

NEFT ASOSLI TEKSTIL MOYLARIDA QO'SHIMCHALAR O'ZARO TA'SIRI: PET IPI UCHUN MEXANISTIK VA TAJRIBAVIY DALILLARNING TANQIDIY SHARHI

Dilnavoz Jalolidin qizi Mashrapova^{1,*}, Sherzod Shoimovich Mengliyev¹, Shuhratqodir Tashmatovich Gulomov¹, Ruslan Serverovich Khabipov¹, Zafar Quvondiq o'g'li Davletov¹, Nargiza Abduvaliyevna Igamkulova¹¹ Toshkent kimyo-texnologiya instituti, Toshkent, O'zbekiston

* Corresponding author: javohir.isaxonov1998@gmail.com

ARTICLE INFO

Dates:

Received: 15.09.2026

Revised: 24.09.2026

Accepted: 30.09.2026

DOI:

10.66960/jof.3093-8899.00044

Copyright:

CC BY 4.0

ANNOTATSIYA

Neft asosidagi tekstil moyida kimyoviy tarkib, fazaviy holat va ipga ko'chadigan moy miqdori o'zaro bog'liq holda ta'sir ko'rsatadi. Ushbu tanqidiy sharh 2020–2026-yillarda e'lon qilingan birlamchi tadqiqotlar asosida PET ipini o'rash jarayonida qo'llaniladigan mineral baza–TMP efiri–noionogen sirt faol modda–antistatik tizimini tahlil qiladi. Manbalarda keltirilgan miqdoriy natijalar tarkib, substrat, sinov sharoitlari, nazorat omillari va tajribalarni takrorlash darajasini hisobga olgan holda farqlab tahlil qilindi. Adabiyotlarda PET bo'yicha o'tkazilgan qiyosiy tadqiqotlarda moylanish darajasining bir xil emasligi kuzatilgan, model kontakt tizimlarida esa eruvchanlik, adsorbsiya tezligi va ishqalanish ko'rsatkichlari har doim ham bir xil samaradorlik reytingini bermasligi aniqlangan. To'rtta analitik yondashuv asoslandi: model sirtida aniqlangan mexanistik izohning PETda kuzatilgan natijalarga mosligini baholash; tashuvchi va amaldagi moylanish darajasi nazorat qilingan holda juft hamda uch omilli taqqoslashlarni amalga oshirish; talablar kesishmasida yaroqli tarkiblar sohasini aniqlash; shuningdek, amaliy qo'llash ta'siri va moylanish darajasi tenglashtirilgan sharoitdagi mahsulot samaralarini alohida baholash. TMP efirining yog' kislotasi tuzilishi, sirt faol moddaning alkoksillanish darajasi va antistatik moddaning qarshi ioni komponentlarni tanlash mezonlariga kiritildi. Olingan natijalar yangi retseptura samaradorligini eksperimental jihatdan tasdiqlamaydi; ular mavjud dalillar asosida shakllantirilgan va mustaqil ravishda tekshirilishi mumkin bo'lgan ilmiy xulosalarni ifodalaydi.

Kalit so'zlar: tekstil moyi; neft asosli baza; PET ipi; TMP efiri; sirt faol modda; antistatik; o'zaro ta'sir; moylanish darajasi.

АННОТАЦИЯ

В текстильном масле на нефтяной основе химический состав, фазовое состояние и количество масла, перенесённого на нить, действуют совместно. В данном критическом обзоре на основе первичных исследований, опубликованных в 2020–2026 годах, анализируется система «минеральная основа – эфир TMP – неионогенное поверхностно-активное вещество – антистатик» для намотки полиэфирной (PET) нити. Численные результаты, представленные в источниках, были разграничены с учётом состава, субстрата, условий испытаний, контроля и степени воспроизводимости. В исследованиях PET, представленных в литературе, было выявлено неравномерное смазывание, тогда как в модельных контактных системах растворимость, скорость адсорбции и коэффициент трения не всегда демонстрировали одинаковые рейтинги эффективности. Обоснованы четыре аналитических вклада: оценка соответствия механистического объяснения на модельной поверхности наблюдениям, полученным для PET; парные и трёхфакторные контрасты при контроле носителя и фактического уровня смазывания; определение области приемлемых составов в зоне пересечения требований; а также раздельный учёт эффектов практического нанесения и эффектов продукта при одинаковом уровне смазывания. Структура жирной кислоты в эфире TMP, степень алкоксилирования поверхностно-активного вещества и противоион антистатика были включены в критерии выбора компонентов. Полученные результаты не подтверждают эффективность нового рецептурного состава; они представляют собой научные выводы, полученные из существующих доказательств и подлежащие независимой проверке.

Ключевые слова: текстильное масло; нефтяная основа; PET-нить; эфир TMP; поверхностно-активное вещество; антистатик; взаимодействие; уровень смазывания.

ABSTRACT

In petroleum-based textile oil, the chemical composition, phase state, and amount of oil transferred onto the yarn act jointly. This critical review analyzes the «mineral base–TMP ester–nonionic surfactant–antistatic agent» system for polyester (PET) yarn winding, based on primary studies published between 2020 and 2026. Numerical results reported in the sources were differentiated according to composition, substrate, test conditions, controls, and degree of reproducibility. Studies involving PET reported in the literature revealed non-uniform lubrication, whereas in model contact systems, solubility, adsorption rate, and coefficient of friction did not always exhibit consistent performance rankings. Four analytical contributions are substantiated: assessment of the consistency between mechanistic explanations obtained on model surfaces and observations made for PET; pairwise and three-factor contrasts with controlled carrier composition and actual lubrication level; identification of the range of acceptable formulations within the intersection of performance requirements; and separate consideration of practical application effects and product-specific effects at the same lubrication level. The fatty-acid structure of the TMP ester, the degree of alkoxylation of the surfactant, and the counterion of the antistatic agent were incorporated into the component-selection criteria. The results do not establish the effectiveness of a new formulation; rather, they represent scientific conclusions derived from existing evidence and requiring independent verification.

Keywords: textile oil; petroleum base; PET yarn; TMP ester; surfactant; antistatic agent; interaction; lubrication level.

How to cite:

Mashrapova D.J., Mengliyev Sh.Sh., Gulomov Sh.T., Khabipov R.S., Davletov Z.Q., Igamkulova N.A. (2026). Neft asosli tekstil moylarida qo'shimchalar o'zaro ta'siri: PET ipi uchun mexanistik va tajribaviy dalillarning tanqidiy sharhi. *Journal of Future*, 2(6), 31–36. <https://doi.org/10.66960/jof.3093-8899.00044>

1. Kirish

Tekstil moyi ip–yo'naltirgich va ip–ip kontaktidagi kuchlarni, tolalararo tutashishni hamda zaryad tarqalishini boshqaradi. PETning hajmli uzluksiz ipi — BCF uchun ishlab chiqilgan finishlar kimyoviy moslik, emulsiya va ishlab chiqarish natijasini birga baholash imkonini beradi [1]. Mazkur sharhning asosiy obyekti esa kam qovushqoqlikdagi mineral moy bilan PET ipini o'rash va qayta o'rashdir. Shu sababli BCF, metall yoki shisha kontaktidagi dalilning o'sha obyektga ko'chirish chegarasi har safar ko'rsatiladi.

