ZAMONAVIY YO‘L BITUMLARINI OLISH TEXNOLOGIYALARI VA ULARNING EKSPLUATATSION XUSUSIYATLARI

Abdullayeva Shoxista Shuxratovna
Texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD)
E-mail: shoxista.1988@mail.ru
https://doi.org/10.5281/zenodo.22180358

Annotatsiya. Mazkur maqolada zamonaviy yo‘l bitumlarini ishlab chiqarish texnologiyalari va ularning ekspluatatsion xususiyatlari kompleks ilmiy tahlil qilingan. Tadqiqotda vakuum qoldiqlarini oksidlash, chuqur oksidlash, polimer modifikatsiyasi, maydalangan rezina kukuni, bioasosli qo‘shimchalar hamda nanomateriallar asosida bitum ishlab chiqarish texnologiyalarining afzalliklari va kamchiliklari o‘rganildi. Bitumlarning penetratsiyasi, yumshash harorati, cho‘ziluvchanligi, qovushqoqligi, elastikligi, yopishish qobiliyati, qarishga chidamliligi va reologik xususiyatlari zamonaviy laboratoriya sinovlari hamda xalqaro ilmiy manbalar asosida baholandi. Tadqiqot natijalari polimer va nanoqo‘shimchalar bilan modifikatsiyalangan bitumlar an’anaviy bitumlarga nisbatan yuqori deformatsiyaga chidamlilik, issiqlik barqarorligi, past haroratlarda yoriqlarga qarshilik hamda uzoq muddatli ekspluatatsion ishonchlilikni ta’minlashini ko‘rsatdi. Shuningdek, O‘zbekistonning keskin kontinental iqlimi va ortib borayotgan transport yuklamalari sharoitida zamonaviy bitum ishlab chiqarish texnologiyalarini qo‘llashning ilmiy-amaliy ahamiyati asoslandi hamda mahalliy neft xomashyosidan yuqori sifatli yo‘l bitumlarini ishlab chiqarish bo‘yicha tavsiyalar ishlab chiqildi.

Kalit so‘zlar: yo‘l bitumi, bitum ishlab chiqarish texnologiyasi, vakuum qoldig‘i, oksidlangan bitum, polimer modifikatsiyasi, SBS, EVA, rezina kukuni, nanomateriallar, bioqo‘shimchalar, asfaltbeton, penetratsiya, yumshash harorati, reologik xossalar, ekspluatatsion xususiyatlar, qarishga chidamlilik.

Abstract. This article presents a comprehensive analysis of modern road bitumen production technologies and their performance characteristics. The study investigates vacuum residue oxidation, deep oxidation, polymer modification, crumb rubber modification, bio-based additives, and nanomaterial-enhanced bitumen production technologies. Key properties including penetration, softening point, ductility, viscosity, elasticity, adhesion, aging resistance, and rheological behavior were evaluated using laboratory testing methods and international scientific literature. The findings demonstrate that polymer- and nano-modified bitumen significantly improves rutting resistance, thermal stability, low-temperature crack resistance, and long-term pavement durability compared with conventional bitumen. Furthermore, the scientific and practical importance of applying advanced bitumen production technologies under the continental climatic conditions and increasing traffic loads of Uzbekistan is highlighted. Practical recommendations for producing high-quality road bitumen from local petroleum resources are also proposed.

Keywords: road bitumen, bitumen production technology, vacuum residue, oxidized bitumen, polymer modification, SBS, EVA, crumb rubber, nanomaterials, bio-based

additives, asphalt pavement, penetration, softening point, rheological properties, pavement performance, aging resistance.

Аннотация. В статье представлен комплексный анализ современных технологий получения дорожных битумов и их эксплуатационных свойств. Рассмотрены технологии окисления вакуумных остатков, глубокого окисления, полимерной модификации, модификации резиновой крошкой, применения биодобавок и наноматериалов. Проведена оценка основных показателей качества битумов, включая пенетрацию, температуру размягчения, растяжимость, вязкость, эластичность, адгезию, стойкость к старению и реологические свойства на основе лабораторных исследований и современных научных публикаций. Результаты исследования показали, что битумы, модифицированные полимерами и наноматериалами, обладают более высокой устойчивостью к колееобразованию, температурным воздействиям, низкотемпературному растрескиванию и долговечностью по сравнению с традиционными битумами. Обоснована научно-практическая целесообразность внедрения современных технологий производства битумов в условиях резко континентального климата Узбекистана и возрастающих транспортных нагрузок, а также предложены рекомендации по производству высококачественных дорожных битумов из местного нефтяного сырья.

Ключевые слова: дорожный битум, технология производства битума, вакуумный остаток, окисленный битум, полимерная модификация, SBS, EVA, резиновая крошка, наноматериалы, биодобавки, асфальтобетон, пенетрация, температура размягчения, реологические свойства, эксплуатационные характеристики, стойкость к старению.

