

УНИВЕРЗИТЕТ МЕТРОПОЛИТАН
ФАКУЛТЕТ ЗА ПРИМЕЊЕНУ ЕКОЛОГИЈУ "ФУТУРА"
Веће департмана последипломских студија

Одлуком Већа Департмана последипломских студија број: 162/7-25 од 02.07.2025. године, одређени смо за чланове Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације **кандидата Ali Abdussalam Almazoug** под називом **"Мултифункционални адсорбенти засновани на рециклираном експандираном стаклу за уклањање загађења"** о чему подносимо следећи

ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ

1. Основни подаци о кандидату

Ali Abdussalam Almazoug је рођен 1988. године у граду Zlitan у Либији дипломирао 2010. године на Технички факултет Универзитета у Јензур/Либија и стекао академско звање дипломирани инжењер

Мастер студије завршио је 2019. године на Универзитету Медитеран карпаса-северни Кипар и стекао академско звање менаџер.

Ali Abdussalam Almazoug је од 2023. године запослена у нафтној компанија ALwaha у граду Триполи-Либија на пословима менаџер.

2. Предмет и циљ истраживања

Предмет истраживања ове докторске дисертације је припрема адсорбента на бази рециклованих стаклених сфера и испитивање њихових адсорпционих карактеристика за уклањање арсна ($As(V)$) и фунгицида ипродион-а из воде. Испитана је употреба истрошених адсорбената као ојачања у незасићеној полиестарској матрици у циљу њиховог безбедног складиштења.

У оквиру експерименталних истраживања синтетисан је нови хибридни адсорбент на бази рециклираних стаклених сфера, модификованих 3-аминопропил-триетоксисиланом и гетитом, чија је структура и састав детаљно окарактерисан савременим аналитичким техникама. Добијени материјал показао је високу ефикасност у адсорпцији арсена ($As(V)$) и фунгицида ипродиона, при чему су изотермални модели, термодинамички и кинетички параметри потврдили да процеси уклањања загађивача протичу спонтано, уз истовремено учешће физичке и хемијске адсорпције. Поре материјала и присуство активних места

обезбедили су добре услове за везивање загађивача, док су резултати адсорпције у шаржним и проточним системима указали на високу стабилност и поновљивост процеса.

Циљ рада је да се развију композитни материјали на бази рециклираног стакла који ће бити ефикасни адсорбенти за арсенате као и фунгицид ипродион из воде. Нови материјал ће бити од рециклираних експандираних стаклених сфера (ЕГС), модификован са 3-аминопропил-триетоксисиланом (АПТЕС) , који треба да омогући да амино групе буду афинетне групе у таложењу катјона.

3. Хипотетички оквир истраживања

Х1. Експандиране стаклене сфере (ЕГС), модификоване са АПТЕС-ом и таложењем гетита, показују значајну адсорпциону ефикасност у уклањању арсената и ипродион фунгицида из водених раствора.

Х2. Оптимизацијом услова адсорпције (рН, температура, концентрација, однос масе) могуће је значајно побољшати адсорпциони капацитет модификованог ЕГС адсорбента.

Х3. Осиромашени адсорбент након процеса пречишћавања воде може се успешно поново употребити као пунило у композитним материјалима, при чему нови композити задржавају задовољавајућа механичка својства.

Помоћне хипотезе

- Регенерација и поновна употреба модификованих ЕГС адсорбената могуће је применом једноставних и еколошки прихватљивих метода без значајног губитка адсорпционог капацитета.
- Модификација површине ЕГС са АПТЕС-ом и гетитом омогућава прецизније управљање површинским наелектрисањем и повећану селективност према катјонима тешких метала и органским загађивачима.

4. Методологија истраживања

Методологија истраживања обухватила је теоријски и експериментални део, реализован кроз више међусобно повезаних фаза.

У првој фази извршено је контролисано таложење оксихидроксида гвожђа у облику гетита, чиме је добијен нови хибридни адсорбент EGS@APTES-GT. Након синтезе, материјал је подвргнут детаљној карактеризацији која је обухватила одређивање елементарног и фазног састава, анализу морфологије, спектроскопске анализе и одређивање тачке нултог наелектрисања.

У другој фази испитивана је ефикасност припремљених експандираних стаклених сфера у процесима уклањања арсена (As(V)) и фунгицида ипродиона из водених раствора. Утврђиван је утицај различитих експерименталних параметара: времена контакта између адсорбента и адсорпата, почетне концентрације јона у раствору, односа количине адсорбента и адсорпата, рН вредности и температуре.

