

Mayıs GÜLALIYEV
İqtisad elmləri doktoru,
Gəncə Dövlət Universiteti

Rəsul Yusif oğlu YUSİBOV
Gəncə dövlət Universitetinin doktorantı

SİSTEM DİNAMİKASI MODELLEŞMƏSİNİN YAŞIL İQTİSADİYYAT MODELİNDƏ TƏTBİQİ

Xülasə

Məqalədə yaşıl iqtisadiyyat modelinin və onun komponentlərinin ölçülməsi üçün istifadə oluna bilən yanaşmalar içində Sistem Dinamikası (SD) modelləşməsinin rolu əsaslandırılır və bu metodun yaşıl iqtisadiyyatın xüsusən “Ətraf mühitin mühafizəsi” komponentinin qiymətləndirilməsində tətbiq mexanizmi izah edilir. SD yanaşmasının “yığım” (stocks), “axın” (flows), “yardımçı dəyişənlər”, gecikmələr və əks-əlaqə döngələri vasitəsilə kompleks sistemlərin zaman üzrə davranışını simulyasiya etməsi göstərilir və modelləşdirmənin mərhələli alqoritmi təqdim olunur. Məqalədə “ətraf mühitin mühafizəsi” komponenti üzrə əsas yığımlar kimi emissiyaların miqdarı, meşə ərazisi, təbii su ehtiyatları və torpaq keyfiyyəti seçilir; hər bir yığım üçün onu artıran “daxil olan” və azaldan “xaric olan” axınlar (məsələn, sənaye/enerji/nəqliyyat emissiyaları, karbon tutma tədbirləri, bərpa olunan enerji ilə əvəzlənmə, meşələşmə–deforestasiya, su təminatı–istehlakı və s.) konseptual şəkildə qurulur. Eyni zamanda, bu yığım və axınlara təsir edən çoxsaylı yardımçı amillərin ölkə və regionlara görə fərqləndiyi vurğulanır və modelin etibarlılığı üçün göstərici məlumatlarının əlçatanlığının həlledici olduğu nəticəsinə gəlinir.

Açar sözlər: Yaşıl iqtisadiyyat; Sistem Dinamikası (SD); yığım–axın modeli; əks-əlaqə döngələri; Causal Loop Diagram (CLD); Stock-Flow Diagram (SFD); ətraf mühitin mühafizəsi; emissiyalar; karbon tutma (CCS)

UOT: 338

JEL: F-52

DOI: <https://doi.org/10.54414/IPOT3658>

Giriş

Yaşıl iqtisadiyyat modelinin və onun komponentlərinin ölçülməsi üçün müxtəlif metodlardan, o cümlədən Sistem Dinamikası (SD), Sistemlərin Sistemi (SoS), MCDM, DEA və SBM metodlarından, həmçinin ekonometrik yanaşmadan istifadə mümkündür. System Dynamics (SD) modelləşməsi zamanla dəyişən kompleks sistemlərin davranışını anlamaq və simulyasiya etmək üçün istifadə olunan dinamik modelləşdirmə metodudur. Bu yanaşma ilk dəfə Jay W. Forrester tərəfindən 1950-ci illərdə MIT-də hazırlanıb və əsasən iqtisadiyyat, ekoloji sistemlər, enerji siyasəti, səhiyyə, təhsil və urbanistika sahələrində geniş tətbiq olunur.

System Dynamics modelləri sistemlərdəki əks əlaqələri (feedback loops), gecikmələri (delays), “yığım” (stocks) və axınları (flows), həmçinin sistem dəyişənləri arasındakı funksional və səbəb–nəticə əlaqələrini modelləşdirir. SD modelləşməsi zamanı istifadə edilən “Yığım” anlayışı sistemdə yığılan və zamanla artan və ya azalan dəyişənlərdir. Məsələn, əhali, kapital, su ehtiyatı və sair SD-da “yığım” ola bilər. “Axın” anlayışı “yığım”lara daxil olan və ya onlardan çıxan dəyişənlərdir. Məsələn, doğum və ya ölüm axını, investisiya axını və amortizasiya və sair “axın” ola bilər. “Yığımı” artıran “Axın” “daxil olan axın”

(inflow), “Yığılımı” azaldan axın isə “xaric olan axın” (outflow) kimi ifadə olunur.

SD simulyasiya metodu yaşıl iqtisadiyyat və onun komponentlərinin modelləşməsində geniş tətbiq edilir. “Yaşıl iqtisadiyyat” modelinin “Ətraf mühitin mühafizəsi” komponentinin ölçülməsi üçün System Dynamics (SD) modelləşməsi çox uyğun və effektiv bir yanaşmadır. SD modeli bu komponentin kompleks səbəb-nəticə əlaqələrini, əks-əlaqə döngələrini və zamanla dəyişməsini vizual və analitik şəkildə təhlil etməyə imkan verir. Bu komponentin ölçülməsində SD modelləşməsindən istifadənin əsas məqsədi “Ətraf mühitin mühafizəsi” üzrə siyasətlərin, investisiyaların və texnoloji dəyişikliklərin, ətraf mühitin keyfiyyəti, tullantı səviyyələri, təbiətə təsir kimi dəyişənlərə uzunmüddətli təsirini qiymətləndirməkdir. Bu zaman əsas “Yığılım”lar olaraq, a) Emissiyaların miqdarı (CO_2 , NO_x və s.), yəni ətraf mühitə buraxılan çirkləndirici maddələrin miqdarı; b) Meşə ərazisi (ha), yəni Meşə örtüyü sahəsinin zamanla dəyişməsi; c) Təbii su ehtiyatları (m^3), yəni su resurslarının mövcud miqdarı; d) Torpaq keyfiyyəti indeksləri, yəni torpağın münbitliyinin və çirklənməsinin səviyyəsi götürülə bilər. Bu “yığılım”lara daxil olaraq, onu artıran və “yığılım”lardan çıxaraq, onu azaldan “axınlar” SD modelinə daxil ediləcək.

