

**MEVA VA SABZAVOT CHIQINDILARIDAN BIOLOGIK
PARCHALANADIGAN OZIQ-OVQAT QADOQLASH PLYONKALARINI
ISHLAB CHIQISH****Mahmirzayeva Laziza, Kxasanova Kxolida**

“Toshkent irrigatsiya va qishloq xo‘jaligini mexanizatsiyalash muhandislari instituti”
Milliy tadqiqot universiteti

Annotatsiya

Plastik ifloslanish bugungi kunda global miqyosdagi eng dolzarb ekologik muammolardan biri hisoblanadi. Ayniqsa oziq-ovqat sanoatida keng qo‘llaniladigan sintetik polimerlar atrof-muhitda uzoq vaqt parchalanmay qolishi sababli chiqindilar to‘planishiga olib keladi. Shu bois, tabiiy, qayta tiklanuvchi va biologik parchalanadigan materiallarga asoslangan muqobil qadoqlash tizimlarini ishlab chiqish muhim ilmiy-amaliy yo‘nalish sifatida qaralmoqda. Ushbu sharh maqolada meva va sabzavot chiqindilaridan, jumladan banan po‘stlog‘i, sitrus mevalar po‘stlog‘i va kartoshka po‘stlog‘idan kraxmal, pektin va selluloza kabi biopolimerlarni ajratib olish hamda ulardan biologik parchalanadigan oziq-ovqat qadoqlash plyonkalarini tayyorlash jarayonlari tahlil qilinadi. Tayyorlangan plyonkalar mexanik mustahkamlik, suv bug‘i o‘tkazuvchanligi va biodegradatsiya xususiyatlari asosida baholanadi. Natijalar ushbu materiallarning sintetik plastmassalarga ekologik muqobil bo‘lish imkoniyatini ko‘rsatadi hamda chiqindilarni qayta ishlash orqali qiymat yaratishga asoslangan aylana iqtisodiyot tamoyillarini qo‘llab-quvvatlaydi.

Kalit so‘zlar: biopolimerlar, kraxmal, pektin, selluloza, biologik parchalanadigan plyonka, oziq-ovqat qadoqlash, barqaror materiallar.

**РАЗРАБОТКА БИОРАЗЛАГАЕМЫХ ПИЩЕВЫХ УПАКОВОЧНЫХ
ПЛЕНОК ИЗ ОТХОДОВ ФРУКТОВ И ОВОЩЕЙ****Mahmirzayeva.L.O, X.I. Xasanova**

Национальный исследовательский университет «Ташкентский институт инженеров
ирригации и механизации сельского хозяйства»

Аннотация

Пластиковое загрязнение в настоящее время является одной из наиболее актуальных глобальных экологических проблем. Особенно синтетические полимеры, широко используемые в пищевой промышленности, из-за своей низкой биологической разлагаемости приводят к длительному накоплению отходов в окружающей среде. В связи с этим разработка альтернативных упаковочных систем на основе природных, возобновляемых и биоразлагаемых материалов рассматривается как важное научно-практическое направление. В данной обзорной статье анализируются процессы извлечения биополимеров, таких как крахмал, пектин и целлюлоза, из отходов фруктов и овощей, включая банановые, цитрусовые и картофельные кожуры, а также их применение для получения биоразлагаемых пищевых упаковочных пленок. Полученные пленки оцениваются по механической прочности, водопроницаемости и способности к биоразложению. Результаты показывают потенциал этих материалов как экологически безопасной альтернативы синтетическим пластикам и поддерживают принципы циркулярной экономики, основанной на переработке отходов.

Ключевые слова: биополимеры, крахмал, пектин, целлюлоза, биоразлагаемые пленки, упаковка пищевых продуктов, устойчивые материалы.

Development of Biodegradable Food Packaging Films from Fruit and Vegetable Waste

Mahmirzayeva.L.O, X.I. Xasanova

“Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers”
National Research University

Abstract

Plastic pollution is currently recognized as one of the most pressing global environmental challenges. In particular, synthetic polymers widely used in the food industry contribute to long-term environmental accumulation due to their non-biodegradable nature, leading to waste accumulation. Therefore, the development of alternative packaging systems based on natural, renewable, and biodegradable materials is considered an important scientific and practical direction. This review

article analyzes the extraction of biopolymers such as starch, pectin, and cellulose from fruit and vegetable waste, including banana peels, citrus peels, and potato peels, as well as their application in the production of biodegradable food packaging films. The prepared films are evaluated based on their mechanical strength, water vapor permeability, and biodegradation properties. The results demonstrate the potential of these materials as environmentally friendly alternatives to synthetic plastics and support the principles of a circular economy based on waste valorization and value creation.

