

ŞCOALA DOCTORALĂ INTERDISCIPLINARĂ

Facultatea de Silvicultură şi exploatare forestiere

Erick Odhiambo Osewe

Evaluarea serviciilor ecosistemice ale pădurilor din Kenya: un studiu de caz comparativ al Rezervaţiei Forestiere Karura şi al Rezervaţiei Naţionale Forestiere Kakamega

The valuation of forest ecosystem services in Kenya: a comparative case study of Karura Forest Reserve and Kakamega National Forest Reserve

REZUMAT

Conducător ştiinţific

Prof. Dr. Ing. Ioan Vasile ABRUDAN

BRAŞOV, 2026

MULȚUMIRI

În primul rând, îmi exprim sincera recunoștință față de conducătorul meu științific, Prof. Dr. Ing. Ioan Vasile Abrudan, pentru îndrumarea și mentoratul său neprețuit pe parcursul întregului proces de cercetare și redactare. Expertiza și feedback-ul său perspicace au fost esențiale în conturarea acestei lucrări academice, motivându-mă continuu să am tenacitatea și determinarea necesare pentru excelență. Doresc, de asemenea, să mi exprim aprecierea față de Universitatea Transilvania din Braşov pentru sprijinul acordat studiilor mele doctorale prin bursa de doctorat pentru absolvenții internaționali ai programului UNITBV, care mi-a oferit posibilitatea de a desfășura cercetarea doctorală, Grant nr. DGRIAE-111284/IN1/1/EC/03.09.2021.

Această cercetare doctorală a fost posibilă datorită eforturilor colaborative ale unor instituții din România, Kenya și Austria. Sunt recunoscător pentru instruirea, consultațiile și îndrumarea de specialitate oferite de profesorii și colegii mei de la Facultatea de Silvicultură și Exploatare Forestiere, Universitatea Transilvania din Braşov, cu o apreciere deosebită pentru Prof. Dr. Ing. Alexandru Lucian CURTU, Prof. Dr. Ing. Bogdan Popa, Prof. Dr. Ing. Mihai Daniel Niță și Dr. Ioan DUTCĂ. Îi mulțumesc, de asemenea, Dr. Joram Kagombe, Director General pentru Politici Socio-Economice și Guvernanță la Kenya Forestry Research Institute (KEFRI), pentru că m-a găzduit în cadrul activităților de cercetare din Kenya. Recunosc și apreciez sprijinul din partea KEFRI prin acordul de colaborare în cercetare REF: KEFRI/56/04/VOL.1(111) cu Universitatea Transilvania din Braşov, care a facilitat participarea mea la programul de mobilitate internațională pentru activități de cercetare. Îmi exprim aprecierea față de Asociația Comunitară Forestieră a Prietenilor Karura (FKF-CFA) și grupurile Asociației Forestiere Kakamega din sub-județele Shinyalu, Lurambi, Navakholo și Malava. Aprecieri deosebite bătrânilor sub-județului Hamisi pentru consimțământul lor prealabil în cunoștință de cauză, care a permis accesul la valoroasele cunoștințe indigene în calitate de custozi ai sanctualelor sacre „*Ikavakava*”.

Mulțumesc personalului și enumeratorilor de la Sub-stația KEFRI-Kakamega pentru dedicarea și sprijinul lor pe parcursul cercetării de teren. Această cercetare a fost aprobată de Kenya National Commission for Science, Technology, and Innovation (NACOSTI) sub numărul de licență NACOSTI/P/23/25591 și de Kenya Forest Service (KFS) sub numărul de licență de cercetare REF: RESEA/1/KFS/VOL.VI (124). Sunt, de asemenea, recunoscător Universităt für Bodenkultur Wien (BOKU) pentru că a facilitat participarea mea la programul de schimb în cadrul proiectului Novel Business Models to Sustainably Supply Forest Ecosystem Services (NOBEL) și al proiectului Promoting Effective Forest Payments for Ecosystem Services (ProForPES). Îi adresez mulțumiri speciale Prof. Harald Vacik, coordonator de proiect pentru ProForPES și NOBEL, pentru îndrumarea și colaborarea în cadrul acestor programe.

Dedic această lucrare memoriei mamei mele, Catherine Atieno Osewe. Dragostea, puterea și credința ei neclintită în mine continuă să-mi inspire și să-mi călăuzească pașii. Sunt profund recunoscător familiei mele, Ibrahim, Titus și Dennis, a cărei iubire, răbdare și prezență mi-au fost sprijin pe tot parcursul acestui drum. Vă prețuiesc din suflet.

MULȚUMIRI.....	2
CAPITOLUL 1: CADRU TEORETIC, DESIGN DE CERCETARE ȘI STRUCTURA TEZEI	4
1.0 Prezentare generală a contextului.....	4
1.1 Problema de cercetare și lacunele identificate.....	5
1.2 Cadrul conceptual al cercetării	6
1.3 Scopul, obiectivele și rațiunea designului de cercetare	7
1.4 Material și metode.....	8
1.5 Aria de studiu	9
1.6 Prezentarea datelor	10
1.6.1 Proiectarea chestionarului și planul de anchetă a părților interesate	11
1.7 Colectarea datelor.....	14
1.7.1 Date de teledetecție	14
1.7.2 Date măsurate pe teren	15
1.8 Fluxul de lucru al măsurătorilor de teren și al activităților de anchetă	15
1.9 Procesarea și analiza datelor.....	16
1.9.1 Analiza datelor de teledetecție.....	16
1.9.2 Analiza datelor măsurate pe teren și a datelor din interviuri	17
1.10 Rezumatul designului de cercetare și al fluxului de lucru.....	17
1.11 Limitele cercetării	19
CAPITOLUL 2: RECENZIA FACTORILOR GLOBALI ȘI REGIONALI CARE AFECTEAZĂ EVALUAREA SERVICIILOR ECOSISTEMICE. (ARTICOL PUBLICAT 1).....	19
CAPITOLUL 3: MODIFICĂRI ECOLOGICE ÎN STRUCTURA FORESTIERĂ, ACOPERIREA CORONAMENTULUI ȘI IMPLICAȚIILE LOR ASUPRA FURNIZĂRII SERVICIILOR ECOSISTEMICE. (ARTICOL PUBLICAT 2)	20
CAPITOLUL 4: EVALUAREA PRINCIPALELOR SERVICII ECOSISTEMICE FURNIZATE DE REZERVAȚIA FORESTIERĂ KARURA ȘI ROLUL LOR ÎN BUNĂSTAREA COMUNITĂȚILOR DIN JUR. (ARTICOL PUBLICAT 3)	20
CAPITOLUL 5: EVALUAREA PRINCIPALELOR SERVICII ECOSISTEMICE FURNIZATE DE REZERVAȚIA FORESTIERĂ NAȚIONALĂ KAKAMEGA ȘI A FACTORILOR SOCIO-ECONOMICI CARE INFLUENȚEAZĂ DEPENDENȚA FORESTIERĂ. (ARTICOL PUBLICAT 4).....	21
CAPITOLUL 6: LIMITĂRILE TEHNICILOR DE TELEDETECȚIE ÎN ESTIMAREA BIOMASEI SUPRATERESTRE PENTRU DETERMINAREA STOCULUI DE CARBON ÎN REZERVAȚIILE FORESTIERE GESTIONATE FAȚĂ DE CELE NEGESTIONATE DIN KENYA. (ARTICOL PUBLICAT 5)	22
CAPITOLUL 7: ANALIZA COMPARATIVĂ A CONSTATĂRIILOR CERCETĂRII	24
7.1 Sinteză transversală a furnizării și evaluării serviciilor ecosistemice în Rezervația Forestieră Națională Kakamega și Rezervația Forestieră Karura	24
7.2 Sinergii ale abordării de analiză integrată în evaluarea serviciilor ecosistemice pentru Rezervația Forestieră Națională Kakamega și Rezervația Forestieră Karura.....	26
CAPITOLUL 8: CONTRIBUȚII ORIGINALE ALE CERCETĂRII.....	28
8.1 Contribuție metodologică	28
8.2 Contribuție empirică.....	28
8.3 Contribuție conceptuală.....	28
8.4 Contribuție în domeniul politicilor	29
CAPITOLUL 9: CONCLUZII ȘI IMPLICAȚII PENTRU CERCETĂRILE VIITOARE.....	30
REFERINȚE.....	31

CAPITOLUL 1: CADRU TEORETIC, DESIGN DE CERCETARE ŞI STRUCTURA TEZEI

1.0 Prezentare generală a contextului

Pădurile furnizează o gamă largă de servicii ecosistemice (SE) care îmbunătăţesc bunăstarea umană şi susţin componentele vii ale biosferei (Sangha et al., 2022). Cantitatea şi calitatea SE depind de sănătatea pădurii, rezultată din interacţiunile consecutive cu factorii biotici şi abiotici (Brockerhoff et al., 2017). Natura şi procesele sale sunt interconectate prin diverse procese biogeochimice care menţin fluxul de energie între diferitele biomuri (Vanneste et al., 2024). Interacţiunile omului cu natura sunt, prin urmare, inevitabile în scopul subzistenţei şi al dependenţei reciproce (Soga et al., 2021). Aceste interacţiuni definesc biodiversitatea la diverse niveluri trofice şi sunt mai vizibile în cadrul reţelelor trofice şi al lanţurilor alimentare (Schuldt et al., 2018). La nivel global, Clasificarea Internaţională Comună a Serviciilor Ecosistemice (CICES) şi Evaluarea Ecosistemelor pentru Mileniu (MEA), larg acceptate, conturează patru categorii principale de SE, şi anume: servicii de aprovizionare, de reglare, culturale şi de suport (Haines et al., 2018). Referinţa cel mai frecvent întâlnită în cercetare este aceea a SE de aprovizionare, ceea ce implică o supradependenţă faţă de SE tangibile pentru industrie, mijloace de subzistenţă şi sustenabilitate cotidiană (Anand et al., 2020). Alte SE intangibile sunt, de asemenea, abordate în cercetare în contextul menţinerii sănătăţii ecosistemului şi al construirii rezilienţei de mediu (SE de reglare), al recreerii şi contextului spiritual (SE culturale) şi al susţinerii productivităţii de mediu prin ciclul nutrienţilor (SE de suport) (Mengist et al., 2020). Importanţa ecologică a SE evidenţiază necesitatea evaluării lor dintr-o perspectivă economică, pentru a contextualiza mai bine contribuţia lor la mijloacele de subzistenţă (Quijas et al., 2013).

Resursele naturale, în special ecosistemele forestiere din Africa, sunt esenţiale pentru mijloacele de subzistenţă la diferite niveluri socio-economice (Osewe et al., 2024a) şi rămân ameninţate de degradare şi epuizare din cauza supraexploatării directe. Cercetarea a identificat următorii factori principali care agravează epuizarea resurselor forestiere în Africa: schimbările de utilizare a terenurilor la marginea pădurilor pentru activităţi agricole (Phiri et al., 2023), defrişările legate de exploatarea forestieră şi furnizarea de lemn de foc (Abera et al., 2024) şi schimbările climatice (Dessalegn et al., 2015). Eforturile de conservare din multe ţări africane au urmărit în mod tradiţional abordări bazate pe protecţie, precum înfiinţarea de arii protejate pentru conservarea biodiversităţii (Imarhiagbe et al., 2022). În ultimele decenii, principiile managementului forestier durabil (MFD) s-au dovedit mai eficiente, în special la intersecţia dintre atenuarea schimbărilor climatice şi reducerea sărăciei în comunităţile rurale vulnerabile (Tebkew et al., 2022). Aceste abordări contemporane, precum silvicultura comunitară, silvicultura participativă şi schemele de plată pentru servicii ecosistemice (PSE), au schimbat narativul valorilor asociate ecosistemelor forestiere în direcţia îmbunătăţirii mijloacelor de subzistenţă (Charnley et al., 2022; Gasheye, 2024). Rolul şi contribuţia SE în economiile naţionale în vederea bunăstării umane sunt adesea subevaluate şi excluse din elaborarea politicilor, ceea ce duce la un risc ridicat de supraexploatare (Martinez et al., 2015). La nivel continental, unde

multe economii se bazează pe resursele naturale (Mpuure et al., 2024), evaluarea SE acoperă decalajul dintre durabilitatea ecologică şi standardizarea unor indicatori economici comparabili pentru includerea în priorităţile de dezvoltare naţională (Elbasit et al., 2021).

În Kenya, schimbările de politici forestiere şi iniţiativele internaţionale privind schimbările climatice au constituit principalii factori de schimbare a practicilor de management forestier în ultimul deceniu (Chisika et al., 2024). Legea pentru Conservarea şi Gestionarea Pădurilor din 2016 (Republic of Kenya, 2016) oferă un cadru pentru implicarea comunităţii în managementul forestier, protejând ecosistemele şi garantând beneficii economice şi sociale. În mod notabil, tocmai prin această prevedere legală Asociaţiile Comunitare Forestiere (CFA) co-gestionează pădurile împreună cu agenţiile de stat şi împărtăşesc beneficiile (Mutune & Lund, 2016). Eforturile globale de combatere a schimbărilor climatice prin programe de reducere a emisiilor de carbon, precum programul de Reducere a Emisiilor din Defrişare şi Degradare Forestieră (REDD+), au stimulat, de asemenea, practicile de MFD (Atela et al., 2016). Prin urmare, evaluarea SE ar stabili indicatori economici comparabili care pot fi utilizaţi pentru a evalua performanţa naţională în eforturile de atenuare a schimbărilor climatice şi constituie baza de referinţă pentru contabilizarea creditelor de carbon (Enríquez et al., 2022; Kanyenji et al., 2020). Aceste constatări ar oferi, de asemenea, perspective asupra factorilor determinanţi ai degradării mediului, care informează practicile eficiente de management prin intervenţii în cadrul planurilor naţionale de acţiune privind schimbările climatice. Mai mult, MFD asigură că pădurile rămân destinaţii atractive pentru turismul bazat pe natură, care reprezintă o sursă majoră de venituri în Kenya (Ndivo et al., 2020).

Stabilirea valorii economice a capitalului natural oferă o perspectivă nuanţată asupra beneficiilor atribuite pădurilor (Maingi, 2021) şi susţine obiectivele de dezvoltare socio-economică prin integrarea durabilităţii de mediu în planificarea economică naţională (Milheiras et al., 2022).

1.1 Problema de cercetare şi lacunele identificate

Ecosistemele forestiere din Kenya continuă să se confrunte cu presiuni legate de schimbările de utilizare a terenurilor, fragmentarea, extragerea nesustenabilă a resurselor şi schimbările climatice (Mbuvi & Kungu, 2021; Rotich et al., 2025). Studiile anterioare care evaluează contribuţia SE la mijloacele de subzistenţă s-au concentrat în principal pe ecosisteme forestiere omogene cu regimuri de management similare, pentru a aborda ameninţările defrişărilor (Kogo et al., 2019), ale degradării forestiere şi ale schimbărilor climatice (Bamwesigye et al., 2020), evaluând adesea un număr limitat de SE (Okumu & Muchapondwa, 2022). De exemplu, evaluarea SE a principalelor turnuri de apă din Kenya a fost realizată în ecosisteme forestiere montane similare, cum ar fi complexul Mau Forest din Kenia Centrală (Miller et al., 2021), dealurile Cherangani şi Muntele Elgon din Kenia de Vest (Langat et al., 2018). Similar, studiile privind pădurile urbane din Nairobi (Karura Forest, Ngong Forest, arboretumul Nairobi), Nyeri (Kabiruini Forest) şi Nakuru (Menengai Forest) au pus accent mai ales pe beneficiile ecoturistice şi pe biodiversitate (Chisika et al., 2023; Oloo et al., 2020), cu perspective

limitate asupra valorii altor SE şi a comparabilităţii acestora cu indicatorii economici clasici. Aceasta lasă un decalaj în înţelegerea evaluării diverselor SE în diferite tipuri de păduri şi a implicaţiilor lor economice pentru dezvoltarea mijloacelor de subzistenţă.

