

UNIVERZITET U BEOGRADU
Fakultet organizacionih nauka

NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU

Predmet: Referat o urađenoj doktorskoj disertaciji kandidata **Marine Dobrote**

Odlukom Nastavno-naučnog veća FON-a 05-01 br. 3/122-5, od 27.11.2014. imenovani smo za članove Komisije za pregled, ocenu i odbranu doktorske disertacije kandidata Marine Dobrote, pod naslovom:

Statistički pristup formiranju kompozitnih indikatora zasnovan na Ivanovićevom odstojanju

Posle pregleda dostavljene Disertacije i drugih pratećih materijala i razgovora sa Kandidatom, Komisija je sačinila sledeći

R E F E R A T

1. UVOD

1.1. Hronologija odobravanja i izrade disertacije

Kandidat Marina Dobrota upisala je doktorske studije 2009. godine. Položila je sve planom i programom predviđene ispite i prijavila je Pristupni rad 5.11.2013. godine. Komisija za pregled i odbranu pristupnog rada i ocenu naučne zasnovanosti prijavljene doktorske disertacije formirana je odlukom Nastavno-naučnog veća FON-a 05-01 br. 3/146-16 od 13.11.2013. Kandidat je Pristupni rad pod naslovom "Statistički pristup formiranju kompozitnih indikatora zasnovan na Ivanovićevom odstojanju" odbranila 28.3.2014. godine. Odluka o usvajanju izveštaja Komisije za ocenu naučne zasnovanosti prijavljene doktorske disertacije 05-01 br. 3/37, doneta je 16.4.2014. Veće naučnih oblasti tehničkih nauka Univerziteta u Beogradu je na sednici održanoj 12.5.2014. godine, odlukom 02 br. 61206-2024/2014, odobrilo izradu predložene doktorske disertacije.

Mentor, dr Milica Bulajić izvestila je 20.11.2014. godine da je doktorska disertacija završena i Nastavno-naučno veće FON-a je odlukom 05-01 br. 3/122-5, od 27.11.2014. godine, formiralo Komisiju za pregled i ocenu završene doktorske disertacije u sastavu:

1. dr Milica Bulajić, red. prof. FON-a
2. dr Milan Martić, red. prof. FON-a
3. dr Zoran Radojičić, vanr. prof. FON-a
4. dr Veljko Jeremić, docent FON-a
5. dr Srđan Bogosavljević, red. prof. Ekonomskog fakulteta

1.2. Naučna oblast disertacije

Doktorska disertacija "Statistički pristup formiranju kompozitnih indikatora zasnovan na Ivanovićevom odstojanju", po predmetu istraživanja pripada oblasti Tehničkih nauka, užoj naučnoj oblasti Računarska statistika.

U okviru disertacije, razvija se metodologija za formiranje kompozitnih indikatora, bazirana na Ivanovićevom odstojanju. Kompozitnim indikatorima opisuju se entiteti i pojave višedimenzionalnog karaktera, a u sebi objedinjuju više pojedinačnih pokazatelja, čiji se uticaj definiše odgovarajućim težinskim koeficijentima. U disertaciji se predlaže nov način određivanja težinskih koeficijenata, primenom metoda multivarijacione statističke analize, primenjiv u različitim oblastima istraživanja. Kao takav, predmet disertacije ima multidisciplinarni karakter iz domena računarske statistike i multivarijacione statističke analize.

Dr Milica Bulajić, redovni profesor Fakulteta organizacionih nauka, član je Katedre za operaciona istraživanja i statistiku i Laboratorije za statistiku. Dr Milica Bulajić doktorirala je 2002. godine na Fakultetu organizacionih nauka, sa disertacijom pod nazivom "Geodemografski model tržišnog prostora Srbije", u okviru koje je razvijen model geodemografske segmentacije nacionalnog tržišta, koji se zasniva na primeni multivarijacione statističke analize.

Na Fakultetu organizacionih nauka, dr Milica Bulajić angažovana je u nastavi na predmetima Teorija verovatnoće, Statistika, Ekonometrijske metode, Linearni statistički modeli, Računarska statistika, Statistika u menadžmentu, Ekonometrija finansijskih tržišta, Multivarijaciona statistička analiza. Većina navedenih predmeta obrađuje koncept višedimenzionalnih pojava sa različitih aspekata. Stoga je dr Milica Bulajić kompetentna za vođenje ove disertacije.

