

فراخوان حمایت از حوزه‌های نوظهور و آینده‌ساز

(زمینه‌های اولویت دار مربوط به حوزه غشاها و جاذب‌های نوظهور مبتنی بر فناوری نانو برای جداسازی‌های

انتخابی، بازیابی منابع و سامانه‌های آب-انرژی)

داده‌های سازمان‌های فعال در حوزه غذا و کشاورزی نشان می‌دهد حدود ۹۰ درصد ایران در اقلیم خشک یا نیمه‌خشک قرار دارد، میانگین بارش سالانه حدود ۲۲۸ میلی‌متر است و کشاورزی نزدیک به ۸۰ درصد برداشت آب را مصرف می‌کند. در کنار این، سازمان بین‌المللی انرژی گزارش کرده که تقاضای لیتیوم در ۲۰۲۴ نزدیک به ۳۰ درصد رشد کرده و تمرکز زنجیره تأمین مواد معدنی حیاتی نیز افزایش یافته است. بنابراین ترکیب «آب + بازیابی منابع + انرژی» برای ایران یک موضوع تزئینی نیست؛ یک محور راهبردی واقعی است.

به‌عنوان مرزبندی اجرایی، این فراخوان **باید شامل** مسیرهایی باشد که نوآوری اصلی در خود غشا، جاذب، نانوکanal، سطح بین‌فازی، سازوکار انتقال یا ادغام عملکردهای جذب/جداسازی/تبدیل نهفته است. در مقابل، **نباید شامل** این موارد شود:

- بهینه‌سازی‌های متداول RO/NF/UF بدون منطق جدید انتقال،
 - جذب‌های کم‌انتخاب‌پذیری بر پایه کربن فعال یا رزین متعارف بدون معماری نانویی جدید،
 - طراحی ماژول یا پیلوت صنعتی بدون نوآوری ماده/سطح،
 - و سامانه‌های انرژی یا آب‌رسانی که در آن‌ها غشا/جاذب فقط یک جزء فرعی است.
- این مرزبندی برای جلوگیری از ورود پروپوزال‌های پراکنده و غیرقابل‌قیاس ضروری است. در ادامه موضوعات مرتبط با این فراخوان آورده شده است.

موضوع اول

عنوان فارسی: غشاهای نانوکanal دار برنامه‌پذیر و معماری‌های غشایی نسل آینده

عنوان انگلیسی:

Programmable Nanochannel Membranes and Next-Generation Membrane Architectures

تشریح موضوع:

این موضوع به نسل جدیدی از غشاها اشاره دارد که کارکرد آن‌ها از کنترل دقیق نانوکanal‌ها، شیمی دیواره کانال، آرایش لایه‌ها و پاسخ‌پذیری پویا ناشی می‌شود، نه صرفاً از تخلخل یا ضخامت یک فیلم پلیمری. این حوزه مسئله کلاسیک تقابل میان permeability و selectivity را هدف می‌گیرد؛ مسئله‌ای که هنوز یکی از موانع اصلی تجاری‌سازی غشاهای سنتزی است. در این مسیر، 2D membranes، COF/MOF membranes، غشاهای زیست‌الهام مبتنی بر aquaporin یا artificial water channels، و غشاهای پاسخ‌پذیر به نور، برق، pH و دما به‌عنوان خانواده‌های کلیدی مطرح‌اند. نوآوری اصلی در منطق transport-by-design است؛ یعنی مهندسی مسیر عبور آب، یون یا مولکول از طریق نانوکanal‌های از پیش طراحی‌شده و در برخی موارد قابل تنظیم در حین کار.

زیرموضوع‌های پیشنهادی:

- غشاهای لایه‌ای و نانوحفره‌ای بر پایه GO، MXene، BN و مواد دوبعدی مشابه
- غشاهای بلوری و چارچوب‌دار بر پایه MOF، COF و porous crystalline membranes
- غشاهای زیست‌الهام و aquaporin-like و artificial water channel membranes
- غشاهای پاسخ‌پذیر به نور، میدان الکتریکی، pH، دما و میدان مغناطیسی
- مسیرهای ساخت مقیاس‌پذیر مانند interfacial polymerization پیشرفته، self-assembly و چاپ سه‌بعدی غشایی