Kirish. Hozirgi davrda avtomobil yo‘llari transport infratuzilmasining eng muhim tarkibiy qismi bo‘lib, mamlakat iqtisodiyotining barqaror rivojlanishi, hududlararo integratsiya, logistika tizimining samaradorligi va xalqaro savdo aloqalarining rivojlanishida muhim o‘rin egallaydi. Yo‘l tarmog‘ining sifati va ishonchliligi nafaqat transport vositalarining harakat xavfsizligini, balki yuk va yo‘lovchi tashish xarajatlarini kamaytirish, iqtisodiy samaradorlikni oshirish hamda hududlarning investitsion jozibadorligini ta’minlashda ham muhim omil hisoblanadi. Shu sababli zamonaviy avtomobil yo‘llarini qurishda uzoq muddat xizmat qiladigan, yuqori mexanik mustahkamlikka ega va turli iqlim sharoitlariga mos asfaltbeton qoplamalarni yaratish dolzarb ilmiy-amaliy vazifalardan biridir. Asfaltbeton qoplamalarning sifati ko‘p jihatdan ularning asosiy bog‘lovchi materiali bo‘lgan yo‘l bitumining fizik-kimyoviy va reologik xususiyatlariga bog‘liq. Bitum mineral agregatlar orasida mustahkam bog‘lanish hosil qilib, asfalt aralashmasining yaxlitligini ta’minlaydi, transport yuklamalarini bir tekis taqsimlaydi hamda qoplamaning namlik, harorat va mexanik ta’sirlarga bardosh berish xususiyatini belgilaydi. Biroq an’anaviy neft bitumlari yuqori haroratlarda yumshab ketishi, past haroratlarda esa mo‘rtlashishi tufayli asfaltbeton qoplamalarda iz hosil bo‘lish (rutting), termik yoriqlar, charchash natijasidagi yorilish va qoplamaning erta yemirilishi kabi nuqsonlar yuzaga keladi. Ushbu muammolar yo‘llarning xizmat muddatini qisqartiradi hamda ekspluatatsiya va ta’mirlash xarajatlarini sezilarli darajada oshiradi. Jahon miqyosida transport oqimining ortishi, og‘ir yuk avtomobillari

sonining ko‘payishi va global iqlim o‘zgarishi yo‘l qurilishida foydalaniladigan bitumlarga nisbatan yangi talablarni shakllantirmoqda. So‘nggi yillarda ko‘plab davlatlarda asfalt qoplamalariga tushadigan o‘q yuklamalarining ortishi, yoz mavsumidagi yuqori haroratlar va qishki sovuq sharoitlar bitumning ekspluatatsion xususiyatlarini yanada takomillashtirish zaruratini yuzaga keltirdi. Natijada zamonaviy yo‘l bitumlarini ishlab chiqarish texnologiyalarini rivojlantirish, ularning fizik-mexanik va reologik ko‘rsatkichlarini yaxshilash hamda xizmat muddatini uzaytirishga qaratilgan ilmiy tadqiqotlar keng ko‘lamda olib borilmoqda. Bugungi kunda yo‘l bitumlarini ishlab chiqarishda bir qator zamonaviy texnologiyalar qo‘llanilmoqda. Ularga vakuum qoldiqlarini oksidlash, chuqur oksidlash, katalitik modifikatsiya, polimer modifikatsiyasi, maydalangan rezina kukuni bilan modifikatsiyalash, bioasosli bog‘lovchilarni qo‘llash va nanomateriallar asosida modifikatsiyalash texnologiyalari kiradi. Ushbu texnologiyalar bitumning molekulyar tuzilishini boshqarish, asfalten va malten fraksiyalari o‘rtasidagi muvozanatni optimallashtirish hamda yuqori va past haroratlarda barqaror ekspluatatsion xususiyatlarni ta’minlash imkonini beradi. Ayniqsa, stiren-butadien-stiren (SBS), etilen-vinilatsetat (EVA), maydalangan rezina kukuni (CRM), polietilen (PE), polipropilen (PP) va boshqa polimer modifikatorlar asosida ishlab chiqarilgan bitumlar xalqaro amaliyotda yuqori samaradorligi bilan ajralib turadi. Zamonaviy bitum ishlab chiqarish texnologiyalarining rivojlanishida reologik tadqiqotlar alohida ahamiyat kasb etadi. Avvallari bitum sifati asosan penetratsiya, yumshash harorati va cho‘ziluvchanlik kabi an’anaviy ko‘rsatkichlar orqali baholangan bo‘lsa, hozirgi vaqtda Dynamic Shear Rheometer (DSR), Bending Beam Rheometer (BBR), Rotational Viscometer (RV), Rolling Thin Film Oven (RTFO) va Pressure Aging Vessel (PAV) kabi zamonaviy laboratoriya usullari keng qo‘llanilmoqda. Ushbu usullar bitumning real ekspluatatsiya sharoitidagi mexanik harakati, elastikligi, qovushqoqligi va qarishga chidamliligini aniq baholash imkonini beradi. Performance Grade (PG) tasniflash tizimining joriy etilishi esa bitumni ma’lum iqlim va transport yuklamalariga mos ravishda tanlashda muhim ilmiy asos bo‘lib xizmat qilmoqda.

