Përdorimi i analizës kimike të tokës përmes metodës EDXRF në identifikimin e tipareve arkeologjike në lokalitetin e Ulpianës në Kosovë

Arthur Laenger[1], Arnaud Martel[2], Aline Durand[1], and Fabien Boucher[3]

1 Centre de Recherche en Archéologie, Archéosciences et Histoire
(CReAAH UMR CNRS 656), Le Mans Université
2 Institut des Molécules et Matériaux du Mans (IMMM UMR CNRS 6283),
Le Mans Université
3 Institut Universitaire de Technologie Chimie, Le Mans Université
arthur.laenger@gmail.com

Abstrakti

Analiza kimike e sedimenteve arkeologjike është një fushë kërkimore që ka tërhequr prej kohësh interesimin e arkeologëve, por që tek së voni ka përjetuar zhvillime të konsiderueshme. Ajo ndihmon në identifikimin e përcaktimeve të elementeve kimike në tokë, të cilat mund të lidhen me aktivitete të lashta që kanë ndikuar në depozitimin e tyre. Përdorimi i spektrometrisë së fluorescencës me rreze X (EDXRF), një teknikë analitike më e qasshme se të tjerat, mundëson analizën e grupeve të mëdha të mostrave. Në Ulpianë u studiuan dy profile gërmimi. Në zonën e parë, u identifikua prania e një grope për përpunimin e gëlqeres dhe një hapësirë për përgatitjen e llaçit. Gjurmët kimike të gëlqeres duket se përputhen me atë të prodhuar në një furrë të zbuluar më në veri. Në zonën e dytë, u identifikua një punishte riciklimi e bronzit, si dhe u gjetën gjurmë të mundshme të një molekule ngjyrash.

Fjalë kyçe: *arkeologji, analizë elementare, materiale ndërtimi, brom, metalurgji e bakrit, EDXRF, Antikiteti i vonë*

Hyrje

Analiza kimike e tokës, veçanërisht matja e fosfateve, ka qenë një teknikë e përdorur gjerësisht në arkeologji që nga vitet 1930 (Arrhenius 1931, 1934) dhe u adoptua nga arkeologët francezë duke filluar nga vitet 1950 (Louis 1946). Edhe sot, ajo aplikohet rregullisht për të identifikuar struktura të lidhura me blegtorinë, duke e lidhur praninë e fosforit me ekskrementet e kafshëve (Craddock et al. 1985). Megjithatë, që në vitet 1970, kjo teknikë u zgjerua për të përfshirë edhe elemente të tjera kimikë në Meksikë (Barba & Bello 1978) për të karakterizuar aktivitetet antropogjene në një shkallë më të gjerë.

Edhe pse metodat analitike të përshkruara në atë kohë mund të duken të vjetruara nga një këndvështrim kimik bashkëkohor, ato janë rafinuar dhe zhvilluar vazhdimisht gjatë

ISSN 3027-5024 (Online)
DOI https://doi.org/10.62303/crbk8f30

dekadave (Rippon et al. 2001, Wilson et al. 2008, Oonk et al. 2009, Middleton et al. 2010, Misarti et al. 2011; Dirix et al. 2013, Salisbury 2020, Bintliff & Degryse 2022). Avancimi më i fundit në këtë fushë është zëvendësimi i teknikave analitike të bazuara në plazmë të bashkuar induktivisht (ICP-MS, ICP-AES dhe ICP-OES) me spektrometrinë e fluorescencës me rreze X (XRF). XRF jep rezultate gjysmësasiore në krahasim me ICP dhe këto rezultate janë të mjaftueshme për analizën e tokave arkeologjike, bazuar në variacionet e përqendrimeve. Për më tepër, studimet krahasuese kanë treguar një korrelacion të fortë midis rezultateve të marra nga teknikat tradicionale dhe analizës me XRF (Frahm et al. 2016).

Në shumicën e rasteve, përdoret një pajisje portative, e cila kërkon përgatitje minimale të mostrave (Cannell et al. 2018, Gutiérrez-Rodríguez et al. 2019, Hafez et al. 2017, Hayes 2013, Rippon et al. 2001, Save et al. 2020, Smejda et al. 2017, Wilkins 2009, Wilson et al. 2008). Një nga avantazhet kryesore të XRF është lehtësia e përdorimit, pasi përgatitja e mostrës kufizohet në tharje dhe bluarje, në krahasim me tretjen acidike të nevojshme për ICP. Një tjetër përfitim është se XRF mund të analizojë pothuajse të gjitha elementet kimike në një analizë të vetme.

Më e rëndësishmja, XRF ka potencial të madh eksplorues, pasi diapazoni i gjerë i elementeve të skanuara mund të zbulojë ndryshime të dukshme në përqendrimet e elementeve që më parë konsideroheshin të pakuptueshme, duke hapur rrugën për identifikimin e treguesve të rinj të aktivitetit antropogjen. Për më tepër, pasi të dhënat regjistrohen për çdo lokalitet të analizuar, është e mundur që vendet të rishikohen retrospektivisht sapo një tregues të jetë identifikuar qartë në një vend tjetër. Meqenëse përqendrimet e elementeve kimike në tokë janë të lidhura ngushtë me mjedisin gjeologjik, qëllimi nuk është domosdoshmërisht përcaktimi i vlerave të synuara të përqendrimeve për të dalluar aktivitete specifike, por më tepër identifikimi i anomalive shpërndarëse në tokë. Kjo mund të arrihet duke analizuar variacionet në përqendrimet elementare, të cilat mund të rrjedhin nga të dhënat gjysmësasiore.

Lokaliteti arkeologjik i Ulpianës, i studiuar nga arkeologët që nga vitet 1950, nuk kishte përfituar nga asnjë fushatë analize kimike të sedimenteve deri në operacionin e kryer bashkërisht nga ekipet franceze dhe kosovare në vitin 2017 (Goddard et al. 2017). Ne mblodhëm mostra nga shtresat e tokës të ekspozuara në dy sondazhet e gërmuara në vitet 2017 dhe 2018. Këto sondazhe u nisën nga pyetje arkeologjike, që do të thotë se nuk u vendosën duke marrë parasysh potencialin e tyre arkeometrik. Prandaj, analiza kimike e sedimenteve në Ulpianë është pjesë e një qasje heuristike.

Si funksionon EDXRF?

ICP-MS (Spektrometria me masë e plazmës së bashkuar në mënyrë induktive) është teknika më e përdorur për analizën elementare të tokës në strukturat arkeologjike. Edhe pse kjo teknikë është më e përshtatshmja në aspektin e ndjeshmërisë, ajo ka disa mangësi. Ato janë trajtimi i materialeve të rrezikshme për përgatitjen e mostrave, nevoja për kalibrim për secilin element të studiuar dhe koha e nevojshme për marrjen e të dhënave. Këto mangësi rezultojnë në një kosto të lartë analitike për çdo mostër,

shpesh përtej mundësive buxhetore të projekteve arkeologjike, duke pasur parasysh se studimet e tokës mund të përfshijnë qindra ose edhe mijëra mostra.

Duke marrë parasysh këto kufizime, ne synuam të zhvillonim një protokoll më të qasshëm për shumicën e situatave arkeologjike. Spektrometria me fluorescencë me rreze X me shpërndarje të energjisë (EDXRF), e operuar në modalitetin gjysmësasiore, u zgjodh si teknika analitike për të përmbushur këtë kërkesë. Kjo pajisje mund të kryejë matje direkt mbi pluhurat e marrë nga dehidrimi dhe bluarja e mostrave të tokës. Pajisja ka kalibrimin e saj të brendshëm, duke eliminuar nevojën për krijimin e diapazoneve standarde. Matja është e shpejtë dhe, çka është më e rëndësishmja, mbulon pothuajse të gjitha elementet kimike të tabelës periodike, me përjashtim të elementeve më të lehta, si squfuri dhe fosfori.

Nga një perspektivë teknike, analiza me EDXRF mbështetet në emetimet e energjisë gjatë tranzicioneve orbitale elektronike (Fig. 1). Një burim rrezesh X drejtohet mbi mostrën që do të analizohet, e njohur si rrezja incidentale. Energjia e kësaj rrezeje nxjerr elektronet nga shtresat e brendshme të atomeve në mostër. Vendimet elektronike që rezultojnë mbushen nga elektronet e niveleve më të larta të energjisë. Ky tranzicion shoqërohet me emetimin e një rrezeje të re X, të quajtur rrezja e emetuar, e cila detektohet nga detektori i spektrometrit. Karakteristikat e këtyre rrezeve të emetuara varen nga konfigurimi elektronik i atomit nga i cili ato burojnë. Kështu, ato mundësojnë diferencimin e elementeve të ndryshme kimike të pranishme në mostër.