شامل چه مواردی نمی‌شود؟

- اصلاح‌های جزئی غشاهای RO/NF/UF متداول بدون سازوکار جدید انتقال
- افزودن نانوذره به پلیمر بدون نقش روشن در selectivity یا transport physics
- پروژه‌های صرفاً ماژول‌سازی یا پایلوت که نوآوری ماده/سطح ندارند
- شبیه‌سازی‌های صرفاً عددی بدون اعتبارسنجی تجربی در غشا واقعی

چه چیزی را ممکن می‌کند که قبلاً ممکن نبود؟

- شکستن یا تضعیف trade-off سنتی permeability/selectivity

- جداسازی دقیق تر یون های هم بار یا مولکول های نزدیک به هم از نظر اندازه
- تنظیم پذیری پویا در rejection و flux حین کار
- گذار از غشاهای passive به غشاهای adaptive و mission-specific

گلوگاه ها:

- کنترل defects ، orientation و crystallinity در غشاهای چارچوب دار
- پایداری مکانیکی و شیمیایی در آب واقعی، شورابه و شرایط عملیاتی طولانی
- هزینه و پیچیدگی ساخت مقیاس پذیر
- کمبود داده واقعی برای lifetime، chlorine tolerance، cleaning compatibility و fouling

خروجی های مورد انتظار:

- ساخت غشای bench-scale با داده عملکردی از خوراک واقعی
- گزارش هم زمان permeance، selectivity، stability و antifouling
- تبیین روشن structure–transport relationship
- حداقل یک مسیر ساخت تکرار پذیر و قابل scale-up

موضوع دوم

عنوان فارسی: جاذب‌های انتخاب‌پذیر و جاذب‌های غشایی برای جداسازی‌های سخت و بازیابی منابع

عنوان انگلیسی:

Selective Adsorbents and Adsorptive Membranes for Hard Separations and Resource Recovery

تشریح موضوع:

این موضوع به خانواده‌ای از جاذب‌ها و جاذب‌های غشایی می‌پردازد که برای جداسازی‌هایی طراحی می‌شوند که با فناوری‌های متعارف سخت یا غیراقتصادی‌اند؛ به‌ویژه جداسازی یون‌های با رفتار مشابه، بازیابی مواد با ارزش از جریان‌های رقیق و حذف آلاینده‌های پایدار و مقاوم. نوآوری اصلی صرفاً در «ظرفیت جذب» نیست، بلکه در selectivity-by-design و قابلیت بازتولید تکرارپذیر است. نمونه‌های شاخص این موج شامل استخراج مستقیم لیتیوم (DLE)، adsorptive membranes برای عملکرد انتخابی یون‌ها در الکترودیالیز، جاذب‌ها و جاذب‌های غشایی مناسب برای PFAS و سامانه‌های ion-imprinted یا molecularly imprinted هستند.

زیرموضوع‌های پیشنهادی:

- جاذب‌ها و غشاهای انتخاب‌پذیر برای DLE از شورابه‌های نمکی، زمین‌گرمایی و آب‌های شور صنعتی
- ion-sieve، crown-ether، ion-trap و membrane/electrodialysis platforms برای جداسازی Li^+ از $Mg^{2+}/Na^+/Ca^{2+}$
- جاذب‌ها و جاذب‌های غشایی نانویی برای PFAS های کوتاه‌زنجیر و بلندزنجیر
- جاذب‌ها و غشاهای imprinting-based برای یون‌ها و مولکول‌های هدف
- پلتفرم‌های بازیابی بور، عناصر نادر خاکی، آمونیوم و سایر یون‌های ارزشمند از پساب و شورابه

شامل چه مواردی نمی‌شود؟

- کربن فعال یا رزین‌های متداول بدون انتخاب‌پذیری مهندسی شده
- پروژه‌های معدنی/فرآیندی که نوآوری‌شان در استخراج، تبخیر یا ته‌نشینی است نه در غشا/جاذب
- مطالعاتی که فقط ظرفیت جذب را در آب خالص گزارش می‌کنند و selectivity، regeneration یا real matrix ندارند
- حذف‌های کلی نگر «هر آلاینده‌ای» بدون در نظر گرفتن ویژگی‌های هدف