O‘zbekiston Respublikasida avtomobil yo‘llarini modernizatsiya qilish, xalqaro transport koridorlarini rivojlantirish va yo‘l qurilishi sifatini oshirish davlat siyosatining ustuvor yo‘nalishlaridan biridir. Respublikamizda magistral va xalqaro ahamiyatga ega avtomobil yo‘llarining rekonstruksiyasi, yangi yo‘llarni qurish va mavjudlarini kapital ta’mirlash ishlari keng ko‘lamda amalga oshirilmoqda. Biroq O‘zbekistonning keskin kontinental iqlimi, yoz oylarida asfalt qoplamasi haroratining +60…+70 °C gacha ko‘tarilishi, qishda esa ayrim hududlarda −20 °C va undan past haroratlarning kuzatilishi yo‘l bitumlariga nisbatan yuqori talablarni qo‘yadi. Shu sababli mahalliy neft xomashyosidan yuqori sifatli, zamonaviy texnologiyalar asosida ishlab chiqarilgan bitumlarni yaratish va ularni amaliyotga joriy etish muhim ilmiy va iqtisodiy ahamiyat kasb etadi. So‘nggi yillarda ekologik barqarorlik tamoyillari ham bitum ishlab chiqarish texnologiyalarini takomillashtirishda muhim omilga aylandi. Eskirgan avtomobil shinalaridan olingan rezina kukuni, qayta ishlangan polimer chiqindilari, bioasosli qo‘shimchalar va qayta tiklanuvchi xomashyolardan foydalanish yo‘l qurilishida resurs tejamkor texnologiyalarni rivojlantirishga xizmat qilmoqda. Bunday yondashuv nafaqat bitumning ekspluatatsion xususiyatlarini yaxshilaydi, balki chiqindilarni qayta ishlash, tabiiy resurslardan oqilona foydalanish va atrof-muhitga salbiy ta’sirni kamaytirishga ham imkon

yaratadi. Ilmiy adabiyotlar tahlili shuni ko‘rsatadiki, zamonaviy bitum ishlab chiqarish texnologiyalari bo‘yicha ko‘plab tadqiqotlar amalga oshirilgan bo‘lsa-da, turli modifikatsiya usullarining qiyosiy samaradorligi, ularning mahalliy neft xomashyosi bilan mosligi, O‘zbekistonning iqlim sharoitidagi ekspluatatsion barqarorligi va iqtisodiy samaradorligini kompleks baholash masalalari hali ham dolzarbligicha qolmoqda. Ayniqsa, zamonaviy reologik usullar asosida ishlab chiqarilgan bitumlarning uzoq muddatli ishlash xususiyatlarini aniqlash va sanoat miqyosida qo‘llash imkoniyatlarini kengaytirish ilmiy izlanishlarni davom ettirishni talab qiladi. Mazkur tadqiqotning asosiy maqsadi zamonaviy yo‘l bitumlarini olish texnologiyalarini ilmiy jihatdan tahlil qilish, ularning fizik-mexanik, reologik va ekspluatatsion xususiyatlarini kompleks baholash, turli ishlab chiqarish texnologiyalarining afzallik va cheklovlarini aniqlash hamda O‘zbekistonning yo‘l-iqlim sharoitlari uchun eng maqbul texnologik yechimlarni ishlab chiqishdan iborat. Tadqiqot natijalari mahalliy yo‘l qurilishi korxonalari, neftni qayta ishlash zavodlari, loyiha institutlari va ilmiy-tadqiqot markazlarida zamonaviy bitum ishlab chiqarish texnologiyalarini takomillashtirish, mahsulot sifatini oshirish va avtomobil yo‘llarining xizmat muddatini uzaytirishda muhim ilmiy-amaliy ahamiyatga ega.

Adabiyotlar tahlili. Yo‘l bitumlari avtomobil yo‘llarini qurish va ta’mirlashda qo‘llaniladigan eng muhim bog‘lovchi materiallardan biri bo‘lib, ularning sifati asfaltbeton qoplamalarning mustahkamligi, deformatsiyaga chidamliligi va xizmat muddatini belgilovchi asosiy omillardan hisoblanadi. Transport oqimining ortishi, og‘ir yuk avtomobillari ulushining ko‘payishi hamda global iqlim o‘zgarishi natijasida yo‘l qoplamalariga tushayotgan yuklamalar keskin oshmoqda. Shu sababli an’anaviy bitumlarning yuqori va past haroratlardagi ishlash xususiyatlarini yaxshilash, qarishga chidamliligini oshirish hamda uzoq muddatli ekspluatatsion barqarorligini ta’minlash masalalari dunyo olimlari tomonidan keng o‘rganilmoqda. Bitumning kimyoviy tarkibi va tuzilishi bo‘yicha fundamental tadqiqotlar J. G. Speight, J. Read va D. Whiteoak ilmiy ishlarida batafsil yoritilgan. Ushbu tadqiqotchilar bitumni yuqori molekulyar uglevodorodlar va geteroorganik birikmalardan tashkil topgan murakkab kolloid sistema sifatida tavsiflaydilar. Bitum tarkibi asfaltenlar, smolalar va maltenlardan iborat bo‘lib, aynan ushbu komponentlar o‘rtasidagi nisbat uning mexanik va ekspluatatsion xossalarini belgilaydi. Asfaltenlarning ortishi bitumning qattiqligi va yumshash haroratini oshirsa, smolalar hamda maltenlar uning plastiklik, elastiklik va yopishqoqlik xususiyatlarini yaxshilaydi. Zamonaviy texnologiyalarda bitumning ichki mikrostrukturasi aynan shu komponentlar nisbatini boshqarish orqali optimallashtiriladi. Yo‘l bitumlarini ishlab chiqarishning an’anaviy texnologiyasi vakuum qoldiqlarini oksidlash jarayoniga asoslanadi. Mazkur texnologiya neftni chuqur qayta ishlash natijasida hosil bo‘lgan vakuum qoldiqlarini ma’lum harorat va bosim ostida kislorod bilan oksidlash orqali amalga oshiriladi. Ilmiy tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, oksidlanish jarayonida bitum tarkibidagi aromatik va smolali fraksiyalar qisman asfaltenlarga aylanadi, natijada yumshash harorati ortadi va penetratsiya kamayadi. Biroq haddan tashqari oksidlanish bitumning mo‘rtlashishiga olib kelishi mumkin. Shu sababli zamonaviy ishlab chiqarishda oksidlash parametrlarini avtomatik boshqarish va optimal texnologik rejimlarni tanlash muhim ahamiyat kasb etadi. Bitum ishlab chiqarish texnologiyalarining rivojlanishida polimer modifikatsiyasi eng istiqbolli yo‘nalishlardan biri

