were more frequently detected in fruits dried in a convective infrared dryer.



**Fig. 13. Relationship between different drying methods and phenolic compounds in white mulberry fruits**

During the study, the effect of various drying methods on the phenolic content of black mulberry fruits was studied, and the changes occurring in accordance with the principal component analysis were investigated. During the study, the rate of change in the biochemical composition of black mulberry fruit was determined to be 74.03% depending on the different drying methods (fig. 14).

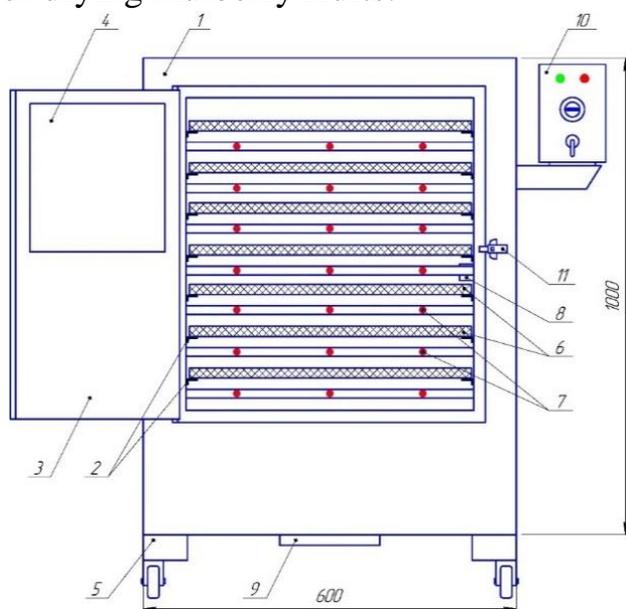


**Fig. 14. Relationship between different drying methods and phenolic compounds in black mulberry fruits**

Phenolic compounds were more frequently detected in fruit dried in a convective infrared dryer. Rutin, ferulic acid, ellagic acid, chlorosinic acid and gallic acid were all localised in the same region of variation during the study. Other phenolic resins apart from lilac acid were found in different variation regions during the study.

In the fourth chapter of the dissertation "**Improvement of infrared equipment for drying mulberry fruit**", the results of the infrared drying unit are presented.

Design is carried out by designing the drying plant using design software, namely Solidworks. The technology must first go through a validation process in order to obtain results that could be a solution to the problems encountered in the use of drying equipment in processing plants. After defining this step, an infrared dryer technology concept was developed and adapted to the needs of micro, small and medium-sized enterprises in Uzbekistan. Fig. 15 shows the design of the dryer, which was developed on the basis of analyses, existing techniques and technologies for drying mulberry fruits.



1-the equipment casing; 2-the shelves (pallet racking); 3-the door; 4-the windows for observing the drying process; 5-the equipment feet; 6-the mesh pallets; 7-the infrared emitters; 8-the thermocouples; 9-the fan; 10-the control block; 11-the lock.

**Fig. 15. Improved infrared equipment**

*An improved infrared dryer works as follows.* The fresh mulberries are washed of dust, cleaned of other impurities for drying, then placed in net trays 6, then the trays are placed in shelves 2 in the drying cell 1. Close door 3 tightly with the door lock 11. The infrared emitters 7 are activated by the control unit 10 and the air speed inside the chamber is controlled by changing the rotation speed of the fan 9. The temperature in the chamber is controlled automatically by the thermocouple 8. Once the products are completely dried, the appliance switches off, the trays are pulled out and the dried products are unloaded, fresh fruit is loaded into them again and fed back into the chamber. In this way, the drying process takes place as a consequence. The advanced infrared drying system retains the useful properties in the final products through infrared dehydration. All elements of the drying plant that have contact with the raw material must be made of suitable materials that are approved by the regulations.

## CONCLUSIONS

1. During convection-IR drying of mulberry fruit, the influence of temperature on the drying rate was more significant than that of the IR radiation power. In this, the drying time decreased and the drying rate increased as the drying temperature and IR power increased.

2. Convective-IR drying of mulberry is a reduced rate drying, the effective moisture diffusion coefficient increased as the convective drying temperature and drying power increased in the range of  $2.58 \times 10^{-9} \sim 8.37 \times 10^{-9}$  m<sup>2</sup>/s. The activation energy of convective-IR drying of mulberry is 53.97 kJ/mol, and the most appropriate drying model is the Page model.

