

Mamatvaliyev Ibrohimjon Tolib o'g'li  
Namangan Texnika universiteti mustaqil izlanuvchisi  
E-mail: [mamatvaliyevibrohimjon@mail.ru](mailto:mamatvaliyevibrohimjon@mail.ru)  
Abdumajidov Anvar Abdumalikovich  
Toshkent to'qimachilik va yengil sanoat instituti dotsenti  
E-mail: [anvarshohv@mail.ru](mailto:anvarshohv@mail.ru)  
Jumamurodova Shaxnoza Faxriddin qizi  
Toshkent to'qimachilik va yengil sanoat instituti assistenti  
Rashidov Davronbek Akmaljon o'g'li  
Toshkent to'qimachilik va yengil sanoat instituti magistranti

UO'K 633.854.434

## **CANNABIS SATIVA L O'SIMLIGI POYASIDAN LIGNINNI KIMYOVIY AJRATISH JARAYONINING MEXANIZMINI O'RGANISH VA UNING MORFOLOGIK TUZILISHINI TAHLIL QILISH**

**Annotatsiya.** Ushbu ilmiy ishda *Cannabis sativa L* o'simligi poyasidan ligninni kimyoviy-ishqoriy usul yordamida ajratib olish jarayoni o'rganildi. Tadqiqotda natriy gidroksid (NaOH) eritmasining konsentratsiyasi, jarayon harorati va davomiyligining lignin ajralish samaradorligi hamda selluloza polimerlanish darajasiga ta'siri tahlil qilindi. Optimal sharoit sifatida 3 % NaOH konsentratsiyasi, 110°C harorat va 60 daqiqalik davomiylik aniqlanib, bu sharoitda ligninning ajralish darajasi 90% ga erishildi, sellulozaning polimerlanish darajasi esa 3300 qiymatda saqlanib qolindi. IQ spektroskopiya (FTIR) tahlili ligninning –OH va C–O–C bog'lari intensivligining pasayganini ko'rsatib, uning parchalanishini tasdiqladi. Olingan natijalar ishqoriy ekstraksiya usuli Cannabis Sativa L biomassasidan toza va barqaror lignin ajratish uchun samarali yo'l ekanini ko'rsatadi. Ushbu usul ekologik xavfsiz, iqtisodiy tejamkor bo'lib, biomassadan olingan tolani to'qimachilik sanoati uchun ishlatilish imkoniyatining mavjudligi, ligninni esa keyinchalik bioyoqilg'i, polimer va qatronlar ishlab chiqarishda foydalanish uchun ilmiy-amaliy asos yaratadi.

**Kalit so'zlar:** *Cannabis Sativa L*, lignin, FTIR spektroskopiya, ishqor, tola.

Маматвалиев Иброхимжон Толиб угли  
Исследователь Наманганского технического университета  
Абдумажидов Анвар Абдумаликович  
Доцент Ташкентского института текстильной и легкой промышленности  
Джумамуродова Шахноза Фахриддин кизи  
Ассистент Ташкентского института текстильной и лёгкой промышленности  
Рашидов Давронбек Акмалжонович  
Магистрант Ташкентского института текстильной и лёгкой промышленности

## **ИЗУЧЕНИЕ МЕХАНИЗМА ХИМИЧЕСКОГО ВЫДЕЛЕНИЯ ЛИГНИНА ИЗ СТЕБЛЕЙ CANNABIS SATIVA L. И АНАЛИЗ ЕГО MORFOLOGICHESKOY STRUKTURY**

**Аннотация.** В данном научном исследовании изучен процесс выделения лигнина из стеблей *Cannabis sativa L.* с использованием химико-щелочного метода. В работе проанализировано влияние концентрации раствора гидроксида натрия (NaOH), температуры и продолжительности процесса на эффективность извлечения лигнина и степень полимеризации целлюлозы. Оптимальными условиями определены: концентрация NaOH — 3 %, температура — 110 °C и продолжительность — 60 мин, при которых степень выделения лигнина достигла 90%, а степень полимеризации целлюлозы сохранилась на уровне 3300. Анализ ИК-спектроскопии (FTIR) показал снижение интенсивности связей –OH и C–O–C, что

подтверждает разложение лигнина. Полученные результаты показывают, что щелочной метод экстракции является эффективным способом получения чистого и стабильного лигнина из биомассы *Cannabis sativa* L. Метод экологически безопасен, экономически целесообразен и обеспечивает возможность использования полученных волокон в текстильной промышленности, а выделенного лигнина — для производства биотоплива, полимеров и смол.

**Ключевые слова:** *Cannabis Sativa* L, лигнин, ИК-Фурье-спектроскопия, щелочь, клетчатка

Mamatvaliyev Ibrohimjon Tolib o'g'li

Independent researcher at Namangan Technical University

Abdumajidov Anvar Abdumalikovich

Associate Professor of Tashkent Institute of Textile and Light Industry

Jumamurodova Shakhnoza Fakhridin qizi

Assistant of Tashkent Institute of Textile and Light Industry

Rashidov Davronbek Akmaljon ogli

Master's student at the Tashkent Institute of Textile and Light Industry

## STUDY OF THE CHEMICAL EXTRACTION MECHANISM OF LIGNIN FROM CANNABIS SATIVA L. STEMS AND ANALYSIS OF ITS MORPHOLOGICAL STRUCTURE

**Abstract.** In this scientific study, the process of lignin extraction from *Cannabis sativa* L. stems using a chemical-alkaline method was investigated. The effects of sodium hydroxide (NaOH) solution concentration, process temperature, and duration on lignin extraction efficiency and cellulose polymerization degree were analyzed. Optimal conditions were determined as 3% NaOH concentration, 110 °C temperature, and 60 minutes duration, under which the lignin extraction yield reached 90%, while the cellulose polymerization degree remained at 3300. FTIR spectroscopy analysis revealed a decrease in the intensity of –OH and C–O–C bonds, confirming lignin degradation. The results demonstrated that the alkaline extraction method is an effective approach for obtaining pure and stable lignin from *Cannabis sativa* L biomass. This method is environmentally safe, economically efficient, and provides the possibility of utilizing the obtained fibers in the textile industry, while the extracted lignin can be further used in the production of biofuels, polymers, and resins.

