Taraqqiyot spektri
ILMIY JURNALI

Vol 2 № 11 2026

UO‘K: 625.138.22

THEORETICAL ANALYSIS OF CAPILLARY WATER MOVEMENT IN SALINE SOILS OF IRRIGATED LANDS

Abduboqi Djalilovich KAYUMOV

texnika fanlari doktori, professor, Toshkent davlat texnika universiteti Toshkent

ORCID: 000-0003-3953-4555

E-mail: 1abdubakigmg@mail.ru

Tel: (99) 805 73 94

Sherali Shodiqull o‘g‘li QODIROV

tayanch doktaranti, Toshkent davlat texnika universiteti Toshkent , O‘zbekiston

ORCID: 0009-0007-5945-8867

Tel: (90) 311 23 20

E-mail: sheraliqodirov1994@gmail.com

Abstract: This article presents a theoretical analysis of the moisture regime of road embankment soils under arid climate conditions, particularly in the irrigated lands of the Republic of Uzbekistan, based on capillary water movement. The soil pore system is modeled as a network of capillaries divided into four groups, an equilibrium equation of forces acting on water is derived, and analytical expressions are obtained for determining

the velocity and height of capillary rise in a vertical capillary of constant cross-section. Using the example of saline soils in the Zarbdor district of Jizzakh region, it is established that when groundwater lies at a depth of 1.0 m, the height of capillary rise reaches up to 1.8 m. The results are of practical value for substantiating embankment height relative to groundwater level.

Keywords: capillary water, saline soils, irrigated lands, road embankment, groundwater level, moisture distribution diagram, capillary rise height.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КАПИЛЛЯРНОГО ДВИЖЕНИЯ ВОДЫ В ЗАСОЛЕННЫХ ГРУНТАХ ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ

Аннотация: В статье выполнен теоретический анализ процесса увлажнения грунтов земляного полотна в условиях засушливого климата, в частности на орошаемых землях Республики Узбекистан, на основе капиллярного движения воды. Система пор грунта смоделирована в виде капилляров четырёх групп, составлено уравнение равновесия сил, действующих на воду, и получены аналитические выражения для определения скорости и высоты капиллярного поднятия воды по вертикальному капилляру постоянного сечения. На примере засолённых грунтов Зарбдарского района Джизакской области установлено, что при залегании грунтовых вод на глубине 1,0 м высота капиллярного поднятия достигает 1,8 м. Результаты имеют практическое значение при обосновании высоты земляного полотна относительно уровня грунтовых вод.

Ключевые слова: капиллярная вода, засолённые грунты, орошаемые земли, земляное полотно, уровень грунтовых вод, эпюра влажности, высота капиллярного поднятия.