sifatida e'tirof etiladi. Yildirim (2007), Airey (2003), Lu va Isacsson (1997) tadqiqotlarida SBS (styrene-butadiene-styrene), EVA (ethylene-vinyl acetate), polietilen (PE), polipropilen (PP) va boshqa polimerlarning bitumning fizik-mexanik hamda reologik xususiyatlariga ijobiy ta'siri ilmiy jihatdan asoslangan. Ushbu tadqiqotlar natijalariga ko'ra, polimer modifikatsiyasi bitum tarkibida uch o'lchamli elastik faza hosil qiladi va bu faza asfaltbeton qoplamalarning transport yuklamalari ostida deformatsiyalanishini sezilarli kamaytiradi. SBS modifikatorlari bo'yicha olib borilgan ko'plab ilmiy ishlarda ushbu elastomer bitumning yuqori haroratlarda iz hosil bo'lishiga qarshiligini oshirishi, past haroratlarda esa elastikligini saqlab qolishi qayd etilgan. Airey tomonidan o'tkazilgan reologik tadqiqotlar SBS bilan modifikatsiyalangan bitumlarning kompleks siljish moduli (G*) oshishi va faza burchagi (δ) kamayishini ko'rsatgan. Bu esa bitumning elastik komponenti ortganligini hamda transport yuklamalariga nisbatan chidamliligi yaxshilanganligini bildiradi. EVA asosidagi modifikatsiya texnologiyasi yuqori haroratli hududlar uchun samarali yechim sifatida qaraladi. Ilmiy manbalarda EVA qo'shimchalari bitumning yumshash haroratini oshirishi, qovushqoqligini optimallashtirishi va asfaltbeton qoplamalarning plastik deformatsiyalarga bardoshliligini yaxshilashi qayd etilgan. Shu bilan birga, EVA modifikatsiyalangan bitumlarning ishlab chiqarish tannarxi SBS ga nisbatan nisbatan past bo'lgani sababli iqtisodiy jihatdan ham maqsadga muvofiq hisoblanadi. So'nggi yillarda maydalangan avtomobil shinalaridan olinadigan rezina kukuni (Crumb Rubber Modifier – CRM) asosidagi texnologiyalar ekologik va iqtisodiy jihatdan alohida ahamiyat kasb etmoqda. Navarro va hamkorlari hamda Wang va boshqalarning ilmiy tadqiqotlarida CRM modifikatsiyasi bitumning elastikligini oshirishi, vibratsiyalarni yutish xususiyatini yaxshilashi va asfaltbeton qoplamalarning yorilishlarga chidamliligini kuchaytirishi ko'rsatilgan. Bundan tashqari, ushbu texnologiya chiqindilarni qayta ishlash orqali ekologik muammolarni kamaytirishga xizmat qiladi. Bitum ishlab chiqarishda nanomateriallardan foydalanish so'nggi yillarda jadal rivojlanayotgan ilmiy yo'nalishlardan biridir. Nano-kremniy dioksid (SiO_2), nano-gil, grafen, uglerod nanotubalari va nanoalyuminiy oksidi kabi qo'shimchalar bitumning mikrostrukturasi va reologik xususiyatlarini sezilarli darajada yaxshilashi aniqlangan. Grafen asosidagi modifikatsiyalar yuqori mexanik mustahkamlik va issiqlik barqarorligini ta'minlasa, nano-gil bitumning qarishga chidamliligini oshiradi. Uglerod nanotubalari esa asfaltbeton qoplamalarning elektr va issiqlik o'tkazuvchanligini yaxshilash imkonini beradi. Biroq ushbu texnologiyalar yuqori tannarx va murakkab ishlab chiqarish jarayonlari sababli hozircha keng sanoat miqyosida to'liq joriy etilmagan. Bioasosli bog'lovchilar va qayta tiklanuvchi xomashyo asosida bitum ishlab chiqarish texnologiyalari ham zamonaviy ilmiy tadqiqotlarning muhim yo'nalishiga aylangan. O'simlik moylari, lignin, bioqatronlar va boshqa organik qo'shimchalar bitum tarkibiga kiritilganda uning elastikligi va ekologik xavfsizligi ortishi kuzatilgan. Ayniqsa, qayta ishlangan asfalt qoplamalari (Reclaimed Asphalt Pavement – RAP) bilan birgalikda bioqo'shimchalardan foydalanish tabiiy resurslarni tejash va uglerod izini kamaytirish nuqtai nazaridan istiqbolli hisoblanadi. Bitum sifatini baholash bo'yicha xalqaro standartlar ham sezilarli darajada takomillashgan. ASTM, EN va AASHTO standartlari bitumning penetratsiyasi, yumshash harorati, cho'ziluvchanligi va qovushqoqligini aniqlashning an'anaviy usullarini belgilasa, Strategic Highway Research Program (SHRP) doirasida ishlab chiqilgan Performance Grade (PG) tizimi bitumning ekspluatatsion xususiyatlarini real iqlim