چه چیزی را ممکن می‌کند که قبلاً ممکن نبود؟

- بازیابی انتخابی مواد با ارزش از جریان‌های بسیار رقیق

- ادغام capture و desalting در یک مرحله عملیاتی
- کاهش وابستگی به تبخیرهای زمان‌بر یا مواد شیمیایی سنگین در DLE
- حذف مؤثر آلاینده‌های سخت‌گیر مانند PFAS با قابلیت بازیابی/تغلیظ و بازتولید جاذب

گلوگاه‌ها:

- افت انتخاب‌پذیری در حضور co-ion ها، شوری بالا و NOM
- هزینه چرخه‌های بازیابی
- پایداری جاذب/غشا در سیکل‌های متعدد

خروجی‌های مورد انتظار:

- داده انتخاب‌پذیری در ماتریس واقعی، نه فقط خوراک مصنوعی
- حداقل چند سیکل regeneration با افت عملکرد محدود
- بررسی تطبیقی شفاف در برابر جاذب یا غشای مرجع

موضوع سوم

عنوان فارسی: سامانه‌های غشایی و جذب‌محور واکنشی با قابلیت بازتولیدپذیر

عنوان انگلیسی:

Reactive, Electrified, and Regenerable Membrane–Adsorbent Systems

تشریح موضوع:

این موضوع به پلتفرم‌هایی می‌پردازد که در آن‌ها غشا یا جاذب دیگر یک جزء منفعل نیست، بلکه به‌صورت فعال در تبدیل، تخریب، تنظیم انتخاب‌پذیر یا احیا نقش دارد. electrified membranes از ادبیات جداسازی صرف عبور کرده‌اند و نشان داده‌اند که می‌توانند عملکردهایی فراتر از جداسازی کلاسیک ایجاد کنند. در همین مسیر، membrane-catalyst electrochemical و adsorptive conductive membranes reactive membranes hybrids و swing systems در حال تبدیل شدن به میدان‌های پژوهشی غنی هستند. منطق نوآوری اینجاست که capture و regeneration یا transformation در یک پلتفرم واحد نزدیک شوند.

زیرموضوع‌های پیشنهادی:

- غشاهای رسانای UF/NF با rejection و flux تنظیم‌پذیر تحت پتانسیل
- electrified membranes برای حذف و/یا تجزیه آلاینده‌های آلی و معدنی
- reactive membranes مبتنی بر electro-Fenton، ROS-assisted یا photo/electrocatalytic pathways
- adsorptive membranes با regeneration الکتروشیمیایی یا swing adsorption/electrosorption
- غشاها و جاذب‌های کاتالیستی single-atom یا nanofluidic catalytic platforms
- غشاهای anti-fouling پویا و self-cleaning interfaces

شامل چه مواردی نمی‌شود؟

- راکتورهای الکتروشیمیایی که غشا/جاذب در آن‌ها جزء کلیدی نیست
- سوسپانسیون‌های کاتالیستی بدون membrane/adsorbent platform
- پروژه‌های صرفاً تخریب آلاینده بدون منطق capture-selective interface
- پوشش‌های ضدآلودگی معمولی که رفتار دینامیک یا سازوکار رهایش ندارند

چه چیزی را ممکن می‌کند که قبلاً ممکن نبود؟

- جمع کردن capture، conversion و regeneration در یک ماژول

- حذف آلاینده در محل capture به جای تولید brine آلوده
- تنظیم لحظه ای rejection و transport با محرک خارجی
- کاهش مصرف مواد شیمیایی احیا و افزایش عمر کاری سامانه

گلوگاه‌ها:

- محدودیت‌های انتقال جرم و مقاومت الکتریکی/غشایی
- پایداری هدایت الکتریکی و retention کاتالیست
- formation of by-products و نیاز به control دقیق شیمی سطح
- پیچیدگی scale-up، cleaning و operation safety

خروجی‌های مورد انتظار:

- داده هم‌زمان separation + reaction/regeneration
- آزمون effluent quality و by-product
- عملکرد در شرایط واقعی جریان

موضوع چهارم

عنوان فارسی: جاذب‌ها و سامانه‌های برداشت آب از هوا و جداسازی رطوبت محیط

عنوان انگلیسی:

Sorption-Driven Atmospheric Water Harvesting and Humid-Air Separation Platforms

تشریح موضوع:

این موضوع به مواد و سامانه‌هایی می‌پردازد که رطوبت هوا را حتی در شرایط کم‌رطوبت، جذب، متمرکز و آزاد می‌کنند تا به آب قابل استفاده برسند. تمرکز علمی این حوزه روی جذب فیزیکی، مدیریت رهایش، دوام چرخه‌ای و اتصال capture به condensation یا harvesting architecture است. پژوهش‌های جدید نشان می‌دهد AWH فقط یک موضوع دستگاهی نیست؛ گره‌های اصلی آن در سطح ماده و فصل مشترک قرار دارد: سینتیک کند، واجذب پرهزینه، دوام پایین هیدروژل‌ها، نشتی نمک و عملکرد ضعیف در RH پایین. هم‌زمان، کارهای جدید روی ژل‌های متخلخل، رهایش مکانیکی، سیستم‌های ترکیبی خورشیدی و off-grid harvesting، این حوزه را به یک موضوع پیشرو واقعی تبدیل کرده‌اند.

زیرموضوع‌های پیشنهادی:

- hygroscopic nanocomposite hydrogels با سینتیک سریع جذب/واجذب
- salt-infused porous materials و polymer-salt composites با پایداری چرخه‌ای بالا
- MOF/COF sorbents و hybrid sorbent-membrane architectures
- سامانه‌های continuous AWH در RH پایین و all-day operation
- رهایش راهبردی مبتنی بر خورشید، باد، ارتعاش مکانیکی یا مدیریت گرمای نهان
- مسیره‌های coupled water harvesting with humidity-to-electric/thermal پ
- functions، مشروط به این که core innovation در خود sorbent/interface باشد

شامل چه مواردی نمی‌شود؟

- دستگاه‌های رطوبت‌گیر متعارف بدون نوآوری در فرایند جذب
- سیستم‌های صرفاً condensation-based
- سامانه‌های آبرسانی روستایی یا HVAC که سهم نوآوری غشا/جاذب در آن‌ها فرعی است
- مطالعاتی که فقط جذب اولیه را گزارش می‌کنند و cycling، release و کنترل کیفیت آب ندارند.

چه چیزی را ممکن می‌کند که قبلاً ممکن نبود؟

- تولید آب غیرمتمرکز و off-grid از هوا

- کار در اقلیم‌های خشک با ورود آبی صفر
- اتصال برداشت آب به سامانه‌های کوچک انرژی یا کشاورزی محلی
- طراحی سامانه‌های سبک، modular و کم‌وابسته به زیرساخت

گلوگاه‌ها:

- trade-off میان easy release و water uptake
- Durability و metal/salt mediated degradation
- مدیریت heat integration و condensation
- عملکرد واقعی در RH پایین و شرایط میدانی

خروجی‌های مورد انتظار:

- داده تولید روزانه آب در RH و دمای مشخص
- آزمون دوام چنده/چندصده سیکل
- کیفیت آب و carryover assessment
- energy balance یا passive-operability analysis

موضوع پنجم

عنوان فارسی: نانو غشاهای و سامانه‌های نانوفلوئیدیکی برای تبدیل آب-انرژی و بهره‌برداری از گرادیان‌های یونی

عنوان انگلیسی:

Nanofluidic Membranes for Water-Energy Conversion and Ionic Gradient Harvesting

تشریح موضوع:

این موضوع به سامانه‌هایی می‌پردازد که در آن‌ها نانوساختار غشایی، اختلاف شوری، تبخیر، رطوبت یا سایر گرادیان‌های وابسته به آب را به انرژی الکتریکی یا حرارتی تبدیل می‌کند. نمونه‌ی روشن آن osmotic power است که در سال‌های اخیر با 2D ion-selective membranes و hetero-nanochannels جهش معناداری داشته، اما هنوز در شرایط hypersaline و خوارک‌های واقعی با افت انتخاب‌پذیری و افت توان مواجه است. گره اصلی در ion transport membrane و fouling resistance, surface charge, channel asymmetry, engineering resistance قرار دارد، نه در تجهیزات انرژی کلاسیک.