Din corpul literaturii existente privind evaluarea SE în Kenya reies trei limitări interdependente: (1) există puţine analize comparative între structuri ecologice diferite, cum ar fi pădurea primară tropicală faţă de pădurea urbană secundară, şi nici în cadrul dimensiunilor aranjamentelor instituţionale, cum ar fi co-gestionarea comunitară faţă de managementul condus de stat (Mbuvi & Kungu, 2021); (2) acoperirea incompletă a SE, care împiedică o contabilizare holistică a capitalului natural, esenţială pentru integrarea în politici (Akello et al., 2025; Weiskopf et al., 2022); (3) abordări disciplinare fragmentate în cercetarea evaluării SE, care deconectează dependenţa socio-economică, efectele de guvernanta şi mijloacele de subzistenţă ale comunităţilor, toate necesare pentru crearea unor căi viabile de finanţare bazate pe natură, precum PSE (Chisika et al., 2024; Sapiains et al., 2021).

Această cercetare abordează aceste lacune prin juxtapunerea evaluării principalelor SE din două rezervaţii forestiere distincte: Rezervaţia Forestieră Naţională Kakamega (KNFR), o pădure tropicală primară, şi Rezervaţia Forestieră Karura (KFR), o pădure urbană secundară din capitala Nairobi (Osewe al., 2022). Acest contrast evidenţiază diferenţele în furnizarea SE, efectul strategiilor de management şi contextele socio-economice ale comunităţilor forestiere din jur. Cercetarea cuantifică contribuţia economică estimată a principalelor SE la mijloacele de subzistenţă şi la dezvoltarea naţională, prin prisma abordărilor de management forestier centrate pe oameni. Aceasta furnizează date privind preţurile de piaţă ale SE, care reprezintă referinţa economică pentru stabilirea iniţiativelor de finanţare bazate pe natură în Africa Subsahariană (SSA), o regiune care primeşte doar 3% din finanţarea globală bazată pe natură (Gemayel et al., 2025).

1.2 Cadrul conceptual al cercetării

Această cercetare este ancorată în relaţia interconectată dintre structura forestieră, furnizarea SE, beneficiile socio-economice şi implicaţiile guvernantei forestiere asupra mijloacelor de subzistenţă, astfel cum se rezumă în Figura 1. Această abordare de evaluare se centrează pe compoziţia forestieră şi regimurile de management, care determină natura şi amploarea serviciilor de aprovizionare, de reglare, culturale şi de suport. Aceste SE mediază mijloacele de subzistenţă şi tipurile de dependenţă comunitară, care sunt modelate de arhitecturile de guvernanta şi drepturile de acces. Constatările evaluării informează cadrele de contabilizare a capitalului natural şi servesc drept referinţă pentru preţurile de piaţă în vederea mobilizării finanţărilor bazate pe natură. Această cercetare situează aceste dinamici în contextul global de politici al Obiectivelor de Dezvoltare Durabilă (ODD), REDD+ şi Convenţiei privind Diversitatea Biologică (CBD) (Golub et al., 2025; Pistorius, 2012), care recunosc abordările de management forestier centrate pe oameni şi instrumente precum PSE şi Schema de Îmbunătăţire a Mijloacelor de Subzistenţă prin Înfiinţarea Plantaţiilor (PELIS) drept căi viabile pentru

integrarea evaluării SE în mecanismele de politici şi finanţare (Diafas et al., 2017; Waruingi et al., 2021).

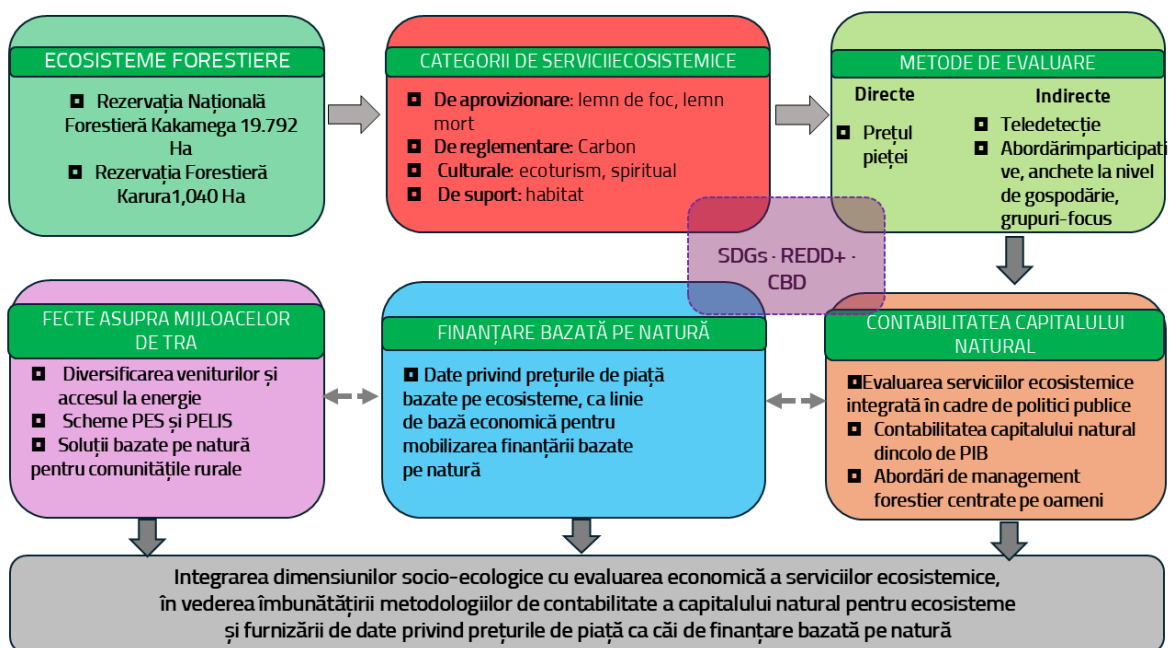


Figura 1. Cadrul conceptual pentru evaluarea socio-ecologică integrată a SE

1.3 Scopul, obiectivele și rațiunea designului de cercetare

Scopul acestei cercetări doctorale a fost de a evalua principalele SE din două rezervații forestiere distincte, pentru a stabili indicatori economici comparabili în estimarea valorii capitalului lor natural. Această cercetare a utilizat abordări interdisciplinare (Figura 2) pentru a aborda cinci obiective, fiecare obiectiv formând baza unei publicații științifice în reviste cu recenzie inter pares (Figura 7). Designul cu metode mixte a integrat o revizuire sistematică a literaturii (articol publicat 1) pentru cadrul contextual, teledetecția și măsurătorile de teren (articol publicat 2 și 5) pentru cuantificarea biofizică și anchetele la nivel de gospodărie (articol publicat 3 și 4) pentru evaluarea socio-economică. Aceasta a asigurat o acoperire comprehensivă, triangularea metodologică și compararea pe dimensiuni ecologice, economice și sociale.

Obiectivele au inclus:

- Revizuirea impactului factorilor contextuali globali și regionali asupra evaluării și percepției SE (articol publicat 1)
- Evaluarea modificărilor ecologice în structura forestieră, acoperirea coronamentului și implicațiile acestora asupra furnizării SE (articol publicat 2)
- Evaluarea principalelor SE furnizate de KFR și rolul lor în bunăstarea socio-economică a comunităților din jur (articol publicat 3)
- Evaluarea principalelor SE furnizate de KNFR și a factorilor socio-economici care influențează dependența comunităților rurale (articol publicat 4)
- Evaluarea performanței tehnicilor de teledetecție în estimarea biomasei supratereștre pentru determinarea stocului de carbon în pădurile gestionate (KFR) față de cele negestionate (KNFR) din Kenya (articol publicat 5)

1.4 Material şi metode

Această cercetare a utilizat indicatori de SE pentru a simplifica evaluarea economică a funcţiilor ecologice complexe, prin atribuirea unor indicatori comparabili, cuantificabili şi măsurabili pentru diversele categorii de SE (Albert et al., 2016). Abordările interdisciplinare au relevat compromisuri şi sinergii care acoperă lacunele din contabilizarea capitalului natural şi au oferit o perspectivă economică holistică, astfel cum se rezumă în Figura 2 (Pouso et al., 2020). Principalele SE furnizate de fiecare rezervaţie forestieră în cadrul categoriilor MEA şi CICES au fost contextualizate pentru a evidenţia rolul lor în mijloacele de subzistenţă locale şi interdependenţele dintre păduri şi comunităţile rurale (Bisui et al., 2024; Mushi et al., 2020). Indicatorii utilizaţi pentru principalele SE din Tabelul 1 au acoperit o gamă largă de funcţii forestiere în termeni economici, făcând astfel ca valoarea capitalului natural să fie traductibilă în sistemele economice convenţionale (Brander et al., 2024; Pascual et al., 2023). Utilitatea principalelor SE combinată cu abordările participative şi metodele de modelare a ecosistemelor a oferit o perspectivă nuanţată asupra modului în care pădurile contribuie atât la mediu, cât şi la bunăstarea socio-economică a comunităţilor din jur (Fischer et al., 2023). În timp ce KFR este complet împrejmuită într-un cadru urban, cu secţiuni de tratamente silviculturale (Manji, 2017a), KNFR este un ecosistem fragmentat cu secţiuni perturbate (Osewe et al., 2022). Prin urmare, au fost elaboraţi indicatori comparabili pentru evaluarea principalelor SE, adaptaţi contextelor unice ale fiecărui ecosistem forestier. Pentru KFR au fost evaluate trei categorii principale de SE (servicii de aprovizionare, de reglare şi culturale), iar pentru KNFR au fost evaluate patru categorii principale de SE (servicii de aprovizionare, de reglare, culturale şi de suport). Abordările interdisciplinare din Tabelul 1 au fost adecvate pentru surprinderea relaţiei interconectate dintre sănătatea ecologică şi mijloacele de subzistenţă ale comunităţilor forestiere.

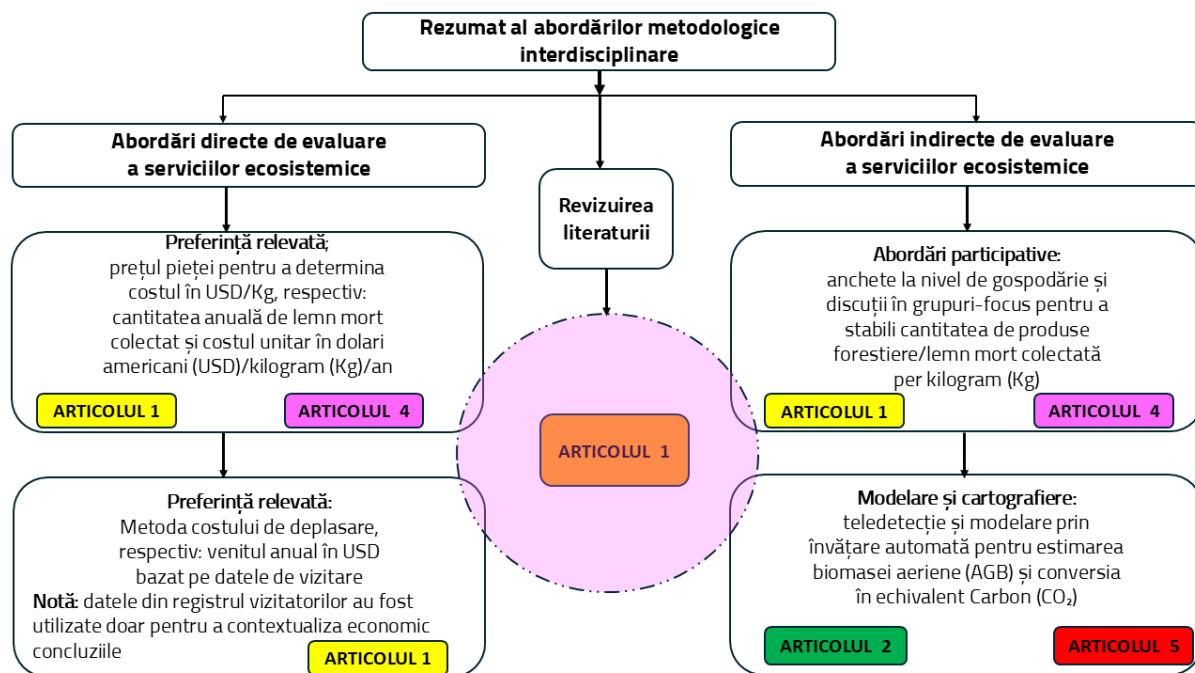


Figura 2. Rezumatul abordărilor metodologice interdisciplinare pentru evaluarea serviciilor ecosistemice

Tabelul 1. Categorii de SE și abordări de evaluare pentru KFR și KNFR

Arii de studiu	Categorii de SE principale evaluate conform MEA și CICES	Indicatori ai SE	Utilitate	Indicatori economici pentru evaluarea SE	Metode și abordări utilizate pentru evaluarea SE
KFR	Servicii de aprovizionare	Lemn mort (utilizat ca lemn de foc)	Cantitatea anuală de lemn mort colectat și costul unitar în US\$/Kg/an	Cantitatea anuală de lemn mort colectat și costul unitar în dolari americani (US\$/kilogram (kg)/an	Abordări participative: anchete la nivel de gospodărie și discuții de grup pentru stabilirea cantității de lemn mort colectat (Kg) Preferință revelată; prețul de piață pentru determinarea costului în US\$/Kg
	Servicii de reglare	Stocarea carbonului	Echivalent carbon (CO ₂) în US\$ per tonă metrică/an	Stocarea carbonului	Modelare și cartografiere; teledetecție și modelare prin învățare automată pentru estimarea BST și conversia în echivalent carbon (CO ₂)
	Servicii culturale	Ecoturism	Venituri anuale în US\$ pe baza datelor privind vizitatorii	Ecoturism	Preferință revelată: Metoda costului de deplasare Abordări participative: chestionare transmise principalelor părți interesate
KNFR	Servicii de aprovizionare	Produse forestiere: <i>lemn de foc, viță-de-vie, fructe, lemn de construcție, ciuperci și plante medicinale</i>	Cantitatea anuală de produse forestiere colectate și costul unitar (US\$/Kg/an)	Cantitatea anuală de produse forestiere colectate și costul unitar (US\$/kg/an)	Abordări participative: discuții de grup și anchete la nivel de gospodărie pentru stabilirea cantității de produse forestiere colectate pe Kg Preferință revelată; prețul de piață pentru determinarea costului în US\$/Kg
	Servicii de reglare	Stocarea carbonului	Echivalent carbon (CO ₂) în US\$ per tonă metrică/an	Stocarea carbonului	Modelare și cartografiere; teledetecție și modelare prin învățare automată pentru estimarea BST și conversia în echivalent carbon (CO ₂)
	Servicii culturale	Valori spirituale ale sanctuarelor sacre	Disponibilitate de plată (WTP) în intervalul de preț în US\$	Valori spirituale ale sanctuarelor sacre	Abordări participative; discuții de grup și anchete la nivel de gospodărie
	Servicii de suport	Conectivitatea habitatelor	Suprafața de acoperire forestieră (Ha) pierdută în două decenii / pierderea echivalentă de carbon (CO ₂) în US\$	Conectivitatea habitatelor	Modelare și cartografiere; teledetecție și modelare prin învățare automată

1.5 Aria de studiu

Aria de studiu cuprinde două rezervații forestiere distincte din Kenya, ambele desemnate ca arii protejate (Kairu et al., 2024). KFR se află în capitala Nairobi, ca pădure urbană cu suprafața de 1.041 ha (Manji, 2017b), în timp ce KNFR este situată în zona rurală din vestul țării, ca pădure tropicală

umedă cu suprafaţa de 19.792,4 ha (Osewe et al., 2022b), astfel cum se detaliază în Figura 3. Această juxtapunere a celor două rezervaţii forestiere oferă un context spaţial al valorilor principale ale SE, făcând referire totodată la influenţa dinamicii structurii arboretului, a speciilor de arbori, a regimurilor de management, a factorilor socio-economici şi a funcţiilor ecosistemice legate de biodiversitate.

