

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
ФАКУЛТЕТ ОРГАНИЗАЦИОНИХ НАУКА

Милица М. Маричић

**РАЗВОЈ МЕТОДОЛОГИЈЕ ЗА
ФОРМИРАЊЕ И ЕВАЛУАЦИЈУ
КОМПОЗИТНИХ ИНДИКАТОРА**

докторска дисертација

Београд, 2019

UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF ORGANIZATIONAL SCIENCES

Milica M. Maričić

**DEVELOPMENT OF THE
METHODOLOGY FOR CONSTRUCTION
AND EVALUATION OF COMPOSITE
INDICATORS**

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2019

Ментор

Проф. др Милица Булајић, редовни професор
Универзитета у Београду, Факултета организационих наука

Коментор

Проф. др Вељко Јеремић, ванредни професор
Универзитета у Београду, Факултета организационих наука

Чланови комисије

Проф. др Мирко Вујошевић, редовни професор
Универзитета у Београду, Факултета организационих наука

Проф. др Драгана Крагуљ, редовни професор
Универзитета у Београду, Факултета организационих наука

Проф. др Радојка Малетић, редовни професор
Универзитета у Београду, Пољопривредног факултета

Датум одбране:

РАЗВОЈ МЕТОДОЛОГИЈЕ ЗА ФОРМИРАЊЕ И ЕВАЛУАЦИЈУ КОМПОЗИТНИХ ИНДИКАТОРА

Резиме:

Предмет истраживања докторске дисертације је даљи развој методологије за формирање и евалуацију композитних индикатора креиране од стране експерата из Организације за економску сарадњу и развој (*Organisation for Economic Co-operation and Development* – ОЕЦД) и Обједињеног истраживачког центра (*Joint Research Center* – ЈРЦ).

Композитни индикатори су метрике формиране од агрегираних појединачних пондерисаних индикатора који мере различите аспекте посматраног вишедимензионалног концепта. Доносиоци одлука све више користе композитне индикаторе за рангирање и евалуацију ентитета у различитим областима живота. ОЕЦД-ЈРЦ методологија пружа корисне смернице за спровођење комплексног процеса формирања методолошког оквира композитног индикатора. Међутим, начин додељивања тежинских коефицијената и анализа робусности и анализа осетљивости су кораци методологије који и даље привлаче пажњу.

Циљ методе додељивања тежинских коефицијената предложене у овој докторској дисертацији је одређивање тежинских коефицијената који максимизују стабилност метрике, мерену сумом стандардних девијација релативних доприноса индикатора. За дефинисање ограничења модела предложено је комбиновање методе реузорковања и Ивановићевог одстојања (И-одстојање), док је за решавање дефинисаног оптимизационог модела коришћена метахеуристика унапређено распршено претраживање (*enhanced Scatter Search* – eSS).

Нова метода узима у обзир стабилност композитног индикатора већ приликом одређивања тежинских коефицијената и предлаже тежинске коефицијенте засноване на подацима, чиме се смањује степен интуитивности методе и превазилази чињеница да се анализа робусности често не спроводи у процесу формирања и евалуације композитних индикатора. Сходно резултатима истраживања, показано је да се предложена метода може са успехом применити у процесу формирања и евалуације композитних индикатора.

Кључне речи:

композитни индикатори, мултиваријациона статистичка анализа, Ивановићево одстојање, унапређено распршено претраживање, анализа неизвесности, анализа осетљивости

Научна област:

Техничке науке

Ужа научна област:

Рачунарска статистика

УКД број:

DEVELOPMENT OF THE METHODOLOGY FOR CONSTRUCTION AND EVALUATION OF COMPOSITE INDICATORS

Abstract:

The subject of this doctoral dissertation is further development of the methodology for construction and evaluation of composite indicators created by experts from the Organization for Economic Co-operation and Development (OECD) and the Joint Research Center (JRC).

Composite indicators are metrics formed when individual indicators that measure different aspects of the observed multidimensional concept are weighted and aggregated. Decision makers increasingly use composite indicators to rank and evaluate entities on various topics. The OECD-JRC methodology provides useful guidelines for the complex process of construction the methodological framework of the composite indicator. However, the weighting method and the robustness and sensitivity analysis are the steps of the methodology that continue to attract attention.

The aim of the weighting method proposed in this doctoral dissertation is to determine the weighting scheme which maximizes the stability of the metric, measured by the sum of standard deviations of relative contributions of indicators. In order to define the model constraints the bootstrap Ivanović distance (I-distance) is proposed, while the metaheuristics enhanced Scatter Search (eSS) is used to solve the defined optimization problem.

The new method takes into account the stability of the composite indicator during the process of weighting scheme determination and proposes a data-driven weighting scheme which reduces the level of intuitivity and overcomes the fact that the robustness analysis is often not conducted in the process of construction and evaluation of composite indicators. According to the experimental results, it is shown that the proposed weighting method can be successfully applied in the process of construction and evaluation of composite indicators.

Keywords:

composite indicators, multivariate statistical analysis, Ivanović distance, enhanced Scatter Search, uncertainty analysis, sensitivity analysis

Scientific Area:

Technical sciences

Specific Scientific Area:

Computational Statistics

UKD Number:

Садржај

1. Увод	1
2. Методологија за формирање и евалуацију композитних индикатора	9
2.1. Додељивање тежинских коефицијената	18
2.2. Анализа робусности и анализа осетљивости.....	25
2.3. Методолошки недостаци композитних индикатора	31
3. Преглед статистичких метода и метода оптимизације за формирање и евалуацију композитних индикатора.....	34
3.1. Ивановићево одстојање.....	35
3.2. Реузорковање.....	40
3.3. Метакеуристике	44
3.3.1. Метакеуристика унапређено распршено претраживање (<i>enhanced Scatter Search</i> – еСС)	47
4. Хибридна метода додељивања тежинских коефицијената заснована на релативним доприносима и И-одстојању.....	54
4.1. Ограничавање тежинских коефицијената применом И-одстојања са реузорковањем	55
4.2. Метода унапређено распршено претраживање – Композитни индикатор базиран на И-одстојању (еСС-ЦИДИ)	57
5. Примена еСС-ЦИДИ методе додељивања тежинских коефицијената.....	66
5.1. Примена еСС-ЦИДИ методе за формирање композитних индикатора.....	66
5.2. Примена еСС-ЦИДИ методе за евалуацију композитних индикатора.....	73
5.2.1. Примена на Академско рангирање светских универзитета (<i>Academic Ranking of World Universities</i> – АРВУ).....	74
5.2.2. Примена на Индекс спремности за умрежавање (<i>Networked Readiness Index</i> – НРИ).....	80
5.2.3. Примена на Индекс одрживог друштва (<i>Sustainable Society Index</i> – ССИ).....	83
6. Закључак	94
7. Литература	99
Прилози	122
Биографија.....	134

Листа Слика, Табела и Графикона

Листа Слика

Слика 1 Недостаци композитних индикатора.....	33
Слика 2 Графички приказ еСС-ЦИДИ методе додељивања тежинских коефицијената	60

Листа Табела

Табела 1 Одабрани радови у којима се тежински коефицијенти одређују применом метахеуристика	23
Табела 2 Преглед статистичких метода и метода оптимизације за формирање и евалуацију композитних индикатора	34
Табела 3 Псеудо-код еСС алгорита	53
Табела 4 Компаративна анализа метода додељивања тежинских коефицијената	63
Табела 5 Дескриптивни показатељи индикатора који чине ЕИЛС	69
Табела 6 Минимална и максимална вредност тежинских коефицијената добијених применом методе И-одстојања са реузорковањем и еСС-ЦИДИ шема тежинских коефицијената ЕИЛС.....	71
Табела 7 Стандардне девијације релативних доприноса по индикатору ЕИЛС приликом употребе еСС-ЦИДИ шеме тежинских коефицијената	71
Табела 8 Вредности ЕИЛС за земље чланице ЕУ и њихови одговарајући рангови .	72
Табела 9 Официјелна АРВУ шема тежинских коефицијената, минимална и максимална вредност тежинских коефицијената добијених применом методе И-одстојања са реузорковањем и еСС-ЦИДИ шема тежинских коефицијената	77
Табела 10 Стандардне девијације релативних доприноса по индикатору АРВУ рангирања приликом употребе еСС-ЦИДИ шеме, АРВУ шеме, ЦИДИ шеме тежинских коефицијената и једнаких тежина	78

Табела 11 Првих и последњих десет ранжираних универзитета по АРВУ рангирању и њихов еСС-ЦИДИ ранг.....	79
Табела 12 Официјелна НРИ шема тежинских коефицијената на нивоу димензија, минимална и максимална вредност тежинских коефицијената добијених применом методе И-одстојања са реузорковањем и еСС-ЦИДИ шема тежинских коефицијената	81
Табела 13 Стандардне девијације релативних доприноса по димензији НРИ приликом употребе еСС-ЦИДИ, НРИ и ЦИДИ шеме тежинских коефицијената	82
Табела 14 Листа индикатора који чине ССИ, тежински коефицијенти додељени на сваком нивоу агрегације и ефективни тежински коефицијенти	85
Табела 15 Ефективни тежински коефицијенти ССИ, минимална и максимална вредност тежинских коефицијената добијених применом методе И-одстојања са реузорковањем и еСС-ЦИДИ шема тежинских коефицијената након прве и друге итерације.....	88
Табела 16 Стандардне девијације релативних доприноса по индикатору ССИ приликом употребе еСС-ЦИДИ и хипотетичке ССИ шеме тежинских коефицијената	90
Табела 17 Десет најбоље и најгоре ранжираних земаља по хипотетичком ССИ рангу и њихов еСС-ЦИДИ ранг.....	92

Листа Графикона

Графикон 1 Разлика између АРВУ и еСС-ЦИДИ ранга (приказ одабраних универзитета)	78
Графикон 2 Разлика између НРИ и еСС-ЦИДИ ранга (приказ одабраних земаља)	83
Графикон 3 Разлика између ССИ и еСС-ЦИДИ ранга (приказ одабраних земаља)	91

1. Увод

Мерење перформанси ентитета у различитим сферама друштвеног живота све више добија на значају. Поређење и рангирање на основу измерених перформанси представља важан извор информација о претходном учинку посматраних ентитета. Иако постоји велики број начина за мерење и упоређивање измерених вредности перформанси, композитни индикатори су метрике које су временом почеле да се издавају и да привлаче пажњу различитих заинтересованих страна (1). У општем смислу, композитни индикатор се дефинише као метрика коју чине појединачни пондерисани индикатори који мере различите аспекте посматраног вишедимензионалног концепта (2,3). Питање које се јавља је да ли је могуће и на који начин формирати једну свеобухватну метрику посматраног концепта коришћењем вредности појединачних индикатора (4).

У последњих 20 година композитни индикатори су добили широку примену у рангирању и евалуацији ентитета у различитим областима: у високошколском образовању на нивоу универзитета (5) и на нивоу система високошколског образовања (6), у области екологије и одрживости (7), родне равноправности (8,9), одрживог туризма (10), одрживих градова (11), владавине права (12), људског развоја (13), условима пословања (14) и другим. Као најчешћи креатори композитних индикатора јављају се међународне организације (на пример Програм организације Уједињених нација за развој (*United Nations Development Programme* – УНДП)), часописи и новине (на пример *The Times Higher Education*), универзитети (на пример Универзитет Ђао Тонг (*Shanghai Jiao Tong University*)) или пак чланови научне заједнице (на пример (15)). Може се закључити да се композитни индикатори користе у различитим сферама друштвеног живота, да у њиховом формирању учествују експерти из профитног и непрофитног сектора и да се њима могу рангирати различити ентитети: државе, региони, градови, универзитети и друго.

Осим рангирања и евалуације ентитета на основу претходног учинка, композитни индикатори се у исто време користе за евалуацију спроведених реформи и за скретање пажње на питања од значаја за ширу друштвену заједницу. Оно што такође доприноси чињеници да композитни индикатори учврсте своју улогу веродостојног и поузданог показатеља, иако статистички то понекад и нису, је велико интересовање медија и

доносилаца одлука за поједностављење комплексних концепата и пружање наизглед једноставних закључака (16). Из тог разлога, њихов број, као и број области у којима се они активно користе наставља да се увећава (17) иако постоје критике везане за њихову валидност (18).

Организација за економску сарадњу и развој (*Organisation for Economic Co-operation and Development* – ОЕЦД) и Обједињени истраживачки центар Европске Комисије (*Joint Research Center* – ЈРЦ), центар који је, између осталог, специјализован за формирање и евалуацију композитних индикатора, су препознали значај композитних индикатора и заједно су развили методологију за формирање и евалуацију композитних индикатора у виду приручника (19). Циљ приручника је да креаторима политика, научној заједници, медијима и осталим заинтересованим странама пружи водич за формирање и коришћење композитних индикатора.

ОЕЦД-ЈРЦ методологију чини десет корака: Теоријски оквир, Избор података, Третирање недостајућих података, Мултиваријациона анализа, Нормализација, Додељивање тежинских коефицијената и агрегација, Анализа робусности и анализа осетљивости, Тумачење резултата, Повезаност са другим индикаторима и Визуелизација и презентација резултата (19). Међутим, иако су кораци методологије јасно дефинисани, постоји могућност даљег развоја метода које се у њима примењују.

Приликом формирања композитног индикатора експерти се сусрећу са великим бројем питања везаних за методолошки оквир будуће метрике на које не постоји јединствен и тачан одговор (18). Једно од таквих питања је одабир методе додељивања тежинских коефицијената (19). Истраживања су показала да шема тежинских коефицијената има значајан утицај на крајње вредности композитног индикатора (16,20,21). Полазећи од схватања да су одређене методе додељивања тежинских коефицијената интуитивне јер представљају став експерата о важности одређених индикатора, савремене методе додељивања тежинских коефицијената теже томе да умање утицај експерата. Из тог разлога су креиране методе додељивања тежинских коефицијената које се заснивају на резултатима статистичких метода и метода оптимизације. Међутим, такве методе додељивања тежинских коефицијената у великој мери елиминирају експертско мишљење и њихова примена може довести до одабира шеме тежинских коефицијената коју шири друштвена заједница неће прихватити

(18,22). Такође, поставља се питање стабилности композитног индикатора који настаје применом такве шеме тежинских коефицијената (23,24).

Ова докторска дисертација покушава да превазиђе проблем интуитивности са којим се суочавају методе додељивања тежинских коефицијената засноване на мишљењима експерата и чињеницу да се анализа робусности и анализа осетљивости врло често не спроводе у процесу формирања и евалуације композитних индикатора креирањем нове методе додељивања тежинских коефицијената и самим тим даљим развојем ОЕЦД-ЈРЦ методологије за формирање и евалуацију композитних индикатора. Метода дефинисана у овој докторској дисертацији се заснива на математичком моделу који има за циљ да максимизује стабилност композитног индикатора, при чему су ограничења модела настала применом ненадгледаних статистичких метода. Идеја је да се минимизира утицај шеме тежинских коефицијената на осцилацију рангова посматраних ентитета.

Један од начина евалуације робусности креираног композитног индикатора је коришћењем анализе неизвесности и анализе осетљивости које испитују његову стабилност у зависности од различитих промена у методолошком оквиру композитног индикатора (24). Наиме, што је осетљивост на промене у методолошком оквиру мања, то је стабилност посматраног композитног индикатора већа (2). Анализа неизвесности и анализа осетљивости се могу спровести за један или више фактора неизвесности (25). За овде спроведено истраживање је од кључног значаја испитивање неизвесности и осетљивости у зависности од шеме тежинских коефицијената. Као улазне вредности за специфичну анализу неизвесности и осетљивости користе се средња вредност и стандардна девијација релативних доприноса индикатора (26,27). Поред тога, вредности стандардних девијација релативних доприноса индикатора се могу узети као мера стабилности композитног индикатора (28,29).

Поред великог броја метода мултиваријационе анализе које се могу спровести у циљу одређивања нових тежинских коефицијената посебно се издваја метода Ивановићево одстојање (И-одстојање) (30). Оно што диференцира методу И-одстојање је њена способност да агрегира индикаторе, а да им при томе експлицитно не додељује тежинске коефицијенте (3). Такође, посматрани индикатори не морају бити нормализовани или изражени у истим јединицама да би били агрегирани (20). Још једна важна особина методе И-одстојања је да је она креирана са идејом да се

избегне дуплицитет информација које носи низ сродних променљивих (30). Због свега наведеног, метода И-одстојања се показала као веома погодна за рангирање ентитета и одређивање тежинских коефицијената који су засновани на подацима (20,31).

По спровођењу методе И-одстојања значајност сваког индикатора за процес рангирања може се измерити коефицијентом корелације између улазних индикатора и крајње вредности И-одстојања (32). Методологија Композитног индикатора базираног на И-одстојању (*Composite I-distance Indicator* – ЦИДИ) подразумева израчунавање тежинских коефицијената који су засновани на И-одстојању (2,27). Тако добијени тежински коефицијенти се могу употребити за креирање Композитног индикатора заснованог на И-одстојању који је упоредив са резултатима анализираних композитног индикатора (33), као и за одређивање граница унутар којих се тежински коефицијенти могу наћи (34).

Статистичка метода која омогућава да се на основу већег броја узорака, извучених из исте популације, дефинише расподела вероватноћа добијања одређене вредности статистике је метода реузорковања (35,36). Осим тога што се користи за дефинисање расподела вероватноћа, метода реузорковања се са успехом користи и за валидацију предиктивних модела (37), за тестирање хипотеза (38), али и за одређивање интервала унутар којих се одређени параметри могу наћи (39).

Приликом примене ЦИДИ методологије, као резултат се добија јединствена шема тежинских коефицијената (27). Међутим, спровођењем методе реузорковања и понављања ЦИДИ методологије на унапред одређеном броју подзорака исте величине, може се добити горња и доња граница унутар које се може наћи сваки тежински коефицијент. Овако добијени интервал се може користити за одређивање граница унутар којих се могу наћи тежински коефицијенти приликом примене метода оптимизације (40).

Идеја о додељивању тежинских коефицијената коришћењем метода оптимизације се базира на максимизацији или минимизацији специфичне критеријумске функције (41) у којој тежински коефицијенти представљају управљачке променљиве. Прегледом литературе уочено је да су најчешће спровођене методе оптимизације за одређивање тежинских коефицијената анализа обавијања података (*Data Envelopment Analysis* – ДЕА метода), ДЕА модел без експлицитних улаза (*Benefit of Doubt* – БоД модел) и различите метахеуристике (42–44). Метахеуристика која је коришћена у овој докторској

дисертацији је унапређено распршено претраживање (*enhanced Scatter Search* – eSS) које је заснива на метахеуристици распршено претраживање (*Scatter Search* – SS) (45,46).

Предмет истраживања докторске дисертације је преглед актуелне референтне литературе која се односи на проблематику формирања и евалуације композитних индикатора, посебно на методе додељивања тежинских коефицијената, као и на начине на који се врши анализа робусности и анализа осетљивости. Посебна пажња је усмерена на развој нове методе додељивања тежинских коефицијената која се, осим у процесу формирања нових, може користити и у процесу евалуације постојећих композитних индикатора.

Циљ истраживања је да се унапреди постојећа ОЕЦД-ЈРЦ методологија за формирање и евалуацију композитних индикатора увођењем нове методе додељивања тежинских коефицијената која максимизира стабилност композитног индикатора. Предложена метода се заснива на оптимизационом моделу базираном на релативним доприносима индикатора, чији је допустиви скуп решења дефинисан имплементацијом овде предложеном ненадгледаном статистичком методом: И-одстојање са реузорковањем. За решавање математичког модела коришћена је метахеуристика унапређено распршено претраживање (eSS). Циљ оптимизационог модела је да пронађе шему тежинских коефицијената која ће унапредити постојећи ниво стабилности композитног индикатора узимајући у обзир дата ограничења. Ради верификације предложене методе, она је примењена за формирање новог композитног индикатора, као и за евалуацију постојећих композитних индикатора.

На основу дефинисаног предмета и циља истраживања формиране су следеће хипотезе:

Општа хипотеза

- Могуће је унапредити постојећу ОЕЦД-ЈРЦ методологију за формирање и евалуацију композитних индикатора креирањем нове хибридне методе додељивања тежинских коефицијената која се базира на статистичким методама и методи оптимизације.

Посебне хипотезе

- Комбиновањем методе И-одстојања и методе реузорковања могу се одредити доње и горње границе тежинских коефицијената, које су погодне за креирање ограничења математичког модела;
- Предложени оптимizacionи проблем се може решити применом метахеуристика;
- Предложена метода додељивања тежинских коефицијената се може применити како би се повећала стабилност композитног индикатора;
- Предложена метода додељивања тежинских коефицијената се може применити како би се редуковао број индикатора који чине композитни индикатор.

Дефинисани задатак се може формулисати на следећи начин. Посматра се скуп ентитета $E = \{e_1, e_2, \dots, e_n\}$ (држава, градова, универзитета, ...) и скуп променљивих (индикатора) $X = \{X_1, X_2, \dots, X_k\}$. За сваки од посматраних ентитета e_r , $r = 1, \dots, n$ измерена је вредност индикатора X_i , $i = 1, \dots, k$, x_{ir} . Циљ је одредити тежински коефицијент w_i за сваки индикатор X_i тако да сума стандардних девијација релативних доприноса v_{ir} по индикатору буде минимална.

Основне методе истраживања примењене у докторској дисертацији су биле прикупљање, анализа и класификација постојеће литературе и теоријских и експерименталних резултата како би се указало на потребу за предложеном методом додељивања тежинских коефицијената чиме би се унапредила постојећа ОЕЦД-ЈРЦ методологија за формирање и евалуацију композитних индикатора.

У докторској дисертацији су, поред наведених, примењене следеће методе истраживања: методе индукције-дедукције, методе дескриптивне анализе, методе анализе и синтезе, компаративне анализе, статистичке методе (метода реузорковања, корелациона анализа, методе мултиваријационе анализе), методе моделовања, као и методе оптимизације (хеуристике и метахеуристике). У спроведеном истраживању су, поред општих метода истраживања, коришћене и посебне методе чија употреба

произилази из формулисаног предмета и циља истраживања: метахеуристка унапређено распршено претраживање (eSS) и метода И-одстојање.

План истраживања је подразумевао анализу и преглед постојеће литературе на тему формирања композитних индикатора, посебно на тему додељивања тежинских коефицијената и метода оптимизације које се користе за додељивање тежинских коефицијената, дефинисање уочених проблема и недостатака постојећих метода и коначно, креирање нове методе додељивања тежинских коефицијената чиме се унапређује и развија ОЕЦД-ЈРЦ методологија за формирање и евалуацију композитних индикатора. Како би се верификовала предложена метода додељивања тежинских коефицијената и прихватила или оповргла постављене хипотезе, она је примењена за формирање новог композитног индикатора, као и за евалуацију постојећих композитних индикатора.

У уводном поглављу су описани предмет и циљ докторске дисертације, наведене су полазне хипотезе и методе истраживања, а дат је и садржај и опис истраживања, уз навођење главних аспеката који ће њиме бити обухваћени.

У наредном поглављу је сагледана проблематика композитних индикатора и њиховог формирања. Детаљније је представљена постојећа ОЕЦД-ЈРЦ методологија за формирање и евалуацију композитних индикатора, при чему је пажња усмерена на два корака методологије: на додељивање тежинских коефицијената и на анализу робусности и анализу осетљивости. На крају поглавља је дат и осврт на најчешће навођене методолошке недостатке композитних индикатора.

Треће поглавље је посвећено статистичким методама и методи оптимизације које чине хибридно методу додељивања тежинских коефицијената која је предложена у овој докторској дисертацији. Представљене су теоријске основе Ивановићевог одстојања (И-одстојање) које је предложио проф. Бранислав Ивановић (30,47), методологије Композитног индикатора заснованог на И-одстојању (*Composite I-distance Indicator* – ЦИДИ) која представља даље унапређење и проширење примене И-одстојања (2,27), методе реузорковања (48–50), као и концепти и алгоритам метахеуристике унапређено распршено претраживање (*enhanced Scatter Search* – eSS) која се у последњих неколико година примењује са успехом за решавање проблема нелинеарне оптимизације (46).

У четвртом поглављу је детаљно представљена нова метода додељивања тежинских коефицијената. Предложена метода се заснива на математичком моделу базираном на релативним доприносима индикатора, чији је допустиви скуп решења дефинисан имплементацијом И-одстојања са реузорковањем. За решавање математичког модела коришћена је метахеуристика унапређено распршено претраживање (eSS). Детаљно је описана процедура спровођења предложене методе и наведене су предности и побољшања која се могу остварити њеном применом. Такође, дата је и компаративна анализа предложене методе додељивања тежинских коефицијената са методама додељивања тежинских коефицијената које се могу класификовати у исту групу метода.

У наредном поглављу су приказане студије случаја у којима је предложена метода примењена за формирање новог композитног индикатора, као и за евалуацију постојећих композитних индикатора. У оквиру експерименталног дела докторске дисертације предложена метода је примењена за формирање Европског индекса задовољства живота (*European Index of Life Satisfaction* – ЕИЛС) и за евалуацију Академског рангирања светских универзитета (*Academic Ranking of World Universities* – АРВУ), Индекса спремности за умрежавање (*Networked Readiness Index* – НРИ) и Индекса одрживог друштва (*Sustainable Society Index* – ССИ).

Шесто поглавље чине закључна разматрања и одговори на питања у вези са постављеним циљем и хипотезама. Такође, дат је преглед научних доприноса који су проистекли из докторске дисертације, као и потенцијални будући правци истраживања у области. Литература садржи релевантне референце других истраживача које су коришћене приликом израде докторске дисертације. У прилогу су дати целокупни резултати експерименталног дела дисертације који, због обимности, нису приказани у петом поглављу.

2. Методологија за формирање и евалуацију композитних индикатора

Резултати рангирања, поређења и евалуације ентитета у зависности од оствареног утичка утичу на став појединца о посматраним ентитетима (51). Због тога ће поређење и рангирање увек бити од значаја за ентитете који се посматрају, јер ће они увек настојати да унапреде своју позицију на ранг листама. У исто време, ентитети су окружени комплексним појавама на основу којих их је потребно рангирати (52). Неки примери свакодневних појава који се тешко могу квантификовати су квалитет живота, родна равноправност, еколошка свест и економски статус. Ове концепте је скоро немогуће измерити директно те је, да би се испунила потреба за поређењем, било потребно креирати нове начине мерења сложених вишедимензионалних концепата. Један од начина мерења су композитни индикатори.

ОЕЦД дефинише да се композитни индикатор формира „*када се појединачни индикатори агрегирају у јединствени индекс, на основу креираног модела вишедимензионалног концепта који се мери*“ (53). У општем смислу, композитни индикатор се дефинише као метрика која се састоји од појединачних пондерисаних индикатора који мере различите аспекте посматраног вишедимензионалног концепта (2,3). Из ових дефиниција следи да се композитни индикатори, на неки начин, базирају на математичким моделима који су настали по угледу на реални систем (54).

Међународне организације као што су Уједињене нације (УН), Европска комисија (ЕК) и друге, су развиле и активно користе композитне индикаторе јер су увиделе да они обезбеђују упоређивање ентитета по понекад врло сложеним концептима. Композитни индикатори се користе у сврху процене из неколико разлога (55). Прво, зато што могу да доносиоцима одлука и креаторима политика пруже додатне информације од значаја за формирање стратегија, развијање политика и идентификацију приоритета. Затим, могу да промовишу и унапреде размену информација између владе и шире јавности. Надаље, композитни индикатори су додатно добили на популарности због њихове способности да интегришу велике количине информација у формат који шира друштвена заједница лакше разуме и тумачи (56,57). Такође, могу да измере релативну позицију земље у односу на земље у региону, али и да прате промену позиције током времена (54). Поред тога, вредности

композитних индикатора се могу се користити за иницирање јавног и политичког дискурса о различитим политикама, на пример о стању високошколског образовања у земљи (16). Може се закључити да различите заинтересоване стране формирају мишљења и доносе одлуке на основу резултата композитних индикатора и рангирања које произилази на основу вредности композитних индикатора (58,59). Према томе, може се закључити да композитни индикатори могу имати значајне импликације (60).

С друге стране, постоје недостаци идеје о агрегирању појединачних индикатора и формирању композитних индикатора. Прво, резултате композитних индикатора треба пажљиво тумачити, а доносиоци одлука и друге заинтересоване стране које их тумаче би требало да поседују одговарајуће предзнање из области мереног вишедимензионалног концепта (61,62). Затим, резултати композитних индикатора могу бити усмерени да фаворизују одређену политику, а у неким случајевима могу довести до примене неадекватних политика уколико одређени индикатори нису укључени у методолошки оквир (19). Такође, пошто не постоји јединствен и једноставан начин формирања методолошког оквира композитног индикатора, стручњаци и експерти могу лако довести у питање валидност креиране метрике (63–65). Иако постоје недостаци, предности које композитни индикатори нуде преовлађују и њихова примена је у порасту (66).

Имајући у виду чињеницу да композитни индикатори имају предности и недостатке, али и значајне импликације на политике и став јавности, потребно их је креирати и тумачити са разумевањем. Закључци који произилазе из резултата композитних индикатора се не смеју генерализовати (67). Креирана политика за унапређење неке сфере друштвеног живота у једној земљи не значи да ће иста имати позитивне ефекте када буде спроведена у некој другој. Поред тога, пошто не постоји транспарентност и јединствено правило за формирање методолошког оквира композитних индикатора, резултати композитних индикатора треба да имају комплементарну функцију приликом креирања политика, а не пресудну (1,23,68).

Са једне стране постоји јасна потреба за композитним индикаторима, док је са друге стране процес њиховог формирања нетранспарентан и заснива се на субјективном мишљењу (1). Креаторима политика и другим заинтересованим странама су потребни робусни композитни индикатори. Из тог разлога је развијен нови правац истраживања који има за циљ да испита робусност композитног индикатора: анализа стабилности

композитног индикатора кроз анализу неизвесности и анализу осетљивости (69). Сврха анализе неизвесности и анализе осетљивости је да делују као „средство за обезбеђивање квалитета“ које треба да укаже на то колико је композитни индикатор стабилан у зависности од промена у методолошком оквиру (21). Иако обе анализе пружају важне увиде о квалитету креиране метрике, овај корак се још увек не спроводи универзално у процесу формирања композитних индикатора (19,60,69,70).

Као што се може закључити, композитни индикатори су веома информативни, али њихова методологија формирања није једнозначно дефинисана. Из дефиниције композитних индикатора следи велики број питања: На који начин креирати теоријски модел који ће најбоље описати посматрани вишедимензионални концепт? Како изабрати појединачне индикаторе који ће чинити композитни индикатор? Да ли индикаторима доделити тежинске коефицијенте или не? На који начин агрегирати одабране индикаторе? Наведена питања отварају могућност критике, али и стварају неповерење у резултате композитних индикатора (26,71). Из тог разлога, велике међународне организације као што су ОЕЦД и ЕК су се укључиле у формализовање методологије за формирање и евалуацију композитних индикатора како би се пружиле одређење смернице у потрази за одговорима на многобројна питања.

Експерти из ОЕЦД и ЈРЦ, научно-истраживачког центра који је, између осталог, специјализован за формирање и евалуацију композитних индикатора, су, препознали значај композитних индикатора и утицај који они имају на креаторе политика, доносиоце одлука на руководећим позицијама, али и на ширу друштвену заједницу, па су заједно креирали методологију за формирање и евалуацију композитних индикатора у виду приручника (19).

Циљ приручника је да креаторима политика, научној заједници, медијима и осталим заинтересованим странама пружи водич за формирање и коришћење композитних индикатора. Наиме, он треба да допринесе бољем разумевању комплексног процеса формирања композитних индикатора и побољшању метода које се у ту сврху користе. Приручник садржи низ техничких смерница које могу помоћи креаторима композитних индикатора да побољшају квалитет своје метрике.

Методологију за формирање и евалуацију композитних индикатора чини десет корака (19):

1. Теоријски оквир – Корак у коме је потребно јасно дефинисати вишедимензионални концепт и критеријуме за избор индикатора који ће чинити композитни индикатор;
2. Избор података – Корак у коме се, на основу аналитичке исправности, мерљивости и релевантности индикатора за концепт који се мери бирају појединачни индикатори који ће чинити композитни индикатор;
3. Третирање недостајућих података – Корак који треба да обезбеди да посматрани скуп података буде комплетан, као и да одреди процењене вредности за недостајуће податке;
4. Мултиваријациона анализа – Омогућава проучавање целокупне структуре података и њихову подобност за мерење посматраног вишедимензионалног концепта;
5. Нормализација – Корак који има за циљ да обезбеди да се посматрани подаци сведу на јединице мере које су донекле међусобно упоредиве;
6. Додељивање тежинских коефицијената и агрегација – Корак који подразумева одабир начина додељивања тежинских коефицијената, њихово додељивање, као и одабир методе агрегације вредности индикатора у композитни индикатор;
7. Анализа робусности и анализа осетљивости – Корак у коме се испитује стабилност формираног композитног индикатора у зависности од промена методолошког оквира;
8. Тумачење резултата – Корак у коме се спроводи анализа добијених резултата коришћењем прикупљених података;
9. Повезаност са другим индикаторима – Упоредивање добијених резултата са релевантним индикаторима или постојећим композитним индикаторима;
10. Визуелизација и презентација резултата – Одабир алата за презентовање добијених резултата.

Приликом формирања композитног индикатора препоручено је да се испоштује и спроведе сваки од десет наведених корака. Чак иако се креатори композитних индикатора одлуче за спровођење свих корака, пред њима је одлука о одабиру начина или методе којом ће спровести одговарајући корак ОЕЦД-ЈРЦ методологије. Скуп одабраних метода којим се спроведе кораци методологије чини методолошки оквир композитног индикатора.

У наставку поглавља су детаљније приказани наведени кораци, док су проблематици додељивања тежинских коефицијената и испитивању стабилности композитних индикатора посвећена посебна потпоглавља. На крају овог поглавља је извршена анализа најчешће навођених методолошких недостатака композитних индикатора.

Како би један композитни индикатор на најбољи могући начин могао да измери посматрани вишедимензионални концепт, потребно је јасно и прецизно дефинисати проблем мерења и начин мерења. Први корак у формирању композитног индикатора треба да буде дефинисање теоријског оквира. То је кључни корак у којем се моделује посматрани вишедимензионални концепт и на основу кога се одређују индикатори који ће формирати композитни индикатор. Постоје три предлога који могу олакшати креирање теоријског оквира (72): (i) консултовање ставова будућих крајњих корисника о моделовању посматраног вишедимензионалног концепта, (ii) поређење предложеног теоријског оквира са већ постојећим теоријским оквирима и (iii) апстраховање одређеног дела комплексности посматраног концепта како би се избегло формирање композитног индикатора са превише сложене структуре. Приликом дефинисања теоријског оквира потребно је дефинисати и структуру композитног индикатора. У неким случајевима, композитни индикатор се састоји од појединачних индикатора који су у каснијим корацима агрегирани у композитни индикатор. Међутим, некада је могуће поделити посматрани вишедимензионални концепт на појединачне и јасно дефинисане категорије, које мере различите аспекте вишедимензионалног концепта. Категорије настају агрегацијом појединачних индикатора. Уколико је теоријска структура композитног индикатора изузетно сложена, може се увести нови ниво композитног индикатора - димензија. Димензије настају агрегацијом категорија. Најчешћа номенклатура нивоа композитних

индикатора је: индикатор (први ниво) – категорија (други ниво) – димензија (трећи ниво).

Када је теоријски оквир дефинисан, у наредном кораку је потребно одабрати појединачне индикаторе којима ће се посматрани вишедимензионални концепт мерити. Индикаторе треба одабрати имајући у виду њихову аналитичку исправност, мерљивост, релевантност за посматрани концепт, као и међусобну повезаност (19). У овом кораку такође треба испитати квалитет доступних индикатора, сагледати предности и недостатке сваког од одабраних индикатора и анализирати карактеристике индикатора као што је тип индикатора, начин прикупљања података и друго.

Врло често по одабиру индикатора, може се десити да постоје недостајући подаци за одређене индикаторе. Обрасци настанка недостајућих података могу бити: потпуно насумични (*Missing Completely at Random* – МЦАР), насумични (*Missing at Random* – МАР) и не-насумични (*Not Missing at Random* – НМАР) (19). Како се у наредним корацима у процесу формирања композитног индикатора врло често примењују статистичке методе, потребно је надоместити недостајуће податке јер се неке методе не могу спровести ако постоје недостајући подаци. Сврха овог корака је да одреди процењене вредности за недостајуће податке, да обезбеди меру поузданости унетих вредности, као и да испита присуство нестандарних опсервација у подацима (2). Неки од начина на који се решава проблем недостајућих података су искључивање из даљег посматрања оних ентитета који имају недостајуће податке, замена недостајућих података средњим вредностима (аритметичка средина, модус, медијана) и други (73).

Методе мултиваријационе анализе представљају скуп статистичких метода које имају за циљ да анализирају прикупљена вишедимензионална мерења (74). Ове методе се врло често користе у почетним фазама формирања композитних индикатора, када се врши иницијална анализа података и испитује њихова подобност за даље кораке (агрегацију и пондерисање) (19). Методе мултиваријационе анализе се могу поделити на методе које су оријентисане ка испитивању међузависности променљивих и ка испитивању међузависности ентитета (3,74). Приликом испитивања међузависности променљивих користе се анализе корелације, при чему је основна метода мултиваријационе анализе која се примењује коваријациона или корелациона матрица. Друга група метода дефинише различите мере блискости између два

ентитета. Ове методе мултиваријационе анализе се базирају на матрици одстојања између ентитета (3). Друга класификација дели методе мултиваријационе анализе на методе зависности (вишеструка регресија и дискриминациона анализа) и на методе међузависности (факторска анализа и анализа груписања) (4,74).

