ABS TIZIMINING TORMOZLANISH JARAYONIDAGI ISHLASHINI EKSPERIMENTAL TADQIQ QILISH

Akramjonov Asrorxo‘ja
Transport vositalari muhandisligi,
Farg‘ona davlat texnika universiteti,
Farg‘ona, O‘zbekiston
E-mail: akramjonovasrorxoja1@gmail.com
https://orcid.org/0009-0000-9438-310X
Yuldashov H.D.
Talaba – Farg‘ona davlat texnika universiteti
e-mail: yuldashev.x@icloud.com
+998947745335
https://doi.org/10.5281/zenodo.23494122

Annotatsiya. Maqolada avtomobilning tormozlanish jarayonida g‘ildiraklar bloklanishiga qarshi tizim – ABS ning ishlashi va tormoz yo‘liga ta’siri tadqiq etilgan. NHTSA tomonidan chop etilgan poligon sinovlari quruq beton, nam asfalt va bo‘sh shag‘al sharoitlari bo‘yicha ikkilamchi miqdoriy tahlil qilingan. To‘qqiz avtomobilning quruq va nam qoplamalardagi, sakkiz avtomobilning shag‘aldagi natijalari ikki yuklanish holatida o‘rganilgan. Hisoblashlar 52 ta avtomobil–qoplama–yuklanish juftligini qamrab oladi. ABS faol holatida tormoz yo‘lining o‘rtacha nisbiy qisqarishi quruq betonda yengil va to‘liq yuklanish uchun 9,87% va 12,76%, nam asfaltda 11,38% va 17,19% bo‘lgan. Bo‘sh shag‘alda esa masofa mos ravishda 30,05% va 23,42% uzaygan. Natijalar konstruktiv chizmalar, har bir qoplama uchun alohida jadval va grafik orqali izohlangan. Aniqlangan farqlar sinov tezligi, taqqoslashdagi tormozlash usuli hamda shina–qoplama o‘zaro ta’siri doirasida talqin qilingan.

Kalit so‘zlar: ABS, tormozlanish, tormoz yo‘li, g‘ildirak sirpanishi, tezlik datchigi, gidravlik modulyator, yo‘l qoplamasi, avtomobil yuklanishi, poligon sinovi.

KIRISH

Avtomobilning tormozlanish xususiyatlari tormoz mexanizmi, gidravlik yuritma va shina–yo‘l kontaktining birgalikdagi ishlashi bilan belgilanadi. Ishchi tormoz tizimi transport vositasining tezligini kamaytiradi va uni to‘xtatadi [1]. Bunda tormoz momenti yo‘l bilan ilashish imkoniyatidan ortib ketganda g‘ildirak aylanishi keskin sekinlashib, bloklanish yuz berishi mumkin. Natijada avtomobilning yo‘nalishini boshqarish imkoniyati cheklanadi.

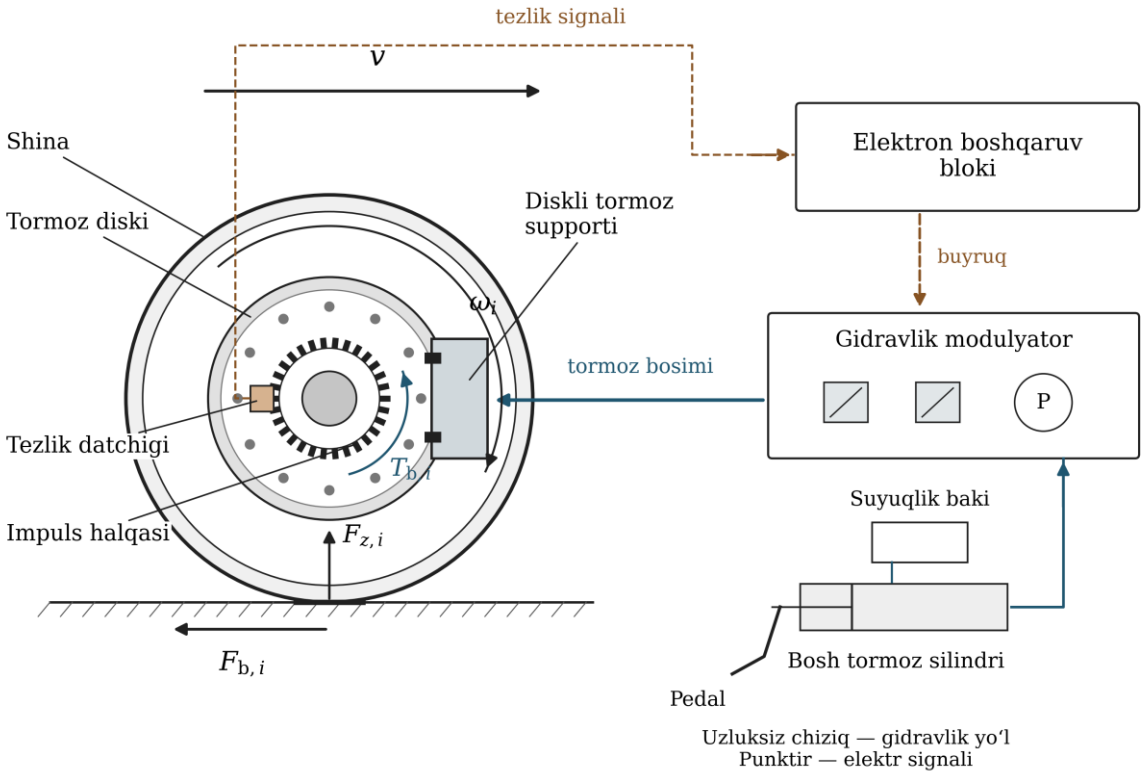
ABS g‘ildiraklarning aylanish holatini tezlik datchiklari orqali kuzatadi va bloklanishga moyillik paydo bo‘lganda tormoz bosimini rostlaydi [2]. Uning ishini baholashda tormoz yo‘li bilan birga boshqaruvchanlik va yo‘nalish barqarorligi ham hisobga olinishi kerak. Shu sababli tizim samaradorligini qoplama turi, shina holati, avtomobil yuklanishi va haydovchining pedalga ta’siridan ajratib talqin qilish mumkin emas.

