

Ιστοτοπική μελέτη οστών νάνου
ιπποπόταμου από την Αγία Νάπα
Κύπρου με έμφαση στο παλαιοκλίμα
και τη σύγκρισή του με το κλίμα
σήμερα.

*Διπλωματική εργασία στα πλαίσια του
προγράμματος μεταπτυχιακών σπουδών
Επιστήμες γης και περιβάλλον: Κλιματικές
μεταβολές και επιπτώσεις στο περιβάλλον.*

Πανεπιστήμιο Αθηνών, 2023

Νακάση Μαρία Άννα

Σχολή Θετικών Επιστημών

Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος

*Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών: Επιστήμες Γης και Περιβάλλον,
Κλιματικές Μεταβολές και επιπτώσεις στο Περιβάλλον*

Εθνικό Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών (ΕΚΠΑ)

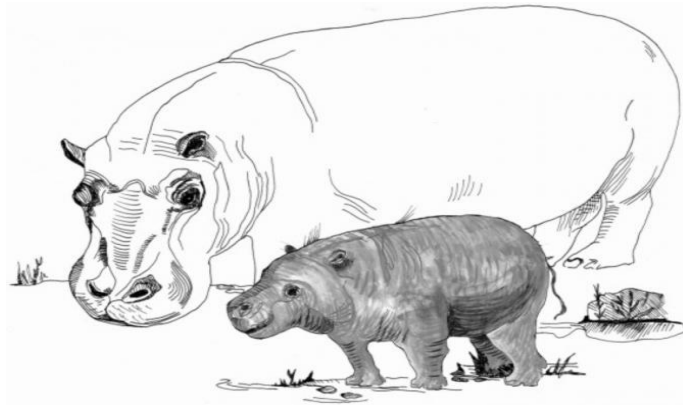
Επιβλέπουσα: Σταθοπούλου Ελίζαμπεθ

Τριμελής επιτροπή:

Δρ. Σταθοπούλου Ελίζαμπεθ (Ε.ΔΙ.Π, ΕΚΠΑ)

Δρ. Ντότσικα Ελισάβετ (Ερευνήτρια Α', Ε.ΚΕ. Φ. Ε. «Δημόκριτος»)

Δρ. Νάστος Παναγιώτης (Καθηγητής, ΕΚΠΑ)



Αθήνα, 2023

Προτού μεταβούμε στην παρούσα εργασία, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους ανθρώπους που με βοήθησαν και με στήρηξαν είτε σε γνωστικό είτε σε ψυχολογικό επίπεδο. Θα ήθελα να ευχαριστήσω επίσης την επιβλέπουσα της διπλωματικής μου, Σταθοπούλου Ελίζαμπεθ για την υπομονή και τη στήριξη, τον ομότιμο καθηγητή Θεοδώρου Γεώργιο που μου εμπιστεύτηκε το υλικό των ανασκαφών, αλλά και φωτογραφίες από το προσωπικό του αρχείο. Ακόμα, θα ήθελα να ευχαριστήσω την κα Ντότσικα Ελισάβετ και την ομάδα του εργαστηρίου ισοτόπων στο ερευνητικό κέντρο ΕΚΕΦΕ Δημόκριτος που με δέχτηκαν στο χώρο τους για την επεξεργασία του υλικού. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή Κλιματολογίας κο Νάστο Παναγιώτη για τη βοήθειά του.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΣΤΑ ΠΛΑΙΣΙΑ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ ΓΗΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ: ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΚΑΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ. ---0

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	5
1. ΠΡΟΛΟΓΟΣ	6
2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	6
2.1 ΙΣΟΤΟΠΑ	6
2.1.1 ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΤΑ ΙΣΟΤΟΠΑ	6
2.1.2 ΙΣΟΤΟΠΙΚΗ ΚΛΑΣΜΑΤΩΣΗ	7
2.1.3 ΜΕΛΕΤΗ ΣΤΑΘΕΡΩΝ ΙΣΟΤΟΠΩΝ	9
2.1.4 ΧΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΑΘΕΡΩΝ ΙΣΟΤΟΠΩΝ ΟΞΥΓΟΝΟΥ ΚΑΙ ΑΝΘΡΑΚΑ	11
2.2 ΣΥΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΔΟΜΗ ΟΣΤΩΝ ΚΑΙ ΔΟΝΤΙΩΝ ΤΩΝ ΘΗΛΑΣΤΙΚΩΝ	12
2.2.1 ΟΣΤΑ	12
2.2.2 ΔΟΝΤΙΑ	15
2.2.3 ΑΔΑΜΑΝΤΙΝΗ	19
2.2.4 ΟΔΟΝΤΙΝΗ	20
2.2.5 ΚΟΝΙΑ	20
2.2.6 ΚΟΛΛΑΓΟΝΟ	21
2.2.7 ΒΙΟΑΠΑΤΙΤΗΣ	22
2.3 ΙΣΟΤΟΠΑ ΣΕ ΣΚΕΛΕΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	23
2.3.1 ΙΣΟΤΟΠΑ ΟΞΥΓΟΝΟΥ ΚΑΙ ΑΝΘΡΑΚΑ ΣΕ ΣΚΕΛΕΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	27
2.4 ΙΣΟΤΟΠΙΚΗ ΑΛΛΟΙΩΣΗ	33
3. ΙΠΠΟΠΟΤΑΜΟΣ	41
3.1 ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ	41
3.2 ΟΙ ΙΠΠΟΠΟΤΑΜΟΙ ΣΗΜΕΡΑ. ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ	44
3.3 ΕΙΔΗ ΙΠΠΟΠΟΤΑΜΩΝ	45
3.4.1 Η ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΤΟΥ ΟΝΟΜΑΤΟΣ	49
4. ΕΝΔΗΜΙΚΑ ΘΗΛΑΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΚΥΠΡΟΥ	51
4.1 ΝΑΝΟΙ ΕΛΕΦΑΝΤΕΣ ΚΑΙ ΙΠΠΟΠΟΤΑΜΟΙ, ΟΙ ΚΥΡΙΟΤΕΡΟΙ ΠΛΕΙΣΤΟΚΑΙΝΙΚΟΙ ΚΑΤΟΙΚΟΙ ΤΗΣ ΚΥΠΡΟΥ	53
4.1.1 ΠΩΣ ΕΦΤΑΣΑΝ ΣΤΟ ΝΗΣΙ	55
4.1.2 ΠΩΣ ΑΡΓΟΤΕΡΑ ΕΞΑΦΑΝΙΣΤΗΚΑΝ	59
4.3 ΑΓΙΑ ΝΑΠΑ: Η ΘΕΣΗ, ΟΙ ΑΝΑΣΚΑΦΕΣ ΚΑΙ ΤΟ ΥΛΙΚΟ	62
4.3.1 ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ	64
5. ΥΛΙΚΟ	68
5.1 ΟΣΤΑ ΠΟΥ ΠΡΟΤΙΜΗΘΗΚΑΝ	68
6. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	69
6.1 ΑΠΟΠΕΙΡΑ ΕΞΑΓΩΓΗΣ ΚΟΛΛΑΓΟΝΟΥ	69

6.2 ΕΞΑΓΩΓΗ ΒΙΟΑΠΑΤΙΤΗ -----	70
7. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ- ΣΥΖΗΤΗΣΗ -----	72
7.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΙΣΟΤΟΠΩΝ ΑΝΘΡΑΚΑ -----	72
7.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΙΣΟΤΟΠΩΝ ΟΞΥΓΟΝΟΥ -----	77
8. ΠΟΣΟ ΕΧΕΙ ΑΛΛΑΞΕΙ ΤΟ ΚΛΙΜΑ ΤΑ ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ 12.000 ΧΡΟΝΙΑ -----	88
9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ -----	97
10. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΕΙΚΟΝΩΝ -----	99
<i>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α- Η πορεία των ανασκαφών στην Αγία Νάπα.</i> -----	<i>99</i>
<i>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β- Τα οστά που χρησιμοποιήθηκαν</i> -----	<i>104</i>
<i>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ- Το Φασματόμετρο Μάζας</i> -----	<i>106</i>
11. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ -----	108

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στο πλαίσιο αυτής της εργασίας, πραγματοποιήθηκαν ισοτοπικές αναλύσεις οξυγόνου και άνθρακα στον απατίτη οστών και δοντιών από το είδος νάνου ιπποπόταμου *Phanourios minor* που ζούσε στην Κύπρο πριν από από 11.000 έως 13.500 χρόνια (Theodorou *et al.*, 2007), με στόχο την ανασύσταση του παλαιοκλίματος και της παλαιοδιατροφής. Χρησιμοποιήθηκαν συνολικά 20 δείγματα (12 οστά και 8 δόντια), τα οποία συλλέχθηκαν από την απολιθωματοφόρο θέση της Αγίας Νάπας. Οι τιμές που προέκυψαν συγκρίθηκαν με δεδομένα παρόμοιων ισοτοπικών μελετών από την Κύπρο αλλά και την ευρύτερη περιοχή της νοτιοανατολικής Μεσογείου, προκειμένου να ανασυνθέσουμε τις παλαιοπεριβαλλοντικές συνθήκες της Αγίας Νάπας την εποχή που στην περιοχή ζούσαν νάνοι ιπποπόταμοι καθώς και τις διατροφικές συνήθειες τους. Στο τέλος έγινε μία σύγκριση των κλιματικών συνθηκών του Πλειστοκαίνου με τις σημερινές κλιματικές συνθήκες.

1. ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στην παρούσα εργασία θα χρησιμοποιήσουμε ισότοπα οξυγόνου και άνθρακα σε σκελετικά στοιχεία για να καταγράψουμε τόσο την παλαιοθερμοκρασία της περιοχής της Αγίας Νάπας Κύπρου, όσο και τον τύπο των φυτών που έτρωγαν τα φυτοφάγα είδη που ζούσαν εκεί (ο νάνος ιπποπόταμος *Phanourios minor*) 11.500 περίπου χρόνια πριν από σήμερα. Ο λόγος O^{18}/O^{16} ($\delta^{18}O$) τον οποίο και θα χρησιμοποιήσουμε χρησιμεύει ως παλαιοθερμόμετρο. Οι αναλύσεις άνθρακα ($\delta^{13}C$) θα χρησιμοποιηθούν για να δούμε αν στο παλαιοπεριβάλλον υπήρχαν οικοσυστήματα C3 ή C4.

2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

2.1 ΙΣΟΤΟΠΑ

2.1.1 ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΤΑ ΙΣΟΤΟΠΑ

Τα ισότοπα είναι άτομα του ίδιου στοιχείου που ο πυρήνας περιέχει ίδιο αριθμό πρωτονίων αλλά διαφορετικό αριθμό νετρονίων. Έχουν διαφορετικό μαζικό αριθμό (A), λόγω του διαφορετικού αριθμού νετρονίων (N), αλλά τον ίδιο ατομικό αριθμό (Z) που αντιστοιχεί στον αριθμό πρωτονίων ή ηλεκτρονίων του ατόμου. Παρόλα ταύτα οι χημικές τους ιδιότητες είναι ίδιες (Soddy and Frederick, 1922).

$$A = N + Z$$

Υπάρχουν δύο κατηγορίες ισοτόπων. Τα ραδιενεργά ισότοπα των οποίων ο πυρήνας διασπάται σχηματίζοντας ένα άτομο άλλου στοιχείου με ταυτόχρονη εκπομπή ακτινοβολίας και τα σταθερά ισότοπα των οποίων ο πυρήνας είναι σταθερός (π.χ. τα στοιχεία K, Th, U). Παρόλα αυτά, τα ισότοπα του κάθε στοιχείου συμπεριφέρονται διαφορετικά κατά την αλλαγή των φυσικοχημικών συνθηκών (Connolly *et al.*, 2005). Οι Urey *et al.*, 1932, έκαναν ένα πείραμα για να ερευνήσουν το 2_1H και 3_1H φασματοσκοπικά στον υπολοιπόμενο όγκο αερίου που παράγεται με την εξάτμιση περίπου 6 λίτρων υγρού υδρογόνου (Murphy, 1964). Ο Urey ονόμασε το νέο ισότοπο "δευτέριο" διότι ήταν πολύ κοντά στο διπλάσιο της μάζας του υδρογόνου. Στην αρχή χρησιμοποίησε τις γνώσεις του για την ισοτοπική κλασμάτωση για να αναπτύξει μεθόδους για τη διάσπαση του ^{235}U από διάχυση αερίου. Αργότερα, έστρεψε την προσοχή του στην πιθανότητα τα σταθερά ισότοπα οξυγόνου να κλασματούνται από

φυσικές διεργασίες κατά τη διάρκεια του σχηματισμού του ανθρακικού ασβεστίου (CaCO_3) στους ωκεανούς. Αυτή η κλασμάτωση μπορεί να οφείλεται στη θερμοκρασία. Στην ομάδα των στοιχείων των οποίων τα ισότοπα υφίστανται φυσική ισοτοπική κλασμάτωση περιλαμβάνονται το υδρογόνο, το ασβέστιο, το άζωτο, το οξυγόνο και το θείο. Αυτά είναι τα στοιχεία με τη μεγαλύτερη αφθονία στον πλανήτη. Υπάρχουν στη βιόσφαιρα, την υδρόσφαιρα και τη λιθόσφαιρα (Faure, 1986).

2.1.2 ΙΣΟΤΟΠΙΚΗ ΚΛΑΣΜΑΤΩΣΗ

Τα διαφορετικά σταθερά ισότοπα ενός στοιχείου συμπεριφέρονται διαφορετικά κατά τις φυσικές και χημικές διεργασίες. Ο διαχωρισμός των στοιχείων και των ισοτόπων τους σε διαφορετικά κλάσματα λέγεται ισοτοπική κλασμάτωση. Κατά την αλλαγή, π.χ. από την υγρή φάση στην αέρια ή από την στερεά φάση στην υγρή, ή κατά τις χημικές/βιολογικές μεταβολές, έχουμε αλλαγή του ποσοστού των βαρύτερων ισοτόπων, συναρτήσει της θερμοκρασίας.

Η κλασμάτωση των ισοτόπων είναι συνέπεια του γεγονότος ότι ορισμένες θερμοδυναμικές ιδιότητες των μορίων εξαρτώνται από τη μάζα των ατόμων από τα οποία αποτελούνται (Arthur *et al.*, 1983). Η μοριακή ενέργεια ελατώνεται με τη μείωση της θερμοκρασίας και στο απόλυτο μηδέν προϋποθέτει μία ορισμένη τιμή “zero point energy”, η οποία είναι μεγαλύτερη από τη μικρότερη τιμή κατά $\frac{1}{2} h\nu$, όπου h η σταθερά του Planck ($h = 6.626 \times 10^{-34}$ J·s) και ν η συχνότητα ταλάντωσης (Faure, 1986). Η συχνότητα ταλάντωσης είναι αντιστρόφως ανάλογη της τετραγωνικής ρίζας της μάζας του. Επομένως, ένα μόριο που περιέχει το ελαφρύτερο από δύο ισότοπα έχει υψηλότερη συχνότητα ταλάντωσης από ένα μόριο που περιέχει το βαρύτερο ισότοπο. Μία συνέπεια αυτού του φαινομένου είναι ότι οι δεσμοί που σχηματίζονται από τα ελαφρύτερα ισότοπα είναι πιο αδύναμοι και κατά συνέπεια σπάνε πιο εύκολα κάνοντας το μόριο πιο αντιδραστικό (Urey, 1947; Bigeleisen, 1965; Bigeleisen and Mayer, 1947).

Για δύο ισότοπα του ίδιου στοιχείου, οι δεσμοί του βαρύτερου ισότοπου είναι ισχυρότεροι. Κατά τη διάρκεια χημικών αντιδράσεων λοιπόν, τα μόρια που φέρουν το ελαφρύ ισότοπο αντιδρούν πιο εύκολα από εκείνα που περιέχουν το βαρύ. Άρα, το ελαφρύ ισότοπο είναι πιο ενεργό και τείνει να εμπλουτίζει περισσότερο τα προϊόντα μιας αντίδρασης. Τα φυτά για παράδειγμα, λαμβάνουν κατά προτίμηση ^{12}C σε σχέση με τον ^{13}C και ^{14}C κατά την φωτοσύνθεση (Arthur *et al.*, 1983).

Οι ισοτοπικοί συνδυασμοί του υδρογόνου και του οξυγόνου ως προς τη διαφορά $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ και D/H σχετίζεται με μία σταθερή τιμή και μετράται ως προς κάποιο πρότυπο που στην προκειμένη περίπτωση λέγεται SMOW (Standard Mean Ocean Water).

$$\text{Επομένως ισχύει η σχέση } \delta^{18}\text{O} = \left[\frac{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{spl}} - (^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{vsmow}}}{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{vsmow}}} \right] \times 10^3$$

$$\text{και } \delta\text{D} = \left[\frac{(\text{D}/\text{H})_{\text{spl}} - (\text{D}/\text{H})_{\text{vsmow}}}{(\text{D}/\text{H})_{\text{vsmow}}} \right] \times 10^3 \quad (\text{O' Neil et al., 1975}).$$

Άρα οι θετικές τιμές $\delta^{18}\text{O}$ και δD δείχνουν τον εμπλουτισμό του δείγματος σε ^{18}O και D . Αρνητικές τιμές δείχνουν εμπλουτισμό σε ^{16}O και H (Faure, 1986). Επομένως, όταν το νερό εξατμίζεται από την επιφάνεια του ωκεανού οι υδρατμοί είναι εμπλουτισμένοι σε ^{16}O και H γιατί το H_2^{16}O έχει μικρότερη μάζα και μεγαλύτερη πίεση ατμών από το H_2^{18}O ή από τα μόρια που περιέχουν D . Άρα οι τιμές $\delta^{18}\text{O}$ και δD για την ατμόσφαιρα πάνω από την επιφάνεια των ωκεανών είναι αρνητικές (Craig and Gordon, 1965).

Οι τιμές της ισοτοπικής κλασμάτωσης από την εξάτμιση του νερού σε συνθήκες ισορροπίας στους 25°C είναι

$$\alpha_{18} = \left[\frac{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})^l}{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})^v} \right] = 1,0092$$

$$\alpha_{\text{D}} = \left[\frac{(\text{D}/\text{H})^l}{(\text{D}/\text{H})^v} \right] = 1,0074 \quad (\text{Craig and Gordon, 1965}).$$

Η ισοτοπική κλασμάτωση ορίζεται ως ο ισοτοπικός λόγος σε μια χημική ένωση A προς τον αντίστοιχο ισοτοπικό λόγο σε μια άλλη χημική ένωση B και εκφράζεται ως εξής:

$\alpha = R_{\text{A}}/R_{\text{B}}$, όπου R_{A} ή R_{B} ο ισοτοπικός λόγος του βαρύτερου προς το ελαφρύτερο ισότοπο, για τα A και B αντίστοιχα (Faure, 1986).

Παράδειγμα ισοτοπικής κλασμάτωσης έχουμε κατά τη μετακίνηση των ισοτόπων O και H στον παγκόσμιο κύκλο νερού. Μόρια νερού διαφορετικής ισοτοπικής σύστασης με διάφορους συνδυασμούς σταθερών ισοτόπων ^1H , ^2H , ^{16}O , ^{17}O , και ^{18}O , επηρεάζονται διαφορετικά από την εξάτμιση και τη συμπύκνωση. Οι βαρύτεροι συνδυασμοί τείνουν να μένουν σε υγρή μορφή, και έτσι η ισοτοπική σύσταση O και H του νερού ποικίλει πολύ, ανάλογα με τη T , το υψόμετρο και την απόσταση από την ακτή. Μόρια νερού με ^1H ή ^{16}O εντοπίζονται κυρίως στην ενδοχώρα στα πιο ψυχρά κλίματα, ή σε αυξημένες T , μεγαλύτερο υψόμετρο και γεωγραφικό πλάτος (Arthur et al., 1983).

Όταν μία αέρια μάζα κινείται προς μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη, οι τιμές $\delta^{18}\text{O}$ και δD των σταγόνων βροχής και χιονιού γίνονται προοδευτικά πιο αρνητικές εξαιτίας ενός συνδυασμού παραγόντων:

- (1) Ισοτοπική κλασμάτωση λόγω της διαφοράς της πίεσης ατμών των ισοτόπων του μορίου του νερού σε μία δεδομένη θερμοκρασία
- (2) Μείωση της θερμοκρασίας της αέριας μάζας με αποτέλεσμα την αύξηση της κλασμάτωσης
- (3) Η επανεξάτμιση του νερού από τις σταγόνες της βροχής και την επιφάνεια του νερού εμπλουτίζουν την αέρια φάση σε ^{16}O και H
- (4) Η εξάτμιση του νερού από τα φυτά εμπλουτίζει επίσης σε ^{16}O και H (Faure, 1986).

Το οξυγόνο της ατμόσφαιρας είναι εμπλουτισμένο σε ^{18}O και έχει τιμή $\delta^{18}\text{O} = +23,5\%$. Το οξυγόνο που ελευθερώνεται μέσω της φωτοσύνθεσης είναι συμπληρωματικό από τα μόρια του νερού και έχει τιμή $\delta^{18}\text{O} = +5\%$ (Garlick, 1969).

2.1.3 ΜΕΛΕΤΗ ΣΤΑΘΕΡΩΝ ΙΣΟΤΟΠΩΝ

Οι πρώτες εφαρμογές μελέτης σταθερών ισοτόπων έγιναν από τους Vogel & Van del Merwe (1977) και Van del Merwe & Vogel (1978) με ισότοπα άνθρακα (C). Βασίστηκαν σε μια σειρά ανακαλύψεων που σχετίζονται με τα φωτοσυνθετικά μονοπάτια των φυτών (Lee- Thorp, 2008). Τα φυτά μπορούν να κατηγοριοποιηθούν φωτοσυνθετικά σε μία από τις τρεις κατηγορίες: C3, C4 και CAM (Melillo *et al.*, 1993). Σε παγκόσμια βάση, οι ζωντανοί οργανισμοί C4 αντιπροσωπεύουν περίπου το 18% της συνολικής παγκόσμιας παραγωγής, η οποία οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στην υψηλή παραγωγικότητα των μονοκοτυλήδων φυτών C4 σε λιβάδια (Melillo *et al.* 1993). Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενη παράγραφο, οι τιμές $\delta^{13}\text{C}$ κυμαίνονται από -19,2‰ έως -28,7‰ για τα φυτά του κύκλου C3, από -10,8‰ έως -7,0‰ για τα φυτά του κύκλου C4 (Dotsika *et al.*, 2022). Στα φυτά C3 ανήκουν σχεδόν όλες οι ομάδες των φυτών. Για την Ελλάδα η τιμή είναι περίπου -26‰. Όσο πιο αρνητικές είναι οι τιμές για την ομάδα C3 αλλά και για την ομάδα C4, τόσο πιο κρύο κλίμα με χαμηλές θερμοκρασίες δηλώνει. Αυτό σημαίνει ότι για τα φυτά C3 ψυχρό κλίμα δείχνουν οι τιμές που είναι πιο κοντά στο -32‰, ενώ για τα φυτά C4 ψυχρό κλίμα δείχνουν οι τιμές που είναι πιο κοντά στο -12‰. Με λίγα λόγια όσο πιο μακριά από το μηδέν είναι οι τιμές τόσο πιο ψυχρό είναι το κλίμα το οποίο αντιπροσωπεύουν (Dotsika *et al.*, 2011; Dotsika *et al.*, 2022).

Τα περισσότερα είδη φυτών παγκοσμίως χαρακτηρίζονται από φωτοσύνθεση C3, αλλά οι φωτοσυνθετικοί κύκλοι C4 και CAM αντιπροσωπεύουν εξελικτικές τάσεις σε

σχέση με τον κύκλο C3 που έχουν ως αποτέλεσμα ανώτερες ικανότητες πρόσληψης άνθρακα υπό συγκεκριμένες περιβαλλοντικές συνθήκες (Osmond *et al.* 1982; Monson 1989; Ehleringer and Monson 1993). Η απόδοση κάθε φωτοσυνθετικού κύκλου επηρεάζεται σημαντικά από τις κλιματικές συνθήκες και τις τελευταίες δύο δεκαετίες η προσοχή έχει επικεντρωθεί στην περιγραφή εκείνων των περιβαλλοντικών παραμέτρων που συνδέονται στενότερα με την αφθονία κατανομής διαφορετικών τύπων φωτοσυνθετικών κύκλων (Ehleringer *et al.*, 1997) .

Ο Vogel (1978) βασίστηκε επίσης σε παρατηρήσεις σε ελεύθερα ζώα, που παρείχαν τις βασικές πληροφορίες σχετικά με τις αναλογίες σταθερών ισοτόπων που επιτρέπουν την ανασύσταση διατροφικών συνηθειών και δίνουν ενδείξεις για περιβαλλοντικές παραμέτρους όπως η θερμοκρασία του αέρα, η υγρασία και τα πρότυπα μετανάστευσης (Clemenzenz, 2012). Με τη χρήση σταθερών ισοτόπων μπορεί να αντικατοπτρισθεί η πραγματική διατροφή ενός ατόμου ή μιας ομάδας ατόμων. Για παράδειγμα, η Lee- Thorp (2008), συμπέρανε για τη Βόρεια Αμερική την εξάπλωση της καλλιέργειας καλαμποκιού και τη χρήση αυτού ως βασική τροφή από το σύγχρονο άνθρωπο της παγετώδους περιόδου και από το Neanderthal. Η μελέτη έγινε σε ασβεστοποιημένους ιστούς. Το κολλαγόνο είναι η κύρια πρωτεΐνη στα οστά και τα δόντια που αποτελεί την πηγή για τον οργανικό άνθρακα ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$), το άζωτο ($^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$) και σε μικρότερο βαθμό, το οξυγόνο ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$), το θείο ($^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$) και το υδρογόνο (D/H) (Lee- Thorp, 2008).

Για την ισοτοπική μελέτη χρησιμοποιούνται τεχνικές όπως η φασματομετρία μάζας θερμικού ιονισμού [Thermal Ionization Mass Spectrometry (TIMS), (Becker, 2012)], η φασματοσκοπία μάζας δευτερογενών ιόντων [Secondary Ionization Mass Spectrometry (SIMS) (Engrand *et al.*, 2006)] και η φασματοσκοπία μάζας επαγωγικά συζευγμένου πλάσματος πολλαπλών συλλεκτών [Multi- collector Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (MC-ICP-MS), η οποία μπορεί να αναλύσει περισσότερα στοιχεία με μικρότερο κόστος, σε λιγότερο χρόνο και με μεγάλη ακρίβεια (Clemenzenz, 2012).

Η άμεση παρατήρηση εξαφανισμένων ειδών σε μία κοινότητα δεν είναι δυνατή, επομένως η ανάλυση σταθερών ισοτόπων έχει γίνει όλο και πιο σημαντικό εργαλείο για τους παλαιοντολόγους. Πριν από την εφαρμογή αυτού του εργαλείου στην αρχαιολογία (Van der Merwe and Vogel, 1978 και Vogel and Van der Merwe, 1997) και στη συνέχεια στην παλαιοντολογία (De Niro and Epstein, 1978), οι ερμηνείες των απολιθωμένων θηλαστικών περιορίζονταν κυρίως σε ερμηνείες που βασιζόνταν είτε στην εξέταση της μορφολογίας των δειγμάτων είτε στην προσεκτική μελέτη των

ιζηματογενών περιβαλλόντων στα οποία εναποτέθηκαν τα απολιθώματα. Η μορφολογική δομή συχνά σχετίζεται έντονα με τη λειτουργία. Έτσι, η εξέταση χαρακτηριστικών όπως η οδοντοστοιχία και η ανατομία του σκελετού μπορούν να παρέχουν πληροφορίες όπως η διατροφή, η τροφική θέση, η θερμοκρασία και η υγρασία του περιβάλλοντος. Ομοίως, το ιστορικό εναπόθεσης σε ιζηματογενή πετρώματα που περιβάλλουν τα απολιθώματα μπορεί να περιέχει πληροφορίες σχετικά με τις κλιματολογικές συνθήκες (Van Valkenburgh *et al.*, 2004).

Ωστόσο, η εφαρμογή αυτών των μεθόδων στα απολιθώματα δεν είναι πάντα απλή. Για παράδειγμα, τα απολιθωμένα είδη μπορεί να έχουν μορφολογικά χαρακτηριστικά που δεν υφίστανται στα υπάρχοντα είδη, καθιστώντας αδύνατη την ερμηνεία των οικολογικών χαρακτηριστικών μέσω της σύγκρισης με ανάλογες δομές σε ζώντα είδη (Clemenz, 2012). Η ανάλυση σταθερών ισοτόπων έχει αποδειχθεί αποτελεσματικό μέσο παλαιοντολογικής έρευνας, αφού μπορεί να προσφέρει μία πιο ακριβή και ποσοτική μέθοδο παλαιοντολογικής ερμηνείας που είναι ανεξάρτητη από τη μορφολογία και καλύπτει ένα ευρύ φάσμα χρονοδιαγραμμάτων και περιβαλλόντων (Cerling *et al.*, 1997). Η τεχνική αυτή όμως μπορεί να έχει σφάλματα εξαιτίας της διαδικασίας της διαγένεσης που υπόκεινται τα οστά κατά την ταφή τους. Στη διαδικασία αυτή θα αναφερθούμε σε επόμενο κεφάλαιο.

2.1.4 ΧΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΑΘΕΡΩΝ ΙΣΟΤΟΠΩΝ ΟΞΥΓΟΝΟΥ ΚΑΙ ΑΝΘΡΑΚΑ

Η ανάλυση των σταθερών ισοτόπων εφαρμόζεται στην παλαιοβιολογία απολιθωμένων θηλαστικών είτε για την απόκτηση γνώσης για τη βιολογία των εξαφανισμένων ειδών, όπως η διατροφή που προτιμούσαν, είτε για την καλύτερη κατανόηση των περιβαλλοντικών συνθηκών που βίωσαν, όπως για παράδειγμα οι κλιματικές συνθήκες και η θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Οι περιβαλλοντικές συνθήκες αποτυπώνονται στους ιστούς του ζώου. Η ισοτοπική σύνθεση των απολιθωμένων υπολειμμάτων απαντά επίσης σε ερωτήσεις σχετικά με την οικολογία και την εξέλιξη των θηλαστικών. Η ανάλυση ισοτόπων οξυγόνου μπορεί να απαντήσει σε θέματα όπως εποχικές αλλαγές στην τοπική βροχόπτωση και θερμοκρασία. Για παράδειγμα, υψηλές τιμές $\delta^{18}\text{O}$ δείχνουν βροχές ζεστής περιόδου, ενώ χαμηλές τιμές $\delta^{18}\text{O}$ δηλώνουν βροχές δροσερής περιόδου (Clemenz, 2012).

Τα σταθερά ισότοπα ενός στοιχείου διαφέρουν ελαφρώς στην ατομική τους μάζα ως αποτέλεσμα των διαφορών στον αριθμό των νετρονίων, οδηγώντας σε μικρές αλλά

σημαντικές διαφορές στις θερμοδυναμικές και κινητικές τους ιδιότητες (Sharp, 2007). Μόρια που περιέχουν το βαρύτερο ισότοπο τείνουν να συσσωρεύονται στο θερμοδυναμικά πιο σταθερό συστατικό ενός συστήματος, για παράδειγμα στην υγρή και όχι στην αέρια φάση ή είναι πιο αργά για να αντιδράσουν σε κινητικές αντιδράσεις (Lee- Thorp, 2008).

Η μεγαλύτερη πηγή μεταβλητότητας των ισοτόπων του άνθρακα εμφανίζεται στην ξηρά και στους ωκεανούς. Στα φυτά της ξηράς οι δύο κυρίαρχες χλωρίδες είναι τα φυτά C3 και C4 (Smith and Epstein, 1971). Στη φωτοσύνθεση των φυτών C3, η έντονη διάκριση έναντι του ^{13}C κατά τη σταθεροποίηση του CO_2 από τη διφοσφωρική ριβουλόζη καρβοξυλάση/ οξυγενάση (RUBISCO) έχει ως αποτέλεσμα πιο αρνητικές τιμές ^{13}C σχεδόν σε όλα τα δέντρα, τους ξυλώδεις θάμνους, τα βότανα και το γρασίδι (Lee- Thorp, 2008).

Οι τιμές $\delta^{13}\text{C}$ ποικίλουν σε μεγάλο βαθμό για τα φυτά C3 (-24 έως -36‰, με παγκόσμια μέση τιμή -26,5‰) ανάλογα με την ένταση του φωτός, τη θερμοκρασία, την υγρασία και τον κύκλο του διοξειδίου του άνθρακα. Τα φυτά C4 έχουν εύρος τιμών $\delta^{13}\text{C}$ -11‰ έως -7‰. Στα φυτά C3 ανήκουν τα δημητριακά, όπως το σιτάρι, η βρώμη και το ρύζι. Στα φυτά C4 ανήκουν το καλαμπόκι, το κεχρί και η ζάχαρη (Lee- Thorp, 2008; Dotsika *et al.*, 2022). Υπάρχουν επίσης και τα φυτά της κατηγορίας CAM τα οποία παίρνουν ενδιάμεσες τιμές $\delta^{13}\text{C}$, από -11‰ έως -24‰.

Οι θαλάσσιοι πρωτογενείς παραγωγοί (φυτοπλαγκτόν, φύκια, ραδιολάρια και διάτομα) είναι περισσότερο εμπλουτισμένοι σε ^{13}C , σε σύγκριση με αυτούς των χερσαίων οικοσυστημάτων C3, επειδή η πηγή άνθρακα είναι κυρίως διαλυμένο όξινο ανθρακικό άλας, το οποίο έχει σχετικά υψηλό $\delta^{13}\text{C}$ σε σύγκριση με το ατμοσφαιρικό CO_2 . Ο μέσος όρος $\delta^{13}\text{C}$ είναι περίπου -20‰ (Smith and Epstein, 1971), αλλά οι τιμές ποικίλουν.

2.2 ΣΥΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΔΟΜΗ ΟΣΤΩΝ ΚΑΙ ΔΟΝΤΙΩΝ ΤΩΝ ΘΗΛΑΣΤΙΚΩΝ

2.2.1 ΟΣΤΑ

Τα θηλαστικά, ομοταξία *Mammalia*, (Linnaeus, 1758) είναι από τις πιο επικρατούσες ομάδες ζώων. Τα αρτίγονα θηλαστικά ομαδοποιούνται σε τρεις μεγάλες ταξονομικές ομάδες: τα μονοτρήματα, τα μαρσιποφόρα και τα πλακουντοφόρα. Στην τελευταία ομάδα εντάσσεται η πλειονότητα των θηλαστικών. Θηλαστικά ζουν σήμερα σε όλα τα

περιβάλλοντα, όπως στην τούνδρα, τις ερήμους, τους λειμώνες, τα δάση, τα σπήλαια, τα ποτάμια, τις λίμνες, τα έλη και τις θάλασσες. Ζουν επίσης σε όλα τα γεωγραφικά πλάτη από τον ισημερινό μέχρι και τους πόλους και από το υψόμετρο των 6500 μέτρων μέχρι το βάθος των 1000 μέτρων στη θάλασσα. Έχουν εξελίξει προσαρμογές για να ζουν στον αέρα, στο νερό, πάνω στο έδαφος, για τη ζωή στα δέντρα, ακόμα και για τη ζωή εντός του εδάφους. Επιπλέον έχουν μεγάλη ποικιλομορφία και εύρος σωματικού μεγέθους από τα 3 εκατοστά για τις νυχτερίδες *Craseonycteris* έως 33 μέτρα για τη φάλαινα *Balenoptera* (Ρουσιάκης, 2013).

Τα δύο βασικά ανατομικά χαρακτηριστικά των θηλαστικών είναι το τρίχωμα και οι μαστικοί αδένες. Οι τρίχες είναι παράγωγα του δέρματος και σε άμεση συνάφεια με αυτές βρίσκονται και άλλα παράγωγα του δέρματος όπως οι σμηγματογόνοι και ιδρωτοποιοί αδένες (Ρουσιάκης, 2013).

Ο σκελετός των θηλαστικών παρουσιάζει μία σημαντική ιδιαιτερότητα. Στα τετράποδα γενικά, τα οστά συντάσσονται μέσω χόνδρου ο οποίος σταδιακά μετατρέπεται σε οστό (Εικόνα 1). Αυτό τους επιτρέπει τη βραδεία ανάπτυξη των οστών σχεδόν εφ' όρου ζωής. Αυτό όμως έχει ένα μειονέκτημα: δε σχηματίζονται ποτέ καλώς διαμορφωμένες αρθρικές επιφάνειες και αυτό έχει αρνητικές επιπτώσεις όσον αφορά τις δυνατότητες κίνησης. Στα θηλαστικά η οστέωση των διαφόρων σκελετικών τμημάτων είναι καλύτερη απ' ότι στα τετράποδα γενικά με περισσότερο οστίτη ιστό και λιγότερο ή καθόλου χόνδρο (Ρουσιάκης, 2013).

Τα οστά που απαρτίζουν το σκελετό ενός οργανισμού καθιστούν δυνατή την κίνηση και τη στάση του, και παράλληλα προστατεύουν πολλά από τα εσωτερικά μαλακά όργανά του. Έχουν την ικανότητα να αναπτύσσονται κατά τη διάρκεια της ζωής των οργανισμών, ενώ διαφοροποιούνται ανάμεσα στα διάφορα είδη ζώων.

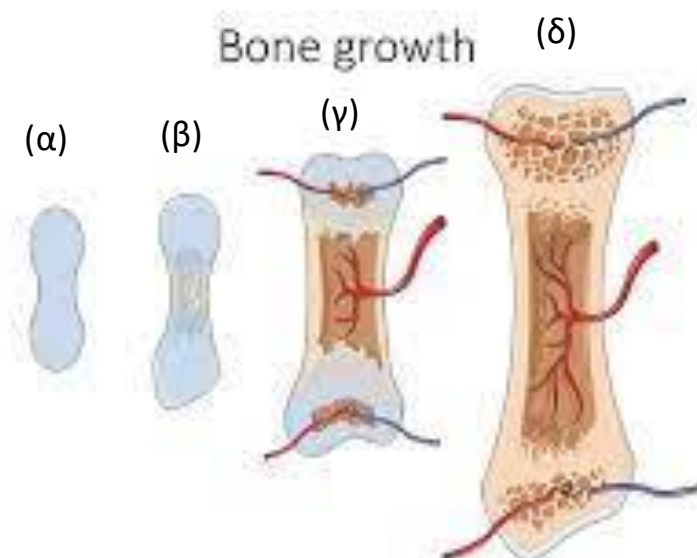
Ανάλογα με την εξωτερική μορφή τους ταξινομούνται σε επιμήκη, βραχεία και πλατέα (Αποστολάκης, 1947). Τα βραχεία οστά αποτελούνται από μία λεπτή εξωτερική στοιβάδα συμπαγούς οστού και μια σπογγώδη στοιβάδα εσωτερικά, ενώ τα πλατέα από δύο πλάκες συμπαγούς οστού μεταξύ των οποίων υπάρχει μια σπογγώδης.

Τα επιμήκη οστά στα πτηνά και τα θηλαστικά αποτελούνται από τρία μέρη, τη διάφυση που περιέχει το μυελό του οστού και τις δύο επιφύσεις που συσχετίζονται με τα γύρω οστά στις αρθρώσεις. Οι επιφύσεις, που είναι οι άκρες του οστού, μπορεί να είναι χόνδρινες ή οστέινες. Αν είναι οστέινες, στο εσωτερικό τους αποτελούνται από σπογγώδη ιστό (Stathorouliou, 2006). Το κομμάτι του μακρού οστού που ενώνει τις δύο επιφύσεις ονομάζεται διάφυση (Εικόνα 1).

Ο βασικός τύπος σχηματισμού του οστού, ξεκινά με ένα άθροισμα από κύτταρα που δημιουργούν τον οστέινο ιστό, τους οστεοβλάστες, τα οποία είναι πλούσια σε ένα στρώμα από πλεγμένες ίνες κολλαγόνου. Τα κύτταρα συνδέονται μέσω των κυτταρικών προεκβολών τους. Όταν αυτά τα αρχικά μικρά τμήματα οστού ασβεστοποιηθούν, τα κύτταρα εγκλείονται σε οστικές κοιλότητες και σωληνάκια (Halstead, 1974).

Οι οστεοβλάστες εκκρίνουν και άλλο κολλαγόνο και ενσωματώνονται στο νεοσχηματιζόμενο οστέινο ιστό. Με τη συνεχή δημιουργία νέων οστεοβλαστών, οι επιφάνειες του οστού παραμένουν καλυμμένες με κύτταρα (Halstead, 1974).

Όλα τα οστά ξεκινούν ως περιγράμματα χόνδρου, ο οποίος αντικαθίσταται. Οι επιφυσειακοί δίσκοι (epiphyseal discs), είναι ενεργές ζώνες ανάπτυξης ενώ παραμένουν χόνδρινοι έως ότου επιτευχθεί το ώριμο μέγεθος, και ύστερα οστεοποιούνται (Hildebrand, 1988; Halstead, 1974). Τα οστά αυτά διακρίνονται σε ένα γενικά κυλινδρικού σχήματος τμήμα που ονομάζεται διάφυση και περικλείει τη μυελική κοιλότητα. Η διάφυση ενώνει τις δύο επιφύσεις (Εικόνα 1) (Ρουσιάκης, 2013).



ΕΙΚΟΝΑ 1: Τα στάδια ανάπτυξης του οστού. (α) Οι επιφύσεις οστεώνονται σε πρώιμο οντογενετικό στάδιο. Η ανάπτυξη του οστού σε μήκος επιτυγχάνεται στις χόνδρινες ζώνες μεταξύ διάφυσης και επιφύσεων. (β) Η έναρξη της διαδικασίας της οστεοποίησης γίνεται στο κεντρικό τμήμα της διάφυσης, όπου τα χονδροκύτταρα υπερτροφούν και γίνεται η καταστροφή του χόνδρινου υλικού. (γ) Ο σχηματισμός οστού προχωρά από αυτό το κέντρο προς τα δύο άκρα. Στα κέντρα των χόνδρινων επιφύσεων συνεχίζεται οστεοποίηση. (δ) Ο σχηματισμός του οστού στις επιφύσεις και τη διάφυση απλώνεται μέχρι εκεί που υπάρχει μόνο μια ζώνη που να διαχωρίζει αυτές τις περιοχές. ΠΗΓΗ ΕΙΚΟΝΑΣ:

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bone_growth -- Smart-Servier.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bone_growth_-_Smart-Servier.jpg)

2.2.2 ΔΟΝΤΙΑ

Τα δόντια συνιστούν πολύ σημαντικά εργαλεία για έναν οργανισμό καθώς χρησιμοποιούνται για τη σύλληψη, τον τεμαχισμό και τη μάσηση της τροφής τους, αλλά και για άμυνα. Διαφοροποιούνται σημαντικά ανάλογα με τις ανάγκες ανάμεσα στις διαφορετικές οικογένειες και τα διάφορα γένη ή και είδη. Επίσης είναι εξαιρετικά ανθεκτικά και απαντούν ως απολιθώματα, αποτελώντας έτσι σημαντικό εργαλείο για τους παλαιοντολόγους που τα μελετούν σε θέματα προσδιορισμού και όχι μόνο (Ρουσιάκης, 2013).

Τα δόντια των θηλαστικών απαντούν πάντα στα περιθώρια της στοματικής κοιλότητας. Μια πλήρης τυπική οδοντοστοιχεία θηλαστικού περιλαμβάνει 4 είδη δοντιών. Αυτά είναι:

- **ΚΟΠΤΗΡΕΣ ή ΤΟΜΕΙΣ (incisors)- I** Απλά, μικρά δόντια που εντοπίζονται στο μπροστινό τμήμα της στοματικής κοιλότητας, είναι κωνικά ή έχουν το σχήμα της σμίλης, έχουν μια ρίζα και ελάχιστα ανεπτυγμένη πολφική κοιλότητα. Ως κύρια λειτουργία έχουν τον τεμαχισμό της τροφής. Σε ορισμένα είδη, όπως στους ελέφαντες, οι δεύτεροι κοπτήρες της άνω γνάθου έχουν μεγαλώσει και έχουν σχηματίσει τους χαυλιόδοντες. Σε άλλα προβοσκιδωτά όπως στα Μαστόδοντα υπάρχουν και στην κάτω γνάθο χαυλιόδοντες, ενώ στα δεινοθήρια περιορίζονται στην κάτω γνάθο. Σε ορισμένα τρωκτικά, οι κοπτήρες έχουν το σχήμα σμίλης, φθείρονται εύκολα και αναπτύσσονται διαρκώς, με μεγάλη ταχύτητα ώστε να αντισταθμίζει η φθορά τους τη συνεχή ανάπτυξη (Ρουσιάκης, 2013). Τέλος κάποιες ομάδες ζώων που ανήκουν στα Ruminantia (ελάφια, βοοειδή, καμηλοπαρδάλεις κλπ) δεν έχουν κοπτήρες στην πάνω γνάθο (Stathoroulou, 2006).

- **ΚΥΝΟΔΟΝΤΕΣ (canines)- C** Βρίσκονται δίπλα στους κοπτήρες. Είναι μακριά και οξύληκτα απλά δόντια που κάμπτονται ελαφρώς προς τα πίσω και έχουν συνήθως μια και σπάνια δύο ρίζες (Stathoroulou, 2006). Στα σαρκοφάγα έχουν συνήθως μεγάλες διαστάσεις και χρησιμεύουν στη σύλληψη της τροφής. Χρησιμεύουν επίσης ως μέσα σεξουαλικής επίδειξης, ως όπλα ή μέσα εκφοβισμού κατά την άμυνα και τον διαπληκτισμό, για την εκσκαφή ριζών και βολβών. Γενικά οι κυνόδοντες δεν είναι πολύ μεγαλύτεροι σε μέγεθος από τα υπόλοιπα δόντια, ενώ απουσιάζουν σε πολλά φυτοφάγα θηλαστικά. Σε ορισμένα όμως θηλαστικά, όπως για παράδειγμα σε ορισμένους χοίρους ή τους ιπποπόταμους ή και κάποια αιλουροειδή οι κυνόδοντες

έχουν πολύ μεγάλο μέγεθος. Για παράδειγμα οι χαυλιόδοντες του οδοβαίνου αποτελούν άνω κυνόδοντες που εκτείνονται προς τα κάτω (Ρουσιάκης, 2013).

- **ΠΡΟΓΟΜΦΙΟΙ (premolars)- PM** Όλα τα δόντια αντικατάστασης πίσω από τους κυνόδοντες λέγονται προγόμφιοι. Σε αρκετά είδη θηλαστικών είναι δύσκολος ο διαχωρισμός τους από τους γομφίους (Stathoroulou, 2006). Συνήθως είναι μικρότεροι από τους γομφίους και συνήθως διαθέτουν δύο ρίζες, ενώ οι γομφίοι διαθέτουν τρεις ή περισσότερες (Ρουσιάκης, 2013)

- **ΓΟΜΦΙΟΙ (molars)- M** Όλα τα μη γαλακτικά δόντια πρώτης γενιάς ονομάζονται γομφίοι. Οι γομφίοι τείνουν να είναι πάντα μεγαλύτεροι από τους προγόμφιους, με περισσότερα φύματα και περισσότερες ρίζες. Οι προγόμφιοι και οι γομφίοι χαρακτηρίζονται από τη μορφή της μασητικής τους επιφάνειας, που είναι χαρακτηριστικά για τις διάφορες ταξινομικές ομάδες. Η αναλογία των διαφόρων ειδών δοντιών σε ένα ζώο ορίζεται ως οδοντικός τύπος και ο βασικός τύπος για τα θηλαστικά είναι ο 3/3, 1/1, 4/4, 3/3. Από εκεί και πέρα υπάρχουν μεγάλες διαφοροποιήσεις μεταξύ των οργανισμών ανάλογα με τις διατροφικές συνήθειες, το μέγεθος του ζώου κλπ (Stathoroulou, 2006). Οι γομφίοι μαζί με τους προγόμφιους αποτελούν τους παρειακούς οδόντες.

Περιγράφοντας μακροσκοπικά ένα δόντι, διακρίνουμε τις εξής περιοχές: Το τμήμα ενός ώριμου δοντιού που βρίσκεται πάνω από τη ρίζα και είναι εκτεθειμένο σε φθορά ονομάζεται κορώνα του δοντιού. Άφθαρτες ακόμη κορώνες καλύπτονται από αδαμαντίνη, που σπάνια ξεπερνά σε πάχος τα 2 χιλιοστά. Η ρίζα κρύβεται κάτω από το ούλο και συνήθως είναι συγκολλημένη πάνω στο οστό της σιαγόνας. Όταν εντοπίζεται μέσα σε φατνίο, καλύπτεται από λεπτό στρώμα κονιάς. Κάποια δόντια φέρουν κονία και σε τμήματα της κορώνας (Stathoroulou, 2006).

Σε κάθε δόντι διακρίνονται τέσσερα μέρη: (1) η μύλη, η οποία αποτελεί το μέρος του δοντιού που προέχει των φατνίων και υπόκειται στην τριβή που προκαλείται κατά τη μάσηση, (2) η ρίζα που περιέχεται στο αντίστοιχο φατνίο της γνάθου, (3) ο αυχέννας του δοντιού που αντιστοιχεί στο στένωμα μεταξύ μύλης και ρίζας και (4) η κοιλότητα του δοντιού που περιέχει τον πολφό με τα αγγεία και τα νεύρα του δοντιού (Ρουσιάκης, 2013).

Η πολφική κοιλότητα, που εντοπίζεται στο εσωτερικό του δοντιού, περιλαμβάνει αιμοφόρα αγγεία και νεύρα. Στα θηλαστικά, η σύνδεση μεταξύ της πολφικής κοιλότητας και του εξωτερικού τμήματος του δοντιού περιορίζεται σε ένα στενό ριζικό κανάλι (root canal), μέσα από το οποίο διέρχονται τα αιμοφόρα αγγεία και τα νεύρα (McFarland et

al., 1985; Hildebrand, 1988). Εάν ένα δόντι κοπεί κατά μήκος του, μπορούμε να διακρίνουμε ξεκάθαρα τρεις ορυκτοποιημένους ιστούς: την αδαμαντίνη (enamel) (ή τύπου αδαμαντίνης ιστούς), την οδοντίνη (dentine) και την κονία (cementum). Κάθε ένας από αυτούς συνίσταται από δύο τμήματα, το ανόργανο και το οργανικό, τα οποία αναλύονται παρακάτω. Έτσι λοιπόν, τα δόντια, αντίθετα με τα οστά δίνουν μια ποικιλία ως προς τη σύσταση και την εσωτερική δομή τους. Από αυτά η αδαμαντίνη θεωρείται ως ο σκληρότερος, πιο συμπαγής, βαρύτερος και ανθεκτικότερος σκληρός ιστός που αναπτύσσεται από τα σπονδυλωτά (Mathew & Takagi, 2001).

Ένας κοινός γομφίος λοιπόν, περιέχει και τους τρεις τύπους σκληρού ιστού, ενώ υπάρχουν και περιπτώσεις δοντιών που λείπει για παράδειγμα η κονία. Διαφορετική εικόνα ως προς τους ιστούς αυτούς παρουσιάζουν μεταξύ τους και τα διαφορετικά είδη δοντιού (γομφίοι, προγόμφιοι, κυνόδοντες, κοπτήρες), οι διαφορετικοί τύποι δοντιού (βουνοδοντικός, λοφοδοντικός-σεληνοδοντικός), δόντια που βρίσκονται σε διαφορετικό στάδιο φθοράς (μεταβολή εικόνας της μασητικής επιφάνειας όσο προχωρά η φθορά), και φυσικά, δόντια από διαφορετικά ζώα. Οι κοπτήρες των τρωκτικών για παράδειγμα, εμφανίζουν αδαμαντίνη μόνο στο εμπρόσθιο τμήμα του δοντιού έτσι ώστε σε συνδιασμό με τη λιγότερο ανθεκτική υποκείμενη οδοντίνη να παραμένει πάντοτε ακονισμένη η κορυφή του δοντιού. Οι ρίζες των δοντιών είναι ανοιχτές και τα δόντια αναπτύσσονται καθ'όλη τη διάρκεια της ζωής των εν λόγω οργανισμών (Stathoroulou, 2006).

Το δόντι πρωτοσχηματίζεται στο έμβρυο, με την αναδίπλωση του εξωδέρματος κατά μήκος των ορίων της στοματικής κοιλότητας και τη διείσδυσή της στο υποκείμενο δέρμα των ούλων με τη μορφή τειχίου δύο στοιβάδων, που ονομάζεται οδοντικό έλασμα (dental lamina) (Hildebrand, 1988). Κατά μήκος του οδοντικού ελάσματος, μικροί λοφίσκοι ιστού εισέρχονται στην εσωτερική του πλευρά, αναγκάζοντας το να πάρει τη μορφή ανεστραμμένου κυπέλου (Stathoroulou, 2006).

Το σχηματισμένο αυτό κύπελλο, αποτελεί πλέον το όργανο αδαμαντίνης (enamel organ) (Elwood & Bernstein; 1968; Moss-Salentine *et al.*, 1997). Εκεί συμβαίνει η κυτταρική διαφοροποίηση με αποτέλεσμα το σχηματισμό τεσσάρων διακριτών στοιβάδων. Τα κύτταρα της εσωτερικής στοιβάδας (εσωτερικό επιθήλιο αδαμαντίνης), γνωστά ως αδαμαντινοβλάστες (ameloblasts) θα σχηματίσουν την αδαμαντίνη, πάνω όμως στην ήδη σχηματισμένη οδοντίνη. Κάθε μεσοδερμικός λοφίσκος, ή αλλιώς δερμική θηλή (dermal papilla) διαφοροποιεί εντός της κάποια κύτταρα και αναπτύσσει στην επιφάνεια του τα κύτταρα που θα σχηματίσουν την οδοντίνη (οδοντοβλάστες-odontoblasts) (Carlson, 1990). Ολόκληρο το σύστημα, ονομάζεται οδοντικό σπέρμα

(tooth bud). Η διαδικασία ορυκτοποίησης των ιστών του δοντιού είναι πολύπλοκη (Hoppe *et al.*, 2004).