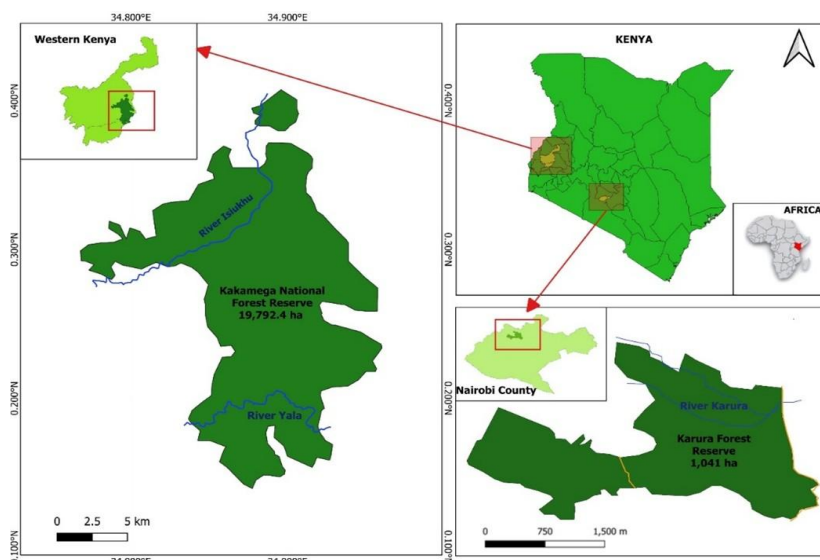


Figura 3. Harta ariilor de studiu

KFR este clasificată ca pădure secundară cu tratamente silviculturale, cuprinzând atât specii de arbori exotice, cât şi indigene, precum şi zone replantate sub diverse regimuri (Osewe et al., 2025). Este co-gestionată de Asociaţia Comunitară Forestieră a Prietenilor Karura (FKF-CFA) şi Serviciul Forestier din Kenya (KFS) (Njeru, 2012). Prin contrast, KNFR este un ecosistem tropical fragmentat, cuprinzând trei rezervaţii naţionale şi două rezervaţii naturale (Osewe et al., 2022c). Nucleul forestier al acestora cuprinde în principal arborete mature, neperturbate, de specii indigene de arbori din păduri primare. Este co-gestionată de KFS, Serviciul de Protecţie a Faunei Sălbătice din Kenya (KWS) şi diverse CFA din fiecare sub-judeţ din Judeţul Kakamega (Bleher et al., 2006).

1.6 Prezentarea datelor

Datele primare pentru analiză au fost colectate prin activităţi de teren desfăşurate în KNFR şi KFR, care au implicat măsurători în parcele (Figura 6), anchete şi chestionare (Tabelul 2, Tabelul 4 şi Tabelul 5). Aceste anchete au cules răspunsuri de la CFA, Institutul de Cercetări Forestiere din Kenya (KEFRI) şi comunităţile adiacente pădurilor, pentru a oferi un context socio-economic privind rolul SE în mijloacele lor de subsistenţă. Măsurătorile în parcele au fost efectuate cu un dispozitiv LiDAR portabil cu aplicaţia Arboreal instalată (Lindberg, 2020), urmând un regim de eşantionare corespunzător traseului instrumentului Global Ecosystem Dynamics Investigation (GEDI) (Blair et al., 2021). Datele secundare au fost obţinute din platforma Web of Science pentru a efectua o recenzie sistematică a metodelor de evaluare a SE în Africa de Est, utilizând cadrul Reporting Standard for Systematic Evidence Syntheses (ROSES) (Osewe et al., 2024a). Registrele cu vizitatorii turişti au fost, de

asemenea, obținute de la FKF-CFA pentru perioada 2020–2023 și utilizate exclusiv pentru a oferi context economic al constatărilor formulate în evaluarea principalelor SE pentru KFR.

1.6.1 Proiectarea chestionarului și planul de anchetă a părților interesate

Principalele părți interesate identificate pentru ancheta din KFR au inclus: (i) FKF-CFA, (ii) Fundația de Educație de Mediu a Pădurii Karura (KFEET), (iii) Organizația Comunitară (CBO) Huruma și (iv) KFS. Un total de 36 de membri ai CBO Huruma și 50 de reprezentanți ai FKF-CFA, KFEET și KFS au participat la anchetă. Chestionarele s-au axat pe percepțiile părților interesate cu privire la SE și impactul eliminării periodice a lemnului mort, realizate de CBO Huruma, astfel cum se detaliază în Tabelul 2. Aceste răspunsuri au fost înregistrate pentru a evalua percepțiile cu privire la beneficiile resimțite, precum și valorile directe și indirecte ale principalelor SE.

Tabelul 2. Rezumatul chestionarelor transmise principalelor părți interesate din KFR

Chestionare	Teme abordate
Beneficii percepute de părțile interesate: (i) FKF-CFA, (ii) KFEET și (iii) KFS	Î.1. Vârsta Î.2. Genul Î.3. Categoria de angajare Î.4. Perioada de angajare Î.5. Frecvența activității în Rezervația Forestieră Karura Î.6. Tipul de activitate desfășurată Î.7. Intervalul veniturilor lunare Î.8. Nivelul de satisfacție privind salariul Î.9. Percepții privind (a) angajarea, (b) salariul, (c) competențele, (d) nevoile financiare și (e) sentimentul de apartenență
Beneficii asociate cu îndepărtarea lemnului mort de către CBO Huruma	Î.1. Numele comunității/asociației Î.2. Participarea la activitățile de îndepărtare a lemnului mort Î.3. Sursele de informare privind activitățile de îndepărtare a lemnului mort Î.4. Cantitățile colectate Î.5. Beneficiile îndepărtării lemnului mort Î.6. Efectele percepute ale îndepărtării lemnului mort asupra comunităților adiacente Î.7. Nivelul de satisfacție privind activitățile de extracție a lemnului mort

În Județul Kakamega, a fost utilizată o tehnică de eşantionare cu sub-județele ca straturi, astfel cum se detaliază în Tabelul 3. S-a acordat prioritate gospodăriilor situate în zona de dependență față de mijloacele de subzistență, adică la 5-10 km de limita oficial recunoscută a KNFR. Pentru o reprezentativitate mai bună a fiecărui strat, dimensiunea eşantionului a fost mărită pentru a atinge un minim de 100 de respondenți în fiecare strat, menținând totodată proporționalitatea și structura stratificată a dimensiunii eşantionului.

Tabelul 3. Dimensiunea eşantionului pentru fiecare unitate administrativă aflată la limita KNFR

Sub-judeţele în care se află ecosistemul forestier Kakamega	Dimensiunea eşantionului-ţintă, cu nivel de încredere 95%, marjă de eroare 5%, proporţia populaţiei de 50%	Dimensiunea eşantionului majorată pentru straturi (n)	Numărul de gospodării per sub-judeţ (H)	Numărul de interval pentru ancheta la nivel de gospodărie de-a lungul drumurilor/străzilor/potecilor: Numărul de interval (i) = (H)/(n)
Sub-judeţul Lurambi	94	154	52.015	337
Sub-judeţul Shinyalu	93	153	39.589	258
Sub-judeţul Malava	68	112	26.049	232
Sub-judeţul Navakholo	68	112	27.671	247
Sub-judeţul Hamisi	61	100	26.964	269
Numărul total de gospodării-ţintă pentru anchetă	631			

Comunităţilor locale din zona de dependenţă faţă de KNFR le-au fost transmise două chestionare, pentru a capta informaţii detaliate privind dependenţa lor de principalele SE forestiere. Primul chestionar s-a axat pe utilizarea produselor forestiere tangibile, precum combustibilul, alimentele şi alte resurse esenţiale pentru mijloacele lor de subzistenţă, astfel cum se detaliază în Tabelul 4. Al doilea chestionar s-a concentrat pe percepţiile şi atitudinile faţă de SE culturale, astfel cum se rezumă în Tabelul 5.

Tabelul 4. Rezumatul chestionarului transmis comunităţilor locale din jurul KNFR

ÎNTREBĂRI	RĂSPUNSURI POSIBILE					
	a	b	c	d	e	f
Genul	Feminin	Masculin	Altul	Prefer să nu spun		
Ocupaţia sau locul de muncă	Agricultor	Funcţionar public	Pensionar	Liber profesionist		
Cât de des utilizaţi produse forestiere	Zilnic	Săptămânal	Lunar	Cel puţin o dată în 12 luni (un an)	Niciodată	
Ce produse forestiere utilizaţi cel mai frecvent?	Lemn de foc	Fructe (Persea americana)	Liane (<i>Mondia whitei</i>)	Cherestea	Plante medicinale (<i>Azadirachta indica</i>)	Altele (ciuperci) (<i>Auricularia auricula-judae</i>)
Cantitatea de produse forestiere utilizată în kilograme	Sub 20 kg	21 kg la 50 kg	51 kg la 80 kg	81 kg la 110 kg	Peste 111 kg	
Care este utilizarea principală a produselor forestiere?	Pentru vânzare şi profit (comercial)	Pentru uz casnic (subzistenţă)	Utilizare mixtă/comercială şi de subzistenţă			

Tabelul 5. Rezumatul chestionarului de evaluare a percepţiilor şi atitudinilor faţă de SE culturale

ÎNTREBĂRI	RĂSPUNSURI POSIBILE					
	a	b	c	d	e	f
Genul	Feminin	Masculin	Altul	Prefer să nu spun		
Nivelul de educaţie	Niciunul	Şcoală primară	Şcoală secundară	Studii superioare/Universitate	Şcoli specializate	
Aveţi o afiliere religioasă	Da	Nu	Nu ştiu	Prefer să nu spun		
Aţi plăti dacă intrarea ar fi cu taxă	Da	Nu	Nu ştiu	Prefer să nu spun		
Dacă intrarea ar fi cu taxă, cât aţi fi dispus să plătiţi (selectaţi un interval de preţ cu care v-aţi simţi confortabil, fără a vă afecta bugetul)	sub Ksh 75 (0,54 US\$)	Ksh 76 (0,55 US\$) la Ksh 150 (1,09 US\$)	Ksh 151 (1,10 US\$) la Ksh 300 (2,17 US\$)	Ksh 301 (2,18 US\$) la Ksh 600 (4,34 US\$)	Ksh 601 (4,35 US\$) la Ksh 900 (6,52 US\$)	Ksh 901 (6,53 US\$) la Ksh 1200 (8,69 US\$)
Aţi experimentat un sentiment de pace sau linişte în sanctuarele sacre	Da	Nu	Nu ştiu	Prefer să nu spun		
Aţi avut senzaţii fizice precum furnicături în sanctuarele sacre	Da	Nu	Nu ştiu	Prefer să nu spun		
Aţi avut vreo experienţă spirituală în sanctuarele sacre	Da	Nu	Nu ştiu	Prefer să nu spun		
Vizitele dumneavoastră v-au îmbunătăţit viaţa spirituală sau religioasă	Da	Nu	Nu ştiu	Prefer să nu spun		
V-aţi simţit conectat la o forţă superioară	Da	Nu	Nu ştiu	Prefer să nu spun		
Aţi recomanda altora să viziteze sanctuarele sacre	Da	Nu	Nu ştiu	Prefer să nu spun		

Chestionarele au fost transmise la nivel de gospodărie, iar selecţia gospodăriilor a fost efectuată prin aplicarea unui număr de interval pornind de la un punct de convergenţă, cum ar fi pieţele sau joncţiunile rutiere, astfel cum se arată în Figura 4. Pentru sanctuarele sacre Tiriki, cunoscute local drept „*sanctuarele Ikavakava*”, datele au fost colectate utilizând diversele sanctuare sacre ca puncte centrale de convergenţă.

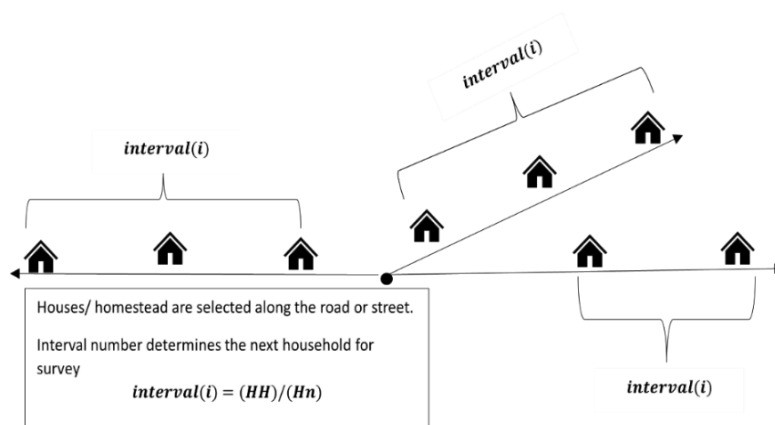


Figura 4. Schema de selecţie a gospodăriilor în cadrul anchetei de teren din Judeţul Kakamega

1.7 Colectarea datelor

Colectarea datelor a implicat integrarea teledetecției și a măsurătorilor de teren atât în KNFR, cât și în KFR. Datele de teledetecție au fost obținute din următoarele surse: produsul Hansen, Sentinel-2, Landsat 8 și GEDI. Măsurătorile de teren au fost efectuate utilizând un regim sistematic de eșantionare în parcele, corelat cu traseul GEDI în ambele arii de studiu.

1.7.1 Date de teledetecție

Datele de teledetecție au fost obținute din produsul Hansen (Pillay et al., 2022), care este o bază de date online cu acces liber ce cuantifică modificările globale ale pădurilor în intervalul de timp 2000–2020. Hansen et al. (2019) a demonstrat adecvarea acestui set de date pentru evaluarea modificărilor în ecosistemele de pădure tropicală umedă. Setul de date a fost accesat din depozit prin linkul permanent: <https://glad.earthengine.app/view/global-forest-change>. În continuare, datele utilizate pentru clasificarea compozitelor de imagini, în scopul comparării modificărilor acoperirii coronamentului față de produsele Hansen, au fost obținute de la Sentinel-2 și Landsat 7, în cadrul platformei Google Earth Engine (GEE) (Zhang et al., 2021a). Alte date de teledetecție obținute au inclus date GEDI pentru estimarea biomasei supraterestre (BST) în evaluarea stocului de carbon din KNFR și KFR. Datele spațiale descărcate au furnizat profiluri detaliate ale vegetației și variabile biofizice (Dixon et al., 2025; Fareed et al., 2025). GEDI este un instrument LiDAR cu formă de undă completă care utilizează impulsuri de lumină laser pentru a surprinde caracteristicile fizice și naturale ale pământului cu o precizie relativ ridicată, astfel cum se detaliază în Figura 5. Semnalele sale sunt înregistrate la intervale de nanosecunde și produc o formă de undă care relevă înălțimea coronamentului, structura verticală, acoperirea coronamentului și topografia. Acoperirea spațială extinsă a GEDI, cuprinsă între 51,6° N și 51,6° S, îl face adecvat pentru regiunile tropicale și subtropicale, oferind perspective valoroase pentru monitorizarea pădurilor și evaluarea stocurilor de carbon pentru ambele arii de studiu.

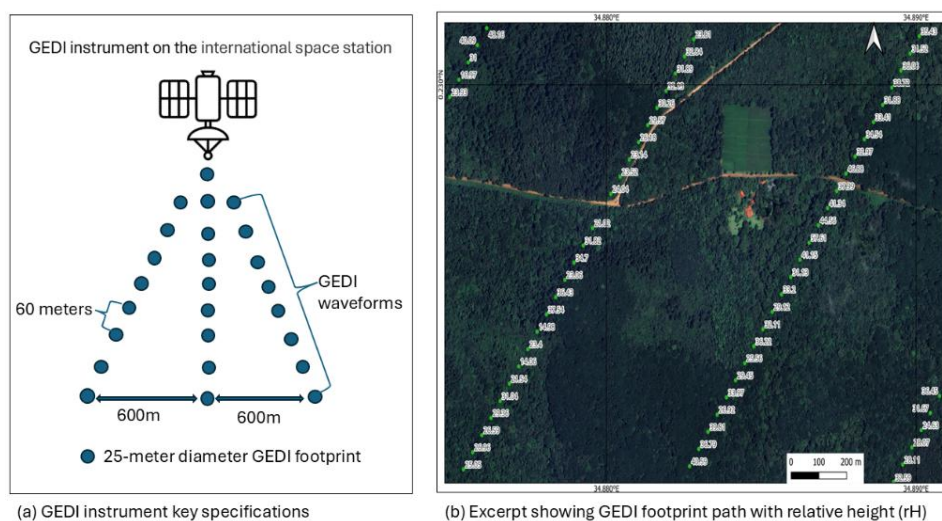


Figura 5. Specificațiile instrumentului GEDI și amprenta în aria de studiu (extras KNFR)]

Datele GEDI au fost convertite într-un cadru de date spațiale. Aceste variabile au fost ulterior exportate ca fișiere shapefile și suprapuse pe ariile de studiu pentru a stabili un regim de eșantionare

a parcelor georeferențiate. Parcelele de teren au coincis cu fasciculele GEDI pentru comparație, în vederea evaluării variabilității și abaterii în estimările BST, astfel cum este ilustrat în (articol publicat 5).

