

Ura garbitzeko mintzak: funtzionamendua eta lorpena

Membranes for water remediation: operation mechanism and obtention

*Peio Martinez eta Antonio Veloso-Fernández**

Kimika Fisikoa Saila, Zientzia eta Teknologia Fakultatea FCT/ZTF, Euskal Herriko Unibertsitatea
UPV/EHU

LABURPENA: Munduan zehar aurkitzen den arazo larrienetariko edateko uraren gabezia hazkorra da, hainbat kutsatzailek eraginda. Mintzen garapena premia handia da baldintza urtar ezberdinetan kutsatzaileen kudeaketa aurrera eramateko, garbiketa mekanismo ezberdinen arabera (tamaina arabera bereizketa edo adsortzioa) material ezberdinak erabil daitezke, orokorrean polimeroak edo zeramikak izanik. Modu honetan, prozesatze metodo asko garatu dira material eta baldintzen arabera. Alde batetik, zeramikak zurrinak eta kimikoki geldoak izanik, beraien prozesatzea zein erabilera muturreko baldintzetan ematen dira. Beste aldetik, polimeroak disolbagarriak eta tenperaturarekin biguntzeko gaitasuna izanik, baldintza leunagoetan maneiatu behar dira. Lan honetan, ura garbitzeko erabiltzen diren mintzen ezaugarri orokorrak aurkezten dira, hau da, kutsatzaileak kentzeko erabiltzen diren mekanismo fisiko eta/edo kimikoak, mintz bat eratzeke prozesatze-teknikak eta sortzeko material desberdinen propietateak.

HITZ GAKOAK: edateko ura, mintzak, kutsatzaileak, polimeroak, zeramikak, adsortzioa, iragazketa.

ABSTRACT: The diminishing amount of drinking water across the world due to different pollutants is one of the most worrying problems nowadays. The development of membranes is preferential given their ability to deal with pollutants in various aquatic medias, through a selection of mechanisms (size exclusion and adsorption) appropriate materials can be chosen, usually polymers or ceramics. Thus, many processing methods have been developed according to materials and requirements. On the one hand, ceramics are resistant and chemically stable, making their processing and usage focused on extreme conditions. On the other hand, polymers being soluble and able to soften under high temperature are processed and used in moderate conditions. This work presents the general characteristics of membranes used for water remediation, that is, physical and/or chemical mechanisms used to remove contaminants, the processing techniques to form a membrane and the properties of different materials to form them.

KEYWORDS: drinking water, membranes, pollutants, polymers, ceramics, adsorption, filtration.

1

***Harremanetan jartzeko/ Corresponding author:** Antonio Veloso Fernández, Kimika Fisikoa Saila, Zientzia eta Teknologia Fakultatea FCT/ZTF, Euskal Herriko Unibertsitatea UPV/EHU, Sarriena auzoa z/g, 48940, Leioa, Bizkaia. <https://orcid.org/0000-0003-1309-2373>, antonio.veloso@ehu.eus

Nola aipatu / How to cite Martinez, Peio; Veloso-Fernández, Antonio (2024) << Ura garbitzeko mintzak: funtzionamendua eta lorpena >>, Ekaia, 47, xx-xx. (<https://doi.org/10.1387/ekaia.26141>)

Jasoa: martxoak 18, 2024; Onartua: maiatzak 21, 2024

ISSN 0214-9001-eISSN 2444-3225 / © 2024 UPV/EHU



1. SARRERA

Ura bizitza eta giza aktibitaterako beharrezkoa den baliabidea da, zeinen gabezia egunero handitzen den kutsadura edo, herrialde txiroenetan, hau garbitzeko baliabide faltagatik. Arazo honen aurreko konponbide nagusia uretan dauden edo honetara isuriko lirategen kutsatzaileak kudeatzea da, honetarako metodorik egokiena etekin altuaz, modu selektiboan eta azpi-produktu kantitate gutxien sortuz operatzen duena da. Modu honetan, uraren tratamendua hiru fasetan ezberdintzen da: primarioa, sekundarioa eta tertziarioa. Fase primarioan solidoak eta olioak kudeatzen dira sedimentazio prozesuen bitartez, fase sekundarioan bakterioak erabiltzen dira materia organikoa metabolizatzeko eta uretatik kentzeko, fase tertziarioan uretan geratu diren solidoak eta konposatu disolbatuak kudeatzen dira. Azkenengo fase honetan tratatzen diren kutsatzaileak ugariak eta natura ezberdinekoak dira, hainbat prozesu erabili behar izanik aukera guztiak barneratzeko, baliabide zein denbora erabilera handiak behar izanik [1]. Arazo honi konponbidea emateko, mintzen erabilpenean pentsatu da fase honetarako, hauek hainbat material, prozesatze eta forma ezberdinetara egokitu baitaitezke, behar diren propietate eta kutsatzaileen arabera [2].

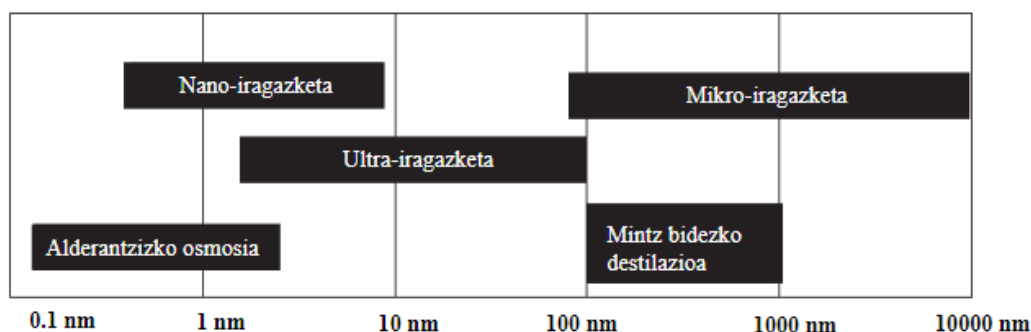
Kutsatzaileen klasifikazio eta mota anitz daudelarik, ez da erraza mekanismo edo kalte moten orokortasun bat aurkeztea fenomeno honen aurrean, baina beraien izaera kimikoa kontuan izanik kutsatzaileak sedimentu, organiko eta ez-organiko modura klasifika daitezke. Sedimentuak, kimikoki geldoak diren partikula edo agregatu solidoak dira, baina organismoaren barruan oztopo fisikoak jar dezakete; adibidez, odol jarioaren moteltzea edo arnas bideen estaltzea. Hauek tamainaren bitartez selektiboki ken daitezke. Kutsatzaile organiko zein ez-organikoei dagokienez, kimikoki erreaktiboak dira eta mintzarekin sortzen duten elkarrekintza kimikoek modu errazean kentzea ahalbidetzen dute. Organikoen kasuan, konposatu karbonodunak dira, eta ez-organikoen metal astunak, gatzak eta metalen bestelako konposatuak barneratzen dute [3]. Modu honetan, nahiz eta taldeen barruan mekanismo ezberdinak agertu, talde bakoitzak antzeko propietate kimiko eta fisiko orokorrak aurkezten ditu, mintzen prozesaketa ezberdinen bitartez kutsatzaile hauen garbiketa selektiboa ahalbidetuz.