Након одабира појединачних индикатора и пре њиховог пондерисања и агрегације, прикупљене податке који су обично измерени у различитим јединицама (еврима, процентима, метрима, ...) потребно је свести на заједничку јединицу мере. Корак методологије који то омогућава је нормализација. Поставља се питање коју методу нормализације треба користити. У литератури се предлаже неколико метода: рангирање, мин-мах, стандардизација (Z -скорови), удаљеност од референтне вредности и друге (60). Метода нормализације не утиче на рангирање ентитета по појединачним индикаторима, али утиче на крајњу вредност композитног индикатора. Пошто различите методе нормализације производе различите вредности појединачних индикатора (60) оне имају значајне ефекте на резултате композитних индикатора (63,75). Приликом формирања композитног индикатора посебну пажњу треба посветити избору методе нормализације, јер се њене последице директно одражавају на крајње вредности креиране метрике (44,76). До сада је изведено неколико студија како би се испитао утицај методе нормализације на крајње резултате композитних индикатора. Показано је да се, у зависности од тога да ли се користе тек прикупљени или нормализовани подаци, могу добити различити рангови ентитета (76). У истраживању (77) је испитиван утицај различитих метода агрегације и нормализације коришћењем парцијалних извода функција агрегације и нормализације. Резултати су показали да се вредност композитног индикатора значајно мења ако се вредност индикатора мења за једну јединицу у зависности од коришћене методе нормализације. Аутори (78) су тестирали и упоређивали различите методе нормализације и агрегације и такође су показали да нормализација статистички значајно утиче на крајње резултате. Може се закључити да, без обзира на то која се метода нормализације користи, треба је пажљиво изабрати (19), у складу са методом додељивања тежинских коефицијената која ће се користити у наредним корацима (79). Која год метода нормализације да се примењује, треба имати у виду да се нормализацијом може изгубити део информација, јер се више не користе оригинални подаци већ удаљености, Z -скорови и слично. Такође, врло често су нормализовани подаци компликованији за разумевање и тумачење (63).

Када су прикупљени подаци сведени на заједничку јединицу мере, у наредном кораку је потребно одлучити да ли ће индикатори бити пондерисани и самим тим, диференцирани по значају или не. Ако креатори композитног индикатора сматрају да су сви индикатори подједнако значајни за процес рангирања, додељују им једнаке тежине. Међутим, ако сматрају да разлике у значају постоје, поставља се питање коју методу додељивања тежинских коефицијената применити како би се одредила шема тежинских коефицијената? ОЕЦД сматра да пондерисање има двоструку улогу (19). Са једне стране, тежински коефицијент има за циљ да укаже на „експлицитну“ значајност индикатора, док, са друге стране, има „имплицитну“ значајност јер додељени тежински коефицијент има утицај на компензацију између вредности индикатора. Како је до сада развијен велики број различитих приступа за додељивање тежинских коефицијената и како је циљ докторске дисертације креирање нове методе додељивања тежинских коефицијената, овом кораку методологије је посвећено потпоглавље 2.1. Без обзира на приступ који је коришћен за одређивање шеме тежинских коефицијената, шема тежинских коефицијената коју су предложили креатори композитног индикатора и која се користи за израчунавање крајњих вредности композитног индикатора се сматра официјелном шемом тежинских коефицијената.

После пондерисања појединачних индикатора, агрегација долази као последњи корак пре добијања крајње вредности композитног индикатора. Као и у случају нормализације и додељивања тежинских коефицијената, постоји више приступа. Прво питање које се намеће је како класификовати методе агрегације. Према једној класификацији, методе агрегације могу бити адитивне и функционалне (18). Са друге стране, ОЕЦД их дели на линеарне, геометријске и вишекритеријумске (19), док их аутор (80) дели на оне које омогућавају компензацију и оне које то не омогућавају. Међутим, у новијем прегледу литературе на тему метода агрегације, аутори (21) су навели и „мешовите стратегије“ које су у исто време и методе додељивања тежинских коефицијената и методе агрегације. Као такве, не могу се савршено уклопити ни у једну од дефинисаних група. Неки од таквих приступа су Мазинота-Парето Индекс (МПИ) (81), методологија пенализације уског грла (*Penalty for a Bottleneck methodology*) (82) и функција средња вредност-мин (83).

У наставку овог поглавља су укратко представљене и упоређене линеарна и геометријска агрегација, јер су оне и даље најчешће коришћене методе агрегације у области креирања композитних индикатора (21).

Линеарна агрегација се дефинише као (19):

$$CIL_r = \sum_{i=1}^k w_i x_{ir}$$

где је CIL_r вредност композитног индикатора за ентитет r , $r = 1, \dots, n$, w_i је тежински коефицијент додељен индикатору X_i , $i = 1, \dots, k$, а x_{ir} је нормализована вредност појединачног индикатора X_i за ентитет e_r . Ова метода агрегације је једноставна, али се јавља проблем када постоји велики распон вредности индикатора посматраног ентитета. Наиме, ова метода агрегације је често критикована јер омогућава компензацију између вредности индикатора једног ентитета (84). Ако неки ентитет има ниске вредности једног индикатора, а високе вредности неког другог, високе вредности другог индикатора ће компензовати ниске вредности, па ће ентитет свеукупно имати уједначене вредности композитног индикатора. Због наведеног, приликом употребе ове методе агрегације треба имати на уму да ће додељена значајност одређеном индикатору бити трансформисана у компромис (71).

Са друге стране, геометријска агрегација допушта мањи степен компензације вредности (85). Она награђује ентитете са вишим вредностима индикатора, док пенализује ентитет са најмање једном слабом перформансом (86). Самим тим, ентитети са нижим вредностима индикатора ће бити више мотивисани да побољшају своје резултате, пошто код њих мали пораст вредности индикатора има већи утицај на крајње вредности композитног индикатора него код ентитета са бољим резултатима (21,87). Геометријска агрегација се дефинише као:

$$CIG_r = \prod_{i=1}^k (x_{ir})^{w_i}$$

Пре тумачења крајњих вредности композитног индикатора саветује се спровођење анализе робусности и анализе осетљивости (19,60). Ове две анализе имају за циљ да испитају да ли се и колико мењају крајње вредности и рангови композитног индикатора у зависности од промена методолошког оквира (24,71). Иако резултати

анализе робусности и анализе осетљивости могу указати на недостатке методолошког оквира формираног композитног индикатора, овај корак се, још увек, врло често прескаче (60,70). Како је до сада развијено неколико приступа за спровођење анализе робусности, а циљ методе додељивања тежинских коефицијената која је представљена у овој дисертацији је повећање стабилности композитног индикатора, овом кораку ОЕЦД-ЈРЦ методологије је посвећено потпоглавље 2.2.

Последња три корака (Тумачење резултата, Повезаност са другим индикаторима и Визуелизација и презентација резултата) везана су за анализу и презентацију крајњих вредности формираног композитног индикатора. У фази тумачења резултата потребно је испитати да ли добијени резултати имају смисла или не и, ако немају смисла, пронаћи разлоге за то. У том кораку се саветује повратак на податке и анализа каузалности између прикупљених података и добијених резултата. Такође, потребно је испитати да ли неки индикатор у композитном индикатору има већи значај него што је то у претходним корацима дефинисано. У фази испитивања повезаности врши се верификација формираног композитног индикатора поређењем са другим композитним индикаторима или индикаторима који мере исти концепт. На крају, уколико се покаже да се формиран композитни индикатор може успешно користити и да заиста мери посматрани концепт, потребно је на адекватан начин представити добијене резултате заинтересованим странама. За презентацију резултата се предлаже коришћење адекватне визуелизације (19).

Иако приказана сложена методологија не пружа јединствен одговор на питања на које креатори композитних индикатора треба да одговоре, она им даје препоруке за формирање и евалуацију композитних индикатора.

2.1. Додељивање тежинских коефицијената

Методe додељивања тежинских коефицијената већ дуже време привлаче пажњу научне заједнице. Једна од првих студија за решавање питања одређивања тежинских коефицијената је спроведена на социјалним индикаторима и мерама социјалне помоћи (88). Аутор наведене студије сматра да је композитни индикатор добар онолико колико је добра шема тежинских коефицијената на којој се заснива, као и да тежински коефицијенти треба да одражавају релативну важност сваког индикатора

и/или сваке категорије. Од тада је извршен велики број истраживања који покушавају да пронађу „добру“ шему тежинских коефицијената.

Разликују се три важне групе метода додељивања тежинских коефицијената: (i) методе засноване на мишљењима експерата, (ii) методе засноване на статистичким методама и методама оптимизације и (iii) методе засноване на хибридним приступима (64). Ниједна група метода додељивања тежинских коефицијената није савршена (19,21). Методе засноване на статистичким методама и методама оптимизације имају тенденцију да у великој мери искључе мишљење експерата и предложе ригидну метрику или композитни индикатор у коме се важност индикатора разликује од важности коју би му доделили доносиоци одлука (18). Понекад се такве методе заснивају на сложеним методама мултиваријационе анализе или методама оптимизације чије концепте крајњи корисници не разумеју (89). Такође, измерена статистички значајна зависност између индикатора не мора да имплицира да између посматраних индикатора заиста постоји међузависност (54). Са друге стране, када експерти предлажу и дефинишу шему тежинских коефицијената, врло често може доћи до несугласица (90). То може довести до креирања шеме тежинских коефицијената која у некој мери задовољава ставове свих експерата. Међутим, валидност такве шеме тежинских коефицијената може бити дискутабилна (91).

У наставку поглавља су детаљније представљене све три важне групе метода додељивања тежинских коефицијената. Посебан осврт је дат на групу метода које су засноване на методама оптимизације јер се оне користе приликом спровођења овде предложене методе додељивања тежинских коефицијената.

Најчешће навођене методе додељивања тежинских коефицијената засноване на мишљењима експерата су једнака значајност, аналитички хијерархијски процес (АХП) и конџоинт анализа (*Conjoint analysis*) (19). Креатори композитних индикатора се често одлучују за додељивање једнаких тежинских коефицијената индикаторима када желе да избегну примену метода заснованих на статистичким методама и желе да усвојена шема тежинских коефицијената буде лако разумљива крајњим корисницима. Са друге стране, овај приступ додељивању тежинских коефицијената је често критикован јер се сматра да није адекватно образложен (21) и зато што може додељивати неједнаку ефективну значајност индикаторима. Иницијално, једнака значајност подразумева да су сви индикатори или категорије који чине композитни индикатор једнако важне за

процес рангирања. Међутим, ако се категорије базирају на различитом броју индикатора, индикатори у категорији са највећим бројем индикатора добијају мању ефективну значајност (87,92). Други проблем који се јавља применом једнаке значајности је „двоструко бројање“ (*double counting*), до чега долази када су у композитни индикатор укључени високо корелисани индикатори. У том случају, јединственом индикатору којим се мери посматрани вишедимензионални концепт ће бити додељена двострука значајност (19). Преостале наведене методе заснивају се на ставовима експерата о значајности коју треба доделити одређеним индикаторима, категоријама или димензијама композитног индикатора. АХП приказује „вредност“ алтернатива (93,94), док концоинт анализа ради супротно, тј. раздваја преференције према посматраним алтернативама (19,21).

У великом броју статистичких метода које се могу користити за додељивање тежинских коефицијената посебно се издвајају факторска анализа, анализа главних компонената (*Principal Component Analysis* – ПЦА) и метода И-одстојања. Анализа главних компонената додељује тежинске коефицијенте на основу факторских оптерећења сваког индикатора. Важан недостатак ове методе је то што има строги предуслов да између посматраних индикатора постоји линеарна веза, што у пракси није увек испуњено, као и да је потребан велики узорак како би се добили задовољавајући резултати (95,96). Статистичке методе које се све чешће примењују за додељивање тежинских коефицијената су метода И-одстојања (30,47) и ЦИДИ методологија (27,92,97). Концепти наведених метода су изложени у поглављу 3.1 јер чине саставни део методе додељивања тежинских коефицијената која је предложена у дисертацији.

Код хибридних приступа комбинују се различите методе додељивања тежинских коефицијената. Оправдање за овакав приступ је да статистичке методе и методе оптимизације у великој мери елиминишу експертско знање из шеме тежинских коефицијената, док су методе засноване на мишљењима експерата у потпуности интуитивне. Један хибридни приступ додељивању тежинских коефицијената подразумева да се тежински коефицијенти на једном нивоу композитног индикатора одреде коришћењем статистичких метода и/или метода оптимизације, а на другом коришћењем метода заснованих на мишљењима експерата (98). Други хибридни

приступ је примена експертског мишљења за креирање ограничења математичких модела који се решавају применом метода оптимизације (99).

Ниједна метода додељивања тежинских коефицијената није савршена и није имуна на критике (18). Методе засноване на статистичким методама могу доделити тежинске коефицијенте који нису прихватљиви и разумљиви крајњим корисницима. Прво, сам поступак спровођења статистичких метода врло често није јасан крајњим корисницима у поређењу са методама заснованим на мишљењима експерата (100). Друго, методе засноване на статистичким методама могу доделити велики значај индикаторима или категоријама који теоријски не би требало да имају (86). Шеме тежинских коефицијената које су засноване на мишљењима експерата су оспораване јер креатори композитних индикатора врло често не пружају информације о начину избора експерата, броју експерата, као и њиховом пољу експертизе (16).

Методе додељивања тежинских коефицијената које се заснивају на примени метода оптимизације подразумевају да се одговарајућа критеријумска функција максимизира или минимизира при чему су управљачке променљиве тежински коефицијенти (41,101). Спроведени преглед литературе је показао да се три групе метода оптимизације користе за одређивање тежинских коефицијената: анализа обавијања података (*Data Envelopment Analysis* – ДЕА метода), ДЕА модел без експлицитних улаза (*Benefit of Doubt* – БоД модел) и различите метахеуристике.

ДЕА метода, коју су развили аутори (102), омогућава израчунавање релативне ефикасности јединица одлучивања (*Decision Making Units* – ДМУ) на основу информација о њиховим улазима и излазима (103). ДЕА метода се може користити у процесу формирања композитних индикатора како би се одредила оптимална шема тежинских коефицијената. Препрека која се јавља приликом примене ДЕА методе и модела базираних на ДЕА методи у процесу формирања композитних индикатора је то што би, без додатних ограничења, сви посматрани ентитети постигли максимални или скоро максимални резултат (104). До сада је предложено неколико решења за уочени проблем. Једно од решења је двофазни приступ: прво, примена стандардног ДЕА модела, а затим примена параметарског циљног програмирања за дискриминацију ентитета чија је ефикасност један (105). Са друге стране, аутори (106) су предложили да се композитни индикатор креира као пондерисани збир „најбољих“ и „најгорих“ сценарија. Оба сценарија су креирана коришћењем мултипликативног

ДЕА модела, при чему је у „најбољем“ сценарију циљ додељивање тежинских коефицијената који ће максимизирати вредност композитног индикатора, док је циљ „најгорег“ сценарија супротан. Њихов приступ је веома важан јер избегава укључивање ограничења, а узима у обзир екстремне ситуације. Новији приступ ограничавања тежинских коефицијената ДЕА модела је коришћењем методе И-одстојања (40).

Одређени аутори сматрају да је приликом формирања композитног индикатора непожељно да додељени тежински коефицијенти буду исти за све ентитете (34,63). Они сматрају да би сваком ентитету требало доделити тежинске коефицијенте који би максимизирали његову крајњу вредност посматраног композитног индикатора. Такав приступ се назива диференцијално додељивање тежинских коефицијената и може се решити коришћењем БоД модела. Као и ДЕА модели, БоД модел има за циљ максимизацију крајње вредности композитног индикатора сваког посматраног ентитета без претходних информација о шеми тежинских коефицијената. У поређењу са ДЕА моделима, БоД модел се заснива само на излазима (90). Очигледно, постоје методолошке сличности између ДЕА и БоД модела: прво, између њихових циљева и друго, у томе што оба модела иницијално немају информације о тежинским коефицијентима. Упркос својим недостацима, у последњих неколико година, БоД модел је постао често коришћена метода додељивања тежинских коефицијената (42,85,107). Пошто БоД модел представља проблем линеарног програмирања (90), поставља се питање увођења додатних ограничења модела. До сада је предложено неколико приступа. Аутори (63) су представили четири различита модела ограничења БоД модела: апсолутна ограничења, ординална ограничења тежинских коефицијената додељених индикаторима, релативна ограничења и пропорционална ограничења тежинских коефицијената додељених индикаторима. Такође, могуће је ограничење пропорционалног учешћа категорија/димензија композитног индикатора (108). Поред тога, представљена је могућност комбиновања БоД модела и ЦИДИ методологије (34). Предефинисани интервал око тежинских коефицијената које предлаже ЦИДИ методологија може се користити као ограничење БоД модела. Поред основног, развијене су варијације БоД модела. Усмерени БоД модел, заснован функцији удаљености (109), Мета-Циљно програмирани БоД модел са два циља и два мета циља (110) и Циљно програмирани БоД модел (111) који има за циљ да добије конзистентне и стабилне рангове модификацијом БоД тежинских коефицијената.

У последњих 20 година хеуристике и метахеуристике се све више користе за одређивање тежинских коефицијената у различитим ситуацијама. Наиме, проблеми које је потребно решити се више не могу прецизно математички формулисати па се не могу решавати егзактним методама оптимизације (112). Један од таквих проблема је додељивање тежинских коефицијената. Постоји неколико предности примене метахеуристике за одређивање тежинских коефицијената. Прво, метахеуристике предлажу шему тежинских коефицијената која максимизује или минимизује одређену функцију циља. Друго, експертско мишљење може бити инкорпорирано у фази одређивања параметара и ограничења одабраног алгорита. Треће, коначно решење је увек из дефинисаног простора решења.

У Табели 1 је дат преглед научних радова који су користили метахеуристике за одређивање тежинских коефицијената. Метахеуристике су коришћене за одређивање синаптичких веза у неуронским мрежама, за оптимизацију портфолија акција, за одређивање тежинских коефицијената критеријумских функција у вишециљној оптимизацији, за ограничавање ДЕА модела и за одређивање тежинских коефицијената у композитном индикатору.

Табела 1 Одабрани радови у којима се тежински коефицијенти одређују применом метахеуристике

Научни рад	Метахеуристика	Област примене
(113)	ГА	Одређивање синаптичких веза у неуронским мрежама
(114)	АБЦ	
(115)	АЦО	
(116)	ПСО, ГСА	
(117)	ГА	Оптимизација портфолија акција
(118)	ППО	Одређивање тежинских коефицијената критеријумских функција у вишециљној оптимизацији
(119)	ГА	
(120)	ЕА	
(121)	ГА	Одређивање ограничења ДЕА модела
(23)	ГА	Одређивање тежинских коефицијената у композитном индикатору
(43)	Симплекс метода	

Аутори (113) су предложили примену Генетских алгоритама (ГА) за одређивање синаптичких веза у неуронским мрежама како би предвидели цене акција. Употребљени ГА није само побољшао алгоритам учења неуронске мреже, већ је и смањило сложеност простора допустивог решења. Са друге стране, аутори (115) су користили алгоритам оптимизације мрављим колонијама (*Ant Colony Optimization* – АЦО) за обуку неуронских мрежа за класификацију. У њиховом приступу, тежински коефицијенти синаптичких веза морају бити одређени тако да креирани

класификатор буде што тачнији. Поново, како би се решило питање синаптичких веза у неуронским мрежама аутори (114) су применили алгоритам вештачке колоније пчела (*Artificial Bee Colony* – АБК), док су аутори (116) користили методу оптимизације ројевима честица (*Particle Swarm Optimization* – ПСО) и алгоритам гравитационог претраживања (*Gravitational Search Algorithm* – ГСА).

Аутори (117) су представили шему оптимизације портфолија у којој су релативни тежински коефицијенти изабраних акција оптимизовани коришћењем ГА. Циљ оптимизационог модела је додељивање тежинских коефицијената свакој акцији у портфолију и минимизирање пројектоване критеријумске функције.

Како би се решио проблем додељивања тежинских коефицијената критеријумским функцијама у вишеспецијалној оптимизацији, аутори (118) су предложили коришћење алгоритма оптимизације предатора и плена (*Predator Prey Optimization* – ППО). Они су додељивали различите тежинске коефицијенте критеријумским функцијама у зависности од њихове важности, а циљ модела је додељивање тежинских коефицијената који би минимизовали критеријумску функцију. Исти проблем се може решити применом ГА (119) и Еволутивним алгоритмима (ЕА) (120).

Метахеуристике се могу користити и за креирање ограничења ДЕА модела како би се решио проблем флексибилности тежинских коефицијената. Аутори (121) су применили ГА како би пронашли скуп тежинских коефицијената који максимизирају ефикасност ДМУ и који су на минималној удаљености од свих преферираних вредности тежинских коефицијената које су дефинисали доносиоци одлука.

Од посебног значаја за истраживање спроведено у овој докторској дисертацији су резултати дати у (23) и (43). Оба истраживања имају за циљ оптимизацију одређене критеријумске функције кроз тежинске коефицијенте композитног индикатора. Циљ истраживања (23) је минимизација разлике између најнижег и највишег оствареног ранга сваког ентитета када се тежински коефицијенти мењају произвољно. Аутори су уочени проблем формулисали као проблем нелинеарног програмирања који су решили помоћу ГА. Аутори (43) заснивају свој приступ на нормализованом рацију корелације. Циљ критеријумске функције је минимизација суме квадратне разлике између нормализованог рација корелације добијеног на основу официјелних тежинских коефицијената и нормализованог рација корелације добијеног на основу предложених тежинских коефицијената. За решавање проблема аутори су користили

Нелдер-Меад симплекс методу, метахеуристику која функционише на принципу симплекс методе (122).

Приказани преглед метода додељивања тежинских коефицијената заснованих на методама оптимизације показује да су ДЕА и БоД модели често коришћени у процесу формирања композитних индикатора, док су метахеуристике коришћене са доста успеха у оптимизацији синаптичких веза неуронским мрежама, у вишецилној оптимизацији и у оптимизацији портфолија акција. Правац истраживања који је недавно почео да се развија је примена метахеуристика са циљем одређивања шеме тежинских коефицијената композитних индикатора и одређивања ограничења ДЕА модела.

Још један закључак који се може извести из Табеле 1 је то да су најчешће коришћене метахеуристике за решавање проблема доделе тежинских коефицијената метахеуристике базиране на популацији решења које су природом инспирисане. Истраживања показују да те метахеуристике надмашују методу градијента (123), симулираног каљења (124), случајног претраживања (*Random Search* – РС) и алгоритам Левенберг-Маркуардт (*Levenberg-Marquardt*) који се обично користе за додељивање тежинских коефицијената у неуронским мрежама (115). Из тог разлога се претпоставља да ће метахеуристике базиране на популацији решења које су природом инспирисане моћи да се са успехом примене приликом одређивања тежинских коефицијената у оквиру композитних индикатора.

2.2. Анализа робусности и анализа осетљивости

ОЕЦД и ЈРЦ у свом приручнику наводе да постоји више метода којима се могу спровести кораци методологије за формирање и евалуацију композитних индикатора (19). Због тога су методолошки оквири композитних индикатора врло често предмет дебате и расправе, јер приликом њиховог формирања постоји читав низ избора које је потребно направити (24). Многи кораци у формирању композитних индикатора базирају се на субјективним одлукама, па је потребно одредити меру поверења у формирану методолошки оквир. Да би нека метрика била репрезентативна и стабилна, потребно је да буде што мање осетљива на промене методолошког оквира (125). Као мера поверења у методолошки оквир предлаже се анализа ефеката различитих метода којима се спроводе кораци ОЕЦД-ЈРЦ методологије на крајње

вредности композитног индикатора. Предлаже се анализа робусности резултата композитног индикатора у зависности од промена методолошког оквира (2).

Анализа робусности је спроведена за евалуацију неколико значајних и познатијих композитних индикатора. Аутори (126) су 2012. године анализирали робусност Индекса одрживог друштва (*Sustainable Society Index* – ССИ) и показали су да су његови рангови веома стабилни и да је сложен методолошки оквир у потпуности оправдан. Годину дана касније, показано је да додељени тежински коефицијенти индикаторима Индекса еколошких перформанси (*Environment Performance Index* – ЕПИ) не осликавају значајност коју индикатори заиста имају у крајњој вредности композитног индикатора (127). Друга студија на истом композитном индикатору је указала на чињеницу да три од девет категорија нема значајан утицај на крајње вредности композитног индикатора и да се структура индекса може кориговати (128). У новијем истраживању су стручњаци из ЈРЦ-а спровели анализу робусности Индекса социјалног прогреса (*Social Progress Index* – СПИ) и њихови резултати анализе осетљивости су довели до закључка да избор методе агрегације (линеарна агрегација) доводи до нестабилности земаља које се налазе у средини ранг листе (129). Наведена истраживања потврђују да су резултати анализе робусности и осетљивости веома корисни за даље унапређење методолошког оквира композитног индикатора, али и за његову верификацију и валидацију.

На основу прегледа литературе (21) закључено је да постоје три начина за анализу робусности: (i) анализа неизвесности и анализа осетљивости, (ii) стохастичка вишекритеријумска анализа прихватљивости (130–132) и (iii) приступи који се базирају на линеарном програмирању и оптимизацији. У наставку потпоглавља су представљени концепти анализе неизвесности и анализе осетљивости, као и неколико приступа на које се оне могу спровести, јер су у овој дисертацији оне коришћене приликом креирања нове методе додељивања тежинских коефицијената.

Две најчешће спроведене анализе за процену робусности композитних индикатора су анализа неизвесности и анализа осетљивости (16,24,71,133). Анализа неизвесности укључује процену утицаја алтернативних методолошких оквира композитног индикатора на ранг ентитета. Сваки алтернативни методолошки оквир је, у ствари, другачији композитни индикатор у којима неке од компонената симултано варирају у дозвољеном опсегу (2,125). Овај приступ анализи робусности композитних индикатора полази од чињенице да се рангови ентитета настали коришћењем

композитних индикатора не обрачунавају у условима потпуне извесности иако је често представљено обрнуто (69). У пракси, најчешће се прво спроводи анализа неизвесности како би се измерио утицај алтернативних методолошких оквира на рангове ентитета.

Приликом спровођења анализе неизвесности потребно је дефинисати факторе неизвесности (25). Фактори неизвесности се могу изразити нумерички, помоћу целобројних вредности, и представљају случајне променљиве за које је потребно дефинисати одговарајуће расподеле вероватноћа. Анализа неизвесности се спроводи у три корака. У првом кораку потребно је доделити вероватноћу сваком улазном фактору неизвесности (60). Најчешће анализирани фактори неизвесности су: третирање недостајућих података, метода нормализације, број индикатора који треба искључити из методолошког оквира, метода агрегације и метод додељивања тежинских коефицијената (2). Наредни корак је генерисање случајне комбинације независних фактора неизвесности и израчунавање излаза из насталог модела. Трећи корак је понављање другог корака предефинисан број пута.

По спровођењу анализе неизвесности спроводи се анализа осетљивости која треба да укаже на осетљивост композитног индикатора у зависности од промена методолошког оквира. Анализа осетљивости посматра како неизвесност у улазним факторима утиче на неизвесност излазних фактора модела (24). Она је веома погодна јер је квантитативна, лако се тумачи и омогућава истраживање читавог низа варијација фактора неизвесности (25). Препорука је да се анализа неизвесности и анализа осетљивости спроводе упоредно јер се на тај начин добија комплетна евалуација посматраног концепта. Обе анализе се спроводе коришћењем Монте Карло симулације (2,24).

Постоји већи број примера коришћења анализе неизвесности и анализе осетљивости за евалуацију композитних индикатора. Приликом формирања Европског регионалног индекса компетитивности (*EU Regional Competitiveness Index*) као фактори неизвесности посматрани су праг дефинисања степена развоја земаља и шема тежинских коефицијената (133). У раду (134) аутори су анализирали како метода агрегације, метод обраде недостајућих података и шема тежинских коефицијената утичу на резултате Индекса владавине права (*Rule of Law – RoL*). Поред тога, испитиван

је утицај 23 фактора неизвесности приликом анализе Индекса технолошких достигнућа (*Technology Achievement Index – ТАИ*) (44).

Истраживања су показала да се анализа неизвесности може спровести за само један фактор неизвесности (27,71), на пример, само за методу нормализације. Од посебног значаја за спроведено истраживање су научни радови који су истраживали робусност резултата композитних индикатора у зависности од промене шеме тежинских коефицијената коришћењем релативних доприноса (28,33,71).

Недавна истраживања су показала да додељени тежински коефицијент индикатору не гарантује његов коначни допринос крајњој вредности композитног индикатора (26). Ако је примењена линеарна агрегација, један од начина за процену доприноса одређеног индикатора крајњој вредности композитног индикатора је кроз релативне доприносе (2,26). Релативни доприноси могу пружити увид у то да ли неки индикатори доминирају у крајњој вредности композитног индикатора као и да ли одређени индикатори заиста имају значај који им је тежинским коефицијентима додељен (27).

Релативни допринос v_{ir} сваког индикатора X_i крајњој вредности композитног индикатора CIL_r за ентитет e_r се израчунава као (135):

$$v_{ir} = \frac{x_{ir}w_i}{\sum_{j=1}^k x_{jr}w_j}$$

Релативни доприноси се могу тумачити као процентуални утицај који индикатор X_i има у крајњој вредности композитног индикатора за ентитет e_r . Што је вредност релативног доприноса индикатора X_i већа, то је утицај индикатора X_i на крајњу вредност композитног индикатора ентитета e_r већи. Сходно томе, анализа релативних доприноса по индикатору X_i може бити веома корисна приликом евалуације композитних индикатора. Просечни релативни доприноси по индикатору могу показати да допринос одређеног индикатора крајњој вредности композитног индикатора није обухваћен тежинским коефицијентом који му је додељен (26). Ако је просечан релативни допринос мањи или већи од официјелног тежинског коефицијента, то значи да посматрани индикатор има мањи тј. већи утицај. Одатле следи да се релативни доприноси могу користити као мера стабилности крајњих

вредности и рангова композитног индикатора. Виша стандардна девијација релативног доприноса индикатора X_i указује на то да релативни утицај индикатора X_i на посматраном скупу ентитета варира, па да самим тим варирају и крајње вредности и рангови композитног индикатора (29).

Поред тога што служе за испитивање разлика између номиналних (експлицитних) и релативних (имплицитних) тежинских коефицијената, релативни доприноси могу бити улази за анализу неизвесности. Средња вредност и стандардна девијација релативних доприноса се користе за одређивање интервала вредности које тежински коефицијенти у анализи неизвесности могу узети (27). Сходно томе, може се сматрати да виша стандардна девијација релативних доприноса доводи до већег степена осцилације рангова (29). Користећи овај приступ извршена је анализа неизвесности неколико композитних индикатора. Испитивана је стабилност индекса развоја информационо комуникационих технологија (*ICT Development Index* – ИДИ) (33), Академског рангирања светских универзитета (*Academic Ranking of World Universities* – АРВУ) и алтернативног АРВУ рангирања (28), као и *Quacquarelli Symonds* (QS) методе рангирања универзитета и рангирања универзитета по академским перформансама (*University Ranking by Academic Performance* – УРАП) (136).

Релативни доприноси се могу користити и у другим анализама везаним за креирање и евалуацију композитних индикатора. Наиме, релативни доприноси могу бити ограничења ДЕА модела (135). Поред тога, могу се употребити као критеријум за заустављање редукције броја индикатора који чине композитни индикатор коришћењем пост хок И-одстојања које је представљено у (137). Предложено је да се редукција броја индикатора који чине композитни индикатор заустави онда када сума стандардних девијација релативних доприноса почне да се повећава, тј. када стабилност модела почне да се смањује (29).

На основу приказаног се може закључити да су релативни доприноси коришћени са великим успехом у комплексној процедури формирања, евалуације и реструктурирања композитних индикатора. Посебно се истиче њихова примена у фази анализе стабилности композитног индикатора, где се вредности њихових стандардних девијација могу узети као мера стабилности формираног композитног индикатора.

Питање које се поставља је како дефинисати и измерити стабилност композитног индикатора? У овој докторској дисертацији је стабилност композитног индикатора, у зависности од додељене шеме тежинских коефицијената, посматрана кроз промену рангова. Наиме, ако нова шема тежинских коефицијената проузрокује већу промену рангова него официјелна то значи да је она мање стабилна. До сада је анализа промене рангова истраживана у области вишекритеријумског одлучивања (ВКО), док се у последње време све више примењује у области композитних индикатора како би се измерила њихова стабилност. У наставку је дат преглед литературе о дефиницији стабилности помоћу промене рангова у ВКО и композитним индикаторима.

У литератури ВКО постоји неколико дефиниција промене рангова. Једна је да до промене рангова долази када се оригинални скуп алтернатива мења додавањем нових алтернатива или брисањем једне или више алтернатива (138,139). Друга је да се промена рангова дефинише као појава која се јавља онда када се иста или веома слична алтернатива уврсти у скуп алтернатива (140). Појам еквивалентан алтернативи у ВКО је ентитет у контексту композитних индикатора (111). Како год да се промена рангова дефинише, сматра се да је то непожељан феномен који указује на непоузданост (141).

Промена рангова је веома важан правац истраживања у ВКО јер је се она сматра недостатком скоро свих ВКО техника. Показано је да су Комплексна пропорционална процена (*Complex Proportional Assessment* – ЦОПРАС), ТОПСИС и ВИКОР (Вишекритеријумска оптимизација и компромисно решење) осетљиве на укључивање нових алтернатива (141). За овде спроведено истраживање су значајни научни радови који су се бавили проблематиком промене рангова који су настали услед промене шеме тежинских коефицијената. У студији (142) су аутори представили оквир за анализу осетљивости у ВКО техникама при чему су посебну пажњу посветили тежинским коефицијентима јер су управо они „најчешће критиковани“. Исти аутори наводе да би требало одредити „преломне тежинске коефицијенте“; оне тежинске коефицијенте чија ће мала промена довести до минималних промена рангова. У својој студији о АХП методи аутори (143) су, као најбоље решење, одабрали ону структуру која је показала најмање промене рангова у зависности од одабраних тежинских коефицијената. Њихова анализа је показала да робусност АХП методе зависи од тежинских коефицијената. Аутор (144) је такође указао на важност тежинских коефицијената јер је показао да са променом тежинских коефицијената у

вишекритеријумском методолошком оквиру композитног индикатора урбане одрживости долази до значајних промена у ранговима ентитета.

У литератури везаној за промену рангова у домену композитних индикатора потребно је истаћи неколико научних радова. Први је рад који је испитивао робусност Индекса људског развоја (*Human Development Index* – ХДИ) кроз ефекте тежинских коефицијената и метода агрегације (145). У њему је предложено неколико могућих сценарија тежинских коефицијената и коришћењем критеријума доминације извршена су унакрсна поређења посматраних земаља. Неколико година касније, представљен је иновативан начин за мерење стабилности композитних индикатора у зависности од шеме тежинских коефицијената (146). Аутор је предложио приступ који има за циљ да одреди „околину“ тежина из којих креатор композитног индикатора треба да одабере финалну шему тежинских коефицијената. Као меру робусности представио је функцију робусности која показује проценат промене рангова у зависности од одабране шеме тежинских коефицијената. Затим су аутори (147) спровели истраживање у два правца и дошли су до закључка да већа позитивна корелација између индикатора доводи до веће робусности и да се нова, представљена мера робусности може користити за упоређивање робусности између индикатора. У новијој студији, аутори (111) су хтели да избегну недостатке обичног БоД модела и предложили су хибридни модел који комбинује циљно програмирање и БоД. Главна предност њиховог приступа је та што кроз тежинске коефицијенте, који су добијени на основу прикупљених података, модел минимизира промене рангова.

2.3. Методолошки недостаци композитних индикатора

Као што је већ наведено, иако су композитни индикатори веома информативни, истраживачи и стручњаци из области статистике и анализе података наглашавају да они имају неколико методолошких недостатака у различитим корацима у процесу формирања, али и у фазама тумачења (26,71).

Детаљан преглед литературе на тему композитних индикатора из области људског развоја је указао на неколико недостатака са којима се ти композитни индикатори сусрећу (18). Изведени закључци се могу генерализовати и на остале композитне индикаторе. Прво, указано је на то да методолошки оквири композитних индикатора врло често не узимају у обзир довољно разноврсне индикаторе и да су индикатори

одабрани без јасних објашњења (18). Надаље, уочен је став да некада један методолошки оквир није довољно робустан да рангира велики број ентитета (148). Такође, скренута је пажња на чињеницу да постоји став према којем композитни индикатори не дају више информација од појединачних индикатора јер су и они, на крају крајева, једнодимензионални показатељи (54). Као недостаци су поново наведени и начин обраде недостајућих података, одабир методе додељивања тежинских коефицијената и одабир методе агрегације (60). На крају је наглашено да композитни индикатори ипак немају толику практичну вредност колико се сматра да имају.

ОЕЦД, иако публикује неколико композитних индикатора, јавно указује на неке од недостатака које они имају (60). Наводи се да методолошки оквири композитних индикатора могу имати недостатке, да се њиховим резултатима може лако манипулисати у циљу добијања жељених резултата, да не постоји консензус око обраде недостајућих података, да се врло често креирају без јасне теоријске основе, као и да су вредности њихових резултата осетљиве на различите методе додељивања тежинских коефицијената и методе агрегације.

Кређибилитет композитних индикатора је често дискутабилан јер не постоји стандардна и једнозначна методологија за њихово креирање (63). Исти аутори критикују композитне индикаторе јер сматрају да се агрегацијом смањује количина расположивих информација, да се на тај начин губи део расположивих информација, као и да је субјективност у њиховом процесу креирања процесу неизбежна.