Tahlil mineral baza (B), trimetilolpropan asosidagi yog'kislotaga efiri (E), noionogen sirt faol modda (SFM; S) va antistatik (A) tizimiga qaratildi. Efirning karbonil guruhlar bilan uglevodorod zanjiri, SFMning gidrofil–lipofil qismlari va antistatikning ion jufti faqat bitta xossaga ta'sir qilmaydi. Masalan, qutblilik ortishi sirtga moyillikni kuchaytirishi mumkin, ammo bazadagi assotsiatsiya va eruvchanlik ham o'zgaradi. Oligoefirlarning tuzilish–moylash aloqasi [5] yoki efir bazasidagi modi-

fikator natijasi [4] TMPning mineral aralashmasi uchun tayyor reyting emas.

TMPning uchta gidroksimetil guruhi to'liq esterlanganda uch tarqoqli molekula hosil bo'ladi; yog'kislotaga qoldig'ining uzunligi, tarmoqlanishi va to'yinmaganligi alohida tanlov o'zgaruvchilaridir. Sarker va hamkorlarning tarmoqlangan TMP efirlari shu molekulyar dizaynning amaliy variantini ko'rsatadi [23]. Shu asosda trioleat va tarmoqlangan analogni bir xil faol ulushda qiyoslash taklif qilinadi. Yakuniy aralashmada $\nu(T)$, faza holati va PET javobi saqlanmasdan, sof efir natijasini komponent dozasi uchun tayyor me'yori sifatida olish mumkin emas.

Ilmiy bo'shliq «qo'shimchalar foydalimi?» savolidan aniqroq: kuza-tilgan foydaning qaysi qismi molekulyar sirt ta'siriga, qaysi qismi moyning ipga berilishiga va qaysi qismi kontakt sharoitiga bog'liq? Model tadqiqotlarda baza tarkibi, adsorbsiya hamda ishqalanish bog'langan [2,7,22]; bevosita PET ishlab chiqarish qiyosida esa ipdagi moy miqdori tenglashtirilmagan [1]. Ushbu ikki dalil turini birlashtirish miqdoriy natijani ko'chirishga emas, aniq tekshiriladigan ta'sirni ajratishga xizmat qiladi.

Maqsad — komponent tanlashning kimyoviy asosini, adabiyotdagi sonli dalillarni va PET uchun xulosa chiqarish shartlarini yagona tanqidiy tahlilda bog'lash. Sharh to'rtta savolga javob beradi: model sirtidagi izoh PET kuzatuviga mosmi; E–S ta'siri additivlikdan og'adimi va A bilan o'zgaradimi; qaysi tarkiblar barcha talablardan o'tadi; nomzodning etalondan ustunligi har ikki berish rejimida qancha? Har bir savolga mos hissa avvalgi usuldan farqi va tekshirish chegarasi bilan beriladi.

2. Materiallar va usullar

Manbalar 2026-yil 6-oktabrda nashriyot DOI sahifalari, PubMed va muallif muassasalarining ochiq yozuvlari bo'yicha tekshirildi. Asosiy qidiruv satrlari: »polyester spin finish yarn friction antistatic oil»; »base oil polarity organic friction modifier adsorption»; »technical grade non-ionic surfactants phase behavior»; »trimethylolpropane ester synthesis lubricant». Topilgan ishlarning mavzuga mos havolalari, mualliflari va DOI yozuvlari tekshirildi. 2020–2026-yillardagi original tadqiqotlar ilmiy yadro, rasmiy standartlar esa usul manbasi sifatida tanlandi. Qo'shimcha veb-qidiruv va saralash yozuvlari Ilova S1 da berilgan.

Bu maqsadli tanqidiy sharhdir; barcha bibliografik bazalarning to'liq tizimli qamrovi da'vo qilinmaydi. Kiritish sharti — tarkib–muhit–kontakt–javob bog'lanishini aniqlash mumkinligi. Faqat reklama da'vosi yoki kuzatiladigan ilmiy natijasi bo'lmagan yozuv dalil sifatida olinmadi. Abstrakt ochiq bo'lgan ishlar shu darajada belgilandi; to'liq matni ko'rilmagan manbaga mavjud bo'lmagan metodik tafsilot qo'shilmadi. 2-jadvalga kiritilgan qiymatlar manbaning ayni jadvali yoki ochiq matni bilan tekshirildi.

Dalil birligi alohida qiyosdir. Bir maqolaning ikki etaloni o'z juftligida saqlanadi; bir necha smenani mustaqil retsept takrori deb hisoblashga asos bo'lmasa, bunday n berilmaydi. Qiyoslash uchun birliklar tekshirildi, lekin turli kontaktidagi μ , elektr qarshiligi yoki moy chiqishi yagona effektga birlashtirilmadi. Jadvaldagi »≈» manbaning taxminiy qiymatini, »ko'rsatilmagan» esa aynan ochiq dalil chegarasini bildiradi.

Analiitik bosqichda manbalar o'rtasidagi moslik va ziddiyatlar tekshirilib, faktorli kontrastlar hamda massa cheklovlari bilan tekshiriladigan gipotezalar tuzildi. Nashrlardagi nuqtalardan xato chiziqlari yoki p-qiymatlar tiklanmadi. Sharhning keyingi formulalari kuzatilgan PET samarasi emas, oldindan belgilanadigan taqqoslash va qaror qoidalaridir. Asosiy matnda ishlatilgan standart havolalari usulning qo'llanish doirasini bildiradi, laboratoriya bajarilganini emas.

Qisqartmalar: OPU — quruq ip massasiga nisbatan moy miqdori; EO/PO — etilenoksid/propilenoksid bo'g'inlari; GMO — glitserol monooleat; QAC — to'rtlamchi ammoniy tuzi; QCM — kvarts kristalli mikrobalans; SRR — sirpanish–dumalash tezliklari nisbati; HO-PME — olein kislota ulushi yuqori palma moyining metil efilari. RPVOT va VI mos ravishda aylanma bosimli idishdagi oksidlanish sinovi hamda qovushqoqlik indeksini bildiradi.

3. Natijalar

3.1. Sonli dalillar nimani ko'rsatadi?

2-jadvaldagi qiymatlar o'z manbasining qiyosida saqlangan. PET uchun ikkita juft natija, adsorbsiya uchun model kuzatuvlar va TMP sintezi uchun alohida texnologik dalil berildi. Shu tuzilma kontaktlararo sonli reyting tuzmasdan, qaysi ko'rsatkich qaysi ilmiy xulosani qo'llashini ko'rsatadi.