Spisak radova koji kvalifikuju mentora za vođenje doktorske disertacije:

- Jeremic, V., **Bulajic, M.**, Martic, M., & Radojicic, Z. (2011). A fresh approach to evaluating the academic ranking of world universities. *Scientometrics*, 87(3), 587-596, doi: 10.1007/s11192-011-0361-6. **IF – 1.966**
- Jovanović, M., Jeremić, V., Savić, G., **Bulajić, M.**, & Martić, M. (2012). How does the normalization of data affect the ARWU ranking? *Scientometrics*, 91(1). doi: 10.1007/s11192-012-0674-0. **IF – 2.133**
- Pešut, D., **Bulajić, M.**, Nagorni-Obradović, Lj., Grgurević, A., Gledović, Z., Ponomarev, D., & Blanka, A. (2011). Asthma mortality in Serbia: a 30-year analysis. *Respiratory Medicine*, 105(1), S50-S53. **IF- 2.475**

- Milenkovic, N., Vukmirovic, J., **Bulajic, M.**, & Radojicic, Z. (2014). A Multivariate Approach in Measuring Socio-Economic Development of Mena Countries. *Economic Modelling*, 38, 604-608. **IF – 0.736**
- Pagliariccio, A., Vavic, N., **Bulajic, M.**, & Marinozzi, M. (2013). Emotional support to apheresis donors: Effect and implication, *Transfusion and Apheresis Science*, 48(3), 365-370. doi: 10.1016/j.transci.2013.04.018. **IF – 1.225**
- Jeremic, V., **Bulajic, M.**, Martic, M., Markovic, A., Savic, G., Jeremic, D., & Radojicic, Z. (2012). An Evaluation of European Countries Health Systems through Distance Based Analysis. *Hippokratia*, 16(2), 170-174. **IF – 0.589**
- **Bulajic, M.**, Jeremic, V., Knezevic, S., & Zarkic-Joksimovic, N. (2013). A Statistical Approach to Evaluating Efficiency of Banks, *Ekonomika Istrazivanja-Economic Research*, 26(4), 91-100. **IF - 0.241**

1.3. Biografski podaci o kandidatu

Marina Dobrota rođena je 28.10.1984. godine, u Beogradu. Devetu beogradsku gimnaziju završila je kao nosilac Vukove diplome. Fakultet organizacionih nauka, smer Informacioni sistemi i tehnologije, upisala je 2003. i diplomirala 2008. godine sa prosečnom ocenom 8.58. Master studije, odsek Informacioni sistemi i tehnologije, programsko područje Računarska statistika upisala je 2008. godine. Pod mentorstvom dr Milice Bulajić, odbranila je master rad "Tehnike i modeli otkrivanja zakonitosti u medicinskim podacima", sa ocenom 10 i završila studije sa prosečnom ocenom 9.71. Doktorske studije na Fakultetu organizacionih nauka – izorno područje Operaciona istraživanja, upisala je 2009. godine, i položila sve predviđene ispite sa prosečnom ocenom 10.

Od 1.7.2008. stupa u radni odnos na Fakultetu organizacionih nauka, u zvanju saradnik u nastavi, a od 1.7.2010. u zvanju asistent, za užu naučnu oblast Računarska statistika. Tokom rada na Fakultetu, bila je angažovana u izvođenju nastave i vežbi na predmetima Teorija verovatnoće, Statistika, Ekonometrijske metode, Računarska statistika, Statistika u menadžmentu. Prilikom evaluacije od strane studenata, njen pedagoški rad je redovno ocenjivan visokim ocenama.

Tokom rada se profesionalno i stručno usavršavala. Bila je član tima izrade projekta "Povećanje konkurentnosti preduzeća za radno osposobljavanje i zapošljavanje osoba sa invaliditetom na tržištu u Republici Srbiji", koji je sproveo Ministarstvo rada i socijalne politike. Učestvovala je u projektima "Master Studies Development Program (MSDP) ", koji je sproveden od strane World University Service (WUS) Austria, "Infrastructure for Technology-Enhanced Learning in Serbia", broj III47003, i "Kancer i trudnoća", broj III41023, sprovedenih od strane Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije.

Bila je član Programskog odbora YU INFO 2012 i ICIST 2012. U martu 2012. godine bila je gostujući predavač na Seminaru za računarstvo i primenjenu matematiku (Seminar on Computer Science and Applied Mathematics), na Matematičkom Institutu SANU, u organizaciji Matematičkog Instituta, Matematičkog fakulteta, Fakulteta organizacionih nauka, JUPIM, i IEEE Computer Chapter, gde je održala pozivno predavanje na temu "Primena statističkih metoda u analizi kvaliteta sistema e-obrazovanja". U oktobru 2014.

godine bila je gostujući predavač na seminaru Kancer i humana reprodukcija, u organizaciji Medicinskog fakulteta, gde je održala pozivno predavanje na temu "Registracija pacijentkinja koje imaju kancer povezan sa trudnoćom". U saradnji sa drugim autorima, objavila je više naučnih radova u međunarodnim (SSCI, SCI-e) i domaćim časopisima, kao i u zbornicima radova sa domaćih i međunarodnih konferencija.

2. OPIS DISERTACIJE

2.1. Sadržaj disertacije

Disertacija je izložena na 172 stranice, sadrži 12 slika, 35 tabela i 2 priloga. U popisu korišćene literature kandidat je navela 187 referentnih jedinica. Prilog A je obima 13 stranica i sadrži 14 slika, a prilog B je obima 17 stranica i sadrži 3 tabele.