Kutsatzaileak ingurune likidotik kanporatzeko dagoen aukerarik egokiena mintzak dira. Mintza fluido batean murgilduta dagoen geruza porotsu modura defini daiteke, fenomeno ezberdinen bitartez (osmosia, dialisia...) hainbat konposatuen kontzentrazio *hauek argiaren bidezko* razio aldaketa selektiboa ahalbidetzen duena. Horrela definituz, mintzek bi ezaugarri interesgarri aurkezten dituzte. Alde batetik, fluido batean egon daitezkeen partikulak edota kutsatzaileak kentzeko gaitasun moldagarria dute, eta beste aldetik, poroen propietateak beharrezkoak diren baldintzetara egokitze aukera dute.

Lan honetan mintzen ezaugarri orokorrak eta material zein prozesatzearekin duten lotura orokorra azalduko dira, baita mintzek duten funtzionamenduaren oinarria. Honetarako, lehenik mintzen orokortasunak azalduko dira, ondoren hauek jarraitzen dituzten mekanismoak uren garbiketa aurrera eramateko azalduko dira, eta azkenik, material ezberdinek dituzten propietateak eta mintz bat sortzeko nola prozesatu daitezkeen azalduko da.

2. MINTZEN OROKORTASUNAK

Mintzen materiala edo prozesatzea ezberdina izanda ere, guztiek jarraitzen dituzte bi prozesu jakin: tamaina araberako bereizketa eta adsortzioa. Bi mekanismoak poroetan gertatzen diren prozesuetan oinarritzen dira, hauek mintzari eta bere talde kimikoei azalera gehiago ematen baitiete gune aktiboak sortuz, baina jokabide ezberdinak jarraitzen dituzte. Tamaina araberako bereizketa poroaren diametroaren arabera ematen da, hau baino handiagoak diren konposatuak ez dute mintza zeharkatzen, poroaren tamainaren arabera bost prozesu ezberdinei izena emanez: mikro-, ultra- eta nano-iragazketak, mintz bidezko destilazioa eta alderantzizko osmosia (**1. irudia**) [4]. Adsortzioan, aldiz, bi kasu ezberdinu daitezke: fisisortzioa eta kimisortzioa. Lehenengo kasuan, mintzaren eta konposatuaren arteko indar fisikoek (hidrogeno zubiak edo ioi-ioi elkarrekintzak adibidez) eragozpenak sortzen dituzte. Bigarren kasuan, mintz eta konposatuaren arteko erreakzio kimiko bat ematen da, kutsatzaileen adsortzio espezifiko eta etekin altua ahalbidetuz, baina mintzaren berrerabilpena mugatuz [5].



1. irudia. Mintzaren poro tamainaren arabera bereizketa prozesu ezberdinak.

Bestalde, adsortzioan eragin handiena duen parametroa mintzaren materiala da, hau baita elkarrekintza mota eta hauen sendotasuna zehazten dituena, beraz selektibitatea eta etekina baldintzatzen dituena. Materialei dagokienez, polimeroak dira erabilienak, beraien sintesi prozesuan nahi diren propietate fisiko-kimikoak aldatzeko eta optimizatzeko aukera ematen duten bitartean, beste motatako konposatuak (*filler* edo karga deiturikoak) gehitzeko gaitasuna dute eta modu horretan propietate zehatz bat eman ahal zaie. Erabiltzen diren kargen artean, ohikoa da Titanio (IV) oxidoaren nanopartikulak

gehitzea, hauek argiaren bidezko degradazioa kataliza dezakete mintzean geratzen diren bakterioak edo konposatu organiko kutsakorrek degradatuz [6]. Erabiltzen den beste material bat zeramikak dira, hauek temperatura altuetan eta muturreko baldintza kimikoetan erabiltzeko aukera ematen dute (pH oso altuak zein baxuak edo ingurune oxidatzaile sendoak adibidez), baina beraien prezio altua eta birziklatzeko zailtasuna eragozpen handiak dira hauen erabileran [7]. Gaur egun garatzen ari diren aukeren artean material nano-egituratuak aurkezten dira, ezagunenak grafeno edota karbonozko nano-tutuak izanda, hauek matrize zurrun batean zehar barreiatzen dira mintza sortzeko, tamainaren arabera bereizketan selektibitate oso handia erakusten dutenak uraren bidean oztoporik ia jartzen ez duten bitartean [8], baina ez dira artikuluko honetan landuko beraien berritasuna dela eta; modu berean aipatzekoak dira nanopartikulak barneratzen dituzten mintzak eta azaleko egitura nano-morfologia kontrolatua dutenak, elkarrekintza espezifikoak bultzatzen dituztenak, esaterako hidrofobia eta metal astunen harrapaketa.

Mintzaren materiala erabaki ondoren, poroen tamaina, distribuzioa eta interkonexio mailari buruzko informazioa zehazten da. Ezaugarri hauek prozesatzearen bitartez aldatzen dira materialaren propietateen arabera, baina gainera, erabili ahal den prozesatzea materiala eta bere *filler*-en arabera mugatua dago. Polimeroen kasuan, konposatu organikoak izanik, ezin dira temperatura altuegiak erabili hauek degradatu gabe, eta gainera, propietate mekaniko mugatuak dituzte, beraien prozesatzea egoera diluitu edo bigun batetik hasi behar izanik [9]. Zeramiken kasuan, disolbatzeko gaitasun murriztua eta zurruntasun altua izanik, beraien hautsen suspentsiotik prozesatzen dira [10]. Hala ere, lehen eman behar den pausoa, mintza oinarrituko den garbiketa mekanismoa erabakitzea da, honek erabil daitezkeen materialak eta, beraz, prozesatzeak, baldintzatzen baititu. Honela, hurrengo paragrafoetan tamaina arabera bereizketak prozesu desberdinak eta adsortzio prozesua laburtuko dira, eta ondoren mintz bat prozesatzeko ohiko metodoak azalduko dira.