Keywords: biopolymers, starch, pectin, cellulose, biodegradable films, food packaging, sustainable materials.

1. Kirish

Oziq-ovqat mahsulotlarini qadoqlashda plastik materiallar keng qo'llaniladi, chunki ular mahsulot sifatini saqlash, saqlanish muddatini uzaytirish va transport jarayonini yengillashtirishda muhim ahamiyatga ega [1,2]. Biroq, bunday sintetik polimerlarning biologik parchalanmasligi ularning atrof-muhitda, jumladan chiqindixonalar va dengiz ekotizimlarida to'planib qolishiga sabab bo'lmoqda [3,4]. Natijada ekologik ifloslanish darajasi ortib, tabiiy muhitga jiddiy zarar yetkazilmoqda. An'anaviy plastmassalar asosan qazilma yoqilg'ilarga asoslangan bo'lib, ularning ishlab chiqarilishi ham ekologik bosimni oshiradi. Shu sababli barqaror va biologik parchalanadigan alternativ materiallarga ehtiyoj ortib bormoqda [5,6]. So'nggi yillarda ilmiy tadqiqotlar meva va sabzavot chiqindilaridan foydalanish orqali ushbu muammoni hal qilishga qaratilgan yangi yondashuvlarni taklif qilmoqda. Meva va sabzavot chiqindilari tarkibida tabiiy biopolimerlar — kraxmal, pektin va selluloza — mavjud bo'lib, ular plyonka hosil qilish xususiyatiga ega [7–9]. Ushbu moddalarning mavjudligi ularni biologik parchalanadigan qadoqlash materiallari ishlab chiqarishda muhim xom ashyo sifatida qo'llash imkonini beradi [10,11]. Kraxmal o'zining tabiiy biodegradatsiya xususiyati va plyonka hosil qilish qobiliyati bilan ajralib turadi, biroq uning mexanik xususiyatlarini yaxshilash uchun plastifikatorlar talab etiladi [12,13]. Pektin asosan sitrus va olma po'stlog'idan olinib, plyonkaning yaxlitligi va mustahkamligini oshiradi [14]. Selluloza esa o'simlik chiqindilarida eng ko'p uchraydigan struktural biopolimer bo'lib, plyonkalarga mexanik barqarorlik va to'siq xususiyatlarini beradi [15]. Ushbu biopolimerlarni ajratib olish va ularni optimal kombinatsiyada qo'llash orqali yuqori sifatli, ekologik xavfsiz qadoqlash materiallarini ishlab chiqish mumkin [16,17]. Shu asosda mazkur tadqiqot meva va sabzavot

chiqindilarini qayta ishlash orqali biologik parchalanadigan plyonkalar yaratish jarayonlarini o'rganishga qaratilgan.

2. Materiallar

2.1 Reagentlar va kimyoviy moddalar

Biologik parchalanadigan oziq-ovqat qadoqlash plyonkalarini ishlab chiqarish va biopolimerlarni ajratib olish jarayonlarida bir qator kimyoviy reagentlar qo'llanildi. Distillangan suv biopolimerlarni eritish va plyonka hosil qiluvchi eritmalarini tayyorlashda asosiy erituvchi sifatida ishlatilib, komponentlarning bir xil taqsimlanishini ta'minlaydi hamda tizimning gomogenligini saqlab turadi. Glitserol plastifikator sifatida qo'llanilib, biopolimer asosidagi plyonkalarining elastikligini oshiradi, mexanik xususiyatlarini yaxshilaydi va ularning mo'rtlashib qolishining oldini oladi. Sirka kislotasi pektin ajratib olish jarayonida o'simlik hujayra devorlarini kimyoviy parchalanishini ta'minlab, pektin molekulalarining eritmaga o'tishini tezlashtiradi. Natriy gidroksid (NaOH) esa sellüloza ajratib olishda ishlatilib, lignin va gemitsellyuloza kabi nojo'ya komponentlarni yo'qotish orqali yuqori tozalikka ega sellüloza olish imkonini beradi. Etanol (95%) pektinni cho'ktirish jarayonida ishlatilib, pektin molekulalarini eritmadan ajratish va ularni qayta yig'ib olish samaradorligini oshiradi. Tabiiy manbalardan olingan biopolimerlar ham muhim xom ashyo sifatida qo'llanildi. Sitrus va olma po'stlog'idan ajratib olingan pektin tabiiy polisaxarid bo'lib, plyonka hosil qilishda asosiy struktura hosil qiluvchi komponent sifatida xizmat qiladi. Kartoshka va banan po'stlog'idan olingan kraxmal biologik parchalanadigan polimer sifatida plyonkalarga moslashuvchanlik va barqarorlik beradi. Makkajo'xori po'chog'i va bug'doy somoni kabi o'simlik tolalaridan ajratib olingan sellüloza esa tuzilmaviy polisaxarid bo'lib, plyonkalarining mexanik mustahkamligi, qattiqligi hamda to'siq (barrier) xususiyatlarini sezilarli darajada yaxshilaydi.

