

REPUBLIKA E SHQIPERISË

UNIVERSITETI POLITEKNIK I TIRANËS
FAKULTETI I GJEOLGJISË DHE MINIERAVE
DEPARTAMENTI I SHKENCAVE TË TOKËS
Shkolla e Doktoratës “Gjeologjia dhe Mjedisë”



DISERTACION

Për mbrojtjen e Gradës Shkencore

“DOKTOR”

TEMA: VLERËSIMI I RREZIKUT TË GAZIT RADIOAKTIV RADON
PËR ZONËN E TIRANËS, ANALIZA E RISKUT DHE MASAVE
MBROJTËSE NDAJ TIJ

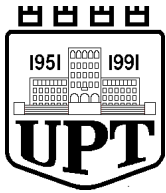
Kandidati

MSc. Gjon **RROTA**

Udhëheqësi Shkencor

Prof. Asoc. Margarita **KUQALI**

TIRANË, 2026



REPUBLIKA E SHQIPERISË

UNIVERSITETI POLITEKNIK I TIRANËS
FAKULTETI I GJEOLOGJISË DHE MINIERAVE
DEPARTAMENTI I SHKENCAVE TË TOKËS
Shkolla e Doktoratës “Gjeologjia dhe Mjedisi”



DISERTACION

Për mbrojtjen e Gradës Shkencore

“DOKTOR”

**TEMA: VLERËSIMI I RREZIKUT TË GAZIT RADIOAKTIV RADON
PËR ZONËN E TIRANËS, ANALIZA E RISKUT DHE MASAVE
MBROJTËSE NDAJ TIJ**

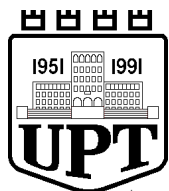
Përgatitur nga:

MSc. Gjon RROTA

Udhëheqësi Shkencor

Prof. Asoc. Margarita **KUQALI**

TIRANË, 2026



REPUBLIKA E SHQIPERISË

UNIVERSITETI POLITEKNIK I TIRANËS
FAKULTETI I GJEOLGJISË DHE MINIERAVE
DEPARTAMENTI I SHKENCAVE TË TOKËS
Shkolla e Doktoratës “Gjeologjia dhe Mjedisi”



DISERTACION

I paraqitur nga

MSc. Gjon RROTA

Për fitimin e Gradës Shkencore

“DOKTOR”

TEMA:

**VLERËSIMI I RREZIKUT TË GAZIT RADIOAKTIV RADON PËR
ZONËN E TIRANËS, ANALIZA E RISKUT DHE MASAVE MBROJTËSE
NDAJ TIJ**

Mbrohet më datë 29/01/2026 para Jurisë, e miratuar nga Këshilli i Profesorëve të FGJM, me
Vendimin Nr.17 datë 21/01/2026.

- | | |
|---------------------------|----------------|
| 1. Prof.Dr. Arjan BEQIRAJ | Kryetar |
| 2. Prof.Asoc. Ana FOCIRO | Anëtar Oponent |
| 3. Prof.Dr. Mensi PRELA | Anëtar |
| 4. Prof.Dr. Rrapo ORMENI | Anëtar Oponent |
| 5. Prof.Dr. Besnik BARAJ | Anëtar |

Deklaratë mbi Originalitetin e Punimit

Unë, i nënshkruari Gjon RROTA, deklaroj se jam autor i disertacionit, për fitimin e gradës shkencore ” Doktor”, me temë : **“Vlerësimi i rrezikut të gazit radioaktiv radon për zonën e Tiranës, analiza e riskut dhe masave mbrojtëse ndaj tij”**, deklaroj në përgjegjësinë time personale, se disertacioni është një punim origjinal dhe në përputhje me rregullat akademike dhe etikën profesionale. Në punim përfshirja e informacionit të marrë nga literatura është kryer në përputhje të plotë me parimet e antiplagjaturës, duke cituar me përpikmëri çdo referim.

Autori

Gjon RROTA

FALENDERIME

Në këto rreshta dua të shpreh mirënjohjen time më të thellë për të gjithë personat, të cilët me mbështetjen, udhëzimin dhe besimin e tyre të vazhdueshëm më kanë inkurajuar të vijoj në realizimin e kësaj pune kërkimore.

Në veçanti dua të falenderoj:

Udhëheqësen time shkencore, Prof. Asoc. Margarita Kuqali, për mbështetjen profesionale, udhëzimet e qarta dhe inkurajimin e vazhdueshëm në çdo fazë të këtij projekti.

Bashkëpunëtorin e këtij projekti doktorate Prof. Asoc. Gazmend Nafezi, Përgjegjës i Departamentit të Fizikës, në Universitetin e Prishtinës “Hasan Prishtina”, i cili mundësoi të gjithë logjistikën për realizimin e kësaj doktorate (pajisjet matëse e aksesin në laboratorin për leximin e tyre).

Kolegët e mi, në Departamentin e Gjeologjisë, në Institutin e Gjeoshkencave Prof.Dr. Kujtim Onuzi e Dr. Gjon Kaza për këshillat profesionale në lidhje me gjeologjinë, hartat gjeologjike, dokumentet studimore të zonës së Tiranës dhe inkurajimin në momente lodhëje.

Falenderoj me shumë konsideratë profesorët e mi në Departamentin e Shkencave të Tokës, Prof. Dr. Arjan Beqiraj dhe Prof. Dr. Mensi Prela për mbështetjen e sygjërimit e tyre me vlerë në momente të caktuara të realizimit të kësaj doktorate.

Falenderoj gjithashtu Minsitrinë e Arsimit dhe Sportit për mirëkuptimin dhe autorizimet, institucionet arsimore, drejtuesit dhe personelin e tyre që më mundësuan qasjen dhe kryerjen e matjeve në ambientet përkatëse.

Në mënyrë të veçantë, dua të falenderoj bashkëshorten time Dorina Muçollari për durimin, dashurinë dhe mbështetjen e pakushtëzuar gjatë gjithë kohës së realizimit të këtij studimi.

Kjo punë nuk do të ishte e mundur pa kontributin e secilit prej jush.

Me respekt,
Gjon RROTA

Dedikuar Prindërve të mi

ABSTRAKT (SHQIP)

Sfondi: Radoni (^{222}Rn) është përbërësi më i rëndësishëm i ekspozimit të popullatës ndaj rrezatimit jonizues natyror dhe një carcinogjen i njohur për mushkëritë. Vlerësimi i rrezikut nga radoni merr rëndësi të veçantë në mjediset arsimore për shkak të ekspozimit të gjatë të fëmijëve dhe stafit, si dhe për shkak të variacioneve të mëdha hapësinore dhe kohore që burojnë nga ndërveprimi i burimit gjeogjenik me karakteristikat ndërtimore dhe praktikat e ventilimit. Në Shqipëri, harta dhe politikat për menaxhimin e radonit janë në zhvillim e sipër; të dhënat për ndërtesat publike janë të fragmentuara, ndërsa kuadri rregullator kërkon përafrim të plotë me Direktivën 2013/59/Euratom (niveli i referencës 300 Bq/m^3 për mjediset e brendshme). Ky disertacion kontribuon me një vlerësim integruar dhe të replikueshëm për qytetin e Tiranës, i fokusuar në 24 godina arsimore dhe 2 ambiente nëntokësore (bunkerë), duke kombinuar matje aktive/pasive, analiza statistikore dhe modelim gjeohapësinor me vlerësim pasigurie.

Qëllimet dhe arsyt e punës kërkimore: Qëllimi i përgjithshëm është: (i) të masë përqendrimet e radonit indoor dhe në tokë në rrjetin e përzgjedhur të pikave; (ii) të vlerësojë variacionin stinor dhe përputhshmërinë ndërmjet metodave kryesore të matjes (AlphaGuard 24-orëshe dhe detektorë CR-39 3-mujorë); (iii) të ndërtojë modele hapësinore (IDW dhe Ordinary Kriging) për përqendrimin mesatar stinor si dhe harta të pasigurisë dhe të probabilitetit të tejkalimit $\geq 300 \text{ Bq/m}^3$; (iv) të diskutojë implikimet për politikat e shëndetit publik dhe për projektimin/menaxhimin e ndërtesave. Çështjet kyçe përfshijnë: sa koherente janë nivelet e radonit midis verës dhe dimrit? cilët faktorë (klimatikë, tipologjikë, gjeologjikë) kontrollojnë kryesisht luhatjet? sa i besueshëm është modeli kriging në kushtet e densitetit ekzistues të pikave?

Materialet dhe metodat: Studimi kombinon matje aktive 24-orëshe me AlphaGuard PQ2000 PRO (mjediset e brendshme dhe në tokë) me regjistrim të bashkëshoqëruar të temperaturës, lagështisë relative dhe presionit atmosferik; dhe matje pasive me detektorë CR-39 për dy dritare sezonale (dimër/verë), të vendosura në të njëjtat pozicione për të verifikuar saktësinë e matjeve dhe për qëllime krahasuese. Të dhënat u harmonizuan në një bazë me metadat e vendeve (koordinata UTM, tipologji ndërtese, karakteristika litologjike/pedologjike/hidrogeologjike dhe kontekst urban). Aspekti analitik përfshiu: statistika përshkruese; krahasime ndërmjetodike (p.sh. AG vs CR-39) me grafikët scatter dhe Bland–Altman; analiza të varësive me parametrat klimatikë; regresione lineare ilustruese; një PCA për reduktim dimensionali dhe eksplorim të strukturës së bashkëndryshmeve; si dhe bllokun gjeostatistik me variograma eksperimentale, përshtatje

modelesh (sferik në rastin tonë), Interpolim IDW, Kriging (OK), harta të pasigurisë (varianca e parashikimit) dhe harta të probabilitetit të tejkalimit $\geq 300 \text{ Bq/m}^3$. U aplikua Leave-One-Out Cross-Validation (LOOCV) për vlerësim të gabimit (MAE/RMSE) dhe përzgjedhje parametrash (range, sill, nugget, fuqia e peshimit tek IDW).

Rezultate kryesore: (1) U konstatua rritje sistematike e përqendrimeve në dimër krahasuar me verën, në përputhje me uljen e shkëmbimit të ajrit dhe diferencat e gradientëve termikë e të presionit. (2) Godinat më të vjetra, me dysheme përdhese direkte mbi tokë, me çarje strukturore ose me ndërveprime të forta themel-nëntokë, shfaqën nivele relativisht më të larta. (3) Matjet në tokë konfirmuan rolin e furnizimit nga nëntoka dhe shërbyen si indikator i potencialit lokal, megjithëse kalimi në indoor ndërmjetësohet dukshëm nga tipologjia e ndërtesës dhe praktikrat e ventilimit. (4) Korelacionet me T/LR/P ishin statistikisht të rëndësishme në një numër objektsh; PCA evidentoi kontribut të përbashkët të kovariablave klimatike në ndryshueshmërinë e radonit. (5) Modelet hapësinore identifikuan klasterë lokalë me rrezik të shtuar; hartat e pasigurisë lejuan vlerësim më të matur të besueshmërisë së hotspot-eve; hartat e tejkalimit $\geq 300 \text{ Bq/m}^3$ ofruan shtresë vendimmarrëse të gatshme për prioritizim.

Diskutim: Modelet e vëzhguara janë koherente me fizikën e transportit të gazit radon (adveksion/difuzion) dhe me literaturën ndërkombëtare për zona urbane mesdhetare me depozitime kuaternare dhe rrjete frakturash. Ndikimi i gjeologjisë dhe pedologjisë është i pranishëm, por shpesh i moderuar nga tiparet inxhinierike të ndërtesës (materialet, sistemi i themelimit, ekzistenca e hapjeve/kanaleve teknike) dhe nga mënyra e përdorimit (koha e aktivitetit mësimor, ventilimi). Krahasimi AG vs CR-39 sugjeron përputhshmëri të mirë në tendenca, me dallime të pritshme nga integrimi i matjeve aktive dhe pasive (24h vs 3 muaj) dhe nga pozicionimi mikro-ambiental; analiza Bland–Altman e mbështet këtë lexim. Modelet e kriging treguan stabilitet të kënaqshëm të parametrave të variogramës në skenarët stinorë; megjithatë, densiteti i pikave mbetet determinant për gjeohartet dhe për zonat me heterogjenitet të fortë ndërtimor për arsye se pasiguria rritet.

Rekomandimet: Rezultatet sugjerojnë një qasje të dyfishtë: (i) ndërhyrje afatshkurtër me menaxhim ventilimi dhe, aty ku është e nevojshme, depresion nën-pllakë në godinat me risk; (ii) ndërhyrje afatmesme/afatgjata me masa parandaluese në projektimin e godinave të reja (membrana anti-radon, barriera të dyshemesë, kanale ventilimi nëntokësor) dhe me politika monitorimi periodik për mjediset arsimore. Integrimi i shtresave të pasigurisë dhe të probabilitetit të tejkalimit

në platformë GIS mundëson komunikim të qartë me autoritetet arsimore dhe shëndetësore për prioritarizim dhe planifikim buxhetor.

Risite shkencore: (a) Krahasim sistematik i metodave aktive/pasive në të njëjtat pika dhe sezona; (b) integrim i gjeostatistikës me harta të pasigurisë dhe të tejkalimit; (c) përdorim i LOOCV dhe PCA për transparencë inferenciale dhe përzgjedhje parametrash; (d) paketim i rezultateve në një kornizë të zbatueshme vendimmarrjeje. Kufizimet lidhen me numrin e pikave dhe heterogjenitetin mikro-strukturor; zgjerimi i rrjetit, matjet e fluksit në themel dhe integrimi i të dhënave me rezolucion më të lartë ndërtimor do të rrisin saktësinë e modelit.

Fjalë kyçe: *Radon; AlphaGuard; CR-39; Tiranë; mjedise arsimore; analiza statistikore; gjeostatistikë; Kriging; pasiguri; tejkalim; PCA; LOOCV.*

ABSTRACT (ENGLISH)

Background: Radon (^{222}Rn) is the dominant source of natural ionizing radiation for the general population and a well-established indoor lung carcinogen. Risk assessment in school environments is critical owing to long occupancy times and the pronounced spatio-temporal variability arising from the interplay of geogenic supply, building typology, and ventilation practices. In Albania, radon mapping and mitigation policies are maturing; evidence for public buildings remains fragmented while regulatory alignment with Council Directive 2013/59/Euratom (reference level 300 Bq/m³ for indoor environments) is required. This dissertation provides an integrated, reproducible assessment for the city of Tirana, focused on 24 school buildings and 2 underground sites (bunkers), combining active/passive measurements, statistical analysis, and geospatial modelling with uncertainty evaluation.

Objectives and research questions: The study aims to: (i) quantify indoor and soil radon at the selected network of sites; (ii) assess seasonal variability and method agreement between AlphaGuard 24-h measurements and 3-month CR-39 detectors; (iii) build spatial models (IDW and Ordinary Kriging) for seasonal mean concentrations together with uncertainty and ≥ 300 Bq/m³ exceedance-probability maps; and (iv) discuss implications for public-health policy and building design/operation. Key questions include: how consistent are winter–summer levels? which drivers

(climatic, typological, geological) primarily control variability? how reliable is kriging under the existing sampling density?

Materials and methods: The design combines 24-h active monitoring using AlphaGuard PQ2000 PRO (indoors and in soil) with co-logged temperature, relative humidity, and atmospheric pressure; and passive CR-39 detectors over two seasonal windows (winter/summer), co-located to enable direct comparison. Data were harmonized into a master table with site metadata (UTM coordinates, building typology, lithological/pedological/hydrogeological traits, urban context). The analysis pipeline encompassed descriptive statistics; inter-method comparisons (AG vs CR-39) via scatter plots and Bland–Altman analysis; associations with climatic variables; illustrative linear regressions; a PCA for dimensionality reduction and exploration of joint variability; and a geostatistics block comprising experimental variograms, model fitting (spherical/exponential), IDW interpolation, Ordinary Kriging, prediction-variance maps, and maps of exceedance probability ≥ 300 Bq/m³. Leave-One-Out Cross-Validation (LOOCV) provided error estimates (MAE/RMSE) and guided parameter selection (range, sill, nugget; IDW power).

Main findings: (1) Indoor concentrations are consistently higher in winter relative to summer, matching reduced air exchange and indoor–outdoor gradients. (2) Older, ground-floor buildings with cracks or stronger subsoil coupling exhibit relatively elevated levels. (3) Soil measurements corroborate geogenic supply and serve as a potential indicator of local source strength, while the indoor transfer is heavily mediated by building features and ventilation. (4) Significant associations with T/LR/P were observed across several sites; PCA corroborated the joint role of climatic covariates. (5) Spatial models identified localized high-risk clusters; uncertainty maps enabled a more nuanced appraisal of hotspot credibility; ≥ 300 Bq/m³ exceedance-probability maps provided an actionable layer for prioritizing interventions.

Discussion: Observed patterns are in line with radon transport physics (advection/diffusion) and with international evidence from Mediterranean urban settings characterized by Quaternary deposits and fracture networks. Geological/pedological controls are present yet often moderated by engineering features (materials, foundation system, the presence of conduits/utility channels) and by usage patterns (occupancy and ventilation). Method agreement between AG and CR-39 is generally good in terms of trends, with expected differences arising from distinct time-integration windows (24 h vs 3 months) and micro-environmental placement; Bland–Altman analysis supports

this interpretation. Kriging models displayed satisfactory stability of variogram parameters across seasonal scenarios; nonetheless, sampling density remains a key determinant for map robustness, and uncertainty increases in zones with strong building heterogeneity.

Implications: The results support a dual approach: (i) short-term mitigation through improved ventilation management and, where needed, sub-slab depressurization in at-risk buildings; (ii) medium-/long-term prevention by embedding anti-radon measures in new builds (membranes, slab barriers, sub-floor ventilation channels) and by instituting periodic monitoring protocols in school facilities. Integrating uncertainty and exceedance-probability layers in a GIS platform enables transparent communication with education and health authorities for prioritization and budgeting.

Scientific contributions: (a) Systematic comparison of active/passive methods at co-located sites and seasons; (b) integration of geostatistics with prediction-variance and exceedance-probability mapping; (c) use of LOOCV and PCA for transparent inference and parameter tuning; (d) packaging outputs into a decision-support framework. Limitations relate to point density and micro-structural heterogeneity; future work should expand the network, add foundation-flux measurements, and fuse higher-resolution building information to strengthen model robustness.

Keywords: *Radon; AlphaGuard; CR-39; Tirana; school buildings; statistics; geostatistics; Kriging; uncertainty; exceedance; PCA; LOOCV.*

Përmbajtja

VLERËSIMI I RREZIKUT TË GAZIT RADIOAKTIV RADON PËR ZONËN E TIRANËS, ANALIZA E RISKUT DHE MASAVE MBROJTËSE NDAJ TIJ	3
Deklaratë mbi Origjinalitetin e Punimit	4
<i>FALENDERIME</i>	5
ABSTRAKT (SHQIP).....	7
ABSTRACT (ENGLISH)	9
Përmbajtja	12
Lista e Tabelave... ..	16
Lista e Figurave... ..	17
Lista e Shkurtimeve.....	20
KAPITULLI 1 – HYRJE.....	21
1.1 Sfondi dhe rëndësia e problemit	21
1.2 Qëllimi dhe objektivat e studimit	24
1.3 Motivimi dhe novacioni shkencor	25
1.4 Struktura e disertacionit.....	26
KAPITULLI 2 – SHQYRTIMI I LITERATURËS	29
2.1 Radioaktiviteti natyror dhe burimet e tij.....	29
2.1.1 Burimet kozmo-gjenike	31
2.1.2 Burimet atmosferike dhe hidrike	32
2.1.3 Burimet biologjike.....	32
2.1.4 Burimet gjeogjenike	32
2.1.4.1 Burimi mineralogjik i radonit.....	34
2.1.4.2 Tipologjitë litologjike me risk të lartë	34
2.1.4.3 Ndikimi i kushteve hidrogeologjike	36
2.1.4.4 Struktura tektonike dhe çarjet gjeologjike mikrostrukturat e shkëmbinjve dhe përshkueshmëria	36
2.1.4.5 Roli i pedologjisë.....	37

2.2 Karakteristikat fizike dhe kimike	38
2.2.1 Gjysmëjeta dhe produktet bijë	40
2.2.2 Përhapja dhe akumulimi në mjediset e brendshme dhe mekanizmat e transportit	41
2.3 Faktorët që ndikojnë në shpërndarjen e radonit	42
2.3.1 Depërtimi në ndërtesa	43
2.3.2 Ndikimi i parametrave klimatike	45
2.3.3 Faktorët sizmike dhe antropogjenë	45
2.3.4 Shembuj ndërkombëtarë të niveleve të radonit	45
2.4 Radoni dhe ndikimi në shëndet	46
2.4.1 Mekanizmat biologjikë të dëmtimit	46
2.4.2 Kanceri i mushkërive	47
2.4.3 Sëmundje të tjera të mundshme	48
2.4.4. Përqindja e rasteve të kancerit të mushkërive nga radoni	48
2.4.5 Krahase ndërkombëtare	49
2.4.6 Situata në Shqipëri	49
2.5 Korniza ligjore dhe standardet ndërkombëtare	50
2.5.1 Standardet ndërkombëtare	50
2.5.2 Korniza ligjore në Bashkimin Evropian	51
2.5.3 Korniza ligjore në SHBA dhe Kanada	51
2.5.4 Gjendja në Shqipëri	51
2.5.4.1 Korniza kombëtare ligjore në Shqipëri	52
2.5.4.2 Detyrimet kryesore që rrjedhin nga VKM nr. 957/2015	53
2.6 Radoni në ndërtesa publike dhe banesa	55
2.6.1 Faktorët që ndikojnë në përqendrimit e radonit në ndërtesa	55
2.6.2 Radoni në banesa	56
2.6.3 Radoni në ndërtesa publike	56
2.7 Studimet mbi radonin në botë, rajon dhe në Shqipëri	57
2.7.1 Studimet ndërkombëtare	57
2.7.2 Studimet në rajon	57
2.7.3 Studimet në Shqipëri	58
2.7.4 Hapësira për kontribut origjinal dhe mangësitë që e justifikojnë studimin tonë në Shqipëri	60

KAPITULLI 3 – Përshkrimi i zonës së studimit	61
3.1 Të dhëna fiziko-geografike dhe gjeomorfologjike	61
3.2 Përshkrimi Gjeologjik	62
3.3 Litostratigrafia	65
3.4 Tektonika, neotektonika dhe strukturat gjeologjike.....	71
3.5 Karakteristikat hidrogeologjike	73
3.6 Proceset gjeodinamike dhe rreziqet gjeologjike	76
3.7 Karakteristikat pedologjike	77
3.8 Sizmiciteti dhe rreziku sizmik	81
3.9 Karakteristikat Topografike.....	84
3.10 Të dhënat klimatike	85
3.11 Urbanizimi, Dendësia e Popullsisë dhe Intensiteti i Ndërtimeve.....	87
3.12 Ndikimi i kushteve gjeologjike në shpërndarjen e gazit radon.....	89
3.13 Përmbledhje interpretative.....	92
KAPITULLI 4 - METODOLOGJIA E STUDIMIT.....	93
4.1 Qasja metodologjike dhe baza shkencore.....	93
4.2 Përzgjedhja e pikave të matjes	93
4.3 Arsytimi për përzgjedhjen e zonës.....	94
4.4 Mbledhja e të dhënave në terren.....	95
4.5 Parimet shkencore të monitorimit të radonit.....	97
4.6 Përvoja ndërkombëtare në metodologji.....	97
4.7 Metodat e matjes së radonit, pajisjet dhe teknikat matëse	98
4.8 Përmbledhje.....	106
KAPITULLI 5 - REZULTATET DHE ANALIZA STATISTIKORE	108
5.1 Datasetsi, metadat dhe përgatitja e të dhënave.....	108
5.2 Statistikat përshkruese dhe shpërndarjet.....	109
5.2.1. Indoor – AlphaGuard.....	109

5.2.2. Indoor – CR-39.....	111
5.2.3. Radoni në tokë (AlphaGuard).....	112
5.2.4. Sintezë e seksionit	113
5.3 Krahاسimi i metodave të matjes (AlphaGuard vs CR 39).....	113
5.3.1. Konsistenca lineare.....	113
5.3.2 Krahاسimi statistikor i dy metodave të matjes me Bland Altman.....	115
5.4 Tejkالimet e pragut të referencës prej 300 Bq/m ³	117
5.5 Lidhjet me parametrat klimatikë	118
5.5.1 Matrica e korelacioneve (heatmap)	118
5.5.2 Korelacionet e përqendrimeve të radonit me parametrat klimatikë.....	119
5.5.3 Regresionet univariate	120
5.6 Analiza e komponentëve kryesorë (PCA) dhe Biplot.....	122
5.6.1 Metodologjia	122
5.6.2. Rezultatet dhe interpretimi	122
5.7 Pairplots ose marrëdhëniet dy nga dy.....	123
5.7.1 Grafikë të shpërndarjes stinore (Seasonal boxplots).....	123
5.8 Diskutim kritik dhe implikime praktike.....	128
5.8.1. Interpretimi shkencor.....	128
5.8.2. Krahاسimi me literaturën	128
5.8.3. Masat për menaxhimin e riskut	128
5.8.4. Kufizimet dhe punë e ardhshme	128
5.9 Përmbledhje e kapitullit.....	129
KAPITULLI 6 – ANALIZA GJEOHAPËSINORE	129
6.1 Të dhënat dhe fusha studimore.....	129
6.2 Analiza Gjeostatistike.....	130
6.2.1 Variograma: ndërtim, interpretim dhe sheshim	130
6.2.2 IDW (Inverse Distance Weighting).....	135
6.2.3 Kriging i zakonshem (Ordinary Kriging OK): harta e përqendrimit.....	139
6.2.4 Kriging (OK): varianca dhe pasiguria σ	142
6.2.5 Probabilitetet e tejkالimit (vetëm indoor).....	149
6.2.6 Validimi me LOOCV	151

6.3 Përfundime	158
KAPITULLI 7 – DISKUTIMI DHE INTERPRETIMI NË KONTEKST GJEOLGJIK	159
7.1 Përmbledhje e gjetjeve kryesore	159
7.2 Ndërveprimi me parametrat mikroklimatikë	159
7.3 Shpërndarja gjeohapësinore dhe pasiguria e vlerësimeve.....	159
7.4 Marrëdhënia me parametrat klimatikë.....	160
7.5 Evidenca mbështetëse dhe verifikimi i hipotezave	163
7.6 Masat për menaxhimin e rrezikut	163
7.7 Kufizime dhe drejtime të punës së ardhshme	164
KAPITULLI 8 – PËRFUNDIME DHE REKOMANDIME	165
8.1 Përfundimet kryesore	165
8.2 Rekomandime teknike (operacionale dhe inxhinierike)	165
8.3 Rekomandime për politika dhe standarde.....	166
8.4 Rekomandime kërkimore	166
8.5 Mbyllje	166
REFERENCA.....	167
SHTOJCAT	172

Lista e Tabelave

Tabela 2.1. Vlerësim orientues i dozës mesatare vjetore efektive nga burimet kryesore (mSv/vit).....	30
Tabela 2.2. Vlerësimi orientues i rrezikut nga ekspozimi ndaj radonit (EPA, 2012).	30
Tabela 2.3. Diapazoni orientues i përqendrimeve të ^{40}K , ^{232}Th dhe ^{238}U në shkëmbinj/toka (ppm ose %K) (NRC, 1999; Schön, 2015; Wedepohl, 1969; Hazen et al., 2009).....	33
Tabela 2.4. Të dhënat mbi izotopet e Rn.....	39
Tabela 2.5. Vetit fiziko kimike të ^{222}Rn	40
Tabela 2.6 Faktorët kryesorë që ndikojnë përqendrime të radonit.	46
Tabela 3.1 Tipologjia e tokave në zonën e studimit.	80

Tabela 4.1: Përshkrimi i pajisjes AlphaGuard PQ2000 PRO dhe aksesoreve për matje indoor.	99
Tabela 4.2 Procedura e matjes në mjediset e brendshme	100
Tabela 4.3 Standardet e referencës	101
Tabela 4.4 Përshkrimi i pajisjes AlphaGuard PQ2000 PRO dhe aksesoreve për matje në tokë.....	101
Tabela 4.5 Procedura e matjes në tokë.....	102
Tabela 4.6 Specifikimet teknike të CR-39 SSNTD.....	104
Tabela 4.7 Krahësimi i parametrave matës midis AlphaGuard PQ2000 PRO dhe CR-39 SSNTD	105
Tabela 5.1 Dataseti dhe metadat.	109
Tabela 5.2 paraqet treguesit kryesorë për të gjitha matjet e kryera.....	109
Tabela 7.1 Tabelë sintetike e hipotezave dhe verifikimet përkatëse të propozuara.....	162

Lista e Figurave

Figura 2.1 Shpërndarja e burimeve të rrezatimit dhe ekspozimeve vjetore globale (Kovler et al., 2017). 29	
Figura 2.2 Burimet e gjenerimit të radonit nga toka.....	35
Figura 2.3 Skemë e ndikimit të litologjisë, pedologjisë dhe hidrogeologjisë në gjenerimin/transportin e radonit (përshtatur nga Ishimori et al.,2013).....	38
Figura 2.4 Skema e zbrërimit të serive radioaktive natyrore (www.euronuclear.org).	41
Figura 2.5 Mekanizmi i çlirimit të radonit nga toka në atmosferë sipas Ishimori et al., 2013.....	42
Figura 2.6 Faktorët që ndikojnë tek përqendrimet e radonit brenda ndërtesave	43
Figura 2.7 Rrugët kryesore të hyrjes së radonit në ndërtesa	44
Figure 2.8 Vlerat në përqindje të emetimit të ^{222}Rn (UNSCEAR)....	44
Figura 2.9 Paraqitje skematike e dëmeve të radonit tek njeriu	48
Figura 3.1 Zona e studimit, Google Earth.....	62
Figura 3.2 Harta Gjeologjike e zonës objekt studimi, Përpiluar nga Naço P. et al 1991 (SHGJSH).	64
Figura 3.3 Harta e depozitimeve sipërfaqësore e zonës objekt studimi, Përpiluar nga Hoxha J. et al (SHGJSH).	65
Figura 3.4 Kolona litostratigrafike e Tiranë.	69
Figura 3.5 Litostratigrafia e Kuaternarit.....	69
Figura 3.6 Njësitë gjeologjike të Tiranës Sh Gj Sh 2008.....	70
Figura 3.7 Prerje gjeologjike skematike Prezë-Dajt Sh.Gj.Sh. 2008.....	70
Figura 3.8 Tektonika e zonës së Tiranës.	72
Figura 3.9 Harta tektonike e Shqipërisë Aliaj Sh. 1999.....	72
Figura 3.10 Harta Hidrogeologjike e zonës objekt studimi, Përpiluar nga Saraçi M. et al (SHGJSH)	75
Figura 3.11 Harta Pedologjike WRB, Zdruli P. 2001.....	81
Figura 3.12 Harta Topografike e zones së studimit, ASIG.....	84
Figura 3.13 Të dhënat klimatike të zones objekt studimi.....	87
Figura 3.14 Paraqitje hartografike e dendësisë së popullsisë sipas Censusit 2023, Burimi INSTAT 2025.....	89
Figura 4.1 AlphaGuard PQ 2000 Pro.....	99
Figura 4.2 CR-39 SSNTD.....	103

Figura 5.1 Histograma- AlphaGuard Verë.....	110
Figura 5.2 Boxplot AlphaGuard Verë	110
Figura 5.3 Histograma- AlphaGuard Dimër	110
Figura 5.4 Boxplot AlphaGuard Dimër.....	110
Figura 5.5 Histograma CR-39 Verë.....	111
Figura 5.6 Boxplot CR-39 Verë.....	111
Figura 5.7 Histograma CR-39 Dimër	111
Figura 5.8 Boxplot CR-39 Dimër.	111
Figura 5.9 Histograma Tokë Verë	112
Figura 5.10 Boxplot Tokë Verë	112
Figura 5.11 Histograma Tokë Dimër.....	112
Figura 5.12 Boxplot Tokë Dimër	112
Figura 5.13 Grafikët mbi konsistencën e matjeve indoor.....	113
Figura 5.14 Grafikët scatter të matjeve në tokë.....	114
Figura 5.15 Boxplote krahasimore.....	114
Figura 5.16 Grafikët Bland-Altman	116
Figura 5.17 Paraqitje grafike e vijave të trendit për AlphaGuard ↔ CR-39	116
Figura 5.18 Grafiku i numrit të pikave që tejkalojnë 300 Bq/m ³	117
Figura 5.19 Heatmap, matrica e korelacioneve.....	119
Figura 5.20 Scatter plots I korelacioneve të përqendrimeve të radonit me parametrat klimatikë.....	120
Figura 5.21 CR-39 Dimër vs Temperaturë.	121
Figura 5.22 CR-39 Dimër vs lagështia.	121
Figura 5.23 Grafiku PCA Biplot	122
Figura 5.24 Boxplot stinor AlphaGuard dhe CR-39.....	123
Figura 5.25 CR-39 vs AlphaGuard dimër.....	124
Figura 5.26 CR-39 vs AlphaGuard Verë.....	124
Figura 5.27 Tokë vs AlphaGuard indoor Dimër.....	125
Figura 5.28 Tokë vs CR-39 Dimër.....	125
Figura 5.29 CR-39 Dimër vs Temperaturë Verë	126
Figura 5.30 CR-39 Dimër vs Lagështirë Verë.	126
Figura 5.31 AlphaGuard indoor Dimër vs Temperatura Verë.....	127
Figura 5.32 AlphaGuard indoor Dimër vs Lagështira Verë... ..	127
Figura 6.1 Të dhënat dhe fusha studimore.....	130
Figura 6.2 Paraqitje skematike e parametrave të variogramës.....	131
Figura 6.3 Variogramat izotropike dhe përshtatjet teorike.	132
Figura 6.4 Variogramat e AlphaGuard Verë me përshtatje sferike.....	132
Figura 6.5 Variogramat e AlphaGuard Dimër me përshtatje sferike.	133
Figura 6.6 Variogramat e CR-39 Verë me përshtatje sferike.	133
Figura 6.7 Variogramat e CR-39 Dimër me përshtatje sferike.....	134
Figura 6.8 Variogramat e Toka Verë me përshtatje sferike	134
Figura 6.9 Variogramat e Toka Dimër me përshtatje sferike.....	135

Figura 6.11 AlphaGuard Dimër (Bq/m ³) – IDW (p=2, k=12).....	136
Figura 6.12 CR-39 Verë (Bq/m ³) – IDW (p=2, k=12).	137
Figura 6.13 CR-39 Dimër (Bq/m ³) – IDW (p=2, k=12).	137
Figura 6.14 Toka Verë (Bq/m ³) – IDW (p=2, k=12).	138
Figura 6.15 Toka Dimër (Bq/m ³) – IDW (p=2, k=12).	138
Figura 6.16 AlphaGuard Verë (Bq/m ³) – Kriging (OK sferik): përqendrimi	139
Figura 6.17 AlphaGuard Dimër (Bq/m ³) – Kriging (OK sferik): përqendrimi.....	140
Figura 6.18 CR-39 Verë (Bq/m ³) – Kriging (OK sferik): përqendrimi.....	140
Figura 6.19 CR-39 Dimër (Bq/m ³) – Kriging (OK sferik): përqendrimi.....	141
Figura 6.20 Toka Verë (Bq/m ³) – Kriging (OK sferik): përqendrimi.	141
Figura 6.21 Toka Dimër (Bq/m ³) – Kriging (OK sferik): përqendrimi.	142
Figura 6.22 AlphaGuard Verë – Varianca (OK sferik).	143
Figura 6.23 AlphaGuard Verë – Pasiguria $\hat{\sigma}$ (OK sferik).	143
Figura 6.24 AlphaGuard Dimër – Varianca (OK sferik).	144
Figura 6.25 AlphaGuard Dimër – Pasiguria $\hat{\sigma}$ (OK sferik).....	144
Figura 6.26 CR-39 Verë – Varianca (OK sferik).	145
Figura 6.27 CR-39 Verë – Pasiguria $\hat{\sigma}$ (OK).....	145
Figura 6.28 CR-39 Dimër – Varianca (OK sferik).	146
Figura 6.29 CR-39 Dimër – Pasiguria $\hat{\sigma}$ (OK sferik).....	146
Figura 6.30 Toka Verë – Varianca (OK sferik).	147
Figura 6.31 Toka Verë – Pasiguria $\hat{\sigma}$ (OK sferik).....	147
Figura 6.32 Toka Dimër – Varianca (OK sferik).	148
Figura 6.33 Toka Dimër – Pasiguria $\hat{\sigma}$ (OK sferik).	148
Figura 6.34 AlphaGuard Verë – Probabilitet tejkalimi >300 Bq/m ³	149
Figura 6.35 AlphaGuard Dimër – Probabilitet tejkalimi >300 Bq/m ³	149
Figura 6.36 CR-39 Verë – Probabilitet tejkalimi >300 Bq/m ³	150
Figura 6.37 CR-39 Dimër – Probabilitet tejkalimi >300 Bq/m ³	150
Figura 6.38 AlphaGuard Verë: LOOCV, Observuar vs Parashikuar	152
Figura 6.39 AlphaGuard Verë: LOOCV, histogramë e residualeve.....	152
Figura 6.40 AlphaGuard Dimër: LOOCV, Observuar vs Parashikuar.	153
Figura 6.41 AlphaGuard Dimër: LOOCV, histogramë e residualeve.....	153
Figura 6.42 CR-39 Verë: LOOCV, Observuar vs Parashikuar	154
Figura 6.43 CR-39 Verë: LOOCV, histogramë e residualeve.	154
Figura 6.44 CR-39 Dimër: LOOCV, Observuar vs Parashikuar.....	155
Figura 6.45 CR-39 Dimër: LOOCV, histogramë e residualeve.	155
Figura 6.46 Toka Verë: LOOCV, Observuar vs Parashikuar.	156
Figura 6.47 Toka Verë: LOOCV, histogramë e residualeve.	156
Figura 6.48 Toka Dimër: LOOCV, Observuar vs Parashikuar.....	157
Figura 6.49 Toka Dimër: LOOCV, histogramë e residualeve.....	157

Lista e Shkurtimeve

Akronim	Përkufizim
EPA	Environmental Protection Agency (USA)
AKM	Agjencia Kombëtare e Mjedisit (Shqipëri)
IGJEO	Instituti i Gjeoshkencave
NORM	Naturally Occurring Radioactive Materials
UNSCEAR	United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation
WHO	World Health Organization
IAEA	International Atomic Energy Agency
ICRP	International Commission on Radiological Protection
CR-39 SSNTD	Solid-State Nuclear Track Detectors
IDW	Inverse Distance Weighting
OK	Ordinary Kriging
NCRP	National Council on Radiation Protection & Measurements
AG	AlphaGuard PQ2000 PRO
T	Temperatura
LR	Lagështira relative
P	Presioni atmosferik
PCA	Principal Component Analysis
LOOCV	Leave-One-Out Cross-Validation
GIS	Geographic Information System
NCRP	National Council on Radiation Protection & Measurements
EURATOM	European Atomic Energy Community
WRB	World Reference Base for Soil Resources

KAPITULLI 1 – HYRJE

1.1 Sfondi dhe rëndësia e problemit

Radoni ^{222}Rn është një gaz radioaktiv natyror, pa ngjyrë, pa erë dhe pa shije, i cili prodhohet si rezultat i zbërthimit radioaktiv të uraniumit ^{238}U dhe thoriumit ^{232}Th , të pranishëm në shkëmbinj, tokë dhe materiale ndërtimi. Ai na rrethon kudo në mjediset ku jetojmë e zhvillojmë aktivitetin tonë të përditshëm të punës. Duke qenë gaz, ai shpërndahet shumë shpejt në mjediset e jashtme ndërsa në mjediset e brendshme të mbyllura, mjedise pune, godina arsimore, godina publike, banesa mund të akumulohet duke arritur përqëndrime të larta të cilat paraqesin rrezik për shëndetin. Radoni dhe produktet e tij bijë (izotopët polonium, bizmut e plumb) janë përgjegjës për rreth gjysmën e dozës vjetore të rrezatimit natyror që merr popullata mesatarisht (UNSCEAR, 2010). Ky gaz përbën burimin më të madh individual të ekspozimit të njerëzve ndaj radiacionit natyror, krahasuar me burime të tjera si rrezatimi kozmik apo radionuklidet në ushqim. Prania e tij në ajrin e brendshëm paraqet një çështje madhore shëndetësore, pasi radoni klasifikohet si kancerogjen njerëzor nga Organizata Botërore e Shëndetësisë (OBSH) dhe Agjencia Ndërkombëtare për Kërkimin mbi Kancerin (IARC).

Ekspozimi afatgjatë ndaj përqendrimeve të larta të radonit në ambiente të mbyllura rrit ndjeshëm rrezikun e kancerit të mushkërive. Studime epidemiologjike afatgjata kanë konfirmuar një lidhje të drejtpërdrejtë dozë-përgjigje midis ekspozimit ndaj radonit dhe incidencës së kancerit të mushkërive (Darby et al., 2005). Radoni konsiderohet shkaku i dytë kryesor i kancerit të mushkërive pas duhanpirjes në popullatën e përgjithshme. Sipas vlerësimeve të OBSH, ekspozimi ndaj radonit dhe produkteve të tij të zbërthimit shkakton dhjetëra mijëra vdekje nga kanceri i mushkërive çdo vit në rang global (W.H.O. 2009). Për shembull, vetëm në Bashkimin Evropian llogaritet se rreth 20 mijë vdekje vjetore lidhen me ekspozimin afatgjatë ndaj radonit, shifër kjo që nënvizon rëndësinë e këtij rreziku të padukshëm. Ndryshe nga faktorët kancerogjenë të jashtëm, radoni vepron brenda shtëpive, shkollave dhe vendeve të punës ku njerëzit kalojnë pjesën më të madhe të kohës, prandaj menaxhimi i rrezikut të radonit është bërë një prioritet ndërkombëtar i shëndetit publik.

Vitet e fundit, institucionet ndërkombëtare kanë hartuar udhëzime e standarde për adresimin e rrezikut nga radoni. OBSH ka publikuar një udhëzues të posaçëm për radonin në mjediset e

brendshme (WHO, 2009), i cili rekomandon që përqendrimi mesatar vjetor i radonit në ajër të mos tejkalojë 100 Bq/m^3 , ose sa më ulët që të jetë e arsyeshme të arrihet. Në nivelin evropian, Direktiva 2013/59/Euratom e Bashkimit Evropian ka vendosur si nivel referues kufitar vlerën 300 Bq/m^3 për aktivitetin e radonit në ajrin e brendshëm, si për ndërtesat banesore ashtu edhe për ambientet e punës (European Council, 2014). Kjo nënkupton se kur përqendrimi mesatar vjetor i radonit e tejkalon pragun 300 Bq/m^3 , duhet ndërhyrë me masa korrigjuese për reduktimin e tij. Shumë vende të zhvilluara kanë miratuar plane kombëtare të radonit, të cilat përfshijnë harta të shpërndarjes së radonit, rregullore ndërtimore për parandalimin e hyrjes së radonit, programe monitorimi periodik dhe fushata ndërgjegjësimi publik. Për shembull, Britania e Madhe, Gjermania, Franca, SHBA dhe Kanadaja kanë prej kohësh programe aktive që detektojnë zonat me potencial të lartë radoni dhe këshillojnë masa mbrojtëse (Barros-Dios et al., 2012; AGIR, 2009). Në këtë kontekst, studimi i radonit në mjediset e përditshme merr rëndësi të veçantë si pjesë e parandalimit primar të kancerit.

Shqipëria, si pjesë e angazhimeve të saj drejt harmonizimit me standardet evropiane, ka nisur të adresojë çështjen e radonit vitet e fundit. Legjislacioni kombëtar aktual e njeh ekspozimin ndaj radonit si një rrezik radiologjik në mjediset e mbyllura. Në vitin 2015 është miratuar Vendimi i Këshillit të Ministrave Nr. 957, datë 25.11.2015, i cili ka vendosur nivelin referues prej 300 Bq/m^3 për përqendrimin e radonit në hapësirat e brendshme si banesat dhe vendet e punës (Qeveria e R.Sh., 2015). Po ashtu, Ligji “Për mbrojtjen nga rrezatimi jonizues” (ligj nr. 8025/1995, i përditësuar më 2008) përfshin ekspozimin nga radoni në kategorinë e ekspozimeve natyrore që duhen kontrolluar. Megjithatë, pavarësisht kornizës rregullatore në zhvillim, niveli i ndërgjegjësimit dhe të dhënat praktike mbi radonin në Shqipëri kanë qenë tradicionalisht të kufizuara. Deri para pak vitesh, vendi ynë nuk dispononte një hartë kombëtare të radonit apo një program gjithëpërfshirës monitorimi. Ndërgjegjësimi i publikut dhe i komunitetit të ndërtimit lidhur me rreziqet e radonit ka qenë i ulët, siç tregohet edhe nga sondazhet e opinionit (Dhoqina et al., 2019). Kjo gjendje e mungesës së informacionit përbën një shqetësim, duke pasur parasysh se radoni është i pranishëm kudo në mjedisin natyror dhe përqendrimi i tij mund të arrijë vlera të rrezikshme në godina pa ventilim të mirë.

Studimet e para sistematike mbi radonin në Shqipëri janë kryer vetëm në dekadat e fundit, kryesisht nga institucione kërkimore vendase në bashkëpunim me agjenci ndërkombëtare. Këto studime paraprake kanë treguar se radoni përbën një problem real edhe për vendin tonë. Një anketim

kombëtar pilot i kryer rreth vitit 2010 zbuloi se përqendrimet e radonit në banesat shqiptare variojnë gjerësisht, me disa zona që shfaqin vlera mbi kufirin prej 300 Bq/m³ (Bode et al., 2016). Po ashtu, matje të radonit në ambientet e punës dhe institucionet arsimore në zona të ndryshme kanë evidentuar prani të radonit në nivele të konsiderueshme. Për shembull, Dhoqina et al. (2019) raportuan se përqendrimi i radonit në shkollat e disa qyteteve veriore të Shqipërisë varionte nga rreth 30 Bq/m³ deri mbi 600 Bq/m³, me mesatare ~136, ku një pjesë e mirë e klasave tejkalonin nivelin referues të BE-së prej 300 Bq/m³. Edhe në rajone të tjera janë vënë re vlera të larta: matjet në shkollat e Durrësit, Lezhës, Shkodrës e Kukësit kanë treguar mesatare të ngjashme (Dhoqina et al., 2019). Këto të dhëna fillestare sugjerojnë se institucionet arsimore shqiptare mund të kenë problematika me radonin, dhe se nevojiten studime më të thelluara sidomos në qendrat urbane të mëdha.

Ndër qytetet shqiptare, Tirana – kryeqyteti dhe qyteti më i populluar – është fokus kritik për studimin e radonit për disa arsye. Së pari, Tirana përbën një metropol me densitet të lartë popullsie, ku mijëra nxënës, studentë dhe personel ndodhen çdo ditë në qindra godina arsimore (shkolla dhe institucione të tjera edukative). Për pasojë, çdo rrezik mjedisor si radoni mund të prekë një numër të madh personash në këtë qytet. Së dyti, nga pikëpamja gjeologjike dhe gjeofizike, fusha ku shtrihet Tirana paraqet kushte potenciale për emetimin e radonit. Tirana ndodhet në një depresion aluvional të krijuar nga lumëra si Erzeni, Lanë, Tërkuza, me shtresa të trasha dherash argjilore, ranore dhe zhavorre ku radoni mund të lëvizë relativisht lirshëm. Nën këto sedimente, në zonat periferi, gjenden formacione shkëmbore karbonatike dhe flish, si dhe disa zona me shkëmbinj magmatikë të izoluar në afërsi. Struktura nëntokësore e Tiranës, e karakterizuar nga thyerje tektonike dhe shtresa me përshkueshmëri të lartë, mund të favorizojë migrimin vertikal të gazit radon nga nëntoka drejt sipërfaqes (Bode et al., 2018). Për më tepër, aktiviteti sizmik i regjistruar në rajonin Tiranë-Durrës (i vendosur pranë një zone tektonikisht aktive) mund të krijojë fraktura në tokë dhe ndërtesa, të cilat shërbejnë si kanale hyrëse për radonin. Së treti, klima mesdhetare e Tiranës, me dimër të lagësht e verë të thatë, mund të ndikojë në akumulimin stinor të radonit brenda godinave; për shembull, gjatë dimrit hapja e kufizuar e dritareve mund të çojë në rritje të niveleve të radonit të brendshëm.

Pavarësisht këtyre faktorëve rrezikues, deri më sot Tirana nuk ka pasur një studim të detajuar të shpërndarjes së radonit në ndërtesat arsimore. Disa të dhëna të pjesshme ekzistojnë nga matje të

kryera në kuadër të projekteve pilot: për shembull, një vërtetim i kufizuar gjatë viteve 2012–2013 raportoi se përqendrimi mesatar i radonit në shkollat e Tiranës ishte rreth 200 Bq/m³, ndjeshëm më i lartë se ai në disa vende pune, dhe se afro 14% e shkollave të matura tejkalonin pragu 300 Bq/m³ (Tushe et al., 2019; Bode et al., 2016). Gjithsesi, këto matje paraprake nuk përfshinin sistematikisht të gjitha shkollat apo nuk analizuan në detaje faktorët që ndikojnë variacionin e radonit. Për këtë arsye, rëndësia e studimit të tanishëm është e dyfishtë: nga njëra anë, ai plotëson një boshllëk shkencor në njohjen e shpërndarjes së radonit në mjediset arsimore të Tiranës; nga ana tjetër, ai ofron një bazë të dhënash të nevojshme për autoritetet shëndetësore e mjedisore shqiptare në hartimin e politikave për menaxhimin e rrezikut nga radoni. Gjetjet e këtij kërkimi do të kenë vlerë edhe në kontekstin më të gjerë rajonal e shkencor, duke shtuar njohuri mbi sjelljen e radonit në një mjedis urban mesdhetar me karakteristika gjeologjike komplekse..

1.2 Qëllimi dhe objektivat e studimit

Qëllimi kryesor i këtij hulumtimi është të vlerësojë përqendrimin dhe shpërndarjen e radonit në godinat arsimore të qytetit të Tiranës, si dhe të analizojë faktorët gjeologjikë e strukturalë që ndikojnë në këto përqendrim, me synimin për të kuptuar më mirë rrezikun mjedisor dhe implikimet shëndetësore që lidhen me praninë e radonit. Kjo pritet të kontribuojë në zhvillimin e strategjive efektive për monitorimin dhe reduktimin e ekspozimit ndaj radonit në mjediset arsimore në Shqipëri.

Për të arritur këtë qëllim, janë vendosur këta objektiva specifikë:

1. Matja e niveleve të radonit në ambiente të brendshme dhe në tokë

- Kryerja e matjeve me **AlphaGuard PQ2000 PRO** për periudha 24-orëshe, si në ndërtesa arsimore ashtu edhe në tokë përreth tyre.
- Përdorimi i **detektorëve pasivë CR-39** për monitorim tre-mujor stinor (verë dhe dimër), duke siguruar një pasqyrë më afatgjatë të ekspozimit.

2. Krahimi metodologjik dhe stinor

- Analiza e përputhshmërisë dhe diferencave mes metodave aktive dhe pasive.
- Vlerësimi i variacioneve stinore (dimër/verë), si reflektim i kushteve klimatike dhe të ventilimit.

3. Analiza statistikore dhe korelacionale

- Përpunimi i të dhënave përmes treguesve statistikë përshkrues (mesatare, medianë, devijim standard, shpërndarje).
- Vlerësimi i korelacioneve ndërmjet përqendrimeve të radonit dhe parametrave klimatikë (temperaturë, lagështirë, presion ajror).
- Ndërlidhja e rezultateve me veçoritë gjeologjike, litologjike, pedologjike dhe hidrogeologjike.

4. Modelimi gjeohapësinor i shpërndarjes së radonit

- Zbatimi i metodave të interpolimit gjeostatistik IDW dhe Kriging për krijimin e hartave të shpërndarjes.
- Ndërtimi i hartave të pasigurisë dhe të probabilitetit të tejkalimit të pragut 300 Bq/m³, sipas Direktivës EURATOM 2013/59.
- Krahësimi i performancës së modeleve përmes procedurave të validimit (LOOCV).

5. Hartat tematike dhe platforma interaktive

- Ndërtimi i hartave të integruara që kombinojnë informacionet gjeologjike, hidrogeologjike dhe pedologjike.
- Zhvillimi i një platforme interaktive digjitale për vizualizimin e të dhënave, që mund të përdoret si mjet mbështetës në politikëbërje dhe planifikim urban.

6. Vlerësimi i rrezikut dhe rekomandimet praktike

- Identifikimi i godinave dhe zonave me përqendrimet të larta të radonit.
- Propozimi i masave parandaluese dhe korrigjuese, sidomos për ndërtesat arsimore dhe ambientet nëntokësore.
- Krijimi i bazës për një program kombëtar të monitorimit të radonit në Shqipëri.

Këto objektiva synojnë të ndërtojnë një bazë shkencore dhe praktike për zhvillimin e politikave të mbrojtjes nga radoni në Shqipëri.

1.3 Motivimi dhe novacioni shkencor

Kjo punë kërkimore-shkencore sjell një kontribut origjinal në fushën e gjeofizikës mjedisore dhe studimet e radonit në Shqipëri, në disa drejtime kryesore:

1. Qasje integruese matjesh

- Për herë të parë në Shqipëri kryhet një krahasim sistematik midis metodave aktive (AlphaGuard) dhe pasive (CR-39) në të njëjtat pika dhe periudha. Kjo ofron një pasqyrë të qartë mbi përputhshmërinë dhe devijimet mes metodave.

2. Dimensioni stinor dhe klimatik

- Matjet janë kryer në dy stinë kontrastuese (dimër dhe verë), duke mundësuar analizën e ndikimit të temperaturës, lagështirës dhe presionit ajror mbi përqendrime të radonit.

3. Integrimi me faktorët gjeologjikë dhe mjedisorë

- Në analizë përfshihen të dhëna mbi litologjinë, thyerjet tektonike, llojet e tokave dhe kushtet hidrogeologjike, duke krijuar një model të ndërlidhur gjeologji–mjedis–klimë.

4. Përdorimi i teknikave gjeostatistike të avancuara

- Zbatohen metoda të përpunimit hapësinor si IDW dhe Kriging, të kombinuara me analiza të pasigurisë dhe të probabilitetit të tejkalimit të kufirit 300 Bq/m³ sipas EURATOM (2013/59). Këto metoda japin jo vetëm shpërndarjen mesatare, por edhe besueshmërinë dhe rrezikun potencial.

5. Hartat interaktive dhe GIS

- Krijohet një platformë digjitale me shtresa të shumta ‘multi layer’ (street map, gjeologjike, hidrogeologjike etj) që lejon vizualizim dinamik dhe përdorim praktik nga studiuesit, institucionet dhe publiku.

6. Kontributi në politikat publike

- Rezultatet dhe rekomandimet e këtij studimi japin një kontribut të rëndësishëm në ndihmë të institucioneve publike në hartimin e strategjisë kombëtare të menaxhimit të rrezikut nga radoni si dhe në monitorimin periodik në shkolla apo godina të tjera publike me qëllim integrimin e masave parandaluese.

Në tërësi, këto risi shkencore e bëjnë këtë disertacion një kontribut të veçantë në literaturën vendase dhe rajonale mbi radonin. Ai zgjeron kufijtë e njohurive aktuale, duke kombinuar disiplinat e gjeofizikës mjedisore, gjeologjisë, shëndetit publik, dhe krijon një model studimi që mund të replikohet edhe në qytete të tjera brenda dhe jashtë Shqipërisë.

1.4 Struktura e disertacionit

Për të siguruar një qasje të plotë dhe të organizuar, disertacioni është ndarë në kapituj logjikë, ku çdo pjesë pasqyron një hallkë të procesit kërkimor:

- **Kapitulli 1 – Hyrje**

Paraqet sfondin e problemit, rëndësinë e studimit, qëllimet dhe objektivat specifike, motivimin dhe elementet inovative të kërkimit.

- **Kapitulli 2 – Shqyrtimi i literaturës**

Jep një pasqyrë të studimeve ndërkombëtare dhe kombëtare mbi radonin, lidhjet e tij me faktorët gjeologjikë e klimatikë, ndikimin e tij mbi shëndetin. Bëhet një krahasim i përvojës shqiptare me praktikën më të përparuar evropiane dhe globale.

- **Kapitulli 3 – Përshkrimi i zonës së studimit**

Përshkruan veçoritë fiziko-gjeografike, gjeologjike, geomorfologjike, pedologjike, gjeologo-inxhinierike, hidrogeologjike, klimatike si dhe përshkueshmërinë e zonës së studimit. Ky kapitull krijon bazën për interpretimin e përqendrimeve të radonit.

- **Kapitulli 4 – Metodologjia e studimit**

Shpjegon në detaje qasjen kërkimore, përzgjedhjen e pikave të matjes, pajisjet (AlphaGuard PQ2000 PRO dhe detektorët CR-39), procedurat dhe metodat matëse të përqendrimeve të radonit në mjediset e brendshme dhe në tokë, si dhe regjistrimin njëkohësisht të parametrave klimatikë. Gjithashtu përshkruhen metodat e analizës statistikore dhe gjeostatistikore.

- **Kapitulli 5 – Rezultatet dhe analiza statistikore**

Bëhet llogaritja e parametrave përshkrues statistikorë nga tabela e përqendrimeve të regjistruara në të gjitha pikat. Analizohen diferencat stinore, krahasohen midis tyre për saktësinë e matjeve metodave aktive dhe pasive, si dhe lidhjet me temperaturën, lagështirën dhe presionin atmosferik.

- **Kapitulli 6 – Analiza gjeohapësinore dhe hartat tematike**

Përdor teknika të interpolimit IDW dhe Kriging për të modeluar shpërndarjen hapësinore të radonit. Gjenerohen hartat w pasigurisë, harta e tejkalimit të pragut 300 Bq/m³ dhe hartat e integruara interaktive.

- **Kapitulli 7 – Diskutimi**

Bëhet interpretimi në lidhje me faktorët gjeologjikë dhe mjedisorë. Analizohen rezultatet në lidhje me litologjinë, pedologjinë, ujërat nëntokësore, tipologjinë e ndërtesave dhe faktorët urbanë. Krahasohen gjetjet me literaturën ndërkombëtare dhe identifikohen zonat më problematike.

- **Kapitulli 8 – Përfundime dhe rekomandime**

Përmbledh gjetjet kryesore, nxjerr përfundimet shkencore dhe praktike, dhe ofron rekomandime për menaxhimin e rrezikut nga radoni, si dhe sugjerime për kërkimet në të ardhmen.

- **Anekset**

Përfshijnë tabelat me të dhënat origjinale, rezultatet e detajuara statistikore, hartat tematike, kodet burimore për analizat, si dhe dokumentacionin mbështetës.

KAPITULLI 2 – SHQYRTIMI I LITERATURËS

2.1 Radioaktiviteti natyror dhe burimet e tij

Radioaktiviteti është një dukuri natyrore që rrjedh nga prania e radionuklideve në koren e Tokës, atmosferë, ujë dhe biotë. Ekspozimi i njeriut ndaj rrezatimit jonizues është i pashmangshëm dhe vjen si nga burimet natyrore, ashtu edhe nga ato artificiale (mjekësore e industriale). Sipas UNSCEAR, rreth 80% e dozës efektive vjetore globale i atribuohet burimeve natyrore, ndërsa pjesa tjetër lidhet kryesisht me ekspozime mjekësore Figura 2.1 (UNSCEAR, 2000; UNSCEAR, 2008, Kovler 2017). Kjo e bën radioaktivitetin natyror një komponent themelor të ambientit ku ka evoluar njeriu.

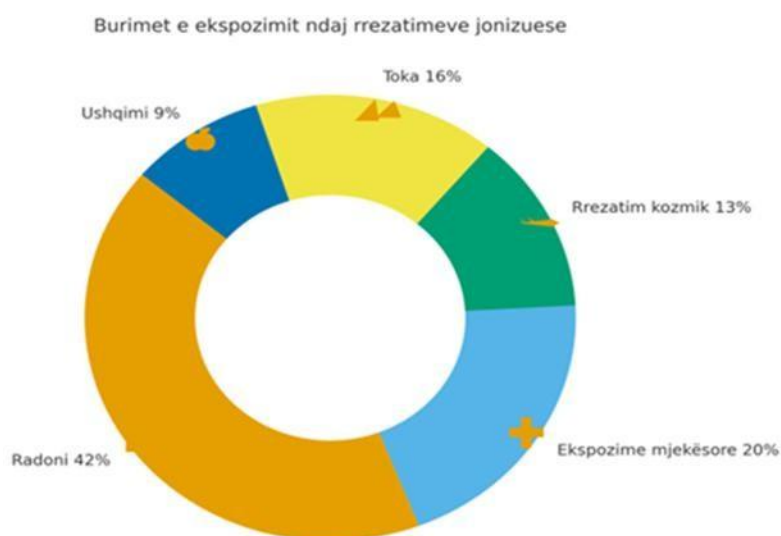


Figura 2.1. Shpërndarja e burimeve të rrezatimit dhe ekspozimeve vjetore globale (Kovler et al., 2017)

Burimet kryesore natyrore përfshijnë: (i) rrezatimin kozmik (primar/dytësor), (ii) rrezatimin tokësor të jashtëm nga radionuklide të zinxhirëve U/Th/K në koren e Tokës, (iii) gazrat radioaktive (radoni/thoroni) që mund të akumulohen në ndërtesa, dhe (iv) marrjen e radionuklideve natyrore përmes ushqimit dhe ujit (O'Connor et al., 2014; WHO, 2009).

Tabela 2.1. Vlerësim orientues i dozës mesatare vjetore efektive nga burimet kryesore (mSv/vit)

Burimi	Doza mesatare vjetore (mSv)
Ekspozimi ndaj burimeve natyrore	
– Marrja nga frymëmarrja (Rn dhe bijat)	1.2–1.3
– Rrezatim tokësor i jashtëm	~0.48
– Gëlltitja (ushqim/ujë)	~0.29
– Rrezatim kozmik	~0.39
Totali natyror	~2.4
Ekspozimi ndaj burimeve artificiale	
– Ekspozimi mjekësor (mesatar global)	~0.6
Totali artificial	~0.6*
Totali i përgjithshëm	~3.0

*Ka ekspozime të tjera artificiale, por zakonisht $\ll 0.01$ mSv/vit. Të dhënat janë sintetizuar nga UNSCEAR (2000; 2008) dhe WHO (2009).

Siç shihet, radoni kontribuon rreth gjysmën e dozës nga burimet natyrore tek popullata globale, duke e bërë atë komponentin kryesor të ekspozimit natyror (UNSCEAR, 2000; WHO, 2009). Për të ilustruar implikimet e rrezikut, **Tabela 2.2** paraqet një klasifikim orientues të rrezikut relativ nga ekspozimi *indoor* ndaj radonit (EPA, 2012).

Tabela 2.2. Vlerësimi orientues i rrezikut nga ekspozimi ndaj radonit (EPA, 2012)

C (Bq/m ³)	Nv (vdekje/1000 banorë)	Ilustrim i rrezikut relativ
7400	440–770	~60× rrezik krahasuar me jo-duhanpirës
3700	270–630	~ rreziku i një duhanpirësi që pi ~4 paketa/ditë
1480	120–380	~ ekspozim si ~4000 radiografi kraharori/vit
740	60–210	~ rreziku i një duhanpirësi ~2 paketa/ditë
370	30–120	~ rreziku i një duhanpirësi ~1 paketë/ditë
148	13–50	~5× rrezik vs jo-duhanpirës
74	7–30	~200 radiografi kraharori/vit
37	3–13	rreziku bazë i jo-duhanpirësit
7.4	1–3	~20 radiografi kraharori/vit

Shënim: Vlerat janë orientuese dhe varen nga supozimet e modelit. Nv = numri i vdekjeve të vlerësuar/1000 banorë.

2.1.1 Burimet kozmo-gjenike

Rrezatimi kozmik vjen nga hapësira dhe ndërvepron me atmosferën duke gjeneruar grimca dytësore që arrijnë në sipërfaqe. Kontributi rritet me lartësinë dhe gjerësinë gjeografike; zona malore përjetojnë doza më të larta se ato bregdetare. Globalisht, doza efektive është rreth 0.3–0.4 mSv/vit (UNSCEAR, 2000).

2.1.2 Burimet atmosferike dhe hidrike

Përveç radonit—burimi dominues inhalator—izotopë si ^{14}C dhe ^3H kontribuojnë në doza shumë të vogla por të matshme. Radoni në ujë është i zakonshëm në akuiferë nëntokësorë, veçanërisht në zona karstike; kur uji përdoret në banesa, radoni çlirohet në ajër gjatë gatimit/larjes dhe shton ekspozimin (Appleton, 2007). Në Shqipëri janë raportuar nivele të rritura radoni në ujë në disa zona karstike, duke kërkuar monitorim të posaçëm (Reçi et al., 2018).

- Mekanizmi fizik i tretjes në ujë

Tretshmëria e radonit në ujë ndjek parimet e ligjit të Henry-t, sipas të cilit sasia e gazit që tretet në një lëng është në përpjesëtim të drejtë me presionin parcial të gazit mbi sipërfaqen e lëngut. Kështu, përqendrimi i radonit të tretur rritet me shtimin e presionit dhe me uljen e temperaturës. Në temperatura të ulëta (0–10 °C), uji ruan ndjeshëm më shumë radon krahasuar me kushtet e zakonshme atmosferike (20–25 °C). Ky fenomen shpjegon përse ujërat nëntokësore të ftohta, veçanërisht ato që qarkullojnë në akuifere granitike ose karstike, shfaqin përqendrime të larta të këtij gazi.