Ədəbiyyata baxış. System Dynamics (SD) metodundan istifadə edərək emissiyaların miqdarının ölçülməsi və strategiyaların qiymətləndirilməsi məqsədilə hazırlanmış bəzi tədqiqatlara nəzər yetirək. Anand və digərləri (2006)[1] SD modelini sement sənayesində CO_2 emissiyalarını qiymətləndirmək üçün tətbiq ediblər. Xiaorong Sun və digərləri (2023) [2] sistem dinamikasını dörd mərhələdə integrasiya olunmuş enerji stansiyaları üçün tətbiq ediblər. Tədqiqatda külək enerjisi ilə integrasiya olunmuş enerji stansiyaları nümunə kimi götürür, integrasiya olunmuş enerji stansiyalarının həyat dövrü karbon emissiyalarının xüsusiyyətlərini simulyasiya edir və karbon emissiyalarına təsir edən əsas amilləri müəyyən edilir. Simulyasiyanın nəticələri göstərir ki, integrasiya olunmuş enerji stansiyasının karbon emissiyaları əsasən enerji stansiyasının istehsalında və istismarında

cəmləşir və enerji stansiyasının istismar müddətinin artması ümumi karbon emissiyalarına ciddi təsir göstərməyəcəkdir.

“Ətraf mühitin mühafizəsi” komponentinin “Meşə ərazisi” aspekti ilə bağlı ölçmələr zamanı SD modelləşməsi müxtəlif akademik tədqiqatlarda tətbiq olunub. Məsələn, Olabisi (2010) [3] tərəfindən aparılan tədqiqatda SD yanaşması ilə Filippində meşə örtüyünün azalması və bərpaı ölçülüb. Tədqiqatçılar və yerli icma nümayəndələri tərəfindən yaradılmış əks-əlaqə dövrlərini müqayisə edərək modelin gücləndirici və balanslaşdırıcı əks-əlaqə mexanizmi qiymətləndirilib.

Purnomo və Mendoza (2011) [4] tərəfindən aparılan tədqiqatda İndoneziya kontekstində, sənaye, icma və biotik amillər əsasında meşə itkisi və bərpaı prosesləri SD modelləşməsi ilə qiymətləndirilir. SD modelində meşə örtüyünə təsir edən sosial və ekoloji faktorlar analiz edilir.

Yaşıl iqtisadiyyat modelinin “ətraf mühitin mühafizəsi” komponentinin “su ehtiyatları” yığılımı üçün “daxil olan axınlar” a) atmosfer yağıntıları (m^3/il), yağış və qar sularının yeraltı və yerüstü su mənbələrinə daxil olması; b) çay axınları və transsərhəd sular, yəni yuxarı hövzələrdən gələn çay suları və qonşu ölkələrdən daxil olan su axınları; c) buzlaqların əriməsi, yəni dağlardakı qar və buzlaqların əriməsi nəticəsində yaranan su; d) tullantı sularının təmizlənərək geri dövr edilməsi, yəni təmizlənmiş suyun təkrar istifadəsi və su mənbələrinə qaytarılması (tullantı sularının təmizlənməsi); e) yeraltı su ehtiyatlarının bərpaı (recharge), yəni süzülmə yolu ilə yeraltı suların artması (yeraltı su ehtiyatları).

“Ətraf mühitin mühafizəsi” komponentinin “Su ehtiyatları” aspektinin ölçülməsi zamanı SD modelləşməsi akademik tədqiqatlarda geniş tətbiq olunur. Məsələn, Guemouria və digərləri (2023) [5] tərəfindən yerinə yetirilən tədqiqatda Souss-Massa hövzəsində SD modeli əsasında su təchizatı və tələb balansı 2007–2020-ci illər üçün simulyasiya olunur, su böhranı və davamlılıq indeksləri analiz edilir. Empirik modelləşmə və ssenarilərin istifadə olunması ilə balans bərpa olunmasına diqqət yetirilir. Winz və digərləri (2008) [6] tərəfindən yerinə yetirilən tədqiqatda qlobal su resurslarının idarə edilməsi problemlərinə fokuslanan araşdırma, SD



metodologiyasının su təminatı, kənd təsərrüfatı suvarması və hidroloji proseslərlə bağlı ssenarilərdə tətbiqinə yer verilir. Dai və digərləri (2013) [7] tərəfindən aparılan tədqiqatda Manas çay hövzəsində, sərt iqlim şəraitində su siyasətlərinin dinamik təsiri SD modeli vasitəsilə analiz edilir, su təchizatı və tələb balansının balanslaşdırıcı strategiyaları təqdim edilir. Naderi və digərləri (2021) [8] tərəfindən yerinə yetirilən tədqiqatda İranın Qazvin bölgəsində, su-qida-enerji əlaqələrini nəzərə alan SD modeli ilə su ehtiyatlarının dövrüyyəsi və sosial-iqtisadi təsirlər araşdırılıb.

“Ətraf mühitin mühafizəsi” komponentinin “Torpağın keyfiyyət indeksi” aspektinin ölçülməsi zamanı SD modelləşməsi akademik tədqiqatlarda geniş tətbiq olunur. Məsələn, Turner və Kodali, (2020) [9] tərəfindən aparılan tədqiqatda ümumi suvarma (məsələn, tezlik və tətbiq dərəcələri) və məhsulun idarə edilməsi mülahizələri (məsələn, əkinçilik, gübrələmə, əkmə və əkmə yolu ilə) nəzərə alınmaqla, bir sıra unikal torpaqlar və iqlimlər üçün torpaq rütubətinin təkamülünü təkrarlamaq məqsədi ilə (sistem dinamikası çərçivəsində qurulmuş) integrasiya olunmuş torpaq-su-qida elementi-bitki qarşılıqlı modeli təqdim olunur. Modeldə dörd əsas vəziyyət dəyişəni var (torpağın rütubəti, torpaq azotu, torpaq natriumu və bitki örtüyü) onlar arasında əks əlaqə prosesləri (birləşdirilmiş qismən diferensial tənliklər kimi formaləşdirilmiş) vasitəsilə dinamik şəkildə qarşılıqlı təsir göstərir. Wang və digərləri (2020) [10] SD metodu ilə torpaq, bitki və iqlim arasındakı qarşılıqlı təsirləri modelləşdiriblər. Torpaq keyfiyyəti göstəriciləri (toxum miqdarı, su tutumu, mikrobioloji aktivlik) simulyasiya çərçivəsinə daxil edilir. Saysel və digərləri (2002) [11] tərəfindən aparılan tədqiqatda SD modelindən istifadə edərək torpaq keyfiyyəti, su resursları və ətraf mühit göstəriciləri üçün dayanıqlı kənd təsərrüfatı siyasətləri təhlil edilir. Modeldə torpaq eroziyası, konservasiya və istehsal əlaqələri vizuallaşdırılır.