Mavjud eksperimental tadqiqotlarda ABS ning turli qoplamalardagi tormozlanish natijalari [3], haydovchi va sinov usulining ta’siri [4], past boshlang‘ich tezlikdagi boshqaruv xususiyatlari [5], shina bosimi o‘zgarishining tizim ishiga ta’siri [6] o‘rganilgan. Boshqaruv algoritmini tajribada tekshirishda o‘lchash va ijro etish kechikishlari ham muhim omil ekanligi ko‘rsatilgan [7]. Bu natijalar ABS ni barcha sharoitlarda bir xil foiz bilan tavsiflash ilmiy jihatdan yetarli emasligini ko‘rsatadi.

Mazkur maqolaning maqsadi –nashr etilgan poligon tajribalari asosida ABS ning tormoz yo‘liga ta’sirini quruq beton, nam asfalt va bo‘sh shag‘al sharoitlari bo‘yicha alohida aniqlashdir. Buning uchun bir xil avtomobilning ABS faol va taqqoslash rejimidagi masofalari juftlab solishtirildi, nisbiy farqlar hisoblandi va yuklanish holatlaridagi tarqalish baholandi. Tahlil har bir qoplamada avtomobillarning individual farqlarini va yuklanish guruhlaridagi natijalar tarqalishini ajratib ko‘rsatadi.

TADQIQOT NATIJALARI VA ULARNING TAHLILI

Tormozlanish jarayonini talqin qilish uchun avval ABS boshqaruv kanalining konstruktiv bog‘lanishi ko‘rib chiqiladi. 1-rasmda diskli g‘ildirak, tormoz supporti, tishli impuls halqasi, tezlik datchigi, elektron blok va gidravlik modulyator ko‘rsatilgan. Impuls halqasi g‘ildirak bilan birga aylanadi; datchik signali elektron blokda qayta ishlanib, klapanlarga boshqaruv buyrug‘i uzatiladi [2, 8].



1-rasm. Diskli g‘ildirak va ABS ning bir boshqaruv kanali. Soddalashtirilgan prinsipial chizma; masshtabsiz [2, 8].

