



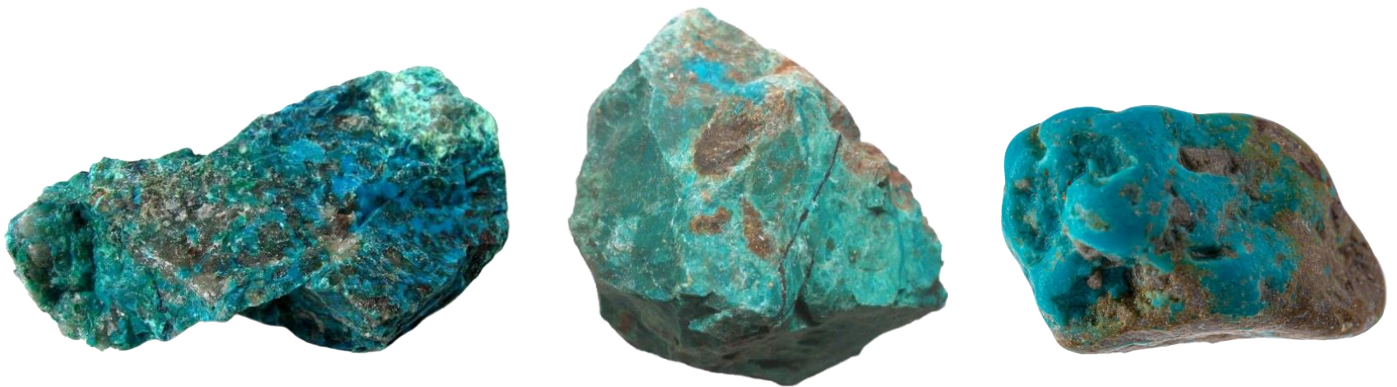
ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ - ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΑΣ -
ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ



ΟΛΓΑ ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΥ
ΑΕΜ 5812

ΤΥΡΚΟΥΑΖ: ΔΟΜΗ, ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΕΜΦΑΝΙΣΕΙΣ
TURQUOISE: STRUCTURE, CHEMICAL COMPOSITION AND OCCURRENCES

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
BACHELOR THESIS



ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2023





ΟΛΓΑ ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΥ

ΤΥΡΚΟΥΑΖ: ΔΟΜΗ, ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΕΜΦΑΝΙΣΕΙΣ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας
Τομέας Ορυκτολογίας - Πετρολογίας - Κοιτασματολογίας

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια

Λαμπρινή Παπαδοπούλου



© Όλγα Παπαδοπούλου, 2023

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

© Όλγα Παπαδοπούλου, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Ορυκτολογίας, Πετρολογίας, Κοιτασματολογίας, 2023

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

Τυρκουάζ: δομή, χημική σύσταση και εμφανίσεις – *Διπλωματική Εργασία*

© Olga Papadopoulou, School of Geology, Department of Mineralogy, Petrology, Economic Geology, 2023

All rights reserved.

Turquoise: structure, chemical composition and occurrences – *Bachelor Thesis*

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

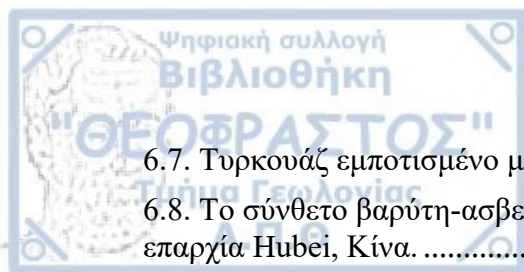
Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.

Εικόνες εξωφύλλου: Ανεπεξέργαστοι λίθοι τυρκουάζ





ΠΕΡΙΛΗΨΗ	1
ABSTRACT.....	2
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	3
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	4
2. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΥΡΚΟΥΑΖ	7
2.1. Χημική σύσταση	7
2.2. Δομή.....	8
2.3. Κρυσταλλογραφία.....	9
2.4. Φυσικές Ιδιότητες	9
i. Χρώμα	9
ii. Διαφάνεια	10
iii. Σκληρότητα	11
iv. Αντοχή	11
v. Λάμψη	11
vi. Ειδικό βάρος.....	11
vii. Σχισμός	12
viii. Γραμμή σκόνης.....	12
3. ΓΕΝΕΣΗ	13
4. ΕΜΦΑΝΙΣΕΙΣ	15
4.1. Ηνωμένες Πολιτείες.....	15
4.2. Ιράν	17
4.3. Κίνα.....	18
4.4. Αίγυπτος.....	21
4.5. Θιβέτ	22
4.6. Αυστραλία.....	22
4.7. Βουλγαρία.....	22
5. ΤΕΧΝΗ ΚΑΙ ΚΟΣΜΗΜΑΤΑ.....	23
6. ΣΥΝΘΕΤΙΚΑ ΟΡΥΚΤΑ ΚΑΙ ΑΠΟΜΙΜΗΣΕΙΣ.....	24
6.1. Τεχνική εξέλιξη και ταυτοποίηση των γεμισμένων με ρητίνη τυρκουάζ.....	24
6.2. Ένας νέος τύπος σύνθετου τυρκουάζ.....	25
6.3. Το τυρκουάζ ως υλικό κοσμημάτων στην αγορά	26
6.4 Τυρκουάζ με μοτίβο δακτυλικών αποτυπωμάτων	28
6.5 Τυρκουάζ με προσομοιωμένο matrix	29
6.6. Τυρκουάζ από το Polk του Αρκάνσας	29



6.7. Τυρκουάζ εμποτισμένο με πολυμερές	30
6.8. Το σύνθετο βαρύτη-ασβεστίτη ως απομίμηση του τυρκουάζ "Wulanhua" από την επαρχία Hubei, Κίνα.	31
6.9. Τρόποι αναγνώρισης αυθεντικότητας τυρκουάζ	32
6.10. Επεξεργασία ενίσχυσης τυρκουάζ - Zachery.....	33
6.11. Οδοντίνη (οδοντόλιθος): απομίμηση τυρκουάζ.....	34
6.12. Σύνθεση και φασματικά χαρακτηριστικά τυρκουάζ κατασκευασμένου με πορσελάνη	34
7. ΙΣΤΟΡΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....	36
7.1. Το τυρκουάζ στην Αμερική	36
7.2. Η οργάνωση της παραγωγής και της κατανάλωσης τυρκουάζ από τους προϊστορικούς Chacoans	40
7.3. Γεωλογικά χαρακτηριστικά του τυρκουάζ από το Hami, Xinjiang της Κίνας.....	41
8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	43



Τυρκουάζ: δομή, χημική σύσταση και εμφανίσεις

Όλγα Παπαδοπούλου

Ο σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι να περιγράψει το ορυκτό τυρκουάζ, το οποίο αποτελεί φωσφορικό άλας χαλκού και αργιλίου. Παρουσιάζονται η χημική του σύσταση, η κρυσταλλική δομή του, καθώς και οι φυσικές του ιδιότητες (χρώμα, διαφάνεια, σκληρότητα, αντοχή, λάμψη, ειδικό βάρος, σχισμός, γραμμή σκόνης). Εκτός αυτού, μελετάται η γένεσή του σε άνυδρες συνθήκες κοντά σε κοιτάσματα χαλκού και οι εμφανίσεις του ανά την υφήλιο (Αριζόνα, Μεξικό, Χουμπέι Κίνας, Ιράν, Σινά Αιγύπτου κλπ.). Περιλαμβάνει επίσης, τις μεθόδους βελτίωσης της ποιότητάς του (επεξεργασία Zachery, εμποτισμός με κερί, πλαστικό, πολυμερή γέλη και ρητίνη) όπως και την αναγνώριση των απομιμήσεων, των συνθετικών ορυκτών και γενικότερα της σύστασης ευρημάτων τυρκουάζ για την εύρεση της προέλευσής τους με τη χρήση μεθόδων, όπως η ανάλυση Raman, FTIR, EDXRF και INAA.



Turquoise: structure, chemical composition and occurrences

Olga Papadopoulou

The purpose of this thesis is to describe the mineral turquoise, which is a phosphate of copper and aluminium. Its chemical composition, crystal structure and physical properties (colour, transparency, hardness, strength, brilliance, specific gravity, cleavage, streak) are presented respectively in the following sections. In addition, its genesis in anhydrous conditions near copper deposits is studied, as well as its occurrences around the world (Arizona, Mexico, Hubei China, Iran, Sinai Egypt, etc.). It also includes methods used for the improvement of turquoise quality (Zachery treatment, wax, plastic, polymer gel and resin impregnation), and the identification of imitations, synthetic minerals and more generally the composition of turquoise finds to distinguish their origin using methods such as Raman, FTIR, EDXRF and INAA analysis.



Η ανάθεση της θεματολογίας της διπλωματικής μου εργασίας πραγματοποιήθηκε τον Ιούνιο του 2023 από την κα Λαμπρινή Παπαδοπούλου, Καθηγήτρια του Τομέα Ορυκτολογίας – Πετρολογίας – Κοιτασματολογίας του Τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.

Η παρούσα εργασία αποσκοπεί στην μελέτη του ορυκτού τυρκουάζ ως προς τη χημική του σύσταση, τη δομή, τη γένεση και τις εμφανίσεις του, ιδιαίτερα στις περιοχές της Αμερικής, της Κίνας και του Ιράν.

Θα ήθελα λοιπόν να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στην Καθηγήτρια Λαμπρινή Παπαδοπούλου που ανέλαβε να με καθοδηγήσει και να επιβλέψει την εκπόνηση αυτής της σημαντικής για εμένα εργασίας, καθώς και για το έργο της μέσα στον πανεπιστημιακό χώρο. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω και τους δικούς μου ανθρώπους για την ανελλιπή στήριξη που μου προσφέρουν.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το τυρκουάζ (Εικ. 4) αποτελεί ένα αδιαφανές ένυδρο ορυκτό φωσφορικού άλατος χαλκού και αργιλίου, σε αποχρώσεις του μπλε, μπλε-πράσινου, πράσινου και κίτρινου-πράσινου.

Η ονομασία του προέρχεται από τη γαλλική λέξη "turquoise" του 16^{ου}-17^{ου} αιώνα που σημαίνει "τούρκικος", καθώς το ορυκτό έκανε την εμφάνισή του στην Ευρώπη όταν μεταφέρθηκε από Βενετούς εμπόρους στη Γαλλία, μέσω της Τουρκίας από την περιοχή του Ιράν. Στα περσικά, ο πολύτιμος λίθος ονομάζεται "ferozah", που σημαίνει "νικηφόρος", και μέχρι τον 13ο αιώνα στην Ευρώπη ονομαζόταν "calläis", πιθανότατα από τις ρωμαϊκές ονομασίες των πολύτιμων λίθων "callainos" ή "callaina"

(<https://www.rocksandco.com/gemstone-information/turquoise/>).

Διαδραματίζει σημαντικό ρόλο ως πολύτιμος λίθος από την αρχαιότητα έως σήμερα και αξιοποιείται στην κοσμηματοποιία, τη διακόσμηση και τη γλυπτική από το 6.000 π.Χ. Οι αρχαίοι πολιτισμοί που το ανέδειξαν άκμαζαν σε διάφορες περιοχές της υψηλίου όπως στην Ασία (Εικ. 1), την Αφρική, τη Βόρεια και Νότια Αμερική, όπου επικρατούσε άνυδρο και ξηρό κλίμα.

Το τυρκουάζ υψηλής ποιότητας είναι πλέον τόσο δημοφιλές λόγω του χαρακτηριστικού και εντυπωσιακού του (ελαφρώς πρασινωπού) μπλε χρώματος, που το όνομά του χρησιμοποιείται ευρέως για να χαρακτηρίσει αυτήν την απόχρωση, όπως συμβαίνει αντίστοιχα μόνο με τον χρυσό, το ασήμι και τον χαλκό.

Λόγω αυτής της δημοφιλίας και προτίμησης του ορυκτού έχουν εμφανιστεί στην αγορά διάφορες απομιμήσεις του, οι οποίες έχουν ρίξει την κοστολόγησή του, καθώς θεωρητικά η σπανιότητά του έχει μειωθεί. Το τυρκουάζ μπορεί να μην έχει τη λάμψη και τη διαύγεια των διαφανών έγχρωμων πολύτιμων λίθων, όπως το ρουμπίνι, το σμαράγδι και το ζαφείρι, αλλά η πολυεπίπεδη ιστορία του και το χρώμα του που ικανοποιεί την ψυχή το καθιστούν έναν επιθυμητό πολύτιμο λίθο (Εικ. 2) (<https://www.gia.edu/turquoise-description>). Εκτός αυτού, οι κρύσταλλοι δεν είναι συχνά αμιγείς, αλλά περιέχουν εγκλείσματα του πετρώματος ξενιστή και έχουν μικρή σκληρότητα και ανθεκτικότητα, γι' αυτό πολλές φορές υπόκεινται σε επεξεργασίες βελτίωσης και σταθεροποίησης της ποιότητας και του χρώματός του.

Η ομάδα του τυρκουάζ αποτελείται από πέντε τρικλινικά ορυκτά. Αυτά τα ορυκτά είναι πολύ παρόμοια σε χημική σύσταση, κρυσταλλική δομή, φυσικές ιδιότητες και συχνά σε εμφάνιση. Μέλη της ομάδας είναι: τυρκουάζ, αχεϋλίτης (Εικ. 3), χαλκοσιδερίτης, φαουσίτης και πλανερίτης (<https://geology.com/minerals/turquoise.shtml>).

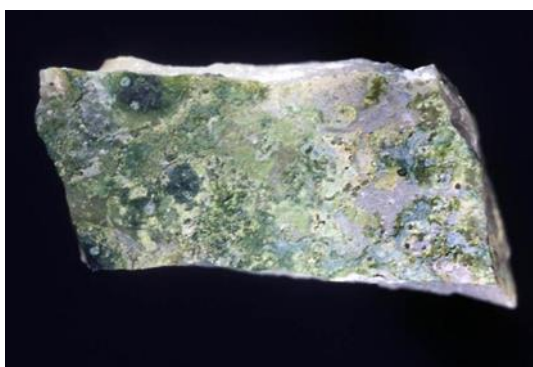
Η ζήτηση για τουρκουάζ και τουρκουάζ κοσμήματα αυξάνεται και μειώνεται με την πάροδο του χρόνου. Το 1912, το τουρκουάζ (όπως και το ζirkόνιο), ονομάστηκε ως ένας από τους γενέθλιους λίθους που αντιπροσωπεύουν τον μήνα Δεκέμβριο. Αυτό έδωσε στο πετράδι μια μικρή ώθηση στη δημοτικότητα που συνεχίζεται μέχρι σήμερα (<https://geology.com/minerals/turquoise.shtml>).



Εικόνα 1. Μικρό γλυπτό από τουρκουάζ, 20ος αιώνας, Κίνα (www.bukowskis.com)



Εικόνα 2. Καρφίτσα που συνδυάζει τουρκουάζ, ζαφείρια, σμαράγδια, ρουμπίνια, διαμάντια και χρυσό, 1940 (www.gia.edu)



Εικόνα 3. Ορυκτό αχευλίτη, Αυστραλία (www.mindat.org)



Εικόνα 4. Ορυκτό τουρκουάζ (diamondbuzz.blog)

Στις Ηνωμένες Πολιτείες υπήρξε μια έκρηξη στη ζήτηση τουρκουάζ που ξεκίνησε τη δεκαετία του 1970 και μειώθηκε τη δεκαετία του 1980. Η ζήτηση για τουρκουάζ κοσμήματα είναι πάντα υψηλότερη στις νοτιοδυτικές πολιτείες, όπου η εξόρυξη τουρκουάζ και οι ιθαγενείς καλλιτέχνες της Αμερικής κάνουν το τουρκουάζ χαρακτηριστικό στοιχείο της τοπικής κουλτούρας (<https://geology.com/minerals/turquoise.shtml>).

Σε διάφορους πολιτισμούς πιστεύεται πως το τουρκουάζ είναι ένας λίθος που ενώνει τη Γη με τον Παράδεισο και ότι προσφέρει πνευματική και φυσική ίαση. Ενδυναμώνει το πνεύμα



επιφέροντας ευημερία, θρίαμβο, νίκη, σοφία και ένα συναίσθημα γαλήνης. Βοηθάει ακόμη, στο αναπνευστικό σύστημα, το στομάχι, την ισορροπία κ.α.

2. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΥΡΚΟΥΑΖ

2.1. Χημική σύσταση

Η ομάδα ορυκτών τυρκουάζ αποτελείται από πέντε ένυδρα βασικά φωσφορικά άλατα με κύριο τύπο $AB_6(PO_4)_xPO_3(OH)_{2-x}(OH)_8 \cdot 4H_2O$, όπου το Α είναι Ca, Cu^{2+} , Fe^{2+} , Zn και το Β είναι Al, Fe^{3+} ή Cr^{3+} (Πίν. 1).

Σε αυτά τα ορυκτά ο σίδηρος συχνά υποκαθιστά το αργίλιο και ο χαλκός συχνά υποκαθιστά τον ψευδάργυρο ή τον σίδηρο. Επειδή είναι τόσο παρόμοια και έχουν εύρος σύστασης, συχνά αναγνωρίζονται εσφαλμένα. Ως αποτέλεσμα, κάποιο υλικό που πωλείται ως τυρκουάζ είναι στην πραγματικότητα ένα άλλο ορυκτό μέλος της ομάδας τυρκουάζ (<https://geology.com/minerals/turquoise.shtml>).

Το τυρκουάζ είναι το ακραίο μέλος του Al και ο χαλκοσιδερίτης είναι ακραίο μέλος του Fe.

