CHAQIQTOSH MASTIKALI ASFALTBETONDA TOLALI QO‘SHIMCHALARNI FUNKSIONAL MEZONLAR ASOSIDA TANLASH

Hamroliyev Umidjon To‘lqin o‘g‘li
Farg‘ona davlat texnika universiteti,
Yo‘l muhandisligi yo‘nalishi,
13-25 YM guruhi talabasi.

Mamatov Xamidillo Abdullayevich
Ilmiy rahbar:
Farg‘ona davlat texnika universiteti,
Qurilish materiallari va buyumlari kafedrasi
dotsenti, PhD.
https://doi.org/10.5281/zenodo.23567965

Annotatsiya

Chaqiqtosh-mastikali asfaltbetonda tolali qo‘shimcha tanlash bog‘lovchini barqarorlashtirish va yorilishga qarshilikni oshirish vazifalarini alohida baholashni talab qiladi. Maqolaning maqsadi sellyuloza, lignin, poliester va bazalt tolalariga doir tajribaviy dalillarni funksional mezonlar bo‘yicha tanqidiy tahlil qilish hamda mahalliy materiallar uchun tekshirish tartibini taklif etishdir. Maqsadli adabiyotlar sharhida qorishma turi, tola shakli va miqdori, bog‘lovchi sarfi, sinov sharoiti hamda nazorat tarkibi hisobga olindi. Tanlangan tadqiqotdagi bir xil tolali qo‘shimcha miqdorida lignin tolasi bog‘lovchining eng kam oqib ajralishini, 6 mm kesilgan bazalt tolasi esa charchash umrining eng katta o‘sishini ta’minlagan. Biroq tarkiblar orasida bog‘lovchi miqdori ham o‘zgarganligi sababli farqlarni faqat tola ta’siri bilan izohlash mumkin emas. Sharh natijasida dastlab texnologik yaroqlilik, so‘ng ekspluatatsion xususiyatlar bo‘yicha tanlash taklif qilindi. Ushbu yondashuv mahalliy sinovlarda hali tasdiqlanmagan; maqolada yangi laboratoriya o‘lchovlari keltirilmagan.

Kalit so‘zlar: chaqiqtosh-mastikali asfaltbeton, tolali qo‘shimcha, sellyuloza, lignin, bazalt, poliester, bog‘lovchining oqib ajralishi, yorilishga qarshilik.

Abstract

Selecting fibers for stone mastic asphalt requires separate assessment of binder stabilization and cracking resistance. This critical review examines experimental evidence on cellulose, lignin, polyester and basalt fibers and proposes a verification framework for local materials. Studies were assessed with respect to mixture type, fiber morphology and dosage, binder content, test conditions and control mixtures. In one comparative study using equal fiber mass fractions, lignin fiber produced the lowest binder drainage, whereas 6 mm chopped basalt fiber yielded the largest increase in fatigue life. However, binder contents also varied between mixtures, limiting attribution of the differences solely to fiber reinforcement. A two-stage selection process is proposed: technological suitability followed by performance evaluation.

The framework requires local experimental validation. No new laboratory measurements are reported.

Keywords: stone mastic asphalt, fiber additive, cellulose, lignin, basalt, polyester, binder draindown, cracking resistance.

Kirish

Chaqiqtosh-mastikali asfaltbetonning (SMA — stone mastic asphalt) ishlashi yirik donalarning o‘zaro tutashgan karkasi va bo‘shliqlarni to‘ldiruvchi bitum-mineral mastikaning birgalikdagi xususiyatlariga bog‘liq. Bog‘lovchiga boy tarkibda ishlab chiqarish, saqlash va tashish vaqtida mastikaning barqarorligini saqlash muhim. AQSh Federal avtomobil yo‘llari boshqarmasi texnik sharhida sellyuloza yoki mineral tolalar bog‘lovchining oqib ajralishini kamaytiruvchi qo‘shimchalar sifatida ko‘rsatiladi [1]. Demak, tolani tanlashda uning dastlabki vazifasi aniq belgilanishi kerak.