2.2 Uskunalar va asboblari

Tadqiqot jarayonida biopolimerlarni ajratib olish, plyonkalarni tayyorlash va ularni tahlil qilish uchun bir qator laboratoriya uskunalari qo'llanildi. Analitik tarozi xom ashyo va kimyoviy reagentlarning aniq miqdorini o'lchashda ishlatilib, tajriba aniqligini ta'minlaydi. Magnit aralashtirgichli issiq plita biopolimerlarni eritish va komponentlarni bir xil aralashtirish uchun harorat va mexanik aralashtirishni birgalikda boshqarish imkonini beradi. pH o'lchagich eritmalarining kislotalilik

darajasini nazorat qilish va optimallashtirishda muhim rol o'ynab, biopolimerlarning barqarorligi va funksional xususiyatlarini saqlashga yordam beradi. Bekkerlar kimyoviy reaksiyalar, ekstraksiya, aralashtirish va cho'ktirish jarayonlarida asosiy reaksiya idishlari sifatida ishlatiladi. Shisha Petri kosachalari esa plyonka quyish yuzasi bo'lib xizmat qilib, eritmalarning bir tekis qatlam hosil qilishi va qurishini ta'minlaydi. Quritish shkafi (pech) nazorat qilinadigan haroratda ishlatilib, biopolimerlar va tayyor plyonkalarni quritish hamda ortiqcha namlikni yo'qotishda muhim ahamiyatga ega. Mexanik sinov qurilmasi plyonkalarning cho'zilish mustahkamligi va uzayish xususiyatlarini aniqlash orqali ularning mexanik chidamliligini baholaydi. Suv bug'i o'tkazuvchanligini o'lchash apparati plyonkalarning to'siq xususiyatlarini aniqlashda qo'llanilib, ularning oziq-ovqat qadoqlash uchun mosligini baholash imkonini beradi. FTIR (Fourier Transform Infraqizil Spektroskopiya) tizimi plyonkalardagi kimyoviy bog'lar va funksional guruhlarini aniqlash orqali biopolimer tarkibini tasdiqlaydi. Skanerlovchi elektron mikroskop (SEM) esa plyonka yuzasining mikrostrukturasini o'rganib, uning g'ovakligi, silliqqligi va umumiy morfologik sifatleri haqida batafsil ma'lumot beradi.

3. Material va uslublar

3.1 Meva va sabzavot chiqindilaridan biopolimerlarni ajratib olish

Meva va sabzavot chiqindilaridan kraxmal, pektin va selluloza kabi muhim biopolimerlarni ajratib olish oddiy, biroq samarali fizik va kimyoviy jarayonlar asosida amalga oshiriladi. Ushbu biopolimerlar mos ravishda kartoshka va banan po'stlog'i, sitrus mevalar va olma po'stlog'i hamda makkajo'xori po'chog'i va bug'doy somoni kabi qishloq xo'jaligi chiqindilaridan olinadi. Ajratib olish jarayoni xom ashyoni dastlabki tozalash, mexanik yoki kimyoviy ishlov berish, filtrlash hamda quritish bosqichlarini o'z ichiga oladi. Bu bosqichlar orqali biopolimerlar tarkibidan lignin, gemitsellyuloza va boshqa nopolimer komponentlar to'liq chiqarib tashlanadi va yuqori tozalikdagi mahsulot olinadi. Natijada ajratib olingan biopolimerlar biologik parchalanadigan oziq-ovqat qadoqlash plyonkalari va boshqa ekologik barqaror materiallar ishlab chiqarish uchun asosiy xom ashyo sifatida xizmat qiladi.