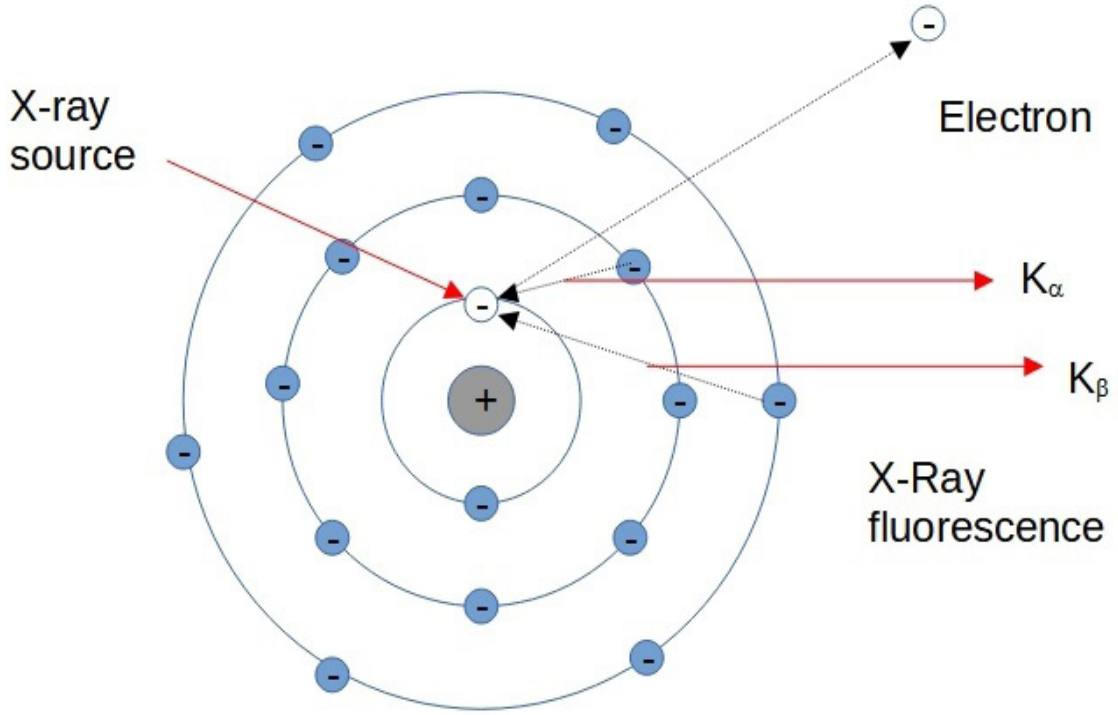

Fig. 1 – Diagrami i procesit të matjes me XRF

Hidrogjeni dhe heliumi janë natyrshëm të padukshëm për këtë teknikë, pasi këto elemente kanë vetëm një orbitë elektronike. Teorikisht, duke filluar nga rreshti i dytë i tabelës periodike, duhet të jetë e mundur të maten përqendrimet e elementeve. Megjithatë, në praktikë, vetëm disa pajisje veçanërisht të shtrenjta janë të afta ta bëjnë këtë. Në përputhje me konceptin e ofrimit të një protokolli financiarisht të përballueshëm, pajisja e përdorur mund të masë vetëm elementet që fillojnë nga rreshti i tretë i tabelës periodike (Fig. 2).

Ndërsa paaftësia për të matur nivelet e karbonit dhe azotit përbën një mangësi, vlen të theksohet se elementet e tjera të rreshtit të dytë nuk kanë shumë gjasa të jenë të lidhura me aktivitete specifike të lashta. Ndjeshmëria e EDXRF ndaj elementeve të lehta është më e ulët, por mund të përmirësohet duke kryer matje nën një atmosferë neutrale ose në vakum. Në këto kushte, rrezatimi incident i rrezeve X, i përshkruar më parë, nuk dobësohet gjatë kontaktit me elementet e pranishme në një atmosferë të zakonshme tokësore.

Megjithatë, arritja e këtyre kushteve drejtpërdrejt në terren është e vështirë, prandaj ne zgjodhëm të mos përdorim pajisje portative (pXRF), të cilat janë të njohura në arkeologji, por aktualisht nuk janë mjaftueshëm të ndjeshme për të përmbushur kërkesat e protokollit tonë.

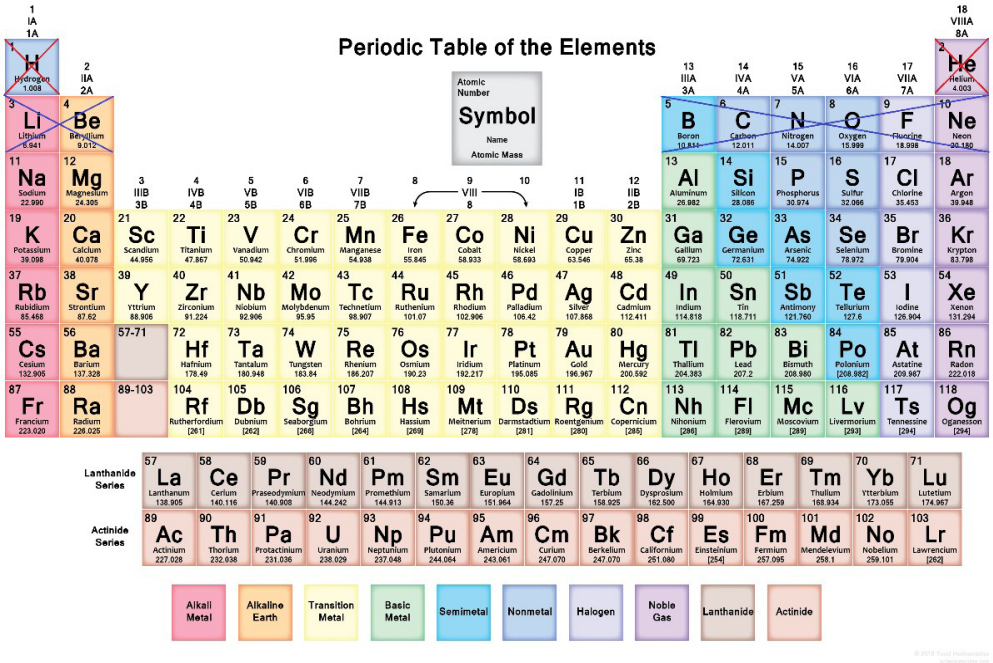

Fig. 2 – Tabela Periodike e Elementeve; EDXRF mund të masë teorikisht përqendrimet e të gjitha elementeve, përveç hidrogjenit dhe heliumit (të shënuara me të kuqe). Në praktikë, pajisja matëse e përdorur nuk mund të analizojë as elementet e rreshtit të dytë (të shënuara me blu).

Materiale dhe metoda

Lokaliteti arkeologjik i Ulpianës, i vendosur në komunën e Graçanicës, ndodhet rreth tetë kilometra në juglindje të kryeqytetit të Kosovës, Prishtinës (Fig. 3). Ai shtrihet në një sipërfaqe prej tridhjetë e pesë hektarësh, në një fushë bujqësore, rrëzë një sistemi kodrinor në jug dhe përgjatë lumit Graçanka, i cili ndodhet treqind metra në veri të mureve të tij.

Qyteti i Ulpianës zinte një pozitë strategjike në kryqëzimin e dy rrugëve të rëndësishme të komunikimit. Rruga e parë lidhte bregdetin dalmat, në veri të Dyrrahut, me kufirin e Danubit dhe Dakinë. Rruga e dytë e lidhte Selanikun, duke kaluar përmes Stobit në Maqedoni. Themelimi i qytetit daton në periudhën romake dhe lidhej me pushtimin e Dakisë. Qyteti ishte pjesë e provincës së Moesisë së Epërme, e cila shërbente si një bazë mbështetëse për konsolidimin e këtij sundimi.

Për shkak të vendndodhjes së tij gjeografike, Ulpiana ishte një pikëkalim kyç për udhëtimet lindje-perëndim. Megjithatë, ajo përjetoi disa sulme barbare gjatë shekujve V, VI dhe VII pas Krishtit, të cilat shënuan një histori të trazuar për qytetin. Sot, lokaliteti arkeologjik i Ulpianës është një pikë e rëndësishme historike, duke dëshmuar rëndësinë e qytetit gjatë epokës romake dhe rolin e tij në shkëmbimet tregtare dhe kulturore të rajonit.

Fig. 3 – Harta e vendndodhjes së sitit të Ulpianës

Mostrat e studiuara për këtë artikull vijnë nga ekspedita e gërmimeve arkeologjike e zhvilluar në vitet 2018 dhe 2019 në Ulpianë, si pjesë e misionit të bashkëpunimit franko-kosovar MAFKO, i udhëhequr nga Arben Hajdari dhe Christophe Goddard. Këto dy fushata përqendrohen në njohjen e fazës së vonë të qytetit. Studimi shqyrton ripërdorimin e një pjese të kolonadës së tempullit antik për ndërtimin e një kishe paleokristiane, si dhe murin rrethues drejtkëndor që e rrethon atë. I gjithë kompleksi daton në gjysmën e parë të shekullit VI pas Krishtit.

Protokolli analitik

Mostrat janë marrë drejtpërdrejt nga njësia stratigrafike që po studiohet (Fig. 4). Një rrjet një metër katror vendoset mbi zonën e ekzaminimit. Ky modul rrjetëzimi lejon mbulimin e të gjithë sipërfaqes së gërmimeve, duke kufizuar numrin e mostrave dhe rrjedhimisht edhe koston analitike, ndërkohë që siguron marrjen e disa mostrave për çdo strukturë arkeologjike të ekspozuar. Përdoret një mistri për të mbledhur 200 gramë sediment në secilën pikë ndërprerjeje të rrjetit. Mostra vendoset në një qese plastike të etiketuar me emrin e lokalitetit, datën e mbledhjes dhe një numër identifikues. Pas çdo mbledhjeje, mistria pastrohet dhe më pas vazhdohet me mostrën tjetër.

Fig. 4 – Procesi i marrjes së mostrave në Zonën 1, pranë murit jugor mbrojtës, në sitin arkeologjik të Ulpianës.
Kredi e fotos: Christophe Goddard.

Pozicioni i çdo mostre regjistrohet duke përdorur një stacion total për të garantuar saktësinë hapësinore. Qeset lihen të hapura dhe mbyllen vetëm kur mbledhja e mostrës është përfunduar. Në Ulpianë, mostrat mblidhen gjatë verës, në kushte të thata atmosferike, duke e bërë rrezikun për formimin e mykut pothuajse zero. Në periudha të tjera, nën kushte të ndryshme, rreziku për formimin e mykut nuk është i pamundshëm, por ai nuk ndikon në përbërjen elementare të mostrës dhe për këtë arsye nuk ndikon në analizën e saj. Pas kësaj, qeset e mbyllura dërgohen në laborator për analiza të mëtejshme.