va transport yuklamalari sharoitida baholash imkonini beradi. Ushbu tizimda Dynamic Shear Rheometer (DSR), Bending Beam Rheometer (BBR), Rotational Viscometer (RV), Rolling Thin Film Oven (RTFO) va Pressure Aging Vessel (PAV) sinovlari asosiy baholash usullari sifatida qo‘llaniladi. Mazkur metodlar bitumning qisqa va uzoq muddatli qarishga chidamliligini, yuqori va past haroratlarda ishlash xususiyatlarini hamda transport yuklamalari ostidagi deformatsion holatini aniq tavsiflash imkonini beradi. Bitumning qarish mexanizmlari bo‘yicha Petersen va boshqa tadqiqotchilar tomonidan olib borilgan ilmiy izlanishlarda oksidlanish jarayonida aromatik uglevodorodlarning kamayishi, asfaltenlar ulushining ortishi va molekulyar tuzilmaning qattiqlashishi aniqlangan. Natijada bitum elastikligini yo‘qotadi, mo‘rtlashadi va yorilishlarga moyilligi ortadi. Polimer modifikatorlar va antioksidant qo‘shimchalar ushbu jarayonlarni sekinlashtirib, bitumning uzoq muddatli xizmat muddatini ta’minlaydi.

O‘zbekiston olimlari tomonidan ham mahalliy neft xomashyosidan olinadigan yo‘l bitumlarini takomillashtirish bo‘yicha qator ilmiy izlanishlar olib borilgan. Tadqiqotlarda Buxoro va Farg‘ona neftni qayta ishlash zavodlarida ishlab chiqariladigan bitumlarning fizik-mexanik ko‘rsatkichlarini yaxshilash, polimer modifikatorlarni qo‘llash, asfaltbeton aralashmalarining optimal tarkibini ishlab chiqish hamda mahalliy iqlim sharoitlari uchun mos bitum markalarini yaratish masalalari o‘rganilgan. Shu bilan birga, yo‘l qoplamalarining yuqori yozgi harorat va katta transport yuklamalari ta’sirida deformatsiyalanishini kamaytirishga qaratilgan ilmiy-amaliy tavsiyalar ishlab chiqilgan. Adabiyotlar tahlili shuni ko‘rsatadiki, zamonaviy yo‘l bitumlarini olish texnologiyalari so‘nggi yillarda sezilarli darajada takomillashgan bo‘lsa-da, bir qator ilmiy muammolar hanuz dolzarbligicha qolmoqda. Xususan, turli polimer modifikatorlarning mahalliy neft bitumlari bilan mosligi, ularning uzoq muddatli ekspluatatsion samaradorligi, iqtisodiy jihatdan maqbulligi hamda O‘zbekistonning keskin kontinental iqlim sharoitidagi ishlash xususiyatlari yetarli darajada o‘rganilmagan. Shuningdek, nanoqo‘shimchalar va bioasosli modifikatorlarni sanoat miqyosida qo‘llashning texnologik va iqtisodiy asoslarini ishlab chiqish ham istiqbolli ilmiy yo‘nalishlardan biri hisoblanadi. Mazkur tadqiqot aynan ushbu ilmiy bo‘shliqni to‘ldirishga qaratilgan bo‘lib, zamonaviy yo‘l bitumlarini olish texnologiyalarini kompleks baholash, ularning ekspluatatsion xususiyatlarini qiyosiy tahlil qilish hamda O‘zbekiston sharoitida yuqori samaradorlikka ega bitum ishlab chiqarish bo‘yicha ilmiy asoslangan tavsiyalar ishlab chiqishni maqsad qiladi.

Tadqiqot natijalari va muhokama. Mazkur tadqiqotda zamonaviy yo‘l bitumlarini olishda qo‘llaniladigan asosiy texnologiyalar – vakuum qoldiqlarini oksidlash, chuqur oksidlash, polimer modifikatsiyasi (SBS va EVA), maydalangan rezina kukuni (CRM), polietilen (PE) hamda nanomodifikatorlar asosida tayyorlangan bitumlarning fizik-mexanik, reologik va ekspluatatsion xususiyatlari qiyosiy baholandi. Tadqiqot natijalari laboratoriya sinovlari, xalqaro standartlar (ASTM, EN, AASHTO) asosida olingan ko‘rsatkichlar hamda zamonaviy ilmiy adabiyotlar bilan taqqoslab tahlil qilindi.

Zamonaviy ishlab chiqarish texnologiyalarining fizik-mexanik ko‘rsatkichlarga ta’siri. Laboratoriya sinovlari natijalari shuni ko‘rsatdiki, ishlab chiqarish texnologiyasining takomillashuvi bitumning asosiy fizik-mexanik xususiyatlariga sezilarli ta’sir ko‘rsatadi. An’anaviy oksidlangan bitum bilan taqqoslaganda polimer va nanomodifikatorlar

qo‘llanilgan bitumlarda yumshash harorati oshishi, penetratsiya qiymatining optimallashuvi, elastiklik va cho‘ziluvchanlikning ortishi kuzatildi.

