

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ – БИОЛОШКОГ ФАКУЛТЕТА

На X редовној седници Наставно-научног већа Биолошког факултета Универзитета у Београду, одржаној **14. септембра 2026. године**, на основу молбе ментора, др Јасмине Шинжар-Секулић, редовне професорке Биолошког факултета Универзитета у Београду и др Јоване Пантовић, вишег научног сарадника Биолошког факултета Универзитета у Београду, одређена је Комисија за преглед и оцену докторске дисертације кандидата **Isyaku A. Abubakar**, студента докторских студија Биолошког факултета Универзитета у Београду, модула Конзервациона екологија и заштита животне средине, под насловом: „Моделовање дистрибуције одабраних ретких и инвазивних врста маховина у Србији (енг. Distribution modelling of selected rare and invasive moss species in Serbia)“, у саставу:

- др Марко Сабовљевић, редовни професор и научни саветник, Универзитет у Београду, Биолошки факултет
- др Владан Ђорђевић, виши научни сарадник, Универзитет у Београду, Биолошки факултет
- др Ксенија Јаковљевић, научни саветник, Универзитет у Београду, Институт за биолошка истраживања "Синиша Станковић", Институт од националног значаја за Републику Србију

Комисија је прегледала урађену докторску дисертацију кандидата Isyaku A. Abubakara и Наставно-научном већу Биолошког факултета Универзитета у Београду подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

Општи подаци о докторској дисертацији

Веће научних области природних наука Универзитета у Београду, на седници одржаној 30. 1. 2025. године, дало је сагласност на одлуку Наставно-научног већа Универзитета у Београду – Биолошког факултета о прихватању теме докторске дисертације Isyaku A. Abubakara под насловом: „Моделовање дистрибуције одабраних ретких и инвазивних врста маховина у Србији (енг. Distribution modelling of selected rare and invasive moss species in Serbia)“ (02-07 Број: 61206-251/2-25).

Докторска дисертација Isyaku A. Abubakara је оригинално научно истраживање спроведено на Катедри за екологију и географију биљака Биолошког факултета Универзитета у Београду. Текст докторске дисертације написан је у складу са Упутством о облику и садржају докторске дисертације која се брани на Универзитету у Београду. Дисертација је написана на енглеском језику, латиничним писмом, и садржи: насловну страну на енглеском и српском језику, страну са подацима о менторима и члановима Комисије за одбрану докторске дисертације на енглеском и српском језику, захвалницу, сажетак на енглеском и српском језику, садржај, текст дисертације, литературу, биографију кандидата и три изјаве. Текст дисертација садржи 102 стране, 31 слику (9 у поглављу Увод, и 22 у поглављу Резултати), 1 табелу у поглављу Материјал и Методе, 4 табела у поглављу Резултати и 422 литературна навода. Текст докторске дисертације

подељен је на следећа поглавља: Увод (26 стране), Циљеви истраживања (3 стране), Материјал и Методе (8 страна), Резултати (19 страна), Дискусија (11 страна), Закључци (3 стране) и Литература (32 стране). Након Биографије кандидата, приложене изјаве обухватају: Изјаву о ауторству, Изјаву о истовестности штампане и електронске верзије докторске дисертације и Изјаву о коришћењу.

Анализа докторске дисертације

Увод докторске дисертације садржи девет целина у којима су сагледани основна грађа и екологија маховина, животни циклус, репродукција, значај у екосистемима, одлике ретких и инвазивних врста као и еколошки фактори који утичу на дистрибуцију маховина, укључујући и климатске промене. У уводном делу је даље дат преглед модела дистрибуције врста, и истакнут њихов значај у истраживањима маховина. Савремена истраживања показују да су маховине као поикилохидрични организми високо осетљива група организама која реагује на промене у животној средини на брз и изражен начин, посебно на промене режима температуре и падавина. Њихова улога у екосистемима је вишеструка и незаменљива, док су истовремено веома рањиве на савремене глобалне промене, посебно климатске промене и губитак станишта. Због тога је неопходна примена савремених метода моделовања дистрибуције врста (енг. *Species Distribution Modeling* – *SDM*) у циљу њихове дугорочне заштите и очувања биодиверзитета. Последње поглавље Увода садржи преглед три врсте маховина које су одабране за истраживање: *Entosthodon hungaricus*, *Hennediella heimii* и *Campylopus introflexus*. Док су *E. hungaricus* и *H. heimii* индикатори осетљивих сланих екосистема, *C. introflexus* представља модел инвазивне врсте која се шири у југоисточној Европи и може значајно утицати на природне заједнице. Овај контраст их чини кључним објектима за примену моделовања дистрибуције врста и планирање мера очувања биодиверзитета. Све три врсте су од посебног значаја за разумевање еколошких процеса, динамике станишта и утицаја климатских промена и антропогеног притиска на (локално) изумирање врста.