PET qiyoslarining yo'nalishi bir xil emas: x-01 da yuqoriroq OPU bilan mahsulot chiqishi pasaygan, x-02 da esa oshgan. Bundan moyini ko'proq berishning yagona ijobiy qonuni kelib chiqmaydi. Cyriacdagi qatlam hosil bo'lish vaqtlari ham sirt faolligi tezlikka bog'liqligini ochadi. Frydagi 0,6 nm mezonni barcha sirt va test bosqichiga ko'chirish esa asoslanmagan. Qatlam kuzatuvlari N1 ning mexanizmni ko'chirish savolini, PET juftlari esa N4 ning mahsulotlarni qiyoslash savolini alohida asoslaydi.

TMPO manbasidagi elektr qiymati tekshiruvdan alohida o'tkazildi: 3-jadvaldagi 0,28 V/2 A=0,14 Ω , ammo ustun m Ω deb yozilgan [21]. Absolyut elektr reytingi shu sababli olinmadi. Ishqalanish qatori o'z kontak-

tida saqlandi; uning kamayishi PETdagi zaryad tarqalishi isboti hisoblanmaydi.

3.2. Adsorbsiya va ipdagi qatlamni ajratadigan sababiy talqin

Mineral bazaning funksiyasi qo'shimchani suyultirishdan kengroq. Undagi uglevodorod tarkibi va iz suv sirtga yetib boradigan faol molekula ulushini o'zgartirishi mumkin [2,10,22]. Shuning uchun I-8 yoki I-12 nomi bilan birga partiya, $\nu(T)$, suv, kislota soni va tarkib tavsifi beriladi. Burgess kuzatuvda suv hamda uglevodorod tarkibi birga o'zgaragan; adsorbsiya farqini faqat aromatiklikka bog'lash mumkin emas. Ushbu sharhning xulosasi — sirtga moyillik va ipga ko'chishni alohida tekshirishdir.

Taqqoslash pasporti B/E/S/A identifikatsiyasi, faol ulush va tashuvchi, $\nu(T)$, PETning chiziqli zichligi va boshlang'ich finishi, ipdagi moy miqdori, kontakt, tezlik, burchak va nisbiy namlikni (RH) birga saqlaydi. Ip–sirt μ [12], ip–ip μ [13] va ip elektr qarshiligi [15,16] alohida javoblardir. Ip–ip ishqalanishida eng kichik qiymat har bir jarayon uchun maqbul bo'lavermaydi; kerakli oraliq belgilangan jarayon bilan asoslanadi. Met–all to'rt sharli sinov [18] yordamchi tavsif bo'lib qoladi.

Hqiqiy moylanish $OPU=100m_{moy}/m_{quruq}$ substrat bilan ifodalanadi. Ekstrakt boshlang'ich finish va boshqa eruvchan moddalarni ham qamrashi mumkin; blank hamda tiklanish hisobga olinadi [14]. Destrutiv ekstraksiya qilingan bo'lak ishqalanishga qaytarilmaydi; birga tayyorlangan guvoh bo'lak ishlatiladi. Konfokal tasvir moy taqsimotini ochishi mumkin, ammo soya moyida tekshirilgan belgilash va kalibrlash mineral moyga qayta tekshiriladi [11]. O'rtacha OPU tengligi qatlamning fazoviy bir tekisligini kafolatlamaydi.

N1 uchun model manbadan aniq bashorat tanlanadi: muayyan sinov bosqichida qatlam ko'rsatkichi bilan μ orasidagi bog'lanish yo'nalishi. PET seriyasida OPU, baza, tashuvchi va kontakt nazorat qilinib, $\nu(T)$ o'lanadi [17]; sirt yoki qatlam kuzatuv μ ning vaqt bo'yicha o'zgarishi bilan qiyoslanadi. Natija bashoratga mos, zid yoki dalil yetarli emas tarzida ajratiladi. Yetarli aniqlikda takrorlangan zidlik shu izohni PETga ko'chirishni rad etadi; moslik yakka molekulyar sababni isbotlamaydi. Qovushqoqlikni moslash uchun baza almashtirilsa, qo'shimcha kimyoviy aralashuv qayd etiladi. Faqat μ kamayishi N1 uchun yetarli dalil emas.

3.3. Sinergiya: natija shkalasi va taqqoslashga bog'liq kontrast

Fry va hamkorlar olein kislota–oleilamin jufti bilan GMO–oleilamin juftining bir xil samara bermasligini ko'rsatgan [6]. Bu kimyoviy o'ziga xoslikni asoslaydi, lekin E–S–A paketidagi uch omilli ta'sirni aniqlamaydi. To'liq faktorli reja ma'lum usuldur [25]; bu yerda uning PETga tatbiqi faol doza, tashuvchi va OPU bilan bog'lanadi. y_{esa} tanlangan javobning o'rtachasini ifodalasa:

$$\Delta_{ES}(a) = y_{11a} - y_{10a} - y_{01a} + y_{00a}; \quad a \in \{0, 1\}. \quad (1)$$

$$\Delta_{ESA} = y_{111} - y_{110} - y_{101} - y_{011} + y_{100} + y_{010} + y_{001} - y_{000}. \quad (2)$$

Ishqalanish koeffitsiyenti μ va $\log_{10}(R/1 \Omega)$ uchun kamayish foydali deb belgilangan sharoitda juft $\Delta_{ES}(a)$ ning manfiy qiymati additiv shkala bo'yicha foydali o'zaro ta'sirga, musbat qiymati antagonistik og'ishga mos keladi. Elektr qarshiligidagi logarifmik kontrast asl shkalada nisbatlar orqali talqin qilinadi. Δ_{ESA} esa shu juft kontrastning A ta'sirida o'zgarishini bildiradi; uning ishorasi mustaqil foydalilik mezoni emas. Masalan, $\Delta_{ES}(0)$ va $\Delta_{ES}(1)$ ikkalasi musbat bo'lib, ikkinchisi kichikroq bo'lsa, uch omilli kontrast manfiy chiqadi, lekin juft ta'sirlar foydali bo'lib qolmaydi.

Har bir 2^3 nuqtani uch marta mustaqil tayyorlash 24 moy partiyasini beradi. Bu takror soni avtomatik statistik quvvat kafolati emas; yakuniy aniqlik tarqoqlik va zarur effekt kattaligiga bog'liq. Tashuvchi miqdori tenglashtiriladi, butilgidroksitoluol (BHT) darajasi saqlanadi va ip namunalari partiya ichida hisobga olinadi. Foydali ta'sir mezoni oldindan tanlangan amaliy chegaradan o'tuvchi ishonch oralig'i bilan belgilanadi. Nolni qamragan interval ta'sir yo'qligini isbotlamaydi.