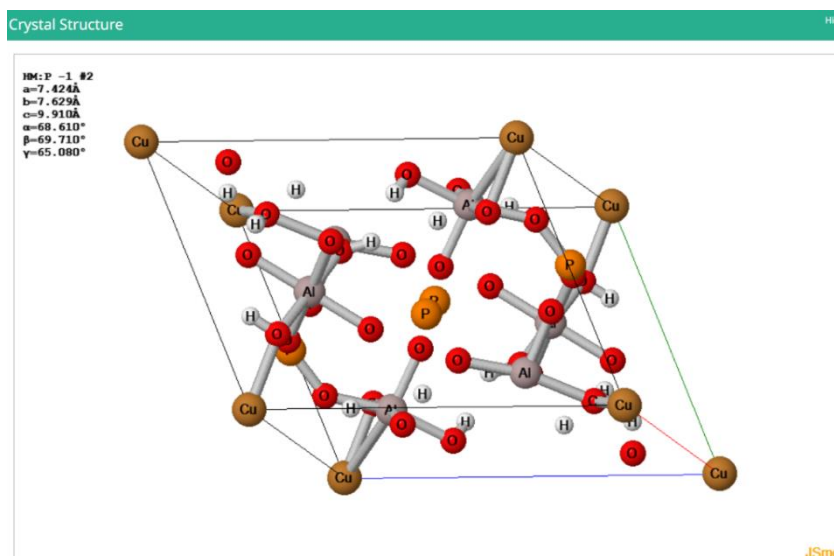
Πίνακας 1. Ορυκτά της ομάδας του τυρκουάζ

<u>Ομάδα ορυκτών τυρκουάζ</u>	
Ορυκτό	Χημική σύσταση
Τυρκουάζ	$CuAl_6(PO_4)_4(OH)_8 \cdot 4H_2O$
Αχεϋλίτης	$(Fe, Zn)Al_6(PO_4)_4(OH)_8 \cdot 4H_2O$
Χαλκοσιδερίτης	$Cu(FeAl)_6(PO_4)_4(OH)_8 \cdot 4H_2O$
Φαουσιτίτης	$(Zn, Cu)Al_6(PO_4)_4(OH)_8 \cdot 4H_2O$
Πλανερίτης	$Al_6(PO_4)_2(OH)_8 \cdot 4H_2O$

Το μέλος της ομάδας του τυρκουάζ με ψευδάργυρο, ο φαουσιτίτης, έχει έντονο κιτρινοπράσινο χρώμα και πυκνότητα εντός του εύρους του τυρκουάζ. Το τυρκουάζ μπορεί επίσης να σχηματιστεί σε σειρά με τα ορυκτά χαλκοσιδερίτης και πλανερίτης. Ο μαλαχίτης και η χρυσοκόλλα μπορούν επίσης να αναπτυχθούν μερικές φορές μαζί, σε πετρώματα με τυρκουάζ (<https://www.gemsociety.org/article/turquoise-jewelry-gem-information>).

2.2. Δομή

Η Cid-Dresdner (χρονολογία) έδειξε την κρυσταλλική δομή του τουρκουάζ (Εικ. 5), $\text{CuAl}_6(\text{PO}_4)_4(\text{OH})_8 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, η οποία αποτελείται από ζιγκ-ζαγκ αλυσίδες οκταέδρων Al προς την κατεύθυνση του β- άξονα και έχουν κοινές γωνίες μεταξύ τους και με τετράεδρα P. Ο Cu βρίσκεται σε παραμορφωμένη οκταεδρική διάταξη και μοιράζεται τέσσερεις άκρες με τέσσερα οκτάεδρα Al (Frost *et al.*, 2006).



Εικόνα 5. Κρυσταλλική δομή τουρκουάζ (www.sciencedirect.com)

Το τουρκουάζ οφείλει την υφή του στη δομή και τη σύστασή του. Είναι ένα σύνολο μικροσκοπικών κρυστάλλων που σχηματίζουν μια στερεή μάζα. Εάν οι κρύσταλλοι είναι στοιβαγμένοι στενά μεταξύ τους, το υλικό είναι λιγότερο πορώδες, οπότε έχει πιο συμπαγή υφή. Το τουρκουάζ με συμπαγή υφή έχει μια ελκυστική, κηρώδη λάμψη όταν γυαλίζεται. Το τουρκουάζ με λιγότερο πυκνή κρυσταλλική δομή έχει μεγαλύτερο πορώδες και πιο χονδροειδή υφή, με αποτέλεσμα να έχει θαμπή λάμψη όταν γυαλίζεται (<https://www.gia.edu/turquoise-description>).

2.3. Κρυσταλλογραφία

Το τυρκουάζ ανήκει στο τρικλινές κρυσταλλικό σύστημα. Οι αναλογίες των τριών αξόνων είναι $a:b:c = 0.7517:1:0.7718$ και οι διαστάσεις τους είναι οι εξής: $a = 7.48$, $b = 9.95$, $c = 7.68$. Ωστόσο, συνήθως εμφανίζεται σε μαζώδη μορφή (όπως σε φλέβες, συγκρίματα και επιφλοιώσεις) (Εικ. 7) και οι ευδιάκριτοι κρύσταλλοι είναι εξαιρετικά σπάνιοι και μικροσκοπικοί (κρυπτοκρυσταλλικό) (Εικ. 6).



Εικόνα 6. Lynch Station, Βιρτζίνια, Η.Π.Α. (www.mindat.org)



Εικόνα 7. Ορυχείο Miguel Vacas', Πορτογαλία (www.mindat.org)

2.4. Φυσικές Ιδιότητες

i. Χρώμα

Τα μπλε ορυκτά είναι σπάνια, με αποτέλεσμα το τυρκουάζ να κατέχει ξεχωριστή θέση στην αγορά πολύτιμων λίθων. Το πιο επιθυμητό χρώμα του τυρκουάζ είναι το "μπλε του ουρανού" ή το "μπλε του αυγού". Μερικοί άνθρωποι περιγράφουν ακατάλληλα το ίδιο χρώμα ως "Περσικό μπλε" μετά το διάσημο υψηλής ποιότητας υλικό που εξορύσσεται στη χώρα που τώρα είναι γνωστή ως Ιράν (περιοχή Νισαπούρ). Ωστόσο, η χρήση μιας γεωγραφικής ονομασίας για τον προσδιορισμό ενός πολύτιμου υλικού καλό θα ήταν να γίνεται μόνο όταν το υλικό εξορύσσεται από τη συγκεκριμένη τοποθεσία (<https://geology.com/minerals/turquoise.shtml>).

Τα χρώματα κυμαίνονται από αποχρώσεις του μπλε έως το μπλε-πράσινο έως το κιτρινοπράσινο ανάλογα με την ποσότητα των ιχνοστοιχείων. Ο χαλκός προσθέτει το μπλε

χρώμα. Η απομάκρυνση από το καθαρό μπλε χρώμα προκαλείται από μικρές ποσότητες σιδήρου που υποκαθιστούν το αργίλιο στη δομή του τουρκουάζ. Ο σίδηρος προσδίδει μια πράσινη ή κίτρινη απόχρωση στο τουρκουάζ ανάλογα με την αφθονία του. Το χρώμα του τουρκουάζ μπορεί επίσης να αλλοιωθεί από μικρές ποσότητες σιδήρου ή ψευδαργύρου που αντικαθιστούν τον χαλκό στη δομή του τουρκουάζ (<https://geology.com/minerals/turquoise.shtml>). Εκτός αυτού, το χρώμιο και το βανάδιο προσθέτουν πράσινη όψη και υπάρχουν και σπάνια δείγματα μπλε-βιολετί χρώματος που περιέχουν προσμίξεις στροντίου (<https://www.gemsociety.org/article/turquoise-jewelry-gem-information>).

Κάποια τουρκουάζ περιέχουν εγκλείσματα του πετρώματος ξενιστή που εμφανίζονται ως μαύρος ή καφέ ιστός αράχνης ή συγκεντρώσεις μέσα στο υλικό. Πολλές φορές γίνονται προσπάθειες να απομακρυνθούν τα εγκλείσματα από τους λίθους με τη χρήση κοπτήρων, αλλά κατανέμεται τόσο ομοιόμορφα ή λεπτά μέσα στην πέτρα που δεν είναι πάντα δυνατό.

Η παρουσία εγκλεισμάτων μπορεί να μειώσει την αξία του τουρκουάζ, αλλά αυτό δεν σημαίνει ότι το τουρκουάζ με εγκλείσματα είναι άχρηστο ή μη εμπορεύσιμο. Ορισμένοι αγοραστές προτιμούν στην πραγματικότητα την παρουσία εγκλεισμάτων στο τουρκουάζ, εάν το αποτέλεσμα της είναι ελκυστικό και ισορροπημένο. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα για το τουρκουάζ με ιστό αράχνης που περιέχει εγκλείσματα σε λεπτά, ιστιόμορφα μοτίβα κατά μήκος της όψης του πολύτιμου λίθου. Τα μοτίβα παρέχουν μια σκοτεινή αντίθεση με το φωτεινό μπλε του πολύτιμου λίθου (<https://www.gia.edu/turquoise-description>).

Κάποιες τοποθεσίες με τουρκουάζ παράγουν υλικό με χαρακτηριστικό χρώμα και εμφάνιση. Για παράδειγμα, το Sleeping Beauty Mine είναι γνωστό για το γαλάζιο τουρκουάζ του χωρίς εγκλείσματα. Μεγάλο μέρος του τουρκουάζ από το ορυχείο Kingman είναι φωτεινό μπλε με έναν αραχνοειδή ιστό από μαύρα εγκλείσματα. Το ορυχείο Morenci παράγει πολύ σκούρο μπλε τουρκουάζ με σιδηροπυρίτη ως έγκλεισμα. Μεγάλο μέρος του τουρκουάζ Bisbee έχει έντονο μπλε χρώμα με εγκλείσματα στο χρώμα της καφέ σοκολάτας.

ii. Διαφάνεια

Η διαφάνεια ενός ορυκτού χαρακτηρίζει την ικανότητά του να επιτρέπει το φως να το διαπερνά. Το τουρκουάζ είναι ένα αδιαφανές ορυκτό έως ημιδιαφανές (πιο σπάνια). Αυτό σημαίνει πως δεν αφήνει το φως να περάσει από το εσωτερικό του ή αφήνει ελάχιστες δέσμες φωτός.

iii. Σκληρότητα

Η σκληρότητα ενός ορυκτού είναι ένα μέτρο της σχετικής αντοχής του στη χάραξη. Αυτό μετρείται με το χάραγμα του ορυκτού έναντι μιας άλλης ουσίας, με γνωστή σκληρότητα στην κλίμακα σκληρότητας Mohs. Το τουρκουάζ έχει σκληρότητα 5 ή 6 στην κλίμακα Mohs. Με λίγα λόγια μπορεί να χαραχτεί από ένα μαχαιράκι. Συχνά βέβαια η σκληρότητά του είναι χαμηλότερη λόγω του πορώδους του υλικού.

iv. Αντοχή

Οι καιρικές συνθήκες μπορούν να αλλάξουν σημαντικά τις φυσικές ιδιότητες του τουρκουάζ. Το εξαλλοιωμένο τουρκουάζ μπορεί να έχει ακόμα ένα επιθυμητό χρώμα, αλλά η σκληρότητα και η αντοχή του μειώνονται. Το πορώδες του αυξάνεται και η υψηλή θερμοκρασία μπορεί να επιφέρει επιφανειακή φθορά. Η αντοχή εξαρτάται κυρίως από την εσωτερική δομή του κρυστάλλου, καθώς και από τον τέλειο σχισμό που εμφανίζει. Τα περιεχόμενα εγκλείσματα παίζουν επίσης τον ρόλο τους.

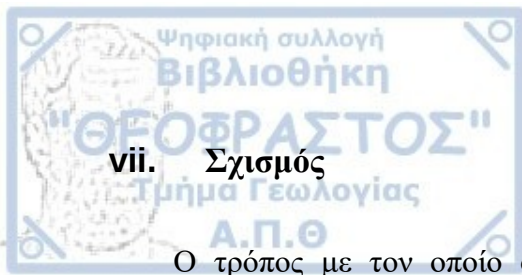
Γενικά, ένα υψηλό ποσοστό πυριτικών ορυκτών αυξάνει τη σκληρότητα (5,5-6), μειώνει το πορώδες, ενώ μια υψηλή περιεκτικότητα σε αργιλικά ορυκτά έχει το αντίθετο αποτέλεσμα (<https://www.gemsociety.org/article/turquoise-jewelry-gem-information>).

v. Λάμψη

Η λάμψη ενός ορυκτού προσδιορίζει τη γυαλάδα/λαμπρότητα των επιφανειών του. Αυτή μπορεί να είναι μεταλλική, υαλώδης, θαμπή, λιπαρή κ.α. Το τουρκουάζ χαρακτηρίζεται γενικά από κηρώδη/υποϋαλώδη λάμψη, ενώ όταν είναι εξαλλοιωμένο η λάμψη του είναι θαμπή ή σκονισμένη.

vi. Ειδικό βάρος

Το ειδικό βάρος ενός ορυκτού είναι ο λόγος της μάζας του προς τη μάζα ενός ίσου όγκου νερού. Το ειδικό βάρος του τουρκουάζ είναι 2.4 έως 2.9, ανάλογα με την περιεκτικότητά του σε εγκλείσματα και το πορώδες του.



vii. Σχισμός

Ο τρόπος με τον οποίο ορισμένα ορυκτά σπάνε κατά μήκος ορισμένων γραμμών αδυναμίας στη δομή τους, ονομάζεται σχισμός. Στο τυρκουάζ, ο σχισμός που επικρατεί είναι τέλειος κατά $\{001\}$ ή καλός $\{010\}$. Ωστόσο, δεν είναι εμφανής πάντα λόγω του μικρού μεγέθους των κόκκων των περισσότερων δειγμάτων.

viii. Γραμμή σκόνης

Η δοκιμή της γραμμής σκόνης είναι μια μέθοδος που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του χρώματος ενός ορυκτού σε μορφή σκόνης. Η απόχρωση της γραμμής σκόνης που αφήνει το τυρκουάζ πάνω σε ένα πορσελάνινο πλακίδιο είναι γαλανόλευκο έως πρασινόλευκο.

3. ΓΕΝΕΣΗ

Το τυρκουάζ σχηματίζεται ως δευτερογενές ορυκτό από τη δραστηριότητα της διήθησης όξινων υδατικών διαλυμάτων κατά τη διάρκεια της διάβρωσης και της οξειδωσης προϋπάρχοντων ορυκτών. Για παράδειγμα, ο χαλκός μπορεί να προέρχεται από ουσιώδη ορυκτά σουλφιδίων του χαλκού, όπως χαλκοπυρίτη ή δευτερογενή ανθρακικά άλατα, όπως μαλαχίτη ή αζουρίτη. Το αργίλιο μπορεί να προέρχεται από άστριο και φωσφορικό απατίτη (<https://www.geologypage.com/2019/07/turquoise.html>).

Το αποτέλεσμα αυτής της ιζηματογενούς διαδικασίας είναι μια πορώδης, ημιδιαφανής έως αδιαφανής ένωση ένυδρου χαλκού και φωσφορικού αργιλίου (<https://www.gia.edu/turquoise-description>).

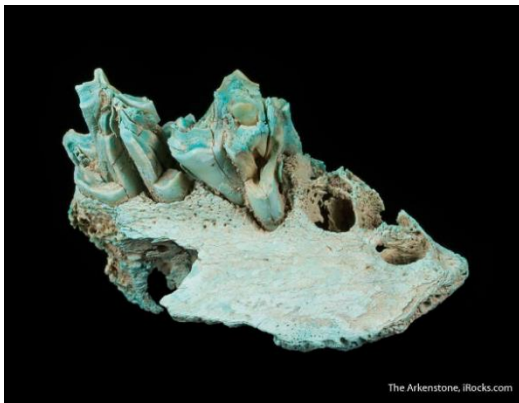
Το τυρκουάζ απαντάται συνήθως σε άνυδρες/άγονες περιοχές, κοιλάτητες πλήρωσης ή επικάλυψης και σε ρωγμές εξαιρετικά τροποποιημένων ηφαιστειακών πετρωμάτων που συχνά συνδέονται με λειμωνίτη και άλλα οξείδια σιδήρου. Τα κοιτάσματα τυρκουάζ σε μερικούς εξαλλοιωμένα ηφαιστειακά πετρώματα έχουν συνήθως τη μορφή μικρών φλεβών.

Αν και τα χαρακτηριστικά των εμφανίσεων του τυρκουάζ συνάδουν με μια δευτερογενή ή υπεργενή προέλευση (βάθος έως 20μ. κοντά στην επιφάνεια), ορισμένες πηγές αναφέρονται σε υπογενή προέλευση. Η υπόθεση της υπογενούς προέλευσης υποστηρίζει ότι τα υδατικά διαλύματα προέρχονται από σημαντικό βάθος, από υδροθερμικές διεργασίες, σε βαθύτερες περιοχές κατακερματισμού. Σε υψηλές θερμοκρασίες, αυτά τα διαλύματα ανεβαίνουν προς τα πάνω στα επιφανειακά στρώματα, αλληλεπιδρώντας και εκπλύνοντας βασικά στοιχεία από προϋπάρχοντα ορυκτά. Καθώς τα διαλύματα ψύχονται, το τυρκουάζ εναποτίθεται, επενδύοντας κοιλάτητες και ρωγμές μέσα στο περιβάλλον πέτρωμα. Αυτή η υπογενής διαδικασία μπορεί να εφαρμοστεί στην αρχική εναπόθεση σουλφιδίων του χαλκού. Ωστόσο, πολλά χαρακτηριστικά των εμφανίσεων του τυρκουάζ, δεν εξηγούνται με μια υπογενή διαδικασία. Παρ' όλα αυτά, υπάρχουν αναφορές για εγκλείσματα ρευστού δύο φάσεων σε κόκκους τυρκουάζ που δίνουν αυξημένες θερμοκρασίες ομογενοποίησης από 90 έως 190 °C που απαιτούν εξήγηση (<https://www.geologyin.com/2018/03/turquoise-oldest-known-gemstones-ever.html>).