Përmbajtja e qeseve transferohet në gota matëse, të cilat etiketohen me kujdes me numrin e mostrës. Gjatë gjithë protokollit të analizës është thelbësore të sigurohet që mostrat të mos ngatërrohen. Nevojitet një vëmendje e rreptë ndaj detajeve për të marrë rezultate të besueshme. Gotat matëse vendosen në një furrë për 12 orë në 85°C. Ky proces dehidraton butësisht mostrat për të hequr lagështinë e tyre. Në këtë mënyrë, sigurohet që niveli i lagështisë në të gjitha mostrat të jetë uniform, duke parandaluar çfarëdo problemi gjatë analizës së të dhënave.

Pasi mostrat janë tharë, ato renditen manualisht për të hequr 'ndotjen' apo 'papastërtitë'. Ky proces përfshin inspektimin e kujdesshëm të mostrës për të larguar gurët, rrënjët dhe mbeturinat e tjera të pranishme. Mund të ketë gjithashtu fragmente të materialeve arkeologjike, si copëza kockash, qymyr druri ose pjesë të qeramikës, të cilat gjithashtu duhet larguar. Megjithatë, këto elemente nuk hidhen, pasi ato përmbajnë informacion arkeologjik. Për to krijohet një qese e re plastike për ruajtje, e cila etiketohet me identifikuesit e përshkruar më parë dhe shënohet si 'artefakte'. Këto të dhëna mund të përfshihen në përfaqësimin e të dhënave, por kryesisht i dërgohen arkeologut përgjegjës për operacionin, për të përmirësuar përcaktimin e njësive stratigrafike. Pas përzgjedhjes, mostra përbëhet vetëm nga sedimenti i thatë. Mostra vendoset në një bluarës me havan Retsch RM100 me havan prej korundi. Bluhet për 60 sekonda, duke arritur një madhësi grimcash prej 100 µm. Bluarësi pastrohet me kujdes pas çdo mostre për të parandaluar ndotjen e kryqëzuar. Pas bluarjes, mostra shndërrohet në një pluhur të imët. Ky pluhur vendoset në një mbajtëse plastike të mostrave me një diametër të brendshëm prej 30 mm, me pjesën e poshtme të përbërë nga një film Mylar 6 µm të trashë. Është thelbësore që filmi të jetë tërësisht i tendosur dhe pa rrudha. Nëse vërehen rrudha, filmi duhet të zëvendësohet dhe mbajtësja e mostrës të bëhet prapë. Mbajtësja e mostrës duhet të mbushet deri në kapacitetin maksimal dhe më pas të mbyllet me një kapak për të parandaluar humbjen aksidentale. Mbajtëset e mostrave më pas vendosen në spektrometrin Epsilon 4 EDXRF nga Malvern Panalytical. Pajisja është e pajisur me një tub rreze-X me anodë argjendi, me një fuqi maksimale prej 10 W, tension prej 50 kV dhe rrymë prej 2 mA. Detektimi i sinjalit kryhet përmes një detektori SDD10 HR me një rezolucion prej 135 eV në 5.9 keV.

Gjatë një rutine analitike, çdo mostër bombardohet drejtpërdrejt dhe përmes filtrave primarë të instrumentit, që përfshijnë: bakër 300 dhe 500 µm, alumin 50 dhe 200 µm, titan 7 µm dhe argjend 100 µm. Përdorimi i këtyre filtrave mundëson përqendrimin e analizës në një pjesë specifike të spektrit, duke kufizuar efektet e maskimit. Për më tepër, përdorimi i një fluksi heliumi ndihmon në vëzhgimin e elementeve të lehta me ndjeshmëri më të lartë. Matjet kryhen duke përdorur metodën Omnian, softuerin e analizës gjysmësasiore standarde të prodhuesit, i cili automatikisht skanon gjashtë

kushte të ndryshme me tension, filtër dhe rrymë të ndryshme. Metoda Omnian prodhon rezultate analize XRF të krahasueshme me ato të laboratorëve të tjerë, në të njëjtat kushte analitike. Kjo metodë u kalibrua gjatë dorëzimit të spektrometrit dhe përfitimi rregullohet automatikisht me një pllakë bakri/alumini (Cu/Al) çdo 12 orë në Cu Kα,β. Kalibrimi i energjisë kryhet mbi Al Kα dhe Cu Kα,β. Matjet e elementeve të lehta kryhen nën një fluks heliumi sipas metodës Omnian, dhe rrotulluesi i mostrës aktivizohet. Mostrat vendosen në mbajtëse me një diametër të brendshëm prej 30 mm, të pajisura me filma Mylar 6 μm në formën e pluhurit të lirë.

Metoda Omnian është përshtatur me anë të futjes së një etikete në kalibrimin e Omnian nga një standard toke (dhe e lehtë ranore 1, material referencë i certifikuar, BCR-142R). Parametrat e përpunimit të përdorur për mostrat tona janë si më poshtë:

-Lloji i mostrës: pluhur i lirë
-Korrektimi i filmit: Mylar 6 μm
-Korrektimi i devijimit
-Lista e përbërjeve: gjeologji
-Normalizimi: i kërkuar në 100%
-Intensiteti i Compton

Lista e përbërjeve gjeologjike shfaq elementet më të bollshme si okside (*P: P_2O_5, S: SO_3, Al: Al_2O_3, Si: SiO_2, Na: Na_2O, K: K_2O, Mg: MgO, Ca: CaO, Fe: Fe_2O_3*). Një nga përparësitë kryesore të XRF është aftësia e tij për të dhënë përqendrimet e shumicës së elementeve kimike drejtpërdrejt nga mostrat e ngurta.

Megjithatë, fluorescenca me rreze X me shpërndarje të energjisë (EDXRF) nuk është në gjendje të kuantifikojë elementet nën fluorin (F). Ky disavantazh adresohet nga softueri Omnian, i cili lëshon një vlerësim të këtyre elementeve për të llogaritur përmbajtjen e elementeve kimike të analizuara. Për të reduktuar këtë paqartësi dhe për ta bërë analizën më të besueshme, duke e afruar rezultatin gjysmësasior me vlerën sasiore, Omnian mund të integrojë matjen e disa elementeve në parametrat e përpunimit.

Për të përmirësuar saktësinë e rezultateve, përqendrimet e dyoksidit të karbonit (CO_2), materies organike (CHON) dhe ujit (H_2O) u matën me analizë termogravimetrike në një grup mostrash të shpërndara në zonat e marrjes së mostrave. Vlerat mesatare të këtyre mostrave u integruan më pas në parametrat e përpunimit të Omnian.

Megjithëse një metodë gjysmësasiore EDXRF nuk është aq e saktë në terma absolutë sa teknikat tradicionale të analizës si ICP, rezultatet e marra tregojnë përsëritshmëri të mirë dhe ofrojnë të dhënat më të rëndësishme për këtë studim, domethënë ndryshimet në përqendrimet e elementeve kimike në varësi të koordinatave të marrjes së mostrave. Në fund të analizës XRF, mbajtëset e mostrave zbrazen në qese që përmbajnë pluhurat e mbetur. Pasi analiza nuk është destruktive, mostrat mund të ruhen për matje të dyta ose analiza të mëtejshme. Të dhënat e analizës XRF paraqiten në një tabelë që shfaq përqendrimet e elementeve të matura për çdo mostër. Meqenëse analiza jonë është gjysmësasiore, ne fokusohemi më shumë te ndryshimet në përqendrimet e elementeve kimike sesa vlerat e tyre absolute. Për të pasqyruar këtë, rezultatet normalizohen sipas formulës:V i normalizuar = (V aktual – V min) / (V max – V min). Vlerat më pas shpërndahen midis 0 dhe 1, ku 0 përfaqëson vlerën më të ulët dhe 1 vlerën më të lartë. Megjithëse këto tabela matjesh mund të interpretohen drejtpërdrejt, është më e përshtatshme të krijohet një hartë e rezultateve, e cila mund të lexohet më lehtë në

kontekstin e gjetjeve arkeologjike.

Tabela e matjeve e marrë nga analiza XRF plotësohet më pas me koordinatat e çdo pike të marrjes së mostrave, të cilat janë regjistruar më parë në terren duke përdorur stacionin total. Tabela e pasuruar hapet duke përdorur GIS. Disa opsione të interpolimit mundësojnë konvertimin e të dhënave diskrete, pra pikave, në vlera të vazhdueshme, në rastin tonë, sipërfaqe. Ne zgjodhëm metodën e interpolimit Inverse Distance Weighting (IDW). Ky model supozon se fenomeni që po modelohet drejtohet nga variacione lokale, të cilat mund të evidentohen përmes një qasjeje statistikore të quajtur "analiza e lagjes". Me fjalë të tjera, kjo teknikë interpolimi është veçanërisht e vlefshme kur ndikimi i variablave të përfaqësuar në çdo pikë zvogëlohet me distancën. Meqenëse përhapja e elementeve kimike në tokë është përgjithësisht e kufizuar, ky parim bazë është i përshtatshëm për modelimin e variacioneve të përqendrimit. Kjo metodë interpolimi funksionon më së miri kur ka një rrjet pikash të rregullt. Ky kusht plotësohet gjatë marrjes së mostrave në terren, kur vendosim një rrjet të rregullt për mbledhjen e mostrave.

Më pas, hartat marrin formën e zonave me ngjyra, duke u shtrirë nga bluja në të kuqe, ku ngjyrat më të ftohta tregojnë përqendrime të ulëta dhe ngjyrat më të ngrohta tregojnë përqendrime të larta. Zonat me kode ngjyrash zakonisht mbivendosen mbi planet arkeologjike të zonës së mostrimit, duke mundësuar një interpretim fillestar. Ky interpretim diskutohet me arkeologët përgjegjës për lokalitetin, gjë që mund të çojë në analiza shtesë për të rafinuar rezultatet. Në këtë fazë mund të realizohet gjithashtu hulumtimi bibliografik dhe historik lidhur me përdorimin e disa elementeve që shfaqen në rezultatet e analizës. Ndërsa disa elemente dhe burimet e tyre (ose shkaqet e depozitimit në shtresat arkeologjike) janë mirë të njohura për shkak të frekuencës së tyre, disa të tjera janë më të rralla dhe kërkojnë hulumtime më të thelluara. Pasi të përfundojnë këto hetime shtesë, mund të propozohet interpretimi përfundimtar.