Metodologiya

“Emissiyaların miqdarı” “yığım”ı üçün “daxil olan axınlar” kimi a)karbohidrogen yanacaq istehlakı nəticəsində yaranan (karbohidrogen emissiyaları), məsələn sənaye

sektorunda kömür, neft, qaz istifadəsi (sənaye Emissiyası), elektrik istehsalı üçün karbohidrogen yanacaq yandırılması (enerji Emissiyası), nəqliyyat sektorunda yaranan emissiyalar (Nəqliyyat Emissiyası); b)Kənd təsərrüfatından yaranan qazlar, o cümlədən metan (CH_4), azot oksidləri (NO_x) (Kənd təsərrüfatı Emissiyası); c)Meşələrin qırılması (deforestasiya), o cümlədən biokütlənin yanması və karbon udma qabiliyyətinin azalması (Meşə itkisi ilə bağlı emissiyalar); d)Tikinti və şəhərsalma fəaliyyəti, o cümlədən tikinti materiallarının istehsalı və istifadəsi (Tikinti Emissiyası) götürülə bilər. “Emissiyaların miqdarı” “yığım”ı üçün “xaric olan axınlar” kimi, yəni emissiyaları azaldan axınlar olaraq, a)yaşıl texnologiyalar və karbon tutma tədbirləri, yəni CO_2 -ni atmosferdən çıxaran texnologiyalar (CCS-carbon capture and storage) (karbon tutma); b)bərpa olunan enerji mənbələrinin tətbiqi, yəni günəş, külək, hidro və geotermal enerji (bərpa olunan enerji ilə əvəzlənmə); c) meşələrin bərpası və karbon udulması, yəni reafforestasiya və afforestasiya (karbon udan biomassa artımı); d)ətraf mühitə nəzarət texnologiyaları, yəni sənaye filtrləri, emissiya normativlərinin tətbiqi (emissiyaların texniki azaldılması); e)enerji səmərəliliyi tədbirləri, yəni daha az enerji ilə eyni məhsuldarlıq (enerji istifadəsinin azaldılması) qəbul edilə bilər. “Emissiyaların miqdarı” “yığım”ına müsbət və ya mənfi istiqamətdə təsir göstərən axınları nəzərə alaraq SD modelinin uyğun fraqmentini 1-ci sxemdə olduğu kimi vizual təsvir edə bilərik.

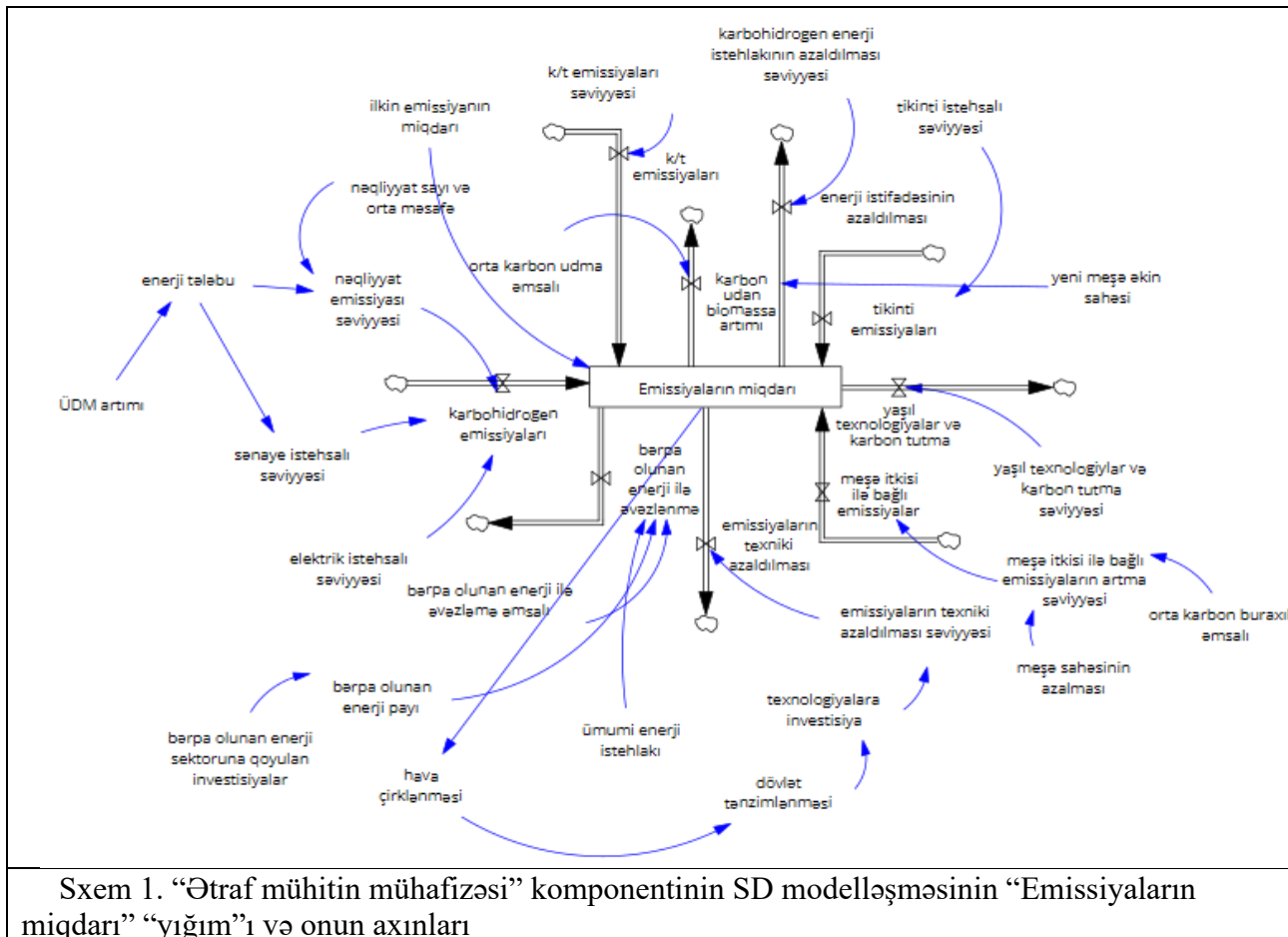
1-ci sxemə əsasən

Emissiyaların miqdarı

- = + kənd təsərrüfatı emissiyaları
- + karbohidrogen emissiyaları
- + meşə itkisi ilə bağlı emissiyalar
- + tikinti emissiyaları
- bərpa olunan enerji ilə əvəzlənmə
- emissiyaların texniki azaldılması
- enerji istifadəsinin azaldılması
- karbon udan biomassa artımı
- yaşıl texnologiyalar və karbon tutma