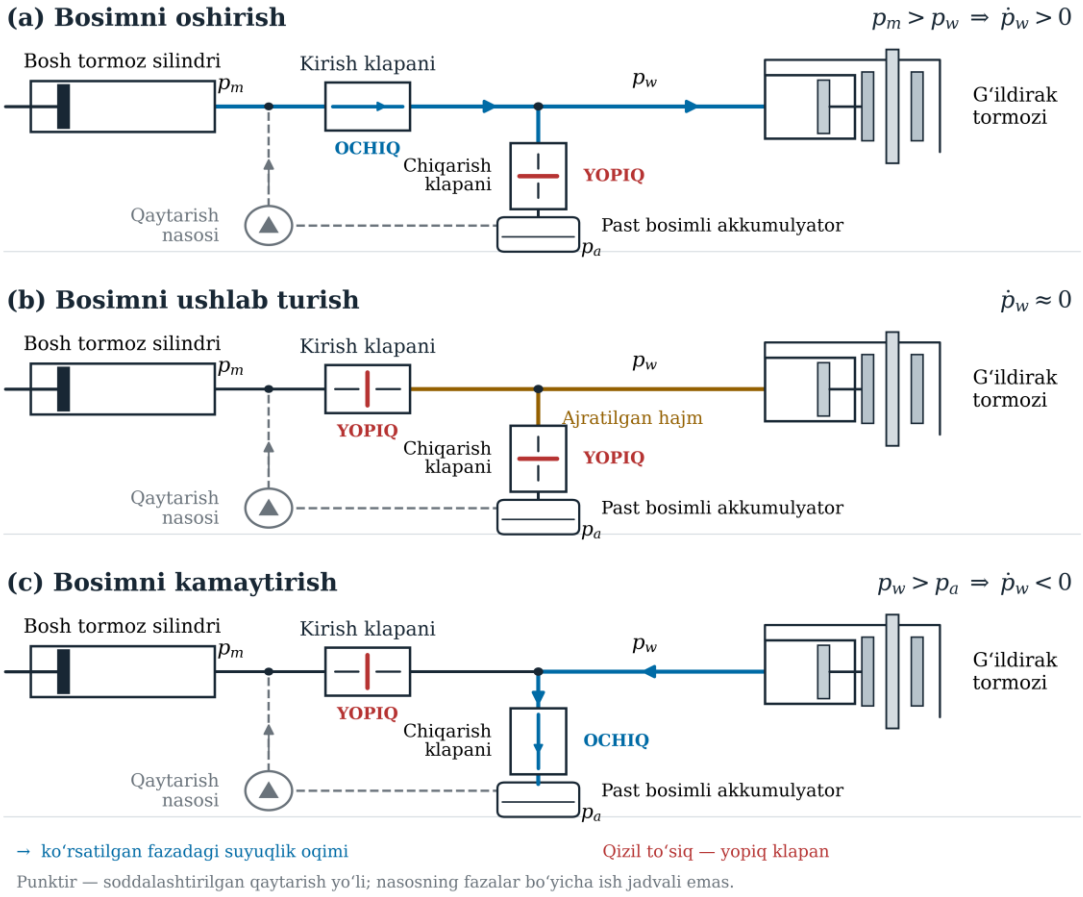
Chizmada avtomobil tezligi v o‘ngga, g‘ildirakning aylanish yo‘nalishi soat mili bo‘yicha qabul qilingan. Tormoz momenti aylanishga qarshi, yo‘lning g‘ildirakka ta’sir qiladigan tormoz kuchi esa

avtomobil harakatiga qarshi yo‘naladi. ABS ning vazifasi g‘ildirak aylanishini va shina–yo‘l kontakti orqali uzatiladigan kuchni bosimni rostlash bilan muvofiqlashtirishdir. Tormozlanishdagi bo‘ylama sirpanish quyidagicha ifodalanadi:

$$\lambda_i = \frac{v - R_{e,i}\omega_i}{v}, \qquad v > v_{\min} \qquad (1)$$

Bu yerda v –avtomobilning yerga nisbatan tezligi, m/s; $R_{e,i}$ –i-g‘ildirakning samarali dumalash radiusi, m; ω_i –burchak tezligi, rad/s. Avtomobil harakatlanayotganda $\lambda = 1$ g‘ildirakning to‘liq bloklanishiga, $\lambda = 0$ esa erkin dumalashga mos keladi. Juda kichik tezlikda nisbatning noaniqligi ortadi; shu sababli v_{min} o‘lchash aniqligiga bog‘liq chegara sifatida olinadi. Ushbu ishda vaqt bo‘yicha o‘lchangan sirpanish qatorlari mavjud emas; ifoda ABS mexanizmini tushuntirish uchun berilgan.

Bosimni rostlashning uch asosiy holati 2-rasmda keltirilgan. Bosim oshirilganda kirish klapani ochiq, chiqarish klapani yopiq bo‘ladi. Bosimni ushlab turishda ikkala klapan yopiladi; kamaytirishda kirish klapani yopilib, chiqarish klapani ochiladi [8]. Ushlab turish holatidagi o‘zgarmas bosim sizib chiqish kichik deb qaralgan ideal yaqinlashuvdir. Haqiqiy algoritm qo‘shimcha fazalar va moslashuv mezonlarini o‘z ichiga olishi mumkin [7].



2-rasm. ABS kanalida bosimni oshirish (a), ushlab turish (b) va kamaytirish (c). Ikki klapanli variantning prinsipial sxemasi; masshtabsiz [8].