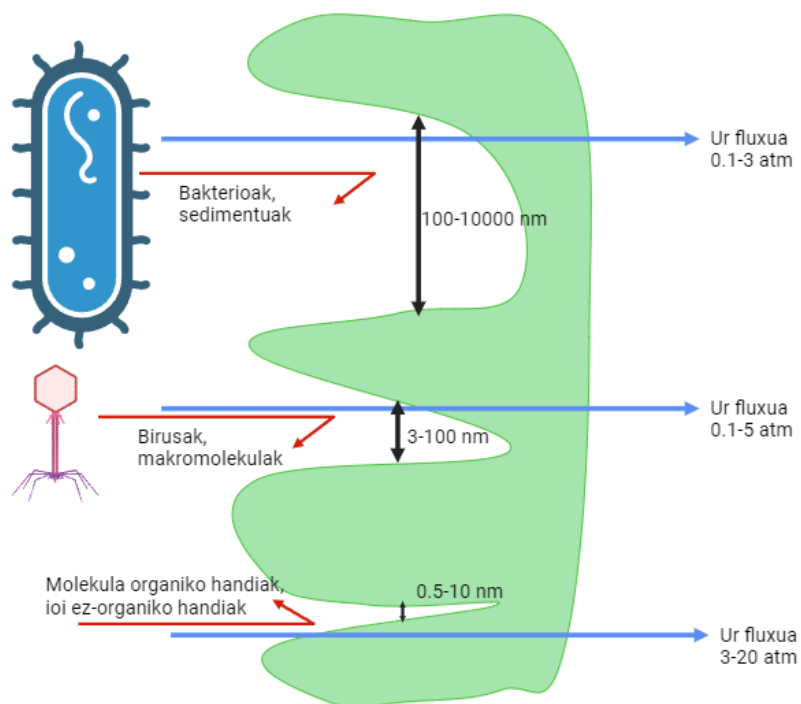
2.1. Tamaina arabera bereizketak prozesuak

2.1.1. Nano-, ultra- eta mikro-iragazketak

Iragazketak prozesu fisikoak dira, non ur fluxu baten aurrean mintza jarri eta tamaina handiko partikula edo konposatuak atzean geratzen diren, ura garbituz. Prozesu hau presiopekoa dela esaten da, hau aurrera eramateko behar den indar eragilea ur fluxuak sortzen duen presioa baita, hau desagertzekotan ez litzateke garbiketarik lortuko. Hiru iragazketa mota desberdin daude: nano-iragazketa, ultra-iragazketa eta mikro-iragazketa. Hiruretan prozesua sinplea eta berdina da, daukaten ezberdintasun bakarra poro-tamaina izanik, **2. irudian** laburbiltzen dira hirurak iragazketak. Mintzaren poro tamaina 100-10000 nm denean mikro-iragazketa ematen da, bakterioak eta sedimentuak iragazteko

gai dena; tamaina 3-100 nm-tara jaistean ultra-iragazketa lortzen da, honetan birusak eta makromolekulak dira atzean geratzen direnak; azkenik, poro-tamaina 0.5-10 nm-tara heltzean, nano-iragazketa ematen da, hau molekula ez-organiko eta organiko handiak iragazteko gai izanik [11].

Poroen tamaina txikitzen denean, mintzaren molekulen arteko distantzia txikitzen da, honek bi fenomeno dakar berarekin. Alde batetik, mintza zeharka dezaketen konposatuen tamaina mugatzen da. Beste aldetik, uraren mugimendua mintzean zehar oztopatuagoa dago eta presio handiago bat behar da prozesua aurrera eramateko. Hau garrantzizkoa da energia kontsumoaren eta mintzaren propietate mekanikoen aldetik, presioa handitu behar izanak energia kostu altuago bat dakar, baita mintza apurtzeko arrisku handiagoa.

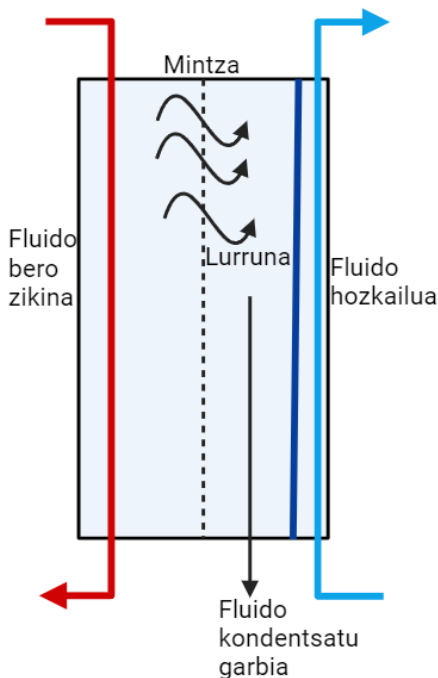


2. irudia. Iragazketa prozesu ezberdinen ezaugarri laburbilduak. Berdez, mintza adierazten da, poro-tamaina ezberdinak erakusten dituena. Gezi urdinek, uraren fluxua adierazten dute, beharrezkoa den presioarekin batera. Gezi laranjaiek, tamaina arabera bereizitako kutsatzaileak adierazten dituzte.

2.1.2. Mintz bidezko destilazioa

Kasu honetan erabiltzen den indar eragilea tenperatura da, disolbatzailearen likido-gas oreka bultzatzeko. Mintz iragazgaitza garbitu nahi den fluxu beroarekiko paraleloki kokatzen da, honen beste