**Keywords** *Cannabis Sativa* L, lignin, FTIR spectroscopy, alkali, fiber

**Kirish.** Cannabis Sativa L o'simligi va undan olinadigan tolalar qadimdan tadqiqot obyekti bo'lib kelgan bo'lsada, zamonaviy ilm-fan va texnologik yondashuvlar ushbu sohada yangi ma'lumotlar va natijalarga yo'l ochmoqda. Bugungi kunda bu o'simlik tolali manba sifatida keng ko'lamda o'rganilmoqda va ayniqsa lignin miqdorini aniqlash tolalarning sifatini baholashda muhim mezonlardan biri hisoblanadi.

O'simlikning turli morfologik qismlari — barglar, poya hamda ildizlar — lignosellyuloza tarkibi bo'yicha bir-biridan sezilarli farq qiladi. Masalan, poyada, ayniqsa yog'ochsimon qatlamlarda lignin foizi yuqoriroq bo'ladi. Adabiyotlarda butun poya massasidagi ligninning o'rtacha miqdori 14% atrofida ekanligi keltiriladi. Shu bilan birga, poyaning tashqi qismida joylashgan bast (uzun) tolalarida lignin nisbatan kam — odatda 5–9% oralig'ida bo'ladi. Uzun tolalar yuqori selluloza (80–85%) tarkibiga ega bo'lgani tufayli sanoat miqyosida tola ishlab chiqarish uchun eng maqsadga muvofiq qism sifatida baholanadi.

Biomassaning sellulozadan keyingi asosiy tarkibiy qismlari: lignin, gemitsellyuloza va ularning o'zaro bog'lanishi asosida hosil bo'luvchi polisaxaridlar hisoblanadi.

Lignin fenilpropan birikmalaridan tashkil topgan murakkab, tartibsiz va noaniq tarmoqlangan polimerdir. Lignin o'simlikda "hujayraviy yelim" vazifasini bajaradi: u hujayra devorini siqilish kuchlariga chidamli qiladi, tolalarga mustahkamlik va qattqlik beradi, shuningdek, o'simlikni xasharotlar, patogenlar va oksidlovchilar ta'siriga qarshi himoyalaydi.

Gemitsellyuloza — lignosellyulozali biomassaning ikkinchi asosiy tarkibiy qismi bo'lib, uning umumiy massasi tarkibida 25–35% gacha ulushni tashkil etadi. Bu modda issiqlikka va kimyoviy ta'sirlarga o'ta sezuvchan polimer hisoblanadi. Gemitsellyuloza o'simlik hujayralari devoriga murakkab bog'lar tarmog'i shaklida joylashgan bo'lib, u selluloza tolalarini birlashtirish va lignin bilan ko'ndalang bog'lar hosil qilish orqali o'simlik to'qimalarining strukturaviy mustahkamligini ta'minlaydi [1], [2].

Har xil o'simlik turlarida uning tarkibidagi ligninning monomer tarkibi farqlanadi, shuningdek, ularning o'zaro bog'lanish uslublari ham xilma-xildir. Bu esa lignin molekulasining umumiy strukturasi yanada murakkablashtiradi. Sanoatda keng qo'llaniladigan lignin turi lignosulfonat bo'lib, uning tuzilmasi keltirilgan.

Shuni alohida qayd etish kerakki, ligninning tabiiy holatda toza shaklda o'rganilishi juda murakkab vazifadir. Chunki lignin ajratib olinganidan keyin uning molekulari turli xil strukturalarga ega bo'lgan fragmentlarga parchalanadi yoki uglevod birikmalari bilan kovalent bog'lar hosil qiladi. Bu holat ligninning uch o'lchamli tarmoq tuzilmasining o'zgarishiga olib keladi.

Shunga qaramay, so'nggi yillarda o'tkazilgan ko'plab tadqiqotlar ligninning turli namunalari asosida har xil kovalent bog'lanish turlarining mavjudligini aniqlashga imkon berdi [3].

Oxirgi yillardagi ilmiy tahlillar natijasida aniqlanishicha, ligninni ajratish jarayonlari va uning turli xil izolyatsiya usullari ko'pchilik tadqiqotlarda batafsil yoritilgan [4]. Shu bilan bir qatorda lignin asosidagi biomateriallarning elektrofaol qurilmalar va maxsus kimyoviy moddalar ishlab chiqarishda qo'llanish imkoniyatlari ham chuqur ko'rib chiqilgan [5]. Shu boisdan lignin va uning uglerod hosilalari bo'yicha olib borilayotgan tadqiqotlar soni so'nggi yillarda sezilarli darajada oshdi. Ayrim tadqiqotlar lignindan olinadigan g'ovak uglerodli materiallarni faqatgina batareya yoki superkondensator kabi muayyan qurilmalarda qo'llashni o'rgangan bo'lsada, boshqa tadqiqotlar lignin asosli materiallarning batareyalar, yoqilg'i, quyosh batareyalari hamda superkondensatorlarni o'z ichiga olgan keng ko'lamli energiya saqlash texnologiyalarida foydalanish istiqbollarini ochib berdi [6]. Shunga qaramay, lignin asosidagi materiallarni ishlab chiqarishda uning tozaligi va tarkibiy tuzilishi bilan bog'liq bir qator muammolar mavjud.

Birlashgan Millatlar Tashkiloti tomonidan e'lon qilingan Global Chemicals Outlook II hisobotida ilmiy jamoatchilik e'tibori tobora "yashil" kimyoviy moddalarga qaratilayotgani qayd etilgan. Ligninning eng keng tarqalgan sanoat qo'llanilishi qog'oz ishlab chiqarish tarmog'ida bo'lib, u bu yerda asosiy energiya manbalaridan biri sifatida, ya'ni pishirish jarayonidagi bug' qozonlarini isitishda yoqilg'i o'rni ishlatiladi [7].