2-rasmda p_m –bosh tormoz silindridagi, p_w –g‘ildirak tormozidagi, p_a –past bosimli akkumulyatordagi bosim. Nasosning qaytarish yo‘li tizimning gidravlik bog‘lanishini ko‘rsatadi; u

barcha ABS turlari uchun bir xil nasos ishlash jadvalini anglatmaydi. Bosim kamayishi tormoz momentini pasaytirib, g‘ildirak aylanishining tiklanishiga sharoit yaratadi.

Miqdoriy tahlil uchun Forkenbrock, Flick va Garrottning NHTSA DOT HS 808 875 hisobotidagi A1–A2 jadvallar ishlatildi [3, PDF 57–58-betlar]. Hisobot 1993–1997-yillardagi avtomobillarni qamrab oladi. A–I belgilari saqlanib, ularga taxminiy model nomlari biriktirilmadi. Quruq beton uchun boshlang‘ich tezlik 97 km/soat, nam asfalt uchun 80 km/soat, bo‘sh shag‘al uchun 56 km/soat bo‘lgan. Turli qoplamalardagi mutlaq masofalar shu sababli bevosita samaradorlik reytingi sifatida solishtirilmaydi.

Yengil yuklanish avtomobilning to‘la yonilg‘i baki bilan jihozlangan massasi, haydovchi va o‘lchash uskunalarini; GVWR esa ishlab chiqaruvchi ruxsat etgan maksimal to‘liq massani anglatadi. Quruq beton va nam asfaltda ABS faol holati malakali sinovchining ABS o‘chirilgan holatdagi eng yaxshi modulyatsiyalangan tormozlashi bilan solishtirilgan; bu rejim BE deb belgilandi. Shag‘alda taqqoslash ABS o‘chirilgan holda to‘liq pedal bilan keskin tormozlashga nisbatan bajarilgan va P deb belgilandi [3].

Har bir avtomobil uchun tormoz yo‘lining nisbiy farqi quyidagicha hisoblandi:

$$B_i = \frac{s_{t,i} - s_{ABS,i}}{s_{t,i}} \cdot 100\% \qquad (2)$$

Bu yerda $s_{ABS,i}$ –ABS faol holatidagi, $s_{t,i}$ –tegishli BE yoki P rejimidagi tormoz yo‘li, m. B musbat bo‘lsa masofa qisqaradi, manfiy bo‘lsa uzayadi. Har bir guruhda alohida avtomobillar uchun olingan B qiymatlarining teng vaznli o‘rtachasi va avtomobillararo standart og‘ishi aniqlandi:

$$\overline{B} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} B_i; \quad SD_v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(B_i - \overline{B})^2}{n-1}} \qquad (3)$$

n –guruhdagi avtomobillar soni; SD_v –B qiymatlarining avtomobillararo tarqalishi, foiz punkti. Bu ko‘rsatkich asbob xatosi yoki bir avtomobilning takroriy to‘xtashlaridagi tarqalish emas. Tahlildagi 52 juftlik 52 mustaqil avtomobilni anglatmaydi. Birlamchi hisobot qiymatlari takroriy sinovlarning o‘rtachasi deb qabul qilinmadi; xom takroriy o‘lchovlar bo‘lmagani uchun yangi p qiymatlari va ishonch oraliqlari hisoblanmadi. Jadvaldagi B o‘rtachasi masofalar o‘rtachalarining foizli nisbatidan farq qilishi mumkin.

I –Quruq beton qoplamada

Quruq betondagi tormozlanish A–I avtomobillari uchun 97 km/soat boshlang‘ich tezlikda, yengil va to‘liq yuklanish holatlarida ko‘rib chiqildi. ABS natijalari ayni avtomobilning BE rejimidagi masofasi bilan solishtirildi. 1-jadvalda birlamchi masofalar va (2) bo‘yicha hisoblangan nisbiy farqlar keltirilgan. O‘rtacha satridagi masofalar ikki kasrgacha, individual masofalar esa manbadagi bir kasr aniqligida berildi [3].