Vendndodhjet e marrjes së mostrave

Mostrat u morën nga dy zona të veçanta (Fig. 5). Zona e parë korrespondon me një shtresë toke të zbuluar gjatë sondazhit fillestar në vitin 2017 dhe zgjerimeve të tij, të identifikuara gjatë misionit të bashkëpunimit shkencor në vitin 2018. Qëllimi arkeologjik i këtij sondazhi ishte datimi i ndërtimit të murit rrethues dhe nyjës midis tij dhe kullës këndore. Marrja e mostrave u krye në vitin 2018 (Fig. 6). Kjo zonë shtrihet përgjatë një muri mbrojtës që kufizon jugun e sondazhit. Variacionet e dyshimta të ngjyrës tërhoqën vëmendjen e arkeologëve. U morën mostra nga e gjithë zona, duke rezultuar në një total prej 114 mostrash.

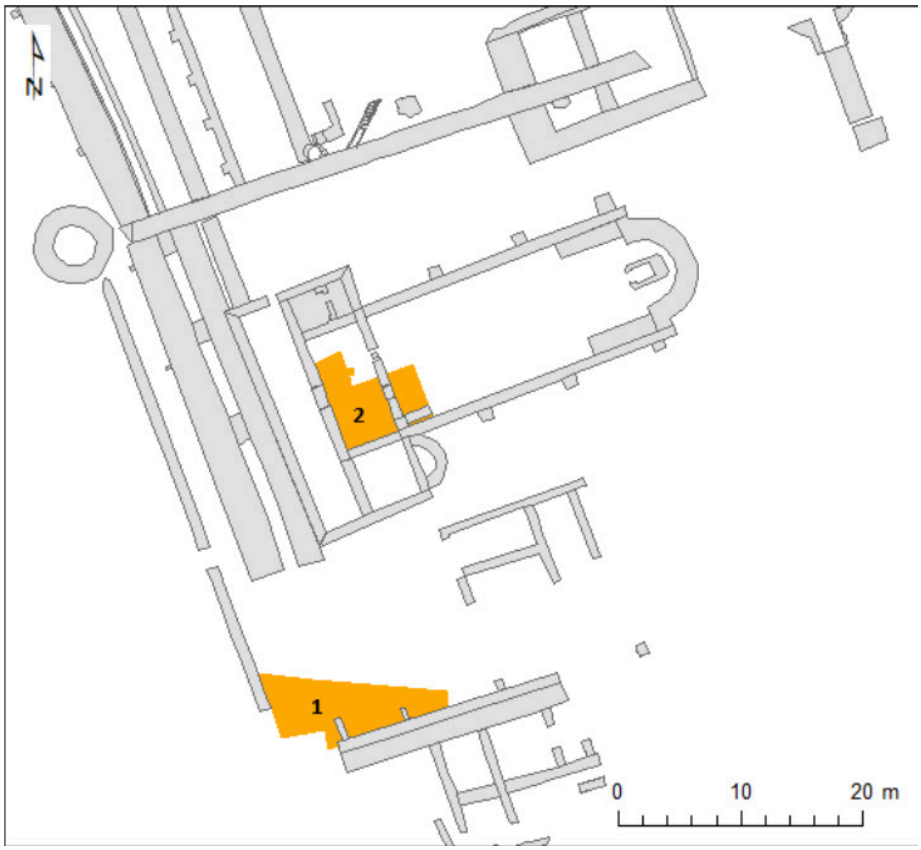

Fig. 5 - Harta e vendndodhjes së profileve të misionit MAFKO në vitet 2018-2019 në lokalitetin e Ulpianës

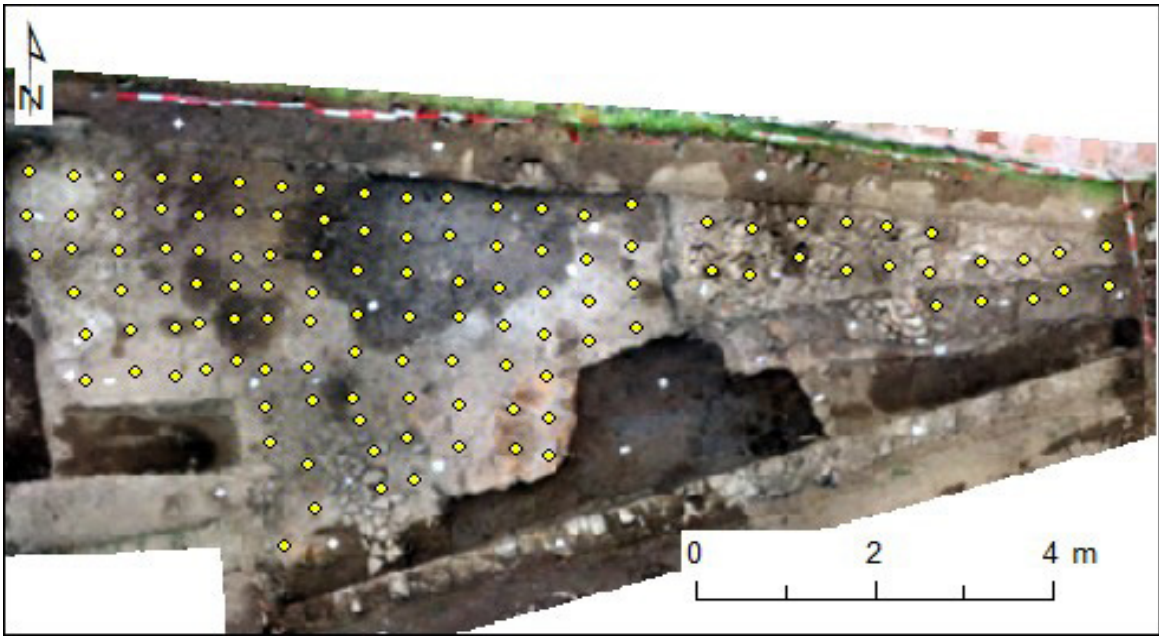

Fig. 6 Shpërndarja e mostrave në Zonën 1

Zona e dytë korrespondon me një pjesë të sondazhit të kryer në tempull-kishë, 30 metra në veri të zonës së parë (Fig. 7). Këtë herë, çështja që motivoi hapjen e këtij sondazhi ishte datimi i kishës dhe kuptimi i instalimit të saj brenda portikut të mëparshëm të tempullit romak që e parapriu atë. Një varr dhe një fragment qeramike in situ nxitën vendosjen e një rrjeti mostrash. Mostrat e marra në skajin juglindor të zonës u morën nga shtresa që u shfaq pas largimit të elementeve të mozaikut. Një total prej 35 mostrash u mor nga kjo zonë.

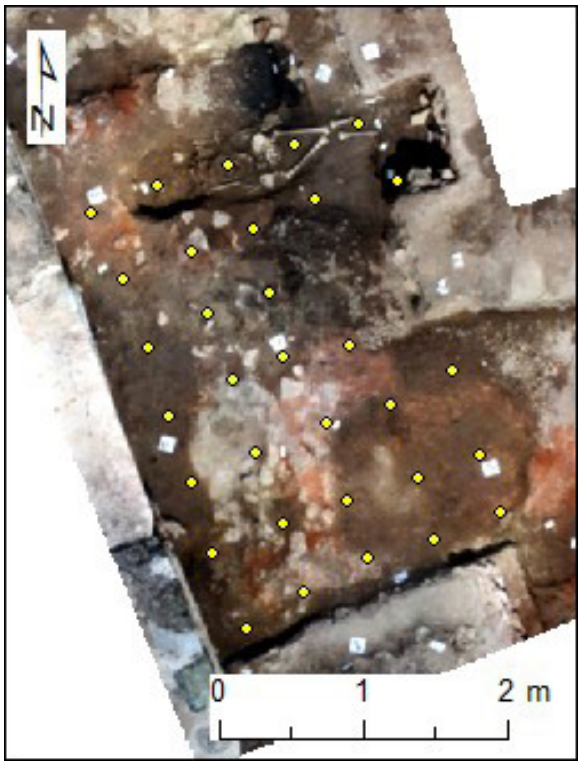

Fig. 7 - Shpërndarja e mostrave në zonën 2

Përveç këtyre dy zonave kryesore, duhet përmendur edhe një vend i tretë i mostrimit. Ky është një furrë e ruajtur mirë për prodhimin e qeramikës, e zbuluar nga ekipi i Milot Berishës (Fig. 8). Depozitime të shumta të bardha sugjerojnë se mund të jetë ripërdorur si furrë për prodhimin e gëlqeres. Këtu, mostrat nuk u morën duke përdorur një rrjet, por vetëm nga gjurmët e depozitimit dhe nga baza e strukturës. Rezultatet e këtyre mostrave nuk janë hartuar, por janë paraqitur së bashku me interpretimin e Zonës 1, ku ato ofrojnë informacion të vlefshëm.