3. At a drying temperature of 70 °C and an IR radiation power of 230 W, the dried mulberry products have the best physical and chemical quality. The convection-IR drying time is shorter and the overall quality is better compared to other drying methods.

4. Fruits of white mulberry dried in an infrared drying unit (drying method proposed by the author) have amino acid concentration as follows: glutamic acid 1.11 mg/g; glycine 1.06 mg/g; asparagine 1.09 mg/g; threonine 1.70 mg/g; alanine 1.25 mg/g; valine 1.32 mg/g; histidine 1.59 mg/g; leucine 1.65 mg/g; phenylalanine 0.27 mg/g;

5. In white mulberry fruits dried in an infrared dryer (drying method proposed by the author), the concentration of flavonoids is: rutin 15.45 mg/g, quercetin 0.90 mg/g and gallic acid 7.68 mg/g.

6. In terms of moisture content, fresh white mulberry has a moisture content of 83.63% and black mulberry has a moisture content of 91.97%. In naturally dried samples this figure in white mulberry decreased to 17.87% and in black mulberry to 16.94%. The moisture content of some samples dried in an infrared dryer was higher than that of naturally dried samples (white mulberry 13.73%, black mulberry 25.70%).

7. The design of a convective infrared drying unit for drying mulberry fruit has been improved. Also, the parameters, overall dimensions and productivity of the proposed rational pilot convective drying unit with infrared heating are determined.

8. It is established, that perfected convective infra-red drying unit has ability to dry the products from humidity 83-91% to 16-25% at temperature of drying 65 °C, 70 °C and 75 °C. Thus, this unit can be used effectively in micro, small and medium enterprises.

9. Development and recommendations of dissertation on technique and technology of mulberry fruit drying with preservation of biologically active substances are introduced in enterprise "Sunny Land Products" Ltd. (certificate №04-1/01-23 of Food Industry Association of Uzbekistan from January 04, 2023).

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.03/30.12.2019.Т.04.01 ПРИ ТАШКЕНТСКОМ  
ХИМИКО - ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ИНСТИТУТЕ ПО ПРИСУЖДЕНИЮ  
УЧЁНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК**

---

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ**

**ТАРАВАДЕ АБХИЖИТ**

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ИНФРАКРАСНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ  
СУШКИ ПЛОДОВ ТУТОВНИКА**

**02.00.16 - Процессы и аппараты химических технологий и пищевых производств  
(технические науки)**

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (PhD)  
ПО ТЕХНИЧЕСКИМ НАУКАМ**

**Ташкент – 2023**

Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан под номером В2022.3.PhD/Т3039.

Диссертация выполнена в Ташкентском государственном техническом университете.

Автореферат диссертации на трёх языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещён на веб-странице Научного совета по адресу ([www.tdtu.uz](http://www.tdtu.uz)) и информационно-образовательном портале «Ziynet» ([www.ziynet.uz](http://www.ziynet.uz)).

**Научный руководитель:** Султанова Шахноза Абдувахитовна  
доктор технических наук

**Официальные оппоненты:** Каримов Икромали Тожиматович  
доктор технических наук, профессор

Курбанов Жамшед Мажидович  
доктор технических наук, профессор

**Ведущая организация:** Институт общей и неорганической химии

Защита диссертации состоится «22» 06 2023 г. в «9<sup>00</sup>» часов на заседании научного совета DSc.03/30.12.2019.T.04.01 при Ташкентском химико-технологическом институте по адресу: (100011, г. Ташкент, Шайхонтахурский район, ул. А.Навои, 32. Тел.: (99871) 244-79-20; факс: (99871) 244-79-17; e-mail: [tstu\\_info@tdtu.uz](mailto:tstu_info@tdtu.uz)).

Диссертация зарегистрирована в Информационно-ресурсном центре Ташкентского химико-технологического института за № 510 с которой можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре: (Адрес: 100011, Ташкент, Шайхонтахурский район, ул. А.Навои, 32. Тел.: (99871) 244-79-20).

Автореферат диссертации разослан «10» 06 2023 года.  
(протокол рассылки № 324 от «10» 06 2023 г.).