Ο πρώτος ορυκτοποιημένος ιστός εμφανίζεται ως πτωχά κρυσταλλωμένα σφαιρίδια που μεγαλώνουν και ενώνονται μεταξύ τους, σχηματίζοντας τη συμπαγή στοιβάδα της οδοντίνης. Διαφορετικοί βαθμοί ορυκτοποίησης αναπτύσσονται μεταξύ της περι-σωληνώδους και της ενδο-σωληνώδους οδοντίνης. Η απόθεση δευτερογενούς οδοντίνης συνεχίζει, αφού έχει ολοκληρωθεί η απόθεση της πρωτογενούς, αλλά με πολύ αργότερους ρυθμούς και περιορίζοντας σταδιακά τον όγκο της πολφικής κοιλότητας. Με την αύξηση της ηλικίας, η οδοντίνη γίνεται περισσότερο σκληρή, εύθρυπτη και αδιαφανής. Παρατηρείται αμοιβαία επαγωγή μεταξύ του οργάνου της αδαμαντίνης και της θηλής του, καθώς το καθένα είναι απαραίτητο για τη σωστή λειτουργία του άλλου. Το σχήμα της κορώνας του μελλοντικού δοντιού καθορίζεται από τη διαμόρφωση της επιφάνειας μεταξύ τους τη στιγμή της απόθεσης των σκληρών ιστών. Αν είναι να δημιουργηθούν πάνω από ένα φύματα, η απόθεση της αδαμαντίνης και της οδοντίνης ξεκινά εκεί όπου θα δημιουργηθεί μελλοντικά η κορυφή του κύριου φύματος. Καθώς προχωρά η ωρίμανση, το αναπτυσσόμενο δόντι κινείται αργά προς τα πάνω, προς την επιφάνεια του ούλου. Το όργανο της αδαμαντίνης υποχωρεί μπροστά από το αναδυόμενο δόντι και δεν μπορεί πια να δημιουργήσει άλλη αδαμαντίνη. Η θηλή τότε γίνεται πολφός (Romer Sherwood & Parsons, 1977; Hildebrand, 1988).

Ο σχηματισμός της οδοντίνης συνεχίζεται και αφού καταστεί το δόντι λειτουργικό, καθ'όλη τη διάρκεια της ζωής του οργανισμού, καθώς προεκτάσεις των οδοντινοβλαστών περιέχονται ακόμα στα οδοντινοσωληνάρια. Κονία σχηματίζεται μονάχα με την παρουσία οδοντίνης, αλλά και αυτή σχηματίζεται συνεχώς, λόγω της υψηλής περιεκτικότητας σε κύτταρα. Όπως το οστό, έτσι και η κονία, είναι ικανή να επιδιορθώνει και να ορυκτοποιεί εκ νέου ιστό. Η οδοντίνη από την άλλη, δεν μπορεί να αντικαταστήσει παλαιό με νέο ιστό. Η οδοντίνη λοιπόν είναι ο πρώτος ιστός που σχηματίζεται σε ένα δόντι, ενώ ακολουθεί η αδαμαντίνη και τέλος η κονία. Η κονία αποτίθεται στις επιφάνειες της οδοντίνης, όπου δεν υπάρχει αδαμαντίνη. Υπάρχουν όμως και περιπτώσεις που η απόθεση της υπερκαλύπτεται με αυτήν της αδαμαντίνης. Ο σχηματισμός της κονίας θεωρείται ότι ξεκινά αφού έχει ξεκινήσει η δημιουργία των ριζών (Carlson, 1990).

2.2.2.1 ΑΔΑΜΑΝΤΙΝΗ

Τα δόντια αποτελούνται από έναν σκληρό εσωτερικό πυρήνα (οδοντίνη), και ένα εξωτερικό εύθραυστο περίβλημα (αδαμαντίνη ή σμάλτο). Το σμάλτο περιέχει 96% φωσφορικό ασβέστιο (κατά βάρος), 3% νερό και 1% οργανική ύλη. Η οδοντίνη αποτελείται από 70% έως 75% βιοαπατίτη, 20% οργανική ύλη και 5% έως 10% νερό (Driessens and Verbeeck, 1990; Hillson, 1986).

Ο απολιθωμένος απατίτης των δοντιών είναι ένα αρχείο παλαιοκλιματικών πληροφοριών (Longinelli and Nuti, 1973). Οι ισοτοπικές συστάσεις άνθρακα και οξυγόνου των δοντιών και των οστών σχετίζονται με τη διατροφή και τις κλιματολογικές συνθήκες κατά τη στιγμή της ανάπτυξης. Η ισοτοπική σύσταση άνθρακα του βιογενή απατίτη μας δίνει στοιχεία για την παλαιοδιατροφή.

Για τα φυτοφάγα ζώα, επηρεάζεται έντονα από την αναλογία φυτών C3 προς C4 στη διατροφή τους (Lee-Thorp and van der Merwe, 1987; Lee-Thorp *et al.*, 1989; Quade and Cerling, 1990; Thackeray *et al.*, 1990, Quade *et al.*, 1992, Wang *et al.*, 1994). Οι τιμές $\delta^{18}\text{O}$ του απατίτη των δοντιών σχετίζονται με τις τιμές $\delta^{18}\text{O}$ του νερού του σώματος, το οποίο, για τα περισσότερα μεγάλα θηλαστικά, σχετίζεται άμεσα με το νερό που εισήλθε στον οργανισμό μέσω της τροφής και άρα με το νερό της περιοχής (Luz *et al.*, 1984; Luz and Kolodny, 1985; D'Angela and Longinelli, 1990, Chillon *et al.*, 1994, Bryant and Froelich, 1995, Kohn *et al.*, 1996). Έτσι, οι τιμές $\delta^{18}\text{O}$ του σμάλτου των δοντιών παρέχουν ένα έμμεσο μέτρο των κλιματολογικών συνθηκών κατά την ανάπτυξη του δοντιού (Sharp and Cerling, 1998). Από τις τιμές άνθρακα ($\delta^{13}\text{C}$) επίσης, μπορεί να μελετηθεί η παλαιοδιατροφή και έτσι να επιτευχθεί μία πλήρης παλαιοπεριβαλλοντική αναπαράσταση.

Η αδαμαντίνη, η οποία είναι γνωστή και ως σμάλτο, είναι ένας υψηλώς ορυκτοποιημένος ιστός που αποτελείται σχεδόν αποκλειστικά από ανόργανα συστατικά (96%) (Carlson, 1990). Σχηματίζεται από αδαμαντινοβλάστες εξωδερμικής εμβρυικής προέλευσης. Δε διαθέτει κύτταρα και γι αυτό δεν αναπλάθεται μετά από τυχόν βλάβη (Ρουσιάκης, 2013).

Το οργανικό υλικό που αντιστοιχεί σε λιγότερο από 1% κ.β. είναι ένα υλικό παρόμοιας φύσης που πληρεί τα κενά μεταξύ των πρισμάτων (Stack, 1967; Romer Sherwood & Parsons, 1977). Κατά τους Dorozhkin & Erple (2002) η οργανική φάση της αδαμαντίνης δεν περιέχει κολλαγόνο, παρά μόνο στην περιοχή του ορίου οδοντίνης - αδαμαντίνης, όπου αντικαθίσταται από μια αδαμαντινοειδή φάση. Στην αδαμαντίνη

περιέχεται και ένα 2% κ.β. νερό. Απο πλευράς όγκου, η αδαμαντίνη περιλαμβάνει 86% κ.ό. ανόργανης φάσης, 2% κ.ό. οργανικής και 12% κ.ό. νερό. Το οργανικό υλικό αποτελείται από διαλυτές και αδιάλυτες πρωτεΐνες, πεπτιδία και κιτρικό οξύ (Stathoroulou, 2006).

2.2.2.2 ΟΔΟΝΤΙΝΗ

Είναι σκληρότερη από το οστό αλλά μαλακότερη από την αδαμαντίνη και είναι κατά 25% οργανικής προέλευσης. Διαφέρει από το οστό γιατί δεν υπάρχουν κύτταρα στην κύρια μάζα της. Κύτταρα που ονομάζονται οδοντοβλάστες υπάρχουν μόνο στη ζώνη επαφής μεταξύ οδοντίνης και πολφικής κοιλότητας και λειτουργούν εφ' όρου ζωής. Από αυτά τα κύτταρα αναπτύσσονται επιμήκεις σωληνίσκοι παράλληλοι μεταξύ τους που διαπερνούν τη μάζα της οδοντίνης. Η ανάπτυξη της οδοντίνης επιτυγχάνεται μέσω απόθεσης στα τοιχώματα της πολφικής κοιλότητας (Ρουσιάκης, 2013).

Ο όρος οδοντίνη περιλαμβάνει μια δομικά ποικίλη ομάδα οδοντικών ιστών. Η ορθοδοντίνη (orthodentine ή normodentine) είναι ο τύπος της οδοντίνης που περιγράφεται εδώ και που αφορά κυρίως τα θηλαστικά. Η σπογγώδης οδοντίνη (trabecular dentine) έχει μια χαρακτηριστική πορώδη δομή, ενώ έχουν περιγραφεί δύο τύποι: η οστεοδοντίνη (osteodentine) και η βασοδοντίνη (vasodentine). Ο πρώτος τύπος είναι μη αγγειακός ενώ ο δεύτερος διαπερνάται από αιμοφόρα αγγεία. Υπάρχει και το αδαμαντινοειδές (enameloid), ένας ιδιαίτερα σκληρός, πυκνός και υπερ-ορυκτοποιημένος ιστός, που έχει αναφερθεί λανθασμένα ως αδαμαντίνη. Άλλα ονόματα που έχουν δοθεί σε αυτόν τον ιστό είναι: βιτροδοντίνη (vitrodentine), δευτερογενής οδοντίνη, μεσοδερμική οδοντίνη κλπ. Μπορεί να διαχωριστεί και από την ορθοδοντίνη και από την πραγματική αδαμαντίνη, παρ'ότι μοιράζεται με αυτές πλήθος κοινών χαρακτηριστικών. Η οδοντίνη είναι ο μεσοδερμικής προέλευσης σκληρός ιστός που σχηματίζει στοιβάδα σταθερού πάχους γύρω από την πολφική κοιλότητα και συνιστά το μεγαλύτερο τμήμα ενός ώριμου δοντιού (Johansen, 1967; Ρουσιάκης, 2013).

2.2.2.3 ΚΟΝΙΑ

Η κονία είναι ορυκτοποιημένος συνδετικός ιστός μεσοδερμικής προέλευσης, που μοιάζει με οστό. Η οργανική κύρια μάζα του αποτελείται από κολλαγόνο. Συνδέει τα δόντια με το οστό της σιαγόνας και καλύπτει τις ρίζες των δοντιών υπό μορφή λεπτού στρώματος εντός των φατνίων. Τα δόντια που χρησιμεύουν στο άλεσμα της τροφής καλύπτονται και επιφανειακά από κονία. Συνίσταται κατά 70 % κ.β. από βιολογικό

απατίτη, με κρυσταλλίτες μεγέθους παρόμοιου με αυτούς της οδοντίνης και του οστού. Το οργανικό μέρος της συνιστά το 24-26 % κ.β., ενώ το υπόλοιπο 4-6 % κ.β. είναι νερό (Stathoroulou, 2006).

2.2.3 ΚΟΛΛΑΓΟΝΟ

Το 90 % του οργανικού υλικού του οστού αντιπροσωπεύεται από κολλαγόνες πρωτεΐνες ενώ το υπόλοιπο 10 % από περίπου δεκαπέντε μη-κολλαγόνες πρωτεΐνες. Το ανόργανο τμήμα του οστού, αποτελείται από φάση που αντιστοιχεί με πτωχά κρυσταλλωμένο ανάλογο του υδροξυλαπατίτη ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$), που όμως δεν εμφανίζεται με την αυστηρά κρυσταλλική του μορφή και είναι ο βιογενής απατίτης (Statoroulou, 2006).

Το κολλαγόνο είναι αμινοξέα συνδεδεμένα μεταξύ τους ώστε να σχηματίζουν τριπλή έλικα. Οι ίνες ορυκτοποιημένου κολλαγόνου είναι το βασικό δομικό στοιχείο του οστού, ενώ η οργάνωση τους σε ελάσματα ονομάζεται ελασματική δομή (Weiner & Wagner, 1998; Weiner *et al.*, 1999). Σύμφωνα με αυτήν, οι ελασματικές μονάδες του (ελάσματα) αποτελούνται η κάθε μια από πέντε υποστοιβάδες. Οι ίνες κολλαγόνου σε γειτονικές υποστοιβάδες σταδιακά περιστρέφονται κατά περίπου 30 μοίρες, έτσι ώστε να βρίσκονται διαδοχικά στις 0, 30, 60, 90, 120 μοίρες (Weiner *et al.*, 1997). Σε ακόμη μεγαλύτερη μεγέθυνση στις επιφάνειες των ελασμάτων, υπάρχουν μορφές μεμονωμένες με μεγάλη διάσταση που φτάνει τα 1000 Å (Weiner & Traub, 1992).

Στη γεωλογική κλίμακα το κολλαγόνο είναι βραχυβιότερο από τον απολιθωμένο βιοαπατίτη. Είναι ένα πολύ ισχυρό βιομόριο που έχει αποδειχθεί ότι μετρήσιμες ποσότητες μπορούν να επιβιώσουν υπό βέλτιστες συνθήκες για πάνω από 100.000 έτη (Jones *et al.*, 2001). Το κολλαγόνο μετουσιώνεται όταν διασπώνται οι δεσμοί υδρογόνου και στη συνέχεια τα ινίδια διαλύονται σχετικά γρήγορα, εξηγώντας έτσι την ευαισθησία του στην υγρασία, τη θερμοκρασία και τις συνθήκες pH.

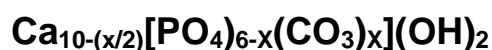
Η διάλυση του κολλαγόνου εξαρτάται από το χρόνο, τη θερμοκρασία και το pH του περιβάλλοντος. Σε υψηλές θερμοκρασίες, ο ρυθμός απώλειας κολλαγόνου θα επιταχυνθεί και το ακραίο pH μπορεί να προκαλέσει διόγκωση κολλαγόνου και επιταχυνόμενη υδρόλυση (Soddy and Frederick, 1922).

Μόλις ενταφιαστεί ένα άτομο, εμφανίζεται γρήγορα μικροβιακή προσβολή, ο πιο συνηθισμένος μηχανισμός φθοράς των οστών. Κατά τη διάρκεια αυτής της φάσης, το μεγαλύτερο μέρος του οστικού κολλαγόνου χάνεται και το πορώδες αυξάνεται. Η

διάλυση της ορυκτής φάσης που προκαλείται από χαμηλό pH επιτρέπει την πρόσβαση στο κολλαγόνο από εξωκυτταρικά μικροβιακά ένζυμα, γνωστή και ως μικροβιακή επίθεση ή δράση (Soddy and Frederick, 1922).

2.2.4 ΒΙΟΑΠΑΤΙΤΗΣ

Το ανόργανο τμήμα του οστού αποτελείται από πτωχά κρυσταλλωμένο υδροξυλαπατίτη (Stathoroulou, 2006). Πρόκειται για βιογενή απατίτη, μία κρυσταλλική, μη στοιχειομετρική δομικά ατελή φάση, ανάλογη του ορυκτού απατίτη που περιέχει σημαντικές ποσότητες ανθρακικών. Αντιστοιχεί στο ορυκτό δαλλίτη, δηλαδή ανθρακικό υδροξυλαπατίτη, όπου $y=z=0$ (dahllite=carbonate-hydroxyapatite). Επομένως ο χημικός τύπος γίνεται:



Όμως, αυτός ο όρος δεν είναι πλέον αποδεκτός και έτσι χρησιμοποιούμε τον περιγραφικό όρο ανθρακικός υδροξυλαπατίτης. Οι Munzenberg (1970) και Munzenberg & Gebhart (1970) θεωρούν ότι το οστό αποτελείται από ένα μίγμα υδροξυλαπατίτη και απατίτη με ποσότητα ανθρακικών.

Η κατανόηση της φύσης και του σχηματισμού του απατίτη προέρχεται όχι τόσο από τη μελέτη του ίδιου, όσο από μελέτες καλά κρυσταλλωμένων απατιτών και υδροξυαπατιτών που καθιζάνουν σε ποικιλία υδατικών διαλυμάτων (Betts, *et al.*, 1981). Υπάρχουν πολλές θεωρίες για το σχηματισμού του, με ή χωρίς την παρουσία κάποιας πρόδρομης φάσης. Έχουν προταθεί ως πρόδρομες, άμορφες ή μη φάσεις όπως το άμορφο φωσφορικό ασβέστιο (amorphous calcium phosphate-ACP) που θα οδηγούσε στο σχηματισμό απατίτη με ενδιάμεσες φάσεις το βρουσίτη (brushite), τον ουϊτλοκίτη (whitlockite), το μονετίτη κλπ (Munzenberg, 1970; Munzenberg & Gebhart, 1970; Seifert, 1970).

Σε γενικές γραμμές πάντως είναι γνωστό ότι πρώτα αποτίθεται εξωκυτταρικά η οργανική κύρια μάζα και μετά οι κρύσταλλοι του απατίτη. Το σύνολο τους, οργανώνεται σε στρώματα πάχους από λιγότερο από ένα μικρό έως μερικά μικρά, που ονομάζονται ελάσματα, που με τη σειρά τους οργανώνονται με διάφορους τρόπους ανάλογα με τον τύπο του οστού, σε δομές ανώτερης τάξης (Weiner *et al.*, 2000). Οι ίνες ορυκτοποιημένου κολλαγόνου εντός μεμονωμένων ελασμάτων είναι παράλληλες μεταξύ τους, σε μορφή δεματίων πάχους περίπου 3-5 μm.

Παρόλο που ο βιοαπατίτης υπάρχει και στα οστά και στα δόντια, η διαδικασία της διαγένεσης τον επηρεάζει διαφορετικά σε κάθε σημείο. Για παράδειγμα, ο απατίτης που υπάρχει στα οστά έχει περισσότερες υποκαταστάσεις (~6%CO₃) με πολύ χαμηλή κρυσταλλικότητα (Driessens and Verbeeck, 1990). Ο απατίτης των δοντιών από την άλλη έχει λιγότερες υποκαταστάσεις (~3%CO₃) και υψηλότερη κρυσταλλικότητα και πυκνότητα (Le Geros, 1991).

Στα οστά ο δείκτης κρυσταλλικότητας που βασίζεται σε τεχνικές όπως η περίθλαση ακτίνων Χ και η Φασματοσκοπία Υπερύθρου με μετασχηματισμό Fourier, δείχνουν ραγδαίες αυξήσεις μετά το θάνατο του ζώου, ακόμη και ελλείψη περιβαλλοντικών παραγόντων (Trueman *et al.*, 2004). Όμως, οι αλλαγές στο σμάλτο παραμένουν ελάχιστες ακόμη και μετά από πολύ μεγάλες περιόδους (Lee- Thorp και Van der Merwe, 1987). Κατά τη διαδικασία της ανακρυστάλλωσης μπορεί να εισαχθούν νέα ιόντα στις κρυσταλλικές δομές, επομένως μπορεί να αλλάξει και η αρχική σύνθεση των ισοτόπων. Κατ' επέκταση, ο δεσμός P- O δεν παραμένει ανεπηρέαστος στη διαγένεση (Luz and Kolodny, 1985). Η διείσδυση και απόθεση δευτερογενών ορυκτών φάσεων στις ρωγμές και τους πόρους περιλαμβάνει σιδηροπυρίτη, ενώσεις του πυριτίου και ανθρακικές ενώσεις (Hassan and Ortner, 1977).

2.3 ΙΣΟΤΟΠΑ ΣΕ ΣΚΕΛΕΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η μελέτη των ισοτόπων σε σκελετικά στοιχεία ξεκίνησε τη δεκαετία του 1970 από τους Vogel and Van der Merwe 1977, 1978. Είναι πολύ σημαντικό να γνωρίζουμε από ποια χημικά στοιχεία θα χρειαστεί να μελετήσουμε τα ισότοπα, καθώς και τι πληροφορίες θα πάρουμε από την εργαστηριακή ανάλυση. Οι γεωχημικές προσεγγίσεις για τη διερεύνηση των σύγχρονων οικοσυστημάτων σπονδυλωτών βασίζονται κυρίως σε αναλογίες άνθρακα ($\delta^{13}\text{C}$), αζώτου ($\delta^{15}\text{N}$) και στοιχειακής συγκέντρωσης (Sr / Ca και Ba / Ca). Οι παλαιοπεριβαλλοντικές πληροφορίες μπορούν να προέρχονται από οξυγόνο ($\delta^{18}\text{O}$) και ραδιογενές στρόντιο ($^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr}$) αλλά και από ισότοπα θείου ($\delta^{34}\text{S}$). Τα πιο γνωστά, παραδοσιακά ισότοπα είναι τα ισότοπα του άνθρακα, του αζώτου, του οξυγόνου και του θείου. Από την άλλη πλευρά, μελέτες και αναλύσεις γίνονται και σε μη παραδοσιακά ισότοπα, όπως αυτά του ασβεστίου, του μαγνησίου, των μετάλλων (χαλκός, σίδηρος, ψευδάργυρος), καθώς και του στρόντιου (Martin *et al.*, 2017).

Μελέτες προτύπων μετανάστευσης χρησιμοποιούν το γεγονός ότι η ραδιογενής σύνθεση ισοτόπων (Sr και/ή Pb) ενός ζώου αντανακλά αυτή του υποκείμενου πετρώματος όπου ζει (Kohn *et al.*, 1999).

Παρακάτω θα δούμε αναλυτικά τα παραδοσιακά και τα μη παραδοσιακά ισότοπα, τις πληροφορίες που μπορούμε να πάρουμε από αυτά και σε τι σκελετικά στοιχεία υπάρχουν σε αφθονία.

- I. **Ισότοπα άνθρακα:** Ισότοπα άνθρακα μπορούμε να μετρήσουμε σε δόντια ή οστά, όπου ο άνθρακας συμμετέχει στο ανθρακικό κλάσμα του βιοαπατίτη (Cerling *et al.*, 1999). Για μετρήσεις ισοτόπων άνθρακα μπορεί να χρησιμοποιηθεί και το κολλαγόνο. Τα ισότοπα του άνθρακα μπορούν να μας δώσουν πληροφορίες σχετικά με τη διατροφή που προτιμούσαν εξαφανισμένα είδη (Εικόνα 2) (Martin *et al.*, 2017). Επομένως, εάν παίρνουμε δείγμα από ένα φυτοφάγο ζώο, με βάση τα φυτά που προτιμούσε στη διατροφή του μπορεί να γίνει μία αναπαράσταση της χλωρίδας που υπήρχε στην περιοχή και κατ' επέκταση να γίνει και η αναπαράσταση του κλίματος που επικρατούσε όταν τα είδη αυτά ζούσαν. Τα ισοτοπικά στοιχεία που χρησιμοποιούνται είναι ο ^{12}C και ο ^{13}C , σε αναλογία $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$. Ο λόγος αυτός αναφέρεται ως $\delta^{13}\text{C}$ (Vogel, 1978; De Niro and Epstein, 1978; van der Merwe, 1982). Υψηλό $\delta^{13}\text{C}$ καταγράφεται σε ζωικούς ιστούς που ζούσαν κοντά σε θαλάσσιους οικότοπους, δηλαδή κοντά στην ακτή, ενώ χαμηλό $\delta^{13}\text{C}$ καταγράφεται σε ζώα που ζούσαν κοντά σε εκβολές γλυκού νερού, κοντά στη στεριά και μακριά από θάλασσα. Παράδειγμα μελέτης αποτελούν τα παλαιοκλιματικά στοιχεία για το τέλος του Μειοκαίνου, όπου βλέπουμε ότι κυριαρχούσαν τα φυτά C4 στα χερσαία οικοσυστήματα (Vogel, 1978; De Niro and Epstein, 1978; van der Merwe, 1982; Cerling *et al.*, 1997). Στη γεωχημεία, την παλαιοκλιματολογία και την παλαιοκεανογραφία, το $\delta^{13}\text{C}$ είναι μια ισοτοπική υπογραφή, ένα μέτρο της αναλογίας σταθερών ισοτόπων $^{13}\text{C} / ^{12}\text{C}$, που αναφέρεται σε μέρη τοις χιλίοις (‰). Ο λόγος αυτός χρησιμοποιείται επίσης ευρέως στην αρχαιολογία για την ανασυγκρότηση προηγούμενων διατροφών, ιδιαίτερα για να διαπιστωθεί εάν καταναλώνονταν θαλάσσιες τροφές ή ορισμένα είδη φυτών (Schwarcz *et al.*, 1989). Το $\delta^{13}\text{C}$ ποικίλλει ως προς το χρόνο ως συνάρτηση της παραγωγικότητας, της ανόργανης πηγής, της ταφής οργανικού άνθρακα και του τύπου βλάστησης. Οι βιολογικές διεργασίες καταλαμβάνουν κατά προτίμηση το ισότοπο

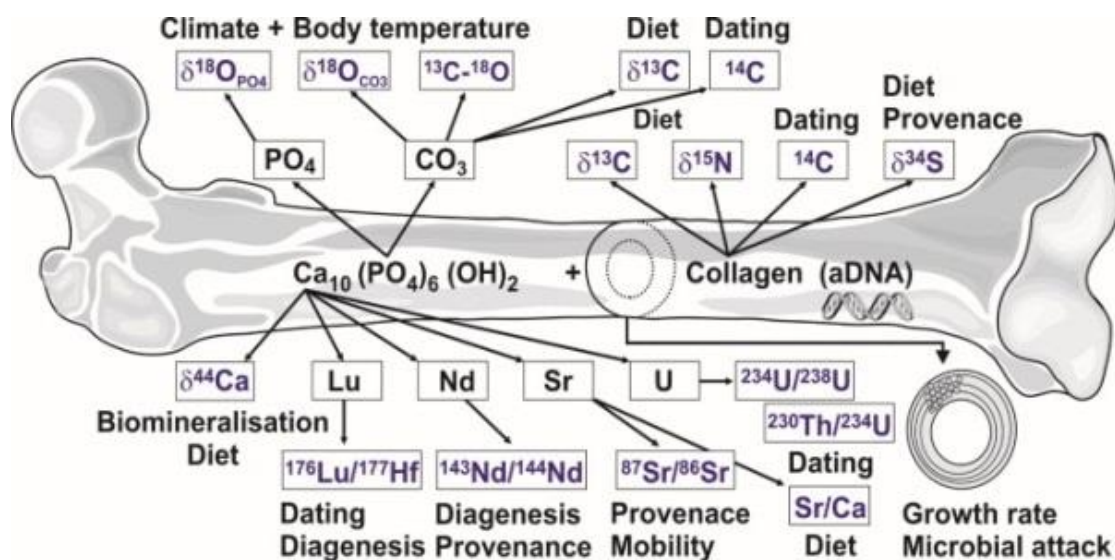
χαμηλότερης μάζας μέσω κινητικής κλασμάτωσης. Ωστόσο, ορισμένες αβιοτικές διεργασίες κάνουν το ίδιο. Για παράδειγμα, το μεθάνιο από τους υδροθερμικούς αεραγωγούς μπορεί να εξαντληθεί έως και 50% (McDermott, *et al.*, 2015).

- II. Ισότοπα αζώτου:** το άζωτο είναι το κύριο συστατικό των πρωτεϊνών. Για τη μελέτη ισοτόπων αζώτου χρειαζόμαστε δείγματα κολλαγόνου από απολιθώματα σπονδυλωτών, το οποίο κολλαγόνο ανακτάται από τα οστά ή την οδοντίνη, αλλά όχι από το σμάλτο των δοντιών. Ο δείκτης που χρησιμοποιείται ονομάζεται $\delta^{15}\text{N}$ και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να δώσει στοιχεία για τη διάκριση μεταξύ φυτοφάγων και σαρκοφάγων ζώων, παραδείγματος χάριν σε περίπτωση που κατά τη διάρκεια μιας ανασκαφής βρέθηκε ένα οστό που είναι δύσκολο να προσδιοριστεί (De Niro and Epstein, 1981). Όσο πιο σαρκοφάγα είναι η διατροφή του ζώου τόσο πιο ψηλές είναι οι τιμές του $\delta^{15}\text{N}$ λόγω του σταδιακού εμπλουτισμού με το βαρύ ^{15}N (Martin *et al.*, 2017). Άλλη μία πληροφορία που θα μπορούσαμε να πάρουμε από ισότοπα αζώτου είναι αυτή για το θηλασμό και τον απογαλακτισμό του ζώου που θέλουμε να μελετήσουμε, δηλαδή τη μετάβαση από το μητρικό γάλα στη διατροφή ενός ενήλικου ζώου. Η μελέτη γίνεται σε οδοντικούς δακτυλίους θηλαστικών (Newsome *et al.*, 2010). Τα ισότοπα N σπάνια διατηρούνται για πάνω από 100.000 χρόνια. Επομένως δεν μπορεί να γίνει κάποια μελέτη για παλαιότερη πανίδα από τα μέσα περίπου του Πλειστοκαίνου (Koch, 2007). Μια διαδικασία που μπορεί να αλλάξει σημαντικά τις τιμές $\delta^{13}\text{C}$ και $\delta^{15}\text{N}$ στο κολλαγόνο των οστών είναι η βακτηριακή βιοαποικοδόμηση. Ειδικά το $\delta^{15}\text{N}$ μπορεί να εμπλουτιστεί διαγενετικά έως και +5,8‰ λόγω του εμπλουτισμού ^{15}N από το υπόστρωμα κατά τη διάρκεια της διάσπασης του πεπτιδικού δεσμού. Επομένως, είναι απαραίτητος ο έλεγχος της ακεραιότητας του διατηρημένου κολλαγόνου πριν από οποιαδήποτε ιστοτοπική μελέτη (Grube, 2001). Κατά τους Tütken & Vennemann, 2011 από τις τιμές αζώτου μπορούμε να μελετήσουμε και την παλαιοδιατροφή (Εικόνα 2).
- III. Ισότοπα οξυγόνου:** οι μετρήσεις ισοτόπων οξυγόνου είναι γνωστές για τη δυνατότητα ανασύστασης παλαιοθερμοκρασιών από δειγματοληψίες σε πυρήνες πάγου ή σε πυρήνες θαλάσσιων ιζημάτων, όπου από τα αποτελέσματα βγαίνει το συμπέρασμα ύπαρξης ψυχρών ή θερμών εποχών (Koch, 1997). Για τη μελέτη τους χρησιμοποιείται ο λόγος $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ και λέγεται $\delta^{18}\text{O}$. Μπορεί επίσης να μετρηθεί στον απατίτη των οστών και των δοντιών επιτρέποντας την εξαγωγή συμπερασμάτων για τις πηγές του πόσιμου νερού στους οικότοπους. Υπολογίζονται οι μέσες θερμοκρασίες αέρα και

αναπαριστώνται οι παλαιοκλιματικές συνθήκες (Εικόνα 2). Η μελέτη του οξυγόνου δίνει τη δυνατότητα μελέτης της θερμοφυσιολογίας εξαφανισμένων πανίδων, όπως για παράδειγμα δεινοσαύρων ή θαλάσσιων ερπετών του Μεσοζωικού (Martin *et al.*, 2017). Από τις ιδέες του Urey για την κλασμάτωση του οξυγόνου αναπτύχθηκε η μέθοδος ισοτόπων οξυγόνου για τη μέτρηση της θερμοκρασίας εναπόθεσης του σκελετικού ανθρακικού ασβεστίου (Faure, 1986).

- IV. Ισότοπα θείου:** Το θείο εισέρχεται στη σύνθεση του κολλαγόνου και συμβάλλει στη διάκριση θαλάσσιων και χερσαίων πηγών. Το θείο υποκαθιστά τη φωσφορική ρίζα ως θειική στο βιοαπατίτη. Μπορεί να ερευνηθεί στα οστά αλλά και στα δόντια (Koch, 2007).
- V. Ισότοπα ασβεστίου:** το $\delta^{44}\text{Ca}$ μπορεί να μας δώσει παλαιοβιολογικές πληροφορίες και για τις μεταναστευτικές οδούς που ακολούθησε το κάθε είδος, καθώς και για τη διατροφή του. Επιπλέον, το σμάλτο στερείται κολλαγόνου αλλά ιχνοστοιχεία όπως το στρόντιο και το βάριο είναι λιγότερο επιρρεπή σε αλλοίωση και οι στοιχειώδεις συγκεντρώσεις τους μπορούν να συγκριθούν με τα ισότοπα ασβεστίου που προέρχονται από τα ίδια δείγματα (Martin *et al.*, 2017).
- I. Ισότοπα μαγνησίου:** το στοιχείο αυτό υπάρχει στα φυτά, αλλά και στο μεταβολισμό των ζώων. Μπορεί να γίνει μελέτη του στοιχείου αυτού από τα οστά, αλλά και από τα δόντια. Για τη μελέτη χρησιμοποιείται ο λόγος $^{26}\text{Mg}/^{24}\text{Mg}$ και το σημείο που μας ενδιαφέρει κυρίως είναι το σμάλτο των δοντιών. Τα αποτελέσματα που θα πάρουμε θα αφορούν τις διατροφικές συνήθειες του ζώου, καθώς και μία διάκριση φυτοφάγων από παμφάγα. Το ^{26}Mg φεύγει με τα κόπρανα, όμως υπάρχει άφθονο στους μύες (Martin *et al.*, 2017) .
- II. Ισότοπα μετάλλων (Cu, Fe, Zn):** τα στοιχεία αυτά δείχνουν μεταβλητότητα ισοτόπων σε μαλακούς ιστούς σπονδυλωτών που αντιστοιχεί στη μεταβλητότητα των ισοτόπων που παρατηρείται στα υλικά της γης. Τα ισότοπα χαλκού και σιδήρου μπορούν να χρησιμοποιηθούν επίσης για τον προσδιορισμό του φύλου του ζώου. Έτσι θα μπορούσαμε να αναπαραστήσουμε τη δομή της κοινότητας που είχαν, ή κάποιο σεξουαλικό διμορφισμό. Με τα ισότοπα του ψευδαργύρου, $\delta^{66}\text{Zn}$, μπορούμε να βγάλουμε συμπεράσματα που αφορούν τα τροφικά επίπεδα των ειδών και η δειγματοληψία χρειάζεται να γίνει από το σμάλτο (Jaouen *et al.*, 2013).
- III. Ισότοπα στρόντιου:** το στρόντιο στα ζώα προσλαμβάνεται από την τροφή και το πόσιμο νερό. Με το λόγο $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ από το βιοαπατίτη, διερευνάται η κινητικότητα του πληθυσμού και επιτυγχάνεται η ανασυγκρότηση

παλαιοπεριβαλλόντων, καθώς και η μελέτη των προτύπων μετανάστευσης (Martin *et al.*, 2017). Το στρόντιο είναι βαρύ στοιχείο και η διαφορά μερικών μονάδων μάζας μεταξύ των ισοτόπων του καθιστά τις ισοτοπικές κλασματώσεις αμελητέες. Το πιο κατάλληλο δείγμα είναι το σμάλτο ατόμου παιδικής ηλικίας ώστε να μην είναι αναδιαμορφωμένο και συμπαγές οστό, του οποίου η περιεκτικότητα σε στρόντιο να έχει συσσωρευτεί τα τελευταία χρόνια πριν το θάνατό του.



ΕΙΚΟΝΑ 2: Η ισοτοπική ανάλυση του οστού από το κολλαγόνο και από το βιοαπατίτη (Tütken & Vennemann, 2011).

Στην παραπάνω εικόνα βλέπουμε αναλυτικά τι είδους πληροφορίες μπορούμε να πάρουμε είτε από το κολλαγόνο είτε από τον απατίτη, αλλά και τι είδους αναλύσεις μπορούμε να κάνουμε. Για παράδειγμα, από τον βιοαπατίτη μπορεί να διαχωριστεί η ανθρακική και η φωσφορική ρίζα και από εκεί να μελετηθούν τα ισότοπα άνθρακα και οξυγόνου. Αυτή τη διαδικασία ουσιαστικά ακολουθήσαμε στην παρούσα εργασία. Από το κολλαγόνο του οστού μπορούν να μετρηθούν ισότοπα άνθρακα, αζώτου, αλλά και θείου.

2.3.1 ΙΣΟΤΟΠΑ ΟΞΥΓΟΝΟΥ ΚΑΙ ΑΝΘΡΑΚΑ ΣΕ ΣΚΕΛΕΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Όπως προαναφέραμε, στην εργασία αυτή θα βασιστούμε στη μελέτη του $\delta^{18}\text{O}$ και $\delta^{13}\text{C}$ σε σκελετικά στοιχεία. Ο λόγος των ισοτόπων οξυγόνου θα αναλυθεί λίγο παραπάνω, αφού το κύριο συμπέρασμα στο οποίο θέλουμε να καταλήξουμε είναι η θερμοκρασία

της Κύπρου 11.500 έτη πριν και να συγκρίνουμε τα αποτελέσματα αυτά με σημερινά δεδομένα θερμοκρασίας έτσι ώστε να δούμε κατά πόσο έχει αλλάξει το κλίμα από τότε μέχρι σήμερα.

Το οξυγόνο έχει τρία σταθερά ισότοπα: το ^{16}O με 99,63% αφθονία, το ^{17}O με 0,03% αφθονία και το ^{18}O με 0,19% αφθονία. Λόγω της ύπαρξης τριών ισωτόπων οξυγόνου και δύο ισωτόπων υδρογόνου υπάρχουν εννέα συνδυασμοί για το μόριο του νερού: H_2^{16}O , H_2^{17}O , H_2^{18}O , HD^{16}O , HD^{17}O , HD^{18}O , D^{16}O , D^{17}O και D^{18}O . Τα σταθερά ισότοπα οξυγόνου (O) διαφέρουν κατά δύο μονάδες μάζας (^{18}O , ^{16}O), διαφορά η οποία είναι σχετικά μεγάλη σε σύγκριση με το ατομικό τους βάρος. Οι μάζες αυτών των συνδυασμών διαφέρουν μεταξύ τους. Η πίεση ατμών των διαφορετικών ισωτόπων των μορίων του νερού είναι αντιστρόφως ανάλογη με τη μάζα τους. Άρα το H_2^{16}O έχει μεγαλύτερη πίεση από το D^{18}O . Γι αυτό το λόγο, οι υδρατμοί που σχηματίζονται από την εξάτμιση του υγρού νερού είναι εμπλουτισμένοι σε ^{16}O και H, ενώ το νερό που μένει εμπλουτίζεται σε D και ^{18}O (Faure, 1986).

Τα ελαφρά σταθερά ισότοπα είναι πιο πτητικά από τα βαρύτερα αντίστοιχά τους. Η ισοτοπική τους κλασμάτωση συμβαίνει κατά τη μεταφορά ενός στοιχείου μέσω της υδρόσφαιρας, γεώσφαιρας ή βιόσφαιρας. Έτσι, πολλά περιβάλλοντα όπως παραδείγματος χάριν χερσαία και θαλάσσια, τείνουν να διακρίνονται ισοτοπικά μεταξύ τους. Οι διαφορές στην ισοτοπική σύνθεση μεταξύ των δειγμάτων είναι μικρές αλλά σημαντικές. Σταθερές ισοτοπικές αναλογίες εκφράζονται με τη σημειογραφία δ. Όσο πιο μεγάλη είναι η τιμή δ τόσο περισσότερο είναι το δείγμα εμπλουτισμένο με το βαρύ ισότοπο (Grube, 2001).

Το $\delta^{18}\text{O}$ χρησιμεύει ως παλαιοθερμόμετρο αφού οι ισοτοπικές αναλογίες είναι σε μεγάλο βαθμό συνάρτηση της αντίστοιχης αναλογίας στο πόσιμο νερό, η οποία εξαρτάται από τις κλιματολογικές συνθήκες (Clemenz, 2012). Το οξυγόνο σε οστά ή δόντια διατίθεται από τη φωσφορική και την ανθρακική ρίζα και το υδροξύλιο. Δεδομένου ότι ο χημικός δεσμός μεταξύ φωσφόρου και οξυγόνου είναι ισχυρότερος, πολλές $\delta^{18}\text{O}$ αναλύσεις γίνονται από τη φωσφορική ρίζα για να αποφευχθεί η μετά θάνατον μόλυνση (Zazzo *et al.*, 2004).

Οι τιμές $\delta^{18}\text{O}$ της φωσφορικής ρίζας του απατίτη των δοντιών σχετίζονται με τις τιμές $\delta^{18}\text{O}$ του σωματικού νερού, το οποίο για τα περισσότερα μεγάλα θηλαστικά σχετίζεται άμεσα με το πόσιμο νερό τους. Έτσι, οι τιμές $\delta^{18}\text{O}$ του σμάλτου των δοντιών παρέχουν μία έμμεση μέτρηση κλιματολογικών συνθηκών κατά την ανάπτυξη των δοντιών (Clemenz, 2012). Η φωσφορική ρίζα του απατίτη έχει κάποιες ιδιότητες για τον προσδιορισμό της παλαιοθερμοκρασίας:

- 1) Τα ισότοπα του οξυγόνου ανταλλάσσονται πολύ γρήγορα μεταξύ φωσφόρου και νερού, σε κλίμακα χρόνου λεπτού
- 2) Η ανταλλαγή ισωτόπων μεταξύ φωσφόρου και νερού σε χαμηλές θερμοκρασίες είναι εξαιρετικά αργή σε κλίμακα γεωλογικού χρόνου
- 3) Ο ιστοτοπικός συνδυασμός του οξυγόνου στα οστά και τα δόντια είναι παρόμοιος με του νερού και δεν επηρεάζεται από τη διατροφή
- 4) Οι παλαιοθερμοκρασίες μπορούν να προσδιοριστούν από ένα μεγάλο εύρος υλικών συμπεριλαμβανομένων των ψαριών, των κωνόδοντων και των οστών των θηλαστικών (Tudge, 1960; Kolondy *et al.*, 1983)

Οι συνθέσεις ιστοτόπων οξυγόνου από την ανθρακική και τη φωσφορική ρίζα του βιοαπατίτη σχετίζονται με τις πηγές πόσιμου νερού στα μεγάλα θηλαστικά (Longinelli, 1984; Luz *et al.*, 1984; Bryant and Froelich, 1995; Kohn *et al.*, 1999). Στα υψοδοντικά (hypsodont) θηλαστικά η βιοορυκτοποίηση του σμάλτου προχωρά από το πάνω μέρος (crown) τη ρίζα (root) καθώς τα δόντια αναδύονται και το σμάλτο δεν αναδιαμορφώνεται μόλις σχηματισθεί (Zazzo, 2004). Έτσι, η διαδοχική αύξηση του σμάλτου καταγράφει τις αλλαγές στην ιστοτοπική σύνθεση του νερού που προσλαμβάνεται από τα θηλαστικά κατά την ανοργανοποίηση του σμάλτου (enamel mineralization) (Fricke and O' Neil, 1996; Kohn *et al.*, 1998).

Σε αντίθεση με τα οστά και την οδοντίνη, το σμάλτο είναι πιο ανθεκτικό στη διαγενετική αλλοίωση επειδή έχει χαμηλότερη περιεκτικότητα σε οργανική ύλη και υψηλότερο βαθμό κρυσταλλικότητας (Ayliffe *et al.*, 1992). Το οξυγόνο στους δεσμούς PO είναι ανθεκτικό στην ανόργανη ανταλλαγή ιστοτόπων με υγρά σε θερμοκρασίες επιφάνειας. Οι $\delta^{18}\text{O}$ τιμές στο απολιθωμένο σμάλτο συχνά θεωρούνται πρωτογενείς (Zazzo *et al.*, 2004).

Η φωσφορική ρίζα ως παλαιοθερμόμετρο απαιτεί να γνωρίζουμε την τιμή του $\delta^{18}\text{O}$ του νερού με το οποίο τα ισότοπα έρχονται σε ισορροπία. Μία πιθανή λύση σε αυτό είναι να χρησιμοποιηθούν οστά θηλαστικών, των οποίων η θερμοκρασία του σώματος είναι πολύ στενά συνδεδεμένη, ώστε να υπολογισθεί η τιμή του $\delta^{18}\text{O}$ του νερού, του οποίου η φωσφορική ρίζα είναι σε ισορροπία (Faure, 1986).

Το οξυγόνο ενδέχεται να εισέλθει στην οργανική ύλη από τρεις πηγές: CO_2 , H_2O και O_2 (De Niro and Epstein, 1981). Αυτό σημαίνει ότι το οξυγόνο του διοξειδίου του άνθρακα είναι σε ισορροπία με το νερό. Παρόμοια, κάθε ισότοπο από το μόριο του οξυγόνου θα έπρεπε να χάνεται από την ανταλλαγή με το νερό. Έτσι, η ιστοτοπική σύνθεση του νερού καθορίζει την ιστοτοπική σύνθεση του οξυγόνου από το οργανικό οξυγόνο (Hoefs, 1996).

Ο κύκλος του οξυγόνου είναι ο βιογεωχημικός κύκλος του οξυγόνου μέσα στις τέσσερις βασικές του δεξαμενές: η ατμόσφαιρα (αέρας), η συνολική περιεκτικότητα βιολογικής ύλης εντός της βιόσφαιρας (το συνολικό άθροισμα όλων των οικοσυστημάτων), η υδρόσφαιρα (η συνδυασμένη μάζα του νερού που βρίσκεται, κάτω και πάνω από την επιφάνεια του πλανήτη Γη), και η λιθόσφαιρα/γήινος φλοιός. Ο κύριος παράγοντας που επηρεάζει τον κύκλο του οξυγόνου είναι η φωτοσύνθεση, η οποία είναι υπεύθυνη για τη σύγχρονη ατμόσφαιρα της Γης και τη ζωή στη Γη στην παρούσα της μορφή.

Η φωτοσύνθεση είναι βιοχημική διαδικασία, κεφαλαιώδους σημασίας για τους φυτικούς οργανισμούς, κατά την οποία τα πράσινα φυτά και ορισμένοι άλλοι οργανισμοί μετασχηματίζουν τη φωτεινή ενέργεια σε χημική. Κατά τη φωτοσύνθεση, στα φυτά η φωτεινή ενέργεια δεσμεύεται και χρησιμοποιείται για τη μετατροπή διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) και νερού σε οξυγόνο και ενεργειακά πλούσιες οργανικές ενώσεις, κυρίως υδατάνθρακες (Reece *et al.*, 2011).

Τα χλωροφυλλούχα φυτά έχουν την ικανότητα να μετατρέπουν το διοξείδιο του άνθρακα και το νερό σε οργανικές ουσίες, όπως γλυκόζη, απαραίτητες για την ανάπτυξη και τη συντήρησή τους. Η φωτοσυνθετική αυτή διεργασία γίνεται με την ενέργεια του ηλιακού φωτός (Frankelius, 2020).

Η χημική αντίδραση της φωτοσύνθεσης, λεγόμενη και αντίδραση φωτοσύνθεσης είναι:



Η εισροή του οξυγόνου στον οργανισμό του ζώου γίνεται από το πόσιμο νερό, την τροφή και την εισπνοή, ενώ η εκροή γίνεται από τα ούρα, τον ιδρώτα και την εκπνοή (Grube, 2001). Το νερό και το οξυγόνο στα τρόφιμα συμβάλλουν στο νερό του σώματος σε βαθμό που να επηρεάζεται από τις συνθήκες κατανάλωσης νερού.

Όταν ένας φυτοφάγος οργανισμός λοιπόν καταναλώνει την τροφή του, δηλαδή φυτά, το οξυγόνο αποθηκεύεται στα οστά και τα δόντια και ύστερα το οξυγόνο αυτό αποτυπώνεται στις μετρήσεις μας. Το δ¹⁸O στο σμάλτο των θηλαστικών εξαρτάται από το δ¹⁸O των πηγών οξυγόνου. Άλλος τρόπος με τον οποίο το οξυγόνο περνάει στον οργανισμό και άρα θεωρείται πηγή οξυγόνου για τα υπό μελέτη θηλαστικά είναι η κατάποση νερού, καθώς και η αναπνοή. Ως πηγές νερού στο σώμα θεωρούνται το πόσιμο νερό, το νερό των τροφίμων, οι εισπνεόμενοι ατμοί και το ατμοσφαιρικό οξυγόνο (Dotsika, *et al*, 2011).

Οι μετρήσεις των ισοτόπων οξυγόνου μας δείχνουν τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος που έζησαν τα υπό μελέτη είδη, καθώς και τις παλαιοκλιματολογικές συνθήκες (Εικόνα 3). Η μελέτη του $\delta^{18}\text{O}$ σε οστά και δόντια επικεντρώνεται στη φωσφορική και την ανθρακική ρίζα (Dotsika, 2020).

Ο χημικός δεσμός φωσφόρου- οξυγόνου είναι ισχυρότερος και γι αυτό προτιμάται η ανάλυση μέσω της φωσφορικής ρίζας. Ωστόσο, για την ανακατασκευή του παλαιοπεριβάλλοντος χρησιμοποιείται και η ανθρακική ρίζα για αναλύσεις $\delta^{18}\text{O}$ και $\delta^{13}\text{C}$ (Dotsika, 2020).

Ο τύπος υπολογισμού είναι ο παρακάτω:

$$\delta^{18}\text{O} = \left(\frac{\left(\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}} \right)_{\text{sample}}}{\left(\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}} \right)_{\text{standard}}} - 1 \right) \times 1000 \text{ ‰}$$

Οι ισοτοπικοί λόγοι του Ο ως προς τη διαφορά $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ του δείγματος και ως προς το πρότυπο Standard Mean Ocean Water (SMOW).

Η ισοτοπική μελέτη του οξυγόνου μπορεί να γίνει με τη χρήση του απατίτη των οστών και των δοντιών, ενώ για την ανάλυση ισοτόπων άνθρακα μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε το κολλαγόνο είτε ο απατίτης (Εικόνα 1).

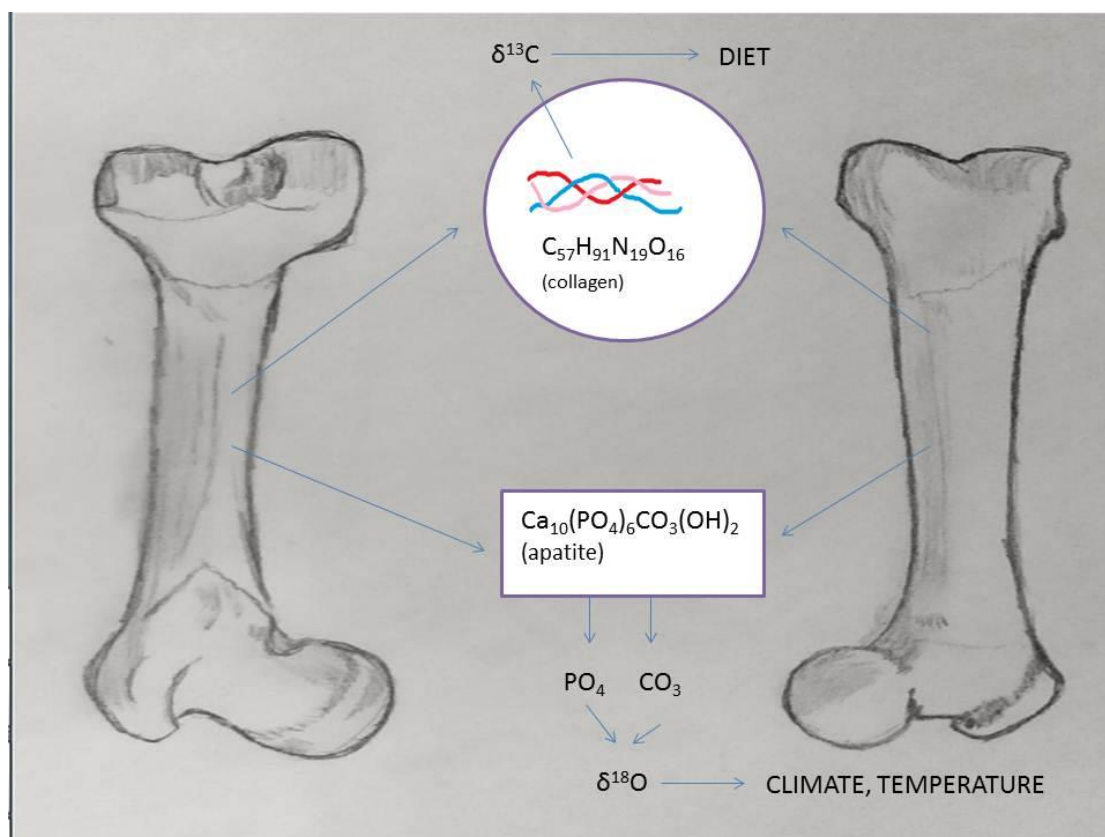
Το οξυγόνο και ο άνθρακας αποτελούν τα κύρια δομικά υλικά του σκελετού και των δοντιών. Αυτά τα στοιχεία προέρχονται κυρίως από το νερό και την τροφή που καταναλώνει το ζώο και αντανακλούν τα αντίστοιχα ισοτοπικά αποτυπώματα των αρχικών τους πηγών. Το C^{13} της ατμόσφαιρας πάει στην τροφή την οποία τα ζώα καταναλώνουν (Dotsika *et al*, 2011). Έτσι, από το κολλαγόνο που περιέχεται στα οστά μπορούμε να βγάλουμε αποτελέσματα άνθρακα, συγκεκριμένα του λόγου $\delta^{13}\text{C}$ και να μελετήσουμε τη διατροφή (Εικόνα 3).