Fig. 8 Shpërndarja e mostrave në furrë

Rezultatet dhe interpretimi

Në zonën e parë, në vendndodhjen e njollave të bardha të identifikuara gjatë gërmimeve, mund të vërejmë se sinjalet për kalcium dhe strontium janë të dyja të forta dhe të ndërlidhura (Fig. 9). Gjithashtu, vlen të theksohet se squfuri shfaq përqendrime të larta në njollën qendrore. Ky dallim midis dy njollave duhet të ndihmojë në drejtimin e interpretimit tonë. Së fundi, janë të pranishme ndotje të vogla sekondare. Këto ndotje mund të jenë si ndotje bashkëkohore të shkaktuara nga bujqësia ose industria, ashtu edhe gjurmë minimale të aktiviteteve të lashta. Në Ulpianë, tokat ujiten nga një lumë që kalon pranë një vendi të minierave bashkëkohore, gjë që sugjeron se po përballemi me ndotje të kohës së sotme. Në zonën e dytë, metalet janë elementet më të dallueshme (Fig. 10). Përqendrimet e bakrit, kallajit dhe plumbit janë të grumbulluara në qendër të zonës së studimit, në vendndodhjen e një qeramike të gjetur in situ. Zonat e tjera të pasura me metale, në veri dhe lindje të sondazhit, ndodhen përkatësisht pranë një muri dhe brenda një vendi varrimi. Gjithashtu, duhet vënë re prania e bromit, një element i rrallë në tokë, i cili ndodhet në lidhje me vendin e varrimit.

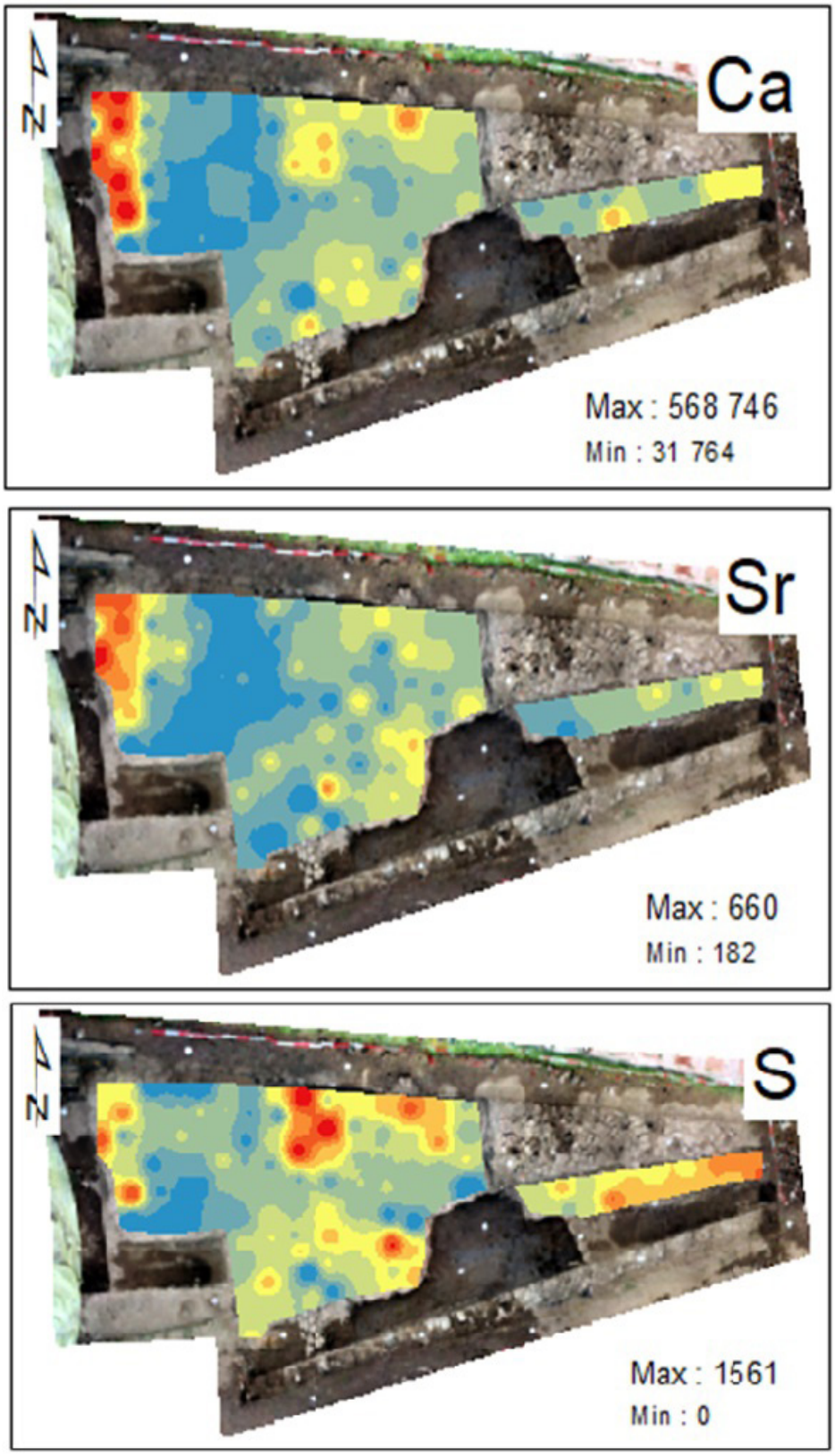

Fig. 9 Shpërndarja e përqendrimeve të dukshme të elementeve kimike për Zonën 1, përkatësisht kalciumit, strontiumit dhe squfurit

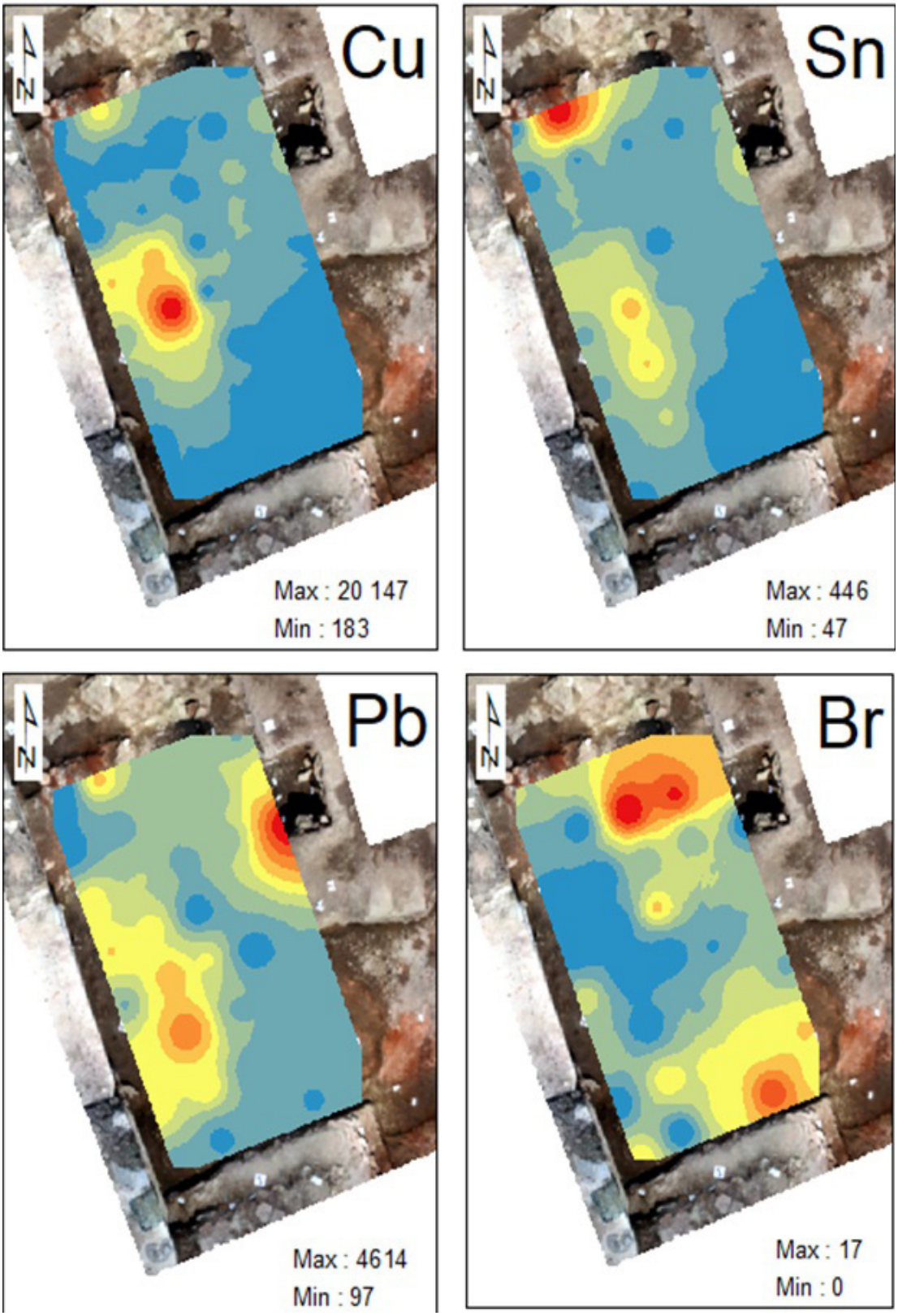

Fig. 10 – Shpërndarja e përqendrimeve të dukshme të elementeve kimike për Zonën 2, përkatësisht bakrit, kallajit, plumbit dhe bromit

Interpretimi

Zona 1

Siç u përmend më parë, dy njollat e identifikuara gjatë gërmimeve shfaqin përqendrime të ndryshme të elementeve kimike. Njolla perëndimore përmban kalcium dhe strontium, ndërsa njolla qendrore gjithashtu përfshin squfur (Fig. 9).Korelacioni midis kalciumit dhe strontiumit vërehet natyrshëm në gëlqerorë (Pracny et al. 2019). Këto dy elemente janë të ngjashme dhe mund të zëvendësojnë njëri-tjetrin në struktura më të mëdha kimike. Këto të dhëna nuk duhet të jenë befasuese për arkeologët, pasi raporti kalcium-strontium në dhëmbë përdoret zakonisht për të vlerësuar dietën e individëve (Bentley 2006). Zëvendësimi i kalciumit nga strontiumi në këtë rast tregon një dietë më të bazuar në bimë, por në këtë studim, korelacioni Ca-Sr thjesht tregon praninë e gëlqeres, siç është vërejtur në vende të tjera arkeologjike (Barba et al. 2008, Abrahms et al. 2012, Ahern 2021, Herrick & Berna 2024). Njolla qendrore, e cila gjithashtu tregon përqendrime të squfurit, sugjeron praninë e suvasë. Me formulën $CaSO_4$, suva është përdorur në antikitet, ndaj prania e saj nuk duket e pazakontë.