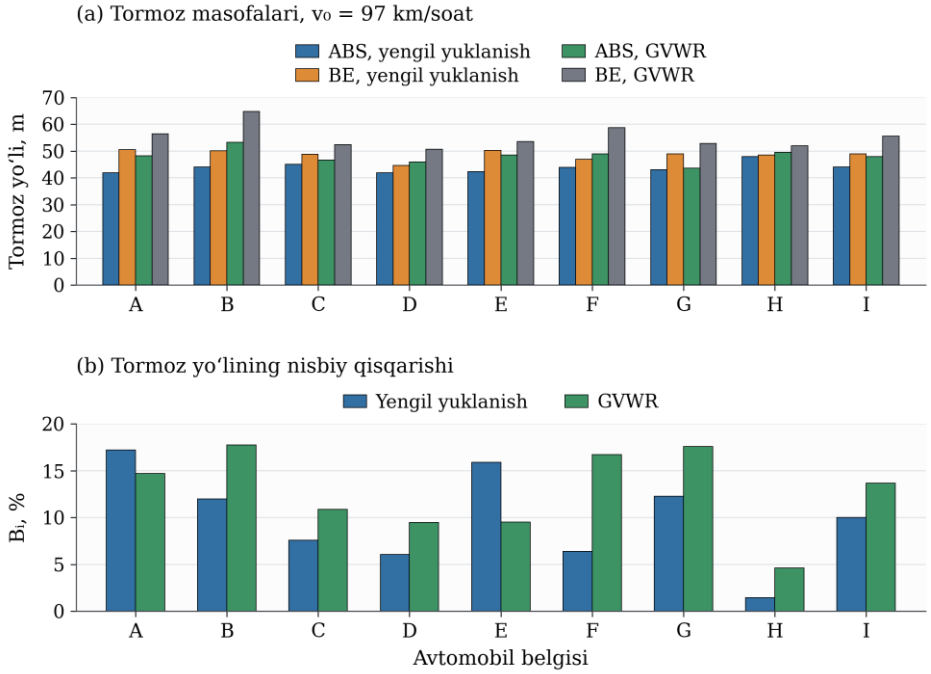
1-jadval

Quruq betondagi tormoz yo‘li va uning nisbiy o‘zgarishi

Avto	Yengil yuklanish			To‘liq yuklanish (GVWR)		
	ABS, m	BE, m	B, %	ABS, m	BE, m	B, %
A	41,9	50,6	17,19	48,2	56,5	14,69

Avto	Yengil yuklanish			To‘liq yuklanish (GVWR)		
	ABS, m	BE, m	B, %	ABS, m	BE, m	B, %
B	44,1	50,1	11,98	53,3	64,8	17,75
C	45,1	48,8	7,58	46,7	52,4	10,88
D	41,9	44,6	6,05	45,9	50,7	9,47
E	42,3	50,3	15,90	48,5	53,6	9,51
F	43,9	46,9	6,40	48,9	58,7	16,70
G	43,0	49,0	12,24	43,6	52,9	17,58
H	47,9	48,6	1,44	49,6	52,0	4,62
I	44,1	49,0	10,00	48,0	55,6	13,67
O‘rtacha	**43,80**	**48,66**	**9,87**	**48,08**	**55,24**	**12,76**

Masalan, A avtomobilining yengil yuklanishida ABS bilan 41,9 m, BE holatida 50,6 m olingan. Nisbiy qisqarish (50,6 − 41,9)/50,6 × 100 = 17,19% ni tashkil etadi. Shu tartibda to‘qqiz avtomobilning foizlari hisoblanib, ularning o‘rtachasi 9,87% deb topildi. Yengil yuklanishda individual qisqarish 1,44–17,19% oralig‘ida, to‘liq yuklanishda 4,62–17,75% oralig‘ida bo‘lgan.



3-rasm. Quruq betondagi natijalar: a –tormoz yo‘llari; b –nisbiy qisqarish B. Boshlang‘ich tezlik 97 km/soat. Ma’lumotlar [3], hisoblash (2) bo‘yicha.

3-rasmdan ko‘rinadiki, tanlangan to‘plamning barcha quruq beton juftliklarida ABS bilan masofa BE rejimiga nisbatan qisqargan. To‘liq yuklanishda o‘rtacha qisqarish 12,76% bo‘lib, yengil yuklanishga nisbatan 2,90 foiz punktiga yuqori. SD_v yengil yuklanishda 5,04, to‘liq yuklanishda 4,46 foiz punktini tashkil etgan. Bunda yuklanishning o‘zi sababiy omil deb ajratilmaydi: g‘ildiraklardagi yuk taqsimoti, shina xususiyatlari va tizim sozlamalari ham umumiy natijaga kiradi.

II –Nam asfalt qoplamada

Nam asfaltdagi sinovlarda A–I avtomobillari 80 km/soat boshlang‘ich tezlikda baholangan. Quruq betondagi kabi taqqoslash BE rejimiga nisbatan bajarilgan. 2-jadvalda har bir avtomobilning ikki