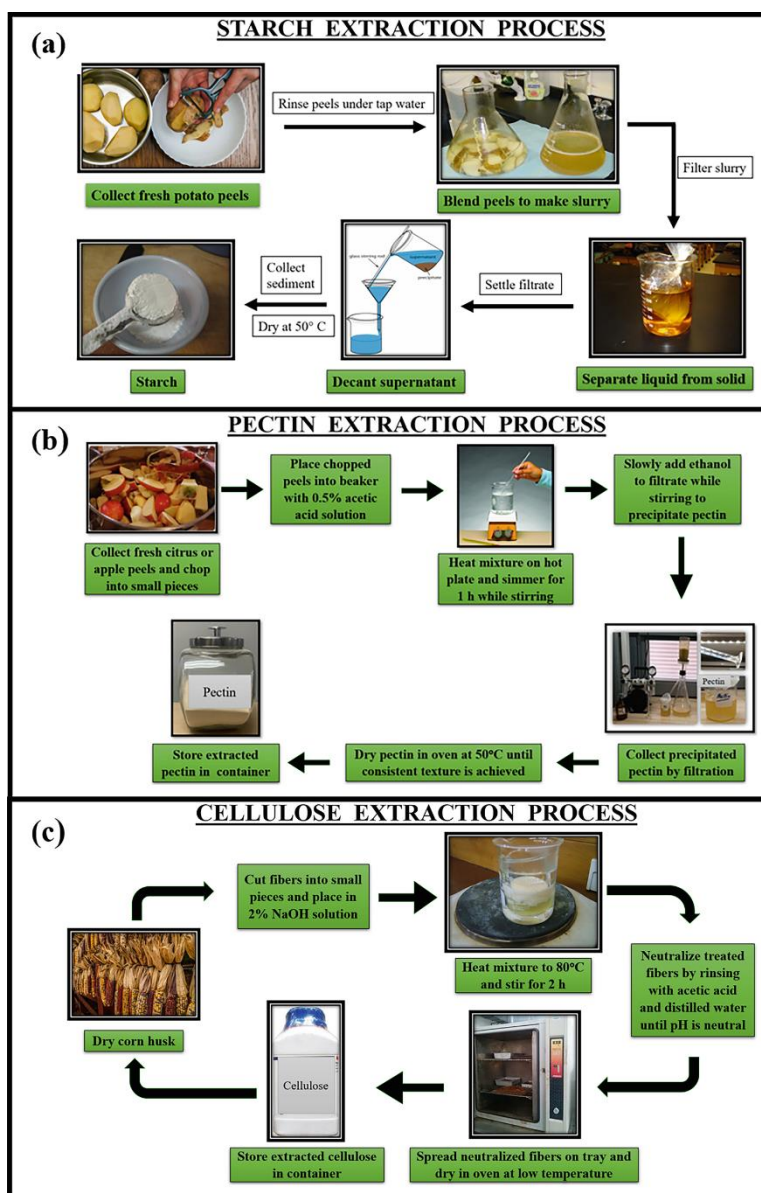
3.1.1 Kraxmalni ajratib olish

Kraxmalni ajratib olish jarayoni kartoshka yoki banan po'stlog'ini dastlabki tayyorlashdan boshlanadi. Yangi po'stloqlar yig'ilib, ularning tuproq, pestitsid va

boshqa ifloslantiruvchi moddalardan to'liq tozalanganligiga ishonch hosil qilinadi. Po'stloqlar oqar suv ostida yaxshilab yuviladi va keyingi bosqichga tayyorlanadi. So'ngra yuvilgan xom ashyo blenderga joylashtirilib, distillangan suv qo'shiladi va o'rtacha tezlikda maydalash orqali bir xil suspenziya hosil qilinadi. Hosil bo'lgan massa doka yoki mayda teshikli filtr orqali suzilib, kraxmalga boy suyuqlik qattiq qoldiqlardan ajratiladi. Filtrlash jarayonida maksimal miqdorda suyuqlik olish uchun doka ehtiyotkorlik bilan siqiladi. Olingan filtrat bir necha soat davomida tinch holatda qoldiriladi, bu esa kraxmal zarrachalarining idish tubiga tabiiy cho'kishini ta'minlaydi. Keyinchalik yuqori qismdagi suyuqlik ehtiyotkorlik bilan ajratib olinadi va cho'kma holidagi kraxmal buzilmasdan saqlanadi. Cho'kkan kraxmal yig'ib olinadi va past haroratda (taxminan 50 °C) quritish jarayoniga yuboriladi. Quritish jarayoni yakunlangach, kraxmal namlikdan to'liq xoli bo'lgan holatda olinadi va keyingi

foydalanish uchun havo o'tkazmaydigan quruq idishlarda saqlanadi.

1-rasm. Meva va sabzavot chiqindilaridan biopolimerlarni ajratib olish jarayonining sxematik tasviri: (a) kraxmal, (b) pektin va (c) sellüloza.