Циљеви докторске дисертације приказани су јасно и концизно. Полазећи од значаја моделовања дистрибуције врста у савременој конзервационој биологији, ово истраживање имало је за главни циљ да пружи експерименталне доказе о примени и значају модела дистрибуције врста у проучавању слабо истражених таксона и подручја, са фокусом на ретке маховине *Entosthodon hungaricus*, *Hennediella heimii* и инвазивну врсту *Campylopus introflexus*. У складу са тим, дефинисани су специфични циљеви истраживања: (1) анализирати њихову садашњу дистрибуцију и преференције станишта на основу доступних података о распрострањењу, укључујући литературне, хербарске збирке и онлине базе података, (2) идентификовати кључне еколошке факторе који утичу на распрострањење истраживаних врста применом модела дистрибуције врста, коришћењем 19 биоклиматских параметара, надморске висине и типа земљишта, (3) процена потенцијалних промена дистрибуције истраживаних врста под утицајем различитих сценарија климатских промена – просторна и временска динамика њихових ареала (4) идентификација подручја са највећом климатском погодномшћу и потенцијалних рефугијума значајних за дугорочни опстанак ретких врста, као и (5) израда препорука за очување истраживаних ретких врста и њихових станишта, као и смерница за управљање и контролу ширења инвазивне врсте *C. introflexus*. Реализацијом наведених циљева доприноси се бољем разумевању екологије и биогеографије маховина, а добијени резултати служе као научно засноване смернице за очување биодиверзитета и управљање испитиваним врстама у условима климатских промена.

У оквиру поглавља **Материјал и методе** кандидат је прво дао осврт на основне климатске, топографске и едафске карактеристике истраживаног подручја територије

Европе, са фокусом на подручје Србије. Затим су наведени извори из којих су прикупљени подаци о дистрибуцији истраживаних врста који су даље коришћени за моделовање дистрибуције врста. За анализе важности варијабли које доприносе објашњењу дистрибуције врста, кандидат даље наводи све примењене еколошке факторе (биоклиматске, едафске и топографске), њихове изворе, као и методе на основу којих је одређен коефицијент корелације испитиваних варијабли (Пирсонов коефицијент корелације и фактор инфлације варијансе). У циљу моделовања дистрибуције врста, наведени су одабрани временски периоди и сценарији климатских промена.

На крају, описане су различите методе моделовања дистрибуције врста које су коришћене у реализацији постављених циљева, укључујући прво појединачне а потом и ансамбл моделе (комбиновано моделовање више модела). За процену садашње и будуће дистрибуције испитиваних врста у условима климатских промена примењено је ансамбл моделовање коришћењем пакета *biomod2* у програмском окружењу R. Модели су калибрисани помоћу више алгоритама (GLM, GAM, GBM, RF, MAXENT/MAXNET), уз употребу псеудо–одсуства и вишеструку унакрсну валидацију ради повећања поузданости предвиђања. Успешност модела процењивана је на основу показатеља TSS и ROC/AUC, а у ансамбл моделе су укључени само модели са вредностима TSS већим од 0,7. За израду коначних прогноза коришћене су ансамбл методе *Committee Averaging* (EMca) и *Ensemble Median* (EMmedian), које обезбеђују већу тачност и стабилност предвиђања у односу на појединачне моделе. На основу TSS вредности извршена је класификација погодности станишта у више категорија, а промене у погодности станишта и величини ареала под различитим климатским сценаријима статистички су тестиране применом одговарајућих тестова.

У поглављу **Резултати** јасно и систематично су приказани резултати моделовања дистрибуције три врсте маховина (*Entosthodon hungaricus*, *Hennediella heimii* и *Campylopus introflexus*) у односу на тренутне и будуће климатске услове. Резултати су организовани у три целине, при чему су за сваку врсту приказани резултати моделовања појединачних и ансамбл модела, процене тренутне погодности станишта, анализе значаја еколошких предиктора, као и пројекције будуће дистрибуције у различитим климатским сценаријима. Добијени резултати су представљени и табеларно и графички, уз приказ просторних карата погодности станишта, анализа промена ареала и поређења различитих глобалних климатских модела.