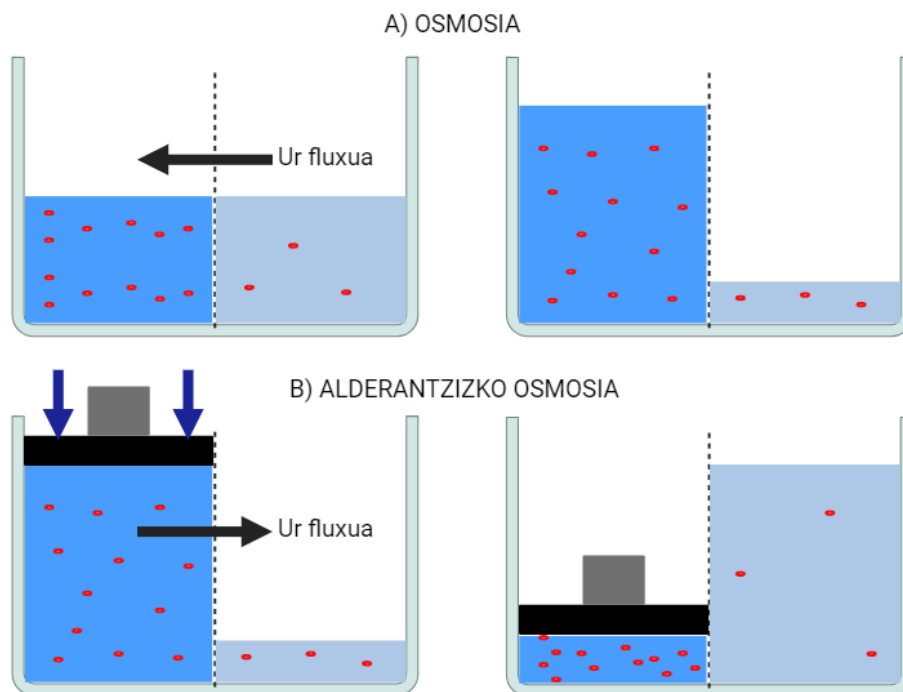
aldean kondentsazio puntu edo gas garraio sistema bat dagoelarik, modu honetan lurrun garbiak mintza zeharkatzen du eta likido zikina atzean geratzen da [12,13], **3. irudian** ikusten den moduan.



3. irudia. Mintz bidezko distilazioaren irudi eskematikoa. Mintzaren alde batean garbitu nahi den ura berotzen da, bere lurrina mintzetik zeharkatzen du eta beste aldean dagoen ingurune hotzean kondentsatzen da.

2.1.3. Alderantzizko osmosia

Prozesu hau ulertzeko lehenik osmosia ezagutu behar da, honetan mintz erdiiragazkor batek solutu kontzentrazio ezberdinak dituzten bi fase urtsu banatzen ditu, ondoren eta kontzentrazio ezberdintasunak bultzaturik, ura kontzentrazio baxuena duen faseetik altuena duenera mugituko da mintzean zehar, bi faseen kontzentrazioa berdindu arte [14]. Honek presio osmotiko deitzen den indar bat sortzen du, hau da, mintzaren bi aldeetan kontzentrazio bera mantentzeko urak mintzaren kontra sortzen duen indarra, hasieran zegoen kontzentrazio ezberdintasunarekiko zuzenki proportzionala dena [15] (**4A. irudia**). Prozesu hau modu naturalean gertatzen da zeluletan, beraien barruan metatzen diren gatz eta metabolitoen kontzentrazioa kontrolatzeko. Alderantzizko osmosian konposatu organiko eta ez-organiko disolbatuen kontzentrazio altua duen ura presiopean jartzen da poro nanometrikoak (0.3-4 nm) dituen mintz baten kontra. Modu honetan, mintzaren alde batean kontzentrazioa igotzen den bitartean, beste aldean ur garbia metatzen da, osmosi prozesu naturalaren kontra joanik eta honek sortzen duen presio osmotikoa gaindituz [16], **4B. irudian** laburtzen den moduan.



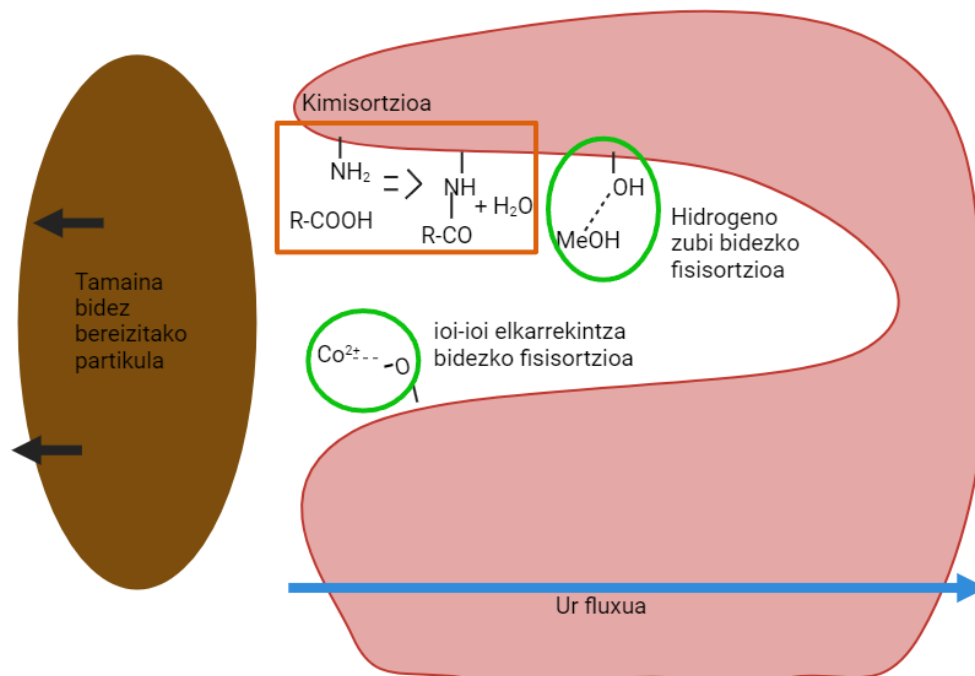
4. irudia. (A) Osmosia eta (B) alderantzizko osmosiaren adierazpen eskematikoak. Borobil gorriak solutuak dira, urdinez eta grisez ur zikin eta garbiak hurrenez hurren, marra etenak mintzak izanik.

2.2. Adsortzio prozesua

Behin tamainaren bidezko eskusioa ikusirik, zehaztasun handiagoa duten adsortzio prozesuak daude, hauek materialaren propietate kimikoen arabera ematen diren indar ezberdinen bidez lortzen dira eta tamainaren arabera sailkatu beharrean elkarrekintza moten arabera sailkatzen dira. Aipatu den moduan, sailkapen orokorra fisisortzioa eta kimisortzioa dira, aplikazioaren arabera bata edo bestea erabiltzen delarik, honetarako bien arteko ezberdintasunak ulertu behar dira.

Fisisortzioa indar fisikoen bitartez ematen da, erakarpen indar ezberdinez balia daitezkeenak. Ohikoenak diren fenomenoak hidrogeno zubiak eta ioien arteko erakarpenak dira. Lehenengo kasuan, oxigeno eta nitrogenodun konposatu polarrak erakartzen dira, eta bigarren kasuan, kontrako zeinua duten ioiak erakartzen dira. Elkarrekintza hauen indarra lotura kimiko batena baino askoz txikiagoa izatean, erraztasunez alderantzika daitezke termikoki edo kimikoki, beraz berrerabil daitezke eta konposatu espektro zabala barneratzen da. Hala ere, espezifikotasun zein etekin aldetik arazoak ematen dira [17].