Ilgari o'tkazilgan tadqiqotlarda Kraft va Organosolov texnologiyalari asosida olingan ligninning fizik va kimyoviy xossalari orasida muhim farqlar mavjudligi aniqlangan [8]. Dunyoda

keng qo'llanilayotgan asosiy usul — bu kimyoviy pishirish bo'lib, garchi u bir nechta texnologik bosqichlardan iborat bo'lsada, ishlab chiqarish miqyosida samarali hisoblanadi [9].

Shuningdek, Organosolov fraksiyalashga asoslangan dastlabki ishlov berish texnologiyasi ilmiy nuqtai nazardan alohida qiziqish uyg'otmoqda. Bu usulda sulfonat birikmalari qo'llanilmaydi, bu esa uni Kraft usuliga nisbatan ekologik xavfsizroq qiladi va tozaroq lignin olish imkonini beradi [8].

Bir nechta olimlar [9] tomonidan o'tkazilgan tadqiqotda Organosolov ligninning fenol va qatronlar ishlab chiqarishda samarali qo'llanilishi ta'kidlangan. Ayniqsa, qamish poyasidan lignin ajratib olishda bu usul orqali yuqori (91,7%) chiqimga erishilgan. Ayni modda uchun ishqoriy (NaOH) va kislotali ishlov yordamida esa bu ko'rsatkich taxminan 85% ni tashkil qilgan [10,11].

Shuningdek, ishqoriy va kuchli kislotali ishlovlarni kombinatsiyalash orqali lignin chiqimi 90% gacha oshirilishi mumkinligi isbotlangan [12]. Ammo etanol va suvning 60:40 nisbati asosida olib borilgan Organosolov ekstraksiyasi usuli 95% gacha bo'lgan toza lignin hosil bo'lishiga olib kelgan [13].

Organosolov usuli ligninni lignosellyulozali biomassaning oldindan ishlov berish bosqichida yuqori qo'shimcha qiymatga ega mahsulot sifatida foydalanish imkoniyatini namoyon qilgan [14]. Bu usul asosan lignin va gemitsellyuloza o'rtasidagi ichki kimyoviy bog'larni uzish uchun qo'llaniladi.

Mazkur jarayonda mineral kislota katalizatorlari (masalan, HCl yoki  $H_2SO_4$ ) organik yoki suvli organik erituvchilar bilan (masalan, etanol, atseton, metanol, etilen glikol, trietilen glikol, yoki tetragidrofurfiril spirti) aralashtiriladi va bu aralashma muayyan harorat va bosim sharoitida ishlatiladi [15].

Shuningdek, organik kislotalar — masalan, oksalat kislotasi, atsetilsalitsil kislotasi yoki salitsil kislotasi — an'anaviy noorganik kislotalar o'rnida katalizator sifatida qo'llanilishi mumkin [16]. Jarayon davomida lignin erituvchi fazaga o'tadi, holbuki selluloza va gemitsellyuloza qattiq fazada saqlanib qoladi. Organosolov jarayoni odatda 120 dan 200 °C gacha haroratda va 1 dan 4 MPa gacha bosim ostida olib boriladi. Erituvchi sifatida etanol, asetik kislota, furfuril spirt va formiat kislotasi keng qo'llaniladi.

Ushbu usulning asosiy afzalliklaridan biri — oltingugurtsiz (sulfur-free) lignin olish imkoniyati bo'lib, bu esa uni yuqori tozalikdagi, funktsional modda sifatida polimerlar, qatronlar hamda bioyoqilg'i ishlab chiqarishda foydalanishga qulay qiladi. Shuningdek, Organosolov usulida qayta tiklanadigan erituvchilar qo'llanilishi sababli jarayon nisbatan ekologik xavfsiz hisoblanadi va atrof-muhitga kamroq zarar yetkazadi.

Biroq, bu usulning ayrim kamchiliklari ham mavjud. Xususan, ishlatiladigan erituvchilar qimmat bo'lishi va ularni regeneratsiya qilish zarurati ishlab chiqarish xarajatlarini oshiradi. Shuningdek, texnologik jihatdan bu usul murakkab bo'lib, ishlab chiqarish sharoitida portlash xavfini hisobga olish zarur [16].

Kraft lignini o'zining kuchsiz parchalanadigan va kondensirlangan tuzilmasi bilan ajralib turadi. Uning molekularida mustahkam efir bog'lari va C–C (uglerod-uglerod) bog'lari, jumladan bifenil va metilen ko'priklari mavjudligi kuzatiladi. Bu tuzilma uni kimyoviy jihatdan barqaror va reaksiyalarga kam kirishuvchan modda holiga keltiradi.

Kraft ligninining tarkibida oltingugurt birikmalari — asosan tiollar bilan kovalent bog'langan holatda birikmalar mavjud bo'ladi. Bu oltingugurtli komponentlar katalizatorlarni deaktivatsiya qilish xususiyati tufayli ligninning keyingi mahsulotlarga aylanish imkoniyatlarini cheklaydi.

Biroq, Kraft ligninining ijobiy jihatlaridan biri shundaki, u fenolik guruhlarining yuqori konsentratsiyasiga ega bo'lib, kul va uglevod miqdori nisbatan kam bo'ladi. U qattiq va yumshoq daraxt turlaridan sanoat miqyosida ajratib olinadi va tijoratda keng mavjud bo'lgan lignin turlaridan biri hisoblanadi.

Kraft usuli, ya'ni sulfatli pishirish jarayoni, ligninni o'simlik xomashyosidan ajratib olishda eng keng tarqalgan sanoat usullaridan biridir. Bu jarayon asosan ishqoriy muhitda, ya'ni natriy gidroksid (NaOH) va natriy sulfid ( $Na_2S$ ) eritmaları ishtirokida olib boriladi. Kimyoviy reaksiyalar natijasida lignin strukturalari parchalanib, sellulozadan ajraladi.

Kraft jarayonining bajarilish sharoitlari odatda 150 dan 170 °C gacha bo'lgan haroratda, 7–10 atmosfera bosimda va 1,5–3 soat davomida amalga oshiriladi. Bu parametrlar ligninning maksimal darajada ajralishini ta'minlab, sellulozaning yaxlitligini saqlashga yordam beradi.