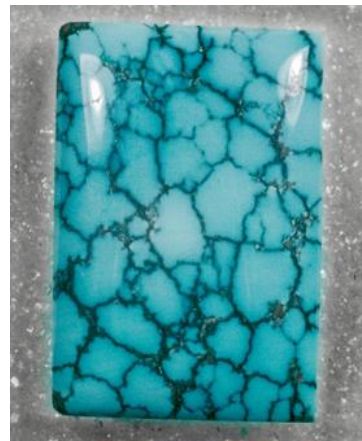
Το τυρκουάζ είναι σχεδόν πάντα κρυπτοκρυσταλλικό και μαζώδες. Οι κρύσταλλοι είναι εξαιρετικά ασυνήθιστοι ακόμη και σε μικροσκοπική κλίμακα. Τυπικά, ο σχηματισμός αυτός έχει τη συνήθεια να γεμίζει φλέβες ή ρωγμές ή να παίρνει οζώδη ή βοτρυοειδή μορφή. Έχουν καταγραφεί και σταλακτιτοειδείς μορφές. Ο άστριος, ο απατίτης, άλλα ορυκτά ή ακόμα και

απολιθώματα μπορούν επίσης να αντικατασταθούν ψευδομορφικά από τουρκουάζ. Ο οδοντολίτης (Εικ. 8) είναι ένα απολιθωμένο οστό ή ελεφαντόδοντο που παραδοσιακά πιστεύεται ότι έχει αντικατασταθεί από τουρκουάζ ή παρόμοια ορυκτά φωσφορικών αλάτων όπως ο φωσφορικός σίδηρος, βιβιανίτης. Εξίσου διαδεδομένη είναι η παράλληλη ανάπτυξη τουρκουάζ με άλλα δευτερεύοντα ορυκτά του χαλκού όπως η χρυσόκολλα.

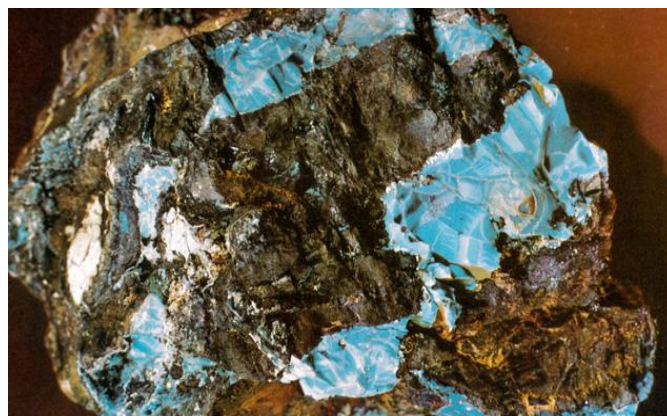
Τα κοιτάσματα τουρκουάζ σχηματίζονται συνήθως σε πλούσιο σε σίδηρο λειμωνίτη ή ψαμμίτη (Εικ. 10). Ο λειμωνίτης δημιουργεί σκούρα καφέ σημάδια στο τουρκουάζ, ενώ ο ψαμμίτης δημιουργεί σκουρόχρωμα μαύρα σημάδια. Αυτά τα σημάδια είναι τα υπολείμματα του πετρώματος ξενιστή (matrix) μέσα στο τουρκουάζ (Εικ. 9) και μπορεί να μοιάζουν με κηλίδες ή φλέβες (<https://www.gia.edu/turquoise-description>).



Εικόνα 8. Οδοντολίτης, Βολιβία
(www.mindat.org)



Εικόνα 9. Matrix σε μορφή αραχνοειδούς ιστού στο τουρκουάζ
(brittanysfinejewelry.com)



Εικόνα 10. Φλέβες τουρκουάζ στο πέτρωμα ξενιστή από το Ιράν (www.gia.edu)

4. ΕΜΦΑΝΙΣΕΙΣ

Το τυρκουάζ εμφανίζεται συνήθως σε ξηρές περιοχές, όπου τα υπόγεια νερά διαχέονται σε αργιλικά πετρώματα κοντά σε κοιτάσματα χαλκού. Όπως ο αζουρίτης, ο μαλαχίτης και ο οπάλιος, είναι ένα δευτερεύον ορυκτό που σχηματίζεται μέσω της αλληλεπίδρασης των προϋπαρχόντων ορυκτών και των διαλυμάτων που κυκλοφορούν. Το μεγαλύτερο μέρος του σημερινού εμπορίου του τυρκουάζ προέρχεται κυρίως από τη Βόρεια Αμερική και την Κίνα.

Οι γνώστες μπορούν να διαπιστώσουν το πραγματικό ορυχείο προέλευσης πολλών κομμένων πολύτιμων λίθων λόγω των χαρακτηριστικών αποχρώσεων στο χρώμα και των εγκλεισμάτων. Η διαφοροποίηση βέβαια σε αυτά τα χαρακτηριστικά είναι τεράστια (<https://www.gemsociety.org/article/turquoise-jewelry-gem-information/>).

4.1. Ηνωμένες Πολιτείες

Στις νοτιοδυτικές Ηνωμένες Πολιτείες, το τυρκουάζ συνδυάζεται σχεδόν πάντα με τα διαβρωμένα προϊόντα εναποθέσεων θειούχου χαλκού, μέσα ή γύρω από πορφυριτικές διεισδύσεις που φέρουν καλιούχο άστριο.

Το τυρκουάζ εμφανίζεται με τη μορφή φλεβών ή ραφών και ως συμπαγή ψήγματα, τα περισσότερα από τα οποία είναι μικροσκοπικά σε αριθμό. Μερικές φορές ανακαλύπτεται αρκετά καλής ποιότητας τυρκουάζ, που ανταγωνίζεται το ιρανικό τόσο στο χρώμα όσο και στην αντοχή. Το μεγαλύτερο μέρος του αμερικανικού τυρκουάζ είναι χαμηλής ποιότητας (γνωστό και ως "τυρκουάζ κιμωλίας"- τα αυξημένα επίπεδα σιδήρου συνεπάγονται την επικράτηση των πράσινων και κίτρινων και η ασθενής συνοχή στην ανεπεξέργαστη κατάσταση αποκλείει τη χρήση του σε κοσμήματα.

Οι αποθέσεις των ΗΠΑ περιορίζονται σχεδόν αποκλειστικά στα νοτιοδυτικά, με μια αξιοσημείωτη εξαίρεση το Lynch Station της Βιρτζίνια. Το τυρκουάζ είναι ο επίσημος πολύτιμος λίθος των πολιτειών της Αριζόνα, της Νεβάδα και του Νέου Μεξικού.

Το Νέο Μεξικό κατείχε τη θέση του κορυφαίου κράτους παραγωγής τυρκουάζ μέχρι τη δεκαετία του 1920, η Νεβάδα κατείχε τη θέση αυτή μέχρι τη δεκαετία του 1980 και η Αριζόνα είναι σήμερα η ηγετική πολιτεία.

- *Lynch Station, Βιρτζίνια*

Η μόνη γνωστή εμφάνιση κρυστάλλων τυρκουάζ, ο σταθμός Lynch, συνήθως παράγει μικροσκοπικά δείγματα πολύτιμων λίθων (πολύ κάτω από 1 καράτι).

- *Νεβάδα*

Η Νεβάδα φιλοξενεί περισσότερα ορυχεία από την Αριζόνα, την Καλιφόρνια, το Κολοράντο και το Νέο Μεξικό μαζί.

Οι πιο γνωστές τοποθεσίες περιλαμβάνουν τα ακόλουθα:

- Blue Gem Mine: μεγάλη ποικιλία στο χρώμα, που σημειώνεται με μπλε και πράσινα χρώματα στην ίδια πέτρα.
- Fox Mine: τεράστια παραγωγή, ενεργό από το 1915.
- Lander Blue Mine: ιστός αράχνης, με μικροσκοπικά στίγματα τουρκουάζ, σπάνιο και πολύτιμο σήμερα.
- Stormy Mountain Mine: σκούρο μπλε, σκληρό υλικό με μαύρα εγκλείσματα.
- Άλλα αξιοσημείωτα ορυχεία στη Νεβάδα: Papoose, Zuni, Montezuma, Crow Springs, Carlin, Red Mountain και Godber.

- *Αριζόνα*

- Bisbee: παράγει έντονο σκούρο μπλε υλικό με λεπτειλίεπτα καστανά εγκλείσματα.
- Kingman: Από το 2015 λειτουργεί έως σήμερα, έξω από την πόλη μαζί με ένα ορυχείο χαλκού. Το μπλε τουρκουάζ εμφανίζει στη δομή του μαύρα εγκλείσματα με τη μορφή ιστού αράχνης.
- Sleeping Beauty Mine: τον Αύγουστο του 2012, το ορυχείο σταμάτησε την εξόρυξη τουρκουάζ. Λόγω της αυξανόμενης τιμής του χαλκού στην παγκόσμια αγορά, το ορυχείο επέλεξε να επικεντρωθεί στην παραγωγή χαλκού. Το κόστος του ανεπεξέργαστου φυσικού τουρκουάζ του Sleeping Beauty έχει αυξηθεί δραματικά μετά το κλείσιμο του ορυχείου (<https://www.geologypage.com/2019/07/turquoise.html>). Το γαλάζιο υλικό του με ελάχιστα εγκλείσματα, μπορεί να βρεθεί και σε παλιές συλλογές και κοσμήματα αντίκες.

- *Άλλες αξιοσημείωτες πηγές νοτιοδυτικών Ηνωμένων Πολιτειών:*

- Leadville (Κολοράντο): μικρές πέτρες, βαθύ μπλε με μια απόχρωση πράσινου
- Santa Rita (Νέο Μεξικό): ανοιχτό έως βαθύ μπλε χρώμα
- Σημαντικές ποσότητες τουρκουάζ παράγονται επίσης και στην Καλιφόρνια, τη Γιούτα, το Τέξας και το Αρκάνσας.

Το μεγαλύτερο μέρος του τουρκουάζ που εξορύσσεται στις Ηνωμένες Πολιτείες είναι υποπροϊόν της παραγωγής χαλκού. Τα μεγάλα ανοιχτά ορυχεία χαλκού ανασκάπτονται έως τις ρηχές βραχώδεις πλαγιές όπου σχηματίζεται το τουρκουάζ. Όταν συναντάται το τουρκουάζ, αξιολογείται η ποσότητα και η ποιότητα του υλικού και αναλόγως θα καταβληθεί προσπάθεια

για την ανάκτησή του. Εάν η αξία του τουρκουάζ είναι μεγάλη, τότε αυτό θα εξορυχθεί. Η εξόρυξη θα μπορούσε να γίνει από υπαλλήλους της εταιρείας χαλκού, αλλά η δουλειά ανατίθεται συχνά σε εξωτερικούς ανθρακωρύχους που έρχονται στο ορυχείο άμεσα, ανακτούν το τουρκουάζ με γρήγορους ρυθμούς και αναχωρούν, επιτρέποντας την ομαλή συνέχεια του έργου εξόρυξης χαλκού. (<https://geology.com/minerals/turquoise.shtml#united-states>), (<https://www.geologypage.com/2019/07/turquoise.html>).

4.2. Ιράν

Αρχαιολογικές ανακαλύψεις από την πεδιάδα Deh Luran στο δυτικό Ιράν δείχνουν ότι το τουρκουάζ χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά γύρω στο 7000 π.Χ. (Hole et al., 1969). Η ποσότητα των αντικειμένων από τουρκουάζ που ανακαλύφθηκαν σε χώρους ταφής υποδηλώνει τη σημασία αυτού του ορυκτού στις παραδόσεις αυτού του αρχαίου πολιτισμού. Ιστορικά, τα ορυχεία στην Περσία (Ιράν) παρήγαγαν το καλύτερο υλικό. Το περσικό, πλέον ιρανικό, τουρκουάζ είναι σχεδόν συνώνυμο με το υλικό της υψηλότερης ποιότητας.

Αρχικά ονομάστηκε από τους Ιρανούς «fērōzah» που σημαίνει «νίκη», και αργότερα οι Άραβες το ονόμασαν «fayrūzah», το οποίο προφέρεται στη σύγχρονη περσική ως «fīrūzeh». Στην ιρανική αρχιτεκτονική, το μπλε τουρκουάζ χρησιμοποιήθηκε για να καλύψει τους θόλους των παλατιών επειδή το έντονο μπλε χρώμα του ήταν επίσης σύμβολο του παραδείσου στη γη (<https://thediamondtalk.in/treasures-of-persia/>).

Εντοπίζεται σε μια περιοχή γεμάτη ορυχεία στο Nishapur, την κορυφή του όρους Ali-mersai στα 2.012 μέτρα. Ο ξενιστής του κοιτάσματος είναι κατακερματισμένος τραχείτης με πορφυριτικό ιστό, μεταξύ καστανού λειμωνίτη και στρωμάτων ψαμμίτη. Το χρώμα είναι ένα ομοιόμορφο υπέροχο μπλε του ουρανού, συχνά πολύ έντονο. Σπάνια εμφανίζει λεπτές γραμμές λειμωνιτικής προέλευσης από το πέτρωμα ξενιστή ή το χρώμα του μπορεί να αλλάξει σε πρασινωπό λόγω των υψηλών θερμοκρασιών και της αφυδάτωσης. Τα ορυχεία αυτά βρίσκονται σε λειτουργία εδώ και αιώνες και είναι τα παλαιότερα γνωστά, μαζί με αυτά της χερσονήσου του Σινά στην Αίγυπτο. Το Ιράν διαθέτει επίσης ορυχεία τουρκουάζ στις επαρχίες Semnan και Kerman.

Το ορυχείο παράγει επίσης κομμάτια τουρκουάζ που χρησιμοποιούνται ευρέως στο Ιράν για ένθετα. Μία χειροτεχνία, η οποία προέρχεται από την πόλη Mashhad, γίνεται με την τοποθέτηση των κομματιών σε μωσαϊκό μοτίβο στην επιφάνεια πιάτων, διακοσμητικών αντικειμένων και έργων τέχνης τοίχου.

Η επιτόπια επίσκεψη που πραγματοποιήθηκε το 2020, έδειξε ότι με τρεις σήραγγες που εξορύσσουν κατά μέσο όρο 40 τόνους ετησίως, το ορυχείο είναι στην πραγματικότητα αρκετά ενεργό και εξακολουθεί να επεκτείνεται. Ενώ η αξιολόγηση του τουρκουάζ βασίζεται στην ποιότητα και όχι στη γεωγραφική προέλευση, τα ζωντανά χρώματα και η ανεπεξέργαστη φύση του κομμένου τουρκουάζ από το ορυχείο Neyshabur έχουν συχνά βρεθεί δελεαστικά.

Παρά την παραγωγικότητα και την παράδοση του ορυχείου Neyshabur, αυτό το τουρκουάζ δεν έχει βρει ακόμη τη θέση του στην παγκόσμια αγορά. Έχει ταλαιπωρηθεί από ισχυρισμούς ότι το ορυχείο κλείνει. Επίσης, ο γενικός όρος "περσικό τουρκουάζ" παρεμποδίζεται από ασυνεπή πρότυπα ποιότητας και τιμολόγησης, με αποτέλεσμα ορισμένοι πελάτες να αμφισβητούν το προϊόν. Παρόλο που το μεγαλύτερο μέρος του τουρκουάζ στην παγκόσμια αγορά είναι είτε σταθεροποιημένο είτε επεξεργασμένο, οι Ιρανοί έμποροι επιμένουν να επικεντρώνονται στο μη επεξεργασμένο τουρκουάζ. Ενώ η μη επεξεργασμένη εκδοχή του πολύτιμου λίθου μπορεί να είναι σημαντική για ορισμένους πελάτες, η υψηλή τιμή, η περιορισμένη ποσότητα και η ευαισθησία στις χημικές ουσίες αποτελούν μειονέκτημα για άλλους (Shirdam et al., 2021).

4.3. Κίνα

Τα αρχαιολογικά ευρήματα υποδεικνύουν την εκμετάλλευση των τοπικών κοιτασμάτων εδώ και τουλάχιστον 3.000 χρόνια.

Επί του παρόντος, οι περιοχές Yunxian και Zhushan της επαρχίας Hubei και η επαρχία Shaanxi, περίπου 150 χιλιόμετρα πιο βορειοδυτικά, παράγουν εκλεκτά τουρκουάζ ποιότητας πολύτιμων λίθων. Το υλικό εμφανίζεται με τη μορφή συμπαγών οζιδίων, συνήθως έως 8 cm, με πολύ μεγαλύτερες μάζες να εντοπίζονται περιστασιακά, μέσα σε ρηγματωμένους, πυριτωμένους ασβεστόλιθους. Το χρώμα κυμαίνεται από ανοιχτό μπλε έως ανοιχτό πράσινο. Γενικά, το κινέζικο τουρκουάζ έχει πιο μαλακό matrix και είναι πιο πορώδες από το υλικό στα νοτιοδυτικά της Αμερικής.

Ο Μάρκο Πόλο ανακάλυψε επίσης την παρουσία τουρκουάζ στο σημερινό Sichuan (MAT, 2023).

Περίπου το 70% του τουρκουάζ στην κινέζικη αγορά λίθων προέρχεται από την επαρχία Hubei της Κίνας, όπου εξορύσσονται πολλοί διαφορετικοί τύποι.