Taraqqiyot spektri
ILMIY JURNALI
Vol 2 № 11 2026

SUG‘ORILADIGAN HUDUDLARNING SHO‘RLANGAN GRUNTLARDAGI KAPILLYAR SUVLARINING HARAKATINING NAZARIY TAHLILI

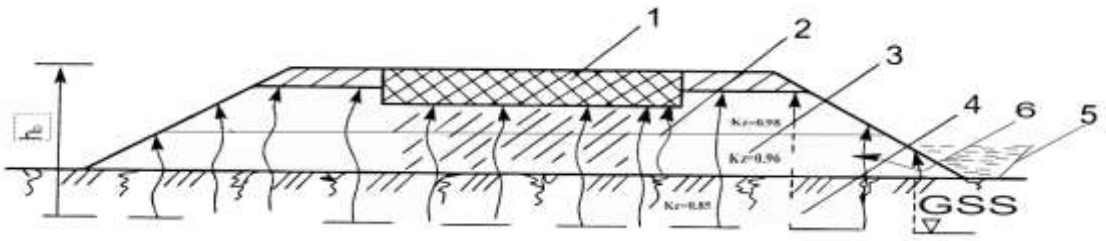
Annotatsiya: Maqolada qurg‘oqchil iqlim sharoitida, xususan O‘zbekiston Respublikasining sug‘oriladigan erlarida yo‘l ko‘tarmasi gruntlarining namlanish jarayoni kapillyar suv harakati asosida nazariy tahlil qilingan. Grunt g‘ovaklari tizimi to‘rt guruh kapillyar sifatida modellashtirilib, suvga ta’sir etuvchi kuchlarning muvozanat tenglamasi tuzilgan hamda vertikal kapillyar bo‘yicha suv ko‘tarilish tezligi va balandligini aniqlovchi analitik ifodalar keltirib chiqarilgan. Taklif etilgan matematik model asosida Jizzax viloyati Zarbdor tumani sho‘rlangan gruntlari misolida, grunt suvlari sathi 1,0 m chuqurlikda joylashganda kapillyar ko‘tarilish balandligi 1,8 metrgacha yetishi aniqlangan. Natijalar yo‘l ko‘tarmasi balandligini grunt suvlari sathiga nisbatan asoslashda amaliy ahamiyatga ega.

Kalit so‘zlar: kapillyar suv, sho‘rlangan gruntlar, sug‘oriladigan hududlar, yo‘l ko‘tarmasi, grunt suvlari sathi, namlik epyurasi, kapillyar ko‘tarilish balandligi.

Kirish. Adabiyotlar [1, 2, 3, 4] tahlili natijalariga ko‘ra, yo‘l poyining suv-issiqlik rejimini o‘rganish shuni ko‘rsatadiki, qurg‘oqchil hududlarda, ayniqsa O‘zbekiston Respublikasining sug‘oriladigan yerlarida uning mustahkamligi birinchidan namligiga bog‘liq bo‘ladi. Bu yerlarda yo‘l ko‘tarmalarining namlanishini asosiy manbai sizot suvlari hisoblanadi, ya’ni yer osti grunt suvlaridan grunt kapillyarlari orqali ko‘tarilib ularni namlaydi. Mavjud tadqiqotlar kapillyardardan grunt suvining ko‘tarilish balandligi avvalam bor grunt suvlarining sath chuqurigiga va rejimiga, grunt tarkibiga, sho‘rlanish miqdoriga, uning zichligi va boshlang‘ich namligiga bog‘liq bo‘lishini ko‘rsatadi.

Yo‘l ko‘tarmasining kerakli darajada mustahkamligini saqlash, shuningdek namlanishini oldini olish uchun bir qator tadbirlar qo‘llaniladi, shulardan biri uning grunt suvlari sathidan optimal balandligini h_b ta’minlashdir. Yo‘l ko‘tarmasining namligini qisman o‘zgarishi uning mustahkamlik va deformatsiya ko‘rsatkichlarini sezilarli darajada kamaytirishi mumkin.

Avtomobil yo‘llarining yo‘l ko‘tarmasidagi gruntning konstruksiyasi uni mustahkamligini taminlash va iqtisodiy samaradorligi nuqtaiy nazardan amaldagi me’yoriy hujjatlarga, masalan SHNK 2.05.02-23ga [5] asosan har xil zichlikda belgilanadi. Ya’ni namik har xil zichlikdagi gruntlarning kapillyarlari orqali yuqoriga ko‘tariladi va uni namlaydi (1-rasm).