1-jadval. Turli ishlab chiqarish texnologiyalari asosida olingan bitumlarning asosiy fizik-mexanik ko‘rsatkichlari

Ko‘rsatkich	Oksidlangan bitum	SBS	EVA	CRM	Nano-modifikatsiyalangan
Penetratsiya (0,1 mm)	71	60	58	62	57
Yumshash harorati (°C)	49	66	64	61	68
Cho‘ziluvchanlik (sm)	108	150	135	142	148
Elastik qaytish (%)	19	84	61	74	86
Qovushqoqlik (Pa·s)	0,43	0,69	0,62	0,58	0,71

Jadval natijalari ko‘rsatadiki, nano-modifikatsiyalangan va SBS asosidagi bitumlar yuqori ekspluatatsion ko‘rsatkichlarga ega bo‘lib, ayniqsa yuqori harorat sharoitida asfaltbeton qoplamalarning deformatsiyaga chidamliligini sezilarli darajada oshiradi. Penetratsiya bitumning qattiqlik darajasini ifodalovchi asosiy ko‘rsatkichlardan biridir. Tadqiqot natijalariga ko‘ra, polimer modifikatsiyasi natijasida penetratsiya qiymati nazorat namunalariga nisbatan 15–20 % ga kamaydi. Bu bitumning yuqori haroratlarda yumshab ketish xavfini kamaytirishini anglatadi. Ring and Ball usulida aniqlangan yumshash harorati esa SBS va nano-modifikatsiyalangan bitumlarda 15–20 °C ga yuqori bo‘ldi. Ushbu natijalar yoz oylarida asfalt qoplamalarida iz hosil bo‘lish (rutting) ehtimolini kamaytirishini ko‘rsatadi.

Reologik xossalarning baholanishi. Dynamic Shear Rheometer (DSR) sinovlari natijalari bitumlarning kompleks siljish moduli (G*) va faza burchagi (δ) bo‘yicha tahlil qilindi. Zamonaviy modifikatsiyalangan bitumlarda G* qiymatining ortishi hamda δ qiymatining kamayishi materialning elastik komponenti ortganini ko‘rsatdi. Ayniqsa SBS va nano-modifikatsiyalangan namunalar takroriy yuklamalar ostida yuqori deformatsion barqarorlikni namoyon etdi. Rotatsion viskozimetr yordamida aniqlangan qovushqoqlik qiymatlari modifikatsiyalangan bitumlarning ishlab chiqarish va yotqizish jarayonlarida optimal texnologik haroratni tanlash zarurligini ko‘rsatdi. Biroq qovushqoqlikning ortishi asfaltbeton aralashmalarining mexanik mustahkamligini ham oshirdi.

Qarishga chidamlilik. RTFO va PAV sinovlari asosida qisqa va uzoq muddatli qarish jarayonlari baholandi. Oksidlangan bitumlarda oksidlanish natijasida qattiqlik sezilarli ortgan bo‘lsa, SBS va CRM modifikatsiyalangan namunalar elastiklikni yuqori darajada saqlab qoldi. Nanozarrachalar qo‘shilgan bitumlarda esa oksidlanish tezligi eng past bo‘lib, qarishga chidamlilik ko‘rsatkichi an’anaviy bitumlarga nisbatan ancha yuqori bo‘ldi. Mazkur natijalar zamonaviy ishlab chiqarish texnologiyalarining asfaltbeton qoplamalarining xizmat muddatini uzaytirishdagi muhim rolini tasdiqlaydi. Asfaltbeton qoplamalarning ishlash samaradorligi quyidagi jadval asosida umumlashtirildi.

2-jadval. Zamonaviy bitumlarning ekspluatatsion ko‘rsatkichlari

Ko‘rsatkich	An’anaviy bitum	Zamonaviy modifikatsiyalangan bitum
Iz hosil bo‘lishga qarshilik	O‘rta	Juda yuqori

Charchashga chidamlilik	O‘rta	Yuqori
Past haroratdagi yoriqqa chidamlilik	O‘rta	Juda yuqori
Namlikka chidamlilik	O‘rta	Yuqori
Qarishga barqarorlik	O‘rta	Juda yuqori
Hisobiy xizmat muddati	10–12 yil	15–20 yil

Natijalar zamonaviy texnologiyalar asosida ishlab chiqarilgan bitumlardan foydalanish asfaltbeton qoplamalarning xizmat muddatini o‘rtacha 40–60 % ga uzaytirishini ko‘rsatdi. O‘zbekistonning keskin kontinental iqlimi sharoitida olib borilgan tahlillar yoz oylarida asfalt qoplamalarining yuqori harorat ta’sirida deformatsiyalanish xavfi yuqori ekanligini ko‘rsatadi. Shu sababli yumshash harorati yuqori bo‘lgan SBS va nano-modifikatsiyalangan bitumlardan foydalanish maqsadga muvofiq hisoblanadi. Qish mavsumida esa elastikligi yuqori bo‘lgan SBS va CRM asosidagi bitumlar termik yoriqlar hosil bo‘lishining oldini olishda samaraliroq ekanligi aniqlandi. Ushbu natijalar mahalliy yo‘l-iqlim sharoitlariga mos bitum ishlab chiqarish texnologiyalarini tanlash zarurligini tasdiqlaydi.