Το ισότοπο του άνθρακα στο σμάλτο των δοντιών είναι σημαντικό εργαλείο της παλαιοδιατροφής. Από τα τρία φωτοσυνθετικά μονοπάτια, στα φυτά που ανήκουν στη φωτοσυνθετική ομάδα C3 ανήκουν δέντρα, θάμνοι, βότανα και χόρτα που ευνοούνται από ψυχρές περιόδους ανάπτυξης και δηλώνουν δροσερό υγρό κλίμα και/ ή υψηλό υψόμετρο. Στα φυτά που ανήκουν στη φωτοσυνθετική ομάδα C4 ανήκουν τα χόρτα προσαρμοσμένα σε ξηρά, θάμνοι και βότανα της Ερήμου και ζουν σε τροπικά, υποτροπικά και εύκρατα κλίματα όπου κυριαρχούν θερμές καλοκαιρινές

βροχοπτώσεις. Στη φωτοσυνθετική ομάδα CAM ανήκουν τα ορεινά βότανα (Dotsika *et al*, 2011).

Ο τύπος υπολογισμού είναι ο παρακάτω:

$$\delta^{13}\text{C} = \left(\frac{\left(\frac{^{13}\text{C}}{^{12}\text{C}} \right)_{\text{sample}}}{\left(\frac{^{13}\text{C}}{^{12}\text{C}} \right)_{\text{standard}}} - 1 \right) \times 1000 \text{ ‰}$$



ΕΙΚΟΝΑ 3: Εξαγωγή οξυγόνου και άνθρακα από απατίτη και κολλαγόνο αντίστοιχα.

Ο άνθρακας εμφανίζεται κυρίως ως διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) και μεθάνιο (CH₄). Και τα δύο απορροφούν και διατηρούν τη θερμότητα στην ατμόσφαιρα και ευθύνονται για το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Το μεθάνιο παράγει μεγαλύτερη επίδραση ανά όγκο σε σύγκριση με το CO₂, αλλά υπάρχει σε πολύ χαμηλότερες συγκεντρώσεις και είναι πιο βραχύβιο από το CO₂. Το CO₂ απομακρύνεται από την ατμόσφαιρα κυρίως μέσω της φωτοσύνθεσης και εισέρχεται στη γήινη και την ωκεάνια βίοςφαιρα. Διαλύεται επίσης απευθείας από την ατμόσφαιρα σε ωκεανούς, λίμνες και ποτάμια καθώς και μέσω της βροχόπτωσης καθώς οι σταγόνες βροχής πέφτουν στην

ατμόσφαιρα. Όταν διαλύεται στο νερό, το CO₂ αντιδρά με μόρια νερού και σχηματίζει ανθρακικό οξύ, το οποίο συμβάλλει στην οξύτητα των ωκεανών. Μπορεί να απορροφηθεί από τα βράχια μέσω των καιρικών συνθηκών ή να οξινίσει άλλα πετρώματα ή να ξεπλυθεί στον ωκεανό (Long, 2003). Οι ανθρώπινες δραστηριότητες τα τελευταία 200 χρόνια έχουν αυξήσει δραματικά την ποσότητα άνθρακα στην ατμόσφαιρα, κυρίως με τη μορφή CO₂, τόσο τροποποιώντας την ικανότητα των οικοσυστημάτων να εξάγουν CO₂ από την ατμόσφαιρα όσο και εκπέμποντάς το απευθείας με την καύση ορυκτών καυσίμων και την παραγωγή σκυροδέματος (Buis *et al.*, 2015).

Ο κύκλος του άνθρακα είναι ο βιογεωχημικός κύκλος στον οποίο ο άνθρακας ανταλλάσσεται μεταξύ της βιόσφαιρας, της υδρόσφαιρας και των γεωλογικών σχηματισμών της Γης. Ο άνθρακας είναι το κύριο συστατικό των βιολογικών ενώσεων καθώς και ένα σημαντικό συστατικό πολλών πετρωμάτων όπως ο ασβεστόλιθος. Μαζί με τον κύκλο του αζώτου και τον κύκλο του νερού, περιλαμβάνει μια ακολουθία γεγονότων που είναι βασικά για να γίνει η Γη ικανή να διατηρήσει τη ζωή. Ο κύκλος αυτός περιλαμβάνει την κίνηση του άνθρακα καθώς ανακυκλώνεται και επαναχρησιμοποιείται σε όλη τη βιόσφαιρα. Επίσης περιλαμβάνει τις μακροχρόνιες διαδικασίες δέσμευσης και απελευθέρωσής του από τις δεξαμενές άνθρακα. Τα βιολογικά και ανθρωπογενή μονοπάτια του είναι πολύ ταχύτερα από τα γεωχημικά μονοπάτια και, κατά συνέπεια, έχουν μεγαλύτερη επίδραση στη σύνθεση και στη θερμοκρασία της ατμόσφαιρας (National Geographic Society, 2019).

2.4 ΙΣΟΤΟΠΙΚΗ ΑΛΛΟΙΩΣΗ

Αφού θα χρησιμοποιήσουμε σταθερά ισότοπα σε οστά και δόντια απολιθωμένα θα πρέπει να είμαστε σίγουροι ότι οι αρχικές τιμές των ισοτόπων δεν έχουν μεταβληθεί ουσιαστικά μετά το θάνατο. Οι απολιθωμένοι ιστοί υπόκεινται αναπόφευκτα σε κάποιο βαθμό αλλοίωσης, δηλαδή αντικατάστασης των αρχικών στοιχείων του οστού με στοιχεία από τα περιβάλλοντα πετρώματα. Η διαγένεση στα οστά, την οδοντίνη και την αδαμαντίνη διαφέρουν σημαντικά λόγω των χημικών και δομικών τους διαφορών, ενώ οι κύριες εξωτερικές επιδράσεις είναι αυτές της υγρασίας, του pH, της μικροβιακής προσβολής, της θερμοκρασίας και του χρόνου (Lee-Thorp, 2008).

Οι επιδράσεις της πρώιμης διαγένεσης στις ισοτοπικές συστάσεις απολιθωμένης αδαμαντίνης δεν είναι ακόμη πλήρως κατανοητές, ειδικά παρουσία μικροοργανισμών

του εδάφους. Πράγματι, οι Zazzo *et al.*, (2004) απέδειξαν πειραματικά ότι οι κρυσταλλίτες αδαμαντίνης θα μπορούσαν να παρουσιάσουν ανταλλαγή ισοτόπων οξυγόνου με το νερό του εδάφους παρουσία βακτηρίων και μυκήτων. Επιπλέον, οι ίδιοι συγγραφείς έδειξαν ότι το πρωτόκολλο προεπεξεργασίας που χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση εξωγενών ανθρακικών (Lee Thorp και Van der Merwe, 1987; Koch *et al.*, 1997) δεν εξαλείφει τα διαγενετικά σήματα.

Ο όρος διαγένεση χρησιμοποιείται για να περιγράψει τις αλλαγές και τις αλλοιώσεις που συμβαίνουν στο σκελετικό υλικό. Η διαδικασία ουσιαστικά τροποποιεί την αρχική δομική και χημική ιδιότητα του οστού μετά την ταφή του (Wilson *et al.*, 2002; Zarata *et al.*, 2006). Στις αλλοιώσεις που θα υποστεί το κάθε οστό παίζει ρόλο η σύνθεσή του, η σύνθεση του εδάφους που το περιβάλλει και το τοπικό περιβάλλον ταφής (γεωλογία, υπόγεια ύδατα, κλιματολογία) (Zarata *et al.*, 2006).

Όπως έχουμε ήδη αναφέρει, ένα οστό αποτελείται από 1/3 πρωτεϊνικό κολλαγόνο και 2/3 φωσφορικό ασβέστιο με τη μορφή ανθρακικού υδροξυλαπατίτη (Nicholson, 1996). Η μεταβολή στη σύνθεση του οστού μπορεί να σημαίνει μοριακή απώλεια και υποκατάσταση μέσω κρυσταλλικής αναδιοργάνωσης πορώδους και μικροδομικών αλλαγών έως πλήρη αποσύνθεση (Nielsen-Marsh, 2000).

Υπάρχουν τρεις τρόποι διαγένεσης:

1. Χημική αλλοίωση οργανικής φάσης
2. Χημική αλλοίωση ανόργανης φάσης
3. Μικροβιολογική προσβολή του υλικού (Collins *et al.*, 2002).

Οι Bocherens *et al.* (1996) κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι αν και η αδαμαντίνη μπορεί να είναι ανθεκτική, η οδοντίνη και άλλοι πορώδεις φωσφορικοί ιστοί δεν είναι (Kohn *et al.*, 1999).

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την αποσύνθεση κατά τη διαγένεση των σκελετικών στοιχείων είναι οι γεωχημικές συνθήκες του τόπου ταφής τους (Hare, 1980; Gordon & Buikstra, 1981; Von Endt & Ortner, 1984; Hanson & Buikstra, 1987; Newesely, 1987; 1989, όπως:

1) Η υγρασία του περιβάλλοντος μέσου. Η υγρασία σχετίζεται με τις κλιματολογικές συνθήκες μιας περιοχής. Έτσι, σε περιοχές με χαμηλές βροχοπτώσεις και υψηλή εξατμισοδιαπνοή, έχουμε πληθώρα ευδιάλυτων αλάτων των στοιχείων Ca, Na, Mg και K, τα οποία μπορούν να απορροφηθούν από τα απολιθώματα (Pate *et al.*, 1989). Η υγρασία επίσης είναι ένας παράγοντας που επηρεάζει τη δράση των

μικροοργανισμών. Πολύ ξηρές περιοχές δεν ευνοούν τη μικροβιακή δράση, αλλά ούτε και οι πολύ υγρές περιοχές λόγω ανοξικών συνθηκών. Πιο ενδιάμεσες καταστάσεις μπορεί να διαφοροποιούνται χρονικά (εποχές) ή χωρικά (με την κίνηση του νερού) αλλά αυτό δεν φαίνεται να επηρεάζει και πολύ στη διαφοροποίηση.

2) Το pH του περιβάλλοντος μέσου. Είναι πλέον αποδεκτό ότι η διατήρηση των απολιθωμάτων παρατηρείται σε ουδέτερα και αλκαλικά περιβάλλοντα ($\text{pH} \geq 7$) ενώ σε όξινα έχουμε διάλυση τους (Keeley, *et al.*, 1977; Bryda Szpunar, *et al.*, 1978; Child, 1995a, b). Για παράδειγμα, σε όξινα περιβάλλοντα έχουμε αποσάθρωση του απατίτη των οστών λόγω απομάκρυνσης των φωσφορικών διαλυμάτων από τα γύρω διαλύματα και καθίζησης του υπό μορφή φωσφορικών ορυκτών του Fe και του Al. Έτσι, προς διατήρηση της χημικής ισορροπίας, το οστό οδηγείται σε διάλυση. Σε σχετικά όξινο περιβάλλον, όταν έχουμε μειωμένο λόγο ασβεστίου-φωσφόρου αναμένεται διάλυση, ενώ ένας αυξημένος λόγος Ca/P οδηγεί σε αναστολή της διάλυσης και σταθεροποίησης του απατίτη (Balmain *et al.*, 1982; White & Hannus, 1983; Price *et al.*, 1992; Quattropani *et al.*, 1999).

3) Το δυναμικό οξειδοαναγωγής του (Eh). Ορίζει τη σταθερότητα ή την κινητικότητα κάποιων χημικών ενώσεων, καθώς και τη βακτηριακή δράση (Child, 1995a, b). Υπάρχουν στοιχεία με ποικιλία σθενών, τα οποία μεταπηδούν από το ένα στο άλλο ανάλογα με το Eh, αλλάζοντας έτσι τη διαλυτότητα τους, και την κατανομή τους εντός του οστού. Το δυναμικό οξειδοαναγωγής μεταβάλλεται κατά τη διαγένεση, συχνά και από το ίδιο το οστό. Σχετίζεται με το pH του ιζήματος και θεωρητικά αυξάνει με τη μείωση του τελευταίου (Stathoroulou, 2006).

4) Το ποσοστό του οργανικού υλικού εντός του ευρύτερου περιβάλλοντος ταφής. Η ύπαρξη χουμικών οξέων κλπ επηρεάζουν τις συνθήκες της θέσης και άρα την ανάπτυξη μικροοργανισμών κλπ (Stathoroulou, 2006).

5) Η ορυκτολογία και η υφή του. Παρατηρείται διαφορετική διατήρηση όχι μόνο μεταξύ διαφορετικών θέσεων, αλλά και μεταξύ οριζόντων της ίδιας θέσης. Ιζήματα φτωχά σε φώσφορο οδηγούν σε διάλυση του οστού, ενώ ο εμπλουτισμός τους σε αυτόν επιβραδύνει τη διαδικασία και οδηγεί σε απλή ανακρυστάλλωση (Quattropani, *et al.*, 1999). Κατά τον Child (1995b), η σύσταση του ιζήματος είναι πιο σημαντικός παράγοντας από το χρόνο παραμονής των οστών σε αυτό. Ο ίδιος συγγραφέας αναφέρει ότι η ύπαρξη χαλκού στο ίζημα καθώς και κάποιων άλλων συστατικών, βοηθά στη διατήρηση των απολιθωμάτων. Τέλος, η σύσταση του ιζήματος ορίζει το είδος των διεισδύσεων και εγκλεισμάτων. Κατά τον Piepenbrink, (1989), τα αμμώδη ιζήματα θεωρούνται «ανοικτά συστήματα», στα οποία επικρατεί η απόπλυση

συστατικών από το οστό προς το περιβάλλον όπως το ασβέστιο και ο φώσφορος. Αποτέλεσμα αυτής της απομάκρυνσης είναι η δημιουργία μικρο-ρωγμών στη δομή του οστού, δηλαδή τη συστολή του όγκου του. Επιπλέον διάνοιξη αυτών μπορεί να προκαλέσει η καθίζηση ασβεστίτη, με ασβέστιο προερχόμενο από το διαλυμένο απατίτη και ανθρακική ρίζα από το γύρω έδαφος. Αυτό επιδρά και στο λόγο Ca/P (Stathoroulou, 2006).

6) Η ευκολία μεταφοράς υλικού, που συσχετίζεται με το μέγεθος των κόκκων, τον όγκο των πόρων και τη διαλυτότητα του υλικού του περιβάλλοντος μέσου.

Σε κλειστά περιβάλλοντα, όπου δεν ενδείκνυται η απόπλυση, ευνοείται η διατήρηση των οστών (Stathoroulou, 2006).

7) Οι φυσικές πιέσεις. Αφορούν κυρίως την πίεση λόγω βάρους του υπερκείμενου εδάφους (Stathoroulou, 2006).

8) Η θερμοκρασία. Εξαρτάται από τη θερμοκρασία του αέρα και το βάθος ταφής. Επηρεάζει σημαντικά την ύπαρξη μικροοργανισμών (Child *et al.*, 1993; Child, 1995a, b). Χαμηλές θερμοκρασίες είναι απαγορευτικές για μικροβιακή δράση. Εναλλαγές υψηλών και χαμηλών θερμοκρασιών οδηγεί σε θραύση του οστού, λόγω διαστολής–συστολής του (Stathoroulou, 2006).

9) Η τοπική κίνηση του υπόγειου νερού. Το υπόγειο νερό συμμετέχει σε πολλές από τις διεργασίες της διαγένεσης, όπως η διάλυση του οστού, η αύξηση της κρυσταλλικότητας και η προσρόφηση χημικών στοιχείων από αυτό (Hedges & Millard *et al.*, 1995) καθ' ότι είναι συνήθως το μέσο στο οποίο λαμβάνουν χώρο οι μεταβολές και το μέσο μεταφοράς εξωγενών και ενδογενών υλικών, προς, από και μέσω του οστού. Είναι ιδιαίτερα σημαντική λοιπόν, η ποσότητα του, η κίνηση του, και η κινητικότητα των εν διαλύσει συστατικών του. Ο ρόλος του νερού, και άρα της υδρολογίας της κάθε περιοχής, επιδρά μέσω της διάχυσης, της εκφόρτισης και της υδραυλικής ροής. Αυτά μπορούν να δρουν ταυτόχρονα ενώ η σημασία τους εξαρτάται από το πόσο έχει μεταβληθεί το πορώδες του οστού κατά τη διαγένεση και από το είδος της χημικής μεταβολής που υφίσταται. Το νερό επιδρά με το οστό στην επιφάνεια των κενών λόγω πορώδους, και έτσι είναι σαφής η σημασία του στις διεργασίες αποσύνθεσης του οστού. Κατά τη διαγένεση παρατηρείται τάση μείωσης του μικροπορώδους και αύξησης του μεγαλύτερου πορώδους (Cattaneo *et al.*, 1995).

10) Η περιεκτικότητα φθορίου και ανθρακικής ρίζας στα διαλύματα του εδάφους.

Γενικά, η σύσταση των υδατικών διαλυμάτων που κυκλοφορούν εξαρτώνται από τη

σύσταση των γύρω σχηματισμών και ορίζει την ύπαρξη στοιχείων και ορυκτών φάσεων που εισέρχονται στο οστό (Newesely, 1989).

11) Η προσφορά ιζήματος και η κατανομή καθίζησης του. Αφορά ουσιαστικά την ταχύτητα ιζηματογένεσης και άρα το πόσο γρήγορα θα καλυφθούν τα υπολείμματα των οργανισμών από ίζημα (Stathoroulou, 2006).

12) Η μικροβιολογική δράση. Η δράση των μικροοργανισμών επηρεάζει σημαντικά τη διαδικασία της διαγένεσης, αφού επιφέρει καταστρεπτικά αποτελέσματα και στη δομή του οστίτη ιστού αλλά και της οδοντίνης (Hackett, 1981; Hanson *et al.*, 1987; Oloriz *et al.*, 2004). Αυτό οφείλεται κυρίως στα οξέα που παράγονται κατά τη μικροβιακή αποσύνθεση του κολλαγόνου, τα οποία διαλύουν τον απατίτη του σκληρού ιστού και καταστρέφουν την ιστολογική δομή του (Pate *et al.*, 1989). Η δράση τους επηρεάζει ακόμη την ιστοτοπική σύσταση των σκελετικών στοιχείων (Grube *et al.*, 1989; Zazzo *et al.*, 2004). Πολλά βακτήρια και οι περισσότεροι μύκητες είναι αερόβιοι. Δημιουργούν διάτρηση του ιστού και καταστροφή των κενών του, καθώς και καθίζηση ορυκτών φάσεων εντός των οπών των σκελετικών στοιχείων (Lucas & Prevot, 1985; Carpenter, 1998; 1999). Ανάλογη δράση φαίνεται να έχουν και σε φωσφορικά και ανθρακικά ιζήματα (Pomoni-Papaioannou, 1994; Soudry, 2000a; b; Πομόνη-Παπαϊωάννου, 2001; Van Lith *et al.*, 2003). Η μικροβιακή δράση εξαρτάται από τις γεωχημικές συνθήκες της θέσης ταφής. Πρέπει να τονίσουμε ότι συντελείται περίπου μέσα στα πρώτα 500 περίπου χρόνια από την ταφή των σκελετικών στοιχείων (Hedges & Millard *et al.*, 1995).

13) Η διάρκεια ταφής. Επηρεάζει σημαντικά τη διατήρηση τόσο των οργανικών όσο και των ανόργανων συστατικών του οστού (Bartsiokas & Middleton, 1992).

14) Η θέση των οστών, σε σχέση με τον υδροφόρο ορίζοντα. Σύμφωνα με τους Millard & Hedges (1995), σκελετικά στοιχεία σε περιοχές μόνιμα καλυμμένες με νερό, εμφανίζουν συνήθως καλά διατηρημένη ιστολογία, ενώ αυτά σε περιοχές που πλημμυρίζουν σε τακτά χρονικά διαστήματα και άρα παρουσιάζουν εναλλαγές των υδρολογικών συνθηκών τους, εμφανίζουν κακή διατήρηση της (Stathoroulou, 2006).

15) Το βάθος στο οποίο βρίσκονται τα οστά. Καθορίζει τη λιθοστατική πίεση που επιδέχονται τα σκελετικά στοιχεία αλλά και την ύπαρξη η μη οξυγόνου καθώς και τη θερμοκρασία, και άρα την ύπαρξη μικροοργανισμών (Nicholson, 1996; 1998).

Η ιστοτοπική αλλοίωση μπορεί να γίνει με πέντε τρόπους (Koch, 2007). Ο πιο προφανής είναι η καθίζηση δευτερευόντων ορυκτών πάνω ή γύρω από τους

κρυστάλλους του βιοαπατίτη στα υπολείμματα του οστού. Αυτό συμβαίνει μετά την ταφή, καθώς οι κόκκοι του εδάφους ή τα υπόγεια ύδατα περνούν μέσα από τα κενά των πόρων του σκελετού. Αυτό όμως μπορεί να συμβεί και πριν την ταφή σε ημιάνυδρα και άνυδρα περιβάλλοντα, όταν η υγρασία του εδάφους περνάει στα οστά που βρίσκονται στην επιφάνεια. Με τον ίδιο τρόπο μπορεί να απορροφώνται ιόντα από το περιβάλλον ταφής στην επιφάνεια του βιοαπατίτη. Αυτή η τροποποίηση μπορεί να επηρεάσει το υλικό, αλλά μπορεί να απομακρυνθεί ελεγχόμενα στο εργαστήριο κατά τη διάρκεια προετοιμασίας της ανάλυσης (Clemenz, 2012).

Σε μεγαλύτερη χρονική κλίμακα, ο απατίτης μπορεί να αλλοιωθεί εκτενέστερα με ανταλλαγή ιόντων ή ατόμων εντός του κρυσταλλικού πλέγματος, διάλυση, επανεισαγωγή και ανακρυστάλλωση. Αυτοί οι τρεις τρόποι αλλοίωσης είναι αδύνατο να διορθωθούν (Clemenz, 2012).

Οι Kohn και Cerling (2002) χρησιμοποίησαν τις εξής μεθόδους για την εκτίμηση της αλλοίωσης:

- Εκτίμηση έκτασης ετερογένειας ή ομοιογένειας μεταξύ των δειγμάτων
- Αξιοποίηση ιστοτοπικών διαφορών μεταξύ των ειδών
- Διατήρηση αναμενόμενων διαφορών μεταξύ των ιστών στην ιστοτοπική σύνθεση από ένα μόνο δείγμα
- Αλλαγές στους κρυστάλλους του βιοαπατίτη μέσω της αλλοίωσης
- Σύγκριση με την ιστοτοπική σύνθεση των γύρω ιζημάτων
- Διατήρηση της αναμενόμενης συσχέτισης μεταξύ χημικών συστατικών του ίδιου οστού (PO_4 και CO_3).

Η ιστοτοπική ακεραιότητα των υλικών θα πρέπει πάντα να αξιολογείται. Για να επιλυθεί ο μηχανισμός και ο αντίκτυπος της διαγενετικής αλλοίωσης στη σύνθεση ιστοτόπων οξυγόνου του απολιθωμένης αδαμαντίνης, πρέπει να καθορίσουμε εάν η διαγενετική διαδικασία ελέγχεται ανόργανα ή μικροβιακά. Εάν κατά τη διαγένεση επικρατούν ανόργανες αντιδράσεις, οι τιμές $^{18}\text{O}_c$ (από την ανθρακική ρίζα του απατίτη) αναμένεται να επηρεαστούν περισσότερο από τις τιμές $^{18}\text{O}_p$ (από τη φωσφορική ρίζα του απατίτη). Εάν οι μικροοργανισμοί εμπλέκονται κατά τη διάρκεια των διαδικασιών αλλοίωσης, εντούτοις, μπορεί να υπάρξει ανταλλαγή ιστοτόπων οξυγόνου μεταξύ υδατικών υγρών που αντιδρούν και οξυγόνου τόσο σε φωσφορικό όσο και σε ανθρακικό απατίτη. Μέχρι σήμερα, τα μόνα διαθέσιμα κριτήρια για τον προσδιορισμό της μεταθανάτιας ιστοτοπικής ανταλλαγής μεταξύ του βιοαπατίτη και του ταφικού του περιβάλλοντος είναι (1) η σύγκριση των τιμών της αδαμαντίνης ^{18}O με εκείνες που σχετίζονται με το οστό ή την οδοντίνη (Ayliffe *et al*, 1992; Sharp *et al*, 2000) και (2)

σύγκριση συνυπάρχουσας τιμής $^{18}\text{O}_\text{c}$ και $^{18}\text{O}_\text{p}$ από το ίδιο δείγμα (Iacumin *et al*, 1996; Fricke *et al*, 1998; Shahack-Gross *et al*, 1999). Καμία από τις δύο προσεγγίσεις δεν παρέχει πληροφορίες σχετικά με τη διαδικασία αλλαγής. Οι συγκρίσεις σμάλτου-οδοντίνης δείχνουν μόνο εάν η αδαμαντίνη είναι λιγότερο αλλοιωμένο από την οδοντίνη, αλλά δεν αποδεικνύουν ότι η αδαμαντίνη διατηρείται πλήρως και η σχεδίαση $^{18}\text{O}_\text{c}$ - $^{18}\text{O}_\text{p}$ ζευγαριών αδαμαντίνης ή οδοντίνης (Zazzo, 2004).

Δομικά, η αδαμαντίνη είναι εξαιρετικά συμπαγής, με ελάχιστους πόρους, μεγάλους κρυσταλλίτες βιοαπατίτη (μήκος 1000 nm), και συμπαγή υφή. Αντίθετα, η οδοντίνη είναι πορώδης με σωληνάρια διαμέτρου 1 nm και πολύ μικρότερους κρυσταλλίτες, μήκους 100 nm (Hillson, 1986; Kohn *et al*, 1999).

Εάν βακτήρια ή άλλοι μικροοργανισμοί εμπλέκονται στην απόθεση δευτερογενών ορυκτών, τότε είναι πιο πιθανό να συμβαίνει μέσω της απελευθέρωσης εξωκυτταρικών καταλυτικών ενζύμων (Tebo *et al.*, 1997). Τέτοια ένζυμα θα μπορούσαν, κατ' αρχήν, να διαπεράσουν τα δόντια και να διευκολύνουν τη δευτερογενή απόθεση ορυκτών (Kohn *et al*, 1999).

Ακόμα κι αν εξωκυτταρικά βακτηριακά ένζυμα ή εξωπολυμερή διευκολύνουν τη δευτερογενή απόθεση ορυκτών και προκαλούν κάποια διάλυση ή μεταφορά φωσφορικών, δεν πιστεύουμε ότι αυτό θα επηρεάσει τη σύνθεση ισοτόπων οξυγόνου των υπολειμμάτων υλικών (Blake *et al.*, 1997; 1998).

Η μεγαλύτερη οργανική περιεκτικότητα και το μικρότερο μέγεθος κρυστάλλου της οδοντίνης μπορεί να την καταστήσουν πιο ευαίσθητη σε αλλοιώσεις από την αδαμαντίνη. Η φωσφορική αδαμαντίνη έχει σύνθεση: $\text{Ca}_{4.5} [(\text{PO}_4)_{2.7} (\text{HPO}_4)_{0.2} (\text{CO}_3)_{0.3}] (\text{OH})_{0.5}$, όπου CO_3 και HPO_4 υποκαθιστούν το PO_4 και αυτό εξισορροπείται από τις κενές θέσεις Ca και OH. Άλλες σημαντικές υποκαταστάσεις περιλαμβάνουν επιπλέον CO_3 και Cl στη θέση OH και Na και Mg στη θέση Ca. Η οδοντίνη έχει λιγότερο PO_4 και Ca και υψηλότερο Mg και CO_3 (Driessens and Verbeeck, 1990; Kohn *et al*, 1999).

Επειδή το 90% του ανθρακικού συστατικού των δοντιών βρίσκεται στη θέση P του απατίτη (Elliott *et al.*, 1985) και επειδή αυτή η θέση φαίνεται ανθεκτική στη διαγενετική αλλοίωση, είναι πιθανό το μεγαλύτερο μέρος του CO_3 στα δόντια να είναι επίσης ανθεκτικό. Ωστόσο, το υπόλοιπο 10% εντοπίζεται στη θέση OH και μπορεί να μην είναι τόσο ανθεκτικό στην ανταλλαγή ή την αλλοίωση. Ομοίως, οι μαζικές αναλύσεις των δοντιών πρέπει να αντιπροσωπεύουν το 5% έως 6% του συνολικού οξυγόνου που

βρίσκεται στη θέση OH, το οποίο προφανώς επηρεάζεται από τη διαγένεση (Kohn *et al.*, 1999).

Η επίδραση της ανταλλαγής ισοτόπων οξυγόνου στη θέση OH (είτε συστατικά OH είτε CO₃) στο δόντι ή στο CO₃ δ¹⁸O είναι πιο δύσκολο να εντοπιστεί. Γενικά, τα ζώα έχουν υψηλότερο ποσοστό νερού σώματος δ¹⁸O και υψηλότερη θερμοκρασία σώματος από το έδαφος και τα υπόγεια ύδατα, και η κλασμάτωση μεταξύ νερού έναντι φωσφορικών, ανθρακικών ή πυριτικών αλάτων αυξάνεται με τη μείωση της θερμοκρασίας με τυπική αναλογία 0,25 ‰/° C στους 0 έως 40 ° C (Friedman and O'Neil, 1977).

Επειδή το νερό θα μπορούσε να εμπλουτιστεί ή να εξαντληθεί σε ¹⁸O, η μερική έως πλήρης ανταλλαγή με το ίδιο νερό στην ίδια θερμοκρασία θα μπορούσε να προκαλέσει μεταβολές στο οξυγόνο από 0 ‰ έως 210 ‰, με αποτέλεσμα 0 ‰ έως 20,5 ‰ μετατόπιση δ¹⁸O (Kohn *et al.*, 1999).

Όπως προαναφέρθηκε, η μελέτη σταθερών ισοτόπων μπορεί να γίνει είτε από το κολλαγόνο, είτε από το βιοαπατίτη. Ο βιοαπατίτης υπάρχει στα οστά και στα δόντια. Όμως ο απατίτης των οστών είναι ιδιαίτερα υποκατεστημένος (περίπου 6% CO₃) με πολύ χαμηλή κρυσταλλικότητα (White *et al.*, 2005). Από την άλλη πλευρά, ο απατίτης των δοντιών έχει λιγότερες αντικαταστάσεις (~3% CO₃), υψηλότερη κρυσταλλικότητα και πυκνότητα και υψηλότερης τάξης πρισματικές δομές. Ο βιοαπατίτης παραμένει πιο σταθερός σε συνθήκες ανακρυστάλλωσης και ανάπτυξης κρυστάλλων. Στα οστά, οι μετρήσεις κρυσταλλικότητας (περίθλαση ακτίνων X και φασματοσκοπία υπερύθρου με μετασχηματισμό Fourier) δείχνουν ραγδαίες αυξήσεις ανακρυστάλλωσης μετά το θάνατο του ζώου, ακόμη και απουσία περιβαλλοντικών παραγόντων (Lee Thorp & Sponheimer, 2003). Οι αλλαγές στο σμάλτο όμως είναι ελάχιστες, ακόμα και μετά από πολύ μεγάλες περιόδους. Η ανακρυστάλλωση μπορεί να επηρεάσει την ισοτοπική σύνθεση των απολιθωμάτων. Μπορεί επίσης σε κλίμακα χρόνου να υπάρξει καθίζηση ξένων ορυκτών σε ρωγμές και πόρους. Ο απατίτης των οστών είναι πιο ευάλωτος στα είδη αλλοιώσεων, ενώ του σμάλτου παραμένει πιο αναλλοίωτος (Dittmann & Grupe 2000).

Το κολλαγόνο από την άλλη πλευρά, είναι βραχύβιο σε σύγκριση με το βιοαπατίτη, αλλά είναι πολύ πιο ανθεκτικό και σε μετρήσιμες ποσότητες μπορεί να επιβιώσει για πάνω από 100.000 χρόνια σε βέλτιστες συνθήκες (Grupe, 2001).

Η υψηλή πυκνότητα της αδαμαντίνης, η χαμηλή οργανική περιεκτικότητα και το μεγάλο μέγεθος κρυστάλλων αυξάνουν την ανθεκτικότητά της στη διαγενετική αλλοίωση. Μέσα στην αδαμαντίνη μπορεί να πραγματοποιηθεί ανάλυση σταθερών ισοτόπων σε

διάφορα στοιχεία. Στο οξυγόνο μέσω της φωσφορικής ρίζας PO_4 , στον άνθρακα και το οξυγόνο από το CO_3 , που είναι δομικά ενσωματωμένα στο πλέγμα της αδαμαντίνης. Ιστοτοπική ανάλυση μπορεί να γίνει επίσης στο ασβέστιο και στο στρόντιο που είναι κύρια στοιχεία και ιχνοστοιχεία αντίστοιχα στη δομή του βιοαπατίτη.

3. ΙΠΠΟΠΟΤΑΜΟΣ

3.1 ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ

Ο ιπποπόταμος, που στα αρχαία ελληνικά σημαίνει “Ποτάμιο άλογο”, είναι ένα μεγάλο φυτοφάγο θηλαστικό που σήμερα ζει στην Αφρική. Δύο μόνο είδη της οικογένειας Hippopotamidae ζουν σήμερα: το είδος που ζει στην Αφρική και ο νάνος ιπποπόταμος που ζει στη Μαδαγασκάρη (Williams, 2017).

Η πρώτη απόδειξη ότι οι άνθρωποι είχαν σχέση με τους ιπποπόταμους προέρχεται από σημάδια από σφαγές σε οστά ιπποπόταμων στο σχηματισμό Bouri πριν από περίπου 160.000 χρόνια (Clark *et al.*, 2003). Μεταγενέστερες βραχογραφίες και χαράξεις που δείχνουν ιπποπόταμους να κυνηγιούνται έχουν βρεθεί στα βουνά της κεντρικής Σαχάρας από 4.000-5.000 χρόνια πριν κοντά στο Djaret (Eltringham, 1999). Οι αρχαίοι Αιγύπτιοι γνώριζαν επίσης πολλά για τους ιπποπόταμους. Ήξεραν ότι ο ιπποπόταμος ήταν ένα άγριο ζώο που ζούσε στον Νείλο. Στην αιγυπτιακή μυθολογία, η Tawaret, θεά της προστασίας στην εγκυμοσύνη και τον τοκετό, είχε το κεφάλι ενός ιπποπόταμου. Αυτό συνέβαινε επειδή οι αρχαίοι Αιγύπτιοι έβλεπαν πόσο προστατευτικοί μπορούσαν να είναι οι θηλυκοί ιπποπόταμοι με τα μικρά τους (Williams, 2017).

Οι ιπποπόταμοι είναι ημιυδρόβια θηλαστικά και προτιμούν το μουσωνικό και βροχερό κλίμα. Σχηματίζουν κοπάδι 10 με 30 ατόμων. Βέβαια, κάποια κοπάδια μπορεί να αποτελούνται από 200 άτομα (National Geographic Society, 2019). Ζουν σε περιοχές με άφθονο νερό, καθώς περνούν τον περισσότερο χρόνο τους βυθισμένο για να διατηρούν το δέρμα τους δροσερό και υγρό. Περνούν έως και 16 ώρες την ημέρα μισοβυθισμένοι σε ρηχά, γλυκά νερά τροπικών ποταμών, ή και σε λίμνες για να διατηρήσουν τα σώματά τους δροσερά κάτω από τον ήλιο. Δεν επιπλέουν γενικά, ενώ είναι καλοί κολυμβητές και μπορούν να κρατήσουν την αναπνοή τους 5 λεπτά ή και παραπάνω. Τα μάτια και τα ρουθούνια τους βρίσκονται ψηλά στο κεφάλι τους, γεγονός

που τους επιτρέπει να βλέπουν και να αναπνέουν ενώ είναι μισοβυθισμένοι. Συμπληρώνουν τα 40 με 50 έτη ζωής (Lewison & Oliver, 2008).

Τα αρσενικά αυξάνουν το μέγεθός τους καθ όλη τη διάρκεια της ζωής τους, ενώ τα θηλυκά φτάνουν στο μέγιστο βάρος τους στην ηλικία των 25 ετών (Dore, 2020). Επειδή ο ιπποπόταμος δεν έχει αδένες ιδρώτα, βασίζεται στο νερό και τη λάσπη για να διατηρήσει το σώμα του δροσερό. Ο ιπποπόταμος έχει ειδικούς αδένες που εκκρίνουν κόκκινο υγρό. Αυτό το υγρό δημιούργησε το μύθο ότι οι ιπποπόταμοι ιδρώνουν αίμα. Μπορεί και πίνει έως και 56 γαλόνια νερού σε μια μέρα (National Geographic).

Τρώνε γύρω στα 35 με 40 κιλά γρασίδι και βλαστούς, κυρίως μέσα στη νύχτα. Μπορούν να ταξιδέψουν 6 μίλια για αναζήτηση τροφής. Εάν τα τρόφιμα είναι λιγοστά, οι ιπποπόταμοι μπορούν να αποθηκεύσουν τρόφιμα στο στομάχι τους και να φτάσουν έως και τρεις εβδομάδες χωρίς φαγητό (National Geographic).

Οι ιπποπόταμοι περνούν τις νύχτες βόσκοντας στη σαβάνα και κατά τη διάρκεια της ημέρας βουτούν σε ρηχές πισίνες για να δροσιστούν και να ξεφύγουν από τον ήλιο (Lewison, 2011). Οι ιπποπόταμοι αφοδεύουν στο νερό και τα απεκκρινόμενα απόβλητά τους εμπλουτίζουν τα θρεπτικά συστατικά στο νερό με αποτέλεσμα ευνοϊκές συνθήκες για τα διάτομα, τα μακροασπόνδυλα και τους μεγάλους πληθυσμούς ψαριών (Olivier and Laurie, 1974; Onyeanusu 1999; McCauley *et al.*, 2015). Ορισμένοι πληθυσμοί ψαριών παρατηρήθηκε ότι τρέφονται με μικροοργανισμούς και φύκια που αναπτύσσονται στο δέρμα του ιπποπόταμου ιδιαίτερα γύρω από τις οπλές (Onyeanusu, 1999).

Είναι δύσκολο να αποφασίσουμε αν ο ιπποπόταμος προτιμά τις λίμνες, τους ποταμούς ή το αλμυρό νερό της θάλασσας για τη διαμονή του κατά τη διάρκεια της ημέρας. Όταν υπάρχει η ελευθερία της επιλογής κάποιοι ιπποπόταμοι διαλέγουν το ένα και κάποιοι διαλέγουν το άλλο. Κάποιοι ερευνητές (Smith, 1849) υποστηρίζουν ότι κατά την περίοδο του Πλειστόκαινου είναι πιθανό οι ελέφαντες και οι ιπποπόταμοι να μπορούσαν να κατοικούν σε ποταμούς που εκβάλλουν στη Μεσόγειο τόσο στα βόρεια όσο και στα ανατολικά της Κύπρου. Έτσι, η πιθανότητα ότι τα ρεύματα έφεραν έναν αριθμό από αυτά τα ζώα μέχρι την Κύπρο είναι υπαρκτή (Swiny, 1995). Η μορφολογία των δοντιών του ιπποπόταμου υποδεικνύουν ένα φυτοφάγο ζώο (Simmons, 1999).

Καθώς οι ιπποπόταμοι κυλιούνται, εκκρίνουν απόβλητα, τα οποία σε ορισμένες περιπτώσεις εξαντλούν το οξυγόνο από το νερό καθώς αυτό αποσυντίθεται (Olivier and Laurie, 1974). Η μικροβιακή δραστηριότητα στην κοπριά και στα ίχνη των

ιπποπόταμων παράγει επίσης χημικές ουσίες όπως το αμμώνιο και το σουλφίδιο, που είναι γνωστό ότι είναι τοξικά για τα ψάρια (Bengis *et al.*, 2016; Dutton *et al.*, 2018; Stears *et al.*, 2018). Αυτό είχε ως αποτέλεσμα τη θανάτωση πολλών ψαριών σε υδατικά συστήματα μολυσμένα από ιπποπόταμους (Mosepele *et al.*, 2009; Wolanski and Gereta, 1999; Dawson *et al.*, 2016; Dutton *et al.*, 2018).

Επιπλέον, η κοπριά του ιπποπόταμου επηρεάζει την κατανομή του οξυγόνου στη στήλη του νερού, με τα υψηλότερα επίπεδα οξυγόνου να βρίσκονται στην επιφάνεια του νερού. Τα ψάρια αλλάζουν τη συμπεριφορά τους και μετακινούνται στην επιφάνεια του νερού για να αποκτήσουν πρόσβαση στο οξυγόνο. Με αυτόν τον τρόπο, αυτό τους εκθέτει σε επίγεια αρπακτικά. Ως αποτέλεσμα, οι ιπποπόταμοι μετακινούν άμεσα θρεπτικά συστατικά από τα χερσαία σε υδάτινα συστήματα, αλλά και έμμεσα μεταφέρουν τα θρεπτικά συστατικά πίσω στους επίγειους καταναλωτές (Stears and McCauley, 2018).

Η οδοντοστοιχία των ιπποπόταμων περιλαμβάνει 36 δόντια (2.1.3.3/2.1.3.3) (Ρουσιάκης, 2013). Αποτελείται από τους κυνόδοντες C (χαυλιόδοντες), τους κοπτήρες I και τους παρειακούς οδόντες (τους προγόμφιους P1, P2, P3 και τους γομφίους M1, M2, M3) (Ρουσιάκης, 2013). Οι γομφίοι και οι προγόμφιοι είναι αυτοί που επιτελούν τις λειτουργίες της μάσησης και της άλεσης (Hooijer, 1942). Οι προγόμφιοι είναι μικρότεροι από τους γομφίους και διαθέτουν δύο ρίζες, ενώ οι γομφίοι διαθέτουν τέσσερις (Ρουσιάκης, 2013). Βρίσκονται στο γναθιαίο τμήμα του κρανίου και αναπτύσσονται πλήρως και η οδοντίνη ασβεστοποιείται από μικρή ηλικία.

Οι κυνόδοντες και οι κοπτήρες βρίσκονται στο τομικό οστό του κρανίου και χρησιμοποιούνται για μάχες και για τον τεμαχισμό της τροφής ή σκάψιμο αντίστοιχα (Hooijer, 1942). Λόγω της χρήσης αυτής τα δόντια αυτά φθείρονται συνεχώς και γι αυτό τα φθαρμένα τμήματα αναπληρώνονται. Έτσι, οι κοπτήρες και οι κυνόδοντες διατηρούνται συνεχώς αναπτυσσόμενοι (Hooijer, 1942). Στους σημερινούς ιπποπόταμους (*Hippopotamus amphibius*) το μήκος των κυνοδόντων μπορεί να φτάσει τα 70 εκατοστά με ρυθμό ανάπτυξης έως και 30 εκατοστά ανά έτος (Souron, 2012). Οι κυνόδοντες και οι κοπτήρες δείχνουν έντονες διαφορές φύλου στο ρυθμό ανάπτυξης (Law, 1968).

3.2 ΕΙΔΗ ΙΠΠΟΠΟΤΑΜΩΝ

Υπάρχουν πολλές κατηγορίες θηλαστικών. Δύο μεγάλες κατηγορίες είναι τα περισσοδάκτυλα και τα αρτιοδάκτυλα που χωρίζονται μεταξύ τους κυρίως ανάλογα με τον αριθμό των δακτύλων. Ζώα με περιττό αριθμό δακτύλων ανήκουν στην κατηγορία των περισσοδάκτυλων, ενώ ζώα με άρτιο αριθμό δακτύλων ανήκουν στην κατηγορία των αρτιοδάκτυλων. Τα αρτιοδάκτυλα έχουν μεγάλη συγγένεια με τα κητώδη θηλαστικά. Τα αρτίγονα κητώδη είναι ζώα που ζουν στο νερό, ενώ τα αρτίγονα αρτιοδάκτυλα είναι ζώα που ζουν στη χέρσο. Εξαιρεση αποτελούν οι ιπποπόταμοι, που ανήκουν στην ομάδα των αρτιοδάκτυλων, αλλά έχουν επιλέξει αμφίβιο τρόπο ζωής. Παρόλα ταύτα, περνούν σημαντικό μέρος της ζωής τους στην ξηρά και αναπαράγονται στην ξηρά (Ρουσιάκης, 2013).

Η υπερεικογένεια των ιπποποταμοειδών (*Hippopotamoidea*) περιλαμβάνει τις οικογένειες των ανθρακοθηριίδων και των ιπποποταμιδών, οι οποίες κατά το παρελθόν εντάσσονταν στην υπόταξη των χοιρόμορφων (Jaeckel, 1911). Πρόσφατες μελέτες όμως δείχνουν ότι αυτές οι οικογένειες συναποτελούν τον κλάδο ανθρακοθηρίδες- ιπποποταμιδες, που φαίνεται να συγγενεύει με τα κητώδη (Ρουσιάκης, 2013).

Η οικογένεια των ιπποποταμιδών περιλαμβάνει αρτιοδάκτυλα που δε μηρυκάζουν, με πολλούς πρωτόγονους χαρακτήρες (Gray, 1821). Είναι αφρικανικής προέλευσης και στην Αφρική διαδραματίστηκαν και τα σημαντικότερα στάδια εξέλιξής τους. Τα παλαιότερα ευρήματα αυτής της οικογένειας είναι γνωστά από το μέσο Μειόκαινο της Κένυας. Οι αρτίγονοι εκπρόσωποι, οι ιπποπόταμοι, είναι τα μόνα μεγαλόσωμα αρτίγονα αρτιοδάκτυλα με αμφίβιο τρόπο διαβίωσης (Ρουσιάκης, 2013).

Η υποοικογένεια ιπποποταμίνες περιλαμβάνει εξελιγμένους ιπποπόταμους που χαρακτηρίζονται από βραχύ εγκεφαλικό κύτος σε σχέση με την προοφθαλμική περιοχή. Τα ακουστικά εξογκώματα είναι αναλογικά μικρού μεγέθους. Οι οφθαλμοί είναι πάνω από το επίπεδο της οροφής του κρανίου. Οι γομφίοι είναι τετραφυματικοί βουνοδοντικού τύπου. Η αδαμαντίνη που δομεί κάθε φύμα με την αποτριβή σχηματίζει στη μασητική επιφάνεια σχήμα τριφυλλιού. Οι πρώτοι εκπρόσωποι αυτής της υποοικογένειας εμφανίστηκαν στο Ανώτερο Μειόκαινο πριν 7 εκατομμύρια έτη (Ρουσιάκης, 2013).

Το γένος *Choeropsis* περιλαμβάνει το αρτίγονο μικρόσωμο *Choeropsis liberiensis*. Ζει στα τροπικά δάση των ακτών της Δυτικής Αφρικής κοντά σε λιμναίες και ποτάμιες

περιοχές. Έχει πιο χερσαίο τρόπο διαβίωσης, όμως διαθέτει προσαρμογές για ζωή στο νερό, όπως την ικανότητα να κλείνει τα ρινικά ανοίγματα και τους εξωτερικούς ακουστικούς πόρους όταν καταδύεται στο νερό (Ρουσιάκης, 2013).

Το γένος *Hippopotamus* περιλαμβάνει τον αρτίγονο αμφίβιο ιπποπόταμο *Hippopotamus amphibius*. Ζει στα τροπικά δάση των ακτών της δυτικής Αφρικής. Οι οφθαλμικές κόγχες είναι ψηλότερα από το μετωπιαίο επίπεδο, μορφή που θεωρείται προσαρμογή στην αμφίβια διαβίωση. Οι αρχαιότεροι εκπρόσωποι αυτού του γένους εμφανίστηκαν πριν από 4- 5 εκατομμύρια έτη στην Αφρική. Στην Ευρώπη υπάρχουν απολιθώματα στην Ιταλία ηλικίας 1,8 εκατομμυρίων ετών (Ρουσιάκης, 2013).

3.3 ΦΥΛΟΓΕΝΕΣΗ ΙΠΠΟΠΟΤΑΜΩΝ

Ο Coryndon (1977) πρότεινε ότι η φυλογένεση των *Hippopotamidae* έχει λάβει χώρα κατά μήκος δύο κλάδων: ένας που αποτελείται από είδη *Hippopotamus*, που καταλήγει σε *H. amphibius*, και ένας άλλος με είδη *Hexaprotodon*, που οδηγεί στο *Hex. liberiensis*. Ο ιπποπόταμος της Μαδαγασκάρης, που θεωρήθηκε από τον Coryndon ως *H. lemerlei*, θεωρήθηκε ότι ανήκε στον κλάδο του *Hippopotamus*. Το "*H. lemerlei*" πιστεύεται ότι ήταν πρόγονος του *H. aethiopicus* από την Ανατολική Αφρική και του "*Phanourios minor*" από την Κύπρο. Εάν αυτή η προτεινόμενη φυλογενετική θέση του "*H. lemerlei*" ήταν αληθής, τότε το "*H. lemerlei*" πρέπει να είχε ευρεία γεωγραφική κατανομή. Ωστόσο, δεν υπάρχουν στοιχεία για αυτό στο αρχείο απολιθωμάτων.

Αντίθετα, το "*H. lemerlei*" δεν ήταν ένα αλλά δύο ενδημικά είδη που περιορίζονταν στη Μαδαγασκάρη. Ωστόσο, κατά το συμπέρασμα της Coryndon, όταν αυτή, κρίνοντας από τα σχέδια (Coryndon, 1977), συμπεριέλαβε στη φυλογενετική της κατασκευή το χερσαίο είδος της Μαδαγασκάρης, δηλαδή το *H. madagascariensis*, και όχι τον *H. amphibius*. Τόσο ο *H. aethiopicus* όσο και ο "*Phanourios minor*" είναι ιπποπόταμοι με χερσαίες προσαρμογές (Boekschoten and Sondaar, 1972). Η φυλογένεση αυτών των τριών νάνων ιπποποτάμιων βασίστηκε σε ομοιότητες που πρέπει να είναι αποτέλεσμα παράλληλης εξέλιξης και όχι λόγω μιας πολύ στενής φυλογενετικής σχέσης. Οι άλλοι δύο νάνοι ιπποπόταμοι του νησιού της Μεσογείου, ο *H. creutzburgi* και ο *H. melitensis*, θεωρήθηκαν ως απόγονοι του *H. major* (Coryndon, 1977). Από τις λίγες πιθανές συγκριτικές παρατηρήσεις, μπορεί να σημειωθεί ότι μια οπίσθια αύλακα υπάρχει στο *H. creutzburgi* (Boekschoten and Sondaar, 1966) και πιθανώς επίσης στο *H. melitensis* (Boekschoten and Sondaar, 1966), δηλαδή, ένα χαρακτηριστικό που

φαίνεται και στο *H. madagascariensis*. Η κάτω γνάθος του *H. creutzburgi* (Capasso Barbato *et al.*, 1982) θυμίζει *H. madagascariensis*. Ο νανισμός στα δύο είδη της Μαδαγασκάρης είναι λιγότερο έντονος από ότι στα κυπριακά είδη (Stuenes, 2010).

Hippopotamus amphibius

Ο κοινός ιπποπόταμος, *Hippopotamus amphibius* βρίσκεται σε όλη την υποσαχάρια Αφρική (Kingdon, 2015). Σε ολόκληρη την περιοχή, οι πληθυσμοί των ιπποπόταμων είναι μικρότεροι σε αναπτυσσόμενες χώρες της υποσαχάριας Αφρικής, όπως η Ζιμπάμπουε, η Νότια Αφρική, η Ζάμπια, η Λαϊκή Δημοκρατία του Κονγκό και η Ναμίμπια σε σχέση με τις περιοχές που δεν υπάρχει μεγάλος πληθυσμός ανθρώπων (Eksteen, *et al.* 2016; Linchant, *et al.* 2018).

Οι ιπποπόταμοι διαδραματίζουν κομβικούς ρόλους στο χερσαίο οικοσύστημα, κυρίως, καθώς τα μεγαλοφάγα ζώα προτιμούν τα κοντά χόρτα συνήθως δίπλα σε ποτάμια και δεξαμενές (Utete *et al.*, 2017). Οι Kingdon (1979), Cerling *et al.* (2008) και Timbuka (2012) υποδεικνύουν ότι παρά τις βιολογικές τους απαιτήσεις για υδρόβιο βίοτοπο, οι ιπποπόταμοι δύσκολα βόσκουν μακρόφυτα και υδρόφυτα, αλλά τρέφονται κυρίως με χερσαία βλάστηση. Οι ιπποπόταμοι τρέφονται με κοντά γλυκά χόρτα (Eltringham, 1999) αν και οι σύγχρονες μελέτες σταθερών ισωτόπων δείχνουν ότι μπορεί επίσης να τρέφονται με δικοτυλήδονους θάμνους, φυράματα και μικρά δέντρα (Cerling *et al.*, 2008).

Θεωρείται ότι ο *Hippopotamus amphibius*, ο οποίος έχει καλή κολυμβητική ικανότητα, εκτός από άλλες υδρόβιες προσαρμογές, έφτασε στην Κρήτη, την Κύπρο, τη Μάλτα και τη Σικελία ως διαφορετικοί μικροί πληθυσμοί σε διαφορετικές περιόδους κατά τη διάρκεια του Πλειστόκαινου. Αυτοί οι πληθυσμοί έγιναν οι πρόγονοι του *H. creutzburgi* (Boekschoten and Sondaar, 1966; Kuss, 1975), του *Phanourios minor* (Faure *et al.*, 1984), του *H. melitensis* και του *H. pentlandi* (Boekschoten and Sondaar, 1966, 1972).

Hexaprotodon liberiensis

Ο πυγμαίος ιπποπόταμος, *Hexaprotodon liberiensis*, δεν αποτελεί μέρος του κλάδου των *Hippopotamidae*, αλλά μοιράζεται έναν κοινό πρόγονο με όλους τους ιπποπόταμους. Παρά τη φυλογενετικά μακρινή σχέση τους με τα εξαφανισμένα είδη, το μικρό τους μέγεθος και η προτίμηση του χερσαίου ενδιαιτήματος παρέχουν ένα καλό ανάλογο για να συναχθεί η επιλογή ενδιαιτημάτων των νάνων ειδών ιπποποταμίδων με βάση τη σκελετική μορφολογία (Wopschall, 2014).