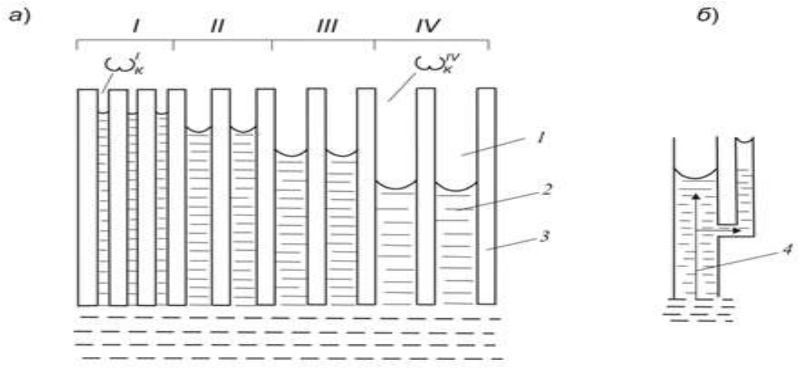
1-rasm. Sug‘oriladigan hududlarda yo‘l ktarmasini namlanish sxemasi:

1 – yo‘l to‘shmasi; 2 – yo‘l yoqasi; 3 – har xil zichlikda zichlangan qatlam; 4 – kapillyar suvlar; 5 – yon ariq; 6 – yon ariqdan sizib kirayotgan suvlar; 7 – GSS – grunt suv sathi; h_b - yo‘l ktarmasi balandligi

Mavzuga oid adabiyotlarning tahlili . Ruvinskiy V.I. Ushbu ish yo‘l ko‘tarmasi gruntlaridagi kapillyar namlanishni hisoblashning klassik metodikasini yaratgan bo‘lib, grunt g‘ovaklarini bir necha guruh kapillyarlarga ajratish g‘oyasi mazkur maqoladagi to‘rt guruhli modelning bevosita asosini tashkil etadi. Biroq metodika sho‘rlanmagan gruntlar uchun ishlab chiqilgan bo‘lib, tuz kristallarining meniskga ta’sirini hisobga olmaydi — aynan shu bo‘shliqni mazkur maqola to‘ldirishga harakat qiladi. Kayumov A.D O‘zbekiston sharoitiga xos lyoss gruntlarining fizik-mexanik xossalari (zichlik, boshlang‘ich va optimal namlik) bo‘yicha empirik ma’lumotlar beruvchi mahalliy manba. Mazkur maqolada namlik

epyurasini qurishda aynan shu ko‘rsatkichlardan foydalanilgan, biroq unda sho‘rlanish darajasining zichlanish va namlik ko‘rsatkichlariga ta’siri alohida tahlil qilinmagan. SHNK 2.05.02-23. Yo‘l ko‘tarmasi konstruksiyasini loyihalashning amaldagi me‘yoriy asosi. Konstruksiya asosan gruntning granulometrik tarkibi va zichligidan kelib chiqib belgilanadi, sho‘rlanish darajasi mustaqil omil sifatida hisobga olinmaydi. Maqolaning amaliy ahamiyati aynan shu me‘yoriy hujjatni to‘ldirish zaruratidan kelib chiqadi.

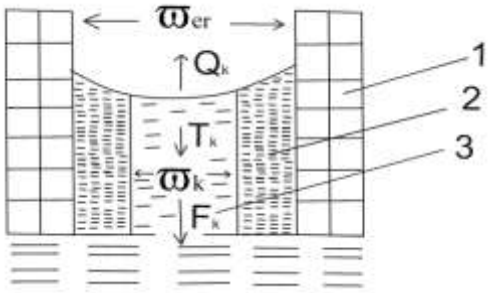
Tadqiqot metodologiyasi 1-rasmda keltirilgan sxemaga asosan yo‘l ko‘tarmasi gruntidagi namlikni aniqlash uchun qatlamli gruntda namlik epyurasini quramiz. Fizik-texnik nazariyaga [1] asosan namlik epyurasini qurish uchun gruntning boshlang‘ich maksimal gigroskopik W_{mg} namligidan kapillyar nam sig‘imigacha W_{kns} bo‘lgan oraliqdagi g‘ovaklar tarmog‘ini to‘rtta guruhdan iborat kapillyarlar tizimi ko‘rinishida tasvirlash mumkin (2-rasm, a). Har bir guruh bir xil ko‘ndalang kesimga ega kapillyarlarni birlashtiradi. Alohida kapillyarlar orasida quyidagi nisbat mavjud: $\omega_k^{I} \prec \omega_k^{II} \prec \omega_k^{III} \prec \omega_k^{IV}$ (bu erda ω_k - kapillyarning ko‘ndalang kesim yuzasi; I, II, III, IV - kapillyar gruhlari- ning tartib raqamlari). Shu bilan birga, barcha guruh kapillyarlari kesim yuzalarining yig‘indilari o‘zaro teng deb qabul qilinadi:



2-rasm. Gruntning: a) - kapillyar tizimi; b) – kapillyarlar orasidagi suvning harakat yo‘nalishi.

2 - havo; 2 - suv; 3 – grunt agregatlari yoki zarralari; 4 - suyuqlik oqimining yo‘nalishi

$\bar{\omega} = \sum \omega_k^I = \sum \omega_k^{II} = \sum \omega_k^{III} = \sum \omega_k^{IV}$. U holda, ko‘ndalang kesim yuzasi $\varpi_{gr} = 1m^2$ bo‘lgan grunt qatlami uchun suv bilan to‘lmagan va bir gruhga ϖ_{er} (m^2) mansub bo‘lgan g‘ovakliklarning ko‘ndalang kesim yuzalari yeg‘indisi 3-ramga asosan:



3-rasm. Kapillyar suvilarining harakat tenglamasini ishlab chiqish uchun hisobiy chizma: 1 - grunt agregatlari yoki zarralari, tuz kristallari; 2 – bog‘langan suv; 3 – kapillyar suvllari

$$\varpi_{er} = \frac{(W_{kns} - W_{bosh})}{4} \cdot \frac{\rho_d}{\rho_s} \varpi_{zp}, \quad (1)$$

Suvga to‘lgan kapillyarlarni ko‘ndalang kesim yuzasining yig‘indisi:

$$\varpi_k = \frac{(W_{kns} - W_{onm})}{4} \cdot \frac{\rho_d}{\rho_s} \varpi_{zp}, \quad (2)$$

bu erda W_{kns}, W_{bosh}, W_{opt} -gruntning kapillyar nam sig‘imi, boshlang‘ich va optimal namligi, birlik ulushida; ρ_d va ρ_s – mos ravishda grunt zarrasi va suvning zichligi, kg/m³.

Ko‘ndalang kesimi bir hil bo‘lgan vertikal kapillyar bo‘yicha kapillyar suvlarining harakatini ko‘rib chiqamiz (3-rasm). Bunday kapillyarlar uchun

grunt g‘ovaklar tizimidagi alohida kapillyarga suv grunt suvlari sathidan aynan shu kapillyar orqali kiradi (1-rasm). Bunday kapillyar uchun suvga ta’sir qiluvchi kuchlarning muvozanat tenglamasini tuzamiz va kuchlarni suv harakati yo‘nalishidagi o‘qqa praeksiyalaymiz.

$$Q_{\min ck} \pm F_k - T_k = 0, \quad (3)$$

bu erda Q_{mminck} - meniskning harakatlantiruvchi kuchi, N; F_k - kapillyar suvning og‘irligi, N, F_k oldidagi “plyus” belgisi suvning harakati pastga bo‘lganda qo‘yiladi, “minus” – yuqoriga bo‘lganda; T_k - gruntdagi suvning harakatiga qarshilik kuchi, N.

Meniskning harakatlantiruvchi kuchi:

$$Q_{\min sk} = q_k \omega_{er}, \quad (4)$$

bu erda q_k - meniskning solishtirma harakatlantiruvchi kuchi, Pa; ω_{er} - suv bilan band bo‘lmagan kapillyarning ko‘ndalang kesim yuzasi, m².