- Faktorët që ndikojnë në përmbajtjen e radonit në ujë

Përveç temperaturës dhe presionit, përmbajtja minerale e ujit, koha e kontaktit me shkëmbin dhe përmbajtja e radiumit në mjedisin pritës janë faktorë vendimtarë për sasinë e radonit të tretur. Ujërat që qarkullojnë në shtresa aluvionale me përmbajtje uranumi dhe radiumi, si dhe në sedimente të shkrifëta me përshkueshmëri të lartë, janë më të prirura të akumulojnë përqendrime të larta radoni. Ndërkaq, uji me mineralizim të lartë ose me kripësi të theksuar ka aftësi më të kufizuar për ta tretur këtë gaz, për shkak të efektit të njohur si “salting-out”, ku jonet në tretësirë pengojnë shpërndarjen e gazit në fazën ujore.

- Intervalet tipike të përqendrimeve

Vlerat mesatare të përqendrimeve të radonit në ujë ndryshojnë ndjeshëm në varësi të origjinës hidrogeologjike. Ujërat e sipërfaqes zakonisht përmbajnë më pak se 1 Bq/L për shkak të humbjes së gazit në atmosferë. Ujërat e puseve të cekëta variojnë nga disa njësi deri në dhjetëra Bq/L, ndërsa ujërat nëntokësore të thella ose ato që burojnë nga zona granitike mund të arrijnë nga disa qindra deri në mijëra Bq/L. Në raste të rralla, veçanërisht në zona me mineralizim uranifer ose burime termale, janë raportuar përqendrime mbi 10 000 Bq/L, të cilat përfaqësojnë

2.1.3 Burimet biologjike

Një pjesë e vogël e radioaktivitetit natyror vjen edhe nga ushqimi dhe trupi i njeriut. Kaliumi-40, i cili është i pranishëm në fruta, perime dhe drithëra, përbën burimin kryesor të rrezatimit të brendshëm. Në mesatare, një individ merr rreth 0.2 mSv në vit nga ky burim (WHO, 2009). Edhe elementet uranium dhe thorium mund të futen në zinxhirin ushqimor, por kontributi i tyre është minimal krahasuar me burimet e tjera.

2.1.4 Burimet gjeogjenike

Në aspektin gjeologjik i kushtohet vëmendje proceseve të zbërthimit radioaktiv të Uranium-radiumit, Thoriumit dhe Kaliumit, të cilët ndodhen në shkëmbinj të natyrorë, dhe prodhojnë burimin e vetëm të sasive të matshme të rrezeve gamma. Tokat janë medium kyç për migrimin e radionuklideve dhe e kontrollojnë fluksin e radonit drejt sipërfaqes (Ribeiro et al., 2018).

Faktorët gjeologjikë “radon-prone” përfshijnë: litologji të pasura me U/Th (granitikë, shiste fosfatike), fraktura/çarje tektonike, depozitime aluvionale të përshkueshme, karstifikim dhe prani të flukseve të CO₂ që “transportojnë” Rn (Miles & Appleton, 2005; Tollefsen et al., 2016)

Vlerat mesatare dhe diapazoni i përmbajtjes ²³⁸U, ²³²Th dhe ⁴⁰K për lloje të ndryshme shkëmbinjsh tregohen në Tabelën 3. Këta elementë formojnë jone të mëdha pozitive (katione); prandaj, ata kërkojnë minerale me hapje të mëdha të strukturës kristalore për t'u përshtatur. Minerale të tilla janë më të zakonshme në lloje të caktuara shkëmbinjsh që evoluojnë përmes proceseve në koren e Tokës. Këta shkëmbinj mund të kenë evoluar ose nga distilimi i magmës së shkrirë ose nga ngurtësimi nga sedimentimi (Hurley, 2009). Në përgjithësi, radioaktiviteti i shkëmbinjve magmatikë rritet nga shkëmbinjtë mafikë (bazikë) në ata felsikë (acidë) dhe gjithashtu, radioaktiviteti i shkëmbinjve sedimentarë rritet nga shkëmbinjtë e pastër në ata shkëmborë argjilorë, d.m.th., me rritjen e përmbajtjes së argjilës (NRC, 1999; Schön, 2015). Në rastin e

uraniumit, përmbajtjet e larta në përgjithësi shoqërohen me shkëmbinj acidë (dhe të ndërmjetëm) (p.sh granitet) - përqendrimi i tyre mesatar është rreth 4.65 ppm. Si rezultat i erozionit dhe ndryshimit, uranumi formon kripëra të tretshme. Ngjashëm me uraniumin, toriumi mund të gjendet edhe në shkëmbinj acidë (dhe të ndërmjetëm), por ndryshe nga uranumi, ai është shumë i qëndrueshëm dhe nuk tretet në një tretësirë. Kaliumi kombinohet kimikisht në tre grupe kryesore të mineraleve që përmbajnë kalium, siç janë mineralet e argjilës, ku kaliumi ndodh ose në strukturën minerale ose i adsorbuar në grimcat e argjilës, mineralet që formojnë shkëmbinj, ku kaliumi kombinohet kimikisht në strukturën minerale dhe evaporitet, ku kaliumi ndodh kimikisht si kripë (Jürgen H.Schön, 2015). Tokat prodhohen si rezultat i erozionit të materialeve në sipërfaqen e Tokës, duke përfshirë shpërbërjen mekanike të shkëmbinjve dhe erozionin kimik të mineraleve. Nga aspekti radiologjik, studimi i radioaktivitetit të tokave është shumë i rëndësishëm sepse tokat jo vetëm që sillen si një burim i ekspozimit të vazhdueshëm ndaj rrezatimit për njerëzit, por edhe si një medium për migrimin e radionuklideve në ndarje të tjera mjedisore si uji, ajri, sedimentet dhe sistemet biologjike. Përmbajtja e radionuklideve në tokat sipërfaqësore mund të ndikohet jo vetëm nga përmbajtja e tyre në shkëmbinjtë bazë, por edhe nga faktorët abiotikë dhe biotikë që kanë origjinën në toka. Ndryshimet në përmbajtjen e radionuklideve të një toke mund të nxiten nga proceset e formimit të tokës si shtesa, humbje, transformime dhe zhvendosje, të cilat varen nga faktorë të tillë si topografia, klima, organizmat dhe koha (Ribeiro et al., 2018; UNSCEAR, 2000).

Tabela 2.3. Diapazoni orientues i përqendrimeve të ^{40}K , ^{232}Th dhe ^{238}U në shkëmbinj/toka (ppm ose %K) (NRC, 1999; Schön, 2015; Wedepohl, 1969; Hazen et al., 2009)

<i>Material</i>	^{40}K % total K	^{232}Th ppm	^{238}U ppm
<i>Igneous rocks</i>			
<i>Syenites and phonolites</i>	3–6	0.7–35 [typically >10]	0.1–26
<i>Granites and rhyolites</i>			2–50
	2.5–4.5	8–56	
<i>Intermediate igneous rocks</i>			1–6
<i>Basalts and other mafic rocks</i>	1–2	0.1–4	0.1–1
<i>Ultramafic rocks</i>	<1 [av. * ~0.6]	<0.1	0.001–1
<i>Sedimentary rocks</i>			
<i>Shales, clays, mudrocks</i>	<0.01–7.1	10–13	1–5
<i>Black shales (organic-rich)</i>	2.6	10.9	2–1250

Phosphorite-black shales	–	–	≤700
Phosphorite	–	1–5	
Sandstones	<0.01–5.6	1–7	0.5–4
	<0.01–5 [av. limestone		
	~0.3]		
Limestones, dolomites		<0.05–3	<0.1–9
	[av. dolomite ~0.6]		
Pure evaporites	Variable	–	<0.1
Metamorphic Rocks			
Low-grade			<1–5
	Dependent on parent rock		
		Highly variable, typically	
Medium-grade	(i.e., igneous and		<1–5
		6–10	
	sedimentary)		
High-grade			<1–7
All rocks	0.3–4.5	2–20	0.5–4.7
Continental crust (average)	2.8	10.7	2.8
Soils (global average)	1.5	9	1.8

2.1.4.1 Burimi mineralogjik i radonit

Radoni është produkt i drejtpërdrejtë i shpërbërjes së ^{226}Ra , i cili vetë rrjedh nga ^{238}U . Prandaj, prania e radonit në mjedis lidhet ngushtë me shpërndarjen e uraniumit dhe radiumit në shkëmbinj dhe sedimente. Mineralet kryesore që përmbajnë uranium janë:

- **Uraninita (UO_2) dhe torbernite ($\text{Cu}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$)**, të pranishme kryesisht në shkëmbinj magmatikë si granitet (Schön, 2015).
- Fosfatet dhe argjilat e pasura me uranium.
- Materiale ndërtimore të përpunuara nga këta shkëmbinj (graniti si gur dekorativ, fosfatet në industri).

Në zonat ku përmbajtja e uraniumit në shkëmbinj është mbi 2–3 ppm, potenciali për gjenerimin e radonit konsiderohet i lartë.

2.1.4.2 Tipologjitë litologjike me risk të lartë

Lidhja mes litologjisë dhe gjenerimit të radonit është e mirëdokumentuar. Disa tipologji shkëmbore shfaqin risk më të lartë:

- **Granitët dhe shkëmbinjtë acidë magmatikë:** kanë përmbajtje të lartë uraniumi dhe struktura të çara që lehtësojnë daljen e radonit.
- **Shkëmbinjtë fosfatikë dhe argjilat fosfatike:** përmbajnë radionuklide në sasi të konsiderueshme.
- **Shkëmbinjtë karbonatikë (gëlqerorë, dolomitë):** në vetvete kanë përmbajtje më të ulët uraniumi, por shpesh përfshijnë çarje dhe shtrirje karstike që lejojnë transport të shpejtë të gazit.
- **Sedimentet e lirshme aluvionale (rërë, zhavorr):** në varësi të përbërjes, mund të veprojnë si rezervuarë ose si barriera të radonit; argjilat e dendura e frenojnë daljen, ndërsa zhavorret e lehtësojnë.

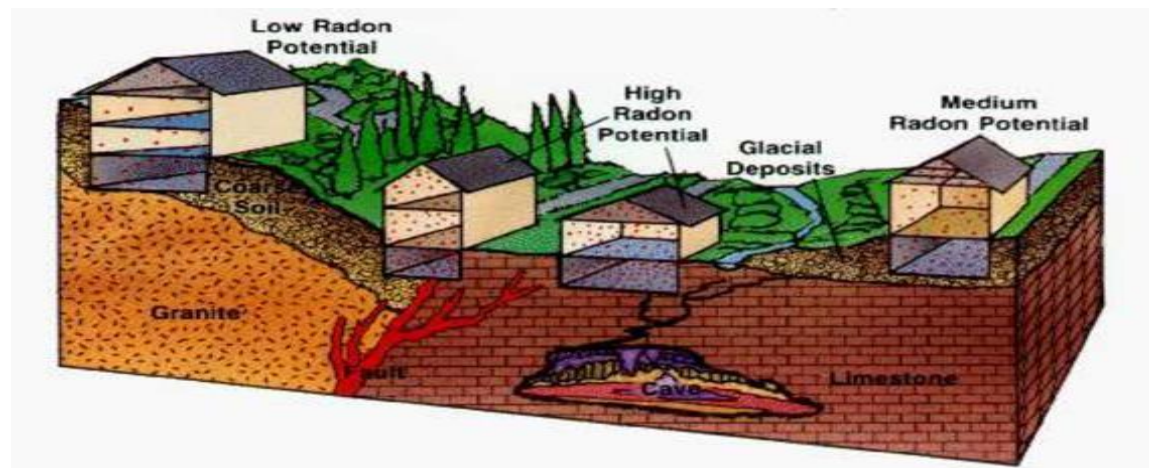


Figura 2.2 Burimet e gjenerimit të radonit nga toka

Nga të dhënat e grumbulluara deri më sot mund të përmbledhim si burime kryesore të gjenerimit të radonit në tokë zonat ku:

- përqendrimi i lartë i U dhe Th në shkëmbinj me anomali të Ra e graniteve
- ka manifestime vullkanike të CO₂ bartës i Rn
- ekzistojnë situata gjeologjike me depozitime të U dhe Ra nga proceset sekondare të rrjedhjes dhe depozitimit
- kemi mineralizim me përmbajtje të lartë U / Ra për shkak të rritjes së lëngjeve hidrotermale në fraktura

- kemi produkte epivulkanike në të cilat koeficienti i gazeve të emetuarritet me rritjen e porozitetit të tokës
- kemi depozitat e konoideve, morenave, ato erozive me rërë nga erozioni i mineraleve me prani të U dhe Th
- jemi në prani të frakturave ose çarjeve në shkëmbinj me përmbajtje të lartë U dhe Th ose në zonat me rezervuarë magmatikë sipërfaqësorë
- kemi veprimtari karstike, tunelet, zgavrat etj.

2.1.4.3 Ndikimi i kushteve hidrogeologjike

Radoni është i tretshëm në ujë, ndaj akuiferet nëntokësore mund të shërbejnë si transportues të tij. Uji i pasur me radon, kur del në sipërfaqe përmes puseve ose burimeve, çliron gazin në ajër dhe mund të bëhet burim ekspozimi për popullsinë. Ky fenomen është dokumentuar në shumë zona malore, ku burimet natyrore shfaqin përqendrimet të larta radoni.

2.1.4.4 Struktura tektonike dhe çarjet gjeologjike mikrostrukturat e shkëmbinjve dhe përshkueshmëria

Përveç litologjisë, struktura tektonike e zonës luan një rol kyç. Çarjet, dislokimet dhe sistemet e frakturave krijojnë kanale natyrore për daljen e radonit nga nëntoka. Frakturat makro/mikrotektonike rrisin ndjeshëm permeabilitetin efektiv për radonin dhe shpjegojnë grumbullime të larta mbi vijat e thyerjeve; kjo shfrytëzohet edhe në monitorim gjeodinamik (Nazaroff, 1992).

Përshkueshmëria apo permeabiliteti luan një rol kyç në lëvizjen e radonit përmes shkëmbinjve dhe tokës. Duke qenë se radoni është gaz, përhapja e tij ndikohet drejtpërdrejt nga madhësia, lidhja dhe shpërndarja e poreve.

- **Shkëmbinjtë me pore të mëdha dhe të lidhura (zhavorre, ranorë, materiale aluvionale)** lehtësojnë lëvizjen advective të radonit, duke çuar në përqendrimet të larta në ndërtesat e ngritura mbi këto formacione.
- **Shkëmbinjtë kompaktë dhe të dendur (argjilat, mergelet, bazalti i padeformuar)** e pengojnë përhapjen e radonit, duke vepruar si barrierë. Megjithatë, nëse këta shkëmbinj përfshijnë çarje të vogla tektonike, radoni mund të përdorë këto rrugë për migrim selektiv.

- **Çarjet mikrotektonike** dhe rrjetet e mikrofrakturave shpesh janë determinantë kryesorë, pasi krijojnë kanale që lejojnë grumbullimin dhe daljen e gazit edhe në zona ku përmbajtja e uraniumit nuk është shumë e lartë.

2.1.4.5 Roli i pedologjisë

Pedologjia, përmes tipareve të tokës në sipërfaqe, ndikon drejtpërdrejt mbi fluksin e radonit nga nëntoka drejt atmosferës dhe ndërtesave:

- **Tokat ranore dhe zhavorrore:** kanë porozitet të lartë dhe permeabilitet të madh, duke lejuar daljen e radonit në sipërfaqe dhe akumulimin në ndërtesa.
- **Tokat argjilore:** kanë porozitet total të lartë, por porozitet efektiv shumë të ulët. Si rezultat, ato shpesh veprojnë si mburojë që pengon fluksin e radonit.
- **Tokat lym (loam) (baltë + rërë + humus):** kanë një sjellje të ndërmjetme, duke lejuar difuzionin e kufizuar të gazit.
- **Tokat organike:** për shkak të prishjes së lëndës organike dhe lagështisë së lartë, shpesh bllokojnë daljen e radonit, por në disa raste mund të shërbejnë si “magazinë” e tij.
- **Tokat e cekëta në zona karstike:** favorizojnë depërtimin e shpejtë nëpërmjet zbrazëtirave dhe shpellave në shkëmbinj karbonatikë.

Prandaj, një zonë me përmbajtje të ulët uraniumi, por me tokë zhavorrore ose të çarë, mund të shfaqë përqendrimet të larta radoni në ndërtesa, ndërsa zona me përmbajtje të lartë urani, por me tokë argjilore të dendur, mund të ketë përqendrimet më të ulëta nga sa pritej.

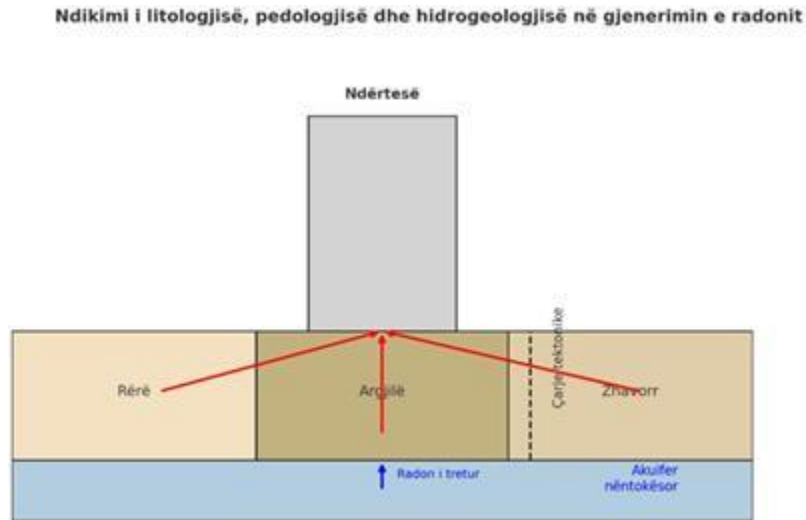


Figura 2.3 Skemë e ndikimit të litologjisë, pedologjisë dhe hidrogeologjisë në gjenerimin/transportin e radonit (përshtatur nga Ishimori et al., 2013)

Figura 2.3 paraqet skematikisht ndikimin e litologjisë, pedologjisë dhe hidrogeologjisë në gjenerimin e radonit:

- Radoni lëviz më lehtë nëpër **rërë dhe zhavorr** (permeabilitet i lartë).
- **Argjila** e kufizon përhapjen (barrierë natyrore).
- **Çarjet tektonike** krijojnë kanale të shpejta për dalje të gazit.
- **Akuiferi nëntokësor** transporton radon të tretur, që më pas çlirohet në sipërfaqe.

2.2 Karakteristikat fizike dhe kimike

Radoni është një gaz radioaktiv që i përket zinxhirit të zbërthimit të Uraniumit ^{238}U , që është një element shumë i zakonshëm në koren e Tokës, me një përqendrim mesatar prej 4 ppm, megjithëse mund të ndryshojë ndjeshëm në varësi të karakteristikave gjeologjike të terrenit. Përbërja natyrore izotopike e Uraniumit ia atribuon 99.3% izotopit 238, zinxhiri i zbërthimit të të cilit, i cili përfundon me izotopin e qëndrueshëm ^{206}Pb , përfshin radionuklide të ndryshme radioaktive. Pesë bijat e para të ^{238}U , kimikisht reaktive, kanë tendencë të vendosen në matricën e ngurtë të materialit: prandaj ato nuk krijojnë probleme të mbrojtjes nga rrezatimi, pasi grimcat α të emetuara nga disa prej tyre depozitojnë të gjithë energjinë e tyre në vetë matricën.

Sjellja e ^{222}Rn është e ndryshme nga ^{238}U .

Në temperaturë ambiente, është një gaz pa ngjyrë, pa shije, pa erë dhe pothuajse inert, i cili kur

ftohet deri nën pikën e shkrirjes, që është e barabartë me $-71\text{ }^{\circ}\text{C}$, fiton një lumineshencë me shkëlqim me tendencë drejt ngjyrës së verdhë ndërsa kur temperatura bie, në temperaturën ekuivalente të ajrit të lëngshëm ngjyra bëhet e kuqe-portokalli.

Kimikisht, është një gaz inert dhe si i tillë, nuk formon lidhje kimike. Prandaj, ai tenton të migrojë brenda materialit në të cilin është formuar, duke lëvizur në lidhje me përqendrimin, presionin dhe gradientët e temperaturës. Kështu, që radoni të çlirohet në mënyrë efikase nga një mineral i zakonshëm, ai duhet të formohet brenda $0.02\text{--}0.07\text{ }\mu\text{m}$ të parë nga sipërfaqja. Radoni që formohet më thellë mbetet i bllokuar në material dhe zbërthehet shpejt në nënproduktet e tij të ngurta. Prandaj, mund të thuhet se përqendrimi i uraniumit në material, karakteristikat e tij mekanike si poroziteti dhe kokrrizat, kushtet mjedisore si presioni, temperatura dhe lagështia karakterizojnë çlirimin e radonit nga vetë materiali.

Siç raportohet në Tabelën më poshtë, radoni është dobët i tretshëm në ujë, ndërsa është shumë më i tretshëm në lëngje organike — për vajin e ullirit, koeficienti i tretshmërisë është 29.0 (në $18\text{ }^{\circ}\text{C}$); kjo nënkupton që radoni çlirohet lehtësisht nga uji, për shembull duke flluskuar ajër në të ose thjesht duke e tundur atë.

Radoni (Rn) është një element kimik që i përket grupit të gazrave të plogët, me numër atomik 86 dhe masë atomike mesatare 222. Dendësia e tij është $9.96 \times 10^{-3}\text{ g cm}^{-3}$ në $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, duke e bërë shumë më të rëndë se ajri dhe për pasojë priret të grumbullohet në bodrume, tunele, shpella dhe hapësira të ulëta të ndërtesave (WHO, 2009).

Në tabelën janë përmbledhur të dhënat mbi izotopet dhe ato fiziko-kimike bazë mbi radonin

Tabela 2.4. Të dhënat mbi izotopet e Rn

Izotopi	Origjina	Gjysmëjetë ($T_{1/2}$)	Produkti i zbërthimit
^{222}Rn	Nga ^{226}Ra (zinxhiri i ^{238}U)	3.823 ditë	Polonium-218
^{220}Rn (Thoron)	Nga ^{224}Ra (zinxhiri i ^{232}Th)	55.6 sekonda	Polonium-216
^{219}Rn (Actinon)	Nga ^{223}Ra (zinxhiri i ^{235}U)	3.96 sekonda	Polonium-215

Tabela 2.5. Vetit fiziko kimike të ^{222}Rn

Parametri	Vlera tipike	Përshkrimi shkencor
Simboli kimik	Rn	Element i gazrave fisnikë
Numri atomik (Z)	86	Pozicionohet në grupin 18 të sistemit periodik
Masë atomike relative	222 u	Izotopi më i qëndrueshëm është ^{222}Rn
Periudha e gjysmëjetës ($T_{1/2}$)	3.823 ditë	Zbërthehet në polonium-218 përmes emetimit α
Pika e vlimit	-61.7 °C	Gazi kondensohet lehtë në kushte të ftohta
Pika e shkrirjes	-71 °C	Kthehet në gjendje të ngurtë në temperatura shumë të ulëta
Dendësia në 0 °C, 1 atm	9.73 kg/m ³	Më i rëndë se ajri (rreth 7.5 herë)
Ngjyra	Pa ngjyrë (por jep dritë blu-violet kur lëngëzohet)	Tipar dallues për gazrat fisnikë të rëndë
Aromë / Shije	Asnjë	Gazi është plotësisht inert dhe pa erë
Tretshmëria në ujë (20 °C)	$\approx 230 \text{ cm}^3/\text{m}^3$ ujë	Relativisht e lartë për një gaz fisnik

Radoni ka përfutur emrin nga fjala latine *radium*, pasi është produkt i prishjes së ^{226}Ra në zinxhirin radioaktiv të ^{238}U (UNSCEAR, 2000).

Edhe pse nga pikëpamja kimike, radoni është relativisht inert, ai mund të formojë disa komponime të paqëndrueshme në kushte laboratorike, si radon fluoridet. Në natyrë, rëndësia e tij qëndron jo tek reaktiviteti kimik, por tek aktiviteti radioaktiv. Radoni lëshon grimca alfa me energji mesatare 5.5 MeV që nuk kanë aftësi të lartë depërtuese pasi mjafton një fletë për ti penguar por kur njeriu i thith nga ajri apo gëlltit nga ushqimi, ato përbëjnë rrezik sepse mund të dëmtojnë drejtpërdrejt ADN-në në qelizat epiteliale të mushkërive (ICRP, 2010).

2.2.1 Gjysmëjeta dhe produktet bijë

Izotopi më i rëndësishëm për qëllime shëndetësore është ^{222}Rn , me gjysmëjetë 3.82 ditë. Ky interval është mjaft i gjatë sa për të lejuar migrimin e tij nga shkëmbinjtë dhe toka deri në mjediset e brendshme, por jo aq i gjatë sa për të shkaktuar shpërndarje globale. Përveç tij, ekzistojnë ^{220}Rn (*thoron*) dhe ^{219}Rn (*aktinon*), të cilët kanë gjysmëjetë përkatësisht 55 sekonda dhe 4 sekonda, duke i kufizuar efektet e tyre kryesisht në burimin lokal (Tabela 2.4).

Produktet bijë të radonit – ^{218}Po , ^{214}Bi , ^{214}Po – janë radionuklide të ngurta që ngjiten në aerosolë dhe grimca pluhuri. Këto thithen nga mushkëritë dhe kontribuojnë në rrezatimin e brendshëm. Në

fakt, sipas UNSCEAR (2000), mbi 50% e dozës efektive të marrë nga radoni i atribuohet produkteve bijë, dhe jo vetë gazit.

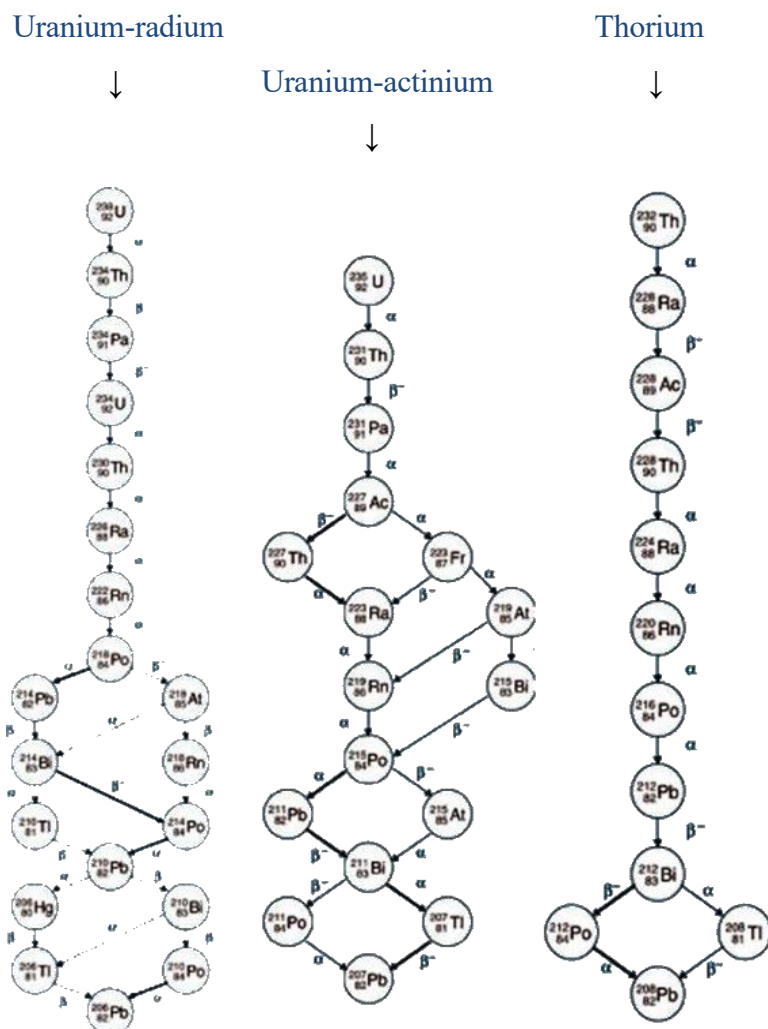


Figura 2.4 Skema e zbërthimit të serive radioaktive natyrore (www.euronuclear.org)

2.2.2 Përhapja dhe akumulimi në mjediset e brendshme dhe mekanizmat e transportit

Radoni gjenerohet në nëntokë dhe lëviz përmes poreve të tokës, çarjeve tektonike dhe kanaleve të ujit nëntokësor. Ai depërton në ndërtesa kryesisht përmes themeleve, dyshemeve të pambrojtura dhe puseve. Përqendrimet ndikohen nga parametrat klimatike (temperatura, presioni, reshjet, bora, era), nga aktiviteti sizmik dhe faktorët antropogjenë (ndërtimet, ventilimi, izolimi). Në periudha të

ftohta dhe me presion të ulët atmosferik, përqendrimet rriten për shkak të thithjes më të madhe të gazit nga ndërtesat (Fig. 2.5).

Migrimi i radonit nga burimi gjeologjik deri në ambientet e brendshme ndodh përmes mekanizmave kryesorë:

- **Difuzioni** – lëvizja e radonit sipas gradientit të përqendrimit. E rëndësishme në tokat me përshkueshmëri të ulët.
- **Adveksioni** – transporti përmes rrjedhjes së gazrave në tokë, i nxitur nga ndryshimet e presionit barometrik dhe temperaturës. Ky proces mund të rrisë ndjeshëm hyrjen e radonit në ndërtesa gjatë periudhave me presion të ulët atmosferik (Nazaroff, 1992).
- **Migrimi përmes ujërave nëntokësore** – radoni tretet në ujë dhe transportohet në puse, burime e rrjete ujësjellësi. Në disa raste, kontribuimi i ujit të pijshëm në dozën totale vjetore mund të arrijë deri në 10% (Appleton, 2007).

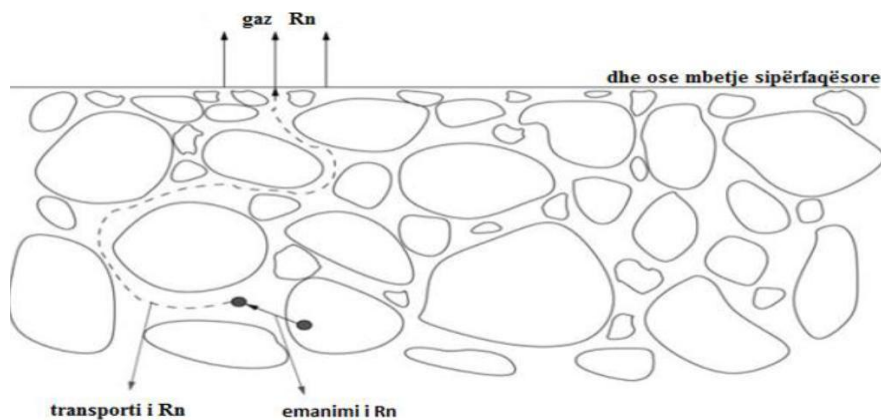


Figura 2.5 Mekanizmi i çlirimit të radonit nga toka në atmosferë sipas Ishimori et al., 2013

Në zona urbane të ndërtuara mbi shkëmbinj me përmbajtje të lartë urani (p.sh. granite, formacione fosfatike ose argjila specifike), pritet që përqendrimet e radonit në tokë të jenë dukshëm më të larta.

2.3 Faktorët që ndikojnë në shpërndarjen e radonit (Fig.2.6)

Nga studimet e kryera është vënë re se përqendrimet e radonit ndikohen kryesisht nga:

- **Gjeologjia dhe litologjia:** shkëmbinjtë e pasur me uranium dhe thorium, formacionet e thyeshme dhe tokat me përshkueshmëri të lartë favorizojnë migrimin e radonit (Zehner et al., 2004; Tollefsen et al., 2016).

- **Kushtet klimatike:** ndryshimet e temperaturës, presionit dhe lagështirës ndikojnë drejtpërdrejt në flukset e radonit nga toka në ndërtesa. Përqendrimet janë më të larta në dimër për shkak të mbylljes së hapësirave dhe ventilimit të reduktuar (Perrier et al., 2011; UNSCEAR, 2016)
- **Faktorët urbanë dhe mënyra e jetesës:** dendësia e popullsisë, mënyra e jetesës dhe llojet e ndërtimeve ndikojnë në ekspozimin kolektiv.

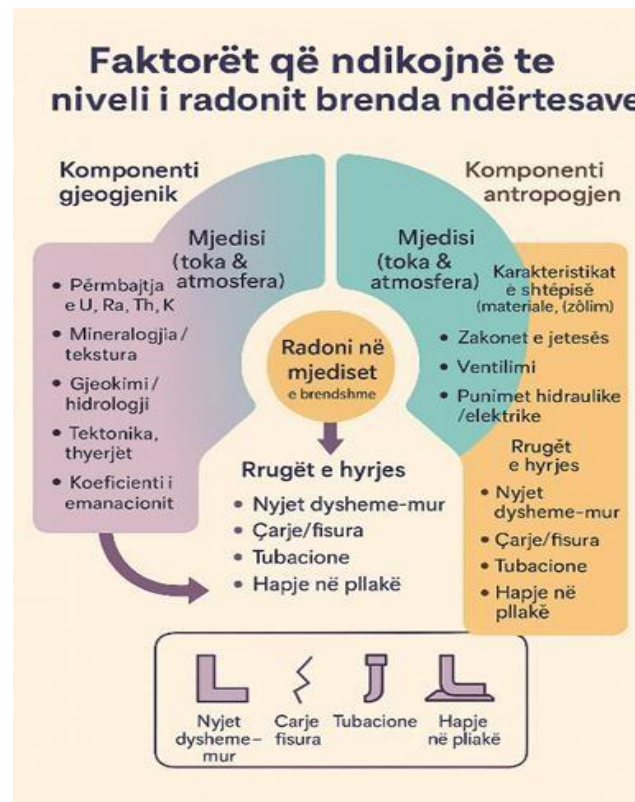


Figura 2.6 Faktorët që ndikojnë tek përqendrimet e radonit brenda ndërtesave

2.3.1 Depërtimi në ndërtesa

Radoni futet në ndërtesa përmes rrugëve të ndryshme:

- **Çarje në themele dhe mure** që lidhen me tokën.
- **Poret e betonit dhe dyshemetë jo të izoluar.**
- **Puset dhe kanalizimet** që lidhen me nëntokën.
- **Uji i pijshëm** – radoni i tretur në ujë lirohet në ajër gjatë gatimit dhe larjes.

Faktorë shtesë që rrisin depërtimin (Fig 2.7, 2.8):

- **Efekti “oxhak” (stack effect):** kur ndërtesa është më e ngrohtë se ambienti i jashtëm (tipikisht dimrit), krijohet presion negativ në nivelet e ulëta të ndërtesës, duke thithur gazin nga nëntoka.
- **Ventilimi i kufizuar:** ndërtesat moderne të izoluara termikisht kanë më pak qarkullim ajri, duke favorizuar akumulimin e radonit.

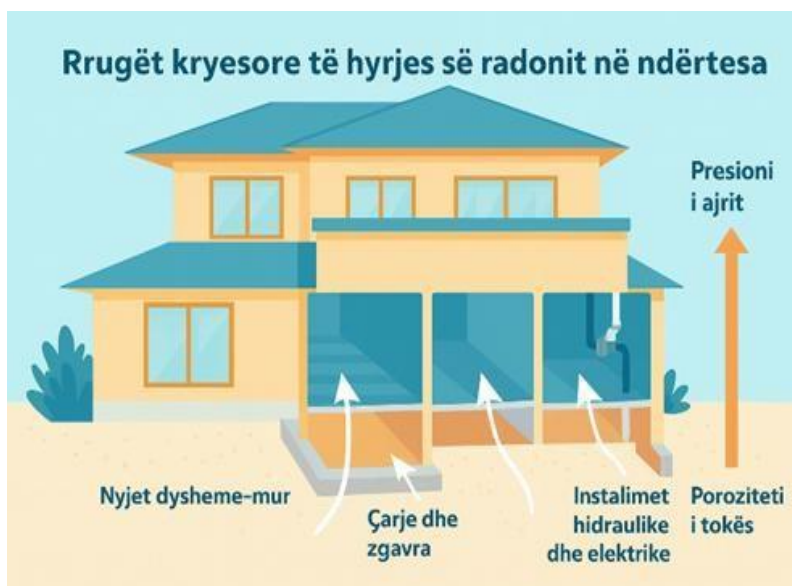


Figura 2.7 Rrugët kryesore të hyrjes së radonit në ndërtesa

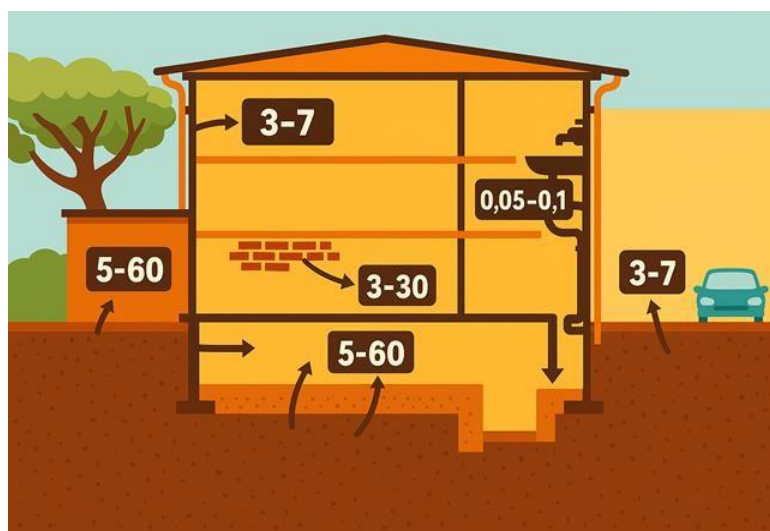


Figure 2.8 Vlerat në përqindje të emetimit të ^{222}Rn (UNSCEAR)

2.3.2 Ndikimi i parametrave klimatike

Parametrat klimatike kanë ndikim të madh në përqendrimet e radonit në tokë dhe në ndërtesa:

- **Temperatura:** ndryshimet stinore krijojnë gradientë termikë që favorizojnë fluksin e radonit në dimër; verës përqendrimi bie për shkak të ventilimit natyror.
- **Presioni atmosferik:** presioni i ulët jashtë rrit thithjen e radonit nga nëntoka në ndërtesa.
- **Lagështia dhe reshjet:** uji mbush pore dhe bllokoi daljen e gazit; pas reshjeve ndodh shpesh çlirim i akumuluar i radonit.
- **Bora dhe ngrirja:** krijojnë kapak mbi tokë, duke penguar degazimin në sipërfaqe dhe duke shtuar fluksin drejt themeleve të ndërtesave.
- **Era:** ndryshimet lokale të presionit në sipërfaqe mund të modifikojnë daljen e radonit në ajër.

2.3.3 Faktorët sizmikë dhe antropogjenë

- **Tërmetet:** aktiviteti sizmik krijon mikro-çarje në shkëmbinj, duke ndryshuar permeabilitetin dhe duke rritur daljen e radonit. Kjo është arsyeja pse radoni shpesh përdoret si **paralajmërues sizmik**.
- **Ndërhyrjet njerëzore:** tipologjia e ndërtimit, cilësia e materialeve, përdorimi i betonit jo të izoluar, si dhe mungesa e membranave kundër gazit ndikojnë ndjeshëm në nivelet e radonit. Materialet ndërtimore që përmbajnë uranium (granite, fosfate) gjithashtu kontribuojnë në rritjen e përqendrimit të tij në brendësi.

2.3.4 Shembuj ndërkombëtarë të niveleve të radonit

Ekspozimi mesatar ndaj radonit ndryshon sipas vendit dhe kushteve gjeologjike. Në SHBA, mesatarja e radonit në ndërtesa është rreth 48 Bq/m³, ndërsa 6% e shtëpive kanë nivele mbi 150 Bq/m³ (EPA, 2012). Në vendet e BE-së, si Finlanda dhe Republika Çeke, janë raportuar mesatare shumë më të larta, për shkak të terreneve granitike (Collignan et al., 2015). Për krahasim, matjet e kryera në Shqipëri (Reçi, 2018; Dogjani, 2016) tregojnë se disa ndërtesa në Tiranë dhe Shkodër arrijnë mbi 400 Bq/m³, duke i tejkaluar kufijtë e rekomanduar nga WHO dhe BE.

Tabela 2.6 Faktorët kryesorë që ndikojnë përqendrimet e radonit

Faktori kryesor	Ndikimi mbi përqendrimin e radonit	Shembuj praktikë
Litologjia	Shkëmbinjtë granitikë dhe fosfatet kanë përmbajtje të lartë uranumi	Finlanda, Republika Çeke
Përshkueshmëria e tokës	Tokat argjilore kanë lëvizshmëri më të ulët; tokat ranore favorizojnë migrimin	Shqipëria Qendrore vs Shqipëria Juglindore
Kushtet klimatike	Ndryshimet e presionit barometrik rrisin ndjeshëm infiltrimin	Rajonet malore europiane
Ndërtimet	Bodrumet dhe çarjet strukturore lejojnë futjen e radonit	Tiranë, Shkodër
Ventilimi	Ventilimi i dobët favorizon akumulimin	Shkolla publike dhe bunkerë në Shqipëri

2.4 Radoni dhe ndikimi në shëndet

Radoni është i klasifikuar nga IARC si kancerogjen i grupit 1, me evidencë të qartë për rrezikun e shkakimit të kancerit të mushkërive tek njerëzit. Sipas WHO (2009), radoni është shkaku i dytë kryesor i kancerit të mushkërive pas duhanpirjes, duke kontribuar në mijëra raste vdekjesh çdo vit në Evropë dhe Amerikën e Veriut.

Meta-analizat evropiane dhe amerikane gjejnë marrëdhënie afërsisht lineare, pa prag të sigurt, midis rrezikut dhe përqendrimit mesatar “indoor” (Darby et al., 2005; Krewski et al., 2006; Field et al., 2006). Ky rezultat ka çuar në rekomandime të reja për kufijtë e pranueshëm të ekspozimit. Direktiva EURATOM 2013/59 vendos një nivel reference prej 300 Bq/m³, ndërsa WHO rekomandon një prag edhe më të ulët, 100 Bq/m³, kur është e mundur.

2.4.1 Mekanizmat biologjikë të dëmtimit

Kur radoni dhe produktet bijë thithen me anë të frymëmarrjes, ato depozitohen në rrugët e frymëmarrjes, kryesisht në bronke dhe alveola. Produktet bijë, si ²¹⁸Po dhe ²¹⁴Po, lëshojnë grimca alfa me energji të lartë të cilat dëmtojnë qelizat epiteliale. Këto grimca ndonëse kanë shtrirje shumë

të kufizuar (disa mikrometra), shkaktojnë dëmtime të konsiderueshme kur thithen dhe depozitohen në indet pulmonare. Grimcat alfa kanë fuqi jonizuese shumë të madhe dhe mund të shkaktojnë:

- **Dëmtime ose fraktura të zinxhirit të ADN-së** përmes thyerjeve të zinxhirit të dyfishtë,
- Riparimi joefektiv i ADN-së çon në **mutacione gjenetike** që çojnë në transformim qelizor,
- **efekte stokastike**, ku rreziku rritet me dozën, por nuk ekziston prag i sigurt ekspozimi (ICRP, 2010).

Ky mekanizëm është veçanërisht i rrezikshëm për fëmijët, të cilët kanë më shumë ndjeshmëri biologjike ndaj rrezatimit për shkak të ndarjes më të shpeshtë qelizore.

2.4.2 Kanceri i mushkërive

Kanceri i mushkërive është sëmundja më e lidhur drejtpërdrejt me ekspozimin ndaj radonit. Studime epidemiologjike të mëdha në Evropë dhe Amerikën e Veriut kanë treguar një lidhje të qartë lineare midis përqendrimit të radonit në shtëpi dhe incidencës së kancerit të mushkërive (Darby et al., 2005; Krewski et al., 2006).

Arsyeja që Agjencia Ndërkombëtare për Hulumtime mbi Kancerin (IARC) e ka klasifikuar radonin si kancerogjen i grupit 1, do të thotë se ekzistojnë prova të mjaftueshme mbi lidhjen e tij me kancerin tek njerëzit. Raporti BEIR VI i Akademisë Kombëtare të Shkencave (SHBA, 1999) llogarit se radoni është përgjegjës për 10–15% të rasteve të kancerit të mushkërive në nivel global. Sipas OBSH, çdo shtim me 100 Bq/m³ të përqendrimit mesatar të radonit në banesë lidhet me një rritje prej 8–16% të rrezikut për kancer pulmonar. Rreziku është proporcional dhe nuk ekziston një prag i sigurt ekspozimi.

- Në Evropë, një meta-analizë e 13 studimeve tregoi se rreziku për kancer mushkërisht rritet me 16% për çdo rritje prej 100 Bq/m³ në përqendrimin e radonit (Darby et al., 2005).
- Në SHBA, rreziku relativ u vlerësua të ishte rreth 14% për çdo 100 Bq/m³ (Krewski et al., 2006).
- Kombinimi i ekspozimit ndaj radonit me duhanpirjen ka efekt sinergjik, duke e rritur ndjeshëm probabilitetin për zhvillimin e kancerit. Sipas EPA (2012), duhanpirësit kanë 25 herë më shumë gjasa të zhvillojnë kancer mushkërisht kur janë të ekspozuar ndaj radonit, krahasuar me jo-duhanpirësit.

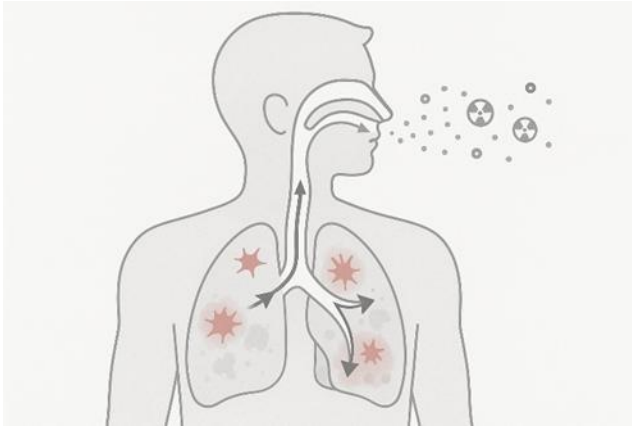


Figura 2.9 Paraqitje skematike e dëmeve të radonit tek njeriu

2.4.3 Sëmundje të tjera të mundshme

Megjithëse kanceri i mushkërive është efekti më i dokumentuar, janë studiuar edhe sëmundje të tjera të mundshme të lidhura nga ekspozimet afatgjata ndaj radonit:

- **Kanceri i gjirit dhe stomakut** – disa studime kanë sugjeruar lidhje të dobëta, por provat nuk janë përfundimtare (WHO, 2009).
- **Efektet kardiovaskulare** – ka hipoteza për dëmtim endotelial dhe oksidim të lipideve, por mungojnë të dhëna të forta.
- **Efektet gjenotoksike** – ekspozimi afatgjatë është lidhur me rritje të frekuencës së mikrobërthamave në limfocite, duke treguar dëme kromozomale (ICRP, 2010).

2.4.4. Përqindja e rasteve të kancerit të mushkërive nga radoni

Radoni ka një efekt sinergjik me duhanpirjen:

- Një duhanpirës i rëndë i ekspozuar ndaj radonit ka rrezik shumëfish më të lartë për zhvillimin e kancerit të mushkërive krahasuar me një jo-duhanpirës.
- Studimet e Darby et al. (2005) në 13 vende evropiane tregojnë se duhanpirësit e ekspozuar ndaj niveleve të larta të radonit kanë **deri në 25 herë më shumë gjasa** të zhvillojnë kancer krahasuar me individët jo-duhanpirës në nivele të ulëta.
- Kjo e bën radonin një faktor të veçantë shqetësimi në vende me prevalencë të lartë të duhanpirjes – përfshirë Shqipërinë dhe Kosovën, ku nivelet mbeten ndër më të lartat në Evropë.

Kontributi i radonit në kancerin e mushkërive ndryshon sipas vendit dhe përqendrimeve mesatare:

- Në Evropë, vlerësohet se 9% e rasteve të kancerit të mushkërive i atribuohen radonit (Darby et al., 2005).
- Në SHBA, kjo shifër arrin deri në 21,000 raste në vit, duke e bërë radonin shkakun e dytë kryesor të kancerit mushkëror pas duhanit (EPA, 2012).
- Në Shqipëri, të dhënat janë të kufizuara, por studimet e para në Shkodër dhe Tiranë sugjerojnë nivele shqetësuese që mund të kontribuojnë ndjeshëm në barrën kombëtare të sëmundjeve (Dogjani, 2016; Reçi, 2018).

2.4.5 Krahase ndërkombëtare

OBSH vlerëson se ekspozimi ndaj radonit është përgjegjës për rreth 230,000 raste të reja të kancerit të mushkërive çdo vit në botë. Në Evropë, vlerësohet se radoni kontribuon në 15–20 mijë raste vjetore.

Në shumë vende të BE-së, përqindja e rasteve të kancerit të mushkërive që i atribuohen radonit varion nga 3% deri në 14%, në varësi të përhapjes së duhanpirjes dhe përqendrimeve gjeologjike. Vendet e BE-së dhe SHBA kanë vendosur kufij për përqendrimet e radonit në ambientet e brendshme për të ulur rrezikun e shëndetit publik. BE rekomandon një kufi prej 300 Bq/m³ (European Commission, 2013), ndërsa SHBA përdor një prag veprimi prej 148 Bq/m³ (EPA, 2012). Në shumë vende, si Kanadaja, Gjermania dhe Finlanda, janë zbatuar programe kombëtare për reduktimin e ekspozimit.

2.4.6 Situata në Shqipëri

Në Shqipëri nuk ekzistojnë ende studime të plota epidemiologjike që lidhin direkt radonin me kancerin e mushkërive, por disa fakte janë shqetësuese:

- **Nivel i lartë i duhanpirjes** (mbi 30% e meshkujve sipas raportit të OBSH).
- **Matjet e pjesshme** në shkolla dhe ndërtesa publike kanë treguar përqendrime mbi nivelin e referencës në disa zona urbane.
- **Sistemi i regjistrimit onkologjik** ka raportuar një trend rritës të rasteve të kancerit të mushkërive gjatë dekadës së fundit, megjithëse faktorët kontribues janë të shumëfishtë.

Këto tregues sugjerojnë se radoni mund të ketë një rol domethënës edhe në Shqipëri, veçanërisht në kombinim me duhanpirjen, por kërkohen studime të dedikuara për të matur kontributin e tij real në barrën e sëmundjes.

Ekspozimi ndaj radonit është një problem madhor i shëndetit publik, i dokumentuar gjerësisht nga studimet epidemiologjike dhe biologjike. Kanceri i mushkërive përfaqëson efektin kryesor, me një rrezik që rritet proporcionalisht me përqendrimin e radonit dhe që amplifikohet nga duhanpirja. Për Shqipërinë, mungesa e të dhënave epidemiologjike e bën të vështirë vlerësimin e plotë të riskut, por të dhënat e para sugjerojnë një nevojë urgjente për matje të gjera dhe programe parandaluese.

2.5 Korniza ligjore dhe standardet ndërkombëtare

Kontrolli i ekspozimit ndaj radonit nuk është vetëm një çështje shkencore dhe shëndetësore, por edhe një fushë e rregulluar në mënyrë të gjerë nga legjislacioni kombëtar dhe ndërkombëtar. Duke qenë se radoni përbën burimin më të madh të ekspozimit të popullatës ndaj rrezatimit jonizues natyror, organizatat ndërkombëtare si Bashkimi Evropian (BE), Agjencia Ndërkombëtare për Energjinë Atomike (IAEA) dhe Organizata Botërore e Shëndetësisë (ËHO) kanë përpiluar udhëzime dhe standarde për monitorimin dhe menaxhimin e tij.

2.5.1 Standardet ndërkombëtare

- **Organizata Botërore e Shëndetësisë (WHO):** Sipas *WHO Handbook on Indoor Radon* (2009), kufiri optimal për përqendrimin e radonit në ambientet e brendshme është **100 Bq/m³**, me një maksimum prej **300 Bq/m³** në rastet kur ulja e mëtejshme është teknikisht e vështirë.
- **Agjencia Ndërkombëtare për Energjinë Atomike (IAEA):** Në dokumentin *International Basic Safety Standards* (2014), IAEA rekomandon monitorim të rregullt dhe aplikimin e masave parandaluese në zonat me rrezik të lartë, duke përfshirë edhe detyrimin për kontrole në ndërtesa publike dhe shkolla.
- **Komiteti Shkencor i OKB-së për Efektet e Rrezatimit Atomik (UNSCEAR):** Në raportet e tij (2000, 2008), UNSCEAR ka ofruar një bazë shkencore për përcaktimin e

kufijve të ekspozimit, duke vlerësuar se radoni kontribuon me rreth 50% të dozës totale natyrore të rrezatimit për individin.

2.5.2 Korniza ligjore në Bashkimin Evropian

Një hap i madh në rregullimin e ekspozimit ndaj radonit në Evropë ishte miratimi i **Direktivës 2013/59/Euratom**. Kjo direktivë përcakton:

- Kufirin referencë prej **300 Bq/m³** për përqendrimin mesatar vjetor të radonit në ndërtesa.
- Detyrimin e shteteve anëtare për të zhvilluar *Plane Kombëtare Radoni*.
- Monitorim të detyrueshëm në ambientet publike dhe vendet e punës.
- Futjen e standardeve ndërtimore për të reduktuar hyrjen e radonit në ndërtesa të reja.

Shtete si Italia, Gjermania, Franca dhe Polonia e kanë transpozuar këtë direktivë në legjislacionin kombëtar. Në Itali, për shembull, *Piano Nazionale Radon* përcakton zonat e rrezikut dhe kërkon masa specifike për ndërtesat ekzistuese dhe të reja (Ministero della Salute, 2017).

2.5.3 Korniza ligjore në SHBA dhe Kanada

Në Shtetet e Bashkuara, Agjencia për Mbrojtjen e Mjedisit (EPA) ka vendosur një **prag veprimi prej 148 Bq/m³** (4 pCi/L). Ky nuk është një kufi ligjor, por një nivel ku rekomandohet ndërhyrja për uljen e përqendrimit të radonit. EPA gjithashtu ka zhvilluar programe edukimi publik dhe mbështet masa inxhinierike për reduktimin e radonit në shtëpi dhe shkolla. Në Kanada, kufiri është më i lartë, **200 Bq/m³**, por janë të detyrueshme matjet në ambientet publike dhe shkollore (Health Canada, 2014).

2.5.4 Gjendja në Shqipëri

Në Shqipëri mungon ende një *Plan Kombëtar për Radonin*. Deri më tani, matjet janë kryer në mënyrë të fragmentuar nga institucione akademike dhe kërkimore (Dogjani, 2016; Reçi, 2018). Nuk ka një kufi zyrtar të përcaktuar për përqendrimin e radonit në ndërtesa, ndonëse Shqipëria si vend kandidat për BE pritet të transpozojë Direktivën 2013/59/Euratom. Instituti i Gjeoshkencave

(IGJEO) dhe Agjencia Kombëtare e Mjedisit (AKM) kanë evidentuar nevojën për një kuadër ligjor të qartë, që të mundësojë:

- Identifikimin e zonave radon-prone.
- Monitorimin e rregullt në shkolla, spitale dhe ndërtesa publike.
- Futjen e masave ndërtimore parandaluese në legjislacionin urbanistik.

Korniza ligjore dhe standardet ndërkombëtare tregojnë një konsensus të gjerë mbi rrezikun e radonit dhe nevojën për kufizimin e ekspozimit. Megjithatë, Shqipëria mbetet pas në këtë drejtim, duke mos pasur ende një kuadër të konsoliduar. Transpozimi i direktivave të BE-së dhe hartimi i një plani kombëtar janë hapa të domosdoshëm për të mbrojtur shëndetin publik.

2.5.4.1 Korniza kombëtare ligjore në Shqipëri

Ligji bazë

Kuadri primar ligjor është **Ligji nr. 8025, datë 9.11.1995 “Për mbrojtjen nga rrezatimet jonizuese”**, i cili përcakton kushtet e mbrojtjes dhe sigurisë nga rrezatimet jonizuese për punonjësit e ekspozuar, popullatën dhe mjedisin. Ligji përkufizon termat kryesorë (“rrezatim jonizues”, “lëndë radioaktive”, “pajisje rrezatuese”) dhe vendos bazën për licencim, inspektim dhe mbikëqyrje (ishp.gov.al).

Ligji është ndryshuar me **Ligjin nr. 26/2013**, i cili forcon rolin e organeve përgjegjëse (p.sh. Zyra e Mbrojtjes nga Rrezatimet pranë ISHP dhe Komisioni i Mbrojtjes nga Rrezatimi – KMR) në miratimin e akteve rregulluese dhe kontrollin e zbatimit.

Rregullorja specifike për radonin (VKM nr. 957, datë 25.11.2015)

Pjesa më e rëndësishme nënligjore për radonin është **Vendimi i Këshillit të Ministrave nr. 957, datë 25.11.2015 “Për miratimin e rregullores ‘Për nivelet udhëzuese të përqendrimit të radonit në mjediset e brendshme dhe përqendrimit e radiobërthamave në mallra, me efekt mbrojtjen e publikut’”**. Ky akt:

- **Cakton nivelin udhëzues (reference) prej 300 Bq/m³** për përqendrimin mesatar vjetor të radonit si në **vendet e punës**, ashtu edhe në **ndërtesat e banimit dhe godinat publike**.
- **Detyron matje, raportim dhe masa zbutëse** në vendet e punës ku pritet përqendrim i lartë i radonit (p.sh., nën/tokë, tunele, shpella turistike, burime termale, objekte trajtimi të ujit). Kur matjet tregojnë tejkalim të 300 Bq/m³, punëdhënësi/administratori duhet të marrë masa

si: kufizim kohe ekspozimi, kontroll i hyrjes, ventilim, masa respiratore/mjekësore dhe ndërhyrje inxhinierike për uljen e hyrjes së gazit.

- **Kërkon që radoni në ndërtesat e reja të mos e kalojë nivelin udhëzues** dhe parashikon hartimin e programit kombëtar për rreziqet afatgjata nga ekspozimi ndaj radonit në banesa, godinat publike dhe vendet e punës.
- Vendos një **nivel udhëzues për radonin në ujin për konsum publik prej 100 Bq/L**, si dhe përcakton kërkesa për monitorim të shpeshtësisë dhe menaxhimin e mos-përputhshmërive.
- Adreson edhe **ekspozimin e jashtëm nga rrezatimi gama i materialeve ndërtimore**: ekspozimi efektiv vjetor në mjedise të brendshme **duhet të kufizohet në 1 mSv/vit**, me detyrime për kontroll dhe raportim nga prodhuesit/importuesit.

Institucionet përgjegjëse

- **Komiteti i Mbrojtjes nga Rrezatimi (KMR)**: organ këshillimor/rregullator pranë Ministrisë së Shëndetësisë; miraton aktet rregulluese dhe mbikëqyr zbatimin e legjislacionit.
- **Zyra/Drejtoria e Mbrojtjes nga Rrezatimet (ISHP)**: funksione teknike e mbikëqyrëse, histori nga viti 1996; ofron mbështetje për hartimin e rregulloreve, monitorim dhe komunikim rreziku.
- **Instituti i Fizikës Bërthamore të Zbatuar (IFBZ)**: institucion kërkimor e laboratorik me kapacitete radiometrie; përmendet si institucion kryesor për matje në ndërtesat publike dhe vendet e punës.

Marrëdhënia me direktivat e BE-së dhe gjendja e përafrimit

Direktiva 2013/59/Euratom kërkon nivele reference $\leq 300 \text{ Bq/m}^3$ dhe plane kombëtare radoni; Shqipëria rezulton e përputhur plotësisht me këtë direktivë sipas dokumenteve të fundit të Komisionit Evropian, në kuadër të angazhimeve të Marrëveshjes së Stabilizim-Asociimit. Përveç nivelit 300 Bq/m^3 , BSS parashikon edhe identifikimin e “zonave me radon” dhe masat përkatëse të menaxhimit, të cilat harmonizohen me kërkesat e VKM nr. 957/2015 për programin kombëtar dhe kontrollet në kategori specifike aktivitetesh.

2.5.4.2 Detyrimet kryesore që rrjedhin nga VKM nr. 957/2015

Vendet e punës

- **Niveli udhëzues:** përqendrimi mesatar vjetor i radonit në mjediset e brendshme të vendeve të punës **nuk duhet të kalojë 300 Bq/m³**.
- **Ku kërkohen matje dhe masa:** ambiente nëntokësore dhe gjysmë-nëntokësore; tunele, shpella, miniera, qendra trajtimi uji e termale; depo/ambiente me lëndë me përmbajtje të lartë të Ra-226; çdo vend pune tjetër që KMR e gjykon me risk të lartë. Në rast tejkalimi, kërkohen masa inxhinierike/administrative për ulje të përqendrimit dhe rishikim periodik i rezultateve.
- **Zbatimi dhe sanksionet:** KMR ka të drejtë të kërkojë masa përmirësuese dhe të zbatojë masa/sanksione kur ato nuk zbatohen.
- **Ndërtesat e banimit dhe godinat publike (p.sh. shkolla, universitete, spitale)**
- **Niveli udhëzues:** përqendrimi mesatar vjetor i radonit në ambiente të brendshme në **ndërtesat e banimit dhe godinat publike** nuk duhet të kalojë **300 Bq/m³**; përputhshmëria kontrollohet me matje të kryera nga IFBZ ose institucione të njohura nga KMR.
- **Ndërtesat e reja:** për projektim/ndërtim të ri kërkohet që radoni **të mos e kalojë** nivelin udhëzues; kjo nënkupton masa parandaluese (p.sh. membrana kundër radonit, ventilim nën pllakë, etj.) sipas praktikave të njohura teknike.

Uji për konsum publik dhe materialet e ndërtimit

- **Uji i pijshëm:** radoni në ujin për konsum publik **≤100 Bq/L**; rregullorja përshkruan pikat e monitorimit, shpeshtësinë dhe procedurat e njoftimit/menaxhimit të mos-përputhshmërive. Për qëllime rregullatore dhe të vlerësimit të rrezikut, në ujin e pijshëm përdoret gjerësisht niveli orientues 100 Bq/L (WHO, 2009; European Council, 2014), ndërsa në SHBA EPA ka shqyrtuar historikisht një MCL ≈ 11 Bq/L (300 pCi/L) dhe një AMCL ≈ 148 Bq/L (4000 pCi/L) të kombinuar me programe të ajrit të brendshëm në nivel shteti (EPA, 2012). Në aspektin e dozës efektive, kontributi dominues vjen zakonisht nga inhalimi i Rn të degazuar në ajër gjatë përdorimit të ujit (p.sh., dush, gatim), jo nga ingestimi. Transferimi ujë–ajër ndjek ligjin e Henry t dhe varet fort nga temperatura dhe turbulenca: vlerat orientuese të tretshmërisë së ²²²Rn janë ≈ 510 cm³/L (0 °C), ≈ 230 cm³/L (20 °C) dhe ≈ 125 cm³/L (40 °C), duke shpjeguar degazimin më të shpejtë në ujë të ngrohtë. Intervalet tipike të Rn në ujë janë: ujëra sipërfaqësorë <1 Bq/L; puse të cekëta 1–50 Bq/L; akuiferë të thellë/granitikë 50–1000 Bq/L; raste të rralla termale/uranifere >10 000 Bq/L (Appleton, 2007; Reçi et al., 2018).

- **Materialet e ndërtimit:** ekspozimi efektiv vjetor nga rrezatimi gama në mjediset e brendshme të shkaktuar prej materialeve ndërtimore duhet të kufizohet në 1 mSv/vit; prodhuesit/importuesit raportojnë treguesit radiologjikë sipas shtojcave të rregullores.

Arkitektura institucionale, mbikëqyrja dhe koordinimi

- **Politikë/rregullore:** Ministria e Shëndetësisë përmes KMR harton/mbledh aktet rregulluese, përcakton metodologjitë e matjes dhe koordinon zbatimin me ISHP (Zyra/Drejtoria e Mbrojtjes nga Rrezatimet).
- **Zbatim teknik/monitorim:** ISHP dhe IFBZ kryejnë monitorim, miratojnë/lëshojnë udhëzime teknike dhe mbështesin institucionet që kryejnë matje dhe projekte zbutjeje.
- **Raportim dhe komunikim rreziku:** rregullorja përcakton rrjedhën e njoftimit të KMR për mos-përputhshmëri dhe detyrimet për informim të publikut kur kërkohet.

2.6 Radoni në ndërtesa publike dhe banesa

Radoni në ndërtesa përbën burimin kryesor të ekspozimit të njeriut ndaj këtij gazi radioaktiv. Në hapësirat e jashtme, përqendrimet e radonit janë zakonisht të ulëta (5–15 Bq/m³), për shkak të shpërndarjes së tij të shpejtë në atmosferë (WHO, 2009; Nazaroff, 1992). Megjithatë, në hapësirat e mbyllura si banesat, shkollat dhe zyrat, përqendrimet mund të rriten ndjeshëm, duke tejkaluar kufijtë e rekomanduar dhe duke u kthyer në një problem të rëndësishëm shëndetësor.