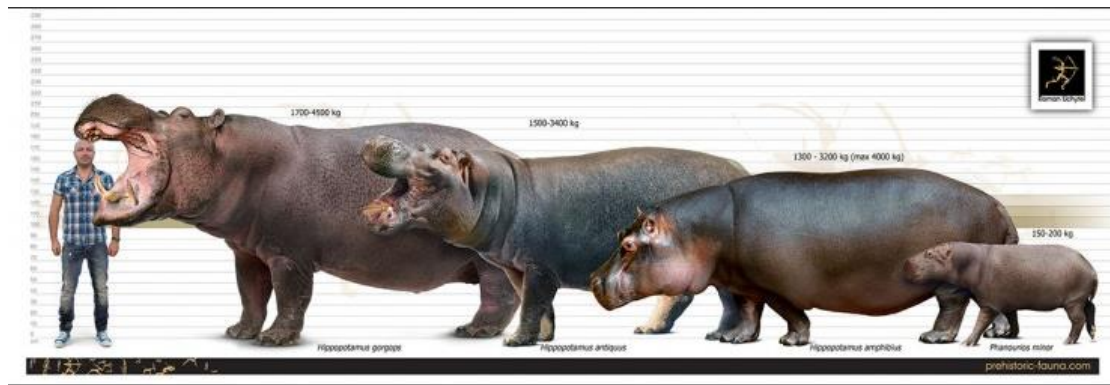
Οι πληθυσμοί των ιπποποτάμων που αποίκησαν σε νησιά παρουσιάζουν αυξημένη τάση προς τη χερσοποίηση (Boisserie *et al*, 2005). Κατά τη σύγκριση *H. amphibius* και *Hex. liberiensis*, το *liberiensis* υποδεικνύει βασικές μορφολογικές διαφορές μεταξύ χερσαίων και υδρόβιων ειδών. Σε σχέση με το *H. amphibius*, το *liberiensis* έχει χαμηλότερες οφθαλμικές τροχιές, μια λεπτή υποτροχιακή περιοχή και μάτια στραμμένα προς τα εμπρός (Boisserie, 2005). Αντίθετα, οι ανυψωμένες οφθαλμικές τροχιές του υδρόβιου *H. amphibius*, η παχιά υποτροχιακή περιοχή και τα πλευρικά τοποθετημένα μάτια θεωρούνται ως προσαρμογές για να περνάνε πολύ χρόνο στο νερό (Stuenes 1989). Οι ανυψωμένες οφθαλμικές τροχιές τοποθετούν τα μάτια πολύ ψηλότερα στο κεφάλι, επιτρέποντας στα υδρόβια είδη να βυθίζονται κάτω από το νερό, ενώ διατηρούν την όραση του περιβάλλοντός τους πάνω από την επιφάνεια. Το γεγονός ότι αυτά τα διακριτά μορφολογικά χαρακτηριστικά φαίνεται να αντιστοιχούν στις διαφορές για τους δύο εξαφανισμένους νάνους ιπποπόταμους της Μαδαγασκάρης, τον *H. lemerlei* και τον *H. madagascariensis*, ενισχύει το επιχείρημα για τη γενική τους σχέση με την επιλογή οικοτόπων.

H. madagascariensis* και *H. Lemerlei

Ενώ αυτοί οι δύο νάνοι ιπποπόταμοι μοιράζονται έναν κοινό πρόγονο (*H. amphibius*), παρουσιάζουν αρκετές εντυπωσιακές μορφολογικές διαφορές στη μορφολογία του κρανίου. Το *H. madagascariensis* έχει μια λεπτή υποτροχιακή περιοχή και παρόμοια κρανιομορφολογία με αυτή του *Hex. liberiensis*, υποδηλώνοντας μια επιλογή χερσαίων οικοτόπων. Αυτή η υπόθεση υποστηρίζεται περαιτέρω από τη θέση ανάκτησης απολιθωμάτων αυτού του είδους σε ορεινές περιοχές. Το *H. lemerlei*, αντιστρόφως, παρουσιάζει πολλές ομοιότητες με αυτό του *H. amphibius*, συμπεριλαμβανομένης μιας παχιάς υποκογχικής περιοχής, των υπερυψωμένων οφθαλμικών κόγχων και μιας μακριάς περιοχής του προσώπου με κοντό οπισθοκογχικό κρανίο. Η πλειονότητα των απολιθωμάτων που ταυτοποιήθηκαν ως *H. lemerlei* ανακτήθηκαν από τις πεδινές και παράκτιες περιοχές του νησιού, υποστηρίζοντας περαιτέρω την επιλογή υδάτινων οικοτόπων (Wopschall, 2014).

Phanourios minor

Ο *Phanourios minor* θεωρείται ο μικρότερος ιπποπόταμος που έζησε ποτέ, με εκτιμώμενο ύψος ώμων περίπου 70 cm και συνολικό μήκος 125 cm (van der Geer *et al.*, 2010) (Εικόνα 5). Είναι το πιο άφθονο είδος της πανίδας των απολιθωμένων θηλαστικών της Κύπρου και τα σκελετικά του υπολείμματα έχουν εντοπιστεί σε πολλές τοποθεσίες στο νησί (Boekschoten & Sondaar, 1972; Held, 1992; Reese, 1996; Theodorou *et al.*, 2007; van der Geer *et al.*, 2010).



ΕΙΚΟΝΑ 4: Σύγκριση μεγέθους ανάμεσα στα είδη (από αριστερά προς δεξιά) *Hippopotamus gorgops*, *Hippopotamus antiquus*, *Hippopotamus amphibius*, *Phanourios minor*. ΠΗΓΗ ΕΙΚΟΝΑΣ: <https://prehistoric-fauna.com/Hippopotamus-minor>

Ο *P. minor* είναι τυπικό παράδειγμα ακραίου νανισμού (Εικόνα 4), με σωματική μάζα μικρότερη από το ένα δέκατο του προγόνου του στην ηπειρωτική χώρα (Boisserie *et al.*, 2011) και μορφολογικές αλλαγές στην ανατομία του ποδιού του ως συνέπεια της προσαρμογής για αποτελεσματική κίνηση στις ορεινές περιοχές της Κύπρου (Boisserie *et al.*, 2011; Sondaar, 1977; van der Geer, 2014). Αν και δεν υπάρχει φυλογενετική συγγένεια μεταξύ του *P. minor* και της υφιστάμενης μορφής πυγμαίου ιπποπόταμου, *C. liberiensis*, αυτά τα δύο είδη μοιράζονται παρόμοια μορφολειτουργικά γνωρίσματα που συνδέουν την εξειδικευμένη κίνηση του *Choeropsis* στα πυκνά δάση της Δυτικής Αφρικής με τη νησιωτική κυριαρχία (Boisserie *et al.*, 2011).

Τα άκρα των θηλαστικών είναι προσαρμοσμένα σε διάφορες απαιτήσεις κίνησης, στήριξης και άλλων λειτουργιών. Κάθε άκρο συνδέεται με τον κορμό μέσω μίας ζώνης. Για τα εμπρόσθια άκρα η σύνδεση πραγματοποιείται μέσω της θωρακικής ή ωμικής ζώνης και για τα οπίσθια άκρα μέσω της πυελικής. Οι ζώνες αποτελούν βάσεις στήριξης για την κίνηση των μελών στα τετράποδα και των πτερυγίων στους ιχθύες (Ρουσιάκης, 2013).

Το μέγεθος των καρπικών οστών του *P. minor* μειώνεται σχεδόν κατά το ήμισυ σε σύγκριση με το *H. amphibius*. Ωστόσο, οι καρποί είναι στιβαροί με ισχυρές μυϊκές και συνδεσμικές παρεμβολές, παρέχοντας μεγάλη σταθερότητα στον καρπό. Καθώς η βράχυνση του περιφερειακού τμήματος των άκρων στα ζώα θεωρείται παράγοντας μείωσης της ταχύτητας (Christiansen, 2002), ο *P. minor* φαίνεται να έχει αποκτήσει κίνηση «χαμηλής ταχύτητας» (Sondaar, 1977), η οποία είναι πιθανώς διαφορετική από αυτή του σύγχρονου ιπποπόταμου.

Η παραπάνω εικασία θα μπορούσε να υποστηριχθεί από τη θεωρία του Gambaryan (1974), ο οποίος ανέφερε ότι τα Αρτιοδάκτυλα που ζουν σε βραχώδη περιβάλλοντα εμφανίζουν μειωμένη ταχύτητα τρεξίματος σε σχέση με αυτά που κινούνται σε ανοιχτούς χώρους και δάση. Έτσι, το ορεινό υπόστρωμα της Κύπρου μείωσε την ταχύτητα του *P. minor*, σε σύγκριση με τον ηπειρωτικό πρόγονό του που ζούσε σε πιο ανοιχτά περιβάλλοντα, και του *C. liberiensis*, που κατοικεί στις δασικές περιοχές της Δυτικής Αφρικής.

Η σταθεροποίηση του καρπού στον *P. minor* πιθανότατα σχετίζεται με την απόκτηση αναρριχητικών ικανοτήτων του είδους, μαζί με μια ισχυρή αλλά αργή κίνηση σε ορεινά περιβάλλοντα. Σε βραχώδη περιβάλλοντα, ο νάνος ιπποπόταμος χρειαζόταν γερά άκρα για να κινηθεί αποτελεσματικά και να αποφύγει τραυματισμούς στα πόδια. Αυτός ο τύπος κίνησης συχνά ενισχύεται από συνοστεώσεις των οστών στο πόδι, ιδιαίτερα στον ταρσό (Leinders & Sondaar, 1974; Sondaar, 1977).

Οι συνοστεώσεις έχουν παρατηρηθεί κυρίως σε οστά του ταρσού και του μεταταρσίου αρκετών νησιωτικών σπηλιφόρων (Leinders & Sondaar, 1974). Μέχρι τώρα, δεν έχουν υπάρξει ενδείξεις συνοστεώσεως του καρπού στον *P. minor*. Η στιβαρότητα των οστών, λειτούργησε για να μεταφέρει αποτελεσματικά το βάρος του νησιωτικού ιπποπόταμου όταν κινείται σε σκληρό έδαφος (Georgitsis *et al*, 2021).

Το πώς οι ανατομικές και λειτουργικές ιδιαιτερότητες του καρπού επηρέασαν την κίνηση του νησιωτικού ιπποπόταμου μπορεί να συνοψιστεί συνοπτικά:

- (1) σταθερή, αλλά χαμηλή ταχύτητα κίνησης με μεγάλη μυϊκή δύναμη
- (2) καλύτερη κινητικότητα στο οβελιαίο επίπεδο
- (3) περιορισμός στις έσω-πλάγιες κινήσεις και
- (4) περισσότερη πλάγια τοποθέτηση του πρόσθιου άκρου.

Οι αλλοιώσεις των σκελετικών στοιχείων του *P. minor* συνοδεύτηκαν από την απόκτηση διαφορετικών τύπων μετακίνησης, σε σύγκριση με τον ηπειρωτικό πρόγονό του, που διευκόλυνε το περπάτημα στη βραχώδη επιφάνεια της Κύπρου (Caloi & Palombo, 1994; Houtekamer & Sondaar, 1979; Spaan *et al.*, 1994).

3.3.1 Η ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΤΟΥ ΟΝΟΜΑΤΟΣ

Το όνομα *Phanourios minor* προκύπτει από τον 16^ο αιώνα, όταν οι χωρικοί πήγαιναν στο παρεκκλήσι του Αγίου Γεωργίου στην Κερήνεια που ήταν χτισμένο σε

απολιθωματοφόρα πετρώματα, για να συλλέξουν οστά. Τα οστά αυτά πίστευαν ότι ήταν τα ιερά λείψανα του Αγίου Φανουρίου. Ο Άγιος πιστεύεται ότι είχε καταφύγει από τη Συρία για να γλιτώσει από τους διώκτες του και ότι τελικά εγκλωβίστηκε στις ακτές της Κύπρου (Sondaar *et al*, 1972). Τα οστά θεωρήθηκαν ιερά και τους αποδόθηκαν θεραπευτικές ιδιότητες, γι'αυτό οι ντόπιοι τα κονιορτοποιούσαν και τα χρησιμοποιούσαν ως φάρμακο (Bordone, 1528).

Κατά μια άλλη εκδοχή τα οστά ανήκουν στο άλογο του Αγίου Φανουρίου που έφτασε στην Κύπρο κυνηγημένος από τους διώκτες του στην Μικρά Ασία. Μόλις έφτασαν στην περιοχή του Αγίου Γεωργίου Κερήνειας το άλογο σκοτώθηκε προσπαθώντας να υπερπηδήσει έναν μεγάλο βράχο.

Από την άλλη πλευρά, λόγω των λοφοδοντικών γομφίων και της απουσίας P4 ο Coryndon (1977) απέρριψε το όνομα *Phanourios* και τοποθέτησε το κυπριακό είδος στο γένος *Hippopotamus* με βάση την κρανιακή μορφολογία. Το 1979, οι Houtekamer και Sondaar περιέγραψαν το πρόσθιο άκρο του κυπριακού ιπποπόταμου και με βάση τη μορφολογία του σε συνδυασμό με τη μορφολογία του κρανίου, διατήρησαν το γενικό όνομα *Phanourios*. Η λοφοδοντία στον *Phanourios* προκαλείται από τις επικρατούσες πλάγιες κινήσεις της κάτω γνάθου. Όπως και στο *H. madagascariensis* και στο *Hexaprotodon liberiensis*, οι κοπτήρες έχουν ακραίες πτυχές φθοράς. Ουσιαστικά, η απόφραξη των κοπτήρων στον *Phanourios minor* είναι πιο εξαιρετικά ανεπτυγμένη από οποιονδήποτε άλλο γνωστό ιπποπόταμο. Ωστόσο, η απουσία του P4 είναι ένας χαρακτηριστικό γνώρισμα μόνο στον κυπριακό ιπποπόταμο. Ο Pickford (1983) βάσισε ένα νέο γένος *Kenyaipotamus* σε κυρίως οδοντικό υλικό από κοιτάσματα του Μειόκαινου στην περιοχή Baringo, στην Κένυα. Η απουσία πιο πλήρως διατηρημένου κρανιακού υλικού αυτού του γένους δυσχεραίνει τις συγκρίσεις με άλλα γένη. Η μιτοχονδριακή μελέτη όμως των οστών του κυπριακού ιπποπόταμου από τους Psonis *et al.*, 2021 υποδεικνύει τη συγγενική σχέση αυτού με τον *Hippopotamus amphibius* και έτσι οι συγκεκριμένοι συγγραφείς προτείνουν τη χρήση του ονόματος *Hippopotamus minor*.

Παρόλα ταύτα, το όνομα *Phanourios minor* επικράτησε και χρησιμοποιείται στις περισσότερες βιβλιογραφικές αναφορές.

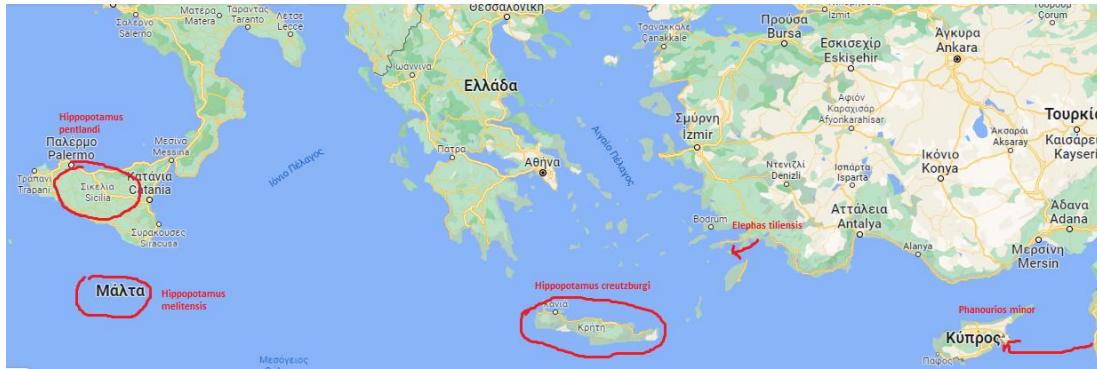
4. ΕΝΔΗΜΙΚΑ ΘΗΛΑΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΜΕΣΟΓΕΙΟΥ

Εξαφανισμένα είδη νάνων και γιγάντων έχουν ανακαλυφθεί σε πολλά νησιά σε όλον τον κόσμο, καθώς και στα νησιά της Μεσογείου. Οι πανίδες που έζησαν στα νησιά της Μεσογείου πριν από την άφιξη των ανθρώπων αποτελούνται από νάνους ελέφαντες, νάνους ιπποπόταμους, νάνα ελάφια με κέρατα πιο μεγάλα από το σώμα τους (*Candiacervus ropalophorus*, Κρήτης) (Van der Geer *et al.*, 2006), γιγάντια τρωκτικά (*Nuralagus rex*) (Lamolino *et al.*, 2013), και ενυδρίδες (Marra, 2005), παρουσιάζοντας επίσης ενδιαφέροντα φαινόμενα από την οπτική της εξελικτικής βιογεωγραφίας, όπως ο νανισμός (Lomolino *et al.*, 2012). Οι λεπτομερείς φυλογένειες αυτών των ειδών παραμένουν σε μεγάλο βαθμό ανεπίλυτες.

Τα θηλαστικά αυτά μετανάστευσαν στα νησιά της Μεσογείου κατά το Πλειστόκαινο. Γενικά θεωρείται ότι οι μεγάλης κλίμακας εξελικτικές αλλαγές έγιναν γρήγορα σε αυτά τα θηλαστικά, ενώ υπάρχουν διαφορετικές απόψεις για τις συνθήκες αυτής της μετανάστευσης. Ο Reymont (1983) πρότεινε ότι είχε προηγηθεί κάποιο είδος καταστροφικού γεγονότος, το οποίο ξεκίνησε μια μαζική μετανάστευση σε συνδυασμό με ανώμαλη συμπεριφορά μεταξύ αυτών των ζώων.

Απολιθώματα πλειστοκαινικών νάνων ιπποποτάμων είναι γνωστά σε διάφορα μέρη της Μεσογείου. Στη Σικελία και τη Μάλτα υπάρχουν τα απολιθώματα νάνων ενδημικών ιπποποτάμων των *Hippopotamus pentlandi* και *Hippopotamus malitensis* αντίστοιχα (Εικόνα 5). Ο δεύτερος είχε λίγο μικρότερο μέγεθος από τον *Hippopotamus amphibius*, ενώ ο δεύτερος ήταν πολύ μικρότερου μεγέθους. Οι ιπποπόταμοι αυτοί είχαν εξελίξει προσαρμογές για τη διαβίωση στο νησιωτικό περιβάλλον και εκτός από το μικρότερο μέγεθος είχαν άκρα κατάλληλα για μετακινήσεις στο βραχώδες περιβάλλον (Ρουσιάκης, 2013).

Ο μικρότερος σε μέγεθος ελέφαντας που έζησε στη γη ήταν αυτός της Σικελίας (*Paleoloxodon falconeri*) (Romano *et al.*, 2009) και αυτός της Τήλου (*Elephas tiliensis*) με ύψος περίπου ένα μέτρο (Theodorou *et al.*, 2007). Αξίζει να σημειωθεί ότι η ύπαρξη πληθυσμού ελεφάντων μαρτυρά ύπαρξη μεγάλων ποσοτήτων γλυκού νερού καθώς οι ελέφαντες είναι από τα θηλαστικά που χρειάζονται τόνους νερού για τη χώνεψή τους. Ο μικρότερος ιπποπόταμος ήταν αυτός της Κύπρου [*Phanourios minor* (Sondaar *et al.*, 1972) ή *Hippopotamus minor* (Lomolino *et al.*, 2013; Psonis *et al.*, 2021)].



ΕΙΚΟΝΑ 5: Χάρτης ενδημικών ιπποποτάμων της Μεσογείου. Στο χάρτη απεικονίζεται επίσης και η παρουσία του ενδημικού ελέφанта Τήλου *Elephas tiliensis*.

Απολιθώματα ιπποποταμίδων έχουν βρεθεί αρκετά και στο Πλειστόκαινο της Ελλάδας (Ρουσιάκης, 2013). Πιο πλούσιες σε απολιθώματα ιπποπόταμου είναι οι θέσεις στη Μεγαλόπολη και αυτή του Δυρού (32.000 έτη). Ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχουν τα ευρήματα των ενδημικών ιπποποτάμων της Ελλάδας. Τέτοια ευρήματα υπάρχουν στην Κρήτη και είναι ηλικίας 850.000- 375.000 ετών και εντάσσονται στο είδος *Hippopotamus creutzburgi* (Boekschoten and Sondaar, 1966).

Νάνοι ελέφαντες, πυγμαίοι ιπποπόταμοι και ορισμένα είδη μικροθηλαστικών είναι μερικά από τα ζώα που έζησαν στην Κύπρο, πριν από 11.000 έως 13.000 χρόνια (Theodorou *et al.*, 2007). Όταν οι ελέφαντες και οι ιπποπόταμοι απομονώθηκαν στο νησί, τότε το μέγεθός τους εξελίχθηκε σε μέγεθος νάνων. Αντίθετα, τα μικρά θηλαστικά εξελίχθηκαν σε γιγάντια μεγέθη (Theodorou *et al.*, 2007). Το μοτίβο αυτό ονομάζεται από τους οικολόγους “ο κανόνας του νησιού” και είναι πιο εμφανές όταν δεν υπάρχουν θηρευτές και αρπακτικά (Van der Geer, 2017). Τα είδη αυτά θεωρούνται ενδημικά, καθώς στη βιολογία, ενδημικό ονομάζεται ένα είδος, είτε του ζωικού βασιλείου είτε του φυτικού, που ζει σε έναν οριοθετημένο (ή και απομονωμένο) γεωγραφικό χώρο. Για να είναι ενδημικό ένα είδος πρέπει να έχει δημιουργηθεί και να έχει εξελιχθεί σε εκείνον τον χώρο (Theodorou *et al.*, 2004). Όσο μεγαλύτερο είναι το χρονικό διάστημα απομόνωσης στο νησί, τόσο μεγαλύτερη είναι και η εξέλιξη του ζώου.

Για τα μεγάλα θηλαστικά ένας παράγοντας που τα αναγκάζει να μικρύνουν το μέγεθός τους για να επιβιώσουν, είναι η έλλειψη τροφής. Επίσης, όσο μεγαλύτερο είναι το μέγεθός τους, τόσο μεγαλύτερη είναι η αναλογία της επιφάνειας (χώρο που καταλαμβάνουν) προς τη μάζα (Van der Geer, 2017). Η απουσία θηρευτών όμως είναι ουσιαστικός παράγοντας. Τα μεγάλα θηλαστικά όπως είναι οι ιπποπόταμοι, δε χρειάζεται να ξεπερνούν στο μέγεθος τα αρπακτικά όπως τα λιοντάρια για να είναι

ασφαλή. Αντίστοιχα τα μικρά θηλαστικά δε χρειάζεται να αναζητούν καταφύγιο για να επιβιώσουν από το κυνήγι των αρπακτικών (Hadjisterkotis *et al.*, 2007).

4.1 ΝΑΝΟΙ ΕΛΕΦΑΝΤΕΣ ΚΑΙ ΙΠΠΟΠΟΤΑΜΟΙ, ΟΙ ΚΥΡΙΟΤΕΡΟΙ ΠΛΕΙΣΤΟΚΑΙΝΙΚΟΙ ΚΑΤΟΙΚΟΙ ΤΗΣ ΚΥΠΡΟΥ

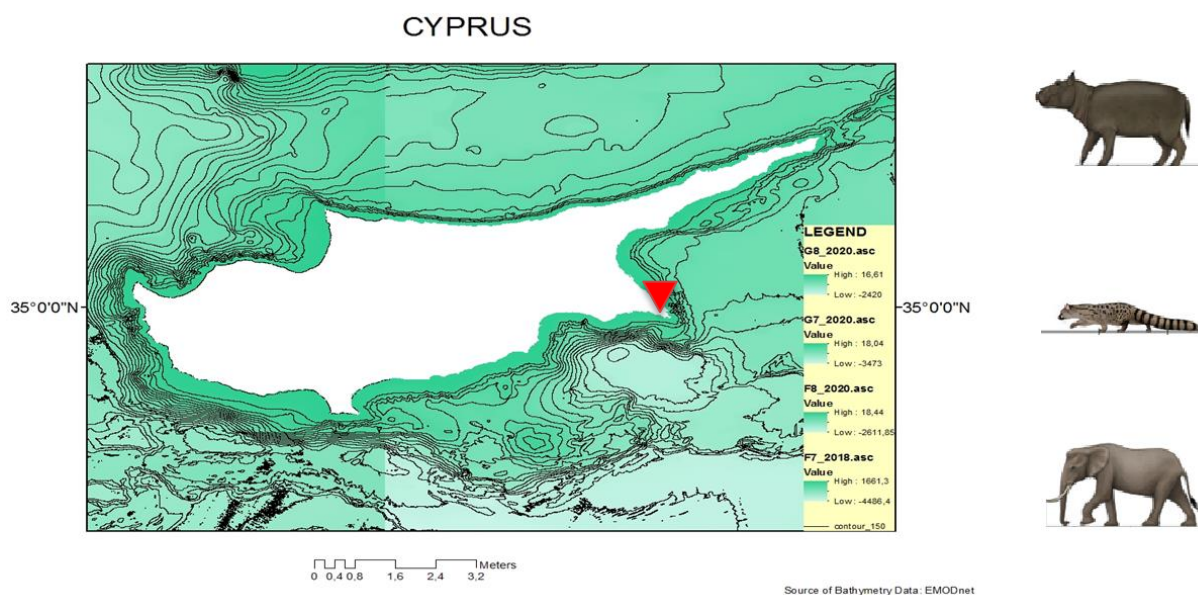
Η Κύπρος είναι ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα ωκεάνιου νησιού στη νοτιοανατολική Μεσόγειο Θάλασσα που έχει απομονωθεί από τη γειτονική ήπειρο από τον σχηματισμό της κατά το Μειόκαινο (Robertson, 1990). Μέχρι σήμερα, έχουν καταγραφεί πάνω από 40 τοποθεσίες απολιθωμάτων στο νησί (Van der Geer *et al.*, 2010) με υπολείμματα μιας μη ισορροπημένης ενδημικής πανίδας του Πλειστόκαινου που αποτελείται από μικρό αριθμό νάνων μακρο- και μικροθηλαστικών, αμφίβιων και πτηνών. Δύο νάνοι ελέφαντες [*Elephas cypriotes* (Bate, 1906; Athanasiou *et al.*, 2014) και *Palaeoloxodon xylophagou* (Athanassiou, 2015)], ένας πυγμαίος ιπποπόταμος (*P. minor* (Sondaar *et al.*, 1972) ή *H. minor* (Coryndon, 1977, Psonis, *et al.*, 2021)), μία νυφίτσα που ανήκει στην οικογένεια Viverridae (*Genetta plesictoides*, Bate 1906; Theodorou *et al.*, 2007) και 2 ποντίκια (Cucchi *et al.*, 2006), έχουν ανακαλυφθεί μέχρι τώρα και είναι πολύ πιθανό να έφτασαν στο νησί από την ηπειρωτική χώρα κολυμπώντας ή παρασυρώμενα σε φυσικές σχεδίες (Sondaar, 1977). Πολλές από αυτές τις τοποθεσίες βρίσκονται κοντά σε σπηλιές ή βραχοκαταφύγια, καθώς και κοντά σε ποτάμια ή λίμνες ή αλλουβιακές αποθέσεις.

Ο κυπριακός πυγμαίος ιπποπόταμος είναι ένα εξαφανισμένο νησιωτικό ενδημικό είδος της Μεσογείου, το οποίο κατοικούσε στην Κύπρο κατά το Ανώτερο Πλειστόκαινο (Poole & Robertson, 1998; Iliopoulos *et al.*, 2011). Ταξινομικά, ο κυπριακός πυγμαίος ιπποπόταμος έχει αποδοθεί στο είδος *Phanourios minor* ή *Hippopotamus minor*. Ο Desmarest (1822) με βάση τη μορφολογία, τον συσχετίζει με τον *Hippopotamus amphibius* Linnaeus, 1758, τον σύγχρονο κοινό ιπποπόταμο που εμφανίζεται επί του παρόντος μόνο στην Αφρική. Οι Psonis *et al.*, 2021 συνέκριναν το DNA του νάνου ιπποπόταμου Κύπρου με αυτό του *Hippopotamus amphibius* και βρήκαν ότι τα δύο αυτά είδη συσχετίζονται.

Μέχρι σήμερα, έχουν βρεθεί πολυάριθμα απολιθώματα νάνου ιπποπόταμου σε 29 τοποθεσίες στην Κύπρο (Nicolaou *et al.*, 2020). Η τελευταία εμφάνιση του είδους έχει καταγραφεί στον αρχαιολογικό χώρο του Ακρωτηρίου Αετόκρημνου και χρονολογείται στα ~12.500 έτη BP (Zazzo *et al.*, 2015), μια περίοδος που συμπίπτει με την εκδήλωση

του Younger Dryas (12,9–11,7 kya). Ο κυπριακός ιπποπόταμος, με εκτιμώμενο βάρος 132 κιλά (Lomolino *et al.*, 2013), θεωρείται ο μικρότερος από όλους τους γνωστούς ιπποπόταμους και έχει περίπου το ίδιο μέγεθος με τον υφιστάμενο δυτικοαφρικανικό πυγμαίο ιπποπόταμο. Ωστόσο, σε αντίθεση με τον τελευταίο, ο κυπριακός ιπποπόταμος προφανώς έγινε νάνος στο πλαίσιο του γνωστού «κανόνα των νησιών» (Lomolino *et al.*, 2012), σύμφωνα με τον οποίο τα μικρού μεγέθους είδη αναπτύσσουν μεγαλύτερο σωματικό μέγεθος στα νησιά (νησιωτικός γιγαντισμός), ενώ τα μεγάλα είδη γίνονται μικρότερα (νησιωτικός νανισμός). Ο μικρός ιπποπόταμος είναι μια νησιωτική μορφή που εξέλιξε ορισμένες ανατομικές διαδρομές (Boekschoten & Sondaar, 1972; Sondaar, 1977) προσαρμόζοντάς το σε ένα απόκρημνο, ορεινό περιβάλλον και ταξινομώντας τον διατροφικά στους κορφολογητές.

Στην περιοχή μελέτης μας, στην Αγία Νάπα έχουν βρεθεί απολιθώματα του νάνου ιπποπόταμου *Phanourios minor*, του μικροθηλαστικού *Genetta plesictoides* (Εικόνα 6) (Theodorou *et al.*, 2007) και του νάνου ελέφαντα *Elephas cypriotes* (Athanasiou *et al.*, 2014; Milan *et al.*, 2015).



ΕΙΚΟΝΑ 6: Η τοποθεσία της Αγίας Νάπας στην Κύπρο. Για την εικόνα χρησιμοποιήθηκαν βαθυμετρικά δεδομένα από το EMODnet και επεξεργάστηκε στο λογισμικό ArcMap.

Τα μεγάλα ερωτήματα είναι το πώς έφτασαν αυτά τα είδη στο νησί και το πώς αργότερα εξαφανίστηκαν. Αυτά τα ερωτήματα ήταν στο επίκεντρο της συζήτησης για πολλές δεκαετίες, όπως και συνεχίζουν να είναι αφού υπάρχουν διαφωνίες και διαφορετικές εξηγήσεις και απόψεις.

4.1.1 ΠΩΣ ΕΦΤΑΣΑΝ ΣΤΟ ΝΗΣΙ

Κάποιοι ερευνητές (Kuss, 1973; Palikarides, 1997) διατύπωσαν τη θεωρία πως το πέρασμα των μεγάλων θηλαστικών στο νησί της Κύπρου θα μπορούσε να έχει πραγματοποιηθεί μέσω μιας χερσαίας γέφυρας, ή όταν το νησί ενώθηκε με την κοντινότερη ηπειρωτική χώρα. Η πρόταση ότι η Κύπρος ήταν προσκολλημένη στην ηπειρωτική χώρα παρουσιάστηκε από τον Zohary το 1973, ο οποίος βασίστηκε στην παρουσία ευρωσιβηρικών και σαχαροαραβικών ειδών φυτών και στην απουσία της μεσογειακής βλάστησης. Με βάση τα ευρήματα αυτά πρότεινε τη σύνδεση της Κύπρου με τη Συρία και τη νότια Ανατολία. Από την άλλη, ο μεγάλος αριθμός ενδημικών ειδών στο νησί, αποδεικνύει το μεγάλο χρονικό διάστημα κατά το οποίο το νησί είχε διαχωριστεί από την ηπειρωτική χώρα.

Ο Sondaar το 1977, υποστηρίζει ότι οι ιπποπόταμοι έφτασαν στην Κύπρο από τις ηπειρωτικές περιοχές χωρίς την ύπαρξη κάποιας χερσαίας γέφυρας, αλλά μετά από πτώση της στάθμης της θάλασσας και στη συνέχεια βίωσαν εξελικτικό νανισμό ως συνέπεια της προσαρμογής σε νέες οικολογικές και περιβαλλοντικές συνθήκες (Sondaar, 1977). Αυτή η εξελικτική διαδικασία είχε ως αποτέλεσμα την απόκτηση πολλαπλών χαρακτηριστικών, συμπεριλαμβανομένου του μικρού σωματικού μεγέθους, το οποίο έχει παρατηρηθεί στους περισσότερους ενδημικούς απολιθωμένους ιπποπόταμους, ελέφαντες και μηρυκαστικά των νησιών της Μεσογείου (van der Geer *et al.*, 2010). Η μείωση του μεγέθους του σώματος του *P. minor* αντανακλάται σε τροποποιήσεις των άκρων του, ιδιαίτερα των περιφερικών τμημάτων, μέρος των οποίων είναι και ο καρπός (Georgitsis *et al.*, 2021).

Η μετανάστευση του Ιπποπόταμου κατά το Πλειστόκαινο, από τις ηπειρωτικές περιοχές σε πολλά νησιά της Μεσογείου οδήγησε στην εμφάνιση νέων νησιωτικών ειδών, με κύριο χαρακτηριστικό τη μείωση του μεγέθους του σώματος (Sondaar, 1977). Όλοι οι ενδημικοί ιπποπόταμοι της Μεσογείου παρουσίασαν τροποποιήσεις στα σκελετικά τους στοιχεία, ως προσαρμογή στις οικολογικές συνθήκες του νησιού.

Ο *P. minor* είναι τυπικό παράδειγμα ακραίου νανισμού, με σωματική μάζα μικρότερη από το ένα δέκατο του προγόνου του στην ηπειρωτική χώρα (Boisserie *et al.*, 2011) και μορφολογικές αλλαγές στα μεταπόδια του ως συνέπεια της προσαρμογής για αποτελεσματική κίνηση στις ορεινές περιοχές της Κύπρου (Boisserie *et al.*, 2011; Sondaar, 1977; van der Geer, 2014).

Ο Hsü (1983) υποστηρίζει ότι μετά την αποξήρανση της Μεσογείου πριν από 6 εκατομμύρια έτη, οι αφρικανικές αντιλόπες μπορούσαν να καλπάζουν στην Ισπανία μέσω του Ισθμού του Γιβραλτάρ. Με τον ίδιο τρόπο θα μπορούσαν οι ιπποπόταμοι να κάνουν τη διαδρομή τους από το Νείλο στην Κύπρο.

Αμέσως μετά την πλήρωση της λεκάνης της Μεσογείου, όλα τα νησιά κατοικήθηκαν από ζώα, συμπεριλαμβανόμενων και ελεφάντων και ιπποπόταμων (Palikarides, 1997). Πολλά ζώα μπορεί να ταξίδεψαν στα νησιά της Μεσογείου κατά τη διάρκεια του Μειοκαίνου. Η Κύπρος χωρίζεται από τη Μικρά Ασία με την κοιλάδα των Αδάνων και από το Λεβάντε με τη λεκάνη της Λαττάκειας που έχουν βάθη έως και 1000 μέτρα. Αυτό σημαίνει ότι ακόμη και σε περιόδους ελάχιστης στάθμης της θάλασσας κατά τη διάρκεια των παγετώνων του Πλειστοκαίνου, όταν η θάλασσα έπεσε τουλάχιστον 120 μέτρα κάτω από το σημερινό επίπεδο, λόγω της τεράστιας ποσότητας νερού που δεσμεύεται από τους πάγους, το νησί παρέμεινε χωρισμένο από την ηπειρωτική χώρα (Simmons, 1991).

Η Κύπρος είναι γεωλογικά και βιογεωγραφικά ένα από τα πιο απομονωμένα νησιά της Μεσογείου. Αυτό σημαίνει ότι τα τελευταία 5 εκατομμύρια χρόνια το νησί δεν ενώθηκε με χερσαία γέφυρα με την ηπειρωτική ακτή (Moore *et al*, 1984).

Αν ποτέ δεν υπήρχε χερσαία γέφυρα μεταξύ Κύπρου και ηπειρωτικής χώρας κατά τη διάρκεια του Πλειστοκαίνου, τότε το πιο πιθανό σενάριο για τον αποικισμό της Κύπρου από θηλαστικά του ανώτερου Πλειστοκαίνου είναι το μοντέλο Island Sweepstakes που προτάθηκε από τον Simpson (1965) και υποστήριξε ο Sondaar (1977).

Το μοντέλο αυτό αναφέρεται σε περιπτώσεις στις οποίες τα ζώα μπορεί να αποτολμήσουν να απομακρυνθούν από την ακτή, να φτάσουν σε ένα απομονωμένο νησί από το οποίο δεν μπορούν να επιστρέψουν και να αναγκαστούν να εγκατασταθούν εκεί. Τα μεγάλα ζώα, όπως οι ελέφαντες και οι ιπποπόταμοι, μπορούν να φτάσουν κολυμπώντας, ενώ τα μικρότερα ζώα μπορούν να παρασυρθούν από το νερό σε φυσικές σχεδίες, όπως η πλωτή βλάστηση (Sondaar, 1991).

Φαίνεται πιο λογικό να υποθέσει κανείς ότι οι αναπαραγωγικοί πληθυσμοί τόσο των ιπποποτάμων, όσο και των ελεφάντων κολύπησαν στην Κύπρο κατά τη διάρκεια ενός μεγάλου παγετώνα (Εικόνα 7). Πολλά απολιθωματοφόρα πετρώματα δεν είναι παλαιότερα από 300.000 έτη (Held, 1989). Έτσι, αυτά τα δύο ζώα πιθανότατα έφτασαν κατά τη διάρκεια ενός από τους μεταγενέστερους παγετώνες που συνέβησαν περίπου 380.000 χρόνια πριν ή μεταξύ 195.000 και 165.000 έτη πριν. Η χαμηλότερη στάθμη της θάλασσας εκείνη την εποχή έκανε την επιφάνεια της Κύπρου πολύ μεγαλύτερη

από τα σημερινά της 3.570 τετραγωνικά χιλιόμετρα (περίπου στα 9.250 τετραγωνικά χιλιόμετρα, δηλαδή την τριπλάσια επιφάνεια). Αυτό σημαίνει ότι ήταν πολύ πιο κοντά με άλλες χώρες (Εικόνα 7). Σύμφωνα με ορισμένες εκτιμήσεις, η Συρία ήταν μόλις 18 μίλια μακριά (σημειώσεις από παραδώσεις στο Μουσείο Παλαιοντολογίας και Γεωλογίας από τον κ. Θεοδώρου, 2011).

Ο Azzaroli, 1978 τονίζει ότι τα ζώα δεν κινούνται έξω από το φυσικό του περιβάλλον και τις πηγές τροφής τους. Αν όμως εξετάσουμε τη συμπεριφορά των ελεφάντων και των ιπποποτάμων, μπορούμε να δούμε ότι υπάρχουν πολλές καταγραφές ελεφάντων που κολυμπούν (Johnson, 1980). Οι πληροφορίες για τους ιπποπόταμους είναι πιο σπάνιες.

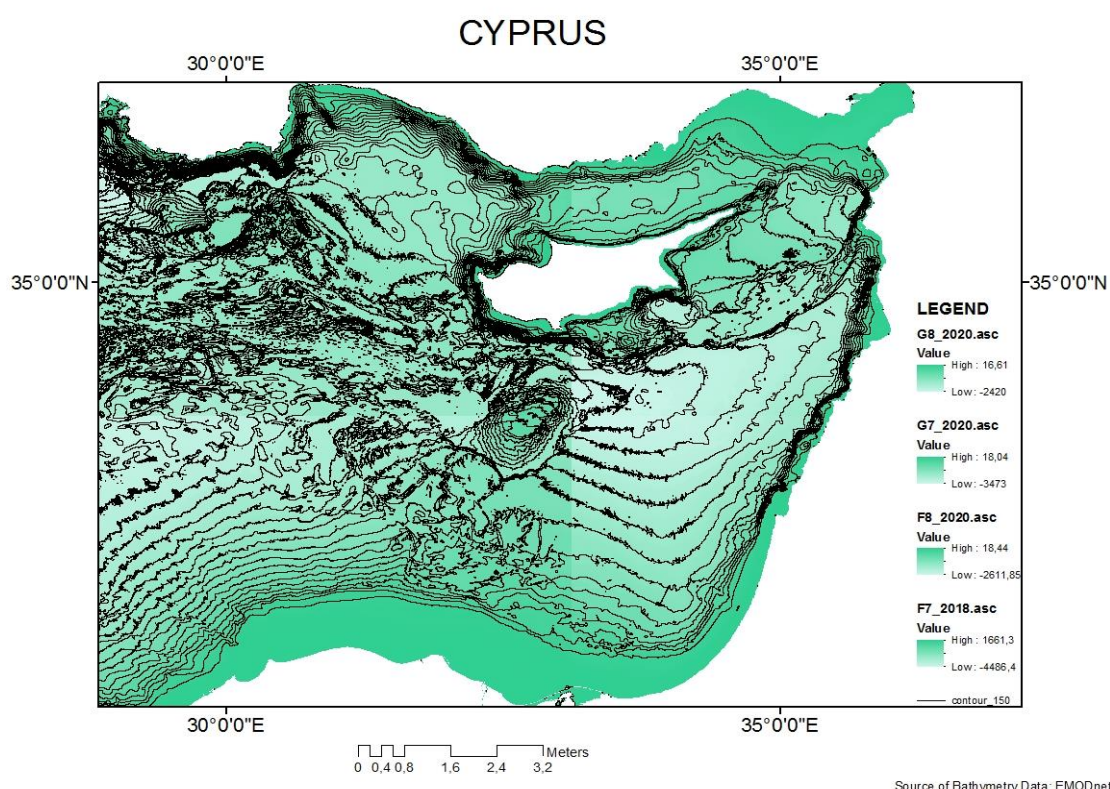
Αν παρατηρήσουμε τους ελέφαντες και τους ιπποπόταμους σήμερα, μπορούμε να δούμε ότι είναι εξαιρετικοί κολυμβητές (Εικόνα 8). Οι ελέφαντες αγαπούν το μπάνιο και υπάρχουν πολλές αναφορές από νησί σε νησί στην ανοιχτή θάλασσα της Ινδίας και της Σρι Λάνκα (Chadwick, 1991).

Η μέση ταχύτητα ενός ενήλικα είναι περίπου 1,5 χιλιόμετρο την ώρα και με τη βοήθεια ενός ρεύματος, η κολύμβηση από την ηπειρωτική χώρα θα χρειαζόταν τουλάχιστον 15 ώρες, κάτι που δεν ξεπερνά τις δυνατότητες αντοχής τους (Chadwick, 1991).

Ο Sondaar (1977) υποστήριξε το μοντέλο διασποράς του Simpson (1940) και δήλωσε ότι μεταξύ των μεγάλων θηλαστικών, η καλή ικανότητα κολύμβησης είναι η κύρια προϋπόθεση για μια επιτυχημένη μετανάστευση σε ένα απομονωμένο νησί. Ωστόσο, ο Azzaroli (1982) ήταν μιας άλλης άποψης και ισχυρίστηκε ότι η εμφάνιση προσωρινών γεφυρών ξηράς ήταν η μόνη ικανοποιητική εξήγηση, ενώ η ικανότητα κολύμβησης και το ράφτινγκ ήταν ανεπαρκείς ως επεξηγήσεις. Όπως διακρίνεται από τα νησιά της Μεσογείου, η Μαδαγασκάρη, το τέταρτο μεγαλύτερο νησί στον κόσμο, έχει σημαντικές φυσικές και κλιματικές παραλλαγές. Η πανίδα της Μαδαγασκάρης είναι πιο διαφοροποιημένη. Εκτός από τα μικρά σαρκοφάγα, εμφανίζονται και μεσαίου μεγέθους και μεγάλα αρπακτικά, τόσο υποαπολιθώματα όσο και αρτίγονα, όπως ο κροκόδειλος του Νείλου.

Είναι πιθανό να μπορούσαν να κολυμπήσουν προς την ανοιχτή θάλασσα καθοδηγούμενοι από την οξεία όσφρησή τους. Κατά τη διάρκεια μιας εποχής παγετώνων θα μπορούσε να τους προσελκύσει το άφθονο φαγητό στο νησί που θεωρείται ότι επηρεάστηκε λιγότερο από το έντονο κρύο της ηπειρωτικής χώρας (Chadwick, 1991).

Επομένως, οι ιπποπόταμοι μπορεί να κολύπησαν μέχρι την Κύπρο σε μία περίοδο που η στάθμη της θάλασσας ήταν πιο χαμηλή, πιθανότατα σε κάποια ψυχρή περίοδο που το νερό ήταν δεσμευμένο στους πάγους. Όταν λοιπόν η στάθμη της θάλασσας ανέβηκε, τα ζώα εγκλωβίστηκαν καλούμενα να προσαρμοστούν στις νέες συνθήκες, αφού λόγω των δυναμωμένων πλέον ρευμάτων αδυνατούσαν να γυρίσουν πίσω στις ηπειρωτικές περιοχές απ' όπου ήρθαν. Γνωστές μεταναστεύσεις αποτελούν πλέον αυτές του ελέφαντα της Μεγαλόπολης στο νησί της Κρήτης από τα Κύθηρα και τα Αντικύθηρα και στην Τήλο μέσω της Μικράς Ασίας.



ΕΙΚΟΝΑ 7: Βαθυμετρικός χάρτης της Περιοχής της Ανατολικής Μεσογείου που δείχνει πόσο κοντά είναι τα παράλια της Κύπρου με τα παράλια της νότιας Τουρκίας ή τα παράλια του Λίβανου. Τα δεδομένα για να φτιαχτεί ο βαθυμετρικός χάρτης έχουν αντληθεί από το EMODnet



ΕΙΚΟΝΑ 8: Ιπποπόταμος κολυμπάει στο νερό. ΠΗΓΗ ΕΙΚΟΝΑΣ:
<https://www.dublinozoo.ie/animal/hippopotamus/>

4.1.2 ΠΩΣ ΑΡΓΟΤΕΡΑ ΕΞΑΦΑΝΙΣΤΗΚΑΝ

Μεγάλη συζήτηση έχει προκαλέσει επίσης το ερώτημα για το πώς εξαφανίστηκαν οι νάνοι ιπποπόταμοι, αλλά και οι ελέφαντες από το νησί. Οι απόψεις δίστανται καθώς οι περισσότεροι επιστήμονες πιστεύουν ότι η εξαφάνιση των ειδών αυτών συμπίπτει με την άφιξη των πρώτων ανθρώπων στο νησί, επομένως οι πρώτοι άνθρωποι θα μπορούσαν να αποτελούν τους θηρευτές τους (Simmons and Reese, 1993). Η εξαφάνιση των ενδημικών θηλαστικών δε σημειώθηκε μόνο στην Κύπρο, αλλά και σε άλλα νησιά της Μεσογείου. Από την άλλη πλευρά, κάποιιοι πιστεύουν ότι η εξαφάνισή τους οφείλεται σε μία απότομη αλλαγή του κλίματος. Ο υπερπληθυσμός θα μπορούσε να είναι ένας λόγος για τον οποίο εξαφανίστηκαν (Sondaar, 1987).

Για την πρώτη περίπτωση, οι πρώτες μαρτυρίες για την παρουσία του ανθρώπου στο νησί της Κύπρου προέρχονται από μία μικρή σπηλιά στη θέση Ακρωτήρι-Αετόκρημνος, όπου βρέθηκαν λίθινα εργαλεία μαζί με μεγάλο αριθμό σκελετικών υπολειμμάτων του εξαφανισμένου ενδημικού πυγμαίου ιπποπόταμου *Phanourios minor* και του πυγμαίου ελέφαντα *Elephas cypriotes*, καθώς και πολλά οστά πουλιών, οστά ερπετών, κοχύλια θαλάσσιων μαλακίων, στολίδια λίθινα είτε φτιαγμένα από όστρακα, κ.λπ. (Hadjisterkotis *et al.* 2000; Simmons 1991, 1996, 1999, 2000; Simmons and Wigand 1994).

Οι Reese *et al.*, 1999 παρείχαν μια λεπτομερή μελέτη της πανίδας του Αετόκρημνου και συμπεραίνουν ότι τα οστά ήταν σύγχρονα με τα ανθρωπογενή τεχνουργήματα. Οι

Hajisterkotis *et al*, (2000), σε μια παλαιοοικολογική ανάλυση της τοποθεσίας και των υπολειμμάτων της, αναφέρουν πως ορισμένα είδη που βρέθηκαν στο σπήλαιο, ίσως εισήλθαν για προστασία ή για να πέσουν σε χειμερία νάρκη ή μεταφέρθηκαν εκεί από την *Genetta plesictoides*. Ωστόσο, σημειώνουν ότι ο μόνος τρόπος που θα μπορούσαν να έχουν μπει στο σπήλαιο 218.459 οστά ιπποποτάμων, 330 οστά ελέφαντα, 3.200 οστά πουλιών και 73.000 θραύσματα θαλάσσιων κελυφών θα ήταν εάν τα είχαν φέρει άνθρωποι. Τα περισσότερα από τα οστά είναι σπασμένα και πολλά φαίνεται σαν να έχουν καεί (Hajisterkotis *et al*, 2007).

Όμως, αν και ο Αετόκρημνος είναι η μοναδική τοποθεσία απολιθωμάτων στο νησί με πιθανά στοιχεία για το τι προκάλεσε τη συσσώρευση των σκελετικών υπολειμμάτων, οι Hajisterkotis *et al*, 2007 υποστηρίζουν ότι ο λόγος που βρέθηκαν ο νάνος ιπποπόταμος και ο νάνος ελέφαντας στα άλλα 19 σπήλαια παραμένει άγνωστος. Η κύρια υπόθεση είναι ότι αυτά τα ζώα μπήκαν σε σπηλιές ή χρησιμοποίησαν μονοπάτια που περνούσαν από γκρεμούς, για διάφορους λόγους και με αυτόν τον τρόπο συνάντησαν μια σειρά από φυσικές παγίδες.

Το κύριο επιχείρημα που έχουν προβάλει ορισμένοι ερευνητές για την απόρριψη της συσχέτισης των οστών του ιπποπόταμου με τον άνθρωπο στον Αετόκρημνο, είναι ότι οι περισσότερες τοποθεσίες απολιθωμάτων θηλαστικών στην Κύπρο αλλά και σε άλλα νησιά της Μεσογείου, αποτελούνται από μεγάλες ποσότητες οστών που βρέθηκαν σε σπηλιές. Από τις απολιθωματοφόρες τοποθεσίες που υπάρχουν στην Κύπρο εκ των οποίων οι 20 περίπου φέρουν επίσης υλικό από Ελέφαντες, οι 19 βρίσκονταν σε σπήλαια και 2 σε υπαίθριες τοποθεσίες (Reese, 1996). Αυτό παρατηρήθηκε επίσης σε τοποθεσίες στην Κρήτη (Lax 1996), στη Μάλτα (Hunt and Schembri 1999) και στη Σικελία (Bonfiglio and Burgio 1992; Bonfiglio and Insacco 1992; Bonfiglio και Piperno 1996). Σε αντίθεση με τον Αετόκρημνο, δεν υπάρχουν στοιχεία σε αυτά τα νησιά ότι η εξαφάνιση των ενδημικών ζώων θα μπορούσε να συνδέεται με τον άνθρωπο. Κατά τον Simmons (1996), η Κύπρος ίσως καταλήφθηκε από μία ομάδα 50 ατόμων. Μία τέτοια ομάδα θα μπορούσε να εξαλήψει τον πληθυσμό των ιπποποτάμων σε σχετικά μικρό χρονικό διάστημα (Sondaar and van der Geer, 2005).

Αν και έχουν δημοσιευθεί πλέον πολυάριθμες μελέτες που υποστηρίζουν τη συσχέτιση μεταξύ ανθρώπων και ιπποπόταμου στον Αετόκρημνο (Simmons 1991a, b, 1996, 1999, 2001, 2002; Simmons and Reese 1993; Simmons and Wigand 1994; Reese *et al*, 1999; Hajisterkotis *et al*. 2000), μερικοί ερευνητές δεν είναι ακόμη πεπεισμένοι για αυτή τη συσχέτιση (Ammerman and Noller 2005; Nicolaou *et al.*, 2020).

Ο Laws (1968) ήταν ο πρώτος που δημοσίευσε μια ερευνητική εργασία σχετικά με τη δυναμική του πληθυσμού για τα *Hipporotamidae*. Χρησιμοποίησε δεδομένα από 207 γνάθους από *Hipporotamus amphibius*, που συλλέχθηκαν από άτομα που βρέθηκαν νεκρά από εικαζόμενα φυσικά αίτια μεταξύ 1961 και 1966 στο πάρκο Queen Elizabeth στην Ουγκάντα (Laws, 1968). Βελτίωσε τη μέθοδο του Longhurst (1958) και τη χρησιμοποίησε για να διαβαθμίσει την ηλικία των κάτω γνάθων που συλλέχθηκαν προκειμένου να σχεδιάσει πίνακες ζωής (life tables) και ένα προφίλ θνησιμότητας. Οι Marshall και Sayer (1976) ανέφεραν δεδομένα από δύο γεγονότα σφαγής του *H. amphibius* στην ίδια περιοχή του Εθνικού Πάρκου South Luangwa στην Ανατολική Ζάμπια. Η πρώτη σφαγή έλαβε χώρα το 1970 και 375 ιπποπόταμοι σκοτώθηκαν με τουφέκια (Laws, 1968). Ένα χρόνο αργότερα η διαδικασία επαναλήφθηκε σε δείγμα 210 ιπποπόταμων (Marshall and Sayer, 1976). Ένα άλλο συμβάν σφαγής έλαβε χώρα το 1995 στον ποταμό Luangwa στη Ζάμπια όπου 457 *H. amphibius* πυροβολήθηκαν (Wopschall, 2014).