Bu “Yığım”, “Axın”lar və “Yardımcı göstəricilər” arasındakı funksional asılılıq müxtəlif ölkələrdə və regionlarda müxtəlifdir. Ona görə də hər bir ölkə və ya region üçün onun, mümkün olduğu qədər, real hesablanması SD

modelinin etibarlılığını artırır. 1-ci sxemdəki “yardımcı göstəricilər, onların “Yığım” və “Ayrılmalar”la funksional asılılığı SD modelində yer alıb.



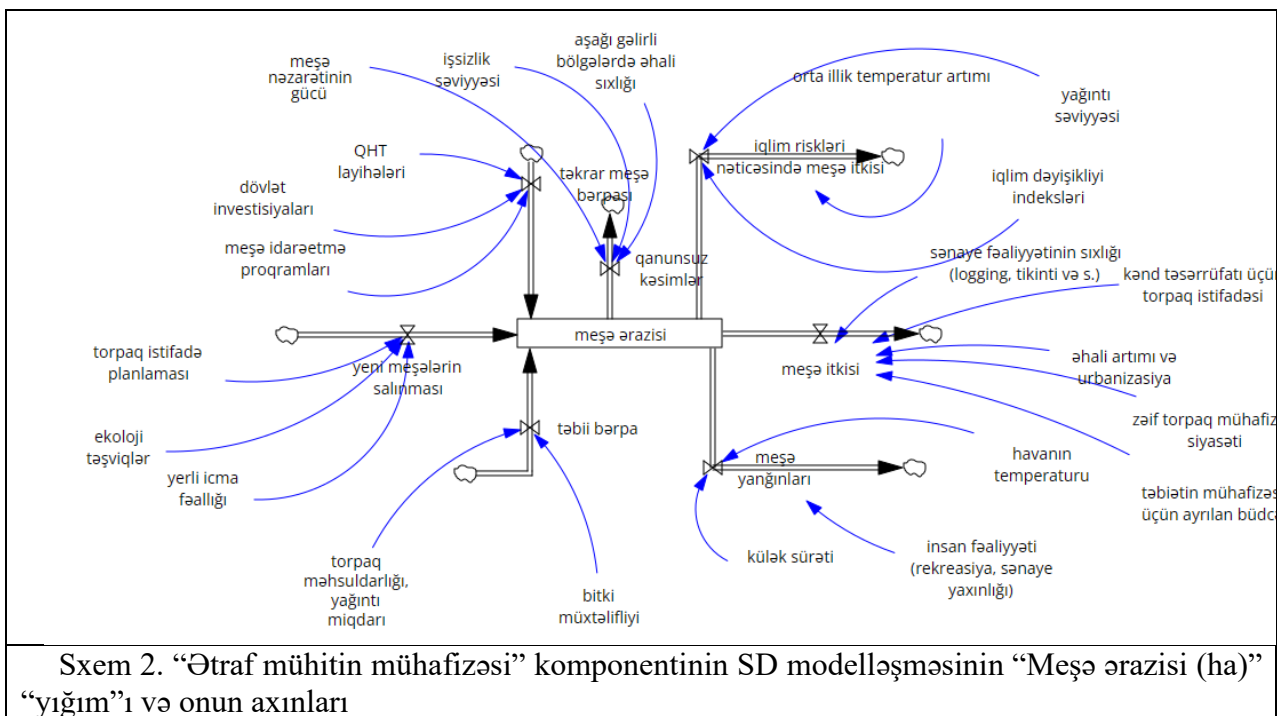
“Ətraf mühitin mühafizəsi” komponentinin SD modelləşməsində “meşə ərazisi (ha)” “yığımı” üçün mümkün “daxil olan axınlar” kimi a) meşə salınması (afforestasiya), yəni yeni meşələrin salınması məqsədilə əvvəllər meşə olmayan ərazilərdə ağacların əkilməsi (yeni meşələrin salınması); b) təkrar meşələşmə (reafforestasiya), yəni əvvəllər meşə olan, lakin qırılmış ərazilərdə yenidən meşə örtüyünün bərpası (təkrar meşə bərpası); c) təbii regenerasiya, yəni torpağın öz-özünə meşə örtüyü ilə bərpası (təbii bərpa) göstəricilərindən istifadə etmək olar. “Yığım”dan “xaric olan axın” kimi isə a) deforestasiya, yəni meşə sahələrinin kənd təsərrüfatı, infrastruktur və ya sənaye məqsədilə qırılması (meşə itkisi); b) yanğınlar, yəni meşə yanğınları nəticəsində

itirilən sahələr (meşə yağınları); c) qanunsuz ağac qırılması, yəni nəzarətsiz və qeyri-qanuni şəkildə ağacların kəsilməsi (qanunsuz kəsilmələr); d) iqlim dəyişikliyi ilə bağlı ziyanlar, yəni quraqlıq, zərərvericilər və ekstremal hava hadisələri nəticəsində meşələrin məhv olması (iqlim riskləri nəticəsində meşə itkisi) göstəriciləri istifadə edilə bilər.