У трећој фази одређивани су кинетички параметри и извршен избор адекватног кинетичког модела адсорпције, као и примена различитих модела адсорпционих изотерми (Langmuir, Freundlich, Temkin) ради процене адсорпционог капацитета. Поред тога, на основу испитивања спроведених на различитим температурама одређени су и термодинамички параметри адсорпције (ΔG , ΔH , ΔS).

У четвртој фази испитиване су могућности регенерације адсорбената. Истрошени материјал је након киселог испирања и млевења преведен у секундарни производ, који је примењен као пунило у незасићеној полиестерској смоли (UPe). Тако добијени композити су тестирани ради процене њихових механичких својстава и могуће примене у грађевинарству.

На овај начин реализован је интегрисан приступ који је омогућио не само испитивање ефикасности новог адсорбента у уклањању загађивача из воде, већ и његову даљу валоризацију у складу са принципима циркуларне економије.

5. Кратак приказ садржаја докторске дисертације

Докторска дисертација обухвата укупно 92 странице, 10 табела, 33 слике и 169 коришћених литературних извора. Рад је организован у 11 поглавља, која су структурисана у две целине: теоријски део и експериментални део.

Уводна разматрања истичу глобални изазов контаминације животне средине микро- и наночестицама, укључујући пластику, стакло и друге чврсте материјале, чији штетан утицај произилази из способности да лако доспевају у воду, земљиште и ланац исхране. Посебан акценат стављен је на отпадно стакло, чија природна разградња тече споро, а поједине врсте садрже токсичне елементе који додатно угрожавају екосистеме. С обзиром на високу енергетску потрошњу и емисију CO_2 приликом производње стакла, рециклажа отпадног стакла представља еколошки и економски значајну алтернативу, која омогућава смањење потрошње природних сировина и енергетских ресурса. Због стабилног састава силиката и могућности трансформације у адсорбентне материјале, рециклирано стакло представља полазну основу за развој нових композита који могу бити ефикасно примењени у пречишћавању вода од тешких метала и органских загађивача, укључујући фунгициде, што поставља оквир за истраживање у контексту одрживог развоја и циркуларне економије.

У теоријском делу рада (Поглавље 2) анализиран је састав стакла, класификација стакла, посебно отпадног, и могућности његове употребе. Поглавље 3 посвећено је

присуству арсена у подземним водама, узроцима његовог настанка, здравственим ризицима и савременим методама уклањања, укључујући оксидацију, коагулацију-флокулацију, адсорпцију, јонску размену, мембранску филтрацију и биолошке третмане, са нагласком на модификацију адсорбената ради повећања селективности и ефикасности.

Поглавље 4 обухвата карактеризацију два фунгицида – ипродиона и азоксистробина – који, иако широко коришћени у савременој пољопривреди, представљају значајан ризик за животну средину и здравље. Ипродион показује високу стабилност и токсичност, због чега је забрањен у ЕУ, док азоксистробин омета ћелијско дисање и може изазвати штету воденим организмима. Подаци наглашавају потребу за мониторингом остатака фунгицида и развојем метода за њихово уклањање.

У Поглављу 5 разматрају се основни принципи адсорпције, кинетика, изотерме и термодинамика процеса, као методе за уклањање загађујућих материја из воде.

Поглавље 6 посвећено је композитним материјалима, са класификацијом полимерних композита по врсти матрице и облику дисперговане фазе. Поглавље 7 описује методе карактеризације адсорбената и композита, укључујући електронску микроскопију (SEM), дифракцију X-зрака (XRD), инфрацрвену спектроскопију Фуријеове трансформације (FTIR), механичка испитивања и динамичку механичку анализу (DMA).

Експериментални део (Поглавље 9) представља начин синтезе хибридног адсорбента EGS@APTES-GT, припремљеног модификацијом експандираних стаклених сфера (EGS) 3-аминопропил-триетоксисиланом (APTES) и контролисаним таложењем оксидног хидроксида гвожђа у облику гетита (GT). Адсорбент је испитан за уклањање As(V) и ипродиона у шаржном и проточном систему, док је истрошени адсорбент коришћен као ојачање у UPe/exEGS композитима.