Το τουρκουάζ "raindrop" (Εικ. 11.B, Εικ. 12.B) είναι μια πρόσφατα αναγνωρισμένη ποικιλία τουρκουάζ με κορεσμένο χρωματισμό και χαρακτηριστικό μοτίβο με κηλίδες που μοιάζουν με σταγόνες βροχής. Αυτό το υλικό είναι πολύ σπάνιο αλλά δημοφιλές στο κινεζικό

εμπόριο πολύτιμων λίθων. Οι μη καταστροφικές και μικροαναλυτικές τεχνικές ήταν αποτελεσματικές για τον χαρακτηρισμό του. Οι σταγόνες βροχής και τα φλεβίδια είναι μίγματα τυρκουάζ και φθοροαπατίτη.

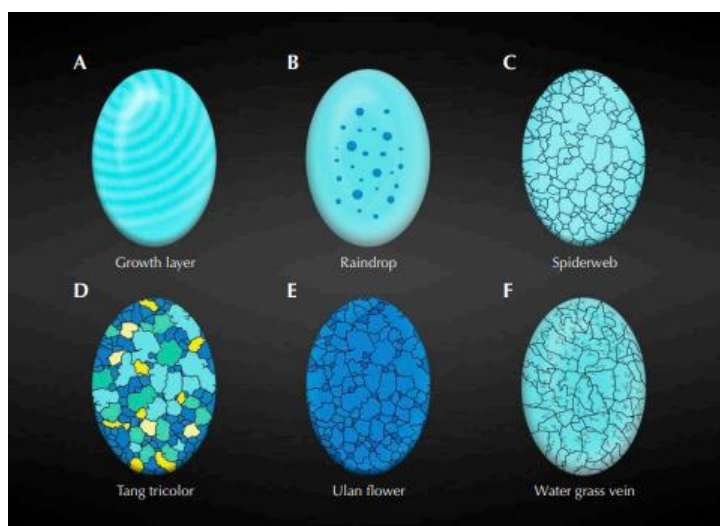
Ένα άλλο ιδιαίτερο μοτίβο είναι αυτό του "στρώματος ανάπτυξης" (Εικ. 11.Α, Εικ.12.Α), όπου οι κανονικές χρωματικές ζώνες του τυρκουάζ μοιάζουν με κυματισμούς νερού.

Επίσης, συναντάται και το μοτίβο "αραχνοϋφαντου ιστού" (Εικ. 11.С, Εικ. 12.С) με λεπτές και ομοιόμορφες μαύρες διχτυωτές φλέβες, που συνήθως αναφέρονται ως "σιδερένιες γραμμές" που μοιάζουν με ιστό αράχνης. Το τυρκουάζ αραχνοϋφαντου ιστού μπορεί να εμφανίσει ένα ευρύ εύρος χρωμάτων, από ανοιχτό έως βαθύ μπλε, πράσινο-μπλε και πράσινο.

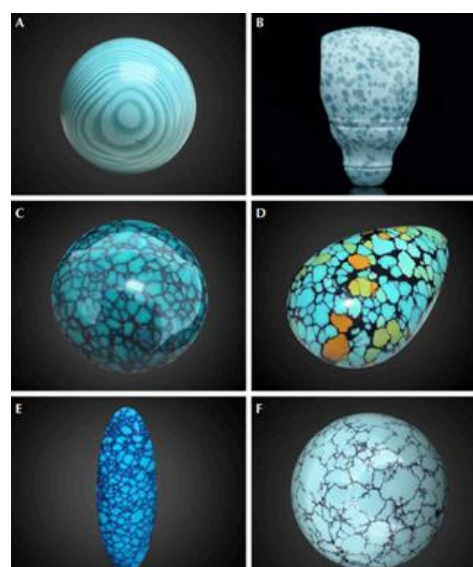
Το μοτίβο λουλουδιών Ulan (Εικ. 11.Ε, Εικ. 12.Ε) είναι ένας εξαιρετικά πολύτιμος υποτύπος του τυρκουάζ αραχνοϋφαντου ιστού. Παρουσιάζει παρόμοιες ομοιόμορφες μαύρες διχτυωτές φλέβες αλλά διαθέτει πολύ βαθύτερο και πιο κορεσμένο μπλε χρώμα. Το "λουλούδι" αναφέρεται στο μοτίβο που σχηματίζουν οι λεπτές μαύρες φλέβες.

Με το τρίχρωμο μοτίβο Tang (Εικ. 11.Д, Εικ. 12.Д) περιγράφεται το πολύχρωμο τυρκουάζ με τυπικά μπλε, πράσινο και κίτρινο χρώμα. Ο όρος αρχικά εφαρμόστηκε σε ένα είδος πολύχρωμης υαλωμένης κεραμικής που επικρατούσε στη δυναστεία Tang.

Ένα ακόμη μοτίβο που εμφανίζεται στην περιοχή είναι το μοτίβο "φλεβών από χόρτο νερού" (water grass vein) (Εικ. 11.Ғ, Εικ. 12.Ғ), στο οποίο οι σιδερένιες γραμμές του τυρκουάζ μοιάζουν με υδρόβια φυτά (Liu et al., 2020).



Εικόνα 11. Απεικόνιση των μοτίβο τυρκουάζ: Α. Στρώμα ανάπτυξης, Β. Σταγόνες βροχής, C. Ιστός αράχνης, D. Τρίχρωμο Tang , Ε. Λουλούδι Ulan, F. Φλέβες γρασιδιού με νερό (www.gia.edu)



Εικόνα 12. Μοτίβο τυρκουάζ: : Α. Στρώμα ανάπτυξης, Β. Σταγόνες βροχής, C. Ιστός αράχνης, D. Τρίχρωμο Tang , Ε. Λουλούδι Ulan, F. Φλέβες γρασιδιού με νερό (www.gia.edu)

Μια σχετικά νέα πηγή τυρκουάζ ποιότητας πολύτιμων λίθων φιλοξενείται εντός σχιστόλιθων στην κομητεία Zhushan της επαρχίας Hubei της Κίνας. Τραχιά και γυαλισμένα δείγματα μελετήθηκαν με τη χρήση τυπικών γεωλογικών μεθόδων, καθώς και φασματοσκοπία FTIR και UV-Vis-NIR. Το τυρκουάζ σχηματίζει βοτρυοειδή και φλεβικά συσσωματώματα. Οι καφέ και οι μαύρες φλέβες/συγκεντρώσεις και οι ακανόνιστες λευκές φυσαλίδες είναι συνηθισμένες και η μικροσκοπική παρατήρηση αποκάλυψε επίσης μικροκρυσταλλικές και σφαιρουλιτικές δομές. Γενικά, τα βοτρυοειδή δείγματα είναι από τα υψηλότερα σε ποιότητα. Τα κοιτάσματα παρουσιάζουν σημαντικές δυνατότητες ως εμπορική πηγή τυρκουάζ ποιότητας πολύτιμων λίθων.

Η Κίνα υπήρξε σημαντική πηγή τυρκουάζ για δεκαετίες. Μια περιοχή της κομητείας Zhushan στην επαρχία Hubei έχει επισκιαστεί από πιο παραγωγικά κοιτάσματα τυρκουάζ στο κοντινό Yun County (Tu, 2000). Το κινέζικο τυρκουάζ είναι επίσης γνωστό από την πόλη Ma'anshan στην επαρχία Anhui, την κομητεία Baihe στην επαρχία Shaanxi και την περιοχή Xichuan στην επαρχία Henan.

Το τυρκουάζ από την κομητεία Yun θεωρείται ανώτερο σε ποιότητα. Η παραγωγή από την κομητεία Yun μεταξύ 1954 και 1999 ανήλθε συνολικά σε περισσότερους από 800 τόνους, σύμφωνα με στοιχεία που παρέχονται από τοπικούς αξιωματούχους, αλλά οι πόροι του εξαντλούνται.

Τα κοιτάσματα στην κομητεία Zhushan βρέθηκαν στα τέλη της δεκαετίας του 1980, ωστόσο πολλά είναι ακόμα άγνωστα για την κατανομή τους και τον σύνθετο γεωλογικό τους σχηματισμό. Ενώ το υλικό από την κομητεία Zhushan είναι συχνά υψηλής ποιότητας, με πυκνή υφή και έναν ομοιόμορφο ελκυστικό χρωματισμό, η δραστηριότητα εξόρυξης χρονολογείται πρόσφατα. Χαρακτηριστικά του τυρκουάζ της Zhushan είναι ότι σχηματίζει φακούς και γεμίζει ρωγμών μέσα σε σχιστόλιθους του Καμβρίου. Ακόμη, αν και τα περισσότερα τυρκουάζ Zhushan δεν απαιτούν επεξεργασία, τα υλικό κατώτερης ποιότητας υφίστανται εμποτισμό πολυμερούς.

Το τυρκουάζ της κομητείας Zhushan της Κίνας εμφανίζεται σε μια συμπίεστική ρηγματωμένη ζώνη μεταξύ των στρωμάτων πυριτικών και ανθρακικών-πυριτικών σχιστόλιθων. Το τυρκουάζ χαρακτηρίζεται από μια ποικιλία μορφών και χρωμάτων, αν και είναι συνήθως μεσαίο γαλαζοπράσινο. Τα υπέρυθρα φάσματα απορρόφησης παρουσιάζουν τυπικές δονήσεις φωσφορικών, νερού και υδροξυλίου για το τυρκουάζ. Φάσματα

απορρόφησης UV-Vis-NIR έχουν ισχυρές απορροφήσεις που προκαλούνται από Fe^{3+} και φαρδιές που προκαλούνται από Cu^{2+} .

Τα περισσότερα χαρακτηριστικά του τουρκουάζ Zhushan, συμπεριλαμβανομένων της παρουσίας καφέ μαύρων φλεβών/συγκεντρώσεων και κανονικών λευκών κηλίδων και των γεωλογικών/φασματικών χαρακτηριστικών, είναι παρόμοια με εκείνα που σημειώνονται σε δείγματα από αλλού στην επαρχία Hubei (Chen et al., 2012).

4.4. Αίγυπτος

Τουλάχιστον από την Πρώτη Δυναστεία των Φαραώ (3000 π.Χ.) στην αρχαία Αίγυπτο, και πιθανότατα νωρίτερα από αυτήν, οι Αιγύπτιοι χρησιμοποιούσαν το τουρκουάζ, το οποίο εξορύσσονταν κατά μήκος του Κόλπου του Σουέζ και κυρίως στη χερσόνησο του Σινά. Η περιοχή αυτή θεωρούνταν από τους ιθαγενείς Monitu ως η χώρα του τουρκουάζ. Η χερσόνησος διαθέτει έξι ορυχεία στη νοτιοδυτική της ακτή, που καλύπτουν μια έκταση περίπου 650 km^2 (250 τετραγωνικά μίλια). Τα δύο πιο σημαντικά ορυχεία από ιστορική άποψη είναι το Serabit el-Khadim και το Wadi Maghareh, ένα από τα πρώτα αναγνωρισμένα ορυχεία. Το πρώτο ορυχείο απέχει περίπου 4 χιλιόμετρα από έναν παλιό ναό αφιερωμένο στη θεότητα Χάθορ.

Το υλικό βρίσκεται μέσα σε ψαμμίτη που καλύπτεται από βασάλτη και υπάρχει επίσης, σημαντική παρουσία λειμωνίτη.

Στην περιοχή υπάρχουν ορυχεία χαλκού και σιδήρου. Η μεγάλης κλίμακας εξόρυξη τουρκουάζ δεν είναι κερδοφόρα σήμερα, αλλά οι πληθυσμοί των Βεδουίνων εξορύσσουν σποραδικά τα κοιτάσματα με αυτοσχέδια εργαλεία. Ο κίνδυνος αιφνίδιων πλημμυρών κατά τους βροχερούς καλοκαιρινούς μήνες αποτελεί μεγάλο κίνδυνο για τους ανθρακωρύχους, καθώς η θνησιμότητα από την πτώση των ψαμμιτικών τοίχων των ορυχείων δεν είναι ασυνήθιστο φαινόμενο ακόμη και κατά την ξηρή περίοδο.

Το μπλε χρώμα του υλικού από το Σινά είναι συνήθως πιο πρασινωπό από το υλικό του Ιράν, αλλά πιστεύεται ότι είναι σταθερό και σχετικά ανθεκτικό. Λόγω του ηλιακού φωτός μερικά δείγματα εμφανίζονται ξεθωριασμένα. Η υφή του τουρκουάζ από το Σινά είναι συνήθως πιο διαφανής, συχνά αναφέρεται ως "αιγυπτιακός ιαδείτης" και η επιφάνειά του είναι διάσπαρτη με ανοιχτοπράσινα στίγματα που δεν παρατηρούνται σε τουρκουάζ από άλλες τοποθεσίες (<https://www.geologypage.com/2019/07/turquoise.html>).

4.5. Θιβέτ

Στο Θιβέτ, υπάρχουν κοιτάσματα πρώτης τάξεως στους λόφους Derge και Nagari-Khorsum στα ανατολικά και δυτικά του τόπου. Το τυρκουάζ αποτελεί εθνικό στολίδι αυτής της χώρας. Ίσως μπορούσε κάποτε να μαζευτεί με το χέρι από την επιφάνεια του εδάφους, ωστόσο πολύ λίγο υλικό είναι διαθέσιμο πλέον. Το πιο πολύτιμο χρώμα εδώ είναι το πράσινο (<https://geologyscience.com/gemstone/turquoise/>).

4.6. Αυστραλία

Η Αυστραλία παράγει σχετικά υψηλής ποιότητας τυρκουάζ, αλλά όχι σε μεγάλες ποσότητες. Έχει βρεθεί σε αποθέσεις με μορφή οξιδίων που μπορεί να φτάσουν εκατοντάδες κιλά και είναι υλικό συμπαγές, πυκνό, με ομοιόμορφο χρώμα και έχει υψηλή στίλβωση. Ωστόσο, έχει μια μικρή τάση να σπάει κατά μήκος επιπέδων αδυναμίας. Το χρώμα μοιάζει με το μπλε του περσικού (ιρανικού) τυρκουάζ και μπορεί να εμφανίζει εγκλείσματα σε μορφή αραχνοειδούς ιστού στη δομή του. (<https://www.gemadventurer.com/gemstones/australian-turquoise/>).

Τα περισσότερα κοιτάσματα έχουν βρεθεί στη Βικτώρια και τη Νότια Ουαλία, στο νοτιοανατολικό τμήμα της ηπείρου. Αναφέρονται κοιτάσματα τυρκουάζ σε 19 συγκεκριμένα ορυχεία της Αυστραλίας. Η παρουσία του τυρκουάζ σε ένα ορυχείο όμως, δεν σημαίνει ότι υπάρχει σε μεγάλες ποσότητες ή σε καλή ποιότητα. (<https://www.turquoiseguide.com/australian-turquoise/>).

4.7. Βουλγαρία

Τυρκουάζ προϊστορικά αντικείμενα (χάντρες) είναι γνωστά από τοποθεσίες στην Ανατολική Ροδόπη στη Βουλγαρία από την πέμπτη χιλιετία π.Χ. - η πηγή της πρώτης ύλης μπορεί να σχετίζεται με το κοντινό κοιτάσμα μεταλλεύματος μολύβδου - ψευδαργύρου Spahievo (<https://www.geologypage.com/2019/07/turquoise.html>).

4.8 Άλλες αξιόλογες πηγές

- Χιλή: το ορυχείο χαλκού Chuquicamata έχει δώσει υλικό με πολύ καθαρό, ομοιόμορφο χρώμα. Παρόλα αυτά δεν έχουν φτάσει πολλά στην αγορά.
- Pau a Pique, Bahia, Βραζιλία: πορώδες και κρυπτοκρυσταλλικό υλικό.
- Αφγανιστάν, Ινδία, Μεξικό, Ουζμπεκιστάν.

5. ΤΕΧΝΗ ΚΑΙ ΚΟΣΜΗΜΑΤΑ

Το τουρκουάζ έχει αντέξει στις διακυμάνσεις της μόδας καθώς και στο πέρασμα των χιλιετιών. Ήδη από το 3.000 π.Χ., οι Αρχαίοι Αιγύπτιοι εξόρυσσαν και επεξεργάζονταν το τουρκουάζ σε κοσμήματα και τελετουργικά αντικείμενα (Εικ. 13). Αργότερα, οι Κινέζοι και οι αρχαίοι Αμερικανοί πολιτισμοί έκαναν το ίδιο. Η Περσία (Ιράν) εισήγαγε στη μεσαιωνική Ευρώπη σε αυτή την πέτρα. Το τουρκουάζ έχει εμπνεύσει πολλούς θρύλους και λαϊκές δοξασίες και παραμένει ένα ιδιαίτερα επιθυμητό υλικό για κοσμήματα και διακοσμητικά αντικείμενα.

Η πρακτική της τοποθέτησης τουρκουάζ σε ασήμι έχει μακρά παράδοση στις Ηνωμένες Πολιτείες, παράδειγμα αποτελούν τα στυλιζαρισμένα ασημένια παραδοσιακά κοσμήματα των ιθαγενών αμερικανικών λαών, όπως οι Pueblo, Hopi, Zuni και Navajo. Ωστόσο, οι κοσμηματοποιοί παραδοσιακά τοποθετούν αυτές τις πέτρες σε χρυσό, μερικές φορές με διαμάντια, στη Μέση Ανατολή καθώς και στο Ιράν.

Στη Βικτοριανή εποχή, το τουρκουάζ θαυμάστηκε πολύ και επίσης τυπικά τοποθετήθηκε σε χρυσό (Εικ. 14). Σήμερα, οι περισσότεροι σχεδιαστές κοσμημάτων μιμούνται τους Πέρσες και τους Βικτωριανούς και τοποθετούν κομμάτια τουρκουάζ σε χρυσό. (<https://www.gemsociety.org/article/turquoise-jewelry-gem-information/>).