Надаље, сматра се да креатори композитних индикатора дефинисане методолошке оквири врло често представљају као црне кутије (149). Пошто се математичке и статистичке методе које се користе у самим методолошким оквирима не представљају и не објашњавају детаљно, од корисника се очекује да композитне индикаторе и њихове методолошке оквири прихвате такве какве јесу. Међутим, чим би се корисници мало заинтересовали уочили би да се композитни индикатори суочавају са проблемима у великом броју корака. Истакнуто је да многи композитни индикатори не успевају да следе прихваћена правила приликом одабира индикатора (кораци 1 и 2), а затим и приликом њиховог агрегирања у композитни индикатор (корак 6) (26). Такође, врло често, статистичко испитивање робусности композитних индикатора у зависности од методе нормализације, шеме тежинских коефицијената и методе агрегације се не спроводи (корак 7) (60). Наводи се и да се методолошки оквири

композитних индикатора мењају врло често, што онемогућава креирање временске серије и упоређивање резултата кроз године (149).

Аутор је у (150,151) неколико пута скренуо пажњу на чињеницу да су композитни индикатори врло често формиран корисћенем интуитивних и пристрасних шема тежинских коефицијената. Овај корак у процесу формирања композитних индикатора је често предмет контроверзе и дебате. До сада је спроведен велики број истраживања који покушавају да коригују официјелне шеме тежинских коефицијената и предложе нове, мање субјективне. На пример, анализирана је шема тежинских коефицијената QS методе рангирања универзитета (152), Индекса људског развоја (*Human Development Index* – ХДИ) (105), као и Индекса спремности за умрежавање (*Networked Readiness Index* – НРИ) (97).

На основу приказаног прегледа литературе, недостаци композитних индикатора се могу класификовати у три категорије: недостаци везани за процес формирања, недостаци целокупног методолошког оквира и проблеми који настају приликом тумачења крајњих вредности композитних индикатора (Слика 1).

Процес формирања	Методолошки оквир	Тумачење
<ul style="list-style-type: none"> • Теоријски оквир • Одабир индикатора • Третирање недостајућих података • Метода агрегације • Метод додељивања тежинских коефицијената 	<ul style="list-style-type: none"> • Субјективност • Одсуство испитивања робусности креиране методологије • „Црна кутија“ 	<ul style="list-style-type: none"> • Манипулација резултатима • Губитак информација • Ограничена практична примена • Честа промена методолошког оквира

Слика 1 Недостаци композитних индикатора

Узимајући све наведено у обзир, закључује се да композитни индикатори могу пружити искривљене закључке о учинку посматраних ентитета и самим тим довести до креирања нетачних корективних политика. Међутим, тешко је замислити да ће дебата о употреби композитних индикатора и њиховом формирању икада доћи до јединственог закључка (69). Упркос уоченим недостацима, композитни индикатори ће и даље наставити да се развијају због своје широке применљивости у различитим сферама друштвеног живота као и због чињенице да представљају једноставан алат за комуникацију (60).

3. Преглед статистичких метода и метода оптимизације за формирање и евалуацију композитних индикатора

У приручнику за формирање и евалуацију композитних индикатора препоручује се примена неколико статистичких метода и метода оптимизације (19). Предложена је примена Анализе главних компонената, Факторске анализе, Кластер анализе, ДЕА методе, као и БоД модела. Поред наведених, у литератури која је везана за композитне индикаторе или рангирање ентитета користе се и друге методе. У Табели 2 је дат преглед статистичких метода и метода оптимизације које се користе за формирање и евалуацију композитних индикатора. Може се закључити да се од статистичких метода врло често користе И-одстојање и реузорковање, док се у области метода оптимизације у користе ДЕА метода и БоД модели.

Табела 2 Преглед статистичких метода и метода оптимизације за формирање и евалуацију композитних индикатора

Статистичка метода	Аутори	Метода оптимизације	Аутори
Анализа главних компонената и Факторска анализа	(64,96,153,154)	ДЕА модел	(39,104,155,156)
Кластер анализа	(154,157,158)	БоД модел	(34,42,44,63,107,109,159)
Корелациона анализа	(160–162)	Метахеуристике	(23,43)
Регресиона анализа	(163–165)		
Реузорковање	(39,166,167)		
И-одстојање	(20,27,31,76,97)		
Моделовање структурних једначина	(168,169)		

Метода мултиваријационе анализе која се у последњих неколико година примењује са пуно успеха у процесу формирања и евалуације композитних индикатора је И-одстојање (20,27,32). Ова метода омогућава рангирање ентитета на основу већег броја индикатора кроз итеративни процес укључивања индикатора којим се избегава дуплицитет информација, а при чему се индикаторима не додељују експлицитни тежински коефицијенти (170).

Метода реузорковања подразумева да се реализовани узорак посматра као популација из које се генеришу, реузоркују, нови узорци одређене величине. Ова метода се показала као веома корисна у ситуацијама када је потребно оценити одређени параметар (35,40,171–173) или тестирати хипотезе (174,175).

Метахеуристике су иницијално намењене решавању проблема комбинаторне оптимизације у којима простор допустивих решења има коначан број елемената (112). Осим тога, врло лако се могу прилагодити разнородним специфичностима посматраног задатка па су до сада примењене за предвиђање (176,177), за одређивање параметара неуронске мреже (114,178), за оптимизацију портфолија (179,180), па и у вишекритеријумској оптимизацији (181,182). Правац истраживања који је у повоју је примена метахеуристика у области композитних индикатора, посебно у области додељивања тежинских коефицијената (43).

У наредним потпоглављима су приказане теоријске основе И-одстојања, методе реузорковања, као и метахеуристике унапређено распршено претраживање (*enhanced Scatter Search* – eSS) на којима се заснива методолошки оквир методе додељивања тежинских коефицијената која је представљена у овој дисертацији.

3.1. Ивановићево одстојање

У циљу мерења учинка ентитета и успостављања односа између њих могу се употребити различите променљиве, при чему свака од одабраних променљивих објашњава део варијабилитета посматраног вишедимензионалног концепта. Врло често појединачне променљиве не могу у потпуности да опишу посматрани вишедимензионални концепт. Због тога се поставља питање да ли је могуће и на који начин комбиновати појединачне променљиве и креирати једну свеобухватнију и потпунију метрику (4). Уколико се креира једна таква метрика, на основу њених вредности било би могуће формирати редоследну класификацију посматраних ентитета према новодобијеним вредностима посматраног вишедимензионалног концепта (3). Наиме, могуће је одредити ранг листу посматраних ентитета у односу на измерени вишедимензионални концепт (30,183).

Иако је могуће формирати један такав индикатор, постоје бројне отежавајуће препреке. Посматране променљиве су врло често исказане у различитим мерним јединицама што онемогућава њихову агрегацију. Такође, немају све променљиве исти

значај јер нека садрже већу, а нека мању количину информација о посматраном концепту.

Заједно са процесом глобализације 1960-их година се јавила потреба за рангирањем земаља на основу њиховог степена развијености који је мерен социо-економским индикаторима. У великом броју статистичких метода које су се у том периоду развиле посебно се издваја метода Ивановићево одстојање (И-одстојање) коју је развио проф. Бранислав Ивановић (30,47,184). Креирана метода превазилази проблем агрегације променљивих различитих мерних јединица, проблем експлицитног пондерисања појединачних индикатора, као и проблем дуплицитета информација (3,185).

Идеја методе И-одстојања је рангирање ентитета на основу израчунатог одстојања од референтног ентитета, па ова метода спада у анализе засноване на одстојању. Зато је пре израчунавања И-одстојања потребно фиксирати један ентитет који ће послужити као реперна тачка (20,186). Тај ентитет може бити ентитет из посматраног скупа или може бити фиктивни ентитет чије ће вредности променљивих бити минималне, максималне или просечне вредности у посматраном скупу. У пракси се најчешће као реперни ентитет користи фиктивни ентитет са минималним вредностима за све посматране променљиве.

За одређени вектор променљивих $X^T = (X_1, X_2, \dots, X_k)$ који описују посматране ентитете из скупа $E = \{e_1, e_2, \dots, e_k\}$, И-одстојање између ентитета $e_r = (x_{1r}, x_{2r}, \dots, x_{kr})$ и фиктивног ентитета $e_f = (x_{1f}, x_{2f}, \dots, x_{kf})$ се дефинише као:

$$D(r, f) = \sum_{i=1}^k \frac{|d_i(r, f)|}{\sigma_i} \prod_{j=1}^{i-1} (1 - r_{ji.12\dots j-1})$$

где је $d_i(r, f)$ одстојање између вредности променљивих $i=1, 2, \dots, k$ ентитета e_r и e_f , тј. дискриминациони ефекат:

$$d_i(r, f) = x_{ir} - x_{if}, \quad i = 1, 2, \dots, k$$

σ_i је стандардна девијација променљиве X_i , $r_{ji.12\dots j-1}$ је парцијални коефицијент корелације између променљивих X_i и X_j , ($j=1, 2, \dots, k; j < i$) (3).

У литератури се, у случајевима када је немогуће постићи једнакосмерност свих посматраних променљивих, као и када је број изабраних променљивих велики, користи квадратно И-одстојање (31,97). Оно се дефинише као:

$$D^2(r, f) = \sum_{i=1}^k \frac{d_i^2(r, f)}{\sigma_i^2} \prod_{j=1}^{i-1} (1 - r_{j.12...j-1}^2)$$

Формирање обичног и квадратног И-одстојања је итеративни поступак. Прво се израчунава вредност дискриминационог ефекта променљиве X_1 које је најзначајније за процес рангирања јер обезбеђује највећу количину информација о концепту на основу кога се рангирају посматрани ентитети. У наредном кораку се укључује дискриминациони ефекат променљиве X_2 који није покривен са X_1 . Поступак се понавља за све променљиве (30).

Питање које се јавља је како одредити редослед укључивања променљивих, а да се при томе минимизира дуплицитет информација и да се обезбеди највећа количина информација о посматраном концепту. Иницијално, редослед укључивања није био прецизно дефинисан, већ се одређивао субјективно, на основу ставова креатора рангирања о значајности индикатора за посматрани концепт. Предложено је да се редослед укључивања променљивих заснива на суми апсолутних вредности Пирсонових коефицијента корелације између променљивих (3). Променљива која би прва била укључена у И-одстојање је она која најбоље корелира са осталим променљивим. Приликом израчунавања И-одстојања у овом истраживању је коришћен наведени приступ одређивања редоследа укључивања променљивих.

Метода И-одстојања је до сада примењена са доста успеха у рангирању ентитета, формирању и евалуацији композитних индикатора, као и евалуацији ефикасности.

Иницијална примена И-одстојања је била за рангирање ентитета на основу социо-економских индикатора (47). Тада је И-одстојање примењено на целокупни сет индикатора (променљивих) и ентитети су рангирани на основу удаљености од фиктивног ентитета. На наведени начин су до сада рангирани универзитети (20,32), земље на основу развијености информационо комуникационих технологија (187), спортски тимови (188), као и земље на основу макроекономских показатеља (189,190).

И-одстојање може бити примењено на све индикаторе који чине један композитни индикатор, као и на индикаторе у више етапа. Наиме, ако се метода примени одједном на све индикаторе одређена количина информација се може изгубити. Применом на различитим нивоима композитног индикатора, може се стећи увид у динамику рангова ентитета не само целокупно, већ и по категоријама или димензијама. Могућност рангирања ентитета по димензијама је један од идеја за даље унапређење система рангирања (191). Вишестепно И-одстојање је до сада примењено на композитни индикатор У21 за рангирање националних система високошколског образовања (125), на индекс одговорне конкурентности земаља (*Responsible Competitiveness Index* – РКИ) (31), као и на Индекс спремности за умрежавање (*Networked Readiness Index* - НРИ) (97).

Метода И-одстојања се осим за рангирање ентитета показала као веома погодна за рачунање ефикасности (3). Идеја овог приступа је да се у првом кораку И-одстојање одвојено спроведе на улазним и излазним индикаторима, да се затим добијене вредности И-одстојања нормализују применом одабране методе нормализације и да се у трећем кораку израчуна ефикасност сваког ентитета као количник нормализованог улаза и излаза. На овај начин је израчуната ефикасност здравствених система земаља чланица Европске уније (192), банака Републике Србије (186), земаља на основу улаза у образовни систем и резултата ПИСА тестирања (193), општина Војводине (194), као и универзитета Сједињених Америчких Држава (195).

Вредности коефицијента корелације између вредности улазног индикатора X_i и вредности И-одстојања могу указати на значај посматраног улазног индикатора за креирање И-одстојања и самим тим за процес рангирања ентитета (2,31). Методологија која омогућава израчунавање тежинских коефицијената на основу вредности И-одстојања је методологија Композитног индикатора базираног на И-одстојању (*Composite I-distance Indicator* – ЦИДИ).

Идеја ЦИДИ методологије је у складу са приступом „одређивање тежинских коефицијената засновано на корелационој матрици“ (162). Према наведеном приступу, тежински коефицијенти се рачунају као однос (i) коефицијента корелације између одређеног индикатора и екстерног критеријума и (ii) суме коефицијената корелације између екстерног критеријума и свих улазних индикатора (162). У случају ЦИДИ методологије, екстерни критеријум је вредност И-одстојања. ЦИДИ тежински коефицијенти се рачунају као однос (i) коефицијента корелације између вредности И-

одстојања и посматраног улазног индикатора и (ii) суме коефицијената корелације између вредности И-одстојања и свих улазних индикатора. Овако добијени тежински коефицијенти се базирају на прикупљеним подацима и на И-одстојању.

Формула по којој се израчунавају ЦИДИ тежински коефицијенти је:

$$w_{CIDIi} = \frac{r_i}{\sum_{j=1}^k r_j}$$

при чему је r_i , $i=1,2,\dots,k$, вредност Пирсоновог коефицијента корелације између улазног индикатора X_i и вредности И-одстојања, а k је број посматраних променљивих (2). Укупна сума тежинских коефицијената добијених коришћењем ЦИДИ методологије је један:

$$\sum_{i=1}^k w_{CIDIi} = 1$$

Тежински коефицијенти добијени ЦИДИ методологијом се могу употребити за креирање композитног индикатора заснованог на И-одстојању. Приликом анализе неког композитног индикатора, вредности његових индикатора се могу користити за креирање новог композитног индикатора. Комбиновањем официјелних података и ЦИДИ тежинских коефицијената може се добити нови композитни индикатор чија се шема тежинских коефицијената заснива на прикупљеним подацима и на резултатима И-одстојања.

До сада је ЦИДИ методологија примењена са доста успеха за анализу и унапређење шема тежинских коефицијената композитних индикатора из области рангирања светских универзитета (27), рангирања земаља на основу развијености информационо комуникационих технологија (33,98), као и за рангирање земаља на основу остварене владавине права (92). Осим примене ЦИДИ методологије за одређивање тежинских коефицијената, резултати ЦИДИ методологије се могу користити за генерисање ограничења у оптимizacionим моделима. Предефинисани интервал око ЦИДИ тежинских коефицијената се може користити као ограничење БоД модела (34). Са друге стране, аутори (40,196) су користили интервале око ЦИДИ тежинских коефицијената као ограничење ДЕА модела.

3.2. Реузорковање

У статистичком закључивању се, на основу узорка (X_1, X_2, \dots, X_n) , чије су вредности (x_1, x_2, \dots, x_n) , рачунају вредности статистика $z = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ које се дефинишу као функције над узорком (197). Непознати параметри расподеле посматране променљиве се могу оценити на основу посматраног узорка. Наиме, различите реализације узорака дају различите вредности статистике па самим тим и различите оцене непознатих параметара. Одатле следи да се, коришћењем већег броја узорака, извучених из исте популације, може дефинисати расподела вероватноћа добијања одређене вредности статистике. Метода која омогућава спровођене наведеног поступка је метода реузорковања (48,175,198).

Постоје четири основне методе реузорковања: пермутациони тестови, унакрсна валидација, „перорез метода“ и бутстрап метода (199). У наставку поглавља су представљене наведене методе, при чему је посебна пажња посвећена бутстрап методи.

Пермутациони тестови, који представљају тестове једнакости расподела, су први пут представљени у радовима (175) и (200). Ови тестови не захтевају претпоставке о расподели што омогућава да се ова метода примењује у великом броју случајева. Две претпоставке ове методе су да су расподеле симетричне и да алтернативе представљају једноставне пермутације (38). Пермутациони тестови се проводе у пет корака. Први корак је дефинисање посматраног проблема, као и нулте и алтернативне хипотезе. У наредном кораку је потребно одабрати статистику која ће најбоље диференцирати нулту и алтернативну хипотезу. Затим се израчуна вредност статистике за оригиналне податке. У четвртном кораку се елементи два посматрана узорка пермутују и посматра се вредност статистике за сваку креирану пермутацију. У финалном кораку се на основу дефинисаног нивоа значајности и критичне области, доноси одлука о прихватању или одбацивању нулте хипотезе. Пермутациони тестови се могу применити на континуалне и на категоричке податке (38). Такође важно је нагласити да је моћ пермутационих тестова веома висока. Ако је посматрани узорак мали, пермутациони тест може бити најмоћнији тест који се може спровести. Са друге стране, ако је посматрани узорак велики, моћ пермутационог теста ће бити у рангу моћи параметарског теста (199).

Унакрсна валидација (*Cross-validation*) је метода реузорковања која се користи за валидацију предиктивних модела. Наиме, у свакој итерацији методе се узорак дели на узорак за тренирање предиктивног модела и узорак за тестирање (валидацију) модела. Финална оцена квалитета модела се доноси на основу просечног квалитета добијеног после свих итерација (37). Постоје два базична типа унакрсне валидације: исцрпна и неисцрпна унакрсна валидација. Исцрпне методе унакрсне валидације су оне методе у којима алгоритам дели посматрани узорак на тест и тренинг податке на све могуће начине и испитује валидност предиктивног модела. У исцрпне методе спадају унакрсна валидација са изостављањем p елемената (*Leave-p-out cross-validation*) и унакрсна валидација са изостављањем једног елемента (*Leave-one-out cross-validation*) (201). Код ових метода, из оригиналног скупа се изоставља p елемената који служе као тест подаци, док се на осталих $n - p$ елемената модел тренира. У посебном случају када је $p = 1$ у питању је унакрсна валидација са изостављањем једног елемента. У методе неисцрпне унакрсне валидације спадају k унакрсна валидација, холдаут метод (*holdout*) и Монте Карло унакрсна валидација (201). Приликом примене k унакрсне валидације, посматрани узорак се дели на k подузорака једнаке величине. Један подузорак се користи за тестирање модела, а преосталих $k - 1$ за тренирање модела. Поступак се понавља k пута, тако да сваки подузорак једном буде подузорак на коме се модел тестира. Код холдаут методе се узорак дели на два подузорка при чему величине подузорака одређује аналитичар који спроводи анализу. Један узорак, типично онај већи, се користи за тренирање модела, док се други, мањи, користи за тестирање модела. У Монте Карло унакрсној валидацији се на случајан начин узорак дели на тест и тренинг податке.

„Перорез“ метода (*jackknife*) је представљена 1949. године (202), али је проширена и унапређена неколико година касније (203). Метода је добила име по перорезу, ножу који је једноставан, али функционалан алат. „Перорез“ метода се користи за оцену варијансе и пристрасности оцене параметара који се оцењују. Метода се спроводи тако што се из посматраног узорка величине n , на систематичан начин искључује један елемент и онда се за све новонастале узорке величине $n - 1$ одређује вредност статистике. „Перорез“ метода се често пореди са унакрсном валидацијом са изостављањем једног елемента. Код „перорез“ методе се рачуна вредност статистике на $n - 1$ преосталих елемената, док се код унакрсне валидације са изостављањем једног

елемента изостављени елемент користи за валидацију креираног модела. Предност „перорез“ методе, иако не даје увек најбоље резултате у односу на остале методе реузорковања, је та што има кратко време извршавања (204).

Вођен идејама „перорез“ методе аутор (48) је предложио бутстрап методу (*bootstrap*) реузорковања. Сам назив методе је проистекао из енглеске фразе „to pull oneself by one’s bootstraps“ што у слободном преводу значи „извући се повлачењем каишева на сопственим чизмама“. Идеја методе је да се посматрани проблем реши без ичије помоћи. Наиме, на основу посматраног узорка се генерише велики број подузорака (исте величине као и узорак или мање) и над сваким од њих се спроводи одређена анализа, тестира хипотеза или оцењује вредност параметара. Бутстрап метода може бити параметарска и непараметарска (48).

Параметарска бутстрап метода се примењује у оним случајевима када је позната расподела популације из које се узорак извучи. Ова бутстрап метода се најчешће користи за оцењивање варијансе или неког одређеног перцентила (199). Са друге стране, непараметарски бутстрап се користи у случајевима када расподела популације није позната. Оригинални непараметарски бутстрап је подразумевао да се из посматраног узорка величине n извучи велики број подузорака величине n са враћањем (205). Циљ ове методе реузорковања је да се као крајње решење добију интервали унутар којих се налази права вредност непознатих параметара. Предност добијених интервала је та што пружају више информација од тачкастих оцена добијених методом максималне веродостојности (206).

Са развојем рачунара, откривени су недостаци оригиналног непараметарског бутстрап-а (198,207) који су довели до развоја нових приступа. Развијене су сродне методе: m од n бутстрап са враћањем (207) и m од n бутстрап без враћања (208). Идеја нових метода се заснива на генерисању узорака величине m при чему је $m < n$. Наиме, истраживања су показала да се неки недостаци бутстрап-а у коме је величина подузорка једнака величини узорка могу решити тако што ће се величина подузорка смањити (209,210).

Метода реузорковања, као и свака друга статистичка метода, има своја ограничења и недостатке. Наиме, она не може надокнадити ограничења посматраног узорка попут малог броја променљивих или недовољне величине узорка (205,211). Такође, спровођење методе реузорковања не може учинити један узорак репрезентативним ако

он то у основи није (212). Поред тога, треба напоменути да перформансе методе реузорковања зависе од расподеле узорка, која се разликује од узорка до узорка. Надаље, метода реузорковања даје различите резултате вредности параметара за различите узорке и различите параметре узорковања (213) што може утицати на практичну примену резултата добијених реузорковањем (214).

Са друге стране, метода реузорковања има своје предности. Прво, реузорковање као резултат даје средњу вредност и варијансу параметра који се оцењује (214) чиме се крајњем кориснику пружа информација о варијабилитету оцене. Пошто је основни метод реузорковања једноставан за примену, може се користити за решавање широког спектра проблема (49). Метода реузорковања се сматра супериорном у односу на стандардне статистичке тестове јер као један од излаза даје информацију о расподели резултата (215). На крају, постоје докази о валидности резултата методе реузорковања. Наиме, показано је да метода реузорковања даје „боље“, мање пристрасне, оцене стандардних грешака него метод максималне веродостојности када узорак није извучен из популације са Нормалном расподелом (214).

Способност одређивања расподеле одређеног параметра је управо оно што чини методу реузорковања веома моћном. Метода реузорковања је до сада примењивана са успехом за решавање великог броја проблема у којима се конвенционалне методе не могу применити или не пружају тачна решења (50). Једна од области у којој је метода реузорковања показала значајне резултате је мултиваријациона анализа. Идеја о имплементацији методе реузорковања на различите методе мултиваријационе анализе појавила се 1990-их година. Током времена, број примена методе реузорковања је видљиво порастао. Метода реузорковања је коришћена за мерење ефикасности банака заједно са ДЕА моделом (216), као и на моделима структурних једначина (*Structural Equation Modeling* – SEM) (172). Реузорковање се може комбиновати са анализом главних компонената и ауторегресивним моделима (АР модели) (217), са дискриминационом анализом (218), као и са кластерованњем (219). Аутори су у (50) спровели параметарско реузорковање на двофакторску анализу варијансе, док су аутори (220) применили параметарско и непараметарско реузорковање на мултиваријациону анализу варијансе (МАНОВА).

У докторској дисертацији је примењена метода m од n бутстрап без враћања која спада у тип непараметарског бутстрап-а (221). Иако је указано на то да резултати параметарског бутстрап-а могу бити бољи од резултата непараметарског бутстрап-а (222), примењен је непараметарски бутстрап из неколико разлога. Прво, за спровођење непараметарског бутстрап-а није потребно правити претпоставке о расподели популације из које је узорак извучен. Приликом формирања композитних индикатора, вредности индикатора могу бити различито распоређене, а и врло често се расподела индикатора који чине композитни индикатор не испитује. С друге стране, параметарски бутстрап даје боље резултате само у случају када су подаци нормално распоређени (192).

3.3. Метакхеуристике

Хеуристика се дефинише као „техника која покушава да нађе “добра“ решења проблема (тј. таква допустива решења проблема која су довољно блиска његовом оптимуму) у оквиру разумног времена, при чему се не гарантује да ће нађена решења бити оптимална, нити се може одредити њихова блискост оптималном решењу“ (112). Још једна од дефиниција хеуристике је да је то алгоритам који проналази задовољавајућа решења, решења блиска оптималним, али не гарантује да ће пронаћи оптимално решење (223). Средином 1980-их година долази до интензивног развоја и широке примене систематизованих хеуристичких метода општег карактера које су назване опште хеуристике или метакхеуристике.

Термин метакхеуристика је први пут представио аутор (224) наводећи да он произилази из две грчке речи: глагола *хеуриσκεин* што значи „наћи“, и суфикса *мета* који значи „изнад, на вишем нивоу“. Како не постоји јединствена дефиниција метакхеуристике, овде је представљено неколико њих. Метакхеуристика се дефинише као техника која се базира на скупу правила за спровођење претраге простора допустивих решења како би се напустио локални оптимум и пронашао глобални оптимум (225). Чињеница да метакхеуристике могу напустити локални оптимум и пронаћи боље решење је оно што их чини изузетно делотворним и привлачним за решавање различитих сложених проблема (226). Сматра се да су метакхеуристике стратегије које „управљају“ процесом претраживања простора допустивог решења са циљем да ефикасно претраже простор у потрази за оптималним или скоро

оптималним решењима (227). Исти аутори наводе да метахеуристике могу да укључују механизме којима могу да избегну локални оптимум или да из истог изађу.

Хеуристике и метахеуристике имају широку примену. Оне се користе за решавање проблема који су слабо структурирани и за које не постоји егзактни алгоритми решавања. То су комплексни проблеми који се не могу у потпуности формализовати, проблеми у којима постоје елементи неизвесности и неодређености, као и проблеми у којима постоје елементи нелинеарности. Такође, користе се за решавање структурираних проблема великих димензија који се не могу са успехом решити применом егзактних метода. Хеуристике и метахеуристике се поред наведеног могу користити и као део егзактних алгоритама са циљем убрзавања процеса налажења оптималних решења (112).

Метахеуристике се могу класификовати по неколико критеријума (225,228). Први критеријум класификације је то да ли је алгоритам метахеуристике инспирисан природом или не (229). Неки од алгоритама који припадају групи природом-инспирисаних алгоритама су алгоритам оптимизације мрављим колонијама (АЦО), алгоритам вештачке колоније пчела (*Artificial Bee Colony* – АБЦ) и ГА. С друге стране, Табу претрага (*Tabu Search* – ТС) је један од алгоритама који није природом инспирисан (230).

Наредни критеријум класификације је број решења која се користе истовремено. Према овом критеријуму метахеуристика може бити базирана на популацији решења или на алгоритму путање (231). У алгоритму метахеуристика које су засноване на популацији решења, у првом кораку се генерише популација, затим се, на основу најбољих решења које она генерише, формира нова популација решења. Алгоритам се понавља док се не задовољи неки предефинисани услов (225). Велики број алгоритама који су инспирисани природом се базирају на популацији решења (232). Алгоритми путање су засновани на јединственом почетном решењу чије блиско окружење истражују у наредним фазама алгоритма (227). Метода променљивих околина (*Variable Neighbourhood Search* – ВНС) спада у методе путање (233).

Метахеуристике се могу поделити у зависности од типа критеријумске функције. Ако се критеријумска функција метахеуристике не мења током претраге, сматра се да посматрана метахеуристика користи статичку критеријумску функцију. Са друге стране, ако се критеријумска функција модификује током претраге укључивањем

прикупљених информација, онда метахеуристика има динамичку критеријумску функцију. Пример овакве метахеуристике је вођена локална претрага (*Guided Local Search* – ГЛС) (234) и ВНС.

Важан критеријум поделе метахеуристика је на метахеуристике чији алгоритам има могућност памћења решења (меморију) и на оне које ту могућност немају. Алгоритми који имају меморију имају три заједничке карактеристике: прво, меморишу решења или карактеристике решења генерисаних током процеса претраге; друго, они се базирају на процедури која ствара ново иницијално решење користећи информације које се чувају у меморији и треће, примењују метод локалног претраживања ради побољшања иницијалног решења (235). Алгоритми који имају могућност меморије су, на пример, ГА и распршено претраживање (*Scatter Search* – СС) (236). Насупрот томе, симулирано каљење (*Simulated Annealing* – СА) не користи меморију како би одредио будући смер претраге (237).

Као што се из наведеног може закључити, постоји велики број метахеуристика. Међутим, поставља се питање шта једну метахеуристику чини ефикасном и на практичном и на теоријском плану. Наводи се следећа листа пожељних особина (238):

1. Једноставност – Метахеуристика треба да се заснива на јасном и једноставном принципу који је већином прихваћен;
2. Прецизност – Кораци који чине алгоритам метахеуристике треба да буду формулисани коришћењем јасних математичких термина, без обзира на то што одређени кораци могу бити инспирисани биолошким појавама;
3. Кохерентност – Када се метахеуристика примењује на специфичан проблем, сви кораци треба да буду у сагласности са иницијалним правилима по којима је метахеуристика дефинисана;
4. Ефикасност – Метахеуристика треба да пронађе оптимално или скоро оптимално решење за већину реалних примера. У најбољем случају, метахеуристика би требала да пронађе оптимална решења већине званичних тест примера у својој класи;
5. Ефективност – Време потребно да метахеуристика пронађе оптимално или скоро оптимално решење треба да буде у разумном времену извршавања
6. Робусност – Перформансе метахеуристике треба да буду константне приликом примене на широк спектар примера из исте класе;

7. Разумљивост – Принцип метахеуристике треба да буде јасно представљен и да буде разумљив. Осим тога, метахеуристика треба да буде једноставна за примену;
8. Иновативност – Пожељно је да принципи на којима се заснива метахеуристика иницирају развој нових или унапређење постојећих метахеуристика.

Метахеуристика која се у овој докторској дисертацији примењује је унапређено распршено претраживање (*enhanced Scatter Search* – eCC), па су у наредном потпоглављу детаљно изложени алгоритам метахеуристике и њене особине.

3.3.1. Метахеуристика унапређено распршено претраживање (*enhanced Scatter Search* – eCC)

Распршено претраживање (*Scatter Search* – CC) је метахеуристика заснована на популацији решења коју је 1977. године предложио Гловер (45). Алгоритам CC се базира на формулацијама предложеним 1960-их година за комбиновање правила одлучивања и ограничења проблема и иницијално је представљен као алгоритам за решавање проблема целобројног програмирања (45). Међутим, алгоритам CC је показао веома добре резултате приликом решавања комбинаторних проблема и проблема нелинеарне оптимизације (239). Из тог разлога је настало неколико модификација основног алгоритма: Унапређено распршено претраживање (*enhanced Scatter Search* – eCC) (46), Кооперативно унапређено распршено претраживање (*cooperated enhanced Scatter Search* – ЦеCC) (240) и Асинхроно кооперативно унапређено распршено претраживање (*asynchronous Cooperative enhanced Scatter Search* – aЦеCC) (241). Један од разлога за интересовање истраживача за CC је то што његов алгоритам користи стратегије за комбиновање вектора решења које су се показале веома ефикасним за решавање различитих проблема. Због наведених предности алгоритма, он и његове варијације су имплементирани у програмском језику R (242).

Метахеуристика CC се може класификовати у групу природом-инспирисаних, еволутивних алгоритама базираних на популацији решења који имају статичку критеријумску функцију и имају могућност меморије (241).

Алгоритам СС чини пет корака (243):

Корак 1: Генерисати скуп различитих иницијалних пробних решења путем *методе диверзификације*.

Корак 2: Трансформисати пробно решење у једно или више побољшаних пробних решења користећи *метод побољшања*.

Корак 3: Формирати и сачувати референтни скуп који чини b најбољих пронађених решења, где је вредност b обично мала, не више од 20 решења. Овај корак се реализује коришћењем *методе ажурирања референтног (почетног) скупа*. Одлука о припадности неког решења референтном скупу се доноси на основу његовог квалитета или разноликости.

Корак 4: Израдити неколико подскупова решења из референтног скупа коришћењем *методе генерисања подскупова* како би се створила комбинована решења.

Корак 5: Трансформисати дати подскуп решења произведених методом генерисања подскупова у један или више вектора комбинованих решења користећи *метод за комбиновање решења*.

Иако је СС сличан ГА, постоје кључне разлике између њихових алгоритама које треба нагласити. Наиме, приступ ГА се заснива на идеји да се пробабилистички бирају родитељи и да се у даљим корацима они користе за апроксимацију нових решења у свакој генерацији. Нова решења се добијају процесом селекције јединки према њиховом нивоу прилагођености у домену проблема као и стварањем нових јединки коришћењем генетских оператора као што су укрштање и мутација (244). Са друге стране, СС не користи укрштање и мутацију, већ користи методу хиперправоугаоника за комбиновање решења између свих елемената популације. Метода хиперправоугаоника подразумева да се око постојећих елемената популације формирају хиперправоугаоници унутар којих ће бити генерисана нова решења. Приступ је дизајниран тако да примењује стратешке одлуке, како детерминистичке тако и пробабилистичке, који узимају у обзир евалуацију решења и претходна решења како би одредио правац генерисања хиперправоугаоника (236). Нова решења се генеришу користећи систематску комбинацију, а не потпуно случајну комбинацију (245).

У овом истраживању је предложена примена метахеуристике унапређено распршено претраживање (*enhanced Scatter Search* – eSS). Метахеуристика eSS представља унапређење метахеуристике SS која је показала веома добре резултате, посебно у области оптимизације динамичких, нелинеарних проблема (236). Унапређење се огледа у проналаску равнотеже између интензификације (локалног претраживања) и диверзификације (глобалног претраживања). Наиме, унапређени алгоритам користи методу комбинације решења која не ограничава правац претраге у правцу постојећих решења, већ дозвољава прелазак у друге области чиме се повећава диверзификација. У складу са тим, уведена је мера пристрасности. Наведена пристрасност се огледа у томе да се претрага усмерава у правцу квалитетнијих решења са циљем да се избегне околина мање квалитетних решења (46). На овај начин се унапређује интензификација.

Још једна важна разлика у односу на SS је начин модификације популације. Најчешће примењене еволутивне стратегије за модификацију популације су (μ, λ) и $(\mu + \lambda)$ стратегије. Параметар μ се односи на број родитеља који ће се користити за генерисање потомака, док се λ односи на број потомака који ће бити генерисан у свакој генерацији при чему λ зависи од μ . Код класичне (μ, λ) стратегије, прво се бира μ родитеља, док се преостали чланови популације елиминишу. Сваки родитељ генерише λ / μ потомака, док генерисани потомци чине наредну генерацију. Код стратегије $(\mu + \lambda)$ наредну генерацију осим потомака λ чине и родитељи μ који су их генерисали (246).

У алгоритму SS примењује се метода унапређења популације која је слична стратегији $(\mu + \lambda)$ коју карактерише прерана стагнација, посебно у случајевима када је иницијална популација мала (што је случај са SS). Насупрот томе, у eSS алгоритму је примењена $(\mu + \lambda)$ стратегија, али на сваком члану популације (247). Овакав приступ унапређењу популације спречава прерану стагнацију и омогућава интензификацију у пожељним срединама. Из наведеног се може закључити да eSS карактерише добра равнотежа између робусности и ефикасности у глобалној фази. Такође, eSS користи унапређену процедуру за претраживање како би убрзао конвергенцију ка оптималним

решењима (241). Зато се, алгоритам еСС показао као ефикасна метахеуристика за решавање проблема комплексних оптимизација у различитим областима (248).

еСС алгоритам чини шест основних корака (46):

1) Иницијална селекција чланова популације

Алгоритам почиње тако што генерише скуп који чини m различитих вектора из простора допустивих решења коришћењем методе латинске хиперкоцке (*latin hypercube sampling*) са униформном расподелом. Најчешће се узима $m=10 \cdot k$, где је k број посматраних променљивих. Сви генерисани вектори се евалуирају и бира се $b/2$ најбољих вектора. Иницијална популација се добија тако што се поред одабраних $b/2$ вектора на случајан начин бира још $b/2$ вектора од преосталих $m - b/2$ вектора.

2) Метода комбинације

Пошто је формирана иницијална популација решења, сва решења су сортирана по квалитету, од најбољег ка најлошијем. Затим се бирају парови решења који ће се укрштати. Метода за комбиновање решења, метода хиперправоугаоника, која повезује сваки пар решења и део окружења између њих, показала се као веома добра за решавање одређених оптимизационих проблема (236). Међутим, хиперправоугаоници се најчешће креирају у правцу који зависи од правца посматраног пара решења, што смањује простор који ће бити претражен. Са друге стране, у алгоритму еСС, хиперправоугаоници се дефинишу око постојећих решења чиме се повећава простор који ће бити претражен (46). На тај начин се повећава диверзификација, не само у правцу претраге, већ и у удаљености од постојећих решења.