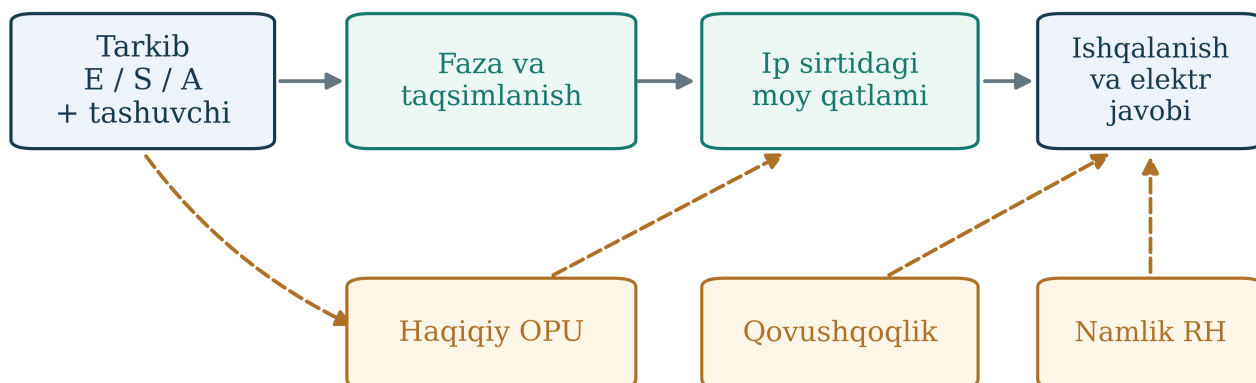
Kontrastning ma'nosi nol va bir darajalarning tanlanishiga ham bog'liq. Ular komponentning yo'qligi va mavjudligini anglatrsa, natija

1-jadval. Manbadan dalil ajratish va qiyosga kiritish protokoli

Ajratiladigan maydon	Qayd qilinadigan ma'lumot	Xulosa chiqarish qoidasi
Kimyoviy identifikatsiya Kontakt va doza Sharoit va nazorat Son va noaniqlik Dalilning joyi	Baza, faol modda, tijorat ulushi, tashuvchi, suv PET/metall/model sirt; retsept ulushi, emulsiya, OPU Harorat, tezlik, yuk yoki RH; ayni tajribaning etaloni Jadval/matndagi qiymat, birlik; n va $\pm$ ma'nosi DOI, bo'lim, jadval/rasm; to'liq matn yoki abstrakt	Nom bir xil bo'lsa ham tarkib teng deb olinmaydi Uch doza asosi va turli kontaktlar alohida saqlanadi Manbalararo universal reyting va regressiya tuzilmaydi Ko'rsatilmagan n , SD yoki ishonch oralig'i to'ldirilmaydi Muallif talqini bilan sharhning hisobiy xulosasi ajratiladi

2-jadval. Birlamchi manbalardagi sonli natijalar: tarkib, sharoit, qiyos va dalil chegarasi

Manba va tarkib	Sharoit va nazorat	Aniq natija	Takrorlash va cheklov
Gou, 2020 [1]: polioksietilen efirli x-01; tarkib ulushlari berilmagan Gou, 2020 [1]: polietilerli x-02; tarkib ulushlari berilmagan Cyriac, 2021 [4]: 0,5 massa % stearylamin/stearamid/stearin kislota; polyol efir	PET BCF; 2500 m/min; nominal 1250 dtex/90F; o'z 3# etaloni Ayni uskuna; x-02 uchun alohida 3# qiyosi AISI 52100; 130 °C; 36 N; 1,0 GPa; 0,1 m/s, SRR 100%	OPU: 1,13/0,84%; yaroqli mahsulot: 93,4/95,8% OPU: 1,04/0,90%; yaroqli mahsulot: 96,0/94,7% Qatlam paydo bo'lishi: $\approx 5/30/60$ min; baza $\nu_{40} = 20$, $\nu_{100} = 4$, 4 mm ² /s	Har moy 2 smena; mustaqil n va SD yo'q; OPU teng emas 2 smena; n/SD yo'q; o'lchangan zichlik 1283/1300 dtex μ — 2 o'lchash o'rta chasi; qatlam boshlanishi kuzatuv vaqtiga bog'liq; PET emas
Fry, 2020 [7]: olein kislota, aminlar va GMO; geksadekan	Shisha shar—kremniy disk; chegaraviy kontakt; elipsometriya/QCM	Boshlang'ich va maksimal past μ uchun qatlam chegarasi $\approx 0,6$ nm	Ochiq abstrakt; bu xulosa uchun n /doza ochiq emas; barqarorlashgan μ o'xshash
Burgess, 2026 [22]: palmitin kislota, 150 mg/L	Po'lat qoplangan QCM; geksadekan va murakkab uglevodorodlar; 55 μ L/min	Adsorbsiya ≈ 330 va <150 ng/cm ² ; k : 0,012 s ⁻¹ (geksadekan), 0,001 s ⁻¹ (aromatik muhit)	QCM uchun mustaqil n aniq berilmagan; suv va tarkib birga o'zgargan
Wafu, 2021 [24]: HO-PME + TMP; Novozyme 435 Mohamed Ariffin, 2024 [21]: TMPO + 1 massa % [Oley][Oleic]	70 °C; 3,9:1 mol; 23 soat; 0,1 mbar; ferment 5 massa % AISI 52100/304; 500 ayl/min; 0,8–1,6 N; 2 A; ≈ 255 s	TMP efiri chiqishi 95,68 $\pm$ 3,60%; VI 208 $\pm$ 2; RPVT 42 $\pm$ 4 min μ : TMPO $\approx 0,15$; +1% qo'shimcha $\approx 0,07$	Abstrakt; $\pm$ turi va n ochiq emas; sof efir sintezi, mineral finish emas $n = 3$ sinov; manbada tarqoqlik $<5\%$; tokli metall kontakt; PET antistatik reytingi emas



1-rasm. Tarkib → faza/taqsimlanish → ipdagi moy qatlami → ishqalanish va elektr javobi; haqiqiy OPU — qo'shimcha yo'l, qovushqoqlik va RH — sinov shartlari. Sxema [2,4,7,10,22] asosidagi analitik talqindir; sababiy bog'lanishlar mustaqil tekshiriladi.

komponentni qo'shishning ta'siridir; past va yuqori miqdorni anglatrsa, faqat shu doza oralig'i haqida xulosa olinadi. Barcha kombinatsiyalarda mahsulotning jami massasi bir xil bazaviy moy bilan to'ldiriladi. Bir nechta kontrast birgalikda asosiy da'vo qilinsa, ishonch oraliqlari oilasi uchun ko'plik nazorati ko'zda tutiladi. Shkala yoki asosiy kontrast eng qulay natija chiqqanidan keyin almashtirilmaydi.