Το τουρκουάζ είναι σχετικά μαλακό, οπότε είναι ιδανικό για σκάλισμα. Καλλιτέχνες στην Ευρώπη, την Ασία, τη Μέση Ανατολή και την Αμερική επιλέγουν το τουρκουάζ ως μέσο για σκαλιστά κοσμήματα και αντικείμενα τέχνης. Συχνά διαμορφώνεται σε φυλαχτά με σημασία για τους ιθαγενείς της Αμερικής, όπως γλυπτά πουλιών και ζώων, που ονομάζονται φετίχ. (<https://www.gia.edu/turquoise-description>).



Εικόνα 13. Μικρό γλυπτό από τουρκουάζ, 380-342 π.Χ., Αίγυπτος (www.sothebys.com)



Εικόνα 14. Χρυσό βραχιόλι με τουρκουάζ, 1852, Ευρώπη (gem-a.com)

6. ΣΥΝΘΕΤΙΚΑ ΟΡΥΚΤΑ ΚΑΙ ΑΠΟΜΙΜΗΣΕΙΣ

Η αυξημένη αποδοχή του τουρκουάζ είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση των τιμών, καθώς ορισμένα από τα πιο επιθυμητά υλικά έφταναν μέχρι και τα 2.500 δολάρια ανά κιλό. Η αυξημένη ζήτηση δεν μπορούσε να καλυφθεί με την παραγωγή αποδεκτών υλικών από τα ορυχεία. Ως εκ τούτου, προέκυψε μια βιομηχανία - επιχείρηση σταθεροποίησης του τουρκουάζ, η ανασύσταση και η κατασκευή συνθετικού και προσομοιωμένου τουρκουάζ (<https://www.geologyin.com/2018/03/turquoise-oldest-known-gemstones-ever.html>).

6.1. Τεχνική εξέλιξη και ταυτοποίηση των γεμισμένων με ρητίνη τουρκουάζ

Η κομητεία Zhushan είναι όπως είπαμε, η πιο άφθονη πηγή εμπορικού τουρκουάζ στην επαρχία Hubei της Κίνας, όπου μαζικά η παραγωγή συνεχίζεται εδώ και αρκετές δεκαετίες. Η κινεζική παραγωγή και κατανάλωση τουρκουάζ έχουν δημιουργήσει ένα σημαντική βιομηχανία και προώθησαν την τοπική οικονομική ευημερία και ανάπτυξη. Τεχνικές επεξεργασίας του τουρκουάζ έχουν επικαιροποιηθεί και αλλάξει γρήγορα, μερικές φορές ακόμη και μηνιαίως. Παραδοσιακά, τα ακατέργαστα υλικά υποβάλλονται σε επεξεργασία με ρητίνη για να μειωθεί το υψηλό πορώδες τους, ώστε να βελτιωθεί η δυνατότητα επεξεργασίας, η εμφάνιση και η σταθερότητα. Σε αυτή την έρευνα, τα χαρακτηριστικά του τουρκουάζ με γέμιση ρητίνης διερευνήθηκαν με υπεριώδη φθορισμό, φασματοφθορομετρία και φασματομετρία υπερύθρου Fourier. Οι διαφορές στα τρισδιάστατα φάσματα φθορισμού μεταξύ των μη επεξεργασμένων και του τουρκουάζ με ρητίνη αναφέρονται για πρώτη φορά. Τα τρισδιάστατα φάσματα φθορισμού μαζί με τις υπεριώδη και τα φάσματα υπερύθρου επιτρέπουν την ταυτοποίηση αυτής της πλήρωσης. Το τουρκουάζ με ρητίνη παρουσίασε ισχυρά σήματα υπό υπεριώδη ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος.

Η πλήρωση με ρητίνη μπορεί να μειώσει το πορώδες του τουρκουάζ για να βελτιώσει το χρώμα και την αξία του και η μελέτη αυτή παρέχει οδηγίες αναγνώρισης για τους γεμολόγους και χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με τη διαδικασία πλήρωσης με ρητίνη.

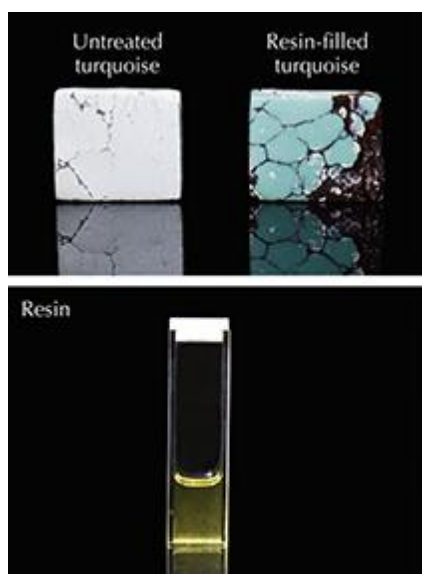
Η ικανότητα ανίχνευσης και ταυτοποίησης επεξεργασμένου τουρκουάζ είναι επείγουσα ανάγκη λόγω της επικράτησης των συνεχώς εξελισσόμενων τεχνικών επεξεργασίας στην αγορά.

Το τουρκουάζ με ανοιχτό έως μέτριο χρώμα μπορεί να παρουσιάσει δραματική βελτίωση της εμφάνισης και της σταθερότητας μετά από επεξεργασία πλήρωσης πόρων. Το πορώδες του

τυρκουάζ μειώνεται δραστικά όταν οι πόροι γεμίζουν με ρητίνη, βελτιώνοντας έτσι την εμφάνισή του και εμφανίζοντας ένα βαθύτερο χρώμα χωρίς τη χρήση πρόσθετου χρωστικού (Εικ. 15). Το μη επεξεργασμένο τυρκουάζ, φθορίζει πολύ ασθενώς στα πλήρη μήκη κύματος διέγερσης του φωτός. Από την άλλη, το τυρκουάζ με ρητίνη σε αυτήν την έρευνα είχε έντονο φθορισμό υπό το μακρύ κύμα UV. Οι αντιδράσεις φθορισμού και η εμφάνιση πρόσθετων ζωνών FTIR που σχετίζονται με οργανική ρητίνη παρέχουν τις αποδείξεις που απαιτούνται για την ταυτοποίηση του τυρκουάζ με ρητίνη.

Η πλήρωση πόρων είναι μια οικονομικά αξιόλογη προσέγγιση για τη βελτιστοποίηση του πορώδους ακατέργαστου τυρκουάζ, καθιστώντας το κατάλληλο για εμπορικά κοσμήματα ή στολίδια με υψηλή προστιθέμενη αξία.

Η αποτελεσματικότητα της επεξεργασίας πλήρωσης πόρων στη βελτίωση της δυνατότητας επεξεργασίας, της εμφάνισης και της ανθεκτικότητας αυτού του πολύτιμου λίθου πρέπει να αναγνωριστεί και πρέπει να γνωστοποιείται πλήρως στον καταναλωτή (Liu et al., 2021).



Εικόνα 15. Α. Μη επεξεργασμένο τυρκουάζ, Β. Επεξεργασμένο με ρητίνη τυρκουάζ, Γ. Το μείγμα ρητίνης/σκληρυντικού που χρησιμοποιείται για την πλήρωση (www.gia.edu)

6.2. Ένας νέος τύπος σύνθετου τυρκουάζ

Η κρυπτοκρυσταλλική δομή του τυρκουάζ έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία πορώδους, καθιστώντας το ευαίσθητο στα έλαια του σώματος, στους συνήθεις διαλύτες ή ακόμη και στη βρωμιά, που μπορεί να αλλοιώσει το χρώμα του. Για δεκαετίες, το τυρκουάζ έχει εμποτιστεί

με κερί, πλαστικά, πολυμερή ή εποξειδική ρητίνη υπό πίεση, μια διαδικασία γνωστή ως σταθεροποίηση, η οποία ενισχύει όχι μόνο την ανθεκτικότητα του υλικού, αλλά και το χρώμα και τη λάμψη της επιφάνειας. Μια άλλη καθιερωμένη επεξεργασία είναι η βαφή του χλωμού τουρκουάζ για να του δώσει ένα πλούσιο μπλε χρώμα. Μία από τις πιο γνωστές ηλεκτροχημικές ιδιότητες βελτιώσεις του τουρκουάζ είναι η επεξεργασία Zachery, η οποία μειώνει το πορώδες του αρχικού υλικού, έτσι ώστε να δέχεται καλύτερο γυάλισμα και να ενισχυθεί το μπλε χρώμα μέσω ενός πρόσθετου βήματος στη διαδικασία (Fritsch et al., 1999). Ακόμη μια άλλη μορφή επεξεργασίας που παρατηρείται στην αγορά, που αναπτύχθηκε από την Eljen Stones, περιλαμβάνει τον εμποτισμό με πολυμερή.

Μωβ-ροζ, κίτρινο-πράσινο και μπλε σύνθετο τουρκουάζ κυκλοφορεί στην αγορά από τα τέλη του 2008. Τα κομμάτια του τουρκουάζ είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους χρησιμοποιώντας ένα πολυμερές (χρωματισμένο για την παραγωγή των μοβ-ροζ και κίτρινων-πράσινων ποικιλιών).

Ορισμένα από τα τουρκουάζ έχουν φλέβες ή εγκλείσματα που αποτελούνται από θραύσματα πολυμερούς χρώματος χρυσού που μοιάζουν με σιδηροπυρίτη/μαρκασίτη. Το σύνθετο τουρκουάζ μπορεί να αναγνωριστεί από τη μικροσκοπική του εμφάνιση, τον υπεριώδη φθορισμό, το φάσμα του φασματοσκοπίου και τα χαρακτηριστικά FTIR (Choudhary, 2010).

6.3. Το τουρκουάζ ως υλικό κοσμημάτων στην αγορά

Στην αγορά διατίθενται συνθετικά τουρκουάζ, με ή χωρίς εγκλείσματα. Η εταιρεία Pierre Gilson δημιούργησε τον πιο γνωστό τύπο το 1972. Μπορεί να μοιάζει με τον καλύτερο λίθο περσικού βαθμού, αλλά ένα μικροσκόπιο θα αποκαλύψει τη διαφορά. Οι φυσικοί λίθοι έχουν λεία επιφάνεια. Υπό μεγέθυνση, τα συνθετικά εμφανίζουν ένα μείγμα μικροσκοπικών μπλε σφαιρών σε ένα ανοιχτόχρωμο μέσο υποδοχής που μοιάζει με την υφή της "κρέμας σιταριού".

Υπάρχουν πολλά προσομοιωτικά στην αγορά. Οι μη ορυκτές απομιμήσεις περιλαμβάνουν πλαστικά, κεραμικά και γυαλί και μπορούν να φαίνονται πολύ ρεαλιστικές.

Το χρώμα "τουρκουάζ" είναι πολύ δημοφιλές. Τα αντικείμενα που πωλούνται ως "τουρκουάζ χάντρες" ή "τουρκουάζ κοσμήματα" μπορεί να μην είναι στην πραγματικότητα τουρκουάζ, αλλά μόνο τουρκουάζ χρώματος. Το λεγόμενο "βιεννέζικο τουρκουάζ" για παράδειγμα, είναι τεχνητό άμορφο τουρκουάζ με χημική σύσταση όμοια με το φυσικό.

Ορισμένοι φυσικοί πολύτιμοι λίθοι μπορεί να θεωρηθούν λανθασμένα τουρκουάζ. Ο βαρισκίτης μπορεί να μοιάζει με πράσινο τουρκουάζ. Στην πραγματικότητα, ο βαρισκίτης και

το τουρκουάζ εμφανίζονται μερικές φορές μαζί σε πετρώματα, τα οποία ονομάζονται "βαρικοουάζ". Αυτός ο ελκυστικός συνδυασμός μοτίβων και χρωμάτων μπορεί να έχει υψηλή τιμή. Ο προσοπίτης (Εικ. 17), ιδίως το μεξικανικό υλικό με το γαλάζιο χρώμα του, είναι ένας άλλος πιθανός προσομοιωτής.

Ακόμα και οι κορυφαίες, κατά τα άλλα φυσικές πέτρες, συχνά δέχονται βελτίωση με μια επιφανειακή στρώση παραφίνης για να σφραγιστούν και να βελτιώσουν το γυάλισμα.

Το ίδιο το τουρκουάζ δεν βάφεται συχνά. Ωστόσο, ο χαολίτης (Εικ. 16), ένα ορυκτό με λευκές και γκριζες φλέβες, δέχεται εύκολα βαφή. Οι βαμμένοι με μπλε χρώμα χαολίτες εμφανίζονται στην αγορά χωρίς να φέρουν πάντα την ετικέτα "faux turquoise".

Ο βαμμένος μαγνησίτης μπορεί επίσης να μοιάζει με τουρκουάζ. Τα τελευταία χρόνια, το υλικό αυτό έχει κερδίσει δημοτικότητα ως προσομοιωτής. Εάν γνωστοποιηθεί σωστά, αυτό είναι αποδεκτό (<https://www.gemsociety.org/article/turquoise-jewelry-gem-information/>).

Κατά την τελευταία δεκαετία, το τουρκουάζ χαμηλής θερμοκρασίας με γέλη πωλείται στην κινεζική αγορά. Αυτή η ειδική επεξεργασία πλήρωσης με γέλη διαφέρει αρκετά από τις προηγούμενες επεξεργασίες πλήρωσης με ρητίνη ή εμποτισμό. Τα ακατέργαστα τουρκουάζ βυθίζονται σε σύνθετη πολυμερή γέλη στους -10° έως -15°C (χωρίς πίεση) για γέμισμα και βελτίωση της εμφάνισης (<https://www.gia.edu/gems-gemology/fall-2022-gemnews-gemological-characteristics-low-temperature-gel-filled-turquoise>).

Οι συγγραφείς επέλεξαν ένα κομμάτι ακατέργαστου τουρκουάζ που παράγεται στην κομητεία Zhushan στην επαρχία Hubei της Κίνας και το έκοψαν σε διάφορα κομμάτια. Σύμφωνα με την παραπάνω διαδικασία επεξεργασίας, το τουρκουάζ γέμισε με το διάλυμα γέλης. Το υλικό πριν από την επεξεργασία ήταν ανοιχτό γαλάζιο, με ανομοιόμορφη κατανομή του χρώματος και μαύρες προσμίξεις τοπικά κατανεμημένες. Μετά την επεξεργασία, το χρώμα του υλικού βάθυνε σε ένα πιο επιθυμητό μπλε-πράσινο και έγινε πιο ομοιόμορφο, διατηρώντας ακόμα τις αρχικές μαύρες προσμίξεις. Μετά τη στίλβωση, η επιφάνεια του τουρκουάζ με γέλη είχε κηρώδη λάμψη και το υδροστατικό ειδικό βάρος μεταβλήθηκε από περίπου 2,32 σε 2,21 λόγω του χαμηλότερου ειδικού βάρους της γέλης (περίπου 1,00) (Choudhary et al., 2022).



Εικόνα 16. Χάντρες μπλε χαολίτη
(www.tokompoloi52.gr)



Εικόνα 17. Προσοπίτης, ορυχείο
Santa Rose, Μεξικό (www.mindat.org)

6.4 Τυρκουάζ με μοτίβο δακτυλικών αποτυπωμάτων

Το εργαστήριο Carlsbad εντόπισε πρόσφατα ένα κολιέ από φυσικές, μη επεξεργασμένες χάντρες τυρκουάζ με ένα ενδιαφέρον χαρακτηριστικό. Οι γαλαζοπράσινες χάντρες εμφάνιζαν μια φυσική δομή τυρκουάζ με λεπτή μαύρη φλέβα από εγκλείσματα. Κατά τη μικροσκοπική εξέταση, μερικές από τις χάντρες εμφάνισαν ένα λιγότερο κορεσμένο μοτίβο πρασινωπού αποχρωματισμού που έμοιαζε με δακτυλικά αποτυπώματα. Η χάντρα που επιλέχθηκε για δοκιμή φθορίζει ασθενώς με γαλαζοπράσινο χρώμα υπό υπεριώδη ακτινοβολία μεγάλου κύματος, χωρίς φθορισμό βραχέων κυμάτων. Για να αποκλειστεί η επεξεργασία εμποτισμού με πολυμερές, το δείγμα μελετήθηκε με FTIR, το οποίο δεν έδειξε καμία κορυφή στις πολυμερικές περιοχές, αποκλείοντας τον εμποτισμό με πολυμερές (Moe et al., 2007). Το ασυνήθιστο μοτίβο μπορεί να ήταν αποτέλεσμα κόλλας ή άλλου μολυσματικού παράγοντα που υπήρχε κατά τον αρχικό χειρισμό ή τη διάτρηση των χαντρών, διατηρώντας τα πραγματικά ανθρώπινα αποτυπώματα. Με τον καιρό και τη φθορά, ο αποχρωματισμός των χαντρών έκανε τα δακτυλικά αποτυπώματα πιο ευδιάκριτα.

Αυτό αποτελεί ένα χρήσιμο παράδειγμα για την αλλαγή της υφής του τυρκουάζ με την πάροδο του χρόνου. Ο απλός χειρισμός του μπορεί να επηρεάσει το χρώμα και την εμφάνισή του, όπως φαίνεται από το μοτίβο δακτυλικών αποτυπωμάτων που διατηρείται σε αυτό το κομμάτι (Fritsch et al., 2013).

6.5 Τυρκουάζ με προσομοιωμένο matrix

Το εργαστήριο Carlsbad εξέτασε πρόσφατα μια οβάλ χάντρα 78,60 καρατίων πρασινωπού-μπλε χρώματος με συγκεντρώσεις που περιείχε θραύσματα μεταλλικού υλικού σε σκούρο matrix (Εικ. 18). Οι συνήθεις γεωλογικές δοκιμές των πρασινογάλαζων περιοχών έδειξαν ιδιότητες σύμφωνες με τυρκουάζ, συμπεριλαμβανομένου του δείκτη διάθλασης 1,60. Οι μικροσκοπικές παρατηρήσεις αποκάλυψαν τα τυπικά οπτικά χαρακτηριστικά του τυρκουάζ: μπλε και λευκές κηλίδες, κοκκώδης υφή και κηρώδης λάμψη χωρίς ενδείξεις χρωστικής. Η ανάλυση Raman επιβεβαίωσε ότι το μεταλλικό υλικό ήταν σιδηροπυρίτης και η υπέρυθη φασματοσκοπία έδειξε ότι το πρασινογάλαζο υλικό ήταν τυρκουάζ.