Како претрага простора решења не би била насумична, додата је мера пристрасности решења која мери квалитет решења и на основу њега одређује даљи правац претраге. Наиме, за делове простора претраге у којима се налазе решења високог квалитета се претпоставља да су простор претраге који је потребно детаљније претражити, па су, самим тим, фаворизовани у односу на остале. Користећи овај приступ, релативни квалитет сваког пара решења се користи као мера пристрасности приликом креирања хиперправоугаоника. „Лоша“ решења ће имати за циљ да се приближе „добрим“ решењима, док ће „добра“ решења тежити да се одаље од „лоших“. Што је разлика у квалитету између решења већа, то је мера пристрасности виша.

Сваки члан популације генерише $b-1$ хиперправоугаоника. Како се у сваком хиперправоугаонику генерише по једно решење, то значи да се у свакој итерацији генерише b^2-b нових решења. На крају сваке итерације решења се рангирају по квалитету, од најбољег ка најгорем.

Уколико алгоритам има могућност меморије, то му омогућава да не извршава комбинације између чланова популације које је већ комбиновао. Идеја оваквог приступа је да се алгоритам не враћа у део простора који је претходно обишао и да на тај начин учини претрагу ефикаснијом. Међутим, овакав приступ може ограничити претрагу решења, јер алгоритам може одбацити читав део простора зато што у наредној итерацији није генерисано боље решење у том простору. Ако би се укључила могућност меморије у алгоритам еСС, то би значило да ће велики делови простора бити одбачени и непретражени, чак и већи него код осталих алгоритама јер су хиперправоугаоници које генерише еСС већи.

3) Обнављање популације

Као што је већ речено, еСС алгоритам користи $(\mu + \lambda)$ стратегију и примењује је на сваком члану популације. Сматра се да ова стратегија прави добар баланс између интензификације и диверзификације, да спречава нагло стагнирање популације и да не ограничава интензификацију у деловима простора у коме се налазе квалитетна решења. Примена $(\mu + \lambda)$ стратегије на свим члановима популације има предности и класичне $(\mu + \lambda)$ стратегије и (μ, λ) стратегије.

Примена $(\mu + \lambda)$ стратегије на свим члановима популације се може дефинисати као: *Решење може постати члан популације ако замени свог родитеља и ниједно друго решење.* Сваки члан популације генерише $b-1$ комбинација и самим тим $b-1$ нових решења тј. потомака. Сваки генерисани потомак се испитује и утврђује се његов квалитет. Ново решење које има највећи квалитет замењује свог родитеља тј. решење на основу кога је настало. Оваква стратегија подразумева индивидуално кретање сваког члана популације насупрот померању свих чланова популације у исто време које се извршава у стратегијама $(\mu + \lambda)$ и (μ, λ) . Појединачно кретање чланова популације је условљено позицијом и удаљеношћу чланова популације. Такође, сваком решењу је

дозвољено да у почетним фазама претраге прави велике кораке, док у наредним фазама, како се решење приближава оптималном, прави мање кораке.

4) Стратегија изласка изван (*go-beyond*)

Аутори еСС алгорита (46) су развили нову стратегију за унапређење интензификације претраге. Нова стратегија је названа стратегија изласка изван (*go-beyond*). Када се спроводи метода комбинације, сва новонастала решења унутар хиперправоугаоника се сортирају по квалитету. Ако је новонастало решење (потомак) бољег квалитета од почетног решења од кога је настало, оно ће га заменити и око потомка ће се формирати нови хиперправоугаоник. Ова процедура ће се настављати све док је новонастало решење бољег квалитета од почетног решења. Међутим, поставља се питање како се идентификује родитељ? Нова решења настају унутар хиперправоугаоника који су дефинисани паром решења и она се налазе се у околини једног решења из посматраног пара. За родитеља новонасталог решења ће се сматрати онај члан популације у чијем се хиперправоугаонику налази новонастало решење.

5) Локална претрага

Локална претрага је имплементирана у алгоритам еСС. Могуће је спровести седам различитих метода локалне претраге (46). У алгоритму еСС се локална претрага не спроводи на сваком решењу јер може захтевати додатно време спровођена алгоритма. Дакле, потребно је ограничити примену локалне претраге на само она решења која су обећавајућа. Због тога су уведена два параметра. Параметар, n_1 , се односи на то у којој ће итерацији локална претрага бити први пут спроведена, док се други параметар, n_2 , односи на најмањи дозвољени број итерација између две итерације локалне претраге.

6) Критеријум заустављања алгорита

Алгоритам еСС се прекида када је задовољен један од три услова: (i) премашен је дефинисани број итерација, (ii) премашен је задати временски оквир у коме алгоритам треба да пронађе решење и (iii) алгоритам је пронашао решење. Пошто се локална претрага спроводи селективно, када је један од услова задовољен, а пре него што се алгоритам дефинитивно заврши, примењује се локална претрага око добијеног решења како би се оно евентуално додатно унапредило. Критеријум заустављања последње локалне претраге је строжи него критеријум заустављања претходних локалних претрага.

Псеудо-код за еСС је дат у Табели 3 где је x^g вектор решења.

Табела 3 Псеудо-код еСС алгоритма

Кораци
Одредити вредности параметара алгоритма
Креирати скуп разноврсних решења
Генерисати иницијалну популацију решења коју чине решења високог квалитета и решења изабрана на случајан начин
repeat
for $g = 1$ до величина популације do
Комбинуй x^g са осталим члановима популације
if потомак већег квалитета од x^g then
Обележи x^g
Примени стратегију одласка изван
end if
end for
if покренута локална претрага then
if прва локална претрага then
Примени локалну претрагу после n_1 евалуација
else
Примени локалну претрагу
end if
end if
Замени обележене чланове популације са њиховим одговарајућим потомцима
until се не задовољи критеријум заустављања
Примени локалну претрагу на финално решење

4. Хибридна метода додељивања тежинских коефицијената заснована на релативним доприносима и И-одстојању

Иако су резултати метода додељивања тежинских коефицијената заснованих на хибридном приступима обећавајући, потребно је развити нове методе које ће узети у обзир стабилност крајњих вредности композитног индикатора. Наиме, већина до сада развијених метода је усредсређена само на додељивање тежинских коефицијената и не узима у обзир ефекте које тежински коефицијенти имају на осетљивост крајњих вредности композитног индикатора и самим тим, на осетљивост рангова посматраних ентитета.

У овом поглављу је дат концепт комбиновања методе И-одстојања и методе реузорковања, како и детаљан методолошки оквир нове хибридне методе додељивања тежинских коефицијената која се базира на релативним доприносима и И-одстојању. Предложена метода има за циљ да одреди шему тежинских коефицијената која задовољава специфична ограничења и притом максимизира стабилност посматраних ентитета. На основу тога, закључује се да нова метода додељивања тежинских коефицијената може унапредити кораке 6 (Додељивање тежинских коефицијената и агрегација) и 7 (Анализа робусности и анализа осетљивости) ОЕЦД-ЈРЦ методологије за формирање и евалуацију композитних индикатора.

У складу са закључцима из спроведеног прегледа литературе, предлаже се примена метахеуристике за одређивање тежинских коефицијената који задовољавају специфична ограничења. У циљу одређивања специфичних ограничења тежинских коефицијената, примењена је метода И-одстојања са реузорковањем, док се функција циља базира на релативним доприносима. За решавање формулисаног оптимизационог модела одабрана је метахеуристика eSS. Хибридна метода додељивања тежинских коефицијената је названа унапређено распршено претраживање – Композитни индикатор базиран на И-одстојању (*enhanced Scatter Search – Composite I-distance Indicator – eSS-ЦИДИ*).

4.1. Ограничавање тежинских коефицијената применом И-одстојања са реузорковањем

Након уочених веома добрих резултата примене методе реузорковања на различите методе мултиваријационе анализе, овде је предложена примена специфичног облика методе реузорковања на методу И-одстојања.

У типичној примени И-одстојања за креирање тежинских коефицијената, као резултат се добијају нови тежински коефицијенти и вредност новог ЦИДИ композитног индикатора (27). Спровођењем методе реузорковања и понављања И-одстојања на узорцима исте величине, може се добити горња и доња граница унутар које се може наћи сваки тежински коефицијент. Овако добијени интервал се може користити за одређивање граница унутар којих се могу наћи тежински коефицијенти приликом примене метода оптимизације (40). На овај начин су у (39,196) одређена ограничења ГАР (*Global Assurance Region*) ДЕА модела.

Приликом спровођења методе И-одстојања са реузорковањем треба одредити врсту реузорковања, параметре реузорковања, као и колико понављања треба спровести.

Као што је већ наведено, постоје различите методе реузорковања. Метод реузорковања који је коришћен како би се ограничили тежински коефицијенти применом И-одстојања је m од n бутстрап без враћања. Код овог специфичног облика бутстрап методе m представља величину подузорка, док n представља величину посматраног узорка. Овај метод је одабран из више разлога. Прво, за спровођење ове методе потребно је много мање претпоставки него када се спроводи m бутстрап са враћањем (249). Друго, овај метод бутстрап-а се заснива на две идеје – једна је подузорковање, а друга је одсуство замене (250). Овакав приступ реузорковању, без замене, резултира намерним избегавањем избора било ког члана популације више од једном. Коришћењем ове специфичне методе реузорковања, са сигурношћу се може тврдити да се један ентитет неће понављати у подузорку. Та особина је од круцијалног значаја за спроведено истраживање. Наиме, композитни индикатори се користе за рангирање различитих ентитета. Иако увек постоји могућност да се у посматраном скупу ентитета нађу ентитети са истим вредностима посматраних индикатора, не постоји могућност да се таква ситуација догоди у великом проценту узорка. Теоретски, ако се користи метода m од n бутстрап са враћањем, без обзира на величину узорка, могао би се генерисати узорак који чини само један или два

различита ентитета. Такав композитни индикатор у пракси не постоји. Овај приступ реузорковању се врло често користи у истраживањима када постоји потреба да сви посматрани ентитети у подузорку буду различити (251). Треће, сматра се да реузорковање без понављања побољшава стабилност и тачност оцене посматраног параметра (252) и да показује асимптотску конзистентност чак и у оним случајевима када класична метода реузорковања то не успева (253). Такође, аутори (254) су показали да се применом овог специфичног бутстрап-а добијају непристрасна решења. Узимајући у обзир наведена истраживања и резултате, у наставку је примењен m од n бутстрап без враћања.

Приликом спровођења m од n бутстрап-а без враћања потребно је одредити величину подузорка, тј. m . Показано је да су реузорковане расподеле за различите узорке „блиске“ једна другој када је m у „правом опсегу“ (249). Насупрот томе, када је m „превелико“ или фиксирано, реузорковане расподеле се разликују. Предложено је више решења за одређивање m . Аутори су у (36) сугерисали да се m одреди коришћењем следећег обрасца: $m = n / (\log \log n)^{1+\delta}$, при чему је вредност параметра $\delta > 0$. Обично су користили $\delta = 0.02$. Још једно сложено правило одређивања m је коришћењем Монте-Карло симулације (249). Аутори су у (49) предложили да m буде $0.632 \cdot n$, тј. цео број најближи тој вредности. Идеја оваквог приступа је да се величина подузорка подудара са просечним бројем јединствених опсервација у подузorcима. Наиме, вероватноћа да се свака опсервација неће појавити у подузорку је $(1 - 1/n)^n \approx e^{-1}$. Ако се формира подузорок величине n онда се долази до једнакости $(1 - 1/n)^n \cdot n \approx e^{-1} \cdot n \approx 0.632 \cdot n$. Овај приступ дефинисања m је постао веома распрострањен јер показује низак степен варијабилитета и умерену пристрасност (255). У овде предложеном приступу је, као и у (254,256), коришћен овај начин одређивања m .

Када је реч о реузорковању, мора се одлучити о броју понављања p које треба спровести. У решавању овог проблема постоји неколико приступа. Неки аутори препоручују извођење између 400 и 2000 понављања (257), док новија студија предлаже између 100 и 500 понављања (258). Иста студија наводи да критеријуми за одређивање броја понављања могу препоручити врло различит број понављања (258).

Предложена процедура за ограничавање тежинских коефицијената применом И-одстојања са реузорковањем је:

1. На сваком u_s , $s = 1, \dots, p$, подузорака величине $0.632 \cdot n$ применити ЦИДИ методологију.
2. На основу добијених тежинских коефицијената (w_{CIDI_s}) израчунати минималну ($w_{\min i}$) и максималну ($w_{\max i}$) вредност тежинског коефицијента додељену сваком индикатору.
3. Креирати интервале користећи добијене резултате.

Предложена метода оставља простор креатору композитног индикатора да самостално одреди интервал унутар којег жели да се нађу тежински коефицијенти. У докторској дисертацији су као границе интервала коришћене минимална и максимална вредност тежинског коефицијента која је додељена сваком индикатору после 1000 спроведених понављања.

4.2. Метода унапређено распршено претраживање – Композитни индикатор базиран на И-одстојању (еСС-ЦИДИ)

Ограничавање тежинских коефицијената применом И-одстојања са реузорковањем је веома погодно за коришћење јер се њим врло једноставно може добити подацима вођен интервал унутар кога је потребно да се нађе сваки тежински коефицијент. Предложени приступ омогућава да се редукује опсег значајности сваког тежинског коефицијента и да се на тај начин смањи простор претраге и број могућих решења.

Стабилност композитног индикатора, посматрана кроз ефекат додељене шеме тежинских коефицијената на крајње вредности и рангове композитног индикатора, се може измерити стандардном девијацијом релативних доприноса индикатора. Стога, циљ је минимизирати суму стандардних девијација релативних доприноса индикатора који чине композитни индикатор. Идеја је да се тежински коефицијенти одреде тако да се постигне висока стабилност крајњих вредности композитног индикатора и одговарајућих рангова. Међутим, ако се не одреде ограничења за сваки тежински коефицијент, оптимизациони модел може доделити тежински коефицијент само једном или неколицини индикатора, занемарујући преостале. Сходно томе, предложено је ограничење свих тежинских коефицијената коришћењем И-одстојања

са m од n бутстрап реузорковањем без враћања. За решавање наведеног оптимизационог модела, коришћена је метахеуристика еСС.

Предложена метода додељивања тежинских коефицијената је названа унапређено распршено претраживање – Композитни индикатор базиран на И-одстојању (*enhanced Scatter Search – Composite I-distance Indicator* – еСС-ЦИДИ) по статистичкој методи и методи оптимизације на којима се базира. Процедура спровођења еСС-ЦИДИ методе додељивања тежинских коефицијената је следећа:

1. **Спровођење ЦИДИ методологије на сваком од p подузорака величине m извучених из узорка величине n ентитета.** Предложена вредност параметра m је $0.632 \cdot n$, где је n величина узорка тј. број посматраних ентитета који се рангирају композитним индикатором, док је предложена вредност параметра $p = 1000$ понављања.
2. **Одређивање ограничења оптимизационог модела.** Доња граница ($w_{\min i}$) за интервал вредности тежинског коефицијента i -тог индикатора је дефинисана најмањом, а горња граница ($w_{\max i}$), највећом добијеном вредношћу ЦИДИ тежинског коефицијента ($w_{CIDI_{is}}$) кроз p итерација.
3. **Решавање оптимизационог модела.** Добијена ограничења уврстити у оптимизациони модел и спровести алгоритам за минимизацију. Предложени алгоритам за минимизацију је метахеуристика еСС.

У првом кораку еСС-ЦИДИ методе се спроводи ЦИДИ методологија на сваком од p подузорака величине m извучених из узорка од n ентитета. Резултат првог корака је p тежинских коефицијената за сваки посматрани индикатор X_i .

У другом кораку се, на основу добијених p тежинских коефицијената за сваки посматрани индикатор X_i , одређује минимална и максимална вредност тежинског коефицијента додељена индикатору X_i после p понављања ЦИДИ методологије.

Ограничења тежинских коефицијената, добијена у другом кораку, чине улаз у трећи и финални корак еСС-ЦИДИ методе, решавање самог оптимизационог модела.

Предложени оптимизациони модел се може дефинисати као: минимизација суме стандардних девијација релативних доприноса индикатора који чине композитни индикатор при ограничењима (i) додељени тежински коефицијенти морају припадати интервалу одређеном коришћењем И-одстојања са реузорковањем и (ii) сума додељених тежинских коефицијената мора бити једнака 1.

Оптимизациони модел се може формулисати као минимизација критеријумске функције:

$$\sum_{i=1}^k \sigma_{v_i}$$

при ограничењима

$$w_i \leq w_{\max i}$$

$$w_i \geq w_{\min i}$$

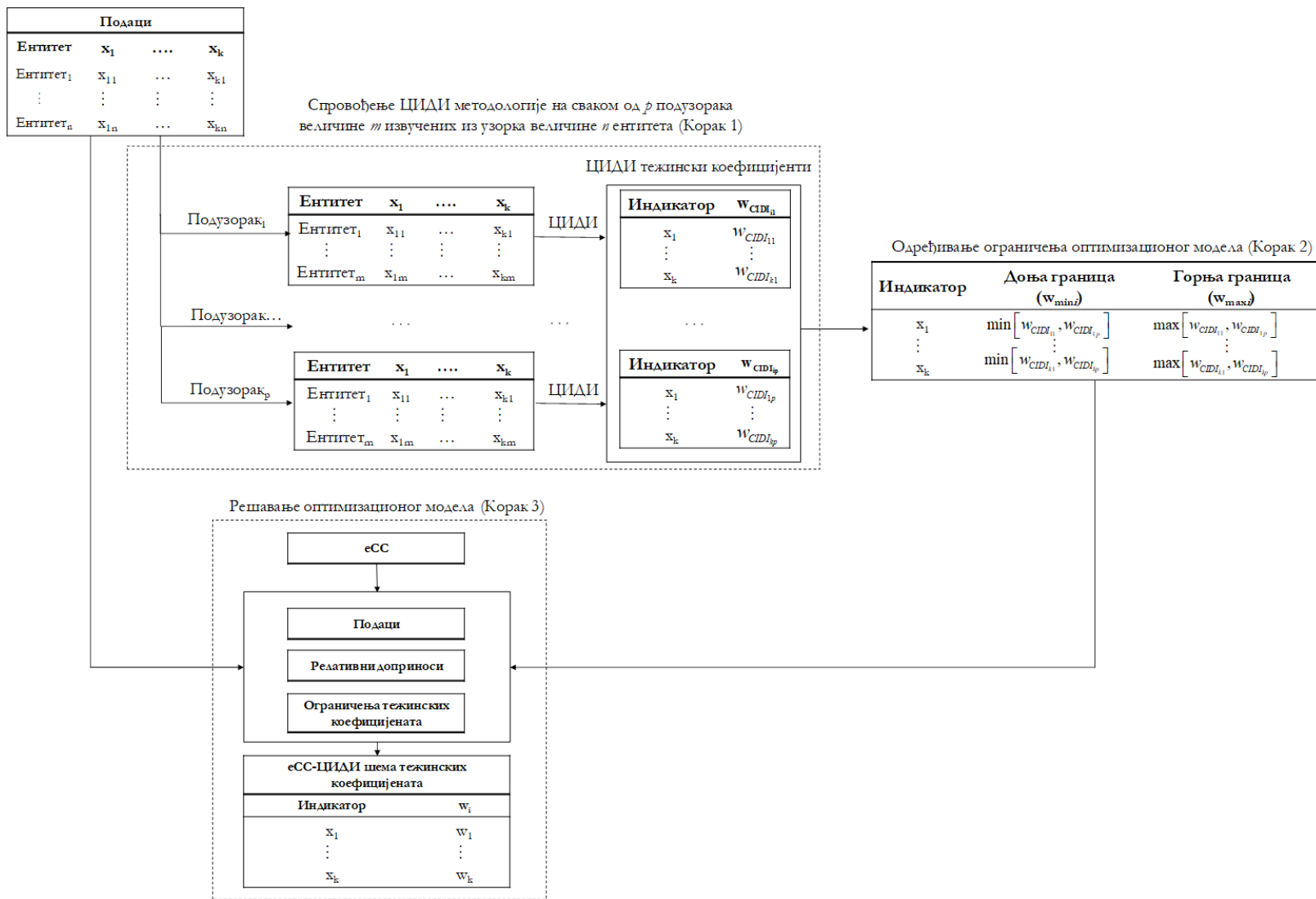
$$\sum_{i=1}^k w_i = 1$$

за свако $i = 1, 2, \dots, k$

где је w_i тежински коефицијент додељен индикатору X_i , а $w_{\min i}$ и $w_{\max i}$ представљају најмању и највећу добијену вредност ЦИДИ тежинског коефицијента w_{CDIi} после примене И-одстојања са реузорковањем, σ_{v_i} одговарајућа стандардна девијација релативног доприноса индикатора X_i , која се рачуна као:

$$\sigma_{v_i} = \sqrt{\left(\frac{1}{n} \sum_{r=1}^n (v_{ir} - \frac{1}{n} \sum_{r=1}^n v_{ir})^2 \right)}, \quad i = 1, 2, \dots, k$$

Методолошки оквир еСС-ЦИДИ методе се може графички приказати (Слика 2):



Слика 2 Графички приказ еСС-ЦИДИ методе додељивања тежинских коефицијената

eСС-ЦИДИ метода додељивања тежинских коефицијената превазилази једну од често навођених недостатака композитних индикатора, а то је да њихове шеме тежинских коефицијената зависе од интуитивних процена и ставова експерата (20,27,31,259). Развијена метода предлаже шему тежинских коефицијената која је заснована на прикупљеним подацима и на оптимизационом моделу, чија су ограничења одређена методом мултиваријационе анализе са реузорковањем. eСС-ЦИДИ метода, притом, има за циљ да „пронађе“ шему тежинских коефицијената која ће креирати најстабилнији композитни индикатор, узимајући у обзир дата ограничења.

Важна предност eСС-ЦИДИ методе је то што она гарантује креаторима композитних индикатора да су направили стабилну метрику узимајући у обзир одабрана ограничена тежинских коефицијената. Наиме, приликом избора шеме тежинских коефицијената, експерти имају велики број могућих решења. Међутим, нема гаранције да ће они изабрати ону шему тежинских коефицијената која ће довести до најстабилнијег ранга посматраних ентитета. Поред тога, eСС-ЦИДИ метода се може применити са циљем евалуације и побољшања стабилности постојећег композитног индикатора. Одступања између официјелних и eСС-ЦИДИ тежинских коефицијената, као и разлике у крајњим вредностима композитног индикатора и ранговима, могле би утицати на промену политика и стратегија, јер се композитни индикатори често користе за њихово дефинисање (260). Одатле следи да би доносиоци одлука могли да користе резултате eСС-ЦИДИ методе, посебно зато што су добијени тежински коефицијенти заокружени на три децимална места, ради једноставнијег тумачења (261,262).

Друга предност eСС-ЦИДИ методе је чињеница да се она заснива на информацијама које су прикупљене из самих података, на методи ограничавања тежинских коефицијената која се базира на статистичким методама (2,30,48) и на методи оптимизације која је до сада верификована у различитим апликацијама (46,245). Штавише, eСС-ЦИДИ метода даје јединствено решење, тако да креатори композитног индикатора не морају да бирају између неколико решења. На крају, она омогућава креаторима композитног индикатора да буду сигурни да ће, с обзиром на ограничења, њихова метрика имати највећу стабилност.

Поставља се питање како се мери стабилност у еСС-ЦИДИ методи. За мерење стабилности композитног индикатора коришћена је стандардна девијација релативних доприноса (σ_{v_r}). Наиме, као што је приказано у поглављу 2.2, релативни доприноси могу да укажу на ефективни утицај индикатора на крајње вредности композитног индикатора. Ако вредности релативног доприноса индикатора X_i за све посматране ентитете e_r , $r=1,2,\dots,n$, варирају, дакле, вредности композитног индикатора свих посматраних ентитета су осетљиве на тежински коефицијент w_i додељен индикатору X_i . Мања стандардна девијација релативног доприноса индикатора X_i, σ_{v_r} , указује на то да су крајње вредности композитног индикатора стабилне када је у питању утицај индикатора X_i . Сходно томе, полазна идеја је да се минимизира сума стандардних девијација релативних доприноса кроз тежинске коефицијенте и да се на тај начин максимизира укупна стабилност композитног индикатора. Тако дефинисан приступ доводи до максимизације стабилности крајњих вредности и рангова композитног индикатора, ако се посматра неизвесност тежинских коефицијената.

еСС-ЦИДИ метода је упоређена са сличним методама додељивања тежинских коефицијената (Табела 4). Први критеријум поређења се односи на то да ли посматрана метода додељује једну шему тежинских коефицијената свим ентитетима или додељује диференцијалне тежинске коефицијенте. еСС-ЦИДИ метода, као и ЦИДИ и ПЦА, предлаже једну шему тежинских коефицијената за све ентитете (2,19). Са друге стране, БоД модел и ДЕА метода додељују специфичну шему тежинских коефицијената сваком посматраном ентитету (42,63). Други критеријум се односи на то да ли метода приликом спровођења узима у обзир стабилност композитног индикатора. Од посматраних пет метода, само еСС-ЦИДИ метода приликом спровођења узима у обзир стабилност метрике. За преостале четири методе, анализа осетљивости се може спровести, али тек пошто су тежински коефицијенти одређени. Последњи критеријум има за циљ да диференцира методе према томе да ли се базирају на функцији циља или не. Пошто ЦИДИ и ПЦА спадају у методе засноване на статистичким моделима, оне немају функцију циља. Са друге стране, БоД модел, ДЕА метода, као и еСС-ЦИДИ метода се класификују као методе засноване на методама оптимизације, па се, самим, тим базирају на функцији циља.

Табела 4 Компаративна анализа метода додељивања тежинских коефицијената

Критеријум	Метода додељивања тежинских коефицијената				
	еСС-ЦИДИ	ЦИДИ	ПЦА	БоД	ДЕА
Диференцијални тежински коефицијенти	Не	Не	Не	Да	Да
Приликом додељивања тежинских коефицијената узима у обзир стабилност метрике	Да	Не	Не	Не	Не
Заснива се на функцији циља	Да	Не	Не	Да	Да

Поред компарације еСС-ЦИДИ методе са сличним методама додељивања тежинских коефицијената она је упоређена са приступима и методама које се користе за побољшање робусности и/или мерење стабилности композитног индикатора. У поређењу са приступом аутора (147), еСС-ЦИДИ као решење даје доносиоцу одлука вектор тежинских коефицијената који доводи до најстабилнијих рангова, док приступ изложен у (147) даје меру стабилности официјелног вектора тежинских коефицијената. Посматрани приступ предлаже меру робусности, али не предлаже нови вектор тежинских коефицијената који ће бити стабилнији. Исто важи за методу аутора (146) чији се приступ мерењу робусности официјелног вектора тежинских коефицијената разликује у томе што посматра, по паровима, када која шема тежинских коефицијената доводи до њихове промене рангова. Надаље, приступ изложен у (145) мери робусност рангова преко функције доминације. Резултати овог приступа не дају крајњу вредност композитног индикатора, већ дају за сваки ентитет број ентитета над којима он доминира и број ентитета који доминирају над њим. Са друге стране, еСС-ЦИДИ метода пружа крајњу вредност композитног индикатора, али не узима у обзир доминацију ентитета. Аутори (71) су предложили приступ који је заснован на ефекту који тежински коефицијенти имају на коначну вредност композитног индикатора који се мери кроз „главни ефекат“ (*main effect*). еСС-ЦИДИ метода је слична јер се базира на релативним доприносима који представљају процентуални удео пондерисане вредности индикатора у крајњој вредности композитног индикатора. Теоријске основе методе додељивања тежинских коефицијената који су представили аутори (43) има неколико сличности са еСС-ЦИДИ методом. Циљ методе приказане у (43) је оптимизација тежинских коефицијената тако да њихов утицај, мерен кроз „главни ефекат“, одговара унапред дефинисаном утицају. Прва сличност са алгоритмом еСС-ЦИДИ методе је та што се обе методе базирају на оптимизацији, а друга да се оба приступа базирају на ефекту који пондерисани индикатори имају на крајњу вредност

композитног индикатора. Из наведеног се може закључити да еСС-ЦИДИ метода представља даљи развој метода и приступа у области.

На крају је потребно сагледати предности еСС-ЦИДИ методе из угла доносилаца одлука и креатора политика. Иако је циљ еСС-ЦИДИ методе разумљив аналитичару или експерту у области статистике и операционих истраживања, поставља се питање да ли ће исти бити јасан креаторима политика или стручњацима из области вишедимензионалног концепта који се креира. Наиме, да ли би се они одлучили за примену еСС-ЦИДИ методе или за методу једнаких тежина или за неку једноставнију методу додељивања тежинских коефицијената која се заснива на статистичким методама? Како би се пружио одговор на ова питања потребно је анализирати предности и недостатке ове методе у процесу креирања политике. Једна од предности еСС-ЦИДИ методе је та што се анализа осетљивости аутоматски спроводи. Наиме, овај корак методологије за формирање и евалуацију композитних индикатора се обично не спроводи, што може да доведе у питање валидност креиране метрике (60). Применом еСС-ЦИДИ методе, крајњи корисници композитног индикатора могу бити сигурни да је овај корак спроведен. Друга предност је та што еСС-ЦИДИ метода предлаже шему тежинских коефицијената која формира најстабилнији композитни индикатор, узимајући у обзир дефинисана ограничења тежинских коефицијената која су одређена применом статистичких метода. Такав приступ дефинисању тежинских коефицијената, који не зависи у потпуности од експертског мишљења, такође смањује могућност критике коју креатори политика желе да избегну. Наиме, одређивање шеме тежинских коефицијената је врло често критикован и оспораван корак методологије за формирање и евалуацију композитних индикатора (погледати (20,27,42,105)).

Са друге стране, постоје потенцијални недостаци еСС-ЦИДИ методе. Први је да метода није лако разумљива онима који немају основно знање из статистике и операционих истраживања. Други недостатак се огледа у томе да се добијени тежински коефицијенти могу разликовати од друштвено прихватљивих тежинских коефицијената или тежинских коефицијената које су сугерисали стручњаци. Без обзира на то какав је методолошки оквир композитног индикатора, његова примена зависи од става крајњих корисника (1). Исто се може рећи и за методу додељивања тежинских коефицијената.

Циљ докторске дисертације је да креира методу додељивања тежинских коефицијената која настаје применом ненадгледаних статистичких метода и методе оптимизације и унапређује постојећи ниво стабилности композитног индикатора. Пошто ће се искључиво базирати на ненадгледаним методама, предложена метода неће у великој мери зависити од мишљења експерата и самим тим ће смањити степен пристрасности и интуитивности (263). Резултати предложене методе се не морају користити као коначни, већ могу експертима и доносиоцима одлука да укажу на „окружење“ или „средину“ у којој би крајња шема тежинских коефицијената требало да се нађе како би се максимизовала стабилност композитног индикатора. Самим тим, примена ове методе може убрзати процес доношења одлуке о шеми тежинских коефицијената која ће бити коришћена приликом пондерисања појединачних индикатора.

5. Примена еСС-ЦИДИ методе додељивања тежинских коефицијената

еСС-ЦИДИ метода додељивања тежинских коефицијената, има за циљ да, на основу прикупљених података, предложи нову шему тежинских коефицијената која ће унапредити стабилност композитног индикатора. У овом поглављу су приказане различите студије случаја којима је извршена верификација еСС-ЦИДИ методе додељивања тежинских коефицијената.

У првом потпоглављу је приказана студија случаја која подразумева коришћење еСС-ЦИДИ методе приликом формирања новог композитног индикатора. У студији је предложено формирање Европског индекса задовољства живота (*European Index of Life Satisfaction* – ЕИЛС). У другом потпоглављу су приказане три студије случаја у којима се еСС-ЦИДИ метода користи за евалуацију и побољшање стабилности композитних индикатора који имају различите методолошке оквире.

У поступку верификације је еСС-ЦИДИ метода примењена на индикаторе или димензије које чине композитни индикатор како би се одредила нова, еСС-ЦИДИ шема тежинских коефицијената. Затим је, на основу њих, израчуната крајња вредност композитног индикатора и одговарајући рангови који су упоређени са официјелним вредностима и ранговима; са оним вредностима и ранговима које су публиковали креатори посматраних композитних индикатора.

5.1. Примена еСС-ЦИДИ методе за формирање композитних индикатора

Разумевање и мерење људског животног искуства привлачи пажњу појединаца, научне заједнице, као и државних институција. Појам квалитет живота обухвата целокупно животно искуство појединца, као и његово лично благостање (264). Квалитет живота се такође може дефинисати као сагледано задовољство или незадовољство појединца различитим сферама живота (265). Дакле, квалитет живота је вишедимензионални концепт који не обухвата само економску моћ и животни стандард појединца (266).

Један од често коришћених индикатора за мерење квалитета живота је бруто домаћи производ (БДП). Када се БДП повећава, укупан квалитет живота се повећава

до једне тачке (267). Кључни део претходне реченице је „до једне тачке“ што значи да постоје сегменти живота који не могу бити квантификовани коришћењем БДП-а. Наиме, његов творац (268) је осмислио и креирао БДП као прецизан и високо специјализован индикатор који квантификује само уски сегмент друштвеног деловања, тржишну економску активност. Као такав, БДП занемарује природне, друштвене и људске компоненте капитала друштвене заједнице који чине витални део квалитета живота појединаца (267). Због тога су развијени нови приступи мерењу квалитета живота.

Како су државне институције постале свесне чињенице да је степен квалитета живота њихових грађана веома важан за благостање на државном нивоу, остварени ниво квалитета живота је, полако али сигурно, постао тема на основу које се земље, региони или градови рангирају (269). Начин рангирања који се развија и има све већу примену, посебно у јавном сектору, су композитни индикатори у области квалитета живота и задовољства животом (270). Један од првих композитних индикатора квалитета живота датира из 1970-их година. Наиме, тада је развијен Индекс физичког квалитета живота (*Physical Quality of Life Index*) који користи три индикатора, очекивани животни век на рођењу, смртност одојчади и степен писмености (271). УНДП се издваја као светска организација која је 1990. године креирала композитни индикатор квалитета живота: Индекс људског развоја (*Human Development Index* – ХДИ) (272). Поред тога, формиран је композитни индикатор за мерење квалитета живота у афричким земљама (273). Недавно су аутори (274) рангирани земље чланице Европске уније (ЕУ) користећи 23 индикатора и ПЦА. Може се закључити да се композитни индикатори на пољу квалитета живота и даље развијају, да се број индикатора разликује и да се њихове методологије понекад базирају на сложеним статистичким методама.

Европска унија (ЕУ) је такође увидела да БДП, као самостални индикатор, не пружа довољно информација о томе колико добро (или лоше) њени грађани живе (275). Због тога је ЕУ покренула прикупљање субјективних показатеља који допуњавају конвенционалне мере квалитета живота (276). Наиме, Еуростат је 2013. године спровео опсежну анкету о задовољству животом унутар свих 28 земаља чланица ЕУ (276). Статистичка јединица на којој су индикатори били прикупљени су лица старија од 16 година која живе у приватним домаћинствима. Вредности индикатора су изражене на скали од 0 до 10, где 0 представља потпуно незадовољство, а 10 потпуно задовољно.

Прикупљени су подаци за седам индикатора *Задовољство финансијском ситуацијом*, *Задовољство стамбеним питањем*, *Задовољство послом*, *Задовољство коришћењем времена*, *Задовољство међуљудским односима*, *Поверење у правни систем* и *Задовољство животом средином*.

Циљ ове студије случаја је формирање новог композитног индикатора чијим ће се крајњим вредностима рангирати 28 земаља чланица ЕУ у зависности од измереног субјективног задовољства квалитетом живота. Нови композитни индикатор ће се базирати на наведених седам индикатора пондерисаних коришћењем еСС-ЦИДИ методе. Назив новоформираног композитног индикатора је Европски индекс задовољства животом (*European Index of Life Satisfaction* – ЕИЛС).

Прва два индикатора која су одабрана да чине ЕИЛС су *Задовољство финансијском ситуацијом* и *Задовољство стамбеним питањем* и они се односе на материјалне услове живота. Ови индикатори се прикупљају пошто се сматра да материјални услови живота могу ограничити појединца у његовом или њеном остваривању жеља и потреба (266). Еуростат такође сматра да је веома важно знати степен задовољства послом јер оно може имати значајан ефекат на задовољство животом (266). Из тог разлога индикатор *Задовољство послом* чини део ЕИЛС. Следећи индикатор који мери задовољство одређеном сфером живота је *Задовољство коришћењем времена*. Од 1990-их година експерти сматрају да је разумевање коришћења времена појединаца од централног значаја за мерење и предвиђање квалитета живота (277). Преглед литературе такође показује да су интерперсоналне везе важан фактор који утиче на укупан квалитет живота (278), тако да је индикатор *Задовољство међуљудским односима* укључен у методолошки оквир предложеног композитног индикатора. ЕУ је сматрала да је степен поверења у државне институције блиско повезан са укупним задовољством животом, па је одлучила да у студију уврсти индикатор који се односи на *Поверење у правни систем* (266). Коначно, укључен је и индикатор *Задовољство животном средином* јер је показано да између квалитета живота и животне средине постоји зависност (279).

Пошто су вредности индикатора нормализоване, у наредним корацима формирања ЕИЛС, није било потребе за нормализацијом вредности индикатора пре пондерисања и агрегације. У наставку су дати основни дескриптивни показатељи за посматране индикаторе (Табела 5).