3.4. Moy bilan mos va ipda samarali tarkib sohasi

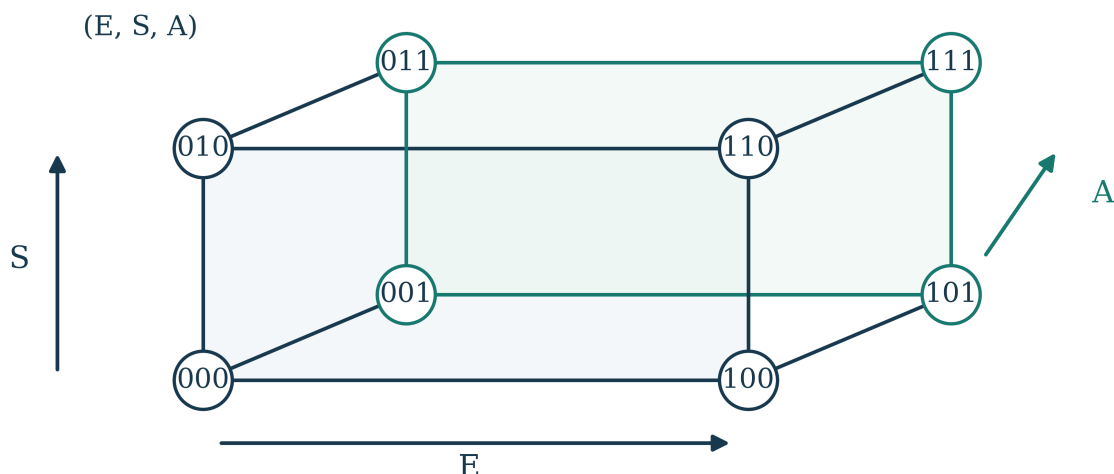
Noionogen SFM uchun HLB soni tanlovni yakunlamaydi. Cattelaens–Myrdek ishida alkil zanjiri, EO/PO turi va ularning ketma-ketligi faza samaradorligiga ta'sir qilgan; avval etoksillab, keyin propoksillab samarani pasaytirgan [3]. Bu abstraktdagi sifat xulosasi bo'lib, mineral B–E aralashmasida optimal EO sonini bermaydi. Har bir SFM aniq baza, efir va suv miqdorida tekshiriladi. Issiqda erish sovitilgandan keyingi barqarorlikka teng emas: [4] dagi ayrim 0,5% modifikatorlar 23 °C da 30 min–24 soatda cho'kkan.

$$\Omega = \Omega_{\text{faza}} \cap \Omega_{\text{doza}} \cap \Omega_{\text{elektr}} \cap \Omega_{\text{ishqalanish}}, \quad (3)$$

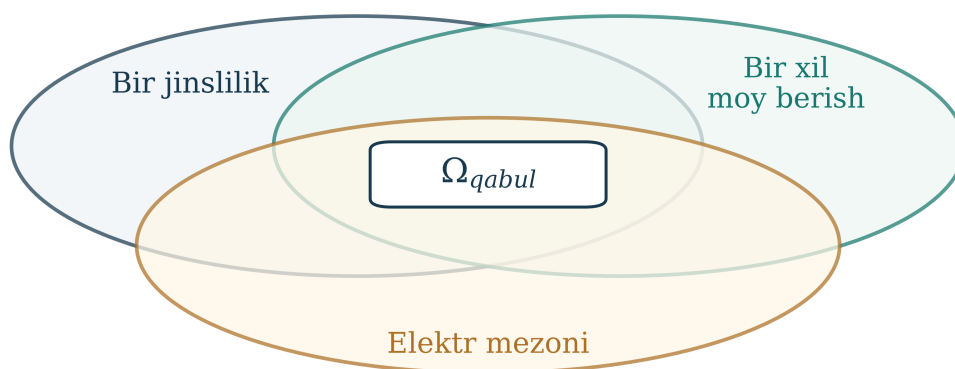
$$w_B = 1 - w_E - w_S - w_A - w_{AO} - w_{\text{tashuvchi}}.$$

(3) tenglamada w_E , w_S , w_A va w_{AO} — faol komponentlarning 0–1 oralig'idagi massa ulushlari; $w_{\text{tashuvchi}}$ ularga kiritilmagan tashuvchilar yig'indisidir. Tarkiblar yig'indisi massa balansiga bog'langanligi sababli oddiy mustaqil omillar rejasi barcha nisbatlarni bir xil qamramaydi. NIST tavsiflagan aralashma tajribasi va tarkib–jarayon omillarini ajratish shu muammoni hal qiladi [19,20]. Ushbu sharhdagi qo'llanish farqi shundaki, tajriba nomzodlari avval moyning fizik yaroqliligi va ipga haqiqiy ko'chishi bilan cheklanadi; samaradorlik modeli faqat shu soha ichida talqin qilinadi.

Ayrim nuqtalar fizik yaroqsiz bo'lsa, ularni ishlaydigan retseptlar bilan bir javob yuzasiga birlashtirish nomaqbul. E, S va A bo'yicha to'liq kvadratik model o'nta koeffitsiyentga ega. Masalan, 18 turli tarkib va uch tayanch tarkibning ikkitadan qo'shimcha tayyorlanishi 24 kuzatuv beradi: qo'shimcha blok yoki kovariat bo'lmasa, sof xatoga 6, model yetish-



2-rasm. Uch omilli to'liq rejaning geometrik tuzilishi. Tugunlardagi raqamlar (E, S, A) darajalarini bildiradi; juft va uch omilli ta'sirlar (1)–(2) tenglamalar bilan hisoblanadi. Schema tajriba natijalarini ifodalamaydi.



3-rasm. Yaroqli tarkib sohasini fazaviy moslik, nazorat qilinadigan OPU va elektr talabi kesishmasi orqali aniqlash. Ishqalanish talabi keyingi funksional cheklov sifatida qo'llanadi; chegaralar miqdoriy natijani ifodalamaydi.

movchiligiga 8 erkinlik darajasi qoladi. Bu hisob optimal reja, yetarli quvvat yoki yaroqli prognozni kafolatlamaydi.

Antistatikni »moyda tiniq« mezon bilan tanlash yetarli emas. PETdagi qarshilik belgilangan RH va OPU da o'lchanadi; suvdagi qoplama ishlari [8,9] ion yoki gidrofil qatlamning imkoniyatini ko'rsatadi, mineral aralashmada eruvchanlikni emas. A ni tanlashda ion turi, qarshi ion, neytrallanish darajasi va tashuvchi aniqlanadi. Suv yoki erituvchi tarkib balansida alohida turadi. BHT miqdori va baza nisbati doimiy saqlanadi; harorat hamda aralashtirish vaqti o'zgarsa, ular jarayon omillari sifatida kiritiladi [20].