Mazkur usulning asosiy afzalliklaridan biri uning yirik sanoatda, ayniqsa qog'oz ishlab chiqarish sanoatida, keng miqyosda qo'llanilishidir. Kraft usuli orqali olingan tsellyuloza yuqori mexanik mustahkamlikka ega bo'ladi va ishlov berish uchun mos keladi. Bundan tashqari, u har xil turdagi xomashyolar, jumladan, yaproqli va ignabargli daraxtlar uchun birdek samarali bo'lib, texnologik moslashuvchanlikni ta'minlaydi.

Shunga qaramay, bu usulning bir necht kamchiliklari ham mavjud. Avvalo, jarayon davomida atmosferaga zararli gazlar, xususan vodorod sulfid ( $H_2S$ ) va merkaptanlar ajralib chiqadi, bu esa ekologik xavfsizlik choralari kuchaytirishni talab etadi. Ikkinchidan, kraft usulida olingan lignin murakkab, notekis tuzilmaga ega bo'lib, u ko'pincha boshqa komponentlar bilan aralashgan bo'ladi, bu esa uni tozalash va qayta ishlashni qiyinlashtiradi. Bundan tashqari, qayta ishlash tizimi texnologik jihatdan murakkab bo'lib, energiya va resurs sarfini oshiradi [17].

Soda lignin — o'zining oltingugurtsiz tuzilmasi va vinil efir guruhlarining mavjudligi bilan Kraft va lignosulfonat ligninlaridan tubdan farq qiladi. Uni olishda qo'llaniladigan keskin pishirish sharoitlari lignin molekularini yanada zichroq va kimyoviy jihatdan qarshilikka ega holga keltiradi. Ushbu usul ligninni ekstraktsiyalashning kimyoviy usulidan biri hisoblanadi.

Soda ligninining tarkibida kul va uglevodlar juda oz miqdorda bo'ladi. Ushbu texnologiya Kraft usulidan farqli ravishda amalga oshiriladi: Kraft jarayonida ishqoriy muhitda lignin ajratilsa, soda jarayonida kislotalilik sharoitida lignin ajratiladi.

Soda lignini sanoatda yillik o'rimli ba'zi qattiq bargli ekinlar dan olinadi va tijorat miqyosida cheklangan miqdorda mavjud.

Kimyoviy-ishqoriy usul ligninni o'simlik biomassasidan ajratib olishda oddiy va iqtisodiy jihatdan tejamkor hisoblangan metodlardan biridir. Ushbu jarayonda lignin gidrolizlash uchun faqat ishqoriy moddalardan, jumladan natriy gidroksid ( $NaOH$ ), kaliy gidroksid ( $KOH$ ) yoki ammoniy gidroksid ( $NH_4OH$ ) ishlatiladi. Reaksiya sharoitida gemitsellyuloza ham lignin bilan birga qisman ajralib chiqishi mumkin.

Bu usul yengil reaksiya sharoitlarida – ya'ni 70 dan 140 °C gacha bo'lgan haroratda, pH 10–13 oralig'ida va 1 dan 4 soatgacha bo'lgan vaqt davomida olib boriladi. Jarayon odatda kichik miqyosdagi tadqiqotlarda, xususan laboratoriya sharoitlarida keng qo'llaniladi, chunki ishqorlar narxi jihatdan arzon va reaksiyani boshqarish osondir.

Ushbu usulning asosiy afzalliklari shundan iboratki, u oddiy va iqtisodiy jihatdan qulay, hamda lignin eritma ichida erkin ajraladigan shaklda bo'ladi. Shuning uchun, kichik hajmdagi ilmiy ishlanmalar, tajriba-sinovlar va dastlabki texnologik tekshiruvlar uchun bu metod juda mos keladi [18].

**1-jadval. Turli xil usullarda ajratib olinadigan ligninning xossalari**

| Parametr            | Kraft usuli         | Organosolov usuli                  | Ishqoriy usul                                  |
|---------------------|---------------------|------------------------------------|------------------------------------------------|
| Erituvchilar        | $NaOH + Na_2S$      | Etanol, metanol va h.k.            | $NaOH, KOH$                                    |
| Harorat             | 150–170 °C          | 120–200 °C                         | 70–130 °C                                      |
| Lignin sifati       | Ifloslangan         | Yuqori tozalikda                   | Yaxshi tozalikda                               |
| Ekologik xavfsizlik | Past                | Yuqori                             | Yuqori                                         |
| Sanoat miqyosi      | Juda keng tarqalgan | Endi rivojlanmoqda                 | Barcha laboratoriya sharoitlarida qo'llaniladi |
| Qayta tiklanish     | Murakkab            | Mumkin (erituvchi qayta ishlanadi) | Oson (ishqor neytrallanadi)                    |

*Cannabis sativa* L o'simligi lignosellyulozali biomassalarga kiradi va tarkibida nisbatan kam miqdorda lignin (~3–8%) bo'lishi, pektin va gemitsellyuloza bilan boyligi bilan ajralib turadi. Mazkur

ishda esa kimyoviy-ishqoriy ekstraksiya usuli tanlab olindi. Ushbu usulda lignin faqat ishqoriy eritmalar — NaOH, KOH yoki  $\text{NH}_4\text{OH}$  yordamida ajratiladi. Reaksiyalar 70–130 °C haroratda, pH 10–13 oralig'ida, 1 dan 4 soatgacha bo'lgan muddatda olib boriladi. Bu yondashuvning afzalligi shundaki, u soddaligi, iqtisodiy tejamligini, va reaksiyani to'liq nazorat qilish imkoniyati bilan ajralib turadi.

Shu sababli, ekologik xavfsizlik, reaksiya sharoitining qulayligi va amaliy samaradorlikni inobatga olgan holda, Cannabis Sativa L dan lignin ajratish uchun aynan kimyoviy-ishqoriy usul tanlab olindi. Bu yondashuv, ayniqsa ilmiy-tadqiqot ishlari doirasida, ligninning fizik-kimyoviy tahlillarini o'tkazish va xomashyo imkoniyatlarini aniqlashda samarali natija beradi.