Amaliy qaror uchun “tolali asfaltbeton yaxshiroq” degan umumiy xulosa yetarli emas. Bog‘lovchini ushlab turish, takroriy yuklanishga bardoshlilik, past haroratda deformatsiyalanish va yoriq rivojlanishini sekinlashtirish turli sinovlar orqali baholanadi. Ulardan birida olingan ijobiy natija qolgan xususiyatlarni avtomatik ravishda tasdiqlamaydi. Shu sababli qo‘shimcha nomi yoki ishlab chiqaruvchining umumiy tavsifidan ko‘ra, tekshirilayotgan buzilish mexanizmi va uni ifodalovchi ko‘rsatkich muhimroqdir.

Guo va hammualliflar tola turi, uzunligi va miqdorini birgalikda tekshirib, tanlashning ko‘p omilli ekanini ko‘rsatgan [2]. Wu va hammualliflar bazalt tolasining ta’siri qorishma granulometriyasi hamda deformatsiya darajasiga bog‘liqligini aniqlagan [3]. Zhang va hammualliflar esa yangi va qayta ishlangan SMA tarkiblarini alohida baholagan [4]. Bu ishlar tolani mustaqil, barcha sharoitda bir xil ishlaydigan komponent sifatida talqin qilish cheklanganligini ko‘rsatadi.

Mazkur maqolada ko‘riladigan metodik muammo — turli vazifalar va turli qorishma tarkiblari uchun olingan natijalarni yagona “eng samarali tola” reytingiga aylantirishdir. Tadqiqot bo‘shlig‘i barcha tolalar yetarlicha o‘rganilmagan degan keng da’vo bilan belgilanmaydi. E’tibor mavjud natijalarni amaliy tanlovga ko‘chirishda nazorat tarkibi, dozalash bazasi va sinov sharoitini birgalikda hisobga olish zaruratiga qaratiladi.

Maqolaning maqsadi SMA uchun tolali qo‘shimchalarni bog‘lovchining oqib ajralishi va yorilishga qarshilik mezonlari bo‘yicha tanqidiy taqqoslashdir. Asosiy savollar quyidagicha: stabilizatsiya uchun qulay tola mexanik sinovda ham ustun bo‘ladimi; kuzatilgan farqni tola ta’siridan qanday ajratish mumkin; mahalliy xomashyo bilan tanlovni qaysi ketma-ketlikda tekshirish maqsadga muvofiq? Ishning hissasi — mavjud dalillarni ikki bosqichli tanlash tartibiga bog‘lash. Yangi tola tarkibi yoki tajribada tasdiqlangan yangi texnologiya taklif qilinmaydi.

Materiallar va metodlar

Ish maqsadli tanlangan adabiyotlarning tanqidiy sharhi sifatida bajarildi. Qidiruv va manbalarni tekshirish 2026-yil 20-oktabrda ochiq veb-qidiruv, nashriyot sahifalari, PubMed Central to‘liq matnlari va FHWA hujjati orqali amalga oshirildi. “Stone mastic asphalt fiber draindown cracking resistance”, “cellulose fiber SMA drainage”, “basalt fiber SMA fatigue”

kabi inglizcha so‘z birikmalari hamda tegishli maqolalarning aniq nomlari ishlatildi. Scopus yoki Web of Science bazalarida to‘liq bibliometrik qidiruv o‘tkazilgani da’vo qilinmaydi.

Manbalarni tanlashda SMA bilan bevosita bog‘liqlik, tajriba usulining tavsiflanganligi, tola yoki qorishma tarkibi haqida ma’lumot mavjudligi va tekshiriladigan bibliografik rekvizitlar asosiy mezon bo‘ldi. Miqdoriy qiyos uchun to‘liq matni tekshirilgan tadqiqotlardan foydalanildi. AC-16 tarkibini o‘rgangan ish [2] metodik kontekst sifatida olindi; undagi dozalar SMA uchun tayyor retsept sifatida qo‘llanmadi. Qayta ishlangan qorishmalar natijalari [4] yangi materiallardan tayyorlangan SMA natijalariga qo‘shib o‘rtachalanmadi. Jami beshta tajribaviy maqola [2–6] va bitta rasmiy texnik sharh [1] tahlilning daliliy asosini tashkil etdi.

Har bir tajribaviy manbadan qorishma turi, tolaning materiali va shakli, miqdorning hisoblash bazasi, bog‘lovchi tarkibi, sinov turi, nazorat varianti hamda talqin cheklovlari ajratildi. Sellyuloza va manbada “lignin fiber” deb nomlangan o‘simlik tolasi bir xil mahsulot deb qabul qilinmadi. Shuningdek, kesilgan va momiqsimon bazalt tolalari alohida variant sifatida qaraldi. Tijoriy “kompozit tola” nomining o‘zi material tarkibi yoki samaradorligini tasdiqlovchi dalil deb olinmadi.