SFMni dastlabki saralashda bir xil alkil zanjirli, ammo EO/PO arxitekturasini farqli mahsulotlar solishtirilishi maqsadga muvofiq. Shu bilan molekula tuzilishining ta'siri tijorat tashuvchisi ta'siridan ajratiladi. Suvli emulsiya orqali berish va suvsiz moyini to'g'ridan-to'g'ri berish uchun alohida faza chegaralari kerak: emulsiya barqarorligini suvsiz konsentrat tiniqligi bilan almashtirish mumkin emas. SFM miqdori faza mosligini yaxshilasa ham, amaliy μ va elektr talabidan o'tishi shart; birinchi mezonning yaxshilanishi qolgan javoblarni avtomatik tasdiqlamaydi.

3.5. Kimyoviy tanlov va ikki taqqoslashdagi samara

N4 nomzodning ayni etalondan farqini baholaydi: $D_{\text{amaliy}} = y_{\text{nomzod}} - y_{\text{etalon}}$ amaliy berishdagi, $D_q = y_{\text{nomzod}}(q) - y_{\text{etalon}}(q)$ teng OPU=q dagi samaradir.

Har javob uchun ikkala farq va ishonch oralig'i olinadi. 4-rasm D_q ni aniqlamaydi. Mahsulot tanlovi ayni PET sharoitida oldindan belgilangan amaliy ustunlik chegarasiga bog'lanadi. $D_{\text{amaliy}} - D_q$ sirt mexanizmi yoki dozalanshning sof sababiy hissasini isbotlamaydi.

TMP yadrosi bir xil bo'lgan efilrlar ham yog'kislotlarga tuzilishi va qoldiq funksional guruhlariga sabab o'zaro teng emas. Tarmoqlangan TMP-ISA/TMP-IOA ning sintezi va aralashuv imkoniyati [23] muqobil nomzod tanlashni asoslaydi. Tanlovda faqat bitta sof efilning past harorat yoki tribologik afzalligi emas, B-E-S-A aralashmasining barqarorligi hamda PETdagi natijasi hal qiluvchi bo'ladi.

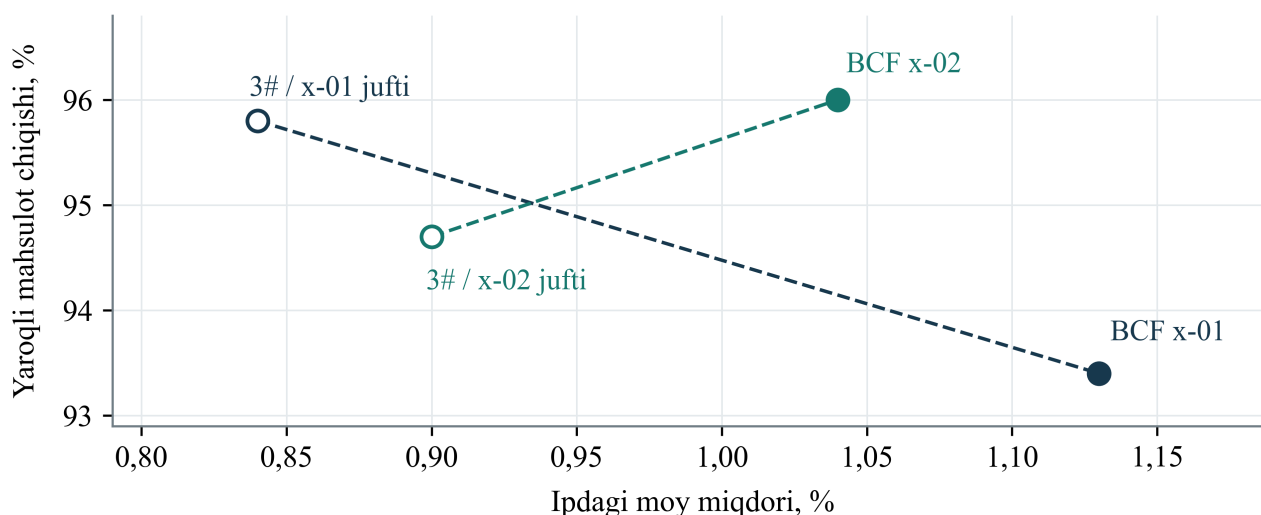
4. Muhokama: to'rtta analitik ilmiy hissa

4-jadval har bir hissani alohida savol va olinadigan natija bilan bog'laydi. Hissalar mavjud dalillarning PETga xos analitik sintezidir; yangi fizik qonun yoki universal retsept ustuvorligi da'vo qilinmaydi. N1 ning natijasi mexanistik izohga oid hukm, N2 niki o'zaro ta'sir kontrastlari, N3 niki yaroqli tarkiblar sohasi, N4 niki etalonga nisbatan mahsulot samarasidir. Jadvalda ularni tekshirish sharti ham saqlangan.

N1 da mahsulotlar reytingi emas, tanlangan sirt izohining PETdagi kuzatuvga mosligi tekshiriladi. Bir xil OPU da μ ning kamayishi bilan birga mustaqil qatlam kuzatuv zarur; kuzatuv yo'qligi mexanizm rad etilganini anglatmaydi. N2 ning chiqishi esa mexanistik hukm emas, oldin-

3-jadval. Mineral baza, efir, SFM va antistatiki tanlashning kimyoviy–texnologik asosi

Komponent	Tanlash uchun zarur kimyoviy belgi	Amaliy qiyos va cheklov
B — mineral baza [2,22]	Uglevodorod tarkibi; $\nu(T)$; suv; kislota soni; partiya	Bitta baza/fiksirlangan nisbat; o'xshash ν bir xil solvatlashni kafolatlamaydi
E — TMP efir [5,23,24]	Yog'kislota uzunligi, tarmoqlanishi va to'yinmaganligi; mono/di/triester; qoldiq OH/kislota	Trioleat va tarmoqlangan analog alohida nomzod; sof efir xossasi mineral aralashmada qayta baholanadi
S — noionogen SFM [3]	Alkil zanjiri, EO/PO soni va ketma-ketligi; faol ulush; suv	B–E muhitida qizdirish–sovitish va suvga sezgirlik; HLB yagona mezon emas
A — antistatik [1,8,9,21]	Alkilfosfatning ammoniy tuzi yoki aniq QAC; qarshi ion; tashuvchi; neytrallanish	Har nomzod alohida: bir jinslilik → haqiqiy OPU → belgilangan RH dagi R
AO — BHT va tashuvchilar	BHTning faol ulushi; barcha yordamchi erituvchilar balansi	E–S–A qiyosida o'zgarmaydi; qarish vazifasi alohida sinovda tekshiriladi

4-rasm. PET BCF ishlab chiqarishidagi ikkita juft qiyos: ipdagi moy miqdori va yaroqli mahsulot chiqishi. Nuqtalar Gou va hamkorlarning 2-jadvalidan qayta chizildi [1]; chiziqlar faqat tegishli etalon–nomzod juftini bog'laydi. n va noaniqlik berilmagani uchun xato chiziqlari hamda regressiya yo'q.