Η Wopschall (2014) στη διδακτορική της διατριβή χρησιμοποίησε 322 κάτω γομφίους M1 και M2 από τη συλλογή του Αετόκρημνου που φυλάσσεται στο Τοπικό Αρχαιολογικό Μουσείο στην Επισκοπή της Κύπρου (ΛΑΜΚΕ), τους οποίους βαθμολόγησε σύμφωνα με τον Laws (1968) και σχεδίασε ένα πρωταρχικό προφίλ θνησιμότητας (Wopschall, 2014).

Οι Nicolaou *et al.* (2020) μελέτησαν το προφίλ θνησιμότητας του νάνου ιπποπόταμου στην τοποθεσία του Αετόκρημνου, και κατέληξαν ότι ο θάνατος οφειλόταν σε φυσικά αίτια όπως ατυχήματα και ασθένειες και όχι σε καταστροφικά γεγονότα. Υποεκπροσώπηση νεότερων ηλικιακών τάξεων που παρατηρείται στο σωζόμενο *H. amphibius*, πιθανότατα λόγω προβλημάτων στις κατά προσέγγιση μεθόδους δειγματοληψίας που χρησιμοποιήθηκαν, δεν παρατηρείται στο *H. minor*. Επιπλέον, τα δεδομένα υποδηλώνουν ότι τα θηλυκά δεν γεννούσαν περισσότερους από έναν απογόνους το χρόνο και ότι υπήρχε εποχικότητα αναπαραγωγής και γέννησης. Το προφίλ θνησιμότητας της φθοράς καθιστά απίθανο ο Αετόκρημνος να ήταν μια τοποθεσία όπου οι προϊστορικοί κυνηγοί έσφαζαν, μαγείρευαν και έτρωγαν ιπποπόταμους. Η εναλλακτική υπόθεση του Olsen που υποστηρίζει ότι το σπήλαιο χρησιμοποιήθηκε ως καταφύγιο από τον ήλιο κατά τη διάρκεια της ημέρας και ότι τα ζώα που πέθαιναν από φυσικά αίτια στη συνέχεια ποδοπατήθηκαν από άλλα ζώα της αγέλης είναι πιο πειστική.

Σύμφωνα με τους Stathoroulou *et al.*, 2004 δεν υπάρχουν ακόμη στοιχεία στη θέση της Αγίας Νάπας που να συνδέουν την εξαφάνιση του ιπποπόταμου με την παρουσία

των ανθρώπων κατά το Ύστερο Πλειστόκαινο ή τα προγενέστερα στάδια του Ολόκαινου, όπως έχει προταθεί, από τον Αετόκρημνο (Simmons, 1999, 2000).

Οι Stathoroulou *et al.*, 2004 έκαναν μία λεπτομερή ανάλυση του στρώματος των μαύρων οστών. Τα μαύρα οστά που συλλέγονται ακόμα και σήμερα σε πολλές ανασκαφές στον κόσμο, συνήθως πιστευόταν ότι προέρχονται από καύση. Ωστόσο, αυτό μπορεί να προέρχεται και από άλλες αιτίες, π.χ. διαγενετικές. Στην μελέτη αυτή, υπάρχει μία λεπτομερής περιγραφή της διαγενετικής κατάστασης του υλικού, ιδιαίτερα σε ό,τι αφορά την ιστολογία. Η μικροβιακή δραστηριότητα είναι άφθονη και έχει προκαλέσει τη μερική καταστροφή της δομής του. Αποδείχθηκε, πως για το υπό μελέτη υλικό, η αιτία του μαύρου χρώματος ήταν η κηλίδωση από οξειδία και όχι η καύση.

Οι μεταβολές των οστών στο έδαφος παίρνει τόσο φυσική όσο και χημική μορφή. Η πορώδης δομή του οστικού ιστού είναι επιρρεπής στη διείσδυση δευτερογενών φάσεων. Οι προσμείξεις αυτές μπορούν να προκύψουν από τη φυσική ενσωμάτωση υλικών στα οστά. Το Ca, για παράδειγμα, μπορεί να εμπλουτιστεί με την καθίζηση του ασβεστίτη. Τα Al, Mn, Fe και Mg μπορεί να προέρχονται από εμπλουτισμό από ρύπους του εδάφους (Price *et al.*, 1992).

4.3 ΑΓΙΑ ΝΑΠΑ: Η ΘΕΣΗ, ΟΙ ΑΝΑΣΚΑΦΕΣ ΚΑΙ ΤΟ ΥΛΙΚΟ

Τον Ιούνιο του 2001 ξεκίνησαν για πρώτη φορά οι ανασκαφές στην τοποθεσία Αγία Νάπα Κύπρου με σκοπό τη συλλογή διαφόρων δειγμάτων που ανήκουν στο νάνο ιπποπόταμο του είδους *Phanourios minor*. Ήταν η πρώτη παλαιοντολογική ανασκαφή που πραγματοποιήθηκε στην Κύπρο από ελληνοκυπριακή παλαιοντολογική ομάδα. Περισσότερα από 5000 κατακερματισμένα ή πλήρη οστά μας επέτρεψαν να έχουμε μια καλή αρχική εικόνα για τον ιπποπόταμο της Αγίας Νάπας (Theodorou, *et al.*, 2004). Μέχρι το 2007, περισσότερα από 14.000 δείγματα, που αντιστοιχούν σε τουλάχιστον 169 μεμονωμένους ιπποπόταμους είχαν συλλεχθεί από την τοποθεσία (Fillipidi *et al.*, 2013), με εκτιμήσεις από μεταγενέστερες ανασκαφές που αναφέρουν περισσότερους από 200 ιπποπόταμους.

Η τοποθεσία διαμορφώθηκε στο παρελθόν, ως στέγη ενός φυσικού σπηλαίου-καταφύγιο κάτω από την οποία εναποτέθηκαν τα απολιθωματοφορα στρώματα και η οποία αργότερα κατέρρευσε.

Οι ανασκαφές έχουν πραγματοποιηθεί από το Γεωλογικό Ινστιτούτο Κύπρου (Ιωάννης Παναγίδης, Ευθύμιος Τσολάκης) σε συνεργασία με επιστημονική ομάδα του Τμήματος Ιστορικής Γεωλογίας και Παλαιοντολογίας του Πανεπιστημίου Αθηνών, υπό την εποπτεία του Γιώργου Θεοδώρου (Εικόνες 9,10). Οι ανασκαφές έχουν χρηματοδοτηθεί από τη Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας του Ελληνικού Υπουργείου Ανάπτυξης (έργο ΕΕ, Κωδ. 2013555 – Έργο UOA, 70/3/6050), την Κυπριακή Δημοκρατία (Υπουργείο Γεωργίας Κύπρου και τον Δήμο Αγία Νάπα -Project UOA 70/3/6017) και τον Ειδικό Λογαριασμό Υποτροφιών Έρευνας του Πανεπιστημίου Αθηνών Έργο του UOA 70\4\3370).

Με το πέρασμα των ανασκαφών κατέστη δυνατό να αποκαλυφθεί ένα πολύ πλούσιο, πάχους άνω του ενός μέτρου, ως επί το πλείστον αδιατάρακτο απολιθωματοφόρο στρώμα. Αυτό το στρώμα ήταν γεμάτο με απολιθωμένα υπολείμματα σκελετού ιπποπόταμου σε εξαιρετική κατάσταση διατήρησης, τα οποία αποτέθηκαν κατά το Άνω Τεταρτογενές. Η περιοχή της ανασκαφής αποτελείται από χαμηλούς ασβεστολιθικούς λόφους (Theodorou, *et al*, 2004).



ΕΙΚΟΝΑ 9: Ανασκαφή στην Αγία Νάπα Κύπρου, 2014. Φωτογραφικό αρχείο: Γεώργιος Θεοδώρου



ΕΙΚΟΝΑ 10: Ανασκαφή στην Αγία Νάπα Κύπρου, 2015. Φωτογραφικό αρχείο: Γεώργιος Θεοδώρου

4.3.1 ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

Το γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής χρονολογείται στο ανώτερο Κρητιδικό και περιλαμβάνει ένα mélange που περιέχει πυριτοκλαστικούς ψαμμίτες, λάβα, πελαγικούς ασβεστόλιθους και κόκκινους ραδιολαρίτες. Ο σχηματισμός υπόκειται του Σχηματισμού Λευκάρων, ηλικίας ανώτερου Κρητιδικού – κατώτερου Μειόκαινου που αποτελείται από πελαγικούς ασβεστόλιθους που περιέχουν ακανόνιστους φακούς και λεπτά στρώματα από πυριτόλιθο (Theodorou, *et al.*, 2004).

Τα υπολείμματα του ασβεστόλιθου Terra, Ακουιτάνιας-Βουρδιγάλιας ηλικίας μόνο σπάνια αντανakλούν τη μορφολογία των υφάλων μετά τη διάβρωση του Μειόκαινου και του Πλειστόκαινου. Ο ύφαλος αποτελείται από μικρές δομές κοραλλιών καθώς και από κόκκινα φύκη, τρηματοφόρα, βρυόζωα και μαλάκια. Τα ιζήματα στις κοιλότητες μεταξύ των αποικιών κοραλλιών είναι βιοκλαστικά και περιλαμβάνουν θραύσματα δίσθυρων, γαστερόποδων, εχινόδερμων, κοραλλιών φυκών, τρηματοφόρων καθώς και συσσωματωμάτων κόκκων ασβεστίτη (Theodorou *et al.*, 2004).

Η Κύπρος βρίσκεται στην περιοχή της ανατολικής Μεσογείου και η βόρεια οροσειρά της (Κερύνεια), αποτελεί μέρος του νοτιότερου βρόχου του τόξου Toros του Suess, το οποίο εκτείνεται προς τα βορειοανατολικά μέσω Hatay (Alexandretta) και τη βορειοδυτική Συρία.

Το νησί διαιρείται στις ακόλουθες ζώνες, με τάση περίπου δυτικά-ανατολικά και διαφοροποιούνται από τη γεωμορφολογία και τη στρωματογραφία τους (Εικόνες 11, 12).

(1) Μια στενή, βόρεια, παράκτια ζώνη θαλάσσιων ιζημάτων του Άνω Σενόνιου-Πλειόκαινου που βυθίζονται ασύμφωνα από την οροσειρά της Κερύνειας προς τα νότια. Η ιζηματογενής αυτή ακολουθία είναι η ακολουθία του Τροόδους και αποτελείται από ιζήματα που χρονολογούνται από το Ανώτερο Κρητιδικό (Καμπάνιο-Μαιστρίχτιο) έως το Ολόκαινο. Τα ιζήματα που συνθέτουν την ακολουθία του Τροόδους είναι άργιλοι μπεντονίτες, ανθρακικά, μάργες, ψαμμίτες και ασβεστιτικοί ψαμμίτες, χαλίκια, άμμοι και ιλύς. Η ακολουθία των οφιολίθων του Τροόδους χωρίζεται σε πέντε τμήματα, τα οποία σχηματίζουν την οροφή. Αυτά είναι από πάνω προς τα κάτω: Σχηματισμός Περαπεδίου (umber), ηφαιστειακά πετρώματα (pillow λάβες), πετρώματα ύφαλου, πλουτώνια πετρώματα (πλαγιογρανίτες, γάβροι, πυροξενίτες, βερλίτης, δουνίτης) και αλληλουχία μανδύα (σερπεντινίτης, Χαρζβουργίτης) (Robertson *et al*, 1986).

(2) Η οροσειρά της Κερύνειας με στρώματα κόκκινων τριαδικών ασβεστολίθων και ραδιολαρίτες, ελαφρώς μεταμορφωμένους ασβεστόλιθους του Ιουρασικού, πράσινα πυριγενή πετρώματα και τεκτονικά μετατοπισμένα, ασύμφωνα νεότερα ιζήματα. Η ακολουθία της Κερύνειας αποτελείται από τα παλαιότερα πετρώματα της Κύπρου. Έχει κατά μήκος ανάπτυξη του ακρωτηρίου Απόστολου Ανδρέα έως το ακρωτήριο Κορμακίτη. Αυτή η ακολουθία χαρακτηρίζεται από τη βορειότερη οροσειρά της Κύπρου: τον Πενταδάκτυλο που έχει υψόμετρο 1024 μέτρα. Αυτή η περιοχή θεωρείται το νοτιότερο φαινόμενο της Ταυρο-Διναρικής Αλπικής Ζώνης. Στα βόρεια η οροσειρά χωρίζεται από μια πλατιά κοιλάδα και μέχρι πέντε χιλιόμετρα νότια απλώνεται η πεδιάδα της Μεσσαορίας. Η ακολουθία της Κερύνειας αποτελείται από αυτόχθονες και αλλόχθονες ακολουθίες. Η εγγενής ακολουθία περιλαμβάνει τους σχηματισμούς Κιθραίας, Καλογραίας-Αρδάνων και Λαπίθου ενώ η αλλόχθονη ακολουθία περιλαμβάνει τους σχηματισμούς Άγιος Ιλαρίων, Σιγξάρι Δίκωμο και Καντάρα. Οι ηλικίες αυτών των σχηματισμών κυμαίνονται από Λιθανθρακοφόρο-Πέρμιο (μεγάλοι ασβεστόλιθοι) έως Νεογενές-Μέσο Μειόκαινο (Robertson *et al*, 1986).

(3) Η πεδιάδα της Μεσαορίας, με έντονα πτυχωμένα πετρώματα που χρονολογούνται από το Ανώτερο Κρητιδικό έως το Πλειόκαινο και ασύμφωνα επικαλύπτονται από τη νότια πλευρά της οροσειράς της Κερύνειας.

(4) Η κεντρική, πυριγενής οροσειρά του Τροόδους, με πλουτόνια, υπερβασικά και εκρηξιγενή πετρώματα, που μαρτυρούν επαναλαμβανόμενη ηφαιστειακή δραστηριότητα στο Μεσοζωικό και το Τριτογενές. Τα θαλάσσια ιζήματα από Ηώκαινο έως Πλειόκαινο της λεκάνης της Μεσαορίας επικαλύπτουν ασύμφωνα τη βόρεια πλευρά του Τροόδους.

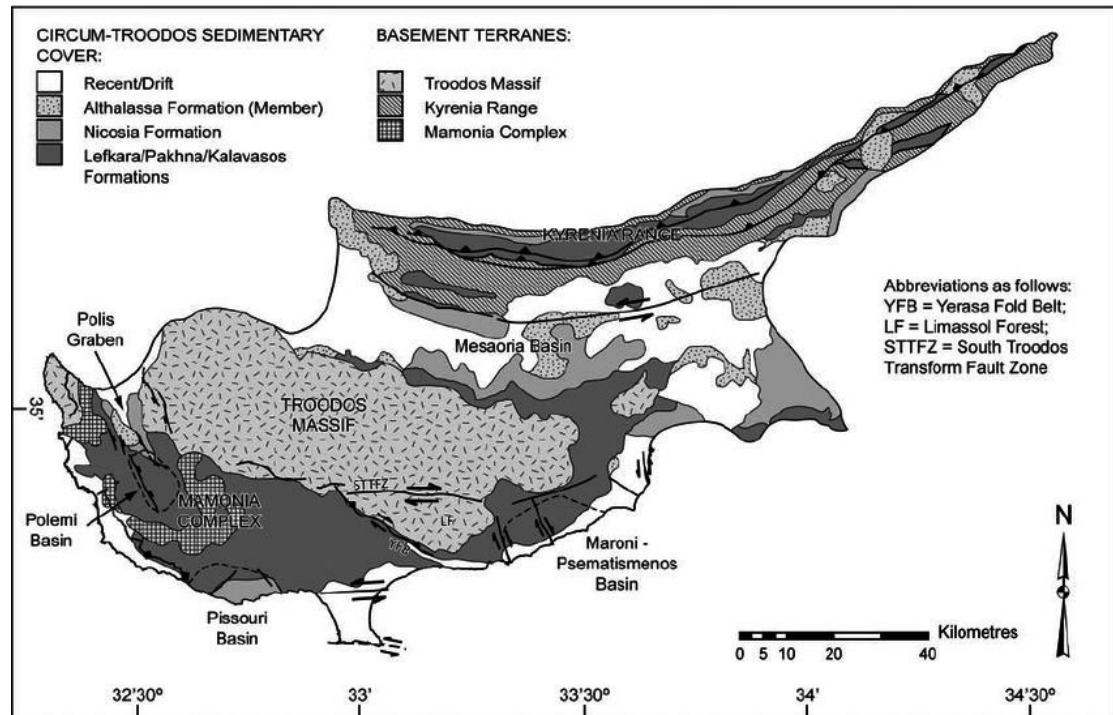
(5) Η ζώνη των θαλάσσιων μητρικών πετρωμάτων υπό κλίση, του Ανω Σενόνιου-Πλειόκαινου, πλαισιώνει το Τρόοδος ασύμφωνα προς τα νότια και αποκαλύπτει έντονα εσωτερικά ερυθρά στρώματα ασβεστόλιθων Τριαδικού, σπασμένους ραδιολαρίτες και σύγχρονα ηφαιστειακά πετρώματα.

(6) Το σύμπλεγμα Mamonia στη ΝΔ Κύπρο αποτελείται από ιζηματογενή και ηφαιστειακά πετρώματα Μέσης Τριαδικής έως Άνω Κρητιδικής ηλικίας. Αυτά τα ιζήματα βαθιάς θάλασσας και τα ηφαιστειακά πετρώματα αντιπροσωπεύουν υπολείμματα ενός παθητικού ηπειρωτικού περιθωρίου και του ωκεάνιου φλοιού που σχηματίστηκε σε μια μικρή ωκεάνια λεκάνη της Μεσοζωικής Νεοτύθους (Robertson *et al*, 1986).

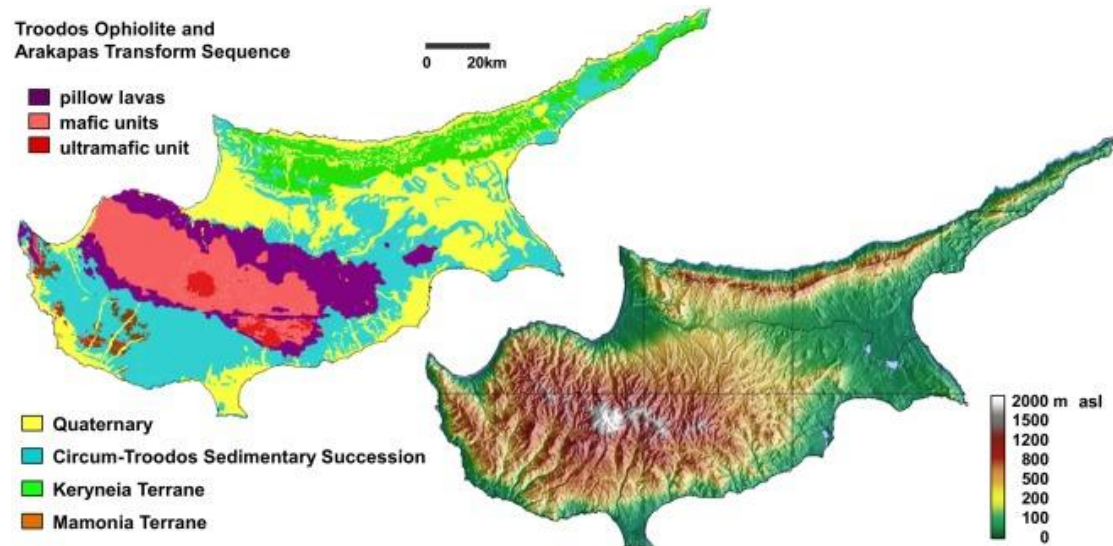
Έτσι, η γεωλογία της Κύπρου χαρακτηρίζεται από θαλάσσια ιζήματα του Ανώτερου Κρητιδικού και Τριτογενούς να βρίσκονται ασύμφωνα σε Μεσοζωικό (προ-κρητιδικό) υπόβαθρο (Hensom *et al*, 1949).

Υπάρχουν δύο στρωματογραφικά διαφορετικά συμπλέγματα πετρωμάτων, το Σύμπλεγμα Τροόδους, που δεν επαναπροσδιορίστηκε, ένα τμήμα του ωκεάνιου φλοιού του ύστερου Κρητιδικού και το Σύμπλεγμα Mamonia, τα τεκτονικά διαμελισμένα υπολείμματα ενός ηπειρωτικού περιθωρίου του Μεσοζωικού. Το συγκρότημα Mamonia χωρίζεται σε δύο ομάδες, καθεμία από τις οποίες υποδιαιρείται σε έναν αριθμό θυγατρικών σχηματισμών (Εικόνα 11). Η ομάδα του Αγίου Φωτίου είναι εξ ολοκλήρου ιζηματογενής και καταγράφει την εξέλιξη ενός ανενεργού ηπειρωτικού περιθωρίου Ανώτερου Τριαδικού έως Κρητιδικού. Η ομάδα Διαρίζος αντιπροσωπεύει το Τριαδικό αλκαλικό ηφαιστειακό πέτρωμα και την καθίζηση δίπλα σε ένα ηπειρωτικό περιθώριο. Αρκετοί άλλοι σχηματισμοί που δεν περιλαμβάνονται στις δύο ομάδες περιλαμβάνουν ιζηματογενή mélange και μεταμορφωμένα πετρώματα. Το Σύμπλεγμα Τροόδους διαθέτει επί τόπου ιζηματογενές κάλυμμα του Κρητιδικού που περιλαμβάνει δύο σχηματισμούς σιδηρομαγναφόρων πελαγικών ιζημάτων, ραδιολαρίτες και

ηφαιστειοκλαστικούς ψαμμίτες. Οι υπερκείμενες ασβεστολιθικές μονάδες του Καινοζωικού δεν επαναπροσδιορίζονται (Henson *et al*, 1949).



ΕΙΚΟΝΑ 11: Απεικόνιση της Γεωλογίας της Κύπρου κατά Kinnaird *et al*, 2011.



ΕΙΚΟΝΑ 12: Απεικόνιση της Γεωλογίας της Κύπρου κατά Zissimos, 2019. Η περιοχή της Αγίας Νάπας φαίνεται να βρίσκεται στο ιζηματογενές κάλυμμα του Κρητιδικού του Συμπλέγματος Τροόδους.

5. ΥΛΙΚΟ

Στη μελέτη μας χρησιμοποιήθηκε σκελετικό υλικό του νάνου ιπποπόταμου *Phanourios minor* από την απολιθωματοφόρο τοποθεσία στην Αγία Νάπα Κύπρου (Theodorou *et al.*, 2004). Ο *Phanourios minor* θεωρείται ως ο μικρότερος ιπποπόταμος όλων των γνωστών νησιωτικών ιπποπόταμων. Το ζώο εκτιμάται ότι είχε ύψος περίπου 76 cm (2,5 πόδια) και μήκος 121 cm (Hadjisterkotis *et al.*, 2007).

5.1 ΟΣΤΑ ΠΟΥ ΠΡΟΤΙΜΗΘΗΚΑΝ

Στην περίπτωση της εργασίας αυτής προτιμήθηκαν οστά από την ομάδα του σκελετού των άκρων, πιο συγκεκριμένα από τις ζώνες των άκρων, δηλαδή μακρά οστά. Στα μακρά οστά συμπεριλαμβάνονται το μηριαίο οστό, το βραχιόνιο οστό, η κερκίδα με την ωλένη και η κνήμη με την περόνη. Η επιλογή αυτή έγινε επειδή τα μακρά οστά έχουν πιο παχύ συμπαγές οστέινο τμήμα απ'ότι σπογγώδες τμήμα και έτσι ήταν πιο εύκολο να γίνει ο καθαρισμός και η ανάλυση, και αυξάνονται οι πιθανότητες να έχει διατηρηθεί κολλαγόνο. Από την άλλη πλευρά τα υπόλοιπα οστά έχουν πιο παχύ σπογγώδες τμήμα απ'ότι συμπαγές τμήμα, γεγονός που θα δημιουργούσε σφάλμα στις μετρήσεις μας. Τα ισότοπα μελετήθηκαν από το βιοαπατίτη των οστών και των δοντιών, παρόλο που έγινε η προσπάθεια μελέτης και από το κολλαγόνο.

A/A	ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ	ΕΤΟΣ ΣΥΛΛΟΓΗΣ	ΤΕΤΡΑΓΩΝΟ	ΑΡ. ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	ΒΑΘΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
1	ΑΥΙΑ ΝΑΡΑ	2002	R11	AN 02A51X	70- 90 cm	απώτερη επίφυση δεξιού μηρού
2	ΑΥΙΑ ΝΑΡΑ	2007		AN07 753		διάφυση
3	ΑΥΙΑ ΝΑΡΑ	2008	P9	AN8 572	55-90 cm	απώτερη επίφυση αριστερής κνήμης με διάφυση
4	ΑΥΙΑ ΝΑΡΑ	2001	Q15	AN01 2661		διάφυση
5	ΑΥΙΑ ΝΑΡΑ	2002		AN02 1095		διάφυση δεξιού μηρού
6	ΑΥΙΑ ΝΑΡΑ	2007		AN07 3451		διάφυση
7	ΑΥΙΑ ΝΑΡΑ	2001	N13	AN01A225	0- 24	διάφυση
8	ΑΥΙΑ ΝΑΡΑ	2008	R9	AN8 1141	95-99 cm	απώτερη επίφυση αριστερής κνήμης

9	ΑΥΙΑ ΝΑΡΑ	2008		AN8 1915		απώτερη επίφυση αριστερής κνήμης
10	ΑΥΙΑ ΝΑΡΑ	2001		AN01 3037		διάφυση
11	ΑΥΙΑ ΝΑΡΑ	2002		AN02 1578		επίφυση αριστερού μηρού
12	ΑΥΙΑ ΝΑΡΑ	2007		AN07 3556		διάφυση
13	ΑΥΙΑ ΝΑΡΑ	2001		AN01 2805		τμήμα γνάθου με γομφίους
14	ΑΥΙΑ ΝΑΡΑ	2001	N13	AN01 2328	10- 40 cm	γομφίος M3
15	ΑΥΙΑ ΝΑΡΑ	2002		AN02 475		κυνόδοντας αριστερός
16	ΑΥΙΑ ΝΑΡΑ	2002		AN02 1099		κυνόδοντας δεξής
17	ΑΥΙΑ ΝΑΡΑ	2001	N13	AN01 2336	10- 40 cm	γομφίος
18	ΑΥΙΑ ΝΑΡΑ	2007		AN07 2451		κυνόδοντας δεξής
19	ΑΥΙΑ ΝΑΡΑ	2003	S10	AN03 2513	120- 130 cm	κυνόδοντας αριστερός
20	ΑΥΙΑ ΝΑΡΑ	2001	T9	AN01 4012	120- 140 cm	κυνόδοντας αριστερός

ΠΙΝΑΚΑΣ 1: Κατάλογος των δειγμάτων που χρησιμοποιήθηκαν για την παρούσα εργασία. Χρησιμοποιήθηκαν επιμήκη (μακρά) οστά, κυρίως οι διαφύσεις τους, κυνόδοντες και γομφίοι. Τα οστά και τα δόντια ήταν από διάφορες ανασκαφικές περιόδους

6. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενα κεφάλαια, αποτελέσματα ισοτόπων οξυγόνου και άνθρακα μπορούσαμε να πάρουμε είτε από το κολλαγόνο που έχει διατηρηθεί στα οστά, είτε από τον απατίτη που υπάρχει στα οστά και τα δόντια. Το κολλαγόνο υπερισχύει σε ποσότητα όμως παράγοντες όπως η υγρασία μπορεί να το καταστρέψουν. Ο απατίτης από την άλλη μειονεκτεί σε ποσότητα, αλλά είναι πιο σκληρό υλικό και πιο ανθεκτικό.

6.1 ΑΠΟΠΕΙΡΑ ΕΞΑΓΩΓΗΣ ΚΟΛΛΑΓΟΝΟΥ

Στην αρχή ακολουθήθηκε το πρωτόκολλο για την εξαγωγή κολλαγόνου από τα οστά. Το κολλαγόνο είναι βραχύβιο σε σύγκριση με τον βιοαπατίτη, αλλά είναι πολύ πιο ανθεκτικό και σε μετρήσιμες ποσότητες μπορεί να επιβιώσει για περισσότερα από 100.000 χρόνια σε βέλτιστες συνθήκες (Gisela Grupe, 2001). Ορισμένοι επιστήμονες

υποστηρίζουν ότι ο απατίτης είναι πιο σκληρό υλικό και δεν ενσωματώνεται εύκολα στη διαδικασία της διαγένεσης (Lee Thorp & Sponheimer, 2003).

Από το κάθε ένα από τα μακρά οστά που είχαμε στη διάθεσή μας κόψαμε ένα μικρό κομματάκι και το βάλουμε σε υδροχλωρικό οξύ (HCl) συγκέντρωσης 5M σε θερμοκρασία 4 βαθμών Κελσίου (ψυγείο). Το δείγμα μας διαλύθηκε μέσα σε μερικά δευτερόλεπτα. Ύστερα τοποθετήθηκε σε αραιότερο διάλυμα υδροχλωρικού οξέος συγκέντρωσης 1M. Το δείγμα διαλύθηκε και πάλι αλλά με πιο αργό ρυθμό.

Ο σκοπός της τοποθέτησης των δειγμάτων στο διάλυμα υδροχλωρικού οξέος ήταν να διαλυθούν τα ανόργανα συστατικά και να μείνουν τα οργανικά. Τα δείγματα μένουν στο διάλυμα οξέος για 24 ώρες ή και παραπάνω και το σκληρό οστό μετατρέπεται σε μαλακό δείγμα οργανικού συστατικού. Ύστερα ξεπλένεται με νερό μέχρι το pH να γίνει ουδέτερο, δηλαδή pH=7.

Εαν το δείγμα μας δεν είχε διαλυθεί ολοσχερώς στο οξύ θα το τοποθετούσαμε σε διάλυμα NaOH για 24 ώρες σε θερμοκρασία δωματίου, για να καθαρίσει από τα χουμικά οξέα που έχει απορροφήσει από το έδαφος. Τέλος το δείγμα μπαίνει στη διαδικασία του βρασμού για 8 ώρες ώστε να μείνει μόνο το κολλαγόνο και να πάει για μέτρηση.

Παρόλο που οι απόπειρες εξαγωγής κολλαγόνου απέτυχαν, οι προσπάθειες συνεχίζονται σε οστά του ενδημικού ιπποπόταμου *Phanourios minor*.

6.2 ΕΞΑΓΩΓΗ ΒΙΟΑΠΑΤΙΤΗ

Στην παρούσα εργασία λοιπόν η ανάλυση βασίστηκε στην εξαγωγή του βιοαπατίτη από τα οστά και τα δόντια. Ουσιαστικά, δώδεκα μακρά οστά και οκτώ δόντια (κυνόδοντες και γομφίοι) χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό των συνθηκών διαβίωσης αυτού του είδους. Από κάθε δείγμα, 100-200 mg κονιοροποιήθηκαν στο γουδί (Εικόνα 13). Τα δείγματα αναλύθηκαν με φασματομέτρο μάζας ThermoScientific Delta V Plus (Εικόνα 14), μετά από αντίδραση για 1 ώρα με ορθοφωσφορικό οξύ (99%) στους 72°C, για παραγωγή CO₂ (συσκευή GasBench II) και μετρήθηκαν τα δ¹⁸O και δ¹³C. Η ανάλυση έγινε στο Ινστιτούτο Νανοεπιστημών και Νανοτεχνολογίας (INN) του **Ε.ΚΕ.Φ.Ε. Δημόκριτος**, στο Εργαστήριο Ισοτόπων.



ΕΙΚΟΝΑ 13: Δείγμα γομφίου που κονιοροποιήθηκε στο γουδί. Προσωπικό φωτογραφικό αρχείο.



ΕΙΚΟΝΑ 14: Το μηχάνημα του φασματόμετρου στο Ινστιτούτο των Νανοεπιστημών και Νανοτεχνολογίας (INN) του ΕΚΕΦΕ Δημόκριτος, στο εργαστήριο ισότοπων.

Ένα άλλο πρωτόκολλο που ακολουθήθηκε από την Dotsika, *et al*, 2011 σύμφωνα με τους Bocherens *et al*. (1996) με μια μικρή τροποποίηση ήταν το εξής: δείγματα οστών

σε σκόνη εμποτίστηκαν σε 2-3% NaOCl σε στροφέα για 24 ώρες, σε θερμοκρασία δωματίου, για να οξειδωθούν τα οργανικά υπολείμματα και ύστερα ξεπλύθηκαν με απεσταγμένο νερό και στη συνέχεια υποβλήθηκαν σε επεξεργασία με ρυθμιστικό διάλυμα οξικού οξέος 1 M σε στροφέα για 24 ώρες, σε θερμοκρασία δωματίου, για την απομάκρυνση των εξωγενών ανθρακικών.

7. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ- ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Παρακάτω παρατίθενται τα αποτελέσματα ισοτόπων οξυγόνου και άνθρακα ($\delta^{13}\text{C}$ και $\delta^{18}\text{O}$) (Πίνακες 2,3,5).

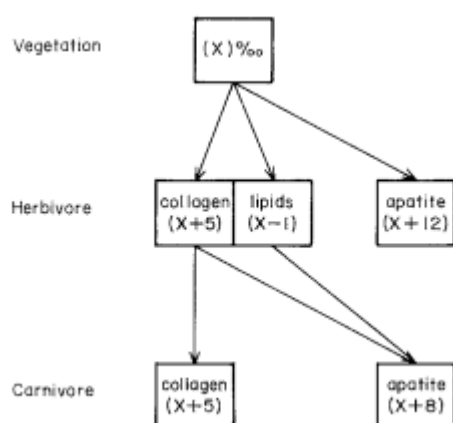
7.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΙΣΟΤΟΠΩΝ ΑΝΘΡΑΚΑ

Η μελέτη αυτή βασίστηκε κυρίως σε οστά και δευτερευόντως σε δόντια, επειδή τα δόντια διατηρούν την εποχιακή μεταβλητότητα του οξυγόνου στη σύνθεση της αδαμαντίνης και αντανakλούν την πρώιμη ηλικία του ζώου (Levinson *et al*, 1987). Επομένως, αυτά τα χαρακτηριστικά της ισοτοπικής σύνθεσης των δοντιών μπορεί να οδηγήσουν σε λανθασμένα συμπεράσματα. Άρα το $\delta^{18}\text{O}$ των οστών, όταν δεν αλλοιώνεται, είναι καλύτερος δείκτης για παλαιοκλιματικές μελέτες.

Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται τα αποτελέσματα των ισοτόπων άνθρακα από το βιοαπατίτη των δειγμάτων του ιπποπόταμου *Phanourios minor*. Οι Cerling and Harris, 1999 αναφέρουν ισοτοπική διαφορά μεταξύ των τιμών $\delta^{13}\text{C}$ στο βιοαπατίτη και στη διατροφή, της τάξης του 14‰. Μία ισοτοπική διαφορά μεταξύ διατροφής και βιοαπατίτη της τάξης των 12‰ αναφέρουν οι Lee- Thorp and Sponheimer, 2006 και φαίνεται στην Εικόνα 15. Έτσι λοιπόν, από τις τιμές που μετρήθηκαν από το βιοαπατίτη των οστών και των δοντιών του νάνου ιπποπόταμου Κύπρου αφαιρέθηκαν οι τιμές 12 ‰ (Lee- Thorp and Sponheimer, 2006) και 14 ‰ (Cerling and Harris, 1999), προς διόρθωση των τιμών που υπολογίσθηκαν. Οι τιμές που τελικά προέκυψαν απεικονίζονται στις στήλες 4 και 5 αντίστοιχα του Πίνακα 2. Στην πρώτη περίπτωση προέκυψε μέση τιμή -21,03 ‰, ενώ στη δεύτερη περίπτωση προέκυψε μέση τιμή - 23,03 ‰. Και στις δύο περιπτώσεις οι τιμές δείχνουν ότι ο ιπποπόταμος τρεφόταν με φυτά C3.

ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	ΕΙΔΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	$\delta^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{V-PDB} - 12}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{V-PDB} - 14}$
AN01A225	οστό	-6,99	-18,99	-20,99
AN01A2336	δόντι	-10,56	-22,56	-24,56
AN02475	κυνόδοντας	-7,52	-19,52	-21,52
AN03 2513	κυνόδοντας	-8,10	-20,10	-22,10
AN01 2328	δόντι	-10,60	-22,60	-24,60
AN02 1099	κυνόδοντας	-9,24	-21,24	-23,24
AN07 2451	κυνόδοντας	-6,93	-18,93	-20,93
AN01 2805	δόντι	-9,21	-21,21	-23,21
AN8 1915	οστό	-9,14	-21,14	-23,14
AN8 572	οστό	-9,30	-21,30	-23,30
AN8 1141	οστό	-8,86	-20,86	-22,86
AN07 753	οστό	-9,40	-21,40	-23,40
AN02 A51x	οστό	-8,87	-20,87	-22,87
AN02 1095	οστό	-9,67	-21,67	-23,67
AN07 3556	οστό	-10,00	-22,00	-24,00
AN02 1578	οστό	-8,95	-20,95	-22,95
AN07 3451	οστό	-9,96	-21,96	-23,96
AN01 2661	οστό	-9,32	-21,32	-23,32
AN01 3037	οστό	-8,90	-20,90	-22,90
AN01 4012	δόντι	-8,96	-20,96	-22,96

ΠΙΝΑΚΑΣ 2: Αποτελέσματα ισοτόπων άνθρακα για τα δείγματα του ιπποπόταμου *Phanourios minor* της περιοχής Αγίας Νάπας Κύπρου. Μετρήσεις από το Εργαστήριο Ισοτόπων στο ΕΚΕΦΕ Δημόκριτος.



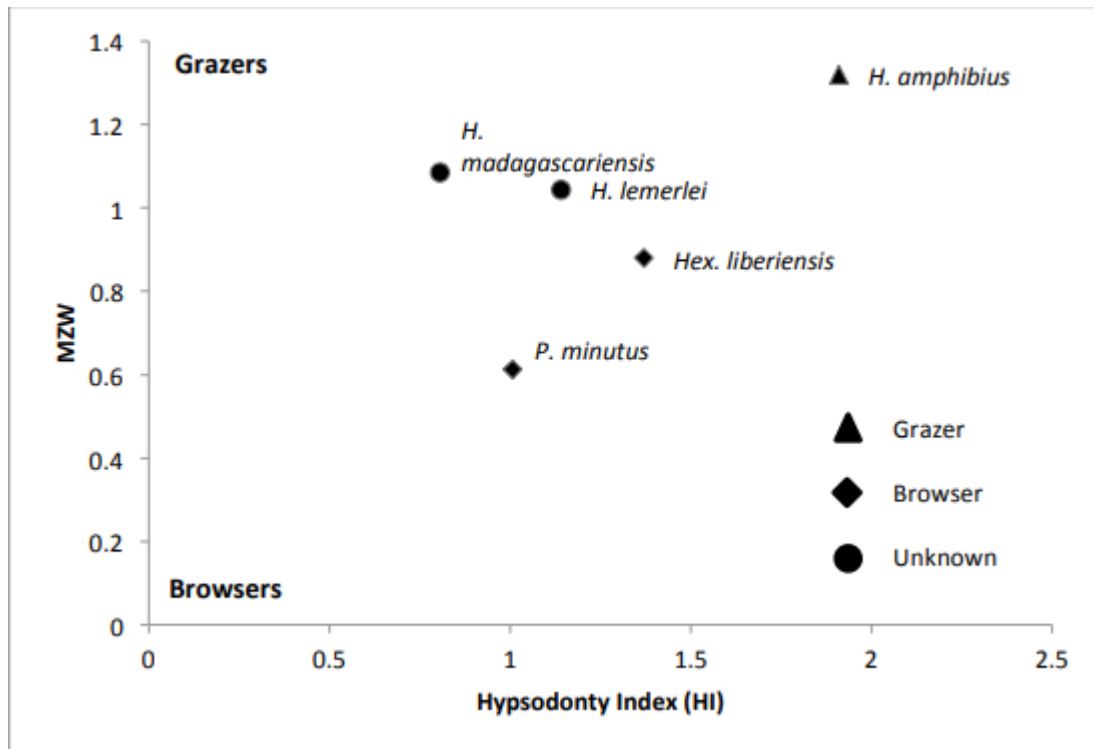
ΕΙΚΟΝΑ 15: Η ισοτοπική διαφορά της διατροφής μεταξύ των μετρήσεων κολλαγόνου και βιοαπατίτη της τάξης των 12‰ (Lee- Thorp and Sponheimer, 2006)

Η Worschall το 2014 μέτρησε τις τιμές ισοτόπων άνθρακα $\delta^{13}\text{C}$ στο κολλαγόνο των οστών από το νάνο ιπποπόταμο από την περιοχή "Ακρωτήρι" στον Αετόκρημο Κύπρου και συνέκρινε τα αποτελέσματά της με αποτελέσματα των Cerling *et al.* (2008)

για τους ηπειρωτικούς ιπποπόταμους της περιοχής της Κένυας. Στην ανάλυση τους, οι τιμές $\delta^{13}\text{C}$ του σύγχρονου ιπποπόταμου κυμαίνονται από το μέγιστο 1,5 ‰ έως το ελάχιστο -13,7 ‰ και άρα υποδεικνύουν ότι η διατροφή του σύγχρονου ιπποπόταμου *Hippopotamus amphibius* είναι υψηλή σε περιεκτικότητα σε φυτά C4 με ένα μικρό ποσοστό κατανάλωσης σε φυτά C3. Η Worschall έβγαλε μέση τιμή $\delta^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}}$ για το νάνο ιπποπόταμο -10,357 ‰ μετρημένο στην αδαμαντίνη και άρα κατέληξε στο συμπέρασμα ότι κατά κύριο λόγο κατανάλωνε φυτά C3 με μία μικρή ποσότητα C4.

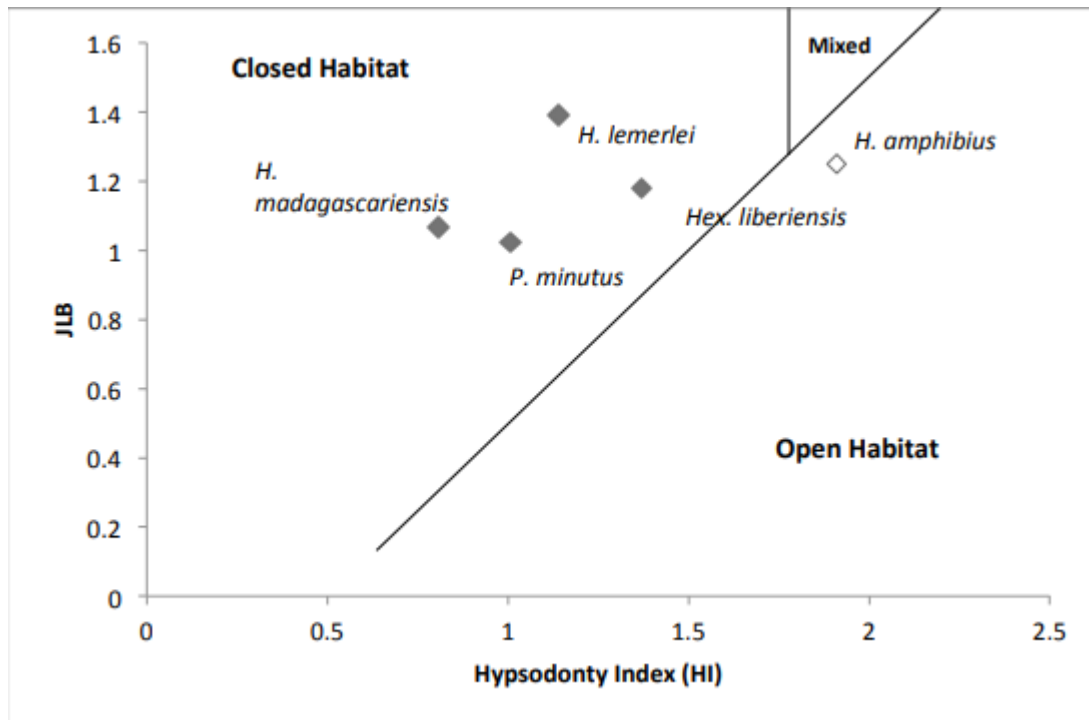
Οι φυτοφάγοι οργανισμοί ανάλογα με τις διατροφικές τους συνήθειες χωρίζονται σε βοσκητές (grazers) και φυλλομασητές (browsers). Τα είδη που προτιμούν τη βοσκητική διατροφή συνήθως ζουν σε πιο ανοιχτά περιβάλλοντα όπου φυτρώνουν γρασίδια. Αυτό σημαίνει ότι το έδαφος είναι εκτεθειμένο στον ήλιο και ευνοείται η γρασιδική φυτοκάλυψη και άρα δεν υπάρχουν πολλά δέντρα ή θάμνοι που να δημιουργούν σκιά. Αντίθετα, τα είδη που προτιμούν τη διατροφή με φύλλα δέντρων, ζουν σε περιβάλλοντα με πολλά δέντρα και χωρίς μεγάλες εκτάσεις ανάπτυξης γρασιδιού. Για την κατανόηση της διατροφικής συμπεριφοράς του ενδημικού νάνου ιπποπόταμου *Phanourios minor*, η Worschall (2014) μελέτησε τη μορφολογία των δοντιών του είδους αυτού και τα συνέκρινε με άλλα είδη ιπποποτάμων, όπως το *Hippopotamus amphibius* ή το *Hippopotamus antiquus*.

Οι γομφίοι του *H. antiquus* (πρόγονος του *H. amphibius* και πιθανώς του *P. minor*) υποδηλώνουν μία διατροφική συνήθεια βοσκής, η οποία αντικατοπτρίζεται τόσο στον *H. amphibius* όσο και στον νάνο ιπποπόταμο από τη Μαδαγασκάρη, *H. lemerlei*. Αντίθετα, ο *P. minor* δείχνει μια αξιοσημείωτη μετατόπιση προς μια πιο λοφοδοντική μορφολογία δοντιών. Αυτό υποδηλώνει επιστροφή στη φυλλομασητική συμπεριφορά και θεωρείται μια πιο «πρωτόγονη» στρατηγική αναζήτησης τροφής για τους *Hippopotamidae*. Οι βοσκητές τείνουν να έχουν μια ιδιαίτερη διατροφή που τείνει να τους λειανεί τα δόντια, εν μέρει λόγω της περιεκτικότητας σε πυρίτιο στο φυτικό υλικό και εν μέρει λόγω των ιζημάτων που καταναλώνονται μαζί με το γρασίδι. Έτσι, υπάρχει μία συνεχής δράση λείανσης και γρήγορα φθείρονται τα δόντια του βοσκητή (Mendoza & Palmqvist 2008).



ΕΙΚΟΝΑ 16: Σύγκριση ανάμεσα στα είδη *P. minor*, *H. amphibi*, *H. madagascariensis*, *H. lemerlei*, *H. Liberiensis* σχετικά με τη διατροφή τους (Wopshall,2014).

Στην παραπάνω εικόνα βλέπουμε ένα διάγραμμα σχετικά με τη διατροφική συμπεριφορά των ειδών *P. minor*, *H. amphibi*, *H. madagascariensis*, *H. lemerlei*, *H. Liberiensis* (Wopshall,2014). Παρατηρούμε ότι ο κυπριακός ιπποπόταμος είναι πιο χαμηλά στις μετρήσεις και τείνει σε φυλλομαστική συμπεριφορά.



ΕΙΚΟΝΑ 17: Σύγκριση ανάμεσα στα είδη *P. minor*, *H. amphibius*, *H. madagascariensis*, *H. lemerlei*, *H. Liberiensis* σχετικά με το περιβάλλον που προτίμησαν (Worshall,2014).

Στην παραπάνω εικόνα βλέπουμε ένα διάγραμμα σχετικά με το περιβάλλον διαβίωσης των ειδών *P. minor*, *H. amphibius*, *H. madagascariensis*, *H. lemerlei*, *H. Liberiensis* (Worshall,2014). Ο ενδημικός ιπποπόταμος της Κύπρου φαίνεται να προτιμούσε πιο κλειστά περιβάλλοντα που χαρακτηρίζονται από δεντροκάλυψη και όχι από γρασίδι.

Σε γενικές γραμμές οι ιπποποταμίδες προτιμούν ημι-υδάτινους οικότοπους και θεωρούνται βοσκητές που βασίζονται σε υδρόβια φυτική διατροφή. Αντίθετα, οι πληθυσμοί ιπποπόταμων που αποίκησαν σε νησιά παρουσιάζουν αυξημένη τάση προς τη χερσοποίηση (Boisserie *et al*, 2005) (Εικόνες 16, 17). Αυτό μπορούμε να το διαπιστώσουμε από κάποια μορφολογικά χαρακτηριστικά, όπως για παράδειγμα την τροχιά του ματιού, η οποία στον ηπειρωτικό ημιυδρόβιο ιπποπόταμο είναι ψηλά στο κεφάλι για να τον διευκολύνει να βλέπει έξω από το νερό όταν είναι βυθισμένος, ενώ στον κυπριακό ιπποπόταμο τα μάτια βρίσκονται χαμηλότερα.

Η μετανάστευση του Ιπποπόταμου κατά το Πλειστόκαινο, από τις ηπειρωτικές περιοχές σε πολλά νησιά της Μεσογείου οδήγησε στην εμφάνιση νέων νησιωτικών ειδών, με κύριο χαρακτηριστικό τη μείωση του μεγέθους του σώματος (Sondaar, 1977). Όλοι οι ενδημικοί ιπποπόταμοι της Μεσογείου παρουσίασαν τροποποιήσεις στα σκελετικά τους στοιχεία, ως προσαρμογή στις οικολογικές συνθήκες του νησιού.

Οι Georgitsis και Liakorouli, 2021 συνέκριναν τα οστά του ενδημικού ιπποπόταμου της Κύπρου με αυτά των σωζόμενων ιπποποτάμων για να προσδιοριστούν οι μορφολογικές διαφορές μεταξύ των ειδών. Η μετρική σύγκριση των καρπιαίων οστών έδειξε ότι τα καρπιαία οστά του *H. amphibius* φαίνεται να είναι σχεδόν διπλάσια από αυτά του *P. minor*, με αναλογίες που κυμαίνονται από 1,71 έως 2,11, ενώ οι τιμές αναλογίας για το *C. liberiensis* πέφτουν πολύ κοντά σε αυτές για τον κυπριακό ιπποπόταμο.

Οι αλλοιώσεις των σκελετικών στοιχείων του *P. minor* συνοδεύτηκαν από την απόκτηση διαφορετικών τύπων μετακίνησης, σε σύγκριση με τον ηπειρωτικό πρόγονό του, που διευκόλυνε το περπάτημα στη βραχώδη επιφάνεια της Κύπρου (Caloi & Palombo, 1994; Houtekamer & Sondaar, 1979; Spaan, Sondaar, & Hartman, 1994). Προηγούμενες μελέτες επικεντρώθηκαν στις λειτουργικές πτυχές των άκρων, αναφέροντας ότι τα μετακρανιακά στοιχεία του *P. minor* εμφανίζουν ορισμένα τυπικά ενδημικά χαρακτηριστικά, όπως π.χ. μεγάλη στιβαρότητα των οστών, βράχυνση των ποδιών, σταθερές αλλά χαμηλής ταχύτητας κινήσεις, σύντηξη των οστών του ταρσού και καλύτερη ευκινησία στην ραχιαία-παλαμιαία κατεύθυνση (Caloi & Palombo, 1994; Houtekamer & Sondaar, 1979; Leinders & Sondaar, 1974; Sondaar, 1977; Spaan *et al.*, 1994; van der Geer, 2014; van der Geer *et al.*, 2010).

Η μορφολογία του *Phanourios minor* δείχνει ότι το είδος ήταν καλά προσαρμοσμένο στην αναρρίχηση και το περπάτημα σε ανώμαλο έδαφος, αλλά πιθανότατα δεν ήταν καλός δρομέας για επίπεδα εδάφη (Van der Geer, 2010). Επίσης, η μορφολογία του κρανίου και των άκρων δείχνει ένα είδος που έζησε στη στεριά και όχι σε ημιυδρόβιες συνθήκες. Αφού πλέον η μορφολογία μαρτυρά έναν καλό περιηγητή και όχι έναν καλό κολυμβητή που θα μπορούσε να τρέφεται με κυανοβακτήρια, πλαγκτόν και ζωικούς ή φυτικούς μικροοργανισμούς που υπάρχουν στα υδάτινα περιβάλλοντα, τότε συμπεραίνουμε ότι η διατροφή του αποτελούνταν αποκλειστικά από χερσαία φυτά. Πιο συγκεκριμένα φαίνεται να προτιμούσε τα φύλλα των δέντρων ή των θάμνων (φυλλομασητική διατροφή) που ανήκουν κυρίως στο φωτοσυνθετικό κύκλο C3. Έτσι, δικαιολογείται η αναρριχητική ικανότητα ώστε να μπορέσει να φτάσει τα φύλλα (Wopschal, 2014; Georgitsis *et al.*, 2021).