2.6.1 Faktorët që ndikojnë në përqendrimet e radonit në ndërtesa

Përqendrimet e radonit në ambiente të brendshme varen nga një sërë faktorësh:

- **Karakteristikat gjeologjike:** Ndërtesat e ngritura mbi terrene granitike ose argjilore shpesh kanë nivele më të larta radoni, për shkak të përmbajtjes së uraniumit në tokë.
- **Struktura e ndërtesës:** Çarjet në dysheme, boshllëqet rreth tubacioneve, mungesa e izolimit dhe prania e bodrumeve rrisin ndjeshëm futjen e radonit (Nazaroff, 1992).
- **Materialet e ndërtimit:** Materiale si graniti, gurët e shkrirë ose fosfatet mund të përmbajnë përqendrime të konsiderueshme të radionuklideve natyrore.
- **Ventilimi:** Ndërtesat me ventilim të dobët, sidomos gjatë dimrit, akumulojnë radon në nivele më të larta (Collignan et al., 2015).

- **Faktorët stinatorë:** Përqendrimet janë zakonisht më të larta në dimër, për shkak të mbylljes së dritareve dhe përdorimit më të ulët të ventilimit natyror (Appleton, 2007).

2.6.2 Radoni në banesa

Studimet ndërkombëtare tregojnë se përqendrimet e radonit në banesa ndryshojnë shumë sipas vendit:

- Në SHBA, mesatarja është rreth **48 Bq/m³**, ndërsa 6% e shtëpive kanë nivele mbi 148 Bq/m³ (EPA, 2012).
- Në BE, mesatarja është rreth **60 Bq/m³**, por në vende si Finlanda dhe Çekia, përqendrimet mesatare kalojnë **100 Bq/m³** (European Commission, 2013).
- Në Azi, disa rajone të Iranit dhe Indisë kanë raportuar përqendrime mbi **200 Bq/m³**, kryesisht për shkak të kushteve gjeologjike.

Në Shqipëri, të dhënat janë të kufizuara, por matjet e para në banesa të Tiranës dhe Shkodrës kanë treguar vlera mbi **400 Bq/m³**, duke tejkaluar kufijtë e BE-së dhe OBSH (Reçi, 2018; Dogjani, 2016).

2.6.3 Radoni në ndërtesa publike

Ndërtesat publike – veçanërisht shkollat dhe spitalet – janë të një rëndësie të veçantë, pasi ekspozimi i fëmijëve dhe pacientëve është më i ndjeshëm. Studime të shumta kanë treguar përqendrime të larta radoni në shkolla:

- Në Itali, mbi 30% e shkollave të monitoruara kishin nivele mbi 300 Bq/m³ (Piano Nazionale Radon, 2017).
- Në Poloni dhe Republikën Çeke, janë raportuar nivele mbi 1000 Bq/m³ në disa institucione arsimore (Collignan et al., 2015).
- Në Shqipëri, matjet e kryera në disa shkolla të Tiranës kanë treguar përqendrime mesatare mbi 250–300 Bq/m³, ndërsa në disa raste ekstreme edhe mbi 500 Bq/m³ (Marku et al., 2018).

2.7 Studimet mbi radonin në botë, rajon dhe në Shqipëri

Studimet mbi radonin kanë marrë një zhvillim të madh në dekadat e fundit, veçanërisht në vendet e Bashkimit Evropian dhe Amerikës së Veriut, ku janë zbatuar programe të gjera kombëtare monitorimi. Në Shqipëri dhe rajonet përreth, hulumtimet kanë qenë më të fragmentuara dhe shpesh të kufizuara në zona të caktuara, por rezultatet e tyre kanë treguar qartë se radoni përbën një problem të rëndësishëm mjedisor dhe shëndetësor.

2.7.1 Studimet ndërkombëtare

Në Evropë, vende si Finlanda, Çekia dhe Zvicra kanë kryer harta kombëtare të radonit që tregojnë përqendrimet të larta në zona granitike dhe malore (Collignan et al., 2015). Në Itali, *Piano Nazionale Radon* (2017) ka identifikuar mbi 40% të territorit si zona radon-prone, me përqendrimet mesatare në ndërtesa mbi 200 Bq/m³. Në SHBA, EPA ka kryer studime në mbi 100,000 banesa, duke nxjerrë një mesatare kombëtare prej 48 Bq/m³ dhe duke identifikuar disa shtete me përqendrimet shumë të larta, si Ioëa dhe Pennsylvania (EPA, 2012).

Këto përvoja ndërkombëtare janë të rëndësishme për Shqipërinë, pasi ofrojnë modele metodologjike dhe tregojnë se shpërndarja e radonit është shumë heterogjene, duke kërkuar matje të detajuara në nivel lokal.

2.7.2 Studimet në rajon

Në rajonin e Ballkanit, janë kryer disa studime të rëndësishme që mund të shërbejnë si krahasim për Shqipërinë:

- **Kosovë:** Studime të kufizuara, por me rezultate që tregojnë nivele mbi 300 Bq/m³ në disa zona rurale (Mamuqi et al., 2017).
- **Mali i Zi:** Matjet e kryera në Podgoricë treguan nivele të larta radoni në shkolla dhe banesa të ndërtuara mbi terrene gëlqerore.
- **Maqedonia e Veriut:** Programi i parë sistematik u krye në vitet 2010–2015, duke treguar se disa zona malore kanë përqendrimet mbi 400 Bq/m³ (Stojanovska et al., 2014).
- **Greqia:** Një numër i madh studimesh kanë treguar nivele të larta radoni në rajonet malore dhe në banesa të ndërtuara mbi terrene granitike (Clouvas et al., 2011).

- **Italia:** Është një nga vendet me përvojën më të gjatë, ku janë kryer matje të detajuara që kanë shërbyer për përpilimin e *Piano Nazionale Radon*. Përqendrimet më të larta raportohen në zonat qendrore dhe veriore të vendit.

2.7.3 Studimet në Shqipëri

Historiku i matjeve të radonit në Shqipëri ka kaluar nga përdorime radiometrike (1959–1992) drejt matjeve mjedisore moderne (pas 1996), me aparatura të dixhitalizuara dhe programe bashkëpunimi si (PHARE, FP 6).

Vitet 1958–1960 shënojnë fillimin e përdorimit në Shqipëri të metodave të bazuara në radioaktivitetin natyror—kryesisht përmes matjes së radonit. Punimi i parë akademik mbi këtë temë, i autorit rus Bryantsev, vuri në dukje se territori kishte mbulim të mangët sa i përket vlerësimeve për këtë element.

Ecuria kohore e kërkimeve mbi radonin në Shqipëri mund të ndahet në tre faza:

1. **1959–1969.** Specialistë rusë përdorën metodën e emisionit për të hetuar dhe identifikuar depozita bregdetare të pasura me minerale të rënda (p.sh., zirkon, monazit).
2. **1969–1992.** Metodatat e emisionit të radonit u aplikuan gjerësisht, në të njëjtën periudhë me futjen e aparaturave të avancuara nga Kina, përfshirë Fd.118, me kamera jonizimi me ndjeshmëri të lartë për kërkimin dhe identifikimin e mineralizimeve radioaktive.
3. **1992.** Ky vit shënoi praktikisht fundin e përdorimit sistematik të metodave radiometrike për zbulimin e mineralizimeve radioaktive—një prirje e vërejtur edhe në shumë vende të Evropës Qendrore dhe Lindore.

Në **1995–1996**, Qendra e Studimeve Gjeofizike, Gjeokimike dhe të Mjedisit nisi bashkëpunime ndërkombëtare me Greqinë, Italinë dhe Republikën Çeke. U organizuan takime periodike për të thelluar njohuritë dhe zbatimin e metodave të radioaktivitetit natyror, me theks te **radoni** dhe përdorimet mjedisore.

Ndërkohë, ekspozimi i popullsisë ndaj radioaktivitetit natyror—veçanërisht ndaj radonit—u trajtua si një çështje relativisht e re jo vetëm në Shqipëri, por edhe në vendet fqinje e më gjerë. Si pikënisje e matjeve moderne në Shqipëri konsiderohet janari 1996, me hyrjen në përdorim të pajisjeve të dixhitalizuara për matje dhe të programeve kompjuterike për ruajtje/transferim të të dhënave, si Luk-4 dhe Fritra-2.

Në vijim u zhvilluan shumë kërkime, të cilat u integruan edhe në nisma ndërkombëtare si programet PHARE dhe FP-6. Hetimet e para u përqendruan në matjen e përqendrimeve të radonit në mjedise të ndryshme (tokë, banesa, shkolla, vende pune), ku u konstatua variabilitet i madh sipas rajonit gjeologjik.

Prej më shumë se dy dekadash, në Shqipëri po kryhen matje dhe vlerësim rregullator i radonit në tokë dhe në ambientet e brendshme të banesave dhe vendeve të punës.

Një studim i gjerë (2000–2005) në zonën urbane të Tiranës analizoi radonin në gazin e tokës dhe përfundoi se nivelet ndryshojnë sipas tipit të tokës. Përzierja me rërë shumë të imët dhe argjila inorganike dha përqendrimin më të lartë, $130,0 \text{ kBq/m}^3$. U vlerësua se 54,0% e territorit urban të Tiranës karakterizohet nga përqendrime të larta të radonit në tokë, çka përbën rrezik mjedisor të rëndësishëm.

Gjetje të tjera tregojnë se përqendrimi i radonit lidhet me tipologjitë e ndërtesave sipas rendit PAD (Peri-Adriatic Depression), MR (Mirdita Zone), ATT (Albanian Thrusted Terranes- Zona Krasta–Cukali), KRU (Kruja Zone), ION (Ionian Zone). Nivelet e radonit në ambiente të mbyllura korrelojnë me formacionet gjeologjike PAD dhe ATT në zonat e Devollit dhe Tiranës. Ekziston variacion i dukshëm midis qyteteve kryesore; vlerat mesatare të llogaritura janë $146 \pm 14 \text{ Bq/m}^3$ për Shkodrën dhe $134 \pm 13 \text{ Bq/m}^3$ për Tiranën, ndërsa në Korçë mesatarja aritmetike varion $150\text{--}280 \text{ Bq/m}^3$.

Prania e terrarossa përgjatë bregdetit Jon shoqërohet me përqendrime të larta të radonit në tokë; aty ku shtresa mbuluese argjilore kalon 1 m trashësi, nivelet rriten dukshëm.

Në 2014 u krye një sondazh kombëtar në rreth 10% të fondit të banesave. Mesatarja aritmetike e regjistruar ishte $130 \pm 44 \text{ Bq/m}^3$. Për një nëngrumbull të dhënash të banesave në shkallë vendi u raportuan $AM = 120 \pm 67 \text{ Bq/m}^3$ dhe $GM = 103 \text{ Bq/m}^3$.

Matjet në 50 vende pune të përzgjedhura në mënyrë rastësore treguan se rreth 90% e vlerave ishin brenda kufirit referencë 300 Bq/m^3 ; shpërndarja statistikore e përqendrimeve rezultoi log-normale. Në përmbledhje, literatura dokumenton diferenca të mëdha hapësinore dhe ndikimin e tipit të ndërtimit mbi përqendrimet e radonit, si dhe variacione stinore të qarta.

Në krahasim me vendet e rajonit, Shqipëria është ende në fazë fillestare për sa i përket monitorimit të radonit. Pikat kryesore problematike janë:

- mungesa e një programi kombëtar,
- mungesa e laboratorëve të specializuar për analizën e radonit në shkallë të gjerë,

- ndërgjegjësimi i ulët i publikut dhe institucioneve për këtë problem,
- mungesa e përfshirjes së masave parandaluese në standardet e ndërtimit.

Megjithatë, potenciali për zhvillim është i madh. Shqipëria mund të përfitojë nga përvojat e vendeve fqinje dhe të zbatojë një plan kombëtar që integron matjet, edukimin dhe masat parandaluese.

2.7.4 Hapësira për kontribut original dhe mangësitë që e justifikojnë studimin tonë në Shqipëri

- Mungesa e të dhënave që vijnë nga matje sistematike sipas standardeve bashkëkohore,
- Hendeku metodologjik për arsye se nuk aplikohet një kombinim i metodave aktive, pasive dhe në tokë të matjeve të shoqëruara me modelime gjeohapësinore, gjë që pengon përpilimin e hartave të riskut sipas standardeve ndërkombëtare ,
- Mungesë bashkërendimi e punës kërkimore shkencore me politikëbërjen,
- Ky studim mund të shërbejë si një fillim për të ndërtuar një database të dhënash kombëtare që të përmbushë standardet ndërkombëtare.

KAPITULLI 3 – Përshkrimi i zonës së studimit

3.1 Të dhëna fiziko-gjeografike dhe gjeomorfologjike

Zona e studimit përfshin pjesën qendrore të qytetit të Tiranës dhe rrethinat e afërta (Fig. 3.1). Ajo shtrihet midis koordinatave gjeografike rreth $41^{\circ}18' - 41^{\circ}21' \text{ V}$ dhe $19^{\circ}46' - 19^{\circ}53' \text{ L}$, në lartësi që variojnë nga ~110 m në ultësirën e qendrës deri në ~260 m në skajet kodrinore. Ka një shtrirje Veri–Jug $\approx 7.41 \text{ km}$ dhe Perëndim–Lindje $\approx 10.41 \text{ km}$ duke përfshirë një sipërfaqe totale prej $\approx 77.16 \text{ km}^2$. Kjo zonë korrespondon me pellgun e ulët aluvial kuaternar të Tiranës, i kufizuar nga një kurorë kodrash molasike e karbonatike: në veri nga kodrat e Bathores dhe Babrrusë, në jug nga masivi kodrinor i Saukut dhe Farkës, në lindje nga shpatet e malit të Dajtit dhe kodrat e Linzës, dhe në perëndim nga ultësira e Yzberishtit dhe kodrat e Prezës e Kombinatit. Brenda këtyre kufijve gjeografikë dallohen një sërë mikro-njësish morfologjike – fushë aluviale, taraca lumore, shpate kodrinore dhe zona karstike – të cilat ndikojnë ndjeshëm në shpërndarjen lokale të radonit.

Relievi dominues i Tiranës është fushor deri lehtësisht valëzor në qendër (ultësira aluviale e lumenjve Lana dhe Tirana) dhe kodrinor në skajet periferike. Pellgu urban paraqitet si një “gropë” morfologjike e mbyllur, ku terreni i ulët është i rrethuar nga ngritje kodrinore. Ky konfigurim ndikon në qarkullimin e ajrit: në periudha me mot të qetë ose pa erë, ajri i rëndë tenton të ngecë në pjesën e ulët të pellgut, duke reduktuar ventilimin natyror. Ky efekt “brazde” favorizon akumulimin e gazeve në ajrin pranë tokës – një faktor me rëndësi të veçantë për rritjen e

të lirshme mbulojnë një substrat më të vjetër neogjen (mollasa tortoniane – argjilash, rërash e konglomeratesh të ngurta) i cili del në sipërfaqe në zonat kodrinore përreth fushës. Më në lindje, në shpatet e Dajtit, ndeshen formacione karbonatike paleogjene–kreide (gëlqerorë masivë dhe dolomitë me moshë Kretak të vonë deri Eocen) të shoqëruara me shtresa flishore oligocenike në bazë. Kështu, profilet gjeologjike tregojnë se Tirana është ndërtuar mbi një bazament kompleks që përfshin, nga poshtë lart: karbonatet e vjetra (Kreta e sipërme–Eocen), formacionet molasike neogjene (Miocen), dhe mbulesën kuaternare terrigjene në sipërfaqe. Ky konfigurim paraqitet në studimet e Shërbimit Gjeologjik Shqiptar (SHGJSH) dhe literaturën rajonale mbi strukturat e Albanideve, ku Tirana përshkruhet si një sinklinorium molasik i mbushur me sedimente të reja [SHGJSH, 2008]. Figura 3.7 jep një prerje gjeologjike skematike të drejtimit Prezë–Dajt, ku ilustruhet ky ndërtim gjeologjik heterogjen (Naço et al., 1991; SHGJSH, 2008).

Ky mozaik litologjik krijon kontraste domethënëse edhe për sa i përket sjelljes inxhinierike dhe hidrogeologjisë së nëntokës (p.sh. karbonatet janë masive por të çara dhe karstike, ndërsa molasa miocenike është e përbërë nga shale argjilore relativisht pak të përshkueshme, dhe sedimentet kuaternare janë të lirshme me përshkueshmëri të lartë lokale). Kjo bën që kushtet e përshkueshmërisë ë dhe ujëmbajtjes të ndryshojnë shumë brenda territorit të qytetit dhe, si pasojë



ranore paleogjene janë më pak të përshkueshme dhe shpesh luajnë rolin e bazamentit gjeologjik nën sedimente më të reja. Këto njësi përbëjnë substratin më të fortë dhe më radioaktiv të fushës së Tiranës, pasi mineralet karbonatike dhe argjilore mund të kenë përmbajtje uraniumi mbi mesataren; njëkohësisht çarjet tektonike në to mundësojnë degazimin e radonit drejt sipërfaqes.

- **Neogjeni (Mioceni i Mesëm – i Vonë, inkl. Tortoniani, N_{10} – N_{12}):** Depozitimet neogjene përfaqësojnë mollasën e rajonit dhe janë të shtrira kryesisht në periferi të fushës, sidomos në veri, veri-lindje dhe jug të Tiranës, si dhe nënthemelin e ultësirës kuaternare. Në aspektin litologjik, ato përbëhen nga alternime argjilash, marnash dhe ranorësh të konsoliduar, me shtresa konglomeratike lokalisht në horizontet bazalë. Njësia kryesore neogjene e zonës është Formacioni Tortonian (Mioceni i sipërm, i shënuar shpesh si N_{12t}), i cili del në sipërfaqe në kurrizet kodrinore (p.sh. kodrat e Kërrabës, Yzberishit, Kasharit) dhe shtrihet poshtë sedimenteve kuaternare në fushë. Tortoniani përbëhet nga pako ranorësh të ngjeshur ngjyrë gri-kafe, të alternuar me paketa argjilash dhe alevrolitesh (silte), ku në intervale ndeshen edhe horizonte të holla konglomeratesh me zhallishte të çimentuara. Në pjesët e sipërme afër terrenit, këto depozitime molasike janë zakonisht të përjruara nga proceset gjeologjike afatgjata: shtresa e alteruar arrin trashësi 6–8 m në zonat kodrinore të pjerra, dhe 2–3 m në fushë. Këto depozitime kanë ngjyrë karakteristike kafe në hirit ose gri të kaltëruar me njolla oksidimi. Litologjitë neogjene janë relativisht pak të përshkueshme (për shkak të matricës argjilore dhe karbonatike që zë hapësirat poroze), por ato përmbajnë minerale që mund të kenë izotopë radioaktivë (p.sh. minerale argjilore me uranium të adsorbuar, ose kokrriza rëre granitike) – prandaj konsiderohen burime të mundshme radoni.

- **Kuaternari (Pleistocen – Holocen, Q):** Depozitimet kuaternare përbëjnë mbulesën aluvio-deluviale të gjithë fushës së Tiranës dhe formojnë basenin e ulët ku është zhvilluar qyteti. Ato janë shtresa me moshë shumë të re (kryesisht Holocen), me trashësi mesatare 10–20 m në qendër dhe deri 30–40 m në zona të veçanta, të cilat hollohen gradualisht drejt periferive kodrinore. Litologjikisht, sedimentet kuaternare janë tepër heterogjene dhe përfshijnë:

- **Aluvionet lumore (Q_h):** argjila, rëra dhe zhavorre me origjinë nga lumenjtë Tirana dhe Lana, të shpërndara në taracat e tyre. Këto kanë granulometri të përzier – nga fraksione të imta argjilore e silto-ranore, deri në fraksione të trasha zhavorri dhe guralecësh (kryesisht gëlqerorë, por edhe siliciose). Ngjyra e tyre shpesh është kafe e kuqërremtë për shkak të përmbajtjes së materialit

terrigjen dhe oksidimit. Alluvionet paraqiten zakonisht të përpunuara mirë (të rrumbullakosura) nga uji, me një shkallë të lartë ngjeshmërie dhe shpesh të ngopura me ujë (niveli freatik i cekët).

- ***Sedimente deluviale dhe proluviale (Qp, Qdl):*** këto depozitime gjenden kryesisht në buzët e fushës dhe në skarpat e taracave lumore. Ato përfaqësojnë materialin e transportuar nga reshjet dhe graviteti nga shpatet përreth (deluvialë) apo nga rrjedhjet e përkohshme ujore nga shpatet (proluvialë). Litologjia përbëhet kryesisht nga suargjila mesatare deri të rëndë (argjila me shumë përbërës silto-ranor), me ngjyrë kafe të hapur deri në të errët, shpesh me nuanca të verdha ose të kuqërremta. Brenda tyre gjenden thërrmija guri dhe zhalle (guralecë) me përmasa 2–5 cm, të përbërjes kryesisht karbonatike (fragmentet e shkëmbinjve gëlqerorë) dhe ranorike. Ky material deluvio-proluvial është gjysmë i përpunuar (kokrrizat jo shumë të rrumbullakosura) dhe shfaq trashësi shumë të ndryshueshme (nga vetëm 2–3 m në periferi deri në 15–20 m apo më shumë në vendgrumbullimet e taracave). Në zonën studimore, deluvionet shpesh mbivendosen mbi aluvionet dhe formojnë një shtresë mbuluese më pak të përshkueshme (duke vepruar si “tapë” hidrogeologjike për ujërat).

- ***Brekçe dhe argjilat e vjetra kuaternare:*** Në disa zona jugore dhe jugperëndimore të Tiranës (p.sh. Yzberisht, Kombinat, Mëzez) hasen depozitime kuaternare pak më të vjetra ose të transformuara, të përbëra nga argjila të forta ngjyrë gri-kafe me fragmente shkëmbore (brekçe) dhe mbetje terrigjene. Këto përfaqësojnë ndoshta faza më herët pleistocene të mbushjes së basenit, ose toka shumë të alteruara deluviale. Ato kanë përshkueshmëri shumë të ulët për shkak të matricës së dendur argjilore, por njëkohësisht kapacitet të lartë për mbajtjen e gazit radon (pasi gazi ngec në porët e mbyllura të argjilës). Këto terrene veprojnë si barriera për difuzionin vertikal, duke e ngadalësuar arratisjen e radonit nga nëntoka.

Në bazë të Hartës Gjeologjike në shkallën 1:10,000 (SHGJSH) Fig.3.2 dhe hartës së depozitimeve sipërfaqësore kuaternare Fig.3.3, rezulton se zona e Tiranës është e përbërë kryesisht nga shtresa aluviale, proluviale dhe deluviale me granulometri të ndryshme (argjilorë, ranorë, zhavorrorë). Këto sedimente të reja mbivendosen në mënyrë diskordante mbi substratin miocen (argjilat e konglomeratet tortoniane), i cili del në sipërfaqe në relievet kodrinore lindore dhe jugore të qytetit. Prania e këtij substrati të vjetër dhe relativisht të impermeabël poshtë shtresave të reja bën që difuzioni i radonit nga thellësia të ngadalësohet (radoni ngec poshtë shtresave argjilore të dendura),

por njëkohësisht këto terrene bazamentale krijojnë mundësi për akumulim të radonit në shtresat sipërfaqësore (pasi gazi i dalë ndalon në kontaktin me argjilat dhe grumbullohet aty).

Variacioni litologjik horizontal: Brenda vetë fushës aluviale, përbërja e tokës ndryshon nga një vend në tjetrin, duke ndikuar në mënyrën si radoni migron lokalisht. Në ultësirën qendrore të Tiranës (zona e qendrës dhe perëndimore, p.sh. përreth Lumit Lana dhe Parkut të Liqenit Artificial, ku ndodhen lagjet FSHN, Qemal Stafa, Partizani, Rektorati UPT, Sami Frashëri, Ismail Qemali, etj.) mbizotërojnë aluvione ranoro-argjilore, relativisht poroze dhe me përshkueshmëri të moderuar, me trashësi tipike 10–20 m. Këto kushte favorizojnë një difuzion mesatar të radonit drejt sipërfaqes. Ndërkaq, në pjesët verilindore dhe lindore (p.sh. Kinostudio, Linza, Bunk'Art 1, Eqrem Çabej, zona Dajt) terreni përbëhet kryesisht nga depozitime proluviale-deluviale më të trasha granulometrikisht – zhalle, rërë e konglomerate molasike – të cilat kanë përshkueshmëri më të lartë dhe lejojnë difuzion më të lehtë të gazit në drejtim vertikal. Përkundrazi, në skajet jugore e jugperëndimore (p.sh. Yzberisht, Kombinat, zona e “Sandër Prosi” e “Petro Nini Luarasi”) hasen toka argjilore me brekçe dhe shtresa deluviale të vjetra, me përshkueshmëri të ulët por aftësi të madhe për mbajtjen e radonit. Këto dallime lokale në litologji shpjegojnë variacionin gjeografik të përqendrimeve të radonit indoor nëpër qytet (shih §3.11).

KOLONA LITOSTRATIGRAFIKE E RAJONIT TIRANE

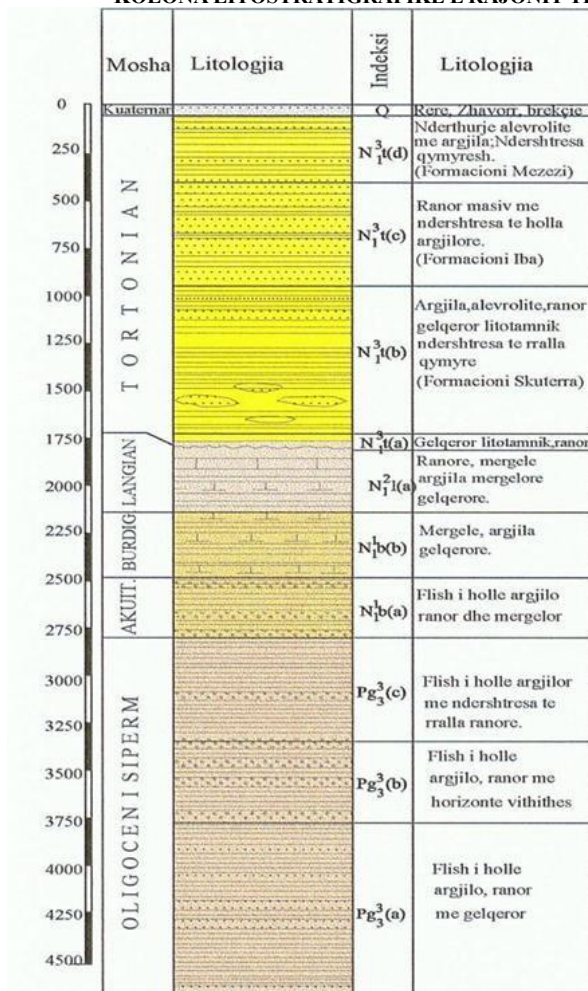


Figura 3.4 Kolona litostratigrafike e Tiranë

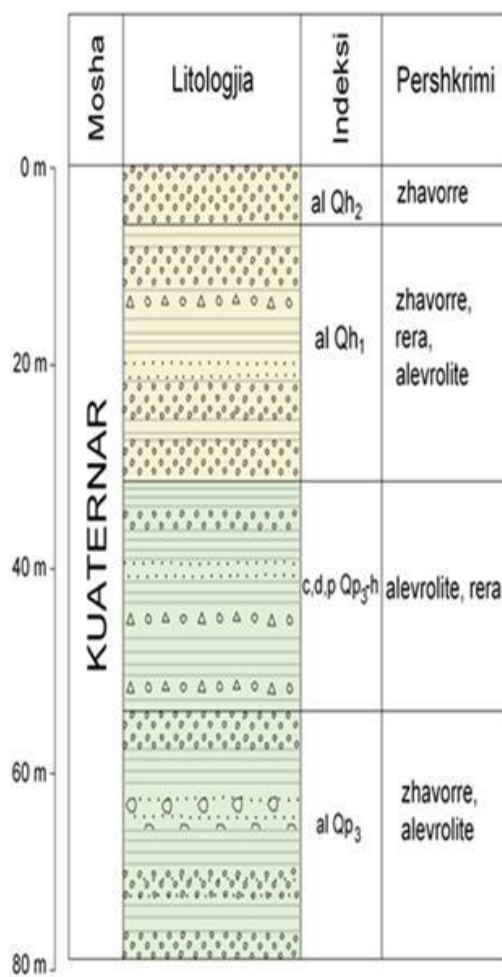


Figura 3.5 Litostratigrafia e Kuaternarit

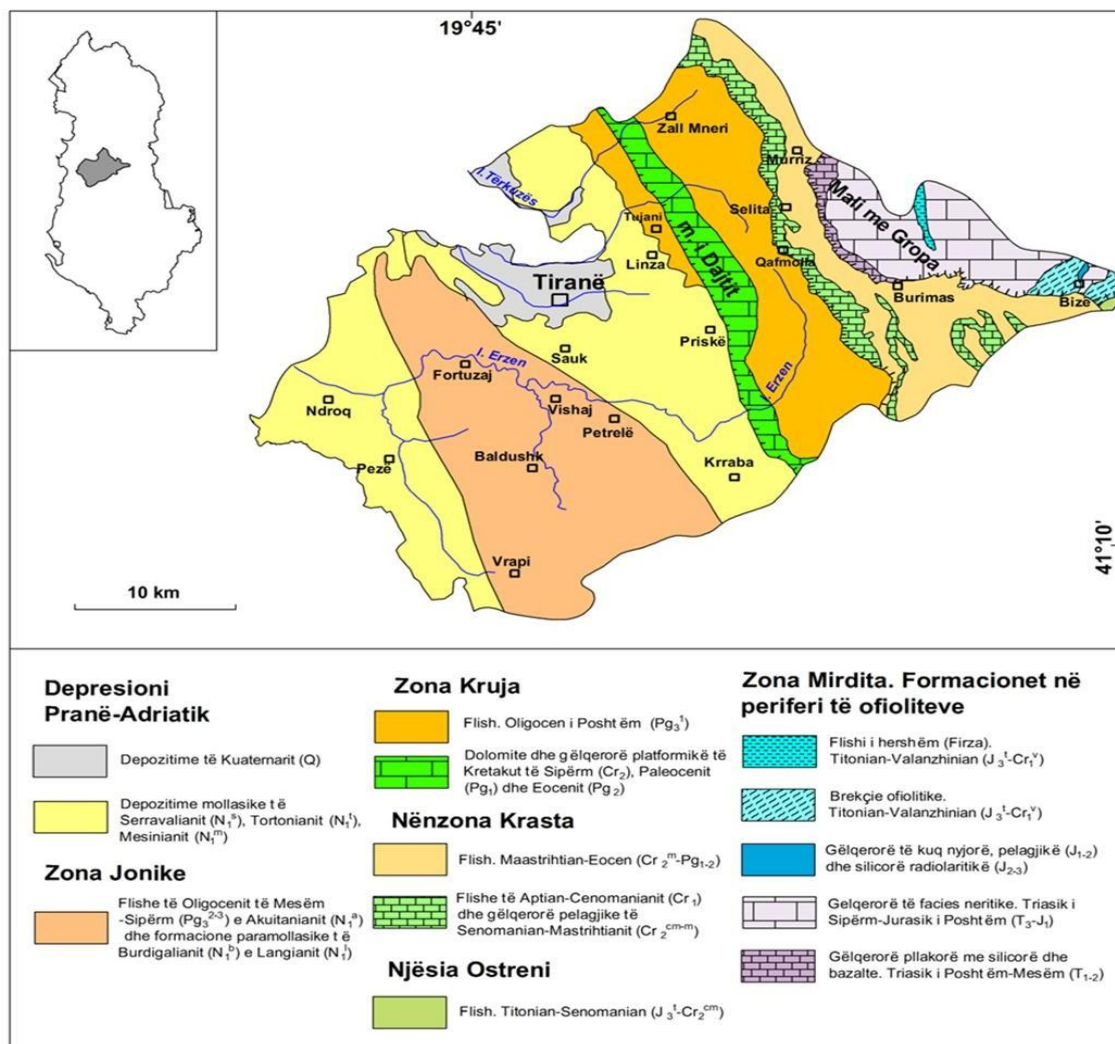


Figura 3.6 Njësitë gjeologjike të Tiranës Sh Gj Sh 2008

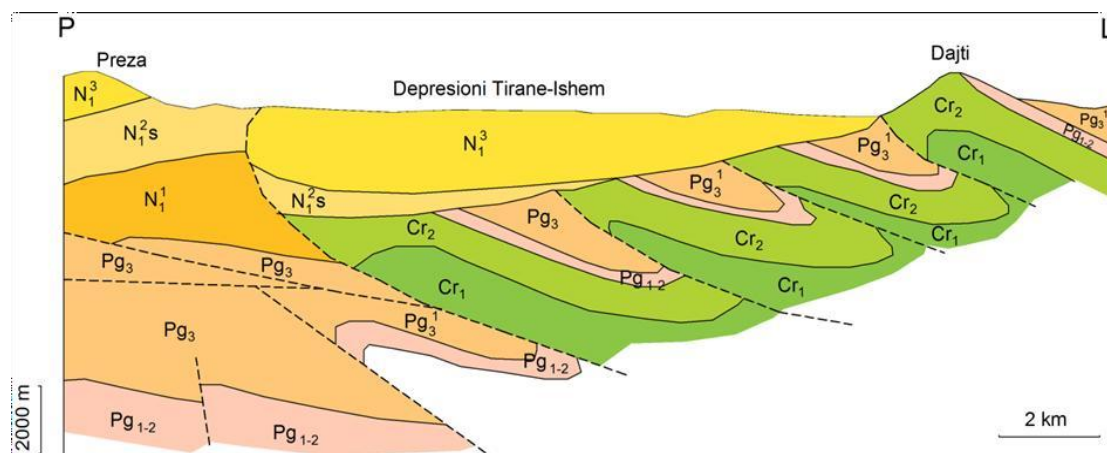


Figura 3.7 Prerje gjeologjike skematike Prezë-Dajti Sh.Gj.Sh. 2008

3.4 Tektonika, neotektonika dhe strukturat gjeologjike

Struktura kryesore tektonike: Fusha e Tiranës në aspektin tektonik paraqet një sinklinal me bosht gati veri-jug, e cila është mbushur me sedimentet molasike neogjene dhe aluvionet kuaternare. Ky sinklinal kufizohet anash nga disa antiklinalë dhe paleohorste si: antiklinali i Dajtit në lindje, struktura e Prezës në perëndim, dhe ngritja e Krastës në veri-lindje. Gjatë orogjenezës alpine, zona ka pësuar deformime intensive, duke rezultuar në thyerje e këputje që e pershkojnë basenin.

Sistemet e thyerjeve: Strukturat gjeologjike të fushës dominohen nga dy familje kryesore thyerjesh: (i) me drejtim veri-jug; dhe (ii) me drejtim verilindje-jugperëndim. Këto linja tektonike janë hartuar nga studimet gjeologjike inxhinierike (SHGJSH) dhe përkojnë me kufijtë litologjikë kryesorë. Për shembull, një thyerje me drejtim të përgjithshëm V-J ndjek kufirin perëndimor të masivit karbonatik Dajt dhe vazhdon përgjatë linjës Kinostudio–Kombinat, duke ndarë depozitet kuaternare nga ato neogjene në perëndim të qytetit Fig 3.8. Një tjetër sistem i rëndësishëm është ai me drejtim VL–JP që shtrihet afërsisht nga Preza nëpër Tiranë deri në Dajt, duke kaluar nën zonën qendrore urbane. Këto fraktura kryesore (dhe degët e tyre) kanë rëndësi kyçe gjeologjike sepse kontrollojnë ngritjen dhe fundosjen relative të blloqeve nëntokësore, por edhe sepse shërbejnë si rrugë migrimi për fluide dhe gaze në nëntokë.

Roli në shpërndarjen e radonit: Prania e linjave të gjata tektonike dhe e rrjetit të densifikuar të çarjeve strukture ndikon ndjeshëm në ekzalimin e radonit. Fajet dhe çarjet veprojnë si “shkarkues” vertikalë që lehtësojnë lëvizjen e gazeve nga shtresat e thella në sipërfaqe. Kjo do të thotë se në afërsi të këtyre strukturave, përqendrimet e radonit në tokë dhe ambiente mund të jenë më të larta sesa në zona strukturalisht të padëmtuara. Në studimin tonë janë identifikuar disa sektorë kritikë ku kushtet tektonike favorizojnë daljen e radonit: p.sh. zona e kontaktit midis karbonateve të Dajtit dhe aluvioneve në lindje të qytetit. Konkretisht, lokacione si Bunk’Art 1, kompleksi i QSUT/UMT (Qendra Spitalore dhe Universiteti pranë Kodrës së Saukut), dhe Gjimnazi Andon Zako Çajupi në veri-lindje, ndodhen pranë linjave të thyerjeve aktive ku substrati karbonatik lidhet direkt me shtresat aluviale. Këtu është vënë re se radoni nga karbonatet (të pasura me uranium) gjen rrugë dalje pa u bllokuar nga shtresat argjilore, duke sjellë nivel më të lartë të eksalimit të gazit radon në sipërfaqe.

Në përgjithësi, intensiteti neotektonik i rajonit (aktiviteti i vonë i thyerjeve) është i moderuar, por i mjaftueshëm për të krijuar një rrjet përçues nëntokësor. Ky rrjet jo vetëm ndikon në stabilitetin e terrenit (mund të gjenerojë zona me shkëputje dhe pjerrësi të paqëndrueshme), por edhe në migrimin e radonit, duke qenë një faktor nxitës për grumbullimin e radonit në zona specifike urbane (zakonisht atje ku këto thyerje ndërpriten në sipërfaqe).

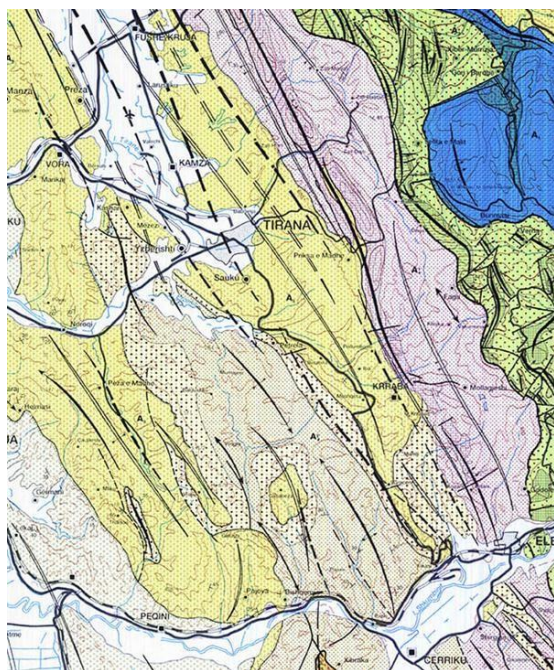


Figura 3.8 Tektonika e zonës së Tiranës

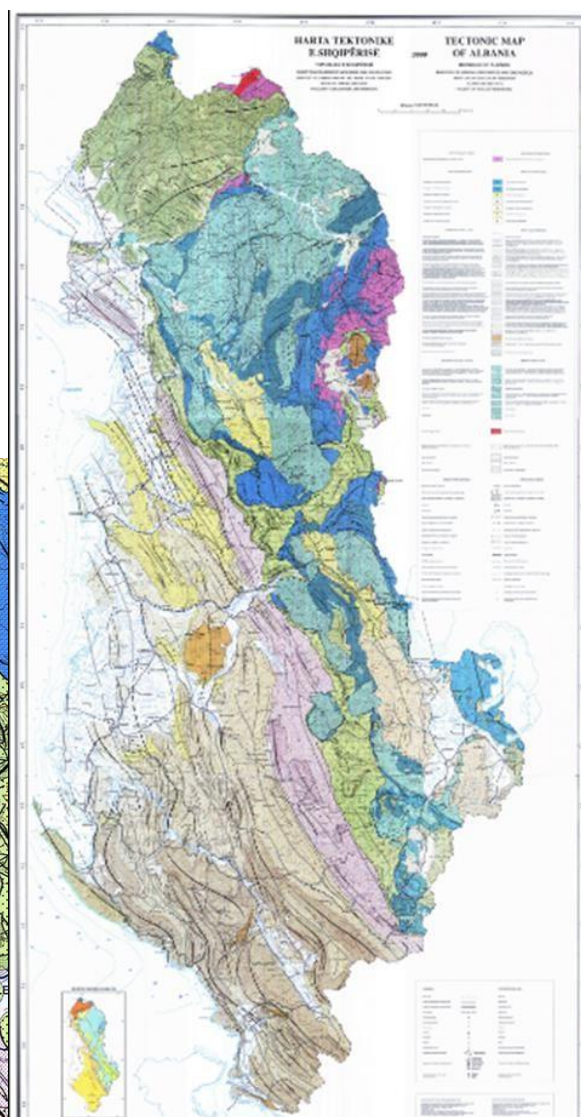


Figura 3.9 Harta tektonike e Shqipërisë Aliaj Sh. 1999

3.5 Karakteristikat hidrogeologjike

Akuiferët aluviale të cekët: Ndërtimeve litologjike të larmishme të Tiranës u korrespondojnë një regjim kompleks ujëmbajtës. Pjesa dërrmuese e zonës së studimit mbulohet nga një akuifer i lirë (freatik) kuaternar, i cili shtrihet në shtresat e aluvioneve dhe deluvioneve të fushës. Ky akuifer i cekët është i tipit poroz, i krijuar nga rërat dhe zhavorret e lumenjve (Tirana, Lana, si edhe lumenjtë më periferikë Erzen dhe Ishëm), me trashësi që mund të arrijë 30–40 m në qendër të basenit. Koeficienti i filtrimit (Kf) i këtyre shtresave zhavorr-ranore është në rreth $10^{-2} - 10^{-3}$ cm/s, që sinjalizon përshkueshmëri të lartë (tipike për rëra e zhavorre të mirëshpaluara). Si pasojë, prurjet e ujit në puse mund të jenë të konsiderueshme (zakonisht 1–10 L/s, lokalisht edhe më shumë), duke e bërë këtë akuifer burimin kryesor të furnizimit me ujë të pijshëm për zonën metropolitane të Tiranës. Ky horizont freatik ushqehet kryesisht nga reshjet atmosferike dhe nga infiltrimi i rrjetit sipërfaqësor lumor (sidomos përgjatë shtratit të lumit Tirana dhe përroit të Lanës). Niveli statik i ujërave nëntokësore luhet sipas stinëve: në zonat e ulëta qendrore, uji nëntokësor zakonisht gjendet shumë pranë sipërfaqes (vetëm 1.5–3 m thellësi mesatarisht), ndërsa drejt periferive lindore e veriore arrin 8–15 m thellësi për shkak të terrenit më të ngritur dhe substratit më pak të përshkueshëm. Ky gradient përcakton dhe drejtimin kryesor të rrjedhjes nëntokësore – nga lindja (Dajti, Kinostudio) në perëndim (Kombinat, Yzberisht) – në përputhje me pjerrësinë e përgjithshme të relievit. Ujërat në këtë akuifer kanë mineralizim të ulët dhe tipikisht karakter bikarbonatik–kalçik, duke reflektuar përbërjen e shkëmbinjve karbonatikë dhe terrigjenë nga vijnë.

Akuiferët e formacioneve më të vjetra: Përveç horizontit freatik kuaternar, në thellësi ekzistojnë edhe akuiferë të kufizuar brenda formacioneve më të vjetra, megjithëse me rëndësi dytësore për furnizim: (i) Akuiferi molasik neogjen (Tortonian): shtresat ranore brenda sekuencës argjilore tortoniane mund të përmbajnë ujë nën presion (akuifer i tensionuar), por prurjet prej tyre janë shumë të vogla (zakonisht 0.1–0.5 L/s) për shkak të përshkueshmërisë së ulët dhe trashësisë së kufizuar të shtresave ranore. Në shumicën e rasteve, formacionet tortoniane veprojnë si akuiklude (shtresa izoluese) ose të paktën akuifere me veti shumë të dobëta ujëmbajtëse; (ii) Akuiferi karbonatik (kretaik–paleogjen): masivi gëlqeror i Krujës (Mali i Dajtit) përbën një akuifer karstik me përshkueshmëri tepër të lartë. Çarjet dhe zbrazëtitë karsike në gëlqerorë bëjnë që reshjet të futen shpejt në nëntokë dhe të ushqejnë rrjetin e brendshëm të ujërave. Si rezultat, në shpatet e Dajtit dalin burime karstike me prurje të konsiderueshme (p.sh. burimet e Shën Mërisë, burimet

tek Linza etj.), të cilat janë burime të rëndësishme ujore për zonat periferike. Vlen të theksohet se ndërveprimi mes akuiferit karstik të Dajtit dhe atij aluvial të fushës është kompleks: në disa zona, thyerjet tektonike lidhin drejtpërdrejt karbonatet me aluvionet, duke lejuar rrjedhje ujërash nga mali në fushë dhe duke rritur potencialin ujëmbajtës (dhe shpesh edhe përqendrimet e radonit të tretur në ujë) në depozitat e Tiranës.

Heterogjeniteti i përshkueshmërisë: Shtratëzimi i alternuar i aluvioneve të Tiranës (argjila vs rërë/zhavorr) krijon ndryshueshmëri të madhe në përshkueshmëri në plan horizontal e vertikal. Argjilat kanë përshkueshmëri shumë të ulët (rendit $10^{-7} - 10^{-8}$ m/s), ndaj ato frenojnë qarkullimin e ujit dhe shpesh formojnë shtresa izolatore lokale. Rërërat dhe zhavorret, përkundrazi, kanë përshkueshmëri të mesme deri të lartë ($10^{-4} - 10^{-3}$ m/s), duke formuar shtretër transmetuese brenda serisë, ku uji (dhe radoni i tretur në të) mund të lëvizë lirisht. Konglomeratet molasike, atje ku hasen, kanë përshkueshmëri të ndryshueshme, por shpesh ofrojnë rrugë relativisht të hapura për rrjedhje (sidomos përgjatë kontaktit me shtresat ranore). Ndërkohë, karbonatet e çara/karstike (të Dajtit) kanë përshkueshmëri shumë të lartë ($>10^{-3}$ m/s), duke lejuar infiltrimin intensiv të ujit nga reshjet dhe transport të shpejtë nëntokësor të radonit (në formën e gazit të tretur ose të degazuar). Si kundërpeshë, flishi oligocenik (marna dhe rërë argjilore nën Dajt) ka përshkueshmëri shumë të ulët dhe vepron si barriera e brendshme hidrogeologjike.

Niveli freatik dhe uji nëntokësor: Sipas të dhënave të Hartës Hidrogeologjike të Tiranës (shk. 1:10,000) Fig. 3.10, ujërat freatike gjenden mesatarisht në thellësi 3–8 m në qendrën e qytetit dhe 15–20 m në periferi, duke ndjekur vërshimin e përgjithshëm lindje–perëndim. Niveli freatik pëson ngritje pas periudhave të lagështa (stina e dimrit) dhe ulje gjatë verës së thatë, me luhajtje stinore të rendit disa metrash në zonat e ulëta. Prania e një rrjeti të dendur kanalesh sipërfaqësore dhe nëntokësore (pjesërisht të betonizuara në qytet) ndikon gjithashtu në lartësinë e ujit freatik, duke e ulur atë nëpër zona me kullim të mirë dhe duke e ngritur në zona ku mungon drenazhi. Në disa lagje, shtresa e sipërme e tokës është modifikuar nga mbushjet urbane (dherat e sjella për ndërtim, 1–2 m trashësi në qendër), gjë që ka ndryshuar paksa regjimin e infiltrimit: zonat e asfaltuara ose me ndërtime të dendura lejojnë më pak ujë të depërtojë poshtë, duke ngritur rrezikun e përmytjeve sipërfaqësore, ndërsa periferitë ende të gjelbëruara kanë infiltrim më të larta.

Ndikimi në migrimin e radonit: Kushtet hidrogjeologjike luajnë një rol të dyfishtë në çështjen e radonit. Nga njëra anë, përshkueshmëria e lartë e shtresave të caktuara (p.sh. horizonet zhavorrore të ujëmbajtësve) lehtëson migrimin vertikal të radonit: uji në poret e zhavorrit mund të bartë radonin e tretur dhe lëvizja e ujit mund ta transportojë atë drejt sipërfaqes. Por nga ana tjetër, prania e ujërave të cekëta dhe lagështia e lartë e tokës mund të pengojnë degazimin e radonit në ajër. Kjo sepse në pore të ngopura me ujë, radoni ka tendencë të qëndrojë i tretur në ujë ose të ngecë poshtë, pasi difuzioni i tij nëpër ujë është shumë më i ngadaltë se nëpër ajër. Në zonat ku niveli freatik është shumë i cekët (p.sh. 1–2 m), toka e lagur vepron si kapak dhe redukton daljen e radonit në atmosferë. Si rezultat, në periudha me lagështirë të lartë (stina e shirave), mund të vërehet rritje e akumulimit të radonit nën ndërtesa ose në bodrume, për shkak se radoni ngec midis sipërfaqes së tokës dhe dysHEMEVE të ndërtesave (ventilimi natyror zvogëlohet). Këto efekte janë marrë parasysh gjatë interpretimit të të dhënave tona radiometrike, ku krahasuam përqendrimet e radonit me matjet e lagështirës së tokës dhe presionit (shih Kapitullin 4).

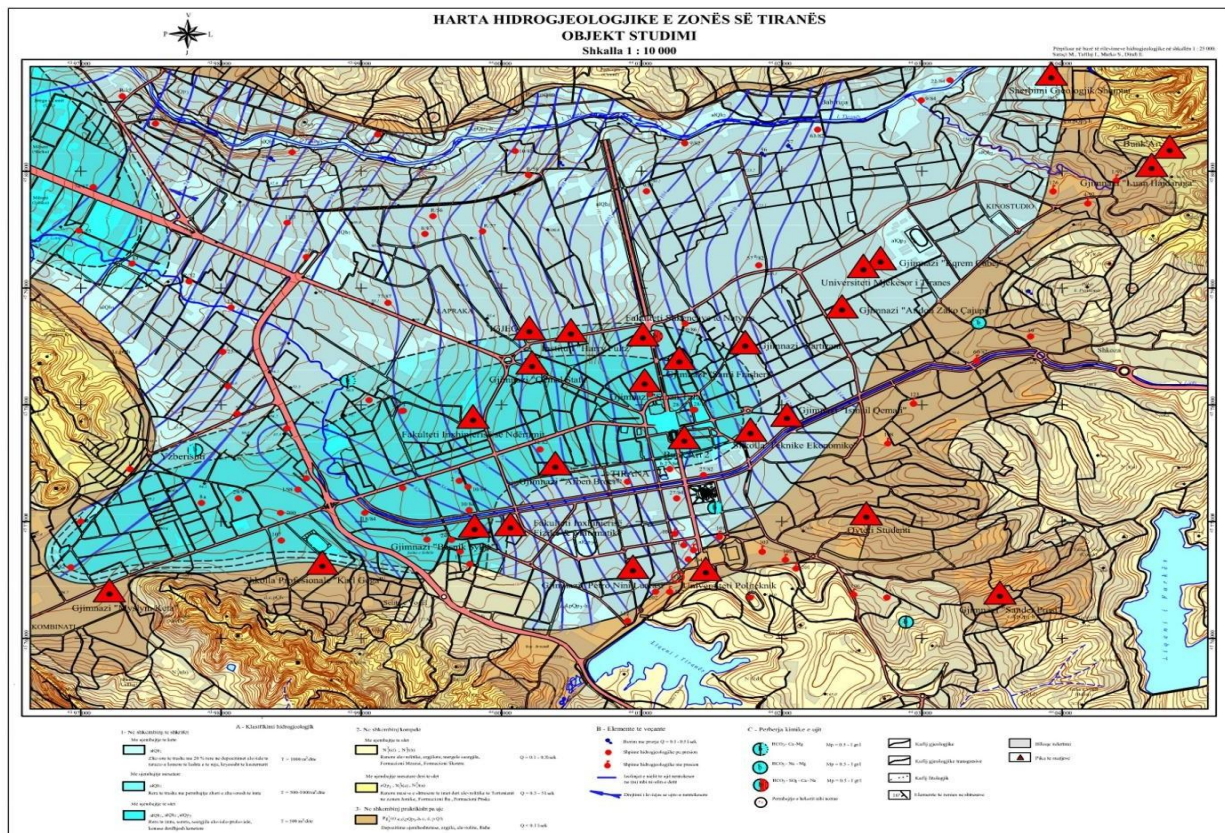


Figura 3.10 Harta Hidrogjeologjike e zonës objekt studimi, Përpiluar nga Saraçi M. et al (SHGJSH)

3.6 Proceset gjeodinamike dhe rreziqet gjeologjike

Stabiliteti i terrenit: Nga pikëpamja inxhinierike-gjeologjike, një pjesë e mirë e territorit të Tiranës përbëhet nga toka të pakonsoliduara ose mesatarisht të konsoliduara, me qëndrueshmëri të ndryshueshme. Studimet gjeoteknike tregojnë se shtresa sipërfaqësore (<10 m) përbëhet shpesh nga argjila plastike, rëra dhe fragmente konglomeratike me heterogjenitet të lartë vertikal. Këto lloje terreni kanë kohesion të ulët dhe mund të paraqesin rrezik lokal për rrëshqitje apo zhytje nën ngarkesë, sidomos atje ku prania e ujit i lubrifikon shtresat argjilore. Për shembull, në lagjet periferike me pjerrësi (Kodrat e Saukut, Selitës, Farkës, Linzës), argjilat molasike të thella janë të alteruara dhe në praninë e ujit mund të humbasin forcën e brendshme, duke krijuar potencial për rrëshqitje. Ndërkohë, zonat fushore aluviale (Laprakë, Kombinat, qendra e qytetit) kanë tokë më të qëndrueshme nga pikëpamja e mbajtjes së ngarkesave (zhavorre e rërë me kapacitet mbajtës relativisht të lartë), por për shkak të liqenizimit gjeologjik (prani e ujërave të ngecura dhe llumit) mund të vuajnë nga probleme si tërheqje/dendesje ose likuefaksion gjatë lëkundjeve sizmike.

Bazuar në vlerësimet gjeologjike-inxhinierike, mund të kategorizojmë në mënyrë të përgjithësuar disa tipe terrenesh në rajon:

- **Terrene të qëndrueshme:** argjila, zhavorre dhe rëra aluviale me densitet të lartë dhe kapacitet të mirë mbajtës. Këto shtrihen kryesisht në ultësirën qendrore (taraca e lumit, fusha e Tiranës) dhe ofrojnë një bazament relativisht solid për ndërtim. Megjithatë, në prani të ujërave të tepërta, edhe këto depozitime mund të humbasin qëndrueshmërinë lokale (p.sh. rëra të lira mund të rrëshqasin nën themele pa drenazhim).
- **Terrene të rrëshqitshëm:** Argjilat e alteruara dhe marnat molasike (Tortoniani), sidomos në pjerrësitë kodrinore, janë tepër të prirura ndaj rrëshqitjeve dhe fenomenit të fryrjes kur lagen. Përajrimi (alterimi kimik) i gjatë ka shndërruar shtresat e sipërme molasike në dhe të butë me kohezion të ulët. Këto terrene, në prani të ujit (pas reshjeve intensive) ose nëse priten pa kriteret teknike, mund të shkaktojnë rrëshqitje dhe zvarritje të tokës. Janë identifikuar zona kritike si p.sh. Kodrat e Liqenit Artificial (Selitë), shpatet e Saukut e Farkës, si dhe zona e Linzës në verilindje, ku edhe në të kaluarën janë regjistruar rrëshqitje aktive të dherave. Në Hartën e Rrezikut Gjeologjik të Tiranës, këto zona shënohen me rrezik të lartë për rrëshqitje aktive.

- **Zonat me rrezik të lartë gjeodinamik:** Përveç rrëshqitjeve, erozioni është një tjetër rrezik i pranishëm. Përroi i Lanës, lumi i Tiranës dhe përrenj të tjerë periferikë (p.sh. ai i Vishnjës në Dajt) kanë shkaktuar erozion të shpatëve dhe gërryerje të skarpeve lumore, sidomos para ndërhyrjeve të sistemit kullues urban. Zona e malit të Dajtit paraqet gjithashtu proces eroziv të fuqishëm në shpatet e pjerrëta karstike, ku reshjet intensive krijojnë rrëqe që shpëllajnë dheun e sipërfaqshëm. Në zonat urbane, erozioni natyror është pjesërisht i kontrolluar nga kanalizimet dhe muret mbajtëse, por mbetet problem në skajet e paurbanizuara ku ujërat rrjedhin lirshëm. Përveç erozionit, fenomeni i përjarrimit (alterimit atmosferik) ka rëndësi: në argjilat e Tortonianit, agjentët atmosferikë (ujë, temperatura) shkaktojnë shpërbërjen graduale të shkëmbit në tokë të butë, duke krijuar një shtresë të dobët të trashë deri 5–8 m në majat e kodrave. Kjo shtresë e alteruar duhet hequr ose stabilizuar para se të hidhen themelet e ndërtimit në këto zona, pasi përndryshe rrezikohet që nën ngarkesë ndërtimi të vendoset mbi material jostabil.

Në tërësi, duke iu referuar Hartës Inxhinierike së Tiranës, rezulton se territori ka kryesisht vlera të ulëta deri mesatare të rrezikut për rrëshqitje dhe kolapsim. Pjesa më e madhe e qytetit vetë (zona fushore) ka tokë me qëndrueshmëri të moderuar, ndërsa pjesët e larta kodrinore kërkojnë studim specifik gjeoteknik për secilin projekt ndërtimi. Këto karakteristika të ndryshme gjeoteknike nuk ndikojnë vetëm në stabilitetin ndërtimor, por edhe në mënyrën si ndërveprojnë ndërtesat me nëntokën për çështjen e radonit: p.sh. themelet e thella në zona me zhavorr mund të krijojnë rrugë ajrimi që lehtësojnë shkarkimin e radonit, ndërsa ndërtimet në toka argjilore pa ventilim mund të akumulojnë radonin e ngecur poshtë.

3.7 Karakteristikat pedologjike

Llojet e tokave (pedologjia) në rajonin e Tiranës reflektojnë si litologjinë bazë ashtu edhe proceset e pedogjenezës në klimën mesdhetare. Sipas klasifikimit ndërkombëtar WRB (World Reference Base for Soil Resources) dhe studimeve pedologjike në Shqipëri (Zdruli, 2001) Fig 3.10, në zonën e studimit hasen kryesisht këto tipa kryesorë toke:

- **Tokat aluviale – Fluvisol:** Të zhvilluara në ultësirën e lumit të Tiranës dhe përgjatë përroit të Lanës. Janë tokë të reja (Holocene) të formuara nga materiali alluvial lumor, me teksturë shumë të larmishme nga vendi në vend – diku mbizotërojnë fraksionet rërore, diku ato argjilore, shpesh

përzihen. Janë shumë të pasura në lëndë ushqyese (p.sh. përmbajtja e lartë e materialit organik dhe elementëve kimikë nga përmytjet periodike) dhe kanë pjellori të lartë, çka historikisht i ka bërë këto toka shumë të favorshme për bujqësi. Pedologjikisht klasifikohen si Eutric Fluvisol (toka aluvionale me bazicitet të lartë). Këto toka kanë porozitet të madh dhe përshkueshmëri të lartë për ujërat, veçori që ndikon edhe në migrimin e radonit: konkretisht, poroziteti i lartë do të thotë se radoni i prodhuar në to mund të difuzojë lehtësisht drejt sipërfaqes; gjithashtu, niveli i cekët i ujërave nëntokësore në ultësirë i bën këto toka të kenë lagështi të lartë stinore, gjë që mund të kufizojë disi dalje e gazit në periudha të caktuara.

- **Tokat e paformuara – Regosol:** Këto janë tokë të pakonsoliduara e me profil të cekët, zakonisht të hasura në zonat me erozion aktiv ose të depozitave të reja ku terreni ende nuk ka pasur kohë të zhvillojë horizontet e plota tokësore. Në Tiranë, regosolet gjenden lokalisht në zona si shpate të lëna shkretë ose tek vendet e gërmimeve/mbushjeve të reja urbane (p.sh. periferitë në ndërtim e sipër). Janë toka me përshkueshmëri shumë të lartë (për shkak të mungesës së strukturës së mirëfilltë dhe prezencës së materialit të trashë) dhe me kapacitet të vogël mbajtës të ujit. Kjo i bën ato jo shumë produktive për bujqësi, por nga ana tjetër të favorshme për migrimin vertikal të gazrave: radoni mund të lëvizë shpejt përmes poreve të mëdha të regosolit. Në WRB klasifikohen shpesh si Leptic Regosol (nëse janë të cekëta mbi shkëmb) ose Calcaric Regosol (nëse vijnë nga material karbonatik).

- **Tokat kahmotike (Kafe dhe Terra Rossa) – Cambisol/Luvisol:** Në zonat kodrinore rreth Tiranës, veçanërisht mbi formacionet molasike të alteruara të Tortonianit dhe mbi flishin e Oligocenit, janë zhvilluar toka më të vjetra me profil të plotë pedologjik. Këto shpesh klasifikohen si Cambisol (toka kafe ose të kafenjta eutrike) ose lokalisht Luvisol (toka me shtresë argjilore të pasur poshtë, tipike në klimë mesdhetare). Ato njihen zakonisht si “tokat e kuqe dhe kafe” të kodrinave. Teksturën e kanë mesatarisht të rëndë (argjilore), me horizon B të pasur në argjilë e okside hekuri (prandaj marrin ngjyrë të kuqërremtë në thellësi). Janë shpesh acidike për shkak të shpëlarjes së bazave ndër vite. Këto toka kanë strukturë të qëndrueshme (kokrrizat argjilore lidhen fort), prandaj rezistojnë deri diku erozionit në pjerrësi mesatare. Ato kanë prirje të mbajnë lagështi dhe gazra: në fakt, përmbajtja e lartë e argjilës i bën mjaft të afta të adsorbojnë radonin në hapësirat ndër-shtresore. Pra, ndonëse difuzioni i radonit është i ngadalësuar nëpër këto toka kompakte, vetë këto toka mund të veprojnë si magazina radoni (derisa kushtet atmosferike të ndryshojnë dhe ta

çlirojnë atë). Në hartën pedologjike, tokat e kodrinave të Tiranës klasifikohen si Chromic Luvisol dhe Vertic Cambisol – të dyja me përmbajtje të lartë argjilore (vertike tregon prirjen për çarje kur thahet).

- **Tokat Terra Rossa:** Këto janë toka karakteristike me ngjyrë të kuqe të thellë, të formuara nga tretja e karbonateve masivë. Në rajonin tonë, Terra Rossa gjendet sidomos në masivin karbonatik të Krujës (Dajt), ku përbën mbulesën e hollë pedologjike mbi shkëmbin gëlqeror. Janë tokë shumë të pasura me okside hekuri (prandaj ngjyra e kuqe e fortë), por njëkohësisht të varfra në lëndë organike (meqenëse vegjetacioni i dendur mungon në relievet e thyera karstike). Trashësia e tyre është e ndryshueshme – diku vetëm pak decimetra, diku edhe 1–2 metra në xhepa shkëmborë. Terra Rossa përfaqëson një mjedis me potencial të lartë për gjenerimin e radonit, sepse krijohet nga shkëmbinj gëlqerorë me përmbajtje uranumi dhe thoriumi, dhe poroziteti i saj (ndonëse i ulët për ujë për shkak të strukturës së argjilës së kuqe) lejon difuzionin e gazeve. Shpesh këto toka shfaqin nivel radoni në tokë më të lartë se tokat e tjera përreth.

Sipas Hartës Pedologjike të Tiranës (Zdruli, 2001; Shërbimi Pedologjik) Fig. 3.10, pjesa qendrore urbane dominohet nga Eutric Cambisol (tokë kafe eutrike) e përzier me Calcaric Fluvisol përgjatë lumit – pra toka aluviale me përmbajtje të lartë minerale bazike dhe teksturë rëno-argjilore mesatare. Në lindje dhe veri (kodrat e Saukut, Linzës, Kinostudios) shfaqen Chromic Luvisol dhe Vertic Cambisol – toka me ngjyrë të kuqërremtë, shumë argjilore dhe me horizont argjilor të betonizuar, që kanë kapacitet të lartë për të mbajtur gazin (radoni lidhet e ngec brenda poreve të imëta). Ndërkaq, në zonat kodrinore jugperëndimore (Kombinat, Yzberish) hasen Calcaric Cambisol (toka kafe me përmbajtje karbonatike) dhe Leptic Regosol (toka të cekëta mbi shkëmbinj konglomeratikë) – këto janë përgjithësisht më të thata dhe me përshkueshmëri më të ulët, prandaj radoni në to lëviz më ngadalë.

Në terma praktikë, përbërja granulometrike e tokës ndikon drejt në radon: strukturat e imta argjilore (si ato të luvisoleve) rrisin aftësinë e mbajtjes së radonit (gazi kapet dhe shpërndahet ngadalë), ndërsa tokat e lehta rëno-zhavorrore (fluvisole pranë lumenjve, regosole) kanë pore të medha dhe lehtësojnë difuzionin e tij në ajër. Kjo do të thotë se ndërtesat e vendosura mbi toka argjilore mund të kenë risk më të lartë për akumulim radoni, ndërsa ato mbi toka aluviale të lehta mund të kenë radon që largohet më kollaj në atmosferë.