Natijalar ikki funksional guruhda tahlil qilindi: birinchisi — zichlanmagan issiq qorishmada bog‘lovchining oqib ajralishi; ikkinchisi — zichlangan namunada yoriq hosil bo‘lishi va rivojlanishiga qarshilik. Tajriba ichidagi nazoratga nisbatan o‘zgarishlar faqat o‘sha tajriba doirasida talqin qilindi. Turli harorat, yuklash rejimi yoki nazorat tarkibida olingan foizlar yagona samaradorlik ko‘rsatkichiga birlashtirilmadi. Meta-tahlil, umumlashtirilgan ta’sir kattaligi va yangi statistik ahamiyatlilik hisoblanmadi.

Sharhning ishonchliligi ma’lumotlarni asl jadval va matn bilan tekshirish, o‘lchangan natijalarni mualliflik takliflaridan ajratish orqali ta’minlandi. Biroq qidiruv barcha mavjud ishlarni qamrab olgan tizimli sharh emas; tanlash bir tahlilchi tomonidan bajarilgan. Shu bois natijalar adabiyotning to‘liq vakillik namunasi yoki tolalarning yakuniy reytingi sifatida qaralmasligi kerak.

Natijalar

Bog‘lovchini barqarorlashtirish va charchash natijalarining farqlanishi

Yang va hammualliflar SMA-13 tarkibida qorishma massasiga nisbatan 0,3% tola qo‘llagan. Bog‘lovchi SBS polimeri bilan modifikatsiyalangan. 1-jadvalda ushbu tadqiqotning tanlangan ko‘rsatkichlari jamlandi: lignin tolasi oqib ajralish bo‘yicha, 6 mm kesilgan bazalt tolasi esa charchash umrining nisbiy o‘sishi bo‘yicha eng yaxshi natijani bergan [5].

1-jadval. SMA-13 tarkiblarining bitta tadqiqot doirasidagi qiyosi

Tola varianti	Optimal bog‘lovchi, %	Oqib ajralish, %	Charchash umrining o‘sishi, %
Tolasiz nazorat	5,95	0,08	—
Lignin	6,37	0,01	12,4
Poliester, 6 mm	6,18	0,06	30,2
Momiqsimon bazalt	6,24	0,02	18,2

Tola varianti	Optimal bog‘lovchi, %	Oqib ajralish, %	Charchash umrining o‘sishi, %
Kesilgan bazalt, 3 mm	6,02	0,05	8,1
Kesilgan bazalt, 6 mm	6,10	0,06	36,9
Kesilgan bazalt, 9 mm	6,15	0,06	18,7

Manba: [5], 4-jadval va 3.5-bo‘lim. Tola miqdori qorishma massasiga nisbatan 0,3%. Charchash sinovi: to‘rt nuqtali egilish, 15 °C, 600 mikrodeformatsiya, 10 Hz; yakun mezoni — boshlang‘ich qattiqlik modulining 50% gacha kamayishi. O‘sish tolasiz nazoratga nisbatan berilgan. Bular adabiyotdan olingan natijalardir.

Jadvaldagi tarkiblar uchun optimal bog‘lovchi miqdori bir xil emas. Shu sababli natijalar tola, bog‘lovchi sarfi va qorishma tuzilishining birgalikdagi ta’sirini ifodalaydi. Bitta funksiyadagi tartib boshqa funksiyada takrorlanmaganligi muhim topilmadir; sonli farqlar esa faqat keltirilgan tajriba sharoitiga tegishli [5].

Dozani tanlashda natijaning tarqoqligi

Umutlu va Bingöl sellyuloza tolali, polimer-modifikatsiyalangan SMA tarkibida Schellenberg sinovi orqali dozani tanlagan. Bog‘lovchi miqdori 6,5% bo‘lgan tekshiruvda 0,30% tolada oqib ajralish o‘rtachasi 0,27%, standart og‘ishi 0,020%; 0,35% tolada mos ravishda 0,18% va 0,006% bo‘lgan. Har ikkala o‘rtacha qiymat tadqiqotda qo‘llangan 0,3% chegaradan past. Mualliflar 0,35% miqdorni kattaroq zaxira va kamroq tarqoqlik bilan asoslagan [6].

