IQRO JURNALI , IQRO JOURNAL, ИКРО ЖУРНАЛИ
ISSN:2181-4341| wordlyknowledge.uz/index.php/iqro
Volume 23 Issue 01 AVGUST 2026

YO‘L BITUMLARINING SIFAT KO‘RSATKICHLARINI YAXSHILASHDA POLIMER MODIFIKATORLARNING TA’SIRI

Abdullayeva Shoxista Shuxratovna
Texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD),
E-mail: shoxista.1988@mail.ru
Doi: https://doi.org/10.5281/zenodo.22171084

Annotatsiya. Mazkur maqolada avtomobil yo‘llari qurilishida qo‘llaniladigan yo‘l bitumlarining sifat ko‘rsatkichlarini yaxshilashda polimer modifikatorlarning ahamiyati va samaradorligi ilmiy jihatdan tahlil qilingan. Tadqiqotda stiren-butadien-stiren (SBS), etilen-vinilatsetat (EVA), maydalangan rezina kukuni, polietilen va boshqa zamonaviy polimer modifikatorlarning bitumning fizik-mexanik, reologik hamda ekspluatatsion xossalariga ta’siri o‘rganildi. Penetratsiya, yumshash harorati, cho‘ziluvchanlik, elastiklik, qovushqoqlik, yopishqoqlik va qarishga chidamlilik kabi asosiy sifat ko‘rsatkichlari laboratoriya sinovlari hamda ilmiy adabiyotlar asosida kompleks baholandi. Tadqiqot natijalari polimer modifikatsiyasi bitumning harorat barqarorligini oshirishi, deformatsiyaga va charchashga chidamliligini yaxshilashi, asfaltbeton qoplamalarda iz hosil bo‘lishi hamda termik yoriqlar paydo bo‘lishini kamaytirishini ko‘rsatdi. Shuningdek, mahalliy iqlim va transport yuklamalari sharoitlari uchun optimal polimer modifikatorlarni tanlash bo‘yicha ilmiy-amaliy tavsiyalar ishlab chiqildi. Tadqiqot natijalari yo‘l qurilishida yuqori sifatli bitum bog‘lovchilarni yaratish, asfaltbeton qoplamalarning xizmat muddatini uzaytirish va ekspluatatsion xarajatlarni kamaytirishga xizmat qiladi.

Kalit so‘zlar: yo‘l bitumi, polimer modifikator, SBS, EVA, maydalangan rezina kukuni, asfaltbeton, fizik-mexanik xossalar, reologik xossalar, penetratsiya, yumshash harorati, cho‘ziluvchanlik, elastiklik, qovushqoqlik, qarishga chidamlilik, ekspluatatsion xossalar, yo‘l qoplamasi.

Abstract. This article investigates the effectiveness of polymer modifiers in improving the quality characteristics of road bitumen used in highway pavement construction. The effects of styrene-butadiene-styrene (SBS), ethylene-vinyl acetate (EVA), crumb rubber, polyethylene, and other modern polymer modifiers on the physical-mechanical, rheological, and performance properties of bitumen were comprehensively evaluated. Key quality indicators including penetration, softening point, ductility, elasticity, viscosity, adhesion, and aging resistance were analyzed using laboratory testing methods and scientific literature. The results demonstrate that polymer modification significantly enhances thermal stability, rutting resistance, fatigue performance, and crack resistance while extending the service life of asphalt pavements. In addition, practical recommendations are proposed for selecting optimal polymer modifiers under local climatic and traffic conditions. The findings contribute to the development of high-performance asphalt binders and sustainable road pavement technologies.

Keywords: road bitumen, polymer modifier, SBS, EVA, crumb rubber, asphalt pavement, physical-mechanical properties, rheological properties, penetration, softening point, ductility, elasticity, viscosity, aging resistance, pavement performance.

Аннотация. В статье исследовано влияние полимерных модификаторов на улучшение качественных показателей дорожных битумов, применяемых при строительстве автомобильных дорог. Рассмотрено воздействие стирол-бутадиен-стирола (SBS), этилен-винилацетата (EVA), резиновой крошки, полиэтилена и других современных полимерных модификаторов на физико-механические, реологические и эксплуатационные свойства битума. Комплексно проанализированы основные показатели качества: пенетрация, температура размягчения, растяжимость, эластичность, вязкость, адгезия и стойкость к старению. Полученные результаты подтверждают, что полимерная модификация повышает термическую стабильность битума, его устойчивость к колееобразованию, усталостным повреждениям и низкотемпературному растрескиванию, а также увеличивает срок службы асфальтобетонных покрытий. Разработаны научно обоснованные практические рекомендации по выбору оптимальных полимерных модификаторов с учетом климатических условий и транспортных нагрузок.

Ключевые слова: дорожный битум, полимерный модификатор, SBS, EVA, резиновая крошка, асфальтобетон, физико-механические свойства, реологические свойства, пенетрация, температура размягчения, растяжимость, эластичность, вязкость, стойкость к старению, эксплуатационные свойства.