Μετά από προσεκτικότερη έρευνα με τη χρήση ενός συνηθισμένου γεωλογικού μικροσκοπίου, βρέθηκε ότι ο σιδηροπυρίτης αποτελούνταν από ακανόνιστα και γωνιώδη θραύσματα μέσα σε ένα λεπτόκοκκο μαύρο matrix. Όπως αποδείχτηκε, το τυρκουάζ αποτελούνταν από κενά τα οποία γέμισαν με σπασμένους κρυστάλλους σιδηροπυρίτη και πολυμερές.

Στο παρελθόν έχει γωστοποιηθεί ποικιλία επεξεργασιών για τυρκουάζ, αλλά αυτό ήταν το πρώτο παράδειγμα τεχνητού matrix που περιέχει σιδηροπυρίτη και εξετάστηκε στο εργαστήριο του Carlsbad (Tsang, 2016).



Εικόνα 18. Τυρκουάζ γεμισμένο με θραύσματα πυρίτη και πολυμερές (www.gia.edu)

6.6. Τυρκουάζ από το Polk του Αρκάνσας

Ένα δείγμα τυρκουάζ από την κομητεία Polk του Αρκάνσας προσκομίστηκε στην AGTA του Avant Mining και σύμφωνα με τον ιδιοκτήτη James Zigras, πρόκειται για το μοναδικό κοίτασμα τυρκουάζ ποιότητας πολύτιμων λίθων στις ΗΠΑ που βρίσκεται στα Νοτιοδυτικά. Από την ίδια πηγή έχουν βαθμονομηθεί προϊόντα και δείγματα που κυμαίνονται από μπλε-πράσινο έως πρασινογάλαζο.

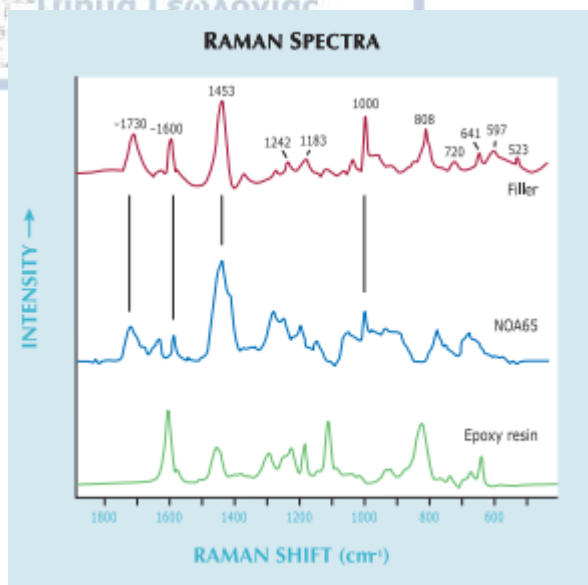
Η πηγή εξορύχθηκε για πρώτη φορά από το 1978 έως το 1986 υπό την κατοχή ενός προηγούμενου ιδιοκτήτη, αλλά το υλικό πιθανότατα πωλήθηκε ως νοτιοδυτικό τουρκουάζ. Κατά τη διάρκεια αυτών των ετών, υπήρχε πάρα πολύς ανταγωνισμός στην αγορά σταθεροποιημένου τουρκουάζ και η δραστηριότητα τελικά σταμάτησε. Το 2017, ο Zigras αγόρασε την περιουσία του προηγούμενου ιδιοκτήτη, η οποία περιελάμβανε δύο τόνους ακατέργαστο τουρκουάζ. Η πηγή απέδιδε υλικό σχεδόν ιδανικό για το τουρκουάζ μέλος της σειράς στερεών διαλυμάτων πλανερίτη-τουρκουάζ. Τον Ιανουάριο του 2018, το κοίτασμα παρήγαγε περίπου 1.000 λίβρες τουρκουάζ και αποκαλύφθηκε ένα παλιό φρεάτιο ορυχείου. Οι φλέβες βρίσκονται περίπου 10 πόδια κάτω από την επιφάνεια. Κρύσταλλοι χαλαζία και βαβελίτης βρίσκονται επίσης στο κοίτασμα.

Ο Zigras ανέφερε ότι το τουρκουάζ είναι εμποτισμένο αλλά όχι βαμμένο. Ανεξάρτητες δοκιμές στο GIA επιβεβαίωσαν τον εμποτισμό, καθώς και την απουσία βαφής στα δείγματα. Ο Zigras σχεδιάζει να υποβάλει το υλικό για επεξεργασία Zachery, μία διαδικασία που έχει σχεδιαστεί για να βελτιώσει τη στιλπνότητα και το χρώμα του τουρκουάζ. Η παραγωγή αυτής της πηγής για τα επόμενα χρόνια, αναμένεται να παρουσιάσει ενδιαφέρον (Fritsch et al., 2018).

6.7. Τουρκουάζ εμποτισμένο με πολυμερές

Το τουρκουάζ έχει κρυπτοκρυσταλλική δομή που αποτελείται από πολύ λεπτές, τυχαία προσανατολισμένες ομάδες στενά στοιβαγμένων παράλληλων αναπτύξεων ψευδο-ρομβοεδρικών κρυστάλλων, γεγονός που συμβάλλει στην πορώδη φύση του υλικού. Αυτή ακριβώς η φύση του και σε συνδυασμό με το γεγονός αξιοποίησής του σε κοσμήματα από Αμερικανούς ιθαγενείς, (σύμφωνα και, μεταξύ άλλων, με ευρήματα που χρονολογούνται το 1350 μ.Χ.), το τουρκουάζ είναι ευάλωτο στα έλαια του δέρματος και στη βρωμιά, προκαλώντας αλλαγή στο χρώμα του. Στην ενίσχυση της προστασίας και της ανθεκτικότητας του τουρκουάζ, συμβάλλει η διαδικασία πλαστικού εμποτισμού του ορυκτού, που ονομάζεται σταθεροποίηση.

Γενικότερα παρατηρείται η χρήση διαφόρων πολυμερών ως πληρωτικά για τη σταθεροποίηση πολύτιμων λίθων, ιδίως σμαραγδιών. Μέλη του εργαστηρίου GIA συνάντησαν για πρώτη φορά σε έκθεση πολύτιμων λίθων το 2007 στην Tucson ένα περσικό τουρκουάζ καμπουσόν, στο οποίο, παρά το γεγονός ότι δεν είχε υποστεί κανένα είδος επεξεργασίας, παρατηρήθηκαν αρκετές κοιλότητες γεμισμένες με ένα διαφανές υλικό.



Η ομάδα προέβη στην ταυτοποίησή του ορυκτού με την χρήση της φασματοσκοπίας Raman (Εικ. 19) και FTIR, και αποκαλύφθηκε για πρώτη φορά η ύπαρξη ενός πολυμερούς που σκλήρυνε με υπεριώδη ακτινοβολία στις κοιλότητες του τυρκουάζ, ως υλικό σταθεροποίησης του ορυκτού αυτού (Moe et al., 2007).

Εικόνα 19. Η φασματοσκοπία Raman στο υλικό πλήρωσης, δείχνει μπάντες χαρακτηριστικές του Συγκολλητικού Norland Optical 65 και και άλλων πολυμερών, σε σύγκριση με την εποξειδική ρητίνη (Moe et al., 2007).

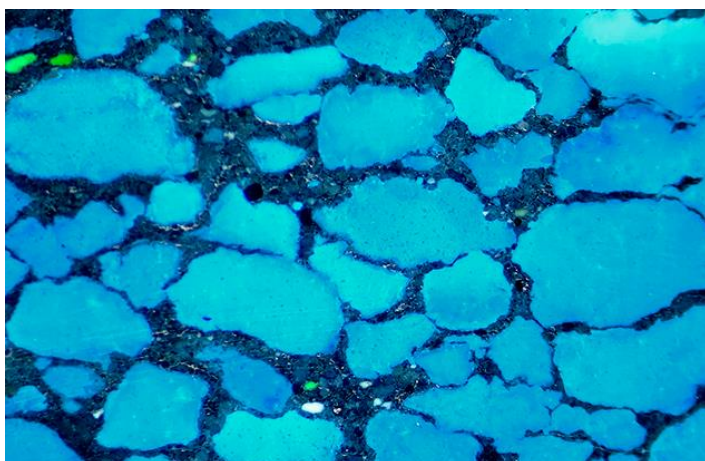
6.8. Το σύνθετο βαρύτη-ασβεστίτη ως απομίμηση του τυρκουάζ "Wulanhua" από την επαρχία Hubei, Κίνα.

Το τυρκουάζ "Wulanhua" είναι γνωστό στην αγορά της Ταϊβάν και της Κίνας. Έχει επίσης ονομαστεί "λουλούδι Ulan" σε προηγούμενες δημοσιεύσεις (Liu et al., 2020). Ο όρος "Wulanhua" είναι μία κινέζικη λέξη που σημαίνει μαύρη ορχιδέα, και συνήθως αναφέρεται σε τυρκουάζ μεσαίου, σκούρου έως πολύ σκούρου μπλε χρώματος, με μαύρο μοτίβο αράχνης που συναντάται στην επαρχία Hubei.

Ένα βραχιόλι που υποβλήθηκε πρόσφατα στο Union Lab της Ταϊβάν Gem Research (TULAB) ως τυρκουάζ Wulanhua περιείχε σκούρες μπλε αδιαφανείς χάντρες με μαύρο μοτίβο ιστού αράχνης στην επιφάνεια. Ο δείκτης διάθλασης αυτών των σφαιριδίων ήταν περίπου 1,62-1,63, κοντά σε αυτόν του τυρκουάζ. Η ανάλυση EDXRF όμως προσδιόρισε ότι η σύσταση των χαντρών δεν συνάδει με εκείνη του τυρκουάζ ($\text{CuAl}_2(\text{PO}_4)(\text{OH}) \cdot 4\text{H}_2\text{O}$). Αντίθετα, αποτελούνταν κυρίως από βάριο (Ba) και ασβέστιο (Ca). Για τον περαιτέρω προσδιορισμό της σύστασης, τα φάσματα Raman (λείζερ 785 nm) συγκρίθηκαν με εκείνα από τη βάση δεδομένων RRUFF. Τα σφαιρίδια εμφάνιζαν μικτά φάσματα βαρύτη, ασβεστίτη και άλλων άγνωστων υλικών.

Με τη συγκατάθεση του πελάτη, μια χάντρα κόπηκε σε δύο μέρη και γυαλίστηκε για περισσότερες δοκιμές. Το ένα μισό ήταν βυθισμένο σε αιθανόλη 95% για 72 ώρες για να εξαχθεί η σκούρα μπλε χρωστική ουσία. Αφού εξατμίστηκε η αιθανόλη, το μπλε ίζημα

αναλύθηκε με φασματοσκοπία Raman και το φάσμα συγκρίθηκε με εκείνο του σφαιριδίου και τα δείγματα από τη βάση δεδομένων RRUFF. Έτσι, αποκαλύφθηκε ότι το υλικό αυτό ήταν αποτελούμενο από βαρύτη και ασβεστίτη με μία άγνωστη μπλε ουσία. Μικροσκοπική παρατήρηση της διατομής (Εικ. 20) έδειξε ότι οι χάντρες αποτελούνταν από ακανόνιστου σχήματος βαρύτη βαρύτη με δευτερεύοντα σωματίδια ασβεστίτη με μη-γνωστό μαύρο γέμισμα ως συνδετικό υλικό. Τα σφαιρίδια θα μπορούσαν να οριστούν ως σύνθετο υλικό από βαρύτη (BaSO_4), ασβεστίτη (CaCO_3) και μπλε χρωστική ουσία. Ενώ η οπτική παρατήρηση και ο δείκτης διάθλασης μπορεί να μην είναι αρκετά για να διακρίνουν αυτές τις χάντρες από τις πραγματικές Wulanhua τυρκουάζ, η φασματοσκοπία Raman και η ανάλυση EDXRF ήταν σε θέση να αποκαλύψουν την πραγματική τους ταυτότητα. Για την ταυτοποίηση της χρωστικής χρησιμοποιήθηκε φασματοσκοπία Raman που έδειξε ότι τα φάσματα μοιάζουν με εκείνα του κεχριμπαριού και της εποξειδικής ρητίνης (Choudhary et al., 2022b).



Εικόνα 20. Η τομή της χάντρας με βαρύτη ακανόνιστου σχήματος, βαρύτη με μικρά σωματίδια ασβεστίτη και ένα σκούρο συνδετικό υλικό. Φωτομικρογραφία, Shu-Hong Lin, οπτικό πεδίο 8,56 mm (www.gia.edu)

6.9. Τρόποι αναγνώρισης αυθεντικότητας τυρκουάζ

Το κάθε εύρημα και δείγμα ορυκτού τυρκουάζ, θα πρέπει πρώτα να υφίσταται αναγνώριση της σύστασής του με την αξιοποίηση μεθόδων υπέρυθρης φασματοσκοπίας και περιθλασιμετρίας σκόνης ακτίνων Χ. Και οι δύο τεχνικές απαιτούν τη σκόνη μόνο μιας πολύ μικρής ποσότητας δείγματος (περίπου 3 γρ.), που σημαίνει ελάχιστη ζημιά στο δειγματοληπτικό κομμάτι. Μόνο το εμποτισμένο με παραφίνη τυρκουάζ δεν μπορεί να αναγνωριστεί θετικά με τις δύο μεθόδους.

Κατά αυτόν τον τρόπο, επιτυγχάνεται η αναγνώριση και ο χαρακτηρισμός του δείγματος τυρκουάζ, ως φυσικό, επεξεργασμένο, συνθετικό ή απομίμηση αντιστοίχως. Επιπλέον, εάν ένα

δείγμα φυσικού τυρκουάζ έχει υποστεί κάποια επεξεργασία, αυτό θα πρέπει να γνωστοποιείται στο εμπόριο (Lind et al., 1983).

6.10. Επεξεργασία ενίσχυσης τυρκουάζ - Zachery

Τα τελευταία 10 χρόνια χρησιμοποιείται σε μεγάλο βαθμό μια διαδικασία ενίσχυσης του τυρκουάζ, που ονομάζεται επεξεργασία Zachery. Πιο συγκεκριμένα, αυτή συντελεί στην βελτίωση του χρώματος, της υφής και της λάμψης του, ενώ επίσης μειώνει το πορώδες του υλικού, περιορίζοντας την τάση του να απορροφά παράγοντες αποχρωματισμού όπως τα έλαια του δέρματος. Εξέταση πολυάριθμων δειγμάτων που έχουν υποβληθεί στην επεξεργασία Zachery, αποκάλυψε ότι το τυρκουάζ έχει γεωλογικές ιδιότητες παρόμοιες με αυτές των μη επεξεργασμένων φυσικών τυρκουάζ και ότι η επεξεργασία δεν περιλαμβάνει εμποτισμό με κάποιο πολυμερές.

Τα περισσότερα τυρκουάζ με επεξεργασία Zachery μπορούν να αναγνωριστούν μόνο μέσω χημικής ανάλυσης - πιο αποτελεσματικά, με φασματοσκοπία EDXRF - καθώς περιέχει σημαντικά περισσότερο κάλιο από το αντίστοιχο μη επεξεργασμένο. Αναλυτικότερα, το τυρκουάζ που έχει υποστεί επεξεργασία Zachery δεν μπορεί να ανιχνευθεί από τυπικές γεωλογικές τεχνικές, αν και το ελαφρώς αφύσικο χρώμα του και οι συγκεντρώσεις μπλε χρώματος μέσα και γύρω από τις ρωγμές είναι ορισμένες ενδείξεις. Ο αποχρωματισμός ύστερα από την έκθεση του ορυκτού σε οξαλικό οξύ μπορεί επίσης να υποδεικνύει επεξεργασία, αλλά αυτό είναι μια καταστροφική δοκιμασία. Με βάση τον μεγάλο αριθμό δειγμάτων που μελετήθηκαν από διάφορες τοποθεσίες, αποδείχθηκε ότι η μεγάλη πλειοψηφία των τυρκουάζ με επεξεργασία Zachery, μπορούν να αναγνωριστούν από τα σχετικά υψηλά επίπεδα καλίου. Ωστόσο, η χημική ανάλυση απαιτεί πρόσβαση σε προηγμένη τεχνολογία όπως η φασματομετρία EDXRF ή η μικροανάλυση και τέτοια όργανα είναι διαθέσιμα μόνο στα πιο εξελιγμένα γεωλογικά εργαστήρια. Η διαδικασία ανίχνευσης της παρουσίας καλίου, μεταξύ των διαφόρων επεξεργασιών πολύτιμων λίθων, συναντάται μόνο στην επεξεργασία Zachery ως απόδειξη εφαρμογής της (Fritsch et al., 1999).