“Meşə ərazisi” “yığım”ına müsbət və ya mənfi istiqamətdə təsir göstərən axınları nəzərə alaraq, SD modelinin uyğun fraqmentini 2-ci sxemdə olduğu kimi vizual təsvir edə bilərik. “Meşə ərazisi” “yığımı” və “axınlar”ı üçün müxtəlif “yardımçı dəyişənlər” qəbul edə bilərik. Məsələn, olaraq, a) iqlim riskləri nəticəsində meşə itkisi axını üçün “orta illik temperatur artımı” (gücləndirici), “yağıntı

səviyyəsi” (gücləndirici), “iqlim dəyişikliyi indeksləri” (gücləndirici); b) meşə yangınları axını üçün “havanın temperaturu” (gücləndirici), “külək sürəti” (gücləndirici), “insan fəaliyyəti (rekreasiya, sənaye yaxınlığı)” (gücləndirici), c) qanunsuz kəsilmələr axını üçün “meşə nəzarətinin gücü” (gücləndirici), “işsizlik səviyyəsi” (gücləndirici), “aşağı gəlirli bölgələrdə əhali sıxlığı” (gücləndirici); d) təbii bərpa axını üçün torpaq məhsuldarlığı (balanslaşdırıcı), yağıntı miqdarı (balanslaşdırıcı), bitki müxtəlifliyi (balanslaşdırıcı); e) təkrar meşə bərpası axını üçün dövlət investisiyaları (balanslaşdırıcı),

meşə idarəetmə proqramları (balanslaşdırıcı), QHT layihələri (balanslaşdırıcı); f) yeni meşələrin salınması axını üçün “torpaq istifadə planlaması” (balanslaşdırıcı), “ekoloji təşviqlər” (balanslaşdırıcı), “yerli icma fəallığı” (balanslaşdırıcı); g) meşə itkisi axını üçün sənaye fəaliyyətinin sıxlığı (logging, tikinti və s.) (gücləndirici), əhali artımı və urbanizasiya (gücləndirici), zəif torpaq mühafizəsi siyasəti (gücləndirici), kənd təsərrüfatı üçün torpaq istifadəsi (gücləndirici), təbiətin mühafizəsi üçün ayrılan büdcə (balanslaşdırıcı) qəbul edilə bilər.



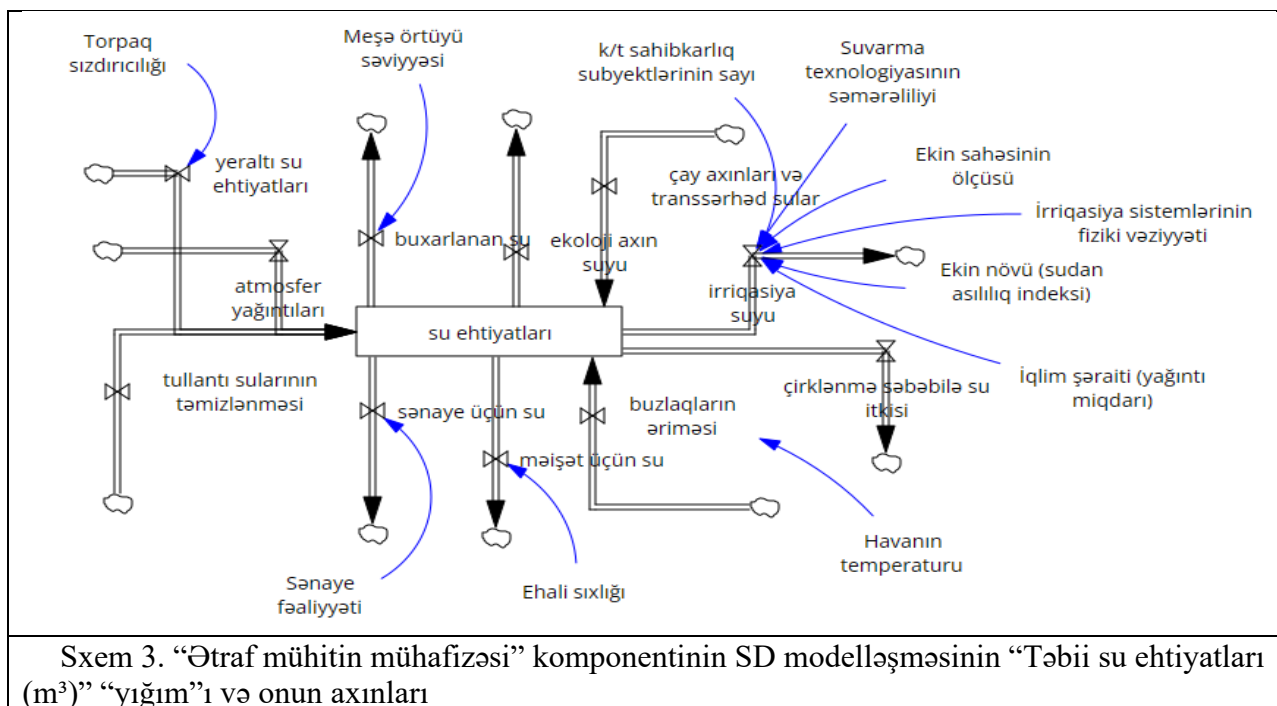
Yaşıl iqtisadiyyat modelinin “ətraf mühitin mühafizəsi” komponentinin “su ehtiyatları” yığımı üçün “xaric olan axınlar” kimi a) kənd təsərrüfatında suvarma tələbatı, yəni irriqasiya məqsədilə istifadə olunan su miqdarı (irriqasiya suyu); b) sənaye istehlakı, yəni texnoloji proseslərdə istifadə edilən su miqdarı (sənaye üçün su); c) məişət istehlakı, yəni əhali tərəfindən istifadə olunan içməli və məişət suyu (məişət üçün su); d) buxarlanma (evapotranspirasiya), yəni günəş radiasiyası və istilik nəticəsində suların buxarlanması (buxarlanan su); e) ekoloji axın ehtiyacları, yəni təbiətin (çaylar, göllər, bataqlıqlar) davamlılığı

üçün ayrılan su miqdarı (ekoloji axın suyu); f) çirklənmə səbəbilə itki, yəni kimyəvi və bioloji çirklənmə nəticəsində suyun istifadəyə yararsız hala gəlməsi (çirklənmə səbəbilə su itkisi) göstəriciləri istifadə edilə bilər.

Ətraf mühitin mühafizəsi” komponentinin SD modelləşməsinin “Təbii su ehtiyatları” “yığım”ına və onun axınlarına təsir edən “yardımçı” göstəricilər a) “Havanın temperaturu” Buzlaqların əriməsi axınına; b) “Meşə örtüyü səviyyəsi” Buxarlanmaya; c) “Sənaye fəaliyyəti” Emissiyalar axınına və ya atmosfərə çirklənmə səviyyəsinə; d) “Əhali sıxlığı” Su istehlakı axınına; e) “Torpaq

sızdırcılığı” yeraltı suların bərpası axınına; f) Əkin sahəsinin ölçüsü (ha), Əkin növü (sudan asılılıq indeksi), Suvarma texnologiyasının səmərəliliyi, İqlim şəraiti (yağıntı miqdarı),

Torpağın su saxlama qabiliyyəti, kənd təsərrüfatı subyektlərinin sayı, İrriqasiya sistemlərinin fiziki vəziyyəti “irriqasiya suyu” axınına təsir göstərir.