U okviru disertacije materija je prikazana u 9 poglavlja:

1. Uvod
2. Kompozitni indikatori
3. Multivarijaciona analiza
4. Ivanovićevo odstojanje
5. Analiza neizvesnosti i analiza osetljivosti
6. Kompozitni indikator baziran na I-odstojanju (Composite I-distance Indicator (CIDI))
7. Primena kompozitnih indikatora baziranih na I-odstojanju
8. Zaključak
9. Literatura

2.2. Kratak prikaz pojedinačnih poglavlja

Uvodno poglavlje sadrži opis predmeta i cilj istraživanja. U njemu su definisani osnovni pojmovi i data su ključna objašnjenja vezana za temu doktorske disertacije. Osnovni predmet istraživanja u disertaciji je analiza kompozitnih indikatora za merenje višedimenzionalnih fenomena na skupu posmatranih entiteta. U poglavlju se navode polazne hipoteze i metode istraživanja, daje se sadržaj i opis disertacije, uz navođenje ključnih aspekata na koje će se disertacija usmeriti.

U drugom poglavlju definisani su osnovni pojmovi vezani za pojam kompozitnih indikatora. Poglavlje prezentuje karakteristike kompozitnih indikatora, faze formiranja, kao i pregled metoda koje se koriste pri formiranju kompozitnih indikatora, u svakoj fazi procesa. Kompozitni indikator je kvantitativna ili kvalitativna mera, koja se formira na osnovu skupa ulaznih indikatora i koja može otkriti relativne pozicije entiteta u datoj oblasti. Kompozitni indikator se formira kada se pojedinačni pokazatelji integrišu u jedan indeks. Cilj formiranja kompozitnog indikatora je merenje višedimenzionalnih koncepata, koji ne mogu da se obuhvate jednim pokazateljem, kao što su konkurentnost, industrijalizacija, održivost, itd. Najjednostavniji primer metode formiranja kompozitnog indikatora je linearna agregacija -

jednostavna ponderisana suma od k promenljivih $x_{i\Box}$, $i=1,...,k$ (Paruolo, Saisana & Saltelli, 2012):

$$y_j = \sum_{i=1}^k w_i x_{ij}, \quad j=1, 2, \dots, n$$

gde je y_j vrednost kompozitnog indikatora za j -ti entitet, w_i su težinski koeficijenti čija je suma 1, $\sum_{i=1}^k w_i = 1$, a x_{ij} je i -ti normalizovani indikator za j -ti entitet. Pri formiranju kompozitnih indikatora, ističu se dva problema, čijem rešavanju je neophodno posvetiti posebnu pažnju. Prvi se ogleda u činjenici da su pojedinačni indikatori najčešće izraženi u različitim mernim jedinicama, pa ih je neophodno normalizovati, kako bi bili uporedivi. Drugi se odnosi na dodeljivanje težinskih koeficijenata pojedinačnim indikatorima. Najčešći pristup za normalizaciju originalne promenljive je po Min-Max metodi normalizacije (Bandura, 2008):

$$x_{ij} = \frac{X_{ij} - X_{i,\min}}{X_{i,\max} - X_{i,\min}}$$

gde su $X_{i,\max}$ i $X_{i,\min}$ gornja i donja granica za promenljivu X_i , respektivno. U ovom slučaju sve vrednosti će varirati u intervalu $[0,1]$, a normalizovane promenljive se označavaju kao x_{ij} . Ovakva normalizacija podrazumeva fiksnu skalu pojedinačnih pokazatelja, što može biti korisno za poređenje sličnih indikatora; međutim, ne podrazumeva standardizaciju različitih $x_{i\Box}$ promenljivih, koje, u opštem slučaju, imaju različite srednje vrednosti μ_i i standardna odstupanja σ_i . Zbog toga je popularna alternativa Min-Max normalizacije upravo standardizacija:

$$x_{ij} = \frac{X_{ij} - \mu_i}{\sigma_i}$$

Nakon standardizacije, sve vrednosti x_{ij} imaju istu srednju vrednost $\mu = 0$ i standardno odstupanje $\sigma = 1$, uklanjajući izvor heterogenosti među varijablama. Obe prethodno navedene normalizacije su invarijantne u odnosu na izbor jedinice merenja (Hand, 2009).

Drugi važan problem je dodeljivanje odgovarajućih težinskih koeficijenata, koji će što bolje oslikati važnost pojedinačnih indikatora, kojima su dodeljeni. Težinski koeficijenti značajno utiču na kompozitni indikator, i rangiranje koje proističe iz njegovog formiranja. Sistem formiranja težinskih koeficijenata može biti zasnovan na različitim metodama, neki se zasnivaju na ravnopravnom ponderisanju, a često je i subjektivno dodeljivanje težinskih koeficijenata, prema mišljenju eksperta. Bez obzira na to koji metod se koristi, težinski koeficijenti zapravo predstavljaju procenu koliki je uticaj svakog ulaznog indikatora na rezultat. Dok neki analitičari biraju težinske koeficijente samo na osnovu statističkih metoda, drugi ih često biraju isključivo na osnovu subjektivnih stavova, pa tako nagrađuju (ili

kažnjavaju) ulazne indikatore koje smatraju više (ili manje) uticajnim, u zavisnosti od njihovog stručnog mišljenja (Nardo et al., 2008).