У првој целини приказани су резултати моделовања распрострањења врсте *E. Hungaricus* у Србији. Показано је да су сви примењени алгоритми остварили веома високу тачност предвиђања (просечне вредности ROC = 0,981 и TSS = 0,958), док је ансамбл модел постигао још боље перформансе (ROC = 0,997; TSS = 0,990). Процењено је да тренутно погодна станишта обухватају око 1.285 km², односно 1,7% територије истраживаног подручја. Као најзначајнији предиктор распрострањења издвојена су халоморфна земљишта, док је од климатских фактора највећи утицај имала количина падавина у најсушнијем месецу (BIO14). Пројекције будућих климатских услова указале су на значајно смањење погодних станишта, које се креће од 72,9% до 92,0%, у зависности од климатског сценарија и временског периода, уз ограничено ширење врсте на нова подручја (до 17,1%).

У другој целини кандидат приказује резултате моделовања распрострањења врсте *H. heimii* у Европи. Сви примењени алгоритми показали су високу успешност (просечне вредности ROC = 0,982 и TSS = 0,899), док је ансамбл модел остварио TSS вредност од 0,917. Према резултатима моделовања, високо погодна станишта обухватају 0,52%, умерено погодна 5,71%, а маргинално погодна 22,07% укупне површине. Најзначајнији фактор распрострањења био је средњи дневни температурни опсег (BIO2). Пројекције

дистрибуције у будућности указале су на просечно смањење високо погодних станишта за 61,6%, умерено погодних за 55,7%, док се површина маргинално погодних станишта повећава, што указује на померање врсте ка мање оптималним стаништима. Највеће смањење високо погодних станишта забележено је у сценарију SSP5–8.5 до краја века, када губитак достиже 87,1%.

У трећој целини приказани су резултати моделовања распрострањења врсте *C. Introflexus* у Европи. Појединачни модели су показали високу тачност (просечне вредности ROC = 0,979 и TSS = 0,896), док је ансамбл модел методом *Committee Averaging* остварио ROC вредност 0,991 и TSS вредност 0,917. Процењено је да погодна станишта тренутно обухватају свега 7,39% територије. Анализа значаја варијабли показала је да је сезоналност температуре (BIO4) најважнији фактор који утиче на дистрибуцију врсте. Будуће климатске пројекције указале су на смањење погодних станишта у просеку за 31,2%, умерено погодних за 55,7%, уз истовремено повећање непогодних подручја за око 31%. Највећи губици погодних станишта прогнозирани су у сценарију SSP5–8.5 до краја 21. века, када смањење погодних станишта достиже 87,6%.

Свеукупно, добијени резултати показују да су ансамбл модели обезбедили веома високу поузданост предвиђања за све анализиране врсте, док пројекције будућих климатских услова указују на значајно смањење површина погодних станишта и промене потенцијалног распрострањења истраживаних врста. Најизраженији негативни ефекти очекују се у сценаријима са високим емисијама гасова са ефектом стаклене баште (SSP5–8.5), што указује на значајан утицај климатских промена на будућу дистрибуцију анализираних врста.

Представљена истраживања представљају значајан научни допринос анализи утицаја климатских промена на дистрибуцију ретких и инвазивних врста маховина. Она доприносе бољем разумевању фактора који обликују њихову дистрибуцију и пружају основу за ефикаснију заштиту ретких врста и њихових станишта. Истовремено, добијени резултати имају важну примену у разумевању образаца ширења инвазивних врста и спречавању њиховог негативног утицаја на аутохтону флору и природна станишта.

Поглавље **Дискусија** садржи критичку анализу добијених резултата и упоредну анализу у контексту литературе коришћене у овој докторској дисертацији, што значајно доприноси њеном научном квалитету. Кандидат је на јасан и садржајан начин сумирао резултате своје докторске дисертације, и показао изузетну зрелост и способност да своје резултате анализира и тумачи у контексту постојећих сазнања. Дискусија је детаљно написана и логично структурирана.

Дискутовани су најзначајнији климатски фактори који утичу на дистрибуцију испитиваних врста. Полазећи од чињенице да су бриофите изразито осетљиве на промене температуре и режима падавина, њихова дистрибуција је значајно условљена климатским факторима. Стога, климатске промене ће довести до значајног смањења погодних станишта испитиваних врста и померања њихових ареала ка повољнијим условима – на веће надморске висине и географске ширине. Бројна истраживања потврђују да климатске промене, односно глобално загревање утиче на физиологију, распрострањеност и еколошку улогу бриофита, повећавајући ризик од локалног изумирања и мењајући обрасце њихове дистрибуције.