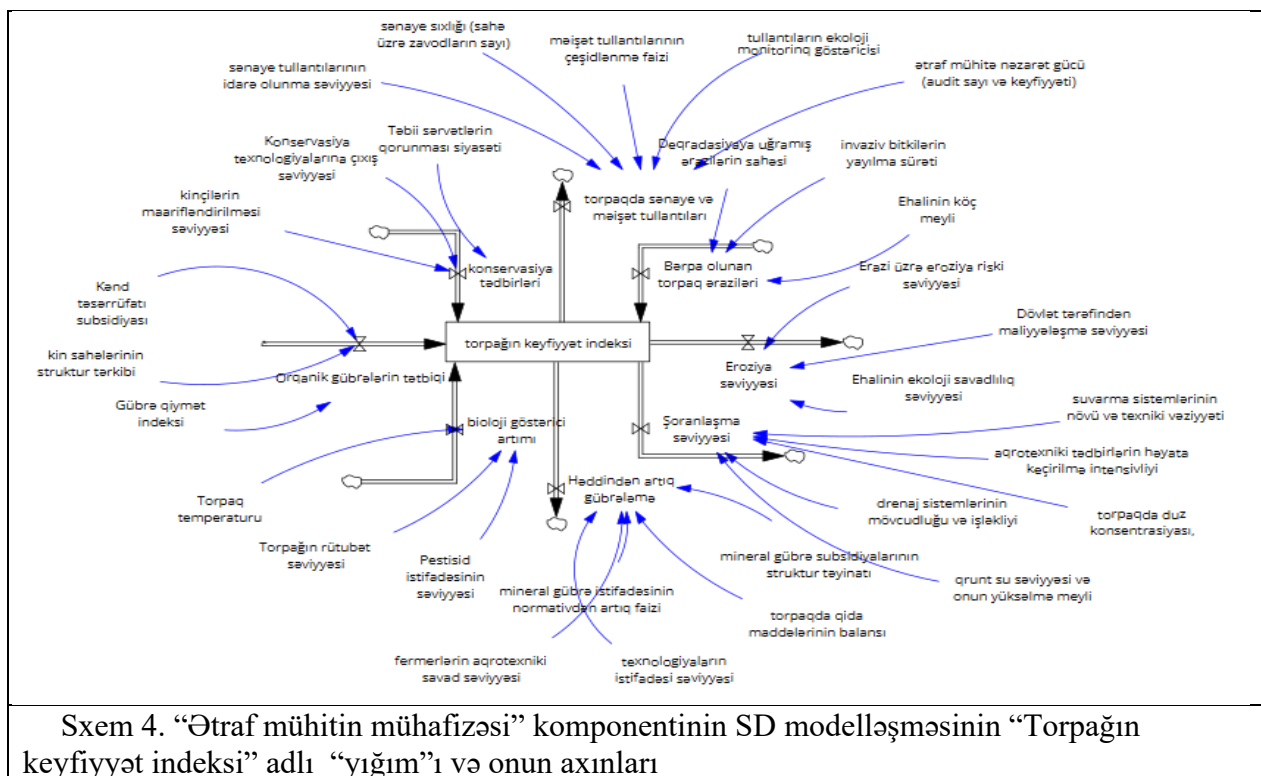
“Ətraf mühitin mühafizəsi” komponentinin SD modelləşməsinin “Torpağın keyfiyyət indeksi” adlı “yığım”ı üçün “daxil olan axın”lar olaraq, a) Orqanik gübrələrin tətbiqi (t/ha/il); b) Eroziyanın qarşısını alan tədbirlər (ha/il); c) Konservasiya kənd təsərrüfatı tədbirləri (tədbir sayı və əhatə dairəsi) (konservasiya tədbirləri); d) Bərpa olunan torpaq əraziləri (ha); e) Mikrobioloji aktivliyin artımı (bioloji göstərici artımı) göstəriciləri istifadə edilə bilər. Belə ki, Orqanik gübrələrin tətbiqi Kompost, peyin və digər orqanik maddələr torpağın məhsuldarlığını artırır. Eroziyanın qarşısını alan tədbirlərin həyata keçirilməsi Məşələşdirmə, kontur əkin və örtü bitkiləri kimi tədbirlər torpağın deqradasiyasını azaldır. Konservasiya kənd təsərrüfatı tətbiqləri Minimum torpaq işləmə, dövrü əkin və bitki örtüyü saxlanması kimi tədbirlərdir və belə tədbirlər torpağın keyfiyyətini artırır. Bərpa olunan torpaq əraziləri artıqca yenidən istifadə edilə bilən ərazilər də artır. Mikrobioloji aktivliyin artımı (bioloji göstərici artımı) ilə torpağın sağlamlığı da güclənir.

“Ətraf mühitin mühafizəsi” komponentinin SD modelləşməsinin “Torpağın keyfiyyət indeksi” adlı “yığım”ı üçün “xaric olan axın”lar olaraq, a) Eroziya səviyyəsi (t/ha/il); b) Kimyəvi çirklənmə (pestisid, ağır metal konsentrasiyası); c) Şoranlaşma səviyyəsi (% və ya EC göstəricisi); d) Həddindən artıq gübrələmə və mineral duzların yığılması; e) Sənaye və məişət tullantılarının torpağa təsiri göstəriciləri (torpaqda sənaye və məişət tullantıları) qəbul edilə bilər. Belə ki, Eroziya səviyyəsinin artması, yəni Su və küləklə yuyulan torpaq maddəsi torpaq keyfiyyətini azaldır. Kimyəvi çirklənmənin artması isə Torpağın kimyəvi balansını pozur və bioloji fəaliyyəti zəiflədir. Suvarma və drenaj problemləri nəticəsində torpağın şoranlaşması torpağın keyfiyyətini azaldır. Mineral gübrələrin normadan artıq istifadəsi torpaq strukturlarını pozur. Torpağa çirkləndirici, məsələn qeyri-neft və neft əsaslı maddələrin torpağa daxil olması torpağın keyfiyyətini azaldır.