3.1.2 Pektinni ajratib olish

Pektinni ajratib olish jarayoni sitrus mevalari (apelsin, limon) yoki olma po'stlog'idan boshlanadi. Xom ashyo tozalangan va iflosliklardan holi bo'lishi kerak. Ajratib olish samaradorligini oshirish maqsadida po'stloqlar mayda bo'laklarga kesiladi. Tayyorlangan material bekkerga joylashtirilib, unga 0,5% li sirka

kislotali eritmasi qo'shiladi. Aralashma issiq plitada qizdirilib, taxminan 1 soat davomida past haroratda qaynatiladi va vaqti-vaqti bilan aralashtirib turiladi. Bu jarayon o'simlik hujayra devorlarining parchalanishini va pektinning eritmaga o'tishini ta'minlaydi. Qizdirish yakunlangach, eritma muslin matosi orqali filtrlanadi va pektin saqlovchi suyuqlik qattiq qoldiqlardan ajratiladi. Keyingi bosqichda filtratga etanol asta-sekin qo'shib, doimiy aralashtirish amalga oshiriladi. Bu jarayon pektinning cho'kishini ta'minlab, jelga o'xshash massa hosil bo'lishiga olib keladi. Hosil bo'lgan cho'kma keyinchalik ajratib olinadi va tozalanadi.

3.1.3 Sellulozani ajratib olish

Sellulozani ajratib olish jarayoni qishloq xo'jaligi chiqindilaridan, xususan makkajo'xori po'chog'i va bug'doy somoni kabi lignosellyulozali biomateriallardan foydalanishga asoslanadi. Dastlab xom ashyo toza va quruq holatda tanlab olinadi hamda ifloslantiruvchi moddalardan tozalanganligiga ishonch hosil qilinadi. Tayyorlangan tolalar mayda bo'laklarga kesilib, 2% li natriy gidroksid (NaOH) eritmasiga joylashtiriladi va 80 °C haroratda taxminan 2 soat davomida ishlov beriladi. Ushbu ishqoriy muhit lignin va gemitsellyuloza komponentlarini parchalanishiga olib kelib, selluloza tolalarini ajratib olishni osonlashtiradi. Jarayon yakunlangach, ishlov berilgan material sirka kislotali bilan yuvilib, keyin distillangan suv yordamida bir necha marta chayiladi va pH neytral holatga keltiriladi. Bu bosqich kimyoviy qoldiqlarni to'liq yo'qotish va sellulozaning tozaligini ta'minlash uchun muhim hisoblanadi. Neytrallangan tolalar quritish uchun yoyilib, past haroratli quritgichda to'liq quritiladi. Olingan selluloza keyinchalik foydalanish uchun namlikdan himoyalangan, havo o'tkazmaydigan idishlarda saqlanadi.

3.2 Biologik parchalanadigan oziq-ovqat qadoqlash plyonkalarini tayyorlash

Biologik parchalanadigan plyonkalar tayyorlash jarayoni ajratib olingan biopolimerlar — kraxmal, pektin yoki sellulozani suv muhitida eritishdan boshlanadi. Biopolimerlar distillangan suvda to'liq dispersiyalanib, bir xil suspenziya hosil bo'lguncha ehtiyotkorlik bilan aralashtiriladi. Ushbu bosqich plyonka strukturasining bir xilligini ta'minlashda muhim ahamiyatga ega. Keyingi bosqichda glitserol plastifikator sifatida eritmaga asta-sekin qo'shiladi. Glitserolning to'liq aralashishi plyonkaning elastikligi, egiluvchanligi va mexanik barqarorligini belgilovchi asosiy omillardan biridir. So'ngra aralashma taxminan 80 °C haroratda qizdirilib, doimiy aralashtirish orqali gomogen va viskoz jelga o'xshash eritma hosil qilinadi. Haddan