Табела 5 Дескриптивни показатељи индикатора који чине ЕИАС

Индикатор	Минимална вредност	Максимална вредност	Средња вредност	Стандардна девијација
<i>Задовољство финансијском ситуацијом</i>	3.7	7.6	5.911	1.018
<i>Задовољство стамбеним питањем</i>	6.0	8.4	7.514	0.578
<i>Задовољство поштом</i>	6.0	8.1	7.250	0.478
<i>Задовољство коришћењем времена</i>	5.7	7.8	6.829	0.455
<i>Задовољство међуљудским односима</i>	5.7	8.6	7.879	0.577
<i>Поверење у правни систем</i>	2.7	7.5	4.736	1.292
<i>Задовољство животном средином</i>	5.2	8.4	7.225	0.787

Средње вредности индикатора показују да су грађани ЕУ средње задовољни са пет сфера живота, док су изразили ниско задовољство финансијама и низак степен поверења у правни систем. Грађани земаља чланица ЕУ су најзадовољнији својим међуљудским односима (7.879), док су најмање задовољни правним системом (4.736). Стандардна девијација индикатора *Задовољство коришћењем времена* је најнижа, само 0.455, након чега следи стандардна девијација индикатора *Задовољство поштом*, 0.478. Ниска стандардна девијација ових индикатора указује на малу разлику у задовољству између земаља чланица ЕУ по ова два питања. Индикатор који изазива забринутост је *Поверење у правни систем* из два разлога. Прво, то је индикатор за који је измерен најнижи ниво задовољства (2.7 у Словенији) и друго, стандардна девијација овог индикатора је највиша, 1.292, што значи да се вредности овог индикатора видљиво разликују између земаља чланица.

Пре спровођења еСС-ЦИДИ методе, спроведене су ПЦА и корелациона анализа како би се дефинисала структура композитног индикатора ЕИАС.

Први корак у анализи је био спровођење ПЦА. Кајзер-Мејер-Олкинова (*Kaiser-Meyer-Olkin*) мера адекватности узорка је 0.817 што показује да су прикупљени подаци погодни за спровођење ПЦА (95). Добијена вредност Бартлетовог теста сферичности је 208.670 ($p < 0.001$) што такође указује на то да су индикатори погодни за одабрану анализу. Спроведена је ПЦА и посматрани су само они фактори који су имали вредност карактеристичног корена преко устаљене границе 1 (19). Само један фактор је имао вредност карактеристичног корена изнад један и он објашњава 79.414%

варијабилитета. Добијени резултат показује да се седам индикатора може агрегирати у једну димензију.

Да би се додатно анализирали изабрани индикатори, извршена је корелациона анализа. Сви добијени Пирсонови коефицијенти корелације између индикатора су позитивни и статистички значајни ($p < 0.001$). Они варирају од 0.475 (корелација између индикатора *Поверење у правни систем* и *Задовољство међуљудским односима*) до 0.897 (корелација између индикатора *Задовољство послом* и *Задовољство коришћењем времена*). Ако је корелација између индикатора висока и истосмерна, претпоставља се да посматрани индикатори мере један концепт (19).

Приказани резултати ПЦА и корелационе анализе потврђују идеју да одабрани индикатори мере један концепт и да их је могуће агрегирати у једну димензију тј. у један композитни индикатор. Следећи корак је примена хибридне методе додељивања тежинских коефицијената која је заснована на релативним доприносима и И-одстојању.

Минималне и максималне вредности тежинских коефицијената добијених методом И-одстојања са реузорковањем са 1000 понављања и величином узорка 18 ($0.632 \cdot 28 = 17.696 \approx 18$) приказане су у Табели 6. Ако се ближе погледају добијени интервали, може се закључити да они покривају могућност додељивања једнаких тежинских коефицијената свим индикаторима. Ако су индикатори подједнако пондерисани, добили би значајност од 14.3%. Ово је важан податак, јер таква шема тежинских коефицијената није у потпуности одбачена. Могуће је, наиме, да еСС додели једнаку шему тежинских коефицијената ако она доводи до минималне суме стандардних девијација релативних доприноса индикатора.

Највиша горња граница интервала, 17.9%, је додељена индикаторима *Задовољство животном средином* и *Задовољство финансијском ситуацијом*, док је најнижа доња граница додељена индикатору *Задовољство међуљудским односима*, само 9.1%. Индикатор који има најшири интервал унутар кога се може наћи тежински коефицијент је *Задовољство животном средином*, 7.10 процентних поена. То значи да је у 1000 бутстрап понављања тежински коефицијент овог индикатора видљиво варирао.

Табела 6 Минимална и максимална вредност тежинских коефицијената добијених применом методе И-одстојања са реузорковањем и еСС-ЦИДИ шема тежинских коефицијената ЕИАС

Индикатор	$W_{\min i}$	$W_{\max i}$	W_i
<i>Задовољство финансијском ситуацијом</i>	13.6%	17.9%	13.6%
<i>Задовољство стамбеним питањем</i>	12.0%	16.4%	16.4%
<i>Задовољство послом</i>	12.5%	17.0%	17.0%
<i>Задовољство коришћењем времена</i>	14.3%	17.7%	17.7%
<i>Задовољство међуљудским односима</i>	9.1%	14.3%	13.8%
<i>Поверење у правни систем</i>	10.7%	16.6%	10.7%
<i>Задовољство животном средином</i>	10.8%	17.9%	10.8%

У следећем кораку је спроведен еСС и добијени еСС-ЦИДИ тежински коефицијенти (W_i) су приказани у Табели 6. Анализа добијених тежинских коефицијената даје интересантне резултате. Најважнији индикатор за процес рангирања је *Задовољство коришћењем времена*, са важношћу од 17.7%, након чега следи за нијансу мање важно *Задовољство послом*, 17.0%. С друге стране, најмање значајан индикатор је *Поверење у правни систем*, само 10.7%. Као што се може приметити, еСС-ЦИДИ метода није доделила једнаке тежинске коефицијенте индикаторима иако је то било могуће. Добијена шема тежинских коефицијената сугерише да је за висок степен задовољства животом важно имати задовољавајући посао, који омогућава појединцу да себи обезбеди задовољавајући смештај и оставља му довољно времена за друштвене активности. Стандардне девијације релативних доприноса по индикатору ЕИАС су дате у Табели 7.

Табела 7 Стандардне девијације релативних доприноса по индикатору ЕИАС приликом употребе еСС-ЦИДИ шеме тежинских коефицијената

		еСС-ЦИДИ шема
Индикатор	<i>Задовољство финансијском ситуацијом</i>	0.010799
	<i>Задовољство стамбеним питањем</i>	0.006788
	<i>Задовољство послом</i>	0.007606
	<i>Задовољство коришћењем времена</i>	0.006936
	<i>Задовољство међуљудским односима</i>	0.00794
	<i>Поверење у правни систем</i>	0.014542
	<i>Задовољство животном средином</i>	0.005932
Σ		0.060542

Вредност критеријумске функције када се у њу уврсте еСС-ЦИДИ тежински коефицијенти је 0.060542 (Табела 7). Индикатор са највећом стандардном девијацијом релативних доприноса је *Поверење у правни систем*, 0.014542, што показује да је ефекат овог индикатора на крајње вредности ЕИАС најнеизвеснији; највише је варирао. Са друге стране, најстабилнији утицај је имао индикатор *Задовољство животном средином*.

У наредном кораку су примењени еСС-ЦИДИ тежински коефицијенти и израчунате су вредности ЕИАС. Вредности ЕИАС за земље чланице ЕУ и њихови одговарајући рангови су приказани у Табели 8.

Табела 8 Вредности ЕИАС за земље чланице ЕУ и њихови одговарајући рангови

Земља чланица	ЕИАС	Ранг	Земља чланица	ЕИАС	Ранг
Данска	8.03	1	Чешка	6.86	15
Финска	7.90	2	Пољска	6.81	16
Аустрија	7.69	3	Словенија	6.72	17
Шведска	7.67	4	Естонија	6.67	18
Холандија	7.63	5	Словачка	6.66	19
Луксембург	7.28	6	Летонија	6.64	20
Белгија	7.17	7	Кипар	6.52	21
Велика Британија	7.13	8	Шпанија	6.51	22
Ирска	7.10	9	Мађарска	6.44	23
Малта	7.01	10	Италија	6.32	24
Литванија	6.95	11	Португал	6.23	25
Француска	6.92	12	Хрватска	6.16	26
Румунија	6.92	13	Грчка	5.86	27
Немачка	6.89	14	Бугарска	5.19	28

Резултати показују да се Данска и Финска налазе на челу ранг листе. Следи Аустрија која не заостаје значајно. Трећа земља чланица са севера Европе, Шведска, се налази на четвртном месту. Са друге стране, Бугарска и Хрватска, као релативно нове земље чланице ЕУ, се налазе на дну ранг листе. Такође, вредности ЕИАС указују на то да се Грчка, Италија и Шпанија налазе у доњем делу ранг листе. На неки начин, такав резултат је очекиван, јер су те земље тешко погођене економском кризом (280), што је утицало на квалитет живота и задовољство животом њихових становника. Интересантно је да је Румунија, која је 2007. године постала земља чланица ЕУ, рангирана на 13. месту. Иако је у Румунији ниско задовољство финансијама, што је показало истраживање (281), задовољство међуљудским односима и задовољство

стамбеним питањем су високо оцењени. Неки од разлога за такав резултат могу бити ефекти „пада гвоздене завесе“ и већи степен слободе коју грађани осећају после тог догађаја (282).

Земље широм света, полако али сигурно, мењају циљеве својих политика од чисто економских ка друштвеним. ЕУ је такође уочила важност квалитета живота и социјалних питања и стога је спровела истраживање међу својим грађанима, како би испитала степен њиховог тренутног задовољства животом. У овој студији случаја је формиран нови композитни индикатор, Европски индекс задовољства животом, ЕИАС, који има за циљ да рангира земље чланице ЕУ на основу опаженог степена задовољства различитим сферама живота. Формирани композитни индикатор се базира на званичним статистичким подацима, као и на еСС-ЦИДИ методи додељивања тежинских коефицијената.

Спроведена студија случаја показује да се еСС-ЦИДИ метода додељивања тежинских коефицијената заснована на релативним доприносима и И-одстојању може применити у процесу формирања композитних индикатора (283).

5.2. Примена еСС-ЦИДИ методе за евалуацију композитних индикатора

У овом потпоглављу су приказане три студије случаја које се односе на примену еСС-ЦИДИ методе за евалуацију композитних индикатора. Прве две студије случаја, иако са истим циљем, спроведене су на два композитна индикатора из различитих сфера друштвеног живота и са потпуно различитим методолошким оквирима. Наиме, Академско рангирање светских универзитета (*Academic Ranking of World Universities – АРВУ*) се базира на шест индикатора и примењује неједнаке тежинске коефицијенте, док Индекс спремности за умрежавање (*Networked Readiness Index – НРИ*), чине четири димензије које су подједнако значајне. Трећа студија случаја подразумева примену еСС-ЦИДИ методе за унапређење стабилности композитних индикатора кроз редукцију броја индикатора. Студија је спроведена над индикаторима који чине Индекс одрживог друштва (*Sustainable Society Index – ССИ*).

5.2.1. Примена на Академско рангирање светских универзитета (*Academic Ranking of World Universities – ARWU*)

Образовање је једна од сфера живота у коју су уведени композитни индикатори. До сада су развијени композитни индикатори за рангирање основних школа (284,285), средњих школа (286,287), факултета (61) и наравно универзитета (5,288). Методе рангирања универзитета су почеле да привлаче пажњу 1983. године када су амерички часописи *US News* и *World report* објавили прве ранг листе. Међутим, озбиљна расправа о рангирању универзитета се развила после 2003. године када је објављена прва глобална ранг листа универзитета, Академско рангирање светских универзитета (*Academic Ranking of World Universities – ARWU*) (289). Свеопшти закључак је да ће, упркос критикама и недостацима, методе рангирања универзитета наставити да се примењују и развијају (290).

Метода рангирања универзитета која се посебно издваја је ARWU рангирање које објављује Институт за високо образовање Универзитета Ђао Тонг у Шангају и рангира 1000 најбољих светских универзитета (291).

ARWU се базира на шест индикатора који имају за циљ рангирање институција на основу академских и истраживачких перформанси (5). Прва два индикатора, *Алумни (Alumni)* и *Награде (Awards)*, се односе на укупан број алумнија и запослених који су освојили Нобелову награду и/или Фицсову медаљу у области математике. Наредна три индикатора су библиометријска. Индикатор *ХуЦи (HiCi)* се односи број запослених који је компанија *Clarivate Analytics* класификовала као високо цитиране истраживаче. Индикатор *Нус (N&S)* се односи на број радова објављених у часописима *Nature* и *Science* у последњих пет година, док *Пуб (PUB)* показује укупан број научних радова који су објављени у часописима који су индексирани у цитатним базама *Science Citation Index Expanded – SCIE* и *Social Science Citation Index – Social SCI* у претходној години (292). Коначно, *Пун (PCP)* покушава да мери академске перформансе једне институције по запосленом са пуним радним временом.

Пре доделе тежинских коефицијената вредности одабраних индикатора су нормализоване. Метод нормализације који се примењује је удаљеност до референтног ентитета, што је у овом случају универзитет са највишом вредношћу посматраног индикатора (292). Најуспешнијем универзитету по одређеном индикатору додељује се

вредност индикатора 100 и он постаје мерило према којем се одређују вредности индикатора других универзитета.

У наредном кораку су нормализованим вредностима индикатора додељени тежински коефицијенти. Официјелна АРВУ шема тежинских коефицијената је дата у Табели 9. Може се видети да су тежински коефицијенти додељени индикаторима АРВУ неједнаки, при чему је мања значајност дата индикаторима *Алумни* и *Пун*, 10%.

Како би се израчунала крајња вредност на основу које се врши АРВУ рангирање, пондерисане вредности индикатора се агрегирају. Примењује се линеарна агрегација (292).

Од када је први пут објављен 2003. године, АРВУ привлачи похвале, али и ригорозне критике. Методолошки оквир АРВУ рангирања се базира на поузданим и објективним екстерним подацима, али је у исто време нетранспарентан и слабо разумљив онима који се не баве рангирањем универзитета. Наиме, стручњаци из области анализе података, библиометрије и композитних индикатора су скретали пажњу корисника АРВУ рангирања и шире јавности на неке од уочених недостатака његовог методолошког оквира.

Недостатак методолошког оквира АРВУ рангирања који је посебно значајан за ово истраживање је шема тежинских коефицијената која се примењује. Методолошки оквир АРВУ рангирања чини шест индикатора којима су субјективно додељени тежински коефицијенти. Због тога је АРВУ често критикован. Аутори су у (20) детаљно анализирали АРВУ шему тежинских коефицијената користећи методу И-одстојања. Они су извршили рангирање универзитета без додељивања експлицитних тежинских коефицијената и предложили су алтернативни АРВУ ранг који не зависи од мишљења експерата о значају индикатора. Њихов резултат је значајан јер даје увид у то да су универзитетске ранг листе, па и АРВУ, осетљиве на шему тежинских коефицијената. До истог резултата су дошли аутори (293) који су показали да су крајњи резултати АРВУ рангирања осетљиви на релативне тежинске коефицијенте који су додељени индикаторима.

У циљу испитивања стабилности официјелне АРВУ шеме тежинских коефицијената, коришћени су јавно доступни подаци (294) за свих шест индикатора за првих 100 најбољих универзитета у 2017. години и примењена је еСС-ЦИДИ метода.

Пошто су вредности индикатора *Алумни* и *Награде* повезани са бројем добитника Нобелове награде и/или Филдсове медаље, многи универзитети имају нулту вредност ових индикатора. Један од разлога је учесталост додељивања ових награда. Нобелова награда се додељује на годишњем нивоу, док се Филдсова медаља додељује сваке четири године. Одатле следи да јако мали број универзитета може да оствари вредности ових индикатора. Такође, врло често, Нобелова награда се додељује неколико година после објављивања научног рада, па, у случају да академик промени радно место, други универзитет добија вредност посматраног индикатора (295). Уочени висок проценат нултих вредности индикатора је једна од често анализираних недостатака АРВУ рангирања (148,296). Наиме, висок проценат нултих вредности било ког индикатора може закомпликовати сваку статистичку анализу и тумачење резултата (297). Због тога, како би се побољшао квалитет спроведене анализе из посматрања су искључени универзитети који су имали нулту вредност било ког индикатора. На крају је посматрано 74 универзитета који се налазе у првих 100, а чије су вредности свих шест индикатора изнад нуле.

Према предложеном алгоритму, први корак је спровођење И-одстојања са реузорковањем и одређивање интервала који ће бити коришћени као ограничења оптимизационог модела. Извршено је 1000 понављања са узорком величине 47 ($0.632 \cdot 74 = 46.768 \approx 47$). Добијени интервали су такође приказани у Табели 9.

Официјелни тежински коефицијенти индикатора *Награде* и *Нис* су покривени добијеним интервалом, док су добијени интервали тежинских коефицијената индикатора *ХиЦи* и *Пуб* испод официјелно додељених тежинских коефицијената. На пример, индикатору *Пуб* је официјелно додељена значајност од 20%, док је И-одстојање са реузорковањем предложило значајност од 7.5% до 15.4%. Са друге стране, предложена значајност преостала два индикатора, *Алумни* и *Пин*, је изнад официјелне. На пример, за индикатор *Алумни*, званично додељена значајност је 10%, док је добијени интервал значајности од 15.2% до 19.1%.

Добијени интервали тежинских коефицијената дају већи значај престижним наградама алумнија (*Алумни*) и учинку по запосленом (*Пин*), док смањују значај броју високо цитираних истраживача (*ХиЦи*) и броју публикованих научних радова (*Пуб*). Ипак, треба узети у обзир и чињеницу да су посматрани само они универзитети који

имају вредности индикатора веће од нула и да се овај резултат може разликовати уколико би се посматрали сви универзитети у првих 100, а посебно у првих 500.

Табела 9 Официјелна АРВУ шема тежинских коефицијената, минимална и максимална вредност тежинских коефицијената добијених применом методе И-одстојања са реузорковањем и еСС-ЦИДИ шема тежинских коефицијената

Индикатор	Официјелна АРВУ шема тежинских коефицијената	$W_{\min i}$	$W_{\max i}$	W_i
<i>Алумни</i>	10%	15.2%	19.1%	15.2%
<i>Награде</i>	20%	15.2%	21.5%	15.2%
<i>ХуЦи</i>	20%	14.8%	18.3%	14.8%
<i>Нис</i>	20%	18.0%	21.9%	21.9%
<i>Пуб</i>	20%	7.5%	15.4%	13.3%
<i>Пун</i>	10%	15.0%	19.6%	19.6%

У следећем кораку извршен је еСС и добијени резултати су такође приказани у Табели 9. Као што се може приметити, за прва три индикатора додељени тежински коефицијенти су доње границе претходно одређеног интервала, док су за тежинске коефицијенте индикатора *Нис* и *Пун* додељене горње границе интервала. Само један тежински коефицијент није остварио вредност горњег или доњег ограничења, тежински коефицијент додељен индикатору *Пуб* (298).

Како би се извршила евалуација еСС-ЦИДИ шеме тежинских коефицијената извешена је компарација сума стандардних девијација релативних доприноса еСС-ЦИДИ шеме, официјелне АРВУ шеме, ЦИДИ шеме тежинских коефицијената¹, као и једнаких тежина (Табела 10). Сума стандардних девијација релативних доприноса АРВУ шеме тежинских коефицијената је 0.253385, а сума стандардних девијација релативних доприноса еСС-ЦИДИ шеме тежинских коефицијената је 0.252578. У поређењу са једнаким тежинама и са ЦИДИ шемом тежинских коефицијената, еСС-ЦИДИ шема тежинских коефицијената је показала стабилније резултате. Такође, важно је анализирати стандардну девијацију релативних доприноса појединачних индикатора. Индикатори којима је додељен тежински коефицијент већи од официјелног имају већу стандардну девијацију релативних доприноса. Имајући у виду да би универзитетске ранг листе, и међународне и националне, требало да буду

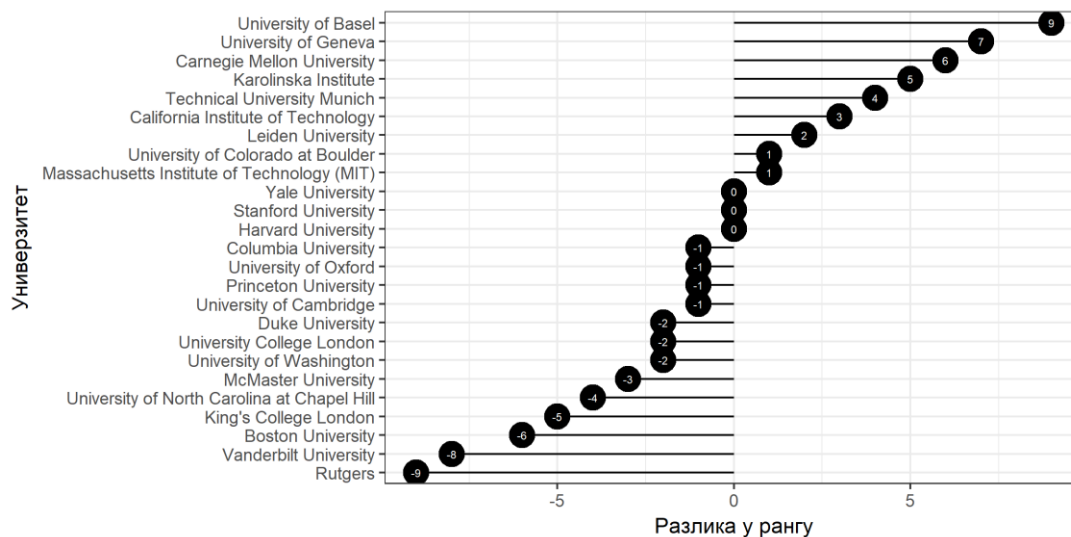
¹ Добијена ЦИДИ шема тежинских коефицијената је: *Алумни* 17.6%, *Награде* 16.7%, *ХуЦи* 16.9%, *Нис* 19.4%, *Пуб* 13.4% и *Пун* 16.0%

стабилне и да не подлежу великим променама у крајњем резултату (299), нова шема тежинских коефицијената може бити веома корисна.

Табела 10 Стандардне девијације релативних доприноса по индикатору АРВУ рангирања приликом употребе еСС-ЦИДИ шеме, АРВУ шеме, ЦИДИ шеме тежинских коефицијената и једнаких тежина

	Индикатор						Σ
	<i>Алумни</i>	<i>Награде</i>	<i>ХиЦи</i>	<i>Нис</i>	<i>Пуб</i>	<i>Пцп</i>	
еСС-ЦИДИ шема	0.038803	0.045714	0.039835	0.037612	0.048795	0.041819	0.252578
АРВУ шема	0.025635	0.060233	0.047017	0.032840	0.064685	0.022975	0.253385
ЦИДИ шема	0.044214	0.049619	0.045404	0.034081	0.050273	0.035956	0.259547
Једнаке тежине	0.041631	0.049941	0.043262	0.029554	0.058052	0.036127	0.258567

Коначно, може се применити еСС-ЦИДИ шема тежинских коефицијената. Промене у ранговима одабраних универзитета које настају као последица примене нове шеме тежинских коефицијената су приказане на Графикону 1. Може се уочити да је разлика у рангу од +9 места (University of Basel) до -9 места (Rutgers, The State University of New Jersey - New Brunswick). Највећи број универзитета је пао једно место на ранг листи (23.0% универзитета), док је друга најчешћа ситуација била без промене ранга (17.6% универзитета). Промене рангова нису велике, од -1 до +1 позиције за половину посматраних универзитета.



Графикон 1 Разлика између АРВУ и еСС-ЦИДИ ранга (приказ одабраних универзитета)

Ипак, постоје значајне промене рангова које је потребно анализирати. На пример, Karolinska Institute је напредовао за пет места на ранг листи (Графикон 1). Један од разлога за напредовање је релативно висока вредност индикатора *Пцп*, 53.3, који је добио на значају. Са друге стране, види се да је King's College London пао за 5 места на ранг листи. Његова крајња вредност композитног индикатора се није драстично променила, али су други универзитети имали више користи од нове шеме тежинских коефицијената, тј. више су повећали крајњи резултат.

Од интереса је анализирати промене првих и последњих десет ранжираних универзитета од посматраних 74 универзитета по званичном рангу после примене еСС-ЦИДИ шеме тежинских коефицијената (Табела 11).

Табела 11 Првих и последњих десет ранжираних универзитета по АРВУ рангирању и њихов еСС-ЦИДИ ранг

Универзитет	АРВУ ранг	еСС-ЦИДИ ранг	Универзитет	АРВУ ранг	еСС-ЦИДИ ранг
Harvard University	1	1	Rutgers, The State University of New Jersey - New Brunswick	65	74
Stanford University	2	2	Boston University	66	72
University of Cambridge	3	4	Carnegie Mellon University	67	61
Massachusetts Institute of Technology (MIT)	4	3	Nagoya University	68	68
University of California, Berkeley	5	5	Leiden University	69	67
Princeton University	6	7	The University of Western Australia	70	71
University of Oxford	7	8	Technion-Israel Institute of Technology	71	69
Columbia University	8	9	University of Goettingen	72	65
California Institute of Technology	9	6	University of Basel	73	64
University of Chicago	10	10	The Australian National University	74	73

Десет најбоље рангираних универзитета по АРВУ рангу су на врху ранг листе и по еСС-ЦИДИ рангу. Највећа промена у рангу је била за California Institute of Technology који је напредовао са 9. на 6. место. С друге стране, дошло је до видљивих промена рангова универзитета који су били на дну ранг листе.

Како би се додатно упоредиле две ранг листе, израчунат је Пирсонов коефицијент корелације између официјелних вредности АРВУ рангирања и вредности рангирања које настају применом еСС-ЦИДИ шеме тежинских коефицијената, као и Спирманов коефицијент корелације рангова између две ранг листе. Ова два коефицијента корелације се врло често примењују у процесу упоређивања резултата ентитета који су настали применом различитих шема тежинских коефицијената на одабране индикаторе (2,19,27). Корелација између официјелних вредности АРВУ рангирања и еСС-ЦИДИ вредности рангирања је 0.994 ($p < 0.001$), док је корелација између рангова 0.988 ($p < 0.001$). Добијене корелације су високе, међутим композитни индикатор који је настао применом еСС-ЦИДИ методе додељивања тежинских коефицијената је стабилнији ако се узме у обзир утицај шеме тежинских коефицијената на крајње вредности композитног индикатора.

5.2.2. Примена на Индекс спремности за умрежавање (*Networked Readiness Index* – НРИ)

Индекс спремности за умрежавање (*Networked Readiness Index* – НРИ) је композитни индикатор који има за циљ да измери ниво до којег земље користе информационо комуникационе технологије (ИКТ) како би повећале своју конкурентност. Развијен је од стране Светског економског форума (*World Economic Forum* – ВЕФ) и рангира и упоређује 151 земљу користећи 53 индикатора подељених у десет категорија, које су касније подељене у четири димензије: *Окружење ИКТ-а*, *Спремност* друштва да користи ИКТ, стварну *Употребу ИКТ* и *Ефекте* које ИКТ генеришу у економији и друштву (300). Овако сложен методолошки оквир пружа систематично поређење земаља широм света на основу њихове ИКТ развијености (301).

НРИ се израчунава вишестепно. Индикатори су агрегирани у категорије, које се касније агрегирају у димензије, које се коначно пондеришу и сумирају како би се добила крајња вредност композитног индикатора. Пре агрегације, резултати сваког индикатора се нормализују на заједничку скалу у распону од 1 до 7 (302). У сваком

кораку агрегације се примењују једнаки тежински коефицијенти, па су и димензије једнако значајне (Табела 12). Такав приступ додељивању тежинских коефицијената је врло често критикован (54). Такође, анализа НРИ коришћењем И-одстојања је показала да се тренутна шема тежинских коефицијената може променити (97). Из тог разлога је НРИ изабран као једна од студија случаја.

Иако се НРИ базира на индикаторима, категоријама и димензијама, у спроведеној анализи фокус је био само на димензијама и тежинским коефицијентима који им се додељују. У студији случаја посматрано је 138 земаља које нису имале недостајуће вредности димензија НРИ за 2016. годину. Минималне и максималне вредности тежинских коефицијената добијених методом И-одстојања са реузорковањем са 1000 понављања са величином узорка 87 ($0.632 \cdot 138 = 87.216 \approx 87$) приказане су у Табели 12.

Може се приметити да метода И-одстојања са реузорковањем предлаже мању значајност димензије *Спремност*, од 21.7% до 23.1%, док су димензије *Употреба* и *Ефекти* добиле на значају. Једина димензија чији је официјелни тежински коефицијент унутар добијеног интервала је *Окружење*.

Табела 12 Официјелна НРИ шема тежинских коефицијената на нивоу димензија, минимална и максимална вредност тежинских коефицијената добијених применом методе И-одстојања са реузорковањем и eСС-ЦИДИ шема тежинских коефицијената

Димензија	Официјелна НРИ шема тежинских коефицијената	$W_{\min i}$	$W_{\max i}$	W_i
<i>Окружење</i>	25%	24.2%	25.4%	24.5%
<i>Спремност</i>	25%	21.7%	23.1%	21.7%
<i>Употреба</i>	25%	26.0%	26.9%	26.9%
<i>Ефекти</i>	25%	25.9%	26.9%	26.9%

У следећем кораку извршен је eСС алгоритам и добијени тежински коефицијенти су такође приказани у Табели 12. Анализа eСС-ЦИДИ тежинских коефицијената даје интересантне резултате. Наиме, док је значајност димензије *Спремност* смањена на 21.7% са 25%, значај димензија *Употреба* и *Ефекти* је порастао на 26.9%. Са друге стране, значајност димензије *Окружење* се скоро није променио. Тежински коефицијенти додељени димензијама *Употреба* и *Ефекти* су горње границе интервала добијеног применом И-одстојања са реузорковањем, док је тежински коефицијент димензије *Спремност* доња граница добијеног интервала. Исто као у претходној студији случаја рађеној на APVU методи рангирања универзитета, само један тежински

коэффициент није постигао горњу или доњу границу интервала ограничења, у овој студији случаја то је тежински коэффициент димензије *Окружење* (298).

Како би се извршила евалуација еСС-ЦИДИ шеме тежинских коэффицијената, извршена је компарација сума стандардних девијација релативних доприноса еСС-ЦИДИ шеме, официјелне НРИ шеме и ЦИДИ шеме тежинских коэффицијената². Вредност критеријумске функције која користи еСС-ЦИДИ тежинске коэффицијенте је 0.082491, док је вредност критеријумске функције која користи официјелне тежинске коэффицијенте 0.086261 (Табела 13). Интересантан резултат је да је шема тежинских коэффицијената коју предлаже ЦИДИ метода стабилнија од официјелне, али не и од еСС-ЦИДИ шеме. Поново, долази до истог патерна: индикатори који су имали мањи тежински коэффициент од официјелног, имају мању суму стандардних девијација релативних доприноса.

Табела 13 Стандардне девијације релативних доприноса по димензији НРИ приликом употребе еСС-ЦИДИ, НРИ и ЦИДИ шеме тежинских коэффицијената

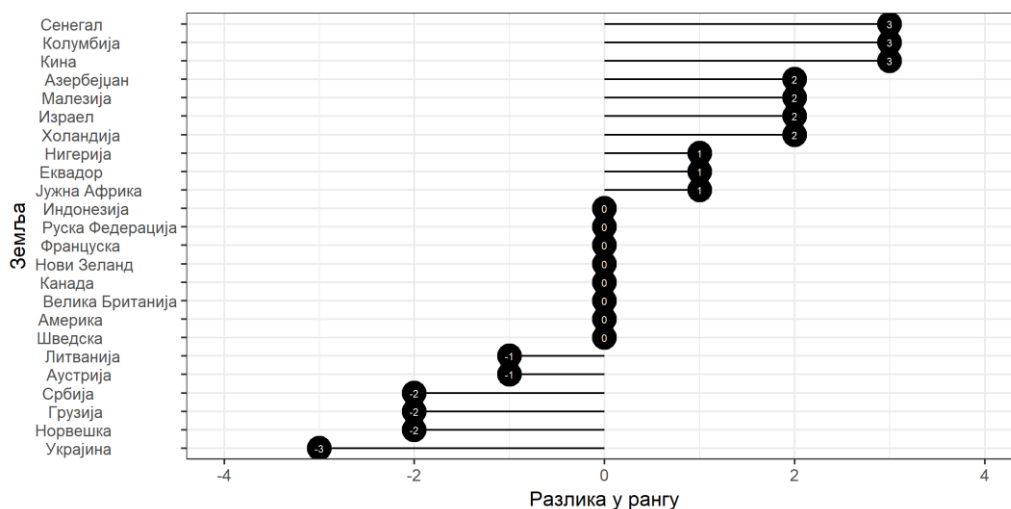
	Димензија				Σ
	<i>Окружење</i>	<i>Спремност</i>	<i>Употреба</i>	<i>Ефекти</i>	
еСС-ЦИДИ шема	0.025104	0.030313	0.013074	0.014000	0.082491
НРИ шема	0.026168	0.033376	0.012757	0.013960	0.086261
ЦИДИ шема	0.025491	0.031094	0.013047	0.013896	0.083528

Промене у ранговима НРИ које настају као резултат примене еСС-ЦИДИ шеме тежинских коэффицијената за одабране земље су дате на Графикону 2. Може се приметити да је разлика у ранговима у распону од +3 места (на пример Кина) до -3 места (на пример Украјина). Најчешће земље нису промениле рангове (48.6% земаља), док је друга најчешћа промена била за -1 место (20.3% земаља).

Резултати примене еСС-ЦИДИ методе на димензије НРИ су показали да се предложена метода додељивања тежинских коэффицијената може са успехом применити и на композитне индикаторе у којима су индикатори (у овом случају димензије) једнаке значајности. еСС-ЦИДИ тежински коэффицијенти мало одступају од официјелних; осцилације рангова после примене нове шеме тежинских

² Добијена ЦИДИ шема тежинских коэффицијената је: *Окружење* 24.8%, *Спремност* 22.5%, *Употреба* 26.5% и *Ефекти* 26.2%

коэффициента такође нису велике (48.6% земаља није променило ранг), али је стабилност композитног индикатора повећана.



Графикон 2 Разлика између НРИ и еСС-ЦИДИ ранга (приказ одабраних земаља)

Како би се додатно упоредиле две ранг листе, израчунат је Пирсонов коефицијент корелације између официјелних вредности НРИ и вредности композитног индекса који настаје применом еСС-ЦИДИ шеме тежинских коефицијената, као и Спирманов коефицијент корелације рангова између две ранг листе. Корелација између официјелних вредности НРИ и еСС-ЦИДИ вредности рангирања је 0.999 ($p < 0.001$), а корелација између рангова је 0.999 ($p < 0.001$). Добијене корелације су високе, међутим композитни индикатор који је настао применом еСС-ЦИДИ методе додељивања тежинских коефицијената је стабилнији ако се узме у обзир утицај шеме тежинских коефицијената на крајње вредности композитног индикатора.

5.2.3. Примена на Индекс одрживог друштва (*Sustainable Society Index – ССИ*)

Од Конференције УН о животној средини и одрживом развоју у Рио де Жанеиру 1992. године, индикатори одрживог развоја и еколошки индикатори су доживели експанзију (303). Експерти широм света су почели да развијају композитне индикаторе одрживости како би доносиоцима одлука од глобалног до локалног нивоа могли да пруже алат за процену оствареног нивоа одрживости. Креиране метрике могу да помогну у процесу утврђивања које активности треба или не треба спровести како би се друштво учинило одрживим (304). Неки од композитних индикатора из области одрживог развоја који су настали и привукли светску пажњу су: Индекс људског развоја

(*Human Development Index* – ХДИ), Индекс одрживог људског развоја (*Human Sustainable Development Index* – ХСДИ), Индекс еколошких перформанси (*Environment Performance Index* – ЕПИ), Еколошки отисак (*Ecological Footprint* – ЕФ), као и Индекс одрживог друштва (*Sustainable Society Index* – ССИ) (29,126,305).

Фондација одрживог друштва (*Sustainable Society Foundation*), са седиштем у Холандији, од 2006. развија ССИ који за циљ има праћење и мерење одрживости националних економија на светском нивоу. Овај композитни индикатор одрживости је формулисан са циљем да опише друштвени напредак кроз три кључне димензије одрживости: Социјалну, Еколошку и Економску. Како би остварио свој циљ, ССИ обухвата 21 индикатор подељен на осам категорија, које су касније подељене на три димензије „благостања” (*Социјална, Еколошка и Економска*) и израчунава се за 154 земље, које покривају 99% светске популације. ССИ се објављује сваке две године и анализира за две године које претходе години издавања. Пошто индекс има сложену структуру и рангира велики број земаља, прикупљање података је отежано и захтева више времена.

Број индикатора који чине ССИ се мењао током година, јер је формирање композитног индикатора итеративни процес. Када је конструисан 2006. године имао је 22 индикатора у пет категорија. Након извршених корекција и ревизије у 2010. години, број индикатора се повећао на 24, при чему су они били распоређени у осам категорија (7). После наредне ревизије, коју је финансирала Европска Комисија, индекс је имао 21 индикатор у осам категорија (126). У периоду од 2012. до 2016. године ССИ је задржао формат од 21 индикатора, али се листа индикатора и њихов распоред у оквиру категорија мењао.

Листа индикатора, категорија и димензија, као и додељени тежински коефицијенти на сваком нивоу агрегације у издању индекса из 2016. године су дати у Табели 14.

Подаци за 21 индикатор, колико се користи за израчунавање индекса по најновијој методологији из 2016. године, се прикупља из 15 извора, од којих су неки: Светска организација за храну и пољопривреду, Светска здравствена организација, Светска банка, Међународни монетарни фонд и многе друге (306).