Реултати и дискусија (Поглавље 10) показали су да хибридни адсорбент EGS@APTES-GT има високу порозност, значајан садржај амино група, што га чини погодним за ефикасну адсорпцију. Морфолошка и структурна испитивања (SEM-EDS, FTIR, XRD) потврдила су хомогену расподелу гетита и стабилну порозну структуру, као и специфичне интеракције са As(V) и ипродионом. Испитивања адсорпције показала су да је оптималан рН 7 и да је процес ефикасан у широком рН опсегу. Изотермске анализе указале су на повољну адсорпцију са q_{max} вредностима 56,11 mg g⁻¹ за As(V) и 114,0 mg g⁻¹ за ипродион, при чему су механизми комбинација физисорпције и хемисорпције. Термодинамички параметри потврдили су спонтан, ендотерман процес, док је кинетика указала на два узастопна корака – брзу иницијалну адсорпцију и спорију дифузију унутар пора. Тестирања у колони са фиксним слојем потврдила су применљивост адсорбента у реалним условима, уз добру компатибилност са моделима (Yoon–Nelson, Bohart–Adams, Thomas). Процес десорпције показао је да је материјал могуће регенерисати, али са делимично смањеним капацитетом, што наглашава значај правилне регенерације и еколошки безбедног одлагања.

6. Постигнути резултати и научни допринос докторске дисертације

Предмет ове докторске дисертације био је развој и испитивање нових адсорбента на бази рециклираних стаклених сфера за уклањање арсена (As(V)) и фунгицида ипродиона из воде, као и примена истрошених адсорбената као ојачања у композитима на бази незасићених полиестерских смола. Успешно је синтетисан EGS@APTES-GT адсорбент путем модификације стаклених сфера 3-аминопропил-триетоксисиланом (APTES) и таложења гвожђе оксихидроксида у минералном облику гетита. Детаљна карактеризација (елементарни и фазни састав, морфологија, ФТИР спектроскопија, СЕМ-ЕДС анализе) показала је присуство активних места за адсорпцију и порозну морфологију погодну за ефикасан транспорт полутаната. Експерименти адсорпције у шаржном и проточном систему потврдили су висок капацитет адсорпције уз спонтан, ендотерман и делимично хемијски карактер процеса, зависан од температуре и природе адсорбованог полутанта. Истрошени адсорбент, после киселог испирања и млевења, примењен је као ојачање у UPe/exEGS композитима, који показују значајно побољшање механичких својстава у односу на чисту смолу.

Рад представља први изванредан резултат у адсорпцији ипродиона коришћењем адсорбената на бази рециклираног стакла модификованог гетитом и доприноси развоју одрживих технологија за пречишћавање отпадних вода и валоризацију отпадних материја, у складу са циљевима одрживог развоја.

7. Мишљење и предлог Комисије о докторској дисертацији

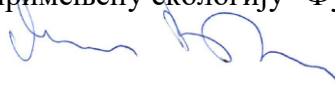
На основу детаљне анализе, Комисија оцењује да докторска дисертација кандидата **Ali Abdussalam Almazoug**, у погледу теме, приступа, структуре и садржаја, квалитета и начина излагања, методологије истраживања, коришћења релевантне литературе, као и значаја и квалитета спроведеног истраживања и изведених закључака, у потпуности испуњава све прописане критеријуме за докторске дисертације. Сходно томе, дисертација се може сматрати подобном за јавну одбрану.

Узимајући у обзир научну вредност и примењивост дисертације под насловом „**Мултифункционални адсорбенти засновани на рециклираном експандираном стаклу за уклањање загађења**“, Комисија предлаже Већу департмана за последипломске студије Факултета за примењну екологију Футура Универзитета Метрополитан и Сенату Универзитета Метрополитан да одобре ову докторску дисертацију и омогуће њену јавну одбрану.

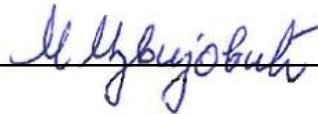
Београд, 01.09.2025. године

Чланови комисије:

др Мирјана Бартула, ванредни професор,
Универзитет Метрополитан
Факултет за примењену екологију "Футура", ментор



др Мирјана Цвијовић, ванредни професор,
Универзитет Метрополитан
Факултет за примењену екологију "Футура", члан комисије



др Александар Маринковић, редовни професор,
Технолошко – металуршки факултет, Универзитета у Београду, члан комисије