1.7.2 Date măsurate pe teren

Parcele circulare cu o suprafață de 500 m² au fost delimitate în amprenta GEDI, astfel cum se detaliază în Figura 6. În ambele ecosisteme forestiere, speciile de arbori au fost identificate individual, iar Diametrul la Înălțimea Pieptului (DHP) ≥ 10 cm a fost măsurat cu un dispozitiv LiDAR portabil, iar înălțimea medie a arborilor pentru fiecare parcelă a fost estimată utilizând aplicația Arboreal într-un mediu real, prin realitate augmentată (RA) (Lindberg, 2020; Sandim et al., 2023). Aplicația Arboreal a etichetat digital arborii măsurați în mediul RA, pentru a evita dublarea măsurătorilor. Parcelele au fost amplasate în secțiuni diferite, corespunzând cu amprenta GEDI, pentru a capta variațiile a trei tratamente, respectiv: secțiuni indigene neperturbate, secțiuni plantate care au fost curățate și replantate sub diverse regimuri și secțiuni neperturbate de pădure primară în ambele ecosisteme.

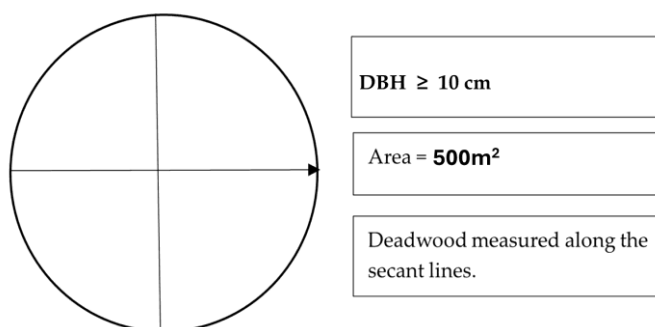


Figura 6. Dimensiunea și forma parcelor de teren utilizate pentru măsurători

1.8 Fluxul de lucru al măsurătorilor de teren și al activităților de anchetă

Măsurătorile parcelor de teren din KFR au fost efectuate în zilele lucrătoare. Pe durata măsurătorilor de teren, speciile de arbori au fost identificate de un taxonomist desemnat de la KEFRI, împreună cu un ranger-ghid din partea FKF-CFA. Activitățile de măsurare a parcelor au fost excluse marți și vineri, zile desemnate pentru colectarea lemnului mort de către CBO locale din comunitatea Huruma, sub supravegherea KFS și a FKF-CFA. În aceste zile desemnate, au fost organizate discuții de grup cu CBO. În KNFR, activitățile de măsurare a parcelor și anchetele la nivel de gospodărie au fost separate din cauza suprafeței extinse și a caracterului fragmentat al acesteia. Zilnic au fost măsurate minimum trei parcele. La nivelul parcelor, speciile de arbori au fost identificate de un taxonomist desemnat de la KEFRI, în colaborare cu rangerii KFS de la Sub-stația Shinyalu. Anchetele la nivel de gospodărie au fost realizate în Județul Kakamega și în părți din Județul Vihiga, în zonele unde vârful sudic al KNFR se extindea. Gospodăriile anchetate au fost distribuite de-a lungul marginii forestiere, acoperind sub-județele Lurambi, Shinyalu, Navakholo, Malava și Hamisi. Pentru a atinge minimul vizat de 100 de răspunsuri per sub-județ, cinci enumeratori au organizat ateliere de grup de patru ore cu cel puțin cinci lideri CFA în fiecare dintre cele cinci sub-județe, anterior distribuirii chestionarelor. Aceste sesiuni interactive au fost desfășurate pentru a identifica preferințele de

utilizare a principalelor SE. Chestionarele au fost distribuite cu un obiectiv minim de administrare a 25 de chestionare pe zi în fiecare sub-judeţ.

1.9 Procesarea şi analiza datelor

Datele de teledetecţie au fost procesate printr-o serie de etape. Imaginile produsului Hansen cu o acoperire de nori mai mică de 10% au fost filtrate pentru a crea compozite pentru analize ulterioare în GEE şi software-ul QGIS (Ma et al., 2023; Seidler, 2017). Imaginile satelitare de la Sentinel-2 şi Landsat 7, acoperind perioada 2000–2020, au fost reclasificate pentru a genera compozite pentru analiza densităţii suprafeţei forestiere (FAD) şi analiza morfologică a tiparului spaţial (MSPA), utilizând software-ul Guidos (Vogt et al., 2017). Formele de undă GEDI cu o fidelitate mai mare de 0,95 au fost selectate şi filtrate prin aplicarea unei diferenţe maxime admisibile de 50 de metri între cea mai joasă elevaţie detectată de GEDI şi elevaţia reală a terenului. Datele filtrate au fost utilizate pentru a estima BST pentru KFR şi KNFR. Estimările BST au fost convertite în echivalent de carbon, furnizând estimări ale stocului de carbon în ambele ecosisteme forestiere. O analiză structurată a răspunsurilor din anchete a fost realizată în RStudio (Nguyen et al., 2022a), pentru a evalua impactul socio-economic al SE furnizate de KFR şi KNFR, precum şi percepţiile comunităţilor din jur. Pentru KFR, datele colectate de la FKF-CFA şi CBO Huruma au fost categorizate şi codificate numeric pentru analiza statistică descriptivă (Saginova et al., 2020). Pentru KNFR, seturile de date din sub-judeţele Lurambi, Shinyalu, Navakholo şi Malava au fost îmbinate într-un singur set de date cu coloană numerică, axat pe analiza SE tangibile. Setul de date pentru evaluarea SE culturale din sub-judeţul Hamisi a fost analizat separat, utilizând instrumente statistice descriptive similare (Romanazzi et al., 2023).

1.9.1 Analiza datelor de teledetecţie

Analiza datelor privind modificările acoperirii coronamentului forestier a utilizat produsul Hansen ca date de intrare şi le-a procesat pe platforma GEE (Zhang et al., 2021b). Mai întâi, au fost aplicate algoritmi de învăţare automată pentru a identifica şi reclasifica pixelii în categoriile „câştig” şi „pierdere”. Pixelii reclasificaţi au fost agregaţi pentru a produce un rezumat statistic, cuantificând amploarea pierderii acoperirii forestiere pe parcursul a două decenii (2000–2020) în KNFR. Setul de date Hansen a fost reclasificat pentru a produce o hartă raster binară pentru o analiză MSPA, care a atribuit valori de densitate diferenţiate zonelor împădurite şi neîmpădurite din aria de studiu (Soille et al., 2022). Aceasta a facilitat analiza fragmentării forestiere şi a schimbărilor de habitat în KNFR (Ye et al., 2020). Pentru estimarea BST, datele din formele de undă GEDI selectate cu o fidelitate mai mare de 0,95 au fost descărcate, extrase şi procesate în RStudio (Kellner et al., 2023). Acest flux de lucru a produs variabile de cadru de date spaţiale, care au fost reclasificate pentru analize ulterioare în QGIS, pentru a stabili poziţiile parcelelor de teren coincidente. Predictorii au fost derivaţi prin filtrarea imaginilor Sentinel-2 pentru a elabora un model de învăţare automată utilizând algoritmul Pădure Aleatoare (RF) (Niето et al., 2024). Variabilitatea şi abaterea au fost evaluate utilizând diferenţa relativă dintre estimările BST din măsurătorile de teren ale parcelelor coincidente cu traseul GEDI faţă de estimările din modelul integrat GEDI-RF.

1.9.2 Analiza datelor măsurate pe teren și a datelor din interviuri

În ambele arii de studiu, datele din anchete colectate au fost convertite într-un format numeric cu o singură coloană, cu solicitările din chestionar reclasificate în categorii codificate și răspunsurile reprezentate ca valori numerice (Nguyen et al., 2022b). Setul de date pentru KFR a fost convertit într-un format text delimitat și analizat în RStudio. A fost efectuată o analiză statistică descriptivă pentru a examina percepțiile membrilor FKF-CFA privind SE derivate din KFR (Krause et al., 2020). În plus, a fost efectuat un test exact Fisher (Jeff et al., 2012), pentru a evalua diferențele în nivelurile de satisfacție pe categorii de muncă în rândul membrilor FKF-CFA, ca indicator al beneficiului direct din KFR. Pentru KNFR, cele patru seturi de date privind SE tangibile au fost îmbinate într-un set de date cu coloană numerică, în timp ce setul de date privind SE intangibile a fost analizat separat. Ambele seturi de date au fost reclasificate în categorii codificate, cu răspunsurile reprezentate ca valori numerice, apoi convertite într-un format text delimitat pentru analizarea în RStudio. Analiza statistică descriptivă a fost efectuată utilizând mediana ponderată per categorie de produse forestiere colectate, pentru a estima cantitatea colectată în kg per an. Aceste cantități au fost ulterior înmulțite cu prețurile de piață pentru a estima valoarea lor economică. Datele au fost testate pentru normalitate utilizând testul Shapiro-Wilk, pentru a determina abordarea statistică parametrică sau neparametrică corespunzătoare; acolo unde ipotezele parametrice au fost satisfăcute, a fost efectuată o analiză a varianței (ANOVA) pentru a evalua diferențele dintre mediile produselor forestiere colectate pe categorii socio-economice, cum ar fi munca, genul și utilitatea (Kim, 2014). Pentru setul de date privind SE intangibile, disponibilitatea de plată (WTP) a fost analizată pe baza sumelor de preț selectate de respondenți în chestionar (Pedroso et al., 2019). A fost efectuat, de asemenea, un test ANOVA pentru a determina influența principalilor factori, precum religia și nivelul de alfabetizare, asupra SE culturale ale sanctuarelor sacre. În ambele ecosisteme, setul de date al parcelelor măsurate pe teren a inclus coordonatele parcelelor, numărul de arbori măsurați per parcelă, speciile de arbori din parcele, DHP al fiecărui arbore și înălțimea medie a arborilor din parcelă per specie. Fiecărei parcele i-a fost atribuit un ID unic în cadrul setului de date. Analiza statistică descriptivă în RStudio, bazată pe ecuații alometrice specifice sitului și specifice speciei, a fost utilizată pentru calcularea biomasei pentru fiecare specie. Biomasa agregată per parcelă a fost ulterior utilizată pentru a compara estimările BST derivate din modelul GEDI-RF. Pentru a estima stocul de carbon pentru fiecare ecosistem, biomasa a fost convertită în echivalenți de carbon (CO_2) utilizând factorul de conversie al Grupului Interguvernamental pentru Schimbări Climatice (IPCC) (Clarke, 2023). Valoarea monetară a carbonului a fost apoi calculată în dolari SUA (US\$) per tonă metrică de echivalent CO_2 , pe baza prețurilor stabilite în Schema de comercializare a emisiilor a UE (ETS) (EU, 2024).

1.10 Rezumatul designului de cercetare și al fluxului de lucru

Această cercetare doctorală sintetizează cinci publicații cu recenzie inter pares într-o analiză coerentă care leagă furnizarea SE, arhitectura de guvernare forestieră, perspectivele părților interesate și finanțarea bazată pe natură, astfel cum se detaliază în Figura 7. Designul selectează ecosisteme gestionate (KFR) față de negestionate (KNFR) pentru a compara contextele ecologice instituționale, cu

scopul de a dezvălui determinanții livrării SE și valoarea capitalului natural. Secvența din Capitolele 2–6 se construiește cumulativ pornind de la articol publicat 1, care conturează lacunele regionale ale SE, apoi articol publicat 2, care stabilește starea ecologică în termenii structurii și acoperirii forestiere. articol publicat 3 și 4 oferă evaluări socio-ecologice ale principalelor SE în dimensiunile bunăstării urbane față de mediul rural. Articol publicat 5 testează robustețea metodologică a tehnicilor de teledetecție utilizând GEDI pentru estimarea BST în vederea calculării stocului de carbon.

Capitolele sunt organizate după cum urmează:

- Capitolul 1: Cadru conceptual, design de cercetare și structura tezei
- Capitolul 2: Recenzia impactului factorilor contextuali globali și regionali asupra evaluării și percepției SE. **(articol publicat 1)**
- Capitolul 3: Evaluarea modificărilor ecologice în structura forestieră, acoperirea coronamentului și implicațiile acestora asupra furnizării SE. **(articol publicat 2)**
- Capitolul 4: Evaluarea principalelor SE furnizate de KFR și rolul lor în bunăstarea socio-economică a comunităților din jur. **(articol publicat 3)**
- Capitolul 5: Evaluarea principalelor SE furnizate de KNFR și a factorilor socio-economici care influențează dependența de resursele forestiere a comunităților rurale. **(articol publicat 4)**
- Capitolul 6: Evaluarea performanței tehnicilor de teledetecție în estimarea BST pentru determinarea stocului de carbon în pădurile gestionate (KFR) față de cele negestionate (KNFR) din Kenya. **(articol publicat 5)**
- Capitolul 7: Analiza comparativă a constatărilor cercetării
- Capitolul 8: Contribuții originale ale cercetării
- Capitolul 9: Concluzii și implicații pentru cercetările viitoare

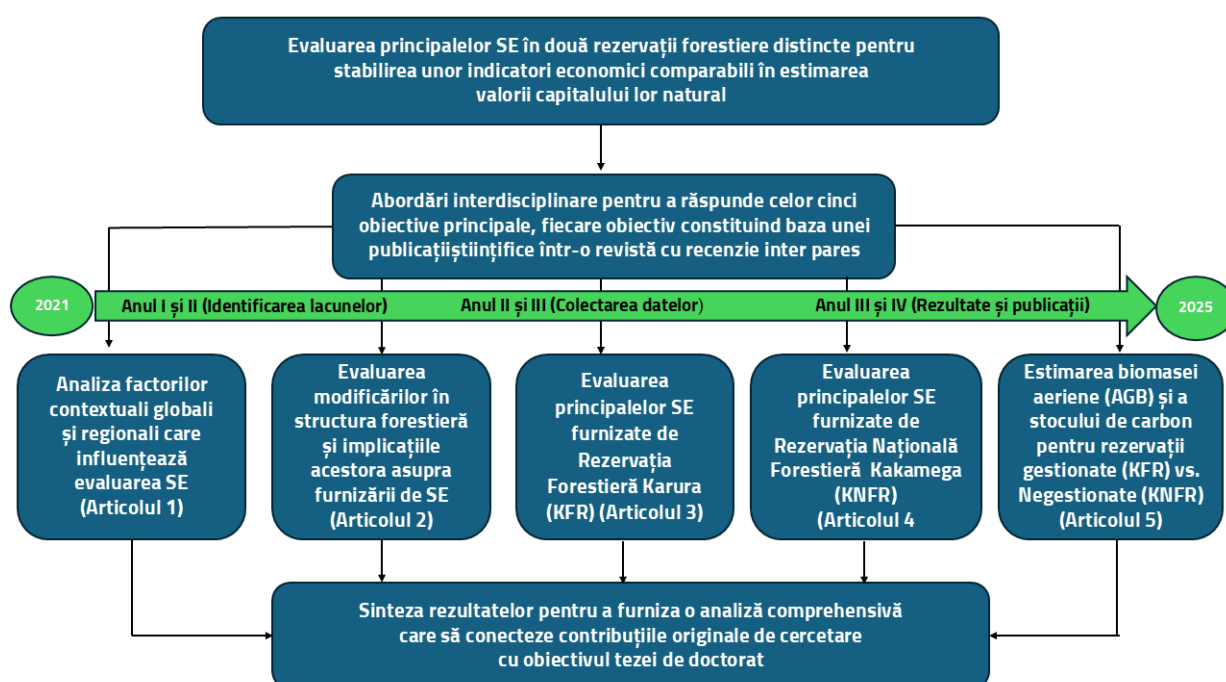


Figura 7. Fluxul de lucru al cercetării doctorale

1.11 Limitele cercetării

Următoarele limitări sunt recunoscute în această cercetare: (1) Datele socio-economice au fost colectate pe parcursul unei singure perioade de teren, ceea ce este în concordanță cu practica standard de evaluare transversală a SE, deși studiile longitudinale ar consolida și mai mult constatările temporale ale estimărilor economice anuale derivate din medianele ponderate. (2) Valorile SE de aprovizionare au fost derivate din prețurile pieței locale la momentul activității de teren, care sunt susceptibile de variații sezoniere și inflaționiste; cu toate acestea, metodele bazate pe prețul de piață rămân cea mai transparentă și larg aplicată abordare pentru evaluarea SE de aprovizionare. (3) Evaluările SE culturale reflectă percepțiile respondenților captate prin chestionare structurate, mai degrabă decât evaluări longitudinale sau etnografice, care s-ar putea să nu surprindă pe deplin dimensiunile relaționale și intergeneraționale ale valorilor spirituale asociate sanctualelor „lkavakava”; cu toate acestea, designul cu metode mixte care integrează discuții de grup alături de chestionare a atenuat această constrângere. (4) Dimensiunea parcelei de 500 m² poate subestima variabilitatea spațială și compoziția speciilor în coronamentul eterogen cu mai multe straturi al KNFR; cu toate acestea, această dimensiune a parcelei este în concordanță cu abordările de inventar al pădurilor tropicale pentru validarea la nivel de parcelă a instrumentelor lidar spatiobornate corelate cu traseele fasciculelor GEDI. (5) Absența măsurătorilor individuale ale înălțimii arborilor la nivel de parcelă a introdus o abatere în estimările BST și ale stocului de carbon, în special în parcelele din afara traseului GEDI; cu toate acestea, acest prag este în concordanță cu protocoalele standard de inventar al pădurilor tropicale, iar analiza heteroskedasticității a cuantificat variabilitatea și abaterea rezultante ale modelului în ambele ecosisteme forestiere.