**USLUBIY QISM.** Tadqiqotlarda Cannabis sativa L poyasidan ligninni ajratib olish uchun kimyoviy-ishqoriy usul qo'llanildi. Xomashyo sifatida quritilgan va maydalanib elakdan o'tkazilgan o'simlik poyalari ishlatildi. Namunalar 1:20 nisbatda eritma bilan aralashtirildi. Ishqoriy eritma tayyorlashda turli konsentratsiyadagi natriy gidroksid (NaOH) eritmaları qo'llanildi.

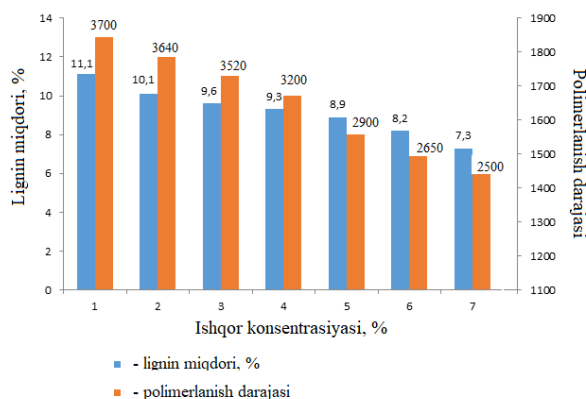
Ekstraksiya jarayoni yuqori bosim ostida ishlovchi CJF-2L avtoklav jihozida olib borildi. Tajribalar 70–130 °C harorat oralig'ida, pH 10–13 diapazonida va 1–4 soat davomida olib borildi. Jarayon tugagach, aralashma sovitildi va qattiq qoldiq vakuum filtrlash orqali ajratildi. Eritma tarkibidagi ligninni cho'kmaga tushirish uchun sulfat kislotasi ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) ishlatildi. Kislotali muhitda pH 2–3 gacha pasaytirilib, lignin oqsimon qoramtir cho'kma shaklida ajralib chiqdi.

Ilmiy adabiyotlarda qayd etilishicha,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  yordamida cho'ktirish jarayonida lignin hosildorligi pH va konsentratsiyaga bog'liq ravishda 40–90 % oralig'ida bo'lishi mumkin. Olingan cho'kma distillangan suv bilan bir necha marta yuvildi, keyin vakuumda quritilib, fizik-kimyoviy tahlillar uchun tayyor holda yig'ib olindi.

### TAJIRIBA NATIJALARI VA ULARNING TAHLILI.

Cannabis sativa L o'simligidan lignin moddasini kimyoviy-ishqoriy usulda ajratib olish uchun jarayon konsentratsiyasi, jarayon davomiyligi va harorati o'rganildi. Ishqoriy eritmada selluloza zanjirlari orasidagi vodorod bog'ları susayadi va gidroksil guruhlari ishqor ionlari ( $\text{OH}^-$ ) bilan kuchliroq bog'lanadi. Natijada selluloza makromolekulalari ishadi va amorf faza miqdori ortadi.

Qolaversa, ishqoriy muhitda sellulozaning morfologik strukturasida amorflik ortadi, bu esa uni gidroliz, fermentativ yoki kimyoviy modifikatsiya uchun qulayroq holatga keltiradi. Ayniqsa, 17–18% li NaOH eritmasida selluloza II shakliga o'tadi. Keltirilgan ma'lumotlardan tadqiqotlarda ishqor bilan ishlov berish konsentratsiyasini past darajalardan boshlash belgilab olindi.



**1-rasm. Ishqor konsentratsiyasining tola sifat ko'rsatkichlariga ta'siri**

Keltirilgan rasmdan aytish mumkinki, jarayon 3-5% oralig'idagi ishqor (NaOH) konsentratsiyasida olib borilgan ishlov natijalari Cannabis Sativa L poyasidan lignin ajratib olish samaradorligining oshishini ko'rsatmoqda. Unga ko'ra, ishqor konsentratsiyasi 3% dan 5% gacha oshganda lignin miqdori mos ravishda 9,6% dan 8,9% gacha kamaygan. Bu esa NaOH eritmasining lignin fraksiyasiga nisbatan gidrolitik va saponifikatsion ta'sirining ortganligini ko'rsatadi.

Bunda, ayniqsa, 5-7% oralig'idagi o'zgarishlar ligninning intensiv ajralishini ta'minlagan: 8,9% (5-nuqta) dan 7,3% (7-nuqta) gacha keskin tushish kuzatilgan. Bu natijalar yuqori ishqor konsentratsiyasida aromatik strukturalarning (benzol halqa) parchalanishini ko'rsatadi.

Biroq, polimerlanish darajasi bo'yicha qayd etilgan natijalar ishqorning sellulozaga ham nojo'ya ta'siri borligini ko'rsatadi. Rasmda bu ko'rsatkich 1% NaOH da 3700 bo'lsa, 7% NaOH da 2500 gacha pasaygan. Bunday kamayish  $\beta$ -eliminatsiya (ikki atom orasida qo'sh bog' ( $C=C$ )), va depolimerizatsiya (polimer zanjirining parchalanishi)) reaksiyalari bilan bog'liq bo'lib, ular ishqoriy sharoitda selluloza zanjirining qisqarishiga olib keladi.

Bu esa ishqor konsentratsiyasi oshgan sari lignin ajralishiga erishilgan bo'lsada, sellulozaning molekulyar yaxlitligi pasayayotganini bildiradi. Shu sababli, optimal ishlov sharoiti deb 3% ishqor konsentratsiyasi tanlab olindi, chunki bu oraliqda lignin ajralishi yuqori (9,6%) va polimerlanish darajasi qiymati (3520) nisbatan saqlangan bo'ladi.

Keyingi bosqichlarda esa, ligninning ajralish samaradorligi va sellulozaning strukturaviy barqarorligiga jarayon harorati hamda davomiyligining ta'sirini o'rganildi.