4-jadval. To'rtta analitik hissa: avvalgi dalil, qo'shimcha xulosa va rad etish sharti

Hissa va tekshiriladigan savol	Avvalgi dalil va aniq farq	Olinadigan natija	Nazorat va rad etish chegarasi
N1. Model sirtidagi izoh PETdagi qatlam– μ bog'lanishiga mosmi?	[4,7,22]: model sirt mexanizmi; [1]: PET qiyosi. Farq — aniq mexanistik bashoratning PETda tekshirilishi	Tanlangan bashorat bo'yicha hukm: mos / zid / dalil yetarli emas	PET qatlam kuzatuv va vaqtga bog'liq μ ; OPU va kontakt nazorati. Takrorlangan ishonchli zidlik ko'chirishni rad etadi
N2. E–S ta'siri additivlikdan og'adimi va A bilan o'zgaradimi?	[6]: kimyoga xos juft ta'sir; [25]: faktorli reja. Farq — PET javobidagi juft va uch omilli ta'sirni ajratish	$\Delta_{ES}(0)$, $\Delta_{ES}(1)$, Δ_{ESA} hamda ularning ishonch oraliqlari	8 kombinatiya; doza/tashuvchi/OPU nazorati. Amaliy foyda chegarasidan o'tmagan kontrast foydali ta'sirni tasdiqlamaydi
N3. Qaysi tarkiblar barcha fizik va funksional talablardan o'tadi?	[3,4,8,9]: alohida cheklovlar; [19,20]: tarkib rejasi. Farq — ularning PET sharoitidagi kesishmasi	Sinovdan o'tgan tarkiblar sohasi Ω va har bir chiqarish sababi	Chegaralar oldindan beriladi. Yaroqli deb belgilangan nuqta qayta sinovdan o'tmasa, tasnifi qayta ko'riladi; tekshirilmagan soha da'vo qilinmaydi
N4. Nomzod etalondan har ikki berish rejimida qancha farq qiladi?	[1]: ishlab chiqarish qiyosi; [2]: baza ta'siri. Farq — amaliy va teng OPU samaralarining alohida bahosi	Har javob uchun D_{amaliy} va D_q , intervallari va mahsulot tanlash xulosasi	Ayni etalon/PET, mustaqil tayyorlanmalar. Interval amaliy ustunlikni tasdiqlamasa, shu rejimdagi ustunlik da'vo qilinmaydi

dan belgilangan μ yoki log R shkalasidagi kontrastlardir. Δ_{ESA} juft ta'sirning A bilan o'zgarishini bildiradi; uning ishorasi yakka holda foydali uch komponentli paketni tasdiqlamaydi.

N3 qaysi tarkiblar belgilangan sharoitda baholashga yaroqliligini aniqlaydi. Natija eng yaxshi retsept reytingi emas, qabul qilingan nuqtalar va chiqarish sabablaridir. N4 shu yaroqli nomzodlarni ayni etalon bilan ikki rejimda taqqoslab, amaliy foyda miqdorini beradi. Reyting almashishi mumkin, ammo bu majburiy natija emas. D_{amaliy} va D_q ni ayirish dozalanishning sof sababiy hissasini avtomatik bermaydi; bunday talqin qo'shimcha taxminlarni talab qiladi.

Hissalar bir-birining o'rnini bosmaydi: mexanizm hali aniqlanmagan bo'lsa ham N4 da mahsulot foydasi baholanishi mumkin; N1 ga mos kuzatuv esa etalondan amaliy ustunlikni kafolatlamaydi. N2 dagi foydali kontrast N3 dagi fizik yaroqsizlikni bartaraf etmaydi. Shu ajratish har bir natijani o'z nazorati va da'vo chegarasi bilan tekshirishga imkon beradi. Yetarli aniqlikdagi tenglik yoki zidlik ham tegishli gipotezani toraytiradigan ilmiy natijadir.

4.1. Olish texnologiyasiga ko'chirish chegarasi

TMP karboksilat efiridagi $-C(O)-O-$ bog'i polioksietilen va polioksipropilendagi $-C-O-C-$ polieter bog'idan farqlanadi [1,24]. Sintez

va aralashtirib formulatsiyalash ajratiladi. [24] dagi 70 °C, 23 soat va vakuum TMP efini HO-PME dan ferment bilan olish sharoitidir. Tayyor efini mineral bazaga qo'shish shu reaksiya rejimini talab qilmaydi. [1] da finish 80 °C da 2 soat aralashtirilgan; bu polietlerli BCF retseptining qayd etilgan rejimi. Har ikki rejimni boshqa tarkibga »optimal texnologiya» sifatida ko'chirishga asos yo'q.

Mineral B–E–S–A uchun taklif etiladigan ketma-ketlik: baza va efining bir jinsli aralashmasini olish; BHT hamda SFMni oldindan tekshirilgan erish sharoitida kiritish; antistatikni uning tashuvchisi bilan nazoratli berish; sovitish va qayta tekshirish. Bu ketma-ketlik tekshiriladigan texnologik gipotezadir. Haroratning past chegarasi erish va aralashish, yuqori chegarasi komponent barqarorligi bilan aniqlanadi. Aralashtirish davomiyligi yuqori/o'rta/past qatlam namunalari tarkibi bir xilligiga yetish bilan belgilanadi; aylanish tezligi apparat geometriyasiz ko'chirilmaydi.

Antistatik bo'yicha boshlang'ich dalil aniq sinfni tanlashga yetadi: [1] alkilfosfatning ammoniy tuzi va oktaedrit dimetil gidroksietil to'rtlamchi ammoniy nitratni ko'rsatgan. Shu sinflar o'zaro teng emas; qarshi ion, fosfatning mono/diester ulushi hamda neytrallanishi erituvchanlik va mavjud ionlarning holatiga ta'sir qilishi mumkin. Mazkur ta'sir tekshiriladigan kimyoviy gipoteza sifatida olinadi. Tuz miqdorini oshirishdan oldin faol ulush, namlik va tashuvchi aniqlanadi; PETda R ni kamaytirgan tarkibning moyda bir jinsliliigi ham tasdiqlanadi.

Efir sintez qilinsa, erkin kislota, qoldiq TMP, mono/diester, katalizator va suv qoldig'i ajratish bosqichining sifat mezonlariga kiritiladi. Tayyor efir sotib olinsa, ayni belgilar partiya pasporti va tekshirish bilan nazorat qilinadi. Alkilfosfat ammoniy tuzi yoki QACni tanlashda ularning aniq tarkibi hamda mineral bazaga mosligi tekshirilmaguncha faktor rejasining barcha nuqtasi tayyorlanadi deb qabul qilinmaydi. Kerak bo'lsa, fizik yaroqli past–yuqori doza oralig'i olinadi.