Одабрани индикатори који се користе за израчунавање ССИ имају одличну доступност: преко 90% података је доступно на годишњем нивоу. Уколико недостају неки подаци, они се одређују у консултацији са релевантним стручњацима.

Табела 14 Листа индикатора који чине ССИ, тежински коефицијенти додељени на сваком нивоу агрегације и ефективни тежински коефицијенти

Димензија	Категорија	Индикатор	Тежина између индикатора (a)	Тежина између категорија (b)	Тежина између димензија (c)	Ефективна тежина (a·b·c)
Социјална	Основне потребе	<i>Довољна количина хране</i>	33.33%	33.33%	33.33%	3.70%
		<i>Довољна количина воде за пиће</i>	33.33%	33.33%	33.33%	3.70%
		<i>Уређени канализациони систем</i>	33.33%	33.33%	33.33%	3.70%
	Лични развој и здравље	<i>Ниво образовања</i>	33.33%	33.33%	33.33%	3.70%
		<i>Очекивани здрав животни век</i>	33.33%	33.33%	33.33%	3.70%
		<i>Родна равноправност</i>	33.33%	33.33%	33.33%	3.70%
	Балансирано друштвено окружење	<i>Расподела прихода</i>	33.33%	33.33%	33.33%	3.70%
		<i>Раст популације</i>	33.33%	33.33%	33.33%	3.70%
		<i>Квалитет управљачке власти</i>	33.33%	33.33%	33.33%	3.70%
Еколошка	Природни ресурси	<i>Биодиверзитет</i>	33.33%	50.00%	33.33%	5.56%
		<i>Обновљиви извори воде</i>	33.33%	50.00%	33.33%	5.56%
		<i>Експлоатација природних добара</i>	33.33%	50.00%	33.33%	5.56%
	Климатске промене и енергија	<i>Употреба енергије</i>	25.00%	50.00%	33.33%	4.17%
		<i>Уштеда енергије</i>	25.00%	50.00%	33.33%	4.17%
		<i>Ниво емисије гасова који постепују ефекат стаклене баште</i>	25.00%	50.00%	33.33%	4.17%
		<i>Обновљиви извори енергије</i>	25.00%	50.00%	33.33%	4.17%
Економска	Транзиција	<i>Органска производња хране</i>	50.00%	50.00%	33.33%	8.33%
		<i>Склоност ка иштедњи</i>	50.00%	50.00%	33.33%	8.33%
	Економија	<i>Бруто домаћи производ</i>	33.33%	50.00%	33.33%	5.56%
		<i>Стопа незапослености</i>	33.33%	50.00%	33.33%	5.56%
		<i>Ниво задужења</i>	33.33%	50.00%	33.33%	5.56%

У наредном кораку се спроводи нормализација прикупљених вредности индикатора. Све вредности индикатора су нормализоване на скали од 1 до 10, где 10 представља одржив скор. Индикатори су нормализовани на скали од 1, уместо од 0 због методе агрегације која се примењује. Наиме, ССИ од 2012. године, по савету стручњака из ЈРЦ-а, примењује геометријску агрегацију. Када је у питању корак додељивање тежинских коефицијената, ССИ методологија користи једнаке тежине (306).

Како би резултати примене еСС-ЦИДИ методе били упоредиви са официјелним резултатима, креиран је нови, хипотетички, ССИ који користи линеарну агрегацију уместо геометријске. Ако се примени линеарна агрегација, могу се израчунати ефективни тежински коефицијенти. Наиме, ако композитни индикатор има сложену, вишестепану структуру, као ССИ, и на сваком нивоу структуре се индикатори пондеришу, као производ тежинских коефицијената који се додељују на сваком нивоу добијају се ефективни тежински коефицијенти који показују колики је значај заиста додељен сваком индикатору (92). У Табели 14 су, поред додељених тежинских коефицијената, приказани и ефективни тежински коефицијенти. Може се закључити да постоји разлика у нивоу значајности који је додељен индикаторима ССИ. Ефективни тежински коефицијенти су у распону од 3.70% (на пример индикатори *Довољна количина хране* и *Довољна количина воде за пиће*) до 8.33% (индикатори *Органска производња хране* и *Склоност ка штедњи*).

Структура ССИ и шема тежинских коефицијената која се примењује су до сада биле тема већег броја истраживања. Аутори (307) су спровели корелациону анализу између вредности димензија ССИ и поредили како се веза између димензија мењала током година. Они су дошли до два значајна закључка. Први, да је структура ССИ прилично конвенционална и да је у складу са теоријским оквиром о мерењу одрживости, Други, да се јачина везе између економских и еколошких димензија, која је негативна, смањује што је веома позитиван резултат у смислу повећања нивоа одрживости на глобалном нивоу. Стручњаци из ЈРЦ-а који су спровели ревизију су закључили да је сложена структура ССИ оправдана и кохерентна, али и да је могуће извршити модификацију категорија како би се повећала стабилност рангирања (126). Са друге стране, нека истраживања су указала на то да је могуће модификовати ССИ индекс. Аутори (305) су применили И-одстојање на индикаторе ССИ и креирали алтернативно рангирање које не зависи од експлицитно додељених тежинских коефицијената. Поред тога, они су показали да су индикатори *Бруто домаћи производ*, *Очекивани здрав животни век* и *Квалитет управљачке власти* значајнији за процес рангирања у односу на остале индикаторе. Надаље, аутори (29) су покушали да повећају конзистентност рангова ССИ индекса применом пост хок И-одстојања. Наведени приступ се заснива на томе да се после сваке итерације И-одстојања из методолошког оквира искључи индикатор који пружа најмању количину информација о посматраном концепту, при чему се количина информација мери коришћењем коефицијента детерминације између вредности

посматраног индикатора и вредности И-одстојања. Они су редуковали методолошки оквир ССИ на осам индикатора, а да при томе нису смањили квалитет метрике.

У студији случаја посматране су вредности 21 индикатора за све 154 земље које се рангирају коришћењем ССИ. База над којом је извршена анализа је јавно доступна на официјелној веб страници ССИ (306). Пошто су вредности индикатора већ биле нормализоване, није било потребе за нормализацијом вредности индикатора пре пондерисања и агрегације.

Према предложеном алгоритму, први корак био је спровођење И-одстојања са реузорковањем и одређивање интервала који ће бити коришћен као ограничења оптимизационог модела. Извршено је 1000 понављања са узорком величине 97 ($0.632 \cdot 154 = 97.328 \approx 97$). Добијени интервали су приказани у Табели 15. И-одстојање са реузорковањем је предложио већу значајност индикаторима *Довољна количина хране*, *Довољна количина воде за пиће*, *Уређени канализациони систем*, *Ниво образовања*, *Очекивани здрав животни век*, *Родна равноправност*, *Раст популације*, *Квалитет управљачке власти* и *Бруто домаћи производ*. У случају преосталих индикатора, И-одстојање са реузорковањем је предложило интервал који или, обухвата ефективни тежински коефицијент, или предлаже мању значајност. Резултати примене И-одстојања са реузорковањем на које треба посебно обратити пажњу су интервали за индикаторе *Обновљиви извори воде*, *Стопа незапослености* и *Ниво задужења*. Наиме, доња граница добијених интервала је нула што значи да је током примене И-одстојања са реузорковањем било узорака у којима се ови индикатори нису показали као значајни за процес рангирања јер нису пружали информације о вишедимензионалном концепту које претходно нису обухваћене преосталим индикаторима.

У следећем кораку је извршен еСС алгоритам и добијени резултати су такође приказани у Табели 15. Као што се може приметити, неки индикатори су добили на значају јер им је додељен тежински коефицијент који је већи од ефективног (на пример *Квалитет управљачке власти* са 3.70% на 8.20%), а други су изгубили на значају (на пример *Склоност ка штедњи* са 8.33% на 2.00%). Од посебног је значаја што је еСС-ЦИДИ метода показала да се два индикатора, *Обновљиви извори воде* и *Стопа незапослености*, могу искључити из методолошког оквира ССИ. Наиме, њима је еСС доделио тежински коефицијент нула. Добијени резултат је показао да се методолошки оквир ССИ може поједноставити.

Табела 15 Ефективни тежински коефицијенти ССИ, минимална и максимална вредност тежинских коефицијената добијених применом методе И-одстојања са реузурковањем и еСС-ЦИДИ пема тежинских коефицијената након прве и друге итерације

Индикатор	Прва итерација				Друга итерација			
	Ефективна тежина	$W_{\min i}$	$W_{\max i}$	W_i	Ефективна тежина	$W_{\min i}$	$W_{\max i}$	W_i
<i>Довољна количина хране</i>	3.70%	4.70%	6.30%	6.30%	3.70%	5.10%	6.30%	6.30%
<i>Довољна количина воде за пиће</i>	3.70%	5.60%	6.80%	6.80%	3.70%	5.80%	6.80%	6.80%
<i>Уређени канализациони систем</i>	3.70%	5.90%	7.00%	5.90%	3.70%	6.30%	7.20%	6.30%
<i>Ниво образовања</i>	3.70%	6.40%	7.50%	7.50%	3.70%	6.50%	7.60%	7.60%
<i>Оčekивани здрав животни век</i>	3.70%	6.70%	7.80%	7.80%	3.70%	6.80%	7.90%	7.90%
<i>Родна равноправност</i>	3.70%	4.30%	6.50%	6.50%	3.70%	4.30%	6.20%	6.20%
<i>Расподела прихода</i>	3.70%	2.00%	4.40%	2.00%	3.70%	1.90%	4.60%	1.90%
<i>Раст популације</i>	3.70%	4.30%	6.20%	4.30%	3.70%	4.50%	6.10%	4.50%
<i>Квалитет управљачке власти</i>	3.70%	7.00%	8.20%	8.20%	3.70%	6.90%	8.10%	8.10%
<i>Биодиверзитет</i>	5.56%	2.10%	4.50%	2.10%	8.33%	1.90%	4.20%	1.90%
<i>Обновљиви извори воде</i>	5.56%	0.00%	1.80%	0.00%	/	/	/	/
<i>Експлоатација природних добава</i>	5.56%	4.40%	6.40%	6.40%	8.33%	4.20%	6.10%	6.10%
<i>Употреба енергије</i>	4.17%	3.50%	6.30%	6.30%	4.17%	3.60%	6.10%	6.10%
<i>Уштеда енергије</i>	4.17%	2.30%	4.90%	2.30%	4.17%	2.80%	5.20%	2.80%
<i>Ниво емисије гасова који постижују ефекат стаклене баште</i>	4.17%	3.30%	5.70%	5.70%	4.17%	3.40%	5.60%	5.60%
<i>Обновљиви извори енергије</i>	4.17%	2.40%	5.30%	3.00%	4.17%	3.10%	6.00%	3.60%
<i>Органска производња хране</i>	8.33%	5.20%	6.90%	5.20%	8.33%	5.30%	6.80%	5.30%
<i>Склоност ка штедњи</i>	8.33%	2.00%	4.50%	2.00%	8.33%	1.50%	4.20%	1.50%
<i>Бруто домаћи производ</i>	5.56%	7.00%	8.00%	7.00%	8.33%	7.20%	8.10%	7.20%
<i>Стопа незапослености</i>	5.56%	0.00%	1.60%	0.00%	/	/	/	/
<i>Ниво задужења</i>	5.56%	0.00%	4.70%	4.70%	8.33%	1.10%	4.30%	4.30%

Ради одређивања еСС-ЦИДИ шеме тежинских коефицијената за одабраних 19 индикатора, целокупан поступак је поновљен. Након првог спровођења еСС-ЦИДИ методе утврђено је да је могуће редуковати број индикатора који чине ССИ. Како резултати еСС-ЦИДИ методе директно зависе од податка над којима се анализа спроводи, било је потребно поново спровести методу на редукованом броју индикатора како би се одредила њихова шема тежинских коефицијената. Резултати И-одстојања са реузорковањем, као и финална еСС-ЦИДИ шема тежинских коефицијената су приказани у Табели 15 у колонама које се односе на другу итерацију.

Како би поређење еСС-ЦИДИ тежинских коефицијената било веродостојно, креирана је нова хипотетичка ефективна шема тежинских коефицијената на основу 19 индикатора. У њој је дошло до промене ефективних тежинских коефицијената у категоријама *Природни ресурси* и *Економија*. Наиме, обе категорије је иницијално чинило по три индикатора којима је био додељен тежински коефицијент 33.33%. Међутим, како се број индикатора у категоријама смањило на два, сваком преосталом индикатору је додељен једнак тежински коефицијент, 50.00%. Нова ефективна тежина индикатора који чине поменуте две категорије је 8.33%.

У поређењу са новом ефективном шемом тежинских коефицијената, индикатори *Квалитет управљачке власти* и *Очекивани здрав животни век* су највише добили на значају, са 3.70% на 8.10% и 7.90%. Са друге стране, индикатори којима је највише умањена значајност за процес рангирања су *Склоност ка штедњи* (са 8.33% на 1.50%) и *Биодиверзитет* (са 8.33% на 1.90%). На основу еСС-ЦИДИ шеме тежинских коефицијената се може закључити да је за одрживо друштво важно првенствено задовољити социјалне потребе, потом еколошке и економске. Наиме, од десет индикатора који имају тежински коефицијент преко 6.00%, седам су индикатори социјалне димензије.

Чињеница да је предложена редукација индикатора може се протумачити двојако. Информација коју пружа једна променљива може бити делимично садржана и у укупној информацији коју пружају остале променљиве (183). То значи да 19 индикатора садржи сву количину информација коју пружају два индикатора и да укључење та два индикатора у методолошки оквир не доприноси повећању укупне количине информација. Са друге стране, могуће је да посматрана два индикатора смањују стабилност ССИ, па је еСС из тог разлога предложио њихово искључење.

Како би се извршила евалуација еСС-ЦИДИ шеме тежинских коефицијената, извршена је компарација сума стандардних девијација релативних доприноса еСС-ЦИДИ шеме и хипотетичке официјелне шеме (Табела 16). Сума стандардних девијација релативних доприноса хипотетичке официјелне шеме тежинских коефицијената је 0.340070, а сума стандардних девијација релативних доприноса еСС-ЦИДИ шеме тежинских коефицијената 0.260376.

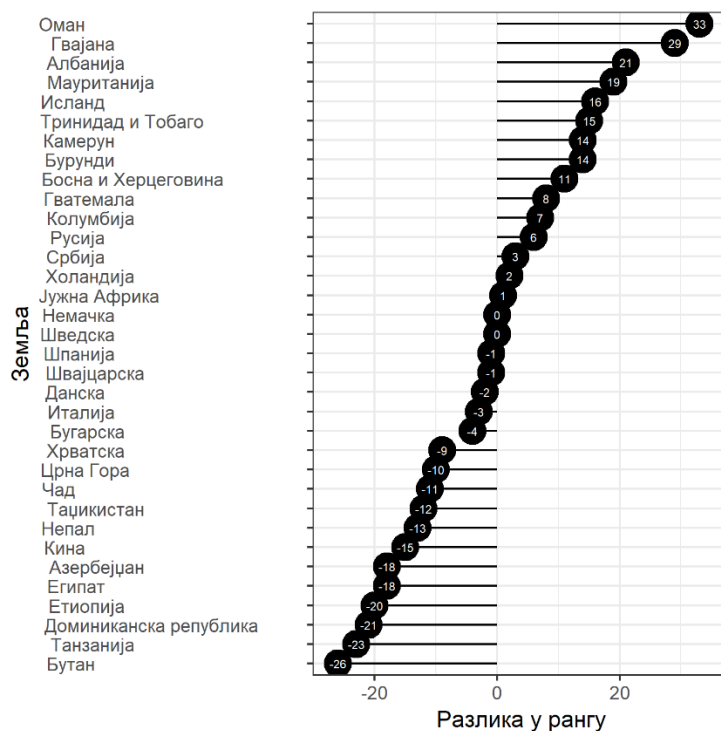
Табела 16 Стандардне девијације релативних доприноса по индикатору ССИ приликом употребе еСС-ЦИДИ и хипотетичке ССИ шеме тежинских коефицијената

		еСС-ЦИДИ шема	Хипотетичка ССИ шема
Индикатор	<i>Довољна количина хране</i>	0.022959	0.016506
	<i>Довољна количина воде за пиће</i>	0.016984	0.012039
	<i>Уређени канализациони систем</i>	0.027755	0.019465
	<i>Ниво образовања</i>	0.015182	0.010080
	<i>Очекивани здрав животни век</i>	0.013030	0.008151
	<i>Родна равноправност</i>	0.019185	0.012837
	<i>Расподела прихода</i>	0.010234	0.022223
	<i>Раст популације</i>	0.017933	0.017149
	<i>Квалитет управљачке власти</i>	0.018136	0.009266
	<i>Биодиверзитет</i>	0.008975	0.040534
	<i>Експлоатација природних добара</i>	0.002453	0.003670
	<i>Употреба енергије</i>	0.003061	0.002398
	<i>Уштеда енергије</i>	0.014712	0.024772
	<i>Ниво емисије гасова који постижују ефекат стаклене баште</i>	0.002712	0.002313
	<i>Обновљиви извори енергије</i>	0.002381	0.003178
	<i>Органска производња хране</i>	0.020716	0.034860
	<i>Склоност ка штедњи</i>	0.009117	0.052028
	<i>Бруто домаћи производ</i>	0.032171	0.042667
	<i>Ниво задужења</i>	0.002680	0.005934
	Σ	0.260376	0.340070

Коначно, може се применити еСС-ЦИДИ шема тежинских коефицијената. Промене у ранговима одабраних земаља које настају као последица примене нове шеме тежинских коефицијената су приказане на Графикону 3. Може се уочити да је разлика у рангу од +33 места (Оман) до -26 места (Бутан). Највећи број земаља, 10 њих (6.5% земаља), је погоршао положај за два места на ранг листи. Медијана промене рангова је -0.50, што значи да је 50% земаља назадовало на ранг листи за бар пола места.

Ипак, постоје значајне промене рангова које је потребно анализирати (Графикон 3). На пример, Бурунди и Камерун су напредовали за 14 места, при чему се њихова крајња вредност композитног индикатора мало променила. У случају Бурундија са

3.140 на 3.716, а у случају Камеруна са 2.986 на 3.608. Један од разлога за напредовање су њихове релативно ниске вредности индикатора *Склоност ка штедњи*, 1.6 и 3.8, који је изгубио на значају за процес рангирања. Са друге стране, види се да су Танзанија и Бутан погоршали положај за 23, односно 26 места. Наиме, и једна и друга земља имају веома високе вредности за оба индикатора који су искључени из методолошког оквира.



Графикон 3 Разлика између ССИ и еСС-ЦИДИ ранга (приказ одабраних земаља)

Од интереса је анализирати промене десет најбоље и најгоре ранжираних земаља по хипотетичком официјелном рангу после примене еСС-ЦИДИ шеме тежинских коефицијената (Табела 17). Десет најбоље ранжираних земаља по хипотетичком ССИ рангу су на врху ранг листе и по еСС-ЦИДИ рангу. Највећа промена у рангу је била за Финску, која је напредовала са 9. на 2. место. С друге стране, дошло је до промена рангова земаља које су биле на дну ранг листе. На пример, Мауританија је напредовала за 19 места, а Ангола и Конго за 10 места. Као што је већ речено, већа осетљивост у доњем делу ранг листе је очекивана (16).

Табела 17 Десет најбоље и најгоре рангираних земаља по хипотетичком ССИ рангу и њихов еСС-ЦИДИ ранг

Земља	Хипотетички ССИ ранг	еСС-ЦИДИ ранг	Земља	Хипотетички ССИ ранг	еСС-ЦИДИ ранг
Шведска	1	1	Конго	145	135
Данска	2	4	Того	146	138
Аустрија	3	7	Ангола	147	137
Белгија	4	6	Гвинеја	148	144
Немачка	5	5	Јемен	149	140
Норвешка	6	3	Мауританија	150	131
Словенија	7	10	Мадагаскар	151	148
Швајцарска	8	9	Гвинеја Бисау	152	147
Финска	9	2	Либерија	153	146
Холандија	10	8	ДР Конго	154	152

Како би се додатно упоредиле две ранг листе, израчунат је Пирсонов коефицијент корелације између хипотетичких вредности ССИ и еСС-ЦИДИ вредности, као и Спирманов коефицијент корелације рангова између две ранг листе. Корелација између хипотетичких вредности ССИ и еСС-ЦИДИ вредности је 0.974 ($p < 0.001$), док је корелација између рангова 0.976 ($p < 0.001$). Добијене корелације су високе, али нешто мање него у претходне две студије случаја. То указује на чињеницу да су разлике у добијеним вредностима и ранговима веће јер су и разлике између шема тежинских коефицијената веће.

Важан недостатак композитних индикатора је то што обично имају за циљ мерење вишедимензионалног концепта који се не може измерити једним индикатором (64). Због тога се поставља питање како одабрати индикаторе који ће чинити методолошки оквир композитног индикатора? Један од праваца истраживања који је недавно почео да се развија је редукција боја индикатора који чине композитне индикаторе (160). Циљ таквих анализа је да искључе индикаторе који се користе за рангирање ентитета и да на тај начин поједноставе методолошки оквир и повећају робусност композитних индикатора. Само неке од анализа које се спроводе како би се редуковао број индикатора или димензија композитног индикатора су: Анализа главних компонената (примењено у (308)), пост хок И-одстојање (примењено у (137)), као и метода заснована на Спирмановом коефицијенту корелације рангова (примењено у (160,161)). Спроведена студија случаја указује на то да се и еСС-ЦИДИ метода може са успехом користити за редукцију броја индикатора који чине композитни индикатор.

Редукција броја индикатора који чине композитни индикатор има неколико предности. Прво, креатори политика и остали корисници композитног индикатора добијају мање сложен методолошки оквир. Друго, редукцијом димензија композитног индикатора се може убрзати процес прикупљања података пошто ће бити потребно мање података које је потребно обезбедити. Такође, сложена структура методолошког оквира композитног индикатора не гарантује да ће креирана метрика ефикасно измерити жељени вишедимензионални концепт. Наиме, аутори (309) су показали да у неким случајевима додавање индикатора смањује квалитет метрике.

6. Закључак

Проблем рангирања и процене перформанси је тема од међународног значаја у савременом свету. Употреба једнодимензионалних приступа за мерење и евалуацију перформанси је постала ограничена и не пружа довољно информација заинтересованим странама (310). Као решење, настали су композитни индикатори који могу да вишедимензионални концепт сведу на једну, лакше разумљиву димензију (69). Композитни индикатори се могу користити за оцену тренутног стања, процену учинка, алокацију ресурса, али и за креирање корективних политика (311). Они се, дакле, осим за потребе рангирања, све више примењују у разним врстама јавних дебата (8,16). Управо због тога је од суштинског значаја формирати статистички стабилне композитне индикаторе и приближити њихове методолошке оквире широј јавности (260).

Композитни индикатор се дефинише као агрегирани индекс који се састоји од појединачних пондерисаних индикатора који мере различите аспекте посматраног вишедимензионалног концепта (2,3). Пошто композитни индикатори смањују димензионалност посматраног концепта, они омогућавају једноставнију комуникацију о резултатима са широм друштвеном заједницом. Иако композитни индикатори имају велики број предности, начини спровођења неколико корака ОЕЦД-ЈРЦ методологије за формирање и евалуацију композитних индикатора привлаче пажњу научне заједнице. Најчешће навођени недостаци великог броја методолошких оквира композитних индикатора су интуитивно додељени тежински коефицијенти, као и изостанак испитивања робусности композитног индикатора у зависности од промена методолошког оквира (20,27,44,60,69,259).

Наведени проблеми се решавају на неколико начина. Први проблем, испитивање робусности композитног индикатора, може се решити коришћењем анализе неизвесности и анализе осетљивости (24,71). Уколико се посматра стабилност композитног индикатора, спроведена само за шему тежинских коефицијената, недавна истраживања су показала да се релативни доприноси могу користити као улаз у анализу неизвесности (28), при чему се може сматрати да виша стандардна девијација релативних доприноса доводи до већег степена осцилације рангова (29).

Други проблем, интуитивно додељени тежински коефицијенти, се превазилази коришћењем метода додељивања тежинских коефицијената које се заснивају на статистичким методама и/или методама оптимизације. Поред великог броја статистичких метода које се могу спровести у циљу одређивања нових тежинских коефицијената, посебно се издваја метода Ивановићево одстојање (И-одстојање) (30). Предност методе И-одстојања је њена способност да агрегира индикаторе у једну нумеричку вредност, а да им при томе не додељује експлицитне тежинске коефицијенте (3). Са друге стране, вредности И-одстојања се могу користити за одређивање тежинских коефицијената (2). Уколико се проблем решава применом метода оптимизације, издвајају се три приступа: ДЕА метода, БоД модел и примена метахеуристика. Иако је до сада развијен велики број метода додељивања тежинских коефицијената, мали број њих се базира на методама оптимизације и на анализи неизвесности.

Допринос ове докторске дисертације је дефинисање хибридне методе додељивања тежинских коефицијената засноване на релативним доприносима и И-одстојању са реузорковањем која је названа Метода унапређено распршено претраживање – Композитни индикатор базиран на И-одстојању (еСС-ЦИДИ метода). Креирана метода представља даљи развој методологије за формирање и евалуацију композитних индикатора, коју су првобитно дефинисали експерти из ОЕЦД и ЈРЦ (19). Тежински коефицијенти добијени спровођењем еСС-ЦИДИ методе минимизирају суму стандардних девијација релативних доприноса индикатора и тиме повећавају стабилност композитног индикатора.

Релативни допринос индикатора пружа значајне информације о стварном учешћу вредности неког индикатора у крајњим резултатима композитног индикатора (26). Према томе, пожељне су конзистентне вредности релативних доприноса по ентитету и по индикатору. Да би се одредили такви тежински коефицијенти, примењена је метахеуристика унапређено распршено претраживање (еСС). Ипак, како би еСС пружио релевантне резултате, потребно је дефинисати простор допустивих решења. За дефинисање простора решења је предложено је И-одстојање са реузорковањем.

Овде предложена еСС-ЦИДИ метода омогућава креаторима композитних индикатора да буду сигурни да су створили стабилан композитни индикатор, узимајући у обзир дата ограничења. Наиме, приликом избора шеме тежинских

коэффицијената, креатори композитних индикатора имају велики број метода и приступа које могу применити. Међутим, не постоји гаранција да се применом одабране методе креира најстабилнији композитни индикатор. Приликом примене еСС-ЦИДИ методе загарантовано је да ће, узимајући у обзир ограничења, метода доделити тежинске коэффицијенте тако да настаје најстабилнији композитни индикатор. С друге стране, еСС-ЦИДИ метода пружа могућност за побољшање стабилности композитних индикатора. Поред тога што се може користити за формирање нових композитних индикатора, метода се може користити за евалуацију официјелне шеме тежинских коэффицијената.

Добијене разлике у тежинским коэффицијентима, као и у ранговима ентитета и у крајњим вредностима композитног индикатора, могле би имати важне импликације на развијене политике. Наиме, композитни индикатори се често користе за дефинисање стратегија и политика и могу бити важан извор информација (260). Због тога би еСС-ЦИДИ метода могла да буде корисна доносиоцима одлука на политичком нивоу, посебно због тога што су додељени тежински коэффицијенти заокружени на три децимална места, што их чини једноставнијим за тумачење и презентацију широј јавности (261,262).

У овој докторској дисертацији су приказана четири примера из праксе: један пример формирања композитног индикатора и три примера везана за унапређење стабилности композитних индикатора.

Прва студија случаја подразумева коришћење еСС-ЦИДИ методе у процесу формирања новог композитног индикатора, Европског индекса задовољства живота (*European Index of Life Satisfaction* – ЕИЛС). Резултати су показали да се еСС-ЦИДИ метода додељивања тежинских коэффицијента може успешно применити приликом формирања композитних индикатора (283). еСС-ЦИДИ метода је доделила неједнаке тежинске коэффицијенте индикаторима којима се рангира 28 земаља чланица Европске уније на основу опаженог задовољства животом, измереног детаљном анкетом коју је спровео Еуростат.

Наредне две студије случаја, спроведене су на Академском рангирању светских универзитета (*Academic Ranking of World Universities* – АРВУ) и Индексу спремности за умрежавање (*Networked Readiness Index* – НРИ), два композитна индикатора из различитих сфера друштвеног живота са различитим методолошким оквирима. еСС-

ЦИДИ метода је имала јединствено решење које је задовољило сва дефинисана ограничења у обе студије случаја. Резултати су показали да се применом еСС-ЦИДИ методе одређују тежински коефицијенти који доводе до мањих сума стандардних девијација релативних доприноса индикатора у односу на суму стандардних девијација релативних доприноса која настаје применом официјелне шеме тежинских коефицијената. Одатле следи да је стабилност посматраних композитних индикатора са успехом побољшана коришћењем еСС-ЦИДИ методе (298).

Четврта студија случаја је спроведена на Индексу одрживог друштва (*Sustainable Society Index* - ССИ). Добијени резултати су показали да се у неким итерацијама И-одстојања са реузорковањем нису сви индикатори показали као значајни за процес рангирања. Применом еСС-ЦИДИ методе је закључено да се из методолошког оквира могу искључити два индикатора и да се на тај начин стабилност ССИ индекса унапређује. Иако је забележено неколико великих промена рангова, коефицијенти корелације између официјелног и еСС-ЦИДИ ранга су високи.

Као главни научни доприноси ове докторске дисертације се могу навести:

- Детаљан преглед актуелне литературе на тему додељивања тежинских коефицијената коришћењем статистичких метода, као и метода оптимизације;
- Развој приступа за ограничавање тежинских коефицијената коришћењем И-одстојања са реузорковањем;
- Развој нове методе додељивања тежинских коефицијената којом се повећава стабилност композитног индикатора мерена стандардним девијацијама релативних доприноса;
- Унапређење ОЕЦД-ЈРЦ методологије за формирање и евалуацију композитних индикатора креирањем нове методе додељивања тежинских коефицијената;
- Примена нове методе додељивања тежинских коефицијената у процесу формирања новог композитног индикатора, као и у процесу евалуације композитних индикатора.

Правци будућих истраживања који произилазе из ове докторске дисертације:

- Примена различитих приступа за ограничавање тежинских коефицијената који се базирају на резултатима И-одстојања са реузорковањем;
- Креирање композитног индикатора у коме би се тежински коефицијенти на једном нивоу композитног индикатора одређивали еСС-ЦИДИ методом, а на другом у консултацији са експертима;
- Адаптирање еСС-ЦИДИ методе на случај када је метода агрегације геометријска како би добијени резултати и рангови били упоредиви са официјелним резултатима и ранговима.

7. Литература

1. Saltelli A. Composite indicators between analysis and advocacy. *Soc Indic Res.* 2007;81(1):65–77.
2. Dobrota M. Statistički pristup formiranju kompozitnih indikatora zasnovan na Ivanovićevom odstojanju. Fakultet organizacionih nauka, Univerzitet u Beogradu; 2015.
3. Jeremić V. Statistički model efikasnosti zasnovan na Ivanovićevom odstojanju. Fakultet organizacionih nauka, Univerzitet u Beogradu; 2012.
4. Bulajić M. Geodemografski model tržišnog prostora Srbije. Fakultet organizacionih nauka, Univerzitet u Beogradu; 2002.
5. Liu NC, Cheng Y. The Academic Ranking of World Universities. *High Educ Eur.* 2005;30(2):127–36.
6. Williams R, de Rassenfosse G, Jensen P, Marginson S. The determinants of quality national higher education systems. *J High Educ Policy Manag.* 2013;35(6):599–611.
7. Van de Kerk G, Manuel AR. A comprehensive index for a sustainable society: The SSI — the Sustainable Society Index. *Ecol Econ.* 2008;66(2–3):228–42.
8. Plantenga J, Remery C, Figueiredo H, Smith M. Towards a European Union Gender Equality Index. *J Eur Soc Policy.* 2009;19(1):19–33.
9. Geske Dijkstra A. Towards a fresh start in measuring gender equality: A Contribution to the debate. *J Hum Dev.* 2006;7(2):275–83.
10. Castellani V, Sala S. Sustainable performance index for tourism policy development. *Tour Manag.* 2010;31(6):871–80.
11. Arcadis. Sustainable Cities Index. 2018. Доступно на: <https://www.arcadis.com/en/global/our-perspectives/sustainable-cities-index-2016/>
12. World Justice Project. Rule of Law Index. Washington, D.C; 2016. Доступно на: https://worldjusticeproject.org/sites/default/files/documents/RoLI_Final-Digital_0.pdf
13. UNDP. Human Development Index. 2016. Доступно на: <http://hdr.undp.org/en/content/human-development-index-hdi>
14. World Bank. Doing Business. 2016. Доступно на: <http://www.doingbusiness.org>

15. Lukman R, Krajnc D, Glavič P. University ranking using research, educational and environmental indicators. *J Clean Prod.* 2010;18(7):619–28.
16. Saisana M, D’Hombres B, Saltelli A. Rickety numbers: Volatility of university rankings and policy implications. *Res Policy.* 2011;40(1):165–77.
17. Bandura R. United Nations Development Programme: A survey of composite indices measuring country performance. 2008. Доступно на: http://old.usc.ac.ir/IPWebV1C035/TemplateFileFolder/10-8-2013/OriginalFolder/0a6e29c4-1fa6-4496-a362-000f0851d4fc_indices_2008_bandura.pdf
18. Booyesen F. An overview and evaluation of composite indices of development. *Soc Indic Res.* 2002;59(2):115–51.
19. Nardo M, Saisana M, Saltelli A, Tarantola S, Hoffman A, Giovannini E. Handbook on constructing composite indicators. OECD Statistics Working Papers. 2005. 108 p. Доступно на: <http://www.oecd-ilibrary.org/docserver/download/5lgmz9dkcdg4.pdf?expires=1471336777&id=id&accname=guest&checksum=158391DADFA324416BB9015F3E4109AF>
20. Jeremic V, Bulajic M, Martic M, Radojicic Z. A fresh approach to evaluating the academic ranking of world universities. *Scientometrics.* 2011;87(3):587–96.
21. Greco S, Ishizaka A, Tasiou M, Torrisi G. On the methodological framework of composite indices: A review of the issues of weighting, aggregation, and robustness. *Soc Indic Res.* 2018;(Online first):1–34.
22. Banerjee AK. Multidimensional indices with data-driven dimensional weights: A multidimensional coefficient of variation. *Arthaniti J Econ Theory Pract.* 2018;17(2):140–56.
23. Grupp H, Schubert T. Review and new evidence on composite innovation indicators for evaluating national performance. *Res Policy.* 2010;39(1):67–78.
24. Saltelli A, Ratto M, Andres T, Campolongo F, Cariboni J, Gatelli D, et al. Global sensitivity analysis. The primer. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd; 2007.
25. Saltelli A, Chan K, Scott EM. Sensitivity analysis. Wiley, Hoboken; 2000.
26. Saisana M, D’Hombres B. Higher education rankings: Robustness issues and critical assessment. How much confidence can we have in higher education rankings?. JRC. 2008. Доступно на: http://crell.jrc.ec.europa.eu/Publications/CRELL_Research_Papers/EUR23487.pdf

27. Dobrota M, Bulajic M, Bornmann L, Jeremic V. A new approach to the QS university ranking using the composite I-distance indicator: Uncertainty and sensitivity analyses. *J Assoc Inf Sci Technol*. 2016;67(1):200–11.
28. Dobrota M, Dobrota M. ARWU ranking uncertainty and sensitivity: What if the award factor was excluded? *J Assoc Inf Sci Technol*. 2016;67(2):480–2.
29. Savic D, Jeremic V, Petrovic N. Rebuilding the pillars of Sustainable Society Index: A multivariate post hoc I-distance approach. *Probl Ekorozwoju – Probl Sustain Dev*. 2016;12(1):125–34.
30. Ivanovic B. *Teorija klasifikacije*. Institut za ekonomiku industrije, Beograd; 1977.
31. Maricic M, Kostic-Stankovic M. Towards an impartial Responsible Competitiveness Index: A twofold multivariate I-distance approach. *Qual Quant*. 2016;50(1):103–20.
32. Jeremic V, Jovanovic Milenkovic M, Radojicic Z, Martic M. Excellence with leadership: The crown indicator of Scimago Institutions Rankings Iber report. *El Prof la Inf*. 2013;22(5):474–80.
33. Dobrota M, Martic M, Bulajic M, Jeremic V. Two-phased composite I-distance indicator approach for evaluation of countries' information development. *Telecomm Policy*. 2015;39(5):406–20.
34. Maricic M, Bulajic M, Radojicic Z, Jeremic V. Multivariate approach to imposing additional constraints on the Benefit-of-the-Doubt model: The case of QS World University Rankings by subject. *Croat Rev Econ Bus Soc Stat*. 2016;2(1):1–14.
35. Efron B. Better bootstrap confidence intervals. *J Am Stat Assoc*. 1987;82(397):171–85.
36. Arcones MA, Gine E. The bootstrap of the mean with arbitrary bootstrap sample size. *Ann IHP Probab Stat*. 1989;25(4):457–81.
37. Stone M. Cross-Validatory choice and assessment of statistical predictions. *J R Stat Soc Ser B*. 1974;36(2):111–33.
38. Good P. *Permutation tests*. Springer New York; 1994. (Springer Series in Statistics).
39. Radojicic M, Savic G, Jeremic V. Measuring the efficiency of banks: The bootstrapped I-distance GAR DEA approach. *Technol Econ Dev Econ*. 2018;24(4):1581–605.
40. Radojicic M, Savic G, Radovanovic S, Jeremic V. A novel bootstrap DBA-DEA approach in evaluating efficiency of banks. *Nav Acad Sci Bull*. 2015;18(2):375–84.
41. Vujošević M. *Metode optimizacije u inženjerskom menadžmentu*. Beograd: Akademija inženjerskih nauka Srbije, Odeljenje rudarskih i geoloških nauka : Fakultet

- organizacionih nauka; 2012. 161 p.
42. Amado CAF, São José JMS, Santos SP. Measuring active ageing: A Data Envelopment Analysis approach. *Eur J Oper Res.* 2016;255(1):207–23.
 43. Becker W, Saisana M, Paruolo P, Vandecasteele I. Weights and importance in composite indicators: Closing the gap. *Ecol Indic.* 2017;80:12–22.
 44. Cherchye L, Moesen W, Rogge N, Van Puyenbroeck T, Saisana M, Saltelli A, et al. Creating composite indicators with DEA and robustness analysis: The case of the Technology Achievement Index. *J Oper Res Soc.* 2008;59(2):239–51.
 45. Glover F. Heuristics for integer programming using surrogate constraints. *Decis Sci.* 1977;8(1):156–66.
 46. Egea JA, Balsa-Canto E, García M-SG, Banga JR. Dynamic optimization of nonlinear processes with an Enhanced Scatter Search method. *Ind Eng Chem Res.* 2009;48(9):4388–401.
 47. Ivanovic B. Classification of underdeveloped areas according to level of economic development. *East Europ Econ.* 1963;2(1–2):46–61.
 48. Efron B. Bootstrap methods: Another look at the jackknife. *Ann Stat.* 1979;7(1):1–26.
 49. Efron B, Tibshirani R. Improvements on cross-validation: The 632+ bootstrap method. *J Am Stat Assoc.* 1997;92(438):548–60.
 50. Xu LW, Yang FQ, Abula A, Qin S. A parametric bootstrap approach for two-way ANOVA in presence of possible interactions with unequal variances. *J Multivar Anal.* 2013;115:172–80.
 51. Murphy R, Weinhardt F. The importance of rank position. 2013. Доступно на: <http://files.eric.ed.gov/fulltext/ED545617.pdf>
 52. Mazziotta M, Pareto A. On a generalized non-compensatory composite index for measuring socio-economic phenomena. *Soc Indic Res.* 2016 Jul 13;127(3):983–1003.
 53. OECD. The OECD-JRC handbook on practices for developing composite indicators. Paris, France; 2004.
 54. Saisana M, Tarantola S. State-of-the-art report on current methodologies and practices for composite indicator development. 2002. Доступно на: <http://bookshop.europa.eu/en/state-of-the-art-report-on-current-methodologies-and-practices-for-composite-indicator-development-pbEUNA20408/%2520>
 55. Birkmann J. Risk and vulnerability indicators at different scales: Applicability, usefulness and policy implications. *Environ Hazards.* 2007;7(1):20–31.