Emërtimet pedologjike (p.sh. Eutric Fluvisol, Chromic Luvisol, Vertic Cambisol, Leptic Regosol, Calcaric Cambisol) përdoren sipas WRB, botimi i 4-t (IUSS Working Group WRB, 2022).

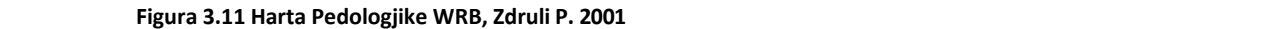
Marrëdhënia midis pedologjisë dhe gjeologjisë

Pedogjeneza në zonën e Tiranës është e lidhur ngushtë me:

- **Depozitimet aluviale të Lanës dhe Tiranës**, që kanë prodhuar Fluvisole të reja, pjellore por me rrezik të madh ndotjeje urbane.
- **Molasat tortoniane**, mbi të cilat janë formuar Cambisole dhe Luvisole me strukturë të qëndrueshme, por me përshkueshmëri të kufizuar.
- **Shpatet deluviale të Dajtit dhe Saukut**, ku dominon erozioni dhe formohen Regosole e Leptosole të cekëta.
- **Ndikimin antropogjen**, që ka sjellë ndryshime të thella në horizontet e sipërme, me depozitime ndërtimore dhe mbetje inerte që prishin strukturën natyrore.

Tabela 3.1 Tipologjia e tokave në zonën e studimit

Grupi pedologjik (WRB)	Tipi i tokës	Karakteristikat kryesore	Shpërndarja
Calcaric Cambisol	Tokë kambisol kalcike me përmbajtje të lartë karbonatesh	E zhvilluar mbi molasat tortoniane dhe në fushën qendrore urbane. Ka drenazh të mirë, por përshkueshmëri mesatare. pH 7.5–8.0.	Zona qendrore e Tiranës (rreth FSHN, IGJEO, Qemal Stafa).
Eutric Cambisol	Tokë kambisol e pasur në baza shkëmbyese	Reaksion neutral–pak alkalik, drenazh i mirë. Teksturë ranoro–alevrolitore; përshkueshmëri relativisht e lartë.	Rreth FIMIF, Karl Gega, Petro Nini Luarasi.
Chromic Luvisol	Tokë luvisol kromike.	Profili Bt me argjilë të grumbulluar, rrit rezistencën ndaj erozionit. Strukturë e fortë, drenazh i kufizuar, përshkueshmëri e ulët.	Zonat lindore (Kinostudio, Bunk’Art 1).
Dystric Regosol	Tokë e cekët me zhvillim të dobët pedogjenetik	Profili pedologjik i cekët, në shpatë kodrinore me erozion të fortë. Përshkueshmëri e lartë, por me stabilitet të ulët gjeoteknik.	Jugperëndimi (Kombinat–Yzberish).
Eutric Fluvisol	Tokë fluviale e pasur në materiale ushqyese	E zhvilluar në depozitime të reja lumore (rëra–alevrite). Porozitet i lartë, përshkueshmëri shumë e mirë.	Përgjatë lumit të Lanës dhe zonave të ultësirës. Zona Qemal Stafa
Vertic Cambisol	Tokë kambisol me shtresë argjilore që fryhet/kurset	Përshkueshmëri shumë e ulët, drenazh i dobët, rrezik ngritjeje të ujërave nëntokësore. Koeficient i lartë i ngjeshjes, kërkon kujdes për ndërtim.	Zona e Qytetit Studenti dhe UPT.



- **Aktiviteti sizmik rajonal:** Rajoni i Tiranës bën pjesë në zonën me aktivitet sizmik më të lartë të Shqipërisë, pjesë e brezit të përplasjes Adriatike-Euroaziatike. Tërmetet historike dhe bashkëkohore tregojnë se Shqipëria Qendrore (përfshirë Tiranën) prekët shpesh nga lëkundje me

magnituda mesatare, ndërsa episodet me magnitudë të madhe ($M > 6$) janë më të rralla por potencialisht shkatërruese. Burimet kryesore sizmike që ndikojnë Tiranën janë:

- ***Vija sizmike Vlorë–Elbasan–Dibër:*** Një nga segmentet tektonikë më aktivë në vend, i cili shtrihet diagonalisht nga jugperëndimi (Vlora) drejt verilindjes (Dibra). Ky sistem i lidhur me fajin e Shkumbinit ka gjeneruar në të kaluarën tërmete me magnituda deri 6.6 (p.sh. tërmetet e viteve 1967 dhe 2009 në Dibër). Edhe pse Tirana ndodhet disa dhjetëra kilometra larg, kjo vijë përbën rrezik për qytetin për shkak të magnitudave të mëdha që mund të prodhojë.
- ***Vija sizmike Elbasan–Tiranë–Gjiri i Rodonit:*** Kjo vijë e thyerjeve aktive kalon në afërsi direkte të Tiranës, duke ndjekur përafërsisht linjamentin e grabenit të Shkumbinit dhe vazhduar drejt veriut në detin Adriatik (Gjiri i Rodonit). Është konsideruar shpesh si një degëzim i segmentit të lartpërmendur ose një sistem më vete. Për Tiranën, ky është burimi primar i rrezikut sizmik, pasi epiqendrat e tërmeteve mund të jenë shumë pranë (në rrethinë ose nën vetë Tiranën). Tërmetet e regjistruara në këtë segment kanë arritur magnitudë ~6.0 (p.sh. ai i 17 Janar 1988 me M5.5 që shkaktoi dëme në Tiranë).
- ***Thyerjet e zonës bregdetare Adriatike:*** Përplasja tektonike e mikroplakës Adriatike me tokën shqiptare shkakton thyerje të thella gjatësore paralel me bregun. Këto kanë manifestuar tërmete të forta në shekujt e fundit – p.sh. tërmeti i Durrësit 1926 (M6.2), tërmeti i Shijakut 1905 (M6.6) dhe më vonë tërmeti i 26 nëntorit 2019 në Durrës (M6.4) që u ndje shumë fort edhe në Tiranë. Edhe pse epiqendrat janë 30+ km larg, efekti në Tiranë mund të jetë serioz, veçanërisht në struktura të dobëta.
- ***Intensiteti dhe kategorizimi sizmik:*** Sipas Kodit Shqiptar të Ndërtimit për Projektimin Antisizmik (KTP-N.2-2019), Rajoni Metropolit i Tiranës klasifikohet në Kategorinë Sizmike II. Në përputhje me KTP-N.2-2019, projektimi zakonisht bazohet në një PGA rreth 0.25 g për $T_R=475$ vjet në Tiranë; vlerësimet e ESHM20 (kusht bazë shkëmb, $V_{s30} \approx 800$ m/s) janë të krahasueshme, ~0.22–0.28 g në zonën urbane, me variacion lokal sipas vendndodhjes (nga III kategoritë gjithsej). Kjo korrespondon me një përshpejtim maksimal të pritshëm të tokës (PGA) rreth 0.25g për një periudhë kthimi 475-vjeçare (tërmeti karakteristik me probabilitet 10% në 50 vjet). Do të thotë se projektet inxhinierike në Tiranë duhet të llogarisin forca sizmike ekuivalente

me 25% të gravitetit. Disa zona specifike – veçanërisht ato pranë burimeve sizmike aktive ose mbi terrene shumë të buta – mund të kenë kërkesa edhe më konservative (p.sh. disa modelime mikrozonimi sugjerojnë PGA deri 0.30g lokalisht). Për shembull, studimet e mikrozonimit kanë identifikuar zonën e Kombinatit dhe Yzberishtit (mbi shtresa argjilore të trasha) si një nënzonë me amplifikim të mundshëm më të madh të lëkundjeve, ndërsa zonat mbi shkëmb (p.sh. Dajti) kanë amplifikim më të ulët.

- **Efekti i lokalitetit:** Natyra e tokave dhe trashësia e sedimentit nën një vendndodhje mund të amplifikojë ose zbehë lëkundjet sizmike – ky njihet si efekti i lokalitetit. Fusha aluviale e Tiranës përbëhet nga depozitime të buta kuaternare (argjila, rëra, zhavorre të lira) me trashësi dhjetëra metra; këto shtresa veprojnë si një rezonator gjatë tërmeteve, duke përforcuar amplitudën e valëve sizmike të periudhës së mesme dhe të gjatë dhe duke zgjatur kohëzgjatjen e lëkundjeve. Në praktikë, kjo do të thotë që një tërmet i largët mund të ndihet më fort në qendër të Tiranës sesa në shkëmbinjtë e malit të Dajtit, për shkak të dridhjes së zgjatur të tokës së butë poshtë qytetit. Për këtë arsye, kërkohet kryerja e studimeve të detajuara të mikrozonimit sizmik për Tiranën, të cilat marrin në llogari trashësinë e sedimentit lokal, shpejtësinë e valëve gjeofizike në to, dhe faktorë të tjerë. Këto studime do të mundësojnë hartimin e hartave të rrezikut sizmik më precize brenda qytetit dhe përcaktimin e rregullave më specifike të ndërtimit (p.sh. përdorimin e bazamenteve fleksibël ose izolatorëve sizmikë për ndërtesat e larta mbi terrene të buta).

Për Tiranën ekziston literaturë e hershme e mikrozonimit sizmik (harta historike të intensitetit për qytetin); për një përmbledhje shih Aliaj et al. (2009). Rekomandohet referencim si burim dytësor dhe plotësim me metodologjitë bashkëkohore të mikrozonimit të harmonizuara me EC8/ESHM20.

- **Implikime për radonin:** Ngjarjet sizmike dhe vetë tensionet tektonike mund të kenë një ndikim dytësor në çështjen e radonit. Është vërejtur se para ose gjatë tërmeteve, përqendrimet e radonit në tokë mund të pësojnë luhatje (një fenomen i raportuar në studime parësore sizmike). Kjo lidhet me mikroçarjet që hapen nga stresit tektonik, duke lejuar radonin e ngecur të çlirohet në sipërfaqe. Për Tiranën, ndonëse nuk është fokus i këtij studimi, mund të pritët se aktiviteti i vazhdueshëm neotektonik (p.sh. ngritje e ngadalshme e Dajtit, ulje e fushës, apo tërmete të vogla të shpeshta) krijon porozitet sekondar të vazhdueshëm në nëntokë, i cili ndihmon radonin të gjejë rrugë dalje. Gjithashtu, pas një tërmeti të fortë, mund të ndodhin ndryshime në nivelin e ujërave nëntokësore

(p.sh. rënie e përkohshme niveli për shkak të lëkundjeve) që përkohësisht rrisin shkallën e eksalimit të radonit (meqë poret thahen dhe gazi del më kollaj).

3.9 Karakteristikat Topografike

Sipas Hartës Topografike 1:10 000 Fig. 3.12, Tirana paraqet një reliev të butë me pjerrësi mesatare 2–6° në pjesën qendrore dhe rritje graduale drejt lindjes dhe jugut. Ultësira aluviale e Tiranës përbën një fushë të gjerë të formuar nga depozitimet e Lanës dhe Tiranës, me lartësi mesatare 120–140 m. Kodrat përreth (Kinostudio, Sauk, Farkë, Kombinat) arrijnë deri në 260–280 m, duke krijuar një “pellg të mbyllur morfologjik” që pengon qarkullimin e lirë të ajrit në periudha të qeta atmosferike – faktor që ndikon drejtpërdrejt në rënien e efikasitetit të ventilimit natyror dhe rritjen e përqendrimeve të radonit indoor.

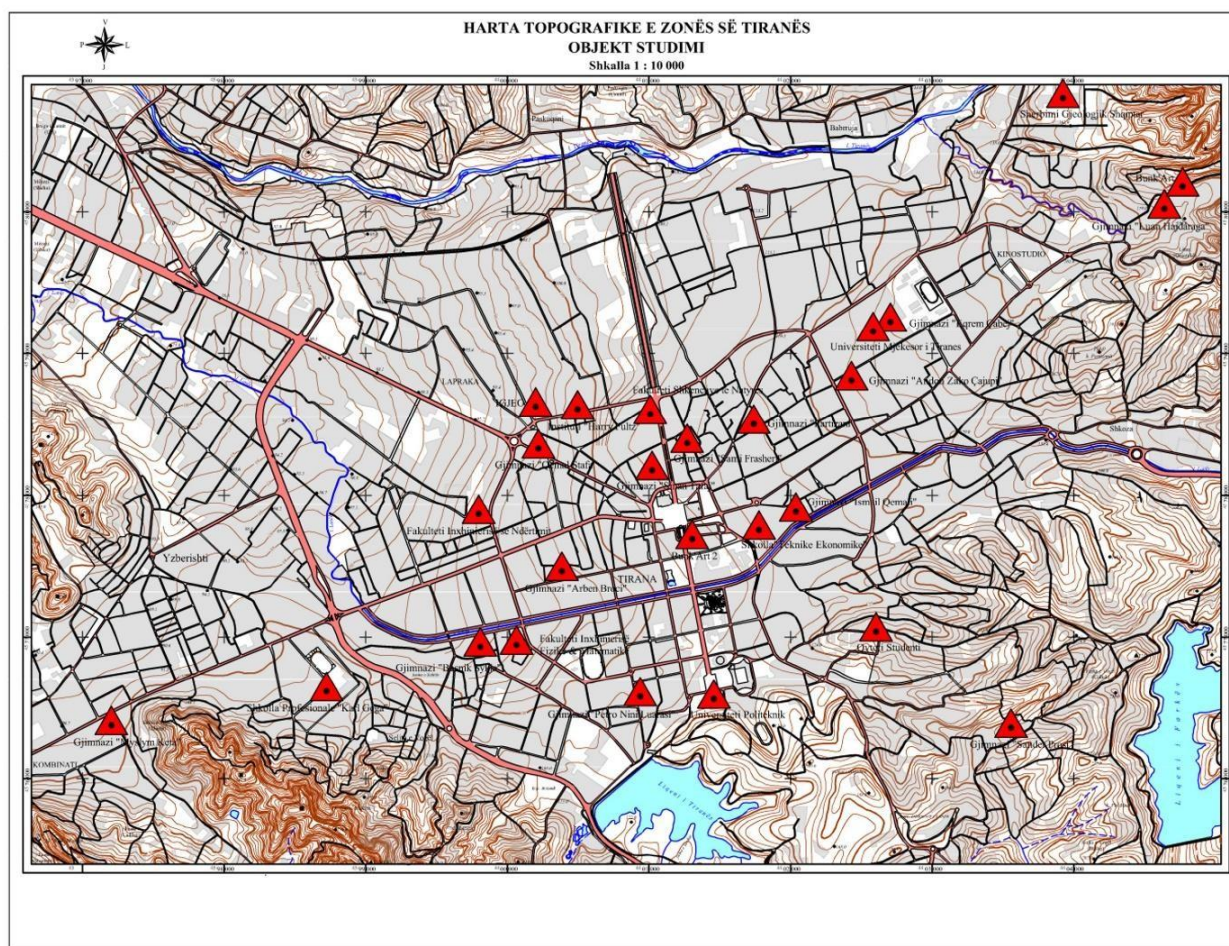


Figura 3.12 Harta Topografike e zones së studimit, ASIG

3.10 Të dhënat klimatike

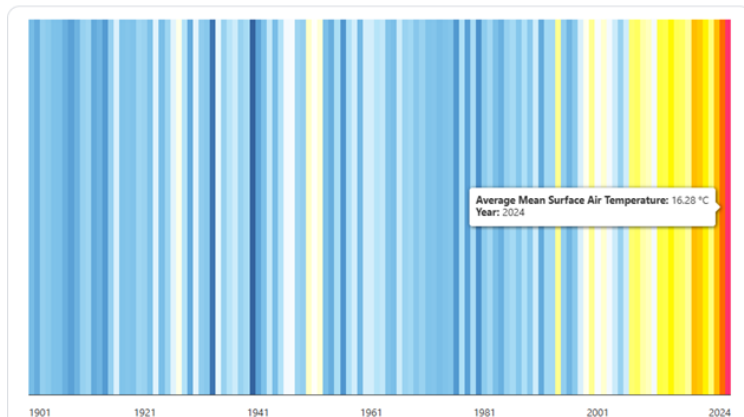
- **Tipi i klimës:** Tirana gëzon një klimë mesdhetare subtropikale (Mesdhetare e Mesme) me verë të nxehtë dhe dimër të butë e të lagësht. Stina e verës (qershor–gusht) karakterizohet nga temperatura të larta dhe reshje shumë të pakta, ndërsa dimri (dhjetor–shkurt) sjell reshjet kryesore dhe temperatura mesatarisht të ulëta, por rrallë nën 0°C në fushë. Ndikimi i detit Adriatik (rreth 30 km në perëndim) dhe masivit malor të Dajtit (në lindje) e modifikojnë këtë klimë bazë, duke sjellë butësim të ekstremiteve: dimrat janë pak më të ngrohtë se sa do priteshin pa praninë e detit, dhe verërat pak më të freskëta në mbrëmje falë flladit malor.
- **Temperatura:** Mesatarja vjetore e temperaturës ajrore është rreth 15.5–16.0 °C (bazuar në mesataret afatgjata klimatike). Muaji më i ftohtë është zakonisht janari, me temperaturë mesatare ~6–7 °C, ndërsa muaji më i nxehtë është korriku, me mesatare ~24–25 °C. Gjatë verës, termometri mund të arrijë mbi 35 °C në valët e të nxehtit, dhe gjatë dimrit në netët më të ftohta mund të zbresë afërsisht deri -5 °C lokalisht, ndonëse ngricat janë të rralla dhe jetëshkurtra. Këto temperatura ndikojnë edhe në radon: në verë, tokat thahen dhe radoni del më lehtë (por ventilimi natyror është i mirë sepse nxehtësia gjeneron rryma ajri në rritje); në dimër, tokat janë të ftohta e të lagështa (radoni ngec më shumë në to), ndërkohë që shtëpitë ventilohe më pak për shkak të të ftohtit, çka shpesh sjell rritje të nivelit të radonit brenda.
- **Reshjet:** Sasia mesatare vjetore e reshjeve luhet rreth 1100–1200 mm në vit, duke e renditur Tiranën si një nga kryeqytetet më me shi në Europë. Shpërndarja stinore e reshjeve është tipike mesdhetare: rreth 70% e totalit bien gjatë vjeshtës dhe dimrit (tetor–mars), me muajt më me shi që janë nëntori dhe dhjetori (mesatarisht 150–180 mm secili). Vera në kontrast është shumë e thatë: korriku dhe gushti kanë shpesh më pak se 30 mm shi secili, dhe periudhat pa asnjë pikë shi që zgjasin 3–4 javë janë të zakonshme. Kjo pabarazi stinore krijon efekte domethënëse hidrologjike e mjedisore, p.sh. përmbytje të mundshme urbane në dimër dhe thatësira/verë të thatë që ndikojnë furnizimin me ujë. Për radonin, reshjet e bollshme dimërore rritin lagështirën e tokës dhe nivelin e ujërave freatike (rrjedhimisht kufizojnë daljen e radonit, por shtojnë akumulimin poshtë sipërfaqes), ndërsa thatësitrat

verore e ulin nivelin e ujit dhe thajë shtresat sipërfaqësore, duke lehtësuar degazimin e radonit nga toka drejt atmosferës.

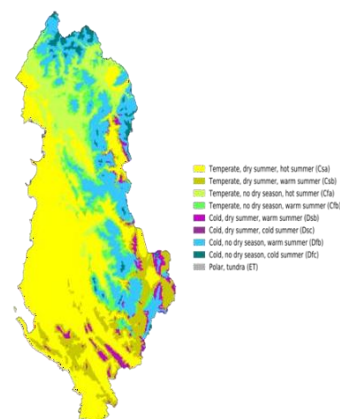
- **Fenomenet ekstreme dhe trendet kohore:** Vitet e fundit, ndryshimet klimatike kanë nisur të japin ndikimin e tyre edhe në klimën lokale të Tiranës. Sipas të dhënave meteorologjike të Institutit të Gjeoshkencave (IGJEO) dhe analizave vjetore, temperaturat mesatare kanë treguar një tendencë rritëse graduale (rreth $+0.5^{\circ}\text{C}$ gjatë dekadës së fundit), dhe frekuenca e ngjarjeve ekstreme (si valët e të nxehtit apo stuhitë intensive) është rritur. Për shembull, viti 2024 rezultoi disi më i ngrohtë se mesatarja afatgjatë, me një dimër 2023-2024 relativisht të butë (pak ditë me temperatura nën 0°C) dhe një fillim vere me stuhi të shpeshta Fig. 3.12. Gjatë maj-qershor 2024, disa reshje lokale tejkaluan 50–70 mm në ditë, duke shkaktuar përmbytje të përkohshme në disa rrugë të Tiranës – një fenomen i cili po bëhet më i zakonshëm vitet e fundit. Gjithashtu, vjeshta 2024 ishte më e lagësht se zakonisht, me tetorin që pa rreth 200 mm reshje (krahasuar me ~ 120 mm normale). Këto ndryshime nënvizojnë nevojën që planifikimi urban dhe studimet mjedisore (përfshirë ato për radonin) të marrin në konsideratë variabilitetin klimatik: periudhat me shi të rrëmbyeshëm mund të rrisin lagështinë e tokës e të ulin ventilimin (rritur radonin indoor), ndërsa periudhat e thata të gjata mund të çojnë në tharje të tokave (rrjedhimisht më shumë radon që del nga toka por edhe më shumë shpërndarje e tij në ajër për shkak të konveksionit termik) Fig.3.13.

Observed Stripes Graph of Annual Average Mean Surface Air Temperature

Tirane, Albania • 1901-2024



Köppen-Geiger climate classification map for Albania (1991-2020)



Source: Beck et al. (2022): High-resolution (5 km) Köppen-Geiger maps for 2062-2080 based on constrained CMIP6 projections. Scientific Data 20:124, doi:10.1038/s41597-022-02545-6

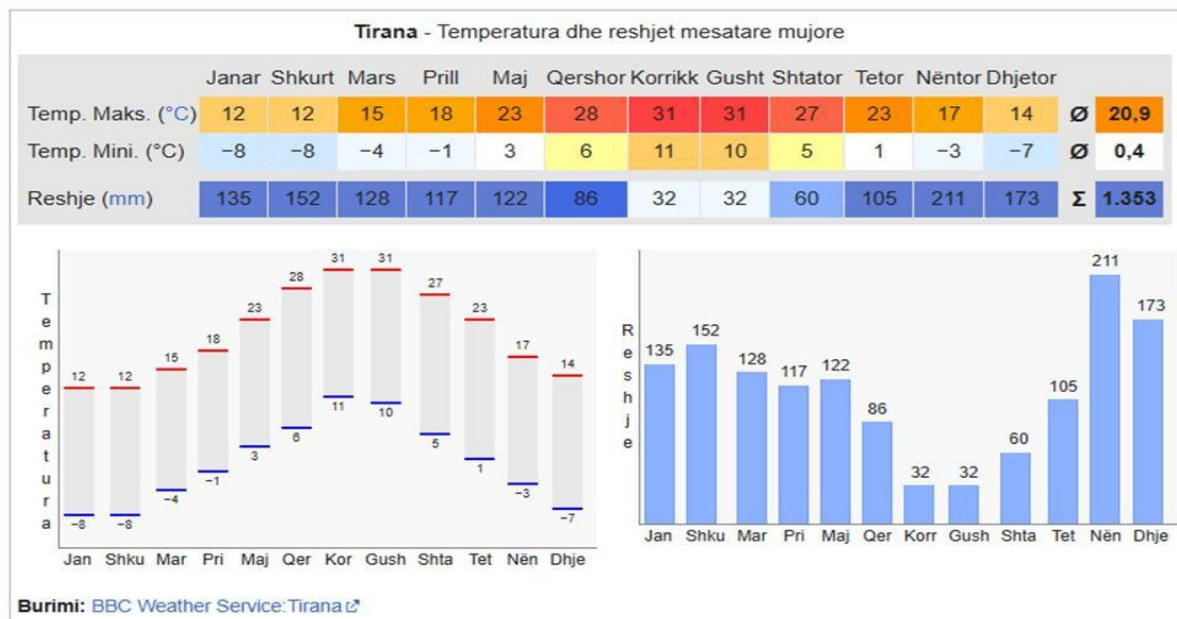


Figura 3.13 Të dhënat klimatike të zones objekt studimi

3.11 Urbanizimi, Dendësia e Popullsisë dhe Intensiteti i Ndërtimeve

Zhvillimi demografik: Tirana është prej dekadash qendra kryesore demografike e Shqipërisë. Rajoni metropolitane (bashkia Tiranë dhe zonat përreth) ka tërhequr migrim të brendshëm masiv pas viteve 1990, duke e rritur popullsinë e qytetit në 592 914 banorë (sipas Censurit 2023, INSTAT 2025). Dendësia e popullsisë në vetë qytetin e Tiranës tejkalon 500 banorë për km² mesatarisht, ndërsa në zonat qendrore urbane arrin nivele mbi 9,000 banorë/km² (lagjet me pallate shumëkatëshe) (INSTAT, 2017). Ky përqendrim i madh i popullsisë ka sjellë pasoja si zgjerim i

shpejtë urban dhe rritje të kërkesës për banesa, duke ndryshuar ndjeshëm strukturën e përdorimit të tokës dhe karakteristikat mjedisore të zonës.

Intensiteti i ndërtimeve: Dekadat e fundit Tirana ka përjetuar një bum ndërtimor intensiv, shpesh në mungesë të një planifikimi rigoroz. Kjo periudhë e urbanizimit galopant është karakterizuar nga:

- **Ndërtim vertikal:** Qindra godina të reja shumëkatëshe (8–15 kate mbi tokë) janë ngritur në qytet pas vitit 2000. Këto ndërtesa, sidomos në qendër dhe zona të kërkuara, shpesh kanë edhe 2–3 kate bodrum (garazhe nëntokësore). Ndërtimi i tyre ka kërkuar themele të thella (pilota, mure diafragmë, pllaka bazament masive) dhe gjurmime të mëdha. Kjo ka sjellë sfida të veçanta gjeoteknike: në disa raste, uljet diferenciale të themeleve kanë qenë problem për shkak të tokës heterogjene; ujërat nëntokësore të ndeshura gjatë gjurmimeve kanë kërkuar drenazh ose devijim; gjithashtu, ndërtimet e larta mund të krijojnë “stack effect” (efekt skelie) që tërheq ajër nga nëntoka drejt lart (duke thithur radonin nga poshtë).
- **Shtrirje territoriale e pakontrolluar:** Urbanizimi i shpejtë shpesh ka ndodhur jashtë zonave të miratuara zyrtarisht, duke çuar në ndërtim edhe në territore me risk gjeologjik. Janë zaptuar shpate kodrinore të paqëndrueshme (p.sh. në Selitë e Re, Shkolla e Kuqe), zona pranë lumenjve me rrezik përmbytjeje (p.sh. përgjatë lumit të Tiranës në Laprakë dhe segmentit të poshtëm të Lanës), apo ish-kënete (zona pranë Fushës së Aviacionit). Këto ndërtime të paplanifikuara rrisin ekspozimin e popullsisë ndaj rreziqeve natyrore (rrëshqitje, përmbytje) dhe mund të kenë ndërprerë barrierat natyrore që parandalonin më parë daljen e radonit (p.sh. duke hequr shtresat e dheut të patrazuar gjatë gjurmimeve dhe duke krijuar kanale nënstrukturash).
- **Presioni mbi infrastrukturë:** Dendësia e lartë e ndërtimeve ka vënë një presion të madh mbi infrastrukturën ekzistuese. Rrjetet e ujësjellësit e kanalizimeve janë tejngarkuar, sistemi i kullimit të ujërave të shirave shpesh është i pamjaftueshëm (duke çuar në përmbytje urbane pas reshjeve intensive), trafiku rrugor është rënduar, dhe hapësirat e gjelbra janë pakësuar. Të gjitha këto kanë ndikime indirekte edhe në faktorin radon: p.sh., ndërhyrjet nëntokësore (për kanalizime, themelime) mund të prishin ekuilibrin e mëparshëm të rrjedhjes së gazit; reduktimi i sipërfaqeve me dhe të zhveshur (toka e hapur zëvendësohet nga beton/asfalt) ulmson shkarkimin natyror të radonit nga nëntoka, sepse gazi tani duhet të gjejë çarje artificiale ose të akumulohet poshtë strukturave të papërshkueshme.

• **Ndryshimi i përdorimit të tokës:** Ish-zonat bujqësore dhe pyjore në periferi janë shndërruar me shpejtësi në zona urbane. Kjo ka bërë që përshkueshmëria e terrenit të ulet (p.sh. toka bujqësore e dikurshme thithte ujin e shirave, ndërsa tani sipërfaqja e betonuar e rrugëve e kulloN shpejt ujin), mikroklima lokale të ndryshojë (më pak hije e freski nga pemët, më shumë nxehtësi urbane nga ndërtesat), dhe proceset e difuzionit të gazrave në tokë të modifikohen. Për shembull, në tokat bujqësore të lëna çelur radoni dilte lirisht në ajër, kurse në zonat e ndërtuara ai ngec nën plate dhe themele, duke u grumbulluar potencialisht afër bodrumeve.

Ky intensitet ndërtimor e demografik kërkon gjithashtu vëmendje në aspektin e shëndetit publik. Shumë shkolla, kopshte, e ndërtesa publike janë ndërtuar apo rikonstruktuar në këto dekada të fundit pa monitorim të vazhdueshëm të cilësisë së ajrit nëntokësor. Studimi ynë me 26 objekte (shkolla dhe institucione) ka adresuar pikërisht këtë boshllëk, duke matur për herë të parë radonin indoor në një shumëllojshmëri ndërtesash të Tiranës urbane dhe periurbane.

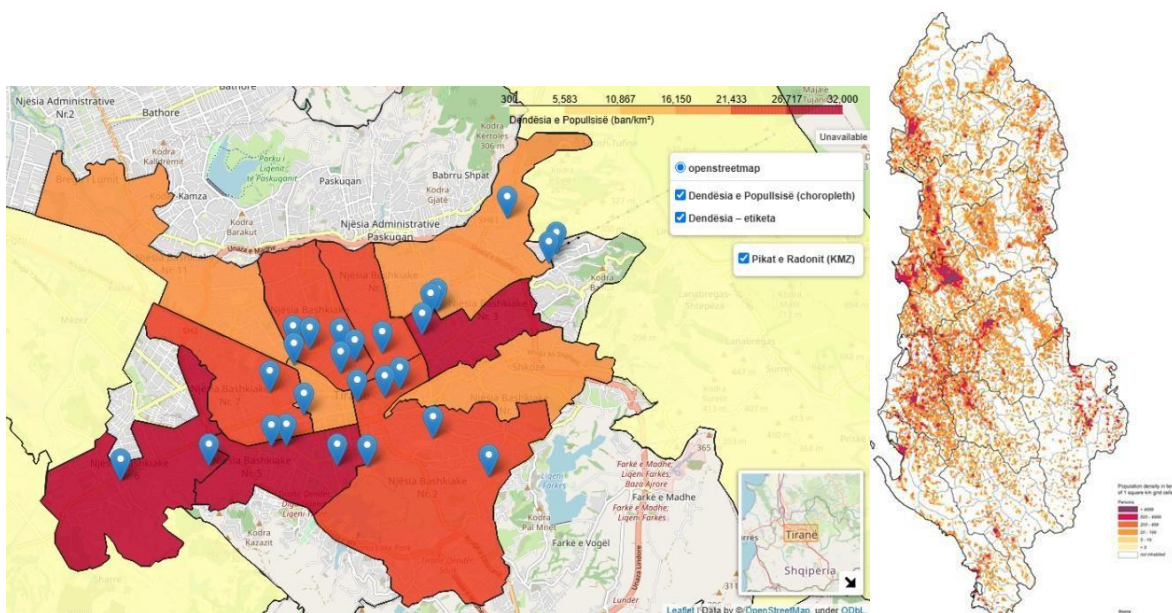


Figura 3.14 Paraqitje hartografike e dendësisë së popullsisë sipas Censusit 2023, Burimi INSTAT 2025

3.12 Ndikimi i kushteve gjeologjike në shpërndarjen e gazit radon

Faktorët kyç kontrollues: Nga sa u përshkrua më lart, është e qartë se shpërndarja e radonit në zonën e Tiranës varet nga një kombinim kompleks faktorësh gjeologjikë, hidrogeologjikë, inxhinierikë dhe antropogjenë. Heterogjeniteti litologjik i nëntokës – pra, llojet e shkëmbinjve dhe

tokave – është ndoshta faktori kryesor: ky përcakton sa shumë radon prodhohet (në varësi të përmbajtjes së uranimit në minerale) dhe sa lehtë ai lëviz (në varësi të porozitetit dhe përshkueshmërisë). Një faktor po aq i rëndësishëm është struktura tektonike: prania ose mungesa e thyerjeve/shkëputjeve që shërbejnë si “oxhaqe” për radonin. Së treti, lagështia e tokës dhe akuiferët ndikojnë në transportin e radonit (uji mund ta mbajë ose vonojë radonin). Më tej, morfologjia dhe kushtet mikroklimatike (p.sh. pellgu i mbyllur i Tiranës që frenon ventilimin) luajnë rol në akumulimin pranë sipërfaqes dhe brenda godinave. Së fundi, vetë ndërhyrjet njerëzore – ndërtimet, asfaltimi, bodrumet – mund ta përkeqësojnë ose përmirësojnë gjendjen: një bodrum i padepërtueshëm mund të bllokojë daljen e radonit (duke e detyruar atë të futet brenda strukturës), ndërsa një truall i papunuara (tokë e lirë) e lejon radonin të shpërndalet në ajër të hapur.

Zonifikimi sipas radonit: Duke kombinuar të dhënat e marra nga studimi ynë me informacionet e mësipërme gjeologjike, mund të identifikojmë disa nën-zona brenda Tiranës me karakteristika të dallueshme radonologjike:

- ***Zonat me difuzion të lartë / akumulim të ulët:*** Këtu hyjnë pjesët e ultësirës kuaternare me toka të lehta ranore-zhavorrore. Shembuj tipik janë zona e Kinostudios, segmentet pranë Dajtit (hyrja e tunelit dhe zona e Bunk’Art 1), si dhe disa pjesë të ultësirës qendrore si territori i Universitetit Politeknik (FSHN). Në këto vende, toka përbëhet nga shtresa permeabël (p.sh. rërë, zhavorr, ose tokë aluviale e re) dhe niveli i ujërave nëntokësorë është mesatarisht i ulët. Si rezultat, radoni që prodhohet në nëntokë mund të difuzojë lehtësisht drejt sipërfaqes dhe të shpërndalet në ajër, në vend që të ngecë. Kjo çon në përqendrimet të moderuara indoor – radoni del shpejt nga toka dhe humbet në atmosferë, pa arritur të grumbullohet shumë në ndërtesat sipër (veçanërisht nëse këto ndërtesa kanë edhe ventilim minimal). Matjet tona konfirmojnë se shkollat e vendosura në zona me depozitime të tilla (p.sh. “Eqrem Çabej” në Kinostudio) treguan vlera radoni indoor përgjithësisht më të ulëta se mesatarja e qytetit.

- ***Zonat me difuzion të ulët / akumulim të lartë:*** Këtu bëjnë pjesë territoret e mbuluara nga argjila e toka të imta të dendura, ku radoni e ka të vështirë të dalë lirisht. Njësi tipike janë zonat e Yzberishit dhe Kombinatit (në jugperëndim të Tiranës) ku, siç u përmend, kemi shtresa argjilore-brekcioze kuaternare me permeabilitet të vogël, si dhe zona të Selitës/Saukut në jug ku toka kafe argjilore e alteruar dominon pjerrësitë. Në këto vende, radoni tenton të grumbullohet poshtë

sipërfaqes sepse rrugët e daljes janë të kufizuara. Kështu, edhe pse prodhimi mund të mos jetë më i larti, përqendrimi i radonit në tokë arrin vlera të larta dhe ai gjen rrugë për t'u akumuluar në ndonjë mjedis të mbyllur (p.sh. bodrum, kanal teknik, etj.). Matjet tona e ilustronë këtë: pikat si shkolla “Petro Nini Luarasi” (zonë argjilore në Sauk) apo ambiente në Kombinat treguan vlera më të larta të radonit indoor, duke reflektuar akumulimin nga kushtet e mësipërme.

- **Zonat karstike dhe kontakte litologjike:** Një kategori më vete është zona e kontaktit Kruja (karbonatet) – Tirana (aluvionet) në lindje. Këtu (p.sh. në Shtish-Tufinë, Linzë, Dajt) kemi përshkueshmëri shumë të lartë në karbonatet e çara, pra radoni lëviz lirshëm në shkëmb, por sipër tyre ndodhen shpesh hapësira të mbyllura (p.sh. bunkerë, tunele, ose edhe shpella natyrore të vogla). Një shembull ekstrem është bunkeri i Bunk’Art 1, i cili ndodhet i futur brenda një galerie në shkëmb gëlqeror: karbonati i çarë lejon radonin e thellë të dali vazhdimisht, dhe bunkeri (i mbyllur e me ventilim minimal) e grumbullon atë brenda. Kjo krijon një situatë ku, ndonëse zona karbonatike vetë mund të mos e pengonte radonin të dilte jashtë, ndërhyrja njerëzore (struktura e mbyllur) e kthen vendin në “kurth radoni”. Kjo është vënë re edhe në matjet tona – pikërisht bunkeri në Dajt pati nivelin më të lartë të radonit të matur nga të gjitha (për shkak të kushteve specifike të mbylljes dhe burimit të bollshëm nga shkëmbi). Edhe ndërtesa të tjera që ndodhen mbi karbonatet e çara (p.sh. zona e Qytetit Studenti/FSHZH pranë kodrave të Kopshtit Botanik) tregojnë prirje për radon më të lartë indoor, sepse gazi vjen nga poshtë dhe ngec nëpër bodrume pak të ajrosura.

3.13 Përmbledhje interpretative

Në dritën e këtyre të dhënave, mund të thuhet se faktori përcaktues për rrezikun nga radoni në Tiranë është përshkueshmëria e ndryshueshme e terrenit. Zonat me sedimente të lira dhe poreze (rërë, zhavorr) funksionojnë si “shpues” – radoni kalon kollaj dhe largohet, ndaj ndërtesat mbi to kanë më pak akumulim. Zonat me tokë kompakte argjilore funksionojnë si “bllokues” – radoni ngec poshtë dhe akumulohet aty derisa gjen ndonjë dalje (që mund të jetë vetë ndërtesa). Këtyre u mbivendoset ndikimi i tektonikës: një tokë argjilore e pandërprerë do e mbante radonin poshtë, por nëse përshkohet nga një faj apo çarje, atëherë radoni do të gjejë dalje përgjatë saj. Po ashtu, një zonë me zhavorr mund të jetë e përshkueshme, por nëse ka ujë freatik të lartë, radoni mbetet i tretur në ujë dhe nuk del plotësisht. Topografia e ulët e Tiranës, siç u përmend, i jep fund kësaj historie duke e bërë më të vështirë shpërndarjen e radonit në atmosferë (për shkak të ajrit të qetë në pellg), gjë që e rrit edhe më shumë riskun e ekspozimit indoor: radoni del nga toka, grumbullohet nën ndërtesa, dhe pastaj ngec brenda dhomave ku ventilimi është i kufizuar (sidomos në dimër).

Implikime praktike: Këto gjetje nënvizojnë rëndësinë e vlerësimit gjeologjik lokal përpara ndërtimit të objekteve të rëndësisë së veçantë (shkolla, spitale, etj.). Në zonat e identifikuara si me risk radoni (p.sh. mbi argjilat e Yzberishit/Kombinatit ose afër linjamenteve tektonike në Kinostudio/Dajt), rekomandohet të merren masa si: hidroizolim dhe gaz-izolim i themeleve, instalimi i sistemeve pasive ose aktive të ventilimit në plintat e ndërtesave, dhe monitorim periodik i radonit. Ndërkohë, në zonat e ulëta risk (p.sh. fushat e hapura zhavorrore me drenazh të mirë), kujdesi mund të jetë më standard, por sërish me syçeltësi ndaj ndryshimeve që mund të sjellë ndonjë aktivitet i ardhshëm (p.sh. një tërmet që ndryshon kushtet, ose një ndërtim i madh aty pranë që ndryshon fluksin e nëntokës). Në përfundim, studimi i ndërthurur gjeologjik e radiometrik na lejon të kuptojmë se “nën toka e Tiranës flet” nëpërmjet radonit: aty ku gjeologjia është e favorshme, radoni arratiset dhe humbet; aty ku gjeologjia e frenon, radoni grumbullohet dhe bëhet kërcënim i padukshëm. Ky kapitull ofroi tablonë e plotë gjeologjike të zonës së studimit, e cila shërben si themel për analizën e detajuar të matjeve të radonit që paraqitet në kapitujt vijues. Referencat dhe të dhënat e mësipërme sigurojnë që interpretimi ynë të jetë i mbështetur në fakte shkencore dhe të integruar me literaturën ekzistuese (SHGJSH, 2008; Zdruli, 2001; KTP-N.2, 2019; etj.), duke i dhënë punimit një karakter të plotë akademik dhe profesional.

KAPITULLI 4 - METODOLOGJIA E STUDIMIT

4.1 Qasja metodologjike dhe baza shkencore

Studimi i përqendrimeve të radonit kërkon një qasje metodologjike që kombinon matje të drejtpërdrejta në terren me analiza statistikore dhe gjeostatistikore të avancuara. Ky studim mbi përqendrimin e gazit radon në ambientet arsimore dhe struktura nëntokësore në Tiranë ndërtohet mbi një qasje metodologjike të integruar, duke kombinuar:

- Matje direkte në terren;
- Monitorim të parametrave klimatike;
- Analiza statistikore dhe gjeostatistikore të avancuara.

Kjo qasje bazohet në udhëzimet e Organizatës Botërore të Shëndetësisë (WHO, 2009) dhe Agjencisë Ndërkombëtare për Energjinë Atomike (IAEA, 2014), të cilat rekomandojnë përdorimin e metodave të shumëfishta të matjeve, me përsëritje stinore për të kapur variacionet kohore dhe ato klimatike..

4.2 Përzgjedhja e pikave të matjes

Në total u përfshinë **26 objekte**, përkatësisht **24 ndërtesa arsimore publike** dhe **2 bunkerë**, të shpërndara në mënyrë strategjike në qytetin e Tiranës. Kriteret kryesore për përzgjedhje ishin:

- Shpërndarja gjeografike në zona me tipologji të ndryshme litologjike;
- Pozicionimi mbi taracën e dytë lumore, që njihet për potencial të lartë emetimi radoni;
- Larmia ndërtimore (ndërtesa të vjetra/të reja, me ose pa ventilim);
- Faktori demografik dhe përdorimi publik i strukturave;
- Aksesueshmëria teknike për vendosjen e pajisjeve matëse.

4.3 Arsyetimi për përzgjedhjen e zonës

Tirana është përzgjedhur si zona e studimit për disa arsye themelore:

- **Potenciali gjeogjenik për radon** – nënshtresa gjeologjike e Tiranës përbëhet nga formacione që kanë përmbajtje të lartë uranumi dhe thoriumi, duke e bërë zonën potencialisht të pasur me radon të dalë nga toka;
- **Monitorimi i mëparshëm i kufizuar** – megjithëse janë kryer studime sporadike të radonit në të kaluarën, të dhënat e mëparshme janë të pakta, prandaj nevojitet një vlerësim më i gjerë dhe sistematik i situatës aktuale;
- **Aktiviteti sizmik dhe trashëgimia minerare** – rajoni ka aktivitet sizmik aktiv dhe histori minerare (p.sh. miniera të vjetra qymyrguri), të cilat mund të krijojnë rrjete çarjesh në shkëmbinj dhe të lehtësojnë migrimin e radonit drejt sipërfaqes;
- **Urbanizimi intensiv** – Tirana është qyteti më i madh në Shqipëri, me urbanizim të shpejtë dhe popullsi të dendur; këto kushte rrisin rëndësinë e vlerësimit të ekspozimit ndaj radonit në mjediset e brendshme urbane.

Brenda kësaj zone, **godinat arsimore** janë fokus i veçantë sepse:

- **Grupmoshat e ekspozuara** – shkollat frekuentohen nga të rinj dhe adoleshentë, të cilët konsiderohen grupmosha më të ndjeshme ndaj rrezatimit; mbrojtja e tyre ka përparësi të lartë shëndetësore;
- **Vendndodhja në zona me risk** – shumë prej këtyre godinave ndodhen brenda zonave të identifikuara me risk të lartë radoni (Dogjani et al., 2017), çka shton nevojën për monitorim të kujdesshëm;
- **Impakti në shëndetin publik** – si ambjente ku fëmijët dhe stafi kalojnë orë të gjata çdo ditë, shkollat përfaqësojnë hapësira ku nivelet e larta të radonit do të kishin një impakt të drejtpërdrejtë në shëndetin publik.

Gjithashtu, në studim janë përfshirë edhe **bunkerë/tunele nëntokësore** sepse:

- **Kontakti me shkëmbinjtë bazë** – këto struktura janë të ndërtuara drejtpërdrejt në kontakt me shtresat gjeologjike, pa një dysHEME të ngritur nga toka, gjë që mundëson depërtim të drejtpërdrejtë të radonit nga nëntoka;
- **Ventilim i kufizuar** – bunkerët dhe tunelet zakonisht kanë ventilim shumë të pakët ose të kontrolluar, duke lejuar grumbullimin e radonit nëse gjenerohet në mjedisin e tyre;
- **Interes publik dhe turistik** – këto struktura shpesh vizitohen nga publiku (p.sh. Bunk'Art në Tiranë), prandaj vlerësimi i niveleve të radonit në to ka rëndësi si për sigurinë e vizitorëve, ashtu edhe për punonjësit.

4.4 Mbledhja e të dhënave në terren

Ashtu siç u përmend më herët, matjet u fokusuan kryesisht në zonën e taracës së dytë lumore të Tiranës si zonë me rrezik të moderuar e të lartë të emetimit të radonit nga toka (Dogjani et al).

- **U realizuan matje paraprake aktive** (skanuese) me pajisjen Alphaguard në ambiente të mbyllura për 24h-48h. Qëllimi i këtyre matjeve të shpejta ishte identifikimi i mjediseve më përfaqësuese brenda çdo objekti. Bazuar në rezultatet paraprake, për secilën ndërtesë u përzgjedhën rreth 6 ambiente (p.sh. klasa, laboratore, salla në kate përdhese apo hapësira të pakondicionuara) që paraqitën nivelet më të larta të radonit ose kushtet tipike të ekspozimit..
- **Në mjediset e seleksionuara si më të përshtatshme** (kryesisht kate përdhese) u realizuan matje në stinët topike dimër (dhjetor 2023 -shkurt 2024), verë (maj-korrik 2024) 24 h aktive me AlphaGuard PQ2000 Pro 3 mujore me pajisje pasive CR-39. Matjet dimërore (dhjetor–shkurt) dhe ato verore (maj–korrik) u zgjedhën për të kapur ndryshimin maksimal stinor, pasi pritet që në dimër niveli i radonit të jetë më i lartë (për shkak të ventilimit më të pakët dhe diferencave termike), ndërsa në verë mund të jetë më i ulët.
- **U kryen gjithashtu edhe matje në tokë** për të vlerësuar kontributin e burimit geogjenik (nëntokësor) të radonit, me anë të kampionimit me sondë/probe deri në thellësinë 0.8-1m duke u kujdesur që matjet të jenë perimetrale V-J, L-P në godinat arsimore dhe bunkerët objekt studimi.

• **Përpunimi fillestar i të dhënave:** Nga matjet e realizuara në secilin prej 26 objekteve, u përlllogaritën vlerat mesatare për çdo parametër kryesor. Kjo përfshiu: (a) përqendrimin mesatar të radonit në ambiente të brendshme për secilën stinë (dimër dhe verë), bazuar si në matjet aktive 24-orëshe me AlphaGuard ashtu edhe në matjet pasive 3-mujore me CR-39; (b) përqendrimin mesatar të radonit në tokë për secilën stinë, për çdo objekt; si dhe (c) vlerat mesatare të parametrave klimatikë (presionit atmosferik, temperaturës dhe lagështirës relative) të regjistruara gjatë matjeve aktive, si brenda mjediseve ashtu edhe në tokë. Të gjitha të dhënat e grumbulluara u organizuan në një tabelë Excel (tabela e paraqitur në Shtojcë), ku përveç rezultateve të matjeve u përfshinë edhe informacione plotësuese si: karakteristikat gjeologjike dhe litologjike të vendndodhjes, tiparet pedologjike (të tokës sipërfaqësore), të dhëna gjeoteknike (përshkueshmëria e shtresave, etj.) dhe koordinatat gjeografike të secilit objekt. Kjo tabelë gjithëpërfshirëse shërbeu si bazë për trajtimin e mëtejshëm të të dhënave nga pikëpamja statistikore dhe gjeostatistikore.

• **Hartografimi i pikave të matjes:** Për një interpretim sa më intuitiv të rezultateve, të 26 pikat e matjes u vendosën mbi disa harta tematike të zonës së studimit në shkallë 1:10000. Janë përdorur harta gjeologjike, harta e depozitimeve kuaternare, harta hidrogeologjike, topografike dhe pedologjike, të siguruar nga Shërbimi Gjeologjik Shqiptar (SHGJSH). Këto harta fillimisht ishin në shkallë 1:25000, por u riprodhuan dhe u përshtatën në shkallën 1:10000, e cila ofron rezolucion më të lartë dhe përputhet më mirë me përmasat e zonës së studimit. Secila pikë matjeje në harta është e shoqëruar me një legjendë a numer identifikues..

• **Harta interaktive për prezantimin e rezultateve:** Përfundimisht, u krijua një hartë interaktive dixhitale, ku piketat e matjes dhe vlerat kryesore të matur mund të shikohen nga përdoruesi. Kur klikohen pikat e interesit në këtë hartë, shfaqen informacione të detajuara si: përshkrimi gjeologjik/litologjik i vendit, vlerat e radonit (dimër/verë, indoor/soil, aktive/pasive), si dhe çdo informacion tjetër relevant (p.sh. lloji i ndërtimit, lartësia mbi nivelin e detit, etj.). Kjo hartë interaktive përbën një mjet të dobishëm për të komunikuar rezultatet tek publiku i gjerë dhe për palët e interesuara, duke e bërë informacionin më të aksesueshëm.

Duhet theksuar se studimi i radonit ka natyrë ndërdisiplinore, duke përfshirë fusha si gjeologjia, shkencat e mjedisit, fizika bërthamore dhe epidemiologjia. Përqendrimi i radonit në ambiente të brendshme është rezultat i një ndërveprimi kompleks midis faktorëve natyrorë (p.sh. gjeologjia,

klima) dhe atyre antropogjenë (p.sh. tiparet ndërtimore, mënyra e ventilimit). Prandaj, metodologjia e monitorimit është ndërtuar mbi baza shkencore të forta dhe në harmoni me standardet ndërkombëtare, për të siguruar që të dhënat e marra të jenë të sakta, të krahasueshme dhe të interpretueshme në kontekstin global.

4.5 Parimet shkencore të monitorimit të radonit

Strategjia e monitorimit të radonit në këtë studim bazohet mbi disa parime themelore shkencore, të cilat vijnë si rezultat i karakteristikave natyrore të radonit dhe faktorëve që ndikojnë në shpërndarjen e tij:

- **Variabiliteti hapësinor:** Përqendrimet e radonit ndryshojnë ndjeshëm edhe brenda një zone të vogël, për shkak të heterogjenitetit gjeologjik dhe tipologjisë së ndërtesave.
- **Variabiliteti kohor:** Nivelet e radonit ndryshojnë sipas stinës, temperaturës, presionit atmosferik dhe kushteve të ventilimit. Për këtë arsye, matjet afatshkurtra duhet të plotësohen apo kombinohen me matje afatgjata (WHO, 2009).
- **Ndikimi i ndërhyrjeve njerëzore:** Materialet e ndërtimit, ventilimi dhe izolimi kanë rol të rëndësishëm në përqendrimet e radonit. Një ndërtesë me ventilim të mirë mund të shpërndajë në mënyrë efikase radonin e akumuluar brenda saj, ndërsa një ndërtesë e izoluar hermetikisht mund të lejojë grumbullimin e tij.

4.6 Përvoja ndërkombëtare në metodologji

Metodologjia e zbatuar është zhvilluar duke u bazuar edhe në përvojat më të mira ndërkombëtare për monitorimin e radonit. Vende me traditë të gjatë në studimin e radonit kanë ndërtuar protokolle të standardizuara, nga të cilat janë marrë orientime të rëndësishme:

- **EPA (Shtetet e Bashkuara):** Përdor një kombinim të matjeve afatshkurtra (2–7 ditë) dhe afatgjata (3–12 muaj) për të vlerësuar ekspozimin mesatar vjetor. Pragu i veprimi atje është fiksuar në 148 Bq/m^3 (EPA, 2012).
- **BE dhe OBSH:** Rekomandojnë matje stinore tre-mujore për të kapur variacionet klimatike dhe matje afatgjata për ndërtesa publike si shkollat dhe spitalet (European Commission, 2013; WHO, 2009).

- **Italia:** Si pjesë e *Piano Nazionale Radon* (Plani Kombëtar për radonin të miratuar nga Ministria e Shëndetësisë, Italia ka adaptuar një protokoll ku matjet kryhen me detektorë pasivë CR-39 të vendosur brenda ambienteve për periudha 3–12 mujore (zakonisht duke përfshirë dy gjysmë-vjetorë për të pasur dimrin dhe verën të mbuluar). Për monitorime më të shpejta ose studime të detajuara, përdoren pajisje aktive si AlphaGuard për matje me kohëzgjatje disa ditore deri disa javore, duke mundësuar edhe lexim të vazhduar në kohë reale (Ministero della Salute, 2017). Italia ka përcaktuar pragun referues prej 300 Bq/m³ për shkollat dhe 500 Bq/m³ për ambientet e punës ekzistuese, në përputhje me rekomandimet evropiane.

Këto përvoja ndërkombëtare kanë ndihmuar në formësimin e qasjes së studimit tonë, duke garantuar që metodologjia të jetë e krahasueshme me standardet globale dhe që rezultatet e marra të mund të kenë relevancë jo vetëm në nivel lokal, por edhe në kontekst më të gjerë shkencor.

4.7 Metodatat e matjes së radonit, pajisjet dhe teknikat matëse

Në këtë studim janë aplikuar paralelisht metoda aktive dhe pasive për matjen e radonit, si dhe matje në tokë për të vlerësuar potencialin burimor, të shoqëruara nga monitorimi i parametrave klimatikë. Më poshtë përshkruhen këto metoda dhe pajisjet përkatëse:

Matjet aktive në mjediset e brendshme – AlphaGuard PQ2000 PRO

Qëllimi është përcaktimi i përqendrimit të gazit radon në ajrin e ambienteve të brendshme (shkolla, zyra, banesa, bunkerë, etj.) për të vlerësuar ekspozimin e njeriut ndaj radonit dhe për të ndërtuar modele të shpërndarjes së tij hapësinore. Matja kryhet me pajisje aktive AlphaGuard PQ2000 PRO, që ofron lexim të vazhdueshëm dhe të saktë në kohë reale të përqendrimit të radonit dhe parametrave klimatikë (temperature T, lagështirë relative L dhe presioni atmosferik P) me sensorë të integruar. Ky instrument konsiderohet si standard profesional për monitorimin e radonit, falë ndjeshmërisë së lartë dhe kalibrimit të qëndrueshëm. Me aksesoret përkatës (p.sh. AquaKIT për ujë dhe sondën për gazin në tokë), pajisja mund të shndërrohet në një laborator portativ për matjen e radonit në ajër, ujë dhe tokë. Të dhënat e mbledhura transferohen në një kompjuter përmes softuerit DataVIEW, duke mundësuar shkarkimin, ruajtjen dhe analizën e mëtejshme profesionale të tyre.

Tabela 4.1 Përshkrimi i pajisjes AlphaGuard PQ2000 PRO dhe aksesoreve për matje indoor

Pajisja	Përshkrimi
AlphaGUARD PQ2000 PRO	Dhomë jonizimi për matje aktive të radonit në ajër.
AlphaPUMP (opsional)	Pompa për qarkullim të kontrolluar të ajrit (1 L/min).
Filtër pluhuri (dust filter)	Parandalon hyrjen e grimcave dhe lagështisë në dhomën e jonizimit.
Tripod / mbajtës	Përdoret për pozicionim të qëndrueshëm në nivel 1–1.5 m mbi dysheme.
Sensorët e integruar	Temperaturë (°C), presion (hPa), lagështi relative (%LR).
Laptop me software DataVIEW / DataEXPERT	Për shkarkim dhe analizë të të dhënave.



Figura 4.1 AlphaGuard PQ 2000

Përgatitja e vendit të matjes

1. Zgjidhet ambienti përfaqësues (në katet për dhese klasa, zyrë), ku pritët që radoni të akumulohet në kushte normale përdorimi.
2. Pajisja vendoset 1–1.5 m mbi dysheme, larg nga dritaret, radiatorët, ventilatorët apo burimet e nxehtësisë.
3. Sigurohet që ambienti të jetë i mbyllur gjatë periudhës së matjes (pa qarkullim të fortë ajri).
4. Regjistrohet temperatura, presioni, lagështia relative, data, ora dhe koordinatat GPS të vendit.
5. Kohëmatja: ekspozim 24-orësh për çdo pikë matjeje.
6. Sezonaliteti: matjet u kryen në periudhën e dimrit dhe verës gjatë vitit 2024.

Kalibrimi dhe përgatitja e pajisjes

1. Verifikohet që data e kalibrimit të jetë brenda 12 muajve.
2. Aktivizohet AlphaGuard në modalitetin 'Diffusion'.
3. Pritet 5–10 minuta për stabilizim të dhomës së jonizimit (auto-zero).
4. Konfigurohet intervali i matjes (cycle time) në 10 min.
5. Regjistrohen parametrat fillestarë: presion, lagështi relative, temperaturë.

Tabela 4.2 Procedura e matjes në mjediset e brendshme

Faza	Përshkrimi
Vendosja e pajisjes	AlphaGuard vendoset në pozicionin e zgjedhur, në mënyrë të qëndrueshme, pa lëvizje gjatë matjes.
Fillimi i regjistrimit	Shtohet në menu opsioni 'Start Logging'. Përcakto ciklet 10-minutëshe për periudhën 24-orëshe.
Monitorimi i kushteve	Kontrollohen periodikisht parametrat T, P, RH për stabilitet.
Fundi i matjes	Pas 24 orësh, ndalohet regjistrimin dhe ruhen të dhënat në memorien e pajisjes.
Shkarkimi i të dhënave	Me kabllon USB/laptop, përdoret DataVIEW për të eksportuar rezultatet në format .txt ose .csv.

Tabela 4.3 Standardet e referencës

Standard	Përmbajtja
ISO 11665-8:2019	Measurement of radon activity concentration in dwellings and other buildings — Continuous methods.
ISO 11665-4:2020	Integrated measurement methods with passive detectors.
Bertin Instruments – AlphaGuard Manual (v.7.1)	Procedura e përdorimit të modalitetit 'Air/Diffusion' dhe konfigurimi i intervaleve të matjes.

Matjet aktive në tokë – AlphaGuard PQ2000 PRO+soil probe

Matjet e radonit në tokë kryhen për të vlerësuar potencialin e emetimit të radonit nga toka dhe për të ndërtuar modele gjeostatistikore që lidhen me përqendrimet në mjediset e brendshme. Pajisja AlphaGuard PQ2000 PRO përmes sondës së tokës (soil probe), mat aktivitetin e gazit radon që del nga poret e tokës në kushte të kontrolluara.

Tabela 4.4 Përshkrimi i pajisjes AlphaGuard PQ2000 PRO dhe aksesoreve për matje në tokë

Pajisja	Përshkrimi
AlphaGUARD PQ2000 PRO	Dhomë jonizimi për matje aktive të radonit.
Sonda e tokës (Soil-gas probe)	Tub çeliku inox me valvul anësore dhe majë mbyllëse për futje në tokë.
Pompa AlphaPUMP	Për aspirimin e gazit nga sonda drejt AlphaGUARD.
Tub fleksibël PTFE ose PVC	Lidhje hermetike midis sondës dhe pajisjes (gjatësia ≤ 3 m).
Filtër pluhuri (dust filter)	Parandalon hyrjen e grimcave në dhomën e jonizimit.
Sensorë shtesë (opsional)	Termometër, higrometër, barometër për regjistrim parametrash klimatike.

Përgatitja e vendit të matjes

Zgjidhet një pjesë toke natyrore, pa çarje, pa mbulesa betoni ose barë të dendur. Shmanget afërsia me burime ujore, kanalizime, apo rrugë me kalim ajri artificial. Shënohet vendndodhja me GPS (± 5 m) dhe lartësia mbi nivelin e detit.

Tabela 4.5 Procedura e matjes në tokë

Faza	Përshkrimi
Pastrimi i sistemit	Pompa aktivizohet për 2–3 min për të pastruar ajrin e mbetur në sistem.
Ekuilibrimi	Pas ndërprerjes së pompës, pritet 3–5 min për ekuilibër presioni midis sondës dhe tokës.
Matja	Pajisja vendoset në mode “Diffusion” ose “Flow” (1 L/min) dhe regjistron vlera për 10 min (2–3 cikle).
Regjistrimi i parametrave shtesë	Temperatura e tokës, presioni atmosferik dhe lagështia relative.
Mbyllja dhe pastrimi	Pas përfundimit, pompa aktivizohet përsëri për 1 min për pastrim të dhomës.

Standardet e referencës janë të njëjtët si në tabelën 4.3

Matjet pasive – Detektorët CR-39 (SSNTD)

Për matjet afatgjata u përdorën **detektorët pasivë CR-39 (SSNTD)**. Këto detektorë plastikë pasivë ofrojnë matjen e përqendrimit mesatar të radonit gjatë një periudhe të zgjatur kohore, pa kërkesë për energji elektrike apo monitorim të vazhdueshëm në vend. Detektorët CR-39 u vendosën në të njëjtat ambiente ku u kryen matjet aktive, për të siguruar krahasueshmëri, besueshmëri dhe saktësi të rezultateve.

Përshkrimi i matjeve pasive me **detektorët CR-39 (SSNTD)**:

- Periudha e ekspozimit: 3 muaj (90 ditë ± 7) ditë për secilën stinë (dimër/verë);
- Procedura: detektorët u vendosën në pozicione të standardizuara (lartësia 1-2 m nga dyshemeja, afër nivelit të frymëmarrjes, larg burimeve të ajrit, distancë ≥ 0.5 m nga dyert apo dritaret) min. 6 për ndërtesë + 1 dublikate (1/10) + 1 blank (1/20).;
- Analiza laboratorike: pas përfundimit të ekspozimit, detektorët u trajtuan kimikisht dhe u numëruan gjurmët e alfa-grimeve (të lëna nga grimcat alfa të radonit) me mikroskop optik të kalibruar.
- Aktivizohen detektorët pa prekur sipërfaqen aktive.
- Regjistrohet data e vendosjes dhe e heqjes dhe transportohet për në laboratorin e specializuar e të çertifikuar për leximin e tyre brenda 7 ditëve dhe në temperaturë $T < 30^{\circ}\text{C}$.

Përshkrimi i detektorëve pasivë CR-39 SSNTD

Përbëhen nga karbonat polialil diglikol me trashësi 1.5mm. Zona e saj efektive është 2.38 cm² dhe mund të rregullohet në brazdë të dozimetrit. Ka disa çarje rreth dozimetrit që lejojnë radonin të përhapet në dhomën e tij, duke parandaluar ndotës tjerë. Grimcat alfa krijohen nga prishja e radonit dhe bijat e tij në vëllimin e ajrit të dhomës. Ato mund të ndërveprojnë me filmin CR-39, duke shkaktuar dëmtime tek lidhjet molekulare të polimerit. Dëmi manifestohet si gjurmë dëmtimi nën mikroskop në sipërfaqen e filmit. Në kushte të caktuara të këtyre reaksioneve kimike ose elektrokimike, këto gjurmë mund të zmadhohen në gjurmë të përhershme të vëzhgueshme. Duke përdorur një lexim të përforsimit në mikroskop, numri i këtyre gjurmëve mund të llogaritet.