CAPITOLUL 2: RECENZIA FACTORILOR GLOBALI ȘI REGIONALI CARE AFECTEAZĂ EVALUAREA SERVICIILOR ECOSISTEMICE. (ARTICOL PUBLICAT 1)

Osewe, E. O., Popa, B., Vacik, H., Osewe, I., & Abrudan, I. V. (2024). Review of forest ecosystem services evaluation studies in East Africa. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 12.

<https://doi.org/10.3389/fevo.2024.1385351>

Acest capitol a contextualizat tendințele de evaluare a SE, preferințele metodologice și influențele socio-economice asupra percepției SE la scară regională. Acesta a contribuit la cercetarea doctorală prin furnizarea unei meta-analize privind indicatorii comparativi ai evaluării economice a capitalului natural. A identificat cele mai utilizate metode de evaluare a SE în Africa de Est: metodele bazate pe prețul de piață la 14,9% pentru serviciile de aprovizionare și metodele costului de deplasare la 10,4% pentru serviciile culturale. A stabilit că abordările de teledetecție la 14,7% au fost preferate pentru ecosistemele de pădure tropicală, iar interviurile la nivel de gospodărie la 11,8% au fost preferate dintre abordările participative. Acest capitol constată că serviciile de aprovizionare au fost cele mai evaluate la 55%, urmate de serviciile de reglare la 30%, serviciile de suport la 8,6% și serviciile culturale la 6,4%. Aceasta a demonstrat modul în care comunitățile au prioritizat diferit SE în funcție de

dependenţele economice şi condiţiile ecologice. A reflectat, de asemenea, o preferinţă metodologică spre SE observabile din punct de vedere economic şi măsurabile tehnic. Acest capitol a evidenţiat subevaluarea sistematică a SE intangibile în literatura de evaluare din Africa de Est şi a recomandat implicarea părţilor interesate la nivel local, integrând evaluarea SE în cadrele de politici pentru managementul durabil al resurselor.

CAPITOLUL 3: MODIFICĂRI ECOLOGICE ÎN STRUCTURA FORESTIERĂ, ACOPERIREA CORONAMENTULUI ŞI IMPLICAȚIILE LOR ASUPRA FURNIZĂRII SERVICIILOR ECOSISTEMICE. (ARTICOL PUBLICAT 2)

Osewe, E. O., Ni ă, M. D., & Abrudan, I. V. (2022). Assessing the Fragmentation, Canopy Loss and Spatial Distribution of Forest Cover in Kakamega National Forest Reserve, Western Kenya. *Forests*, 13(12). <https://doi.org/10.3390/f13122127>

Acest capitol a abordat fragmentarea şi pierderea coronamentului, legând modificările ecologice din structura forestieră de cantitatea şi calitatea SE furnizate în KNFR. A furnizat analiza detaliată a fragmentării care a estimat cantitativ pierderea acoperirii forestiere la 826,60 ha pe o perioadă de 20 de ani (2000 to 2020) în KNFR. Constatările au evidenţiat modul în care fragmentarea şi pierderea coronamentului au modificat interacţiunile dintre specii, ducând la pierderea habitatelor, cu o creştere a stratului dominant cu 8,5% şi o scădere de 2,5% a stratului interior. Expansiunea agricolă a reprezentat principalul factor antropogenic al fragmentării, reflectând dependenţa nerezolvată faţă de mijloacele de subzistenţă a comunităţilor adiacente pădurilor, ilustrată de o modificare de 96% a stratului nucleu şi o creştere de 14% a clasei stratului de deschideri. Fragmentarea a afectat SE, cum ar fi stocul de carbon, cu un echivalent de 123.494 de megagrame de carbon emise din cauza pierderii acoperirii forestiere. Acest capitol recomandă politici de conservare forestieră bazate pe comunitate, inclusiv managementul resurselor centrat pe comunitate şi programe alternative de mijloace de subzistenţă, pentru a preveni dependenţa de mijloacele de subzistenţă a comunităţilor adiacente pădurilor.

CAPITOLUL 4: EVALUAREA PRINCIPALELOR SERVICII ECOSISTEMICE FURNIZATE DE REZERVAȚIA FORESTIERĂ KARURA ŞI ROLUL LOR ÎN BUNĂSTAREA COMUNITĂȚILOR DIN JUR. (ARTICOL PUBLICAT 3)

Osewe, E. O., Popa, B., Kagombe, J. K., Osewe, I., & Abrudan, I. V. (2025). Ecosystem services values for local people in participatory forestry context: The case of Karura urban forest reserve. *Trees, Forests and People*, 100834. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2025.100834>

Acest capitol a oferit perspective asupra impactului abordărilor de management forestier participativ asupra silviculturii urbane din Sudul Global. A evaluat SE din KFR faţă de perspectivele personalului

FKF-CFA şi ale CBO Huruma. A estimat valoarea economică a SE directe şi indirecte din KFR la 526.027 US\$ anual. Aceasta a inclus salariile personalului FKF-CFA, veniturile din taxele de intrare ale vizitatorilor şi evaluarea monetară a lemnului mort colectat. Beneficiile directe ale SE pentru personalul FKF-CFA au avut o valoare anuală de 91.656 US\$. Aceasta a evidenţiat importanţa managementului forestier participativ şi a demonstrat modul în care implicarea comunităţii în angajare, colectarea lemnului mort şi eforturile de conservare contribuie atât la beneficii ecologice, cât şi la îmbunătăţirea mijloacelor de subzistenţă. 58% din totalul personalului FKF-CFA erau lucrători ocazionali proveniţi în principal din comunitatea locală din jur. Prin urmare, abordarea silviculturii urbane participative a furnizat o sursă suplimentară de venituri la nivel de gospodărie. KFR s-a dovedit viabilă din punct de vedere financiar datorită veniturilor constante din ecoturism estimate la 412.414 US\$ pe an faţă de obligaţiile salariale faţă de personalul FKF-CFA estimate la 91.656 US\$ pe an. Aceste constatări au demonstrat viabilitatea fiscală a co-managementului participativ la KFR şi au furnizat beneficii măsurabile pentru mijloacele de subzistenţă ale comunităţilor adiacente. Prin corelarea SE cu indicatorii economici, abordarea de management pentru KFR a arătat un impact pozitiv pentru îmbunătăţirea mijloacelor de subzistenţă şi potenţial de scalabilitate, devenind un model adecvat pentru replicare în alte păduri urbane din Kenya.

CAPITOLUL 5: EVALUAREA PRINCIPALELOR SERVICII ECOSISTEMICE FURNIZATE DE REZERVAŢIA FORESTIERĂ NAŢIONALĂ KAKAMEGA ŞI A FACTORILOR SOCIO-ECONOMICI CARE INFLUENŢEAZĂ DEPENDENŢA FORESTIERĂ. (ARTICOL PUBLICAT 4)

Osewe, E. O., Popa, B., Vacik, H., Kagombe, J. K., Osewe, I., & Abrudan, I. V. (2025). Unlocking pathways to livelihood improvement through valuation of ecosystem services in Kakamega Forest, Kenya. *Trees, Forests and People*, 101031. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2025.101031>

Acest capitol a abordat factorii socio-economici care afectează dependenţa de resursele forestiere a comunităţilor rurale din jurul KNFR din vestul Keniei. A evaluat SE furnizate de KNFR şi factorii socio-economici care influenţează amploarea dependenţei de resursele forestiere a comunităţilor rurale. A estimat evaluarea anuală totală pentru SE tangibile la 283.362 US\$, care a cuprins viţă-de-vie (*Mondia whitei*) la 74.786 US\$, lemn de foc la 73.513 US\$, fructe (*Persea americana*) la 72.860 US\$, plante medicinale 39.320 US\$, lemn de construcţie 12.801 US\$ şi ciuperci (*Auricularia auricula-judae*) la 8.015 US\$. Pentru SE intangibile, 93% din respondenţi au arătat o disponibilitate de plată (WTP) în intervalul de preţ cuprins între 0,55 US\$ şi 2,17 US\$ pentru SE spirituale. Acest capitol a stabilit că comunităţile de la marginea pădurilor aveau o preferinţă puternică pentru SE tangibile; lemnul de foc la 49% a constituit cel mai frecvent utilizat produs forestier din totalul produselor culese. Factorii socio-demografici au influenţat dependenţa faţă de mijloacele de subzistenţă de resursele forestiere, cum ar fi genul, ocupaţia şi utilitatea produselor forestiere. 66% din totalul produselor forestiere

culese au aparținut femeilor față de 33% bărbaților, în timp ce doar 9% aveau angajare formală ca funcționari publici față de 90% care erau fie fermieri (43%), lucrători pe cont propriu (45%) sau pensionari (2%). Mai mult, 68% din produsele culese erau pentru subzistență, în timp ce 30% erau pentru uz comercial. În consecință, puțini respondenți aveau venituri suplimentare la nivel de gospodărie din vânzarea produselor culese și acces limitat la surse de energie alternative la biocombustibili. Au fost propuse scheme PSE pentru a reduce dependența față de SE forestiere prin asigurarea unor fluxuri de venituri diversificate prin întreprinderi bazate pe păduri, cum ar fi apicultura și adăugarea de valoare pentru *Mondia whitei* și *Auricularia auricula-judae*. Acest capitol a oferit o perspectivă holistică și nuanțată asupra interconexiunilor dintre utilizarea resurselor și comunitățile rurale. A evidențiat importanța abordărilor de management forestier centrate pe oameni prin evaluarea SE, oferind perspective privind eficacitatea pe termen lung a soluțiilor bazate pe natură cu înrădăcinare locală.

CAPITOLUL 6: LIMITĂRILE TEHNICILOR DE TELEDETECTIE ÎN ESTIMAREA BIOMASEI SUPRATERESTRE PENTRU DETERMINAREA STOCULUI DE CARBON ÎN REZERVAȚIILE FORESTIERE GESTIONATE FAȚĂ DE CELE NEGESTIONATE DIN KENYA. (ARTICOL PUBLICAT 5)

Osewe, E. O., Daniel Niță, M., Islam Keskes, M., Osewe, I., & Vasile Abrudan, I. (2025). Assessing spatial dynamics of GEDI biomass prediction in managed versus unmanaged tropical forest ecosystems in Kenya. *Annals of Forest Research*, 68(2), 97–116.
<https://doi.org/10.15287/afr.2025.4245>

Acest capitol a evaluat performanța tehnicilor de teledetectie în estimarea BST pentru determinarea stocului de carbon în păduri gestionate (KFR) față de negestionate (KNFR). A furnizat o măsură a limitei utilizării modelului GEDI-RF față de modelele bazate pe măsurători de teren în două scenarii de parcele coincidente, în condiții diferite de structură a arboretului forestier (gestionate față de negestionate) din Kenya. Modelul integrat GEDI-RF a îmbunătățit acuratețea estimării BST prin completarea lacunelor din zonele cu rețea de puncte unde amprenta GEDI era absentă și a asigurat o acoperire spațială continuă. Modelul GEDI-RF a avut o variabilitate ridicată și o precizie scăzută în KNFR (valoarea p de 0,005 pentru heteroskedasticitate) din cauza structurilor dense ale coronamentului pădurilor primare, în timp ce a demonstrat o variabilitate scăzută și o precizie ridicată în KFR (valoarea p de 0,195 pentru heteroskedasticitate). 55% din parcelele care coincideau cu GEDI au avut mai puțin de 10% diferență relativă în estimările BST dintre modele. În ambele ecosisteme forestiere, modelul GEDI-RF a supraestimat valorile $\leq 100 \text{ Mg ha}^{-1}$ și a subestimat valorile $\geq 200 \text{ Mg ha}^{-1}$. Evaluarea comparativă pe ecosisteme forestiere gestionate (KFR) față de negestionate (KNFR) a dezvăluit variabilitate în performanța modelului între diferite structuri de arboret și a oferit o

metodologie practică în contextele tropicale cu resurse limitate din Sudul Global. Acest capitol propune o abordare de teledetecție replicabilă, rentabilă și scalabilă care a utilizat GEDI pentru a îmbunătăți acuratețea estimărilor BST și ale stocului de carbon în pădurile tropicale unde datele NFI lipsesc sau sunt limitate.

CAPITOLUL 7: ANALIZA COMPARATIVĂ A CONSTATĂRIILOR CERCETĂRII

Acest capitol examinează compromisurile și sinergiile din principalele categorii și domenii ale SE, stabilind legăturile dintre constatările empirice din cele cinci studii și perspectivele teoretice, de politici și de guvernare. Prin urmare, abordează ceea ce devine analitic vizibil atunci când analizele ecologice, socio-economice și geospațiale sunt interpretate în combinație.

7.1 Sintează transversală a furnizării și evaluării serviciilor ecosistemice în Rezervația Forestieră Națională Kakamega și Rezervația Forestieră Karura

Regimul de management, profilul socio-economic al comunităților adiacente și configurația spațială a fiecărei rezervații forestiere interacționează pentru a determina atât natura, cât și amploarea livrării principalelor SE în toate cele patru categorii principale de SE. Tabelul 9 prezintă această comparație pe KFR și KNFR, dezagregând diferențele în ceea ce privește furnizarea, evaluarea și contextul de guvernare.