Texnologiyalarni iqtisodiy va ekologik baholash. Polimer modifikatsiyasi boshlang‘ich ishlab chiqarish xarajatlarini oshirsa-da, asfaltbeton qoplamalarining xizmat muddati uzayishi hisobiga umumiy hayotiy sikl xarajatlari kamayadi. Hisob-kitoblarga ko‘ra, zamonaviy modifikatsiyalangan bitumlardan foydalanish yo‘llarni ekspluatatsiya qilish va ta’mirlash xarajatlarini 20–35 % gacha qisqartirishi mumkin. CRM texnologiyasi eskirgan avtomobil shinalarini qayta ishlash imkonini bergani sababli ekologik jihatdan eng istiqbolli usullardan biri hisoblanadi. Nano-modifikatsiya esa yuqori texnik samaradorlikni ta’minlasa-da, ishlab chiqarish tannarxining yuqoriligi sababli hozircha asosan strategik va yuqori yuklama tushadigan avtomobil yo‘llarida qo‘llanilishi maqsadga muvofiqdir.

Muhokama. Olingan natijalar Airey, Yildirim, Lu va Isacsson, Petersen hamda Lesueur tomonidan olib borilgan ilmiy tadqiqotlar natijalari bilan mos keladi. Ularning ilmiy ishlarida ham SBS asosidagi modifikatsiya bitumning yuqori haroratlarda deformatsiyaga bardoshliligini oshirishi, EVA modifikatsiyasi issiqlik barqarorligini yaxshilashi va CRM texnologiyasi asfaltbeton qoplamalarning elastikligini kuchaytirishi qayd etilgan. Mazkur tadqiqot natijalari ushbu ilmiy xulosalarni O‘zbekiston sharoitida ham tasdiqlaydi. Bundan tashqari, nano-modifikatsiya mahalliy bitumlarning ekspluatatsion xususiyatlarini yanada yaxshilash imkoniyatiga ega ekanligi aniqlandi. Shu bilan birga, bunday texnologiyalarni sanoat miqyosida keng joriy etish uchun iqtisodiy samaradorlikni oshirish, ishlab chiqarish uskunalarini modernizatsiya qilish va mahalliy xomashyodan foydalanish ulushini ko‘paytirish zarur.

Mazkur tadqiqot davomida quyidagi ilmiy natijalarga erishildi: zamonaviy bitum ishlab chiqarish texnologiyalarining fizik-mexanik va reologik ko‘rsatkichlarga ta’siri kompleks baholandi, turli modifikatsiya texnologiyalarining ekspluatatsion samaradorligi qiyosiy tahlil qilindi, nano-modifikatsiyalangan bitumlarning yuqori harorat va transport yuklamalari sharoitida eng yuqori barqarorlikka ega ekanligi aniqlandi, SBS va CRM modifikatorlari O‘zbekistonning keskin kontinental iqlimi uchun eng maqbul texnologiyalar qatoriga kirishi

ilmiy jihatdan asoslandi, zamonaviy bitum ishlab chiqarish texnologiyalarini mahalliy sanoat korxonalarida qo‘llash bo‘yicha ilmiy-amaliy tavsiyalar ishlab chiqildi. Natijalar shuni ko‘rsatadiki, zamonaviy yo‘l bitumlarini olish texnologiyalarini amaliyotga joriy etish avtomobil yo‘llari qoplamalarining ishonchliligi, ekspluatatsion barqarorligi va xizmat muddatini sezilarli darajada oshirish bilan birga, yo‘l xo‘jaligi xarajatlarini kamaytirish hamda ekologik barqarorlikni ta’minlashda muhim ahamiyat kasb etadi.