Ne kryem një analizë shtesë në një mostër nga kjo zonë për të verifikuar nëse është vërtet suva. Siç u përmend më parë, EDXRF siguron përqendrimet e elementeve kimike, por nuk jep strukturën molekulare të mostrës. Hipotezat molekulare mund të bazohen vetëm në përqendrimet e elementeve; në këtë rast, ne supozuam praninë e suvasë.

Megjithatë, kur është e mundur, këto hipoteza duhet të testohen. Në këtë rast, përdorëm difraktimin e rrezeve X për të identifikuar suvën. Spektrat e analizës treguan se prania e squfurit në këto mostra nuk lidhet me gipsin ($CaSO_4$), i cili do të konfirmonte praninë e suvasë, por më tepër me kalcipiritet (chalcopyrites).

Ne më pas ekzaminuam më nga afër të dhënat, duke u përqendruar veçanërisht në përmbajtjen e silikonit. Ky element zakonisht përjashtohet nga interpretimet, pasi është shumë i bollshëm në tokë dhe rërë, kryesisht në formën e silikateve të aluminit. Në këtë rast të veçantë, përqendrimi i silikonit na ndihmon të kuptojmë se çfarë përfaqësojnë dy njollat e bardha. Grafiku më poshtë paraqet përqendrimet e matura të elementeve për shtatë mostra (Fig. 11). Lime 1 dhe Lime 2 vijnë nga furrë e gëlqeres, e përmendur më parë. Mostrat A1, B1 dhe B2 vijnë nga njolla perëndimore. Mostrat I1 dhe J2 vijnë nga njolla qendrore.

Qartë, mostrat nga zona qendrore kanë përqendrime dukshëm më të larta të silikonit dhe aluminit në krahasim me ato nga zona perëndimore. Prandaj, është e mundur që gëlqerja në zonën qendrore të jetë përzier me rërë për të përgatitur llaçin. Në zonën perëndimore, ka pak silic dhe alumin, dhe të gjitha përqendrimet janë të ngjashme me ato të matura në mostrat e furrës së gëlqeres. Nga kjo mund të propozojmë se zona perëndimore përfaqëson mbetjet e një grope të gëlqeres, ndërsa zona qendrore përfaqëson mbetjet e një zone përzierjeje të llaçit.

Është e mundur të shkojmë edhe më tej. Duke krijuar të njëjtin grafik, por duke përjashtuar përqendrimet e kalciumit, silikonit dhe aluminit (që janë më të lartat), vërejmë se elementet gjurmë të pranishme në gëlqeren nga furra gjithashtu shfaqen në mostrat nga gropa e gëlqeres, në të njëjtat përmasa (Fig. 12). Sa u përket mostrave nga zona e përzierjes së llaçit, vërejmë se përqendrimet janë përgjithësisht më të

larta, veçanërisht për hekurin, kaliumin dhe manganin. Rritja e përgjithshme e këtyre elementeve ka të ngjarë të vijë nga përzierja e gëlqeres me rërë, pasi këto elemente janë relativisht të bollshme në rërë.

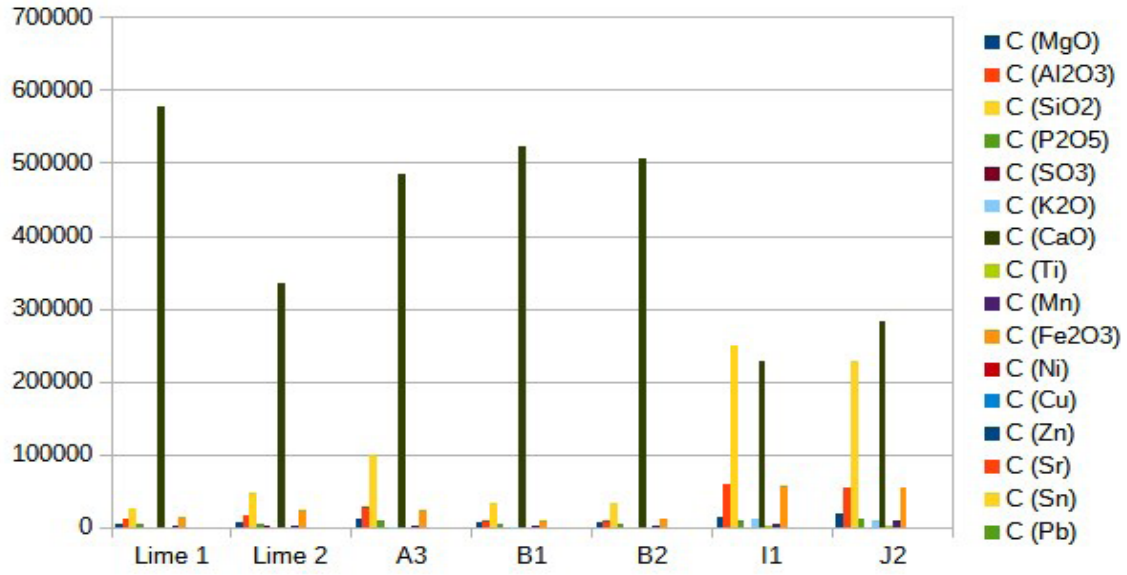

Fig. 11 Grafiku shtyllor që paraqet përqendrimet e elementeve kimike të dukshme në mostrat Lime1, Lime2, A1, B1, B2, I1 dhe J2

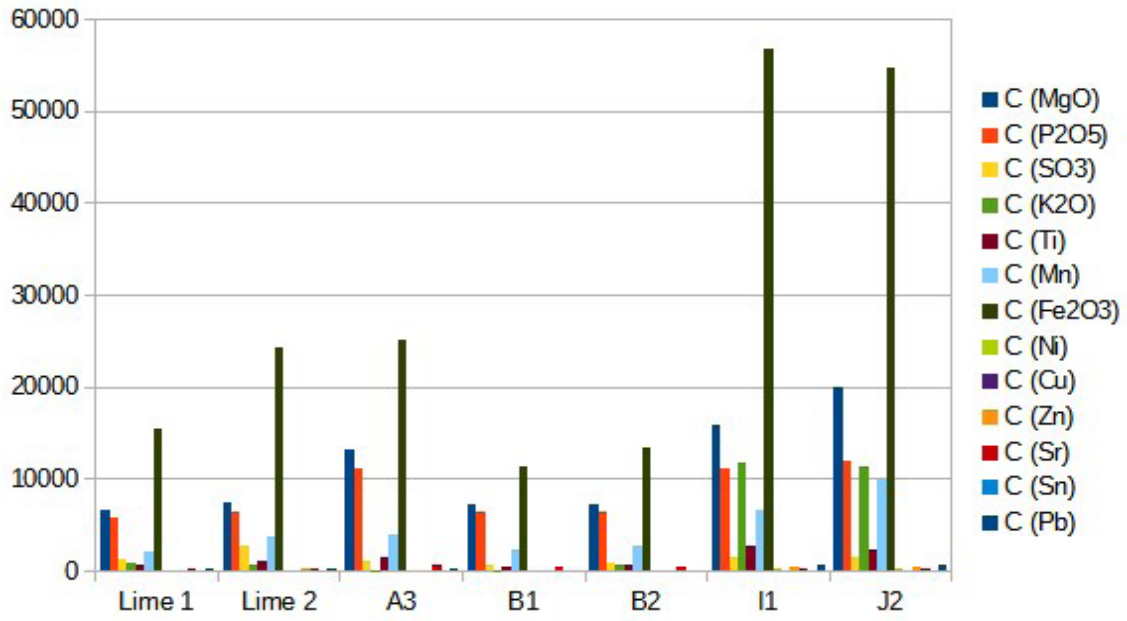

Fig. 12 Grafiku shtyllor që paraqet përqendrimet e elementeve kimike në mostrat nga Fig. 11, duke përjashtuar tri elementet më të përqendruara (Ca, Si, Al).

Zona 2

Përqendrimet e metaleve në qendër të Zonës 2 lënë pak dyshime mbi aktivitetin që është zhvilluar atje. Prania e bakrit, kallajit dhe plumbit tregon një aktivitet metalurgjik (Fig. 10). Megjithatë, është e pamundur që kjo të ketë qenë një punishte e dedikuar për prodhimin e objekteve prej bronzi. Studime të strukturave të tilla arkeologjike kanë treguar se, edhe pse ato shfaqin sinjale kimike të ngjashme, ato gjithashtu përmbajnë gjurmë të tjera arkeologjike të lidhura me këtë prodhim, qoftë në formën e mbetjeve metalurgjike ose struktura të specializuara (Shalev et al. 2006, Gauss et al. 2013, Zhang et al. 2017, Smejda et al. 2018, Tighe et al. 2018, Laenger et al. 2024).Në Ulpianë, nuk ka asnjë gjurmë të strukturave të prodhimit, përveç një copë qeramike të gjetur e shtrirë në qendër të sinjalit kimik (Fig. 13). Për më tepër, vendndodhja e këtij aktiviteti brenda narteksit të kishës është disi e pazakontë, por mund të shpjegohet lehtësisht. Kjo punishte e vogël metalurgjike ndodhet në sekuencën stratigrafike që pason shtresat që tregojnë një tërmet shkatërrues. Prodhimi metalurgjik i identifikuar në narteks ka të ngjarë të lidhet me aktivitetet e rimëkëmbjes pas fatkeqësisë. Copëza e qeramikës e përmendur më herët ka të ngjarë të ketë shërbyer si një enë (tigull) për shkrirjen e mbetjeve të objekteve prej bronzi të rikuperuara nga rrënojat.