Tabelul 9. Furnizarea comparativă a SE, evaluarea și contextul de guvernare pe KFR și KNFR

Categoria de SE	Dimensiune	KFR (urban / gestionat)	KNFR (rural / negestionat)
Aprovizionare	Utilizare principală	Colectarea lemnului mort de către membrii CBO Huruma în zilele desemnate; acces strict supravegheat de FKF-CFA și KFS	Lemn de foc, <i>Mondia whitei</i> , plante medicinale (<i>Azadirachta indica</i>), Persea americana, cherestea și <i>Auricularia auricula-judae</i> ; acces nesupravegheat
	Valoare anuală	21.957 US\$ (din colectarea lemnului mort)	283.362 US\$ (portofoliul total daprovizionare)
	Factor determinant al extracției	Gospodării urbane cu venituri medii, cu acces la surse alternative de energie; dependență structurală scăzută	Mijloace de subsistență (90% dintre gospodăriile chestionate); fără surse alternative de energie viabile
Reglare	Stocul de carbon	Densitatea AGB de 177 Mg/ha, cu o valoare CO ₂ e de 3,2 milioane US\$	Densitatea AGB de 106 Mg/ha, cu o valoare CO ₂ e de 123 milioane US\$
	Performanța modelului AGB	Valoare P de 0,195 pentru heteroscedasticitate, variabilitate scăzută cu precizie ridicată în ecosistemul forestier urban, gestionat	Valoare P de 0,005 pentru heteroscedasticitate, variabilitate ridicată cu precizie scăzută în pădurea tropicală nederanjată, negestionată
Culturală	Serviciu principal	Ecoturism; utilizare recreativă de către vizitatorii urbani	Servicii spirituale centrate pe sanctuarele sacre Tiriki "Ikavakava"; ecoturism limitat de fragmentare
	Indicator de evaluare economică	412.414 US\$ pe an (venituri din ecoturism; metoda preferinței relevate)	93% dintre respondenți au o disponibilitate de plată (WTP) în intervalul de preț de KES 76 (0,55 US\$) la KES 300 (2,17 US\$); WTP nu este corelată semnificativ cu afilierea religioasă (ANOVA P = 0,5152)
	Provocarea evaluării	Apropiată de piață; ușor de captat prin metode convenționale	Valoare constitutivă a identității culturale; parțial captată prin metoda WTP, dar nu pe deplin comensurabilă cu indicatori monetari
Suport	Conectivitatea habitatelor	Tratamentele silviculturale mențin habitatul pentru speciile relevante pentru ecoturism; conservarea biodiversității este determinată de dependența de venituri	826,60 ha pierdute în 20 de ani; rețelele de polenizatori și de dispersie a semințelor sunt perturbate; declin progresiv al biodiversității
	Răspunsul de guvernare	Împrejmuirea integrală a perimetrului și punctele de acces monitorizate previn extinderea încălcărilor	Protecția legală fără infrastructură de aplicare nu a stopat fragmentarea; absența unor măsuri de conectivitate la nivel de peisaj

Această cercetare a relevat diferențe între valoarea capitalului natural și arhitectura de guvernanta din ambele rezervații forestiere. De exemplu, KNFR deține un stoc de carbon de aproximativ 38 de ori mai mare decât cel al KFR, susține o economie de aprovizionare evaluată la 283.362 US\$ pe an și cuprinde sanctuare sacre cu semnificație culturală, cu o disponibilitate de plată demonstrată. A pierdut 826,60 ha de acoperire forestieră pe parcursul a două decenii, echivalentul eliberării a 123.494 Mg CO₂e. KFR, prin comparație, deține un stoc de 53.724 Mg CO₂e cu pierderi de habitat neglijabile. Această asimetrie a reflectat diferențe în ceea ce privește dimensiunea, arhitectura de guvernanta, influența părților interesate și presiunile comunităților forestiere locale, mai degrabă decât dotarea ecologică. Modelul de co-management FKF-CFA la KFR, combinând împrejmuirea perimetrală, punctele de acces monitorizate, legăturile de venituri CBO și un flux de venituri din ecoturism de 412.414 US\$ pe an, a transformat o pădure urbană secundară într-o unitate de conservare stabilă, autofinanțată. Deși KNFR deține activul ecologic mai mare, îi lipsește o arhitectură de guvernanta comparabilă pentru a-l conserva eficient. Acest tipar este în concordanță cu teoria co-managementului adaptativ (Demie & Tufa, 2025; Laichena, 2021), care susține că capacitatea de guvernanta, mai degrabă decât desemnarea legală, determină rezultatele conservării. Aceste constatări sugerează că extinderea contabilizării capitalului natural și a finanțării bazate pe natură în sectorul forestier din Kenya necesită un design instituțional capabil să traducă valoarea SE în structuri de stimulente durabile pentru administrarea comunitară.

O a doua diferență semnificativă identificată a fost valoarea extractivă pe care comunitățile adiacente pădurilor o derivă din KNFR și SE de reglare pe care extracția le-a epuizat progresiv. În KNFR, BST ridicată susține stocuri de carbon ridicate, ambele erodate de presiunea extractivă a gospodăriilor de subzistență. Acest compromis dintre aprovizionare și reglare provine din absența alternativelor economice pentru comunitățile adiacente. 9% din respondenții anchetati din jurul KNFR aveau angajare formală ca funcționari publici, în timp ce un cumulativ 90% erau fie pensionari la 2%, lucrători pe cont propriu la 45%, fie fermieri la 43%. Prin contrast, salariul median pentru 34% din lucrătorii FKF-CFA din KFR era peste 29.530 KES, ceea ce îi categorizează drept grup de venituri medii pentru gospodăriile din Nairobi. Prin urmare, extracția din păduri a constituit un răspuns rațional la sărăcia structurală, mai degrabă decât un comportament irațional. Intervențiile care abordează simptomele ecologice, fără a aborda condițiile de subzistență subiacente, ar eșua în modificarea traiectoriei de fragmentare în KNFR. Pierderea de habitat la KFR a rămas neglijabilă deoarece comunitățile adiacente pădurilor aveau un interes financiar în continuitatea pădurii, mai degrabă decât în epuizarea ei. KFR a ilustrat ce devine posibil atunci când un model de co-management precum FKF-CFA creează o structură de venituri prin angajare în cadrul sistemului de conservare, care a înlocuit necesitatea extracției.

Această cercetare contribuie cu o dimensiune empirică la limitele literaturii de valoare economică totală (VET) recunoscute în contextul SSA. Cadrul VET (Djenontin et al., 2024; Jagger et al., 2022) surprinde dimensiunea extractivă ceea ce comunitățile derivă din ecosistemele forestiere și costul ecologic al acelei extracții dar nu poate contabiliza constrângerile structurale ale mijloacelor de subzistență care o determină.

O a treia diferență identificată de această cercetare a fost comensurabilitatea SE culturale în cadrele standard de evaluare. Meta-analiza din Africa de Est a identificat serviciile spirituale în doar 13% din evaluările culturale, față de 44% pentru veniturile din ecoturism. Această disparitate nu reflectă importanța relativă a acestor SE pentru comunități; mai degrabă, reflectă tendința structurală a metodelor de preferință revelată față de valorile SE care furnizează tranzacții observabile de piață. În KNFR, sanctuarele „Ikavakava” Tiriki au constituit elemente de bază ale identității comunitare și ale relațiilor forestiere, nu atribute culturale periferice. 93% din respondenți și-au exprimat disponibilitatea de plată între KES 76 (0,55 US\$) și KES 300 (2,17 US\$) specific pentru accesul la sanctuare. Această disponibilitate de plată nu a arătat nicio corelație semnificativă cu apartenența religioasă, ceea ce a indicat o atașare culturală largă care a transcens granițele denominaționale. Constatările au evidențiat modul în care cadrele standard subvaluează sistematic astfel de valori spirituale constitutive, cu implicații pentru proiectarea co-beneficiilor REDD+ și negocierile de management forestier participativ. Această cercetare stabilește că monetizarea serviciilor spirituale necesită o integrare deliberată dincolo de indicatorii bazați pe piață, pentru a asigura o distribuire echitabilă a beneficiilor. Această constatare a expus o limită recunoscută a comensurării monetare în sistemele socio-ecologice (Gunton et al., 2022; Pascual et al., 2017) și susține cazul abordărilor de evaluare pluralistice.

7.2 Sinergii ale abordării de analiză integrată în evaluarea serviciilor ecosistemice pentru Rezervația Forestieră Națională Kakamega și Rezervația Forestieră Karura

Fiecare strat de date din această cercetare a furnizat o concluzie defensabilă, dar parțială atunci când a fost examinat în izolare, iar cele trei concluzii indicau în direcții diferite. Datele ecologice din Capitolele 3 și 6 au susținut o concluzie defensabilă și coerentă intern, și anume că KNFR a stocat mai mult carbon, cu o densitate BST mai mare de 177 Mg ha^{-1} față de KFR la 106 Mg ha^{-1} , în concordanță cu capacitatea mai mare de stocare a carbonului caracteristică pădurilor primare. Cu toate acestea, ratele de sechestrare activă a carbonului în pădurile primare sunt mai scăzute decât în pădurile secundare gestionate, cum ar fi KFR, unde acumularea netă de biomasă rămâne pozitivă (Heinrich et al., 2021; Robinson et al., 2025). Pe baze ecologice, KNFR s-a remarcat ca un sit de conservare mai semnificativ față de KFR.

Datele socio-economice din Capitolele 4 și 5 au stabilit o imagine instituțională cu totul diferită. KFR a generat sprijin sustenabil pentru mijloacele de subzistență ale comunităților adiacente prin venituri din ecoturism, fluxuri de venituri CBO și diversificarea veniturilor bazată pe angajare. Prin contrast, comunitățile din KNFR au rămas structural dependente de extracția forestieră, fără o cale instituțională clară de ieșire din această dependență.

Analiza geospațială din Capitolul 6 a produs o a treia concluzie. KFR a constituit situl mai tractabil tehnic față de KNFR pentru contabilizarea carbonului prin satelit, datorită diferențelor de structură a arboretului dintre pădurea secundară gestionată (KFR) față de pădurea tropicală primară negestionată (KNFR), care afectează penetrarea semnalului atunci când se utilizează tehnici de teledetecție. Prin urmare, KFR era un candidat mai imediat eligibil pentru certificarea pe piața voluntară de carbon.

Fiecare concluzie era coerentă în termenii proprii, dar dacă ar fi fost luată separat ca bază pentru politici, ar fi produs un răspuns diferit și parțial înșelător. Concluzia ecologică ar putea justifica dezvoltarea proiectelor REDD+ în KNFR pe baza estimărilor stocului de carbon prin tehnicile de teledetecție GEDI. Concluzia socio-economică ar putea susține proiectarea schemelor PSE și PELIS axată pe substituirea produselor, lăsând neabordat deficitul de guvernanta care face conformarea cu orice acord de conservare dificil de aplicat. Concluzia analizei geospațiale ar putea susține certificarea creditelor de carbon în KFR, direcționând totodată finanțarea bazată pe natură departe de KNFR, situl unde necesitatea de conservare și valoarea ecologică sunt ambele mai mari.

Ceea ce a revelat integrarea tuturor celor trei straturi a fost o buclă de feedback auto-consolidantă pe care nicio sursă analitică singulară nu o putea expune independent. Sărăcia rurală a crescut presiunea extractivă asupra KNFR, în timp ce extracția a determinat fragmentarea, iar fragmentarea a diminuat stocul de carbon. Erodarea progresivă a acestui stoc a degradat activul ecologic a cărui valoare climatică, dacă ar fi cuantificată în mod credibil prin îmbunătățirea Măsurării, Raportării și Verificării (MRV), ar putea iniția finanțarea bazată pe natură necesară pentru a sprijini alternativele de subzistență care ar reduce presiunea de extracție în primul rând. Ruperea acestei bucle de feedback necesită angajament simultan față de capacitatea de guvernanta, diversificarea veniturilor și infrastructura tehnică MRV, cum ar fi GEDI.

Implicația acestei cercetări se extinde dincolo de contextul specific al celor două situri de studiu. Abordarea de analiză integrată în evaluarea SE prin combinarea datelor măsurate pe teren, a evaluării participative socio-economice și a datelor de observare a Pământului într-o clasificare unificată MEA și CICES a abordat o lacună metodologică pe care meta-analiza regională din Capitolul 2 a identificat-o ca persistentă în Africa de Est. Serviciile de suport au apărut în 6,42% din studiile de evaluare a SE din regiune, metodele de preferință revelată au dominat până aproape de excluderea abordărilor relaționale și de evaluare culturală, iar datele de observare a Pământului au fost în mod obișnuit analizate fără validare de teren în păduri cu structură complexă. În acest context, această abordare integrată a oferit un model replicabil care este atât mai riguros tehnic, cât și mai comprehensiv social față de metodele actualmente predominante în literatura de evaluare a SE pentru SSA.

CAPITOLUL 8: CONTRIBUȚII ORIGINALE ALE CERCETĂRII

Această cercetare prezintă patru categorii de contribuții originale: metodologice, empirice, conceptuale și de politici la evaluarea SE în două rezervații forestiere diferite. Constatarea centrală a fost că diferențele în arhitectura de guvernare, prioritățile locale ale părților interesate, perspectivele comunităților forestiere și preferințele de utilitate privind principalele SE evaluate au constituit principalii determinanți ai valorii capitalului natural pentru atât KFR, cât și KNFR.

8.1 Contribuție metodologică

Acest studiu propune o abordare de teledetecție replicabilă, rentabilă și scalabilă, care a utilizat GEDI pentru a îmbunătăți acuratețea estimărilor BST și ale stocului de carbon în pădurile tropicale unde datele inventarului forestier național (NFI) lipsesc sau sunt limitate. Evaluarea comparativă pe ecosisteme forestiere gestionate (KFR) față de negestionate (KNFR) a dezvăluit variabilitate în performanța modelului între diferite structuri de arboret și a oferit o metodologie practică în contextele tropicale cu resurse limitate din Sudul Global, unde este cel mai necesară pentru Articolul 6 al Acordului de la Paris (Bouwer, 2025; Cook et al., 2024), privind piețele de carbon pentru standardele de certificare în pădurile tropicale umede.

Această cercetare a efectuat o meta-analiză comprehensivă (Capitolul 2) a evaluării SE în Africa de Est, care a cartografiat preferințele metodologice în prioritizarea SE și influențele socio-economice în regiune. Acest cadru analitic a furnizat tendințe specifice fiecărei țări în evaluarea SE și a conectat aceste tipare la contexte socio-economice mai largi, cum ar fi sărăcia și dependența de subzistență. Analiza a evidențiat lacunele existente în abordările de evaluare a SE și a oferit orientare pentru studiile viitoare privind integrarea metodelor de evaluare a SE pentru regiunea Africii de Est.

8.2 Contribuție empirică

Acest studiu a furnizat o evaluare economică integrată cu perspectivele părților interesate pentru a estima atât beneficiile directe, cât și indirecte ale SE pentru KFR, cuantificând valoarea capitalului natural al rezervațiilor forestiere prin date socio-economice primare colectate de la comunitățile dependente de păduri (Capitolul 4). Datele empirice au demonstrat că conservarea pădurilor urbane sub management participativ generează fluxuri de venituri măsurabile și sustenabile, îmbunătățește mijloacele de subzistență la nivel de gospodărie și susține obiectivele de conservare ecologică, oferind date pentru un model replicabil în managementul pădurilor urbane din alte orașe africane.

Această cercetare a furnizat o perspectivă centrată pe comunitate a tiparelor de dependență față de pădurile rurale din vestul Keniei, furnizând valoarea economică a SE tangibile și intangibile din KNFR și legând statistic aceasta de principalii factori socio-economici, cum ar fi genul, ocupația și accesul la energie (Capitolul 5). Această integrare nuanțată a economiei ecologice cu factorii socio-demografici a oferit perspective practice pentru proiectarea schemelor PSE țintite și a alternativelor sustenabile de venituri, cu scopul de a reduce presiunea asupra resurselor naturale.

8.3 Contribuție conceptuală

Acest studiu a demonstrat că desemnarea legală nu previzionează stabilitatea stocului de carbon, deoarece ambele păduri au statut de rezervație națională, dar diverge datorită diferențelor în ceea ce

priveşte priorităţile de utilizare ale părţilor interesate şi ale comunităţilor forestiere locale. A arătat că bogăţia ecologică nu garantează accesul la finanţarea bazată pe natură, deoarece precizia MRV depinde de istoricul silvicultural mai degrabă decât de volumul de biomasă. A confirmat, de asemenea, că evaluarea monetară nu poate surprinde pe deplin serviciile culturale, deoarece disponibilitatea de plată pentru sanctuarele Tiriki a demonstrat o ataşare comunitară înăscută, independentă de apartenenţa religioasă, nivelul de educaţie sau socio-demografice. Aceste constatări au stabilit guvernanta ca variabilă endogenă mai degrabă decât context de fundal. Acest studiu propune metode de evaluare pluralistice şi regimuri de co-management ca instrumente esenţiale pentru livrarea echitabilă a beneficiilor SE comunităţilor dependente de păduri.