U trećem poglavlju dati su osnovni koncepti multivarijacione statističke analize. Termin multivarijaciona analiza se koristi da predstavi višedimenzionalni aspekt analize podataka. Mnogobrojne pojave i fenomeni opisani su većim brojem različitih promenljivih. Multivarijaciona statistička analiza omogućava analizu kompleksnih nizova podataka, u slučajevima kada se javlja veći broj objašnjavajućih i/ili zavisnih promenljivih, koje mogu biti međusobno korelisane. Način formiranja težinskih koeficijenata za pojedinačne indikatore, može biti zasnovan na različitim metodama. Kod većine ustanovljenih kompozitnih indikatora, težinski koeficijenti su subjektivno dodeljeni od strane eksperata iz posmatrane oblasti. U okviru trećeg poglavlja, u značajnoj meri su istaknute četiri ključne tehnike: analiza glavnih komponenata, faktorska analiza, klaster analiza i analiza obavijanja podataka. Analiza glavnih komponenata i faktorska analiza grupišu pojedinačne indikatore koji su korelisani, kako bi se formirao kompozitni indikator, koji će obuhvatiti što više informacija u kojima neće biti međusobne korelacije. Ove metode pomažu da se identifikuju osnovne, ne direktno vidljive, dimenzije posmatrane pojave. Osnovna razlika između faktorske analize i analize glavnih komponenata je način posmatranja podataka: kod faktorske analize u razmatranje se uzimaju vandijagonalni elementi disperzione matrice (kovarijanse), dok se analiza glavnih komponenata zasniva na dijagonalnim elementima (varijansama). Analiza grupisanja (klaster analiza), je metoda koja se koristi za grupisanje objekata, tako da su objekti unutar grupe međusobno slični, a između grupa različiti. Objekti se grupišu na osnovu mera bliskosti koje se definišu na osnovu njihovih karakteristika. Analiza obavijanja podataka (DEA) (Lauer et al., 2004; Cherchye et al., 2008), primenom linearnog programiranja, procenjuje granicu efikasnosti koja bi se koristila kao referentna za merenje relativnih performansi posmatranih entiteta. Skup težinskih koeficijenata za svaki entitet zavisi od njene pozicije u odnosu na granicu (Martić, 1999). Pri kreiranju kompozitnih indikatora, DEA pomaže da se prevaziđu neka ključna ograničenja, kao što su neželjena zavisnost rezultata od prethodne normalizacije indikatora ili subjektivne prirode formiranja težinskih koeficijenata (Cherchye et al., 2008).

Četvrto poglavlje daje opis metode Ivanovićevog odstojanja (I-odstojanje), kao ključne metode u doktorskoj disertaciji, na kojoj se zasniva formiranje kompozitnih indikatora. I-odstojanje je predloženo od strane prof. dr Branislava Ivanovića (Ivanović 1972, 1973, 1977; Ivanović & Fanchette, 1973), koji je, kao jedan od vodećih stručnjaka u statističkom odseku Ujedinjenih Nacija (UN), kreirao ovu metodu sa ciljem da rangira zemlje na osnovu više indikatora. Ovom metodom dato je moguće rešenje problema da se pojedinačni indikatori iskoriste za formiranje jednog sintetičkog indikatora, koji bi predstavljao rang. I-odstojanje ispunjava 13 uslova n-dimenzionalne metrike. Ključni argument za korišćenje metode I-odstojanja je mogućnost ove metode da agregira veliki broj promenljivih u jednu numeričku vrednost, i sposobnost metode da prevaziđe problem subjektivno dodeljenih težinskih koeficijenata. U ovom poglavlju dat je i pregled koraka metodologije prilikom dolaska do rešenja, a opisano je i unapređeno rešenje koje se sastoji u definisanju početnog redosleda uključivanja varijabli u obrazac za I-odstojanje.

U petom poglavlju opisane su analize neizvesnosti i osetljivosti. Naime, zajednička karakteristika navedenih pristupa, pri formiranju kompozitnih indikatora, je određeni stepen

nestabilnosti, koji se ogleda u promeni rezultata merenja i rangiranja, pri promeni određenih ulaznih faktora, kao npr. vrednosti težinskih koeficijenata. Zbog toga je istraživanje u velikoj meri usmereno na merenje stabilnosti predloženih kompozitnih indikatora. Merenje stabilnosti i entropije sistema vrši se pomoću analize neizvesnosti i analize osetljivosti. Pošto kvalitet modela zavisi od ispravnosti pretpostavki modela, veoma je bitno da se, pomoću analiza neizvesnosti i osetljivosti, ocene neizvesnosti vezane za proces modeliranja. Analize neizvesnosti i osetljivosti se sprovode pomoću Monte Karlo simulacije.