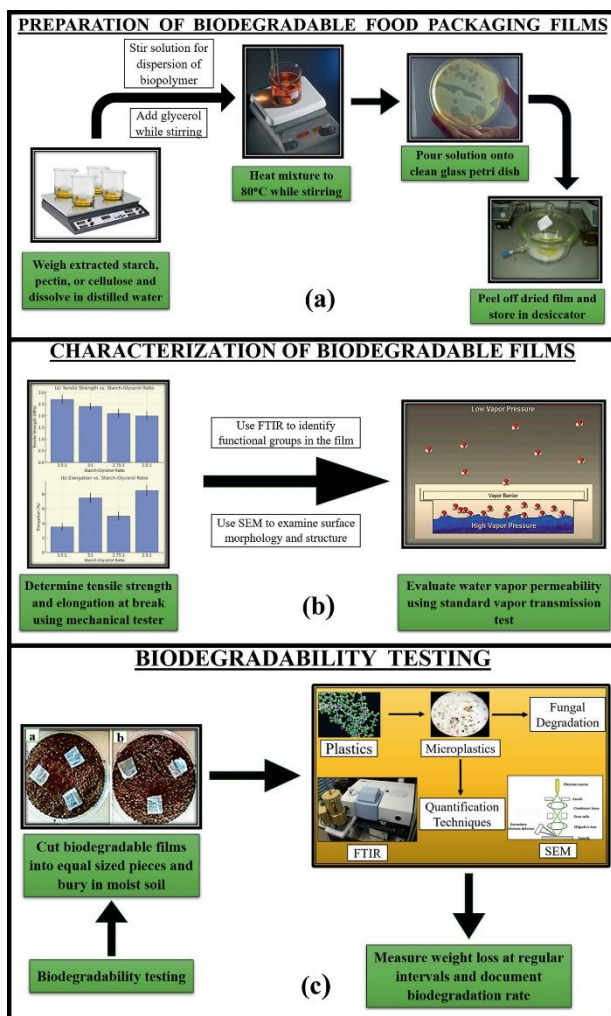
tashqari qizdirish biopolimerlarning strukturaviy buzilishiga olib kelishi mumkinligi sababli jarayon nazorat ostida olib boriladi. Tayyorlangan eritma shisha Petri kosachasiga quyilib, bir tekis qatlam hosil qilinadi va xona haroratida yoki 50 °C sharoitdagi quritgichda quritiladi. Quritish natijasida mustahkam va bir xil qalinlikdagi plyonka hosil bo'ladi. Tayyor plyonka ehtiyotkorlik bilan ajratib olinadi va keyingi tahlillar oldidan namlikni yutmasligi uchun desikatorda saqlanadi.

3.3 Biologik parchalanadigan plyonkalarini tavsiflash

Tayyorlangan biologik parchalanadigan plyonkalar ularning mexanik, to'siq va strukturaviy xususiyatlarini baholash orqali tahlil qilinadi. Mexanik xususiyatlar, xususan cho'zilish mustahkamligi va uzilishdagi cho'zilish darajasi, standartlashtirilgan namunalar yordamida mexanik sinov qurilmasida aniqlanadi. Plyonka tasmlari sinov apparatiga o'rnatilib, bir xil kuch ostida deformatsiya jarayoni qayd etiladi. Plyonkalarining suv bug'ini o'tkazuvchanligi ularning oziq-ovqat qadoqlash uchun yaroqliligini baholashda muhim parametr hisoblanadi. Ushbu

xususiyat maxsus namlik o'tkazuvchanlik kamerasi yordamida aniqlanib, suv bug'ining material orqali o'tish tezligi o'lchanadi. Bundan tashqari, plyonkalarining kimyoviy tarkibi va strukturaviy xususiyatlari FTIR spektroskopiyasi orqali tahlil qilinib, asosiy funksional guruhlar aniqlanadi. Sirt morfologiyasi esa skanerlovchi elektron mikroskop (SEM) yordamida o'rganilib, plyonka yuzasining bir xilligi, g'ovakligi va umumiy mikrostrukturasi haqida batafsil ma'lumot olinadi.

2-rasm. Biologik parchalanadigan oziq-ovqat qadoqlash plyonkalarini ajratib olish, tayyorlash, tavsiflash va biologik parchalanishini baholash bosqichma-bosqich jarayonlari.



(a) Biopolimerni eritish, plastifikator qo'shish va nazorat ostida quritish orqali biologik parchalanadigan plyonkalarni tayyorlash.

(b) Plyonkalarni cho'zilish mustahkamligi sinovi, suv bug'i o'tkazuvchanligini tahlil qilish hamda FTIR va SEM yordamida tuzilishini baholash orqali tavsiflash.

(c) Nazorat ostidagi ekologik sharoitlarda biologik parchalanishni sinash, bunda vaqt o'tishi bilan fizik parchalanish va massa yo'qotilishi o'rganiladi.

3.4 Biologik parchalanishni (biodegradatsiyani) sinash

Biologik parchalanish jarayonini baholash maqsadida tayyorlangan plyonkalar standartlashtirilgan sharoitlarda tuproq muhitida degradatsiya sinovidan o'tkazildi. Buning uchun plyonkalar bir xil o'lchamdagi bo'laklarga kesilib, nazorat qilinadigan ekologik kamerada nam tuproq ichiga ko'mildi. Ushbu sharoit tabiiy muhitga yaqinlashtirilgan bo'lib, mikrobiologik faollik, namlik va harorat kabi omillar degradatsiya jarayoniga bevosita ta'sir ko'rsatadi.