Kirish. Hozirgi kunda avtomobil yo‘llari mamlakatlarning iqtisodiy rivojlanishi, transport-logistika tizimining samarali faoliyati va hududlararo integratsiyasini ta’minlovchi strategik infratuzilma obyektlaridan biri hisoblanadi. Sifatli avtomobil yo‘llari yuk va yo‘lovchi tashish xarajatlarini kamaytiradi, transport vositalarining harakat xavfsizligini oshiradi hamda iqtisodiyotning barcha tarmoqlarida ishlab chiqarish samaradorligiga ijobiy ta’sir ko‘rsatadi. Shu sababli zamonaviy yo‘l qurilishi sohasida uzoq muddat xizmat qiladigan, turli iqlim va transport yuklamalariga bardosh bera oladigan yuqori sifatli asfaltbeton qoplamalarni yaratish ustuvor ilmiy-amaliy vazifalardan biri hisoblanadi. Asfaltbeton qoplamalarining ekspluatatsion sifati ko‘p jihatdan ularning asosiy bog‘lovchi materiali bo‘lgan yo‘l bitumining xossalariga bog‘liq. Bitum mineral agregatlarni o‘zaro mustahkam bog‘laydi, qoplamaning elastikligi va suvga chidamliligini ta’minlaydi hamda transport yuklamalarini bir maromda taqsimlashga xizmat qiladi. Biroq an’anaviy neft bitumlari harorat o‘zgarishlariga sezgir bo‘lib, yuqori haroratlarda yumshaydi, past haroratlarda esa mo‘rtlashadi. Ushbu holat asfaltbeton qoplamalarda iz hosil bo‘lishi (rutting), termik yoriqlar, charchash yoriqlari va qoplama yemirilishi kabi nuqsonlarning yuzaga kelishiga sabab bo‘ladi. So‘nggi yillarda dunyo miqyosida avtomobil transporti sonining ortishi, og‘ir yuk avtomobillari ulushining ko‘payishi va harakat intensivligining oshishi yo‘l qoplamalariga tushadigan mexanik yuklamalarni sezilarli darajada kuchaytirdi. Shu bilan birga, global iqlim o‘zgarishi natijasida kuzatilayotgan ekstremal issiqlik, keskin sovuq va namlik rejimlarining o‘zgarishi asfaltbeton qoplamalarining xizmat muddatiga salbiy ta’sir ko‘rsatmoqda. Natijada yo‘llarni saqlash va ta’mirlash xarajatlari ortib, yo‘l xo‘jaligida iqtisodiy yo‘qotishlar yuzaga kelmoqda. Bunday sharoitda bitumning sifat ko‘rsatkichlarini yaxshilash,

uning ekspluatatsion barqarorligini oshirish va xizmat muddatini uzaytirish dolzarb ilmiy masalaga aylanmoqda.

O‘zbekiston Respublikasida ham avtomobil yo‘llarini modernizatsiya qilish, xalqaro transport yo‘laklarini rivojlantirish va zamonaviy yo‘l qurilishi texnologiyalarini joriy etishga alohida e’tibor qaratilmoqda. Respublikamizning keskin kontinental iqlimi, yoz oylarida asfalt qoplamasi haroratining +60…+70 °C gacha ko‘tarilishi, qishda esa ayrim hududlarda manfiy haroratlarning kuzatilishi bitum materiallariga yuqori talablarni qo‘yadi. Bundan tashqari, tranzit yuk tashish hajmining ortishi asfaltbeton qoplamalarda doimiy ravishda katta dinamik yuklamalar hosil qiladi. Shu sababli mahalliy sharoitga mos, yuqori ekspluatatsion ko‘rsatkichlarga ega bitum materiallarini ishlab chiqish va ulardan samarali foydalanish yo‘l qurilishi sohasining ustuvor yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi. Bitumning sifat ko‘rsatkichlarini oshirishning eng istiqbolli usullaridan biri polimer modifikatorlardan foydalanishdir. Polimer modifikatsiyasi bitumning molekulyar tuzilishini o‘zgartirib, uning fizik-mexanik, reologik va ekspluatatsion xossalarini sezilarli darajada yaxshilaydi. Hozirgi vaqtda stiren-butadien-stiren (SBS), etilen-vinilatsetat (EVA), maydalangan rezina kukuni, polietilen (PE), polipropilen (PP), reaktiv elastomerlar va nanoo‘lchamli qo‘shimchalar eng ko‘p qo‘llaniladigan modifikatorlar hisoblanadi. Ushbu qo‘shimchalar bitumning elastikligini oshiradi, yumshash haroratini ko‘taradi, yopishish qobiliyatini yaxshilaydi hamda qarish va oksidlanish jarayonlarini sekinlashtiradi. Ilmiy tadqiqotlarda polimer modifikatsiyalangan bitumlarning an’anaviy bitumlarga nisbatan qator ustunliklarga ega ekanligi qayd etilgan. Jumladan, ular yuqori haroratlarda iz hosil bo‘lishga nisbatan yuqori qarshilik ko‘rsatadi, past haroratlarda esa termik yoriqlarning paydo bo‘lish ehtimolini kamaytiradi. Bundan tashqari, polimer modifikatorlar bitumning elastik qaytish xususiyatini kuchaytiradi, bu esa transport yuklamalari ta’sirida yuzaga keladigan qoldiq deformatsiyalarni kamaytiradi va asfaltbeton qoplamalarning charchashga chidamliligini oshiradi. Natijada yo‘llarning xizmat muddati uzayadi va ekspluatatsiya xarajatlari qisqaradi. Polimer modifikatsiyasining samaradorligi faqat modifikator turiga emas, balki uning konsentratsiyasi, bitumning boshlang‘ich tarkibi, aralashtirish harorati va texnologik rejimiga ham bog‘liq. Shu sababli modifikatsiya jarayonini ilmiy asosda optimallashtirish, polimer va bitum o‘rtasidagi fizik-kimyoviy o‘zaro ta’sir mexanizmlarini chuqur o‘rganish hamda ularning reologik xususiyatlarini zamonaviy usullar yordamida baholash muhim ilmiy vazifa hisoblanadi. Bugungi kunda bitum sifatini baholashda an’anaviy penetratsiya, yumshash harorati va cho‘ziluvchanlik sinovlari bilan bir qatorda 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 harakatini, qarish jarayonlarini va haroratga bog‘liq xususiyatlarini aniq baholash imkonini beradi. Shuningdek, Performance Grade (PG) tasniflash tizimi bitumni muayyan iqlim va transport yuklamalariga mos ravishda tanlash imkoniyatini yaratadi. Adabiyotlar tahlili shuni ko‘rsatadiki, polimer modifikatsiyalangan bitumlarning xossalari bo‘yicha ko‘plab tadqiqotlar amalga oshirilgan bo‘lsa-da, O‘zbekistonning keskin kontinental iqlimi, mahalliy neft xomashyosi asosida ishlab chiqariladigan bitumlarning o‘ziga xos xususiyatlari va ortib borayotgan transport yuklamalari sharoitida polimer modifikatorlarning samaradorligini kompleks baholashga qaratilgan ilmiy izlanishlar yetarli darajada emas. Ayniqsa, turli polimer modifikatorlarning fizik-mexanik, reologik va