U šestom poglavlju, dat je predlog nove metode za formiranje kompozitnih indikatora: *Kompozitni indikator baziran na I-odstojanju (Composite I-distance Indicator (CIDI))*. Detaljno je, po koracima, opisana metoda za formiranje kompozitnih indikatora, i istaknute su njene prednosti u odnosu na dosadašnje metode formiranja kompozitnih indikatora. Prednosti se prvenstveno ogledaju u definisanju novih težinskih koeficijenata prilikom formiranja kompozitnih indikatora, koji se ne zasnivaju na subjektivnom doživljaju eksperata o važnosti pojedinačnih indikatora, na osnovu kojih se kompozitni indikator formira. Težinski koeficijenti su objektivno definisani i zasnovani na metodi I-odstojanja, čija je glavna karakteristika mogućnost da prevaziđe problem subjektivno dodeljenih težinskih koeficijenata. Definisana je i prednost CIDI u odnosu na samo I-odstojanje, koja se ogleda u tome što je CIDI indikator, za razliku od I-odstojanja, direktno uporediv, po vrednostima, sa zvaničnim kompozitnim indikatorima. U poglavlju je definisan i način merenja neizvesnosti i osetljivosti dobijenih rezultata, kao i mogućnost poređenja rezultata sa zvaničnim rang listama, pomoću Mann-Whitney testa.

U sedmom poglavlju prikazane su mogućnosti primene CIDI indikatora. CIDI indikator je verifikovan kroz veći broj studija slučaja. Studije slučajeva, predstavljene u ovom poglavlju, su validirane kroz objavljivanje radova u međunarodnim časopisima. U okviru disertacije, CIDI metodologija je primenjena na evaluaciju i rangiranje društvenih sistema na osnovu njihove informatičke razvijenosti (IDI indeks), kao i na evaluaciju i rangiranje univerziteta prema njihovim performansama (QS i ARWU metodologija). U disertaciji je, primenom analiza neizvesnosti i osetljivosti, kao i Mann-Whitney testa, pokazano da je CIDI indikator daleko stabilnija metodologija za formiranje kompozitnih indikatora u odnosu na zvanične metodologije sa kojima je, u okviru disertacije, poređen.

Na kraju je dat zaključak sa odgovorima na pitanja u vezi sa postavljenim ciljem i hipotezama. Data je sistematizacija i pregled naučnih doprinosa koji su proistekli iz rada na doktorskoj disertaciji, skup otvorenih problema i mogućnosti za dalji rad u oblasti.

Literatura korišćena prilikom izrade doktorske disertacije sadrži relevantne reference drugih istraživača.

U prilogu su dati rezultati eksperimentalnog dela disertacije. Prikazani su celokupni rezultati studija slučaja. U prilogu je takođe predstavljeno softversko rešenje *SensSimulator* za analizu neizvesnosti i osetljivosti, koji u mnogome olakšava simulaciju rezultata i predstavlja rezultate na detaljan i sveobuhvatan način.

3. OCENA DISERTACIJE

3.1. Savremenost i originalnost

Doktorska disertacija "Statistički pristup formiranju kompozitnih indikatora zasnovan na Ivanovićevom odstojanju", kandidata Marine Dobrote, bavi se veoma aktuelnom problematikom višedimenzionalnog merenja performansi entiteta, koji se vezuju za određene višedimenzionalne pojave i fenomene.

Doktorska disertacija detaljno analizira dosadašnja istraživanja i saznanja iz oblasti formiranja kompozitnih indikatora. Na osnovu pregleda literature, uočena je potreba za predlogom nove metode za formiranje kompozitnih indikatora koju će karakterisati: (i) objektivnost prilikom formiranja težinskih koeficijenata i (ii) veća stabilnost u odnosu na postojeće kompozitne indikatore. Shodno tome razvijen je originalni statistički pristup formiranju kompozitnih indikatora: *Kompozitni indikator baziran na I-odstojanju (Composite I-distance Indicator (CIDI))*.

Originalnost u pristupu rešavanja problema i dobijenih rezultata u okviru ove disertacije potvrđuju radovi koji su publikovani i saopšteni na naučnim skupovima ili objavljeni u domaćim i međunarodnim časopisima. Disertacija takođe daje predlog originalnog softverskog rešenja za analizu neizvesnosti i osetljivosti, koji olakšava i u velikoj meri ubrzava proces simulacije rezultata.

Na osnovu izloženog, može se zaključiti da dobijeni rezultati doktorske disertacije predstavljaju naučni doprinos u odnosu na postojeće stanje, i otvaraju prostor za dalja istraživanja. Značaj teme doktorske disertacije ogleda se i u činjenici da je model primenljiv u praksi na veliki broj raznorodnih oblasti, koje karakteriše višedimenzionalna problematika merenja performansi i evaluacije.