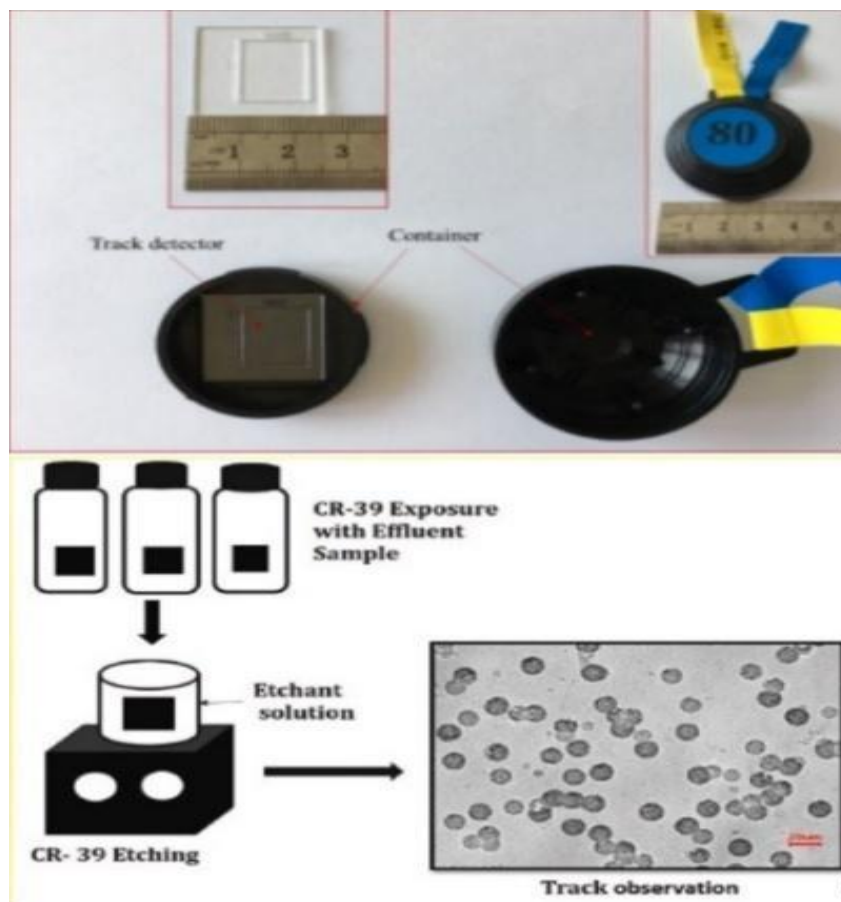


Figura 4.2 CR-39 SSNTD

Tabela 4.6 Specifikimet teknike të CR-39 SSNTD

Parametri	Specifikimi tipik
Materiali	Polikarbonat i tipit CR-39 (allyl diglycol carbonate polymer)
Trashësia e fletës	0.9 – 1.5 mm
Dendësia	~1.30 g/cm ³
Zona aktive	1 – 4 cm ² (zakonisht 1.5 – 2.5 cm ² për kapsulat e radonit)
Ndjeshmëria	E lartë ndaj grimcave alfa (radon & bijtë e tij); jo e ndjeshme ndaj beta/gama
Energjia e grimcave alfa	Efektive për 1 – 8 MeV
Kufiri i detektimit (MDAC)	~10 – 20 Bq/m ³ për ekspozime 3-mujore
Periudha tipike e ekspozimit	1 – 12 muaj (zakonisht 3 muaj për matje stinore)
Metoda e aktivizimit	Ekspozim pasiv në ajër me filtër që lejon vetëm radonin të kalojë
Procesi i leximit	Gjurmë (etching) kimike (NaOH 6N, 70 °C, 6 – 10 orë) dhe analizë me mikroskop optik / automatik
Rezolucioni i gjurmëve	~1 gjurmë për çdo ~50 Bq·d/m ³
Përsëritshmëria	±10% (në varësi të kalibrimit dhe kushteve të ekspozimit)
Avantazhet	I lirë, pasiv, pa energji, shumë i ndjeshëm për radon, i përshtatshëm për monitorime masive
Kufizimet	Nuk mat beta/gama, kërkon ekspozim të gjatë, rezultatet janë pas-analitike

Kalibrimi

- **Kalibrimi** është thelbësor: çdo laborator përdor faktorë kalibrimi të marrë në kushte të kontrolluara për të kthyer dendësinë e gjurmëve në përqendrim radoni (Bq/m³).
- Pasi të përlogariten gjurmët, bëhet konvertimi në vlera absolute të përqendrimit të radonit.

Tabela 4.7 Krahësimi i parametrave matës midis AlphaGuard PQ2000 PRO dhe CR-39 SSNTD

Parametër / Karakteristikë	AlphaGuard PQ2000 PRO	CR-39 (SSNTD)
Parimi i matjes	Monitor aktiv, dhomë jonizuese + elektronikë matëse të vazhdueshme	Detektor pasiv i gjurmëve të grimcave α në një film plastik (polycarbonate)
Lloji i matjes	Matje direkte, në kohë reale (continuous / time-resolved)	Integrim kumulativ (mesatarja gjatë periudhës së ekspozimit)
Koha tipike e ekspozimit / marrjes së të dhënave	Intervale regjistrimi prej minutash deri në orë (p.sh. çdo 10 min / 1 h)	1–3 muaj (shpesh stinor: verë, dimër)
Applikimi tipik	Monitorim afatshkurtër (24 h, 48 h, kampanja in-situ)	Monitorim afatgjatë (vlera mesatare stinore ose vjetore)
Intervali i matjes së përqendrimit të radonit	$\approx 2 - 2,000,000 \text{ Bq/m}^3$ (shumë i gjerë)	Tipikisht $\sim 10 - 10,000+ \text{ Bq/m}^3$ (varet nga koha e ekspozimit dhe analiza laboratorike)
Kufiri i ndjeshmërisë / detektueshmërisë	Rreth 2 Bq/m^3 si kufi praktik i zbulimit për matje standarde	Shumë i ulët për matje afatgjata; mund të zbulojë edhe nën 10 Bq/m^3 pas 3 muaj ekspozim
Saktësia instrumentale (precision / repeatability)	Shpesh rreth $\pm 3\%$ deri $\pm 5\%$ (1σ) për kushtet laboratorike të kalibruara	Tipikisht $\pm 10\% - \pm 20\%$ për një ekspozim 3-mujor standard (pas analizës kimike dhe numërimit)
Pasiguria totale e raportuar (total uncertainty)	E ulët, sepse përfshin kalibrim të brendshëm, sensor presioni, temperature, RH	Më e lartë, sepse varet nga ekspozimi korrekt, trajtimi laboratorik dhe etching
Parametër / Karakteristikë	AlphaGuard PQ2000 PRO	CR-39 (SSNTD, Detektor Pasiv)
Parimi i funksionimit	Dhomë jonizimi cilindra (aktive), përpunim dixhital i sinjalit (DSP 3-kanalësh, spektrometri 3D-alfa + “current mode”).	Detektor plastik PADC (CR-39) që regjistron gjurmë nga grimcat α ; analizë pasive laboratorike pas etching-ut.
Lloji i matjes	Matje aktive, direkte dhe në kohë reale (continuous / time-resolved).	Matje pasive, integruese (ekspozim kumulativ gjatë periudhës).
Koha tipike e ekspozimit / marrjes së të dhënave	Intervale 1–10 minuta (matje 24–48 orëshe ose kampanja in-situ).	1–3 muaj (zakonisht stinore: verë / dimër).

Modaliteti i funksionimit	Ajër, ujë, tokë (me AquaKIT dhe sondë toke).	Vetëm ajër (brendshëm).
Aplikimi tipik	Monitorim afatshkurtër (24h, 48h, laboratorë, shkolla, tokë, ujë).	Monitorim afatgjatë (vlera mesatare stinore ose vjetore).
Intervali i matjes së përqendrimit të radonit	$\approx 2 - 2,000,000 \text{ Bq/m}^3$ (shumë i gjerë, linear).	Tipikisht $10 - 10,000 \text{ Bq/m}^3$ (varet nga ekspozimi dhe analiza).
Kufiri i ndjeshmërisë / detektueshmërisë (LLD)	$\approx 2 \text{ Bq/m}^3$ për matje standarde; shumë i ulët falë dhomës me jonizim.	Shumë i ulët për ekspozime afatgjata; mund të zbulojë nën 10 Bq/m^3 pas 3 muaj ekspozim.
Saktësia instrumentale (precision)	$\pm 3 - 5 \%$ në kushte të kalibruara laboratorike.	$\pm 10 - 20 \%$ për ekspozim 3-mujor standard (varet nga analiza laboratorike).
Pasiguria totale raportuar	e ulët; përfshin kalibrim të brendshëm dhe sensorë T, P, RH.	Më e lartë; ndikohet nga ekspozimi, trajtimi laboratorik dhe etching.
Parametra shtesë matur	të Temperaturë (T °C), lagështi relative (%RH), presion (hPa).	Nuk mat parametra shtesë.
Nevoja për energji	Po ($100-240 \text{ V AC}$ ose bateri e brendshme e rikarikueshme).	Jo (funksionim pasiv).
Memoria / regjistrimi i të dhënave	Deri 60 000 pika (ring buffer, eksport .csv).	Jo; të dhënat përftohen vetëm pas analizës laboratorike.
Kostot	Të larta (pajisje + mirëmbajtje + kalibrim periodik).	Të ulëta (përdorim masiv, pa mirëmbajtje).
Avantazhet	Matje dinamike, precize, shumëmodal (ajër, tokë, ujë), lexim në kohë reale.	I lirë, praktik për kampionime masive, integron ekspozimin stinor, pa nevojë energjie.
Disavantazhet	I shtrenjtë, kërkon mirëmbajtje, kalibrim dhe operator të trajnuar.	Nuk jep të dhëna në kohë reale; ndikohet nga kushtet e ekspozimit dhe analiza laboratorike.

4.8 Përmbledhje

Metodologjia e ndjekur në këtë studim të radonit është ndërtuar duke respektuar standardet ndërkombëtare dhe njëherazi duke iu përshtatur kushteve lokale të Tiranës. Qasja e integruar – që kombinon matjet aktive me pajisje të ndjeshme dhe matjet pasive afatgjata – siguron mbledhjen e

të dhënave të besueshme, të detajuara dhe me kuptim statistikisht të vlefshëm. Në veçanti, përdorimi paralel i metodave aktive dhe pasive u dëshmua si strategjia më e përshtatshme për Shqipërinë, pasi kompenson kufizimet e secilës metodë të marrë veçmas dhe rrit sigurinë e interpretimit të rezultateve.

Nëpërmjet kësaj metodologjie, u siguroi një bazë e fortë të dhënash që përfshin variacionet hapësinore (midis pikave të ndryshme të matjes) dhe ato kohore (midis stinëve dhe brenda ditës). Kjo bazë të dhënash dhe përvoja e fituar nga zbatimi i kësaj qasjeje do të shërbejnë si themel për kapitujt pasues të punimit, ku do të prezantohen rezultatet e matjeve konkrete dhe do të kryhen analiza statistikore e gjeostatistikore të detajuara për të interpretuar këto rezultate në kontekstin e rreziqeve mjedisore dhe shëndetësore.

KAPITULLI 5 - REZULTATET DHE ANALIZA STATISTIKORE

Ky kapitull paraqet rezultatet kryesore të studimit dhe analizën statistikore të përqendrimeve të radonit në mjediset e brendshme dhe në tokë për 26 objekte në Tiranë (24 ndërtesa arsimore dhe 2 bunkerë). Qasja metodologjike kombinon analiza përshkruese, krahasim metodash matjeje aktive/pasive, vlerësim të efekteve stinore, lidhjet me parametrat klimatikë, si dhe analiza shumëdimensionale (PCA). Synimi është që gjetjet të jenë të riprodhueshme, të interpretuara në dritën e literaturës shkencore dhe të lidhura me menaxhimin e riskut.

Objektivat kryesorë të këtij kapitulli janë:

- **Përshkrimi i shpërndarjes** së përqendrimeve të radonit me tregues klasikë statistikorë (mesatare, medianë, devijim standard, kuartile);
- **Krahasimi i metodave** AlphaGuard (aktive) dhe CR 39 (pasive);
- **Vlerësimi i stinor** (dimër/verë) për indoor dhe tokë;
- **Analiza e korelacioneve** e përqendrimeve të radonit me temperaturën, lagështinë dhe presionin;
- **Identifikimi i tejkalimeve të pragut të referencës prej 300 Bq/m³** sipas Direktivës EURATOM 2013/59, me qëllim evidentimin e rasteve me risk të lartë dhe nevojën për masa korrigjuese;
- **Evidentimi i faktorëve dominues të variacionit nëpërmjet PCA.**

5.1 Dataseti, metadatat dhe përgatitja e të dhënave

Të gjitha të dhënat e mbledhura u përfshinë në një tabelë gjithëpërfshirëse Fig 5.1, e cila për çdo pikë matjeje (objekt) liston: koordinatat gjeografike (UTM) të vendndodhjes, përqendrimin mesatar të radonit indoor në verë dhe dimër sipas matjeve aktive (AlphaGuard) dhe pasive (CR-39), përqendrimin mesatar të radonit në tokë (AlphaGuard) dhe vlerat mesatare të temperaturës, lagështirës e presionit për secilën stinë. Gjithashtu, për secilën pikë është shënuar lloji i tokës (formacioni gjeologjik) mbi të cilën është ndërtuar objekti, si tregues për përshkueshmërinë dhe potencialin e lirimit të radonit. Këto informacione të integruara lejojnë një analizë të plotë statistikore të faktorëve që ndikojnë në përqendrimet e radonit në mjediset e brendshme.

[illegible]

Variable	N	Mean	Std	Min	Q1	Median	Q3	Max
AlphaGuard Verë (Bq/m³)	26	179.45	313.17	31.17	45.30	69.87	110.04	1511.00
AlphaGuard Dimër (Bq/m³)	26	209.12	398.86	38.83	53.33	78.97	120.13	1992.17
CR-39 Verë (Bq/m³)	26	155.30	263.33	28.50	40.59	64.09	97.17	1257.17
CR-39 Dimër (Bq/m³)	26	176.75	309.78	34.50	46.92	70.75	109.75	1516.33
Toka Verë (Bq/m³)	26	34774.89	25946.50	2804.00	16724.69	30405.56	44541.67	132888.89
Toka Dimër (Bq/m³)	26	36727.72	26298.51	2896.00	18105.56	32324.44	47381.66	135555.56

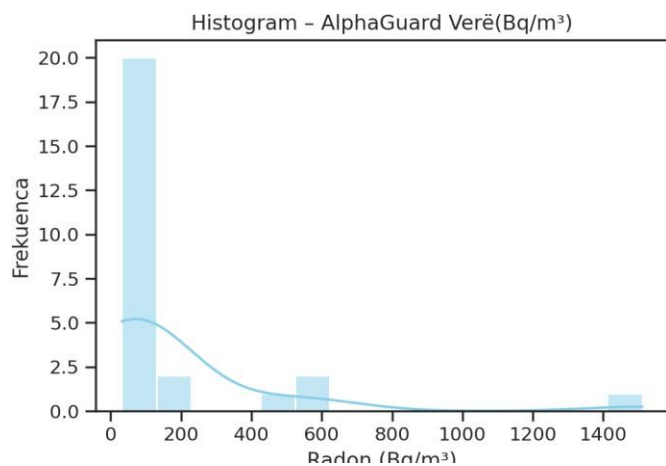


Figura 5.1 Histograma- AlphaGuard Verë

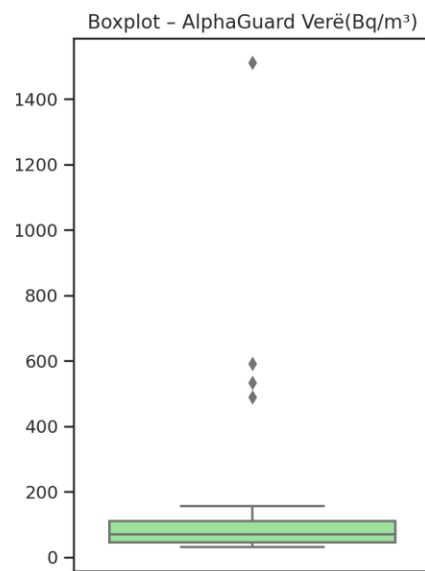


Figura 5.2 Boxplot AlphaGuard Verë

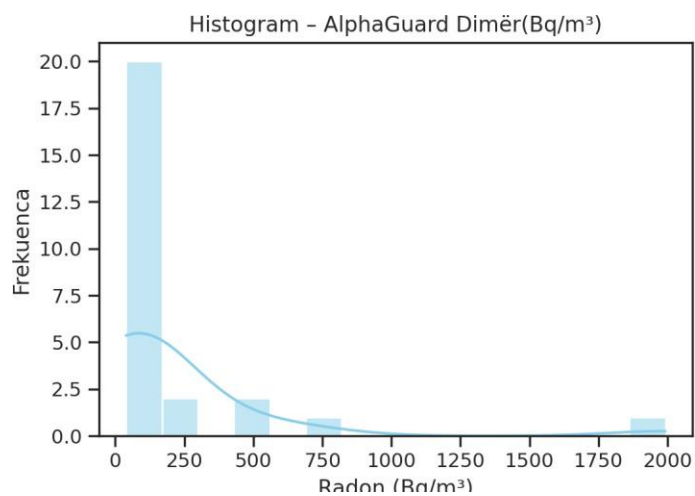


Figura 5.3 Histograma- AlphaGuard Dimër

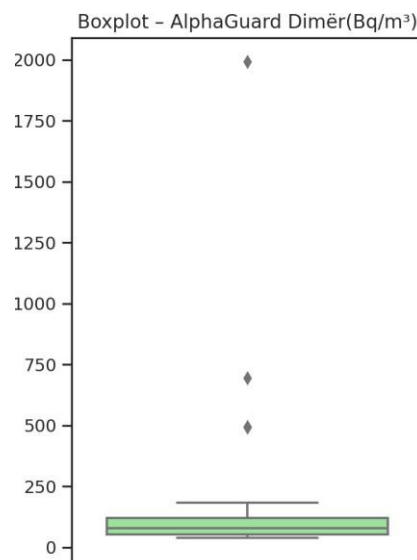


Figura 5.4 Boxplot AlphaGuard Dimër

5.2.2. Indoor – CR-39

Për CR-39, tendenca stinore ruhet, por shpërndarja është përgjithësisht më e ngushtë për shkak të integritetit 3-mujor. Mesatarja rritet nga verë (155.30 Bq/m^3) në dimër (176.75 Bq/m^3), dhe grafikët (Fig. 5.5–5.8) tregojnë më pak devijime ekstreme krahasuar me AlphaGuard. Ky rezultat është i pritshëm për një metodë pasive që zbut variacionet ditore.

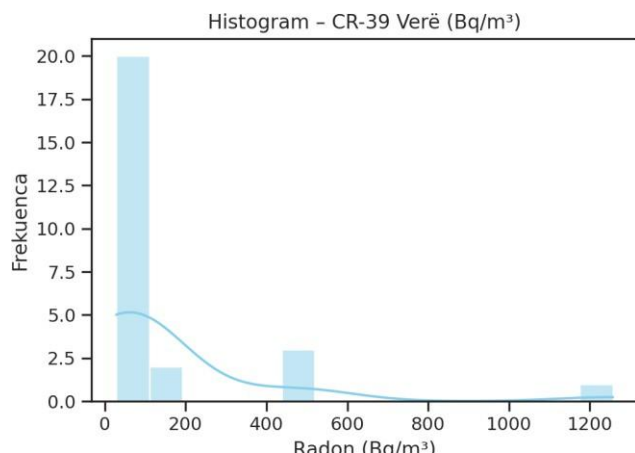


Figura 5.5 Histograma CR-39 Verë

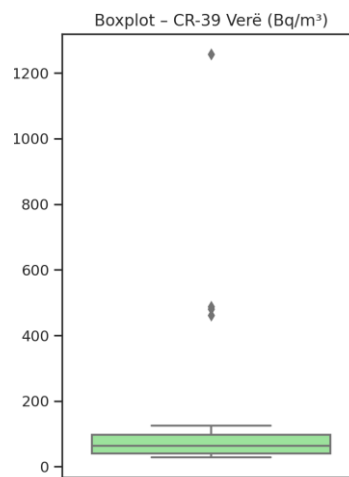


Figura 5.6 Boxplot CR-39 Verë

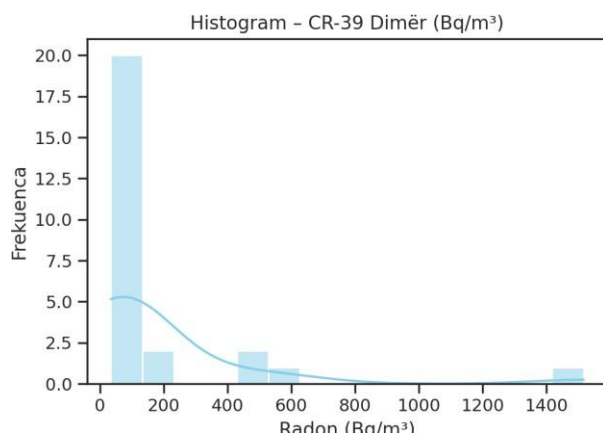


Figura 5.7 Histograma CR-39 Dimër

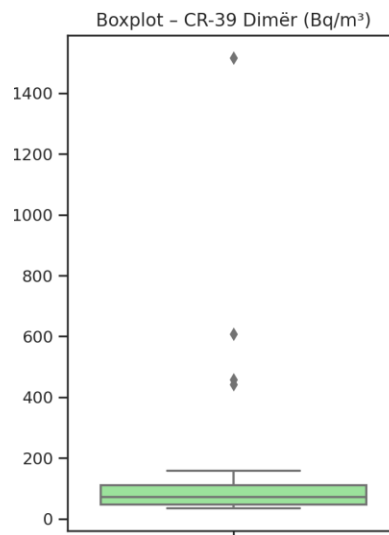


Figura 5.8 Boxplot CR-39 Dimër

5.2.3. Radoni në tokë (AlphaGuard)

Matjet në tokë janë në rend madhësie dukshëm më të lartë se indoor, me mesatare 34.8–36.7 mijë Bq/m³ dhe variacione të mëdha, por me diferencë stinore më modeste. Figurativisht (Fig. 5.9–5.12), histogramat janë të anshme drejt vlerave të larta, ndërsa boxplotet nënvizojnë stabilitetin relativ stinor të burimit nëntokësor.

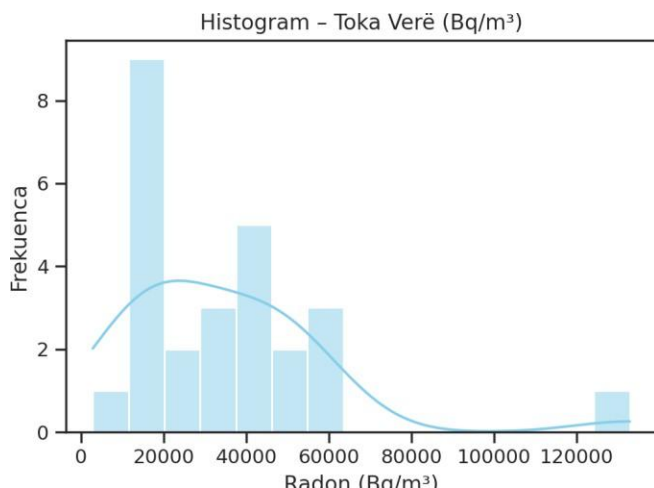


Figura 5.9 Histograma Tokë Verë

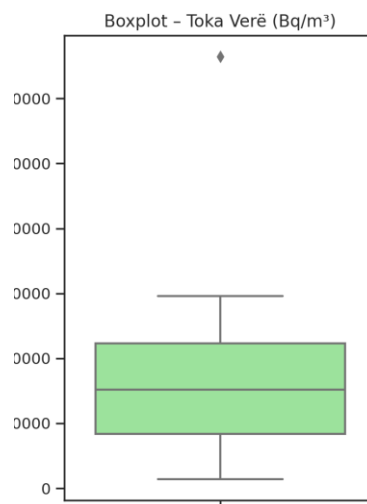


Figura 5.10 Boxplot Tokë Verë

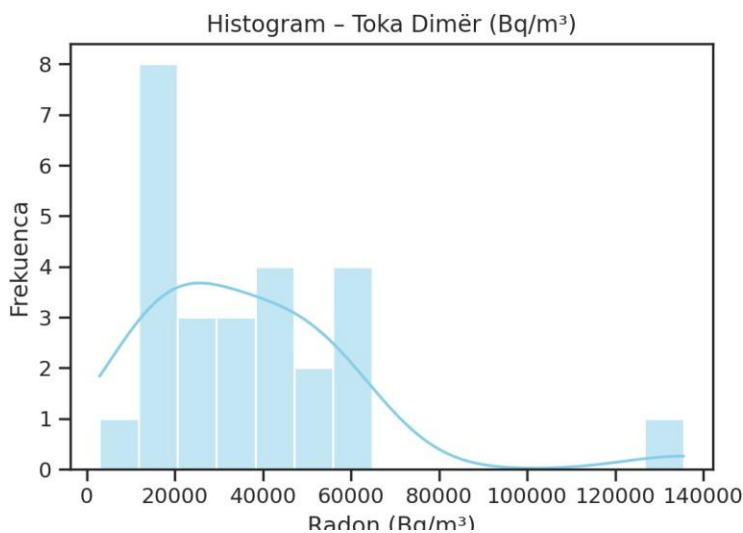


Figura 5.11 Histograma Tokë Dimër

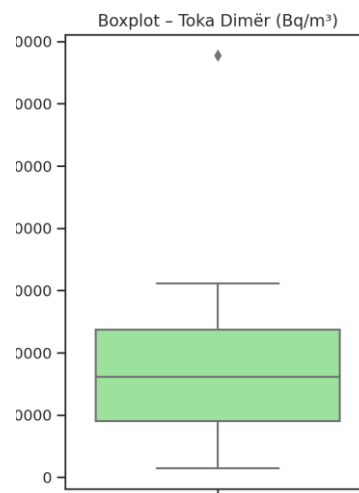


Figura 5.12 Boxplot Tokë Dimër

5.2.4. Sintezë e seksionit

Në përmbljedhje, dimri përbën stinën kritike për indoor; AlphaGuard kap variacione të theksuara ditore (shpërndarje më e gjerë), ndërsa CR-39 jep mesatare të butuara. Tokë >> indoor në të gjitha rastet; sezonaliteti në tokë është më i kufizuar, duke reflektuar dominimin e kontrollit gjeologjik.

5.3 Krahasimi i metodave të matjes (AlphaGuard vs CR 39)

5.3.1. Konsistenca lineare

Grafikat scatter me vija trendi (Fig. 5.13) tregojnë përputhje shumë të lartë mes metodave për të dy stinët (p.sh. $r \approx 0.998$ në dimër dhe $r \approx 0.999$ në verë). AlphaGuard shfaq prirje për variacion më të gjerë, duke kapur pikat e pikut ditor, ndërsa CR-39 ofron një vlerësim të integruar afatgjatë.

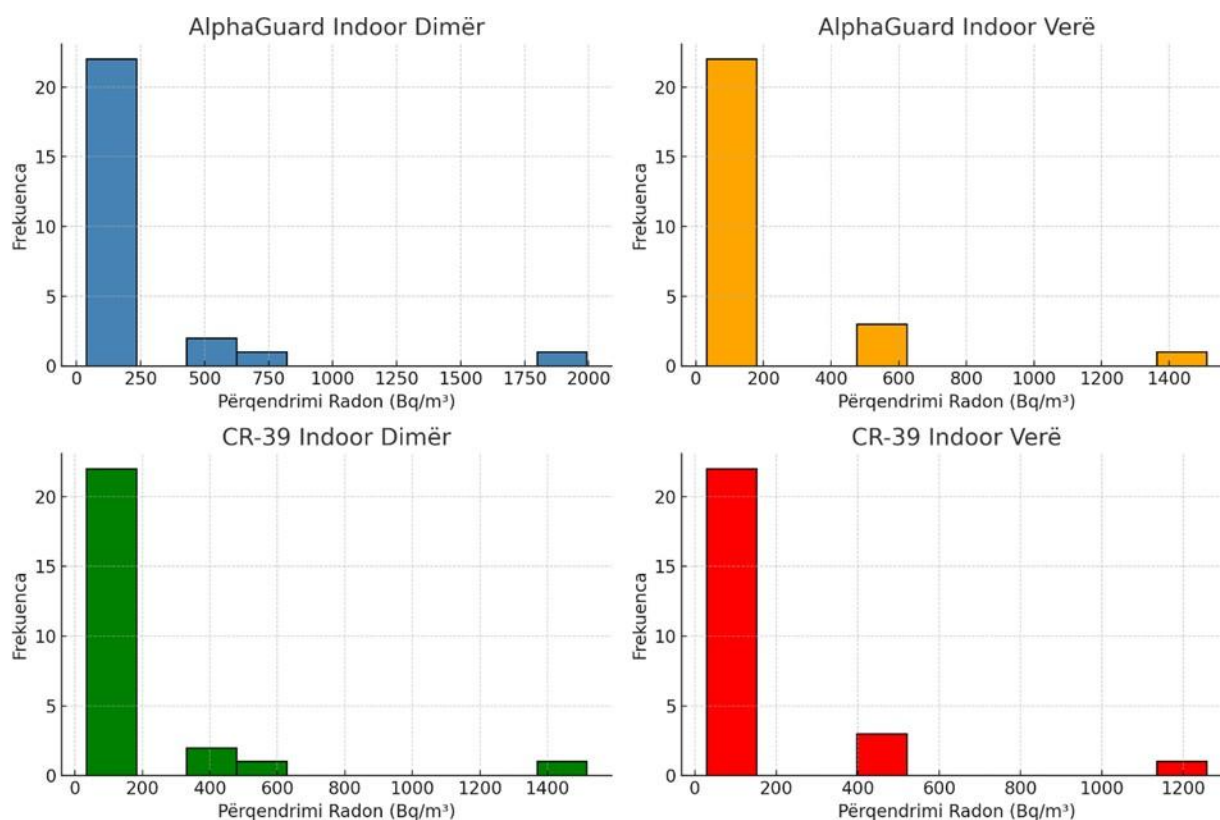


Figura 5.13 Grafikët mbi konsistencën e matjeve indoor

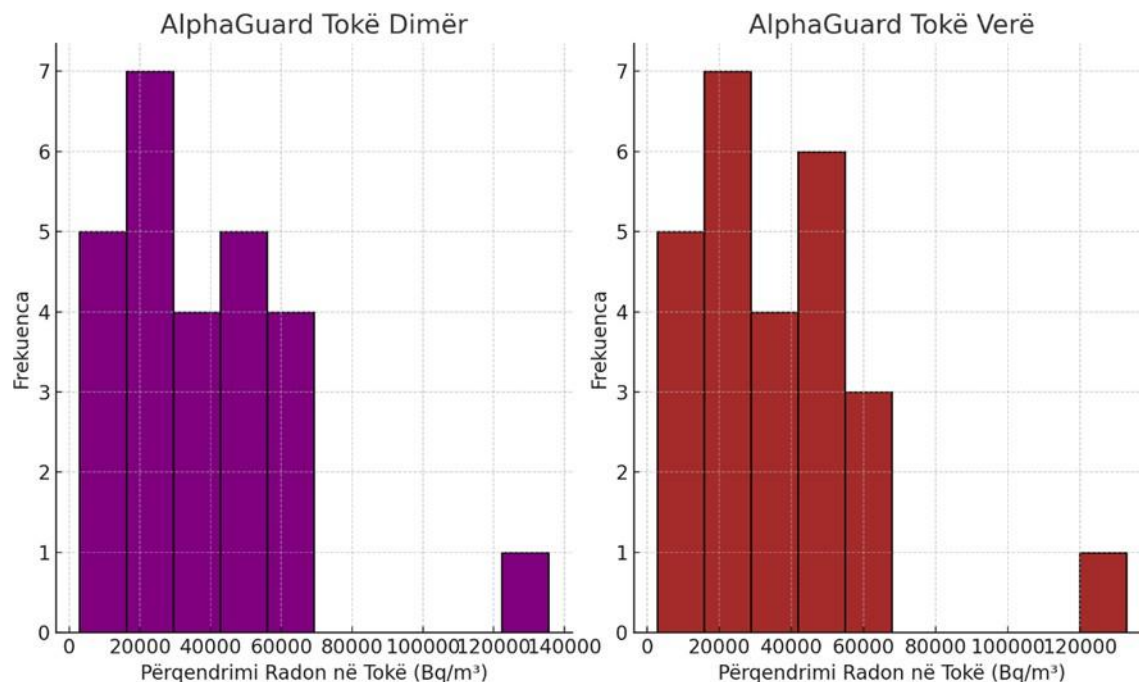


Figura 5.14 Grafikët scatter të matjeve në tokë

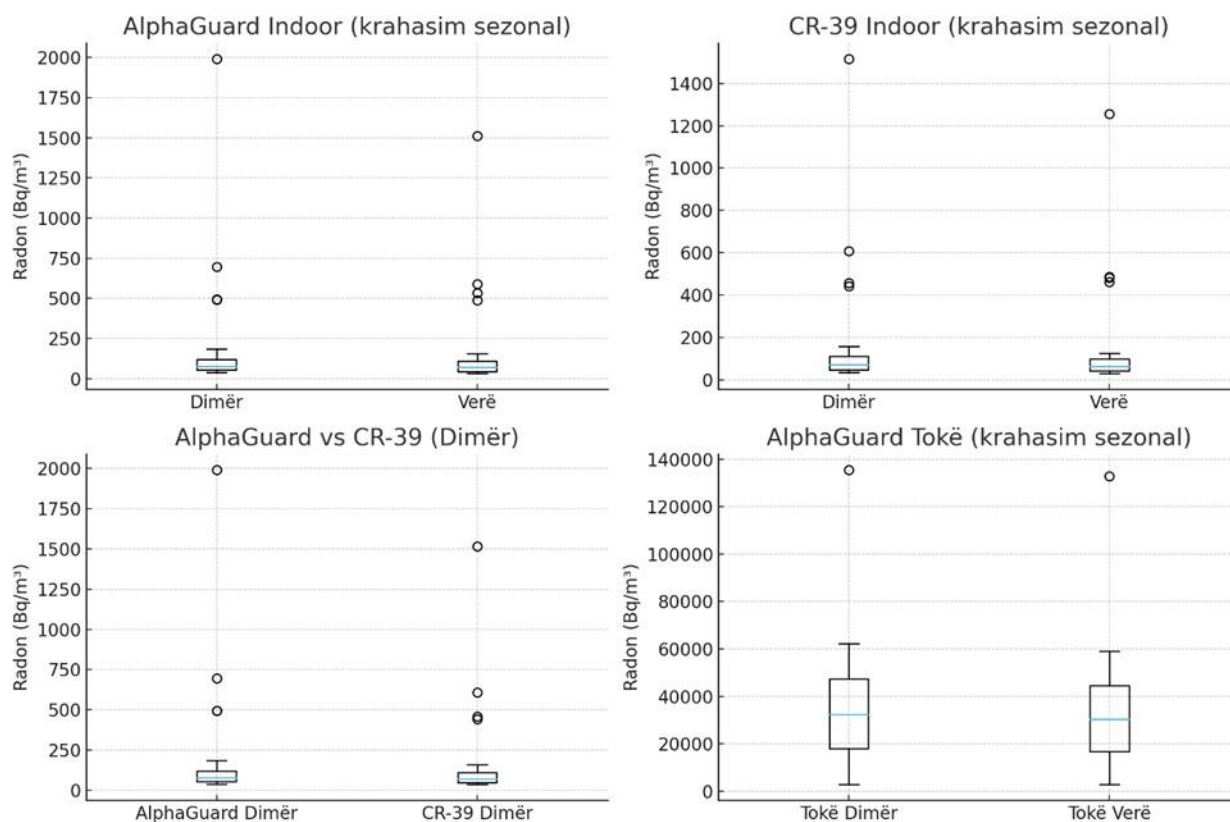


Figura 5.15 Boxplote krahasimore

Duke analizuar Boxplot-et krahasuese për matjet indoor dhe në tokë Fig.5.15:

1. AlphaGuard Indoor (Dimër vs Verë)

Dimri ka medianë dukshëm më të lartë. Shpërndarja është më e gjerë → ndjeshmëri ndaj kushteve ditore dhe ventilimit.

2. CR-39 Indoor (Dimër vs Verë)

Dimri ka vlera më të larta. Shpërndarja më e ngushtë se AlphaGuard → matje afatgjata më të stabilizuara.

3. AlphaGuard vs CR-39 (Dimër)

Vlerat janë të krahasueshme, por AlphaGuard ka medianë pak më të lartë. AlphaGuard kap variacionet ditore → rezulton më “i lartë” në disa pika.

4. AlphaGuard Tokë (Dimër vs Verë)

Vlerat e tokës janë shumë më të larta se indoor. Dimri përsëri del më i lartë, por diferenca stinore është më e vogël se indoor → tregon stabilitet të burimit nëntokësor.

Si përfundim mund të themi se: Dimri është stina kritike për përqendrimet indoor → faktor kyç: ventilimi i reduktuar. AlphaGuard jep shpërndarje më të larmishme, duke reflektuar variacionet ditore. CR-39 jep matje më të qëndrueshme, të përshtatshme për mesatare afatgjata. Tokë vs Indoor ku toka është gjithmonë burimi më i fuqishëm, dhe ndërtesat mbi terrene të pa konsoliduara janë më të ekspozuara.

5.3.2 Krahasimi statistikor i dy metodave të matjes me Bland Altman

Analiza Bland-Altman (Fig. 5.16) vlerëson bias-in dhe kufijtë e marrëveshjes 95% mes dy metodave:

- **Dimër:** Bias $\approx +32 \text{ Bq/m}^3$ (AlphaGuard më lart mesatarisht); LoA rreth -145 deri $+210 \text{ Bq/m}^3$.

- **Verë:** Bias $\approx +24$ Bq/m³; LoA rreth -75 deri $+123$ Bq/m³. Këto tregojnë se metodat janë të krahasueshme dhe të përdorshme për monitorim: aktive (AlphaGuard) për dinamikë ditore dhe identifikim piku, pasive (CR-39) për vlerësim **mesatar afatgjatë** të ekspozimit.

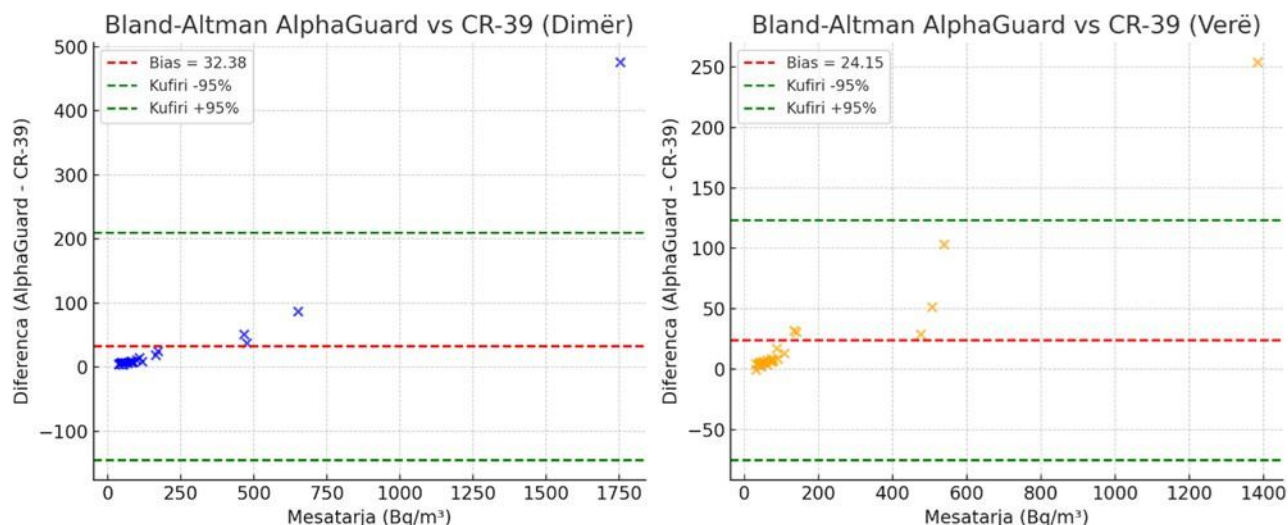


Figure 5.16 Grafikët Bland-Altman

Gjithashtu edhe nga grafiku i scatter plots dhe vijave të trendit për AlphaGuard $\leftrightarrow$ CR-39 Fig. 5.17 shihet qartë një korelacion shumë i fortë për të dyja stinët e respektivisht Dimër: $r \approx 0.998$ dhe Verë $r \approx 0.999$.

Kjo do të thotë se të dyja metodat japin rezultate shumë të përputhshme. Diferenca kryesore është se AlphaGuard shfaq variacione më të theksuara (pikë të shpërndara më gjerë), ndërsa CR-39 i zbut duke dhënë një mesatare afatgjatë. Për krahasime të menjëhershme $\rightarrow$ AlphaGuard është më i ndjeshëm ndërsa për monitorim afatgjatë $\rightarrow$ CR-39 është më i qëndrueshëm dhe praktik.

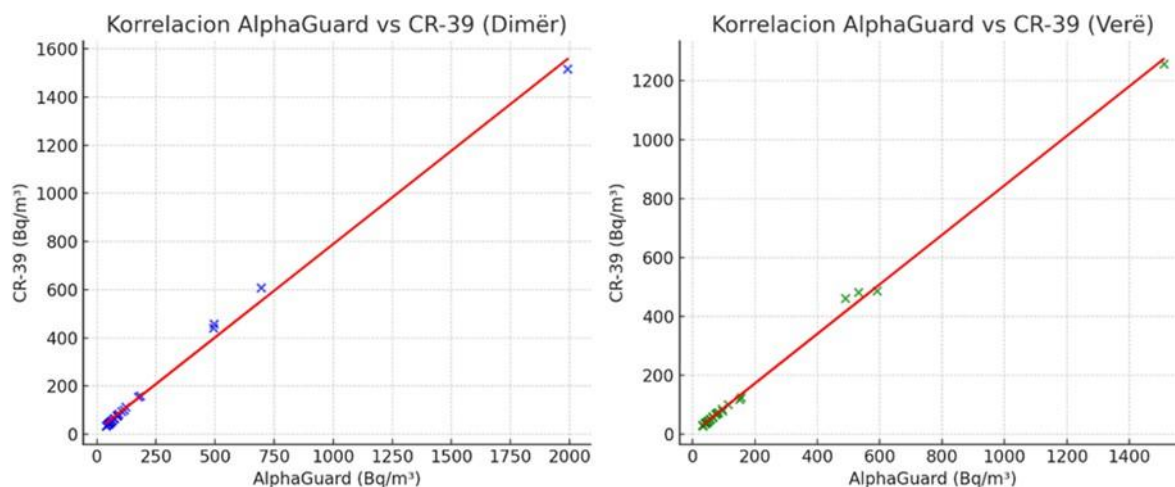


Figura 5.17 Paraqitje grafike e vijave të trendit për AlphaGuard $\leftrightarrow$ CR-39

5.4 Tejkalimet e pragut të referencës prej 300 Bq/m³

Sipas Direktivës EURATOM 2013/59, u identifikuan tejkalimet >300 Bq/m³ (Fig. 5.18). Për indoor, si me AlphaGuard ashtu edhe me CR-39, regjistrohen katër pika në dimër dhe katër pika në verë mbi prapen rregullator. Pra mund të themi se në ambientet e brendshme, vetëm një numër i kufizuar pikash kalojnë kufirin → kryesisht godina të vjetra dhe bunkerët. Në tokë, tejkalimi është universal → tregues i fortë që radoni buron nga nëntoka, por infiltrimi i tij indoor ndikohet nga kushtet ndërtimore dhe ventilimi. Krahësimi tregon se ndërtesat nuk janë gjithmonë pasqyrim i drejtpërdrejtë i burimit nëntokësor → faktorët urbanë dhe konstruktivë luajnë rol vendimtar. Duhet thënë se vlerat e matura në tokë janë përgjithësisht shumë herë më të larta nga ato në mjediset e brendshme.

Nuk ekziston një vlerë e lejuar universale për përqendrimin e radonit në tokë që të aplikohet në të gjitha rastet, pasi kjo varet shumë nga konteksti gjeologjik, përdorimi i tokës, koha e ekspozimit etj. Megjithatë, për qëllime studimi dhe krahësimi, mund të përmendim disa udhëzime dhe referenca. Për gazin e tokës (soil-gas radon) literaturat përmendin intervale shumë më të larta: për shembull, WHO përmend se përqendrime në gazin e tokës zakonisht variojnë nga < 10 000 Bq/m³ deri në ~100 000 Bq/m³. Pra nuk ka një “limit” strikt për tokën, por natyrisht zonat me gaz radoni shumë të lartë në tokë janë indikatorë për potencial të lartë hyrjeje radoni në ndërtesë.

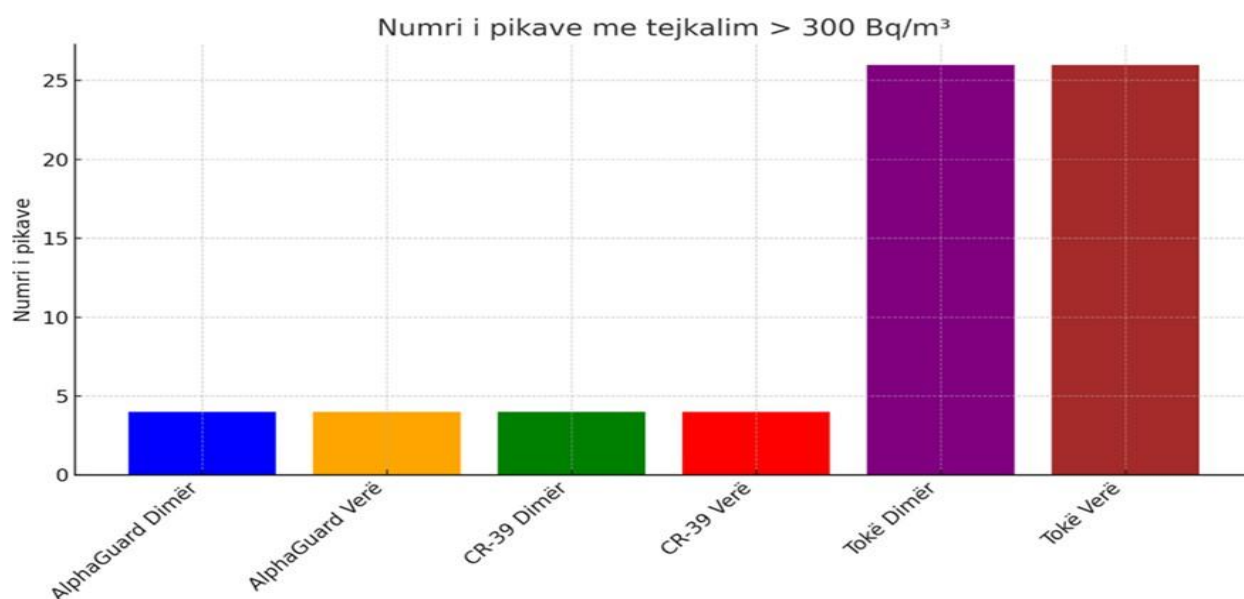


Figura 5.18 Grafiku i numrit të pikave që tejkalojnë 300 Bq/m³

5.5 Lidhjet me parametrat klimatikë

5.5.1 Matrica e korelacioneve (heatmap)

Heatmap-i i korelacioneve Fig.5.20 është një mjet vizual që përdoret për të kuptuar marrëdhëniet lineare mes variablave (këtu: përqendrimet e radonit në metoda dhe stina të ndryshme + parametrat klimatikë si temperatura dhe lagështia). Qëllimi është të identifikohet nëse rritja/ulja e një parametri shoqërohet me rritje/ulje të një tjetri. Është veçanërisht i rëndësishëm për të testuar hipotezat shkencore mbi ndikimin e klimës (temperatura, lagështia) dhe faktorëve të mjedisit në nivelet e radonit.

Matrica e korelacioneve (Fig. 5.19) përfshin variablat indoor (AG/CR-39 në dimër/verë), tokë (dimër/verë), si dhe T, LR dhe P. Vërehen modele të qëndrueshme: (i) temperatura ka korelacion negativ me indoor, veçanërisht në dimër; (ii) lagështia shfaq korelacion pozitiv me indoor (dimër) dhe në disa raste me tokë; (iii) përqendrimet në tokë lidhen pozitivisht me ato indoor, veçanërisht gjatë dimrit. Këto gjetje janë koherente me pritshmëritë fizike (ventilim i kufizuar, gradient presioni, transferim nga substrati).

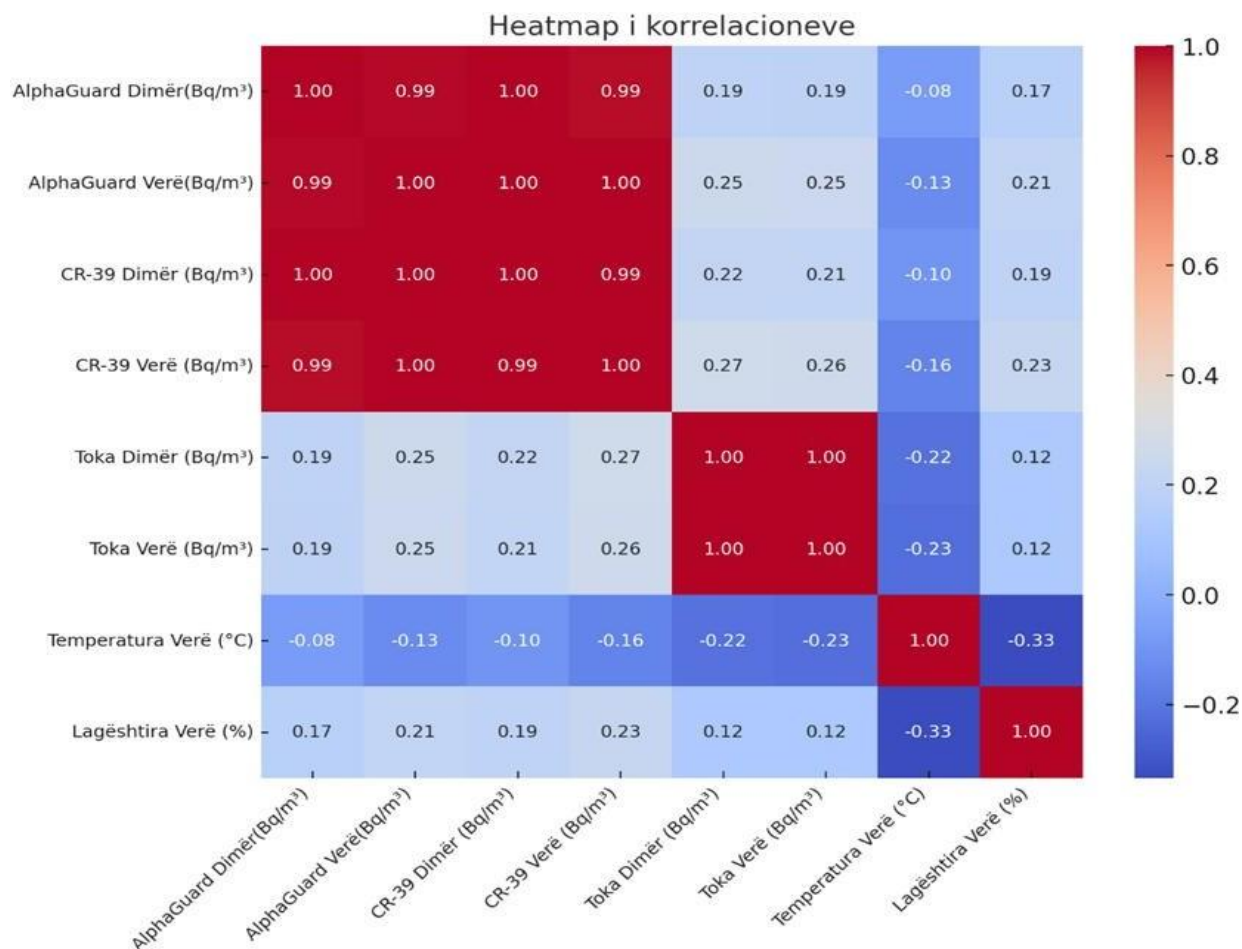


Figura 5.19 Heatmap, matrica e korelacioneve

5.5.2 Korelacionet e përqendrimeve të radonit me parametrat klimatikë

Nga scatter plots për korelacionet midis parametrave klimatikë dhe përqendrimeve të radonit (AlphaGuard Indoor) Fig.5.20 vërejmë se në:

Dimër Temperatura vs Radon → korelacion negativ mesatar (kur temperatura bie, radoni rritet).
 Lagështira vs Radon → korelacion pozitiv (ajri më i lagësht lidhet me përqendrime më të larta).
 Presioni vs Radon → korelacion i dobët pozitiv (presioni më i lartë lehtëson migrimin nga toka).
Verë Temperatura vs Radon → përsëri korelacion negativ, por më i dobët se në dimër. Lagështira vs Radon → korelacion pozitiv, i ngjashëm me dimrin. Presioni vs Radon → lidhje e lehtë pozitive, por shumë e dobët. Pra mund të themi se temperatura është faktori më i fortë klimatik: ulja e saj shoqërohet me rritje të përqendrimeve të radonit → sidomos gjatë dimrit. Lagështira ndikon

pozitivisht, duke rritur ndjeshëm akumulimin indoor. Presioni atmosferik ka efekt dytësor, por megjithatë ndikon në transportin vertikal të gazit. Ndikimet klimatike janë më të forta në dimër për shkak të ventilimit të reduktuar dhe kontrasteve termike më të mëdha.

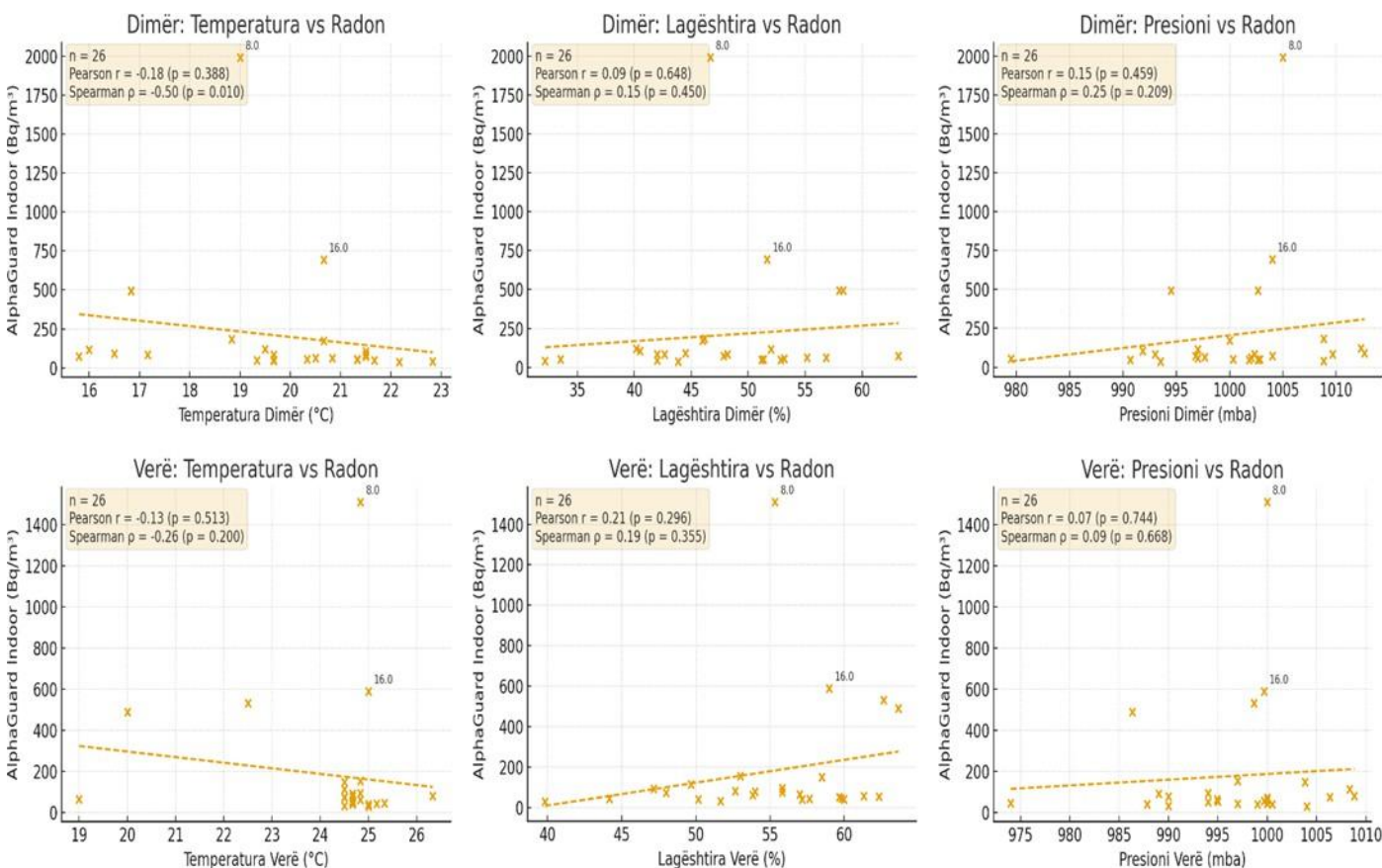


Figura 5.20 Scatter plots I korelacioneve të përqendrimeve të radonit me parametrat klimatikë

5.5.3 Regresionet univariate

Grafikat e regresionit (Fig. 5.21–5.22) ilustrojnë marrëdhëniet kryesore: CR-39 Dimër vs Temperatura (pjerrësi negative; R^2 domethënëse, në përputhje me uljen e akumulimit me rritjen e T) dhe CR-39 Dimër vs Lagështia (pjerrësi pozitive; rritja e LR shoqërohet me rritje të përqendrimeve indoor). Në shtesë, modelet me AlphaGuard japin sinjal të ngjashëm, por me shpërndarje më të gjerë të mbetjeve për shkak të variacionit ditor. CR-39 Dimër vs Temperaturë: Pearson $r = -0.195$ ($p = 0.34$), Spearman $\rho = -0.475$ ($p = 0.014$). → prirje negativë (jo e fortë me Pearson; monotone e dukshme me Spearman). CR-39 Dimër vs Lagështia: Pearson $r = 0.117$ ($p =$

0.57), Spearman $\rho = 0.142$ ($p = 0.49$). → prirje pozitive e dobët. Në temperaturë ndikojnë disa vlera të larta (outliers rreth 1500 Bq/m³), prandaj Pearson del i dobët ndërsa Spearman e kap më mirë.

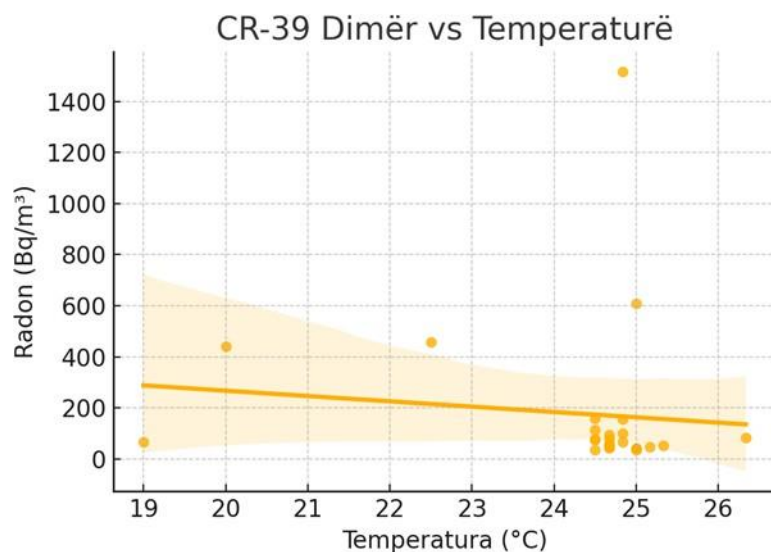


Figura 5.21 CR-39 Dimër vs Temperaturë

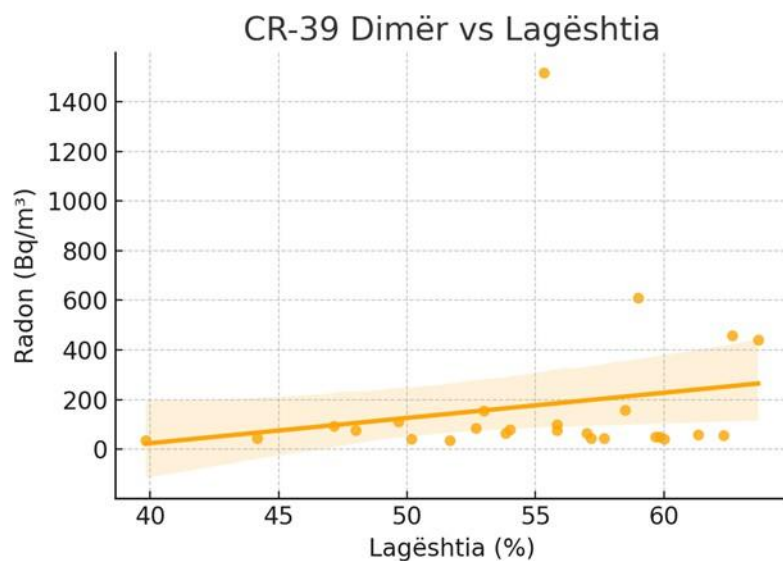


Figura 5.22 CR-39 Dimër vs lagështia

5.6 Analiza e komponentëve kryesorë (PCA) dhe Biplot.

5.6.1. Metodologjia

Të gjitha variablat e përzgjedhura u standardizuan (z-score). PCA u aplikua mbi një grup variablash që përfshin radonin indoor (AG/CR-39, dimër/verë), radonin në tokë (dimër/verë) dhe parametrat T/LR (dhe P, nëse i plotë). Numri i komponentëve u zgjodh mbi bazën e grafikut Scree dhe kriterit të Kaiser ($\lambda > 1$).

5.6.2. Rezultatet dhe interpretimi

PC1 ngarkon fort mbi variablat e radonit indoor dhe në tokë, duke përfaqësuar faktorin gjeologjik/hapësinor (burimi dhe potenciali i lirim). PC2 ngarkon mbi temperaturën dhe lagështinë, që përfaqësojnë faktorin klimatik/stinor. Biplot-i (Fig. 5.23) tregon vektorë me drejtim të ngjashëm për radonin në tokë (dimër/verë) dhe indoor (sidomos dimri), ndërsa vektori i temperaturës del në drejtim të kundërt me indoor dimër → korelacion negativ. Në tërësi, PCA konfirmon një strukturë dy-faktoriale: (1) burimi gjeologjik si komponent dominues; (2) klima si modulues stinor i infiltrimit indoor.

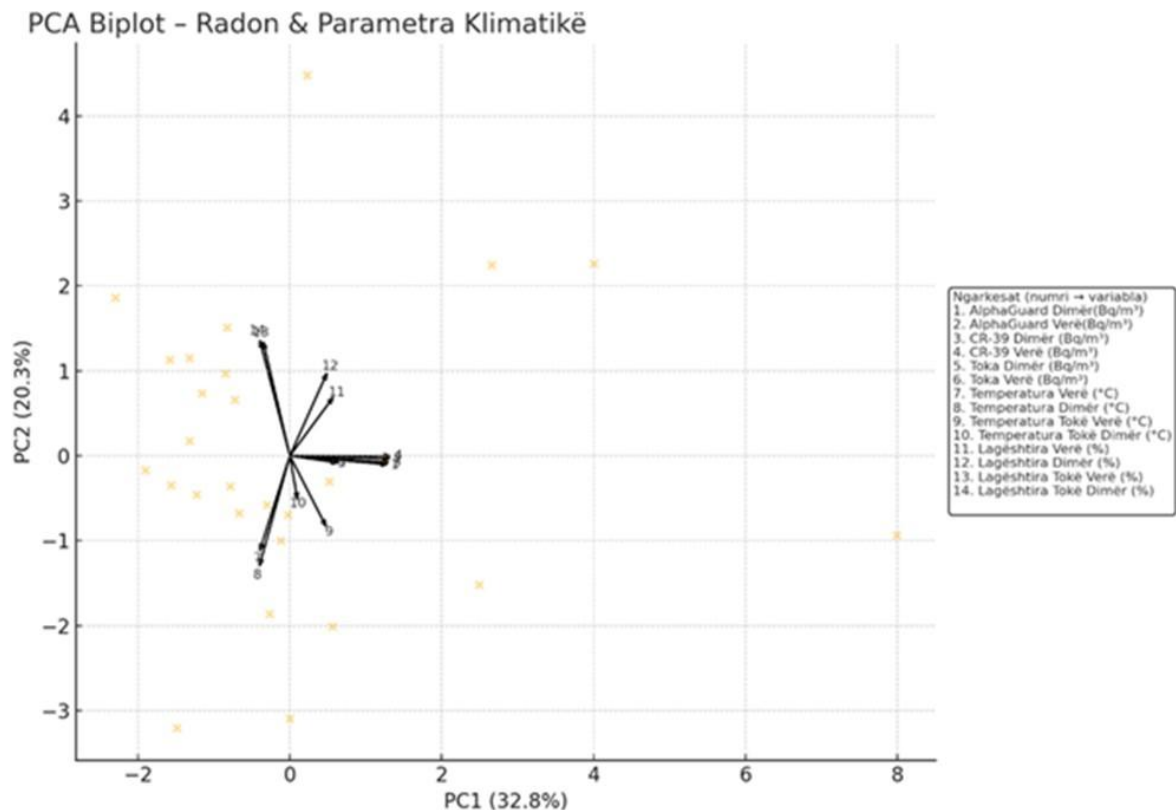


Figura 5.23 Grafiku PCA Biplot

5.7 Pairplots ose marrëdhëniet dy nga dy

Panelët e pairplot-eve (Fig. 5.24–5.32) shërbejnë për të verifikuar linearitetin bazë midis çifteve të variablave dhe për të identifikuar grupime/pika të devijuara.