Sho‘rlangan gruntlarda suvning lominar harakati kuzatiladi, shuning uchun bu holatda suvning harakatiga qarshilik singib kirishning tezligi va koeffitsientiga bog‘liq [1, 3]:

$$T_k = \rho_s g \omega_k SV / K_\omega; \quad (5)$$

bu erda g – erkin tushish tezligi, m/s^2; S – suvga to‘yingan kapillyarning uzunligi. m; K_ω – singish koeffitsienti, m/s; V – kapillyardagi suvning tezligi, m/s.

3-rasmga asosan kapillyar suvining og‘irligi F_k teng bo‘ladi

$$F_k = \rho_s g \omega_k S. \quad (6)$$

Bu holatda (3) tenglamaga (4 - 6) ifodalarni kiritib suvga ta’sir qiluvchi kuchlar muvazanat tenglamasini hosil qilamiz:

$$q_k \omega_{er} \pm \rho_s g S \omega_k - \rho_s g \omega_k SV / K_\omega = 0 \quad (7)$$

yoki

$$q_k \frac{\omega_{er}}{\omega_k} \pm \rho_s g S - \rho_s g SV / K_\omega = 0 \quad (8)$$

Ammo $\frac{\omega_{er}}{\omega_k}$ ning o‘zgarmas ko‘ndalang kesimli kapillyarlar uchun qiymati $\frac{\overline{\omega}_{er}}{\overline{\omega}_k}$ o‘zgarmas ko‘ndalang kesimli kapillyarlar gruhi kabi bo‘ladi, shuning uchun uni (1) va (2) ifodalardan aniqlash mumkin.

$$\frac{\omega_{er}}{\omega_k} = \frac{(W_{kss} - W_{bosh})\rho_d \omega_{gr} 4\rho_s}{4\rho_s (W_{kss} - W_{opt})\rho_d \omega_{gr}} = \frac{W_{kss} - W_{bsh}}{W_{kss} - W_{opt}} \quad (9)$$

$\frac{\omega_{er}}{\omega_k}$ ni A bilan belgilaymiz.

(9) ifodani tahlili, agar $W_{bsh} < W_{opt}$ bo‘lsa, unda $A > 1$, agar $W_{bsh} = W_{opt}$ bo‘lsa, unda $A > 0$ bo‘ladi.

A ning qiymatini (8) ifodaga qo‘ysak quyidagi hosil bo‘ladi:

$$q_k A \pm \rho_s g S = \rho_s g \omega_k S V / K_\omega. \quad (10)$$

O‘zgarmas ko‘ndalang kesimli vertikal kapillyarda suv harakati tezligini aniqlash ifodasini o‘zgartirgandan so‘ng, biz quyidagini olamiz:

$$V = K_w[(Aq_k / \rho_s g) \pm S]/S. \quad (11)$$

Qatlamli gruntning g‘ovaklik tizimi orqali kapillyar suvining vertikal yuqoriga harakatini [1] ga o‘hshashlik asosida tahlil qilish natijasida V tezlik bilan t_n vaqt oralig‘ida kapillyar suvlarini ko‘tarilish balandligini (S)ni aniqlovchi quyidagi ifodalarni hosil qilamiz:

$$t_n = (r - S)K_{w(n)} - [(Aq_{k(n)}(\rho_s g) + U]x \\ x \ln[1 - (S - r)Aq_{k(n)}(\rho_s g) - r]/K_{w(n)}, \quad (12)$$

$$r = \sum_{i=0}^{i=n-1} \Delta S_i, \quad (13)$$

$$U = \sum_{i=0}^{i=n-1} \Delta S_i \left(\frac{4K_{w(n)}}{\xi_i^I K_{\omega(i)}^I + \ldots + \xi_i^{IV} K_{\omega(i)}^{IV}} \right) - \sum_{i=0}^{i=n-1} \Delta S_i. \quad (14)$$

bu erda t_n – n indeksi bilan belgilangan grunt qatlamidagi suvning surilish davriyligi, s; ΔS_i – grunt qatllamining qalinligi, m;

ξ_i^I , ξ_i^{IV} - mos ravishda gruntning I va IV gruh kapillyarlarining ularni suvga to‘lish darajasini tavsiflovchi koffitsientlar (agar gruntning hamma qatlami bo‘yicha suv sizib o‘tsa ξ=1, boshqa hollarda ξ_i =0).