3.2. Osvrt na referentnu i korišćenu literaturu

Literatura koju je kandidat koristila prilikom pisanja doktorske disertacije, obuhvata 187 referenci. Mnogobrojna istraživanja tematike, kojom se bavi ova disertacija, publikovana su u časopisima, prezentovana na konferencijama, kao i detaljno predstavljena u drugim literaturnim oblicima.

Kandidat je u doktorskoj disertaciji koristila savremenu i relevantnu literaturu. Literatura obuhvata najznačajnije autore iz oblasti kojom se disertacija bavi, radove iz naučnih časopisa i sa konferencija na kojima su predstavljeni rezultati, koji su u skladu sa temom disertacije. Literatura obuhvata i kritike postojećih kompozitnih indikatora u okviru studija slučaja koje su obrađene u disertaciji. Kroz brojne radove izvršen je kritički osvrt na ranije korišćene metodologije formiranja kompozitnih indikatora, njihove prednosti i nedostatke.

Najznačajniji referentni navodi su vezani za metodologiju Ivanovićevog odstojanja, primenu ove metode. Ističe se i priručnik za definisanje i formiranje kompozitnih indikatora:

- Ivanović, B. (1977). *Teorija klasifikacije*. Beograd: Institut za ekonomiku industrije.

- Jeremic, V., Bulajic, M., Martic, M., & Radojicic, Z. (2011). A fresh approach to evaluating the academic ranking of world universities. *Scientometrics*, 87(3), 587–596. doi:10.1007/s11192-011-0361-6
- Nardo, M., Saisana, M., Saltelli, A., Tarantola, S., Hoffman, A., & Giovannini, E. (2008). *Handbook on constructing composite indicators: methodology and user guide*. Paris: OECD, Joint Research Centre-European Commission.

3.3. Opis i adekvatnost primenjenih naučnih metoda

Osnovni metod istraživanja bazira se na postojećim teorijskim rezultatima i eksperimentalnom radu u navedenoj oblasti. Takođe se bazira na sakupljanju i proučavanju dostupne literature, njenoj analizi i sistematizaciji, a sve to sa ciljem da se pokaže opravdanost i korisnost razvoja nove metodologije formiranja kompozitnih indikatora koja se zasniva na Ivanovićevom odstojanju.

Radi testiranja postavljenih hipoteza u toku izrade disertacije primenjen je veći broj naučnih metoda od sistematskog pregleda stanja u oblasti istraživanja, sa adekvatnim klasifikacijama problema, pristupa, metoda i tehnika, navođenjem literature, analize postojećih rezultata i zaključivanjem sa predikcijom budućih pravaca razvoja. U izradi disertacije korišćene su sledeće naučne metode:

- U prvom delu disertacije (poglavlja 1, 2, 3, 4 i 5) korišćene su metode prikupljanja i analize postojećih naučnih rezultata i dostignuća.
- U drugom delu (poglavlje 6), korišćene su metode i tehnike unapređenja postojećih metodologija, i predložen je originalni statistički pristup za formiranje kompozitnih indikatora – CIDI metodologija.
- Treći deo disertacije (poglavlje 7), posvećen je primeni ovako formiranog modela na različite studije slučaja. U okviru validacije CIDI metodologije, primenjene su analize neizvesnosti i osetljivosti, kao i neparametarski statistički testovi kojima su evaluirane razlike u stabilnosti prilikom rangiranja entiteta.

Istraživanje ima multidisciplinarni karakter iz domena računarske statistike i multivarijacione statističke analize. Rad se zasniva na primeni:

- Deskriptivnih metoda za analizu podataka,
- Metoda za statističku analizu i obradu podataka (korelaciona analiza, parametarski i neparametarski testovi, analiza varijanse),
- Multivarijacionih statističkih analiza (faktorska analiza, analiza glavnih komponenta, analiza grupisanja),
- Metode Ivanovićevog odstojanja,
- Metoda komparativne analize,
- Monte Karlo simulacije.

Na osnovu analize sadržaja doktorske disertacije, može se zaključiti da primenjene naučne metode i tehnike odgovaraju, po svom značaju i strukturi, temi disertacije i sprovedenom istraživanju.

3.4. Primenljivost ostvarenih rezultata

Rezultati doktorske disertacije imaju široku praktičnu primenu u oblasti višedimenzionalnih pojava i fenomena. Metodologije obuhvaćene istraživanjem su IDI metodologija (indeks razvoja IKT - ICT Development Index - IDI) za merenje razvoja informatičkog društva, i QS (Quacquarelli Symonds World University Rankings) i ARWU (Academic Ranking of World Universities) metodologije za rangiranje univerziteta. Kompozitni indikatori, koji se koriste u ovim zvaničnim rangiranjima, agregirani su lineranom metodom, normalizacija je vršena u zavisnosti od samih indikatora, a težinski koeficijenti su dodeljivani subjektivno. CIDI metodologija je, u okviru doktorske disertacije, primenjena na iste indikatore, na kojima se baziraju zvanične rang liste, ali su novi težinski koeficijenti određeni na objektivan način.