Fig. 13 Fotografi e qeramikës in situ, në qendër të përqendrimeve të larta të metaleve.

Kredi e fotos: Arthur Laenger.

Varrimi në narteks shfaq përqendrime të pazakonta të bromit (Fig. 10). Hulumtimet bibliografike kanë evidentuar një burim të këtij elementi në një proces artizanal të njohur për shoqëritë e lashta (Guckelsberger 2013, Tsourinaki 2020). Ky proces lidhet me ngjyrosjen e tekstileve, veçanërisht me purpurin tirian. Ky pigment, i nxjerrë nga Murex brandaris, ishte jashtëzakonisht i vlerësuar nga elitat romake, duke u bërë një shenjë dalluese e klasës senatoriale dhe më vonë e elitës perandorake. Megjithëse shoqëritë e lashta nuk e njihnin strukturën e tij, molekula përgjegjëse për ngjyrën vjollcë të këtij pigmenti, 6,6'-dibromoindigo, përmban atome bromi në strukturën e saj (Fig. 14). Në një rast të mëparshëm, është analizuar një varr mbretëror me përqendrime të larta të bromit (James et al. 2009), por përqendrimet në Ulpianë janë shumë më të ulëta. Nuk ka qenë e mundur as të konfirmohet dhe as të përgënjeshtrohet nëse bromi i zbuluar nga analiza EDXRF buron nga kjo molekulë. Megjithatë, hipoteza është e besueshme, pasi ngjyrosja e një veshjeje nuk do të linte një gjurmë shumë të fortë kimike. Bromi në tokë ka të ngjarë të vijë nga një copë rrobash të ngjyrosura, e cila nuk është ruajtur.

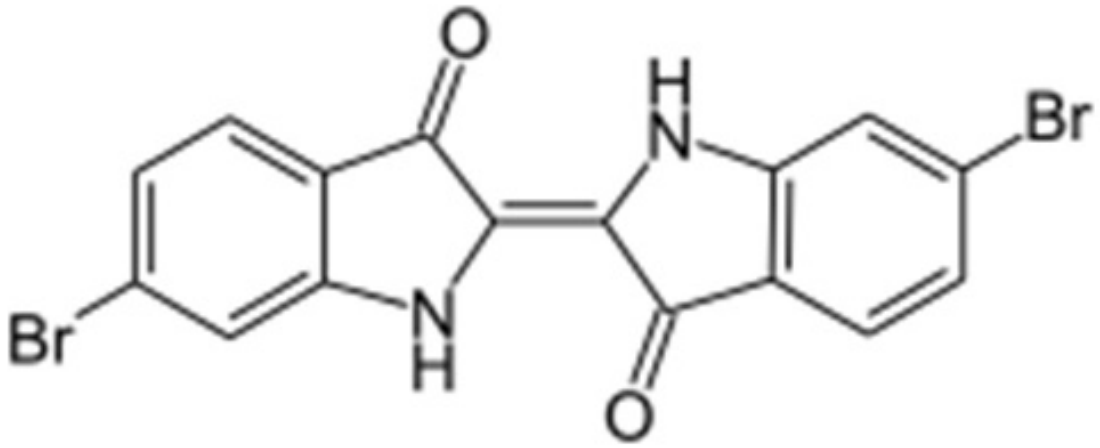

Fig. 14 Struktura e Lewis e molekulës 6,6'-dibromoindigo, një molekulë ngjyruese e pranishme në purpurin tirian.

Përfundimi

Analizat kimike të tokës, veçanërisht përdorimi i EDXRF, ofrojnë njohuri të pashembullta për identifikimin dhe interpretimin e aktiviteteve njerëzore të së kaluarës. Studimi i kryer në Ulpianë mundësoi dallimin e zonave të prodhimit dhe transformimit, përfshirë një punishte riciklimi për bronzin dhe mbetje llaçi të lidhura me përgatitjen e materialeve ndërtimore. Për më tepër, prania e bromit, e cila mund të lidhet me ngjyrues prestigjioz tekstilesh, nënvizon pasurinë e informacionit që mund të zbulojnë analizat gjeokimike.

Këto gjetje tregojnë efikasitetin e EDXRF për të siguruar të dhëna të besueshme dhe të aksesueshme, duke reduktuar njëkohësisht kostot dhe kompleksitetin e protokolleve analitike. Ato gjithashtu theksojnë se si kjo metodë mund të luajë një rol qendror

në studimet heuristike, duke ofruar hipoteza interpretuese të sakta, të cilat mund të konfirmohen ose rafinohen përmes teknikave plotësuese.

Në të ardhmen, zbatimi sistematik i kësaj metodologjie në site arkeologjike të ngjashme, si Justiniana Secunda, e cila ndodhet pak në veri të Ulpianës, mund të thellojë kuptimin tonë për ndërveprimet kulturore dhe ekonomike në rajon. Për më tepër, integrimi i EDXRF me qasje të tjera analitike, si analiza izotopike ose difraktimi i rrezeve X, mund të zbulojë shenja të reja kimike të aktiviteteve antropogjene, të cilat deri më tani nuk janë eksploruar sa duhet.

Deklarata e konfliktit të interesit

Nuk ka asnjë konflikt interesi për t'u deklaruar në lidhje me këtë publikim.

Falënderimet

Përdorimi i teknologjive të reja në arkeologji mund të shkaktojë konfuzion ose madje të jetë shqetësues për arkeologët, të cilët natyrshëm shqetësohen për integritetin e siteve të tyre. Megjithatë, pa eksperimentim, përparimi në njohuri mbetet i kufizuar. Prandaj, duam të shprehim mirënjohjen tonë të përzemërt për Arben Hajdari, Milot Berisha dhe Christophe Goddard, që na lejuan të testonim protokollin tonë të studimit në zonat e hulumtuara në Ulpianë, nën mbikëqyrjen e tyre.

Gjithashtu, shprehim falënderime të sinqerta për laboratorin në IUT de Chimie du Mans Université, për vënien në dispozicion të pajisjeve të tyre EDXRF, pa të cilat ky eksperiment nuk do të ishte i mundur.

BIBLIOGRAFIA

Abrahams, Peter W., Jane A. Entwistle, and Robert A. Dodgshon. 2010. "The Ben Lawers Historic Landscape Project: Simultaneous Multi-Element Analysis of Former Settlement and Arable Soils by X-Ray Fluorescence Spectrometry." *Journal of Archaeological Method and Theory* 17: 231–48.

Ahern, Kaitlin R. 2021. "Analysis of Late Preclassic Period Lime Plaster Floors at Holmul, Guatemala." *Journal of Archaeological Science: Reports* 36: 102883.

Arrhenius, Olof. 1931. "Die Bodenanalyse im Dienst der Archäologie." *Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde* 10 (27–29): 427–39. https://doi.org/10.1002/jpln.19310102705.

Arrhenius, Olof. 1934. Fosfathalten i Skånska Jordar. *Sveriges Geologiska Undersökning C* 28: 383–415.

Barba, Luis, and Guadalupe Bello. 1978. "Análisis de Fosfatos en el Piso de una Casa Habitada Actualmente." *Notas Antropológicas* 1 (24): 188–93.

Barba, Luis, Salvador Domínguez-Bella, Juan Ramos, Vicente Castañeda, María Pérez, and Manuel Sánchez. 2006. "Geophysics and Archaeology at La Mesa Site, Chiclana de la Frontera, Cádiz (Spain)." In *Proceedings of the 34th International Symposium*

on Archaeometry, Zaragoza, 3–7 May 2004, edited by Josefina Pérez-Arantegui, 15–20. Zaragoza: Institución "Fernando el Católico."

Bentley, Alexander R. 2006. "Strontium Isotopes from the Earth to the Archaeological Skeleton: A Review." *Journal of Archaeological Method and Theory* 13, (3): 135–87.

Bintliff, John, and Patrick Degryse. 2022. "A Review of Soil Geochemistry in Archaeology." *Journal of Archaeological Science: Reports* 43: 103419. https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2002.103419.

Craddock, Paul T., David Gurney, Francis Pryor, and Michael J. Hughes. 1985. "The Application of Phosphate Analysis to the Location and Interpretation of Archaeological Sites." *The Archaeological Journal* 142 (1): 361–76. https://doi.org/10.1080/00665983.1985.11021068.

Dirix, Katrien, Philippe Muchez, Patrick Degryse, Borut Mušic, and Jeroen Poblome. 2013. "Integrating Multi-Element Geochemical and Magnetic Survey at Ancient Sagalassos (Southwest Turkey): Anthropogenic versus Natural Anomalies." *Archaeological Prospection* 20 (4): 233–47. https://doi.org/10.1002/arp.1462.

Frahm, Ellery, Glenn F. Monnier, Nicholas A. Jelinski, Eric P. Fleming, Benjamin L. Barber, and Joseph B. Lambon. 2016. "Chemical Soil Surveys at the Bremer Site (Dakota County, Minnesota, USA): Measuring Phosphorus Content of Sediment by Portable XRF and ICP-OES." *Journal of Archaeological Science* 75: 115–38. https://doi.org/10.1016/j.jas.2016.10.004.

Gauss, Reinhard K., Juraj Bátora, Erich Nowaczinski, Kurt Rassmann, and Guido Schukraft. 2013. "The Early Bronze Age Settlement of Fidvár, Vráble (Slovakia): Reconstructing Prehistoric Settlement Patterns Using Portable XRF." *Journal of Archaeological Science* 40 (7): 2942–60. https://doi.org/10.1016/j.jas.2013.01.029.

Goddard, Christophe, Arben Hajdari, Milot Berisha, and Tomoo Mukai. 2017. Rapport de la Mission Archéologique Franco-Kosovare à Ulpiana. MAEE; Ministry of Culture of Kosovo. halshs-02431321.

Guskelsberger, Martin. 2013. Purple Murex Dye in Antiquity. Háskóli Íslands Hugvísindasvið Latína.