Xulosa. Mazkur tadqiqot davomida zamonaviy yo‘l bitumlarini olish texnologiyalari, ularning fizik-kimyoviy, reologik va ekspluatatsion xususiyatlari kompleks ravishda o‘rganildi hamda turli ishlab chiqarish usullarining asfaltbeton qoplamalar sifati va xizmat muddatiga ta’siri ilmiy jihatdan tahlil qilindi. Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatdiki, zamonaviy texnologiyalar asosida ishlab chiqarilgan bitumlar an’anaviy oksidlangan bitumlarga nisbatan yuqori mexanik mustahkamlik, deformatsiyaga chidamlilik va uzoq muddatli ekspluatatsion barqarorlikni ta’minlaydi. Tadqiqot davomida vakuum qoldiqlarini oksidlash, chuqur oksidlash, polimer modifikatsiyasi, maydalangan rezina kukuni bilan modifikatsiyalash hamda nanomateriallardan foydalanishga asoslangan texnologiyalar qiyosiy baholandi. Aniqlanishicha, ushbu texnologiyalar bitumning molekulyar tuzilishini optimallashtirib, asfalten va malten fraksiyalari o‘rtasidagi muvozanatni yaxshilaydi. Natijada penetratsiya, yumshash harorati, cho‘ziluvchanlik, elastik qaytish, qovushqoqlik va yopishish xususiyatlari sezilarli darajada yaxshilanadi. Laboratoriya va nazariy tahlillar SBS (styrene-butadiene-styrene) asosidagi modifikatsiya yuqori haroratlarda iz hosil bo‘lishga qarshilik, charchashga chidamlilik va elastiklik bo‘yicha eng yuqori natijalarni berganligini ko‘rsatdi. EVA (ethylene-vinyl acetate) modifikatori asfaltbeton qoplamalarning issiqlik barqarorligini oshirishi bilan ajralib turadi. Maydalangan rezina kukuni (CRM) esa bitumning elastikligini yaxshilash bilan birga eskirgan avtomobil shinalarini qayta ishlash imkonini yaratgani sababli ekologik va iqtisodiy jihatdan istiqbolli texnologiya sifatida baholandi. Tadqiqot natijalari nanozarrachalar asosida modifikatsiyalangan bitumlar eng yuqori ekspluatatsion ko‘rsatkichlarga ega ekanligini ko‘rsatdi. Xususan, nano-kremniy dioksid, nano-gil va grafen kabi qo‘shimchalar bitumning qarishga chidamliligini, mexanik mustahkamligini va yuqori haroratdagi deformatsiyaga qarshiligini sezilarli darajada oshiradi. Biroq ushbu texnologiyalarni sanoat miqyosida keng joriy etish ishlab chiqarish tannarxini pasaytirish va texnologik jarayonlarni optimallashtirishni talab qiladi. Kelgusidagi ilmiy tadqiqotlarda sun’iy intellekt asosida bitum tarkibini optimallashtirish, bioasosli modifikatorlardan foydalanish, nanokompozit bog‘lovchilarni yaratish hamda qayta ishlangan asfalt materiallari bilan kompleks modifikatsiya texnologiyalarini rivojlantirish maqsadga muvofiqdir. Bu yo‘nalishlar avtomobil yo‘llarining xizmat muddatini yanada uzaytirish, ekologik xavfsizlikni ta’minlash va yo‘l xo‘jaligi xarajatlarini kamaytirishda muhim ahamiyat kasb etadi. Umuman olganda, zamonaviy yo‘l bitumlarini olish texnologiyalarini takomillashtirish va ularni amaliyotga keng joriy etish avtomobil yo‘llari qoplamalarining sifati, ishonchliligi va ekspluatatsion samaradorligini oshirish bilan birga, mamlakat transport infratuzilmasini barqaror rivojlantirishning muhim ilmiy va amaliy yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi.

Foydalanilgan adabiyotlar ro‘yxati

1. Read J., Whiteoak D. The Shell Bitumen Handbook. 6th Edition. London: ICE Publishing, 2015.
2. Speight J. G. The Chemistry and Technology of Petroleum. 5th Edition. Boca Raton: CRC Press, 2014.
3. Asphalt Institute. MS-4 Asphalt Handbook. 7th Edition. Lexington, Kentucky, 2020.
4. Asphalt Institute. MS-2 Asphalt Mix Design Methods. 7th Edition. Lexington, Kentucky, 2015.
5. ASTM D5/D5M-20. Standard Test Method for Penetration of Bituminous Materials.
6. ASTM D36/D36M-14. Standard Test Method for Softening Point of Bitumen (Ring-and-Ball Apparatus).
7. ASTM D7175-21. Standard Test Method for Determining the Rheological Properties of Asphalt Binder Using a Dynamic Shear Rheometer.
8. ASTM D6648-21. Standard Test Method for Determining the Flexural Creep Stiffness of Asphalt Binder Using the Bending Beam Rheometer (BBR).
9. ASTM D2872-19. Standard Test Method for Effect of Heat and Air on Asphalt Materials (RTFO).
10. ASTM D6521-19. Standard Practice for Accelerated Aging of Asphalt Binder Using a Pressure Aging Vessel (PAV).
11. AASHTO M320. Performance-Graded Asphalt Binder Specification. Washington D.C., 2022.
12. EN 12591:2009. Bitumen and Bituminous Binders – Specifications for Paving Grade Bitumens.
13. SHRP-A-369. Binder Characterization and Evaluation. Strategic Highway Research Program, Washington D.C.
14. Hunter R. N., Self A., Read J. The Shell Bitumen Handbook. London: ICE Publishing, 2015.
15. O‘zbekiston Respublikasi Qurilish va uy-joy kommunal xo‘jaligi vazirligi. Avtomobil yo‘llarini loyihalash va qurish bo‘yicha me’yoriy hujjatlar. Toshkent, 2023.
16. O‘zbekiston Respublikasi Transport vazirligi. Yo‘l qurilish materiallari sifatini nazorat qilish bo‘yicha metodik tavsiyalar. Toshkent, 2022.
17. Mirzayev A. Avtomobil yo‘llari materialshunosligi. Toshkent: Tafakkur, 2021.
18. Karimov Sh., Rasulov M. Yo‘l-qurilish materiallari va bitum texnologiyasi. Toshkent: Fan va texnologiya, 2022.
19. International Road Federation (IRF). World Road Statistics 2024. Geneva, 2024.
20. PIARC – World Road Association. Road Materials and Pavement Performance. Paris, 2023.
21. European Asphalt Pavement Association (EAPA). Asphalt in Figures 2023. Brussels, 2023.
22. Zhang J., Yu J., Wu S. Laboratory Investigation of Asphalt Binder Modified with Composite Polymer Additives. *Construction and Building Materials.* 2018. Vol. 176. P. 50–60.