زیرموضوع‌های پیشنهادی:

- غشاهای نانوفلوئیدیکی و ion-selective membranes برای osmotic / salinity-gradient power
- hetero-nanochannels, ionic diodes, Turing-type channels و asymmetric transport architectures
- غشاهای برای کار در hypersaline brines, salt-lake brines و desalination brines
- سامانه‌های coupled desalination-energy recovery یا lithium-recovery-energy coupling
- water/moisture-interfacing nanomaterials برای hydrovoltaic و moisture-induced generation, فقط در صورتی که مشارکت اصلی در membrane/nano-interface باشد

شامل چه مواردی نمی‌شود؟

- سامانه‌های انرژی تجدیدپذیر عمومی که وابسته به membrane/nanosorbent physics نیستند
- RED/PRO متعارف بدون نوآوری ماده یا نانوکanal
- پروژه‌های power electronics یا balance-of-plant
- رطوبت‌برق‌گیری صرفاً مبتنی بر سنسور یا دستگاه، بدون مسئله جداسازی/انتقال

چه چیزی را ممکن می کند که قبلاً ممکن نبود؟

- تولید برق از شورابه، پساب شور و اختلاف شوری منابع آبی
- اتصال energy recovery به resource recovery
- بهره‌برداری از خوراک‌های شور دشوار که برای آب مفید نیستند ولی برای گرا دیان یونی ارزش دارند
- توسعه water-interfacing energy systems کوچک و غیرمتمرکز

گلوگاه‌ها:

- افت انتخاب‌پذیری در شوری‌های بالا و charge screening
- fouling/scaling و افت کارایی در طولانی مدت
- مقاومت غشایی و trade-off میان شار و تولید ولتاژ
- دشواری آزمون در شرایط واقعی چندجزئی

خروجی‌های مورد انتظار:

- stability under realistic feed و power density
- داده انتخاب‌پذیری در محیط چندیونی
- operational durability آزمون
- تحلیل coupling با desalination، DLE یا brine management

موضوع ششم

عنوان فارسی: دوام‌پذیری، ضدگرفتگی پویا و پلتفرم‌های شتاب‌دهنده توسعه برای غشاهای و جاذب‌ها

عنوان انگلیسی:

Durability, Dynamic Antifouling, and Accelerated Development Platforms for Membranes and Adsorbents

تشریح موضوع:

در AWH، DLE، COF membranes، smart membranes و reactive systems، یکی از تکرارشونده‌ترین گلوگاه‌ها دوام، regeneration، real-matrix stability و افزایش مقیاس است. کارهای جدید روی dynamic antifouling surfaces، microdomain mobility، high-throughput screening و membrane-mimic microfluidic platforms نشان می‌دهد که «روش توسعه و ارزیابی» به یک حوزه نوظهور پژوهشی تبدیل شده است.

زیرموضوع‌های پیشنهادی:

- dynamic antifouling / antiscaling interfaces و resistance–release surfaces
- self-cleaning، self-healing یا adaptive membrane/adsorbent interfaces
- microfluidic testbeds، fouling، concentration polarization، wetting و cleaning برای غشاهای و جاذب‌ها
- high-throughput screening و accelerated aging
- foulant evolution و ion transport، adsorption fronts برای operando diagnostics
- real-matrix validation، چرخه‌های regeneration، performance با TEA/LCA

شامل چه مواردی نمی‌شود؟

- تست‌های کوتاه‌مدت در آب خالص بدون fouling/scaling challenge
- صرفاً CFD یا ML بدون اعتبارسنجی تجربی
- سنجش‌های اولیه بدون چرخه‌های پاک‌سازی/احیا
- گزارش عملکرد تک‌نقطه‌ای بدون reproducibility و uncertainty

چه چیزی را ممکن می‌کند که قبلاً ممکن نبود؟

- کاهش فاصله میان pilot-relevant performance و proof-of-concept
- غربال‌گری سریع‌تر مواد و فرمولاسیون‌ها

- مقایسه‌پذیری واقعی بین پیشنهادات و تیم‌ها
- کاهش ریسک سرمایه‌گذاری پژوهشی روی فناوری‌های ناپایدار

گلوگاه‌ها:

- نبود پروتکل‌های استاندارد برای real-matrix benchmarking
- زمان‌بر بودن تست‌های عمر
- دشواری اتصال داده مواد به داده سامانه و هزینه چرخه عمر

خروجی‌های مورد انتظار:

- پروتکل آزمون تکرارپذیر و benchmarkable
- داده durability/regeneration/aging
- شناسایی failure modes
- مسیر روشن برای scale-up readiness یا de-risking