Kimisortzioaren kasuan, konposatueta indar kimiko batek eragiten du mintzean zehar dauden talde kimikoekin erreakzionaraztea eta lotura bat sortzea [17]. Erreakzio kimikoetan parte hartzen duten taldeekiko espezifikoak direnez, prozesu honetan oinarritzen diren mintzek konposatu zehatzak bereganatzeko gaitasun handia izan ohi dute, etekin handiz konposatu mota gutxi batzuk uretatik kenduz [18]. Elkarrekintza sendo hauek gertatzean berrerabilpena murrizten da, hasierako egoerara bueltatzeko muturreko baldintzak behar izanik eta mintzaren egitura azkar degradatzen da. **5. Irudian**, mintzetan ematen diren prozesuak laburbildu dira, berdez adierazi dira ohikoenak diren fisisortzioak (hidrogeno zubi eta ioi-ioi elkarrekintza bidezkoa) eta laranja kimisortzioaren adibide bat erakusten da (amina eta azido baten erreakzioa amida talde bat sortzeko).



5. irudia. Mintzetan ematen diren prozesuen irudi eskematikoa non tamaina araberako bereizketa (partikula marroia), fisisortzio (borobil berdeak) eta kimisortzio (karratu laranja) prozesuen adibideak adierazten diren.

3. PROZESATZE METODOAK

Materialen propietate orokorrak aipatu ondoren eta mintzean ematen diren prozesu ezberdinak ezagutu direlarik, hauen lorpena azaldu behar da, porositatea eta bere ezaugarriak baldintzatzen dituen parametro garrantzitsuenetarikoa baita. Zeramikak eta polimeroak ezaugarri fisiko oso ezberdinak izanik beraien prozesatzeak puntu ezberdinetan oinarritzen dira. Zeramikak, zurrinak, kimikoki geldoak eta fusio puntu oso altuak izatean hauts moduan edo sintesi zuzenaren bidez prozesatu behar dira [9]. Polimeroak, aldiz, orokorrean hainbat disolbatzailetan disolba daitezke eta beira trantsizio tenperatura

deituriko propietatea dute, non egoera solido eta likidoaren arteko propietateak dituzten, solido fluido edo likido zurrun modura deskriba daitekeena, horregatik beraien prozesatzea disoluzioan edo temperatura altuetan burutu behar da [10].

3.1. Mintz zeramikoen prozesatzea

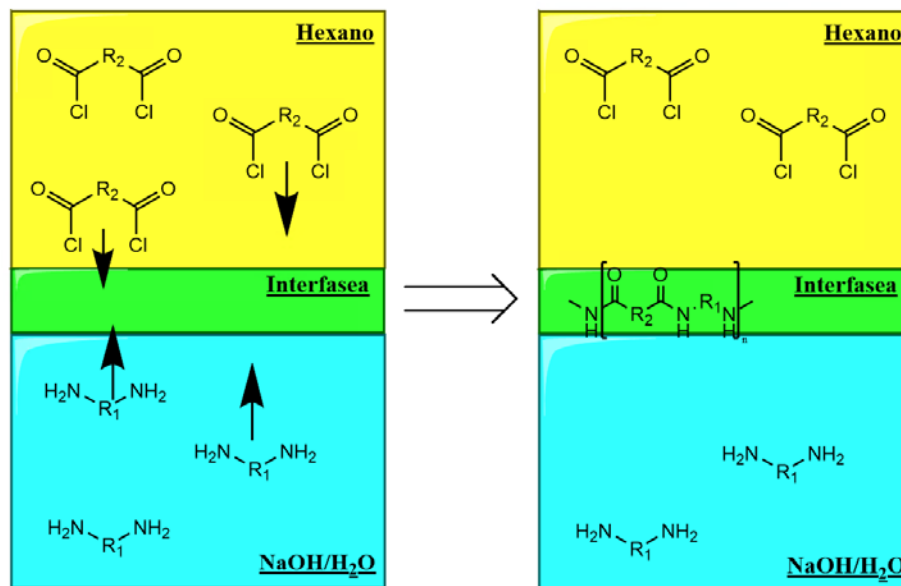
3.1.1. Suspentsioaren bidezko prozesatzea

Zeramiken geldotasun kimikoa kontuan izanik, hauei forma emateko metodarik ohikoena hautsen suspentsiotik hastea da. Hainbat teknika ezberdinen bidez egin daiteke, guztiek antzeko eskema jarraitzen dutelarik: hautsak suspentsio likidoan jarri ondoren, beharrezkoa den forma duen molde edo mekanismo batean sartzen dira, hemen likidoa pixkanaka kanporatzen da hautsak trinkotuz eta, azkenik, temperatura altuko tratamendu bat ezartzen da, non partikula txikienak besteen artean kokatzen diren egitura solido oso bat sortuz. Teknika ezberdinek lortzen dutena mintzaren lodiera ezberdinak dira, poroen kantitatea eta tamaina likido motaren zein hauts/likido erlazioaren arabera aldatzen duten bitartean [19]. Metodo hau aurrera eramateko errazena da, likidoa suspentsiotik kentzeko presioa, temperatura altuak edota hau xurgatzen duen molde porotsu bat erabiltzeak produktuaren lorpen industrialak sinplifikatzen du, suspentsio kantitate handiak prestatu daitezke eta, molde serie baten bidez, produktu kantitate handiak aldi berean sortu; metodo honen desabantaila poroen eta homogeneitatearen kontrol baxua izatea da.