“Ətraf mühitin mühafizəsi” komponentinin SD modelləşməsinin “Torpağın keyfiyyət

indeksi” adlı “yığım”ına və onun axınlarına təsir göstərən çoxlu sayda “yardımcı” göstəricilər olur. Bu göstəricilərin nəzərə alınması və onların “müsbət” (reinforcing) və ya “mənfi” (balancing) təsirlərinin düzgün qeyd edilməsi SD modelləşməsinin adekvatlığı üçün vacibdir. “Torpağın keyfiyyət indeksi” adlı “yığım”ın a) orqanik gübrə tətbiqi axınına kənd təsərrüfatı subsidiyası, gübrə qiymət indeksi, əkin sahələrinin struktur tərkibi; b) eroziyanın qarşısını alan tədbirlər axınına ərazi üzrə eroziya riski səviyyəsi, əhalinin ekoloji savadlılıq səviyyəsi, dövlət tərəfindən maliyyələşmə səviyyəsi; c) konservasiya tədbirləri axınına konservasiya texnologiyalarına çıxış səviyyəsi, əkinçilərin maarifləndirilməsi səviyyəsi, təbii sərvətlərin qorunması siyasəti; d) bərpa olunan torpaq sahələri axınına degradasiyaya uğramış ərazilərin sahəsi, invaziv bitkilərin yayılma sürəti, əhalinin köç meyli; e) mikrobioloji aktivlik artımı axınına torpaq temperaturu, torpağın rütubət səviyyəsi, pestisid istifadəsinin səviyyəsi; f) torpaqda sənaye və məişət

tullantıları axınına sənaye tullantılarının idarə olunma səviyyəsi, məişət tullantılarının çeşidlənmə faizi, sənaye sıxlığı (sahə üzrə zavodların sayı), tullantıların ekoloji monitoring göstəricisi (sıxlıq üzrə m^3/ha), ətraf mühitə nəzarət gücü (audit sayı və keyfiyyəti); g) həddindən artıq gübrələmə axınına mineral gübrə istifadəsinin normativdən artıq faizi, mineral gübrə subsidiyalarının struktur təyinatı (keyfiyyətli vs keyfiyyətsiz), fermerlərin aqrotexniki savad səviyyəsi; torpaqda qida maddələrinin balansı (azot-fosfor nisbəti və s.), texnologiyaların istifadəsi səviyyəsi (damcılı suvarma, analizə əsaslanan gübrələmə və s.); h) şoranlaşma səviyyəsi axınına suvarma sistemlərinin növü və texniki vəziyyəti (açıq-kanal vs damcılı), drenaj sistemlərinin mövcudluğu və işləkliyi (xəritə üzrə əhatə faizlə); qrunut su səviyyəsi və onun yüksəlmə meyli, torpaqda duz konsentrasiyası (meq/l), aqrotexniki tədbirlərin həyata keçirilmə intensivliyi kimi “yardımcı” göstəricilər təsir göstərə bilər.



“Yaşıl iqtisadiyyat” modelinin “Ətraf mühitin mühafizəsi” komponentinin ölçülməsi və proqnozlaşdırılması üçün qurulan SD modelləşməsinin 1-4-cü sxemlərində verilən

bütün göstəricilərin əldə edilməsi SD modelinin etibarlılığı üçün mühüm əhəmiyyət daşıyır. Lakin əksər hallarda bu göstəricilərin hamısı ilə bağlı məlumatların əlçatan olmaması

səbəbindən SD modelinə daxil edilməsi mümkün olur.

Nəticə

Bu məqalə “yaşıl iqtisadiyyat” modelinin komponentlərinin ölçülməsi üçün mövcud yanaşmalar içində Sistem Dinamikası (SD) modelləşməsinin üstünlüyünü əsaslandırır və xüsusilə “Ətraf mühitin mühafizəsi” komponentinin qiymətləndirilməsi üçün tətbiq çərçivəsini konseptual şəkildə formalaşdırır. Məqalədə SD-nin “yığım” (stocks) və “axın” (flows) məntiqi, gecikmələr və əks-əlaqə döngələri vasitəsilə mürəkkəb ekoloji-iqtisadi sistemlərin zaman üzrə davranışını simulyasiya etməyə imkan verməsi vurğulanır; bu yanaşma həm analitik izah, həm də ssenari əsaslı proqnozlaşdırma baxımından praktik metodoloji baza yaradır. Tədqiqat çərçivəsində “Ətraf mühitin mühafizəsi” komponenti üzrə dörd əsas yığım seçilmişdir: emissiyaların miqdarı, meşə ərazisi, təbii su ehtiyatları və torpaq keyfiyyəti indeksi. Hər bir yığım üçün onu artıran “daxil olan” və azaldan “xaric olan” axınların məntiqi qurulmuş, emissiyalar ilə onları azaldan tədbirlər arasındakı əlaqələr konseptual sxemlərlə sistemləşdirilmişdir. Bu yanaşma, siyasət alətlərinin (məs., karbon tutma, meşələşmə proqramları, su idarəetməsi, torpağın mühafizəsi) uzunmüddətli təsirlərini “səbəb-nəticə” məntiqində qiymətləndirməyə və qarşılıqlı təsirləri model daxilində görməyə imkan verir. Eyni zamanda, məqalə mühüm nəticə kimi göstərir ki, yığım-axın münasibətlərini formalaşdıran çoxsaylı yardımçı dəyişənlər ölkə və regionlara görə fərqləndiyindən, SD modelinin etibarlılığı birbaşa olaraq göstərici məlumatlarının əlçatanlığına və keyfiyyətinə bağlıdır; praktik tətbiqdə əsas məhdudiyyət də məhz geniş indikator dəstinin tam əldə olunmaması ilə əlaqəlidir. Buna görə də növbəti mərhələdə a) ölkə üzrə məlumat xəritəsinin hazırlanması; b) prioritet indikatorların seçimi; c) parametrləşdirmə və həssaslıq analizi; d) ən azı üç ssenari (baza-optimist-pessimist) üzrə simulyasiya və e) nəticələrin siyasət dizaynına inteqrasiyası tövsiyə olunur.