Parchalanish jarayoni 30 kun davomida muntazam ravishda kuzatib borildi. Ushbu davr mobaynida plyonkalarda yuz beradigan asosiy fizik o'zgarishlar — materialning bo'laklarga ajralishi, rangning o'zgarishi, yuzaning yemirilishi va umumiy strukturaning zaiflashishi qayd etildi. Bu o'zgarishlar materialning biologik parchalanish darajasini sifat jihatdan baholash imkonini berdi. Bundan tashqari, plyonkalar massasining yo'qolishi muntazam ravishda o'lchab borildi va vaqt o'tishi bilan og'irlik kamayishi asosida biodegradatsiya tezligi aniqlandi. Olingan natijalar biopolimer asosidagi plyonkalarining tabiiy muhitda parchalanish qobiliyatini va ularning ekologik xavfsizligini baholashda muhim ko'rsatkich sifatida xizmat qiladi.

4. Xulosa

Ushbu tadqiqotda meva va sabzavot chiqindilaridan kraxmal, pektin va selluloza kabi tabiiy biopolimerlarni ajratib olish hamda ulardan biologik parchalanadigan oziq-ovqat qadoqlash plyonkalarini ishlab chiqarish jarayoni o'rganildi. Olingan natijalar shuni ko'rsatadiki, xom ashyoning oldindan to'liq tozalanishi, kimyoviy reagentlarning to'g'ri qo'llanilishi va jarayon parametrlarining qat'iy nazorati biopolimerlarning sifati va tozaligiga bevosita ta'sir ko'rsatadi. Pektin ajratib olishda etanolning asta-sekin qo'shilishi, kraxmal va selluloza asosidagi jarayonlarda esa harorat va pH sharoitlarini to'g'ri boshqarish yuqori sifatli biopolimer olish imkonini

beradi. Glitserol miqdorining optimal tanlanishi plyonkalar elastikligi va mexanik barqarorligini belgilovchi muhim omil ekanligi aniqlandi. Shu bilan birga, quritish sharoitlarining noto'g'ri tanlanishi plyonkada yorilish, qisqarish va notekis struktura hosil bo'lishiga olib kelishi mumkinligi kuzatildi.

Mexanik sinovlar va suv bug'i o'tkazuvchanligi tahlillarining aniqligi uchun uskunalarning to'g'ri kalibrlanishi va namunalar qalinligining bir xil bo'lishi muhimligi ta'kidlandi. FTIR va SEM tahlillari esa plyonkalar tarkibi va mikrostrukturasi haqida ishonchli ma'lumot berib, ularning sifatini tasdiqladi. Biodegradatsiya sinovlari natijalari plyonkalar tabiiy tuproq sharoitida ma'lum vaqt davomida parchalanish xususiyatiga ega ekanligini ko'rsatdi, bu esa ularning ekologik xavfsizligini tasdiqlaydi. Umuman olganda, o'rganilgan biopolimer asosidagi plyonkalar an'anaviy plastik materiallarga istiqbolli va ekologik toza alternativa bo'lib, ular chiqindilarni qayta ishlash orqali barqaror qadoqlash tizimlarini rivojlantirishda muhim ahamiyat kasb etadi.

Foydalanilgan adabiyotlar:

1. Ahmad BA, Ayub A, Wani AK (2025) Bioaktiv birikmalarni faol oziq-ovqat qadoqlash (ACP)da qo'llash: sog'liq va xavfsizlik masalalari. In: Islam S, Shahid M (eds) *Yashil materiallar asosidagi faol oziq-ovqat qadoqlash*. Springer Nature, Singapur, 335–357-betlar.
2. Bagri F, Pircheraghi G, Imani M va boshq. (2025) Meyva urug'i mukilaji/alginat asosidagi faol qadoqlash plyonkasi: biosilika nanopartikullari va eman ekstrakti bilan boyitilgan, go'shtning saqlanish muddatini uzaytirish uchun. *Food Packaging and Shelf Life*, 48:101466.
3. Ahmed H, Noyon MAR, Uddin ME va boshq. (2025) Xitozan asosidagi antimikrob plyonkalarni ishlab chiqish va tavsiflash: plastik qadoqlashga barqaror muqobil. *Clean Chemical Engineering*, 11:100157. <https://doi.org/10.1016/j.clce.2025.100157>
4. Kaur G, Sharma A, Sharma V (2025) Polietilen paketlarni tezkor va buzilmasdan tahlil qilish uchun FTIR-kemometrik usul: biologik parchalanadigan va parchalanmaydigan materiallarni farqlash. *Next Research*, 2:100111. <https://doi.org/10.1016/j.nexres.2024.100111>
5. Chen G, Li J, Sun Y va boshq. (2024) An'anaviy plastmassalarni biologik parchalanadigan plastmassalar bilan almashtirish: uglerod chiqindilariga ta'siri. *Engineering*, 32:152–162. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2023.10.002>