56. Castillo H, Pitfield DE. ELASTIC – A methodological framework for identifying and selecting sustainable transport indicators. *Transp Res Part D Transp Environ.* 2010;15(4):179–88.
57. Singh RK, Murty HR, Gupta SK, Dikshit AK. An overview of sustainability assessment methodologies. *Ecol Indic.* 2012;15(1):281–99.
58. Egilmez G, Gumus S, Kucukvar M. Environmental sustainability benchmarking of the U.S. and Canada metropolises: An expert judgment-based multi-criteria decision making approach. *Cities.* 2015;42:31–41.
59. Morse S, Fraser EDG. Making ‘dirty’ nations look clean? The nation state and the problem of selecting and weighting indices as tools for measuring progress towards sustainability. *Geoforum.* 2005;36(5):625–40.
60. Freudenberg M. Composite indicators of country performance: a critical assessment. *OECD Sci Technol Ind Work Pap.* 2003;16:35. Доступно на: <http://www.oecd-ilibrary.org/docserver/download/5lgsjhvj7lbt.pdf?expires=1436619503&id=id&accname=guest&checksum=DA782FFA25365A66A8238E1D5106BE79>
61. Zornic N, Bornmann L, Maricic M, Markovic A, Martic M, Jeremic V. Ranking institutions within a university based on their scientific performance: A percentile-based approach. *El Prof la Inf.* 2015;24(5):551.
62. Weingart P. Impact of bibliometrics upon the science system: Inadvertent consequences? *Scientometrics.* 2005;62(1):117–31.
63. Cherchye L, Moesen W, Rogge N, Puyenbroeck T Van. An introduction to “Benefit of the Doubt” composite indicators. *Social Indicators Research.* 2007;82(1):111–45.
64. Decancq K, Lugo MA. Weights in multidimensional indices of wellbeing: An overview. *Econom Rev.* 2013;32(1):7–34.
65. Ray AK. Measurement of social development: an international comparison. *Soc Indic Res.* 2007;86(1):1–46.
66. Munda G, Nardo M. On the methodological foundations of composite indicators used for ranking countries. Ispra, Italy; 2003.
67. Grupp H, Mogee ME. Indicators for national science and technology policy: How robust are composite indicators? *Res Policy.* 2004;33(9):1373–84.
68. Sébastien L, Bauler T, Lehtonen M. Can indicators bridge the gap between science and policy? An exploration into the (non)use and (non)influence of indicators in EU and UK policy making. *Nat Cult.* 2014;9(3):316–43.

69. Saisana M, Saltelli A, Tarantola S. Uncertainty and sensitivity analysis techniques as tools for the quality assessment of composite indicators. *J R Stat Soc Ser A*. 2005;168(2):307–23.
70. Burgass MJ, Halpern BS, Nicholson E, Milner-Gulland EJ. Navigating uncertainty in environmental composite indicators. *Ecol Indic*. 2017;75:268–78.
71. Paruolo P, Saisana M, Saltelli A. Ratings and rankings: voodoo or science? *J R Stat Soc Ser A*. 2013;176(3):609–34.
72. Giampietro M, Mayumi K, Munda G. Integrated assessment and energy analysis: Quality assurance in multi-criteria analysis of sustainability. *Energy*. 2006;31(1):59–86.
73. Little RJA, Rubin DB. *Statistical analysis with missing data*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Ltd; 2002.
74. Kovačić Z. *Multivarijaciona analiza*. Beograd: Ekonomski fakultet; 1992.
75. Ebert U, Welsch H. Meaningful environmental indices: A social choice approach. *J Environ Econ Manage*. 2004;47(2):270–83.
76. Jovanovic M, Jeremic V, Savic G, Bulajic M, Martic M. How does the normalization of data affect the ARWU ranking? *Scientometrics*. 2012;93(2):319–27.
77. Pollesch NL, Dale VH. Normalization in sustainability assessment: Methods and implications. *Ecol Econ*. 2016;130:195–208.
78. Talukder B, Hipel K, Van Loon G. Developing composite indicators for agricultural sustainability assessment: Effect of normalization and aggregation techniques. *Resources*. 2017;6(4):1–27.
79. Mazziotta M, Pareto A. Methods for constructing composite indices: One for all or all for one. *Riv Ital di Econ Demogr e Stat*. 2012;67(2):67–80.
80. Munda G. Multiple criteria decision analysis and sustainable development. In: Greco S, Ehrgott M, Figueira J, editors. *Multiple criteria decision analysis: State of the art surveys*. Springer New York; 2005. p. 953–86.
81. Mazziotta M, Pareto A. Un indicatore sintetico di dotazione infrastrutturale: il metodo delle penalità per coefficiente di variazione. In: *Lo sviluppo regionale nell'Unione Europea-Obiettivi, strategie, politiche Atti della XXVIII Conferenza Italiana di Scienze Regionali*. Bolzano; 2007.
82. Ács ZJ, Autio E, Szerb L. National systems of entrepreneurship: Measurement issues and policy implications. *Res Policy*. 2014;43(3):476–94.

83. Casadio Tarabusi E, Guarini G. An unbalance adjustment method for development indicators. *Soc Indic Res.* 2013;112(1):19–45.
84. Munda G. *Social multi-criteria evaluation for a sustainable economy.* Berlin, Heidelberg: Springer; 2008.
85. Van Puyenbroeck T, Rogge N. Geometric mean quantity index numbers with Benefit-of-the-Doubt weights. *Eur J Oper Res.* 2017;256(3):1004–14.
86. Böhringer C, Jochem PEP. Measuring the immeasurable — A survey of sustainability indices. *Ecol Econ.* 2007;63(1):1–8.
87. Dobbie MJ, Dail D. Robustness and sensitivity of weighting and aggregation in constructing composite indices. *Ecol Indic.* 2013;29:270–7.
88. Drewnowski J. Social indicators and welfare measurement: Remarks on methodology. *J Dev Stud.* 1972;8(3):77–90.
89. Cox DR, Fitzpatrick R, Fletcher AE, Gore SM, Spiegelhalter DJ, Jones DR. Quality-of-life assessment: Can we keep it simple? *J R Stat Soc Ser A.* 1992;155(3):353–93.
90. Rogge N. Undesirable specialization in the construction of composite policy indicators: The environmental performance index. *Ecol Indic.* 2012;23:143–54.
91. Giannetti BF, Bonilla SH, Silva CC, Almeida CMVB. The reliability of experts' opinions in constructing a composite environmental index: The case of ESI 2005. *J Environ Manage.* 2009;90(8):2448–59.
92. Maricic M, Bulajic M, Vasilijevic M. The Rule of Law Index: Is it really impartial? A twofold multivariate I-distance approach. In: Jeremic V, Radojicic Z, Dobrota M, editors. *Emerging trends in the development and application of composite indicators.* 2016. p. 200–22.
93. Orencio PM, Fujii M. A localized disaster-resilience index to assess coastal communities based on an analytic hierarchy process (AHP). *Int J Disaster Risk Reduct.* 2013 Mar;3:62–75.
94. Saaty T. Decision making with the analytic hierarchy process. *Int J Serv Sci.* 2008;1(1):83–98.
95. Tabachnick B, Fidell L. *Using Multivariate Statistics, 6th Edition.* Pearson; 2013.
96. Ali ZM, Ibrahim NA, Mengersen K, Shitan M, Juahir H. Robust principal component analysis in water quality index development. In: *AIP Conference Proceedings.* 2014. p. 1091–7.

97. Jovanovic Milenkovic M, Brajovic B, Milenkovic D, Vukmirovic D, Jeremic V. Beyond the equal-weight framework of the Networked Readiness Index: A multilevel I-distance methodology. *Inf Dev.* 2016;32(4):1120–36.
98. Maricic M, Bulajic M, Martic M, Dobrota M. Measuring the ict development: The fusion of biased and objective approach. *Nav Acad Sci Bull.* 2015;18(2):326–34.
99. Joro T, Viitala E-J. Weight-restricted DEA in action: From expert opinions to mathematical models. *J Oper Res Soc.* 2004;55(8):814–21.
100. Zardari NH, Ahmed K, Shirazi SM, Yusop Z Bin. Weighting methods and their effects on multi-criteria decision making model outcomes in water resources management. Springer International Publishing; 2015. (Springer Briefs in Water Science and Technology).
101. Vujošević M. Linearno programiranje. Beograd: Fakultet organizacionih nauka; 2013.
102. Charnes A, Cooper WW, Rhodes E. Measuring the efficiency of decision making units. *Eur J Oper Res.* 1978;2(6):429–44.
103. Maletic R, Kreca M, Maletic P. Application of DEA methodology in measuring efficiency in the banking sector. *Ekonom Poljopr.* 2013;60(4):843–55.
104. Hatefi SM, Torabi SA. A common weight MCDA-DEA approach to construct composite indicators. *Ecol Econ.* 2010;70(1):114–20.
105. Despotis DK. A reassessment of the Human Development Index via Data Envelopment Analysis. *J Oper Res Soc.* 2005;56(8):969–80.
106. Zhou P, Ang BW, Zhou DQ. Weighting and aggregation in composite indicator construction: A multiplicative optimization approach. *Soc Indic Res.* 2010;96(1):169–81.
107. Mariano EB, Sobreiro VA, Rebelatto DA do N. Human development and Data Envelopment Analysis: A structured literature review. *Omega.* 2015;54:33–49.
108. Giambona F, Vassallo E. Composite indicator of financial development in a benefit-of-doubt approach. *Econ Notes.* 2013;42(2):171–202.
109. Zanella A, Camanho AS, Dias TG. Undesirable outputs and weighting schemes in composite indicators based on Data Envelopment Analysis. *Eur J Oper Res.* 2015;245(2):517–30.
110. Sayed H, Hamed R, Ramadan MA-G, Hosny S. Using meta-goal programming for a new human development indicator with distinguishable country ranks. *Soc Indic Res.* 2015;123(1):1–27.

111. Sayed H, Hamed R, Hosny SH, Abdelhamid AH. Avoiding ranking contradictions in Human Development Index using goal programming. *Soc Indic Res.* 2018;138(2):405–42.
112. Krčevinac S, Mangalović M, Kovačević-Vujičić V, Martić M, Vujošević M. *Operaciona istraživanja*. Beograd: Fakultet organizacionih nauka; 2004.
113. Kim K, Han I. Genetic algorithms approach to feature discretization in artificial neural networks for the prediction of stock price index. *Expert Syst Appl.* 2000;19(2):125–32.
114. Karaboga D, Akay B, Ozturk C. Artificial Bee Colony (ABC) optimization algorithm for training feed-forward neural networks. In: Torra V., Narukawa Y., Yoshida Y., editor. *Modeling decisions for artificial intelligence*. 2007. p. 318–29.
115. Socha K, Blum C. An ant colony optimization algorithm for continuous optimization: Application to feed-forward neural network training. *Neural Comput Appl.* 2007;16(3):235–47.
116. Mirjalili S, Mohd Hashim SZ, Moradian Sardroudi H. Training feedforward neural networks using hybrid particle swarm optimization and gravitational search algorithm. *Appl Math Comput.* 2012;218(22):11125–37.
117. Oh KJ, Kim TY, Min S. Using genetic algorithm to support portfolio optimization for index fund management. *Expert Syst Appl.* 2005;28(2):371–9.
118. Narang N, Dhillon JS, Kothari DP. Weight pattern evaluation for multiobjective hydrothermal generation scheduling using hybrid search technique. *Int J Electr Power Energy Syst.* 2014;62:665–78.
119. Taghdisian H, Pishvaie MR, Farhadi F. Multi-objective optimization approach for green design of methanol plant based on CO₂-efficiency indicator. *J Clean Prod.* 2015;103:640–50.
120. Macedo LL, Godinho P, Alves MJ. Mean-semivariance portfolio optimization with multiobjective evolutionary algorithms and technical analysis rules. *Expert Syst Appl.* 2017;79:33–43.
121. Jain V, Kumar A, Kumar S, Chandra C. Weight restrictions in Data Envelopment Analysis: A comprehensive Genetic Algorithm based approach for incorporating value judgments. *Expert Syst Appl.* 2015;42(3):1503–12.
122. Lagarias JC, Reeds JA, Wright MH, Wright PE. Convergence properties of the Nelder-Mead simplex method in low dimensions. *SIAM J Optim.* 1998;9(1):112–47.

123. Gupta JN., Sexton RS. Comparing backpropagation with a genetic algorithm for neural network training. *Omega*. 1999;27(6):679–84.
124. Sexton RS, Dorsey RE, Johnson JD. Optimization of neural networks: A comparative analysis of the genetic algorithm and simulated annealing. *Eur J Oper Res*. 1999;114(3):589–601.
125. Maričić M. Statistički pristup evaluaciji kompozitnog indeksa U21 za rangiranje nacionalnih sistema visokoškolskog obrazovanja. Fakultet organizacionih nauka, Univerzitet u Beogradu, Master rad; 2015.
126. Saisana M, Philippas D. Sustainable Society Index (SSI): Taking societies' pulse along social, environmental and economic issues. 2012.
127. Hsu A, Johnson L., Lloyd A. Measuring progress: A practical guide from the developers of the Environmental Performance Index (EPI). 2013.
128. Athanoglou S, Weziak-Bialowolska D, Saisana M. Environmental Performance Index 2014 JRC Analysis and Recommendations – JRC Science and Policy Reports. 2014.
129. Norlén H, Caperna G. The JRC statistical audit of the Social Progress Index (SPI). 2018.
130. Corrente S, Greco S, Nicotra M, Romano M, Schillaci CE. Evaluating and comparing entrepreneurial ecosystems using SMAA and SMAA-S. *J Technol Transf*. 2018;(Online first):1–35.
131. Lahdelma R, Hokkanen J, Salminen P. SMAA - Stochastic multiobjective acceptability analysis. *Eur J Oper Res*. 1998;106(1):137–43.
132. Greco S, Ishizaka A, Matarazzo B, Torrisi G. Stochastic multi-attribute acceptability analysis (SMAA): An application to the ranking of Italian regions. *Reg Stud*. 2018;52(4):585–600.
133. Dijkstra L, Annoni P, Kozovska K. A series of short papers on regional research and indicators produced by the Directorate-General for regional policy. 2011.
134. Saisana M, Saltelli A. JCR statistical audit of the WJP Rule of Law index 2014. In: *World Justice Project: The World Justice Project Rule of Law Index 2014*. World Justice Project; 2014. p. 188–97.
135. Murias P, de Miguel JC, Rodríguez D. A composite indicator for university quality assesment: The case of Spanish higher education system. *Soc Indic Res*. 2008;89(1):129–46.

136. Dobrota M, Jeremic V. Shedding the light on the stability of university rankings in the ICT Field. *IETE Tech Rev.* 2017;34(1):75–82.
137. Marković M, Zdravković S, Mitrović M, Radojičić A. An iterative multivariate post hoc I-distance approach in evaluating OECD Better Life Index. *Soc Indic Res.* 2016;126(1):1–19.
138. Wang X, Triantaphyllou E. Ranking irregularities when evaluating alternatives by using some ELECTRE methods. *Omega.* 2008;36(1):45–63.
139. Wang Y-M, Luo Y. On rank reversal in decision analysis. *Math Comput Model.* 2009;49(5–6):1221–9.
140. Macharis C, Springael J, De Brucker K, Verbeke A. PROMETHEE and AHP: The design of operational synergies in multicriteria analysis. *Eur J Oper Res.* 2004;153(2):307–17.
141. Mousavi-Nasab SH, Sotoudeh-Anvari A. A new multi-criteria decision making approach for sustainable material selection problem: A critical study on rank reversal problem. *J Clean Prod.* 2018;182:466–84.
142. Ligmann-Zielinska A, Jankowski P. A framework for sensitivity analysis in spatial multiple criteria evaluation. In: Cova T.J., Miller H.J., Beard K., Frank A.U., Goodchild M.F., editors. *Geographic information science.* Berlin, Heidelberg: Springer; 2008. p. 217–33.
143. Bojórquez-Tapia LA, Sánchez-Colon S, Florez A. Building consensus in environmental impact assessment through multicriteria modeling and sensitivity analysis. *Environ Manage.* 2005;36(3):469–81.
144. Munda G. “Measuring sustainability”: A multi-criterion framework. *Environ Dev Sustain.* 2005;7(1):117–34.
145. Cherchye L, Ooghe E, Van Puyenbroeck T. Robust human development rankings. *J Econ Inequal.* 2008;6(4):287–321.
146. Permanyer I. Assessing the robustness of composite indices rankings. *Rev Income Wealth.* 2011;57(2):306–26.
147. Foster JE, McGillivray M, Seth S. Composite indices: Rank robustness, statistical association, and redundancy. *Econom Rev.* 2013;32(1):35–56.
148. Maricic M, Zornic N, Pilcevic I, Dacic-Pilcevic A. ARWU vs. Alternative ARWU ranking: What are the consequences for lower ranked universities? *Manag Sustain Bus Manag Solut Emerg Econ.* 2017;22(1):1–14.

149. Longden B. Ranking indicators and weights. In: Shin C, Toutkoushian R, Teichler U, editors. *University Rankings*. Dordrecht: Springer Netherlands; 2011. p. 73–104.
150. Hazelkorn E. *Rankings and the reshaping of higher education: The battle for world-class excellence*. Houndsmills, UK: Palgrave MacMillan; 2011.
151. Hazelkorn E. World-class universities or world class systems? Ranking and higher education policy choices. In: Hazelkorn E, Wells P, Marope M, editors. *Rankings and Accountability in Higher Education: Uses and Misuses*. Paris, France: UNESCO; 2013. p. 1–22.
152. Huang M-H. Opening the black box of QS World University Rankings. *Res Eval*. 2012;21(1):71–8.
153. Haq R, Zia U. Multidimensional wellbeing: An index of quality of life in a developing economy. *Soc Indic Res*. 2013;114(3):997–1012.
154. Mubareka S, Koomen E, Estreguil C, Lavalle C. Development of a composite index of urban compactness for land use modelling applications. *Landsc Urban Plan*. 2011;103(3–4):303–17.
155. Zhou P, Poh KL, Ang BW. A non-radial DEA approach to measuring environmental performance. *Eur J Oper Res*. 2007;178(1):1–9.
156. Ramón N, Ruiz JL, Sirvent I. Common sets of weights as summaries of DEA profiles of weights: With an application to the ranking of professional tennis players. *Expert Syst Appl*. 2012;39(5):4882–9.
157. do Carvalhal Monteiro RL, Pereira V, Costa HG. Analysis of the Better Life Index through a cluster algorithm. *Soc Indic Res*. 2018;(Online first):1–30.
158. Çilingirtürk AM, Koçak H. Human Development Index (HDI) rank-order variability. *Soc Indic Res*. 2018;137(2):481–504.
159. Rogge N. On aggregating Benefit of the Doubt composite indicators. *Eur J Oper Res*. 2018;264(1):364–9.
160. Marozzi M. A composite indicator dimension reduction procedure with application to university student satisfaction. *Stat Neerl*. 2009;63(3):258–68.
161. Marozzi M. Construction, dimension reduction and uncertainty analysis of an index of trust in public institutions. *Qual Quant*. 2014;48(2):939–53.
162. Hellwig Z. *On the problem of weighting in international comparisons*. Paris, France; 1969.

163. Yoon J, Klasen S. An application of partial least squares to the construction of the Social Institutions and Gender Index (SIGI) and the Corruption Perception Index (CPI). *Soc Indic Res.* 2018;138(1):61–88.
164. Decancq K, Schokkaert E. Beyond GDP: Using equivalent incomes to measure well-being in Europe. *Soc Indic Res.* 2016;126(1):21–55.
165. Porter ME, Stern S. National innovative capacity. In: *The global competitiveness report 2001– 2002.* New York: World Economic Forum; 2001.
166. Ciavolino E, Carpita M. The GME estimator for the regression model with a composite indicator as explanatory variable. *Qual Quant.* 2015;49(3):955–65.
167. Mihaly K, McCaffrey DF, Staiger DO, Lockwood JR. *A composite estimator of effective teaching.* Seattle, WA; 2013.
168. Bernardini Papalia R, Ciavolino E. Developing a composite index by using spatial latent modelling based on information theoretic estimation. *Qual Quant.* 2015;49(3):989–97.
169. Nenonen S, Storbacka K, Frethey-Bentham C. Is your industrial marketing work working? Developing a composite index of market change. *Ind Mark Manag.* 2018;(Online first):1–15.
170. Radojicic Z, Jeremic V. Quantity or quality: What matters more in ranking higher education institutions? *Curr Sci.* 2012;103(2):158–62.
171. Bollen KA, Stine R. Direct and indirect effects: Classical and bootstrap estimates of variability. *Sociol Methodol.* 1990;20:115–40.
172. Nevitt J, Hancock GR. Performance of bootstrapping approaches to model test statistics and parameter standard error estimation in Structural Equation Modeling. *Struct Equ Model A Multidiscip J.* 2001;8(3):353–77.
173. Pascual L, Romo J, Ruiz E. Effects of parameter estimation on prediction densities: a bootstrap approach. *Int J Forecast.* 2001;17(1):83–103.
174. Hall P, Wilson SR. Two guidelines for bootstrap hypothesis testing. *Biometrics.* 1991;47(2):757–62.
175. Fisher B. *The design of experiments.* Edingurgh: Oliver and Boyd; 1935.
176. Hafezi R, Shahrabi J, Hadavandi E. A bat-neural network multi-agent system (BNNMAS) for stock price prediction: Case study of DAX stock price. *Appl Soft Comput.* 2015;29:196–210.

177. Göçken M, Özçalıcı M, Boru A, Dosdoğru AT. Integrating metaheuristics and artificial neural networks for improved stock price prediction. *Expert Syst Appl.* 2016;44:320–31.
178. Verma B, Ghosh R. A novel evolutionary neural learning algorithm. In: *Proceedings of the 2002 Congress on Evolutionary Computation.* IEEE; 2002. p. 1884–9.
179. Crama Y, Schyns M. Simulated annealing for complex portfolio selection problems. *Eur J Oper Res.* 2003;150(3):546–71.
180. Anagnostopoulos KP, Mamanis G. The mean-variance cardinality constrained portfolio optimization problem: An experimental evaluation of five multiobjective evolutionary algorithms. *Expert Syst Appl.* 2011;38(11):14208–17.
181. Xia W, Wu Z. An effective hybrid optimization approach for multi-objective flexible job-shop scheduling problems. *Comput Ind Eng.* 2005;48(2):409–25.
182. Zitzler E, Thiele L. Multiobjective optimization using Evolutionary Algorithms - A comparative case study. In: *Proceedings of the International Conference on Parallel Problem Solving from Nature.* 1998. p. 292–304.
183. Bogosavljević S. *Apriorne metode klasifikacije ekonomskih pojava.* Univerzitet u Beogradu, Ekonomski fakultet; 1984.
184. Ivanovic B, Fanchette S. *Grouping and ranking of 30 countries of Sub-Saharan Africa, two distance-based methods compared.* Paris, France; 1973.
185. Đoković A. *Strukturna korelaciona analiza u interpretaciji vektorskih koeficijenata korelacije.* Fakultet organizacionih nauka, Univerzitet u Beogradu; 2013.
186. Bulajic M, Jeremic V, Knezevic S, Zarkic-Joksimovic N. A statistical approach to evaluating efficiency of banks. *Econ Res Istraživanja.* 2013;26(4):91–100.
187. Dobrota M, Jeremic V, Markovic A. A new perspective on the ICT Development Index. *Inf Dev.* 2012;28(4):271–80.
188. Jeremic V, Radojicic Z. A new approach in the evaluation of team chess championships rankings. *J Quant Anal Sport.* 2010;6(3).
189. Bulajic M, Kragulj D, Jednak S. *Macroeconomic flows in CEFTA countries.* In: *Computational Intelligence in Business and Economics.* Barcelona, Spain: World Scientific; 2010. p. 533–40.
190. Jednak S, Kragulj D, Bulajic M. A comparative analysis of development in Southeast European countries. *Technol Econ Dev Econ.* 2018;24(1):253–70.

191. Bowden R. Fantasy higher education: University and college league tables. *Qual High Educ.* 2000;6(1):41–60.
192. Jeremic V, Bulajic M, Martic M, Markovic A, Savic G, Jeremic D, et al. An evaluation of European countries' health systems through distance based analysis. *Hippokratia.* 2012;16(2):170–4.
193. Dobrota M, Jeremic V, Bulajic M, Radojicic Z. Uncertainty and sensitivity analyses of PISA efficiency: Distance based analysis approach. *Acta Polytech Hungarica.* 2015;12(03):41–58.
194. Maletic R, Maletic P, Kreca M, Popovic B. Comparative analysis of ranking municipalities in Vojvodina using DEA and I-distance methods. *Int J Agric Stat Sci.* 2013;9(2):471–80.
195. Jeremic V, Kostic-Stankovic M, Markovic A, Martic M. Towards a framework for evaluating scientific efficiency of world-class universities. *Int J Soc Manag Econ Bus Eng.* 2014;8(2):590–5.
196. Radojičić M. Model za ocenu efikasnosti zasnovan na integraciji Ivanovićevog odstojanja i analize obavijanja podataka. Fakultet organizacionih nauka, Univerzitet u Beogradu; 2018.
197. Vuković N, Bulajić M. Osnove statistike. Beograd: Fakultet organizacionih nauka; 2014. 270 p.
198. Mammen E. When does bootstrap work? Vol. 77. New York, NY: Springer New York; 1992.
199. Good P. Resampling methods. Birkhäuser Boston; 2006. 218 p.
200. Pitman EJG. Significance tests which may be applied to samples from any populations. *Suppl to J R Stat Soc.* 1937;4(1):119–30.
201. Refaelzadeh P, Tang L, Liu H. Cross validation. In: Liu L, Ozsü T, editors. *Encyclopedia of database systems.* 2009. p. 532–8.
202. Quenouille MH. Approximate tests of correlation in time-series. *J R Stat Soc Ser B.* 1949;11(1):68–84.
203. Tukey JW. Bias and confidence in not-quite large samples. *Ann Math Stat.* 1958;29(2):614.
204. Efron B, Gong G. A leisurely look at the bootstrap, the jackknife, and cross-validation. *Am Stat.* 1983;37(1):36–48.

205. Kline RB. Principles and practice of structural equation modeling. Principles and Practice of Structural Equation Modeling 2nd Ed. 2005. 366 p.
206. Efron B, Tibshirani R. An introduction to the bootstrap. Chapman & Hall/CRC; 1993.
207. Bickel PJ, Gotze F, van Zwet WR. Resampling fewer than n observations: gains, losses and remedies for losses. Stat Sin. 1997;7:1–31.
208. Politis DN, Romano JP, Wolf M. Subsampling. Springer New York; 1999. (Springer Series in Statistics).
209. Bretagnolle J. Lois limites du bootstrap de certaines fonctionnelles. Ann l'IHP Probab Stat. 1983;19(3):281–96.
210. Beran R, Ducharme G. Asymptotic theory for bootstrap methods in statistics. Centre de Recherches Mathematiques.; 1991. 81 p.
211. Thompson B. “Statistical,” “practical,” and “clinical”: How many kinds of significance do counselors need to consider? J Couns Dev. 2002;80:64–71.
212. Zientek LR, Thompson B. Applying the bootstrap to the multivariate case: bootstrap component/factor analysis. Behav Res Methods. 2007;39(2):318–25.
213. Marcoulides G, Schumacker R. Advanced structural equation modeling: Issues and techniques. New Jersey: Psychology Press; 1996.
214. Ichikawa M, Konishi S. Application of the bootstrap methods in factor analysis. Psychometrika. 1995;60(1):77–93.
215. Linden A, Adams JL, Roberts N. Evaluating disease management program effectiveness: An introduction to the bootstrap technique. Dis Manag Heal Outcomes. 2005;13(3):159–67.
216. Ferrier GD, Hirschberg JG. Can we bootstrap DEA scores? J Product Anal. 1999;11(1):81–92.
217. Shintani M, Guo Z-Y. Improving the finite sample performance of autoregression estimators in dynamic factor models: A bootstrap approach. Econom Rev. 2018;37(4):360–79.
218. Kim DY, Han SH, Kim H. Discriminant analysis for predicting ranges of cost variance in international construction projects. J Constr Eng Manag. 2008;134(6):398–410.
219. Nerbonne J, Kleiweg P, Heeringa W, Manni F. Projecting dialect distances to geography: Bootstrap clustering vs. noisy clustering. In: Preisach C, Burkhardt H,

- Schmidt-Thieme L, Decker R, editors. *Data analysis, machine learning and applications*. Berlin, Heidelberg: Springer; 2008. p. 647–54.
220. Konietschke F, Bathke AC, Harrar SW, Pauly M. Parametric and nonparametric bootstrap methods for general MANOVA. *J Multivar Anal.* 2015;140:291–301.
 221. Efron B. Nonparametric estimates of standard error: The jackknife, the bootstrap and other methods. *Biometrika.* 1981;68(3):589–99.
 222. Lee SMS. Optimal choice between parametric and non-parametric bootstrap estimates. *Math Proc Cambridge Philos Soc.* 1994;115(2):335.
 223. Reinelt G. *The traveling salesman: Computational solutions for TSP applications*. Springer New York; 1994.
 224. Glover F. Future paths for integer programming and links to artificial intelligence. *Comput Oper Res.* 1986;13(5):533–49.
 225. Glover F, Kochenberger GA. *Handbook of metaheuristics*. Kluwer Academic Publishers; 2003.
 226. Gendreau M, Potvin JY. *Handbook of metaheuristics*. Springer; 2010.
 227. Blum C, Roli A. Metaheuristics in combinatorial optimization: overview and conceptual comparison. *ACM Comput Surv.* 2003;35(3):189–213.
 228. Maričić M. Performance analysis, prediction, and weighting coefficients assignment: a literature review. In: *44th International Symposium on Operational Research SYM-OP-IS 2017*. Zlatibor, Serbia; 2017. p. 48–53.
 229. Beheshti Z, Shamsuddin S. A review of population based meta-heuristic algorithm. *Int J Adv Soft Comput Appl.* 2013;5(1):1–35.
 230. Glover F. Tabu Search—Part I. *ORSA J Comput.* 1989;1(3):190–206.
 231. Talbi EG. *Metaheuristics: From Design to Implementation*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Ltd; 2009.
 232. Yazdani M, Jolai F. Lion Optimization Algorithm (LOA): A nature-inspired metaheuristic algorithm. *J Comput Des Eng.* 2016;3(1):24–36.
 233. Hansen P, Mladenovic N. Variable Neighborhood Search: Principles and applications. *Eur J Oper Res.* 2001;130(3):449–67.
 234. Voudouris C, Tsang E. Guided local search and its application to the travelling salesman problem. *Eur J Oper Res.* 1999;113(2):469–99.
 235. Taillard ED, Gambardella LM, Gendreau M, Potvin JY. Adaptive memory programming: A unified view of metaheuristics. *Eur J Oper Res.* 2001;135(1):1–16.

236. Rodriguez-Fernandez M, Egea JA, Banga JR. Novel metaheuristic for parameter estimation in nonlinear dynamic biological systems. *BMC Bioinformatics*. 2006;7(1):483.
237. Gogna A, Tayal A. Metaheuristics: review and application. *J Exp Theor Artif Intell*. 2013;25(4):503–26.
238. Hansen P, Mladenović N. Variable Neighborhood Search. In: Glover F, Kochenberger G, editors. *Handbook of Metaheuristics*. Boston: Kluwer Academic Publishers; 2003. p. 145–84.
239. Glover F, Laguna M, Martí R. Fundamentals of scatter search and path relinking. *Control Cybern*. 2000;29(3):652–84.
240. Villaverde A, Egea JA, Banga JR. A cooperative strategy for parameter estimation in large scale systems biology models. *BMC Syst Biol*. 2012;6(1):75.
241. Penas DR, González P, Egea JA, Banga JR, Doallo R. Parallel metaheuristics in computational biology: An asynchronous Cooperative enhanced Scatter Search method. *Procedia Comput Sci*. 2015;51(1):630–9.
242. Egea JA, Henriques D, Villaverde A, Cokelaer T. MEIGOR: MEIGO - MEtaheuristics for bIoinformatics Global Optimization. 2012.
243. Laguna M, Martí R. Scatter Search: Methodology and implementations in *C. Operations Research/ Computer Science Interfaces Series*. 2003. 1-283 p.
244. Gen M, Cheng R. *Genetic algorithms and engineering optimization*. John Wiley & Sons, Ltd; 2000.
245. Remli MA, Deris S, Mohamad MS, Omatu S, Corchado JM. An enhanced Scatter Search with combined opposition-based learning for parameter estimation in large-scale kinetic models of biochemical systems. *Eng Appl Artif Intell*. 2017;62:164–80.
246. Beyer H-G, Schwefel H-P. Evolution strategies – A comprehensive introduction. *Nat Comput*. 2002;1(1):3–52.
247. Storn R, Price K. Differential evolution – A simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces. *J Glob Optim*. 1997;11(4):341–59.
248. Otero-Muras I, Banga JR. Multicriteria global optimization for biocircuit design. *BMC Syst Biol*. 2014;8(1):113.
249. Bickel PJ, Sakov A. On the choice of m in the m out of n bootstrap and its application to confidence bounds for extreme percentiles. *Stat Sin*. 2008;18:967–85.

250. Politis DN, Romano JP. Large sample confidence regions based on subsamples under minimal assumptions. *Ann Stat.* 1994;22(4):2031–50.
251. Austin PC, Small DS. The use of bootstrapping when using propensity-score matching without replacement: a simulation study. *Stat Med.* 2014;33(24):4306–19.
252. Kawaguchi S, Nishii R. Hyperspectral image classification by bootstrap AdaBoost with random decision stumps. *IEEE Trans Geosci Remote Sens.* 2007;45(11):3845–51.
253. Davison AC, Hinkley D V, Young GA. Recent developments in bootstrap methodology. *Stat Sci.* 2003;18(2):141–57.
254. Strobl C, A-I B, Zeileis A, Hothorn T. Bias in random forest variable importance measures: Illustrations, sources and a solution. *BMC Bioinformatics.* 2007;8(25).
255. Jiang W, Simon R. A comparison of bootstrap methods and an adjusted bootstrap approach for estimating the prediction error in microarray classification. *Stat Med.* 2007;26(29):5320–34.
256. De Bin R, Janitza S, Sauerbrei W, Boulesteix AL. Subsampling versus bootstrapping in resampling-based model selection for multivariable regression. *Biometrics.* 2016;72(1):272–80.
257. Hedges S. The number of replications needed for accurate estimation of the bootstrap P value in phylogenetic studies. *Mol Biol Evol.* 1992;9(2):366–9.
258. Pattengale ND, Alipour M, Bininda-Emonds ORP, Moret BME, Stamatakis A. How many bootstrap replicates are necessary? In: *Lecture notes in Computer Science (including subseries lecture notes in Artificial Intelligence and lecture notes in Bioinformatics)*. 2009. p. 184–200.
259. Soh K. Nominal versus attained weights in Universitas 21 Ranking. *Stud High Educ.* 2014;39(6):944–51.
260. Dialga I, Thi Hang Giang L. Highlighting methodological limitations in the steps of composite indicators construction. *Soc Indic Res.* 2017;131(2):441–65.
261. Cole TJ. Too many digits: the presentation of numerical data. *Arch Dis Child.* 2015;100(7):608–9.
262. Cole TJ. Setting number of decimal places for reporting risk ratios: rule of four. *BMJ.* 2015;350:1845–1845.
263. Singh RK, Murty HR, Gupta SK, Dikshit AK. Development of composite sustainability performance index for steel industry. *Ecol Indic.* 2007;7:565–88.