Bu natija 0,30% variant avtomatik ravishda yaroqsiz ekanini anglatmaydi. Shuningdek, oqib ajralish bo‘yicha tanlangan 0,35% doza barcha mexanik xususiyatlarning optimumi deb ko‘rsatilmagan. Manbadagi chegara mazkur sharh orqali O‘zbekiston uchun me’yor sifatida tavsiya qilinmaydi; muvofiqlik tegishli loyiha va amaldagi sinov talablari bilan belgilanadi [6].

Qorishma turi va sinovning ta’siri

Wu va hammualliflarning AC-13 va SMA-13 bo‘yicha natijalarida bazalt tolasi charchash hamda yorilish ko‘rsatkichlarini yaxshilagan, biroq ta’sir granulometriya va deformatsiya darajasiga bog‘liq bo‘lgan. Yarim doira shaklidagi namunani egish, bilvosita cho‘zilish va to‘rt nuqtali egilish sinovlari bir xil xususiyatni o‘lchamaydi [3]. Shuning uchun bitta sinovdagi ustunlikni “barcha yorilish turlariga chidamlilik” deb talqin qilish uchun asos yetarli emas.

Zhang va hammualliflar yangi, zavodda issiq qayta ishlangan va joyida issiq qayta ishlangan SMA-13 variantlarini tekshirgan. Bazalt va lignin tolalari qiyosi qayta ishlash turi va baholash ko‘rsatkichiga qarab farqlangan [4]. Mazkur natijalar qayta ishlangan asfalt materiali (RAP) ulushini ham taqqoslash shartlariga kiritish zarurligini ko‘rsatadi. Ularning yangi qorishmalar bilan bitta guruhda umumlashtirilishi maqsadga muvofiq emas.

Muhokama

Funksional tanlashning ilmiy mazmuni

Tanlangan dalillar “qaysi tola yaxshi?” savolini “qaysi tarkibda va qaysi vazifa uchun?” shaklida qo‘yish zarurligini ko‘rsatadi. Stabilizator tanlashdagi asosiy maqsad saqlash va tashishda mastika barqarorligini ta’minlashdir. Armaturalovchi vazifani baholashda esa zichlangan materialning yuklanish ostidagi javobi o‘rganiladi. Mazkur sharhning talqiniga

ko‘ra, bu ikki vazifa bir-birini to‘ldiradi, ammo bir sinov orqali ikkalasini ham tasdiqlash mumkin emas.

Tola uzunligi yoki massasini oshirishning o‘zi kafolatlangan yaxshilanish mezoni bo‘la olmaydi. Guo va hammualliflarning tajriba dizaynida tur, uzunlik va miqdor alohida o‘zgaruvchilar sifatida tekshirilgan [2]. Mahalliy tadqiqotda ham ushbu o‘zgaruvchilarni qayd etish zarur. Bundan tashqari, bir xil massaviy ulush turli zichlikdagi tolalar uchun bir xil hajmiy ulushni anglatmaydi. Demak, faqat “0,3% tola” yozuvi materiallar o‘rtasida geometrik tenglikni ta’minlamaydi; zichlik, diametr, uzunlik taqsimoti va mahsulot tarkibi ham kerak.

“Kompozit” yoki “gibrid” atamasi qo‘llanganda tarkibdagi tolalar turlari, ularning nisbati va tashuvchi komponent ko‘rsatilishi lozim. Granulalangan mahsulotning umumiy massasi bilan sof tola massasi farqlanishi mumkin. Mahsulot pasportisiz turli savdo nomlarini to‘g‘ridan-to‘g‘ri qiyoslash takrorlanuvchanlikni pasaytiradi. Ushbu talablar muayyan ishlab chiqaruvchi mahsuloti haqida xulosa emas, taqqoslash ma’lumotlarini to‘liq tavsiflashga doir metodik taklifdir.

Nazorat tarkibi va sababiy talqin

Mahalliy tajribada ikkita savolni ajratish taklif etiladi. Birinchi savol — bir xil bazaviy retseptga tola kiritilganda nima o‘zgaradi? Buni tekshirishda agregat manbasi, granulometriya, bog‘lovchi turi va miqdori, aralashtirish tartibi hamda zichlash rejimi imkon qadar tenglashtiriladi. Havo bo‘shliqlari ham o‘lchanadi: ularning farqi mexanik natija bilan birga talqin qilinadi. Bir xil zichlash energiyasi bir xil hajmiy tuzilishni kafolatlaydi deb qabul qilinmaydi.