**2-jadval. Jarayon davomiyligining tola sifat ko'rsatkichlariga ta'siri**

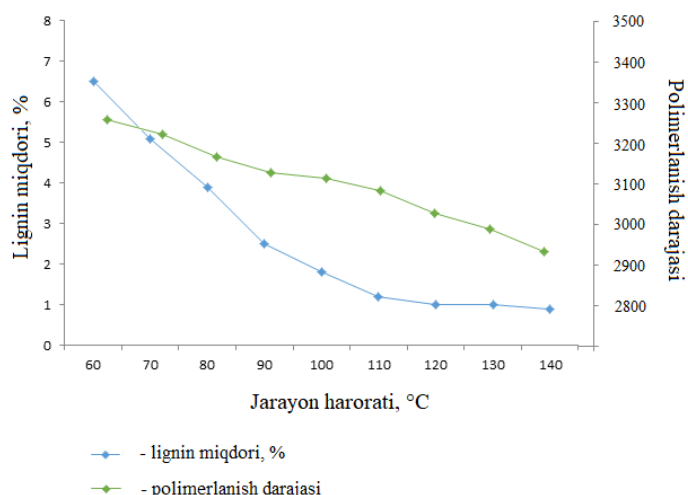
| <b>Jarayon davomiyligi, min</b> | <b>Lignin miqdori, %</b> | <b>Polimerlanish darajasi</b> |
|---------------------------------|--------------------------|-------------------------------|
| 30                              | 9,6                      | 3520                          |
| 40                              | 8,2                      | 3470                          |
| 50                              | 7,4                      | 3390                          |
| 60                              | 6,5                      | 3300                          |
| 70                              | 5,9                      | 3100                          |
| 80                              | 5,1                      | 2700                          |
| 90                              | 4,8                      | 2600                          |
| 100                             | 4,5                      | 2410                          |

Jarayon davomiyligining o'zgarishi bilan Cannabis sativa L o'simligi poyasidan ligninni ajratib olish samaradorligi hamda sellulozaning strukturaviy yaxlitligi o'rtasidagi bog'liqlik tahlil qilindi. 30 daqiqadan 100 daqiqagacha bo'lgan qaynatish davomiyligi sharoitida lignin miqdori va polimerlanish darajasidagi o'zgarishlar kuzatildi.

Natijalarga ko'ra, jarayon davomiyligi ortishi bilan lignin miqdori izchil kamayib bordi, ya'ni, 30 daqiqada lignin miqdori 9,6% bo'lgan bo'lsa, 100 daqiqada bu ko'rsatkich 4,5% gacha tushdi. Bu esa vaqt omilining lignin ajralishiga sezilarli ta'sir ko'rsatishini va jarayonning uzoq davom ettirilishi natijasida ligninning katta qismi gidrolizga uchrayotganini ko'rsatadi.

Shu bilan birga, sellulozaning polimerlanish darajasi esa teskari tendensiyani ko'rsatdi. Ya'ni, qaynatish davomiyligi oshgani sari polimerlanish darajasi pasaygan. 30 daqiqada bu ko'rsatkich 3520 bo'lsa, 100 daqiqada u 2410 gacha pasaygan. Bu holat jarayon davomida selluloza zanjirlarining depolimerizatsiyasi sodir bo'layotganini bildiradi.

Optimal muvozanat 60 daqiqalik ishlov oralig'ida kuzatildi: bu oraliqda lignin miqdori sezilarli darajada kamaygan (6,5%), polimerlanish darajasi esa 3300 atrofida saqlanib qolgan. Bu sharoitlar tolali materialning sifatli va barqaror xossalarini saqlab qolgan holda ligninni samarali ajratishga imkon beradi.



**2-rasm. Jarayon haroratining tola sifat ko'rsatkichlariga ta'siri**

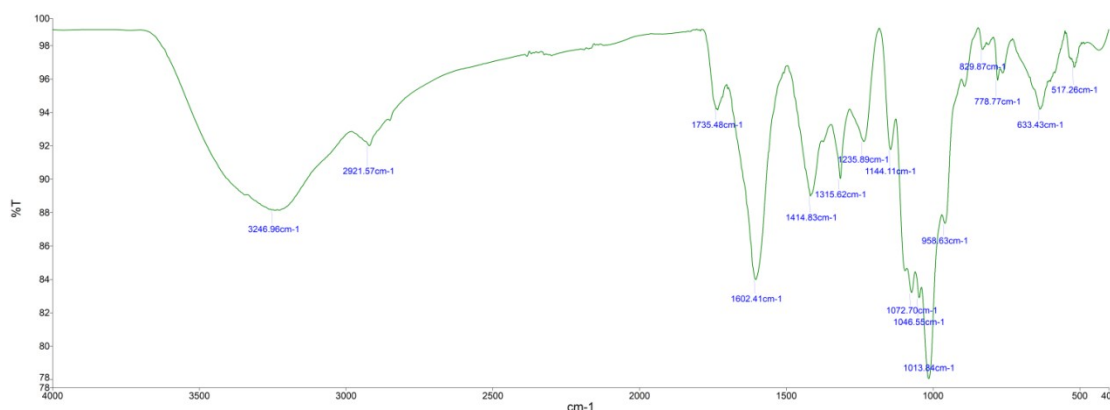
Yuqoridagi grafikda Cannabis sativa L o'simligidan ishqoriy usulda (3% NaOH eritmasida, 60 daqiqa davomida) lignin ajratib olish jarayonida haroratning ta'siri aks ettirilgan. Harorat oshgan sari lignin miqdorining sezilarli kamayishi kuzatiladi. Jumladan, 60 °C da lignin miqdori taxminan 6,5% bo'lsa, 140 °C da u 1,2% gacha tushgan. Bu holat yuqori haroratlarda ligninning gidroksid ionlari ishtirokida gidrolitik va oksidlovchi reaksiyalar orqali parchalanganini ko'rsatadi.