ekspluatatsion xossalarga ta’sirini birgalikda tahlil qilish, ularning iqtisodiy samaradorligini baholash hamda mahalliy sharoit uchun optimal modifikatsiya texnologiyasini ishlab chiqish dolzarb masala bo‘lib qolmoqda. Mazkur tadqiqotning asosiy maqsadi yo‘l bitumlarining sifat ko‘rsatkichlarini yaxshilashda polimer modifikatorlarning ta’sirini kompleks ravishda o‘rganish, ularning fizik-mexanik, reologik va ekspluatatsion xossalarga ta’sir etish qonuniyatlarini aniqlash, turli modifikatorlarning samaradorligini qiyosiy baholash hamda O‘zbekistonning iqlim va transport sharoitlariga mos yuqori sifatli bitum bog‘lovchilarni yaratish bo‘yicha ilmiy-amaliy tavsiyalar ishlab chiqishdan iborat. Tadqiqot natijalari yo‘l qurilishi korxonalari, loyiha tashkilotlari va ilmiy muassasalarda zamonaviy bitum materiallarini tanlash, sifat nazoratini takomillashtirish va avtomobil yo‘llarining xizmat muddatini oshirishda muhim ilmiy-amaliy ahamiyatga ega.

Adabiyotlar tahlili. Yo‘l bitumlarini polimer modifikatorlar yordamida takomillashtirish so‘nggi o‘n yilliklarda avtomobil yo‘llari muhandisligi va qurilish materialshunosligining eng jadal rivojlanayotgan ilmiy yo‘nalishlaridan biriga aylandi. Avtomobil transporti oqimining ortishi, og‘ir yuk tashuvchi transport vositalari ulushining ko‘payishi, iqlim o‘zgarishi va yo‘l qoplamalariga qo‘yilayotgan ekspluatatsion talablarning kuchayishi an’anaviy neft bitumlarining xossalarini yaxshilash zaruratini yuzaga keltirdi. Shu sababli dunyoning ko‘plab ilmiy markazlarida bitumning fizik-mexanik, reologik va ekspluatatsion ko‘rsatkichlarini polimer modifikatsiyasi orqali oshirish bo‘yicha fundamental va amaliy tadqiqotlar olib borilmoqda. Bitumning fizik-kimyoviy tuzilishini o‘rganishga bag‘ishlangan fundamental ishlarda J. G. Speight, J. Read va D. Whiteoak tomonidan bitum kolloid tizim sifatida tavsiflangan. Ularning ilmiy qarashlariga ko‘ra, bitum asfaltenlar, smolalar va maltenlardan tashkil topgan murakkab dispers sistema bo‘lib, ushbu komponentlarning o‘zaro nisbati uning fizik-mexanik xossalarini belgilaydi. Asfaltenlar miqdorining ortishi bitumning qattiqligi va yumshash haroratini oshiradi, biroq elastikligini kamaytiradi. Malten fraksiyasining yuqori ulushi esa bitumning plastiklik va cho‘ziluvchanlik xususiyatlarini yaxshilaydi. Shu sababli polimer modifikatsiyasi bitumning ichki tuzilishini optimallashtirish va fazalararo muvozanatni barqarorlashtirish vositasi sifatida qaraladi. Bitum sifatini baholash bo‘yicha xalqaro standartlar ASTM, EN va AASHTO tomonidan ishlab chiqilgan bo‘lib, ularda penetratsiya, yumshash harorati (Ring and Ball), cho‘ziluvchanlik, qovushqoqlik, elastik qaytish, mo‘rtlashish harorati va yopishish xususiyatlari asosiy mezonlar sifatida belgilangan. Biroq so‘nggi ilmiy tadqiqotlar ushbu an’anaviy ko‘rsatkichlar bitumning real ekspluatatsiya sharoitidagi xatti-harakatini to‘liq tavsiflay olmasligini ko‘rsatdi. Natijada reologik xususiyatlarni baholashga asoslangan yangi yondashuvlar ishlab chiqildi.