6. Kogje M, Satdive A, Mestry S, Mhaske ST (2025) Biopolimerlar: barqarorlik, ekologik ta'sir va hayotiy sikl tahlili bo'yicha to'liq sharh. *Iran Polymer Journal*. <https://doi.org/10.1007/s13726-024-01449-9>
7. Tabassum Z, Girdhar M, Anand A va boshq. (2025) "Chiqindidan boylik sari": bioplastiklarni mustahkamlash uchun chiqindilardan olingan to'ldiruvchi materiallardan foydalanish orqali resurs samaradorligini oshirish. *Materials Advances*, 6:527–546.
8. Choudhary P, Pathak A, Kumar P va boshq. (2024) Organik chiqindilardan olingan biopolimerlar asosida bioplastik ishlab chiqarish: chiqindilarni qayta ishlash bilan bog'liq mini-sharh. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 14:10817–10827. <https://doi.org/10.1007/s13399-022-03145-1>
9. Sholokhova A, Varzinskās V, Rutkaite R (2024) Qishloq xo'jaligi chiqindilarini bio-asosli va biologik parchalanadigan polimer kompozitlarida qayta qiymatlash: Yevropa istiqboliga alohida e'tibor qaratilgan keng qamrovli sharh. *Waste and Biomass Valorization*, 16:1537–1571. <https://doi.org/10.1007/s12649-024-02856-y>
10. Pan Q, Ma H, Liu Z va boshq. (2024) Karboksimetil xitozan: sintez, funksional xususiyatlar va barqaror oziq-ovqat qadoqlash materiallaridagi qo'llanilishi. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 23:e70061. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.70061>
11. Gul-E-Nayyab, Bin ZMRS, Bin AM va boshq. (2024) Tabiiy to'ldiruvchi sifatida organik materiallar qo'shilgan biologik parchalanadigan kompozit plyonkalar bo'yicha sharh. *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*, 35:2126–2161. <https://doi.org/10.1007/s10904-024-03217-x>
12. Singh S, Habib M, Rao ES va boshq. (2025) Biologik parchalanadigan qadoqlash plyonkalari bo'yicha keng qamrovli sharh: I qism — manbalar, qo'shimchalar va tayyorlash usullari. *Discover Food*, 5:41. <https://doi.org/10.1007/s44187-025-00303-y>
13. Shuprajhaa T, Paramasivam SK, Pushpavalli S va boshq. (2025) Banan kraxmaliga asoslangan bioplastik plyonkalarining rivojlanishiga qo'shimchalarning ta'siri: mexanik, funksional xususiyatlar va biologik parchalanish. *International Journal of Biological Macromolecules*, 295:139544. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2025.139544>
14. Zhang S, Li H, Zhang B va boshq. (2025) Meva po'stlog'i chiqindilarini non-kovalent in situ o'z-o'zini yig'ish orqali yuqori mustahkamlik, moslashuvchanlik va qayta ishlanish xususiyatiga ega ekologik toza

- pektosellyuloza bioplastiklariga aylantirish. *Chemical Engineering Journal*, 504:158697. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2024.158697> 2024.100497
15. Rao PM, Singh AO, Sriniketha Narayanan K, Shankar R, Mudgal G, Radha P (2025) Sellüloza asosidagi qadoqlash: kelajak uchun barqaror qadoqlashning yangi yoʻnalishi. In: Kumar KK, Prakash C, Khalid M, Negi A (eds) *Functionalized cellulose materials: sustainable manufacturing and applications*. Springer Nature, Cham, 89–115-betlar.
16. Niazmand R, Sharayei P, Heydari-Majd M, Sayahi M (2025) Kraxmal-saffron ildizi asosidagi antibakterial nanokompozit plyonkalarni nanoyashil loy/sellüloza/ekstrakt bilan qoʻshib, javob sirt metodologiyasi asosida optimallashtirish. *International Journal of Biological Macromolecules*, 307:141733. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2025.141733>
17. Sheibani S, Jafarzadeh S, Qazanfarzadeh Z va boshq. (2024) Tabiiy ekstraktlardan aqlli oziq-ovqat qadoqlashda foydalanish boʻyicha barqaror strategiyalar. *International Journal of Biological Macromolecules*, 267:131537. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.131537>
18. Akter M, Islam MdN, Yasmin S, Mahomud MdS (2024) Qizil lavlagi ekstraktidan olingan betatsianinni polivinil spirt plyonkalarga kiritish orqali aqlli qadoqlash materialini ishlab chiqish. *Future Foods*, 10:100497. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2024.100497>