Gutiérrez-Rodríguez, Manuel, Paul Goldberg, Francisco J. M. Peinado, Thomas Schattner, Werner Martini, Miguel Orfila, and Clara B. Acero. 2019. "Melting, Bathing and Melting Again: Urban Transformation Processes of the Roman City of Munigua: The Public Thermae." *Archaeological and Anthropological Sciences* 11(1): 51–67. https://doi.org/10.1007/s12520-017-0527-0.

Hafez, Ibrahim T., Giovanni Sorrentino, Maria Faka, Carmen Cuenca-García, Christina Makarona, Antonia Charalambous, Koen Nys, and Silvia Hermon. 2017. "Geochemical Survey of Soil Samples from the Archaeological Site Dromolaxia-Vyzakia (Cyprus), by Means of Micro-XRF and Statistical Approaches." *Journal of Archaeological Science: Reports* 11: 447–62. https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2016.12.023.

Hayes, Katherine. 2013. "Parameters in the Use of pXRF for Archaeological Site Prospection: A Case Study at the Reaume Fort Site, Central Minnesota." *Journal of Archaeological Science* 40 (8): 3193–211. https://doi.org/10.1016/j.jas.2013.04.008.

Herrick, Heather M., and Francesco Berna. 2024. "A Review of Methods to Analyze

Archaeological Lime Production: Investigating Raw Materials Selection and Firing Conditions." *Journal of Archaeological Method and Theory* 31 (4): 1668–96. https://doi.org/10.1007/s10816-024-09652-x.

James, Matthew A., Nils Reifarth, Anirban J. Mukherjee, Michael P. Crump, Peter J. Gates, Peter Sandor, Fiona Robertson, Peter Pfälzner, and Richard P. Evershed. 2009. "High Prestige Royal Purple Dyed Textiles from the Bronze Age Royal Tomb at Qatna, Syria." *Antiquity* 83(322): 1109–18.

Laenger, Alain, and Alain Martel. 2024. "Analyse Géochimique de Sol: Thérouanne, Pas-de-Calais, 22-24 Rue Saint Jean." *Technical Report*. 11.

Middleton, William D., Linda Barba, Alessandra Pecci, James H. Burton, Alejandra Ortiz, Luca Salvini, and Ricardo R. Suárez. 2010. "The Study of Archaeological Floors: Methodological Proposal for the Analysis of Anthropogenic Residues by Spot Tests, ICP-OES, and GC-MS." *Journal of Archaeological Method and Theory* 17 (3): 183–208. https://doi.org/10.1007/s10816-010-9088-6.

Onk, Sander, Cornelis P. Slomp, and Diederik J. Huisman. 2009. "Geochemistry as an Aid in Archaeological Prospection and Site Interpretation: Current Issues and Research Directions." *Archaeological Prospection* 16 (1)1: 35–51.

Pracný, Petr, Jan Fiamon, and David Všianský. 2019. "Evolution of Mg/Ca and Sr/Ca Ratios during the Experimental Dissolution of Limestone." *Chemical Geology* 523: 107–20.

Rippon, Stephen J., Michael H. Martin, and Andrew W. Jackson. 2001. "The Use of Soil Analysis in the Interpretation of an Early Historic Landscape at Puxton in Somerset." *Landscape History* 23 (1): 27–38. https://doi.org/10.1080/01433768.2001.10594528.

Salisbury, Roderick B. 2020. "Advances in Archaeological Soil Chemistry in Central Europe." *Interdisciplinaria Archaeologica: Natural Sciences in Archaeology* 11 (2): 199–211.

Save, Stéphane, Ján Kováčik, Françoise Demarly-Cresp, Romain Issenmann, Sébastien Poirier, Susanne Sedlbauer, and Yannick Teyssonneyre. 2020. "Large-Scale Geochemical Survey by pXRF Spectrometry of Archaeological Settlements and Features: New Perspectives on the Method." *Archaeological Prospection* 27 (3): 203–18. https://doi.org/10.1002/arp.1773.

Shalev, Shirly, Sergey S. Shilstein, and Yuval Yekutieli. 2006. "XRF Study of Archaeological and Metallurgical Material from an Ancient Copper-Smelting Site near Ein-Yahav, Israel." *Talanta* 70 (5): 909–13.

Smejda, Ladislav, Martin Hejcman, Jan Horák, and Itzhaq Shai. 2017. "Ancient Settlement Activities as Important Sources of Nutrients (P, K, S, Zn and Cu) in Eastern Mediterranean Ecosystems—The Case of Biblical Tel Burna, Israel." *Catena* 156: 62–73. https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.03.024.

Tighe, Matthew, Greg Rogan, Susan C. Wilson, Peter Grave, Lisa Kealhofer, and Piyaporn Yukongdi. 2018. "The Potential for Portable X-Ray Fluorescence Determination of Soil Copper at Ancient Metallurgy Sites, and Considerations beyond Measurements of Total Concentrations." *Journal of Environmental Management* 206:

373–82.
Tsourinaki, Sofia. 2020. "The Use of Muricidae and Other Purple Colourants during Late Antiquity." In *Environment and Religion in Ancient and Coptic Egypt: Sensing the Cosmos through the Eyes of the Divine*, edited by Alicia Maravelia and Nadine Guilhou, 453–474. Oxford: Archaeopress.
Wilkins, Ann P. 2009. "Identifying 18th Century Hidden Landscapes at Stratford Hall Plantation Using Portable X-Ray Fluorescence Phosphorus Readings on Plowzone Samples." PhD diss., University of Massachusetts.
Wilson, Clare A., Douglas A. Davidson, and Malcolm S. Cresser. 2008. "Multi-Element Soil Analysis: An Assessment of Its Potential as an Aid to Archaeological Interpretation." *Journal of Archaeological Science* 35 (2): 412–24. https://doi.org/10.1016/j.jas.2007.04.006.
Zhang, Shuangquan, Yuzhang Yang, Michael J. Storozum, Haifeng Li, Yanhong Cui, and Guanghui Dong. 2017. "Copper Smelting and Sediment Pollution in Bronze Age China: A Case Study in the Hexi Corridor, Northwest China." *Catena* 156: 92–101.

Rreth autorëve

Arthur Laenger

Arthur Laenger ka studiuar histori, arkeologji dhe kimi në Le Mans University (Francë) dhe ka marrë doktoraturën në arkeologji dhe historinë e Mesjetës në vitin 2006, nën mbikëqyrjen e A. Durand dhe A. Martel. Puna e tij fokusohet në karakterizimin e strukturave dhe siteve arkeologjike duke përdorur një qasje ndërdisiplinore që kombinon historinë, arkeologjinë dhe analizën kimike të tokës.

Arnaud Martel

Arnaud Martel lindi në vitin 1974 në Le Mans, Francë. Ai ndoqi studimet në kimi në Université du Maine, duke marrë doktoraturën në 2001. Më pas, ai kreu hulumtime postdoktorale me Prof. G. Guillaumet në ICOA (Orléans, Francë) dhe me Prof. H. Ottosson në Uppsala (Suedi). Në vitin 2004, u emërua profesor i asociuar, dhe në vitin 2013, arriti gradën e profesorit të plotë në Université du Maine. Interesat e tij kërkimorë përfshijnë kiminë organike, zbulimin e mekanizmave të reaksioneve me ndihmën e DFT (Density Functional Theory) dhe kiminë analitike. Aktualisht, hulumtimi i tij fokusohet në zhvillimin e metodologjive të reja analitike, të aplikuara në një qasje multidisiplinore, duke përfshirë arkeologjinë dhe shkencat mjedisore.

Aline Durand

Aline Durand ka studiuar histori, latinisht dhe antrakologji në Paris I Panthéon-Sorbonne University, duke marrë doktoraturën në vitin 1991 nën mbikëqyrjen e R. Fossier dhe J.-L. Vernet. Ajo punoi si profesoreshë e asociuar në Aix-Marseille University nga viti 1992 deri në 2013, dhe që prej vitit 2013 është profesore e rregullt

e historisë dhe arkeologjisë mesjetare në Le Mans University.Interesat e saj kërkimorë përfshijnë ekonominë rurale nga shekulli X deri në fillim të shekullit XIII në rajonin mesdhetar francez (Languedoc, Provence dhe Alpet Jugore të Francës). Hulumtimi i saj ndërthur burime të ndryshme, duke përfshirë dokumente të shkruara (dokumentacion diplomatik dhe traktate agronomike), të dhëna arkeologjike, rezultate bioarkeologjike dhe paleo-mjedisore. Ajo studion peizazhet agrare, menaxhimin e burimeve bimore, si dhe praktikat dhe njohuritë mbi bimët. Për të kuptuar më mirë teknikat e prodhimit artizanal dhe ndikimin e tyre mjedisor, ajo zhvilloi një projekt kërkimor etnoarkeologjik në Marok, duke përdorur metodat arkeologjike për t'i vëzhguar dhe regjistruar ato.

Fabien Boucher

Fabien Boucher lindi në vitin 1978 në Le Mans, Francë. Ai fillimisht studioi kimi në University of Maine, ku mori DUT në Kimi (ekuivalenti francez i një diplome bachelor), dhe më pas vazhdoi studimet në Shkollën e Kimisë në Rennes (University of Rennes), ku fitoi një diplomë inxhinierie në kimi analitike. Pasi punoi për më shumë se 10 vjet në laboratore që ofronin shërbime të analizës mjedisore, ai u kthye në University of Le Mans si inxhinier studimesh. Në këtë rol, ai mbështeti kërkimet në kimi analitike dhe kontribuoi në zhvillimin e metodologjive të reja analitike, të aplikuara në fusha të ndryshme, përfshirë kiminë, biologjinë dhe arkeologjinë.

Përkthimi: Arsim Canolli
Redaktimi i përkthimit: Arben Hajdari
Lektura: Adelinë Selmani