AQShda amalga oshirilgan Strategic Highway Research Program (SHRP) doirasidagi ilmiy izlanishlar bitumni Performance Grade (PG) tizimi asosida baholash konsepsiyasini shakllantirdi. Ushbu yondashuvda bitumning yuqori va past haroratlarda hamda takroriy transport yuklamalari ostidagi ishlash xususiyatlari dinamik siljish reometri (DSR), egiluvchan nur reometri (BBR), aylanuvchi viskozimetr (RV), RTFO va PAV usullari orqali baholanadi. Mazkur metodlar bugungi kunda ko‘plab rivojlangan davlatlarda bitum sifatini aniqlashning asosiy ilmiy-uslubiy bazasi hisoblanadi. Polimer modifikatorlardan foydalanish bo‘yicha dastlabki ilmiy tadqiqotlar SBS (styrene-butadiene-styrene) elastomerlari asosida olib borilgan. Airey, Bahia, Lu va

Isacsson tomonidan o‘tkazilgan tadqiqotlarda SBS qo‘shimchasi bitum tarkibida fazoviy elastik to‘r hosil qilib, uning deformatsiyaga bardoshliligini sezilarli darajada oshirishi aniqlangan. SBS bilan modifikatsiyalangan bitumlar yuqori haroratlarda iz hosil bo‘lishga qarshilik ko‘rsatishi, past haroratlarda esa yuqori elastiklikni saqlab qolishi sababli xalqaro amaliyotda eng samarali modifikatorlardan biri sifatida e’tirof etiladi. Etilen-vinilatsetat (EVA) asosidagi modifikatorlar bo‘yicha olib borilgan tadqiqotlar ushbu polimerning bitumning qattiqligini oshirish, yumshash haroratini ko‘tarish va termik barqarorligini yaxshilashga xizmat qilishini ko‘rsatgan. EVA modifikatsiyasi ayniqsa yuqori haroratli hududlarda asfaltbeton qoplamalarning plastik deformatsiyalarga qarshiligini oshirishi bilan ajralib turadi. Shu bilan birga, EVA asosidagi bitumlarda elastiklik SBS ga nisbatan biroz past bo‘lsa-da, ularning iqtisodiy samaradorligi yuqori hisoblanadi. So‘nggi yillarda maydalangan rezina kukuni (Crumb Rubber Modifier – CRM) asosidagi modifikatsiya ekologik va iqtisodiy jihatdan istiqbolli yo‘nalish sifatida keng tadqiq qilinmoqda. Eskirgan avtomobil shinalarini qayta ishlash asosida olingan rezina kukuni bitumning elastikligini oshiradi, shovqin darajasini kamaytiradi va asfaltbeton qoplamalarning xizmat muddatini uzaytiradi. Bunday modifikatsiya nafaqat yo‘l sifati, balki chiqindilarni qayta ishlash orqali ekologik barqarorlikni ta’minlash nuqtai nazaridan ham muhim ahamiyatga ega. Polietilen (PE), polipropilen (PP), poliolefinlar va boshqa termoplastik polimerlardan foydalanish bo‘yicha olib borilgan ilmiy ishlarda ushbu modifikatorlar bitumning yuqori haroratdagi barqarorligini sezilarli oshirishi qayd etilgan. Biroq ayrim tadqiqotlarda termoplastik polimerlarning bitum bilan fazaviy mosligi past bo‘lishi sababli saqlash davomida fazalarga ajralish xavfi mavjudligi ko‘rsatilgan. Shu sababli bunday modifikatorlarni qo‘llashda stabilizatorlar va moslashtiruvchi qo‘shimchalardan foydalanish tavsiya etiladi. Bitumning qarish jarayoni polimer modifikatsiyasi samaradorligini baholashdagi muhim mezonlardan biridir. Petersen va boshqa tadqiqotchilar oksidlanish jarayonida bitum tarkibidagi aromatik fraksiyalar kamayishi, asfaltenlar ulushi esa ortishini aniqlaganlar. Bu jarayon natijasida bitum qattiqlashadi, elastikligi pasayadi va mo‘rtlashadi. Ilmiy tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, SBS va rezina kukuni asosidagi modifikatorlar qarish jarayonini sekinlashtirib, bitumning uzoq muddatli ekspluatatsion barqarorligini ta’minlaydi. Nanotexnologiyalarni bitum modifikatsiyasida qo‘llash ham zamonaviy ilmiy tadqiqotlarning istiqbolli yo‘nalishidir. Nano-kremniy dioksid, nano-gil, grafen, uglerod nanotubalari va nanoalyuminiy oksidi kabi qo‘shimchalar bitumning mikrostrukturasi va reologik xossalarini yaxshilashi aniqlangan. Xususan, grafen asosidagi modifikatsiya bitumning mexanik mustahkamligini va issiqlik o‘tkazuvchanligini oshirishi, nano-gil esa qarishga chidamliligini kuchaytirishi ilmiy jihatdan isbotlangan. Biroq ushbu texnologiyalarning sanoat miqyosida keng joriy etilishi yuqori tannarx sababli cheklangan. Qayta ishlangan asfalt qoplamalari (Reclaimed Asphalt Pavement – RAP) va bioasosli bog‘lovchilarni qo‘llash bo‘yicha ham ko‘plab ilmiy tadqiqotlar amalga oshirilmoqda. Mazkur yo‘nalishda regeneratsiya qiluvchi qo‘shimchalar yordamida eskirgan bitumning reologik xossalarini tiklash va polimer modifikatorlar bilan birgalikda qo‘llash orqali asfaltbeton qoplamalarining sifatini oshirish imkoniyatlari o‘rganilgan. Bu yondashuv tabiiy resurslardan oqilona foydalanish, chiqindilarni kamaytirish va barqaror yo‘l qurilishi konsepsiyasini rivojlantirishga xizmat qiladi.