  
**С.М.Турдждонов**  
Председатель научного совета по  
присуждению учёных степеней,  
д.т.н., профессор

**Х.И.Кодиров**  
Учёный секретарь научного совета по  
присуждению, учёных степеней,  
д.х.н., доцент

  
**К.П.Серкаев**  
Председатель научного семинара при научном  
совете по присуждению ученых степеней,  
д.т.н., доцент

## **ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))**

**Целью исследования** является совершенствование инфракрасной установки для сушки плодов тутовника.

**Объектом исследования** являются белые (*Morus alba* L.) и черные (*Morus nigra* L.) плоды тутовника.

**Научная новизна исследования** заключается в следующем:

установлено, что эффективный коэффициент диффузии влаги при сушке плодов тутовника с помощью ИК-излучения колеблется в пределах  $2,58 \times 10^{-9} \dots 8,37 \times 10^{-9}$  м<sup>2</sup>/с в зависимости от температуры и мощности;

математически смоделирован процесс сушки плодов тутовника с использованием современного программного обеспечения Comsol Multiphysics 5.5;

Модель Пейджа лучше всего описывает процесс ИК-сушки, с самым высоким средним значением  $R^2$  (0,99882), самым низким средним значением  $\chi^2$  ( $2,89 \times 10^{-4}$ ) и значением RMS ( $9,86 \times 10^{-4}$ ), а энергия активации плодов тутовника составила 53,97 кДж/моль;

разработана технология процесса сушки плодов тутовника, позволяющая сохранить биологические активные вещества на 90-95%;

**Внедрение результатов исследования.** На основе полученных научных и практических результатов по совершенствованию конвективной инфракрасной сушильной установки для сушки плодов тутовника:

энергосберегающая технология для сушки плодов тутовника внедрена в производство в ООО «Sunny Land Products» (справка №04-1/01-23 Ассоциации предприятий пищевой промышленности Узбекистана от 04 января 2023 года). В результате, за счет использования высокоэффективной ИК технологии производство продукции увеличилось в 1,1 раза и потеря сырья снизилась на 12%;

метод сушки плодов тутовника внедрен в производство в ООО «Sunny Land Products» (справка №04-1/01-23 Ассоциации предприятий пищевой промышленности Узбекистана от 04 января 2023 года). В результате это дало возможность сохранить 90-95% биологически активных веществ конечного продукта за счет использования высокоэффективного метода;

усовершенствованная инфракрасная установка для сушки плодов тутовника внедрены в практику в ООО «Sunny Land Products» (справка №04-1/01-23 Ассоциации предприятий пищевой промышленности Узбекистана от 04 января 2023 года). В результате, внедрение высокоэффективной энергосберегающей сушильной установки с использованием инфракрасный нагревом и за счет оптимального выбор расположения ИК температура получена возможность расходовать меньше энергии в 1,25 раза по сравнению с существующими технологиями и установками.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа состоит из четырех глав, списка использованной литературы и 4 приложений. Общий объем диссертации включает 103 страниц, 54 рисунка и 37 таблиц.

**ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ**  
**СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ**  
**LIST OF PUBLISHED WORKS**

**I бўлим (I часть; I part)**

1. Abhijit T., Safarov J.E., Sultanova Sh.A. Моделирование процесса сушки пищевого сырья. // Universum: технические науки. Москва, 2021. №11(92), часть 2. С.53-56. (02.00.00; №1).

2. Abhijit T., Safarov J.E., Sultanova Sh.A. Исследование процесса сушки плодов тутовника. // Развитие науки и технологий. Бухара, 2021. №6. -С.200-205. (02.00.00; №14).

3. Абхижит Тараваде, Самандаров Д.И., Сафаров Ж.Э., Султанова Ш.А. Определение аминокислотных компонентов в плодах тутовника при использовании различных способов сушки. // Universum: технические науки. – Москва, 2022. №10(100), часть 2. С.49-54. (02.00.00; №1).

4. Абхижит Тараваде. Математический расчет процесса сушки плодов тутовника конвективно-инфракрасным способом. // Проблемы энерго- и ресурсосбережения. –Ташкент. 2022. Спец.выпуск. С.333-340. (05.00.00; №21) .

5. Абхижит Тараваде, Самандаров Д.И., Сафаров Ж.Э., Султанова Ш.А. Исследование усовершенствованной инфракрасной сушильной установки для сушки плодов тутовника. // Проблемы энерго- и ресурсосбережения. Ташкент. 2022. Спец.выпуск. С.256-263. (05.00.00; №21).