5.7.1 Grafikë të shpërndarjes stinore (Seasonal boxplots)

Paraqiten përqendrimet e radonit sipas stinës (dimër vs verë) për çdo metodë. Theksohen dallimet stinore dhe mbështet interpretimi i korelacionit me temperaturën. Grafiku i regresionit linear tregon një lidhje negative: me rritjen e temperaturës, përqendrimet e radonit indoor të matur me CR-39 në dimër ulen. Ky rezultat është i pritshëm pasi ventilimi është më i madh në temperatura më të larta. Grafiku tregon një lidhje pozitive: me rritjen e lagështisë, përqendrimet e radonit indoor rriten. Lagështia favorizon migrimin e radonit nga toka drejt ndërtesave, duke reflektuar ndikimin e kushteve gjeomjedisore dhe ndërtimore. Boxplot-et Fig.5.24 tregojnë qartë efektin stinor: dimri ka medianë dhe shpërndarje më të lartë të radonit krahasuar me verën. Kjo lidhet me ventilimin më të kufizuar gjatë dimrit, që favorizon akumulimin

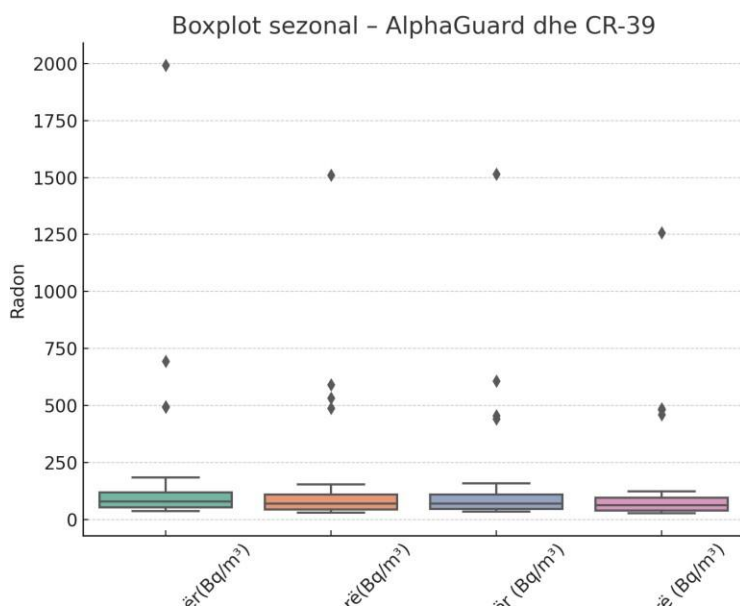


Figura 5.24 Boxplot stinor AlphaGuard dhe CR-39

CR-39 Dimer (Bq/m³) vs AlphaGuard Dimer(Bq/m³)
 $r = 1.00$, $p = 0.000$

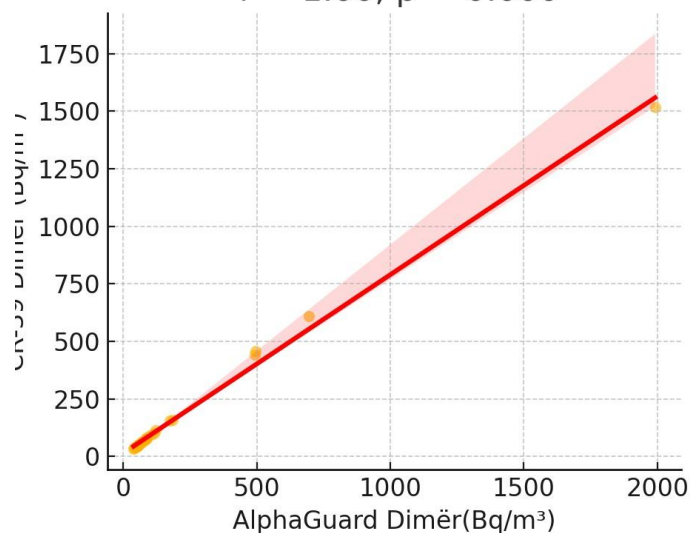


Figura 5.25 CR-39 vs AlphaGuard dimër

CR-39 Vere (Bq/m³) vs AlphaGuard Vere(Bq/m³)
 $r = 1.00$, $p = 0.000$

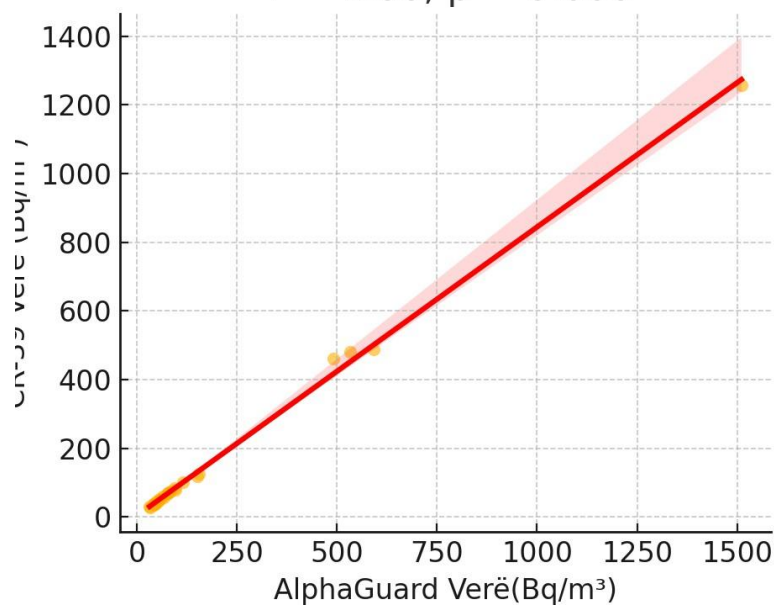


Figura 5.26 CR-39 vs AlphaGuard Verë

Toka Dimer (Bq/m³) vs AlphaGuard Dimer(Bq/r
 $r = 0.19$, $p = 0.342$

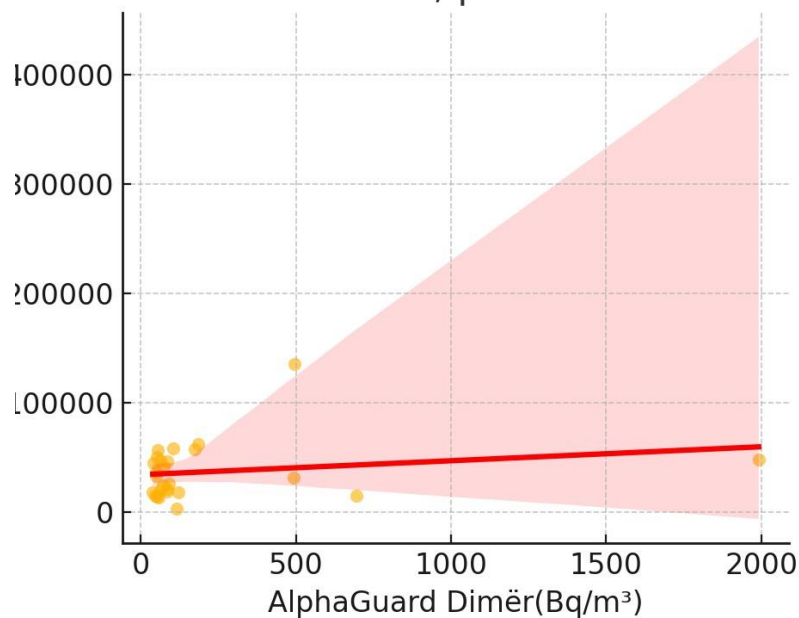


Figura 5.27 Tokë vs AlphaGuard indoor Dimër

Toka Dimer (Bq/m³) vs CR-39 Dimer (Bq/m³)
 $r = 0.22$, $p = 0.286$

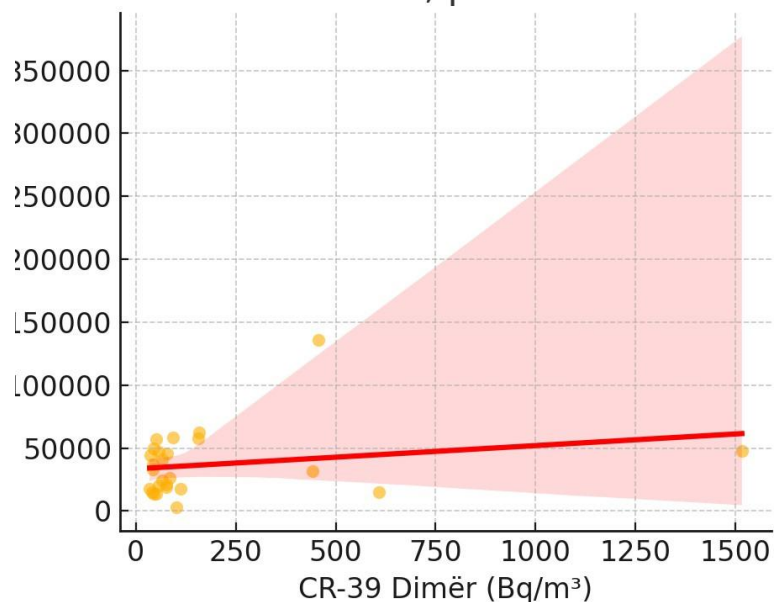


Figura 5.28 Tokë vs CR-39 Dimër

CR-39 Dimer (Bq/m³) vs Temperatura Vere (°C)
 $r = -0.10$, $p = 0.613$

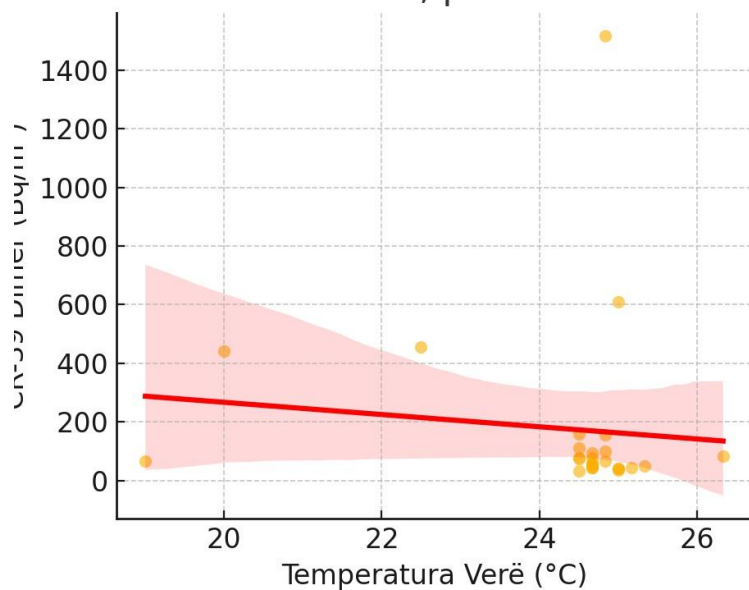


Figura 5.29 CR-39 Dimër vs Temperaturë Verë

CR-39 Dimer (Bq/m³) vs Lageshtira Vere (%)
 $r = 0.19$, $p = 0.342$

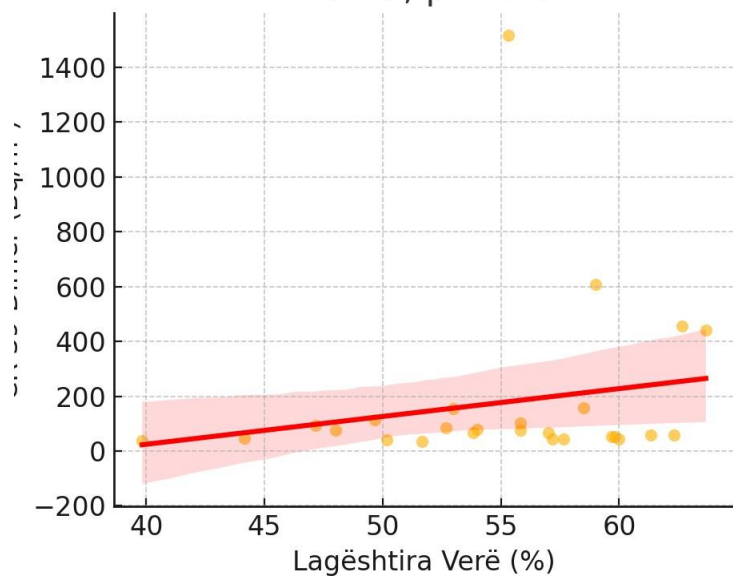


Figura 5.30 CR-39 Dimër vs Lagështirë Verë

AlphaGuard Dimer(Bq/m³) vs Temperatura Vere
 $r = -0.08$, $p = 0.704$

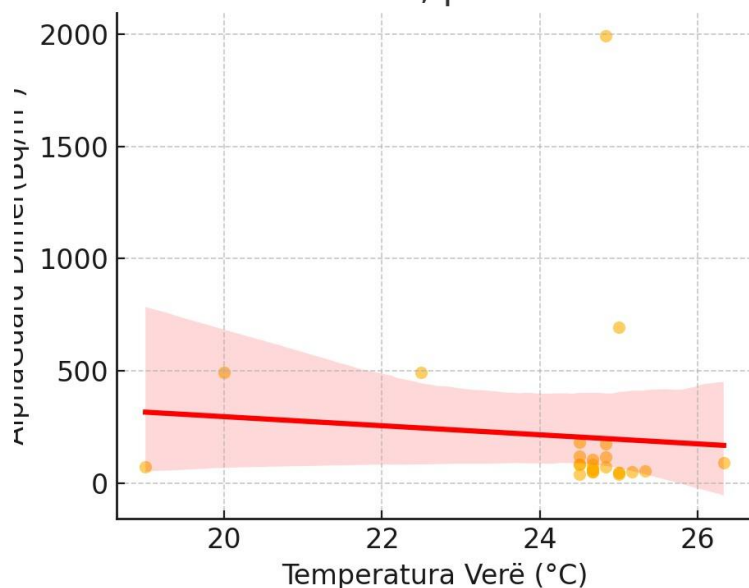


Figura 5.31 AlphaGuard indoor Dimër vs Temperatura Verë

AlphaGuard Dimer(Bq/m³) vs Lageshtira Vere (
 $r = 0.17$, $p = 0.408$

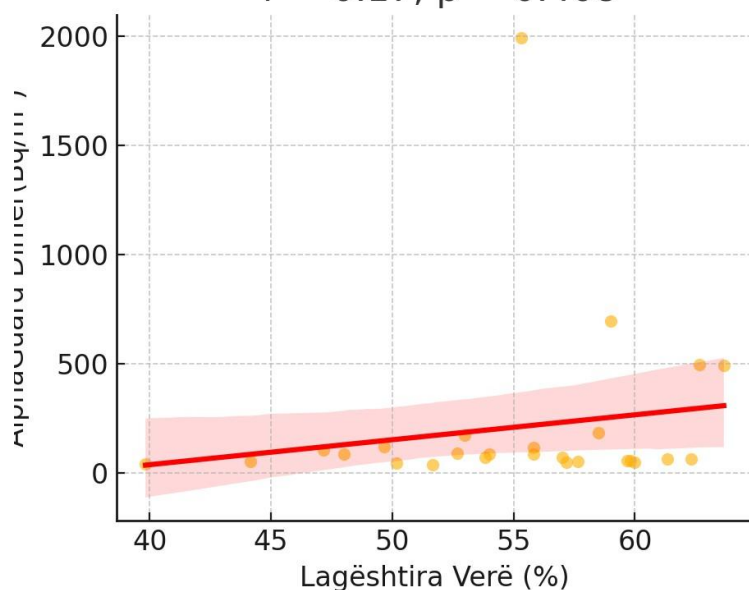


Figura 5.32 AlphaGuard indoor Dimër vs Lageshtira Verë

5.8 Diskutim kritik dhe implikime praktike

5.8.1. Interpretimi shkencor

Rezultatet tregojnë se dimri është stina më e rrezikshme për akumulimin indoor të radonit, kryesisht për shkak të ventilimit të reduktuar dhe kontrasteve termike. Përqendrimet në tokë janë shumë herë më të larta se indoor, duke dëshmuar se substrati gjeologjik është burimi kryesor. Lidhja indoor↔tokë, së bashku me sinjalin klimatik, përshkruan një skenar ku burimi përcakton potencialin, ndërsa klima/ndërtimi përcaktojnë realizimin e ekspozimit indoor.

5.8.2. Krahësimi me literaturën

Gjetjet përputhen me sinjalet e raportuara në literaturë ndërkombëtare mbi radonin (p.sh. udhëzimet e OBSH, studimet e Salvi 2017; Mousavi 2020), ku theksohet roli i ventilimit, klimës dhe tipareve gjeologjike në variacionin stinor dhe hapësinor të përqendrimeve.

5.8.3. Masat për menaxhimin e riskut

Duke pasur parasysh tejkalimet e identifikuara dhe sezonalitetin, prioritet i monitorimit duhet të jenë: (i) stina e ftohtë, (ii) godinat e vjetra dhe (iii) ndërtesat mbi terrene të pakonsoliduara. Masat korrigjuese përfshijnë përmirësime të ventilimit, mbyllje të shpimeve/çarjeve, depresurim nëntokësor (sub-slab depressurization) dhe ndëLryrje në mbrojtjen ndaj lagështisë. Vendimmarrja duhet të jetë e bazuar në matje të përsëritura.

5.8.4. Kufizimet dhe punë e ardhshme

Madhësia e mostrës (N=26) kufizon fuqinë inferenciale për modele të ndërlikuara. Mungesa e disa variablave ndërtimore (p.sh. shkalla e shkëmbimit të ajrit – ACH, permeabiliteti i pllakës) kufizon shpjegimin mekanistik. Punë e ardhshme duhet të fokusohet në seri kohore më të gjata, eksperimente ndërhyrjeje dhe integrim të indikatorëve gjeoteknikë.

5.9 Përmbledhje e kapitullit

- **Dimri:** stinë kritike për indoor; temperatura lidhet negativisht dhe lagështia pozitivisht me përqendrimet.
- **AlphaGuard vs CR-39:** përputhje shumë e lartë; AlphaGuard lexon pak më lart (bias i moderuar); CR-39 jep mesatare afatgjata të qëndrueshme.
- **Tokë:** përqendrimet shumë më të larta dhe me sezonalitet më të vogël; lidhje pozitive me indoor.
- **PCA:** PC1 – faktor gjeologjik (indoor+tokë); PC2 – faktor klimatik (T, LR).
- **Tejkalimet >300 Bq/m³:** të kufizuara indoor; pothuajse universale në tokë.

KAPITULLI 6 – ANALIZA GJEOPHAPËSINORE

Qëllimi i këtij kapitulli është ndërtimi i hartave të shpërndarjes hapësinore të përqendrimeve të radonit në Tiranë, si dhe vlerësimi i pasigurisë së parashikimeve dhe i probabiliteteve të tejkalimit për pragu 300 Bq/m^3 në mjediset e brendshme. Korniza metodologjike mbështetet në gjeostatistikë: variogramë eksperimentale, përshtatje me modele teorike (nugget–sill–range), Kriging i zakonshëm (OK) dhe validim me LOOCV. Si krahasim jo-parametrik jepet edhe IDW.

6.1 Të dhënat dhe fusha studimore

Analiza përfshin 26 pika matjeje në Tiranë (24 ndërtesa arsimore dhe 2 bunkerë), me koordinata UTM (EPSG:32634, zona 34N). Variablat e modeluara:

- CR-39 (Verë, Dimër) – për 3 muaj;
- AlphaGuard (Verë, Dimër) – matje aktive 24h;
- Radoni në tokë (Verë, Dimër).

Shtrirja e zonës së studimit:

- X (North): [4 574 148.34, 4 579 087.32] m
- Y (East): [396 865.41, 404 926.89] m

Shtrirja e gridës së vlerësimit për çdo set u vendos me një buffer 250 m rreth mbulesës së pikave. Grida përdor rezolucion mesatar $\sim 100 \text{ m}$ ($\approx 98.8 \text{ m}$ në X, $\approx 99.5 \text{ m}$ në Y), me dimensione tipike 51×82 qeliza, e përshtatshme për balancë mes detajit hapësinor dhe qëndrueshmërisë numerike Fig 6.1.

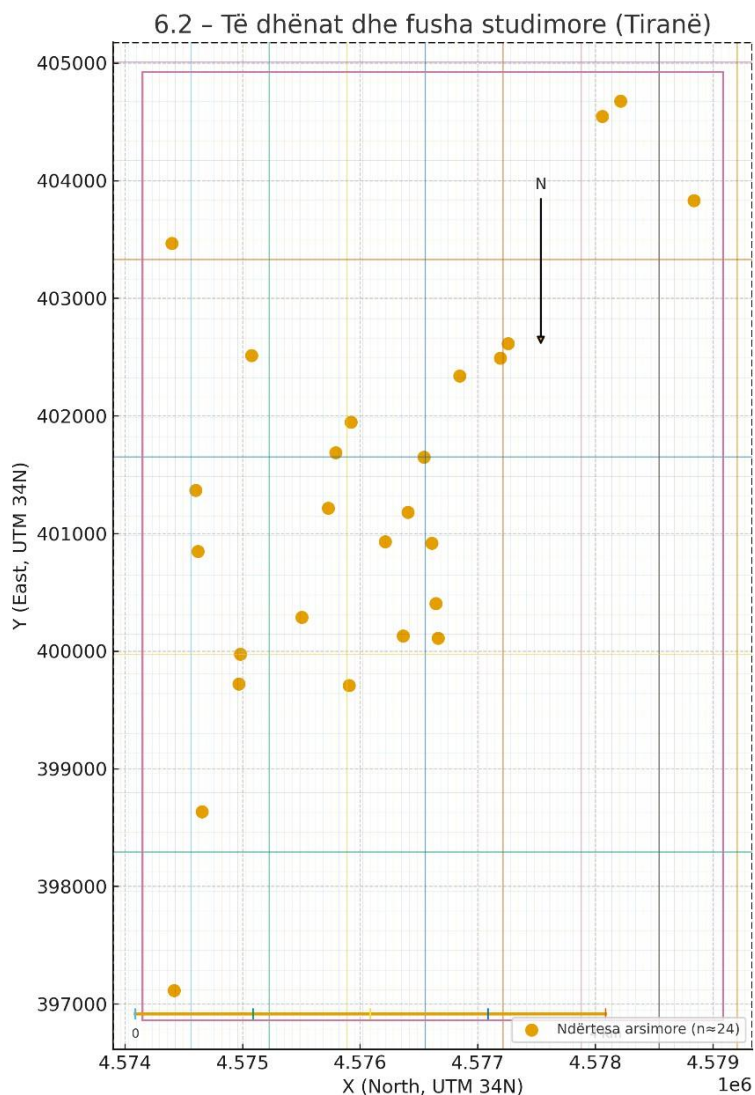


Figura 6.1 Të dhënat dhe fusha studimore

6.2 Analiza Gjeostatistike

6.2.1 Variograma: ndërtim, interpretim dhe sheshim

Variograma gjysmë-variancë $\gamma(h)$ llogaritet duke grumbulluar çiftet e pikave sipas hapave të distancës (lags), deri në gjysmën e distancës maksimale ndër-pikësore. Parametrat përkatës – nugget (heterogjenitet/gabim), sill (variancë totale) dhe range (shtrirja e korelacionit) – interpretohen në lidhje me procesin fizik. Përshtatja u testua me tre modele klasike: sferik, eksponencial dhe gaussian; zgjedhja u krye mbi RMSE të variogramës eksperimentale dhe interpretueshmërinë fizike.

Konkretisht gjysmë-varianca $\gamma(h)$ u llogarit mbi të gjitha çiftet e pikave, të grumbulluara në 10 hapa (lags), me gjerësi hapi ≈ 423 m dhe tolerancë të mesme të hapit: 211.54 m, duke kufizuar çiftet deri në afërsisht gjysmën e distancës maksimale ndër-pikësore (praktika standarde për të shmangur llogaritje me statistikë të varfër në distanca shumë të mëdha) (Isaaks & Srivastava, 1989; Cressie, 1993). Drejtimet për variogramat drejtimore: 0° , 45° , 90° , 135° ($\pm 22.5^\circ$ sektor)

Për zgjedhjen e modelit (sheshimi i variogramës) u testuan tre familje klasike: sferik, eksponencial dhe gaussian. Zgjedhja u bë mbi RMSE të sheshimit të variogramës eksperimentale, me preferencë për modele të lëmuara kur struktura e të dhënave e imponon (Goovaerts, 1997; Webster & Oliver, 2007). Në shumicën e seteve indoor u vërejt sjellje e mirë me Gaussian ose Sferik, ndërsa për tokën u ruajt parimi i thjeshtësisë (Occam) kur RMSE ishte i afërt. Variograma sferike u zgjodh si model bazë për të gjitha setet. Kjo zgjedhje favorizon stabilitetin dhe interpretueshmërinë (nugget, sill, range), sidomos me densitet të moderuar pikash. Modeli sferik kap rritje lineare të variancës deri te shtrirja (range) dhe saturim më tej – sjellje e përshtatshme për procese rajonale me korelacion lokal dhe plateau. Parametrat (nugget–sill–range) dhe modeli më i mirë për secilin set, si dhe treguesit LOOCV janë pasqyruar në grafikët përkatës.

- *Nugget* përfaqëson variancën në shkallë shumë të vogla dhe gabimin e matjes;
- *Sill* afërsisht varianca totale kur $h > \text{range}$;
- *Range* tregon gjatësinë karakteristike të korelacionit hapësinor Fig 6.2

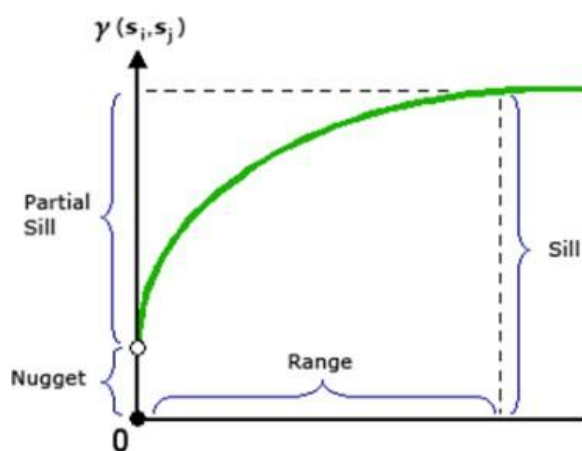


Figura 6.2 Paraqitje skematike e parametrevë të variogramës

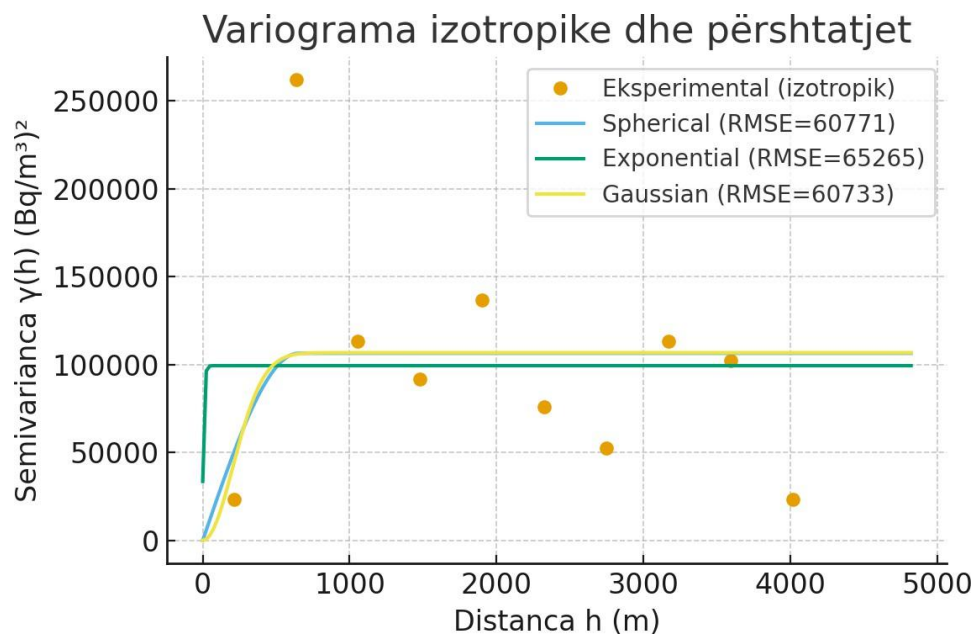


Figura 6.3 Variograma izotropike dhe përshtatjet teorike

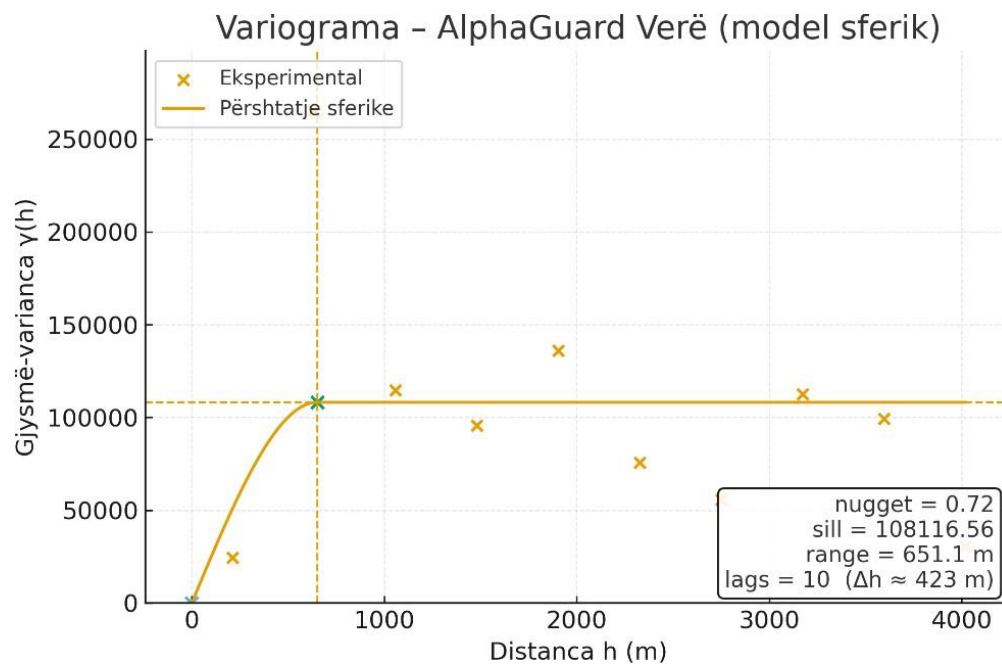


Figura 6.4 Variograma e AlphaGuard Verë me përshtatje sferike

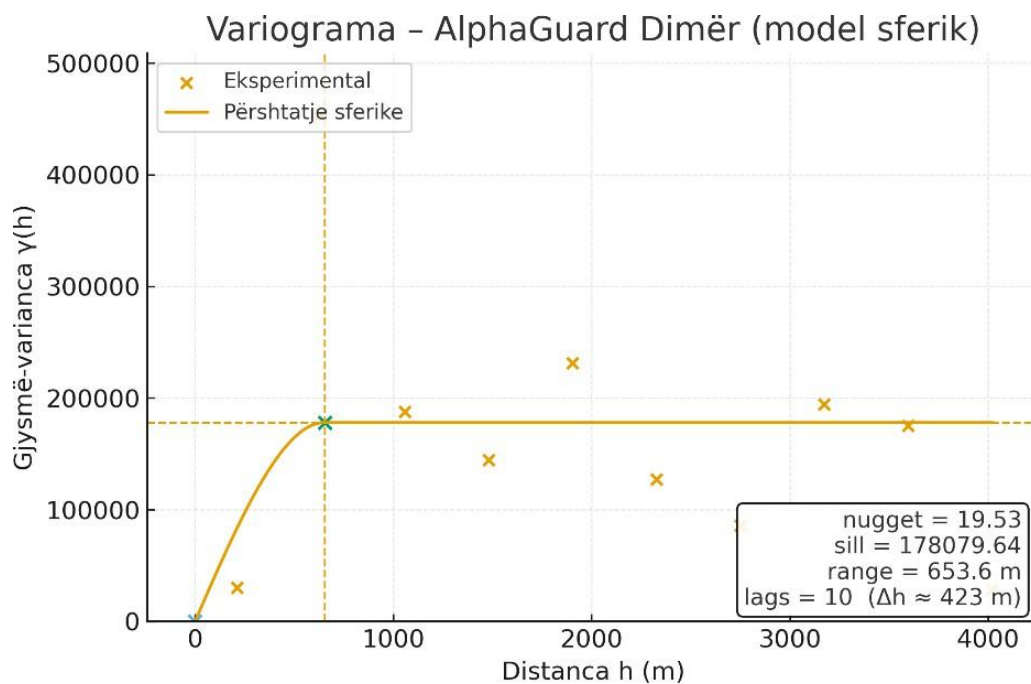


Figura 6.5 Variograma e AlphaGuard Dimër me përshtatje sferike

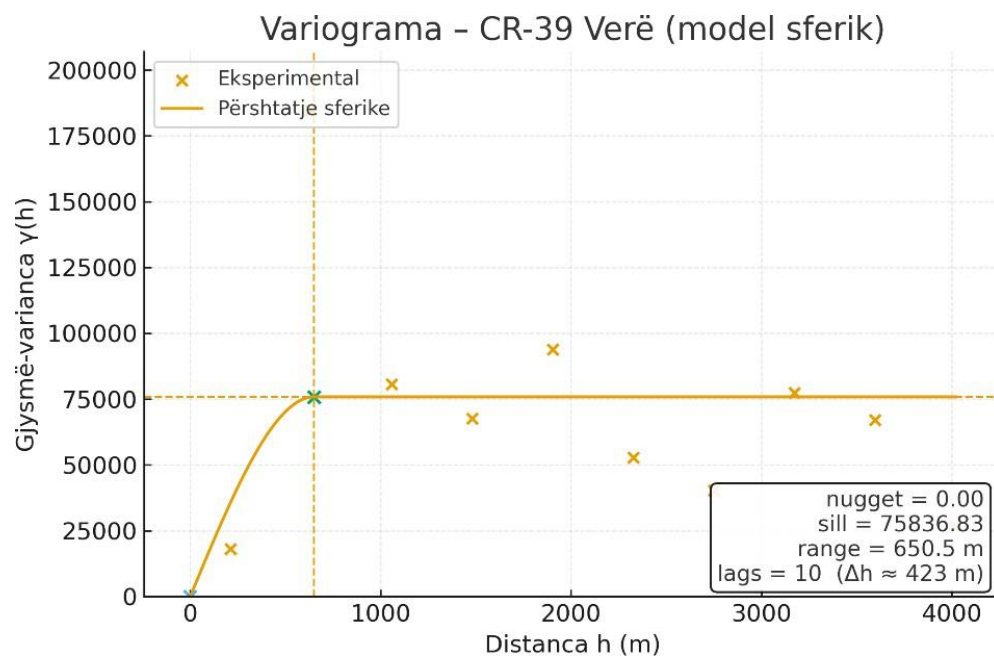


Figura 6.6 Variograma e CR-39 Verë me përshtatje sferike

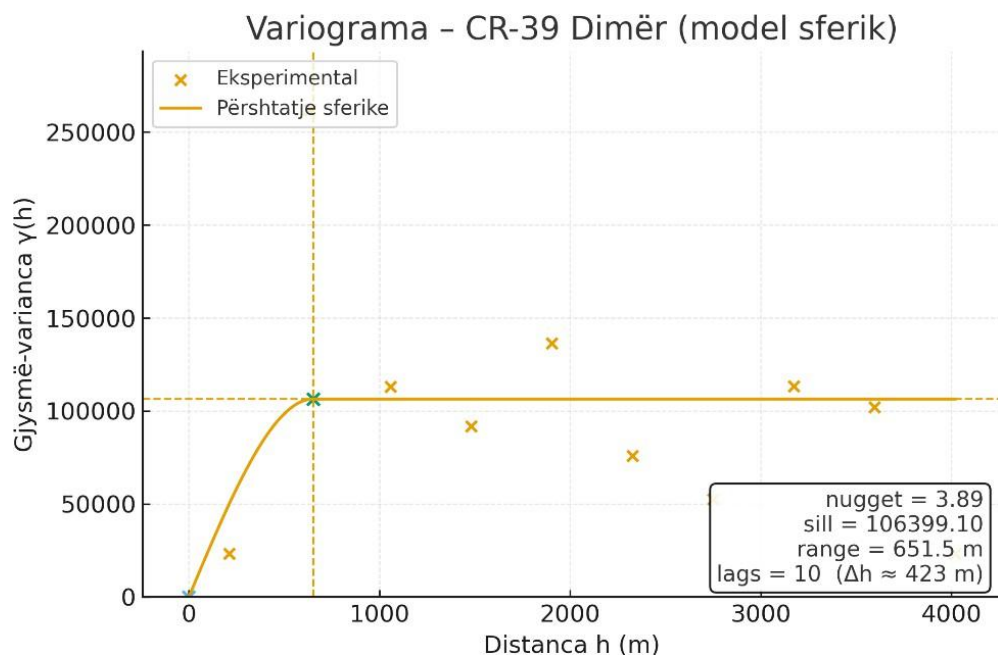


Figura 6.7 Variograma e CR-39 Dimër me përshtatje sferike

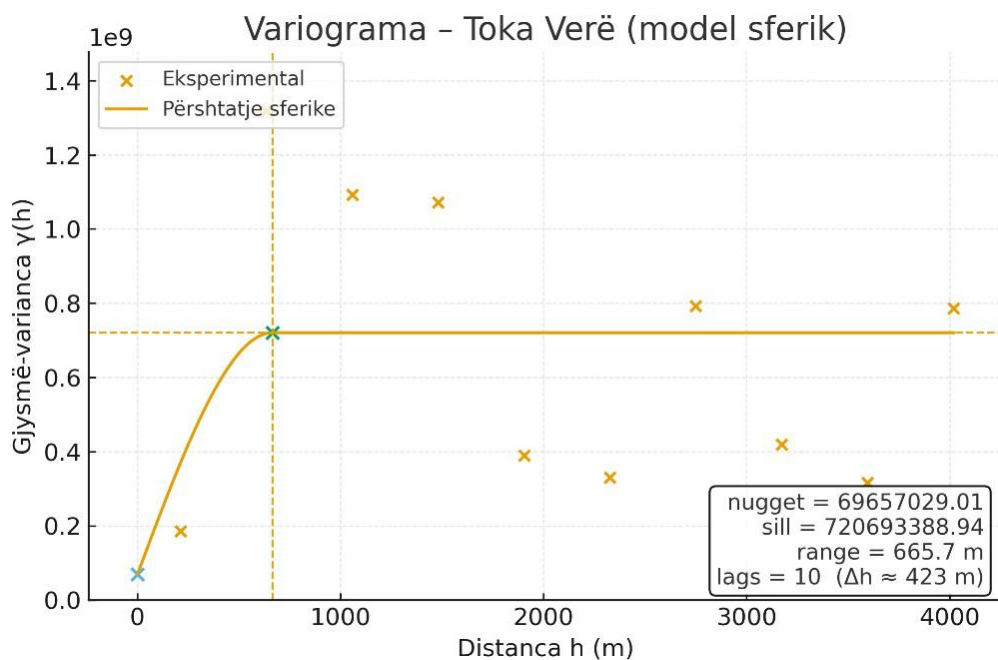


Figura 6.8 Variograma e Toka Verë me përshtatje sferike

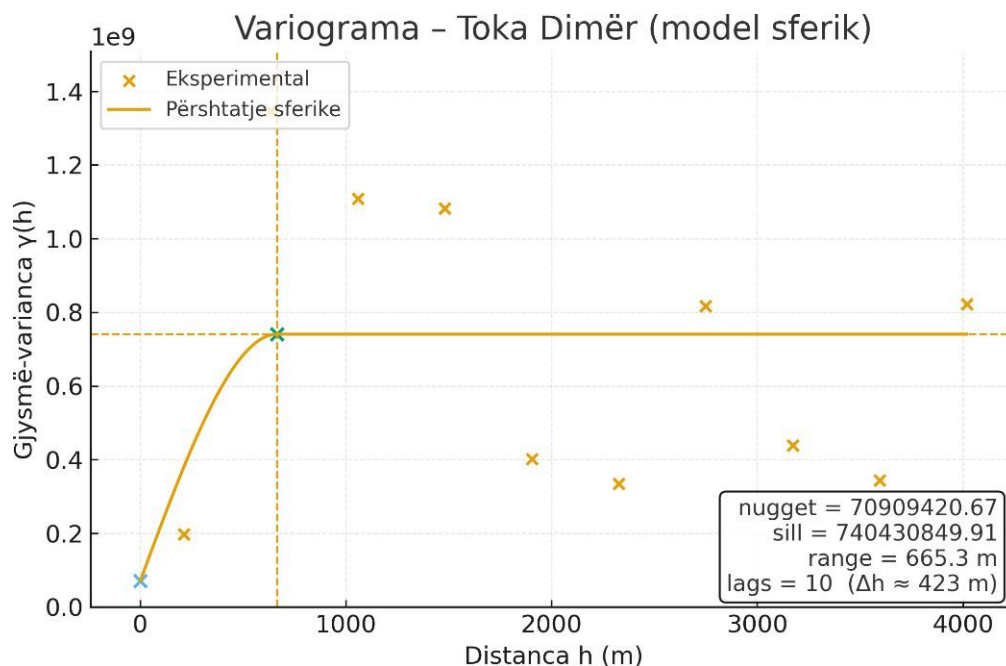


Figura 6.9 Variograma e Toka Dimër me përshtatje sferike

6.2.2 IDW (Inverse Distance Weighting)

IDW llogarit vlerën në pikat e panjohura si mesatare e ponderuar e fqinjëve përmes peshave inverse të distancës (me fuqi p). Nuk modelon strukturën hapësore (variogramën), por shërben si kontroll jo-parametrik. Këtu u përdor $p=2$ dhe $k=12$ fqinj më të afërt.

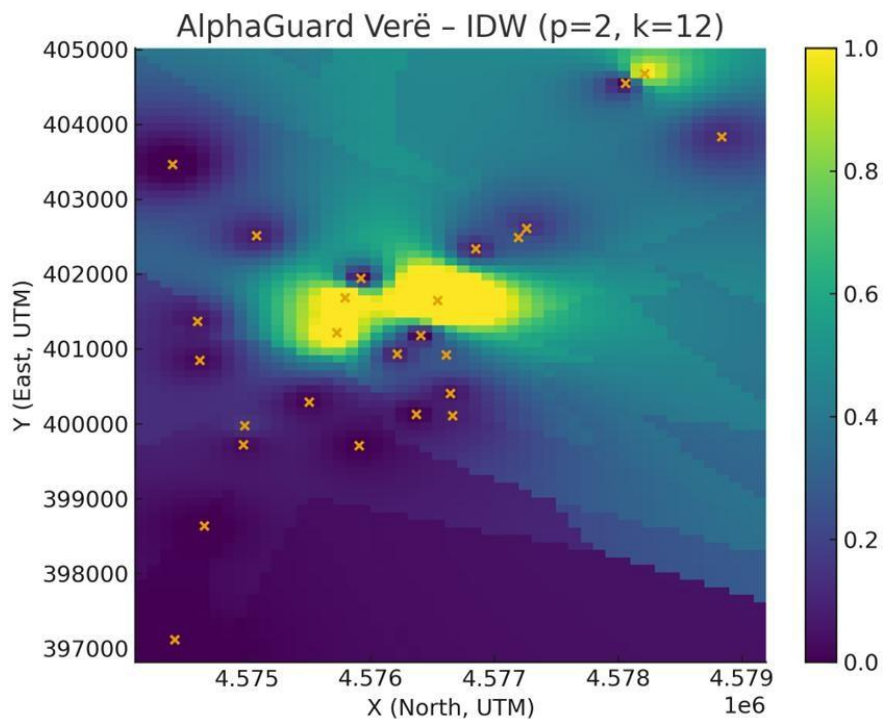


Figura 6.10 AlphaGuard Verë (Bq/m^3) – IDW ($p=2$, $k=12$)

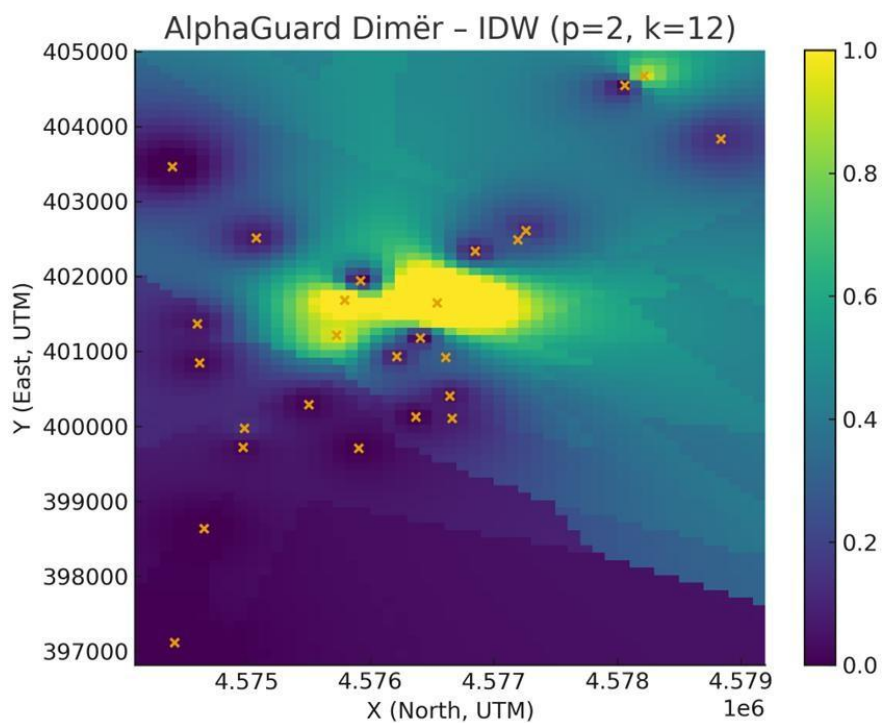


Figura 6.11 AlphaGuard Dimër (Bq/m^3) – IDW ($p=2$, $k=12$)

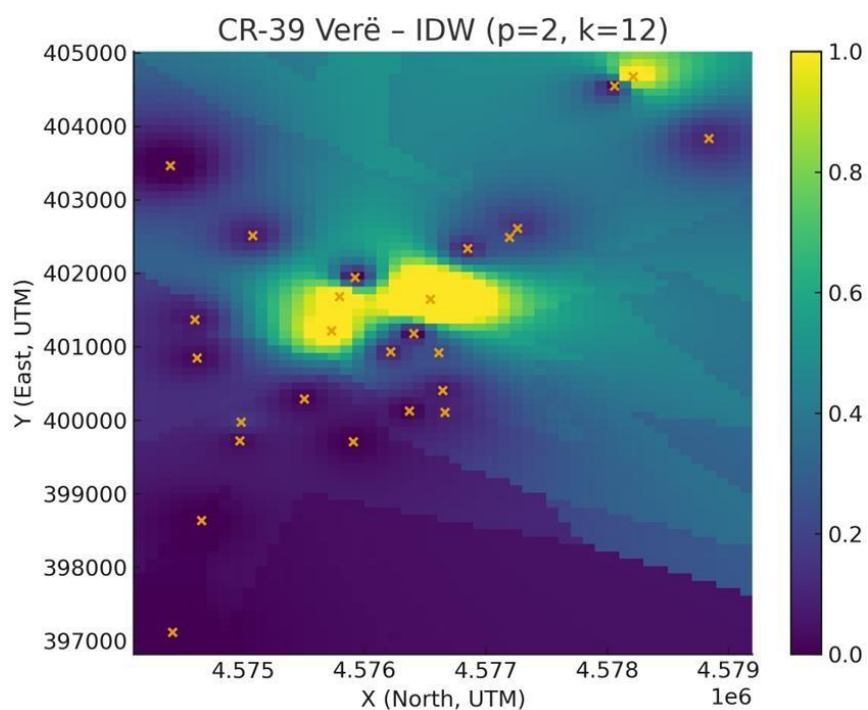


Figura 6.12 CR-39 Verë (Bq/m^3) – IDW ($p=2, k=12$)

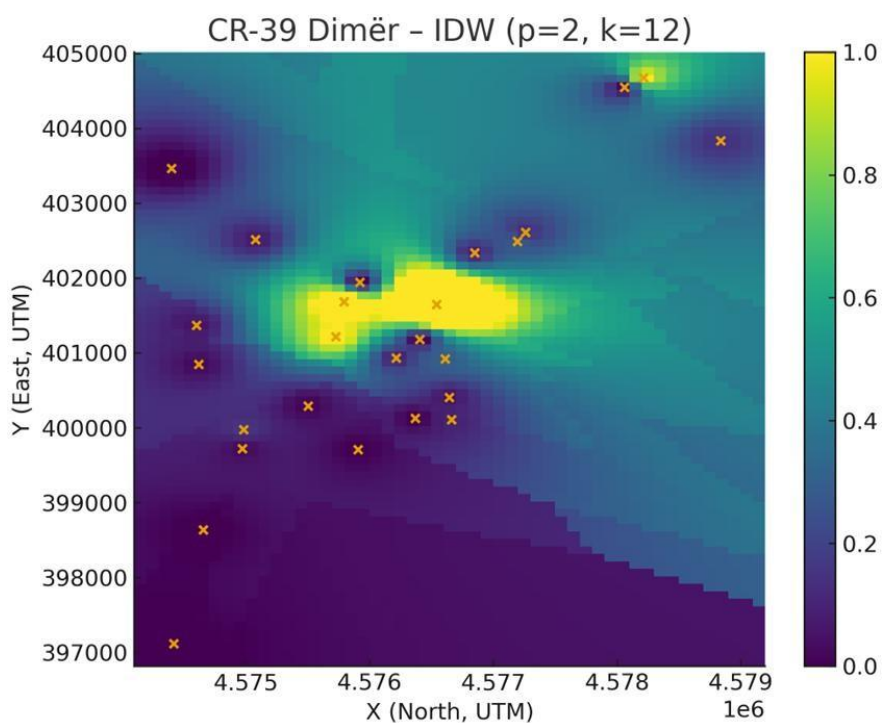


Figura 6.13 CR-39 Dimër (Bq/m^3) – IDW ($p=2, k=12$)

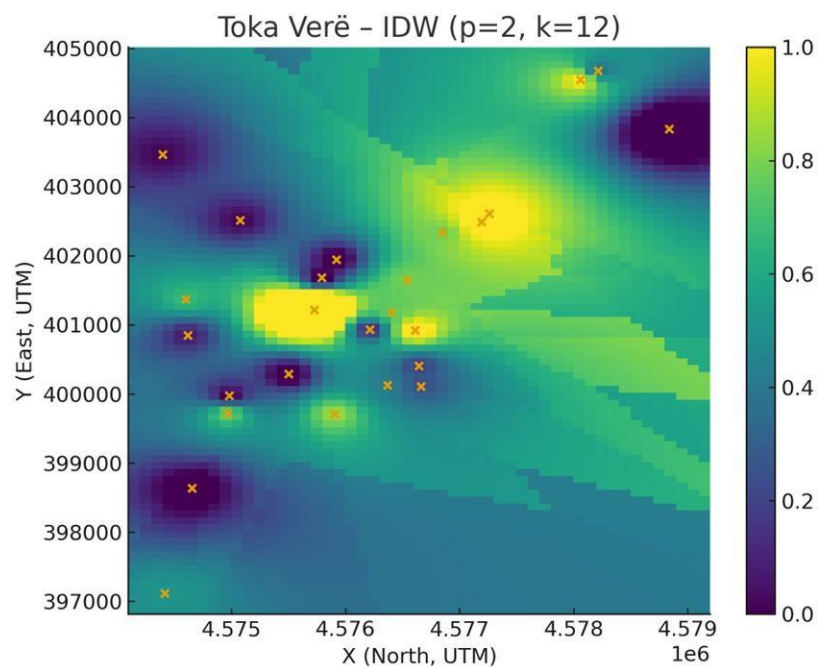


Figura 6.14 Toka Verë (Bq/m^3) – IDW ($p=2$, $k=12$)

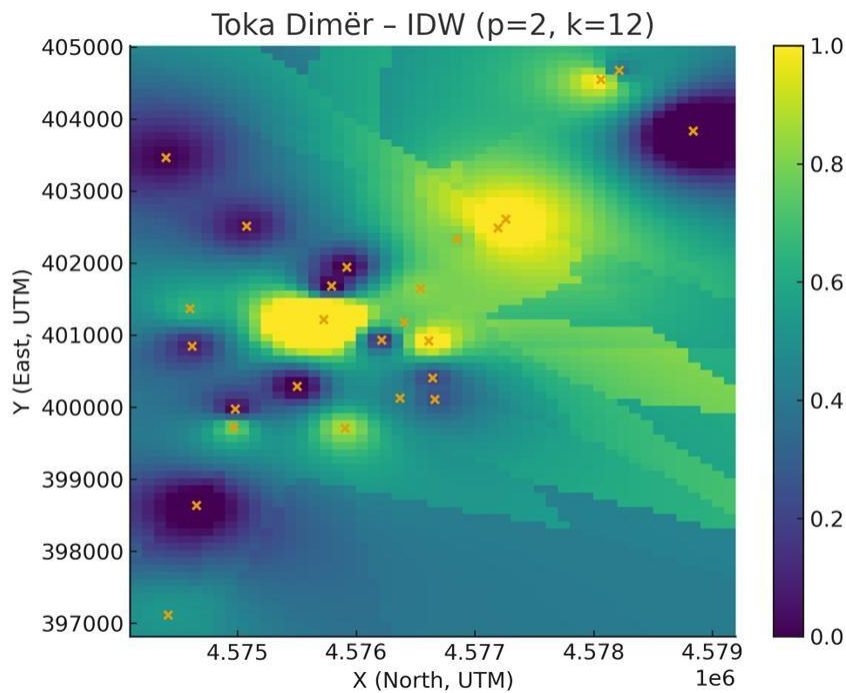


Figura 6.15 Toka Dimër (Bq/m^3) – IDW ($p=2$, $k=12$)

6.2.3 Kriging i zakonshem (Ordinary Kriging OK): harta e përqendrimit

OK është vlerësues linear paanshëm që minimizon variancën e gabimit nën kushtin e paanshmërisë. Përdoret kovarianca e deduktuar nga variograma e zgjedhur. Më poshtë paraqiten hartat e përqendrimit për secilin set. Duke përdorur variogramën e zgjedhur, u zgjidh sistemi i OK me kushtin e paanshmërisë (peshat që shuma e të cilave është 1) dhe kovariancën e deduktuar nga modeli i variogramës. Rezultati jep për çdo qelizë të gridës:

- $Z(s)$ – vlerësimi i përqendrimit;
- $Var_{OK}(s)$ – varianca e krigingut (pasiguria e parashikimit).

Hartat përfundimtare janë dhënë në vijim Fig.6.16-6.21

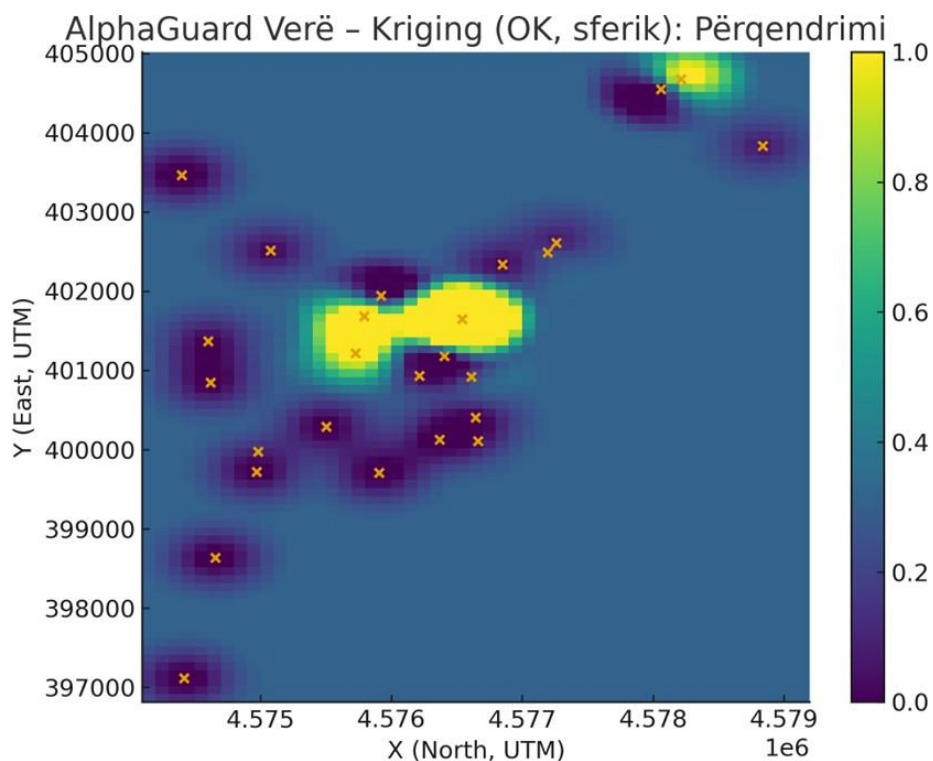


Figura 6.16 AlphaGuard Verë (Bq/m^3) – Kriging (OK sferik): përqendrimi

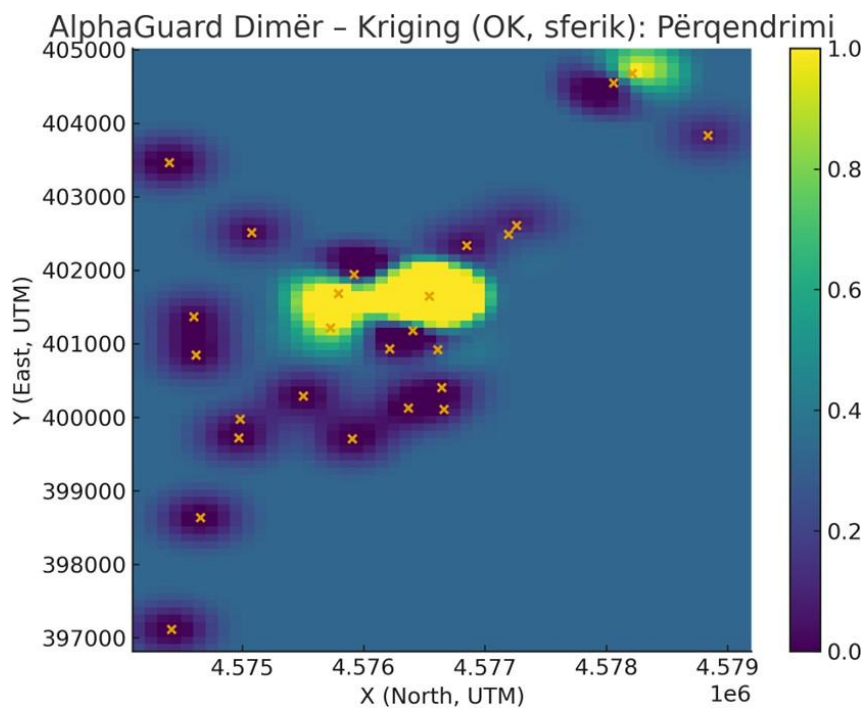


Figura 6.17 AlphaGuard Dimër (Bq/m³) – Kriging (OK sferik): përqendrimi.

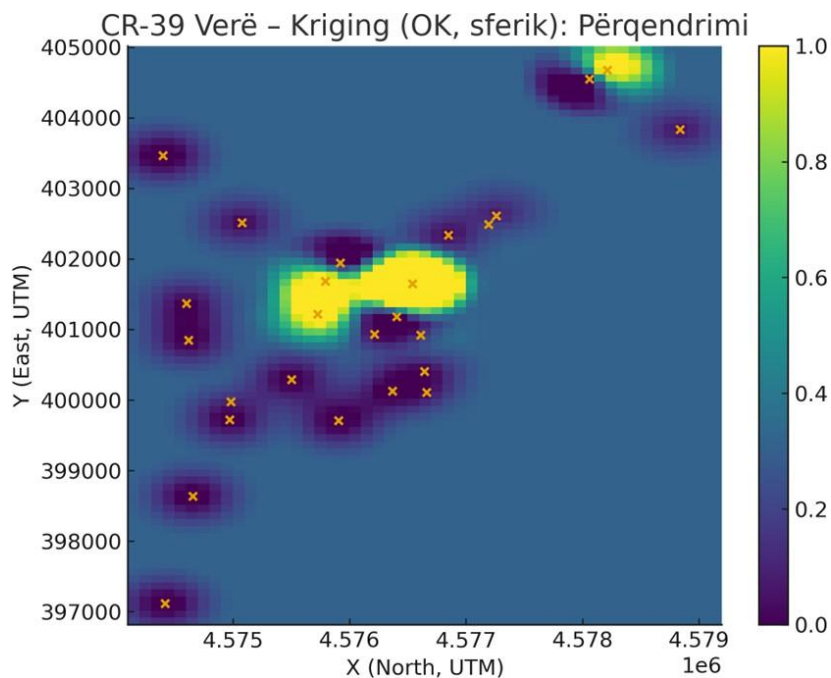


Figura 6.18 CR-39 Verë (Bq/m³) – Kriging (OK sferik): përqendrimi.

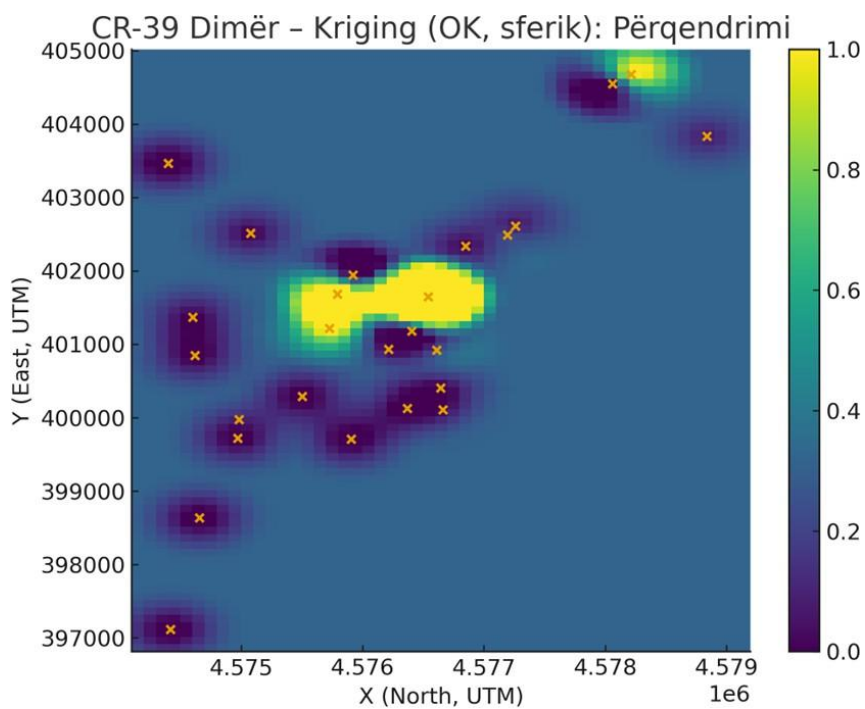


Figura 6.19 CR-39 Dimër (Bq/m³) – Kriging (OK sferik): përqendrimi.

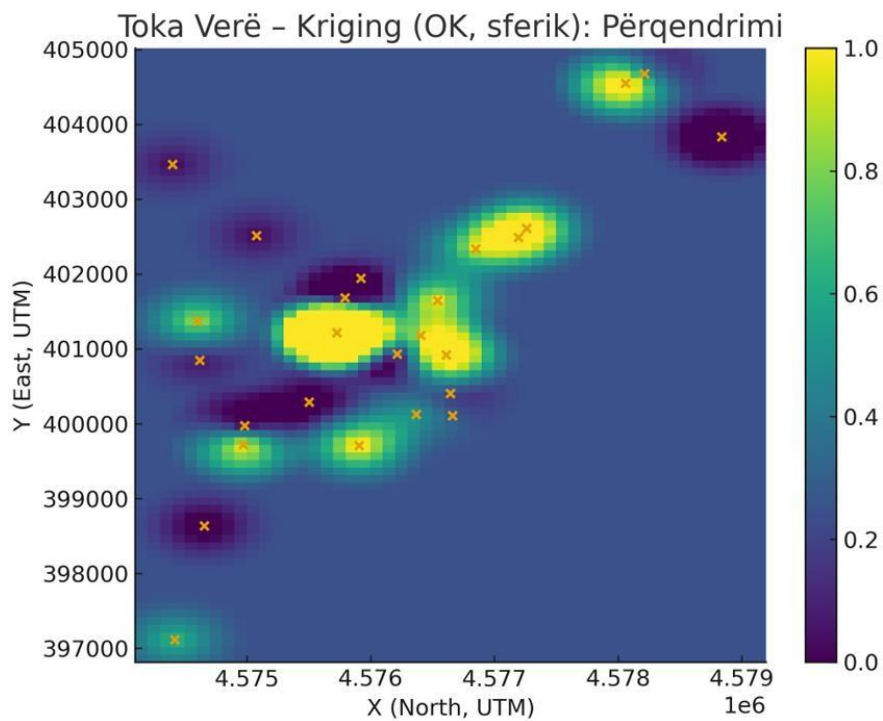


Figura 6.20 Toka Verë (Bq/m³) – Kriging (OK sferik): përqendrimi.