Suvning grutga kirib borish masofasi s ning qiymati – grunt qatlamida suv harakatining ma’lum davomiyligi asosida (12) ifoda yordamida sinov usuli bilan aniqlanadi.

Gruntning I gruh kapillyarlari uchun hisob ishlarida quyidagilarni qamrab oladi: S = S^I, $K_{\omega(n)}$ $K^I_{\omega(n)}$, $q_{(n)}$= $q^I_{k(n)}$, shu kabi II, III, IV gruhlari uchun mos qiymatlar olinadi.

Takidlash joizki, gruntlarning kapillyar tizimini tavsiflovchi $q_k^I, q_k^{II}, q_k^{III}, q_k^{IV}, K_\omega^I, K_\omega^{II}, K_\omega^{III}, K_\omega^{IV}$larni aniqlash asosida [1] ga asosan gruntning har bir turi va zichligi uchun tajriba yo‘li bilan suv harakati sharoitlarini tavsiflovchi vaqt davomida suvni shimib olish jadalligi egri chizig‘i, hususiy-kapillyar suv ta’sirida shakillangan namlik epyurasi, shuningdek gruntdagi suvning filtratsiya koeffitsienti aniqlanadi.

Yo‘l poyi ko‘tarmasi kesimining qandaydir bo‘lagida hamma kapillyarlar suvga to‘lgan bo‘lsa gruntning namligi teng bo‘ladi: $W=W_{kss}$. Bu holatda $S^I, S^{II}, S^{III}, S^{IV}$ masofa ko‘rilayotgan kesimdan, ya’ni grunt suv sathidan ko‘rilayotgan kesimgacha, katta bo‘ladi. Agar $W=W_{bosh}$ bo‘lsa $S^I, S^{II}, S^{III}, S^{IV}$ bu masofadan kichik bo‘ladi. Bitta gruh kapillyarlarini ko‘rilayotgan kesimiga suv ko‘tarilsa $W=(W_{kss}+3W_{bosh})/4$, ikkita gruhda bo‘lsa $W=(W_{kss}+W_{bosh})/2$, uchta gruhda bo‘lsa - $W=(3W_{kss}+W_{bosh})/4$.

Gruntning kapillyar suv sig‘imi quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$W_{kss}=W_{tss}-W_{hav},$$

bu erda W_{tss}- tliq suv sig‘imi, bir birlikda; W_{hav} – havoning hajmi, bir birlikda.

Gruntning to‘liq suv sig‘imi quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$W_{tss} = \frac{(\rho_s - \rho_d)\rho_{suv}}{\rho_s \cdot \rho_d},$$

bu erda ρ_s, ρ_d, ρ_{suv} – grunt zarrasi, skeleti va suvning zichligi, kg/m^2.

Taklif qilingan (12) matematik bog‘liqlik yordamida namlik miqdorini bashorat qilish yoki yo‘l poyi yuzasini er osti suvlari sathiga nisbatan balandligini to‘g‘ri belgilash uchun gruntning kapillyar xossalarini aniqlash zarur.

Tahlil va natijalar Sug‘oriladigan hududlardagi, masalan Jizzax viloyati Zarbdor tumanidagi sho‘rlangan gruntlarda olib borilgan tadqiqotlar gruntlarning sho‘rlanish miqdoriga bog‘liq ravishda, agar yer osti suvlari yer yuzasidan 1,0 metr chuqurda joylashsa kapillyarlardan grunt suvlarini ko‘tarilish balandligi 1,8 metrgacha bo‘lishini ko‘rsatadi.