264. Malkina-Pykh IG, Pykh YA. Quality-of-life indicators at different scales: Theoretical background. *Ecol Indic.* 2008;8(6):854–62.
265. Costanza R, Fisher B, Ali S, Beer C, Bond L, Boumans R, et al. Quality of life: An approach integrating opportunities, human needs, and subjective well-being. *Ecol Econ.* 2007;61(2–3):267–76.
266. Eurostat. Quality of life Facts and views : 2015 edition. Publications Office of the European Union; 2015. 268 p.
267. Costanza R, Hart M, Posner S, Talberth J. Beyond GDP: The need for new measures of progress. 2009.
268. Kuznets S. National income 1929–1932. Washington, DC; 1934.
269. Kaklauskas A, Zavadskas EK, Radzeviciene A, Ubarte I, Podvieszko A, Podvezko V, et al. Quality of city life multiple criteria analysis. *Cities.* 2018;72(Part A):82–93.
270. Bird SM, Sir David C, Farewell VT, Harvey G, Tim H, Peter C. S. Performance indicators: good, bad, and ugly. *J R Stat Soc Ser A.* 2005;168(1):1–27.
271. Morris MD. Measuring the condition of the world's poor: The Physical Quality of Life Index. New York: Pergamon Press; 1979.
272. UNDP. Human Development Report 1990. New York; 1990.
273. Bérenger V, Verdier-Chouchane A. Multidimensional measures of well-being: Standard of living and quality of life across countries. *World Dev.* 2007;35(7):1259–76.
274. Fernandez-Crehuet JM, Gimenez-Nadal JI, Reyes Recio LE. The National Work–Life Balance Index: The European case. *Soc Indic Res.* 2016 Aug 10;128(1):341–59.
275. EUR-Lex. Communication from the Commission to the Council and the European Parliament - GDP and beyond: Measuring progress in a changing world. 2009. Доступно на: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=celex:52009DC0433>
276. Eurostat. Personal well-being indicators. 2013. Доступно на: http://ec.europa.eu/eurostat/cache/metadata/en/ilc_pwb_esms.htm#unit_measure1470211895948
277. Harvey AS. Quality of life and the use of time theory and measurement. *J Occup Sci.* 1993;1(2):27–30.
278. Ryff CD, Singer B. Psychological well-being: Meaning, measurement, and implications for psychotherapy research. *Psychother Psychosom.* 1996;65(1):14–23.

279. Keles R. The quality of life and the environment. *Procedia - Soc Behav Sci.* 2012;35:23–32.
280. Zamora-Kapoor A, Coller X. The effects of the crisis. *Am Behav Sci.* 2014;58(12):1511–6.
281. Zagorski K, Evans MDR, Kelley J, Piotrowska K. Does national income inequality affect individuals' quality of life in Europe? Inequality, happiness, finances, and health. *Soc Indic Res.* 2014;117(3):1089–110.
282. Manrai LA, Lascu D-N, Manrai AK. How the fall of the Iron Curtain has affected consumers' perceptions of urban and rural quality of life in Romania. *J East-West Bus.* 2000;5(1–2):145–72.
283. Maricic M. Assessing the quality of life in the European Union: The European Index of Life Satisfaction (EILS). *Stat J IAOS.* 2018;(Online first):1–7.
284. Wilson D, Piebalga A. Performance measures, ranking and parental choice: An analysis of the English school league tables. *Int Public Manag J.* 2008;11(3):344–66.
285. Fraser Institute. School performance elementary and secondary school rankings. 2019. Доступно на: <https://www.fraserinstitute.org/school-performance>
286. Mullan F, Chen C, Petterson S, Kolsky G, Spagnola M. The social mission of medical education: Ranking the schools. *Ann Intern Med.* 2010;152(12):804–11.
287. News US. U.S. News best high schools rankings. 2018. Доступно на: <https://www.usnews.com/education/best-high-schools/rankings-overview>
288. Maricic M, Zornic N, Jeremic V. Ranking European universities based on their level of collaboration with the industry: The University-Industry Research Connections Index. In: International conference on education and new learning technologies. 2016. p. 6095–105. Доступно на: <http://library.iated.org/view/MARICIC2016RAN>
289. Moed HF. A critical comparative analysis of five world university rankings. *Scientometrics.* 2017;110(2):967–90.
290. Hazelkorn E. How do rankings impact on higher education? *OECD Institutional Manag High Educ.* 2007;
291. ShanghaiRanking. Academic Ranking of World Universities 2018. 2018. Доступно на: <http://www.shanghairanking.com/ARWU2018.html>
292. ShanghaiRanking. Academic Ranking of World Universities 2018. 2018.
293. Dehon C, McCathie A, Verardi V. Uncovering excellence in academic rankings: a closer look at the Shanghai ranking. *Scientometrics.* 2010;83(2):515–24.

294. ShanghaiRanking. ARWU World University Rankings 2017 | Academic Ranking of World Universities 2017 | Top 500 universities | Shanghai Ranking - 2017. 2017. Доступно на: <http://www.shanghairanking.com/ARWU2017.html>
295. Billaut J-C, Bouyssou D, Vincke P. Should you believe in the Shanghai ranking? *Scientometrics*. 2010;84(1):237–63.
296. Docampo D, Cram L. On the effects of institutional size in university classifications: the case of the Shanghai ranking. *Scientometrics*. 2015;102(2):1325–46.
297. Zuur AF, Ieno EN, Elphick CS. A protocol for data exploration to avoid common statistical problems. *Methods Ecol Evol*. 2010;1(1):3–14.
298. Maricic M, Egea JA, Jeremic V. A hybrid enhanced Scatter Search—Composite I-Distance Indicator (eSS-CIDI) optimization approach for determining weights within composite indicators. *Soc Indic Res*. 2019;(Online first):1–41.
299. Shattock M. The ‘world class’ university and international ranking systems: what are the policy implications for governments and institutions? *Policy Rev High Educ*. 2017;1(1):4–21.
300. Bilbao-Osorio B, Dutta S, Lanvin B. The global information technology report 2014. Rewards and risks of Big Data. 2014.
301. Kirkman S, Osorio A, Sachs D. The Networked Readiness Index: Measuring the preparedness of nations for the networked world. In: Kirkman, editor. *The Global Information Technology Report 2001-2002 Readiness for the networked world*. New York, NY; 2002. p. 10–29.
302. World Economic Forum. Structure and Methodology. 2016. Доступно на: <http://reports.weforum.org/global-information-technology-report-2015/structure-and-methodology/>
303. Iščlamović S, Jeremic V, Petrovic N, Radojicic Z. Colouring the socio-economic development into green: I-distance framework for countries’ welfare evaluation. *Qual Quant*. 2015;49(2):617–29.
304. Kates RW, Clark WC, Corell R, Hall J. Environment and development: Sustainability science. *Science* (80). 2001;292(5517):641–2.
305. Maricic M, Jankovic M, Jeremic V. Towards a framework for evaluating Sustainable Society Index. *Rom Stat Rev*. 2014;62(3):49–62.
306. Sustainable Society Foundation. Sustainable Society Index. 2018. Доступно на: <http://www.ssfindex.com/>

307. Kaivo-oja J, Panula-Ontto J, Vehmas J, Luukkanen J. Relationships of the dimensions of sustainability as measured by the sustainable society index framework. *Int J Sustain Dev World Ecol.* 2014;21(1):39–45.
308. Kotzee I, Reyers B. Piloting a social-ecological index for measuring flood resilience: A composite index approach. *Ecol Indic.* 2016;60:45–53.
309. Van Der Maaten L, Postma E, Van den Herik J. Dimensionality reduction: a comparative. *J Mach Learn Res.* 2007;10(1):66–71.
310. Dočekalová MP, Kocmanová A. Composite indicator for measuring corporate sustainability. *Ecol Indic.* 2016;61:612–23.
311. Sevigny EL, Saisana M. Measuring interstate variations in the consequences of illegal drugs: A composite indicator approach. *Soc Indic Res.* 2016;128(2):501–29.

Прилози

Табела А.1 Вредности индикатора који чине ЕИАС, вредности ЕИАС индекса за земље чланице ЕУ и одговарајући рангови за 2013. годину

Земља чланица	И1	И2	И3	И4	И5	И6	И7	ЕИАС	Ранг
Данска	7.6	8.4	8.1	7.8	8.5	7.5	8.2	8.03	1
Финска	7.5	8.4	8.1	7.7	8.3	7.2	7.8	7.90	2
Аустрија	7.0	8.3	8.0	7.3	8.5	6.0	8.4	7.69	3
Шведска	7.6	8.2	7.7	7.3	8.3	6.7	7.7	7.67	4
Холандија	7.4	8.1	7.7	7.5	8.2	6.2	8.0	7.63	5
Луксембург	6.9	7.8	7.5	7.2	8.0	5.3	7.8	7.28	6
Белгија	6.9	7.8	7.5	7.1	7.7	5.0	7.6	7.17	7
Велика Британија	6.2	7.9	7.0	6.9	8.3	5.5	7.8	7.13	8
Ирска	5.5	8.0	7.2	6.9	8.6	5.1	8.0	7.10	9
Малта	6.0	7.9	7.5	6.6	8.4	4.9	7.1	7.01	10
Литванија	5.8	7.4	7.5	6.8	8.0	4.9	7.8	6.95	11
Француска	6.4	7.5	7.2	6.9	7.8	4.5	7.6	6.92	12
Румунија	6.2	7.4	7.0	6.8	7.6	5.8	7.4	6.92	13
Немачка	6.3	7.5	6.9	6.5	7.8	5.3	7.7	6.89	14
Чешка	6.0	7.7	7.4	6.7	8.1	3.8	7.5	6.86	15
Пољска	5.7	7.4	7.3	6.8	8.0	4.2	7.6	6.81	16
Словенија	5.6	7.6	7.3	6.8	8.3	2.7	7.7	6.72	17
Естонија	5.4	7.1	7.3	6.7	7.6	5.2	6.8	6.67	18
Словачка	5.5	7.6	7.2	6.9	7.9	3.6	6.9	6.66	19
Летонија	5.0	6.6	7.3	7.1	8.1	4.5	7.2	6.64	20
Кипар	5.2	7.7	7.2	6.7	8.0	3.6	6.0	6.52	21
Шпанија	5.8	7.3	6.9	6.6	7.8	3.1	7.2	6.51	22
Мађарска	5.2	6.8	7.1	6.3	7.6	5.1	6.5	6.44	23
Италија	5.7	7.2	7.0	6.4	7.3	3.6	6.0	6.32	24
Португал	4.5	7.3	7.0	6.5	7.9	2.9	6.3	6.23	25
Хрватска	4.6	6.9	7.0	6.6	7.3	3.3	6.3	6.16	26
Грчка	4.3	6.6	6.1	6.1	7.0	4.1	6.2	5.86	27
Бугарска	3.7	6.0	6.0	5.7	5.7	3.0	5.2	5.19	28

* И1- Задовољство финансијском ситуацијом, И2 - Задовољство стамбеним питањем, И3 - Задовољство послом, И4 - Задовољство коришћењем времена, И5 - Задовољство међуљудским односима, И6 - Поверење у правни систем, И7 - Задовољство животном средином

Табела А.2 АРВУ вредности и рангови, еСС-ЦИДИ вредности и рангови и разлика у рангу за одабране универзитете за 2017. годину

Универзитет	АРВУ вредност	АРВУ ранг	еСС-ЦИДИ вредност	еСС-ЦИДИ ранг	Разлика у рангу
Harvard University	97.95	1	95.98	1	0
Stanford University	74.91	2	70.36	2	0
Massachusetts Institute of Technology (MIT)	68.93	4	69.52	3	1
University of Cambridge	69.47	3	68.37	4	-1
University of California, Berkeley	67.67	5	66.41	5	0
California Institute of Technology	56.07	9	61.21	6	3
Princeton University	59.87	6	60.56	7	-1
University of Oxford	58.84	7	56.07	8	-1
Columbia University	57.55	8	54.70	9	-1
University of Chicago	52.77	10	51.43	10	0
Yale University	51.75	11	49.85	11	0
Cornell University	48.55	14	47.04	12	2
University of California, Los Angeles	51.44	12	46.75	13	-1
University of California, San Diego	48.53	15	45.26	14	1
University of Washington	49.28	13	44.76	15	-2
Swiss Federal Institute of Technology Zurich	43.2	19	42.83	16	3
University of Pennsylvania	45.1	17	42.50	17	0
University College London	46.13	16	42.19	18	-2
Johns Hopkins University	44.75	18	41.76	19	-1
Washington University in St. Louis	42.39	20	40.41	20	0
The University of Tokyo	40.66	23	38.93	21	2
Northwestern University	41.11	21	37.43	22	-1
University of Toronto	40.74	22	37.22	23	-1
Imperial College London	40.07	25	36.96	24	1
University of Copenhagen	37.74	28	36.54	25	3
Duke University	40.17	24	35.98	26	-2
University of Wisconsin - Madison	38.84	26	35.82	27	-1
Rockefeller University	35.85	34	35.64	28	6
New York University	37.78	27	34.87	29	-2
The University of Edinburgh	36.21	30	33.63	30	0
Kyoto University	35.95	33	33.46	31	2
University of Illinois at Urbana-Champaign	35.45	35	33.44	32	3
University of Minnesota, Twin Cities	36.07	32	33.35	33	-1
University of British Columbia	36.96	29	33.31	34	-5

Универзитет	АРВУ вредност	АРВУ ранг	еСС-ЦИДИ вредност	еСС-ЦИДИ ранг	Разлика у рангу
University of North Carolina at Chapel Hill	36.2	31	33.20	35	-4
Pierre and Marie Curie University - Paris 6	34.76	38	33.07	36	2
Karolinska Institute	32.66	42	32.73	37	5
Heidelberg University	34.1	40	32.69	38	2
University of Paris-Sud (Paris 11)	34.28	39	32.57	39	0
University of Colorado at Boulder	33.96	41	32.41	40	1
The University of Manchester	35.37	36	32.39	41	-5
The University of Melbourne	35.19	37	32.11	42	-5
Technical University Munich	32.05	47	31.70	43	4
University of California, Santa Barbara	32.5	43	31.28	44	-1
The University of Texas Southwestern Medical Center at Dallas	32.13	46	30.92	45	1
Utrecht University	32.36	45	30.77	46	-1
University of Munich	30.79	52	30.52	47	5
University of Geneva	30.39	55	30.08	48	7
King's College London	32.45	44	29.92	49	-5
The University of Texas at Austin	31.86	48	29.87	50	-2
University of Maryland, College Park	31.1	50	29.48	51	-1
University of Helsinki	30.88	51	29.42	52	-1
University of Groningen	30.52	54	28.64	53	1
University of Zurich	30.65	53	28.48	54	-1
University of Oslo	29.31	57	27.98	55	2
University of Bristol	29.47	56	27.93	56	0
Vanderbilt University	31.32	49	27.84	57	-8
Uppsala University	29.21	58	27.67	58	0
Rice University	27.58	63	27.42	59	4
Aarhus University	28.47	59	27.05	60	-1
Carnegie Mellon University	27.14	67	26.90	61	6
Stockholm University	27.58	62	26.69	62	0
McMaster University	28.43	60	26.51	63	-3
University of Basel	25.76	73	26.38	64	9
University of Goettingen	25.82	72	25.99	65	7
Ghent University	28.05	61	25.87	66	-5
Leiden University	26.5	69	25.73	67	2
Nagoya University	26.64	68	25.70	68	0
Technion-Israel Institute of Technology	26.05	71	25.57	69	2
Purdue University - West Lafayette	27.43	64	25.36	70	-6

Универзитет	АРВУ вредност	АРВУ ранг	еСС-ЦИДИ вредност	еСС-ЦИДИ ранг	Разлика у рангу
The University of Western Australia	26.27	70	24.96	71	-1
Boston University	27.17	66	24.94	72	-6
The Australian National University	25.61	74	24.83	73	1
Rutgers, The State University of New Jersey - New Brunswick	27.22	65	24.42	74	-9

Табела А.3 НРИ вредности и рангови, еСС-ЦИДИ вредности и рангови и разлика у ранговима за 2016. годину

Земља	НРИ вредност	НРИ ранг	еСС-ЦИДИ вредност	еСС-ЦИДИ ранг	Разлика у рангу
Сингапур	6.036	1	6.034	1	0
Финска	5.956	2	5.930	2	0
Шведска	5.849	3	5.836	3	0
Холандија	5.811	6	5.815	4	2
САД	5.824	5	5.807	5	0
Норвешка	5.825	4	5.803	6	-2
Швајцарска	5.752	7	5.735	7	0
Велика Британија	5.724	8	5.716	8	0
Луксембург	5.666	9	5.656	9	0
Јапан	5.649	10	5.634	10	0
Данска	5.604	11	5.583	11	0
Хонг Конг	5.588	12	5.559	12	0
Јужна Кореја	5.566	13	5.557	13	0
Канада	5.564	14	5.534	14	0
Немачка	5.554	15	5.533	15	0
Исланд	5.549	16	5.512	16	0
Нови Зеланд	5.504	17	5.482	17	0
Аустралија	5.492	18	5.462	18	0
Израел	5.438	21	5.445	19	2
Тајван	5.474	19	5.440	20	-1
Аустрија	5.447	20	5.412	21	-1
Естонија	5.406	22	5.385	22	0
Белгија	5.375	23	5.343	23	0
Француска	5.342	24	5.328	24	0
Ирска	5.339	25	5.316	25	0
УАЕ	5.270	26	5.283	26	0
Катар	5.185	27	5.186	27	0
Бахреин	5.070	28	5.042	28	0
Малезија	4.911	31	4.913	29	2
Литванија	4.917	29	4.898	30	-1
Португал	4.916	30	4.888	31	-1
Саудијска Арабија	4.813	33	4.803	32	1
Литванија	4.830	32	4.796	33	-1
Малта	4.798	34	4.768	34	0
Шпанија	4.770	35	4.740	35	0
Чешка	4.739	36	4.686	36	0
Словенија	4.733	37	4.685	37	0
Чиле	4.615	38	4.598	38	0
Казахстан	4.590	39	4.551	39	0

Земља	НРИ вредност	НРИ ранг	еСС-ЦИДИ вредност	еСС-ЦИДИ ранг	Разлика у рангу
Кипар	4.575	40	4.510	40	0
Руска Федерација	4.539	41	4.499	41	0
Уругвај	4.484	43	4.474	42	1
Пољска	4.499	42	4.439	43	-1
Костарика	4.478	44	4.437	44	0
Италија	4.425	45	4.385	45	0
Македонија	4.410	46	4.369	46	0
Словачка	4.388	47	4.364	47	0
Маурицијус	4.379	49	4.339	48	1
Турска	4.387	48	4.335	49	-1
Мађарска	4.359	50	4.327	50	0
Азербџдан	4.309	53	4.290	51	2
Оман	4.310	52	4.287	52	0
Црна Гора	4.322	51	4.277	53	-2
Панама	4.283	55	4.250	54	1
Хрватска	4.286	54	4.241	55	-1
Кина	4.242	59	4.226	56	3
Јерменија	4.274	56	4.226	57	-1
Монголија	4.265	57	4.215	58	-1
Јордан	4.224	60	4.210	59	1
Грузија	4.254	58	4.203	60	-2
Тајланд	4.201	62	4.164	61	1
Кувајт	4.206	61	4.160	62	-1
Шри Ланка	4.178	63	4.146	63	0
Јужна Африка	4.159	65	4.113	64	1
Колумбија	4.133	68	4.107	65	3
Румунија	4.147	66	4.100	66	0
Украјина	4.165	64	4.097	67	-3
Бугарска	4.112	69	4.080	68	1
Тринидад и Тобаго	4.136	67	4.074	69	-2
Грчка	4.066	70	4.039	70	0
Молдавија	4.027	71	3.982	71	0
Бразил	4.015	72	3.975	72	0
Индонезија	4.009	73	3.974	73	0
Сејшели	4.002	74	3.965	74	0
Мексико	3.994	76	3.964	75	1
Филипини	3.973	77	3.957	76	1
Србија	3.997	75	3.941	77	-2
Руанда	3.922	80	3.931	78	2
Мароко	3.946	78	3.926	79	-1
Вијетнам	3.927	79	3.892	80	-1

Земља	НРИ вредност	НРИ ранг	еСС-ЦИДИ вредност	еСС-ЦИДИ ранг	Разлика у рангу
Еквадор	3.915	82	3.876	81	1
Тунис	3.915	81	3.872	82	-1
Јамајка	3.882	83	3.848	83	0
Албанија	3.880	84	3.832	84	0
Кенија	3.826	86	3.823	85	1
Зеленортска острва	3.826	85	3.797	86	-1
Либан	3.802	88	3.768	87	1
Бутан	3.810	87	3.758	88	-1
Перу	3.763	89	3.732	89	0
Индија	3.752	90	3.717	90	0
Иран	3.741	91	3.692	91	0
Хондурас	3.709	93	3.690	92	1
Ел Салвадор	3.715	92	3.683	93	-1
Египат	3.661	95	3.637	94	1
Киргистан	3.685	94	3.632	95	-1
Доминиканска република	3.637	97	3.616	96	1
Намибија	3.597	98	3.582	97	1
Гвајана	3.596	99	3.567	98	1
Босна и Херцеговина	3.638	96	3.565	99	-3
Боцвана	3.532	100	3.518	100	0
Гана	3.507	101	3.496	101	0
Гватемала	3.453	102	3.437	102	0
Сенегал	3.380	106	3.408	103	3
Обала Слоноваче	3.386	105	3.399	104	1
Лаос	3.412	103	3.381	105	-2
Парагвај	3.401	104	3.347	106	-2
Венецуела	3.370	107	3.328	107	0
Пакистан	3.350	109	3.317	108	1
Камбоџа	3.352	108	3.314	109	-1
Гамбија	3.308	112	3.314	110	2
Боливија	3.338	110	3.307	111	-1
Бангладеш	3.333	111	3.298	112	-1
Тадикистан	3.278	113	3.275	113	0
Замбија	3.247	115	3.250	114	1
Лесото	3.276	114	3.237	115	-1
Алжир	3.206	116	3.151	116	0
Нигерија	3.151	118	3.146	117	1
Непал	3.181	117	3.138	118	-1
Етиопија	3.108	119	3.093	119	0
Уганда	3.089	120	3.082	120	0

Земља	НРИ вредност	НРИ ранг	еСС-ЦИДИ вредност	еСС-ЦИДИ ранг	Разлика у рангу
Зимбабве	3.035	121	3.013	121	0
Камерун	2.982	123	2.993	122	1
Мозамбик	2.997	122	2.992	123	-1
Мали	2.903	126	2.936	124	2
Габон	2.942	124	2.929	125	-1
Танзанија	2.909	125	2.911	126	-1
Бенин	2.886	127	2.889	127	0
Свазиленд	2.876	128	2.861	128	0
Либерија	2.809	129	2.818	129	0
Никарагва	2.808	130	2.792	130	0
Малави	2.729	131	2.728	131	0
Мадагаскар	2.636	134	2.655	132	2
Мјанмар	2.681	132	2.653	133	-1
Гвинеја	2.649	133	2.603	134	-1
Мауританија	2.501	135	2.513	135	0
Хаити	2.482	136	2.472	136	0
Бурунди	2.397	137	2.380	137	0
Чад	2.198	138	2.201	138	0

* САД – Сједињене Америчке Државе, УАЕ – Уједињени Арапски Емирати

Табела А.4 Вредности и рангови хипотетичког ССИ индекса, еСС-ЦИДИ вредности и рангови и разлика у ранговима за 2016. годину

Земља	Хипотетичка ССИ вредност	Хипотетички ССИ ранг	еСС-ЦИДИ вредност	еСС-ЦИДИ ранг	Разлика у рангу
Шведска	6.438	1	6.863	1	0
Финска	6.176	9	6.819	2	7
Норвешка	6.256	6	6.785	3	3
Данска	6.383	2	6.782	4	-2
Немачка	6.263	5	6.742	5	0
Белгија	6.275	4	6.733	6	-2
Аустрија	6.303	3	6.692	7	-4
Холандија	6.148	10	6.683	8	2
Швајцарска	6.188	8	6.647	9	-1
Словенија	6.223	7	6.591	10	-3
Аустралија	5.959	17	6.572	11	6
Естонија	6.076	13	6.567	12	1
Чешка	6.130	11	6.531	13	-2
Француска	6.104	12	6.531	14	-2
Велика Британија	5.889	18	6.512	15	3
Шпанија	5.985	15	6.502	16	-1
Италија	6.066	14	6.433	17	-3
Луксембург	5.962	16	6.392	18	-2
Ирска	5.572	25	6.384	19	6
Португал	5.520	27	6.375	20	7
Канада	5.526	26	6.332	21	5
Пољска	5.888	19	6.315	22	-3
Исланд	5.364	39	6.305	23	16
Словачка	5.815	21	6.279	24	-3
Јапан	5.498	29	6.265	25	4
Летонија	5.656	22	6.259	26	-4
Литванија	5.827	20	6.258	27	-7
Нови Зеланд	5.423	32	6.225	28	4
Грчка	5.367	38	6.195	29	9
САД	5.380	36	6.185	30	6
Тајван	5.501	28	6.180	31	-3
Хрватска	5.622	23	6.129	32	-9
Кипар	5.333	40	6.127	33	7
Мађарска	5.620	24	6.112	34	-10
Јужна Кореја	5.383	35	6.108	35	0
Сингапур	5.098	45	6.085	36	9
Малта	5.454	31	5.979	37	-6
Израел	5.411	33	5.967	38	-5

Земља	Хипотетичка ССИ вредност	Хипотетички ССИ ранг	еСС-ЦИДИ вредност	еСС-ЦИДИ ранг	Разлика у рангу
Уругвај	5.129	43	5.903	39	4
Црна Гора	5.478	30	5.807	40	-10
Бугарска	5.377	37	5.793	41	-4
Румунија	5.296	42	5.773	42	0
УАЕ	5.128	44	5.706	43	1
Чиле	4.703	59	5.655	44	15
Аргентина	4.953	48	5.636	45	3
Србија	4.946	49	5.626	46	3
Костарика	5.042	46	5.591	47	-1
Кувајт	5.312	41	5.586	48	-7
Белорусија	5.014	47	5.565	49	-2
Саудијска Арабија	4.830	54	5.501	50	4
Маурицијус	4.558	65	5.488	51	14
Украјина	4.526	70	5.445	52	18
Турска	4.623	63	5.421	53	10
Казахстан	4.619	64	5.420	54	10
Доминиканска република	5.404	34	5.420	55	-21
Куба	4.695	60	5.382	56	4
Македонија	4.809	55	5.371	57	-2
Тринидад и Тобаго	4.466	73	5.362	58	15
Малезија	4.882	50	5.343	59	-9
Мексико	4.831	53	5.327	60	-7
Русија	4.544	67	5.302	61	6
Албанија	4.266	83	5.281	62	21
Оман	4.028	96	5.254	63	33
Тајланд	4.711	57	5.221	64	-7
Либија	4.668	61	5.197	65	-4
Шри Ланка	4.868	51	5.187	66	-15
Катар	4.340	80	5.174	67	13
Тунис	4.258	85	5.172	68	17
Грузија	4.327	81	5.168	69	12
Египат	4.840	52	5.164	70	-18
Бразил	4.457	74	5.154	71	3
Венецуела	4.659	62	5.079	72	-10
Панама	4.540	68	5.077	73	-5
Азербејџан	4.762	56	5.059	74	-18
Јамајка	4.508	71	5.045	75	-4
Иран	4.410	75	5.026	76	-1
Молдавија	4.536	69	5.017	77	-8
Јерменија	4.261	84	4.999	78	6

Земља	Хипотетичка ССИ вредност	Хипотетички ССИ ранг	еСС-ЦИДИ вредност	еСС-ЦИДИ ранг	Разлика у рангу
Колумбија	4.243	86	4.970	79	7
Јордан	4.367	77	4.956	80	-3
Кина	4.550	66	4.924	81	-15
Перу	4.392	76	4.884	82	-6
Босна и Херцеговина	4.101	94	4.864	83	11
Бутан	4.706	58	4.857	84	-26
Еквадор	4.185	88	4.832	85	3
Ел Салвадор	3.931	100	4.820	86	14
Филипини	4.503	72	4.819	87	-15
Јужна Африка	4.174	89	4.803	88	1
Алжир	4.362	79	4.791	89	-10
Парагвај	4.167	90	4.761	90	0
Индонезија	4.227	87	4.718	91	-4
Мароко	4.364	78	4.712	92	-14
Узбекистан	4.111	93	4.669	93	0
Боцвана	4.166	91	4.647	94	-3
Либан	3.676	111	4.622	95	16
Вијетнам	4.165	92	4.615	96	-4
Монголија	4.301	82	4.572	97	-15
Габон	3.994	97	4.531	98	-1
Киргистан	3.608	114	4.490	99	15
Гвајана	3.331	129	4.469	100	29
Хондурас	3.887	103	4.464	101	2
Сирија	3.680	110	4.414	102	8
Туркменистан	3.985	98	4.395	103	-5
Северна Кореја	3.870	105	4.395	104	1
Никарагва	3.875	104	4.391	105	-1
Боливија	3.758	109	4.347	106	3
Индија	3.982	99	4.313	107	-8
Непал	4.075	95	4.268	108	-13
Гватемала	3.540	117	4.204	109	8
Намибија	3.903	102	4.168	110	-8
Ирак	3.476	123	4.160	111	12
Бангладеш	3.667	112	4.141	112	0
Таџикистан	3.909	101	4.125	113	-12
Лаос	3.641	113	4.125	114	-1
Мјанмар	3.416	125	3.996	115	10
Пакистан	3.823	106	3.987	116	-10
Гана	3.529	118	3.945	117	1
Руанда	3.436	124	3.914	118	6

Земља	Хипотетичка ССИ вредност	Хипотетички ССИ ранг	еСС-ЦИДИ вредност	еСС-ЦИДИ ранг	Разлика у рангу
Сенегал	3.775	107	3.896	119	-12
Лесото	3.760	108	3.885	120	-12
Камбоџа	3.508	119	3.872	121	-2
Гамбија	3.495	121	3.840	122	-1
Бурунди	3.140	137	3.716	123	14
Обала Слоноваче	3.488	122	3.705	124	-2
Малави	3.241	133	3.697	125	8
Уганда	3.566	115	3.654	126	-11
Бенин	3.347	128	3.639	127	1
Камерун	2.986	142	3.608	128	14
Замбија	3.303	130	3.581	129	1
Кенија	3.350	127	3.563	130	-3
Мауританија	2.733	150	3.501	131	19
Мали	3.250	132	3.479	132	0
Буркина Фасо	3.374	126	3.437	133	-7
Нигерија	3.178	135	3.435	134	1
Конго	2.893	145	3.428	135	10
Етиопија	3.545	116	3.403	136	-20
Ангола	2.857	147	3.397	137	10
Того	2.857	146	3.386	138	8
Зимбабве	3.254	131	3.384	139	-8
Јемен	2.745	149	3.374	140	9
Папуа Нова Гвинеја	3.080	139	3.346	141	-2
Судан	3.124	138	3.344	142	-4
Танзанија	3.495	120	3.336	143	-23
Гвинеја	2.817	148	3.296	144	4
Мозамбик	3.141	136	3.230	145	-9
Либерија	2.478	153	3.225	146	7
Гвинеја Бисау	2.546	152	3.213	147	5
Мадагаскар	2.719	151	3.177	148	3
Хаити	2.913	144	3.174	149	-5
Сијера Леоне	3.042	140	3.129	150	-10
Нигер	3.226	134	3.122	151	-17
ДР Конго	2.402	154	3.018	152	2
Централна Афричка Република	3.036	141	2.879	153	-12
Чад	2.943	143	2.777	154	-11

* ДР Конго – Демократска Република Конго, САД – Сједињене Америчке Државе, УАЕ – Уједињени Арапски Емирати

Биографија

Милица Маричић је рођена 21.08.1991. године у Београду, Република Србија. Основну школу и гимназију је завршила у Београду, као носилац Вукове дипломе.

Школске 2010/11 године уписала је основне академске студије на Факултету организационих наука, студијски програм Менаџмент и организација, студијска група Менаџмент. Дипломирала је 2014. године на Катедри за операциона истраживања и статистику. У октобру 2015. године је одбранила завршни рад на мастер академским студијама на Факултету организационих наука, студијском програму Пословна аналитика, модул Пословна статистика. У новембру 2016. године је одбранила завршни рад на мастер академским студијама на Универзитету у Београду, студијском програму Рачунарство у друштвеним наукама. У октобру 2017. године је одбранила завршни рад на мастер академским студијама на Факултету организационих наука, студијском програму Менаџмент и организација, модул Маркетинг инжењеринг и комуникације.

Школске 2015/16 године је уписала докторске академске студије на Факултету организационих наука, на студијском програму Информациони системи и квантитативни менаџмент, изборно подручје – Квантитативни менаџмент. Положила је све испите предвиђене планом и програмом. У марту 2018. године је одбранила приступни рад за израду докторске дисертације под називом „Прилог развоју методолошког оквира за формирање и евалуацију композитних индикатора“.

Од јануара 2015. године ради на Факултету организационих наука. Тренутно је у звању асистента за ужу научну област Рачунарска статистика.

Учествује на научно-истраживачком пројекту Министарства науке, просвете и технолошког развоја „Инфраструктура за електронски подржано учење у Србији“ (број пројекта: 47003). Стручно се усавршавала 2017. године на летњој школи Radboud Универзитета, у Холандији, где је похађала курс “How to become an excellent lecturer?”.

Објавила је више научних и стручних радова од којих се истичу следећи:

- **Maricic, M.**, Egea, J.A., & Jeremic, V. (2019). A hybrid enhanced Scatter Search – Composite I-distance Indicator (eSS-CIDI) optimization approach for determining weights within composite indicators. *Social Indicators Research*, (Online first), 1-41. doi: 10.1007/s11205-018-02056-x. ISSN (Print): 0303-8300, ISSN (Online): 1573-0921.
- **Maricic, M.** (2018). Assessing the quality of life in the European Union: The European Index of Life Satisfaction (EILS). *Statistical Journal of the LAOS*, (Online first) 1-7. doi: 10.3233/SJI-180481. ISSN(Print): 1874-7655, ISSN (Online): 1875-9254.
- **Maricic, M.**, & Kostic-Stankovic, M. (2016). Towards an impartial Responsible Competitiveness Index: a twofold multivariate I-distance approach. *Quality & Quantity*, 50(1), 103-120. doi: 10.1007/s11135-014-0139-z. ISSN (Print): 0033-5177, ISSN (Online): 1573-7845.
- Zornic, N., Bornmann, L., **Maricic, M.**, Markovic, A., Martic, M., & Jeremic, V. (2015). Ranking institutions within a university based on their scientific performance: A percentile-based approach. *El Profesional de la informacion*, 24(5), 551-566. doi: 10.3145/epi.2015.sep.05. ISSN: 1386-3710.

Изјава о ауторству

Име и презиме аутора Милица Маричић

Број индекса 5003/2015

Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом

Развој методологије за формирање и евалуацију композитних индикатора

- резултат сопственог истраживачког рада;
- да дисертација у целини ни у деловима није била предложена за стицање друге дипломе према студијским програмима других високошколских установа;
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио/ла ауторска права и користио/ла интелектуалну својину других лица.

Потпис аутора

У Београду, _____

**Изјава о истоветности штампане и електронске верзије
докторског рада**

Име и презиме аутора Милица Маричић

Број индекса 5003/2015

Студијски програм Информациони системи и квантитативни менаџмент

Наслов рада Развој методологије за формирање и евалуацију композитних индикатора

Ментор др Милица Булајић

Коментор др Вељко Јеремић

Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао/ла ради похрањена у **Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду**.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског назива доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада.

Ови лични подаци могу се објавити на мрежним страницама дигиталне библиотеке, у електронском каталогу и у публикацијама Универзитета у Београду.

Потпис аутора

У Београду, _____

Изјава о коришћењу

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Светозар Марковић“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду унесе моју докторску дисертацију под насловом:

Развој методологије за формирање и евалуацију композитних индикатора

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предао/ла сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду и доступну у отвореном приступу могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучио/ла.

1. Ауторство (CC BY)
2. Ауторство – некомерцијално (CC BY-NC)
3. Ауторство – некомерцијално – без прерада (CC BY-NC-ND)
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима (CC BY-NC-SA)
5. Ауторство – без прерада (CC BY-ND)
6. Ауторство – делити под истим условима (CC BY-SA)

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци.

Кратак опис лиценци је саставни део ове изјаве).

Потпис аутора

У Београду, _____

1. **Ауторство.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце, чак и у комерцијалне сврхе. Ово је најслободнија од свих лиценци.

2. **Ауторство – некомерцијално.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела.

3. **Ауторство – некомерцијално – без прерада.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела. У односу на све остале лиценце, овом лиценцом се ограничава највећи обим права коришћења дела.

4. **Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада.

5. **Ауторство – без прерада.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела.

6. **Ауторство – делити под истим условима.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада. Слична је софтверским лиценцама, односно лиценцама отвореног кода.