5. Xulosa

Sharhda sonli dalillar tarkib, kontakt va nazorat bilan ajratilib, PET ishlab chiqarishidagi teng bo'lmagan OPU qiyosi molekulyar samarani yakka aniqlamasligi ko'rsatildi. Baza tarkibi, TMP efining tuzilishi, SFMning EO/PO arxitekturalari va antistatikning ion shakli mustaqil identifikatsiya qilinishi kerak. N1 mexanistik moslik hukmini, N2 ta'sir kontrastlarini, N3 yaroqli tarkib sohasini, N4 esa ikki rejimdagi mahsulot samarasini beradi. Ularning ustuvorlik chegarasi ochiq; yangi retseptning yaxshilangan xossasi faqat mos nazorat, mustaqil tayyorlanmalar va yangi partiyadagi tekshiruvdan keyin tasdiqlanadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

- [1] Gou M.-x.; Chen G.-x.; Meng X.; Wang J.-m.; Zhao P.-q. Study on composite spinning oil for polyester bulked continuous filament with high efficiency. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*. 2020; 15. DOI: <https://doi.org/10.1177/1558925020913545>.
- [2] Cyriac F.; Yi T. X.; Poornachary S. K.; Chow P. S. Influence of Base oil Polarity on the Tribological Performance of Surface-Active Engine Oil Additives. *Tribology Letters*. 2021; 69: 87. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11249-021-01463-5>.
- [3] Cattaels F.; Myrdek T. Study of the efficiency of technical grade nonionic surfactants. *Journal of Surfactants and Detergents*. 2023; 26(1): 53–60. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsde.12623>.
- [4] Cyriac F.; Tee X. Y.; Poornachary S. K.; Chow P. S. Influence of structural factors on the tribological performance of organic friction modifiers. *Friction*. 2021; 9: 380–400. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40544-020-0385-0>.
- [5] Wang H.; Wang Y.; Wen P.; Ma L.; Fan M.; Dong R.; Zhang C. Low-viscosity oligoether esters (OEEs) as high-efficiency lubricating oils: Insight on their structure–lubricity relationship. *Friction*. 2024; 12: 1133–1153. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40544-023-0765-3>.
- [6] Fry B. M.; Chui M. Y.; Moody G.; Wong J. S. S. Interactions between organic friction modifier additives. *Tribology International*. 2020; 151: 106438. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2020.106438>.
- [7] Fry B. M.; Moody G.; Spikes H. A.; Wong J. S. S. Adsorption of Organic Friction Modifier Additives. *Langmuir*. 2020; 36(5): 1147–1155. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.9b03668>.
- [8] Zare A. Sericin eco-friendly biomaterial as a spin finish in drawn textured PET yarn production. *Research Journal of Textile and Apparel*. 2024; 28(4): 687–698. DOI: <https://doi.org/10.1108/RJTA-07-2022-0086>.
- [9] Wang W.; Zhang J.; Liu Y.; Weng M.; Fu Y. Preparation of Antistatic Polyester Fiber via Layer-by-Layer Self-Assembly. *Coatings*. 2024; 14(10): 1236. DOI: <https://doi.org/10.3390/coatings14101236>.
- [10] Kicior I.; Matthews L.; Britton A. J.; Willneff E. A.; Hammersley C.; Morina A.; Dowding P. J.; Honkimaäki V.; Schroeder S. L. M. Friction and wear reduction by glycerol oleates: The molecular basis for performance variations in the presence of water and acetic acid. *Tribology International*. 2026; 214, Part A: 111140. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2025.111140>.
- [11] Hu Q.; Wu J.; Qin Z.; Wei X.; Jiang C.; Wu M.; Yu D.; Wang J. Effective Detergency Determination for Single Polymeric Fibers Using Confocal Microscopy. *Polymers*. 2023; 15(15): 3314. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym15153314>.
- [12] ASTM International. D3108/D3108M-13(2020): Standard Test Method for Coefficient of Friction, Yarn to Solid Material. ASTM. 2020. DOI: https://doi.org/10.1520/D3108_D3108M-13R20.
- [13] ASTM International. D3412/D3412M-13(2020): Standard Test Method for Coefficient of Friction, Yarn to Yarn. ASTM. 2020. https://store.astm.org/standards/d3412_d3412m.
- [14] ASTM International. D2257-25: Standard Test Method for Extractable Matter in Textiles. ASTM. 2025. <https://store.astm.org/d2257-25.html>.
- [15] AATCC. TM84-2000e(2018)e: Electrical Resistance of Yarns. AATCC. 2018. <https://members.aatcc.org/store/tm84/502/>.
- [16] ISO. ISO 139:2005, Amd 1:2011: Textiles — Standard atmospheres for conditioning and testing. ISO. 2005. <https://www.iso.org/standard/35179.html>.
- [17] ASTM International. D445-26: Standard Test Method for Kinematic Viscosity of Transparent and Opaque Liquids (and Calculation of Dynamic Viscosity). ASTM. 2026. <https://store.astm.org/d0445-26.html>.
- [18] ASTM International. D4172-25: Standard Test Method for Wear Preventive Characteristics of Lubricating Fluid (Four-Ball Method). ASTM. 2025. <https://store.astm.org/d4172-25.html>.
- [19] NIST/SEMATECH. e-Handbook of Statistical Methods, 5.5.4: What is a mixture design? NIST. n.d. <https://www.itl.nist.gov/div898/handbook/pri/section5/pri54.htm>.
- [20] NIST/SEMATECH. e-Handbook of Statistical Methods, 5.5.4.5: Treating mixture and process variables together. NIST. n.d. <https://www.itl.nist.gov/div898/handbook/pri/section5/pri545.htm>.
- [21] Mohamed Ariffin N. A. A.; Yeoh S. Y.; Hamdan S. H.; Lee C. T. Investigating the influence of protic ionic liquid on the triboelectrical properties of trimethylolpropane trioleate (TMPO). *Journal of Transport System Engineering*. 2024; 11(2): 7–13. DOI: <https://doi.org/10.1113/jtse.v11.235>.
- [22] Burgess D.; Fryer P. J.; McRobbie I.; Reid J.; Zhang Z. J. A Multi-scale Interfacial Investigation of Organic Friction Modifiers in Hydrocarbon. *Tribology Letters*. 2026; 74: 41. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11249-026-02137-w>.
- [23] Sarker M. I.; Lew H. N.; Sharma B. K.; Wagner K.; Jones K. C.; Powell M. J. Green synthesis of trimethylolpropane triisostearate and triisoleate for usage as bio-lubricants. *Tribology International*. 2023; 186: 108649. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2023.108649>.
- [24] Abd Wafti N. S.; Yunus R.; Lau H. L. N.; Choong T. S. Y.; Abdul Aziz S. Immobilized lipase-catalyzed transesterification for synthesis of biolubricant from palm oil methyl ester and trimethylolpropane. *Bioprocess and Biosystems Engineering*. 2021; 44(11): 2429–2444. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00449-021-02615-6>.
- [25] NIST/SEMATECH. e-Handbook of Statistical Methods, 5.3.3.3: Full factorial designs. NIST. n.d. <https://www.itl.nist.gov/div898/handbook/pri/section3/pri333.htm>.