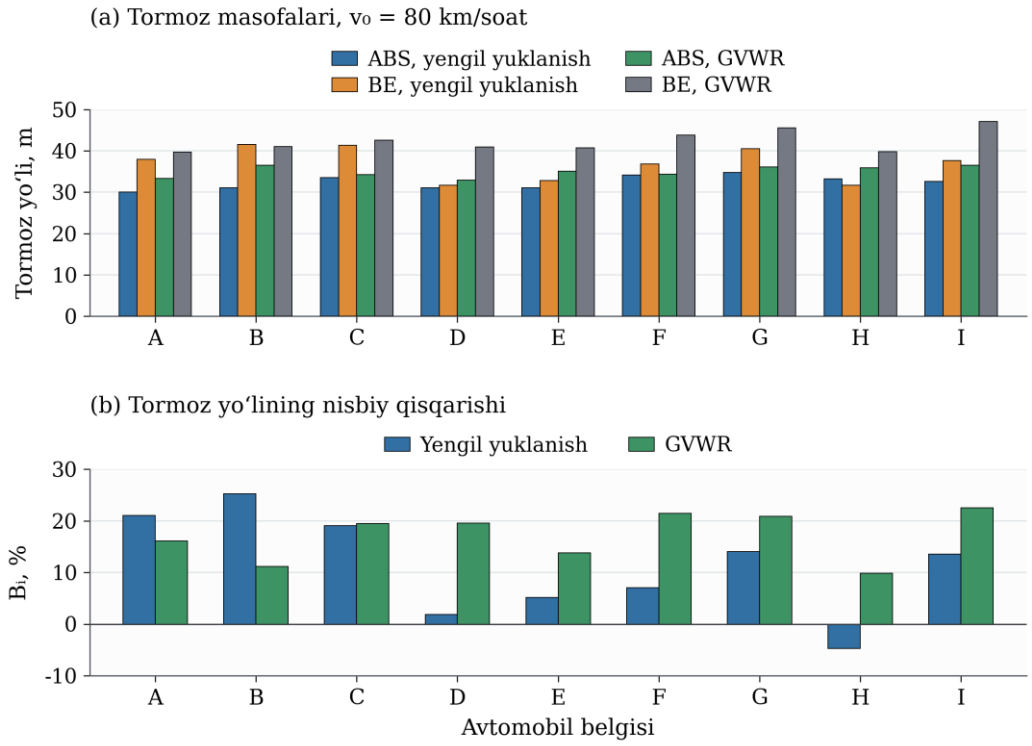
yuklanish holatidagi masofalari va hisoblangan B qiymatlari berilgan. Nam qoplamaning natijasi quruq beton bilan mutlaq metrlar bo‘yicha solishtirilmaydi, chunki boshlang‘ich tezliklar turlicha [3].

2-jadval

Nam asfaltdagi tormoz yo‘li va uning nisbiy o‘zgarishi

Avto	Yengil yuklanish			To‘liq yuklanish (GVWR)		
	ABS, m	BE, m	B, %	ABS, m	BE, m	B, %
A	30,0	38,0	21,05	33,3	39,7	16,12
B	31,1	41,6	25,24	36,5	41,1	11,19
C	33,5	41,4	19,08	34,3	42,6	19,48
D	31,1	31,7	1,89	32,9	40,9	19,56
E	31,1	32,8	5,18	35,1	40,7	13,76
F	34,2	36,8	7,07	34,4	43,8	21,46
G	34,8	40,5	14,07	36,1	45,6	20,83
H	33,2	31,7	-4,73	35,9	39,8	9,80
I	32,6	37,7	13,53	36,5	47,1	22,51
O‘rtacha	**32,40**	**36,91**	**11,38**	**35,00**	**42,37**	**17,19**

Yengil yuklanishda ABS bilan masofalar o‘rtachasi 32,40 m, BE rejimida 36,91 m bo‘lgan. Alohida foizlarning o‘rtachasi 11,38%, avtomobillararo standart og‘ish esa 9,77 foiz punktini tashkil etgan. Individual natijalar −4,73% dan +25,24% gacha tarqalgan. To‘liq yuklanishda o‘rtacha qisqarish 17,19% ga, SD_v esa 4,67 foiz punktiga teng bo‘lgan.



4-rasm. Nam asfaltdagi natijalar: a –tormoz yo‘llari; b –nisbiy farq B. Boshlang‘ich tezlik 80 km/soat. Ma’lumotlar [3], hisoblash (2) bo‘yicha.

4-rasmda H avtomobilining yengil yuklangan holati alohida e’tibor talab qiladi: ABS bilan 33,2 m, BE rejimida 31,7 m qayd etilgan. Demak, yaxlitlangan qiymatlar bo‘yicha ABS masofasi 4,73% uzaygan. Ushbu istisnoni umumiy ijobiy o‘rtacha bilan berkitish mumkin emas. Sinov to‘plamida ko‘pchilik avtomobilda olingan qisqarish har bir avtomobil uchun bir xil natijani kafolatlamaydi. Nam qoplamada tormozlanishni tahlil qilishda ilashishning o‘zgarishi va boshqaruvning vaqt bo‘yicha javobi ham tekshirilishi kerak [5–7].