3.1.2. Erreakzio zuzenaren bidezko prozesatzea

Metodo hau jarraituz, lortzen diren mintzak xafla forma izaten dute. Zeramika zuzenean gatzetatik sintetizatzen denez, beste forma batzuk ematea oso zaila da, baina onura modura, poroen ezaugarriak manipulatzeko aukera hobek ematen ditu suspentsio metodoak baino. Talde honetan hiru teknika ezberdin agertzen dira, egoera solidoko prozesatzea, sol-gel metodoa eta baporearen bidezko deposizio kimikoa. Hiruren eskema antzekoa da: zeramika sortzen duten gatzak nahasi eta temperatura altuen bitartez beraien arteko erreakzioa bultzatzen da, zeramika xafla porotsu bat sortuz. Aldatzen den gauza bakarra erreakzio ingurunea da. Egoera solidoan, gatzak zuzenean nahasi eta labean sartzen dira [20]. Sol-gel metodoan, gatzak disolbatu ondoren, zeramikaren konposatu nagusien koloideak sortu eta temperatura altuen bidez erreakzioa eta disolbatzailearen kanporaketa bultzatzen dira [21]. Azkenik, baporearen bidezko metodoa, gatzaren sublimazioan eta temperatura altuen bidezko oxidoen eraketan oinarritzen da [22].

kontzentrazioak eta disolbatzaileak aldatuz honen ezaugarri fisiko guztiak manipulatu ahal direlarik [26]. Teknika honen erabilpen nabariena Nylon-aren sintesia da, **7. irudian** ikusten dena: sodio hidroxido disoluzio batean amina taldeak dituzten kateak disolbatzen dira, ondoren azil haluro taldedun kateak dituen eta nahastezina den hexanoarekin kontaktuan jartzen dena, beraien arteko interfasean Nylon mintza sortuz [27]. Hau produktuaren azalera handiak lortzeko oso metodo sinplea da, baina mintzaren lodiera eta homogeneitatea kontrolatzeko arazoak dakartza.

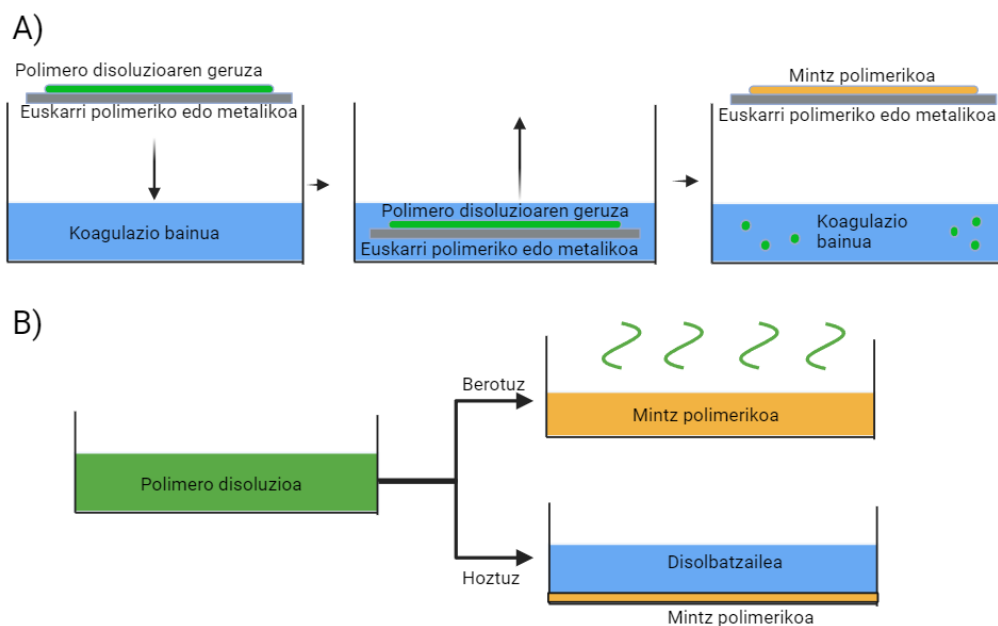


7. irudia. Interfase bidezko prozesatzearen adibide eskematikoa. Nylon-aren sorrera, hexanoaren (gori kolorez) eta sodio hidroxido disoluzioaren (urdin kolorez) arteko interfasean (berdez).

3.2.3. Fase aldaketa

Prozedura hau oreka kimiko edo termikoaren apurketaren bitartez eman daiteke, disolbatzaile inbertsio edo tenperatura inbertsio modura ezagutzen diren metodoen bitartez, hurrenez hurren. Bi kasuetan polimeroa disolbaturik hasten du, ondoren bat-batezko prezipitazioa eraginik, disolbatzaile inbertsioaren kasuan (**8A. irudia**) disoluzioa euskarri batean hedatzen da, ondoren polimeroa disolbaezina den likido bainu batean murgiltzen da. Metodo hau da erabiliena industria mailan mintz polimerikoak eratzeko, bere erraztasuna eta eskala handitzeko gaitasuna direla eta [28]. Tenperatura inbertsioaren kasuan, bide hotza eta bide beroa aurkezten dira (**8B. irudia**), hotzaren kasuan disoluzioaren tenperatura jaitsiz polimeroaren hauspeatzea eragiten da, ez da ohiko metodoa mintzaren propietate oso gutxi kontrola daitezkeelako. Erabiliagoa den bide beroaren kasuan, disolbatzaile nahaste bat erabili ohi da polimeroa disolbatzeko, non polimeroa disolbaezina denean lurrunkortasun baxuena

duen, modu honetan beroak disolbatzailea lurruntzen du eta mintzaren eraketa bultzatzen da [29]. Disolbatzaile inbertsio zein beroaren bidezko tenperatura inbertsioak antzeko abantailak eta desabantailak dituzte: beste metodoak baino proen propietateen kontrol hobea, eskala handitzeko gaitasuna, *filler*-ak barneratzeko erraztasuna eta lodieraren kontrola, baina birziklitzeko zailak diren disolbatzaile organikoen kantitate handiak erabiltzen dituzte.

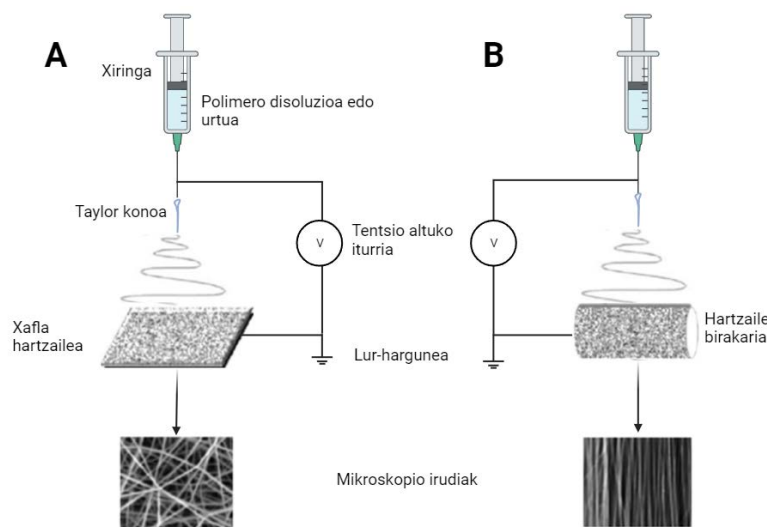


8. irudia. (A) Disolbatzaile inbertsioaren prozesatze irudi eskematikoa, non polimero disoluzioa koagulazio bainu batean murgiltzen den. (B) Tenperatura inbertsioaren eskema sinplea, bide hotza eta beroa adieraziz.