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI:

1. Anand, S., Vrat, P., & Dahiya, R. P. (2006). Application of a system dynamics approach for assessment and mitigation of CO2 emissions from the cement industry. *Journal of environmental management*, 79(4), 383-398. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2005.08.007>
2. Xiaorong Sun, Liuyu Lin, Chenhao Jin, Zhengyu Guo, Yong You, (2023). A system dynamics-based life-cycle carbon footprint calculation model for integrated energy stations, *Energy Reports*, Volume 9, Supplement 7, 2023, Pages 1726-1733, ISSN 2352-4847, <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2023.04.218>.
3. Olabisi, L. S. (2010). The System Dynamics of Forest Cover in the Developing World: Researcher Versus Community Perspectives. *Sustainability*, 2(6), 1523-1535. <https://doi.org/10.3390/su2061523>
4. Purnomo, H. & Mendoza, G. A. (2011). “A system dynamics model for evaluating collaborative forest management: A case study in Indonesia.” *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 18 (2), 176–186. <https://DOI.org/10.1080/13504509.2010.549664>
5. Guemouria, A., Chehbouni, A., Belaqqiz, S., Epule Epule, T., Ait Brahim, Y., El Khalki, E. M., Dhiba, D., & Bouchaou, L. (2023). System Dynamics Approach for Water Resources Management: A Case Study from the Souss-Massa Basin. *Water*, 15(8), 1506. <https://doi.org/10.3390/w15081506>
6. Winz, I., Brierley, G. & Trowsdale, S. The Use of System Dynamics Simulation in Water Resources Management. *Water Resour Manage* 23, 1301–1323 (2009). <https://doi.org/10.1007/s11269-008-9328-7>
7. Dai, S., Li, L., Xu, H. et al. A system dynamics approach for water resources policy analysis in arid land: a model for Manas River Basin. *J. Arid Land* 5, 118–131 (2013). <https://doi.org/10.1007/s40333-013-0147-1>
8. Mohammad Mahdi Naderi, Ali Mirchi, Ali Reza Massah Bavani, Erfan Goharian, Kaveh Madani, (2021). System dynamics simulation of regional water supply and demand using a food-energy-water nexus approach: Application to Qazvin Plain, Iran, *Journal of*

Environmental Management, Volume 280, 2021, 111843, ISSN 0301-4797, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111843>.

9. Benjamin L. Turner, Srinadh Kodali, (2020). Soil system dynamics for learning about complex, feedback-driven agricultural resource problems: model development, evaluation, and sensitivity analysis of biophysical feedbacks, Ecological Modelling, Volume 428, 2020, 109050, ISSN 0304-3800, <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2020.109050>.

10. Enli WANG, Di HE, Zhigan ZHAO, Chris J. SMITH, Ben C. T. MACDONALD. Using a systems modeling approach to improve soil management and soil quality. Front. Agr. Sci. Eng., 2020, 7(3): 289–295 <https://doi.org/10.15302/J-FASE-2020337>

11. Ali Kerem Saysel, Yaman Barlas, Orhan Yenigün, Environmental sustainability in an agricultural development project: a system dynamics approach, Journal of Environmental Management, Volume 64, Issue 3, 2002, Pages 247-260, ISSN 0301-4797, <https://doi.org/10.1006/jema.2001.0488>

Mayis GULALIYEV

Doctor of Economic Sciences
Ganja State University

Rasul Yusif oğlu YUSIBOV

Doctoral Candidate, Ganja State University

APPLICATION OF SYSTEM DYNAMICS MODELING IN THE GREEN ECONOMY MODEL

Abstract

The article substantiates the role of System Dynamics (SD) modeling among the approaches that can be used to measure the green economy model and its components, and explains the application mechanism of this method, particularly for assessing the “Environmental Protection” component of the green economy. It demonstrates how the SD approach simulates the behavior of complex systems over time through “stocks,” “flows,” auxiliary variables, delays, and feedback loops, and presents a step-by-step modeling algorithm. Within the “Environmental Protection” component, the main stocks are identified as the volume of emissions, forest area, natural water resources, and soil quality; for each stock, the inflows that increase it and the outflows that decrease it are conceptually specified (e.g., industrial/energy/transport emissions, carbon capture measures, substitution with renewable energy, afforestation–deforestation, water supply–consumption, etc.). At the same time, the article emphasizes that numerous auxiliary factors influencing these stocks and flows differ across countries and regions, and concludes that the availability of indicator data is decisive for the reliability of the model.

Keywords: Green economy; System Dynamics (SD); stock–flow model; feedback loops; Causal Loop Diagram (CLD); Stock-Flow Diagram (SFD); environmental protection; emissions; carbon capture (CCS).

Маис Гюльалиев

Доктор экономических наук
Гянджинский государственный университет

Юсибов Расул Юсиф оглы

Докторант Гянджинского государственного университета

ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМНОЙ ДИНАМИКИ В МОДЕЛИ «ЗЕЛЁНОЙ ЭКОНОМИКИ»

Резюме

В статье обосновывается роль моделирования системной динамики (System Dynamics, SD) среди подходов, которые могут использоваться для измерения модели «зелёной экономики» и её компонентов, а также объясняется механизм применения данного метода, прежде всего для оценки компонента «Охрана окружающей среды». Показано, что подход SD позволяет моделировать поведение сложных систем во времени посредством «накоплений» (stocks), «потоков» (flows), вспомогательных переменных, задержек и контуров обратной связи; представлен поэтапный алгоритм моделирования. В рамках компонента «Охрана окружающей среды» в качестве ключевых накоплений выделены объём выбросов, площадь лесов, природные водные ресурсы и качество почв; для каждого накопления концептуально определены входящие потоки, увеличивающие его, и исходящие потоки, уменьшающие его (например, выбросы промышленности/энергетики/транспорта, меры по улавливанию углерода, замещение за счёт возобновляемой энергии, лесовосстановление–обезлесение, водоснабжение–водопотребление и т. д.). Одновременно подчёркивается, что многочисленные вспомогательные факторы, влияющие на эти накопления и потоки, различаются по странам и регионам; делается вывод о том, что доступность данных по индикаторам является решающим условием надёжности модели.

Ключевые слова: Зелёная экономика; системная динамика (SD); модель «накопления–потоки»; контуры обратной связи; причинно-следственная диаграмма (CLD); диаграмма потоков и накоплений (SFD); охрана окружающей среды; выбросы; улавливание углерода (CCS).