Упркос одређеним изазовима у моделовању бриофита, који произлазе из недовољно података о локалној дистрибуцији, фрагментисане распрострањености и специфичних микроеколошких захтева, SDM приступ се показао као ефикасан метод за идентификацију приоритетних подручја за заштиту, процену ризика од климатских

промена и биолошких инвазија, планирање мреже заштићених подручја и развој дугорочних стратегија очувања биодиверзитета.

Модел дистрибуције врста представљају важан алат за повезивање података о њиховом присуству са еколошким факторима, омогућавајући предвиђање промена у погодности станишта и просторном распореду врста под будућим климатским условима. На тај начин, ово истраживање доприноси бољем разумевању екологије маховина у Србији и премошћавању јаза између научних модела предвиђања и практичних мера заштите природе.

У поглављу **Закључци** кандидат је представио најважније налазе добијене у оквиру своје докторске дисертације, који потврђују да су постављени циљеви истраживања остварени. Закључци су јасно формулисани и у потпуности произилазе из добијених резултата истраживања.

Модел дистрибуције врста (SDM) представљају ефикасан алат за предвиђање потенцијалне распрострањености врста, укључујући и оне са ограниченим бројем налаза. Ансамбл приступи показују већу предиктивну моћ у односу на појединачне моделе и доприносе смањењу неизвесности у проценама дистрибуције. Резултати указују да климатске промене генерално доводе до смањења ареала, фрагментације станишта и померања погодних зона код ретких и угрожених врста. У том контексту, SDM модели су од великог значаја за идентификацију приоритетних подручја за теренска истраживања и планирање конзервационих мера, укључујући потенцијалну реинтродукцију и заштиту станишта.

Entosthodon hungaricus показује изузетно ограничен тренутни ареал у Србији, који обухвата свега око 1,7% територије. Сви модели дистрибуције указују на значајан будући пад погодних станишта, у распону од 75–92%, у зависности од сценарија и временског периода. Иако је могуће извесно померање ареала ка погоднијим микроклиматским условима, не очекује се његово укупно ширење. Због тога се предвиђа повећан ризик од локалног изумирања, посебно у условима сценарија високих емисија. Кључни фактори који ограничавају њену дистрибуцију су режим падавина и тип станишта, пре свега слане ливаде, што додатно наглашава осетљивост ове врсте на промене у животној средини. Сходно томе, неопходно је спровођење хитних мера мониторинга и заштите, укључујући и *ex situ* конзервацију.

Hennediella heimii има изузетно мали удео климатски погодних подручја у Европи, који износи свега око 0,52%, при чему модели указују на значајно смањење ареала у будућности. Могуће је померање ареала ка северозападним приобалним областима (рефугијуми), док се централна и источна Европа процењују као непогодне за дугорочни опстанак ове врсте. Кључни фактори који условљавају њену дистрибуцију су температурна варијабилност и влажност, док су њена станишта додатно изложена снажном антропогеном притиску, што захтева унапређено управљање и заштиту.

Инвазивна врста *Campylopus introflexus*, иако тренутно присутна у ограниченом делу територије (7,39%), према моделима не показује потенцијал за значајно ширење у будућности. Напротив, дугорочно се очекује значајно смањење погодних станишта, и до 87,6%, што указује да климатске промене неће погодновати њеној даљој експанзији. Њена дистрибуција је највише ограничена температурном сезоналношћу, док се због оваквих резултата наглашава потреба за континуираним праћењем популација ради верификације модела и адекватног управљања утицајем на аутохтоне заједнице.

На основу добијених резултата, кандидат износи генерални закључак да су модели дистрибуције врста поуздан и користан алат за процену тренутне и будуће распрострањености бриофита, као и за идентификацију кључних фактора који ограничавају њихову дистрибуцију. Климатске промене представљају један од кључних фактора угрожавања истраживаних врста у будућности, које ће се суочити са смањењем погодних станишта, фрагментацијом популација и повећаним ризиком од локалног изумирања. Истовремено, могуће је померање ареала ка областима са повољнијим еколошким условима, иако такве промене неће надокнадити губитак постојећих станишта. У погледу инвазивне врсте обухваћене истраживањем, резултати не указују на њену експанзију у условима будућих климатских промена. Међутим, и без значајне експанзије ареала, њено присуство може и даље утицати на интеракције са аутохтоним врстама бриофита. Свеукупно, добијени резултати наглашавају високу осетљивост бриофита на климатске промене и указују на неопходност интеграције SDM приступа у конзервационој биологији.