CIDI indikator se može praktično primeniti na bilo koji problem od interesa, koga karakteriše višedimenzionalna priroda. CIDI metodologija može meriti performanse i vršiti evaluaciju entiteta, koji se mere pomoću većeg broja različitih indikatora. Dosadašnje istraživanje tematike ove doktorske disertacije pokazalo je da CIDI metodologija daje stabilnije i pouzdanije rezultate rangiranja entiteta.

3.5. Ocena dostignutih sposobnosti kandidata za samostalni naučni rad

U toku izrade doktorske disertacije, kandidat Marina Dobrota pokazala je sposobnost da samostalno rešava naučne probleme i da vlada naučnim i istraživačkim metodama, kao i da poseduje potrebna stručna, teorijska i praktična znanja potrebna za samostalni naučni rad.

Kandidat je uočila glavne nedostatke i probleme postojećih metoda za formiranje kompozitnih indikatora, i kreirala originalni metod za formiranje kompozitnih indikatora koji je bazira na metodi I-odstojanja. Nova metodologija verifikovana je objavljivanjem naučnih radova u međunarodnim časopisima.

Sveobuhvatni i sistematizovani pregled literature iz oblasti istraživanja, pokazuje sposobnost kandidata za samostalno otkrivanje i sagledavanje otvorenih problema istraživanja, kao i kritičku analizu postojećih saznanja.

Na osnovu navedenog, smatramo da kandidat Marina Dobrota poseduje potrebno znanje i iskustvo za samostalan naučni rad.

4. OSTVARENI NAUČNI DOPRINOS

4.1. Prikaz ostvarenih naučnih doprinosa

Doprinos doktorske disertacije ogleda se u definisanju sistematskog pregleda proučavane oblasti kao i predloga originalnog modela za formiranje kompozitnih indikatora. Razvijeni model može da se koristi za kreiranje kompozitnih indikatora, kao sredstva za merenje i evaluaciju višedimenzionalnih pojava i fenomena, i moguće ga je primeniti na različite vrste organizacionih jedinica.

Predložena metodologija, nazvana *Kompozitni indikator baziran na I-odstojanju (Composite I-distance Indicator (CIDI))*, potvrđena je kroz veći broj radova, objavljenih u međunarodnim časopisima, u kojima su obrađene studije slučaja.

Doktorskom disertacijom se predlaže i softversko rešenje za simulaciju analiza neizvesnosti i osetljivosti, kojim se u velikoj meri olakšava proces simuliranja rezultata, i ubrzava proces istraživanja, od postavke problema do njegovog uspešnog rešavanja.

Može se zaključiti da su rezultati, proistekli iz istraživanja u doktorskoj disertaciji, pružili značajan broj doprinosa:

- Celovit prikaz problematike kreiranja kompozitnih indikatora i modela koji se primenjuju.
- Predlog originalnog statističkog modela formiranja kompozitnih indikatora koji se zasniva na I-odstojanju.
- Prikaz značajnog poboljšanja sa aspekta smanjenja neizvesnosti i osetljivosti rangova dobijenih primenom kompozitnih indikatora.
- Primena predloženog modela u različitim oblastima od interesa kao i na različite organizacione jedinice.
- Verifikacija dobijenih rezultata kroz praktičnu primenu modela i publikovanje naučnih i stručnih radova.
- Predlog softverskog rešenja za simulaciju analiza neizvesnosti i osetljivosti.
- Potvrda postavljenih hipoteza i predstavljanje rezultata dobijenih predloženim modelom formiranja kompozitnih indikatora.

4.2. Kritička analiza rezultata istraživanja

Pregledom literature u oblasti formiranja kompozitnih indikatora, uočeni su brojni nedostaci kod postojećih metodologija koje se u tu svrhu koriste. Najviše se ističu problem subjektivnosti prilikom dodeljivanja težinskih koeficijenata pojedinačnim indikatorima, od kojih se kompozitni indikator sastoji, i problem nestabilnosti i neizvesnosti rezultata, prilikom evaluacije i rangiranja entiteta.

Mogućnosti za unapređenje kompozitnih indikatora ogledaju se u činjenici da se predloženi statistički model zasniva na metodi I-odstojanja. Ovaj način formiranja kompozitnih indikatora omogućava prevazilaženje bitnog problema subjektivnog dodeljivanja težinskih koeficijenata, i predlaže kreiranje težinskih koeficijenata na objektivan način.

Pored toga, pomoću analize neizvesnosti i osetljivosti, pokazano je unapređenje kompozitnih indikatora koje se ogleda u značajnom povećanju stabilnosti samog indikatora. Na ovaj način formiranja kompozitnog indikatora, značajno se smanjuju entropija i neizvesnost modela rangiranja.

Dalji pravci istraživanja ogledaju se u mogućnostima unapređenja i promovisanju CIDI metodologije, otklanjanju potencijalnih nejasnoća, kao i dodatne naučne verifikacije

dobijenih rezultata, primenom CIDI modela na različite višedimenzionalne pojave i objavljivanjem naučnih radova.