3.2.4. *Elektrospinning teknika*

Mintzean zehar dauden elkarrekintzen efektua optimizatzen dituen faktorea azalera da, hau handituz kontaktu guneak, beraz, konposatuak kentzeko gaitasuna, handitzen dira. Azalera handitzeko metodoetatik onena egitura nanoskopikoak dira, nanopartikulak edo nanozuntzak, esaterako [30]; fenomeno honen aurrean elektrospinning teknika garatu da. Teknika honetan xiringa batean polimero diluitu edo urtua sartzen da eta tentsio elektriko bat ezartzen zaio, ponpa baten bidez fluxu bat sortzen den bitartean [31]. Tentsio elektrikoak kargak sortzen ditu disoluzioan zehar, beraien arteko aldarapenak aurrean jartzen den hartzaile eroale batera bultzatzen dutelarik. Luzapen indarraren kontra disoluzioaren biskositatea dago, hau disoluzioaren deformatzeko zailtasuna da eta nanozuntzen eraketa zailtzen duen bitartean, behin hauek sortzen direla, beraien sorrera jarraitua errazten du. Potentzial elektriko eta biskositatea orekatzen direnean, polimeroa hartzaile metalikora luzatzen da Taylor kono deiturikoa

sortuz, bidean disolbatzailea lurruntzen delarik eta modu berean polimeroa solidifikatuz, nanozuntzak eratuz [32]. **9. irudian**, teknika honen ohiko bi muntaiak irudikatu dira, non hartzaile ezberdinak ikusten diren. Hartzaile lauak (**9A. irudia**) ez du ezaugarri berezirik, zuntzak zorizko norabideetan biltzen ditu eta, distantziaren arabera, azalera handiagoa hartzen dute. Hartzaile birakariaren kasuan (**9B. irudia**), bira abiadura bat ezarri behar da, modu honetan zuntzek birarekiko paraleloak diren norabideak hartzen dituzte, mintzari norabidearekiko ezberdinak izan daitezkeen propietateak (anisotropikoak) emanez. Metodo honen bitartez adsortzio gaitasun altuko mintzak sortzen dira eta beraien lodiera kontrolatu daiteke, aldi berean, mintzean geratzen den disolbatzaile kopurua txikia da beste metodoekin konparatuz. Alde negatibo modura metodo hau ez du polimero guztietarako balio, gainera optimizazio prozesu sakona behar du polimero edo polimero sistema bakoitzerako eta *filler*-ak erabiltzean parametro optimoak alda daitezke, denbora eskaera handia sortzen duena.



9. irudia. Elektrosprink muntaiaren adibideak: (A) hartzaile lau erabilita hausazko zuntzak lortzeko, eta (B) hartzaile birakaria erabilita zuntzen norabidea baldintzatuz.

4. ONDORIOAK

Lan honetan erakusten den moduan, material ezberdinek aurkezten dituzten prozesatze aukerak oso ezberdinak dira, hauen bitartez lortzen diren produktuen modura, bakoitza bere abantailak eta desabantailak izanik eman ahal zaizkien erabilerak ez dira guztiz berdinak, nahiz eta antzeko morfologiak izan. Gaur egungo erronkak honen hobekuntzan daude, uren garbiketarekin batera, prozesu industrialen jasangarritasuna eta etekina handitzeko aukera ematen baitute, bizitza kalitatearen hobetzea bermatuz. Aldi berean, prozesu hauetan sortzen diren hondakinen kudeaketan eta mintzen

berrerabilpenean aurkitzen dira arazoak, hauek denborarekin degradatzen dira eta uren kutsadura sortzeko arriskua izan dezakete, horregatik material ezberdinen nahasketatik sortutako mintzak eta gaitasun bereziak dituzten materialen ikerkuntza aurrera eramaten ari da: polimero-zeramika mintz hibridoak, kutsatzaileen degradazio arina bultzatzen dituzten konposatuak, degradazioan produktu geldoak edo onuragarriak sortzen dituzten materialak... hau guztia ahal den kimiko toxikoen kopuru baxuena erabiliz

Garapena aurrera joan ahala eta prozeduren zein materialen ezaugarriak zehaztasun handiagoaz ezagutzen direlarik, hauen konbinazioa aurrera eramatea errazagoa eta merkeagoa bilakatzen ari da, bata bestearen ahultasunak deuseztatuz eta arazoen aurrean konponbide hobeak emanez. Aldi berean, erabilera berriak aurkitzeko aukera ematen dira eta beste motatako eremuetan lana aurreratzen da, esaterako, medikuntzan zauri estalketak sortuz edo energiaren industrian hau gordetzeko beste baliabideak emanez. Ikerkuntzaren garrantzia gai hauetan islatzen da, ulerkuntza garatuz eta ahal den maila guztietara eramanez, mundua hobetzeko gaitasuna aurkitzen da.

ESKER ONAK

Egileek eskerrak eman nahi dizkiote Euskal Autonomia Erkidegoko Gobernuari laguntza finantzarioagatik (Ikerketa Taldeak, IT1756-22), Elkartek Programa SMYRNA proiektuaren bidez (MX-2023/00028).

5. BIBLIOGRAFIA

- [1] SONUNE, A.; GHATE, R. 2004. <<Developments in wastewater treatment methods>>. *DESALINATION A. Sonune, R. Ghate / Desalination*, **167**, 55–63.
- [2] HIDALGO, A. M.; MURCIA, M. D. 2021. <<Membranes for water and wastewater treatment>>. *Membranes*, **11**, DOI: 10.3390/membranes11040295.
- [3] GHANGREKAR, M. M.; CHATTERJEE, P. Carbon Nanostructures. Springer International Publishing 2018, . 11–26.
- [4] LALIA, B. S.; KOCHKODAN, V.; HASHAIKEH, R.; HILAL, N. 2013. <<A review on membrane fabrication: Structure, properties and performance relationship>>. *Desalination*, **326**, 77–95.
- [5] KRÁLIK, M. 2014. <<Adsorption, chemisorption, and catalysis>>. *Chemical Papers*, **68**, 1625–1638.
- [6] COVALIU-MIERLĂ, C. I.; MATEI, E.; STOIAN, O.; COVALIU, L.; CONSTANDACHE, A. C.; IOVU, H.; PARASCHIV, G. 2022. <<TiO₂-Based Nanofibrous Membranes for Environmental Protection>>. *Membranes*, **12**, DOI: 10.3390/membranes12020236.
- [7] ISSAOUI, M.; LIMOUSY, L. 2019. <<Low-cost ceramic membranes: Synthesis, classifications, and applications>>. *Comptes Rendus Chimie*, **22**, 175–187.
- [8] RASHID, M. H. O.; RALPH, S. F. 2017. <<Carbon nanotube membranes: Synthesis, properties, and future filtration applications>>. *Nanomaterials*, **7**, DOI: 10.3390/nano7050099.