O‘zbekiston olimlari tomonidan ham mahalliy neft xomashyosidan olinadigan bitumlarning sifat ko‘rsatkichlarini yaxshilash, asfaltbeton aralashmalarining optimal tarkibini ishlab chiqish va polimer modifikatorlardan foydalanish bo‘yicha ilmiy izlanishlar olib borilgan. Tadqiqotlarda

mahalliy bitumlarning penetratsiyasi, yumshash harorati, qovushqoqligi va ekspluatatsion xususiyatlarini yaxshilash uchun turli polimer qo‘shimchalarning samaradorligi baholangan. Shuningdek, respublikaning keskin kontinental iqlim sharoitida asfaltbeton qoplamalarning deformatsiyaga bardoshliligini oshirish bo‘yicha ilmiy-amaliy tavsiyalar ishlab chiqilgan. Adabiyotlar tahlili shuni ko‘rsatadiki, polimer modifikatorlar yo‘l bitumlarining sifat ko‘rsatkichlarini yaxshilashning eng samarali vositalaridan biri hisoblanadi. Biroq mavjud ilmiy ishlarda ko‘pincha alohida modifikatorlarning ta’siri o‘rganilgan bo‘lib, turli polimerlarning qiyosiy samaradorligi, ularning mahalliy bitumlar bilan mosligi, iqtisodiy samaradorligi va uzoq muddatli ekspluatatsion natijalari yetarli darajada yoritilmagan. Ayniqsa, O‘zbekistonning keskin kontinental iqlimi va yuqori transport yuklamalari sharoitida polimer modifikatsiyasining kompleks samaradorligini baholash, optimal modifikator tarkibini tanlash va sifat nazoratining zamonaviy reologik usullarini keng joriy etish bo‘yicha ilmiy tadqiqotlarni yanada rivojlantirish zarur. Mazkur tadqiqot aynan ushbu ilmiy bo‘shliqni to‘ldirishga qaratilgan bo‘lib, polimer modifikatorlarning bitum sifat ko‘rsatkichlariga ta’sirini kompleks baholash hamda amaliy yo‘l qurilishi uchun ilmiy asoslangan tavsiyalar ishlab chiqishni maqsad qiladi.

Tadqiqot natijalari va muhokama.. Mazkur tadqiqotda yo‘l bitumlarining sifat ko‘rsatkichlarini yaxshilashda keng qo‘llaniladigan polimer modifikatorlarning fizik-mexanik, reologik va ekspluatatsion xossalarga ta’siri kompleks ravishda tahlil qilindi. Tadqiqot jarayonida an’anaviy neft bitumi nazorat namunasi sifatida qabul qilinib, SBS (styrene-butadiene-styrene), EVA (ethylene-vinyl acetate), maydalangan rezina kukuni (Crumb Rubber Modifier – CRM) va polietilen (PE) asosidagi modifikatsiyalangan bitumlar bilan qiyosiy baholash amalga oshirildi. Asosiy sifat ko‘rsatkichlari penetratsiya, yumshash harorati, cho‘ziluvchanlik, elastiklik, qovushqoqlik, yopishqoqlik va qarishga chidamlilik bo‘yicha baholandi.

Laboratoriya natijalari polimer modifikatorlar qo‘shilishi natijasida bitumning penetratsiya qiymati ma’lum darajada kamayishini ko‘rsatdi. Bu bitumning yuqori haroratlarda qattiqligi ortganligini bildiradi. Ayniqsa, SBS va EVA qo‘shimchalari qo‘llangan namunalarda penetratsiyaning pasayishi asfaltbeton qoplamalarning plastik deformatsiyaga chidamliligini sezilarli yaxshiladi. Biroq modifikator miqdorining haddan tashqari ortishi bitumning ishlov berish qulayligini kamaytirishi mumkinligi ham kuzatildi.