7.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΙΣΟΤΟΠΩΝ ΟΞΥΓΟΝΟΥ

Στα μεγάλα ζώα με σταθερή θερμοκρασία σώματος, η σύνθεση ισοτόπου οξυγόνου σχετίζεται με αυτή του νερού του σώματός τους, η οποία σχετίζεται με αυτή του νερού που προσλαμβάνεται μέσω μεταβολικής κλασμάτωσης και μέσω αυτής με την ισοτοπική σύνθεση του τοπικού μετεωρικού νερού και τέλος με τις τοπικές κλιματικές συνθήκες (Longinelli, 1984). Η βροχόπτωση είναι η κύρια πηγή περιεκτικότητας της βλάστησης σε νερό. Το νερό στις ρίζες και στους μίσχους είναι ισοτοπικά παρόμοιο με το πόσιμο νερό που καταναλώνουν τα φυτοφάγα ζώα. Ο εμπλουτισμός $\delta^{18}\text{O}$ στα φύλλα είναι πιο έντονος σε θερμότερες και πιο ξηρές συνθήκες και όταν το φύλλωμα εκτίθεται παραπάνω στο ηλιακό φως. Επομένως, ζώα που ζουν σε ανοιχτούς βιότοπους προσλαμβάνουν περισσότερο θετικό $\delta^{18}\text{O}$ σε σχέση με αυτά που ζουν σε δροσερό δασικό υγρό βιότοπο (Dotsika, *et al*, 2011).

Στους παρακάτω πίνακες θα δούμε τα αποτελέσματα ισοτόπων οξυγόνου ($\delta^{18}\text{O}_{\text{V-PDB}}$ και $\delta^{18}\text{O}_{\text{-VSMOW}}$), όπου $^{18}\text{O}_{\text{ap-VSMOW}} = 1.03091 \ ^{18}\text{O}_{\text{ap-PDB}} + 30.91$ (Dotsika, *et al*, 2011)

Phanourios minor				
S.N	Fossil Code	Sample	$\delta^{18}\text{O}_{\text{V-PDB}} \text{‰}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{-VSMOW}} \text{‰}$
1	AN01A225	diaphysis	-2,15	28,69
2	AN01 2336	molar	-2,58	28,25
3	AN02 475	canine right	-3,17	27,64
4	AN03 2513	canine left	-3,40	27,41
5	AN01 2328	molar	-2,00	28,85
6	AN02 1099	canine left	-3,04	27,78
7	AN07 2451	canine right	-3,53	27,27
8	AN01 2805	molar	-1,14	29,73
9	AN8 1915	dist. epiphysis tibia, left	-3,39	27,42
10	AN8 572	dist. epiphysis tibia, left	-2,20	28,64
11	AN8 1141	dist. epiphysis tibia, left	-2,95	27,86

12	AN07 753	diaphysis	-3,68	27,11
13	AN02 A51x	dist. epiphysis femur, right	-3,56	27,24
14	AN02 1095	femur, diaphysis, right	-2,86	27,96
15	AN07 3556	diaphysis	-3,00	27,82
16	AN02 1578	femur, epiphysis, left	-3,14	27,68
17	AN07 3451	diaphysis	-3,12	27,69
18	AN01 2661	diaphysis	-3,22	27,59
19	AN01 3037	diaphysis	-3,90	26,89
20	AN01 4012	canine left	-3,89	26,90

ΠΙΝΑΚΑΣ 3: Αποτελέσματα ισοτόπων οξυγόνου για τα δείγματα του ιπποπόταμου *Phanourios minor* της περιοχής Αγίας Νάπας Κύπρου. Conversion PDB to VSMOW: $VSMOW=1.03091 \cdot PDB+30.91$, Average $\delta^{18}O_{v-smow}$: *P. minor*: 27‰ (s.d 1 ‰). Μετρήσεις από το εργαστήριο ισοτόπων ΕΚΕΦΕ Δημόκριτος.

Για τα αποτελέσματα των τιμών $\delta^{18}O_{v-smow}$ υπολογίστηκε η μέση τιμή 27 ‰ ± 0,1 ‰ (s.d 1 ‰).

Η μεταβλητότητα στις τιμές των ισοτόπων οξυγόνου οφείλεται σε κλιματικούς παράγοντες, όπως η θερμοκρασία, η υγρασία, η εξάτμιση, η απόσταση από τη θάλασσα, το υψόμετρο και το γεωγραφικό πλάτος.

Πιο θετικές τιμές $\delta^{18}O$ δείχνουν ζεστό κλίμα, δηλαδή μια θερμή περίοδο, ή περιοχές κοντά στην ακτή, ή χαμηλό υψόμετρο και γεωγραφικό πλάτος. Πιο αρνητικές τιμές (μακριά από το μηδέν) δείχνουν ψυχρό κλίμα, δηλαδή μια ψυχρή εποχή, ή μεγάλο υψόμετρο και γεωγραφικό πλάτος.

Σύγκριση με τον *Hippopotamus karumensis* και τον *Hippopotamus amphibius*

Για να ερμηνευθούν τα αποτελέσματα, τα συγκρίναμε με ισοτοπικές τιμές από περιοχή που έζησαν και ζουν ιπποπόταμοι και η μέση ετήσια θερμοκρασία της είναι γνωστή. Έτσι, επιλέχθηκε η Κένυα, αφού σε εκείνη την περιοχή ζει σήμερα ο ιπποπόταμος *Hippopotamus amphibius*. Εκτός από το είδος αυτό όμως έζησαν και άλλα είδη

ιπποπόταμων κατά τη διάρκεια του Καινοζωικού. Ένα από αυτά τα είδη ήταν και ο *Hippopotamus karumensis*.

Επομένως, τα αποτελέσματά μας συγκρίθηκαν με αυτά του πλειστοκαινικού ιπποπόταμου *Hippopotamus karumensis* από μετρήσεις που έγιναν από τον Harris *et al.*, 2008 από ευρήματα διαφόρων περιοχών από τη λίμνη Τουρκάνα της Κένυας στην Αφρική. Ο *Hippopotamus karumensis* έζησε πριν από 1.806 Ma έως 12 Ka, κατά το Πλειστόκαινο και φαίνεται να εξαφανίζεται την ίδια περίοδο με τον *Phanourios minor*.

Κατά το Πλειστόκαινο, όπως φαίνεται από τα αποτελέσματά μας σε σύγκριση με τα αποτελέσματα του Harris *et al.*, 2008, η Κύπρος με την Κένυα είχαν μία μικρή διαφορά στη θερμοκρασία τους, όχι όμως αυτή που θα περίμενε κανείς. Η ισοτοπική διαφορά οξυγόνου είναι της τάξης του 0,88‰, με την Κένυα να έχει μέση τιμή ισοτόπων οξυγόνου στα 26,94‰ και την Κύπρο στα 27,82‰. Το γεγονός αυτό μας δίνει την πληροφορία ότι η Κένυα ήταν ελάχιστα πιο ψυχρή από την Κύπρο την περίοδο του Πλειστοκαίνου.

Επιπλέον, αν συγκριθούν μεταξύ τους τα αποτελέσματα του *Hippopotamus amphibius* που μετρήθηκαν από τον Cerling *et al.*, 2008, των οποίων η μέση τιμή ισοτόπων οξυγόνου είναι 29‰ με τα αποτελέσματα του Harris *et al.*, 2008 για τον *Hippopotamus karumensis* του οποίου η μέση τιμή οξυγόνου είναι 26,82‰, θα καταλάβουμε ότι υπήρχε διαφορά θερμοκρασίας. Τα αποτελέσματα αυτά δείχνουν ότι την περίοδο του Πλειστοκαίνου επικρατούσε ψυχρότερο κλίμα, κάτι που μπορεί να δικαιολογήσει και η εικόνα 20. Αντίθετα η Κύπρος φαίνεται να μην παρουσιάζει θερμοκρασιακή διαφορά 12.000 έτη πριν με τις σημερινές θερμοκρασίες.

Στον παρακάτω πίνακα βλέπουμε τις τιμές $\delta^{18}\text{O}$ που μέτρησαν οι Cerling *et al.* (2008) σε 92 δόντια από 75 διαφορετικά άτομα, από διάφορα σημεία της Κένυας.

Hippopotamus amphibius

REGION	$\delta^{18}\text{O}_{\text{V-PDB}} \text{‰}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{-VSMOW}} \text{‰}$
Baringo region	-1	29,09
Laikipia – Mpala	-1,6	29,3
Nairobi – Athi Plains	-2,6	28,2
Naivasha region	-3	27,8
Turkana/Omo River	-2,3	28,5

Tsavo	-2,5	28,3
Coasta	-2,7	28,1
Lake Turkana	2,8	33,8
Lake Edward 1	-2	30,7
Lake Baringo	-1	29,9
Lake Naivasha	-3	27,8

ΠΙΝΑΚΑΣ 4: Αποτελέσματα ισοτόπων οξυγόνου για τα δείγματα του ιπποπόταμου *Hippopotamus amphibius* της περιοχής της Κένυας (Cerling *et al.*, 2008). $\delta^{18}\text{O}$ -smow *H. amphibius*: 29‰ (s.d 2 ‰).

Όπως για τον κυπριακό ιπποπόταμο *Phanourios minor*, έτσι και για τον *Hippopotamus amphibius* της Κένυας, υπολογίστηκε η μέση τιμή, στα 29 ‰ ± 2 ‰, δηλαδή δύο τοις χιλίοις περισσότερο εμπλουτισμένο στο ισότοπο ^{18}O από ότι ο ιπποπόταμος της Κύπρου (Cerling *et al.*, 2006) (Εικόνα 18). Σκοπός αυτής της σύγκρισης ήταν να δούμε αν οι κλιματικές συνθήκες της Κύπρου πριν από 11.000 χρόνια ταιριάζουν με τις κλιματικές συνθήκες της σημερινής Κένυας, αφού μέχρι σήμερα φαίνεται ότι ο ιπποπόταμος προτιμά υψηλές θερμοκρασίες και θερμό κλίμα.

Παρόλο που τα δεδομένα αφορούν διαφορετική περιοχή, διαφορετικό είδος και διαφορετική γεωλογική περίοδο, τα ισοτοπικά αποτελέσματα δείχνουν ότι η Κύπρος φαίνεται να είχε χαμηλότερη μέση ετήσια θερμοκρασία από ό,τι οι 24°C, πριν από 11.000 χρόνια. Η μεγάλη τιμή $\delta^{18}\text{O}$ δείχνει εμπλουτισμό των πηγών πόσιμου νερού σε ^{18}O , άρα περισσότερη εξάτμιση και επομένως θερμό κλίμα. Επίσης οι τιμές αυτές μπορεί να δείχνουν χαμηλά υψόμετρα, δηλαδή ζωή κοντά στην ακτή, πράγμα που δικαιολογείται εφόσον η Κύπρος ως νησί είναι περικυκλωμένη από θάλασσα. Κατά τον Cerling *et al.* 2007 η μέση ετήσια θερμοκρασία της Κένυας ήταν 24 °C για το έτος 2006 και η μέση ετήσια βροχόπτωση στα 550 mm.

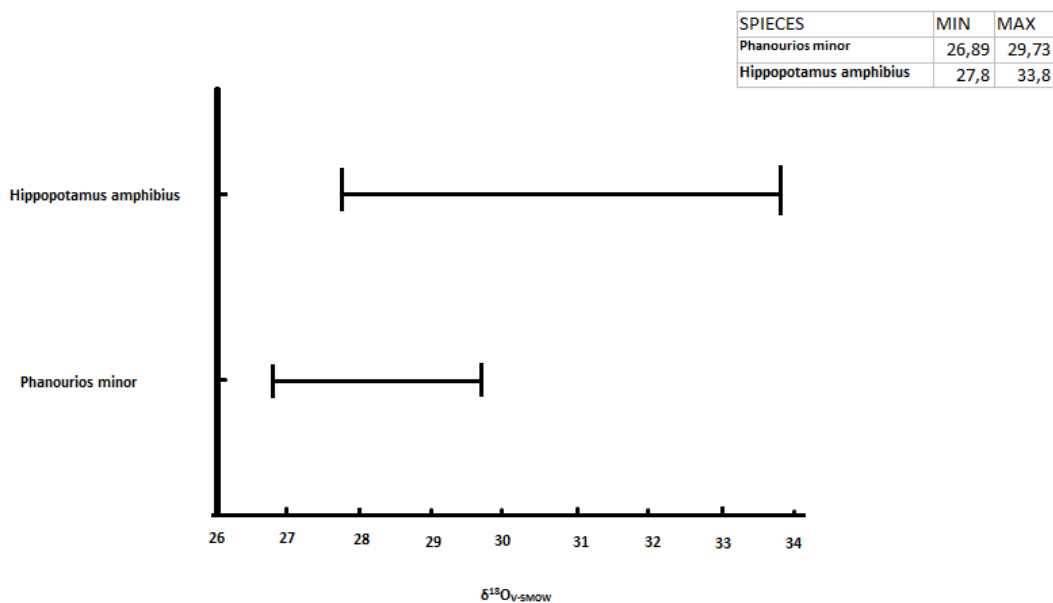
Η λίμνη Τουρκάνα είναι μία κλειστή λεκάνη πλούσια σε ^{18}O σε σχέση με το μετεωρικό νερό. Επομένως η κλειστή λίμνη έχει πιο πολύ ^{18}O σε σχέση με το ανοιχτό ποτάμι που τροφοδοτείται από τα ίδια μετεωρικά νερά. Επομένως, αλλο ένα συμπέρασμα που μπορούμε να βγάλουμε είναι ότι το περιβάλλον που ζούσε ο *Phanourios minor* ήταν πιο ανοιχτό σε σχέση με αυτό της Κένυας.

Το κλίμα της Κένυας είναι καθαρά τροπικό με μια βροχερή και μια ξηρή εποχή και με θερμοκρασίες, τοπία και βλάστηση που παρόλα αυτά ποικίλουν από περιοχή σε περιοχή. Λόγω της ύπαρξης υψιπέδων στα δυτικά και κεντρικά της χώρας, το κλίμα

εκεί είναι πιο δροσερό και υγιεινό για τον άνθρωπο, και γι' αυτό και η πρωτεύουσα το Ναϊρόμπι όπως και πολλές άλλες πόλεις της Κένυας, είναι χτισμένη σε υψόμετρο άνω των 1.000 μ. Η βλάστηση εκεί είναι η πλουσιότερη σε όλη την Κένυα με ορεινά τροπικά δάση και δενδρώδεις σαβάνες. Ιδιαίτερα στην περιοχή της λίμνης Βικτόρια και στους πρόποδες του όρους Κένυα, το κλίμα είναι πιο υγρό με αποτέλεσμα την ύπαρξη μικρών περιφερειακών ισημερινών δασών. Όμως το κλίμα που επικρατούσε στην Κύπρο 11.000 χρόνια πριν δεν μπορεί να ταυτιστεί με αυτό της σημερινής Κένυας παράλο που ζουν και εκεί ιπποπόταμοι.

Το κλίμα της Μεσογείου επηρεάζεται επί του παρόντος από τα δυτικά νερά του Ατλαντικού που φέρνουν υγρούς ανέμους που επηρεάζονται από εξωτροπικούς κυκλώνες. Πηγάζουν από τον Ατλαντικό και ρέουν ανατολικά κατά μήκος της Μεσογείου σχηματίζοντας σύστημα χαμηλής πίεσης (Alpert *et al*, 2005). Αυτό το σύστημα χαμηλής πίεσης οδηγεί υγρό αέρα στην ξηρά δημιουργώντας έντονες ορογραφικές βροχοπτώσεις σε όλη την ακτή του Λεβάντε (Nehme *et al*, 2020).

Στο νησί της Κύπρου το κλίμα είναι θερμό εύκρατο στο δυτικό τμήμα και ξηρό στην ανατολική πλευρά (Kottke *et al*, 2006). Έχει υποτροπικό κλίμα - μεσογειακό και ημι-άνυδρο (στο βορειοανατολικό τμήμα του νησιού) με ήπιους χειμώνες στις περιοχές κοντά στην ακτή και ζεστά καλοκαίρια. Χιόνι πέφτει κυρίως μόνο στα βουνά του Τροόδους στο κεντρικό τμήμα του νησιού. Η βροχή εμφανίζεται κυρίως το χειμώνα, ενώ το καλοκαίρι είναι γενικά ξηρό (Peel, *et al*, 2007). Οι μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες κυμαίνονται από 22 με 23 βαθμούς Κελσίου κατά μήκος των ακτών και και έως 15 βαθμούς Κελσίου στην οροσειρά της Κερήνειας, τους χειμερινούς μήνες. Το νησί χαρακτηρίζεται από υγρούς χειμώνες και ξηρά ζεστά καλοκαίρια. Η ετήσια βροχόπτωση φτάνει τα 600 χιλιοστά κατά μήκος της οροσειράς της Κερήνειας, στα 1000 χιλιοστά πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας και έως τα 1000 χιλιοστά πάνω από την κορυφή του Τροόδους, δηλαδή στα 1952 μέτρα υψόμετρο (Cailhol *et al*, 2019). Σε γενικές γραμμές επικρατεί ξηρό κλίμα με βροχοπτώσεις 700 έως 1400 χιλιοστά (Nehme *et al.*, 2020).



Εικόνα 18: Το εύρος των τιμών οξυγόνου για τα δύο είδη ιπποποτάμων.

Ερμηνεία τιμών πόσιμου νερού

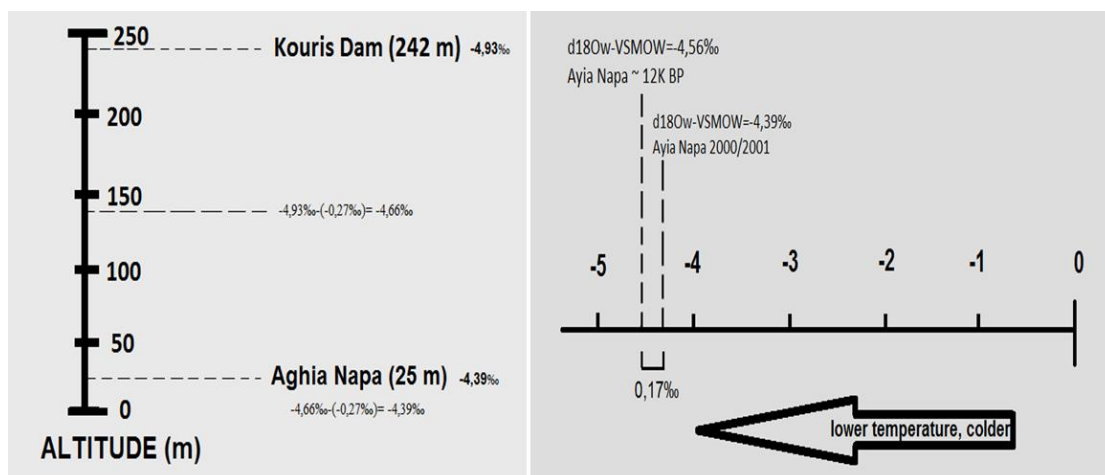
Οι τιμές οξυγόνου αντιπροσωπεύουν το νερό που έπινε ο υπό μελέτη οργανισμός κατά τη διάρκεια της ζωής του (Dotsika *et al.*, 2011). Έτσι, για την πιο λεπτομερή ερμηνεία των αποτελεσμάτων, οι τιμές οξυγόνου του απατίτη των δοντιών μετατράπηκαν σε τιμές πόσιμου νερού με τον τύπο $VSMOW=1.03091 \cdot PBD+30.91$ (Dotsika, 2020). Στον παρακάτω πίνακα βλέπουμε την αντίστοιχη τιμή οξυγόνου πόσιμου νερού για κάθε τιμή οξυγόνου απατίτη.

Κωδικός δείγματος	Δείγμα	$\delta^{18}O_{ap}\text{-VSMOW}$ (‰)	$\delta^{18}O_{w}\text{-VSMOW}$ (‰)
Κωδικός δείγματος	Δείγμα	$\delta^{18}O_{ap}\text{-VSMOW}$ (‰)	$\delta^{18}O_{w}\text{-VSMOW}$ (‰)
AN01A225	οστό	28,69	-3,67564
AN01A2336	δόντι	28,25	-4,1252
AN02475	κυνόδοντας	27,64	-4,74742
AN03 2513	κυνόδοντας	27,41	-4,98674
AN01 2328	δόντι	28,85	-3,51586
AN02 1099	κυνόδοντας	27,78	-4,60505
AN07 2451	κυνόδοντας	27,27	-5,12683
AN01 2805	δόντι	29,73	-2,61292
AN8 1915	οστό	27,42	-4,97745
AN8 572	οστό	28,64	-3,72616
AN8 1141	οστό	27,86	-4,51972
AN07 753	οστό	27,11	-5,2876

AN02 A51x	οστό	27,24	-5,1566
AN02 1095	οστό	27,96	-4,42368
AN07 3556	οστό	27,82	-4,56738
AN02 1578	οστό	27,68	-4,71093
AN07 3451	οστό	27,69	-4,69234
AN01 2661	οστό	27,59	-4,79522
AN01 3037	οστό	26,89	-5,51376
AN01 4012	δόντι	26,90	-5,50629

ΠΙΝΑΚΑΣ 5: Μετατροπή τιμών οξυγόνου απατίτη σε τιμές οξυγόνου πόσιμου νερού.

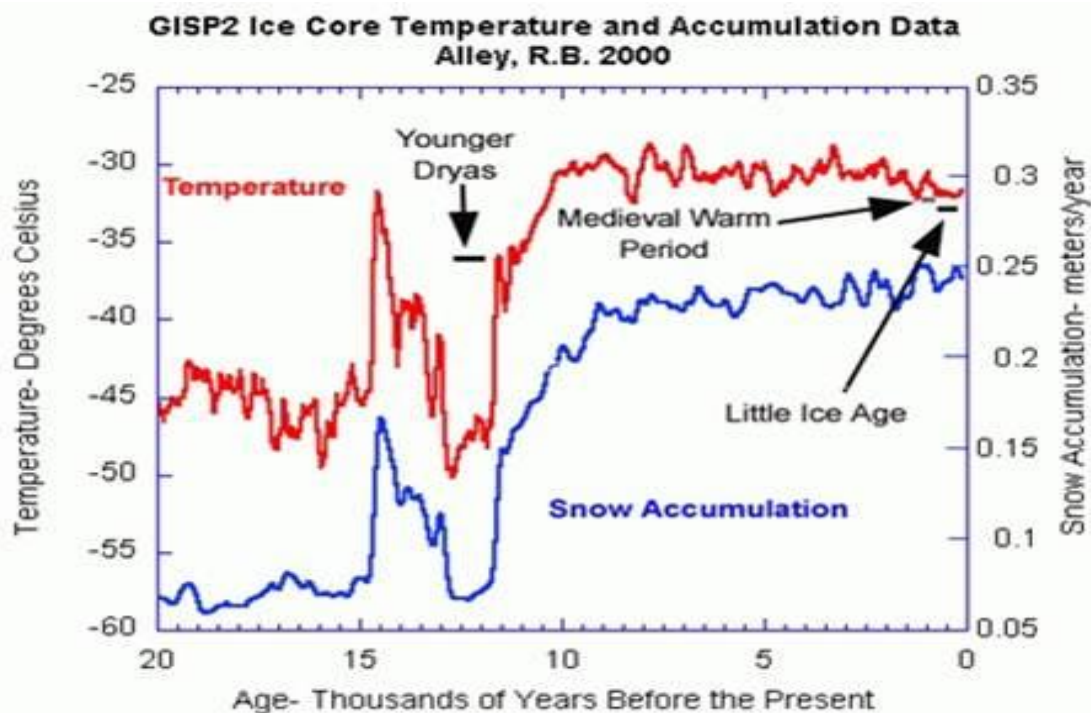
Από τον παραπάνω πίνακα υπολογίσθηκε η μέση τιμή οξυγόνου πόσιμου νερού, -4,56‰ (s.d. 0,7‰). Μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι οι ιστοτοπικές τιμές των δοντιών και των οστών δεν έχουν σημαντικές διαφορές. Οι τιμές αυτές συγκρίθηκαν με τις τιμές ιστοτόπων των βροχοπτώσεων Σεπτεμβρίου-Απριλίου 2000/2001 για την περιοχή Φράγμα Κουρή της Κύπρου, όπως τις υπολόγισαν οι Boronina *et al.*, 2005. Η ιστοτοπική τιμή που υπολόγισαν για την περιοχή αυτή είναι -4,93‰ για το υψόμετρο των 242 μέτρων. Δεδομένου ότι για κάθε 100 μέτρα η τιμή του οξυγόνου αλλάζει κατά -0,27‰ (Boronina *et al.*, 2005) και ότι η περιοχή μελέτης μας βρίσκεται σε υψόμετρο 25 μέτρων, άρα περίπου 200 μέτρα διαφορά από την περιοχή που ήδη έχει μετρηθεί, η τιμή για την Αγία Νάπα γίνεται $-4,93‰ - (-0,27‰) - (-0,27‰) = -4,39‰$. Αυτή η τιμή αντιπροσωπεύει σημερινά κλιματικά δεδομένα και συγκεκριμένα της χρονιάς 2000/2001. Για την εποχή του *Phanourios minor* η μέση τιμή υπολογίσθηκε στα -4,56‰ (s.d. 0,7‰). Αυτή η ιστοτοπική διαφορά όμως είναι πολύ μικρή για να πούμε ότι αντιπροσωπεύει κάποια μεγάλη διαφορά στη θερμοκρασία. Η διαφορά των 0,17‰ θα λέγαμε ότι είναι αμελητέα για να χαρακτηριστεί το Πλειστοκαινικό κλίμα της Κύπρου ψυχρότερο από το σημερινό (Εικόνα 19).



ΕΙΚΟΝΑ 19: Διάγραμμα που εξηγεί τη διαφορά των τιμών οξυζόνου με το υψόμετρο (αριστερά). Διάγραμμα που εξηγεί τη διαφορά θερμοκρασίας της Αγίας Νάπας σύμφωνα

με τις τιμές οξυγόνου για 11.000 περίπου χρόνια πριν από σήμερα και για τη χρονιά 2000/2001 (δεξιά).

Παρόλα αυτά, πρέπει να σημειώσουμε ότι η αποίκηση του νησιού από τους νάνους ιπποπόταμους συμπίπτει με το ψυχρό γεγονός Younger dryas (Εικόνα 20). Το Younger dryas (περίπου 12.900 έως 11.700 χρόνια Π.Χ.) ήταν μια επιστροφή στις συνθήκες των παγετώνων μετά την Ύστερη Παγετώδη Περίοδο, η οποία ανέστρεψε προσωρινά τη σταδιακή κλιματική θέρμανση αφού το Τελευταίο Μέγιστο Παγετώνων (Last Glacial Maximum, LGM) άρχισε να υποχωρεί γύρω στις 20.000 Π.Χ. Πήρε το όνομά του από ένα γένος δείκτη, το αγριολούλουδο της αλπικής τούνδρας *Dryas octopetala*, καθώς τα φύλλα του είναι περιστασιακά άφθονα σε όψιμα παγετώδη, συχνά πλούσια σε ορυκτά ιζήματα, όπως τα ιζήματα λιμνών της Σκανδιναβίας (Zalloua, *et al*, 2017). Ήταν η πιο πρόσφατη και μεγαλύτερη από τις πολλές διακοπές της σταδιακής θέρμανσης του κλίματος της Γης από το σοβαρό LGM, περίπου 27.000~24.000 χρόνια πριν. Η αλλαγή ήταν σχετικά ξαφνική και οδήγησε σε μείωση των θερμοκρασιών στη Γροιλανδία κατά 4~10 °C και πρόοδο των παγετώνων και ξηρότερες συνθήκες σε μεγάλο μέρος του εύκρατου βορείου ημισφαιρίου (Buizert *et al*, 2014). Πιστεύεται ότι προκλήθηκε από τη μείωση της ισχύος της μεσημβρινής ανατροπής του Ατλαντικού - η οποία μεταφέρει ζεστό νερό από τον Ισημερινό προς τον Βόρειο Πόλο - που πιστεύεται ότι διακόπηκε από μια εισροή γλυκού, κρύου νερού από τη Βόρεια Αμερική στο Ατλαντικός (Meissner, K.J. 2007).



ΕΙΚΟΝΑ 20: Απεικόνιση της ετήσιας θερμοκρασίας σε σχέση με το χρόνο, από τα 20.000 έτη μέχρι και σήμερα. Οι καταγραφές πραγματοποιήθηκαν από πυρήνες πάγου της περιοχής της Γροιλανδίας (Alley, 2000; Raymo *et al.*, 2006).

Στο παραπάνω γράφημα παρατηρούμε την πορεία της θερμοκρασίας σε σχέση με το χρόνο για τα τελευταία 20.000 έτη. Βλέπουμε λοιπόν ότι ενώ η θερμοκρασία είχε μία σχεδόν σταθερή πορεία, είχε μία απότομη άνοδο μετά τα 15.000 χρόνια και ύστερα έπεσε απότομα στα 12.000 με 11.000 χρόνια, την εποχή του *Younger dryas*, όταν η Κύπρος κατοικήθηκε από ενδημικά ζώα όπως οι νάνοι ιπποπόταμοι.

Ένα ακόμα συμπέρασμα-ερώτημα που θα μπορούσε να τεθεί είναι αν όντως οι ιπποπόταμοι εξαφανίστηκαν από την Κύπρο τη δεδομένη χρονική στιγμή λόγω της ανθρώπινης δραστηριότητας ή από την απότομη αλλαγή του κλίματος και συγκεκριμένα από την απότομη ψύξη. Με λίγα λόγια, το είδος αυτό μπορεί να μην κατάφερε να προσαρμοστεί στις νέες συνθήκες και έτσι να εξαφανίστηκε. Ωστόσο, όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, η εξαφάνιση του νάνου ιπποπόταμου της Κύπρου δε συμπίπτει μόνο με το κλιματικό συμβάν *Younger Dryas* (YD), αλλά και με την πρώτη άφιξη των ανθρώπων στην Κύπρο (Simmons 1999).

Όμως οι τιμές των ισοτόπων δεν έδειξαν κάποια διαφορά του κλίματος των 11.000 χρόνων πριν σε σχέση με το σημερινό. Το ερώτημα που γεννάται σε αυτήν την περίπτωση είναι κατά πόσο επίσης επηρεάστηκε η περιοχή της νοτιοανατολικής Μεσογείου από αυτήν την κλιματική ψύξη. Σύμφωνα με τους Rutter *et al.*, 2000, ο αντίκτυπος της ψυχρής περιόδου *Younger dryas* κοντά στον ισημερινό θεωρείται ότι είναι πιο μεταβλητός ανά περιοχή από ό,τι φαίνεται να ήταν στα βόρεια γεωγραφικά πλάτη (Rutter *et al.*, 2000). Ο αντίκτυπος αυτού του κλιματικού γεγονότος στην περιοχή της ανατολικής Μεσογείου και στη γειτονική ηπειρωτική χώρα της Λεκάνης του Λεβάντε συζητείται εκτενώς στην αρχαιολογική βιβλιογραφία, καθώς αυτή η περίοδος συμπίπτει με μια δραματική αλλαγή στη χρήση γης και την κινητικότητα σε όλη την περιοχή (Bar-Yosef, 1998; Blockley & Pinhasi, 2011; Eshed *et al.*, 2010; Haldorsen *et al.*, 2011; Maher *et al.*, 2012). Αυτή η περίοδος συνδέεται με ακραία ξηρασία, με ετήσια βροχόπτωση μικρότερη από 150 mm και αύξηση της βλάστησης C4 (Robinson *et al.* 2006).

Για το λόγο αυτό έγινε μία σύγκριση των αποτελεσμάτων μας με τα κλιματικά συμπεράσματα που έχουν βγει από άλλους ερευνητές για δύο ελληνικές περιοχές που γεωγραφικά ανήκουν στην ανατολική Μεσόγειο. Συγκεκριμένα, οι Colonese *et al.* (2013) διερεύνησαν τη σταθερή ισοτοπική σύσταση των οστράκων του σαλιγγαριού

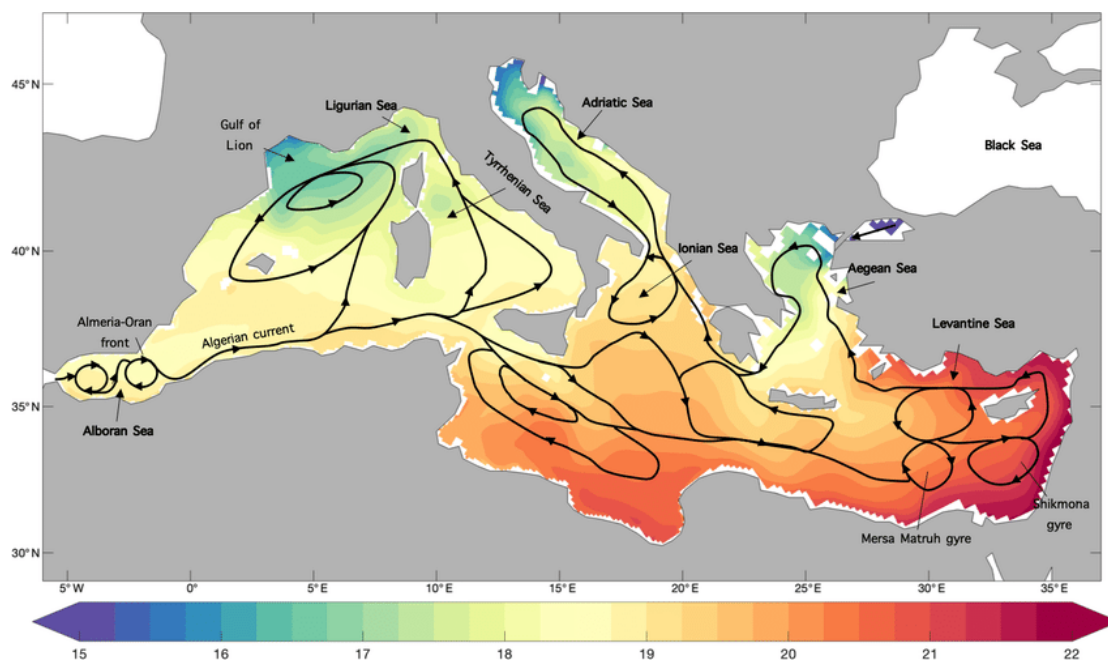
Helix figulina του Ανώτερου Πλειστοκαίνου-Ολοκαίνου (13 έως 10,5 Ka BP) από το Σπήλαιο Φράγγθι (Κρανίδι, Πελοπόννησος, Ελλάδα) και διερεύνησαν τις παλαιοκλιματικές και παλαιοπεριβαλλοντικές συνθήκες. Η μελέτη τους κατέληξε στο συμπέρασμα ότι τα κελύφη του τελευταίου Παγετώνα (Late Glacial) και του πρώιμου Ολόκαινου εμφανίζουν σχεδόν σταθερά χαμηλότερες αναλογίες $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ σε σύγκριση με τα σύγχρονα αντίστοιχα δείγματα, πράγμα που σημαίνει ότι η περιοχή εμπλουτίστηκε με το ελαφρύ ισότοπο ^{16}O και επομένως επικρατούσαν χαμηλές θερμοκρασίες. Αυτό υποδηλώνει πιο υγρές συνθήκες, όπως καταγράφονται και σε άλλα παλαιοκλιματικά αρχεία στην ανατολική Μεσόγειο (Colonese *et al*, 2013). Ως εκ τούτου, επικράτησε ένα ψυχρό κλίμα με χαμηλές θερμοκρασίες στην περιοχή αυτή (Colonese *et al*, 2013). Η περιοχή αυτή μπορούμε να πούμε ότι βρίσκεται γεωγραφικά κοντά στην Κύπρο, δηλαδή στη νοτιοανατολική Μεσόγειο. Επομένως, θα μπορούσε να υποτεθεί ότι υπήρχε παρόμοιο κλίμα.

Σε μια άλλη μελέτη, στο δυτικότερο τμήμα της πεδιάδας της Θεσσαλονίκης (Ελλάδα) (Ghiliardi *et al*, 2012) μια πλήρης ακολουθία ιζημάτων υποδηλώνει την ύπαρξη λίμνης γλυκού νερού κατά το δεύτερο μισό της 7ης χιλιετίας π.Χ., κάτι το οποίο πιθανώς είναι το αποτέλεσμα μιας τεράστιας εισροής γλυκού νερού κατά τη μετάβαση του Πλειστοκαίνου στο Ολόκαινο. Σύμφωνα με τους συγγραφείς, αυτή η εισροή μπορεί να προκλήθηκε από το λιώσιμο ενός παγετώνα κατά τη μετάβαση μεταξύ ψυχρής και θερμής εποχής, περίπου στα 7.000 π.Χ., δηλαδή στα 9.000 χρόνια περίπου πριν από σήμερα. Αυτό σημαίνει επίσης ότι η περίοδος που μελετάμε (13.500-11.000 χρόνια B.P.) αντιπροσωπεύει μια ψυχρότερη περίοδο σε σχέση με τα 9.000 χρόνια (B.P.). Με λίγα λόγια, αυτό μπορεί να δείχνει τη μετάβαση από ψυχρή περίοδο (13.500-11.000 χρόνια B.P.) σε θερμή περίοδο (9.000 χρόνια B.P.).

Το γεγονός ότι η περιοχή της Κύπρου δεν είχε σημαντική πτώση της θερμοκρασίας κατά την ψυχρή περίοδο *Younger dryas* θα μπορούσε να ωφείλεται στα θερμά επιφανειακά ρεύματα στην περιοχή της ανατολικής Μεσογείου, όπου ανήκει γεωγραφικά και η Κύπρος. Αυτά τα ρεύματα επηρεάζουν τη μέση θερμοκρασία των γειτονικών περιοχών τους αυξάνοντας τη θερμοκρασία της ξηράς και θερμαίνοντας τη θαλάσσια αύρα που πνέει από πάνω τους.

Στην εικόνα 21 βλέπουμε ένα παράδειγμα θερμοκρασιών της επιφάνειας της θάλασσας (SST) για την περιοχή της Μεσογείου (Parras-Berrocá *et al*, 2020). Στην εικόνα μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι η επιφανειακή θερμοκρασία της δυτικής Μεσογείου είναι πιο χαμηλή από της ανατολικής. Τα ψυχρά νερά του Ατλαντικού εισχωρούν στη δυτική Μεσόγειο από το στενό του Γιβραλτάρ και προχωρώντας

ανατολικά θερμαίνονται. Η περιοχή της Κύπρου ανήκει στην ανατολική Μεσόγειο και βρέχεται από τη θάλασσα της Λεβαντίνης, όπου παρουσιάζονται οι μεγαλύτερες επιφανειακές θερμοκρασίες υδάτων σχετικά με όλη τη Μεσόγειο.



ΕΙΚΟΝΑ 21: Στην εικόνα απεικονίζονται οι μέσες επιφανειακές θερμοκρασίες από τη Μεσόγειο θάλασσα. Παρατηρούνται αυξημένες θερμοκρασίες στην ανατολική Μεσόγειο σε σχέση με τη δυτική.

8. ΠΟΣΟ ΕΧΕΙ ΑΛΛΑΞΕΙ ΤΟ ΚΛΙΜΑ ΤΑ ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ 12.000 ΧΡΟΝΙΑ

Από τη στιγμή της δημιουργίας της γης το κλίμα είχε πολλές διακυμάνσεις και αλλαγές από παγετώδεις σε μεσοπαγετώσεις περιόδους και από μεσοπαγετώδεις σε παγετώδεις περιόδους. Αυτό σημαίνει ότι το κλίμα αλλάζει από φυσικά αίτια και δεν παραμένει σταθερό. Όμως αυτές οι αλλαγές είναι σταδιακές και όχι απότομες και με γρήγορους ρυθμούς όπως η κλιματική αλλαγή που βιώνει ο πλανήτης από τη βιομηχανική επανάσταση και μετά. Θα πρέπει πρώτα να επισημάνουμε ότι με τον όρο κλιματική μεταβλητότητα εννοούμε τη διαφορά της ετήσιας θερμοκρασίας για κάθε μέση τιμή, ενώ με τον όρο κλιματική αλλαγή εννοούμε τη συστηματική τάση του κλίματος για μερικές δεκαετίες. Η κλιματική αλλαγή αποδίδεται στην ανθρώπινη δραστηριότητα που έχει να κάνει με την απελευθέρωση αέριων ρύπων που επηρεάζουν το παγκόσμιο κλίμα.

Υπάρχουν γνωστοί, προβλέψιμοι, φυσικοί κύκλοι στη θέρμανση της Γης που προκαλούνται από την εκκεντρότητα της τροχιάς του πλανήτη. Οι κύκλοι αυτοί είναι γνωστοί ως κύκλοι Milankovitch (Kerr *et al.*, 1978). Οι κύκλοι αυτοί περιλαμβάνουν τις τρεις κινήσεις της Γης, δηλαδή την εκκεντρότητα, η οποία δείχνει αν η γη έχει ελλειπτική ή κυκλική τροχιά γύρω από τον ήλιο και έχει περιοδικότητα 100.000 χρόνων, την αξονική κλίση, με περιοδικότητα 41.000 ετών, η οποία κυμαίνεται από 22,1 °C έως 24,5 °C και τη μετάπτωση, με περιοδικότητα 23.000 χρόνων. Κάθε κύκλος λειτουργεί σε διαφορετική χρονική κλίμακα και επηρεάζει την ποσότητα ηλιακής ενέργειας που δέχονται οι πλανήτες. Τέτοιες μεταβολές στη γεωμετρία μιας τροχιάς οδηγούν στις αλλαγές της ηλιοφάνειας και της ποσότητας θερμότητας που δέχεται οποιοδήποτε σημείο στην επιφάνεια ενός πλανήτη. Επί του παρόντος, η γήινη κλίση είναι 23,5 °C (Buis *et al.*, 2020). Το καλοκαίρι είναι πιο κοντά στον ήλιο με το βόρειο ημισφαίριο να μην είναι στραμμένο προς αυτόν, ενώ το χειμώνα ο πλανήτης είναι πιο μακριά από τον ήλιο και ο βορράς είναι στραμμένος προς αυτόν. Οι αλλαγές σε αυτούς τους κύκλους μπορεί να οδηγήσουν σε καλοκαίρια πιο ζεστά και χειμώνες πιο κρύους, ενώ οι μέσες ετήσιες θερμοκρασίες αλλάζουν σε μικρό ποσοστό.

Οι αλλαγές στην ηλιακή ακτινοβολία που προκύπτουν από αλλαγές στον προσανατολισμό του άξονα της γης είχαν έντονες επιπτώσεις στους τροπικούς μουσώνες και στα κλίματα μεσαίου γεωγραφικού πλάτους καθώς και στη διαμόρφωση των φύλλων πάγου τα τελευταία 18.000 χρόνια. Το COHMAP (Cooperative Holocene Mapping Project) έχει συγκεντρώσει μια παγκόσμια σειρά από καλά χρονολογημένα παλαιοκλιματικά δεδομένα και χρησιμοποίησε μοντέλα γενικής κυκλοφορίας για τον εντοπισμό και την αξιολόγηση των αιτιών και των μηχανισμών της κλιματικής αλλαγής (Barnola *et al.*, 1987). Για τις βόρειες τροπικές περιοχές, ιδιαίτερα στην Αφρική και την Ασία, τα δεδομένα και τα αποτελέσματα μοντέλων δείχνουν ότι η τροχιακά προκαλούμενη αύξηση της ηλιακής ακτινοβολίας το καλοκαίρι πριν από 12.000 έως 6.000 χρόνια ενίσχυσε τη θερμική αντίθεση μεταξύ ξηράς και θάλασσας και έτσι παρήγαγε ισχυρούς καλοκαιρινούς μουσώνες, οι οποίοι ανέβασαν τα επίπεδα της λίμνης σε περιοχές που είναι άνωδρες σήμερα (Huntley, 1985). Στα μεσαία προς μεγάλα γεωγραφικά πλάτη, η κλιματική απόκριση τόσο στις αλλαγές της ηλιοφάνειας όσο και στα στρώματα πάγου που υποχωρούν οδήγησαν σε αναπροσαρμογές της βλάστησης τόσο στο βόρειο όσο και στο νότιο ημισφαίριο. Τα αποτελέσματα του μοντέλου δείχνουν ότι το μεγάλο στρώμα πάγου της Βόρειας Αμερικής χώρισε το δυτικό ρεύμα πίδακα σε βόρειους και νότιους κλάδους πάνω από τη Βόρεια Αμερική. Η αύξηση των καταιγίδων που σχετίζονται με τον νότιο κλάδο βοηθά στην εξήγηση των υψηλών επιπέδων λιμνών και των αυξημένων δασικών εκτάσεων στις νοτιοδυτικές Ηνωμένες Πολιτείες σε συνθήκες πλήρους παγετώνων. Οι συγκρίσεις των παλαιοκλιματικών δεδομένων με τις προσομοιώσεις μοντέλων είναι

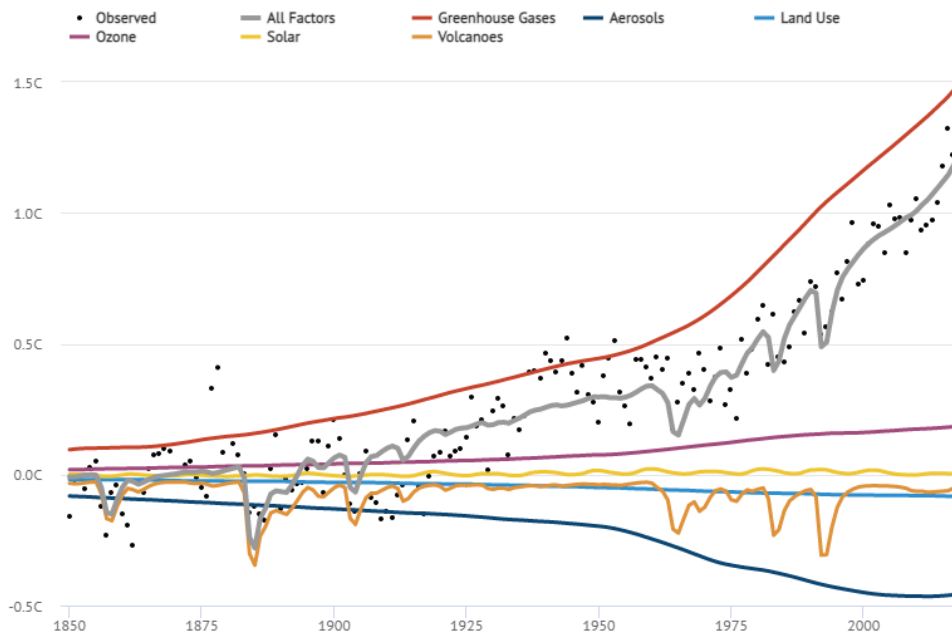
σημαντικές επειδή τα μοντέλα παρέχουν ένα θεωρητικό πλαίσιο για την αξιολόγηση των μηχανισμών της κλιματικής αλλαγής και τέτοιες συγκρίσεις βοηθούν στην αξιολόγηση της δυνατότητας των μοντέλων γενικής κυκλοφορίας για την πρόβλεψη μελλοντικών κλίματων (Cohmap Members, 1988).

Τα συμπεράσματα που βγήκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο δείχνουν ότι η θερμοκρασία 11.500 χρόνια πριν δεν ήταν κατά πολύ χαμηλότερη απ'ότι σήμερα παρόλο που υπήρχε το ψυχρό γεγονός Younger dryas. Αυτό το γεγονός όμως σε σχέση με την ανθρωπογενή κλιματική αλλαγή από τη βιομηχανική επανάσταση και μετά μας έκανε να αναρωτηθούμε πόσο φυσιολογική είναι η υπερθέρμανση του πλανήτη τα τελευταία χρόνια και αν αυτή η αλλαγή προκαλείται από τους κύκλους Milankovitch που αναφέρθηκαν παραπάνω.

Η επιστήμη για τη συμβολή του ανθρώπου στη σύγχρονη υπερθέρμανση είναι αρκετά σαφής. Οι ανθρώπινες εκπομπές και οι δραστηριότητες έχουν προκαλέσει περίπου το 100% της θέρμανσης που παρατηρείται από το 1950, σύμφωνα με την πέμπτη έκθεση αξιολόγησης της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC).

Από το 1850, ακριβώς όταν η Βιομηχανική Επανάσταση είχε αρχίσει να εδραιώνεται σχεδόν όλη η μακροπρόθεσμη αύξηση της θερμοκρασίας μπορεί να εξηγηθεί από τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και άλλες ανθρώπινες δραστηριότητες. Η ανθρωπογενής κλιματική αλλαγή γενικά θεωρείται περισσότερο ως ένα φαινόμενο του 20ου αιώνα, καθώς οι άμεσες μετρήσεις ήταν σπάνιες πριν από το 1900 (Foley *et al.*, 2005; <https://lifestyle.livemint.com/smart-living/environment/climate-change-tracker-world-is-at-its-hottest-for-12-000-years-111612448099827.html>).

Η σταδιακή αύξηση της θερμοκρασίας αποδίδεται στην αύξηση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου που συνδέονται με τη μετάβαση από μια αγροτική σε βιομηχανική κοινωνία. Σύμφωνα με την έρευνα, τη δεκαετία του 1830 η συγκέντρωση αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα ήταν στα 280 μέρη ανά εκατομμύριο, αλλά από εκείνο το σημείο αυξήθηκαν σταδιακά. Μέχρι το 1900 η συγκέντρωση έφτασε τα 295 μέρη ανά εκατομμύριο, αντιπροσωπεύοντας μια μικρή αλλά μετρήσιμη επίδραση της εκβιομηχάνισης στην ατμόσφαιρα (Schlossberg, 2016).



ΕΙΚΟΝΑ 22: Στην εικόνα απεικονίζονται οι παγκόσμιες μέσες επιφανειακές θερμοκρασίες από τη Γη του Μπέρκλεϋ (μαύρες κουκκίδες) και η μοντελοποιημένη επίδραση διαφορετικών δυνάμεων ακτινοβολίας (έγχρωμες γραμμές), καθώς και ο συνδυασμός όλων των δυνάμεων (γκρίζα γραμμή) για την περίοδο από το 1850 έως το 2017. ΠΗΓΗ: <https://www.carbonbrief.org/analysis-why-scientists-think-100-of-global-warming-is-due-to-humans/>

Στην εικόνα βλέπουμε τις αλλαγές που προκαλούν διάφοροι παράγοντες της ατμόσφαιρας στη θερμοκρασία. Παρατηρούμε ότι τη μεγάλη αύξηση στη θερμοκρασία την προκαλούν οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου, όπως το διοξείδιο του άνθρακα. Το κλιματικό σύστημα μπορεί να επηρεάζεται τόσο από την εσωτερική μεταβλητότητα όσο και από εξωτερικούς μηχανισμούς, ο σημαντικότερος εκ των οποίων είναι ο Ήλιος. Αυτές οι εξωτερικές δυνάμεις μπορεί να είναι φυσικές, όπως διακυμάνσεις στην ηλιακή ένταση ή ηφαιστειακές εκρήξεις ή να προκαλούνται από ανθρώπινες δραστηριότητες. Από το 1975 και μετά παρατηρείται μία ραγδαία αύξηση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου (διοξείδιο του άνθρακα, μεθάνιο) στην ατμόσφαιρα (Εικόνα 22, καμπύλη κόκκινου χρώματος). Αυτό οδηγεί επίσης στη ραγδαία αύξηση της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας, καθώς οι εκπομπές ρύπων είναι αυτές που ασκούν τη μεγαλύτερη επιρροή στο παγκόσμιο κλίμα (Εικόνα 22, καμπύλη γκρι χρώματος).

Η συσσώρευση των αερίων του θερμοκηπίου που παγιδεύει τη θερμότητα, που εκπέμπεται κυρίως από ανθρώπους που καίνε ορυκτά καύσιμα, προκαλεί την υπερθέρμανση του πλανήτη. Η ανθρώπινη δραστηριότητα απελευθερώνει επίσης ψυκτικά αερολύματα, αλλά η καθαρή τους επίδραση είναι πολύ μικρότερη από αυτή

των αερίων του θερμοκηπίου (Εικόνα 22, καμπύλη μπλε χρώματος). Οι αλλαγές μπορούν να ενισχυθούν με διαδικασίες ανατροφοδότησης στα διάφορα στοιχεία του κλιματικού συστήματος (Foley *et al.*, 2005).

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων 50 ετών, οι ανθρώπινες δραστηριότητες - κυρίως αυτές που έγκεινται στην καύση ορυκτών καυσίμων έχουν προκαλέσει αύξηση των ποσοτήτων διοξειδίου του άνθρακα και άλλων αερίων -των λεγομένων «αερίων του θερμοκηπίου». Τα αέρια αυτά απορροφούν την υπέρυθη ακτινοβολία που εκπέμπεται από τη Γη, αντί να της επιτραπεί η ελεύθερη διαφυγή στο διάστημα. Λόγω του κλιματικού αυτού φαινομένου παγιδύεται επιπρόσθετη θερμότητα στα χαμηλότερα ατμοσφαιρικά στρώματα. Συγκεκριμένα, τα τελευταία 100 έτη η παγκόσμια θερμοκρασία έχει αυξηθεί κατά 0.75°C περίπου, ενώ τα τελευταία 25 έτη, ο ρυθμός θέρμανσης του πλανήτη έχει αυξηθεί σε άνω των 0.18°C ανά δεκαετία (Foley *et al.*, 2005).

Η αύξηση της περιβαλλοντικής θερμοκρασίας απειλεί να:

- οδηγήσει σε υψηλότερα επίπεδα ορισμένων ατμοσφαιρικών ρύπων.
- οδηγήσει σε αύξηση της μετάδοσης ασθενειών μέσω ακάθαρτου νερού και μολυσμένων τροφίμων.
- θέσει σε κίνδυνο τη γεωργική παραγωγή σε ορισμένες από τις λιγότερο ανεπτυγμένες χώρες.
- αυξήσει τον κίνδυνο ακραίων καιρικών φαινομένων.