III –Bo‘sh shag‘al qoplamada

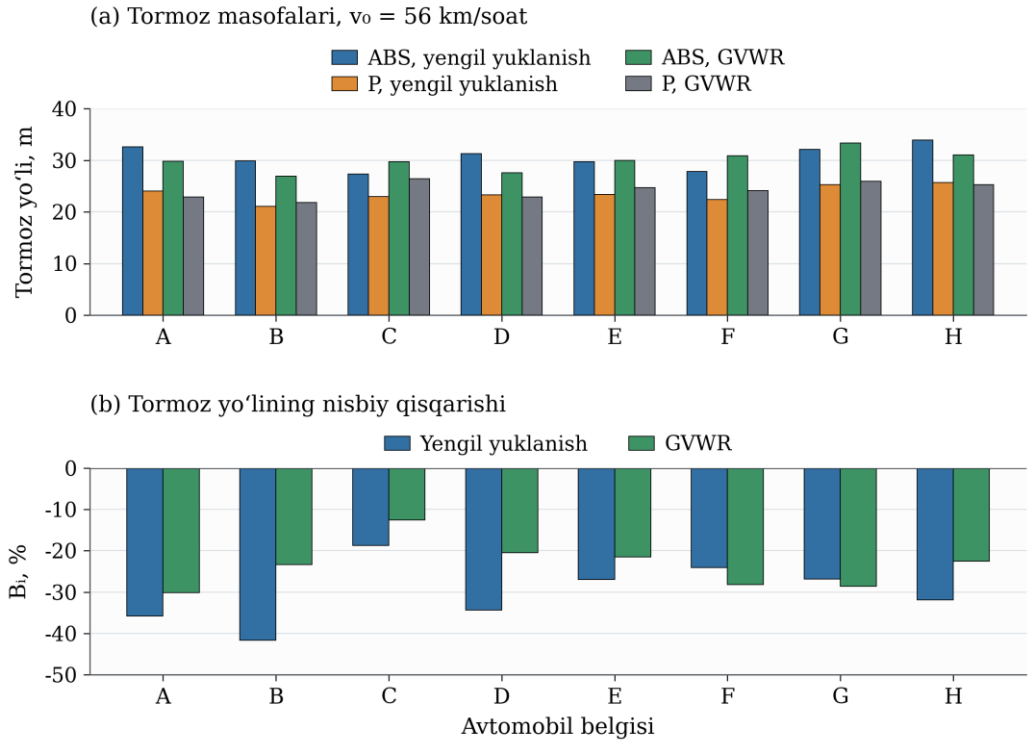
Bo‘sh shag‘alda boshlang‘ich tezlik 56 km/soat bo‘lgan. Tahlilga A–H avtomobillari kiritildi. I avtomobili uchun faqat to‘liq yuklangan holatdagi namlangan shag‘al natijalari mavjud bo‘lib, yengil yuklangan juft qiymat yo‘q; shu sababli u mazkur guruhga qo‘shilmadi [3]. Bu qoplamada ABS faol holati BE bilan emas, ABS o‘chirilgan holda to‘liq pedal bilan keskin tormozlash –P rejimi bilan solishtirilgan.

3-jadval

Bo‘sh shag‘aldagi tormoz yo‘li va uning nisbiy o‘zgarishi

Avto	Yengil yuklanish			To‘liq yuklanish (GVWR)		
	ABS, m	P, m	B, %	ABS, m	P, m	B, %
A	32,6	24,0	-35,83	29,8	22,9	-30,13
B	29,9	21,1	-41,71	26,9	21,8	-23,39
C	27,3	23,0	-18,70	29,7	26,4	-12,50
D	31,3	23,3	-34,33	27,6	22,9	-20,52
E	29,7	23,4	-26,92	30,0	24,7	-21,46
F	27,8	22,4	-24,11	30,9	24,1	-28,22
G	32,1	25,3	-26,88	33,3	25,9	-28,57
H	33,9	25,7	-31,91	31,0	25,3	-22,53
O‘rtacha	**30,58**	**23,53**	**-30,05**	**29,90**	**24,25**	**-23,42**

3-jadvaldagi barcha B qiymatlari manfiy bo‘lib, ABS bilan masofa uzayganini bildiradi. Yengil yuklanishda o‘rtacha uzayish 30,05%, to‘liq yuklanishda 23,42% bo‘lgan. Masalan, A avtomobilining yengil yuklanishida 32,6 m va 24,0 m masofalar $(24,0 - 32,6)/24,0 \times 100 = -35,83\%$ ni beradi. Individual B qiymatlari yengil yuklanishda −41,71% dan −18,70% gacha, to‘liq yuklanishda −30,13% dan −12,50% gacha o‘zgargan.