8.4 Contribuţie în domeniul politicilor

Această cercetare a poziţionat datele de piaţă bazate pe SE ca instrument viabil pentru acoperirea decalajului de finanţare bazată pe natură în SSA. A abordat absenţa unor referinţe economice credibile, specifice sitului, care să satisfacă cerinţele de due diligence ale capitalului privat şi ale fondurilor climatice multilaterale. Prin ancorarea evaluării SE în două rezervaţii forestiere contrastante, această cercetare a furnizat date de preţuri comparabile de care instrumentele de finanţare bazată pe natură au nevoie pentru a trece de la aspiraţii de politici la propuneri investibile. Această contribuţie se află la intersecţia economiei ecologice şi a arhitecturii de finanţare bazată pe natură pentru contextul SSA.

Acest studiu a reconstituit arhitectura de guvernanta ca variabilă de politici diagnostică şi măsurabilă în evaluarea SE forestiere. Cadrele existente de pregătire pentru finanţarea bazată pe natură tratează guvernanta ca o condiţie prealabilă care trebuie asumată sau îmbunătăţită. Constatările comparative din KFR şi KNFR au demonstrat că capacitatea de guvernanta funcţionează ca determinant operativ al măsurii în care rezervaţiile forestiere desemnate legal pot furniza SE, indiferent de dotarea ecologică sau de statutul de protecţie formal. Această reconfigurare are implicaţii pentru modul în care este evaluată eligibilitatea pentru finanţarea bazată pe natură, deplasând locus-ul intervenţiei de politici de la criteriile ecologice spre comunităţile locale şi diagnosticele instituţionale.

CAPITOLUL 9: CONCLUZII ŞI IMPLICAȚII PENTRU CERCETĂRILE VIITOARE

Această cercetare doctorală a demonstrat modul în care managementul forestier, dinamica socio-economice și condițiile ecologice au modelat utilitatea și percepția SE. Prin contrastarea KFR cu KNFR, această cercetare a evidențiat diferențele în valorile SE pentru serviciile de aprovizionare, de reglare, culturale și de suport. KNFR a înregistrat niveluri ridicate de dependență față de SE de aprovizionare, determinate de subzistența mijloacelor de trai rurale și de alternativele limitate la biocombustibili, în timp ce KFR a avut acces controlat într-un context urban care a redus extracția directă, susținând totodată serviciile de ecoturism și recreere. SE de reglare, cum ar fi cantitatea de stocare a carbonului, a fost mai mare în KNFR față de KFR datorită structurii sale de pădure primară, în ciuda degradării din cauza fragmentării. Structura arboretului, abordările de management și proximitatea urbană ale KFR au facilitat livrarea consecventă a serviciilor culturale.

Această cercetare a îmbunătățit și a propus metodologii practice, replicabile și scalabile pentru evaluarea SE în pădurile tropicale din Sudul Global unde persistă limitările de date. A demonstrat potențialul abordărilor integrate de teledetecție în monitorizarea carbonului forestier, evidențiind totodată realitățile socio-economice care influențează utilizarea și conservarea pădurilor. A subliniat importanța integrării dimensiunilor ecologice, economice și comunitare în politicile forestiere și proiectarea PSE. Această cercetare a contribuit la îmbunătățirea metodologiilor de contabilizare a capitalului natural pentru ecosistemele forestiere în contexte diverse și prezintă cadre practice care ar putea îmbunătăți evaluarea SE, monitorizarea pădurilor și includerea capitalului natural în finanțarea bazată pe natură prin PSE și PELIS. Recomandă abordări comune în evaluarea SE și integrarea conturilor de capital natural în cadrele de politici naționale, pentru a permite mobilizarea intervențiilor de finanțare bazate pe natură care recunosc atât condițiile ecologice, cât și nevoile comunităților locale. Studiile viitoare ar trebui să exploreze instrumente inovatoare de finanțare bazată pe natură pentru atenuarea și adaptarea la schimbările climatice, valorificând datele de piață bazate pe SE pentru evaluarea riscurilor fiscale și mobilizarea capitalului privat în strategiile de finanțare bazată pe natură.

REFERINȚE

1. Abd Elbasit, M. A. M., Knight, J., Liu, G., Abu-Zreig, M. M., & Hasaan, R. (2021). Valuation of Ecosystem Services in South Africa, 2001–2019. *Sustainability*, 13(20), 11262.
<https://doi.org/10.3390/su132011262>
2. Abera, T. A., Heiskanen, J., Maeda, E. E., Muhammed, M. A., Bhandari, N., Vakkari, V., Hailu, B. T., Pellikka, P. K. E., Hemp, A., van Zyl, P. G., & Zeuss, D. (2024). Deforestation amplifies climate change effects on warming and cloud level rise in African montane forests. *Nature Communications*, 15(1), 6992.
<https://doi.org/10.1038/s41467-024-51324-7>
3. Akello, G., Opinde, G., & Letema, S. (2025). Valuation of regulating ecosystem services in Africa: a review of policy impact reporting. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 21(2), 279–290. <https://doi.org/10.1093/inteam/vjae032>
4. Albert, C., Bonn, A., Burkhard, B., Daube, S., Dietrich, K., Engels, B., Frommer, J., Götzl, M., Grêt-Regamey, A., Job-Hoben, B., Koellner, T., Marzelli, S., Moning, C., Müller, F., Rabe, S.-E., Ring, I., Schwaiger, E., Schweppe-Kraft, B., & Wüstemann, H. (2016). Towards a national set of ecosystem service indicators: Insights from Germany. *Ecological Indicators*, 61, 38–48.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.08.050>
5. Anand, S., & Gupta, S. (2020). Provisioning ecosystem services: Multitier bibliometric analysis and visualisation. *Environmental and Sustainability Indicators*, 8, 100081.
<https://doi.org/10.1016/j.indic.2020.100081>
6. Atela, J. O., Quinn, C. H., Minang, P. A., Duguma, L. A., & Houdet, J. A. (2016). Implementing REDD+ at the national level: Stakeholder engagement and policy coherences between REDD+ rules and Kenya's sectoral policies. *Forest Policy and Economics*, 65, 37–46.
<https://doi.org/10.1016/j.forpol.2016.01.003>
7. Bamwesigye, D., Doli, A., & Hlavackova, P. (2020). REDD+: An Analysis of Initiatives in East Africa Amidst Increasing Deforestation. *European Journal of Sustainable Development*, 9(2), 224–237.
<https://doi.org/10.14207/ejsd.2020.v9n2p224>
8. Bisui, S., & Shit, P. K. (2024). Assessing the role of forest resources in improving rural livelihoods in West Bengal of India. *Regional Sustainability*, 5(2), 100141.
<https://doi.org/10.1016/j.regsus.2024.100141>
9. Blair, B., Wirt, B., Armston, J., Hofton, M., Luthcke, S., & Tang, H. (2021). *GLOBAL Ecosystem Dynamics Investigation (GEDI) Level 2 User Guide For SDPS PGEVersion 3 (P003) of GEDI L2A Data and SDPS PGEVersion 3 (P003) of GEDI L2B Data Deputy Principal Investigator and Instrument Scientist User Guide written by Jared Beck 3 in collaboration with.*
10. Bleher, B., Uster, D., & Bergsdorf, T. (2006). Assessment of Threat Status and Management Effectiveness in Kakamega Forest, Kenya. *Biodiversity and Conservation*, 15(4), 1159–1177.
<https://doi.org/10.1007/s10531-004-3509-3>
11. Bouwer, K. (2025). Paris Climate Agreement. In *Encyclopedia of Global Justice* (pp. 1–3). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-27828-0_10014-1
12. Brander, L. M., de Groot, R., Schägner, J. P., Guisado-Goñi, V., van 't Hoff, V., Solomonides, S., McVittie, A., Eppink, F., Sposato, M., Do, L., Ghermandi, A., Sinclair, M., & Thomas, R. (2024). Economic values for ecosystem services: A global synthesis and way forward. *Ecosystem Services*, 66, 101606.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2024.101606>

13. Brockerhoff, E. G., Barbaro, L., Castagneyrol, B., Forrester, D. I., Gardiner, B., González-Olabarria, J. R., Lyver, P. O., Meurisse, N., Oxbrough, A., Taki, H., Thompson, I. D., van der Plas, F., & Jactel, H. (2017). Forest biodiversity, ecosystem functioning and the provision of ecosystem services. *Biodiversity and Conservation*, 26(13), 3005–3035. <https://doi.org/10.1007/s10531-017-1453-2>
14. Charnley, S., Frey, G. E., & Makala, J. (2022). Community forests, timber production, and certification: success factors in the African context. *Ecology and Society*, 27(3), art6. <https://doi.org/10.5751/ES-13101-270306>
15. Chisika, S. N., Park, H., & Yeom, C. (2024). Breaking Down Silos in Sustainable Forest Management and Fostering Interagency Collaboration through the “Adopt a Forest” Initiative in Kenya. *Sage Open*, 14(4). <https://doi.org/10.1177/21582440241295980>
16. Chisika, S. N., & Yeom, C. (2023). Smart Urban Forest Management in East Africa: The Case of Nairobi and Kampala Cities. *Sage Open*, 13(3). <https://doi.org/10.1177/21582440231194137>
17. Chisika, S. N., & Yeom, C. (2024). The Implication of the Changing Forest Management Paradigms in Formulating Forestry Policies in Kenya. *FORESTIST*, 74(3), 278–288. <https://doi.org/10.5152/forestist.2024.23040>
18. Clarke, L., Y.-M. W. A. D. L. V. N. A. G. A. N. H. S. K. I. M. L. A. A. L. A. K. S. L. S. G. S. K. W. (2023). Energy Systems. In J. S. R. S. A. A. K. R. van D. D. M. M. P. S. S. P. V. R. F. M. B. A. H. G. L. S. L. J. M. P. R. Shukla (Ed.), *Climate Change 2022 - Mitigation of Climate Change* (pp. 613–746). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157926.008>
19. Cook, G., Zakkour, P., Neades, S., & Dixon, T. (2024). CCS under Article 6 of the Paris Agreement. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 134, 104110. <https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2024.104110>
20. Demie, G., & Tufa, T. (2025). Economic value of non-market ecosystem services derived from enset-based agroforestry systems: evidence from the central highlands of Ethiopia. *Agroforestry Systems*, 99(7), 215. <https://doi.org/10.1007/s10457-025-01323-4>
21. Dessalegn, O. G., & Akalu, D. S. (2015). The impacts of climate change on African continent and the way forward. *Journal of Ecology and The Natural Environment*, 7(10), 256–262. <https://doi.org/10.5897/JENE2015.0533>
22. Diafas, I., Barkmann, J., & Mburu, J. (2017). Measurement of Bequest Value Using a Non-monetary Payment in a Choice Experiment—The Case of Improving Forest Ecosystem Services for the Benefit of Local Communities in Rural Kenya. *Ecological Economics*, 140, 157–165. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.05.006>
23. Dixon, D. J., Zhu, Y., & Jin, Y. (2025). Canopy height estimation from PlanetScope time series with spatio-temporal deep learning. *Remote Sensing of Environment*, 318, 114518. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2024.114518>
24. Djenontin, I. N. S., Larson, A. M., & Miller, D. C. (2024). Trends in forest livelihoods research – Taking stock in 2024. *Forest Policy and Economics*, 169, 103337. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2024.103337>
25. Enríquez-de-Salamanca, Á. (2022). Climate Change Mitigation in Forestry: Paying for Carbon Stock or for Sequestration? *Atmosphere*, 13(10), 1611. <https://doi.org/10.3390/atmos13101611>
26. EU Directorate-General for Climate Action. (2024, February). *International carbon pricing and markets diplomacy*. The Call to Action for Paris-Aligned Carbon Markets. https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/international-carbon-pricing-and-markets-diplomacy_en

27. Fareed, N., & Numata, I. (2025). Evaluating the impact of field-measured tree height errors correction on aboveground biomass modeling using airborne laser scanning and GEDI datasets in Brazilian Amazonia. *Trees, Forests and People*, 19, 100751. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2024.100751>
28. Fischer, H. W., Chhatre, A., Duddu, A., Pradhan, N., & Agrawal, A. (2023). Community forest governance and synergies among carbon, biodiversity and livelihoods. *Nature Climate Change*, 13(12), 1340–1347. <https://doi.org/10.1038/s41558-023-01863-6>
29. Gasheye, D. (2024). The role of Participatory Forest Management for forest diversity enhancement in Ethiopia. *East African Journal of Forestry and Agroforestry*, 7(1), 331–342. <https://doi.org/10.37284/eajfa.7.1.2198>
30. Gemayel, E., Rosa, S., Maheshwari, V., Ungerer, C., & Lindner, P. (2025). Laying the Ground for Scaling up Climate Finance in Sub-Saharan Africa. *IMF Working Papers*, 2025(099), 1. <https://doi.org/10.5089/9798229004091.001>
31. Golub, A., Hanusch, M., Bardal, D., Keith, B. I., Simon, D. N., & Fleischhaker, C. (2025). *Innovative Financial Instruments and Their Role in the Development of Jurisdictional REDD+*. Washington, DC: World Bank. <https://doi.org/10.1596/1813-9450-11114>
32. Gunton, R. M., Hejnowicz, A. P., Basden, A., van Asperen, E. N., Christie, I., Hanson, D. R., & Hartley, S. E. (2022). Valuing beyond economics: A pluralistic evaluation framework for participatory policymaking. *Ecological Economics*, 196, 107420. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2022.107420>
33. Haines-Young, R., & Potschin-Young, M. (2018). Revision of the Common International Classification for Ecosystem Services (CICES V5.1): A Policy Brief. *One Ecosystem*, 3, e27108. <https://doi.org/10.3897/oneeco.3.e27108>
34. Hansen, A., Barnett, K., Jantz, P., Phillips, L., Goetz, S. J., Hansen, M., Venter, O., Watson, J. E. M., Burns, P., Atkinson, S., Rodríguez-Buritica, S., Ervin, J., Virnig, A., Supples, C., & De Camargo, R. (2019). Global humid tropics forest structural condition and forest structural integrity maps. *Scientific Data*, 6(1), 232. <https://doi.org/10.1038/s41597-019-0214-3>
35. Heinrich, V. H. A., Dalagnol, R., Cassol, H. L. G., Rosan, T. M., de Almeida, C. T., Silva Junior, C. H. L., Campanharo, W. A., House, J. I., Sitch, S., Hales, T. C., Adami, M., Anderson, L. O., & Aragão, L. E. O. C. (2021). Large carbon sink potential of secondary forests in the Brazilian Amazon to mitigate climate change. *Nature Communications*, 12(1), 1785. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-22050-1>
36. Imarhiagbe, O., Onyeukwu, I. I., Egboduku, W. O., Mukah, F. E., & Ogwu, M. C. (2022). *Forest Conservation Strategies in Africa: Historical Perspective, Status and Sustainable Avenues for Progress* (pp. 547–572). https://doi.org/10.1007/978-981-19-3326-4_21
37. Jagger, P., Cheek, J. Z., Miller, D., Ryan, C., Shyamsundar, P., & Sills, E. (2022). The Role of Forests and Trees in Poverty Dynamics. *Forest Policy and Economics*, 140, 102750. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2022.102750>
38. Jeff Sauro, J. R. L. (2012). *Quantifying the User Experience*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/C2010-0-65192-3>
39. Kairu, A., Mbeche, R., Kotut, K., & Kairo, J. (2024). From centralization to decentralization: Evolution of forest policies and their implications on mangrove management in Kenya. *Forest Policy and Economics*, 168, 103290. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2024.103290>
40. Kanyenji, G. M., Oluoch-Kosura, W., Onyango, C. M., & Ng'ang'a, S. K. (2020). Prospects and constraints in smallholder farmers' adoption of multiple soil carbon enhancing practices in Western Kenya. *Heliyon*, 6(3), e03226. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03226>