Η εκτίμηση του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής και της επιρροής του στην υγεία του ανθρώπου απαιτεί μια νέα προοπτική η οποία επικεντρώνεται στα οικοσυστήματα και στην αναγνώριση ότι τα θεμέλια της μακροπρόθεσμης καλής υγείας των πληθυσμών βασίζεται σε μεγάλο μέρος στη στήριξη της ζωής και των οικοσυστημάτων για τη συνέχιση ύπαρξης ζωής και λειτουργικότητας της βιόσφαιρας (Goldewijk *et al.*, 2010).

Μια νέα, σημαντική μελέτη που δημοσιεύθηκε στις 27 Ιανουαρίου δηλώνει ότι η Γη σήμερα είναι πιο ζεστή από ό,τι ήταν τα τελευταία 12.000 χρόνια. Η μελέτη, *Seasonal Origin Of Thermal Maxima At The Holocene And The Last Interglacial*, που δημοσιεύτηκε στο *Nature*, αναφέρει ότι οι ετήσιες θερμοκρασίες της επιφάνειας της θάλασσας (SST) αυξάνονται σταθερά από την αυγή του Ολόκαινου. Το SST είναι ένας καλός δείκτης της υπερθέρμανσης των πλανητών, επειδή, όπως έχει αποδειχθεί, ο παγκόσμιος ωκεανός απορροφά το μεγαλύτερο μέρος της ατμοσφαιρικής θερμότητας. Τα τελευταία 50 χρόνια, ο ωκεανός έχει απορροφήσει το 90% της θερμότητας που

παράγεται λόγω της υπερθέρμανσης του πλανήτη. Η έκθεση αναφέρει επίσης ότι κατά πάσα πιθανότητα, ο πλανήτης θα μπορούσε να είναι στη θερμότερη κατάσταση των τελευταίων 125.000 ετών, αν και τα δεδομένα για αυτό είναι λιγότερο σίγουρο (Goldewijk *et al*, 2010).

Σήμερα, έχουμε ήδη αυξήσει την θερμοκρασία του πλανήτη κατά περισσότερο από 1 °C σε σύγκριση με το επίπεδο των θερμοκρασιών που επικρατούσαν πριν από τη βιομηχανική εποχή. Οι επιστήμονες που συμμετέχουν στη διακυβερνητική επιτροπή για την κλιματική αλλαγή (IPCC) προειδοποιούν ότι η αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη κατά 1,5 °C θα έχει σοβαρές, ακόμη και μη αναστρέψιμες συνέπειες για το περιβάλλον και τις κοινωνίες μας. Όσο περισσότερο διαταράσσουμε το κλίμα, τόσο μεγαλύτεροι είναι οι κίνδυνοι για την κοινωνία και το περιβάλλον μας.

Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής είναι ήδη αισθητές σε ολόκληρο τον κόσμο και προβλέπεται να γίνουν συχνότερες και εντονότερες τις επόμενες δεκαετίες. Χωρίς ανάληψη δράσης για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής, η ΕΕ μπορεί να βιώσει, κατά τη διάρκεια ζωής των παιδιών μας, τα εξής φαινόμενα:

- 400 000 πρόωροι θάνατοι ετησίως λόγω της ατμοσφαιρικής ρύπανσης
- 90 000 θάνατοι ετησίως λόγω καύσωνα
- 40 % λιγότερο διαθέσιμο νερό στις νότιες περιοχές της ΕΕ
- 2,2 εκατομμύρια άτομα να κινδυνεύουν από παράκτιες πλημμύρες κάθε χρόνο
- 190 δισ. ευρώ σε ετήσιες οικονομικές ζημιές

Αυτές οι αλλαγές στο κλίμα έχουν τη δύναμη να μεταμορφώσουν τον πλανήτη μας, επηρεάζοντας τα αποθέματα τροφίμων και νερού καθώς και την υγεία μας. Παρότι οι κίνδυνοι αφορούν τους πάντες, οι επιπτώσεις αυτές πλήττουν εντονότερα τους φτωχούς και τους ευάλωτους. Όσο μεγαλύτερα τα προβλήματα, τόσο πιο δύσκολη και δαπανηρή θα είναι η λύση τους· επομένως η καλύτερη επιλογή είναι η άμεση ανάληψη δράσης για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής.

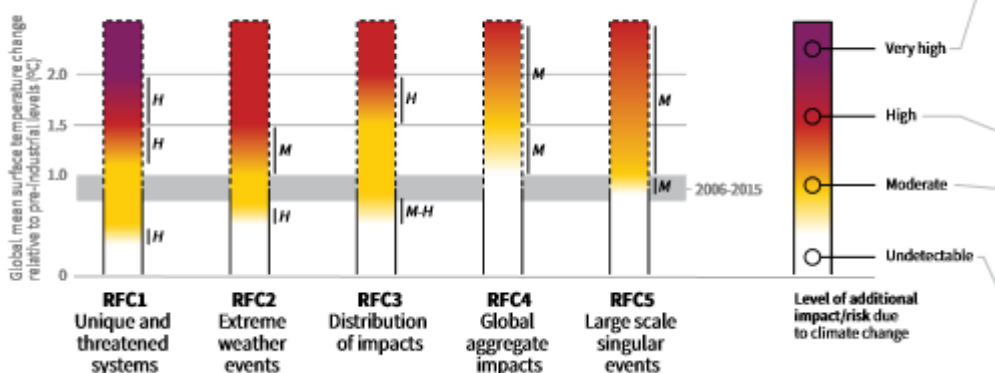
Η Διακυβερνητική Ομάδα για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC) έχει συμπεριλάβει πολλούς από τους κινδύνους της κλιματικής αλλαγής σε πέντε «λόγους ανησυχίας»(RCF). Οι λόγοι ανησυχίας δείχνουν ότι αυτοί οι κίνδυνοι αυξάνονται με την αύξηση της παγκόσμιας μέσης θερμοκρασίας της Γης (δηλαδή, υπερθέρμανση του πλανήτη) (Εικόνα 23) :

- i. **RFC1** Μοναδικά και απειλούμενα συστήματα: οικολογικά και ανθρώπινα συστήματα που έχουν περιορισμένες γεωγραφικές περιοχές περιοριζόμενες

από κλιματολογικές συνθήκες και έχουν υψηλό ενδημικό ή άλλες διακριτικές ιδιότητες. Στα παραδείγματα περιλαμβάνονται οι κοραλλιογενείς ύφαλοι, η Αρκτική και οι αυτόχθονες πληθυσμοί της, οι παγετώνες του βουνού και τα σημεία ενδιαφέροντος για τη βιοποικιλότητα.

- ii. **RFC2** Ακραία καιρικά φαινόμενα: κίνδυνοι / επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία, τα προς το ζην, τα περιουσιακά στοιχεία και τα οικοσυστήματα από ακραία καιρικά φαινόμενα, όπως τα κύματα θερμότητας, η ισχυρή βροχή, η ξηρασία και οι συναφείς πυρκαγιές και οι παράκτιες πλημμύρες.
- iii. **RFC3** Κατανομή των επιπτώσεων: κίνδυνοι / επιπτώσεις που επηρεάζουν δυσανάλογα συγκεκριμένες ομάδες λόγω της άνισης κατανομής των κινδύνων, της έκθεσης ή της ευπάθειας των φυσικών κλιματικών αλλαγών.
- iv. **RFC4** Παγκόσμια συνολική επίδραση: παγκόσμια νομισματική ζημία, υποβάθμιση παγκόσμιας κλίμακας και απώλεια οικοσυστημάτων και βιοποικιλότητας.
- v. **RFC5** Μοναδικές εκδηλώσεις μεγάλης κλίμακας: είναι σχετικά μεγάλες, απότομες και μερικές φορές μη αναστρέψιμες αλλαγές στα συστήματα που προκαλούνται από την υπερθέρμανση του πλανήτη. Παραδείγματα περιλαμβάνουν το λιώσιμο του πάγου της Γροιλανδίας και της Ανταρκτικής.

Impacts and risks associated with the Reasons for Concern (RFCs)



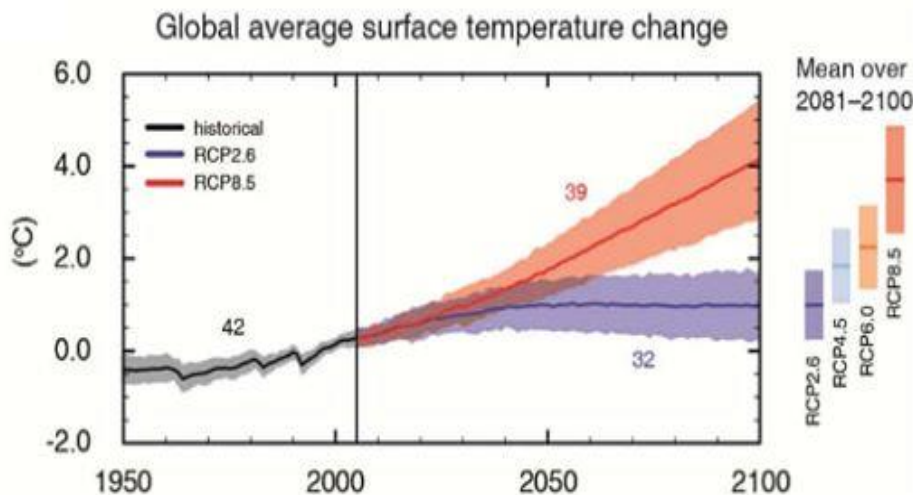
ΕΙΚΟΝΑ 23: Βαθμονόμηση κινδύνων. (Το μωβ χρώμα υποδεικνύει πολύ υψηλούς κινδύνους σοβαρών επιπτώσεων / κινδύνων και την παρουσία σημαντικά μη αναστρέψιμου ή την επιμονή των κινδύνων που σχετίζονται με το κλίμα, σε συνδυασμό με περιορισμένη ικανότητα προσαρμογής λόγω της φύσης του κινδύνου ή των επιπτώσεων / κινδύνων. Το κόκκινο υποδηλώνει σοβαρές και διαδεδομένες επιπτώσεις / κινδύνους. Το κίτρινο δείχνει ότι οι επιπτώσεις / οι κίνδυνοι είναι ανιχνεύσιμοι και αποδίδονται στην κλιματική αλλαγή με τουλάχιστον μέτρια εμπιστοσύνη. Το λευκό υποδεικνύει ότι δεν υπάρχουν ανιχνεύσιμες επιπτώσεις και οφείλονται στην κλιματική αλλαγή). ΠΗΓΗ: IPCC Fifth Assessment Report, CLIMATE CHANGE, 2014

Σε τι επίπεδα μπορεί να φτάσει η θερμοκρασία μέχρι το 2100

Οι κλιματολόγοι παράγουν σενάρια για να αξιολογήσουν την κλιματική αλλαγή. Τα συμπεράσματά τους ονομάζονται RCP και είναι τέσσερα σενάρια που μοντελοποιούν την ατμοσφαιρική συγκέντρωση αερίων θερμοκηπίου (GHG). Από αυτά τα σενάρια, το πρώτο (RCP= 2,5), είναι το πιο αισιόδοξο και περιγράφει ότι γίνονται όλες οι δυνατές προσπάθειες για να μειωθούν οι ανθρωπογενείς εκπομπές προκειμένου να σταθεροποιηθεί η θερμοκρασία κατά +2°C το 2100, έναντι του 1850. Αντίθετα, το τελευταίο σενάριο (RCP= 8,5), είναι το πιο απαισιόδοξο και περιγράφει έναν κόσμο όπου κανείς δεν κάνει τίποτα για να μειωθούν οι ανθρωπογενείς εκπομπές (Εικόνα 23).

1. RCP= 2,5: Η αύξηση της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας περιορίζεται στους 0,3 - 1,7 °C. Η οξίνιση των ωκεανών περιορίζεται με τη μείωση του pH κατά 0,06- 0,07, δηλαδή αύξηση οξύτητας κατά 15 - 17%. Επίσης, το permafrost, δηλαδή ο παγκόσμιος όγκος μόνιμου παγετώνα μειώνεται κατά 15 - 55%. Τέλος, η στάθμη της θάλασσας αυξάνεται ταχύτατα και μη ομοιόμορφα, στο 95% της περιοχής του ωκεανού, κατά 0,26- 0,55 μέτρα.
2. RCP= 4,5: Καταγράφεται αύξηση της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας κατά 1,1- 2,6 °C. Η οξίνιση των ωκεανών συμβαίνει με τη μείωση του pH κατά 1,14 - 1,15, δηλαδή αύξηση οξύτητας κατά 38 - 41%.
3. RCP= 6: Η μέση παγκόσμια θερμοκρασία αυξάνεται κατά 1,4 - 3,1°C και το pH των ωκεανών αυξάνεται κατά 0,2 - 0,21, δηλαδή κατά 58- 62%.
4. RCP= 8,5: Η μέση παγκόσμια θερμοκρασία αυξάνεται κατά 2,6 - 4,8°C και το pH των ωκεανών αυξάνεται κατά 0,3 - 0,32, δηλαδή κατά 100- 109%. Ο παγκόσμιος όγκος μόνιμου παγετώνα μειώνεται κατά 35- 85% και η στάθμη της θάλασσας αυξάνεται κατά 0,45 - 0,82 μέτρα.

Σημειώνεται ότι το 70% των ακτών παγκοσμίως θα βιώσουν την αλλαγή στάθμης στο $\pm 20\%$ του παγκόσμιου μέσου όρου.



ΕΙΚΟΝΑ 24: Αύξηση θερμοκρασίας σύμφωνα με τα σενάρια RCP (IPCC, AR5 έναντι της μέσης θερμοκρασίας 1986- 2005. ΠΗΓΗ: IPCC Fifth Assessment Report, CLIMATE CHANGE, 2014

Οι κυριότερες πολιτικές για την μετρίαση της κλιματικής αλλαγής συνίστανται στις ακόλουθες:

- προώθηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας,
- ενίσχυση της ενεργειακής αποδοτικότητας,
- μείωση των εκπομπών αερίων διοξειδίου του άνθρακα,
- αντισταθμιστικά μέτρα για τις παραγωγικές μονάδες.

Γενικότερα οι πολιτικές μετρίασης της κλιματικής αλλαγής αντιμετωπίζονται με μεγάλες προσδοκίες. Ένας από τους λόγους για αυτό είναι το γεγονός πως οδηγεί σε μία απεξάρτηση της οικονομίας των χωρών από τους υδρογονάνθρακες, οι οποίοι έχουν συνδεθεί με προβλήματα μη βιώσιμης ανάπτυξης και διασάλευσης της ειρήνης. Εντούτοις, έχει δειχθεί ότι ακόμα και οι πολιτικές της μετρίασης αφανώς μπορεί να συνδέονται με την ανάπτυξη πυρηνικών όπλων, με τα τελευταία να αποτελούν μοχλό πίεσης στο νέο διαμορφούμενο από την ενέργεια γεωπολιτικό περιβάλλον (Zizopoulos, 2017).

Κλείνοντας, μπορούμε να πούμε ότι με το πέρασμα των χρόνων η θερμοκρασία και το παγκόσμιο κλίμα αλλάζουν από φυσικά αίτια. Αυτό που έχει κάνει ιδιαίτερη εντύπωση

στους επιστήμονες είναι ότι από τη βιομηχανική επανάσταση και μετά υπάρχει μία αύξηση της παγκόσμιας μέσης θερμοκρασίας, και μάλιστα από το 2000 και μετά η αύξηση αυτή διαδραματίζεται σε εξαιρετικά γρήγορους ρυθμούς. Στην εικόνα 16 μπορούμε να παρατηρήσουμε την ανοδική πορεία της θερμοκρασίας από το ψυχρό γεγονός Younger Dryas 12.000 χρόνια πριν μέχρι και σήμερα. Στην εικόνα 23 βλέπουμε πιο αναλυτικά την ανοδική πορεία της παγκόσμιας μέσης θερμοκρασίας από το 2000 και μετά. Η εικόνα αυτή μας δείχνει επίσης την ανοδική πορεία της θερμοκρασίας βάση των τριών σεναρίων του IPCC από το 2000 μέχρι το 2100. Εάν η Κύπρος τώρα έχει μέση ετήσια θερμοκρασία 23°C, σύμφωνα με τις προβλέψεις του IPCC, εάν επικρατήσει το πιο αισιόδοξο σενάριο RCP= 2,5, τότε έως το 2100 η μέση ετήσια θερμοκρασία της Κύπρου θα κυμαίνεται στους 23,3 - 24,7 °C. Εάν επικρατήσει κάποιο από τα σενάρια RCP= 4,5 ή RCP= 6, η μέση ετήσια θερμοκρασία της Κύπρου για το 2100 θα κυμαίνεται στους 24,1 - 25,6 °C και 24,4 - 26,1 °C αντίστοιχα. Τέλος, εάν επικρατήσει το πιο απαισιόδοξο σενάριο, RCP= 8,5, τότε η μέση ετήσια θερμοκρασία της Κύπρου για το 2100 θα φτάσει τους 25,6 - 27,8 °C. Σε κάθε περίπτωση, το κλίμα θα είναι εμφανώς θερμότερο απ' ότι ήταν 12.000 χρόνια πριν, αφού σύμφωνα με τα αποτελέσματά μας η μέση ετήσια θερμοκρασία της Κύπρου για τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο ήταν κάτω από 24 °C.

Από το ψυχρό γεγονός Younger Dryas και μετά είναι φυσιολογικό να έχει ανέβει η μέση ετήσια θερμοκρασία όλου του πλανήτη, αφού δε βρισκόμαστε σε παγετώδη περίοδο. Αυτό που δεν είναι φυσιολογικό είναι η ραγδαία αύξηση της θερμοκρασίας σε τόσο μικρό χρονικό διάστημα για τα τελευταία χρόνια. Για αυτήν την κατάληξη ευθύνονται οι ανθρωπογενείς ρύποι και πολλές ανθρώπινες δραστηριότητες, ειδικά από τη Βιομηχανική Επανάσταση και μετά, κάτι που μπορούμε να δούμε και στην εικόνα 19. Αυτό που μπορούμε να κάνουμε εμείς για να μην οδηγηθούμε στο πιο απαισιόδοξο σενάριο του IPCC και να περιορίσουμε την υπερθέρμανση του πλανήτη είναι να μην επιβαρύνουμε την ατμόσφαιρα με τους ρύπους μας και κυρίως να μη σπαταλάμε αλόγιστα νερό.

9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σε αυτή την εργασία, πραγματοποιήσαμε ισοτοπικές αναλύσεις οξυγόνου και άνθρακα στον απατίτη οστών και δοντιών του νάνου ιπποπόταμου *Phanourios minor* που ζούσε στην Κύπρο πριν από 11.000 έως 13.000 χρόνια, με στόχο την ανασύσταση του παλαιοκλίματος και της παλαιοδιατροφής. Τα δείγματα που χρησιμοποιήθηκαν συλλέχθηκαν από την περιοχή της Αγίας Νάπας. Βάσει των αποτελεσμάτων, μας μπορούμε να οδηγηθούμε στα παρακάτω συμπεράσματα:

Σχετικά με τις παλαιοκλιματικές συνθήκες, και συγκεκριμένα την παλαιοθερμοκρασία, συγκρίνοντας τις ισοτοπικές τιμές οξυγόνου που προέκυψαν (μέση τιμή $27\text{‰} \pm 0,1\text{‰}$ με τη βιβλιογραφία, η Κύπρος φαίνεται να είχε χαμηλότερη μέση ετήσια θερμοκρασία από 24°C , πριν από 11.000 χρόνια. Συγκρίνοντας τις ισοτοπικές τιμές του υλικού υπό μελέτη με αντίστοιχες του σημερινού ιπποπόταμου που ζει στην Κένυα, του *Hippopotamus amphibius* συμπεραίνουμε πως το κλίμα που επικρατούσε στην Κύπρο 11.000 χρόνια πριν, δεν μπορεί να ταυτιστεί με αυτό της σημερινής Κένυας παρόλο που ζουν και εκεί ιπποπόταμοι. Επίσης, αυτές οι ισοτοπικές τιμές μπορεί να δείχνουν χαμηλά υψόμετρα, δηλαδή ζωή κοντά στην ακτή, πράγμα που δικαιολογείται εφόσον η Κύπρος ως νησί είναι περικυκλωμένη από θάλασσα. Οι τιμές των ισοτόπων οξυγόνου από τον απατίτη για τον ιπποπόταμο *Phanourios minor* συγκρίθηκαν επίσης με αυτές του Πλειστοκαινικού ιπποπόταμου της Κένυας, *Hippopotamus karumensis*. Τα δύο είδη φαίνεται να εξαφανίστηκαν την ίδια εποχή. Από τη σύγκριση αυτή παρατηρήθηκε μια μικρή ισοτοπική διαφορά στις τιμές οξυγόνου των δύο περιοχών, με την Κένυα να εμφανίζεται πιο κρύα από την Κύπρο. Γεγονός που είναι αρκετά περίεργο γιατί η Κένυα είναι μια χώρα στον Ισημερινό, ενώ η Κύπρος ανήκει στην ανατολική Μεσόγειο.

Βάσει των τιμών ισοτόπων του οξυγόνου του πόσιμου νερού που υπολογίστηκαν, η μέση τιμή είναι $-4,56\text{‰}$, γεγονός που υποδεικνύει πως συγκρινόμενο με σημερινές θερμοκρασίες στο νησί, η διαφορά είναι αμελητέα για να χαρακτηριστεί το Πλειστοκαινικό κλίμα της Κύπρου ψυχρότερο από το σημερινό. Παρόλα αυτά, πρέπει να σημειώσουμε ότι η αποίκηση του νησιού από τους νάνους ιπποπόταμους συμπίπτει με το ψυχρό γεγονός *Younger dryas*. Γεγονός που γνωρίζουμε και από ισοτοπικές μελέτες από άλλες περιοχές της Ελλάδας αλλά και της νοτιοανατολικής Μεσογείου για τη συγκεκριμένη περίοδο, που υποδεικνύουν την επικράτηση ενός ψυχρού κλίματος. Το ερώτημα που γεννάται λοιπόν σε αυτήν την περίπτωση είναι κατά πόσο επίσης επηρεάστηκε η περιοχή της νοτιοανατολικής Μεσογείου από αυτήν την κλιματική ψύξη. Η απάντηση στο ερώτημα αυτό μπορεί να βρίσκεται στα θερμά νερά της λεκάνης της Λεβαντίνης, που φαίνεται να κράτησαν σταθερή τη θερμοκρασία της περιοχής της Κύπρου κατά το ψυχρό γεγονός *Younger dryas*.

Σχετικά με την παλαιοδιατροφή του *Phanourios minor*, και βάσει των ισοτοπικών τιμών άνθρακα που προέκυψαν μετά από διόρθωση (μέσος όρος των τιμών $-21,03\text{‰}$ και $-23,03\text{‰}$), φαίνεται να αποτελείτο από φυτά της ομάδας C3, δηλαδή δέντρα, θάμνοι, βότανα και χόρτα που ευνοούνται από ψυχρές περιόδους ανάπτυξης και δηλώνουν δροσερό υγρό κλίμα και/ ή υψηλό υψόμετρο.

Να σημειώσουμε πως σε μελέτη υλικού του ίδιου είδους νάνου Ιπποπόταμου, από άλλη θέση στην Κύπρο, τον Αετόκρημνο, η μέση τιμή $\delta^{13}\text{C}$ (χωρίς διόρθωση) υπολογίστηκε στο $-10,357\text{ ‰}$ και άρα υποδεικνύει μια διατροφή που περιλαμβάνει εκτός από C3 φυτά, και αρκετά φυτά C4 (Wopschall, 2014), και σίγουρα περισσότερα φυτά C3 από τον σημερινό ιπποπόταμο. Το εύρος τιμών των ισοτόπων άνθρακα στη μελέτη μας, όπως και στην αντίστοιχη μελέτη της Wopschall, 2014 είναι μικρό σε σύγκριση με αυτό της μελέτης των Cerling *et al*, 2008. Αυτό υποδεικνύει πως ο νάνος ιπποπόταμος της Κύπρου είχε μία πιο περιορισμένη ποιοτικά διατροφή είτε ως αποτέλεσμα της διαθεσιμότητας και της ποικιλίας της παλαιοβλάστησης είτε ως αποτέλεσμα της προσαρμογής του συγκεκριμένου είδους σε εξειδικευμένη διατροφή. Και τα δύο αυτά σενάρια συνάδουν με ένα νησιωτικό περιβάλλον, όπως της Κύπρου. Σύμφωνα με την ίδια μελέτη και βάσει της μορφολογία των δοντιών του είδους αυτού, συγκρινόμενη με άλλα είδη ιπποποτάμων, ο *P. minor* δείχνει μια αξιοσημείωτη μετατόπιση προς μια φυλλομασητική συμπεριφορά και θεωρείται μια πιο «πρωτόγονη» στρατηγική αναζήτησης τροφής για τους *Hippopotamidae*. Ο ενδημικός ιπποπόταμος της Κύπρου φαίνεται να προτιμούσε πιο κλειστά περιβάλλοντα που χαρακτηρίζονται από δεντροκάλυψη και όχι από γρασίδι.

Επίσης, η γενικότερη μορφολογία του *Phanourios minor* δείχνει ότι το είδος ήταν καλά προσαρμοσμένο στην αναρρίχηση και το περπάτημα σε ανώμαλο έδαφος, αλλά πιθανότατα δεν ήταν καλός δρομέας για επίπεδα εδάφη (Van der Geer, 2010). Η μορφολογία του κρανίου και των άκρων δείχνει ένα είδος που έζησε στη στεριά και όχι σε ημιυδροβίες συνθήκες. Αφού πλέον η μορφολογία μαρτυρά έναν καλό περιηγητή και όχι έναν καλό κολυμβητή που θα μπορούσε να τρέφεται με κυανοβακτήρια, πλαγκτόν και ζωικούς ή φυτικούς μικροοργανισμούς που υπάρχουν στα υδάτινα περιβάλλοντα, τότε συμπεραίνουμε ότι η διατροφή του αποτελούνταν αποκλειστικά από χερσαία φυτά. Πιο συγκεκριμένα φαίνεται να προτιμούσε τα φύλλα των δέντρων ή των θάμνων (φυλλομασητική διατροφή).

10. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α- Η πορεία των ανασκαφών στην Αγία Νάπα.

Η θέση Αγίας Νάπας Κύπρου ανακαλύφθηκε από τον Ανδρέα Καραγιάννη το 2001, που επί χρόνια αναζητούσε την θέση προέλευσης μιας παλαιάς φωτογραφίας που

απεικόνιζε μια ανασκαφή από άγνωστους σε ένα στέγαστρο της περιοχής. Όταν εντόπισε τα απολιθώματα, ενημέρωσε τον Ιωάννη Παναγίδη, ανώτερο γεωλογικό λειτουργό ο οποίος και επικοινωνήσε με το Δρ. Γεώργιο Θεοδώρου, τον οποίο γνώριζε από κοινή προσπάθεια εντοπισμού και αξιολόγησης απολιθωματοφόρων κυπριακών θέσεων από το 1996. Οι πρώτες οργανωμένες ανασκαφές ξεκίνησαν σε συνεργασία με την Γεωλογική Επισκόπηση, που ανέλαβε την χρηματοδότηση τους, και του ΕΚΠΑ, με επιστημονικό υπεύθυνο τον σήμερα Ομότιμο καθηγητή Παλαιοντολογίας Γεώργιο Θεοδώρου. Από το ξεκίνημα των ανασκαφών υπήρξε πλήρης στήριξη από το Δήμο της Αγίας Νάπας και τη Γεωλογική Επισκόπηση, που συνεργαζόμενοι, εξασφάλισαν το τρεχούμενο νερό στη θέση της ανασκαφής που ήταν απαραίτητο για το κοσκίνισμα στα κόσκινα που κατασκεύασε η ΓΕΚ ενώ παράλληλα τοποθετήθηκε μια τέντα.

Ο Δήμος χρηματοδότησε επίσης την έκθεση στο Μουσείο Θάλασσας. Είχε προηγηθεί η παρουσίαση των ανασκαφών στο Σπίτι της Κύπρου στην Αθήνα με καλεσμένους, τον Ι. Παναγίδη αλλά και τον Ανδρέα Καραγιάννη. Έκτοτε, οι ανασκαφές συνεχίζονται σε τακτά διαστήματα και έφεραν στο φως χιλιάδες δείγματα οστών και οδόντων του ενδημικού είδους ιπποπόταμου *Phanourios minor*, σπανιότα οστά ελέφαντα και το μοναδικό γνωστό από τη Κύπρο τμήμα κρανίου της *Genetta plesictoides*. Τις ανασκαφές αυτές στήριξαν επίσης το ΕΚΠΑ-ΕΛΚΕ, η Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας και το Μουσείο ΘΑΛΑΣΣΑ Αγίας Νάπας, και ιδιαίτερα όλοι οι Δήμαρχοι της Αγίας Νάπας από το 2001 μέχρι σήμερα και όλοι οι Διευθυντές της ΓΕΚ. Σημαντικότερη ήταν η συνεισφορά του Αείμνηστου Ανώτερου Γεωλογικού Λειτουργού Ιωάννη Παναγίδη και κατόπιν της Δρ. Ζωμενίας Ζωμενή και του Δρ. Ευθύμιου Τσιολάκη. Τέλος, τα τελευταία χρόνια οι ανασκαφικές ομάδες είχαν πλήρη φιλοξενία από τον Δήμο και την υποστήριξη του Διευθυντή του Μουσείου Θάλασσα, Φώτου Κύκιλλου. Το 2019 κατασκευάστηκε ένα στέγαστρο, ξεκίνησε η περίφραξη του χώρου, και κατασκευάστηκε μία σκάλα. Η επόμενη ανασκαφική περίοδος προγραμματίζεται να ξεκινήσει το 2023 και να ολοκληρωθεί το 2025 (μαρτυρίες Θεοδώρου Γ.).

Στις εικόνες που ακολουθούν θα δούμε την πορεία των ανασκαφών και την εξέλιξη της θέσης από την ανασκαφή του 2001 έως την τελευταία μέχρι στιγμής ανασκαφή, το 2019. Όλες οι εικόνες είναι από το προσωπικό φωτογραφικό αρχείο του ομότιμου Καθηγητή και υπεύθυνου ανασκαφών Γεωργίου Θεοδώρου.



**Εικόνα 1 ΑΝΑΣΚΑΦΗ ΣΤΗ ΘΕΣΗ ΤΗΣ ΑΓΙΑΣ ΝΑΠΑΣ
2001 ΜΕ ΕΠΙΚΕΦΑΛΗ ΤΟΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗ ΓΕΩΡΓΙΟ
ΘΕΟΔΩΡΟΥ**



**Εικόνα 2 ΑΝΑΣΚΑΦΗ ΣΤΗ ΘΕΣΗ ΤΗΣ ΑΓΙΑΣ ΝΑΠΑΣ
ΤΟ 2002. ΣΤΗΝ ΕΙΚΟΝΑ ΦΑΙΝΟΝΤΑΙ ΟΙ
ΜΠΑΣΙΑΚΟΣ ΚΑΙ ΘΕΟΔΩΡΟΥ**



**Εικόνα 3 ΑΝΑΣΚΑΦΗ ΣΤΗ ΘΕΣΗ ΤΗΣ ΑΓΙΑΣ ΝΑΠΑΣ
ΤΟ 2002 ΜΕ ΕΠΙΚΕΦΑΛΗ ΤΟΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗ ΓΕΩΡΓΙΟ
ΘΕΟΔΩΡΟΥ**



Εικόνα 4 Η ΘΕΣΗ ΤΗΣ ΑΝΑΣΚΑΦΗΣ ΤΟ 2014



Εικόνα 5 Η ΘΕΣΗ ΤΗΣ ΑΝΑΣΚΑΦΗΣ ΤΟ 2015



Εικόνα 6 ΤΟ ΚΟΣΚΙΝΙΣΜΑ ΣΤΗΝ ΑΝΑΣΚΑΦΗ ΓΙΑ ΑΝΑΖΗΤΗΣΗ ΜΙΚΡΟΠΟΛΙΘΜΑΤΩΝ, πχ: *Genetta plesictoides*.



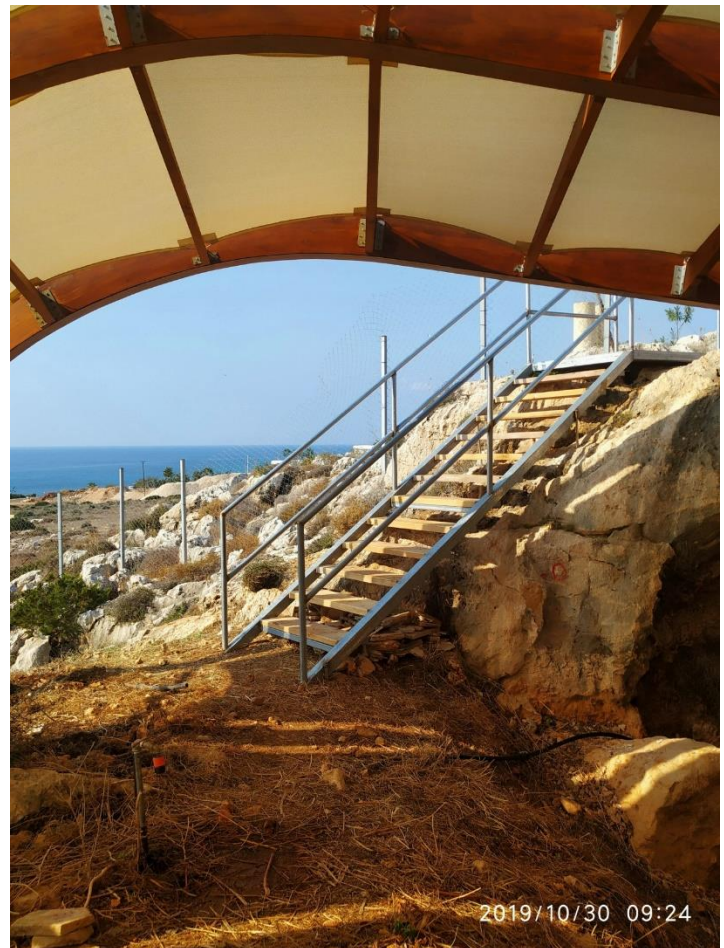
Εικόνα 9 Η ΑΝΑΣΚΑΦΗ ΤΟΥ 2015



Εικόνα 7 ΣΥΛΛΟΓΗ ΣΗΜΑΝΤΙΚΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ



Εικόνα 8 ΜΙΑ ΠΙΟ ΠΡΟΣΕΚΤΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ ΕΥΘΡΑΥΣΤΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ



Εικόνα 10 Η ΑΝΑΣΚΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ ΤΟ 2019. Η ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΥΠΟΣΤΕΓΟΥ ΚΑΙ ΣΚΑΛΑΣ.



Εικόνα 11 Η ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΝΑΝΟΥ
ΙΠΠΟΠΟΤΑΜΟΥ ΚΥΠΡΟΥ ΣΤΟ ΜΟΥΣΕΙΟ ΘΑΛΑΣΣΑ
ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟΝ ΗΠΕΙΡΩΤΙΚΟ ΙΠΠΟΠΟΤΑΜΟ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β- Τα οστά που χρησιμοποιήθηκαν

Στις παρακάτω φωτογραφίες παρατίθενται τα οστά που χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία. Οι εικόνες είναι από το προσωπικό μου φωτογραφικό αρχείο.



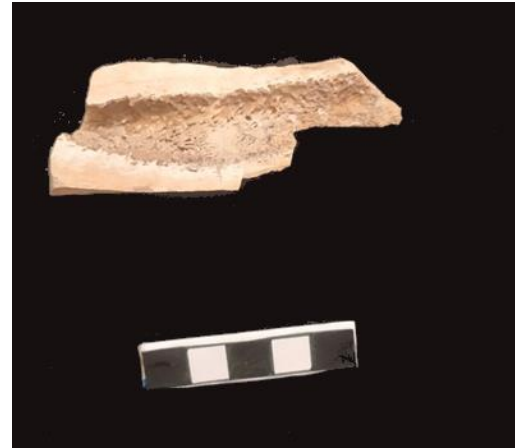
Εικόνα 12 AN 02A51X



Εικόνα 13 AN07 753



Εικόνα 14 AN8 572



Εικόνα 16 AN07 3451



Εικόνα 15 AN01 2661



Εικόνα 17 AN01 A225



Εικόνα 15 AN02 1095



Εικόνα 18 AN8 1141



Εικόνα 19 AN8 1915



Εικόνα 22 AN07 3556



Εικόνα 20 AN01 3037



Εικόνα 23 AN07 2451



Εικόνα 21 AN02 1578



Εικόνα 24 AN03 2513



Εικόνα 25 AN01 4012



Εικόνα 26 AN02 1099



Εικόνα 29 AN01 2805



Εικόνα 27 AN02 475



Εικόνα 30 AN01A236



Εικόνα 28 AN01 2328

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ- Το Φασματόμετρο Μάζας

Η φασματομετρία μάζας είναι το αναλυτικό εργαλείο που διαχωρίζει ενώσεις με βάση το φορτίο και τη μάζα τους και μετράει το μοριακό τους βάρος. Ο φασματογράφος μαζών είναι ένα όργανο που τεμαχίζει την ουσία που μελετάται, παράγοντας ιόντα. Τα ιόντα αυτά επιταχύνονται με τη βοήθεια ισχυρού ηλεκτρικού ή μαγνητικού πεδίου και συλλέγονται από τον ανιχνευτή ανάλογα με το μοριακό τους βάρος. Όταν τα δείγματα εισέλθουν στο φασματόμετρο μετατρέπονται σε ιόντα και διαχωρίζονται ανάλογα με το

m/z. Ο ανιχνευτής συλλαμβάνει τα διαχωριζόμενα ιόντα και τα μετατρέπει σε ηλεκτρικό σήμα (Haaf, 2021).

Στις παρακάτω εικόνες βλέπουμε το Φασματομέτρο μάζας που χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση των δειγμάτων του ενδημικού νάνου ιπποπόταμου της Κύπρου, στο εργαστήριο ισωτόπων του ερευνητικού κέντρου ΕΚΕΦΕ Δημόκριτος. Οι εικόνες είναι από το φωτογραφικό αρχείο της Δρ. Ελισάβετ Ντόσικα.



Εικόνα 31 ΦΑΣΜΑΤΟΜΕΤΡΟ ΜΑΖΑΣ

11. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ❖ **Alley R.B., 2000.** The Younger Dryas cold interval as viewed from central Greenland, *Quaternary Science Reviews*. 19, 213-226.
- ❖ **Alpert, P., Price, C., Krichak, S.O., Ziv, B., Saaroni, H., Osetinsky, I., Kishcha, P., 2005.** Tropical teleconnections to the Mediterranean climate and weather. *Advances in Geosciences*. 2, 157-160.
- ❖ **Ammerman, A.J., Noller, J.S., 2005.** New light on Aetokremnos. *World Archaeology*. 37, 533–543. <https://doi.org/10.1080/00438240500404359>.
- ❖ **Arthur M., Anderson T. F., Kaplan I. R., Veiser J., Land L. S., 1983.** Stable isotopes and sedimentary geology. *SEPM Society for Sedimentary Geology*. 10, 74-159. <https://doi.org/10.2110/scn.83.10>.
- ❖ **Athanassiou A., Herridge V., Reese D.S., Iliopoulos G., Roussiakis S., Mitsopoulou V., Tsiolakis E., Theodorou G., 2015.** Cranial evidence for the presence of a second endemic elephant species on Cyprus. *Quaternary International*. 379, 47-57.
- ❖ **Ayliffe, L. K., Lister, A. M., Chivas, A. R., 1992.** The preservation of glacial-interglacial climatic signatures in the oxygen isotopes of elephant skeletal phosphate. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 99, 179-191.
- ❖ **Azzaroli, A., 1978.** Fossil mammals from the island Pianosa in the Northern Tyrrhenian sea. *Bollettino della Societa Paleontologica Italiana*. 17, 15-27.
- ❖ **Azzaroli A., 1982.** On the Quaternary and recent cervid genera *Alces*, *Cervalces*, *Libralces*. *Bollettino della Società Paleontologica Italiana*. 20, 147- 154.
- ❖ **Balmain, N., Legros, R., Bonel, G., 1982.** X-Ray Diffraction of Calcined Bone Tissue: a reliable method for the determination of bone Ca/P molar ratio. *Calcified Tissue International*. 34, 93- 98.
- ❖ **Barnola, J.M., Raynaud D., Korotkevich Y. S., Lorius C., 1987.** Vostok Ice Core Provides 160,000-Year Record Of Atmospheric CO₂. *Nature*. 329, 408-414.
- ❖ **Bartsiokas, A. & Middleton, A. P., 1992.** Characterization and dating of recent and fossil bone by X-Ray Diffraction. *Journal of Archaeological Science*. 19, 63-72.
- ❖ **Bate, D. M. A., 1906.** The Pigmy Hippopotamus of Cyprus. *The Geological Magazine*. 3, 241-245.
- ❖ **Becker J. S., 2012.** "Chapter 13 Inorganic Mass Spectrometry of Radionuclides". In *L'Annunziata, Micheal F. (ed.). Handbook of radioactivity analysis (3rd ed.)*. Elsevier Science, 833-870. ISBN 978-0-12-384873-4.
- ❖ **Bengis R, Govender D, Lane E, Myburgh J, Oberholster P, Buss P, Prozesky L, Keet D., 2016.** Eco-epidemiological and pathological features of wildlife mortality events related to cyanobacterial bio-intoxication in the Kruger National Park, South Africa. *Journal of the South African Veterinary Association*. 87. <https://doi.org/10.4102/jsava.v87i1.1391>.
- ❖ **Betts, F., Blumenthal, N. C., Posner, A., 1981.** Bone Mineralization. *Journal of Crystal Growth*. 53, 63- 73.

- ❖ **Bigeleisen J. and Mayer M. G., 1947.** Calculation of equilibrium constants for isotopic exchange reactions. *Journal of Chemical Physics*, 15, 261- 267.
- ❖ **Bigeleisen J., 1965.** Chemistry of isotopes isotope chemistry has opened new areas of chemical physics, geochemistry, and molecular biology. *Science*. 147, 463–471.
- ❖ **Blake R. E., O’Neil J. R., Garcia G. A., 1997.** Oxygen isotope systematics of biologically mediated reactions of phosphate: I. Microbial degradation of organophosphorus compounds. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 61, 4411–4422.
- ❖ **Blake R. E., O’Neil J. R., Garcia G. A., 1998.** Effects of microbial activity on the d18O of dissolved inorganic phosphate and textural features of synthetic apatites. *American Mineralogist*. 83, 1516–1531.
- ❖ **Bocherens H., Koch P. L., Mariotti A., Geraads D., Jaeger J. J., 1996.** Isotopic biogeochemistry (¹³C, ¹⁸O) of mammalian enamel from African Pleistocene hominid sites. *Palaios*. 11, 306–318.
- ❖ **Boekschoten, G. J., Sondaar, P. Y., 1966.** The Pleistocene of the Katharo Basin (Crete) and its hippopotamus. *Bijdragen tot de Dierkunde*. 36, 17–7.
- ❖ **Boekschoten, G. J., Sondaar, P. Y., 1972.** On the Fossil Mammalia of Cyprus, *Koninkl. Nederl. Akademie Van Wetenschappen-Amsterdam*. 75, 306-338.
- ❖ **Boisserie, J. R., 2005.** The phylogeny and taxonomy of Hippopotamidae (Mammalia: Artiodactyla): A review based on morphology and cladistic analysis. *Zoological Journal of the Linnean Society*. 143, 1–26.
- ❖ **Boisserie, J. R., Fisher, R. E., Lihoreau, F., Weston, E. M., 2011.** Evolving between land and water: Key questions on the emergence and history of the Hippopotamidae (Hippopotamoidea, Cetancodonta, Cetartiodactyla). *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society*. 86, 601–625.
- ❖ **Bonfiglio, L., 1992.** Middle and Upper Pleistocene mammal-bearing deposits in SouthEastern Sicily: New stratigraphic records from Coste di Gigia (Syracuse). *Geobios*. 14, 189-199.
- ❖ **Bonfiglio, L., G. Di Stefano, G. Insacco, A.C. Marra, 1992.** New Pleistocene fissurefilling deposits from the Hyblean Plateau (south-eastern Sicily). *Rivista Italiana Paleontologica Stratigrafia*. 98, 4, 523-540.
- ❖ **Bonfiglio, L., M. Piperno, 1996.** Early Faunal and Human Populations. In Leighton, R. (ed.). *Early Societies in Sicily, new developments in archaeological research. Accordia Specialist Studies on Italy*. 5, 21-29. London: Accordia Research Centre, University of London.
- ❖ **Boronina A., Balderera W., Renardb P., Stichlerc W., 2005.** Study of stable isotopes in the Kouris catchment (Cyprus) for the description of the regional groundwater flow. *Journal of Hydrology*. 308, 214–226.
- ❖ **Bover, P., Fornos, J. J., & Alcover, J. A., 2005.** Carpal bones, carpal fusions and footprints of *Myotragus*: Clues for locomotion and behavior. *Monografies de la Societat d'Hist oria Natural de les Balears*. In J. A. Alcover & P. Bover (Eds.), *Proceedings of the international symposium “Insular vertebrate evolution: The Palaeontological approach”*. 12, 59–72.
- ❖ **Brown W.V., 1977.** The Kranz syndrome and its subtypes in grass systematics. *Memoirs of the Torrey Botanical Club*. 23, 1-97.

- ❖ **Bryant, J. D., Froelich, P. N., 1995.** A model of oxygen isotope fractionation in body water of large mammals. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 59, 4523–4537.
- ❖ **Bryda Szpunar, C., Lambert, J. B., Buikstra, J. E., 1978.** Analysis of Excavated bone by Atomic Absorption. *American Journal of Physical Anthropology*. 48, 199-202.
- ❖ **Buis A., Ramsayer K., Rasmussen C., 2015.** "A breathing planet, off balance". NASA. Archived from the original on 14 November 2015. Retrieved 13 November 2015.
- ❖ **Buis A., NASA's Jet Propulsion Laboratory, 2020.** "Milankovitch (Orbital) Cycles and Their Role in Earth's Climate". climate.nasa.gov.
- ❖ **Buizert, C., Gkinis, V., Severinghaus, J.P., He, F., Lecavalier, B.S., Kindler, P., 2014.** Greenland temperature response to climate forcing during the last deglaciation. *Science*. 345, 1177–1180.
- ❖ **Byrne K. B., Parris D. C., 1987.** Reconstruction of the diet of the Middle Woodland Amerindian population at Abbott Farm by bone trace-element analysis. *American Journal of Physical Anthropology*. 74, 373–384.
- ❖ **Cailhol, D., Audra, P., Nehme, C., Nader, F., Gara sic, M., Heresanu, V., Gucel, S., Charalambidou, I., Cheng, H., Edwards, R.L., 2019.** The contribution of condensation-corrosion in the morphological evolution of caves in semi-arid regions: preliminary investigations in the Kyrenia range, Cyprus. *Acta Carsologica*. 48, 1, 9-33.
- ❖ **Caloi, L., Palombo, M. R., 1994.** Functional aspects and ecological implications in Pleistocene endemic herbivores of Mediterranean islands. *Historical Biology*. 8, 151–172.
- ❖ **Capasso Barbato, L., T. Kotsakis, C. Petronio, 1982.** Nuovi resti e osservazioni filogenetiche su *Hippopotamus creutzburgi* Boekschoten & Sondaar (*Hippopotamidae*, *Mammalia*) del Pleistocene di Creta (Grecia). *Geologica Romana*. 21, 61-77.
- ❖ **Carlson, S. J., 1990.** Vertebrate Dental Structures. In *Skeletal Biomineralization: Patterns, Processes and Evolutionary Trends* (Eds. J. G. Carter). New York, I, 531-556.
- ❖ **Carpenter, K., 1998.** Role of Bacteria in the Permineralization of Dinosaur Bone. *Journal of Vertebrate Palaeontology*. 18, 31A.
- ❖ **Carpenter, K., 1999.** Role of Bacteria in the Permineralization of Bone: Experimental Results. *Journal of Vertebrate Palaeontology*. 19, 36A.
- ❖ **Cattaneo, C., Gelsthorpe, K., Phillips, P. & Solok, R. J., 1995.** Differential survival of albumin in ancient bone. *Journal of Archaeological Science*. 22, 271-276.
- ❖ **Cerling, T. E., Harris, J. M., MacFadden, B. J., Leakey, M. G., Quade, J., Eisenman, V., Ehleringer, J. R., 1997.** Global vegetation change through the Miocene/Pliocene boundary. *Nature*. 389, 153–8.
- ❖ **Cerling, T.E., Wittenmyer, G., Rasmussen, H.B, Vollrath, F., Cerling, C.E., Robinson, T.J., Douglas-Hamilton, I., 2006.** Stable isotopes in elephant hair documents migration patterns and diet changes. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 103, 371–373.
- ❖ **Cerling, T.E., Ayliffe, L.K., Dearing, M.D., Ehleringer, J.R., Passey, B.H., Podlesak, D.W., Torregrossa, A.-M., West, A.G., 2007.** Determining biological tissue turnover using stable isotopes: the reaction progress variable. *Oecologia*. 151, 175–189.

- ❖ **Cerling TE, Harris JM, Hart JA, Kaleme P, Klingel H, Leakey MG, Levin NE, Lewison RL, Passey BH., 2008.** Stable isotope ecology of the common hippopotamus. *Journal of Zoology*. 276, 204–212. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7998.2008.00450.x>.
- ❖ **Chadwick D.H., 1991.** Out of time out of space elephants, *National Geographic*.
- ❖ **Child, A., Gillard R., Pollard, A., 1993.** Microbially-Induced Promotion of Amino Acid Racemization in Bone: Isolation of the Microorganisms and the Detection of Their Enzymes. *Journal of Archaeological Science*. 20, 159-168.
- ❖ **Child A. M., 1995a.** Microbial Taphonomy of Archaeological bone. *Studies in Conservation*. 40, 19-30.
- ❖ **Child A. M., 1995b.** Towards an understanding of the microbial decomposition of archaeological bone in the burial environment. *Journal of Archaeological Science*. 22, 165-174.
- ❖ **Chillon B. S., Alberdi M. T., Leone G., Bonadonna F. P., Stenni B., Longinelli, A., 1994.** Oxygen isotopic composition of fossil equid tooth and bone phosphate: An archive of difficult interpretation. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 107, 317–328.
- ❖ **Christiansen P., 2002.** Locomotion in terrestrial mammals: The influence of body mass, limb length and bone proportions on speed. *Zoological Journal of the Linnean Society*. 136, 685–714.
- ❖ **Clemenz M. T., 2012.** New insight from old bones: stable isotope analysis of fossil mammals. *Journal of Mammalogy*. 93, 368- 380.
- ❖ **Cohmap Members, 1988.** Climatic Changes of the Last 18,000 Years. *Observations and Model Simulations*. 241, 4869, 1043-1052 DOI 10.1126/science.241.4869.1043
- ❖ **Collins M. J., Nielsen-Marsh C. M., Hiller J., Smith C. I., Roberts J. P., Prigodich R. V., Wess T. J., Csap J., Millard A. R., Turner-Walker G., 2002.** The survival of organic matter in bone: a review. *Archaeometry*. 44, 383–94
- ❖ **Comar C. L., Russell R. S., Wasserman R. H., 1957.** Strontium– calcium movement from soil to man. *Science*. 126, 485–492.
- ❖ **Connelly N. G., Damhus T., Hartshorn R. M., Hutton A. T., 2005.** Nomenclature of Inorganic Chemistry – IUPAC Recommendations 2005. The Royal Society of Chemistry. 2005; IUPAC, ISBN 978-0-85404-438-2
- ❖ **Coryndon S. G., 1977.** The taxonomy and nomenclature of the Hippopotamidae (Mammalia, Artiodactyla) and a description of two new fossil species. *Proceedings of the Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen (Series B)*. 80, 61–88.
- ❖ **Coughlin B. L., Fish F. E., 2009.** Hippopotamus underwater locomotion: Reduced-gravity movements for a massive mammal. *Journal of Mammalogy*. 90, 675–679.
- ❖ **Craig H., Gordon L.I., 1965.** Deuterium and oxygen- 18 variations in the ocean and the marine atmosphere. In *stable isotopes in Oceanographic studies and paleotemperatures*. Spoleto, July 26-27,1965. Consiglio Nazionale delle Ricerche. Laboratorio di Geologia Nucleare. 1- 22.
- ❖ **Cressey B. A. & Cressey G., 2003.** A model for the composite nanostructure of bone suggested by highresolution transmission electron microscopy. *Mineralogical Magazine*. 67, 1171-1182.