Olingan natijalar amaldagi SHNK 2.05.02-23 me‘yoriy hujjatida keltirilgan yo‘l ko‘tarmasi konstruksiyasini loyihalash tamoyillari bilan uyg‘unlashib, gruntning sho‘rlanish darajasi ortishi bilan kapillyar ko‘tarilish balandligining ham ortishini tasdiqlaydi. Bu, o‘z navbatida, mavjud me‘yoriy hujjatlarda faqat granulometrik tarkib va zichlikka asoslangan yondashuvni sho‘rlanish omili bilan to‘ldirish zarurligini ko‘rsatadi. Taklif etilgan (12)–(14) ifodalar orqali olingan 1,8 m ko‘rsatkich [1] da keltirilgan klassik Ruvinskiy metodikasi natijalari bilan qiyoslanganda, sho‘rlangan gruntlarda kapillyar ko‘tarilish balandligining sho‘rlanmagan gruntlarga nisbatan yuqoriroq bo‘lishini ko‘rsatib, tuz kristallarining meniskga ta’sirini hisobga olish zarurligini asoslaydi. Ushbu natijalar amaliyotda, xususan sug‘oriladigan hududlarda yo‘l ko‘tarmasi balandligini loyihalashda, mavjud me‘yoriy talablarni sho‘rlanish darajasiga moslashtirilgan holda takomillashtirish imkonini beradi. Tadqiqotning cheklovi sifatida natijalar bitta mintaqa (Zarbdor tumani) misolida olinganligini, boshqa iqlim va grunt sharoitlari uchun qo‘shimcha tekshirishlar talab etilishini ta‘kidlash lozim.

Xulosa va takliflar Olib borilgan nazariy tahlil natijasida sho‘rlangan gruntlardagi kapillyar suv harakatini tavsiflovchi matematik model ishlab chiqildi, unda gruntning kapillyar tizimi to‘rt guruh kapillyarlar ko‘rinishida ifodalanib, suvga ta’sir etuvchi kuchlarning muvozanat tenglamasi asosida kapillyar suv ko‘tarilish tezligi va balandligini aniqlovchi analitik ifodalar (12)–(14) keltirib chiqarildi. Taklif qilingan yondashuv gruntning boshlang‘ich, optimal va kapillyar nam sig‘imi ko‘rsatkichlarini hisobga olish imkonini beradi. Jizzax viloyati Zarbdor tumani misolida o‘tkazilgan hisoblar grunt suvlari sathi 1,0 metr chuqurlikda bo‘lganda kapillyar ko‘tarilish balandligi 1,8 metrgacha yetishini ko‘rsatdi. Olingan natijalar sug‘oriladigan hududlarda yo‘l ko‘tarmasi balandligini grunt suvlari sathiga nisbatan to‘g‘ri belgilash, shuningdek yo‘l konstruksiyasining suv-issiqlik rejimini bashorat qilish uchun amaliy asos bo‘lib xizmat qiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI:

1. Рувинский В. И. Оптималные конструксии земляного полотна. –М.: Транспорт. 1982. -160 с.

2. Лойсянский Л.Г. Механика жидкости и газа. –М.: Наука. 1978. – 736 с.

3. Полибаринов – Кочина П. Я. Теория движения грунтовқх вод. – М.: Наука. 107. -684 с.

4. Каюмов А.Д. Уплотнение и расчетны характеристики лессовых грунтов. -Ташкент: Фан. 2004. -120 с.

5. SHNK 2.05.02-23. Avtomobil yo‘llari. –Toshkent: 2023. -

6. McIntyre D.S. Capillary rise from saline groundwater in clay soil cores. Australian Journal of Soil Research, 1982, Vol. 20, No. 4, pp. 305–313.

7. Farshbaf Aghajani H., Soroush A., Tabatabaie Shourijeh P. An improved solution to capillary rise of water in soils. International Journal of Civil Engineering, 2011, Vol. 9, No. 4, pp. 275–281.