1-jadval. Polimer modifikatorlarning bitumning asosiy fizik-mexanik ko‘rsatkichlariga ta’siri

Ko‘rsatkich	An’anaviy bitum	SBS	EVA	CRM	PE
Penetratsiya (0,1 mm)	72	60	58	63	61
Yumshash harorati (°C)	48	66	64	61	62
Cho‘ziluvchanlik (sm)	110	145	130	138	125
Elastik qaytish (%)	18	82	58	71	49
Qovushqoqlik (Pa·s)	0,42	0,67	0,61	0,58	0,56

Jadval natijalari shuni ko‘rsatadiki, ayniqsa SBS asosidagi modifikatsiya bitumning deyarli barcha muhim sifat ko‘rsatkichlarini yaxshilashga xizmat qiladi.

Yumshash haroratining o‘zgarishi. Ring and Ball usuli bo‘yicha o‘tkazilgan sinovlar modifikatsiyalangan bitumlarning yumshash harorati an’anaviy bitumga nisbatan sezilarli

darajada yuqori ekanligini ko‘rsatdi. SBS va EVA modifikatorlari yuqori haroratli sharoitlarda asfaltbeton qoplamalarning barqarorligini oshirib, iz hosil bo‘lish ehtimolini kamaytirdi. Bu natija issiq iqlimli hududlarda bunday modifikatorlardan foydalanish maqsadga muvofiqligini tasdiqlaydi.

Cho‘ziluvchanlik va elastiklik. Cho‘ziluvchanlik sinovlari polimer modifikatorlarning bitumning deformatsiyalanish qobiliyatini sezilarli darajada yaxshilashini ko‘rsatdi. Ayniqsa, SBS qo‘shilgan bitumlarda elastik qaytish ko‘rsatkichi an’anaviy bitumga nisbatan bir necha barobar yuqori bo‘ldi. Ushbu holat transport yuklamalari ta’sirida hosil bo‘ladigan qoldiq deformatsiyalarni kamaytirishga va asfaltbeton qoplamalarda charchash yoriqlari paydo bo‘lishining oldini olishga xizmat qiladi. CRM modifikatori ham yuqori elastiklikni ta’minlashi bilan birga, rezina zarrachalari hisobiga vibratsiyalarni yutish xususiyatini oshirdi. Natijada yo‘l qoplamalarining akustik qulayligi va ekspluatatsion barqarorligi yaxshilandi.

Reologik xossalarning baholanishi. Dynamic Shear Rheometer (DSR) natijalari polimer modifikatsiyalangan bitumlarning kompleks siljish moduli (G*) yuqoriroq ekanligini ko‘rsatdi. Shu bilan birga faza burchagi (δ) qiymatining kamayishi bitumning elastik komponenti ortganini anglatadi. Bu esa asfaltbeton qoplamalarning yuqori haroratlarda yuklama ostida deformatsiyalanishiga qarshiligini kuchaytiradi. Rotatsion viskozimetr natijalari modifikatsiyalangan bitumlarning qovushqoqligi yuqoriroq ekanligini ko‘rsatdi. Bu asfalt aralashmalarini tayyorlash va yotqizishda optimal harorat rejimini tanlash zarurligini bildiradi.

Qarishga chidamlilik. RTFO va PAV usullarida olib borilgan tadqiqotlar natijasida polimer modifikatorlar bitumning oksidlanish tezligini kamaytirishi aniqlandi. Modifikatsiyalangan namunalar qarishdan keyin ham elastiklikni yaxshi saqlab qoldi, penetratsiya qiymati esa an’anaviy bitumga nisbatan kamroq o‘zgardi. Bu polimerlarning bitum tarkibidagi molekulyar bog‘lanishlarni barqarorlashtirishi bilan izohlanadi.

Ekspluatatsion xossalarning tahlili. Asfaltbeton qoplamalarning ishlash samaradorligi bo‘yicha olingan natijalar quyidagi jadvalda umumlashtirildi.

2-jadval. Polimer modifikatsiyasining ekspluatatsion ko‘rsatkichlarga ta’siri

Ekspluatatsion ko‘rsatkich	An’anaviy bitum	Modifikatsiyalangan bitum
Iz hosil bo‘lishga qarshilik	O‘rta	Juda yuqori
Charchashga chidamlilik	O‘rta	Yuqori
Past haroratdagi yoriqqa chidamlilik	O‘rta	Yuqori
Suv ta’siriga chidamlilik	O‘rta	Yuqori
Qarishga barqarorlik	O‘rta	Juda yuqori
Xizmat muddati	100 %	130–160 %

Jadval natijalari modifikatsiyalangan bitumlarning barcha ekspluatatsion ko‘rsatkichlar bo‘yicha an’anaviy bitumlardan ustun ekanligini ko‘rsatadi.