6.11. Οδοντίνη (οδοντόλιθος): απομίμηση τυρκουάζ

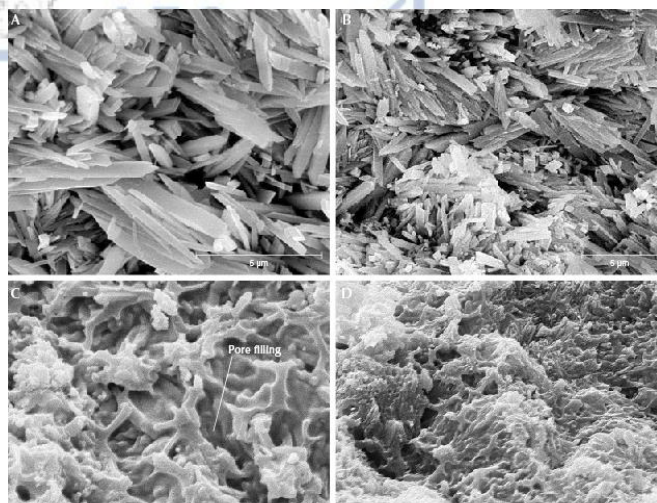
Μια συνήθης ανάλυση Raman και φασματοσκοπία EDXRF ενός σετ από καρφίτσες, διαμάντια και γαλάζια καμπουσόν, φανέρωσε την ευρεία χρήση μίας απομίμησης τυρκουάζ, του οδοντολίτη, στα μέσα του 19ου αιώνα, ιδίως σε κοσμήματα της δυτικής Ευρώπης.

Τα περισσότερα από τα καμπουσόν αποδείχθηκαν απολιθωμένη οδοντίνη, γνωστή και ως οδοντόλιθος (ορυκτολογικά, φθοροαπατίτης), που αναμείχθηκε με τυρκουάζ και γυαλί είτε κατά το στάδιο της κατασκευής είτε σε μετέπειτα επισκευή, ενώ οι καρφίτσες περιείχαν επίσης τυρκουάζ και τεχνητό γυαλί.

Συνεπώς, ως η πιο αποτελεσματική προσέγγιση για την αναγνώριση αυτών των υλικών, κρίθηκε ένας συνδυασμός μικροσκοπικής παρατήρησης και φασματοσκοπίας Raman, καθώς και οι δύο μέθοδοι είναι μη καταστροφικές, ώστε να μπορούν να εφαρμοστούν εύκολα σε πολύτιμα ιστορικά αντικείμενα (Krzemnicki et al., 2011).

6.12. Σύνθεση και φασματικά χαρακτηριστικά τυρκουάζ κατασκευασμένου με πορσελάνη

Για να καλύψει τη συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση για υψηλής ποιότητας φυσικό τυρκουάζ, μια νέα τεχνική επεξεργασίας που χρησιμοποιεί μια ανόργανη πρόσθετη ουσία εμφανίστηκε στην κινεζική αγορά γύρω στο 2019. Το τυρκουάζ με αυτή την επεξεργασία μοιάζει με φυσικό τυρκουάζ υψηλής ποιότητας, με λεπτή δομή και υψηλή επιφανειακή λάμψη και είναι γνωστό στο κινεζικό εμπόριο ως τυρκουάζ "επεξεργασμένο με πορσελάνη". Αυτό το υλικό αναγνωρίστηκε από συνήθεις γεωλογικές μεθόδους, την περιβαλλοντική μικροσκοπία (Εικ. 21) σάρωσης ηλεκτρονίων, τις φασματοσκοπικές μεθόδους που περιλαμβάνουν υπέρυθρο, φθορισμό ακτίνων X με ανιχνευτή διασποράς ενέργειας και τη φασματοσκοπία Raman με λέιζερ. Το φάσμα ευκαμψίας υπέρυθρου και υπεριώδους του επεξεργασμένου με πορσελάνη τυρκουάζ, είναι δύσκολο να διακριθεί από το μη επεξεργασμένο τυρκουάζ, ωστόσο μπορεί να αναγνωριστεί αποτελεσματικά από τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας του σε συνδυασμό με το χαμηλό ειδικό βάρος, την ισχυρή επιφανειακή στιλπνότητα, την υψηλή συγκέντρωση πυριτίου (>8,29 wt.%), υψηλή ατομική αναλογία σιδήρου προς αργίλιο (>0,22), χαμηλό ποσοστό φωσφόρου (<37,5%) και ενδείξεις γεμισμένων με κολλοειδή πόρων.



Εικόνα 21. A, B: Μη επεξεργασμένο τυρκουάζ, C, D: Τα όρια των μικροκρυστάλλων του τυρκουάζ που έχει υποστεί επεξεργασία με πορσελάνη είναι θαμπά και οι πόροι είναι γεμισμένοι με κολλοειδές υλικό (Huang et al., 2023).

ένας τελικός προσδιορισμός. Τα χαρακτηριστικά των φασμάτων απορρόφησης υπερύθρου και υπεριώδους ακτινοβολίας δεν διαχωρίζουν το μη επεξεργασμένο και το επεξεργασμένο με πορσελάνη τυρκουάζ και επομένως δεν είναι χρήσιμα για διαχωρισμό. Η παρατήρηση SEM της μικρομορφολογίας της επιφάνειας παρέχει σαφείς ενδείξεις επεξεργασίας πορσελάνης, αλλά απαιτεί επίστρωση με άνθρακα ή χρυσό, καθιστώντας την ακατάλληλη για τακτική αναγνώριση (Huang et al., 2023s).

7. ΙΣΤΟΡΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Το τυρκουάζ είναι ένας από τους αρχαιότερους πολύτιμους λίθους στον κόσμο και είχε μεγάλη επιρροή και δημοφιλία σε πολλούς πολιτισμούς οι οποίοι το χρησιμοποιούσαν είτε ως πολύτιμο αγαθό και εμπορικό προϊόν, είτε ως ιερό και τελετουργικό αντικείμενο, χρησιμοποιούμενο σε βαθμό που ξεπέρασε τον ανταγωνιστή του πολύτιμο λίθο, το νεφρίτη. Σήμερα χρησιμοποιείται ακόμη για χάντρες, καμπουσόν, γλυπτά και ένθετα. Παρόλο που είναι γνωστό στους καταναλωτές, η δημοτικότητά του στην κύρια βιομηχανία κοσμημάτων έρχεται και φεύγει. Η μεγαλύτερη και πιο μόνιμη αγορά είναι η νοτιοδυτική Αμερική, λόγω της παράδοσή της σε τυρκουάζ.

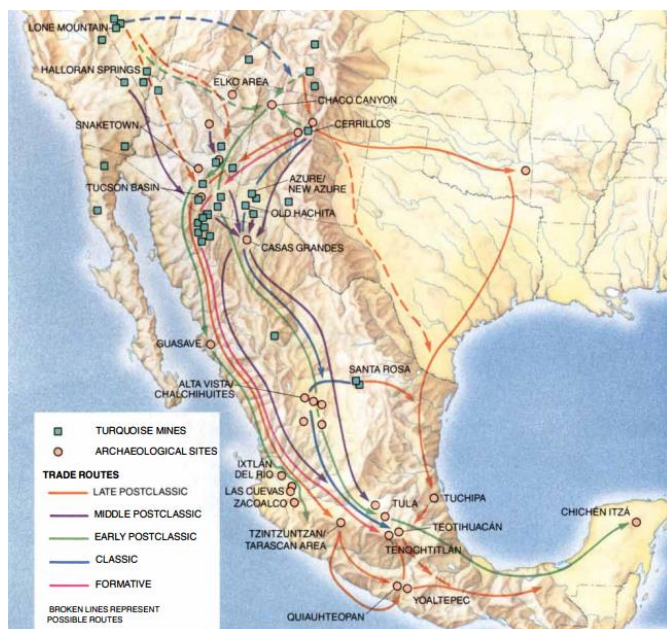
Αρχαιολογικές ανασκαφές αποκάλυψαν ότι οι ηγεμόνες της αρχαίας Αιγύπτου προτιμούσαν κοσμήματα από τυρκουάζ και οι Κινέζοι τεχνίτες το λάξευαν πριν από περισσότερα από 3.000 χρόνια. Αποτελεί τον εθνικό πολύτιμο λίθο του Θιβέτ και θεωρείται εδώ και πολύ καιρό πέτρα που εγγυάται υγεία, καλή τύχη και προστασία από το κακό. Εκτός των άλλων, το τυρκουάζ ήταν τελετουργικός πολύτιμος λίθος και μέσο ανταλλαγής για τις φυλές των ιθαγενών Αμερικανών στις νοτιοδυτικές ΗΠΑ, ενώ το χρησιμοποιούσαν επίσης στα κοσμήματα και τα φυλαχτά τους. Οι Απάτσι πίστευαν ότι το τυρκουάζ προσαρτημένο σε τόξο ή πυροβόλο όπλο αύξανε την ακρίβεια του κυνηγού ή του πολεμιστή. (<https://www.gia.edu/turquoise-history-lore>.)

7.1. Το τυρκουάζ στην Αμερική

Στην Προκολομβιανή Αμερική, το τυρκουάζ αποτελούσε κάτι περισσότερο από ένα υπερβολικά πολύτιμο κτήμα, καθώς αποτέλεσε μεταφορικά ένδειξη της ζωής σε κοινωνικό και θρησκευτικό τομέα, ενώ επίσης έγινε σύμβολο ευγενούς θέσης και σοφίας, και θεωρούνταν τόσο πολύτιμο όσο και το νερό.

Η σύγχρονη επιστημονική εξέταση και οι αρχαιολογικές μελέτες αποδεικνύουν ότι αναπτύχθηκε ένα ιδιαίτερα δομημένο, επίσημο εμπορικό σύστημα για την ικανοποίηση της μεγάλης ζήτησης τυρκουάζ της εποχής. Έτσι δημιουργήθηκε ένα ευρύ εμπόριο τυρκουάζ μεταξύ των Μεσοαμερικανών και των ιθαγενών των Νοτιοδυτικών περιοχών, το οποίο εξυπηρέτησαν ορυχεία που εκτείνονταν σε ένα μεγάλο τόξο από την Καλιφόρνια έως το Κολοράντο. Αναπόφευκτη συνέπεια αυτής της διαδεδομένης εμπορικής δραστηριότητας, ήταν η συστηματική επαφή και οι πολιτιστικές ανταλλαγές μεταξύ των λαών, που επηρέασαν

έντονα την κοινωνική ανάπτυξη της Νοτιοδυτικής Αμερικής από τη Μέση Αμερική (Εικ. 22). Μια από αυτές τις επιρροές, ήταν και η απόδοση διαφορετικής έννοιας στο τουρκουάζ, το οποίο δεν θεωρούνταν πλέον απλά ένα εξαγωγικό προϊόν, αλλά είχε μια σημαντικότερη, πιο πολύτιμη και θεοκρατική διάσταση (Harbottle & Weigand, 1992).



Εικόνα 22. Το εμπόριο τουρκουάζ μεταξύ της Μεσοαμερικής και της Νοτιοδυτικής Αμερικής (Harbottle & Weigand, 1992)

Μεταξύ των πιο διάσημων αντικειμένων της αρχαίας Μεσοαμερικανικής καλλιτεχνίας και χειροτεχνίας είναι τα κατασκευασμένα μικροσκοπικά ψηφιδωτά από τουρκουάζ (Εικ. 23) και άλλα πολύτιμα υλικά, κολλημένα με λεπτότητα πάνω σε ξύλινο υπόστρωμα. Ωστόσο, το τουρκουάζ δεν διαδόθηκε ευρέως στη Μεσοαμερική μέχρι το 900 μ.Χ. περίπου, στην αρχή της Μετακλασικής περιόδου. Προερχόμενο από το Νοτιοδυτικά της Αμερικής, το τουρκουάζ άρχισε να αντικαθιστά τον νεφρίτη ως τον πιο σημαντικό πολύτιμο λίθο στην Μεσοαμερική. Αντίθετα με την μάλλον λεία, γυάλινη επιφάνεια του ρηγματωμένου τουρκουάζ, ο προσφάτως σπασμένος νεφρίτης τείνει να φαίνεται αρκετά τραχύς και κοκκώδης, λόγω της κρυπτοκρυσταλλικής δομής του ορυκτού.

Η κλασική συμβολική σημασία του τουρκουάζ ήταν αρκετά διαφορετική από εκείνη του νεφρίτη, ενός λίθου που ταυτίζεται ευρέως με το νερό, τον αραβόσιτο και τη γεωργική αφθονία στην αρχαία Μεσοαμερική. Αντίθετα, το τουρκουάζ ήταν "ουράνια πέτρα" και σχετιζόταν στενά με τον ήλιο, τη φωτιά, τους μετεωρίτες και τις ψυχές των πολεμιστών και των βασιλιάδων, πολλά από τα οποία μπορούν να εντοπιστούν σε ακόμα παλαιότερες παραδόσεις των Teotihuacan. Μαζί με τον θεό της φωτιάς των Αζτέκων, Xiuhtecuhtli (Εικ. 23), που σημαίνει "άρχοντας του τουρκουάζ", υπήρχε επίσης ο Xiuhcoatl, το τουρκουάζ φίδι της φωτιάς.



Εικόνα 23. Μάσκα (πιθανώς αναπαριστά τον Xiuhtecuhtli), κατασκευασμένη από ξύλο κέδρου και καλυμμένη με ψηφιδωτό τυρκουάζ (www.worldhistory.org)

Παρόλο που είναι μια πέτρα μη-μεσοαμερικανικής προέλευσης, το τυρκουάζ έγινε ένα σημαντικό υλικό στη θρησκευτική πεποίθηση της Μεξικάνικης Μετακλασικής εποχής (900–1250 μ.Χ.). Οι Τολτέκοι ήταν οι πρώτοι που απέδωσαν ξανά σε αυτόν τον πολύτιμο λίθο τους πιο αρχαίους πολεμικούς συμβολισμούς των Teotihuacan, καθώς και ανέπτυσαν πολύπλοκα τυρκουάζ ψηφιδωτά κοσμήματα, όπως το στέμμα xihuitzollī κ.α. Τόσο στην πίστη των Τολτέκων όσο και στη μετέπειτα πίστη των Αζτέκων, ο Xiuhtecuhtli ενσάρκωνε τη μετεωρική φωτιά, και ως εκ τούτου, εμφανίζονταν με τη μορφή υπερφυσικών καμπιών, όντων που αντιπροσώπευαν τη νύμφη της πεταλούδας ως τις ψυχές των πολεμιστών. Στην Ύστερη Μετακλασική σκέψη (1250–1521 μ.Χ.) του κεντρικού Μεξικού, ο Xiuhtecuhtli ήταν ένα πλάσμα που ταυτιζόταν στενά με τον θεό της φωτιάς Xiuhtecuhtli, και ήταν συνδεδεμένο με τη βασιλεία και τις ψυχές των πολεμιστών, καθώς και με τον συμβολισμό και τα στολίδια του τυρκουάζ των παλαιότερων Τολτέκων. Η σχέση αυτής της μπλε και αδρανούς πέτρας με τη φωτιά προέρχεται από το χρώμα του ισχυρότερου και εντονότερου τμήματος της φωτιάς, δηλαδή την "καρδιά της φλόγας" (Patrick Johansson K.) (Houston & Taube, 2000).

Επισημώς, περισσότερα από ένα εκατομμύριο δείγματα τυρκουάζ έχουν ανακτηθεί αρχαιολογικά σε όλη τη Νοτιοδυτική και Μεσοαμερική, αποτελώντας αποδεικτικό στοιχείο του εμπορίου προμήθειας και ανταλλαγής τυρκουάζ. Για δεκαετίες, οι αρχαιολόγοι προσπαθούσαν να χαρακτηρίσουν χημικά τα κοιτάσματα τυρκουάζ. Ωστόσο, οι μελέτες αυτές είχαν περιορισμένη επιτυχία λόγω των εγγενών περιορισμών των αναλύσεων των ιχνοστοιχείων σε περίπλοκα από άποψη σύστασης ορυκτά, όπως το τυρκουάζ. Τελικά, οι ερευνητές κατάφεραν να επιτύχουν την αναγνώριση της προέλευσης των διαφόρων δειγμάτων, μέσω της χημικής ανάλυσής τους, να τα χαρακτηρίσουν, να ανακαλύψουν εάν ένα τέτοιο

δείγμα σχετίζεται με κάποιο άλλο, ακόμη και αν τα αντικείμενα έχουν βρεθεί σε τοποθεσίες που απέχουν μεταξύ τους μεγάλες αποστάσεις ή ανήκουν σε διαφορετικές περιόδους.

Αναλυτικότερα, μια τέτοια μέθοδος που εφαρμόζεται για τον ανωτέρω σκοπό αναγνώρισης των δειγμάτων, είναι η τεχνική του “δαχτυλικού αποτυπώματος”. Αυτή είναι μια μη καταστροφική μέθοδος που περιλαμβάνει την ανάλυση του ορυκτού με την ενεργοποίηση νετρονίων, βομβαρδίζοντας το δείγμα με μια δέσμη νετρονίων και δημιουργώντας έτσι, διάφορα ραδιοϊσότοπα του όπως το νάτριο, κάλιο, βάριο, σκάνδιο, διάφορα στοιχεία σπάνιων γαιών, μαγγάνιο, σίδηρο, κοβάλτιο, αρσενικό και χαλκό που δίνουν στο τουρκουάζ το χρώμα του. Το κάθε ορυχείο χαρακτηρίζεται από συγκεκριμένες μορφές δειγμάτων τουρκουάζ, και συνεπώς μια παρόμοια σύσταση υποδηλώνει κοινή προέλευση (Harbottle & Weigand, 1992).

Σύμφωνα με έρευνα του Sigleo (1975) όπως αναφέρεται σε άρθρο του Science, αντικείμενα από τουρκουάζ βρίσκονται σε αρχαιολογικούς χώρους σε όλες τις νοτιοδυτικές Ηνωμένες Πολιτείες. Η γεωγραφική κατανομή του ορυκτού, ωστόσο, περιορίζεται στα περιθώρια του οροπεδίου του Κολοράντο, στην Αριζόνα, το Νέο Μεξικό και σε μια ομάδα ορυχείων στα βορειοανατολικά της Νεβάδα. Οι αναλύσεις ιχνοστοιχείων του τουρκουάζ έχουν καταδείξει σημαντικές διαφορές μεταξύ των επιμέρους τοποθεσιών. Μέσω τεχνικών ανάλυσης ιχνοστοιχείων, είναι δυνατόν να προσδιοριστεί η πηγή του ορυκτού με τη σύγκριση της περιεκτικότητας του τεχνουργήματος σε ιχνοστοιχεία, με την περιεκτικότητα του τουρκουάζ από διαπιστωμένες γεωλογικές πηγές.