Ikkinchi savol — har bir tola uchun qayta loyihalangan, talabga javob beruvchi qorishmalardan qaysi biri amaliy jihatdan qulay? Bunda optimal bog‘lovchi miqdorini o‘zgartirishga ruxsat beriladi, lekin xulosa butun qorishma yechimiga tegishli bo‘ladi. Bu taqqoslashni sof tola ta’siri deb atash mumkin emas. Agar faqat qayta loyihalangan tarkiblar tekshirilsa, sababiy ajratish cheklovi ochiq yozilishi kerak. Tolasiz nazorat texnologik talabni bajarmasa ham, uning laboratoriya qiyosidagi vazifasi bilan ishlab chiqarishga tavsiya etilishi alohida masalalardir.

Mahalliy materiallarda tekshirish tartibi

Sharh asosida ikki bosqichli tanlash taklif etiladi. Dastlab qo‘shimchaning texnologik yaroqliligi tekshiriladi; undan keyin yaroqli tarkiblar ekspluatatsion ko‘rsatkichlar bo‘yicha qiyoslanadi. 2-jadvaldagi tartib muallifning metodik taklifi bo‘lib, tajribada tasdiqlangan me’yoriy hujjat hisoblanmaydi.

2-jadval. Mahalliy materiallar uchun taklif etilgan tekshirish tartibi

Bosqich	Tekshiriladigan jihat	Qaror uchun asos
1. Texnologik yaroqlilik	Mahsulot tarkibi, dozalash bazasi va tolaning taqsimlanishi	Tarkibi aniqlangan va takrorlanuvchi aralashish ta’minlangan variant
1. Texnologik yaroqlilik	Loyihadagi harorat va saqlash vaqtida oqib ajralish	Tegishli talabni natijalar tarqoqligi bilan birga baholash

Bosqich	Tekshiriladigan jihat	Qaror uchun asos
2. Ekspluatatsion baho	Ustuvor yorilish mexanizmiga mos sinov	Nazoratga nisbatan farq, hajmiy xususiyatlar va noaniqlik
2. Ekspluatatsion baho	Namlik, qarish va yuqori haroratdagi deformatsiya	Bir xususiyatdagi yutuq boshqa zarur xususiyatni qabul qilib bo‘lmas darajada yomonlashtirmasligi
Amaliy tasdiqlash	Zavod sinovi va tajriba uchastkasi	Dozalash, zichlash va kuzatuv natijalarining barqarorligi

Tajriba boshlanishidan oldin asosiy ko‘rsatkich va qabul qilish mezoni belgilanadi. Namuna soni kutilayotgan tarqoqlik hamda aniqlash zarur bo‘lgan farqqa asoslanishi kerak. Bir qorishma partiyasidan kesilgan bir nechta namuna mustaqil ishlab chiqarish takrorlari bilan tenglashtirilmaydi. Imkon qadar mustaqil qorishma partiyalari tayyorlanib, sinov tartibi tasodifiylashtiriladi; natijalar o‘rtacha qiymat bilan birga tarqoqlik va, tegishli shartlar bajarilganda, ishonch oralig‘i orqali beriladi.

Dastlabki sinovlar uchun dozalar adabiyotdagi qiymatlar va mahsulot tavsifidan kelib chiqib belgilanadi, ammo ular mahalliy optimum deb e’lon qilinmaydi. Harorat, namlik, agregat xususiyatlari, bog‘lovchi turi va ishlab chiqarishdagi aralashtirish imkoniyati loyiha kesimida qayd etiladi. Laboratoriyada istiqbolli variant tanlangach, sinov uchastkasida dozalash barqarorligi, yotqizish sharoiti, zichlik va keyingi nuqsonlar kuzatilishi tavsiya etiladi. Xizmat muddatiga doir xulosa kuzatuv davomiyligi bilan chegaralanadi.