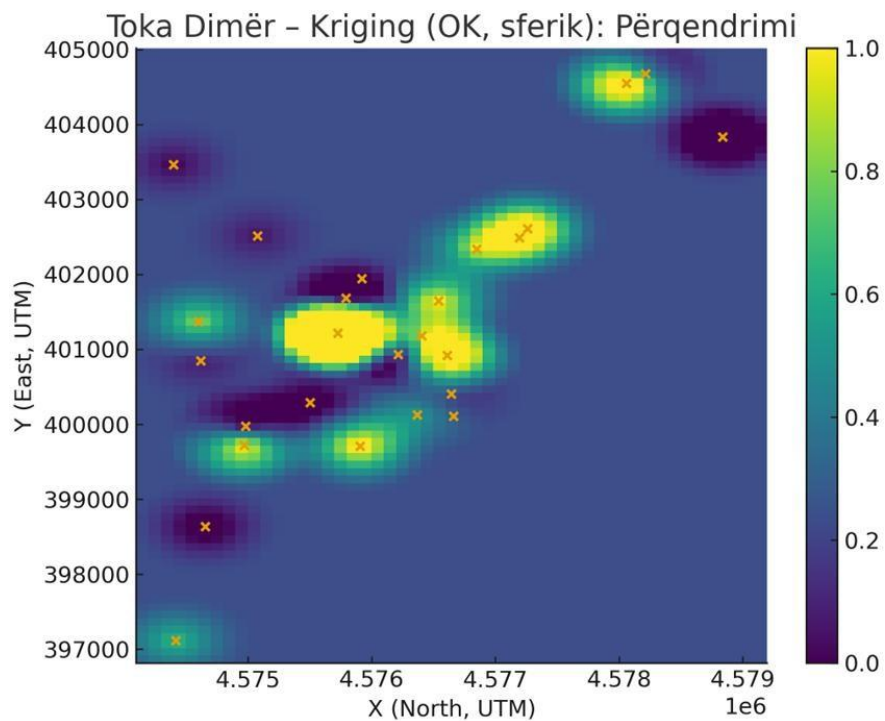


Figura 6.21 Toka Dimër (Bq/m³) – Kriging (OK sferik): përqendrimi.

6.2.4 Kriging (OK): varianca dhe pasiguria $\hat{\sigma}$

Varianca e krigingut dhe pasiguria $\hat{\sigma} = \sqrt{\text{Var_OK}}$ tregojnë besueshmërinë e parashikimeve; zonat periferike me densitet më të ulët pikash shfaqin $\hat{\sigma}$ më të lartë.

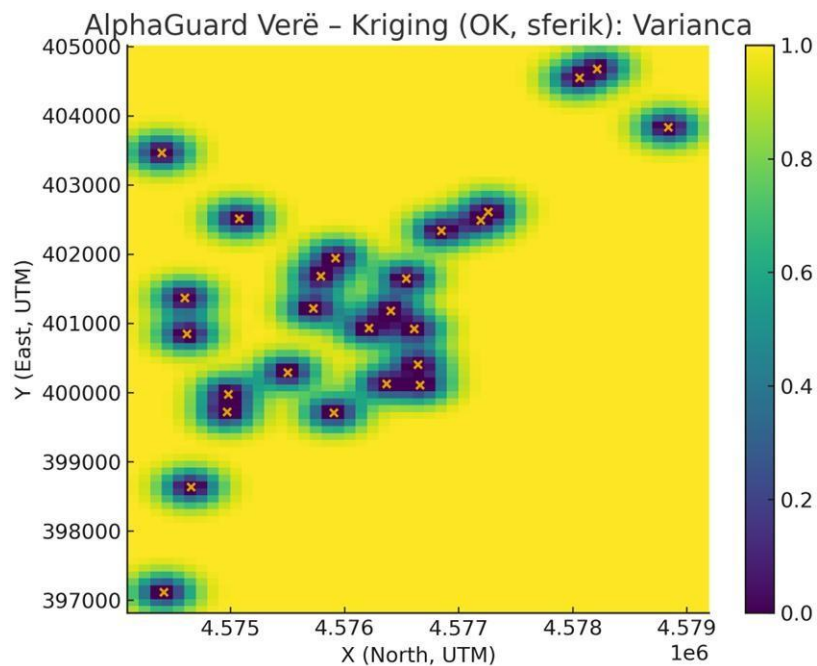


Figura 6.22 AlphaGuard Verë – Varianca (OK sferik).

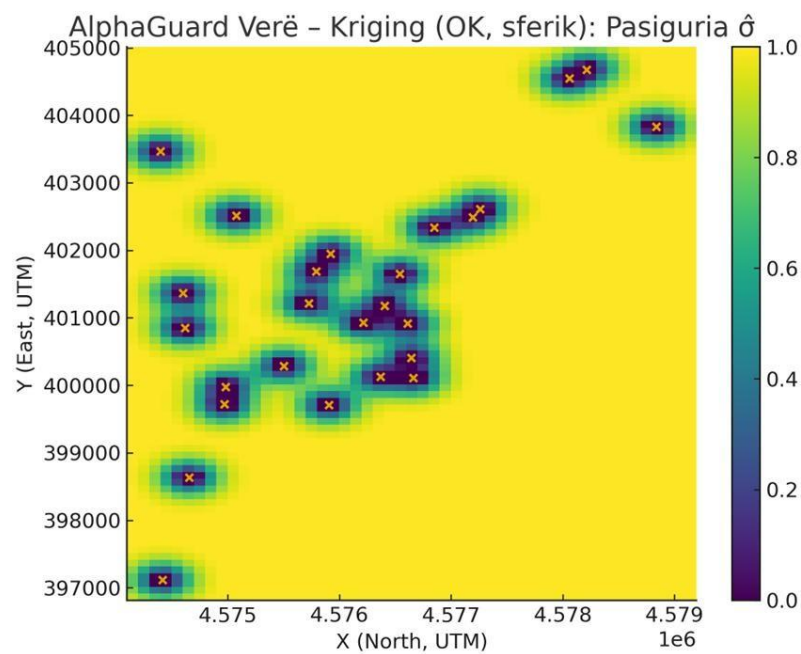


Figura 6.23 AlphaGuard Verë – Pasiguria $\hat{\sigma}$ (OK sferik).

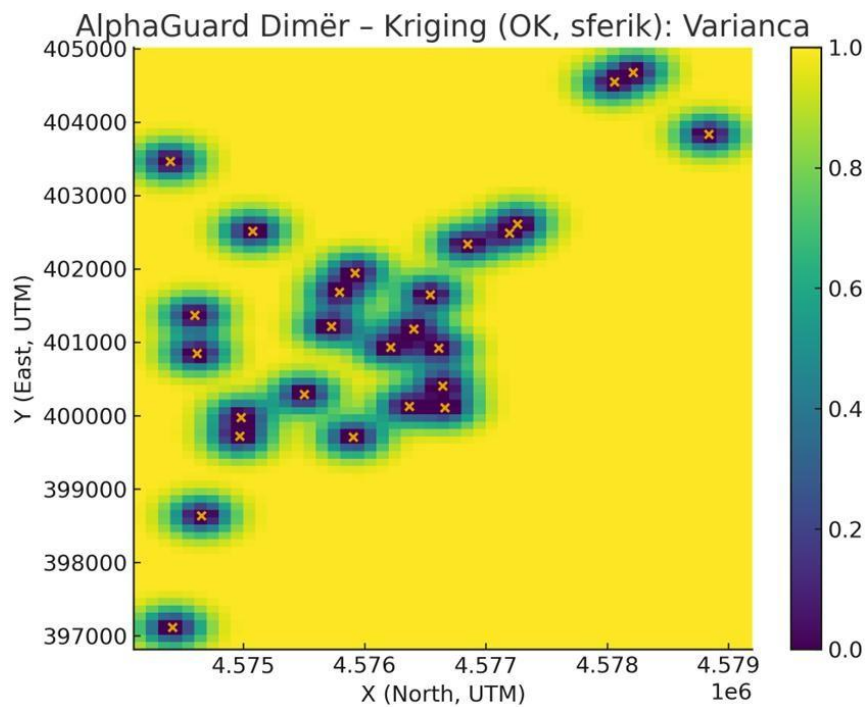


Figura 6.24 AlphaGuard Dimër – Varianca (OK sferik).

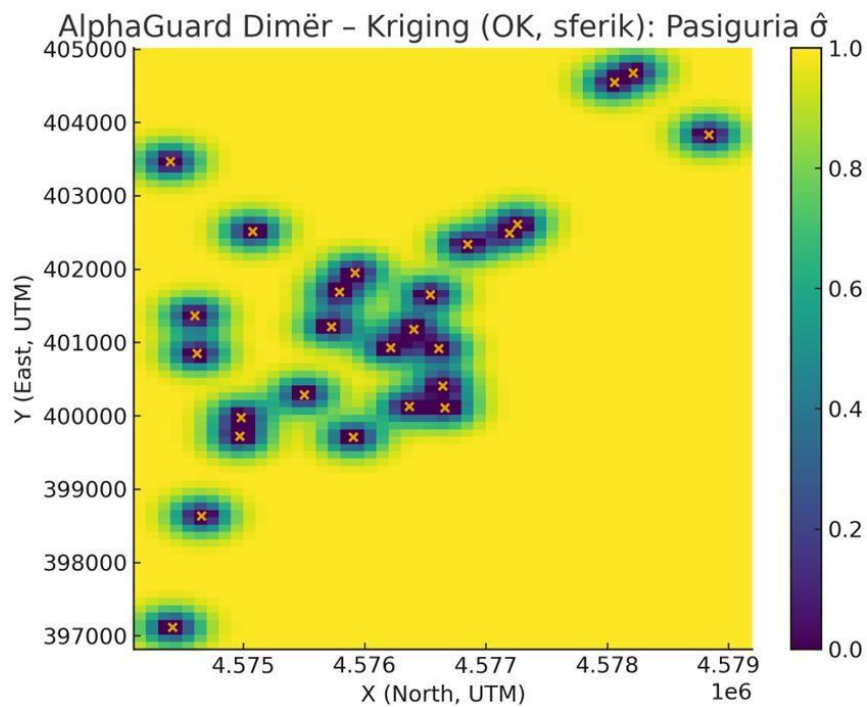


Figura 6.25 AlphaGuard Dimër – Pasiguria $\hat{\sigma}$ (OK sferik).

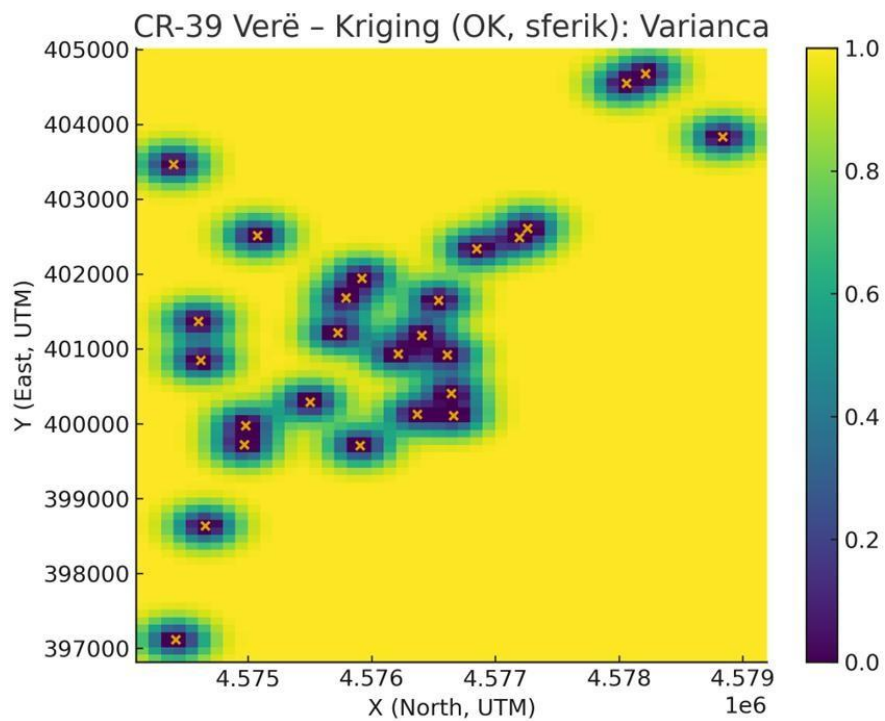


Figura 6.26 CR-39 Verë – Varianca (OK sferik).

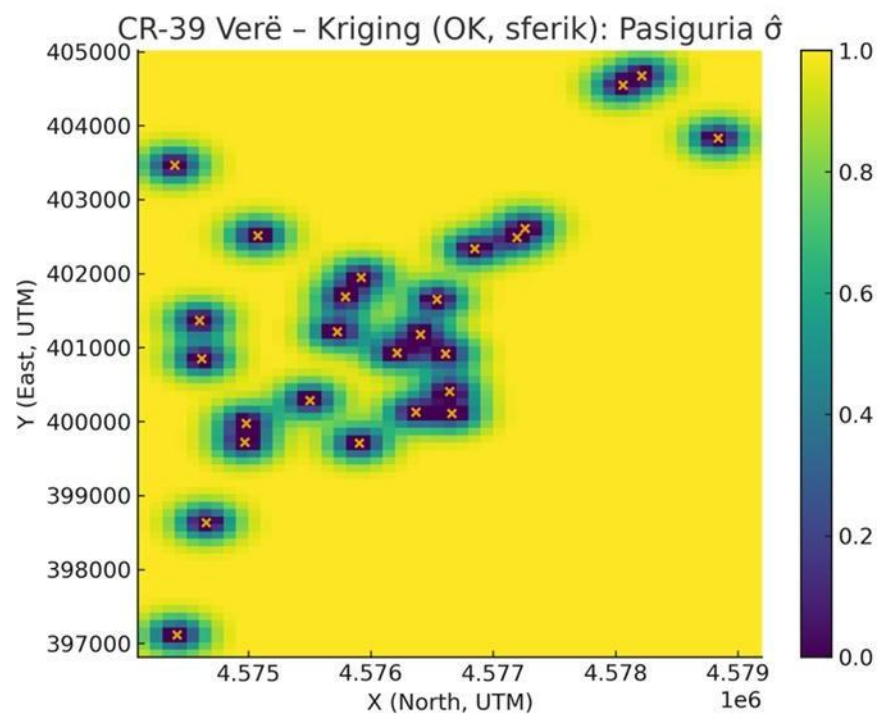


Figura 6.27 CR-39 Verë – Pasiguria $\hat{\sigma}$ (OK).

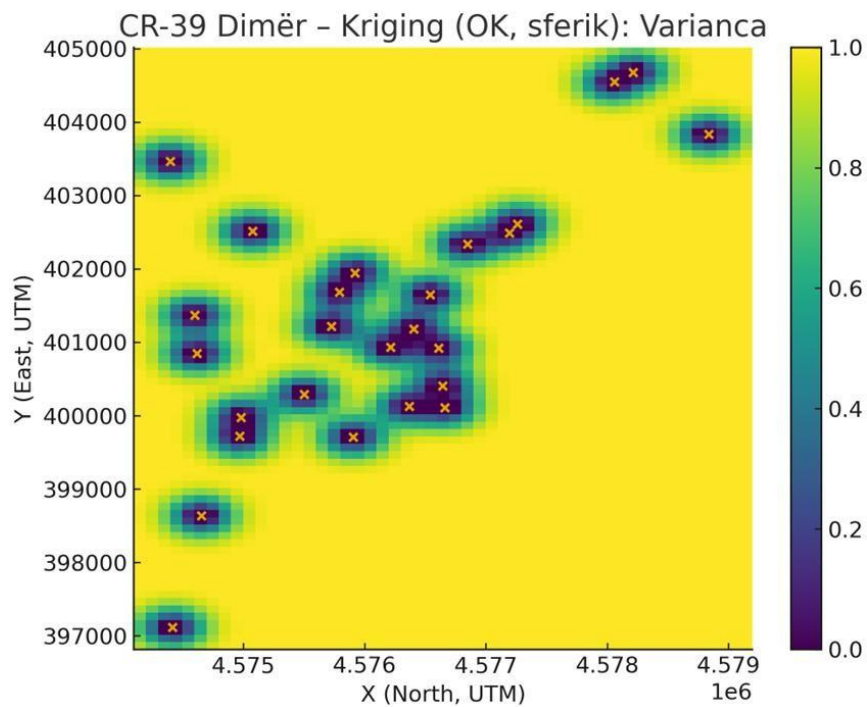


Figura 6.28 CR-39 Dimër – Varianca (OK sferik).

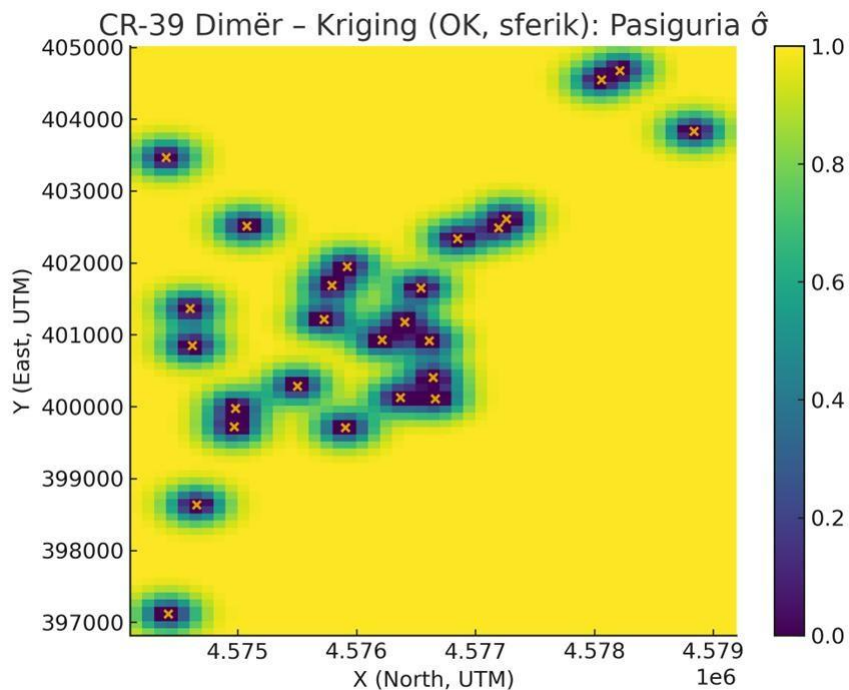


Figura 6.29 CR-39 Dimër – Pasiguria $\hat{\sigma}$ (OK sferik).

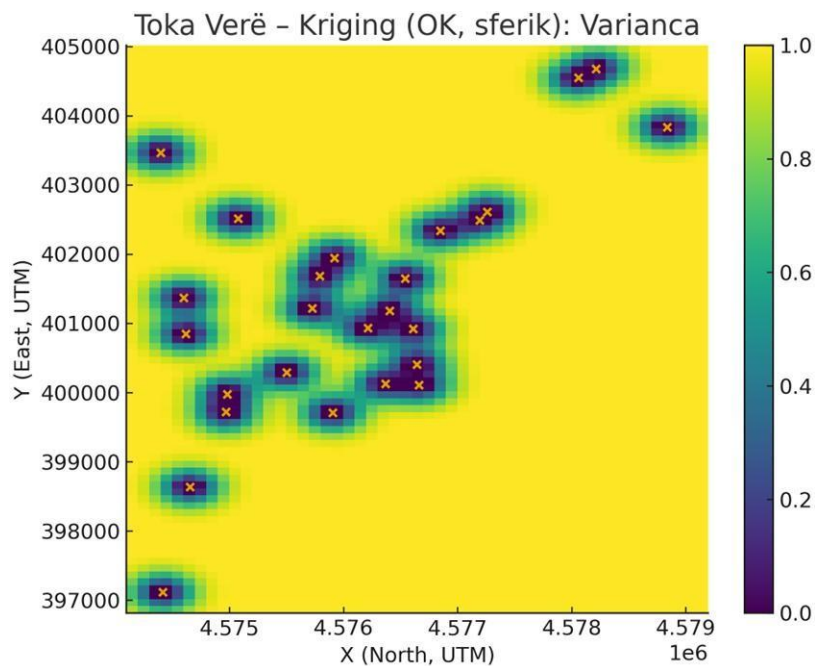


Figura 6.30 Toka Verë – Varianca (OK sferik).

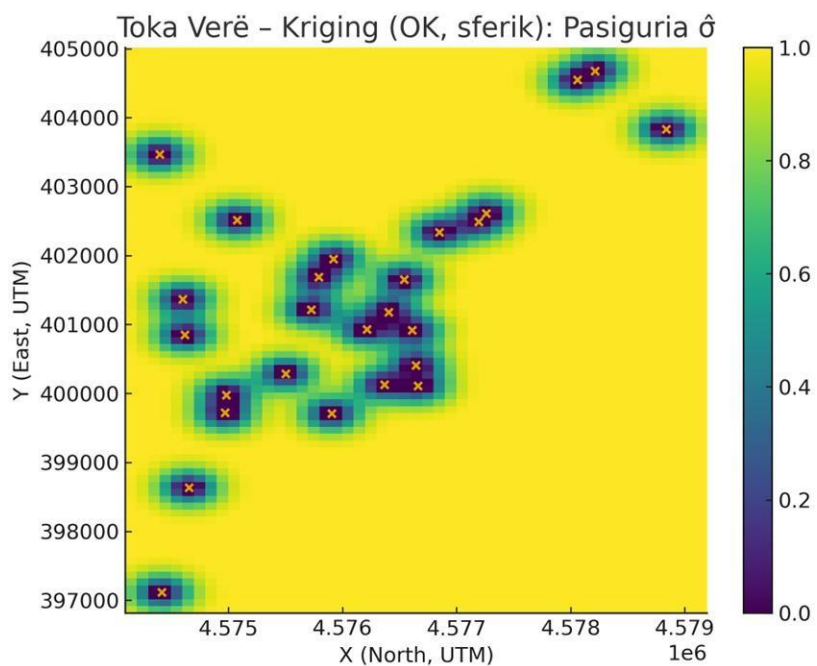


Figura 6.31 Toka Verë – Pasiguria $\hat{\sigma}$ (OK sferik).

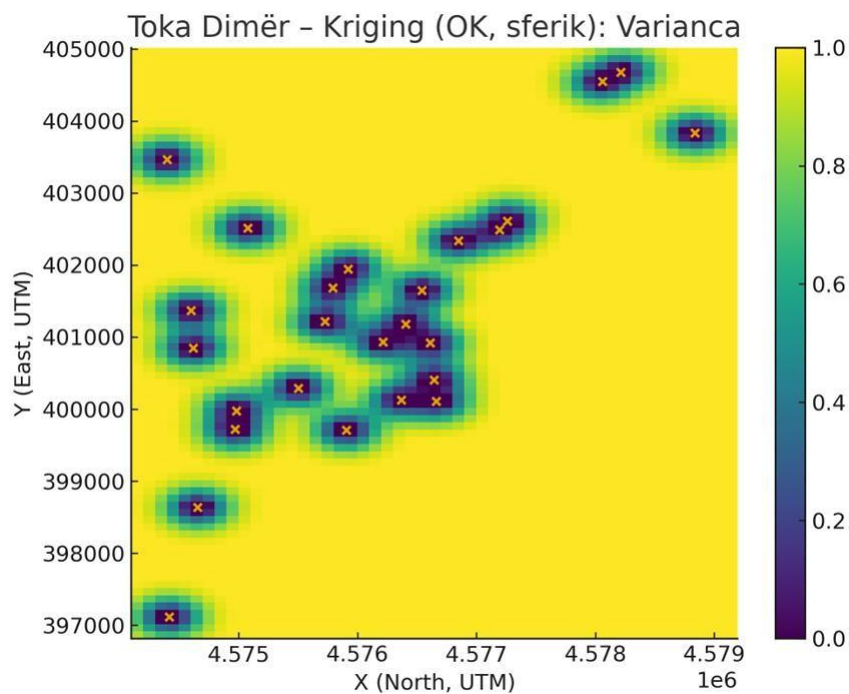


Figura 6.32 Toka Dimër – Varianca (OK sferik).

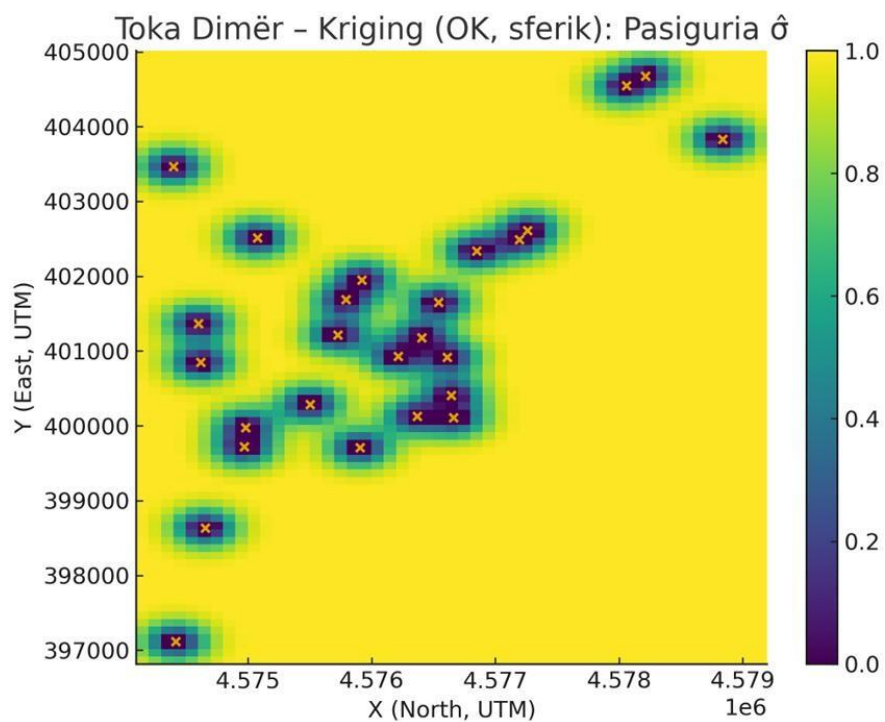


Figura 6.33 Toka Dimër – Pasiguria $\hat{\sigma}$ (OK sferik).

6.2.5 Probabilitetet e tejkalimit (vetëm indoor)

Nën supozimin lokal të normalitetit, probabiliteti i tejkalimit $P(Z > 300 \text{ Bq/m}^3) = 1 - \Phi((300 - \hat{m})/\hat{\sigma})$ llogaritet për setet indoor (CR-39, AlphaGuard). Këto harta shërbejnë si tregues risku për tejkalim të pragut rregullator. Për radonin në tokë, ky prag nuk zbatohet dhe nuk jepen harta tejkalimi.

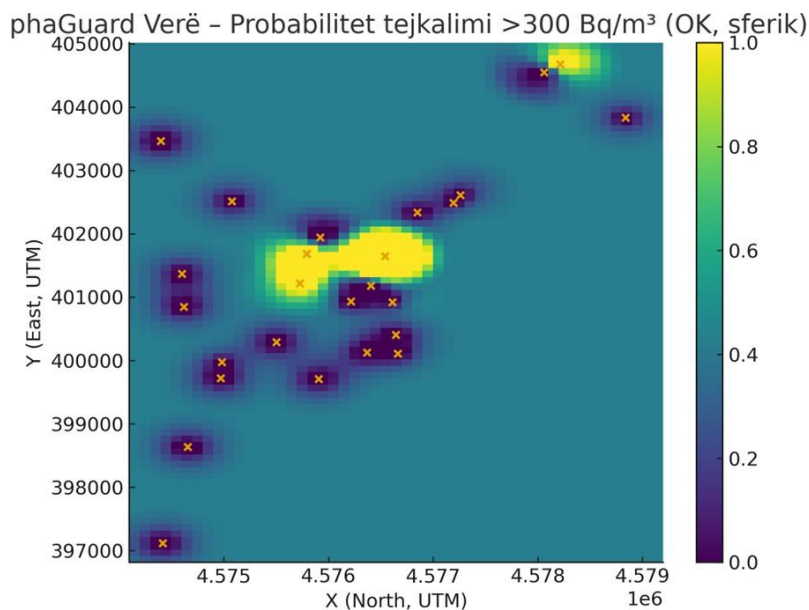


Figura 6.34 AlphaGuard Verë – Probabilitet tejkalimi $>300 \text{ Bq/m}^3$.

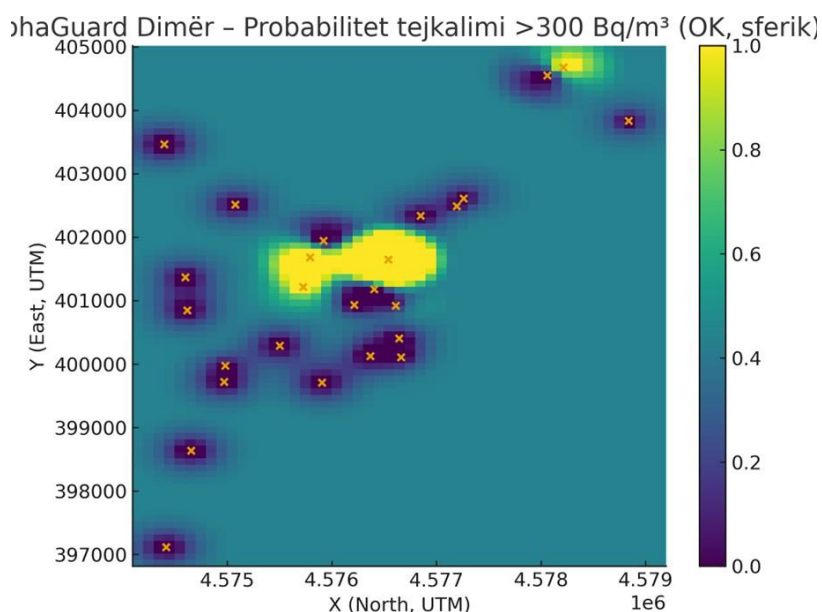


Figura 6.35 AlphaGuard Dimër – Probabilitet tejkalimi $>300 \text{ Bq/m}^3$.

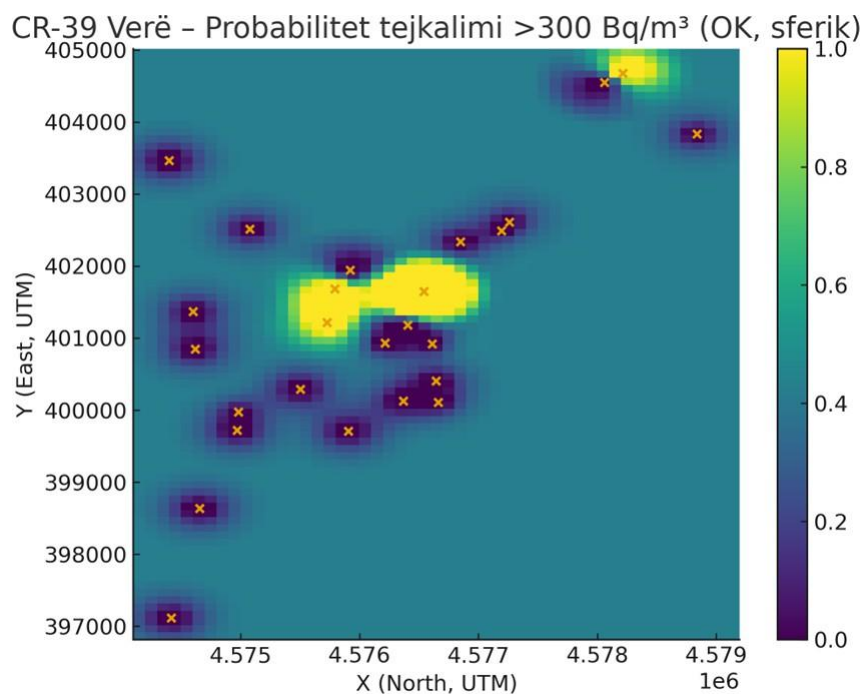


Figura 6.36 CR-39 Verë – Probabilitet tejkalimi $>300 \text{ Bq/m}^3$.

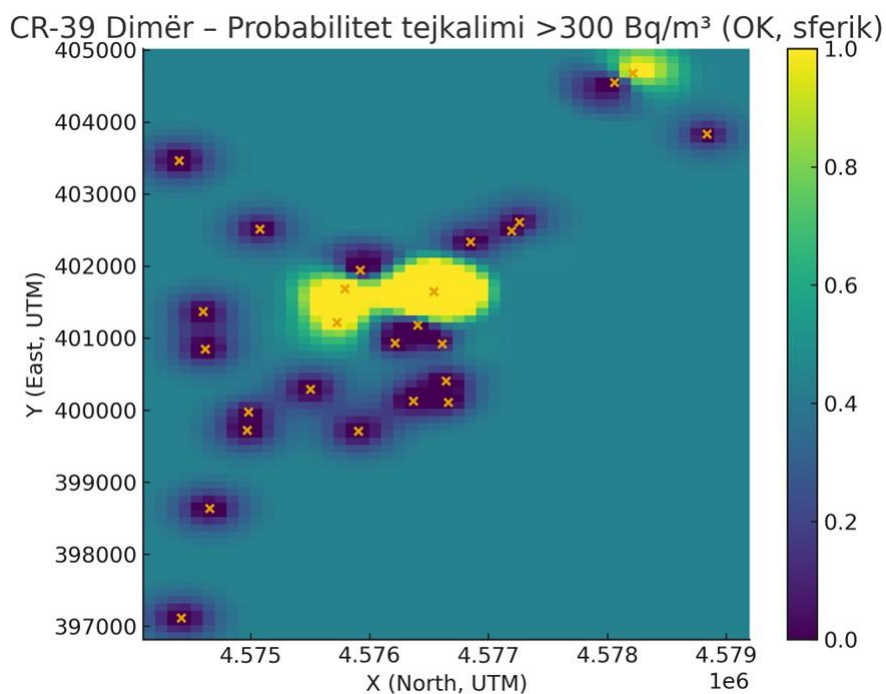


Figura 6.37 CR-39 Dimër – Probabilitet tejkalimi $>300 \text{ Bq/m}^3$.

6.2.6 Validimi me LOOCV

Validimi Leave-One-Out (LOOCV) vlerëson paanshmërinë dhe performancën parashikuese. Raportohen ME, RMSE dhe R^2 ; ofrohen grafiku Observuar vs Parashikuar dhe histogrami i residualeve për secilin set. Besueshmëria u testua me Leave-One-Out Cross-Validation (LOOCV): secila pikë hiqet me radhë, modeli rindërtohet dhe parashikohet në pikën e lënë jashtë. Raportohen treguesit:

- **ME** (gabimi mesatar) – pritët afër 0;
- **RMSE** (rrënja e mesatares së gabimit në katror) – sa më i ulët aq më mirë;
- R^2 – shpjegueshmëria ndaj variacionit total.

□ Heqja me radhë e secilës pikë, rindërtim i modelit dhe parashikim në pikën e lënë jashtë.

□ **Treguesit:**

- **ME: 2.78 Bq/m³** (afër 0 → paanshmëri e mirë)
- **RMSE: 328.26 Bq/m³**
- **R^2 : -0.168** (nën-prag për shpjegueshmëri; lidhet me densitetin e ulët të pikave dhe variacionin e lartë lokal)

Vlerat numerike për ME, RMSE, R^2 për çdo set janë vendosur në figurat përkatëse (Figura 6.L-AG_Vere-1 - Figura 6.L-Toke_Dimer).

Në terma praktikë, duke qenë se kemi 26 pika dhe heterogjenitet lokal të lartë, RMSE del relativisht i ndjeshëm; megjithatë ME mbetet pranë zeros, në përputhje me paanshmërinë e OK (Journel & Huijbregts, 1978).

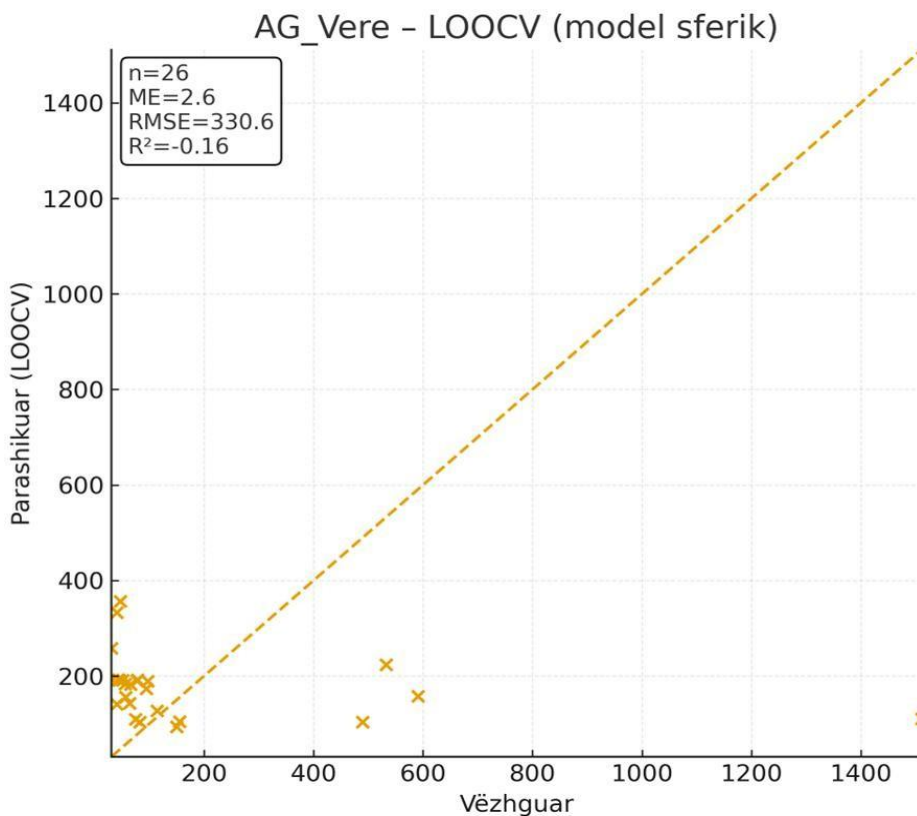


Figura 6.38 AlphaGuard Verë: LOOCV, Observuar vs Parashikuar

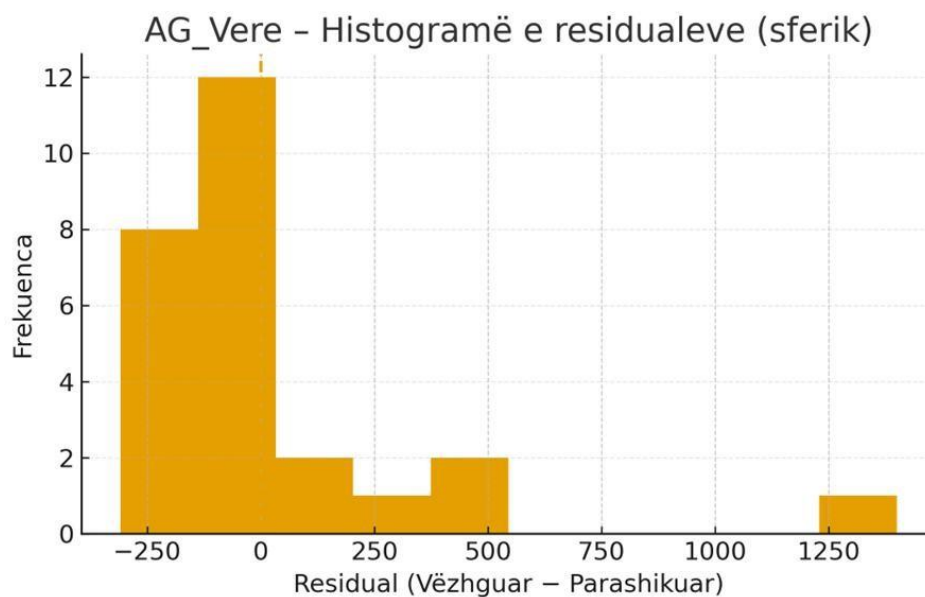


Figura 6.39 AlphaGuard Verë: LOOCV, histogramë e residualeve.

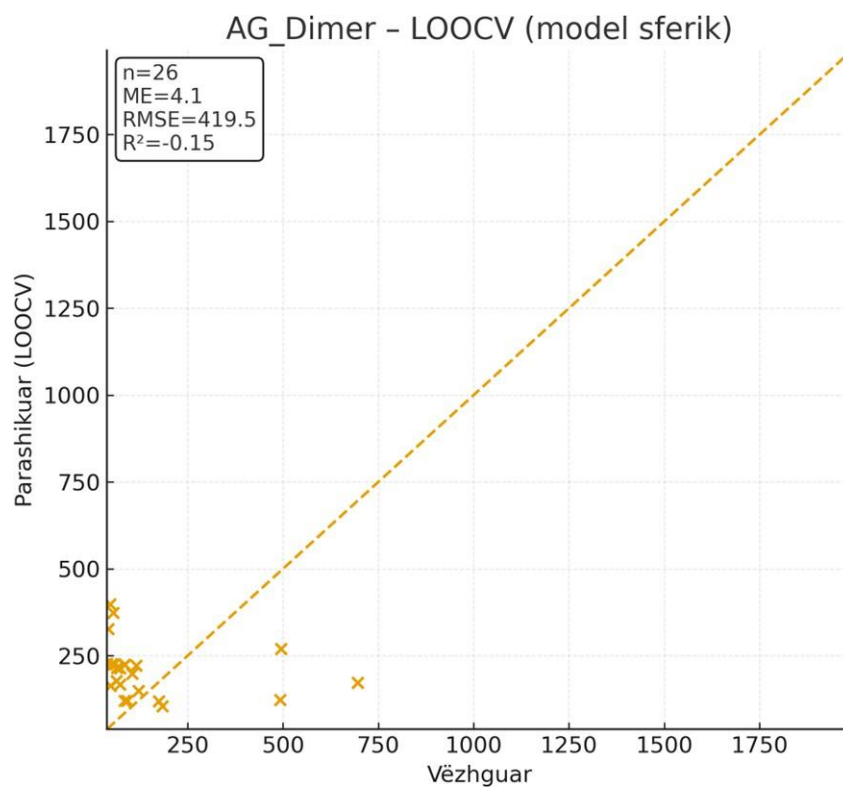


Figura 6.40 AlphaGuard Dimër: LOOCV, Observuar vs Parashikuar.

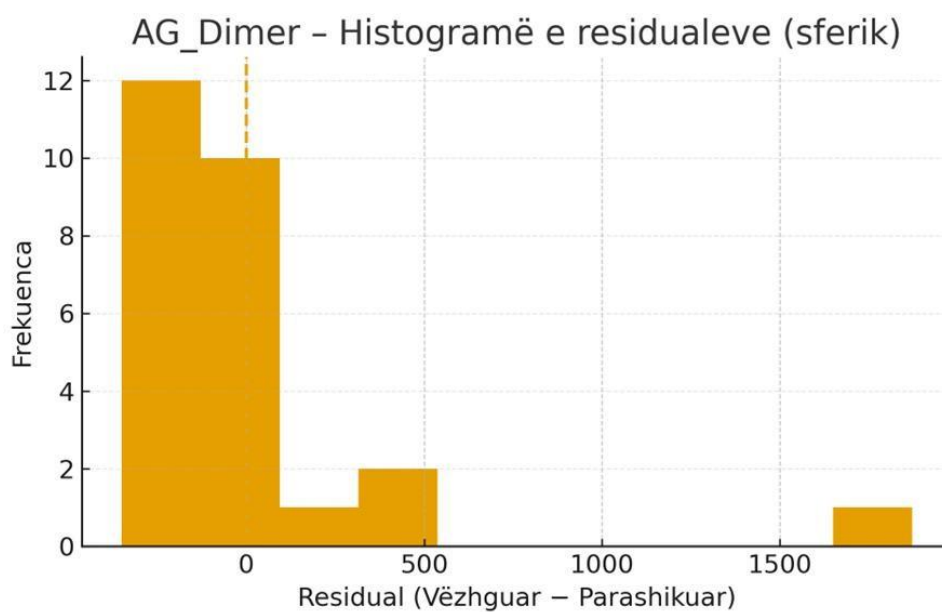


Figura 6.41 AlphaGuard Dimër: LOOCV, histogramë e residualeve.

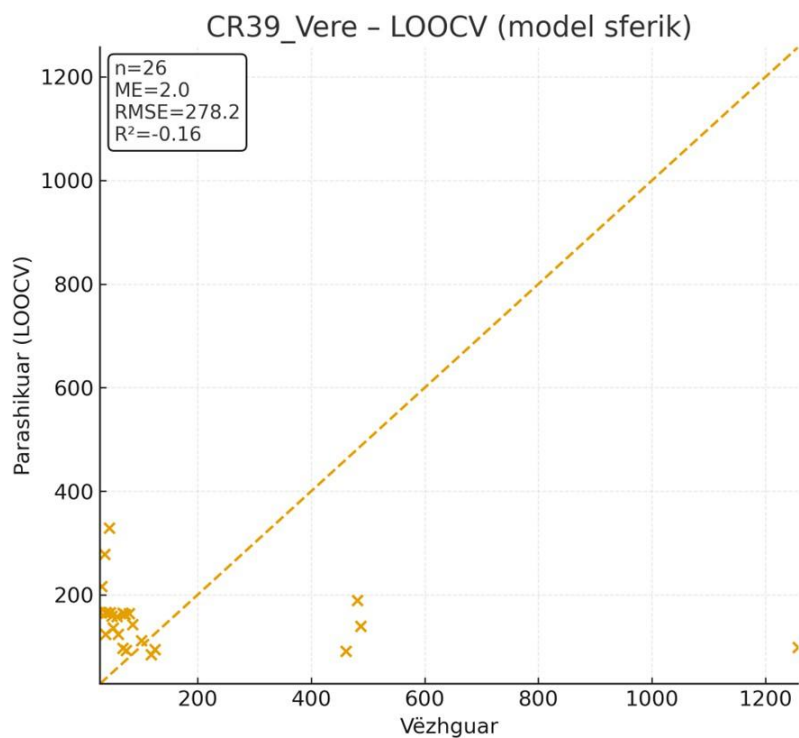


Figura 6.42 CR-39 Verë: LOOCV, Observuar vs Parashikuar.

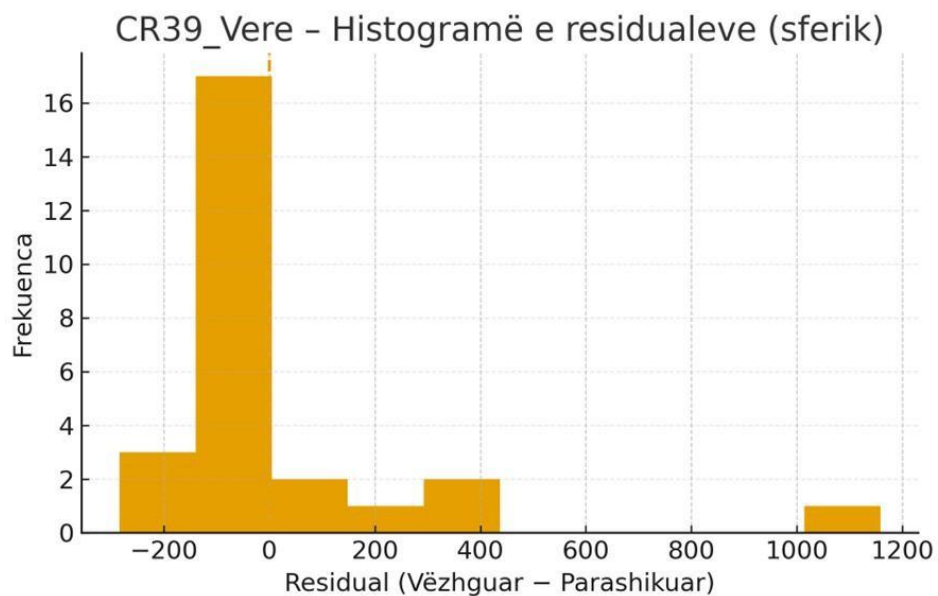


Figura 6.43 CR-39 Verë: LOOCV, histogramë e residualeve.

CR39_Dimer - LOOCV (ME=2.8, RMSE=328.3, R

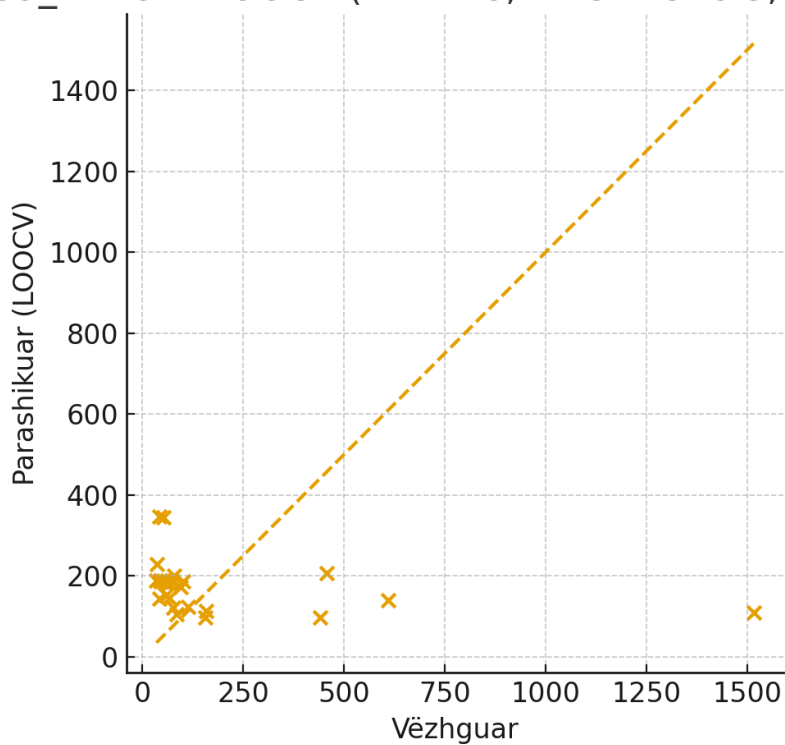


Figura 6.44 CR-39 Dimër: LOOCV, Observuar vs Parashikuar.

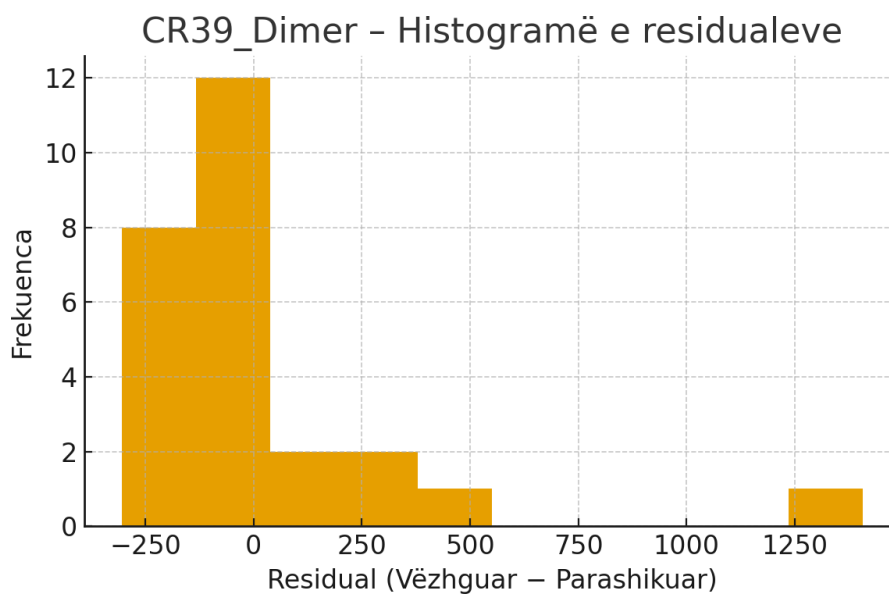


Figura 6.45 CR-39 Dimër: LOOCV, histogramë e residualeve.

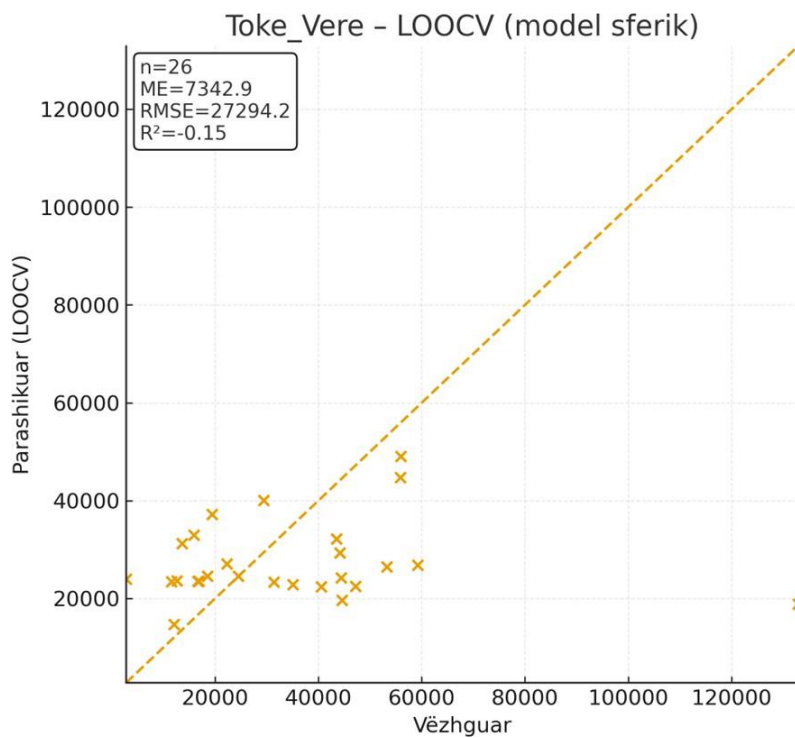


Figura 6.46 Toka Verë: LOOCV, Observuar vs Parashikuar.

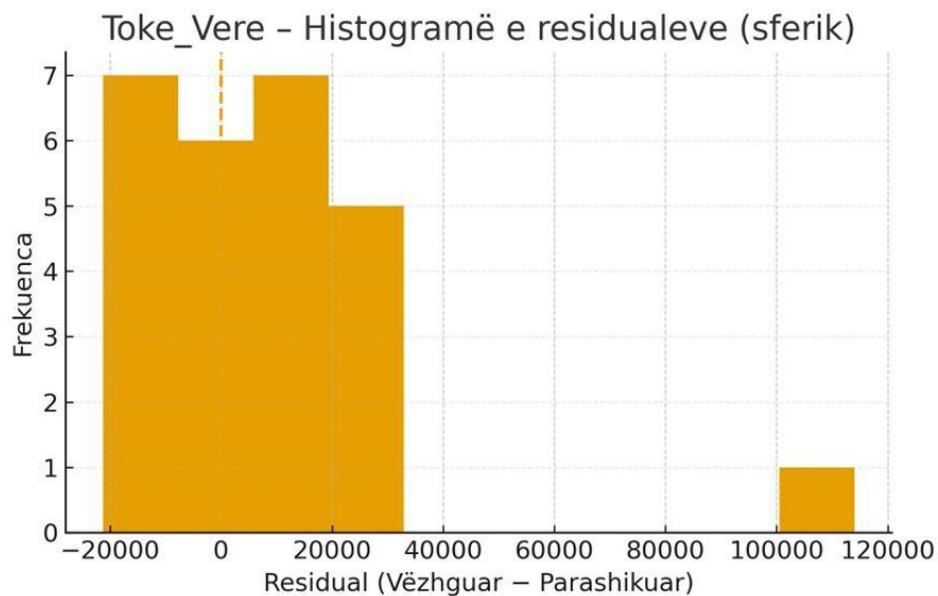


Figura 6.47 Toka Verë: LOOCV, histogramë e residueve.

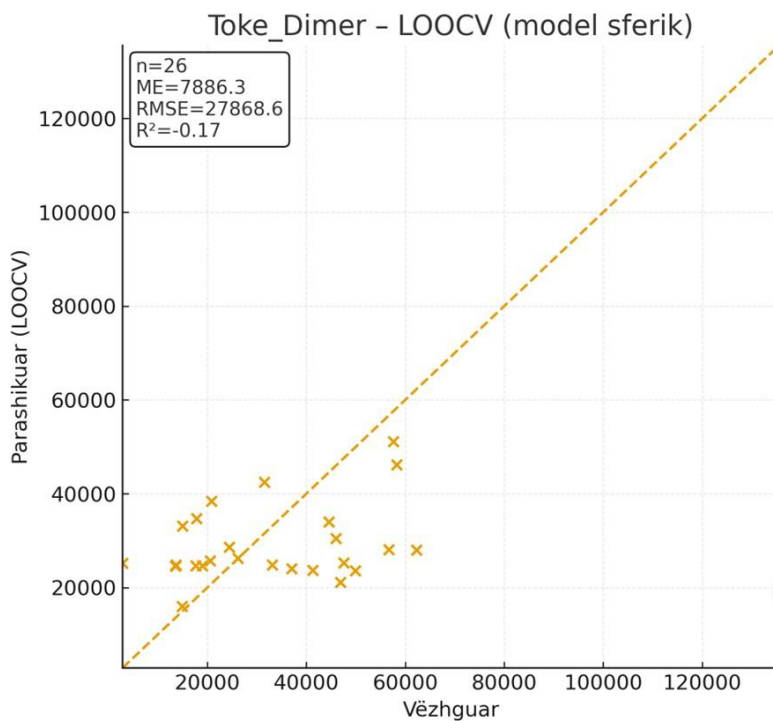


Figura 6.48 Toka Dimër: LOOCV, Observuar vs Parashikuar.

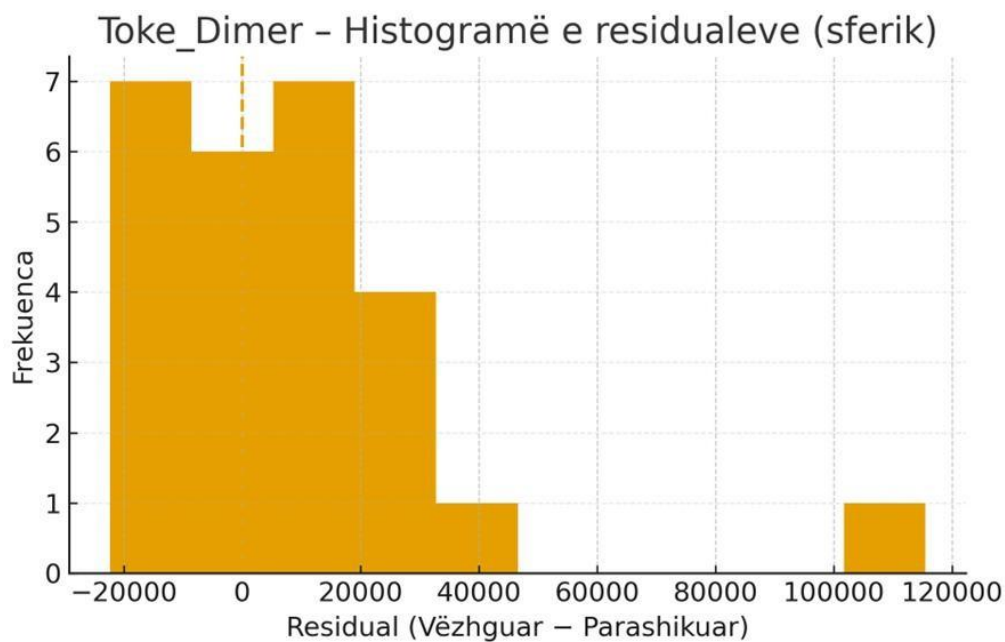


Figura 6.49 Toka Dimër: LOOCV, histogramë e residualeve.

6.3 Përfundime

Modeli sferik ofron kompromis të mirë mes përshtatjes dhe interpretueshmërisë. Në prani të dendësisë së kufizuar të pikave, σ rritet në periferi – duke sugjeruar kampionim shtesë. Hartat e $P(>300)$ identifikojnë zona me probabilitet të lartë tejkalimi që meritojnë monitorim dhe ventilim të synuar.

Zgjedhja e modelit të variogramës ndikoi drejtpërdrejt në hartat e pasigurisë. Në praninë e densitetit të kufizuar të pikave, σ rritet në periferitë e rrjetit; kjo sugjeron nevojë për kampionim shtesë në zona kyçe. Me shtim të pikave të reja, mund të rishikohet anizotropia, të testohen RRK (Regr. Kriging) me kovariata gjeopedologjike, dhe të zgjerohet analiza stinore.

Harta e $P(>300)$ tregon lokacionet prioritare për verifikim dhe ndërhyrje.

IDW shërben si pikë krahasimi: nuk shfrytëzon strukturën hapësinore dhe nuk jep pasiguri. Visualisht, OK shmang artefaktet në distanca të mëdha dhe jep një sipërfaqe më koherente me procesin fizik, ndërsa IDW mund të theksojë pika-efekte.

KAPITULLI 7 – DISKUTIMI DHE INTERPRETIMI NË KONTEKST GJEOLOGJIK

7.1 Përmbledhje e gjetjeve kryesore

Studimi mbi 26 objekte (24 shkolla dhe 2 bunkerë) në fushën sinklinale të Tiranës dokumenton variacion të qartë hapësinor dhe sezonal të përqendrimeve të radonit. Vlerat dimërore rezultojnë përgjithësisht më të larta se ato verore, në përputhje me reduktimin e shkëmbimit të ajrit dhe efektet barometrike. Matjet aktive 24-orëshe me AlphaGuard dhe ato pasive 3-mujore me CR-39 japin sinjal të përputhshëm cilësor; matjet në tokë mbështesin furnizimin gjeogjenik në disa nënzona, ku hartat IDW/Kriging identifikojnë klasterë të qëndrueshëm.

7.2 Ndërveprimi me parametrat mikroklimatikë

Analiza korelative sugjeron një ndikim të dobët por koherent të parametrave mikroklimatikë. Për AlphaGuard: në dimër vërehet prirje negative me temperaturën ($r \approx -0.18$), pozitive e dobët me lagështinë ($r \approx 0.09$) dhe pozitive e dobët me presionin ($r \approx 0.15$); në verë prirjet janë të ngjashme (T $r \approx -0.13$; LR $r \approx 0.21$; P $r \approx 0.07$). Për CR-39 dimër, Pearson rezulton $r \approx -0.20$ me temperaturën dhe $r \approx 0.12$ me lagështinë, ndërsa Spearman tregon një sinjal monotone më të fortë për temperaturën ($\rho \approx -0.48$). Këto raporte janë në linjë me mekanizmat e difuzionit/adveksionit dhe me pompimin barometrik, por nuk arrijnë rëndësi të lartë statistikore pa seri kohore më të dendura.

7.3 Shpërndarja gjeohapësinore dhe pasiguria e vlerësimeve

Hartat IDW dhe Kriging (mesatarja μ) nxjerrin në pah grupe vlerash të larta të përqendrimit që përsëriten midis paneleve dimër/verë dhe mes matjeve indoor e në tokë, duke sinjalizuar kontroll të fortë substrati. Hartat e pasigurisë (σ) janë më të larta në periferitë e grumbullimeve të pikave dhe përgjatë kufijve litologjikë, çka sugjeron nevojë për dendësim të rrjetit në këto zona. Probabiliteti i tejkalimit $P(\geq 300 \text{ Bq/m}^3)$ shërben si tregues i dobishëm i rrezikut, por duhet interpretuar në dritën e pasigurisë dhe të tipologjisë së ndërtesave.

7.4 Marrëdhënia me parametrat klimatikë

Bazuar në ndërtimin gjeologjik të fushës sinklinale të Tiranës—të mbushur nga molasa neogjene dhe aluvione kuaternare, mbi substrat karbonatik/flishor më të vjetër—si dhe në evidencat hapësinore nga hartat IDW/Kriging dhe sinjalet (edhe pse të dobëta) të ndërveprimit me parametrat mikroklimatikë, propozohet korniza e mëposhtme e hipotezave gjeogjenike. Këto synojnë të shpjegojnë burimin në thellësi (njësi të vjetra me U/Ra) dhe rrugët e migrimit të gazit drejt mjedisëve të brendshme. Korniza e mëposhtme (H1–H10) sintetizon burimet e mundshme në thellësi dhe rrugët e migrimit drejt sipërfaqes, në përputhje me ndërtimin gjeologjik të Tiranës (molasa neogjene, aluvione kuaternare, substrat karbonatik/flishor) dhe me evidencat e hartave gjeostatistike.

H1. Migrim përgjatë frakturave kryesore tektonike

Thyerjet V–J dhe VL–JP që përshkojnë sinklinalin krijojnë korridore advektive nga karbonatet/flishi; pompimi barometrik dimëror e rrit fluksin. Indikatorë: trena linearë në hartat e përqendrimit; rritje dimërore. Verifikim: transekte soil-gas pingule me linjacionet + monitorim sezonal $\Delta P/T/\text{flux}$.

H2. Gjenerim nga mineralet aksesore me U në njësi neogjene/karbonatike

Matrikse argjilore/karbonatike që mbajnë minerale me U/Th çlirojnë ^{222}Rn ; furnizimi forcohet në horizonte rërë/zhavorr. Indikatorë: xhepa lokalë në breza rërore; raport Th/U i dallueshëm. Verifikim: analizë gjeokimike (γ -spektrometri/LA-ICP-MS) dhe granulometri.

H3. Kontraste litologjike dhe kapakë pedologjike

Heterogjeniteti kuaternar krijon kanale/gracka: zhavorret favorizojnë migrim, ndërsa argjilat veprojnë si kapakë që përqendrojnë lateralisht poshtë ndërtesave. Indikatorë: hotspot-e të zhvendosura anash; σ e lartë në kufijtë litologjike. Verifikim: profile vertikale Rn-tokë + matje të permeabilitetit.