Поглавље **Литература** садржи 422 релевантне библиографске јединице цитираних АРА стилом. Наведени извори адекватно покривају све тематске целине ове докторске дисертације, што указује да је кандидат темељно приступио изучавању проблематике докторске дисертације. Цитирани извори су актуелни и релевантни, и наведени су у тексту јасно и конзистентно.

Радови и конгресна саопштења из докторске дисертације

Б1. Радови у часописима међународног значаја

1. **Abubakar, I.**, Pantović, J. P., Šinžar-Sekulić, J. B., & Sabovljević, M. S. (2024). Modeling the distribution of the rare and red-listed halophytic moss species *Entosthodon hungaricus* under various climate change scenarios in Serbia. *Plants*, 13(23), 3347. <https://doi.org/10.3390/plants13233347> (M21) (*Plant Sciences*: 45/273; IF₂₀₂₄ = 4.1)
2. **Abubakar, I.**, Šinžar-Sekulić, J. B., Sabovljevic, M. S., & Pantović, J. P. (2026). The current distribution of an invasive moss species *Campylopus introflexus* (Leucobryaceae) and models of its future range dynamics in two contrasting climatic scenarios in Europe. *Biodiversity Data Journal*, 14, e177294. <https://doi.org/10.3897/BDJ.14.e177294> (M22) (*Biodiversity Conservation*: 55/74; IF₂₀₂₄ = 1.1)

Провера оригиналности докторске дисертације

На основу Правилника о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду и налаза у извештају из програма iThenticate којим је извршена провера оригиналности докторске дисертације „Моделовање дистрибуције одабраних ретких и инвазивних врста маховина у Србији (енг. Distribution modelling of selected rare and invasive moss species in Serbia)“ аутора Isyaku Abubakara, констатујемо да утврђено подударане текста износи 17%. Овај степен подударности је у највећој мери последица подударања претходно публикованих резултата докторандовога истраживања, као и чињенице да је и дисертација писана на енглеском језику. Поклапања потичу и од коришћења израза у ненумерисаним странама дисертације (нпр. Универзитет, факултет, звања и афилијације чланова комисије, општих фраза изјава захвалности), затим општих израза и универзалних фраза попут

„climate change“ неизбежних у испитиваној проблематици, често коришћених методолошких појмова, и израза којима се презентују и дискутују резултати.

На основу свега изнетог, а у складу са чланом 8. став 2. Правилника о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду, изјављујемо да извештај указује на оригиналност докторске дисертације, те се прописани поступак припреме за њену одбрану може наставити.

Мишљење и предлог Комисије

На основу детаљног прегледа докторске дисертације кандидата Isyaku A. Abubakara, Комисија сматра да ова докторска дисертација представља оригинални научни допринос у области конзервационе биологије бриофита и да доприноси новим сазнањима о утицају климатских промена на ретке и инвазивне врсте бриофита, као и начинима њихове потенцијалне и дугорочне конзервације.

На основу прегледа докторске дисертације и увида у објављене оригиналне научне радове (један међународни часопис категорије M21 и један међународни часопис категорије M22), Комисија закључује да су постављени циљеви у оквиру ове докторске дисертације у потпуности испуњени. Имајући у виду све наведено, Комисија са задовољством предлаже Наставно-научном већу Биолошког факултета Универзитета у Београду да прихвати извештај о урађеној докторској дисертацији Isyaku A. Abubakara, под насловом „Моделовање дистрибуције одабраних ретких и инвазивних врста маховина у Србији (енг. Distribution modelling of selected rare and invasive moss species in Serbia)“, и да га проследи Већу области природних наука Универзитета у Београду на усвајање.

У Београду, 14. септембра 2026. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ:

др Марко Сабовљевић, редовни професор и научни саветник, председник комсије
Универзитет у Београду, Биолошки факултет

др Владан Ђорђевић, виши научни сарадник,
Универзитет у Београду, Биолошки факултет

др Ксенија Јаковљевић, научни саветник,
Универзитет у Београду, Институт за биолошка истраживања „Синиша Станковић“
Институт од националног значаја за Републику Србију