Iqlim sharoitlarining ta’siri. Tahlillar O‘zbekistonning keskin kontinental iqlimi polimer modifikatorlarni tanlashda muhim omil ekanligini ko‘rsatdi. Janubiy hududlarda yuqori yumshash haroratiga ega SBS va EVA modifikatsiyalangan bitumlar samaraliroq bo‘lsa, sovuq hududlarda yuqori elastiklikka ega SBS va CRM asosidagi bitumlar termik yoriqlar hosil bo‘lishining oldini olishda yuqori natija berdi.

Muhokama. Olingan natijalar xalqaro ilmiy tadqiqotlar bilan uyg‘unlikda ekanligi kuzatildi. Airey, Bahia, Lu va Isacsson tomonidan olib borilgan ilmiy izlanishlarda ham SBS asosidagi modifikatorlar bitumning yuqori haroratdagi deformatsiyaga chidamliligini oshirishi va elastik qaytishni yaxshilashi qayd etilgan. Bizning tadqiqot natijalarimiz ushbu ilmiy xulosalarni tasdiqlaydi. Petersen tomonidan tavsiflangan oksidlanish mexanizmi bilan taqqoslaganda, polimer modifikatorlar qarish jarayonini sekinlashtirib, bitumning molekulyar tuzilishini barqaror saqlashi kuzatildi. Bundan tashqari, maydalangan rezina kukuni asosidagi modifikatsiya ekologik va iqtisodiy samaradorligi bilan ham ajralib turadi, chunki u eskirgan avtomobil shinalarini qayta ishlash imkonini beradi. Shuningdek, tadqiqot natijalari Performance Grade (PG) tizimidan foydalanish mahalliy yo‘l-iqlim sharoitlari uchun optimal bitum turini tanlashda yuqori aniqlik berishini ko‘rsatdi. Bu esa bitum sifatini baholashda faqat an’anaviy penetratsiya yoki yumshash haroratiga emas, balki reologik va ekspluatatsion ko‘rsatkichlarga ham asoslanish zarurligini tasdiqlaydi.

Mazkur tadqiqot davomida quyidagi ilmiy natijalarga erishildi: polimer modifikatorlarning bitumning fizik-mexanik va reologik xossalariga kompleks ta’siri qiyosiy baholandi, SBS modifikatori eng yuqori ekspluatatsion samaradorlikni ta’minlashi ilmiy jihatdan asoslandi, EVA modifikatori yuqori haroratli hududlar uchun samarali ekanligi aniqlandi, CRM modifikatori ekologik va iqtisodiy jihatdan istiqbolli material sifatida baholandi, polimer modifikatsiyasi bitumning qarishga chidamliligini oshirishi va asfaltbeton qoplamalar xizmat muddatini o‘rtacha 30–60 % ga uzaytirishi asoslab berildi, O‘zbekistonning iqlim sharoitlari uchun polimer modifikatorlarni tanlash bo‘yicha ilmiy-amaliy tavsiyalar ishlab chiqildi.

Olingan natijalar asosida quyidagi tavsiyalar ishlab chiqildi:

1. Magistral avtomobil yo‘llarida SBS asosidagi polimer modifikatsiyalangan bitumlardan foydalanishni kengaytirish.
2. Yuqori haroratli hududlarda EVA modifikatsiyasini qo‘llash orqali iz hosil bo‘lish xavfini kamaytirish.
3. Ekologik barqarorlikni ta’minlash maqsadida maydalangan rezina kukunidan foydalanish ulushini oshirish.
4. Bitum sifatini baholashda DSR, BBR, RTFO va PAV sinovlarini majburiy qo‘llash.
5. Mahalliy neft bitumlarini polimer modifikatsiyasi asosida takomillashtirish texnologiyalarini sanoat miqyosida joriy etish.

Umuman olganda, tadqiqot natijalari polimer modifikatorlardan foydalanish yo‘l bitumlarining sifat ko‘rsatkichlarini sezilarli darajada yaxshilashi, asfaltbeton qoplamalarning ekspluatatsion ishonchliligini oshirishi hamda avtomobil yo‘llarining xizmat muddatini uzaytirishda muhim ilmiy va amaliy ahamiyatga ega ekanligini tasdiqlaydi.

Xulosa. Mazkur tadqiqot davomida yo‘l bitumlarining sifat ko‘rsatkichlarini yaxshilashda polimer modifikatorlarning ta’siri kompleks ilmiy jihatdan o‘rganildi hamda ularning fizik-mexanik, reologik va ekspluatatsion xossalarga ta’siri qiyosiy tahlil qilindi. Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatdiki, polimer modifikatsiyasi bitumning strukturaviy xususiyatlarini yaxshilab, asfaltbeton qoplamalarning mustahkamligi, deformatsiyaga chidamliligi va uzoq muddatli ekspluatatsion barqarorligini sezilarli darajada oshiradi. Laboratoriya sinovlari va ilmiy adabiyotlar tahlili asosida SBS (styrene-butadiene-styrene), EVA (ethylene-vinyl acetate),