- ❖ **Cucchi T., Orth A., Auffray J.-C., Renaud S., Fabre L., Catalan J., Hadjisterkotis E., Bonhomme F., Vigne J.-D., 2015.** A new endemic species of the subgenus *Mus* (Rodentia, Mammalia) on the Island of Cyprus. *Zootaxa*. 1241, 1–36.
- ❖ **D'Angela, D., Longinelli, A., 1990.** Oxygen isotopes in living mammal's bone phosphate: Further results. *Chemical Geology*. 86, 75–82.
- ❖ **DeNiro M. J., Epstein S., 1978.** Influences of diet on the carbon isotope distribution in animals. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 42, 495–506.
- ❖ **DeNiro M. J., Epstein S., 1981.** Influence of diet on the distribution of nitrogen isotopes in animals. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 45, 341–51.
- ❖ **Desmarest, A. G., 1822.** *Mammalogie ou de description des espèces de mammifères*, Seconde partie. Mme Veuve Agasse Imprimeur-Libraire. 277–555.
- ❖ **Dittmann K., Grupe G., 2000.** Biochemical and palaeopathological investigations on weaning and infant mortality in the Early Middle Ages. *Anthropologischer Anzeiger: Journal of Biological and Clinical Anthropology*. 58, 345–355.
- ❖ **Dorozhkin, S. V. & Epple, M., 2002.** Biological and Medical Significance of Calcium Phosphates. *Angewandte Chemie International Edition*. 41, 3130–3146.
- ❖ **Dotsika E., Zisi N, Tsoukala E, Poutoukis D, Lykoudis S, Giannakopoulos A., 2011.** Palaeoclimatic information from isotopic signatures of Late Pleistocene *Ursus ingressus* bone and teeth apatite (Loutra Arideas Cave, Macedonia, Greece). *Quaternary International*. 291–301.
- ❖ **Dotsika, 2020.** Correlation between $\delta^{18}O_w$ and $\delta^{18}O_e$ for estimating human mobility and paleomobility patterns. *Scientific Reports*. 10, 15439 <https://doi.org/10.1038/s41598-020-71683-7>.
- ❖ **Dutton CL, Subalusky AL, Hamilton SK, Rosi EJ, Post DM., 2018.** Organic matter loading by hippopotami causes subsidy overload resulting in downstream hypoxia and fish kills. *Nature Communications*. 9, 1951. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-04391-6>.
- ❖ **Ehleringer J.R., Monson R.K., 1993.** Evolutionary and ecological aspects of photosynthetic pathway variation. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*. 24, 411–439
- ❖ **Ehleringer J. R., Cerling T. E., and Helliker B. R., 1997.** C4 photosynthesis, atmospheric CO₂, and climate. *Oecologia*. 112, 285–99.
- ❖ **Ehleringer J. R., Cerling T. E., Helliker B. R., 2017.** C4 photosynthesis, atmospheric CO₂, and climate. *Oecologia*. 112, 285–299.
- ❖ **Elliott J. C., Holcomb D. W., and Young R. A., 1985.** Infrared determination of the degree of substitution of hydroxyl by carbonate ions in human dental enamel. *Calcified Tissue International*. 37, 372–375.
- ❖ **Elwood W. K., Bernstein M. H., 1968.** The ultrastructure of the enamel organ related to enamel formation. *American Journal of Anatomy* 122, 73–94.
- ❖ **Endo H., Yoshida M., Nguyen T. S., Akiba Y., Takeda M., Kudo, K., 2019.** Three-dimensional CT examination of the forefoot and hindfoot of the hippopotamus and tapir during a semiaquatic walking. *Anatomia, Histologia, Embryologia*. 48, 3–11.
- ❖ **Engrand C., Kissel J., Krueger F. R., Martin P., Silén J., Thirkell L., Thomas R., Varmuza K., 2006.** "Chemometric evaluation of time-of-flight secondary ion mass spectrometry data of minerals in the frame of future in situ analyses of cometary's

- material by COSIMA onboard ROSETTA". *Rapid Communications in Mass Spectrometry*. 20, 1361–1368. Bibcode:2006RCMS...20.1361E. doi:10.1002/rcm.2448. PMID 16555371
- ❖ **Faure G., 1986.** Principles of Isotope Geology. *Geochemistry*. 24- 429.
 - ❖ **Filippidi A., Stathopoulou. E. T., & Theodorou G. E., 2013.** Taphonomical observations on the pygmy hippopotamus site in Aghia Napa, Cyprus. *Bulletin of the Geological Society of Greece*. 47, 122–135.
 - ❖ **Foley J.A., DeFries R., Asner G.P., Barford C., Bonan G., Carpenter S.R., Chapin F.S., Coe M.T., Daily G.C., Gibbs H.K., Helkowski J.H., Holloway T., Howard E.A., Kucharik C.J., Monfreda C., Patz J.A., Prentice I.C., Ramankutty N., Snyder, P.K., 2005.** Global consequences of land use. *Science*. 309, 570–574.
 - ❖ **Frankelius Per, 2020.** "A proposal to rethink agriculture in the climate calculations". *Agronomy Journal*. 112, 3216–3221. doi:10.1002/agj2.20286. S2CID 219423329.
 - ❖ **Fricke H. C. and O'Neil J. R., 1996.** Inter- and intra-tooth variation in the oxygen isotope composition of mammalian tooth enamel phosphate: Implications for palaeoclimatological and palaeobiological research. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 126, 91–99.
 - ❖ **Fricke H. D., Clyde W. C., O'Neil J. R., and Gingerich P. D., 1998a.** Intra-tooth variations in d18O(PO4) of mammalian tooth enamel as a record of seasonal variations in continental climate variables. *Geochimica Cosmochimica Acta*. 62, 1839–1850.
 - ❖ **Fricke H. C., Clyde W. C., O'Neil J. R., Gingerich P. D., 1998b.** Evidence for rapid climate change in North America during the latest Paleocene thermal maximum; oxygen isotope compositions of biogenic phosphate from the Bighorn Basin (Wyoming). *Earth and Planetary Science Letters*. 160, 193–208.
 - ❖ **Friedman I. and O'Neil J. R., 1977.** Complication of stable isotope fractionation factors of geochemical interest. *USGS Professional Paper*. 440, 1–12.
 - ❖ **Gambaryan P. P., 1974.** How mammals run. New York, NY: John Wiley & Sons.
 - ❖ **Garlic G. D., 1969.** The stable isotopes of oxygen. *Handbook of Geochemistry*. 1A, 21-47.
 - ❖ **Georgitsis Michail K., Liakopoulou Dionysia E., Theodorou Georgios E., 2021.** Morphofunctional examination of the carpal bones of pygmy hippopotamus from Ayia Napa, Cyprus. *American Association for Anatomy Anatomical Record*. 2021;1–24.
 - ❖ **Goldewijk K.K., Beusen A., Gerard van Drecht, de Vos M., 2010.** The HYDE 3.1 spatially explicit database of human-induced global land-use change over the past 12,000 years. *Geography*. 84, 1- 14.
 - ❖ **Gordon C. G., Buikstra J. E., 1981.** Soil pH, Bone preservation and sampling bias at mortuary sites. *American Antiquity*. 46, 566-571.
 - ❖ **Grupe, G., Piepenbrink, H. & Schoeninger, M.J., 1989.** Note on microbial influence on stable carbon and nitrogen isotopes in bone. *Applied Geochemistry*. 4, 299.
 - ❖ **Grupe, G., 2001.** Archaeological microbiology, In *Archaeological Sciences* (Eds. Brothwell, D.R. & Pollard, A.M.), Chichester, John Wiley and sons, 351-358.
 - ❖ **Hackett C. J., 1981.** Microscopical focal destruction (Tunnels) in exhumed human bones. *Medicine, Science and the Law*. 21, 243-265.

- ❖ **Hadjisterkotis E, Masala B, Reese D, 2000.** The origin and extinction of the large Pleistocene Mammals of Cyprus. *Biogeographia*. 21, 593–606
- ❖ **Hadjisterkotis Eleftherios, Reese David S., 2007.** Considerations on the potential use of cliffs and caves by the extinct endemic late pleistocene hippopotami and elephants of Cyprus. *European Journal of Wildlife Research*. 54, 122–133. DOI 10.1007/s10344-007-0121-3.
- ❖ **Halstead L. B., 1974.** *Vertebrate Hard Tissues*. London, Wykeham Publications, 179p
- ❖ **Hanson D. B. & Buikstra J. E., 1987.** Histomorphological alteration in burried human bone from the Lower Illinois Valley: Implications for Palaeodietary Research. *Journal of Archaeological Science*. 14. 549-563.
- ❖ **Hare P. E., 1980.** Organic geochemistry of bones, and its relation to the survival of bone in the natural environment, in *Fossils in the making* (eds. A. K. Behrensmeyer and A. P. Hill). 208–19. The University of Chicago Press, Chicago.
- ❖ **Hassan, A. A., and Ortner, D. J., 1977.** Inclusions in bone material as a source of error in radiocarbon dating. *Archaeometry*. 19, 131–5.
- ❖ **Hattersley P.W., 1987.** Variations in photosynthetic pathway. In: Soderstrom TR, Hilu KW, Campbell CDS, Barkworth ME (eds) *Grass systematics and evolution*. Smithsonian Institution Press, Washington. 49-64.
- ❖ **Hattersley P.W., Watson L., 1992.** Diversi cation of photosynthesis. In: Chapman GP (ed) *Grass evolution and domestication*. Cambridge University Press, Cambridge. 38-116.
- ❖ **Hedges E. M., Millard A. R., 1995a.** Bones and groundwater: Towards the modelling of diagenetic processes. *Journal of Archaeological Science*. 22, 155-164.
- ❖ **Hedges E. M., Millard, A. R., 1995b.** Measurements and relationships of diagenetic alteration of bone from three archaeological sites. *Journal of Archaeological Science*. 22: 201-209.
- ❖ **Held S.O., 1989.** *Colonization Cycles on Cyprus 1: The Biogeographic and Paleontological Foundations of Early Prehistoric Settlement*. Report of the Department of Antiquities, Cyprus. 7-28.
- ❖ **Held S., 1992.** Pleistocene fauna and Holocene humans: A gazetteer of palaeontological and early archaeological sites on Cyprus. *Studies in Mediterranean archaeology*. 40/41, 155- 158.
- ❖ **Henson F.R.S., Browne R. V. and McGinty J., 1949.** A synopsis of the stratigraphy and geological history of Cyprus. *Quarterly Journal of the Geological Society*. 105, 1-41.
- ❖ **Hirschler A., Lucas J., Hubert J., 1990.** Apatite genesis: A biologically induced or biologically controlled mineral formation process. *Geomicrobiology Journal*. 8, 47–56.
- ❖ **Hoefs J., 1996.** *Stable Isotope Geochemistry*, Institute of Geochemistry Uni of Göttingen Golgschmidsteassel, D- 37077, 106- 137.
- ❖ **Hooijer D. A., 1942.** On the supposed hexaprotodont milk dentition in *Hippopotamus amphibius* L. *Zoologische Mededelingen*. 24, 187-196.
- ❖ **Hoppe, K. A., Stover, S. M., Pascoe, J.R., Amundson, R., 2004.** Tooth enamel biomineralization in extant horses: implications for isotopic microsampling. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 206, 355-365.

- ❖ **Houtekamer J. L., Sondaar P. Y., 1979.** Osteology of the fore limb of the Pleistocene dwarf hippopotamus from Cyprus with special reference to phylogeny and function. *Proceedings of the Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen (Series B)*. 82, 411–448.
- ❖ **Hsü K.J., 1983.** *The Mediterranean was a desert. A voyage of the Glomar Challenger*. Princeton: Princeton University Press.
- ❖ **Huntley B., 1985.** *Global Climates for 9000 and 6000 Years Ago*, in press.
- ❖ **Hunt C.O., Schembri P.J., 1999.** Quaternary environments and biogeography of the Maltese Islands. In: *Facets of Maltese prehistory*. Prehistoric society of Malta, Valetta. 41–75
- ❖ **Iacumin P., Bocherens H., Mariotti A., Longinelli, A., 1996.** Oxygen isotope analyses of co-existing carbonate and phosphate in biogenic apatite: a way to monitor diagenetic alteration of bone phosphate? *Earth and Planetary Science Letters*. 142, 1–6.
- ❖ **Iliopoulos G., Athanassiou A., Konstantinou G., 2011.** New dwarf elephant material from the Pleistocene of Cyprus. In: Geer, A., van der & Athanassiou, A. (eds), *9th Annual Meeting of the European Association of Vertebrate Palaeontologists (Heraklion, Crete), Program and Abstracts*. European Association of Vertebrate Palaeontologists, Natural History Museum of Crete. 30.
- ❖ **Jaekel O., 1911.** *Die Wirbeltiere. Eine Übersicht über die fossilen und lebenden Formen*. Gebrüder Bornträger. 252, 1911.
- ❖ **Jaouen K, Pons M-L, Balter V, 2013b.** Iron, copper and zinc isotopic fractionation up mammal trophic chains. *Earth and Planetary Science Letters*. 374. 164–172. doi:10.1016/j.epsl.2013.05.037.
- ❖ **Johansen, E., 1967.** Ultrastructure of dentine. In *Structural and Chemical Organization of Teeth* (Eds. A. Miles). London, Academic Press. II: 35-74.
- ❖ **Johnson D.L., 1980.** Problems in the Land Vertebrate Zoogeography of Certain Islands and the Swimming Powers of Elephants. *Journal of Biogeography*. 7, 383-398.
- ❖ **Jones A. M., O’Connell T. C., Young E. D., Scott K., Buckingham C. M., Iacumin P., Brasier M. D., 2001.** Biogeochemical data from well preserved 200 ka collagen and skeletal remains. *Earth and Planetary Science Letters*. 193, 143–9.
- ❖ **Keeley H. C. M., Hudson G. E., Evans J., 1977.** Trace element content of human bone in various states of preservation. 1. The soil silhouette. *Journal of Archaeological Science*. 4, 19-24.
- ❖ **Kerr, Richard A., 1978.** "Climate Control: How Large a Role for Orbital Variations?". *Science*. 201, 144–146. doi:10.1126/science.201.4351.144. JSTOR 1746691. PMID 17801827. Retrieved July 29, 2022.
- ❖ **Kinnaird T. C., Robertson A.H.F., Morris A., 2011.** Timing of uplift of the Troodos Massif (Cyprus) constrained by sedimentary and magnetic polarity evidence. *Journal of the Geological Society*. 168, 1-14
- ❖ **Koch P. L., Tuross N., Fogel, M. L., 1997.** The effects of sample treatment and diagenesis on the isotopic integrity of carbonate in biogenic hydroxylapatite. *Journal of Archaeological Science*. 24, 417–29.

- ❖ **Koch P. L. 2007.** Isotopic study of the biology of modern and fossil vertebrates. Pp. 99–154 in *Stable isotopes in ecology and environmental science* (R. H. Michener and K. Lajtha, eds.). 2nd ed. Blackwell Publishing, Boston, Massachusetts.
- ❖ **Kohn M. J., 1996.** Predicting animal $\delta^{18}\text{O}$: accounting for diet and physiological adaptation. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 60, 4811–29.
- ❖ **Kohn M. J., Schoeninger M. J., Valley J. W., 1998.** Variability in oxygen compositions of herbivore teeth: Reflections of seasonality or developmental physiology? *Chemical Geology: Isotope Geoscience section*. 152, 97–112.
- ❖ **Kohn M. J., Schoeninger M. J., and Barker W. W., 1999.** Altered states: Effect of diagenesis on fossil tooth chemistry. *Geochimica Cosmochimica Acta*. 63, 2737–2747.
- ❖ **Kohn M. J., Cerling T. E., 2002.** Stable isotope compositions of biological apatite. *Phosphates: Geochemical, Geobiological, and Materials Importance* 48:455–488.
- ❖ **Kolodny Y., Luz B., Navon O., 1983.** Oxygen isotope variations in phosphate of biogenic apatites I. Fish bone apatite - rechecking the rules of the game. *Earth and Planetary Science Letter*. 64, 398–404.
- ❖ **Kottek M., Grieser J., Beck C., Rudolf B., Rubel F., 2006.** World map of the Köppen–Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*. 15, 259–263.
- ❖ **Kuss S., 1973.** Die pleistozänen Säugetierfaunen der ostmediterranen Inseln. Ihr Alter und ihre Herkunft. *Berichte der Naturforschenden Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau*. 63, 49–71.
- ❖ **Kuss S.E., 1975.** Die pleistozänen Hirsche der ostmediterranen Inseln Kreta, Kasos, Karpatos und Rhodos (Griechenland). *Berichte der Naturforschenden Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau*. 65, 25–79.
- ❖ **Lambert J. B., Simpson S. V., Szpunar C. B., and Buikstra J. E., 1985.** Bone diagenesis and dietary analysis. *Journal of Human Evolution*. 14, 477–482.
- ❖ **Lamolino M. V., Van der Geer A., Lyras G.A., Palombo M. R., Sax D. F., Rozzi R., 2013.** Of mice and mammoths: generality and antiquity of the island rule. *Journal of Biogeography*. 40, 1427–1439.
- ❖ **Laws R.M., 1968.** Dentition and ageing of the hippopotamus. *African Journal of Ecology*. 6, 19–52. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2028.1968.tb00899.x>.
- ❖ **Lax E, 1996.** A gazetteer of Cretan paleontological localities. In: Reese DS (ed) *Pleistocene and holocene fauna of Crete and its first settlers*. Prehistory Press, Madison. 1–32
- ❖ **Lee-Thorp J. A., Van der Merwe N. J., 1987.** Carbon isotope analysis of fossil bone apatite. *South African Journal of Science*. 83, 712–715.
- ❖ **Lee-Thorp J. A., Van der Merwe N. J., Brain C. K., 1989.** Isotopic evidence for dietary differences between two extinct baboon species from Swartkrans. *Journal of Human Evolution*. 18, 183–190.
- ❖ **Lee-Thorp J., Sponheimer M., 2003.** Three case studies used to reassess the reliability of fossil bone and enamel isotope signals for paleodietary studies. *Journal of Anthropological Archaeology*. 22, 208–216.
- ❖ **Lee-Thorp J. A., 2008.** On Isotopes and old bones. *Archaeometry* 50, 925–950
- ❖ **LeGeros R., 1991.** Calcium phosphates in oral biology and medicine, *Monographs in Oral Science*. 15, 1–201.

- ❖ **Leinders J.J.M. & Sondaar P.Y., 1974.** On functional fusions in footbones of Ungulates. *Zeitschrift für Säugetierkunde*, Hamburg. 39, 109-115.
- ❖ **Levinson A.A., Luz B., Kolodny Y., 1987.** Variations in oxygen isotopic compositions of human teeth and urinary stones. *Applied Geochemistry* 2, 367-371.
- ❖ **Lewison, R. & Oliver, W. (IUCN SSC Hippo Specialist Subgroup), 2008.** Hippopotamus amphibius. 2008 IUCN Red List of Threatened Species. IUCN 2008. Database entry includes a range map and justification for why this species is vulnerable.
- ❖ **Lewison RL., 2011.** Family hippopotamidae hippopotamuses. 308–319.
- ❖ **Linchant J, Lhoest S, Quevauvillers S, Lejeune P, Vermeulen C, Ngabinzeke SJ, Belanganayi BL, Delvingt W, Bouche P., 2018.** UAS imagery reveals new survey opportunities for counting hippos. *PLoS ONE* 13 (11). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0206413>.
- ❖ **Lomolino MV, Sax DF, Palombo MR, Van der Geer AA. 2012.** Of mice and mammoths: evaluations of causal explanations for body size evolution in insular mammals. *Journal of Biogeography*. 39, 842–854.
- ❖ **Lomolino MV, Van der Geer AA, Lyras GA, Palombo MR, Sax DF, Rozzi R. 2013.** Of mice and mammoths: generality and antiquity of the island rule. *Journal of Biogeography*. 40, 1427–1439.
- ❖ **Long S.P., Bernacchi C.J., 2003.** "Gas exchange measurements, what can they tell us about the underlying limitations to photosynthesis? Procedures and sources of error". *Journal of Experimental Botany*. 54, 2393–2401. doi:10.1093/jxb/erg262. PMID 14512377
- ❖ **Longinelli A., Nuti S., 1973.** Revised phosphate-water isotopic temperature scale. *Earth of Planetary Science Letter*. 19, 373–376
- ❖ **Longinelli A., 1984.** Oxygen isotopes in mammal bone phosphate: A new tool for paleohydrological and paleoclimatological research? *Geochimica Cosmochimica Acta*. 48, 385-390.
- ❖ **Lucas J., Prevot L., 1985.** The synthesis of apatite by bacterial activity: mechanism, *Sciences Geologiques*. 77: 83-92.
- ❖ **Luz B., Kolodny Y., Horowitz M., 1984a.** Fractionation of oxygen isotopes between mammalian bone-phosphate and environmental drinking water. *Geochimica Cosmochimica Acta*. 48, 1689-1693.
- ❖ **Luz B., Kolodny Y., Kovach J., 1984b.** Oxygen isotope variations in phosphate of biogenic apatites, III. Conodonts. *Earth of Planetary Science Letter*. 75, 29-36.
- ❖ **Luz B., Kolodny Y., 1985.** Oxygen isotope variations in phosphate of biogenic apatites, IV. Mammal teeth and bones. *Earth of Planetary Science Letter*. 75, 29-36.
- ❖ **Marra AC., 2005.** Pleistocene mammals of Mediterranean islands. *Quaternary International*. 129, 5–14.
- ❖ **Marshall P.J., Sayer J.A., 1976.** Population ecology and response to cropping of a Hippopotamus population in Eastern Zambia. *Journal of Applied Ecology*. 13, 391–403. <https://doi.org/10.2307/2401788>.
- ❖ **Martin J., Tacail T., Balter V., 2017.** Non-traditional isotope perspectives in vertebrate palaeobiology, . *Palaeontology*, Wiley. 60, 485-502. [ff10.1111/pala.12300](https://doi.org/10.1111/pala.12300)ff. [ffhal-01648311f](https://doi.org/10.1111/pala.12300).

- ❖ **Mathew M., Takagi S., 2001.** Structures of Biological Minerals in Dental Research. *Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology*. 106, 1035-1044
- ❖ **McCauley DJ, Dawson TE, Power ME, Finlay JC, Ogada M, Gower DB, Caylor K, Nyingi WD, Githaiga JM, Nyunja J, Joyce FH., 2015.** Carbon stable isotopes suggest that hippopotamus vectored nutrients subsidize aquatic consumers in an East African river. *Ecosphere*. 6, 1–11. <https://doi.org/10.1890/ES14-00514.1>
- ❖ **McDermott J.M., Seewald J.S., German C.R., Sylva S.P., 2015.** Pathways for abiotic organic synthesis at submarine hydrothermal fields. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 112, 7668–7672.
- ❖ **McFarland W. N., Pough F. H., Cade T. J., Heiser J. B., 1985.** *Vertebrate Life*. New York, Macmillan Publishing Company. 636.
- ❖ **Meissner K.J., 2007.** Younger Dryas: A data to model comparison to constrain the strength of the overturning circulation. *Geophysical Research Letters*. 34, L21705.
- ❖ **Melillo J.M., McGuire A.D., Kicklighter D.W., Moore B., Vorosmarty C.J., Schloss A.L., 1993.** Global climate change and terrestrial net primary production. *Nature*. 363, 234- 240.
- ❖ **Mendoza, M., & Palmqvist, P., 2008.** Hypsodonty in ungulates: an adaptation for grass consumption or for foraging in open habitat? *Journal of Zoology*. 274, 134-142.
- ❖ **Millard A. R., Hedges R. E. M., 1995.** The role of the environment in uranium uptake by buried bone. *Journal of Archaeological Science*. 22, 239-250.
- ❖ **Monson R.K., Edwards G.E., Ku M.S.B., 1984.** C3-C4 intermediate photosynthesis in plants. *Bioscience*. 34, 563-574.
- ❖ **Monson R.K., 1989.** On the evolutionary pathways resulting in C4 photosynthesis and Crassulacean acid metabolism. *Advances in Ecological Research*. 19, 57-110.
- ❖ **Moores E.M., Robinson P.T., Malpas J, Xenophonotos C., 1984.** Model for the origin of the Troodos massif, Cyprus, and other mideast ophiolites. *Geology*. 12, 500–503.
- ❖ **Mosepele K, Moyle PB, Merron GS, Purkey DR, Mosepele B., 2009.** Fish, floods, and ecosystem engineers: aquatic conservation in the Okavango Delta, Botswana. *Bioscience*. 59, 53–64. <https://doi.org/10.1525/bio.2009.59.1.9>.
- ❖ **Moss-Salentijn L., Moss M. L., Yuan, M.S., 1997.** The ontogeny of mammalian enamel. In *Tooth enamel microstructure* (Eds. W. v. K. P. M. Sander). Rotterdam, A.A. Balkema Publishers. 5-30.
- ❖ **Munzenberg K. J., Gebhardt M., 1970.** Crystalline calcium phosphates of the bone. In *Biom mineralization - Research reports, Akademie der Wissenschaften und der Literatur*. 91-95.
- ❖ **Munzenberg, K. J., 1970.** Studies on the crystallography of the minerals in bone. In *Biom mineralization - Research reports, Akademie der Wissenschaften und der Literatur*. 69-100.
- ❖ **Nehme C., Kluge T., Verheyden S., Nader F., Charalambidou I., Weissbach T., Gucel S., Cheng H., Edwards R.L., Satterfield L., Eiche E., Claeys Ph., 2020.** Speleothem record from Pentadactylos cave (Cyprus): new insights into climatic variations during MIS 6 and MIS 5 in the Eastern Mediterranean. *Quaternary Science Reviews*. 250, 106663.

- ❖ **Newesely H., 1987.** Chemical stability of hydroxyapatite under different conditions, Proceedings of the Conference “Trace elements in Environmental History”, Gottingen. Springer-Verlag. 1-16.
- ❖ **Newesely H., 1989.** Fossil bone apatite. Applied Geochemistry. 4, 233-245.
- ❖ **Newsome, S.D., Clementz, M.T., Koch, P. 2010.** Using stable isotope biogeochemistry to study marine mammal ecology. Marine mammal science 26, 509– 572.
- ❖ **Nicholson R. A., 1996.** Bone degradation, Burial Medium and Species Representation: Debunking the Myths, an experiment-based approach. Journal of Archaeological Science. 23, 513-533.
- ❖ **Nicholson R. A., 1998.** Bone degradation in a compost heap. Journal of Archaeological Science. 25, 393-403.
- ❖ **Nicolaou L., Iliopoulos G., Roussiakis S., 2020.** Population dynamics on Aetokremnos hippos of Cyprus or have Cypriots ever tasted hippo meat? Quaternary International. 568, 55–64
- ❖ **Nielsen-Marsh C., Hedges R. E. M, 2000a.** Patterns of Diagenesis in bone II: Effects of Acetic Acid Treatment and the removal of Diagenetic CO₃²⁻. Journal of Archaeological Science. 27, 1151- 1159.
- ❖ **Nielsen-Marsh C., Hedges, R. E. M., 2000b.** Patterns of Diagenesis in bone I: The effects of site environments, Journal of Archaeological Science, 27: 1139-1150.
- ❖ **O’ Neil J. R., Adami L.H., Epstein S., 1975.** Revised value for the 18O fractionation between CO₂ and H₂O at 25°C. Journal of Research of the U. S. Geological Survey. 3, 623.
- ❖ **Olivier RCD, Laurie WA., 1974.** Habitat utilization by hippopotamus in the Mara River. East African Wildlife Journal. 12, 249–271. [https:// doi.org/10.1111/j.1365-2028.1974.tb01036.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2028.1974.tb01036.x).
- ❖ **Oloriz F., Reolid M., Rodriguez-Tovar F.J., 2004.** Microboring and taphonomy in Middle Oxfordian to lowermost Kimmeridgian (Upper Jurassic) from the Prebetic Zone (southern Iberia). Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 212, 181-197
- ❖ **Onyeanus AE., 1999.** Some ecological roles of hippopotamus (*Hippopotamus amphibius* Linn. 1758) in fish production: possibilities for integrated fish-cum Agric production system. In: 13th Annual Conference of the Fisheries Society of Nigeria (FISON), 3-8 November 1996, New Bussa, Nigeria. 282–285.
- ❖ **Osmond C.B., Winter K., Ziegler H., 1982.** Functional significance of different pathways of CO₂ fixation in photosynthesis. In: Lange OL, Nobel PS, Osmond CB, Ziegler H (eds) Physiological plant ecology II. Springer, Berlin, Heidelberg, New York. 479- 547.
- ❖ **Palikarides A., 1997.** Mediterranean, the youngest of the seas. To periodikon. 565, 80- 85.
- ❖ **Panagiotopoulos I., 2019.** Biogeochemical cycles. Lecture 2. 1- 100.
- ❖ **Parras-Berrocal I. M. , Vazquez R. , Cabos W. , Sein D. , Mañanes R. , Perez-Sanz R., Izquierdo A., 2020.** The climate change signal in the Mediterranean Sea in a regionally coupled atmosphere–ocean model. Ocean Science. 16, 743–765.

- ❖ **Pate F. D., Hutton J. T., Norrish, K., 1989.** Ionic exchange between soil solution and bone: toward a predictive model. *Applied Geochemistry*. 4, 303-316.
- ❖ **Peel M. C., Finlayson B. L., McMahon T. A., 2007.** «Updated world map of the Köppen–Geiger climate classification». *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 11: 1633–1644.
- ❖ **Pickford M., 1983.** Sequence and environments of the lower and middle Miocene hominoids of western Kenya. *New interpretations of ape and human ancestry*. 421-439.
- ❖ **Piepenbrink, H., 1989.** Examples of chemical changes during fossilization. *Applied Geochemistry*. 4, 273- 280.
- ❖ **Pomoni-Papaioannou, F., 1994.** Palaeoenvironmental reconstruction of a condensed hardground-type depositional sequence at the Cretaceous-Tertiary contact in the Parnassus-Ghiona zone, Central Greece. *Sedimentary Geology*. 93, 7-24.
- ❖ **Poole A. J., Robertson A. H. F. 1998.** Pleistocene fanglomerate deposition related to uplift of the Troodos Ophiolite, Cyprus. In: *Proceedings of the Ocean Drilling Program* (eds A. H. F. Robertson, K-C. Emeis, C. Richter & Camerlenghi,), 545–66. Texas A & M University, College Station, Texas, Scientific Results, 160.
- ❖ **Price T. D., Blitz J., Burton J., Ezzo, J. A., 1992.** Diagenesis in prehistoric bone: Problems and solutions. *Journal of Archaeological Science*. 19, 513-529.
- ❖ **Quade J., Cerling T. E., 1990.** Stable isotopic evidence for a pedogenic origin of carbonates in Trench 14 near Yucca Mountain. *Nevada: Science*. 250, 1549–1552.
- ❖ **Quade J., Cerling T. E., Barry J. C., Morgan M. E., Pilbeam D. R., Chivas A. R., Lee-Thorp J. A., and van-der-Merwe N. J., 1992.** A 16-Ma record of paleodiet using carbon and oxygen isotopes in fossil teeth from Pakistan. *Chemical Geology*. 94, 183–192.
- ❖ **Quattropiani L., Charlet L., De Lumley H., Menu M., 1999.** Early Palaeolithic bone Diagenesis in the Arago cave at Tautavel, France. *Mineralogical Magazine*. 63, 801-812.
- ❖ **Raven PH, Evert RF, Eichhorn SE, 2005.** *Biology of Plants* (7th ed.). New York: W. H. Freeman and Company. 124–127. ISBN 978-0-7167-1007-3.
- ❖ **Raymo M.E., Lisiecki L.E., Nisancioglu K.H., 2006.** Plio–Pleistocene ice volume, Antarctic climate, and the global $d^{18}O$ record. *Science*. 313, 492–495.
- ❖ **Reece J, Urry L, Cain M, Wasserman S, Minorsky P, Jackson R, 2011.** *Biology* (International ed.). Upper Saddle River, NJ: Pearson Education. 235, 244. ISBN 978-0-321-73975-9. This initial incorporation of carbon into organic compounds is known as carbon fixation.
- ❖ **Reese, D. S., 1996.** Cypriot Hippo Hunters No Myth. *Journal of Mediterranean Archaeology*. 9, 107- 112.
- ❖ **Reese D., Roler K., 1999.** Pygmy hippopotamus. In: Simmons, A. (Ed.), *Faunal Extinctions in an Island Society: Pygmy Hippopotamus Hunters of the Akrotiri Peninsula, Cyprus*. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York. 156–161.
- ❖ **Reyment R. A. 1983.** Palaeontological aspects of island biogeography: colonization and evolution of mammals on the Mediterranean island. *Oikos*. 41, 299-306.
- ❖ **Robertson A.H.F., Woodcock N.H. 1986.** The role of the Kyrenia Range Lineament, Cyprus, in the geological evolution of the eastern Mediterranean. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*. 317, 141–177.

- ❖ **Robertson AHF., 1990.** Tectonic evolution of Cyprus. In: Malpas J, Moores EM, Panayiotou A, Xenophontos C, eds. *Ophiolites, oceanic crustal analogues. Proceedings of the Symposium 'Troodos 1987'*. Nicosia: Geological Survey Department, Ministry of Agriculture, Natural Resources and Environment. 235–250.
- ❖ **Romano M., Manucci F., Palombo M. R., 2019.** The smallest of the largest: new volumetric body mass estimate and in-vivo restoration of the dwarf elephant *Palaeoloxodon ex gr. P. falconeri* from Spinagallo Cave (Sicily). 340-353.
<https://doi.org/10.1080/08912963.2019.1617289>.
- ❖ **Romer Sherwood A., Parsons T. S, 1977.** *The Vertebrate Body*. Philadelphia. 624.
- ❖ **Schlossberg T., 2016.** 12,000 Years Ago, Humans and Climate Change Made a Deadly Team, Science Source.
- ❖ **Schoeninger M. J., 1979.** Diet and status at Chalcatzingo: Some empirical and technical aspects of strontium analysis. *American Journal of Physical Anthropology*. 51, 295–310.
- ❖ **Schwarcz H. P., Grun R., 1989.** ESR dating of tooth enamel from prehistoric archaeological sites. *Applied Geochemistry*. 4, 329-330.
- ❖ **Seifert H., 1970.** The template principle and biogenesis of calcium carbonate. In *Biom mineralization Research reports*, Stuttgart, Akademie der Wissenschaften und der Literatur. 107-133.
- ❖ **Shahack-Gross R., Tchernov E., Luz B., 1999.** Oxygen isotopic composition of mammalian skeletal phosphate from the Natufian period, Hayonim cave, Israel: Diagenesis and paleoclimate. *Geoarcheology*. 14, 1–13.
- ❖ **Sharp Z., Cerling T. C., 1996.** A laser GC–IRMS technique for in situ stable isotope analyses of carbonates and phosphates. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 60, 2909–16.
- ❖ **Sharp Z., Atudorei V., Furrer H., 2000.** The effects of diagenesis on oxygen isotope ratios of biogenic phosphates. *American Journal of Science*. 300, 222–37.
- ❖ **Sharp Z., 2007.** *Principles of stable isotope geochemistry*, Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.
- ❖ **Sillen A., 1981.** Strontium and diet at Hayonim Cave. *American Journal of Physical Anthropology*. 56, 131–137.
- ❖ **Simmons A. H., 1991.** Humans, island colonization and Pleistocene extinctions in the Mediterranean: the view from Akrotiri Aetokremnos. *Cyprus, Antiquity*. 65, 857-869
- ❖ **Simmons A.H., Reese D.S., 1993.** Hippo hunters of Akrotiri. *Archaeology* 46, 40–43.
- ❖ **Simmons A.H., Wigand P.E., 1994.** Assessing the radiocarbon determinations from Akrotiri Aetokremnos, Cyprus. In: Bar-Yosef O, Kra RS (eds) *Late quarternary chronology and paleoclimates of the Eastern Mediterranean*. American School of Prehistoric Research. Cambridge. 247–264.
- ❖ **Simmons, A.H., 1996.** Whose myth? Archaeological data, interpretations, and implications for the human association with extinct Pleistocene fauna at Akrotiri Aetokremnos, Cyprus. *Journal of Mediterranean Archaeology*. 9. 97-105.
- ❖ **Simmons, A. H., associates, 1999.** *Faunal Extinction in an Island Society. Pygmy Hippopotamus Hunters of Cyprus*, New York, Kluwer Academic. 381.

- ❖ **Simmons, A.H., 2000.** Faunal Extinction in an Island Society: Pygmy Hippopotamus Hunters of Cyprus. Kluwer Academic Publishers, New York, Boston, Dordrecht, London, Moscow.
- ❖ **Simpson, G.G., 1940.** Mammals and Land Bridges, <http://people.wku.edu/charles.smith/biogeog/SIMP940B.htm>
- ❖ **Simpson, G.G., 1965.** The Geography of Evolution. Philadelphia, New York: Chilton Books.
- ❖ **Smith A., 1849.** Under the description of Hippopotamus amphibius. In: Illustrations of the zoology of South Africa Mammals. Smith, Elder & Co., London
- ❖ **Smith, B. N., and Epstein, S., 1971.** Two categories of $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratios for higher plants. *Plant Physiology*. 47, 380–4.
- ❖ **Sondaar P.Y., 1977.** Insularity and its effect on mammal evolution. In: Hecht, M.N., P.L. Goody, & B.M. Hecht (eds). *Major Patterns in Vertebrate Evolution*. 671-707. New York: Plenum Publ. Co.
- ❖ **Sondaar, P.Y., 1987.** Pleistocene mammals and extinctions of island endemics. *Mem. Soc. Geol. France N.S.*, 150, 159-165.
- ❖ **Sondaar P.Y., M. Martini, A. Ulzega, G. Klein Hofmeijer, 1991.** L'homme Pleistocene en Sardaigne. *L'Anthropologie*. 95, 181-200.
- ❖ **Sondaar, P.Y., Van der Geer, A.A.E. 2005.** Evolution and Extinction of Pliocene Pleistocene Island Ungulates. In: E. Crégut-Bonnoure (ed.). *Les ongulés holarctiques du Pliocène et du Pléistocène*. Quaternaire, International Journal of the French Quaternary Association, hors-série 2005. 2, 241-256.
- ❖ **Soddy, Frederick, 1922.** "The origins of the conceptions of isotopes"(PDF). Nobelprize.org. p. 393. Retrieved 9 January 2019. Thus the chemically identical elements - or isotopes, as I called them for the first time in this letter to Nature, because they occupy the same place in the Periodic Table.
- ❖ **Soudry, D., 2000a.** Microbial Phosphate sediment. In *Microbial Sediments* (Eds. R. E. Riding & S. M. Awramik), Berlin, 127-136.
- ❖ **Soudry, D., 2000b.** Carbonate-phosphate competition in the Negev phosphorites (Southern Israel): a microstructural study, In *Marine Authigenesis: from global to microbial*. SEPM Special Publications. 66, 415-426.
- ❖ **Souron A., Balasse M., Boisserie J. R., 2012.** Intra-tooth isotopic profiles of canines from extant Hippopotamus amphibius and late Pliocene hippopotamids (Shungura Formation, Ethiopia): Insights into the seasonality of diet and climate, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 342, 97-110.
- ❖ **Spaan, A., Sondaar, P. Y., Hartman, W., 1994.** The structure of the evolutionary process. *Geobios*. 27, 385–390.
- ❖ **Stack M., 1967.** Chemical organization of the organic matrix of enamel. In *Structural and Chemical Organization of Teeth* (Eds. A. Miles). London, Academic Press. II, 317-346.
- ❖ **Stathopoulou, E. T., Theodorou, G., Panayides, I., & Bassiakos, Y., 2004.** Diagenesis of bone and colouration: the example of Aghia Napa, Cyprus, *Proceedings of the 5th International Symposium on Eastern Mediterranean Geology, Thessaloniki*, 14-20 April 2004. 1, 347-350.

- ❖ **Stathopoulou E., Theodorou G. & Panayides I., 2005.** Black bones from Aghia Napa, Cyprus: oxide staining vs. burning, 5th International Bone Diagenesis Meeting, Book of Abstracts, p.11, Cape Town.
- ❖ **Stathopoulou E. Th, 2006.** On The Study Of The Internal Micromorphology And Fossilization Of Cenozoic Vertebrates By Radioanalytical Techniques, Paleontology, PHD THESIS P. 7-88.
- ❖ **Stears K, McCauley DJ, Finlay CJ, Mpemba J, Warrington IT, Mutayoba BM, Power ME, Dawson TE, Brashares JS., 2018.** Effects of the hippopotamus on the chemistry and ecology of a changing watershed. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 115: E5028–E5037.
<https://doi.org/10.1073/pnas.1800407115>.
- ❖ **Stears K, McCauley DJ., 2018.** Hippopotamus dung inputs accelerate fish predation by terrestrial consumers. African Journal of Ecology. 56, 1034–1038.
- ❖ **Stuenes S., 1989.** Taxonomy, Habits, and Relationships of the Subfossil Madagascan Hippopotami Hippopotamus lemerlei and H. madagascariensis. Journal of Vertebrate Paleontology. 9, 241-268.
- ❖ **Stuenes S., 2010.** Taxonomy, habits, and relationships of the subfossil Madagascan hippopotami Hippopotamus lemerlei and H. madagascariensis. Paleontology. 9:3, 241-268.
- ❖ **Swiny S., 1995.** Giants, Dwarfs, Saints or Humans, Who First Reached Cyprus? in :r. W Wallace, ed., Visitors) ImmiiJrants) and Invaders in Cyprus. Albany: Institute of Cypriot Studies, SUNY-Albany. 1-19.
- ❖ **Tebo B. M., Ghiorse W. C., vanWaasbergen L. G., Siering P. L., Caspi R., 1997.** Bacterially-mediated mineral formation: Insights in manganese(II) oxidation from molecular genetic and biochemical studies. In Geomicrobiology: Interactions Between Microbes and Minerals. (eds., J. F. Banfield and K. H. Nealson); Mineral. Mineralogical Society of America. 35, 225–266.
- ❖ **Thackeray J. F., van-der-Merwe N. J., Lee-Thorp J. A., Sillen A., Lanham J. L., Smith R., Keyser A., Monteiro P. M. S., 1990.** Changes in carbon isotope ratios in the Late Permian recorded in therapsid tooth apatite. Nature. 347, 751–753.
- ❖ **Theodorou G., Panayides I., Stathopoulou E.T., Papaspyropoulos C., Agiadi K., Tsolakis E., 2004.** Remarks on the endemic fossil Hippopotamus from Aghia Napa (Cyprus). Proceedings of the 5th International Symposium on Eastern Mediterranean Geology. 1, 355-358.
- ❖ **Theodorou G. E., Symeonidis N., Stathopoulou E., 2007.** Elephas tiliensis n. sp. from Tilos island (Dodecanese, Greece). Hellenic Journal of Geosciences. 42, 19-32.
- ❖ **Theodorou G. E., Roussiakis S. I., Athanassiou A., Giaourtsakis, I., Panayides, I., 2007.** A Late Pleistocene endemic Genet (Carnivora, Viverridae) from Aghia Napa, Cyprus. In Proceedings of the 11th International Congress. 40, 201–208. Athens: Geological Society of Greece.
- ❖ **Timbuka CD., 2012.** The ecology and behaviour of the common hippopotamus, Hippopotamus amphibius, in Katavi National Park, Tanzania. Response to varying water resources. PhD Thesis. University of East Anglia.
- ❖ **Trueman C. N. G., Behrensmeyer A. K., Tuross N., Weiner, S., 2004.** Mineralogical and compositional changes in bones exposed on soil surfaces in Amboseli National

- Park, Kenya: diagenetic mechanisms and the role of sediment pore fluids. *Journal of Archaeological Science*. 31, 721–39.
- ❖ **Tudge A. P., 1960.** A method of analysis of oxygen isotopes on orthophosphates- its use in measurements of paleotemperatures. *Geochimica Cosmochimica Acta*. 18, 81-93.
 - ❖ **Tütken Thomas and Vennemann Torsten, 2011.** Fossil bones and teeth: Preservation or alteration of biogenic compositions? *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 310, 1-8.
 - ❖ **Urey H. C., Brickwedde F. G and Murphy G.M, 1932.** An isotope of Hydrogen of mass 2 and its concentration. (Abstract) *Physical Review*. 39, 864.
 - ❖ **Urey H. C., 1947.** The thermodynamic properties of isotopic substances. *Journal of the Chemical Society*. 1947, 562- 581.
 - ❖ **Utete B, Tsamba J, Chinoitezvi E, Kavhu B., 2017.** Analysis of the abundance and spatial distribution of the common hippopotamus, (*Hippopotamus amphibius*) in the Manjirenji Dam, Zimbabwe to inform conservation and detect human wildlife conflict hotspots. *African Journal of Ecology* 55, 754–759. <https://doi.org/10.1111/aje.12407>.
 - ❖ **van der Geer, de Vos J., Dermitzakis M. D., 2006.** Relative growth of the Metapodials in a Juvenile island deer: *Candiacervus* (Mammalia, Cervidae) from the Pleistocene of Crete. *Hellenic Journal of Geosciences*, vol. 41, 119-125.
 - ❖ **van der Geer A. A. E., Lyras G. A., de Vos, J., Dermitzakis M. D., 2010.** Evolution of Island mammals: Adaptation and extinction of placental mammals on islands. Oxford: Wiley-Blackwell Publishing.
 - ❖ **van der Geer A. A. E., 2014.** Parallel patterns and trends in functional structures in extinct Island mammals. *Integrative Zoology*. 9, 167–182.
 - ❖ **van der Geer A., Lomolino M. V., Lyras G. A., 2017.** “Island Life” before man: biogeography of palaeo-insular mammals. *Palaeo-islands world-wide*. 2- 13.
 - ❖ **Van der Merwe, N. J., Vogel, J. C., 1978.** 13C content of human collagen as a measure of prehistoric diet in Woodland North America. *Nature*. 276, 815–16.
 - ❖ **Van Lith Y., Warthmann R., Vasconcelos C., McKenzie, J.A., 2003.** Microbial fossilization in carbonate sediments: a result of the bacterial surface involvement in dolomite precipitation, *Sedimentology*, 50: 237-245.
 - ❖ **Van Valkenburgh, B., X. Wang, J. Damuth. 2004.** Cope’s rule, hypercarnivory, and extinction in North American canids. *Science*. 306, 101–104.
 - ❖ **Vogel, J. C., 1978.** Isotopic assessment of the dietary habits of ungulates. *South African Journal of Science*. 74, 298– 301.
 - ❖ **Vogel, J. C., van der Merwe, N. J., 1977.** Isotopic evidence for early maize cultivation in New York State. *American Antiquity*. 42, 238–42.
 - ❖ **Von Endt, D. W. & Ortner, D. J., 1984.** Experimental effects of bone size and temperature on bone diagenesis. *Journal of Archaeological Science*. 11, 247-253.
 - ❖ **Wang Y., Cerling T. E., 1994.** A model of fossil tooth and bone diagenesis: implications for paleodiet reconstruction from stable isotopes. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 107, 281–9.
 - ❖ **Weiner, S. & Traub, W., 1992.** Bone structure: from angstroms to microns. *The FASEB Journal*. 6, 879- 885.

- ❖ **Weiner, S. & Addadi, L., 1997.** Design strategies in mineralized biological materials. *Journal of Materials Chemistry*. 7: 689-702.
- ❖ **Weiner S., Wagner, H.D., 1998.** The material bone: structure mechanical function relations. *Annual Review of Materials Science*. 28, 271-298.
- ❖ **Weiner S., Traub W., Wagner H.D., 1999.** Lamellar Bone: Structure-Function Relations. *Journal of Structural Biology*. 126, 241-255.
- ❖ **Weiner S., Addadi L., Wagner H. D., 2000.** Materials design in Biology. *Materials Science and Engineering C*. 11, 1-8.
- ❖ **White, E. M. & Hannus, L. A., 1983.** Chemical weathering of bone in archaeological soils. *American Antiquity*. 48, 316-322.
- ❖ **White T., Ferraris C. Kim J., Madhavi S., 2005.** Apatite - An Adaptive Framework Structure. *Reviews in Mineralogy & Geochemistry*. 57, 307-401.
- ❖ **Wilson Lyn, Pollard A. Mark, 2002.** "Here Today, Gone Tomorrow? Integrated Experimentation and Geochemical Modeling in Studies of Archaeological Diagenetic Change". 35, 644
- ❖ **Wolanski E, Gereta E., 1999.** Oxygen cycle in a hippo pool, Serengeti National Park, Tanzania. *African Journal of Ecology*. 37, 419–423. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2028.1999.00198.x>.
- ❖ **Wopschall K.P., 2014.** Akrotiri Aetokremnos and the Cypriot Pygmy Hippopotamus: an Interdisciplinary Look at a Late Pleistocene Large Mammal Extinction. University of Washington.
- ❖ **Zalloua, Pierre A., Matisoo-Smith, Elizabeth , 2017.** Mapping Post-Glacial expansions: The Peopling of Southwest Asia. *Scientific Reports*. 7: 40338.
- ❖ **Zapata J, Pérez-Sirvent C, Martínez-Sánchez MJ, Tovar P , 2006.** " Diagenesis, not biogenesis: Two Roman skeletal examples". *The Science of the Total Environment*. 369, 357–68. Bibcode:2006ScTE.369..357Z. doi:10.1016/j.scitotenv.2006.05.021. PMID16828844
- ❖ **Zazzo A., Lecuyer Ch., Sheppard S. M. F., Grandjean P., Mariotti A., 2004.** Diagenesis and the reconstruction of paleoenvironments: A method to restore original 18O values of carbonate and phosphate from fossil tooth enamel. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 68, 2245–2258.
- ❖ **Zazzo A., Lebon M., Quiles A., Reiche I., Vigne J.D., 2015.** Direct dating and physicochemical analyses cast doubts on the coexistence of humans and dwarf hippos in Cyprus. *PloS One* 10.
- ❖ **Zissimos A.M. , Christoforou I. C., Cohen D. R. , Mooney S. D. , Rutherford N. F., 2019.** Spatial distribution and controls on organic and inorganic carbon in the soils of Cyprus. *Journal of Geochemical Exploration*. 196, 95–104.

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ❖ **Pomoni-Papaioannou, F ., 2001.** Λιθοστρωματογραφία-Ιζηματολογία των άνω κρητιδικών φωσφορούχων σχηματισμών της Ιονίου ζώνης: μηχανισμός φωσφογένεσης – παλαιοτεκτονικό πλαίσιο, ΓΑΙΑ, Δημοσιεύματα Τμήματος Γεωλογίας & Γεωπεριβάλλοντος, Εθνικό & Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, No 9, σελ. 1-182.

BIBΛΙΑ

- ❖ **Bordone B. 1528.** Libro di Benedetto Bordone. Nel qual si ragiona di tutte l'Isole del mondo, con li lor nomi antichi & moderni, historie, favole, & modi del loro vivere. Niccolo Zoppino, Venice. In facsimile, Edizioni Aldine, Modena, 1982.
- ❖ **Driessens F. C. M. and Verbeeck R. M. H., 1990.** Biominerals. CRC Press, Boca Raton, FL.
- ❖ **Eltringham SK., 1999.** The common hippopotamus. (pp 43–55). In: Oliver WLR (Eds), Pigs, peccaries and hippopotamus: status survey and conservation action plan. Gland, Switzerland: IUCN.
- ❖ **Faure M., Guerin C., Sondaar P.Y., 1984.** Hippopotamus minutus Cuvier: mise au point; pp. 157-183 in E. Buffetaut, J. M. Mazin, and E. Salmon (eds.), Actes du Symposium paleontologique Georges Cuvier, 1982, Montbeliard.
- ❖ **Hilderbrand M., 1988.** Analysis of Vertebrate Structure, New York, John Wiley & Sons, Inc., 701 p.
- ❖ **Hillson S., 1986.** Teeth. Cambridge University Press.
- ❖ **Kingdon JS., 1979.** East African Mammals. London, UK: Academic Press.
- ❖ **Kingdon JS., 2015.** The Kingdon field guide to African mammals. 2nd edn. London, UK: Bloomsbury Publishing.
- ❖ **Zizopoulos G., 2017.** Nuclear: Turkey like N. Korea?. Thessaloniki: Zizopoulos Georgios. ISBN 9789609397100.
- ❖ **Zohary M, 1973.** Geobotanical foundations of the Middle East, 182, 4115 887-894.
- ❖ **Αποστολάκης Γ., 1947.** Η ανατομία του ανθρώπου, 2, 152-159.
- ❖ **Ρουσιάκης Σ., 2013.** Παλαιοντολογία θηλαστικών. Κεφάλαιο 1, 8- 28, 16, 173- 185.

INTEPNETIKH BIBΛIOΓPAΦIA

- ❖ **Dope S., 2020.** Are hippos the most dangerous animal?
<https://web.archive.org/web/20080515130931/http://www.straightdope.com/mailbag/mhippo.html>.
- ❖ **Eksteen J, Goodman P, Whyte I, Downs C, Taylor R., 2016.** A conservation assessment of Hippopotamus amphibius. In: Child MF, Roxburg L, Do Linh San E, Raimondo D, Davies-Mostert HT (Eds), The Red List of Mammals of South Africa, Swaziland and Lesotho. South Africa: South African National Biodiversity Institute and Endangered Wildlife Trust.
http://eswatinaturereserves.com/mammals/redlist/2016MammalRedListHippopotamus-Hippopotamus-amphibius_LC.pdf.
- ❖ **Haaft R., 2021.** Mass Spectrometry and Mass Flow Control; A closer ion them,
<https://www.bronkhorst.com/int/blog-1/mass-spectrometry-and-mass-flow-control-a-closer-ion-them/>.
- ❖ **IPPC REPORT GLOBAL WARMING 1,5⁰C** – Special report on the impacts of global warming of 1,5⁰ C. <https://www.ipcc.ch/sr15/>.
- ❖ **IPCC, 2014** Fifth Assessment Report, CLIMATE CHANGE 2014.
https://unfoundation.org/blog/post/intergovernmental-panel-climate-change-30-years-informing-global-climate-action/?gclid=Cj0KCQjw2cWgBhDYARIsALggUhq6MyoUD_5hQ9ZeDwln39rD0mNH6tiWZ_0pkpcgAlZ4zRy6q7qrWRYAj2wEALw_wcB.

- ❖ **National Geographic Society , 2019.** «The Carbon Cycle». National Geographic Society. <https://education.nationalgeographic.org/resource/carbon-cycle/>.
- ❖ <https://www.carbonbrief.org/analysis-why-scientists-think-100-of-global-warming-is-due-to-humans/>
- ❖ <https://lifestyle.livemint.com/smart-living/environment/climate-change-tracker-world-is-at-its-hottest-for-12-000-years-111612448099827.html>
- ❖ [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bone_growth -- Smart-Servier.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bone_growth_-_Smart_Servier.jpg)
- ❖ <https://www.nationalgeographic.com/animals/mammals/facts/hippopotamu>
- ❖ <https://prehistoric-fauna.com/Hippopotamus-minor>
- ❖ **ΕΙΚΟΝΑ ΕΞΩΦΥΛΛΟΥ:** https://www.rethemnosnews.gr/rethymno/664540_i-entyposiaki-geopoikilotita-toy-psiloreiti-kai-ta-apolithomata-toy