5-rasm. Bo‘sh shag‘aldagi natijalar: a –tormoz yo‘llari; b –nisbiy farq B. Boshlang‘ich tezlik 56 km/soat. Manfiy B masofa uzayishini bildiradi. Ma’lumotlar [3].

5-rasmdagi farq shina–qoplama o‘zaro ta’siri nuqtai nazaridan talqin qilinadi. Bo‘sh qoplamada bloklangan g‘ildirak oldida material to‘planishi qo‘shimcha qarshilik hosil qilishi mumkin [3]. ABS g‘ildirak aylanishini tiklaganda shu ta’sir kamayadi. Shuning uchun masofaning uzayishi ABS nosozligini o‘z-o‘zidan anglatmaydi; boshqaruvchanlik va yo‘nalish barqarorligi alohida baholanishi lozim. SD_v yengil yuklanishda 7,32, to‘liq yuklanishda 5,69 foiz punktini tashkil etgan.

Shag‘al natijalarini asfalt natijalari bilan umumlashtirishda taqqoslashdagi pedal rejimi, boshlang‘ich tezlik hamda shag‘al yo‘lagining bo‘ylama nishabi farqlanishi hisobga olinishi kerak [3]. Shu sababli hisoblangan foizlar qoplama o‘zgarishining ajratib olingan sof sababiy ta’siri sifatida talqin qilinmaydi.

Olingan natijalar ABS ta’siri qoplama va yuklanish sharoitiga bog‘liqligini ko‘rsatadi. Tanlangan tarixiy to‘plamda quruq beton va nam asfaltda o‘rtacha tormoz yo‘li qisqargan, bo‘sh shag‘alda esa uzaygan. Ushbu qiymatlar zamonaviy avtomobillar uchun universal me’yor emas. Muayyan avtomobilni keyingi tajribada baholash uchun yerga nisbatan mustaqil tezlik, g‘ildirak tezliklari va tormoz bosimini bir vaqt bazasida o‘lchash zarur. Umumiy tormoz masofasining o‘zi sirpanish vaqt qatori yoki bosim modulyatsiyasi chastotasini tiklashga imkon bermaydi.

ADABIYOTLAR

1. Tormozlash tizimi. IV bob [elektron o‘quv materiali]. TIIAME MTU elektron fondi. 29 b. URL: https://staff.tiiame.uz/storage/users/309/books/Qc0nrx7JdbN6VGJv20c3P3kYleBQqrOyxlTXUSZi.pdf (murojaat: 16.10.2026).
2. Bosch Mobility. Antilock braking system [texnik ma’lumot]. URL: https://www.bosch-mobility.com/en/solutions/braking-systems/antilock-braking-system/ (murojaat: 16.10.2026).
3. Forkenbrock G.J., Flick M., Garrott W.R. NHTSA Light Vehicle Antilock Brake System Research Program Task 4: A Test Track Study of Light Vehicle ABS Performance Over a Broad Range of Surfaces and Maneuvers. Final Report. DOT HS 808 875. NHTSA, 1999. A1–A2 jadvallar. URL: https://www.nhtsa.gov/sites/nhtsa.gov/files/nhtsaabst4finalrpt.pdf
4. Johnston S.A., Tijerina L., Garrott W.R., Guenther D.A., Heydinger G.J. Brake Testing Methodology Study –Driver Effects Testing. Draft Final Report. VRTC-87-0441. NHTSA, 1999. URL: https://www.nhtsa.gov/sites/nhtsa.gov/files/braketst.pdf
5. Köylü H., Tural E. Experimental study on braking and stability performance during low speed braking with ABS under critical road conditions // Engineering Science and Technology, an International Journal. 2021. Vol. 24, No. 5. P. 1224–1238. DOI: 10.1016/j.jestch.2021.02.001.
6. Köylü H., Tural E. Experimental investigation on effect of variations in tire pressure on control performance of ABS under μ-jump road conditions based on tire operating parameters // Transactions of the Institute of Measurement and Control. 2023. Vol. 45, No. 8. P. 1525–1538. DOI: 10.1177/01423312221141158.
7. Gérard M., Pasillas-Lépine W., de Vries E., Verhaegen M. Improvements to a five-phase ABS algorithm for experimental validation // Vehicle System Dynamics. 2012. Vol. 50, No. 10. P. 1585–1611. DOI: 10.1080/00423114.2012.693188.
8. Bosch Classic. Antilock braking system ABS [o‘quv plakati]. URL: https://www.bosch-classic.com/de/media/pdfs/downloads/lehrtafeln/en/abs_lehrtafel_bosch_en.pdf (murojaat: 16.10.2026).