- [9] MADAENI, S. S.; GHAEMI, N.; RAJABI, H. Advances in Membrane Technologies for Water Treatment: Materials, Processes and Applications. Elsevier Inc. 2015, 3–41.
- [10] AMIN, S. K.; MOHAMED, H.; ROUSHDY, M. H.; ALY EL-SHERBINY, C. 2016. <<An Overview of Production and Development of Ceramic Membranes>>. *International Journal of Applied Engineering Research*, **11**, 7708–7721.
- [11] HAKAMI, M. W.; ALKHUHDHRI, A.; AL-BATTY, S.; ZACHAROF, M. P.; MADDY, J.; HILAL, N. 2020. <<Ceramic microfiltration membranes in wastewater treatment: Filtration behavior, fouling and prevention>>. *Membranes*, **10**, 1–34.
- [12] M. KHAYET; T. MATSUMURA. 2011. *Membrane Distillation*. Elsevier.
- [13] ALKHUHDHRI, A.; DARWISH, N.; HILAL, N. 2012. <<Membrane distillation: A comprehensive review>>. *Desalination*, **287**, 2–18.
- [14] KAHRIZI, M.; GONZALES, R. R.; KONG, L.; MATSUYAMA, H.; LU, P.; LIN, J.; ZHAO, S. 2022. <<Significant roles of substrate properties in forward osmosis membrane performance: A review>>. *Desalination*, **528**, DOI: 10.1016/j.desal.2022.115615.
- [15] LUO, Y.; ROUX, B. 2010. <<Simulation of osmotic pressure in concentrated aqueous salt solutions>>. *Journal of Physical Chemistry Letters*, **1**, 183–189.
- [16] JOO, S. H.; TANSEL, B. 2015. <<Novel technologies for reverse osmosis concentrate treatment: A review>>. *Journal of Environmental Management*, **150**, 322–335.
- [17] RATHI, B. S.; KUMAR, P. S. 2021. <<Application of adsorption process for effective removal of emerging contaminants from water and wastewater>>. *Environmental Pollution*, **280**, DOI: 10.1016/j.envpol.2021.116995.
- [18] WHITTEN, J. L.; YANG, H. n.d. *Theory of Chemisorption and Reactions on Metal Surfaces*.
- [19] HUBADILLAH, S. K.; OTHMAN, M. H. D.; MATSUURA, T.; ISMAIL, A. F.; RAHMAN, M. A.; HARUN, Z.; JAAFAR, J.; NOMURA, M. 2018. <<Fabrications and applications of low cost ceramic membrane from kaolin: A comprehensive review>>. *Ceramics International*, **44**, 4538–4560.
- [20] MARINOIU, A.; IORDACHE, M.; TILIAKOS, A. 2022. <<Solid-state synthesis of optimized NASICON Na₃Zr₂Si₂PO₁₂ ceramic membranes>>. *Revue Roumaine de Chimie*, **67**, 63–70.
- [21] AGOUDJIL, N.; KERMADI, S.; LARBOT, A. 2008. <<Synthesis of inorganic membrane by sol-gel process>>. *Desalination*, **223**, 417–424.
- [22] KHATIB, S. J.; OYAMA, S. T. 2013. <<Silica membranes for hydrogen separation prepared by chemical vapor deposition (CVD)>>. *Separation and Purification Technology*, **111**, 20–42.
- [23] KOMALADEWI, A. A. I. A. S.; ARYANTI, P. T. P.; LUGITO, G.; WAYAN SURATA, I.; GEDE WENTEN, I.E3S Web of Conferences. EDP Sciences 2018.
- [24] LI, K.; ZHANG, Y.; XU, L.; ZENG, F.; HOU, D.; WANG, J. 2018. <<Optimizing stretching conditions in fabrication of PTFE hollow fiber membrane for performance improvement in membrane distillation>>. *Journal of Membrane Science*, **550**, 126–135.
- [25] ZHANG, F.; FAN, J. BING; WANG, S. 2020. <<Interfacial Polymerization: From Chemistry to Functional Materials>>. *Angewandte Chemie - International Edition*, **59**, 21840–21856.
- [26] RAAIJMAKERS, M. J. T.; BENES, N. E. 2016. <<Current trends in interfacial polymerization chemistry>>. *Progress in Polymer Science*, **63**, 86–142.
- [27] KANG, M.; MYUNG, S. J.; JIN, H. J. 2006. <<Nylon 610 and carbon nanotube composite by in situ interfacial polymerization>>. *Polymer*, **47**, 3961–3966.
- [28] ROZELLE, L.; CADOTTE, J.; CORNELIUSSEN, R.; ERICKSON, E.; COBIAN, K.; KO JR, C. V. 2000. <<phase inversion membranes>>. *Encyclopedia of Separation Science; Mulder, M., Ed.; Academic Press: Cambridge, MA, USA 3331–3346*.
- [29] HÓLDA, A. K.; VANKELECOM, I. F. J. 2015. <<Understanding and guiding the phase inversion process for synthesis of solvent resistant nanofiltration membranes>>. *Journal of Applied Polymer Science*, **132**, DOI: 10.1002/a.42130.
- [30] RAY, S. S.; CHEN, S. S.; NGUYEN, N. C.; NGUYEN, H. T. Nanoscale Materials in Water Purification. Elsevier 2019, 247–273.

- [31] MAHDI A. SHIRAZI, M.; BAZGIR, S.; MESHKANI, F. *Advances in Membrane Technologies*. IntechOpen 2020.
- [32] AHMED, F. E.; LALIA, B. S.; HASHAIKEH, R. 2015. <<A review on electrospinning for membrane fabrication: Challenges and applications>>. *Desalination*, **356**, 15–30.