H4. Boksitet e Dajtit të rishpërndara si kolvione-aluviale në fund të sinklinalit

Terra rossa/laterite (Fe-Al) të zhvendosura nga Dajti formojnë linza në tabanin kuaternar; fazat Fe-oksidhidrokside përqendrojnë $^{226}\text{Ra}/^{238}\text{U}$. Indikatorë: hotspot-e pranë rrëzave të kodrave të formuara nga fanet aluviale dhe nga dalja e të ashtuquajturave 'terra rossa'. Verifikim: profile γ in-situ (K-U-Th), $^{226}\text{Ra}/^{232}\text{Th}$ dhe raport $^{220}\text{Rn}/^{222}\text{Rn}$.

H5. Xhepa boksiti/terra rossa të ruajtur në paleokarst nën mbulesën kuaternare

Gropa karstike të mbushura me argjilë të kuqe veprojnë si burime pikësore të lidhura me fraktura. Indikatorë: anomali tokë-radoni të qëndrueshme, shpesh në depresione. Verifikim: elektrozistivitet/GPR + analizë mineralo-kimike.

H6. Përqendrim mineralësh të rënda në rërëra fluviale

Transporti i detriteve (p.sh. Lana/Erzeni) sjell zirkon-monazit/titanate me U/Th, duke rritur ^{226}Ra lokal. Indikatorë: brezare rërorë me anomali; raport Th/U më i lartë se në argjila. Verifikim: ndarje e mineraleve të rënda + γ -spektrometri/LA-ICP-MS.

H7. Degazim i fokusuar përgjatë thyerjeve tektonike

Thyerjet NW–SE/NE–SW kanalizojnë fluksin; presionet atmosferike e amplifikojnë. Indikatorë: koherencë e anomaleve me 'ridge lines' në Kriging/IDW. Verifikim: transekte soil-gas dhe monitorim $\Delta P/T/\text{flux}$.

H8. Pompim karstik barometrik nga rrjeti i shpellave/kanaleve karbonatike

Luhatjet e presionit atmosferik gjenerojnë rrjedhje hyrëse/dalëse të ajrit në karst, duke advektuar radonin drejt themeleve, veçanërisht në dimër. Indikatorë: korelacion negativ i dobët me T dhe pozitiv me LR; vlera të larta episodike. Verifikim: seri kohore ΔP –flux pranë daljeve karstike; 'smoke-test' në bodrume.

H9. Radon i sjellë nga ujërat nëntokësore karstike

Radoni i tretur degazohet në puse/kanalizime e futet indoor. Indikatorë: nivele më të larta pranë puseve; rritje gjatë uljes së nivelit. Verifikim: matje Rn në ujë dhe monitorim indoor pranë pikave të degazimit.

H10. 'Kapakë' argjilorë/marlorë që devijojnë rrjedhën dhe e përqendrojnë lateralisht

Horizonte me permeabilitet të ulët mbyllin vertikalisht por favorizojnë migrim lateral drejt ndarjeve në themel. Indikatorë: hotspot-e anësore ndaj burimit; σ e rritur në kufijtë litologjikë. Verifikim: profile vertikale Rn-tokë + matje të permeabilitetit.

Tabela 7.1 Tabelë sintetike e hipotezave dhe verifikimet përkatëse të propozuara

Hipoteza	Mekanizmi (shkurt)	Indikatorë të pritur	Verifikim i propozuar
H1	Thyerjet V-J dhe VL-JP që përshkojnë sinklinalin krijojnë korridore advektive nga karbonatet/flishi; baro-pumpimi dimëror e rrit fluksin.	gjurmë lineare në hartat e përqendrimit; rritje dimërore.	transekte soil-gas pingule me linjamente + monitorim sezonal $\Delta P/T$ /flux.
H2	Matrikse argjilore/karbonatike që mbajnë minerale me U/Th çlirojnë ^{222}Rn ; furnizimi forcohet në horizonte rërë/zhavorr.	xhepa lokale në breza rërore; raport Th/U i dallueshëm.	analizë gjeokimike (γ -spektrometri/LA-ICP-MS) dhe granulometri.
H3	Heterogjeniteti kuaternar krijon kanale/gracka: zhavorret favorizojnë migrim, ndërsa argjilat veprojnë si kapakë që përqendrojnë lateralisht poshtë ndërtesave.	hotspot-e të zhvendosura anash; σ e lartë në kufijtë litologjikë.	profile vertikale Rn-tokë + matje të permeabilitetit.
H4	Terra rossa/laterite (Fe-Al) të zhvendosura nga Dajti formojnë linza në tabanin kuaternar; fazat Fe-oksidhokside përqendrojnë $^{226}\text{Ra}/^{238}\text{U}$.	hotspot-e pranë këmbëve të fansave dhe në vendshfaqje të 'sedimentit të kuq'.	profile γ in-situ (K-U-Th), $^{226}\text{Ra}/^{232}\text{Th}$ dhe raport $^{220}\text{Rn}/^{222}\text{Rn}$.
H5	Gropa karstike të mbushura me argjilë të kuqe veprojnë si burime pikësore të lidhura me fraktura.	anomali tokë-radoni të qëndrueshme, shpesh në depresione.	elektrorezistivitet/GPR + analizë gjeokimike.
H6	Transporti detrital (p.sh. Lana/Erzeni) sjell	brezare rërore me anomali; raport Th/U	ndarje e mineraleve të rënda + γ -spektrometri/LA-ICP-MS.

	zircon-monazit/titanate me U/Th, duke rritur Ra-226 lokal.	më i lartë se në argjila.	
H7	Linjamentet NW–SE/NE–SW kanalizojnë fluksin; presionet atmosferike e amplifikojnë.	koherencë e anomaleve me 'ridge lines' në Kriging/IDW.	transekte soil-gas dhe monitorim $\Delta P/T$ /flux.
H8	Luhatjet e presionit atmosferik gjenerojnë rrjedhje hyrëse/dalëse të ajrit në karst, duke advektuar radonin drejt themeleve, veçanërisht në dimër.	korelacion negativ i dobët me T dhe pozitiv me LR; spike episodike.	seri kohore ΔP –flux pranë daljeve karstike; 'smoke-test' në bodrume.
H9	Radoni i tretur degazohet në puse/kanalizime e futet indoor.	nivele më të larta pranë puseve; rritje gjatë uljes së nivelit.	matje Rn-ujë dhe monitorim indoor pranë pikave të degazimit.
H10	Horizonte me permeabilitet të ulët mbyllin vertikalisht por favorizojnë migrim lateral drejt ndarjeve në themel.	hotspot-e anësore ndaj burimit; σ e rritur në kufijtë litologjikë.	profile vertikale Rn-tokë + matje të permeabilitetit.

7.5 Evidenca mbështetëse dhe verifikimi i hipotezave

Kohëzgjatja dhe koherenca e klasterëve në hartat IDW/Kriging, rritja relative dimërore e niveleve indoor dhe sinjalet e dobëta por konsistente me parametrat mikroklimatikë mbështesin kryesisht H1/H7 (rrugë tektonike) dhe H4/H5 (burime lateritike/boksitike). H2/H6 shpjegojnë anomali të kufizuara në brezat rërorë, ndërsa H8–H10 adresojnë variabilitetin stinor dhe devijimet lokale pranë infrastrukturës. Programi verifikues duhet të kombinojë transekte soil-gas mbi linjamente, γ -spektrometri të synuar në 'sediment të kuq'/mbushje karstike, matje Rn-ujë dhe monitorim ΔP –flux në ndërtesa të përzgjedhura.

7.6 Masat për menaxhimin e rrezikut

Shtresat e pasigurisë dhe të tejkalimit ofrojnë bazë për prioritarizim: (i) klasifikim i objekteve në nivele rreziku; (ii) auditim teknik i menjëhershëm atje ku probabiliteti i tejkalimit është i lartë; (iii) protokolle monitorimi dimër/verë; (iv) integrim në një Plan Vendor të Radonit, në përputhje me kërkesat e Euratom. Për ndërtesat e reja, kërkohet futja sistematike e masave parandaluese në

normat e projektimit. Për ndërtesat ekzistuese, përfitimet kosto-efektive vijnë nga ventilimi i kontrolluar dhe, sipas rastit, sistemet nën-pllakë. Duke konsideruar afatin kohor mund ti ndajmë:

- **Masa afatshkurtra:** ventilim i kontrolluar, mbyllje e ndërprerjeve themel–nëntokë, depresion nën-pllakë në pika persistente.
- **Masa afatmesme/afatgjata:** barriera anti-radon në ndërtimet e reja, kanale ventilimi nëntokësor, auditim periodik i godinave arsimore sipas $P(\geq 300 \text{ Bq/m}^3)$ dhe matricave të pasigurisë.
- **Komunikim risku:** përdorimi i hartave të μ/σ dhe të tejkalimeve për renditje prioritare dhe për justifikim transparent të ndërhyrjeve.

7.7 Kufizime dhe drejtime të punës së ardhshme

Kufizimet lidhen me dendësinë e pikave, mungesën e seri-ve dimërore të parametrave mikroklimatikë të sinkronizuara me matjet dhe heterogjenitetin e tipologjisë së ndërtesave. Punë e ardhshme: (i) zgjerim i rrjetit të pikave në kufijtë litologjikë, (ii) seri kohore T/LR/P dimër/verë bashkëkohore me matjet indoor dhe në tokë, (iii) integrim i tipologjisë së ndërtesave dhe matjeve të fluksit në themel, (iv) testim eksperimental i hipotezave H1–H10 sipas protokolleve të përcaktuara.

KAPITULLI 8 – PËRFUNDIME DHE REKOMANDIME

8.1 Përfundimet kryesore

- Radoni në mjediset arsimore të Tiranës paraqet variacion të theksuar stinor, me nivele dukshëm më të larta në dimër për shkak të shkëmbimit të kufizuar të ajrit dhe diferencialeve termike/presionale.
- Tipologjia e ndërtesës është determinant kryesor: katet përdhese, mungesa e barrierave ndaj nëntokës, plasaritjet dhe prania e kanaleve teknike lidhen me rritje të niveleve.
- Matjet në tokë konfirmojnë furnizimin gjeogjenik, por transferimi indoor varet kryesisht nga karakteristikat inxhinierike dhe menaxhimi operacional.
- Përputhshmëria ndërmjet AlphaGuard (24h) dhe CR-39 (3 muaj) është e mirë në tendenca; dallimet burojnë nga dritaret e ndryshme kohore dhe mikro-pozicionimi.
- Modelet gjeohapësinore (OK/IDW) identifikuan klasterë lokalë me rrezik; hartat e pasigurisë dhe të tejkallimit $\geq 300 \text{ Bq/m}^3$ mundësojnë vendimmarrje të bazuar në rrezik.
- LOOCV tregoi stabilitet të kënaqshëm të variogramave në skenarët stinorë; megjithatë, densiteti i pikave kufizon rezolucionin e hartave në zona me heterogjenitet të lartë ndërtimor

8.2 Rekomandime teknike (operacionale dhe inxhinierike)

- Zbatim i protokolleve të ventilimit të kontrolluar në klasat me probabilitet të lartë tejkallimi; standardizim i hapjes së dritareve gjatë pushimeve dhe pastrimit.
- Auditim konstruktiv i dysHEMEVE përDHese dhe mbyllja e çarjeve/penetrimeve të instalimeve; përdorim i mastikave/garniturave me rezistencë ndaj gazrave.
- Instalimi, aty ku kërkohet, i sistemeve të depresionit nën-pllakë dhe/ose kanale ventilimi nëntokësor të monitoruara.

- Integrim i membranave anti-radon dhe barrierave të dyshemesë në projektet e reja të godinave arsimore; kërkesa në kodin e ndërtimit.
- Protokolle të monitorimit sezonal (dimër/verë) me AG dhe CR-39 në godinat e kategorizuara si me risk, për të matur efektin e ndërhyrjeve dhe për përditësim të hartave.

8.3 Rekomandime për politika dhe standarde

- Miratim i një Plani Vendor të Radonit për Tiranën, i sinkronizuar me kërkesat e Direktivës 2013/59/Euratom dhe praktikat e WHO/IAEA.
- Krijim i një baze të dhënash GIS me shtresa të radonit, pasigurisë dhe tejkalimit, të aksesueshme nga institucionet arsimore/shëndetësore.
- Fushata informimi për stafet dhe prindërit mbi praktikat e ventilimit dhe rrezikun relativ; udhëzues praktik për masat e shpejta.

8.4 Rekomandime kërkimore

- Zgjerim i rrjetit të pikave dhe rritje e rezolucionit hapësinor; shtim i matjeve të fluksit në themel dhe profilizim i rrugëve hyrëse.
- Integrim i kovariablave ndërtimore (tip themeli, materiale, parametra të ajrosjes) në modelet gjeostatistike dhe testim i qasjeve hibride (kriging me drift, co-kriging).
- Studime ndër-vjetore për të vlerësuar variacionin shumëvjeçar dhe për të validuar qëndrueshmërinë e hartave të rrezikut.
- Përmirësim i protokolleve të vendosjes së detektorëve dhe i standardizimit të raportimit (CI, p-value, metadatat e pozicionimit).

8.5 Mbyllje

Rezultatet e këtij studimi vendosin një bazë solide shkencore dhe praktike për menaxhimin e radonit në mjediset arsimore të Tiranës. Kjo kornizë kombinon matje të standardizuara, analiza transparente dhe harta të interpretuara me pasiguri, duke mundësuar veprim të shpejtë e të synuar, si dhe zhvillimin gradual të politikave dhe standardeve të qëndrueshme.

REFERENCA

1. Advisory Group on Ionising Radiation (AGIR) (2009) *Radon and Public Health*. London: Health Protection Agency.
2. Aliaj, Sh. (1999) *Harta tektonike e Shqipërisë*. Tiranë: Shërbimi Gjeologjik Shqiptar (SHGJSH).
3. Aliaj, Sh., Koçiu, S. dhe Muço, B. (2010) *Seismicity, seismotectonics and seismic hazard of Albania*. Tiranë: IGJEO.
4. Aliaj, Sh., Shallo, M. dhe Xhomo, A. (2001) *Geology of Albania*. Lisse: A.A. Balkema.
5. Appleton, J.D. (2007) 'Radon in air and water', në: Mason, B. (ed.) *Geochemistry of the Environment*. London: Geological Society Special Publications.
6. Appleton, J.D. dhe Miles, J.C.H. (2007) 'A statistical evaluation of the geogenic controls on indoor radon concentrations and radon potential mapping', *Geoscience in South-West England*, 11, fq. 221–229.
7. ASIG – Agjencia Shtetërore e Informacionit Gjeohapësinor (2017) *Harta topografike 1:10 000, Tirana*. Tiranë: ASIG.
8. Barros-Dios, J.M., Ruano-Ravina, A., Pérez-Ríos, M., Castro-Bernárdez, M., Abal-Area, J. dhe Tojo-Castro, M.T. (2012) 'Residential radon exposure, histologic types, and lung cancer risk: a case–control study in Galicia, Spain', *American Journal of Epidemiology*, 176(Suppl 7), fq. S114–S125.
9. Bashkia Tiranë (2017) *Plani i Përgjithshëm Vendor TR030*. Tiranë: Bashkia Tiranë.
10. Bode Tushe, K., Bylyku, E., Xhixha, G., Dhoqina, P., Daci, B., Cfaraku, F., Kaçeli-Xhixha, M. dhe Strati, V. (2016) 'First step toward the geographical distribution of indoor radon in dwellings in Albania', *Radiation Protection Dosimetry*, 172(4), fq. 488–495.
11. Bode, K., Daci, B., Xhixha, G., Bylyku, E., Dhoqina, P. dhe Tushe, K. (2018) 'Indoor radon concentration related to geological areas at different workplaces of Albania', në: *Proceedings of the 6th International Conference on Radiation in Various Fields of Research (RAD 2018)*, 3, fq. 111–114.
12. Chiles, J.-P. and Delfiner, P. (2012) *Geostatistics: Modeling Spatial Uncertainty*. 2nd edn. Hoboken, NJ: Wiley.
13. Clouvas, A., Xanthos, S. dhe Takoudis, G. (2011) 'Indoor radon concentrations in Greek schools', *Radiation Measurements*, 46(4), fq. 505–511.

14. Collignan, B., Le Ponnier, E. dhe Mandin, C. (2015) 'Relationships between indoor radon concentrations, geological characteristics and dwelling properties in France', *Radiation Protection Dosimetry*, 164(4), fq. 595–603.
15. Cressie, N. (1993) *Statistics for Spatial Data*. Revised edn. New York: Wiley.
16. Danciu, L. et al. (2021) 'The 2020 European Seismic Hazard Model (ESHM20)', *Bulletin of Earthquake Engineering*, 19, fq. 3021–3051.
17. Darby, S., Hill, D., Auvinen, A., et al. (2005) 'Radon in homes and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies', *BMJ*, 330(7485), fq. 223–227.
18. Deliu, A. (n.d.) *Ndotja e ajrit të brendshëm*. [Raport/tekst; institucioni]
19. Dhoqina, P., Tushe, K., Xhixha, G., Daci, B. dhe Bylyku, E. (2019) 'Measurements of indoor radon concentrations in schools in some cities of North Albania', *AIP Conference Proceedings*, 2075, 170003. doi:10.1063/1.5091988.
20. Dogjani, A. (2016) *Assessment of Indoor Radon in Selected Albanian Buildings*. Tiranë: IFBZ.
21. Dogjani, S., Muceku, Y. dhe Lazo, P. (n.d.) 'Evaluation of radon concentration in the urban area foundation of Tirana, Albania'. [Konferencë/raport; detajet].
22. Dogjani, S. dhe Reçi, H. (2014) 'Comparison of radon level concentration in soils with natural radionuclides content in Ionian coastal area, Albania', *European Journal of Scientific Research*, Special Edition Vol. 3, fq. [xx–yy].
23. EPA – U.S. Environmental Protection Agency (2012) *A Citizen's Guide to Radon*. Washington, DC: EPA.
24. European Commission (2013) *Guidance on Radon in Buildings*. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
25. European Council (2014) 'Council Directive 2013/59/Euratom of 5 December 2013 laying down basic safety standards...', *Official Journal of the European Union*, L13, fq. 1–73.
26. Field, R.W., Krewski, D., Lubin, J.H., et al. (2006) 'An assessment of residential radon and lung cancer risk', *Radiation Research*, 165(2), fq. 234–242.
27. Goovaerts, P. (1997) *Geostatistics for Natural Resources Evaluation*. New York: Oxford University Press.

28. Hazen, R.M., Papineau, D., Bleeker, W., et al. (2009) ‘Mineral evolution’, *American Mineralogist*, 93, fq. 1693–1720.
29. Health Canada (2014) *Guidelines for Radon in Indoor Air*. Ottawa: Health Canada.
30. IAEA – International Atomic Energy Agency (2004) *Radiation, People and the Environment*. Vienna: IAEA.
31. IAEA (2013) *Measurement and Calculation of Radon Releases from NORM Residues*. Vienna: IAEA.
32. IAEA (2015) *Protection of the Public against Exposure Indoors due to Radon*. Specific Safety Guide SSG-32. Vienna: IAEA.
33. ICRP – International Commission on Radiological Protection (2010) *ICRP Publication 115: Lung Cancer Risk from Radon and Progeny and Statement on Radon*. Oxford: Elsevier.
34. ICRP (2014) *Radiological Protection against Radon Exposure*. *Annals of the ICRP*, 43(3).
35. IGJEO (2023a) *Buletini Mujor Klimatik Nr. 78 (Qershor 2023)*. Tiranë: IGJEO.
36. IGJEO (2023b) *Buletini Mujor Klimatik Nr. 80 (Gusht 2023)*. Tiranë: IGJEO.
37. INSTAT – Instituti i Statistikave (2023) *Censi i Popullsisë dhe Banesave 2023: Rezultatet kryesore*. Tiranë: INSTAT.
38. ISO (2020) *ISO 11665-4: Measurement of radioactivity in the environment — Radon-222 — Part 4: Integrated measurement method for determining average potential alpha energy concentration using passive track detectors*. Geneva: ISO.
39. Isaaks, E.H. dhe Srivastava, R.M. (1989) *An Introduction to Applied Geostatistics*. New York: Oxford University Press.
40. Kadiasi, B., Shallo, M., et al. (2018) ‘Basics on the relief, hydrographic network and geology of Albania with typical examples’, *Journal of Environmental Protection and Ecology*, 19(4), fq. 1853–1861.
41. Kovler, K., et al. (2017) ‘Natural radioactivity and human exposure: a global perspective’, *Journal of Environmental Radioactivity*, 178–179, fq. 4–13.
42. Këshilli i Ministrave (Republika e Shqipërisë) (2015) *Vendim nr. 957, datë 25.11.2015: Për përmirësimin e kuadrit rregullator lidhur me përqendrimet e radonit.... Fletorja Zyrtare*, Nr. 213, viti 2015.

43. Marku, E., Bylyku, E., Xhixha, G., et al. (2018) 'Radon in Albanian schools: preliminary survey', në: *Proceedings of RAD Conference*, 4, fq. 201–205.
44. Mamuqi, S., et al. (2017) 'Indoor radon concentrations in houses in Kosovo', *Radiation Protection Dosimetry*, 176(3), fq. 350–356.
45. Meco, S. dhe Aliaj, Sh. (2000) *Geology of Albania*. Tiranë: Akademia e Shkencave.
46. Miles, J.C.H. dhe Appleton, J.D. (2005) 'Mapping radon-prone areas using geological data', *Journal of Radiological Protection*, 25(1), fq. 45–64.
47. Mousavi Aghdam, A., [Dentoni V., Da Pelo S., Crowley Q.] (2022) '[Detailed Geogenic Radon Potential Mapping Using Geospatial Analysis of Multiple Geo-Variables—A Case Study from a High-Risk Area in SE Ireland]', *[Special Issue Environmental Radioactivity Monitoring and Measurements: Radon]*, vol. 19/23. doi: [https://doi.org/10.3390/ijerph192315910].
48. Nazaroff, W.W. (1992) 'Radon transport from soil to air', *Reviews of Geophysics*, 30(2), fq. 137–160.
49. NRC – National Research Council (1999) *Health Effects of Exposure to Radon: BEIR VI*. Washington, DC: National Academies Press.
50. O'Connor, D., et al. (2014) 'Human exposure to natural radiation', *Environment International*, 73, fq. 56–62.
51. Perrier, F., Richon, P. dhe Sabroux, J.-C. (2011) 'Radon-222 signature of natural ventilation regimes in a shallow cave', *Journal of Environmental Radioactivity*, 102(10), fq. 974–981.
52. Piano Nazionale Radon (2017) *Linee guida per la riduzione dell'esposizione al radon*. Roma: Ministero della Salute.
53. Reçi, E., et al. (2018) 'Radon in groundwater in karst terrains of Albania', *Environmental Earth Sciences*, 77, 214.
54. Ribeiro, A., et al. (2018) 'Soil properties controlling radon concentration and flux', *Science of the Total Environment*, 610–611, fq. 131–143.
55. Salvi, F. (2017) '[Metodologia geostatisticaper l'individuazione delle aree a rischio radon e analisi della relazione con la geologia del territorio]', *[Journal of Radiological Protection]*, vol.37/1.
56. Saraçi, M., et al. (2008) *Harta hidrogeologjike e Tiranës (≈1:10 000)*. Tiranë: SHGJSH.

57. Schön, J.H. (2015) *Physical Properties of Rocks: Fundamentals and Principles of Petrophysics*. 2nd edn. Amsterdam: Elsevier.
58. SHGJSH – Shërbimi Gjeologjik Shqiptar (2008) *Harta Gjeologjike e Shqipërisë me tekst shpjegues* (seri 1:200 000 dhe nënprodukte për Tiranën). Tiranë: SHGJSH.
59. Stojanovska, Z., et al. (2014) ‘Radon in dwellings in the Republic of Macedonia’, *Radiation Protection Dosimetry*, 162(1–2), fq. 210–213.
60. Tollefsen, T., Cinelli, G., Bossew, P., Gruber, V. dhe De Cort, M. (2016) *European Atlas of Natural Radiation*. Luxembourg: Publications Office of the EU.
61. Tollefsen, T., Cinelli, G., De Cort, M., Bossew, P. dhe Gruber, V. (2019) *European Atlas of Natural Radiation*. Luxembourg: Publications Office of the EU.
62. UNSCEAR – United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (2000) *Sources and Effects of Ionizing Radiation*. New York: United Nations.
63. UNSCEAR (2008) *Sources and Effects of Ionizing Radiation*. New York: United Nations.
64. UNSCEAR (2010) *Sources and Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2008 Report, Volume I: Sources*. New York: United Nations.
65. UNSCEAR (2016) *Effects of Radiation Exposure*. New York: United Nations.
66. Wackernagel, H. (2003) *Multivariate Geostatistics: An Introduction with Applications*. 3rd edn. Berlin: Springer.
67. Wedepohl, K.H. (1969) *Handbook of Geochemistry*. Berlin: Springer.
68. Webster, R. dhe Oliver, M.A. (2007) *Geostatistics for Environmental Scientists*. 2nd edn. Chichester: Wiley.
69. WHO – World Health Organization (2009) *WHO Handbook on Indoor Radon: A Public Health Perspective*. Geneva: WHO Press.
70. WRB – IUSS Working Group (2015) *World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015*. Rome: FAO.
71. WRB – IUSS Working Group (2022) *World Reference Base for Soil Resources*. 4th edn. Vienna/Rome: IUSS/FAO.
72. Journel, A.G. and Huijbregts, C.J. (1978) *Mining Geostatistics*. London: Academic Press.

SHTOJCAT

Shtojca A. Tabela e plotë e të dhënave (indoor/soil; AG 24h; CR-39; parametrat klimatikë, gjeologjikë, pedologjikë etj).

Shtojca B. Harta tematike (gjeologjike, kuaternare, hidrogeologjike, topografike, pedologjike).

Shtojca C. Kodet burimore për analizat statistikore/gjeostatistike.

Nr.	Emri i Objektit	X (North) (UTM)	Y (East) (UTM)	AlphaGuard Verë (Bq/m³)	AlphaGuard Dimër (Bq/m³)	CR-39 Verë (Bq/m³)	CR-39 Dimër (Bq/m³)	Toka Verë (Bq/m³)	Toka Dimër (Bq/m³)	Temperatura Verë (°C)	Temperatura Dimër (°C)	Temperatura Tokë Verë (°C)	Temperatura Tokë Dimër (°C)
1	Gjimnazi Andon Zako Çajupi	4576847.84	402339.43	78.33	85.33	72.00	78.33	44133.33	45971.11	24.60	21.50	33.22	17.22
2	Gjimnazi Arben Broci	4575503.04	400289.03	51.83	57.50	45.83	51.17	11531.11	13597.78	24.67	20.33	27.78	16.89
3	Gjimnazi Besnik Sykja	4574970.25	399720.07	56.83	63.50	51.50	57.50	44588.89	46893.33	24.67	20.83	27.89	16.67
4	Gjimnazi Eqrem Çabej	4577260.33	402613.66	94.00	105.00	85.17	93.83	55900.00	58293.33	24.67	21.50	33.44	16.78
5	Gjimnazi Ismail Qemali	4575921.23	401946.73	40.50	46.83	36.17	41.33	12020.00	14920.00	25.00	19.67	27.60	16.40
6	Gjimnazi Luan Hajdaraga	4578058.54	404547.20	47.17	54.83	44.83	51.17	53244.44	56686.67	25.33	21.33	28.11	16.33
7	Gjimnazi Myslym Keta	4574416.92	397115.41	42.00	49.83	37.83	43.17	35033.33	37093.33	24.67	21.67	26.56	15.44
8	Gjimnazi Partizani	4576541.58	401649.92	1511.00	1992.17	1257.17	1516.33	44400.00	47544.44	24.83	19.00	29.22	15.67
9	Gjimnazi Petro Nini Luarasi	4574619.57	400847.91	55.83	64.33	49.33	57.00	18533.33	20575.56	24.67	20.50	28.00	15.67
10	Gjimnazi Qemal Stafa	4576366.90	400130.16	41.00	48.00	37.83	42.33	31377.78	33132.22	25.00	19.33	26.22	15.67
11	Gjimnazi Sami Frashëri	4576405.84	401179.39	31.17	41.67	31.33	36.67	43522.22	44567.78	25.00	22.83	28.22	15.78
12	Gjimnazi Sandër Prosi	4574398.34	403465.72	33.00	38.83	28.50	34.50	16898.75	17662.50	24.50	22.17	25.25	14.38
13	Gjimnazi Sinan Tafaj	4576214.60	400932.02	74.33	84.83	68.00	76.83	19380.00	20860.00	24.50	19.67	27.80	15.60
14	Instituti Harry Fultz	4576643.25	400406.48	64.00	72.50	60.17	66.17	22311.11	24442.22	24.83	21.50	25.33	15.67
15	Shkolla Profesionale Karl Gega	4574655.80	398634.87	44.50	51.00	39.17	44.00	12588.89	13671.11	24.67	19.67	27.11	16.22
16	Shkolla Teknike Ekonomike	4575793.15	401686.91	590.83	695.33	487.33	608.67	13580.00	14977.78	25.00	20.67	30.56	16.44
17	Qyteti Studenti	4575076.58	402512.50	77.50	84.83	68.67	75.33	16666.67	19022.22	24.50	17.17	25.67	15.44
18	Fakulteti i Inxhinierisë Matematike & Inxhinierisë Fizike	4574982.95	399975.49	114.50	121.67	101.17	112.67	15888.89	17800.00	24.50	19.50	26.00	17.44
19	Fakulteti i Inxhinierisë së Ndërtimit	4575905.63	399708.52	44.67	52.83	38.83	45.50	47222.22	49908.89	25.17	21.33	25.22	16.33
20	Universiteti Mjekësor i Tiranës	4577193.45	402491.67	155.50	174.33	124.83	155.17	55966.67	57615.56	24.83	20.67	33.56	15.67
21	Universiteti Politeknik i Tiranës (Rektorati)	4574601.60	401367.85	65.40	73.10	57.60	65.70	40533.33	41273.33	19.00	15.80	30.33	15.47
22	Fakulteti i Shkencave të Natyrës	4576609.93	400918.67	150.17	184.00	118.17	158.67	59233.33	62260.00	24.50	18.83	29.00	16.11
23	Instituti i Gjeoshkencave	4576662.71	400110.66	82.50	91.67	74.67	84.17	24466.67	26183.33	26.33	16.50	22.56	16.11
24	Bunk’Art 1	4578214.28	404676.89	489.83	492.83	461.00	441.17	29433.33	31516.67	20.00	16.83	27.22	16.44
25	Bunk’Art 2	4575728.12	401214.78	532.67	495.00	481.17	457.00	132888.89	135555.56	22.50	16.83	28.00	16.33
26	Shërbimi Gjeologjik Shqiptar	4578837.32	403831.99	96.67	115.50	79.50	101.00	2804.00	2896.00	24.83	16.00	27.60	15.30

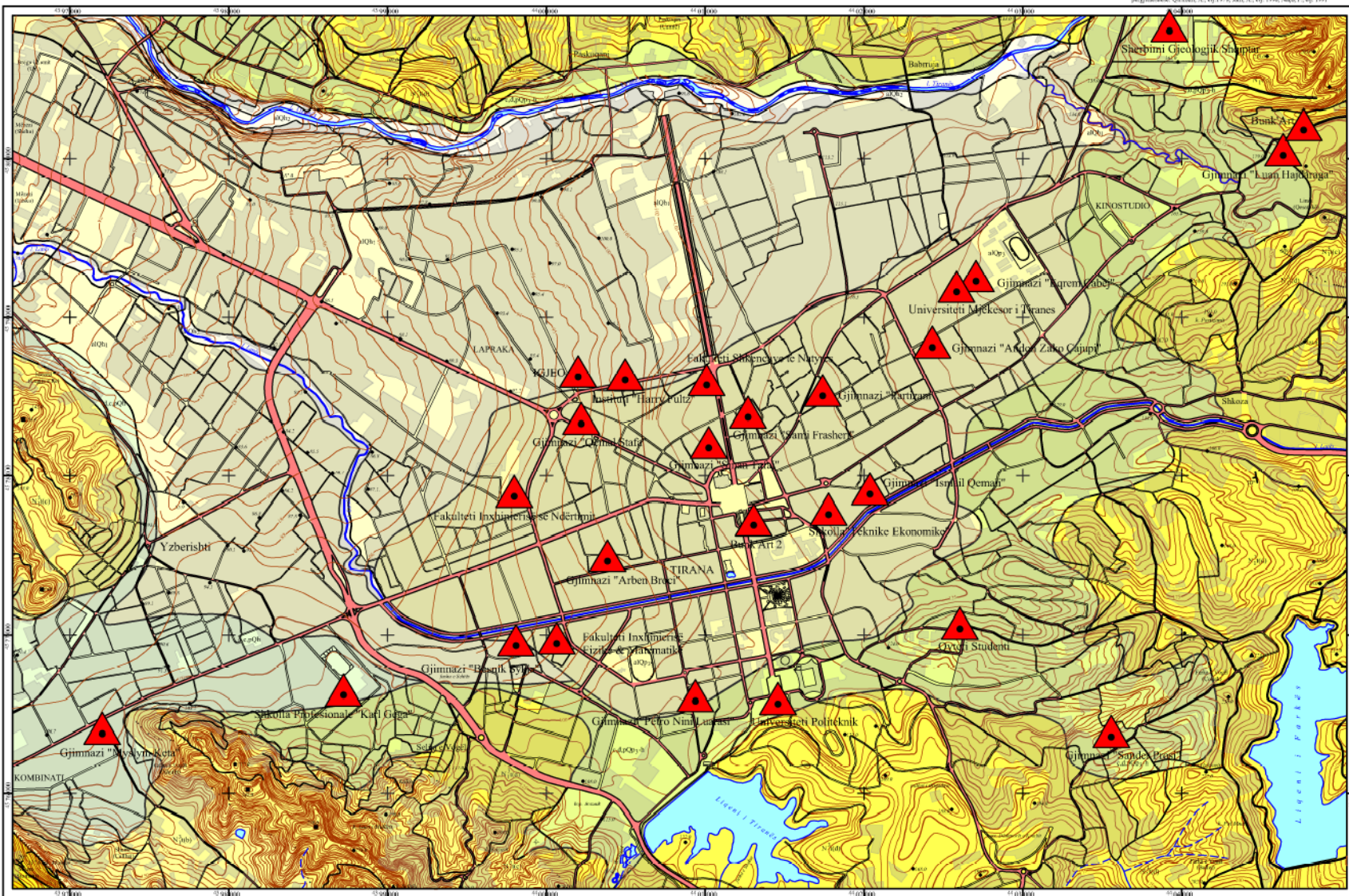
Lagështira Verë (%)	Lagështira Dimër (%)	Lagështira Tokë Verë (%)	Lagështira Tokë Dimër (%)	Presioni Verë (mba)	Presioni Dimër (mba)	Presioni Tokë Verë (mba)	Presioni Tokë Dimër (mba)	Njësi Gjeologjike	Akuifer	Lloji I Tokës WRB	Rreziku Radon	Permeabiliteti
54.00	42.67	46.78	55.89	990.00	993.00	998.00	1002.00	Kuaternare aluviale (Qal)	Akuifer i lirë aluvial	Fluvisol	I lartë	I lartë
59.67	53.17	44.44	51.56	994.00	997.00	999.33	1002.33	Kuaternare aluviale (Qal)	Akuifer i lirë aluvial	Fluvisol	I lartë	I lartë
61.33	55.17	42.89	52.33	999.67	1002.00	999.33	1003.22	Kuaternare aluviale (Qal)	Akuifer i lirë aluvial	Fluvisol	I lartë	I lartë
47.17	40.50	42.11	48.11	989.00	991.83	998.00	1002.00	Tarraca aluviale	Akuifer i lirë aluvial	Eutric Cambisol	Mesatar–I lartë	Mesatar
50.17	42.00	51.40	58.00	1000.50	1002.67	997.60	1000.00	Kuaternare aluviale (Qal)	Akuifer i lirë aluvial	Fluvisol	I lartë	Mesatar
59.83	53.17	43.67	52.56	974.00	979.50	991.00	996.00	Tarraca aluviale	Akuifer i lirë aluvial	Eutric Cambisol	Mesatar–I lartë	I ulët
57.17	51.17	46.11	54.22	999.00	1001.83	999.56	1002.22	Kuaternare aluviale (Qal)	Akuifer i lirë aluvial	Fluvisol	I lartë	I lartë
55.33	46.67	45.78	52.89	1000.00	1005.00	999.00	1003.00	Kuaternare aluviale (Qal)	Akuifer i lirë aluvial	Fluvisol	I lartë	I lartë
62.33	56.83	40.78	49.44	995.00	997.67	998.56	1002.00	Kuaternare aluviale (Qal)	Akuifer i lirë aluvial	Fluvisol	I lartë	I lartë
60.00	52.83	48.89	57.11	987.83	990.67	999.00	1002.00	Kuaternare aluviale (Qal)	Akuifer i lirë aluvial	Fluvisol	I lartë	I lartë
39.83	32.17	39.89	50.78	1004.00	1008.83	996.78	1000.00	Kuaternare aluviale (Qal)	Akuifer i lirë aluvial	Fluvisol	I lartë	I lartë
51.67	43.83	62.38	70.00	990.00	993.50	997.00	1003.00	Kuaternare aluviale (Qal)	Akuifer i lirë aluvial	Fluvisol	I lartë	I lartë
48.00	42.00	48.40	56.60	1000.00	1002.33	997.00	1002.00	Neogjen mollasik / flishor	Akuifer i përzier	Cambisol / Luvisol	Mesatar	Mesatar
53.83	47.83	51.56	58.67	1000.00	1004.00	998.00	1003.00	Karbonate/konglomerate kodrinore	Akuifer karstik	Leptosol / Luvisol	I ndryshueshëm	Mesatar
57.67	51.33	52.22	59.67	997.00	1000.33	998.89	1003.11	Neogjen mollasik / flishor	Akuifer i përzier	Cambisol / Luvisol	Mesatar	I ulët
59.00	51.67	40.56	51.33	999.67	1004.00	999.00	1003.00	Kuaternare aluviale (Qal)	Akuifer i lirë aluvial	Fluvisol	I lartë	I lartë
55.83	48.17	48.33	56.89	1006.33	1009.67	997.00	1001.00	Kuaternare aluviale (Qal)	Akuifer i lirë aluvial	Fluvisol	I lartë	I lartë
49.67	40.17	61.89	68.33	1008.33	1012.33	1006.00	1009.00	Kuaternare aluviale (Qal)	Akuifer i lirë aluvial	Fluvisol	I lartë	I lartë
44.17	33.50	58.56	64.22	1000.00	1002.83	1005.44	1009.22	Kuaternare aluviale (Qal)	Akuifer i lirë aluvial	Fluvisol	I lartë	I lartë
53.00	46.00	41.67	51.11	997.00	1000.00	998.00	1002.00	Kuaternare aluviale (Qal)	Akuifer i lirë aluvial	Fluvisol	I lartë	I lartë
57.00	63.20	60.20	68.20	994.90	996.80	1000.00	1003.20	Karbonate/konglomerate kodrinore	Akuifer karstik	Leptosol / Luvisol	I ndryshueshëm	Mesatar
58.50	46.17	47.00	54.44	1003.83	1008.83	997.00	1001.00	Karbonate/konglomerate kodrinore	Akuifer karstik	Leptosol / Luvisol	I ndryshueshëm	Mesatar
52.67	44.50	53.33	60.56	1008.83	1012.67	1002.00	1005.00	Kuaternare aluviale (Qal)	Akuifer i lirë aluvial	Fluvisol	I lartë	I lartë
63.67	58.33	48.11	55.67	986.33	994.50	989.00	993.00	Kuaternare aluviale (Qal)	Akuifer i lirë aluvial	Fluvisol	I lartë	I lartë
62.67	58.00	55.22	61.33	998.67	1002.67	998.56	1002.67	Kuaternare aluviale (Qal)	Akuifer i lirë aluvial	Fluvisol	I lartë	I lartë
55.83	52.00	50.60	59.30	994.00	997.00	994.00	998.00	Kuaternare aluviale (Qal)	Akuifer i lirë aluvial	Fluvisol	I lartë	I lartë

HARTA GJEOLOGJIKE E ZONËS SË TIRANËS

OBJEKT STUDIUMI

Shkalla 1 : 10 000

Preparuar në bazë të rrethimit të gjeologjik të shkallë 1 : 25 000 dhe matimeve
gjeologjike: Gjeologji A, fq.1073, 1074, A, fq. 1996, Neq. P, fq. 1991



SHËNJESET

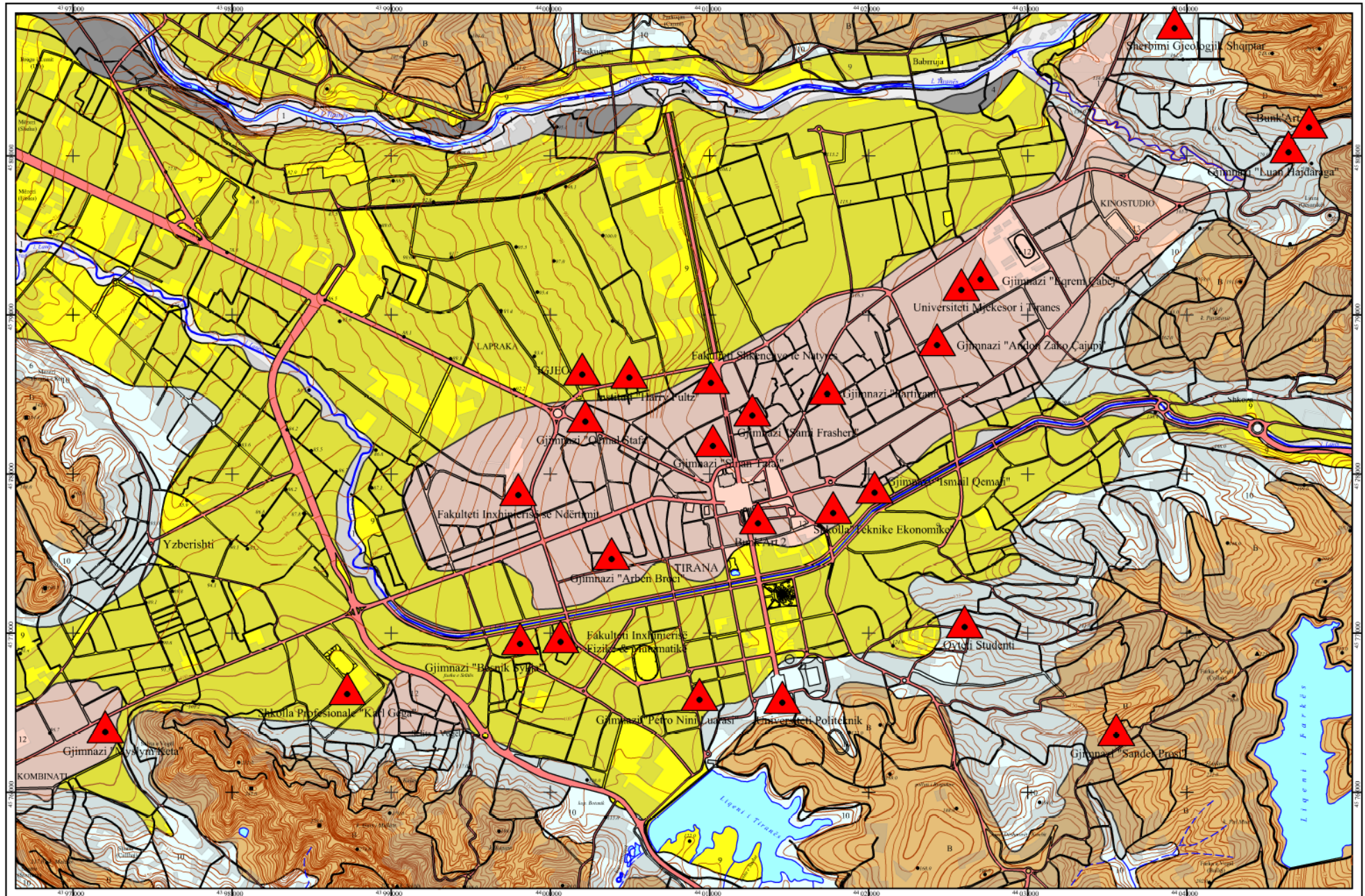
Quaternary, alluvial	Quaternary, alluvial, with the upper	Tertiary, Miocene, upper (Tertiary III)	Ligurian, Barrois, margin, gabbro	Geologic faults	Hydroelectric power
Quaternary, alluvial, with the lower	Quaternary, alluvial, with the lower	Tertiary, Miocene, middle (Tertiary II)	Burdigalian, Messinian, gabbro, with the upper	Geologic faults, transport	Pika topography
Quaternary, alluvial, with the lower	Tertiary, Miocene, lower (Tertiary I)	Tertiary, Miocene, lower (Tertiary I)	Eocene to Oligocene transition	Geologic faults, normal	

HARTA GJEOLOGJIKE E DEPOZITIMEVE SIPËRFAQËSORE E ZONËS SË TIRANËS

OBJEKT STUDIMI

Shkalla 1 : 10 000

Përpiluar nga: Hoxha, J., Cara, F., Dhimitri, A., Dima, L., Leka, P.



Ndërjet litologjike, gjenetike dhe mushare (formacionale)

1 S_{1-2}^{Qb2} Sedimente aluviale, zhavorr, rre

4 S_{1-2}^{Qb2} Sedimente fluviale, rre, zhavorr, llum

6 S_{1-2}^{Qb2} Fkondere aluviale, zhavorr, rre e copra

9 S_{1-2}^{Qb1} Sedimente aluviale, argjila dhe shërbete (teraca e pur)

10 S_{1-2}^{Qb1-3} Sedimente të fundit të shpëtit, rre, aluviale, argjila me copra shkëmbinjsh

12 S_{1-2}^{Qb3} Sedimente aluviale të terraces së dytë, zhavorr, aluvialit

13 $Qp2-Qp3$ Sedimente aluviale të terraces së tretë, zhavorr, rre

para Q Sedimente të bazamentit të depozitimeve të Kuotament

hollësi e trashësi në zhavorr dhe rreze aluviale rre

14 Rileve ndërtimi

Pika të matjeve

Põpikur në bazë të rrethimeve hidrogeologjike në shkallën 1 : 25 000.
Kumari M., Tatihi I., Marku E., Dindi E.

Ne atbilstošs tiešsaraksts

Mit āķenbūgļi tieši

 $a(Q)$

Žāvēti tieši no 20% rēns ne deceptantais āķenbūgļi tieši
Zāvēti tieši no 20% rēns ne deceptantais āķenbūgļi tieši

Mit āķenbūgļi tieši

 $a(Q)$

Kā tieši tieši no 20% rēns ne deceptantais āķenbūgļi tieši

Mit āķenbūgļi tieši

 $a(Q)$, $a(Q)$, $a(Q)$

Kā tieši tieši no 20% rēns ne deceptantais āķenbūgļi tieši

Mit āķenbūgļi tieši

 $a(Q)$, $a(Q)$, $a(Q)$

Kā tieši tieši no 20% rēns ne deceptantais āķenbūgļi tieši

Mit āķenbūgļi tieši

 $a(Q)$, $a(Q)$, $a(Q)$

Kā tieši tieši no 20% rēns ne deceptantais āķenbūgļi tieši

Mit āķenbūgļi tieši

 $a(Q)$, $a(Q)$, $a(Q)$

Kā tieši tieši no 20% rēns ne deceptantais āķenbūgļi tieši

Mit āķenbūgļi tieši

 $a(Q)$, $a(Q)$, $a(Q)$

Kā tieši tieši no 20% rēns ne deceptantais āķenbūgļi tieši

Mit āķenbūgļi tieši

 $a(Q)$, $a(Q)$, $a(Q)$

Kā tieši tieši no 20% rēns ne deceptantais āķenbūgļi tieši

Mit āķenbūgļi tieši

 $a(Q)$, $a(Q)$, $a(Q)$

Kā tieši tieši no 20% rēns ne deceptantais āķenbūgļi tieši

$$T = 500\text{--}1000\text{ K}^{\circ}\text{C}$$
 $\Gamma = 200 \text{ m}^2/\text{day}$

Me spremljanje na sklet

 $N^3(NO) : N^3(NO)$
Ravnice aluminata, argilata, manglova oksidila,
Formacijo Mrazca, Formacijo Štoma.

Me spremljanje mestne dni na sklet

 $eO_2 : N^3(NO) : N^3(NO)$
Ravnice mrazca v skletu na mestni dni aluminata in formacijo
na mestni dni, Formacijo Štoma, Formacijo Štoma

3- Ne skleniti praktičnih pogojev

 $Fe_2O_3 : eO_2 : pO_2 : pO_2 : pO_2$
Depozicije oksidov, argilata, manglova oksidila, Štoma

with $\Omega = 0.3 - 51 \text{ rad/s}$.

© 2001 Blackwell Science Ltd

$Q < 0$, I lock.

-  Barim me grupe $Q = 0.1 - 0.3$ sek
-  Slipe me hidrogeologiki po preson
-  Slipe me hidrogeologiki me preson
-  Ileshja e rielt te xji nentekser me (m) kubi te rielt e drit
-  Diritimi i Ileshjes se optike nentekser

5 $\text{HCO}_3^- + \text{H}^+ \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3$

④

 Pembaja

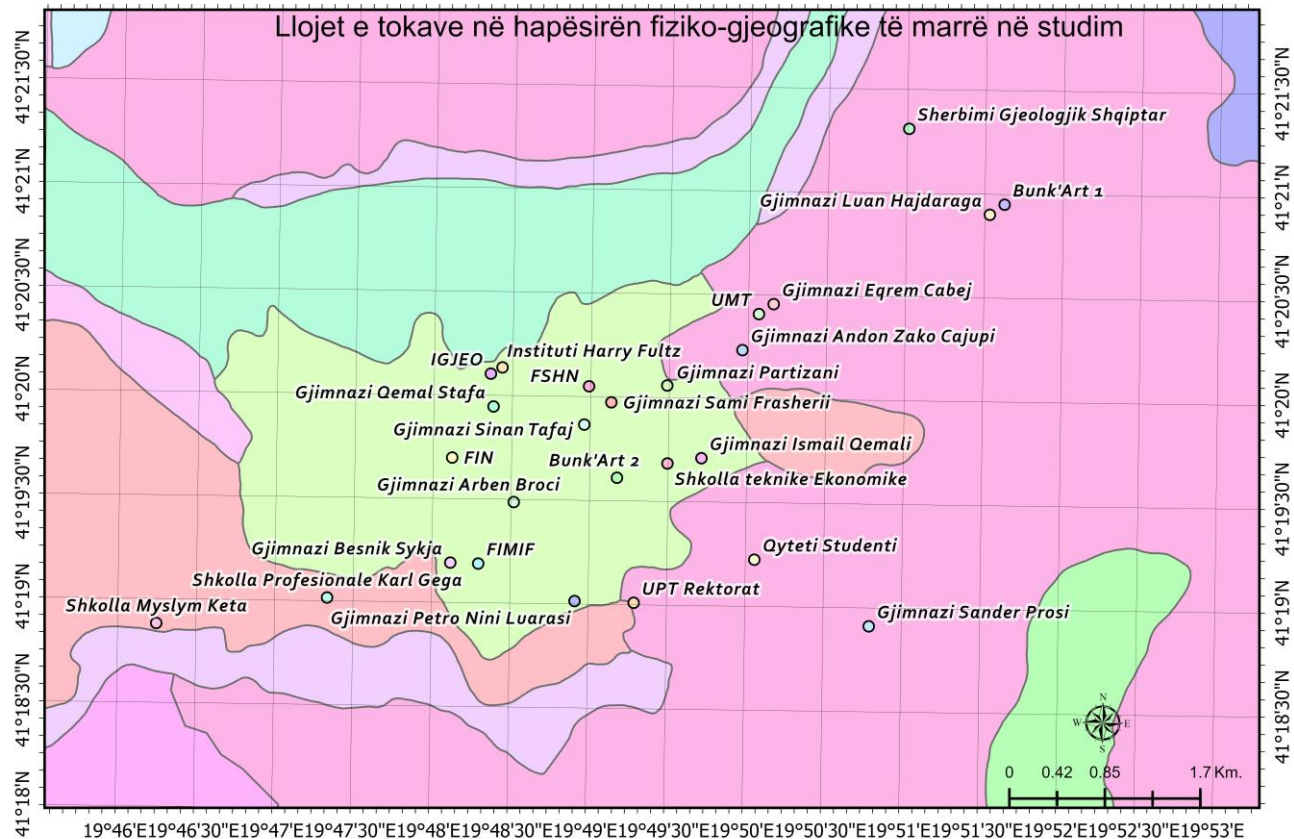
10

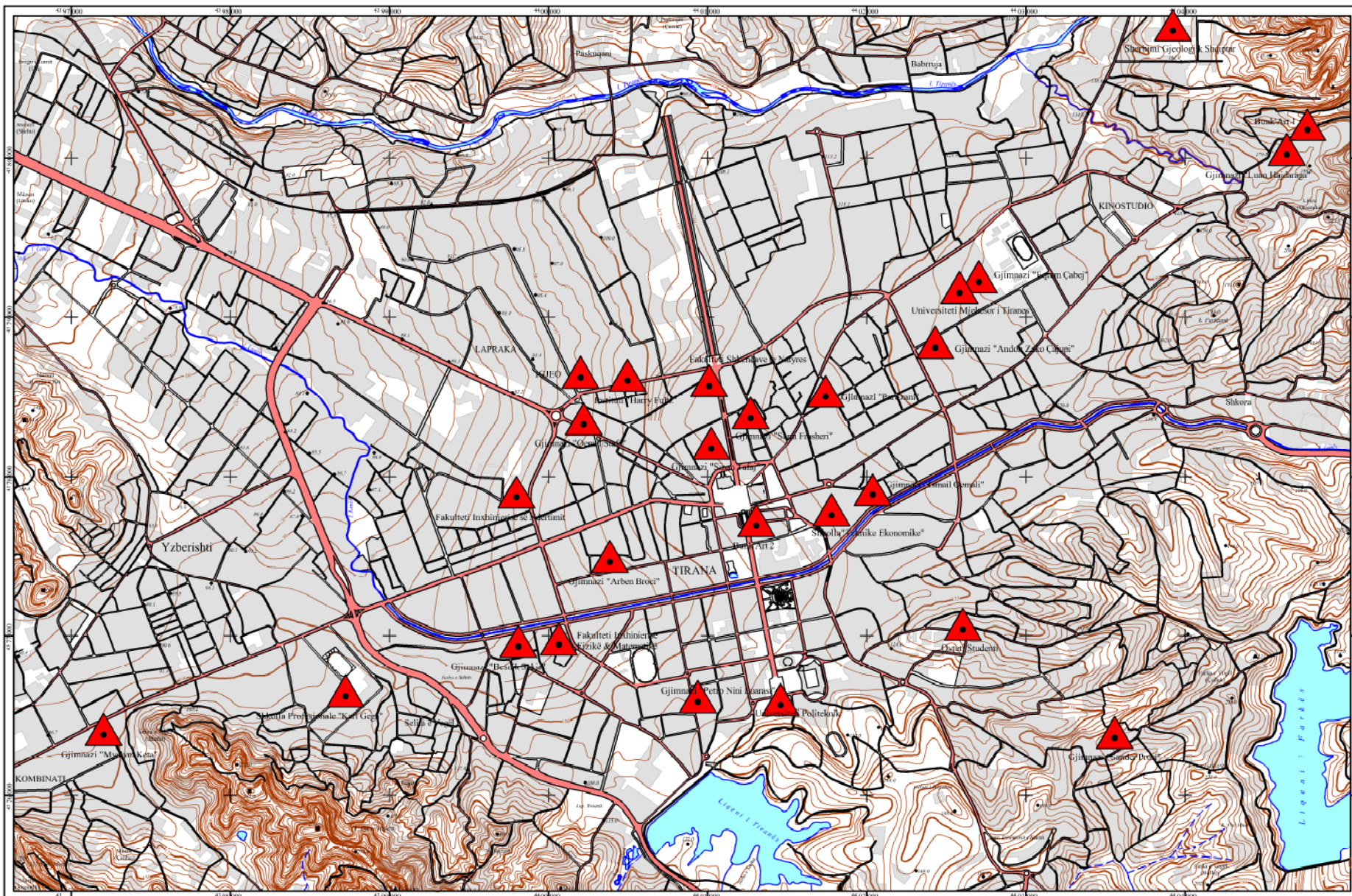
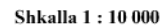
$M_p = 0.5 - 1 \text{ gr}$		Kufij gjeologjike
$M_p = 0.5 - 1 \text{ gr}$		Kufij gjeologjike transgjegore
$M_p = 0.5 - 1 \text{ gr}$		Kufij izologjike
10^6		Elemente te rrethit nebesor

10

2194

19°45'30"E19°46'E19°46'30"E19°47'E19°47'30"E19°48'E19°48'30"E19°49'E19°49'30"E19°50'E19°50'30"E19°51'E19°51'30"E19°52'E19°52'30"E19°53'E

[illegible]



SHTOJCA C

KODI PYTHON PËR HARTAT IDW & KRIGING

Kodi i mëposhtëm është i plotë dhe i komentuar. Një version identik ruhet si skedar i pavarur për ekzekutim: geostat_maps_pipeline.py

Paketa të nevojshme:

```
pip install pandas numpy matplotlib scikit-learn scipy openpyxl
```

Script ekzekutues (geostat_maps_pipeline.py):

```
# geostat_maps_pipeline.py
# -----
# Gjeneron harta IDW dhe Kriging (mesatare, pasiguri, tejkalim)
# nga një Excel me koordinata UTM dhe kolona me vlera radoni.
#
# Kërkesa paketa:
#   pip install pandas numpy matplotlib scikit-learn scipy openpyxl
#
# Përdorimi (CLI):
#   python geostat_maps_pipeline.py --excel "TeDhenat.xlsx" \
#       --sheet 0 --outdir ./outputs --vars AG_Dimer AG_Vere Toka_Vere \
#       --threshold 300
# -----

import argparse
import re

from pathlib import Path

import numpy as np
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt

from sklearn.gaussian_process import GaussianProcessRegressor
from sklearn.gaussian_process.kernels import RBF, WhiteKernel, ConstantKernel as C
from scipy.stats import norm
```

```

def load_data(excel_path, sheet=0):
    xlsx = pd.ExcelFile(str(excel_path))
    df = xlsx.parse(xlsx.sheet_names[sheet]).copy()
    df.columns = [str(c).strip() for c in df.columns]
    return df

def detect_coordinates(df):
    # Përdor kolonat që përmbajnë UTM/East/North ose rënie në interval tipik
    e_col, n_col = None, None
    for c in df.columns:
        if re.search(r'(UTM|East|Easting|^\Y\s\(|\$))', c, re.I) and e_col is None:
            e_col = c
        if re.search(r'(UTM|North|Northing|^\X\s\(|\$))', c, re.I) and n_col is None:
            n_col = c
    if e_col is None or n_col is None:
        # fallback nga madhësia UTM (E ~ 300k-800k; N ~ 4.3M-4.9M)
        for c in df.columns:
            s = pd.to_numeric(df[c], errors='coerce')
            if e_col is None and s.between(300000, 800000).mean() > 0.6:
                e_col = c
            if n_col is None and s.between(4300000, 4900000).mean() > 0.6:
                n_col = c
    if e_col is None or n_col is None:
        raise ValueError("S'u detektuan kolonat UTM (E/N). Jepini me --e_col dhe --n_col.")
    return e_col, n_col

```

```

def make_grid(e, n, nx=180, ny=180, pad=250):

    emin, emax = np.nanmin(e), np.nanmax(e)

    nmin, nmax = np.nanmin(n), np.nanmax(n)

    emin -= pad; emax += pad; nmin -= pad; nmax += pad

    gx = np.linspace(emin, emax, nx)

    gy = np.linspace(nmin, nmax, ny)

    GX, GY = np.meshgrid(gx, gy)

    return GX, GY


def idw_predict(x, y, z, GX, GY, p=2):

    X = GX.ravel(); Y = GY.ravel()

    Zp = np.zeros_like(X, dtype=float)

    for i in range(len(X)):

        dx = X[i] - x

        dy = Y[i] - y

        d2 = dx*dx + dy*dy

        # pikë e saktë

        if np.any(d2 == 0):

            Zp[i] = z[d2.argmin()]

            continue

        w = 1.0 / np.power(d2, p/2.0)

        Zp[i] = np.sum(w * z) / np.sum(w)

    return Zp.reshape(GX.shape)


def kriging_predict(x, y, z, GX, GY, length_scale=1000.0):

    X = np.column_stack([x, y])

    grid = np.column_stack([GX.ravel(), GY.ravel()])

    kernel = C(1.0, (1e-2, 1e3)) * RBF(length_scale=length_scale,
length_scale_bounds=(100.0, 10000.0)) \

```

```

        + WhiteKernel(noise_level=1.0, noise_level_bounds=(1e-3, 1e2))

gpr = GaussianProcessRegressor(kernel=kernel, n_restarts_optimizer=3, alpha=0.0,

                                normalize_y=True, random_state=0)

gpr.fit(X, z)

mu, sigma = gpr.predict(grid, return_std=True)

return mu.reshape(GX.shape), sigma.reshape(GX.shape), gpr.kernel_


def plot_grid(GX, GY, Z, x, y, title, outpath):

    plt.figure(figsize=(6, 5))

    extent = [GX.min(), GX.max(), GY.min(), GY.max()]

    plt.imshow(Z, origin='lower', extent=extent, aspect='equal')

    plt.scatter(x, y, s=18)

    plt.title(title)

    plt.xlabel("UTM E")

    plt.ylabel("UTM N")

    plt.tight_layout()

    plt.savefig(outpath, dpi=180, bbox_inches="tight")

    plt.close()


def main(args):

    df = load_data(args.excel, args.sheet)

    e_col, n_col = (args.e_col, args.n_col) if args.e_col and args.n_col else
detect_coordinates(df)

    work = pd.DataFrame({

        "E": pd.to_numeric(df[e_col], errors='coerce'),

        "N": pd.to_numeric(df[n_col], errors='coerce'),

    })

    for var in args.vars:

```

```

if var not in df.columns:

    match = [c for c in df.columns if c.lower() == var.lower()]

    if match:

        work[var] = pd.to_numeric(df[match[0]], errors='coerce')

    else:

        print(f"[VËREJTJE] Kolona '{var}' nuk u gjet; anashkalohet.")

else:

    work[var] = pd.to_numeric(df[var], errors='coerce')


work = work.dropna(subset=["E", "N"])

outdir = Path(args.outdir); outdir.mkdir(parents=True, exist_ok=True)

GX, GY = make_grid(work["E"].values, work["N"].values, nx=args.nx, ny=args.ny,
pad=args.pad)


for var in args.vars:

    if var not in work.columns or work[var].notna().sum() < 6:

        continue

    sub = work.dropna(subset=[var])

    x = sub["E"].values; y = sub["N"].values; z = sub[var].values


    # IDW

    Zidw = idw_predict(x, y, z, GX, GY, p=args.idw_power)

    plot_grid(GX, GY, Zidw, x, y, f"IDW - {var}", outdir / f"map_IDW_{var}.png")


    # Kriging (GPR)

    mu, sd, kernel = kriging_predict(x, y, z, GX, GY, length_scale=args.krig_lscale)

    plot_grid(GX, GY, mu, x, y, f"Kriging (Mesatare) - {var}", outdir /
f"map_KrigingMean_{var}.png")

    plot_grid(GX, GY, sd, x, y, f"Kriging (Pasiguri  $\sigma$ ) - {var}", outdir /
f"map_KrigingSD_{var}.png")


    # Probabilitet tejkalimi ( $\geq$  threshold)

```

```

sd_safe = np.where(sd < 1e-6, 1e-6, sd)

prob = 1.0 - norm.cdf((args.threshold - mu)/sd_safe)

plot_grid(GX, GY, prob, x, y, f"P(≥{args.threshold} Bq/m³) - {var}", outdir /
f"map_Exceed{int(args.threshold)}_{var}.png")


print(f"[OK] {var} → Kernel i përshtatur: {kernel}")


print(f"[DONE] Hartat u ruajtën në: {str(outdir)}")


if __name__ == "__main__":

    import argparse

    ap = argparse.ArgumentParser(description="Harta IDW & Kriging për radonin")

    ap.add_argument("--excel", required=True, help="Shtegu i Excel (p.sh.,
TeDhenat.xlsx)")

    ap.add_argument("--sheet", type=int, default=0, help="Indeksi i fletës (default 0)")

    ap.add_argument("--e_col", default=None, help="Emri i kolonës për UTM East
(optional)")

    ap.add_argument("--n_col", default=None, help="Emri i kolonës për UTM North
(optional)")

    ap.add_argument("--vars", nargs="+", default=["AG_Dimer", "AG_Vere", "Toka_Vere"],

                    help="Emrat e kolonave me vlera radoni për hartëzim")

    ap.add_argument("--threshold", type=float, default=300.0, help="Pragu i tejkalimit
(Bq/m³)")

    ap.add_argument("--nx", type=int, default=180, help="Dendësia e grid-it në drejtimin
E (default 180)")

    ap.add_argument("--ny", type=int, default=180, help="Dendësia e grid-it në drejtimin
N (default 180)")

    ap.add_argument("--pad", type=float, default=250.0, help="Shtrirja jashtë pikave
(m)")

    ap.add_argument("--idw_power", type=float, default=2.0, help="Eksponenti p për IDW
(default 2)")

    ap.add_argument("--krig_lscale", type=float, default=1000.0, help="Length-scale
fillestar për RBF (m)")

    ap.add_argument("--outdir", default="./outputs", help="Dosja e daljeve për figurat")

```

```
args = ap.parse_args()
```

```
main(args)
```