6. Абхижит Тараваде, Самандаров Д.И., Сафаров Ж.Э., Султанова Ш.А. Определение флавоноидов в высушенных плодах тутовника с помощью различных способов сушки. // Развитие науки и технологий. Бухара, 2022. №5. С.48-52. (02.00.00; №14).

7. Abhijit Tarawade, Samandarov D.I., Safarov J.E., Sultanova Sh.A. Thermal and structural calculation of an improved infrared dryer for drying mulberry fruits // Universum: технические науки. Москва, 2023. №1(106).

8. Эркинов Д.Д., Тараваде А., Самандаров Д.И., Сафаров Ж.Э., Султанова Ш.А. Определение химического состава и минеральных веществ плодов некоторых видов тутовника, произрастающих на территории узбекистана // Universum: химия и биология: 2023. 3(105). С.8-12.

**II бўлим (II часть; II part)**

9. Tarawade A., Safarov J., Sultanova Sh.A. Mathematical modeling of the drying process of capillary porous material. // International scientific and technical journal «Innovation technical and technology». Vol.1, №3. 2020. pp.29-35.

10. Sultanova Sh.A., Artikov A.A., Masharipova Z.A., Abhijit Tarawade, Safarov J.E. Results of experiments conducted in a helio water heating convective drying plant. // International conference AEGIS-2021 «Agricultural Engineering and Green Infrastructure Solutions». IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 868 (2021) 012045. P.1-6.

11. Sultanova Sh., Zaripov O., Beraat Özçelik, Aït Kaddour A., Safarov J., Sunil Verma, Abhijit Tarawade. Innovative method of drying medical plants. Monograph: New royal book company. –India, 2021. -191 p.

12. Safarov J.E., Dadayev G.T., Khujakulov U.K., Sunil Verma, Abhijit Tarawade. Traditional and advanced technology of food drying. Republican scientific-practical conference “Actual problems of industrial engineering”. Bukhara, 2021. P.73-74.

13. Tarawade A.R., Özçelik B., Sultanova Sh.A., Safarov J.E. Analysis of the process of mass transfer during drying. // «V International Scientific Conference on Agribusiness, Environmental Engineering and Biotechnologies» - AGRITECH V – 2021. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 848 (2021) 012003. P.1-5.

14. Abhijit Tarawade, Сафаров Ж.Э., Султанова Ш.А. Моделирование и стимуляция процесса сушки плодов тутовника. II-Международный научно и научно-технической конференции «Проблемы и перспективы инновационной техники и технологий в аграрном-пищевом секторе». Ташкент, 2022. Часть 2. С.28-29.

15. Abhijit Tarawade, Сафаров Ж.Э., Султанова Ш.А. Плоды тутовника как объект сушки. II-Международный научно и научно-технической конференции «Проблемы и перспективы инновационной техники и технологий в аграрном-пищевом секторе». Ташкент, 2022. Часть 2. С.107-109.

16. Abhijit Tarawade, Ergasheva Z.K., Rakhmanova T.T., Sulstonova S.A., Safarov J.E. Investigation of the drying process of moist materials under convective heat input conditions. // IOP Conf. AEGIS-2022. Series: Earth and Environmental Science 1076 (2022) 012058. P.1-7.

17. Tarawade A., Samandarov D.I., Azimov T.Dj., Sultanova Sh.A., Safarov J.E. Theoretical and experimental study of the drying process of mulberry fruits by infrared radiation / IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 1112 (2022) 012098. P.1-8.

18. Абхижит Т., Султанова Ш.А. Влияние различных способов сушки на некоторые пищевые ценности плодов белого тутовника // Международной научно-практической конференции «Сейфуллинские чтения-19», посвященной 110-летию М.А.Гендельмана». Астана, 2023. С.384-387.

Автореферат «Кимё ва кимё технологияси» журнали таҳририятида тахрирдан ўтказилиб, ўзбек, рус ва инглиз тилларидаги матнлар ўзаро мувофиқлаштирилди.

Босмахона лицензияси:



**9338**

Бичими: 84x60 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. «Times New Roman» гарнитураси.  
Рақамли босма усулда босилди.  
Шартли босма табоғи: 3. Адади 100 дона. Буюртма № 40/23.

Гувоҳнома № 851684.  
«Тирографф» МЧЖ босмахонасида чоп этилган.  
Босмахона манзили: 100011, Тошкент ш., Беруний кўчаси, 83-уй.