Δεκατρείς χάντρες τουρκουάζ από τη θέση Snaketown και πολλαπλά δείγματα από κάθε ένα από τα 24 ορυχεία τουρκουάζ στα Νοτιοδυτικά αναλύθηκαν με ενόργανη ανάλυση ενεργοποίησης νετρονίων (INAA) προκειμένου να προσδιοριστεί η πηγή του τουρκουάζ από το Snaketown. Τα μοτίβο των ιχνοστοιχείων για κάθε μία από τις χάντρες συγκρίθηκαν και διαπιστώθηκε ότι είναι παρόμοια, υποδηλώνοντας μια ενιαία περιοχή προέλευσης για όλες τις χάντρες. Τα μοτίβο των ιχνοστοιχείων για τις χάντρες συσχέτιστηκαν με εκείνα των τουρκουάζ από την ομάδα των Ιμαλαΐων, κοντά στο Halloron Springs της Καλιφόρνια, αλλά όχι με τα δεδομένα από τα άλλα ορυχεία που αναλύθηκαν. Αυτή η συσχέτιση ήταν απροσδόκητη δεδομένου ότι υπάρχουν αρκετά ορυχεία τουρκουάζ με προϊστορικές εκμεταλλεύσεις γεωγραφικά πιο κοντά στο Snaketown.

Σχετικά με την προετοιμασία των δειγμάτων για την ανάλυση INAA, τα γεωλογικά δείγματα θρυμματίστηκαν χονδροειδώς και τα θραύσματα του τουρκουάζ επιλέχθηκαν με το χέρι ξεχωριστά από τα εγκλείσματα, κάτω από πετρογραφικό μικροσκόπιο. Τα θραύσματα πλύθηκαν σχολαστικά σε συσκευή υπερήχων πριν από την ακτινοβολήση, για να εξαλειφθούν

οι επιφανειακές αλλοιώσεις. Τέλος, τα δείγματα υποβλήθηκαν σε μία σειρά ακτινοβολιών 1 λεπτού και 6 ωρών στον αντιδραστήρα TRIGA του Πανεπιστημίου της Αριζόνα σε ροή νετρονίων $1012 \text{ νετρονίων cm}^{-2} \text{ sec}^{-1}$ (Sigleo, 1975).

Μια άλλη τεχνική που χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό της γεωλογικής προέλευσης τυρκουάζ, είναι η χρήση σταθερών ισοτόπων υδρογόνου και χαλκού. Σε αυτήν αξιοποιούνται οι ισοτοπικές αναλογίες του υδρογόνου ($^2\text{H}/^1\text{H}$) και του χαλκού ($^{65}\text{Cu}/^{63}\text{Cu}$), που μετρώνται με φασματογράφο μάζας δευτερογενών ιόντων και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον χαρακτηρισμό των κοιτασμάτων τυρκουάζ, επιτρέποντας την σύνδεση αντικειμένων τυρκουάζ με προϊστορικά ορυχεία εκατοντάδες χιλιόμετρα μακριά από αρχαιολογικές τοποθεσίες. Έτσι, κατάφεραν οι ερευνητές να αναλύσουν διάφορα από τα ορυχεία της Προκολομβιανής Αμερικής, να τα κατηγοριοποιήσουν σε διάφορα πρότυπα κατανομής περιοχών προέλευσης, ώστε να αναγνωρίσουν μετέπειτα την προέλευση των δειγμάτων τυρκουάζ βάσει αυτών. Σύμφωνα με έρευνα της Sharon Hull, αναφέρεται πως δεκατρία από τα δεκαεπτά τεχνουργήματα που αναλύθηκαν από διάφορες τοποθεσίες στο βορειοδυτικό Νέο Μεξικό εντάσσονται σε διάφορα πρότυπα κατανομής χαρακτηρισμένων περιοχών προέλευσης, γεγονός που υποδηλώνει ότι το τυρκουάζ ελήφθη από διάφορες περιοχές προέλευσης και μετακινήθηκε σε μεγάλες αποστάσεις (Hull et al., 2008).

7.2. Η οργάνωση της παραγωγής και της κατανάλωσης τυρκουάζ από τους προϊστορικούς Chacoans

Κατά τις πρώτες ανασκαφές στο εθνικό ιστορικό πάρκο "Chaco Canyon" βρέθηκαν πάνω από 56.000 τεμάχια τυρκουάζ, περισσότερα από άλλες περιοχές στις νοτιοδυτικές ΗΠΑ από το 900 μ.Χ. έως το 1150 μ.Χ. περίπου (Εικ. 24). Αρχικά, το τυρκουάζ είχε τελετουργικές χρήσεις εντός του περιφερειακού συστήματος, ορισμένες εκ των οποίων ακολουθούνται και από τους σύγχρονους Puebloan, ενώ στην πορεία αποτέλεσε αντικείμενο εμπορίου και ανταλλαγής (με χάλκινα κουδούνια ή πουλιά μακάο από τον νότο). Χρησιμοποιήθηκε επίσης, τόσο ως υλικό κατασκευής κοσμημάτων που παράγονταν σε οικίες και ειδικά εργαστήρια, αλλά και ως υλικό κατασκευής κοινόχρηστων εγκαταστάσεων (οροφές, πατώματα κλπ). Κατά τη διάρκεια των αρχικών ανασκαφών στο Pueblo Bonito, ένα από τα πρώτα και σπουδαιότερα σπίτια στο Chaco Canyon, ο Pepper (1909) ανακάλυψε χιλιάδες κομμάτια από τυρκουάζ και άλλα ασυνήθιστα αντικείμενα σε ταφές. Αρκετές δεκαετίες αργότερα, ο Judd (1954) ανακάλυψε επίσης αντικείμενα από τυρκουάζ σε ένα άλλο σύνολο ταφικών θαλάμων

στο δυτικό τμήμα του Pueblo Bonito. Λόγω της αφθονίας του λίθου στο Pueblo Bonito και τη σπάνια εμφάνισή του σε άλλες τοποθεσίες, το τυρκουάζ έγινε ένα συναρπαστικό θέμα έρευνας κατά τη διάρκεια των επόμενων ερευνητικών προγραμμάτων.

Τα στοιχεία για την παραγωγή του αντικειμένων από τυρκουάζ είναι ελάχιστα πριν από τη δεκαετία του 900 μ.Χ. (λίγα αντικείμενα από τυρκουάζ εμφανίζονται κοντά στο 500 μ.Χ. στο Chaco), όπου ορισμένες τοποθεσίες αποκαλύπτουν ενδείξεις κατασκευής κοσμημάτων.

Οι Chacoans, πιθανότατα προμηθεύτηκαν αυτό το υλικό, είτε άμεσα είτε μέσω εμπορίου, από έναν αριθμό ορυχείων που βρίσκονταν σε διάφορες θέσεις γύρω από το φαράγγι Chaco.

Υπάρχουν ενδείξεις ότι στολίδια τυρκουάζ κατασκευάζονταν επίσης σε μερικές κοινότητες σπουδαίων σπιτιών στα νότια κατά τη διάρκεια της Πρώιμης και Κλασικής φάσης Bonito και στα ερείπια των Αζτέκων στο βορρά κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 100 μ.Χ.

Το τυρκουάζ χρησιμοποιούνταν ως προσφορά σε μεγάλους χώρους τελετών και πολιτικών συναντήσεων, σε τοποθεσίες στο Chaco Canyon. Αυτό μπορεί να υποδηλώνει μια μακρόχρονη παράδοση τοποθέτησης αυτού του εισαγόμενου υλικού στους πάγκους ή στα δάπεδα των κοινόχρηστων εγκαταστάσεων κατά τη διάρκεια της κατασκευής ή της αναδιαμόρφωσής τους (Mathien, 2001).



Εικόνα 24. Τοποθεσία Chaco Canyon στον χάρτη των Η.Π.Α. (www.britannica.com)

7.3. Γεωλογικά χαρακτηριστικά του τυρκουάζ από το Hami, Xinjiang της Κίνας

Το τυρκουάζ από το Hami, Xinjiang στην Κίνα, είναι ένα πολύτιμο υλικό καλής ποιότητας με ωραίο χρώμα. Το κοίτασμα παρουσιάζει καλές δυνατότητες, αν και η εξόρυξη απαγορεύεται επί του παρόντος λόγω της αρχαιολογικής σημασίας της περιοχής. Το τυρκουάζ σχηματίζεται συνήθως σε φλέβες ή ως οξίδια με διάφορα σχετιζόμενα ορυκτά (δηλαδή

ξυλοκασίτης, ασβεστίτης, αλουνίτης, γύψος και χαλαζίας, όπως αναγνωρίζονται με ανάλυση περίθλασης ακτίνων Χ). Οι κύριες χημικές προσμίξεις στο τουρκουάζ είναι Si, Sr, Cr και V. Η ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης αποκάλυψε ότι οι κρυσταλλίτες τουρκουάζ σχηματίζονται συνήθως ως συμπαγή συσσωματώματα με φολιδωτή διάταξη, με αποτέλεσμα το χαμηλό πορώδες και την πυκνή δομή. Η σχετικά υψηλή σκληρότητα μιας καφέ-κίτρινης ποικιλίας τουρκουάζ Hami βρέθηκε να σχετίζεται στενά με την παρουσία προσμίξεων χαλαζία. Ορισμένα γαλαζοπράσινα δείγματα εμφανίζουν ένα χαρακτηριστικό μοτίβο «σταγόνες βροχής» λόγω της παρουσίας φθοροαπατίτη, παρόμοιου με το τουρκουάζ από την επαρχία Hubei της Κίνας.

Από τη νεολιθική εποχή, οι Κινέζοι έχουν χρησιμοποιήσει τουρκουάζ για διακόσμηση και στολισμό. Αρχαιολογικές ανακαλύψεις στο δυτικό Ιράν δείχνουν ότι πρώτα το τουρκουάζ εμφανίστηκε γύρω στο 7000 π.Χ., και η χρήση του στην αρχαία Αίγυπτο πιθανώς χρονολογείται κοντά στα 500-600 χρόνια από αυτήν την εποχή. Στη μακριά του ιστορική εξέλιξη σε όλο τον κόσμο, το τουρκουάζ έχει τόσο διακοσμητικές λειτουργίες, συνοδευόμενο από διάφορες θρησκευτικές και άλλες συμβολικές έννοιες σε ορισμένες περιοχές και χώρες. Το τουρκουάζ προέρχεται σήμερα κυρίως από την Αυστραλία, Χιλή, Κίνα, Αίγυπτο, Ιράν, Μεξικό, Μογγολία, Περού και τις Ηνωμένες Πολιτείες. Στην Κίνα, εκτός από την επαρχία Hubei που είναι μια σημαντική εμπορική πηγή τουρκουάζ ποιότητας πολύτιμων λίθων, απαντώνται επιπρόσθετα κοιτάσματα στις Anhui, Shaanxi, Henan, Qinghai και άλλες επαρχίες. Ο προσδιορισμός προέλευσης του τουρκουάζ χρησιμοποιώντας ορυκτολογικά και γεωχημικά χαρακτηριστικά έχει μελετηθεί από διάφορους ερευνητές. Επίσης, έχει προταθεί η χρήση των ισοτόπων Sr, Pb, Cu και H για τη διάκριση της προέλευσης του τουρκουάζ. Το 1981, το τουρκουάζ ανακαλύφθηκε στο Xinjiang, μια περιοχή στη βορειοδυτική Κίνα κοντά στη Μογγολία. Οι δύο τοποθεσίες τουρκουάζ (Heishanling και Tianhu East) βρίσκονται στην έρημο Gobi.

8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Chen, Q., Yin, Z., Qi, L., & Xiong, Y. (2012). Turquoise from Zhushan County, Hubei Province, China. *Gems & Gemology*, 48(3), 198–204.
- Choudhary, G. (2010). A New Type of Composite Turquoise. *Gems & Gemology*, 46(2), 106–113.
- Choudhary, G., M. Breeding, C., & Shi, G. (2022). Colored stones and organic materials. *Gems & Gemology*, 58(3), 378–398.
- Choudhary, G., M. Breeding, C., & Shi, G. (2022b). Tucson 2022. *Gems & Gemology*, 58(1), 80–136.
- Fritsch, E., McClure, S. F., Ostrooumov, M., Andres, Y., Moses, T., Koivula, J. I., & Kammerling, R. C. (1999). The Identification of Zachery-Treated Turquoise. *Gems & Gemology*, 35(1), 4–16.
- Fritsch, E., Notari, F., & Scarratt, K. (2013). Colored stones and organic materials. *Gems & Gemology*, 49(3), 178–186.
- Fritsch, E., Choudhary, G., & M. Breeding, C. (2018). Tucson 2018. *Gems & Gemology*, 54(1), 74–110.
- Frost R.L., Jagannadha Reddy B., Martens W.N., Weier M. (2006). The molecular structure of the phosphate mineral turquoise—a Raman spectroscopic study. *J. Mol. Struct.*, 788, 1–3, 224–231.
- Harbottle, G., & Weigand, P. C. (1992). Turquoise in Pre-Columbian America. *Scientific American*, 266(2), 78–85.
- Houston, S., & Taube, K. (2000). An Archaeology of the Senses: Perception and Cultural Expression in Ancient Mesoamerica. *Cambridge Archaeological Journal*, 10(2), 261–294.
- Huang, L., Chen, Q., Li, Y., Yin, Z., Xu, F., Gao, X., & Du, Y. (2023). Composition and Spectral Characteristics of Porcelain-Treated Turquoise. *Gems & Gemology*, 58(4), 438–457.
- Hull, S., Fayek, M., Mathien, F. J., Shelley, P., & Durand, K. R. (2008). A new approach to determining the geological provenance of turquoise artifacts using hydrogen and copper stable isotopes. *Journal of Archaeological Science*, 35(5), 1355–1369.
- Krzemnicki, M. S., Herzog, F., & Zhou, W. (2011). A Historic Turquoise Jewelry Set Containing Fossilized Dentine (Odontolite) and Glass. *Gems & Gemology*, 47(4), 296–301.
- Lind, T., Schmetzer, K., & Bank, H. (1983). The Identification of Turquoise by Infrared Spectroscopy and X-ray Powder Diffraction. *Gems & Gemology*, 19(3), 164–168.
- Liu, L., Yang, M., & Li, Y. (2020). Unique Raindrop Pattern of Turquoise from Hubei, China. *Gems & Gemology*, 56(3), 380–400.
- Liu, L., Yang, M., Li, Y., Di, J., Chen, R., Liu, J., & He, C. (2021b). Technical Evolution and Identification of Resin-Filled Turquoise. *Gems & Gemology*, 57(1), 22–35.
- Mathien, F.J. (2001b). The Organization of Turquoise Production and Consumption by the Prehistoric Chacoans. *American Antiquity*, 66(1), pp.103–118. Moe, K. S., Moses, T.

- M., & Johnson, P. (2007). Polymer-Impregnated Turquoise. *Gems & Gemology*, 43(2), 149–151.
- Shirdam, B., Shen, A., Yang, M., Mokhtari, Z., & Fazliani, H. (2021). Persian Turquoise: The Ancient Treasure of Neyshabur. *Gems & Gemology*, 57(3), 240–257.
- Sigleo, A. C. (1975). Turquoise Mine and Artifact Correlation for Snaketown Site, Arizona. *Science*, 189(4201), 459–460.
- Tsang, R. (2016). Turquoise with simulated matrix. *Gems & Gemology*, 52(4), 422–427.
- Wu, Y. *et al.* (2022) ‘Gemmological characteristics of turquoise from Hami, Xinjiang, China’, *The Journal of Gemmology*, 38(3), pp. 254–270.

Ιστοσελίδες

1. Turquoise history and lore, Gemological Institute Of America. Available at: <https://www.gia.edu/turquoise-history-lore>
2. Turquoise value, price, and jewelry information - gem society (2023) International Gem Society. Available at: <https://www.gemsociety.org/article/turquoise-jewelry-gem-information/>
3. Geology In (2023) Turquoise: How is turquoise formed?, Geology In. Available at: <https://www.geologyin.com/2018/03/turquoise-oldest-known-gemstones-ever.html>
4. Turquoise description, Gemological Institute Of America. Available at: <https://www.gia.edu/turquoise-description>
5. Geology Page (2019) Turquoise : What is Turquoise? how turquoise is formed?, Geology Page. Available at: <https://www.geologypage.com/2019/07/turquoise.html>
6. Australian turquoise (2021) The Turquoise Guide. Available at: <https://www.turquoiseguide.com/australian-turquoise/>
7. Australian turquoise (2018) Gem AdventurerTM. Available at: <https://www.gemadventurer.com/gemstones/australian-turquoise/>
8. MAT, M. (2023) Turquoise: Mineral properties, uses and occurrence, Geology Science. Available at: <https://geologyscience.com/gemstone/turquoise/>
9. TheDiamondTalk and Choudhary, R. (2020) Treasures of Persia, The Diamond Talk. Available at: <https://thediamondtalk.in/treasures-of-persia/>
10. Turquoise geology. Available at: <https://geology.com/minerals/turquoise.shtml#united-states>
11. Turquoise: Gemstones from A-Z at Rocks & Co., Rocks & co. Available at: <https://www.rocksandco.com/gemstone-information/turquoise/>
12. Gemological Characteristics of Low-Temperature “Gel-Filled” Turquoise. Available at: <https://www.gia.edu/gems-gemology/fall-2022-gemnews-gemological-characteristics-low-temperature-gel-filled-turquoise>