41. Kellner, J. R., Armston, J., & Duncanson, L. (2023). Algorithm Theoretical Basis Document for GEDI Footprint Aboveground Biomass Density. *Earth and Space Science*, 10(4).
<https://doi.org/10.1029/2022EA002516>
42. Kim, H.-Y. (2014). Analysis of variance (ANOVA) comparing means of more than two groups. *Restorative Dentistry & Endodontics*, 39(1), 74. <https://doi.org/10.5395/rde.2014.39.1.74>
43. Kogo, B. K., Kumar, L., & Koech, R. (2019). Forest cover dynamics and underlying driving forces affecting ecosystem services in western Kenya. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 14, 75–83. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2019.02.007>
44. Krause, M. S., Matzdorf, B., & Droste, N. (2020). Survey data on voluntary nature conservation commitments of German businesses and their perceptions towards conservation credits. *Data in Brief*, 33, 106625. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2020.106625>
45. Laichena, J. (2021). Does adoption of on-farm tree planting depend on Forest co-management? Evidence from selected Forest sites in Kenya. *Forest Policy and Economics*, 128, 102470. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2021.102470>
46. Langat, D. K., Maranga, E. K., Aboud, A. A., & Cheboiwo, J. K. (2018). The Value of Selected Ecosystem Services: A Case Study of East Mau Forest Ecosystem, Kenya. *Journal of Forests*, 5(1), 1–10. <https://doi.org/10.18488/journal.101.2018.51.1.10>
47. Lisa Lindberg. (2020). *Forest data acquisition with the application Arboreal Forest – A study about measurement precision, accuracy and efficiency*. <https://stud.epsilon.slu.se/15456/>
48. Ma, J., Li, J., Wu, W., & Liu, J. (2023). Global forest fragmentation change from 2000 to 2020. *Nature Communications*, 14(1), 3752. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-39221-x>
49. Maingi, S. W. (2021). Safari tourism and its role in sustainable poverty eradication in East Africa: the case of Kenya. *Worldwide Hospitality and Tourism Themes*, 13(1), 81–94. <https://doi.org/10.1108/WHATT-08-2020-0084>
50. Manji, A. (2017a). Property, conservation, and enclosure in Karura forest, Nairobi. *African Affairs*, 1–20. <https://doi.org/10.1093/afraf/adx006>
51. Manji, A. (2017b). Property, conservation, and enclosure in Karura forest, Nairobi. *African Affairs*, 1–20. <https://doi.org/10.1093/afraf/adx006>
52. Martinez-Harms, M. J., Bryan, B. A., Balvanera, P., Law, E. A., Rhodes, J. R., Possingham, H. P., & Wilson, K. A. (2015). Making decisions for managing ecosystem services. *Biological Conservation*, 184, 229–238. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2015.01.024>
53. Mbuvi, M. T. E., & Kungu, J. B. (2021). A transforming traditional community based forest management: the case of Loita community forest, Kenya. *Heliyon*, 7(6), e07380. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07380>
54. Mengist, W., Soromessa, T., & Feyisa, G. L. (2020). A global view of regulatory ecosystem services: existed knowledge, trends, and research gaps. *Ecological Processes*, 9(1), 40. <https://doi.org/10.1186/s13717-020-00241-w>
55. Milheiras, S. G., Sallu, S. M., Marshall, A. R., Shirima, D. D., Kioko, E. N., Loveridge, R., Moore, E., Olivier, P., Teh, Y. A., Rushton, S., & Pfeifer, M. (2022). A Framework to Assess Forest-Agricultural Landscape Management for Socioecological Well-Being Outcomes. *Frontiers in Forests and Global Change*, 5. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2022.709971>
56. Miller, E. F., Doolittle, A. A., Cerutti, P. O., Naimark, J., Rufino, M. C., Ashton, M. S., & Mwangi, E. (2021). Spatial distribution and perceived drivers of provisioning service values across an East African montane

- forest landscape. *Landscape and Urban Planning*, 207, 103995.
<https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2020.103995>
57. Mpuure, D. M., & Mengba, J. D. (2024). Natural resource dependence, policy and institutions for environmental sustainability and African welfare. *Sustainable Development*, 32(3), 2176–2193.
<https://doi.org/10.1002/sd.2752>
 58. Mushi, H., Yanda, P. Z., & Kleyer, M. (2020). Socioeconomic Factors Determining Extraction of Non-timber Forest Products on the Slopes of Mt. Kilimanjaro, Tanzania. *Human Ecology*, 48(6), 695–707.
<https://doi.org/10.1007/s10745-020-00187-9>
 59. Mutoko, M. C., Hein, L., & Shisanya, C. A. (2015). Tropical forest conservation versus conversion trade-offs: Insights from analysis of ecosystem services provided by Kakamega rainforest in Kenya. *Ecosystem Services*, 14, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2015.03.003>
 60. Mutune, J. M., & Lund, J. F. (2016). Unpacking the impacts of 'participatory' forestry policies: Evidence from Kenya. *Forest Policy and Economics*, 69, 45–52. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2016.03.004>
 61. Ndivo, R. M., & Okech, R. N. (2020). Tourism Governance in Transition Period: Restructuring Kenya's Tourism Administration from Centralized to Devolved System. *Tourism Planning & Development*, 17(2), 166–186. <https://doi.org/10.1080/21568316.2019.1580210>
 62. Nguyen, H. N., Lasa, G., Iriarte, I., Atxa, A., Unamuno, G., & Galfarsoro, G. (2022a). Datasets of skills-rating questionnaires for advanced service design through expert knowledge elicitation. *Scientific Data*, 9(1), 321. <https://doi.org/10.1038/s41597-022-01421-3>
 63. Nguyen, H. N., Lasa, G., Iriarte, I., Atxa, A., Unamuno, G., & Galfarsoro, G. (2022b). Datasets of skills-rating questionnaires for advanced service design through expert knowledge elicitation. *Scientific Data*, 9(1), 321. <https://doi.org/10.1038/s41597-022-01421-3>
 64. Nieto, P. J. G., Gonzalo, E. G., García, L. A. M., Prado, L. Á., & Sánchez, A. B. (2024). Predicting the critical superconducting temperature using the random forest, MLP neural network, M5 model tree and multivariate linear regression. *Alexandria Engineering Journal*, 86, 144–156.
<https://doi.org/10.1016/j.aej.2023.11.034>
 65. Njeru, J. (2012). Mobilization and protest: the struggle to save Karura Forest in Nairobi, Kenya. *African Geographical Review*, 31(1), 17–32. <https://doi.org/10.1080/19376812.2012.681294>
 66. Okumu, B., & Muchapondwa, E. (2022). Economic Valuation of Forest Ecosystem Services in Kenya: Implication for Design of PES Schemes and Participatory Forest Management. *Journal of Forest Economics*, 37(4), 347–381. <https://doi.org/10.1561/112.00000551>
 67. Oloo, F., Murithi, G., & Jepkosgei, C. (2020). Quantifying Tree Cover Loss in Urban Forests within Nairobi City Metropolitan Area from Earth Observation Data. *The 1st International Electronic Conference on Forests—Forests for a Better Future: Sustainability, Innovation, Interdisciplinarity*, 78.
<https://doi.org/10.3390/IECF2020-07952>
 68. Osewe, E. O., Ni ã, M. D., & Abrudan, I. V. (2022). Assessing the Fragmentation, Canopy Loss and Spatial Distribution of Forest Cover in Kakamega National Forest Reserve, Western Kenya. *Forests*, 13(12).
<https://doi.org/10.3390/f13122127>
 69. Osewe, E. O., Popa, B., Kagombe, J. K., Osewe, I., & Abrudan, I. V. (2025). Ecosystem services values for local people in participatory forestry context: The case of karura urban forest reserve. *Trees, Forests and People*, 20, 100834. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2025.100834>
 70. Osewe, E. O., Popa, B., Vacik, H., Osewe, I., & Abrudan, I. V. (2024). Review of forest ecosystem services evaluation studies in East Africa. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 12.
<https://doi.org/10.3389/fevo.2024.1385351>

71. Pascual, U., Balvanera, P., Anderson, C. B., Chaplin-Kramer, R., Christie, M., González-Jiménez, D., Martin, A., Raymond, C. M., Termansen, M., Vatn, A., Athayde, S., Baptiste, B., Barton, D. N., Jacobs, S., Kelemen, E., Kumar, R., Lazos, E., Mwampamba, T. H., Nakangu, B., ... Zent, E. (2023). Diverse values of nature for sustainability. *Nature*, 620(7975), 813–823. <https://doi.org/10.1038/s41586-023-06406-9>
72. Pascual, U., Balvanera, P., Díaz, S., Pataki, G., Roth, E., Stenseke, M., Watson, R. T., Başak Dessane, E., Islar, M., Kelemen, E., Maris, V., Quaas, M., Subramanian, S. M., Wittmer, H., Adlan, A., Ahn, S., Al-Hafedh, Y. S., Amankwah, E., Asah, S. T., ... Yagi, N. (2017). Valuing nature's contributions to people: the IPBES approach. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 26–27, 7–16. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2016.12.006>
73. Pedroso, R., & Biu Kung'u, J. (2019). Tourists' willingness to pay for upstream restoration and conservation measures. *Journal of Sustainable Tourism*, 27(8), 1107–1124. <https://doi.org/10.1080/09669582.2019.1593991>
74. Phiri, D., Mwitwa, J., Ng'andwe, P., Kanja, K., Munyaka, J., Chileshe, F., Hamazakaza, P., Kapembwa, S., & Kwenye, J. M. (2023). Agricultural expansion into forest reserves in Zambia: a remote sensing approach. *Geocarto International*, 38(1). <https://doi.org/10.1080/10106049.2023.2213203>
75. Pillay, R., Venter, M., Aragon-Osejo, J., González-del-Pliego, P., Hansen, A. J., Watson, J. E., & Venter, O. (2022). Tropical forests are home to over half of the world's vertebrate species. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 20(1), 10–15. <https://doi.org/10.1002/fee.2420>
76. Pistorius, T. (2012). From RED to REDD+: the evolution of a forest-based mitigation approach for developing countries. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 4(6), 638–645. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2012.07.002>
77. Pouso, S., Borja, Á., & Uyarra, M. C. (2020). An Interdisciplinary Approach for Valuing Changes After Ecological Restoration in Marine Cultural Ecosystem Services. *Frontiers in Marine Science*, 7. <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.00715>
78. Quijas, S., & Balvanera, P. (2013). Biodiversity and Ecosystem Services. In *Encyclopedia of Biodiversity* (pp. 341–356). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384719-5.00349-X>
79. Republic of Kenya. (2016). Forest Conservation and Management Act. *Forest Conservation and Management Act*, 155(34), 677–736. <http://www.ilo.org/dyn/travail/docs/505/Employment Act 2007.pdf>
80. Robinson, N., Drever, C. R., Gibbs, D. A., Lister, K., Esquivel-Muelbert, A., Heinrich, V., Ciais, P., Silva-Junior, C. H. L., Liu, Z., Pugh, T. A. M., Saatchi, S., Xu, Y., & Cook-Patton, S. C. (2025). Protect young secondary forests for optimum carbon removal. *Nature Climate Change*, 15(7), 793–800. <https://doi.org/10.1038/s41558-025-02355-5>
81. Romanazzi, G. R., Koto, R., De Boni, A., Ottomano Palmisano, G., Cioffi, M., & Roma, R. (2023). Cultural ecosystem services: A review of methods and tools for economic evaluation. *Environmental and Sustainability Indicators*, 20, 100304. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2023.100304>
82. Rotich, B., Ahmed, A., Kinyili, B., & Kipkulei, H. (2025). Historical and projected forest cover changes in the Mount Kenya Ecosystem: Implications for sustainable forest management. *Environmental and Sustainability Indicators*, 26, 100628. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2025.100628>
83. Saginova, O., Kireeva, N., Saginov, Y., & Zavyalov, D. (2020). Dataset on the questionnaire-based survey of sharing services users' motivation. *Data in Brief*, 33, 106502. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2020.106502>

84. Sandim, A., Amaro, M., Silva, M. E., Cunha, J., Morais, S., Marques, A., Ferreira, A., Lousada, J. L., & Fonseca, T. (2023). New Technologies for Expedited Forest Inventory Using Smartphone Applications. *Forests*, 14(8), 1553. <https://doi.org/10.3390/f14081553>
85. Sangha, K. K., Gordon, I. J., & Costanza, R. (2022). Ecosystem Services and Human Wellbeing-Based Approaches Can Help Transform Our Economies. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 10. <https://doi.org/10.3389/fevo.2022.841215>
86. Sapiains, R., Ibarra, C., Jiménez, G., O’Ryan, R., Blanco, G., Moraga, P., & Rojas, M. (2021). Exploring the contours of climate governance: An interdisciplinary systematic literature review from a southern perspective. *Environmental Policy and Governance*, 31(1), 46–59. <https://doi.org/10.1002/eet.1912>
87. Schuldt, A., Assmann, T., Brezzi, M., Buscot, F., Eichenberg, D., Gutknecht, J., Härdtle, W., He, J.-S., Klein, A.-M., Kühn, P., Liu, X., Ma, K., Niklaus, P. A., Pietsch, K. A., Purahong, W., Scherer-Lorenzen, M., Schmid, B., Scholten, T., Staab, M., ... Bruelheide, H. (2018). Biodiversity across trophic levels drives multifunctionality in highly diverse forests. *Nature Communications*, 9(1), 2989. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-05421-z>
88. Seidler, R. (2017). Patterns of Biodiversity Change in Anthropogenically Altered Forests ☆. In *Reference Module in Life Sciences*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809633-8.02186-5>
89. Soga, M., & Gaston, K. J. (2021). Towards a unified understanding of human–nature interactions. *Nature Sustainability*, 5(5), 374–383. <https://doi.org/10.1038/s41893-021-00818-z>
90. Soille, P., & Vogt, P. (2022). MORPHOLOGICAL SPATIAL PATTERN ANALYSIS: OPEN SOURCE RELEASE. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLVIII-4/W1-2022, 427–433. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-4-W1-2022-427-2022>
91. Tebkew, M., & Atinkut, H. B. (2022). Impact of forest decentralization on sustainable forest management and livelihoods in East Africa. *Trees, Forests and People*, 10, 100346. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2022.100346>
92. Vanneste, T., Depauw, L., De Lombaerde, E., Meeussen, C., Govaert, S., De Pauw, K., Sanczuk, P., Bollmann, K., Brunet, J., Calders, K., Cousins, S. A. O., Diekmann, M., Gasperini, C., Graae, B. J., Hedwall, P.-O., Iacopetti, G., Lenoir, J., Lindmo, S., Orczewska, A., ... De Frenne, P. (2024). Trade-offs in biodiversity and ecosystem services between edges and interiors in European forests. *Nature Ecology & Evolution*, 8(5), 880–887. <https://doi.org/10.1038/s41559-024-02335-6>
93. Vogt, P., & Riitters, K. (2017). GuidosToolbox: universal digital image object analysis. *European Journal of Remote Sensing*, 50(1), 352–361. <https://doi.org/10.1080/22797254.2017.1330650>
94. Waruingi, E., Mbeche, R., & Ateka, J. (2021). Determinants of forest dependent household’s participation in payment for ecosystem services: Evidence from Plantation Establishment Livelihood Improvement Scheme (PELIS) in Kenya. *Global Ecology and Conservation*, 26, e01514. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2021.e01514>
95. Weiskopf, S. R., Myers, B. J. E., Arce-Plata, M. I., Blanchard, J. L., Ferrier, S., Fulton, E. A., Harfoot, M., Isbell, F., Johnson, J. A., Mori, A. S., Weng, E., Harmáčková, Z. V., Londoño-Murcia, M. C., Miller, B. W., Pereira, L. M., & Rosa, I. M. D. (2022). A Conceptual Framework to Integrate Biodiversity, Ecosystem Function, and Ecosystem Service Models. *BioScience*, 72(11), 1062–1073. <https://doi.org/10.1093/biosci/biac074>
96. Ye, H., Yang, Z., & Xu, X. (2020). Ecological Corridors Analysis Based on MSPA and MCR Model—A Case Study of the Tomur World Natural Heritage Region. *Sustainability*, 12(3), 959. <https://doi.org/10.3390/su12030959>



97. Zhang, Z., Wei, M., Pu, D., He, G., Wang, G., & Long, T. (2021a). Assessment of Annual Composite Images Obtained by Google Earth Engine for Urban Areas Mapping Using Random Forest. *Remote Sensing*, 13(4), 748. <https://doi.org/10.3390/rs13040748>
98. Zhang, Z., Wei, M., Pu, D., He, G., Wang, G., & Long, T. (2021b). Assessment of Annual Composite Images Obtained by Google Earth Engine for Urban Areas Mapping Using Random Forest. *Remote Sensing*, 13(4), 748. <https://doi.org/10.3390/rs13040748>