Iqtisodiy baholash va cheklovlar

Amaliy tanlov faqat bir kilogramm tola narxiga tayanmasligi kerak. Taklif etilayotgan baholashda bir tonna yaroqli qorishma uchun tola va qo‘shimcha bog‘lovchi sarfi, dozalash uskunasi, aralashtirish va sifat nazorati xarajatlari alohida qayd etiladi. Uzoq muddatli tejamkorlik esa mahalliy xizmat muddati va ta’mirlash ma’lumotlari mavjud bo‘lgandagina hisoblanadi. Hozirgi sharhda bunday ma’lumotlar bo‘lmagani uchun iqtisodiy ustunlik yoki xizmat muddatining aniq uzayishi da’vo qilinmaydi.

Tahlilning asosiy cheklovi — nisbatan tor manbalar to‘plami va tadqiqotlar orasidagi uslubiy farqlardir. Bir necha ish bir xil tadqiqot muhitiga yaqin bo‘lgani sababli xulosalarni turli xomashyo bazalari bo‘yicha mustaqil tasdiqlash kerak. Namlik, uzoq muddatli qarish, ishlab chiqarishdagi tola taqsimoti va dala kuzatuvlari barcha manbalarda bir xil darajada yoritilmagan. Natijalar O‘zbekistonning muayyan hududi yoki yo‘l uchastkasi uchun tekshirilgan retsept o‘rnini bosa olmaydi.

Xulosa

Chaqiqtosh-mastikali asfaltbetonda tolali qo‘shimchani tanlash uning nomi bo‘yicha emas, bajaradigan vazifasi va taqqoslash sharoiti bo‘yicha amalga oshirilishi kerak. Tahlil qilingan tajribada bog‘lovchining eng kam oqib ajralishi va charchash umrining eng katta o‘sishi turli tolali tarkiblarda kuzatilgan. Shu sababli stabilizatsiya sinovi mexanik samaradorlikning yetarli isboti hisoblanmaydi.

Bog‘lovchi miqdori, havo bo‘shliqlari, granulometriya, tola geometriyasi va sinov rejimi taqqoslashda ochiq ko‘rsatilishi zarur. Qayta loyihalangan qorishmalar orasidagi farq butun

tarkibning natijasi sifatida talqin qilinishi kerak. Mahalliy qo‘llash uchun dastlab texnologik yaroqlilikni, keyin yorilishga qarshilik va boshqa zarur ekspluatatsion xususiyatlarni tekshirish taklif etiladi.

Maqoladagi tanlash tartibi laboratoriya va sinov uchastkasi tadqiqotlarini rejalashtiruvchi mutaxassislar uchun metodik asos bo‘lishi mumkin. Uning amaliy samaradorligi mahalliy agregat va bog‘lovchilar bilan mustaqil tajribalarda tekshirilishi lozim. Mavjud dalillar asosida barcha sharoitlar uchun yagona optimal tola yoki universal doza belgilanmadi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Federal Highway Administration. Advances in the Design, Production, and Construction of Stone Matrix Asphalt (SMA). TechBrief FHWA-HIF-22-042. July 2022. https://www.fhwa.dot.gov/pavement/asphalt/pubs/hif22042.pdf
2. Guo F., Li R., Lu S., Bi Y., He H. Evaluation of the Effect of Fiber Type, Length, and Content on Asphalt Properties and Asphalt Mixture Performance. Materials. 2020;13(7):1556. https://doi.org/10.3390/ma13071556
3. Wu B., Meng W., Xia J., Xiao P. Influence of Basalt Fibers on the Crack Resistance of Asphalt Mixtures and Mechanism Analysis. Materials. 2022;15(3):744. https://doi.org/10.3390/ma15030744
4. Zhang Y., Zhang Y., Li B., Kang A., Wang Y. Evaluation of Cracking Resistance of SMA-13 Hot Recycling Asphalt Mixtures Reinforced by Basalt Fiber. Materials. 2024;17(8):1762. https://doi.org/10.3390/ma17081762
5. Yang K., Huang W., Sun M., Zheng Z., Lin H. Effect of Fiber Characteristics on Cracking Resistance Properties of Stone Mastic Asphalt (SMA) Mixture. Polymers. 2025;17(19):2623. https://doi.org/10.3390/polym17192623
6. Umutlu A., Bingöl B. V. Drainage-Controlled Cellulose-Fiber Stabilization and Skeleton–Mastic Response of Polymer-Modified Stone Mastic Asphalt. Polymers. 2026;18(14):1769. https://doi.org/10.3390/polym18141769