NaOH eritmasida yuqori harorat lignin makromolekulalarining  $\beta$ -O-4 efir bog'larining gidrolizini tezlashtiradi. Bu bog'larning uzilishi ligninning suvda eruvchan, past molekulyar og'irlikka ega fragmentlarga parchalanishiga olib keladi. Aynan shu parchalanish ligninning toladan ajralishini ta'minlaydi.

Biroq, harorat oshishi bilan birga tola polimerlanish darajasi ham pasaymoqda. Dastlab 3300 bo'lgan polimerlanish darajasi qiymati, 140 °C da 2900 ga yaqinlashgan. Bu holat ishqoriy muhitda, ayniqsa yuqori haroratda, sellulozaning qisman gidrolizga uchrashi, ya'ni glikozid bog'larining uzilishi orqali zanjir uzunligining qisqarishiga bog'liq. NaOH va yuqori harorat sharoitida selluloza parchalanib, uning molekulyar og'irligi kamayadi, bu esa polimerlanish darajasini pasaytiradi.

Shunday qilib, ligninning to'liq ajralishini ta'minlash uchun yuqori harorat samarali bo'lsada, bu holat tolalarning kristallik darajasi va uzluksizligi uchun muhim bo'lgan polimerlanish darajasining pasayishiga olib keladi. Natijada, tolalarning fizik-mexanik xossalari, xususan, mustahkamligi va elastikligi salbiy ta'sirga uchrashi mumkin.

Optimal jarayon haroratini tanlashda lignin miqdorini minimalgacha tushirish va tolalarning sifatini saqlab qolish o'rtasida muvozanat topish zarur. Amaliy jihatdan, 110 °C atrofidagi haroratlar lignin ajralishi va selluloza saqlanishi orasida maqbul muvozanat beradi deb hisoblash mumkin.



**3-rasm. Cannabis Sativa L o'simligi poyasidan olingan tolaning ishlov berishdan keyingi infraqizil spektri**



Cannabis Sativa L o'simligi biomassasidan ishqoriy usulda lignin ajratilgandan so'ng olingan namuna infraqizil spektroskopiya (FTIR) tahlilidan o'tkazildi. 4000–400  $\text{cm}^{-1}$  diapazonida olingan spektrda ekstraktsiyadan oldingi ligninga xos bo'lgan asosiy funksional guruhlar saqlanib qolgan bo'lsada, ularning intensivligida kuzatilgan o'zgarishlar lignin miqdorining kamayganini kimyoviy jihatdan tasdiqlaydi.

Spektrda 3412,2  $\text{cm}^{-1}$  atrofida kuzatilgan keng cho'qqi fenolik va alifatik gidroksil guruhlarining mavjudligini bildiradi. Biroq bu cho'qqining intensivligi ekstraktsiyadan oldingi holatga nisbatan pasaygan bo'lib, bu ligninning –OH guruhlarini qismining ajralib chiqishiga va uning suyuq fazaga o'tganiga ishora qiladi. Bu ayniqsa  $\beta$ -O-4 efir bog'larining gidrolitik uzilishi bilan bog'liq.

Aromatik halqalarning C=C guruh tebranishlariga mos 1605  $\text{cm}^{-1}$  va 1516  $\text{cm}^{-1}$  dagi cho'qqilar saqlanib qolgan bo'lsada, ularning keskinligi biroz pasaygan. Bu holat aromatik birliklar — guaitsil (G) va siringil (S) (lignin molekulasi asosiy aromatik monomer birliklari bo'lib, ular fenilpropanoid tuzilishga ega. Ular ligninning polimer strukturasi tashkil qiladi. guaitsil (G) ning asosi koniferil spirti va siringil (S) niki esa Sinapil spirti) tuzilmalarning qisman parchalangani yoki ajralib chiqqanidan dalolat beradi. Ayniqsa, 1267  $\text{cm}^{-1}$  da joylashgan guaiacyl strukturasi tegishli cho'qqi ekstraktsiyadan keyin ancha sustlashgan bo'lib, bu aynan G-turi ligninning kamayishini ya'ni ekstraktsiya qilgandagi guaiacyl aromatik birliklarining miqdori qattiq qoldiq biomassada kamayganini bildiradi.

Bundan tashqari, 1033  $\text{cm}^{-1}$  va 1184  $\text{cm}^{-1}$  da kuzatilgan C–O–C guruh tebranishlarining zaiflashuvi lignin tuzilmasidagi efir bog'larining (Ar–O–R) ishqoriy gidroliz ta'sirida parchalangani va molekulyar og'irlikning kamayganini bildiradi.

Past diapazonlarda, xususan 756  $\text{cm}^{-1}$  va 543  $\text{cm}^{-1}$  da joylashgan aromatik halqalarga tegishli tebranishlarning saqlanib qolishi ekstraktsiyaga qaramay ligninning asosiy tuzilishini butunligining qisman saqlanib qolganligini ko'rsatadi.

Infraqizil "FTIR" spektrida kuzatilgan cho'qqilar intensivligining kamayishi, ayniqsa –OH, C–O–C va aromatik guruh hududlarida, ligninning umumiy miqdor jihatdan kamayganini tasdiqlaydi. Bu holat ishqoriy eritmada ligninning erigan qismi (suvda eriydigan lignin) eritmaga o'tib ketgani va qattiq fazada faqat strukturaviy jihatdan bardoshli fraksiyalar qolganini anglatadi.

## XULOSA.

Ushbu tadqiqotda Cannabis sativa L o'simligi poyasidan ligninni ajratib olish uchun kimyoviy-ishqoriy usul qo'llanildi. Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatdiki, bu yondashuv ekologik xavfsizligi, iqtisodiy tejamlilik va texnologik soddaligi bilan ajralib turadi hamda ligninning samarali ajralishini ta'minlaydi. Ishqoriy muhitda (NaOH) ligninning  $\beta$ -O-4 efir bog'lari gidrolitik tarzda uziladi, natijada u past molekulyar og'irlikdagi suvda eruvchan fragmentlarga parchalanadi. Optimal jarayon parametrlari sifatida 3 % NaOH konsentratsiyasi, 110 °C harorat va 60 daqiqalik davomiylik tanlab olindi. Ushbu sharoitda lignin ajralish darajasi yuqori (6,5 %) bo'lib, sellyuloza polimerlanish darajasi (3300) nisbatan barqaror saqlanadi. Harorat va ishqor konsentratsiyasi ortgani sari ligninning parchalanish darajasi oshsada, sellyuloza zanjirlarining depolimerizatsiyasi kuchayib, polimerlanish darajasi pasayishi kuzatildi.