4.3. Verifikacija naučnih doprinosa

Naučni doprinos doktorske disertacije "Statistički pristup formiranju kompozitnih indikatora zasnovan na Ivanovićevom odstojanju", kandidata Marine Dobrote, verifikovan je sledećim publikacijama koje su rezultat istraživanja u okviru doktorske disertacije:

Kategorija M21:

1. **Dobrota, M.**, Bulajic, M., Bornmann, L., & Jeremic, V. (2015). A New Approach to QS University Ranking Using Composite I-distance Indicator: Uncertainty and Sensitivity Analyses. *Journal of the Association for Information Science and Technology*. In press. doi:10.1002/asi.23355 (IF2013: 2.23) (ISSN: 2330-1643).

Kategorija M23:

2. **Dobrota, M.**, Jeremic, V., & Markovic, A. (2012). A new perspective on the ICT Development Index. *Information Development*, 28(4), 271–280. doi:10.1177/0266666912446497 (IF2012: 0.375) (ISSN: 0266-6669).

Kategorija M33:

3. **Dobrota, M.**, Petrovic, N., Cirovic, M., & Jeremic, V. (2013). Measuring and Evaluating Air Pollution Per Inhabitant: A Statistical Approach. *APCBEE Procedia*, 5, 33–37. doi:10.1016/j.apcbee.2013.05.007
4. **Dobrota, M.**, Stojilkovic, J., Poledica, A., & Jeremic, V. (2014). Statistical Composite Indicator for Estimating the Degree of Information Society Development. In *4th International Conference on Information Society and Technology (ICIST 2014)* (p. Online proceedings). Kopaonik, Srbija. Retrieved from http://www.yuinfo.org/icist2014/Proceedings/ICIST_2014_Proceedings.PDF

5. ZAKLJUČAK I PREDLOG

Na osnovu pregleda doktorske disertacije pod nazivom "Statistički pristup formiranju kompozitnih indikatora zasnovan na Ivanovićevom odstojanju", kandidata Marine Dobrote, Komisija za ocenu i odbranu doktorske disertacije konstatuje da je urađena doktorska disertacija napisana prema svim standardima u naučno-istraživačkom radu, kao i da ispunjava sve uslove predviđene Zakonom o visokom obrazovanju, standardima i Statutom Fakulteta organizacionih nauka, Univerziteta u Beogradu. Na osnovu rezultata i zaključaka prikazanih u doktorskoj disertaciji, kao i činjenice da je analizirana problematika veoma aktuelna, Komisija konstatuje se da je kandidat Marina Dobrota uspešno završila doktorsku disertaciju u skladu sa predviđenim predmetom i postavljenim ciljevima istraživanja.

Kandidat je došla do originalnih rezultata koji su verifikovani u međunarodnim časopisima, i široko su primenljivi u oblasti evaluacije višedimezionalnih pojava i fenomena. Predloženi model je primenjen na evaluaciju informatičke razvijenosti društva i na rangiranje

univerziteta prema njihovim performansama, a primenljiv je i na druge višedimenzionalne oblasti. Doktorska disertacija "Statistički pristup formiranju kompozitnih indikatora zasnovan na Ivanovićevom odstojanju", predstavlja savremen i originalan doprinos naučnom saznanju iz oblasti Tehničkih nauka, uže naučne oblasti Računarska statistika.

Predložena metoda je validirana kroz objavljivanje radova u časopisima na SCie i SSCI listama, od kojih se posebno ističu jedan M21 i jedan M23 rad. Obzirom na prikazane rezultate, aktuelnost i multidisciplinarnost obrađenih tema, ova disertacija zadovoljava najviše kriterijume i kvalifikuje kandidata Marinu Dobrotu za naučno-istraživački rad.

Na osnovu navedenog, Komisija predlaže Nastavno-naučnom veću Fakulteta organizacionih nauka, da se doktorska disertacija **"Statistički pristup formiranju kompozitnih indikatora zasnovan na Ivanovićevom odstojanju"**, kandidata **Marine Dobrote**, prihvati, izloži na uvid javnosti i uputi na konačno usvajanje Veću naučnih oblasti tehničkih nauka Univerziteta u Beogradu.

U Beogradu, 5.12.2014. godine

ČLANOVI KOMISIJE

Prof. dr Milica Bulajić, redovni profesor,
Univerzitet u Beogradu, Fakultet organizacionih nauka

Prof. dr Milan Martić, redovni profesor,
Univerzitet u Beogradu, Fakultet organizacionih nauka

Prof. dr Zoran Radojičić, vanredni profesor,
Univerzitet u Beogradu, Fakultet organizacionih nauka

Doc. dr Veljko Jeremić, docent,
Univerzitet u Beogradu, Fakultet organizacionih nauka

Prof. dr Srđan Bogosavljević, redovni profesor,
Univerzitet u Beogradu, Ekonomski fakultet