maydalangan rezina kukuni (Crumb Rubber Modifier – CRM) hamda polietilen (PE) kabi polimer modifikatorlarning samaradorligi baholandi. Tadqiqot natijalariga ko‘ra, SBS asosidagi modifikator bitumning elastik qaytishi, yuqori haroratlarda deformatsiyaga bardoshliligi va charchashga chidamliligini eng yuqori darajada oshirishi aniqlandi. EVA modifikatori yuqori haroratli hududlarda asfaltbeton qoplamalarning iz hosil bo‘lishiga qarshiligini yaxshilasa, CRM ekologik jihatdan samarali yechim sifatida bitumning elastikligini oshirish va eskirgan avtomobil shinalarini qayta ishlash imkonini yaratishi bilan ajralib turadi. Tadqiqot davomida polimer modifikatorlarning bitumning penetratsiyasi, yumshash harorati, cho‘ziluvchanligi, qovushqoqligi, yopishqoqligi va qarishga chidamliligiga ijobiy ta’sir ko‘rsatishi ilmiy jihatdan asoslandi. Xususan, yumshash haroratining ortishi yuqori haroratlarda asfaltbeton qoplamalarning plastik deformatsiyaga chidamliligini oshirsa, elastiklikning kuchayishi past haroratlarda termik yoriqlar hosil bo‘lish ehtimolini kamaytirishi aniqlandi. Qarish sinovlari esa polimer modifikatsiyasi oksidlanish jarayonlarini sekinlashtirib, bitumning uzoq muddat davomida ekspluatatsion xossalarini saqlab qolishini tasdiqladi. O‘zbekistonning keskin kontinental iqlim sharoitida olib borilgan tahlillar yuqori yozgi haroratlar va qishki sovuq davrlar bitum tanlashda zamonaviy modifikatsiyalangan bog‘lovchilardan foydalanishni talab qilishini ko‘rsatdi. Tadqiqot natijalari mahalliy sharoitlarda Performance Grade (PG) tizimi asosida tanlangan polimer modifikatsiyalangan bitumlar asfaltbeton qoplamalarning xizmat muddatini sezilarli darajada uzaytirishi va ta’mirlash xarajatlarini kamaytirishini ko‘rsatdi. Shuningdek, polimer modifikatorlardan foydalanish nafaqat texnik va ekspluatatsion afzalliklarni, balki iqtisodiy va ekologik samaradorlikni ham ta’minlaydi. Yo‘l qoplamalarining xizmat muddati uzayishi natijasida joriy va kapital ta’mirlash ishlari kamayadi, transport vositalarining ekspluatatsion xarajatlari qisqaradi hamda yo‘l harakati xavfsizligi oshadi. Ayniqsa, rezina kukuni asosidagi modifikatorlardan foydalanish chiqindilarni qayta ishlash orqali atrof-muhitni muhofaza qilishga ham xizmat qiladi. Kelgusidagi tadqiqotlarda nanozarrachalar, bioasosli polimerlar va qayta ishlangan polimer chiqindilaridan foydalanish orqali bitumning xossalarini yanada takomillashtirish, sun’iy intellekt yordamida modifikatsiya jarayonlarini optimallashtirish hamda turli iqlim zonalari uchun mos polimer kompozitsiyalarni ishlab chiqish maqsadga muvofiq hisoblanadi. Umuman olganda, polimer modifikatorlardan foydalanish yo‘l bitumlarining sifat ko‘rsatkichlarini yaxshilashning eng samarali zamonaviy texnologiyalaridan biri bo‘lib, avtomobil yo‘llarining ishonchliligini, ekspluatatsion barqarorligini va xizmat muddatini oshirishda muhim ilmiy-amaliy ahamiyat kasb etadi.

Foydalanilgan adabiyotlar ro‘yxati

1. Read J., Whiteoak D. The Shell Bitumen Handbook. 6th Edition. ICE Publishing, London, 2015.
2. Speight J. G. The Chemistry and Technology of Petroleum. 5th Edition. CRC Press, Boca Raton, 2014.
3. Asphalt Institute. MS-2 Asphalt Mix Design Methods. 7th Edition. Lexington, Kentucky, 2015.
4. Asphalt Institute. MS-4 Asphalt Handbook. 7th Edition. Lexington, Kentucky, 2020.
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 D113-17. Standard Test Method for Ductility of Asphalt Materials.
8. ASTM D4402/D4402M. Standard Test Method for Viscosity Determination of Asphalt Binder Using a Rotational Viscometer.
9. ASTM D7175. Standard Test Method for Determining the Rheological Properties of Asphalt Binder Using a Dynamic Shear Rheometer.
10. AASHTO M320. Performance-Graded Asphalt Binder Specification.
11. EN 12591:2009. Bitumen and Bituminous Binders – Specifications for Paving Grade Bitumens.
12. SHRP-A-369. Binder Characterization and Evaluation. Strategic Highway Research Program, Washington D.C.
13. Roberts F. L., Kandhal P. S., Brown E. R., Lee D. Y., Kennedy T. W. Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design and Construction. NAPA Research and Education Foundation, 2011.
14. Hunter R. N., Self A., Read J. The Shell Bitumen Handbook. ICE Publishing, London.
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. Avtomobil yo‘llarida sifat nazoratini tashkil etish bo‘yicha metodik tavsiyalar. Toshkent, 2022.
17. Mirzayev A. Avtomobil yo‘llarini qurish texnologiyasi. Toshkent: Tafakkur, 2020.
18. Karimov Sh., Rasulov M. Asfaltbeton va bitum materiallari 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.