IQ (FTIR) spektroskopiya tahlillari ligninning asosiy funksional guruhlarida (–OH, C–O–C, aromatik C=C) intensivlikning kamayganini aniqladi. Bu lignin miqdorining kamayganini hamda guaitsil va siringil birliklarining qisman parchalanishini kimyoviy jihatdan tasdiqladi. Olingan natijalar Cannabis sativa L biomassasini qayta ishlashda ishqoriy ekstraktsiya usuli ligninni ajratishning samarali, barqaror va ekologik toza yo'li ekanini ko'rsatadi. Mazkur usul ligninning fizik-kimyoviy tahlillarini o'tkazish, tola sifatini yaxshilash hamda keyingi bosqichlarda yuqori qo'shimcha qiymatga ega biomateriallar (polimerlar, bioyoqilg'i, qatronlar va boshqalar) ishlab chiqish uchun ishonchli ilmiy-amaliy asos yaratadi.

### Foydalanilgan adabiyot ro'yxati:

1. V.B. Agbor, N. Cicek, R. Sparling, A. Berlin, D.B. Levin. Biomass pretreatment: fundamentals toward application. *Biotechnol. Adv.*, 29 (2011), pp. 675-685.
2. H.V. Scheller, P. Ulvskov. Hemicelluloses. *Annu. Rev. Plant Biol.*, 61 (2010), pp. 263-289
3. Adebayo AJ, Oluwasina OO, Ogunjobi JK, Lajide L (2022) Isolation, optimization, liquefaction, and characterization of lignin from agricultural wastes. *Appl J Environ Eng Sci* 8(4):307–328
4. Chen Z, Ragauskas A, Wan C (2020) Lignin extraction and upgrading using deep eutectic solvents. *Ind Crop Prod* 147:112241
5. Tribot A, Amer G, Abdou Alio M, de Baynast H, Delattre C, Pons A, Mathias JD, Callois JM, Vial C, Michaud P, Dussap CG (2019) Wood-lignin: supply, extraction processes and use as bio-based material. *Eur Polym J* 112:228–240. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2019.01.007>
6. Beaucamp Mcloughlin A, Muddasar M, Amiin IS, Moraes Leite M, Culebras M, Latha K, Gutiérrez MC, Rodríguez-Padron D, del Monte F, Kennedy T, Ryan KM, Luque R, Titirici M-M, Collins M (2022) Lignin for energy applications—state of the art, life cycle, technoeconomic analysis and future trends. <https://doi.org/10.34961/researchrepository-ul.25340899.v1>
7. Yu, O.; Kim, K.H. Lignin to materials: A focused review on recent novel lignin applications. *Appl. Sci.* 10(2020) 4626.
8. Macfarlane A.L.; Mai M.; Kadla J.F., 20 - Bio-based chemicals from biorefining: lignin conversion and utilization, in: K. Waldron (Ed.), *Advances in Biorefineries*, Woodhead Publishing, (2014).
9. ASTM, American Society for Testing and Materials. Standard Test Method for Testing Polyurethane Raw Materials: Determination of Hydroxyl Numbers of Polyols(D4274). ASTM Standard. ASTM International, West Conshohocken, Philadelphia, USA. (2005).
10. Kumar A, Kumar J, Bhaskar T. Utilization of lignin: A sustainable and eco -friendly approach. *Journal of the Energy Institute.*;93(1) (2020)235– 271.
11. Zijlstra, D.S.; De Santi, A.; Oldenburger, B.; De Vries, J.; Barta, K.; Deuss, P.J. Extraction of lignin with high  $\alpha$ -O-4 content by mildethanol extraction and its effect on the depolymerization yield. *J. Vis. Exp.*, (2019)1–12.
12. Zijlstra, D.S.; Lahive, C.W.; Analbers, C.A.; Figueirêdo, M.B.; Wang, Z.; Lancefield, C.S.; Deuss, P.J. Mild organosolv ligninextraction with alcohols: The importance of benzylic alkoxylation. *ACS Sustain. Chem. Eng.*, 8(2020) 5119–5131.
13. Sun. R.; Sun. X.F.; Wang, S.Q.; Zhou. W.; Wang, X.Y. Ester and ether linkages between hydroxycinnamic acids and lignins from wheat, rice, rye, and barley straws, maize stems, and fastgrowing poplar wood. *Ind. Crops Prod.* 15(2003) 179–188.
14. J.I. Botello, M.A. Gilarranz, F. Rodriguez, M. Oliet. Preliminary study on products distribution in alcohol pulping of Eucalyptus globulus. *J. Chem. Technol. Biotechnol. Int. Res. Process. Environ. Clean Technol.*, 74 (1999), pp. 141-148
15. R.W. Thring, E. Chornet, R.P. Overend. Recovery of a solvolytic lignin: effects of spent liquor/acid volume ratio, acid concentration and temperature. *Biomass*, 23 (1990), pp. 289-305
16. K. V Sarkanen. Acid-catalyzed delignification of lignocellulosics in organic solvents. *Prog. Biomass Convers.*, Elsevier (1980), pp. 127-144
17. Kumar, A., Anushree, N., Kumar, J., & Bhaskar, T. (2019). Utilization of lignin: A sustainable and eco-friendly approach. *Journal of the Energy Institute*, 93(1), 235–271. <https://doi.org/10.1016/j.joei.2019.03.005>
18. Latif, N. H. A., Brosse, N., Ziegler-Devin, I., Chrusiel, L., Hashim, R., & Hussin, M. H. (2021). A comparison of alkaline and organosolv lignin extraction methods from coconut husks as an alternative material for green applications. *BioResources*, 17(1), 469–491. <https://doi.org/10.15376/biores.17.1.469-491>