

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ

**Η ιστορία της Κρυπτογραφίας από τα Αρχαία Χρόνια έως τον Μεσαίωνα και η
Αποκρυπτογράφηση Αρχαίων Γραφών**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Μπίσσια Γεωργία



Επιβλέπων: Πέτρος Στεφανέας Αναπληρωτής Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2023

Πίνακας περιεχομένων

Περίληψη.....	4
Abstract.....	5
Ευχαριστίες.....	6
Κατάλογος εικόνων	7
Κατάλογος πινάκων.....	9
1. Εισαγωγή	10
2. Εισαγωγικές Έννοιες	12
2.1 Κρυπτογραφία	12
2.2 Στενογραφία	13
3. Η Κρυπτογραφία Κατά τα Αρχαία Χρόνια Και τον Μεσαίωνα.....	15
3.1 Αρχαία Αίγυπτος	15
3.2 Αρχαία Ελλάδα.....	15
3.2.1.Σπάρτη.....	16
3.2.2 Κωδικό Μοιρογνωμόνιο	16
3.2.3 Το Τετράγωνο του Πολύβιου	19
3.2.4 Κρυφές Επιστολές.....	21
3.2.5 Κερωμένα Δίπτυχα Πινακίδια.....	21
3.2. Αρχαία Ρώμη	23
3.4 Μεσαίωνα.....	24
3.5 Σύγχρονες προσεγγίσεις.....	26
3.5.1 Αποκρυπτογράφιση - Προσεγγίσεις	26
Σύνοψη.....	32
4. Η αιγυπτιακή Ιερογλυφική γραφή	33
4.1 Γλώσσες και συστήματα γραφής στην αρχαία Αίγυπτο	34
4. 2 Η Δομή της Ιερογλυφικής γραφής.....	36
4.3 Η Αποκρυπτογράφιση της Ιερογλυφικής	40
4.3.1 Η Τεχνητή Νοημοσύνη (Artificial Intelligence) και οι εφαρμογές Μηχανικής Μάθησης (machine learning) στην αποκρυπτογράφιση της Ιερογλυφικής.....	42
4.3.2 Προβλήματα της μηχανικής μάθησης στην προσπάθεια αποκρυπτογράφισης.....	47
Σύνοψη.....	53
5. Η Γραμμική Α'	54
5.1 Η δομή της Γραμμικής γραφής Α	54

5.2 Προσπάθειες αποκρυπτογράφησης της Γραμμικής γραφής A.....	60
5.2.1 Υπολογιστική Αναγνώριση Προτύπων στη Γραμμική γραφή A	60
5.2.2 Βιοπληροφορική (Bioinformatics Evolutionary).....	64
Σύνοψη.....	68
6. Η Γραμμική Β'	69
6.1 Η δομή της γραμμικής γραφής Β'	69
6.2 Κλασσική Κυπριακή γραφή	75
6.3 Η Αποκρυπτογράφηση της Γραμμικής Β'	78
6.3.1 Σημαντικά στάδια πριν από την αποκρυπτογράφηση της γραφής	79
6.3.2 Η χρήση της κρυπτογραφίας στην λύση του μυστηρίου	82
6.3.3. Η χρήση των νευρωνικών γλωσσικών μοντέλων	84
6. 3.4 Η αποκρυπτογράφηση.....	86
Σύνοψη.....	98
Βιβλιογραφία	99

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας διπλωματική εργασίας είναι να μελετήσουμε την ιστορία της κρυπτογραφίας από τα Αρχαία Χρόνια έως τον Μεσαίωνα και η μελέτη των προσπαθειών αποκρυπτογράφησης αρχαίων γραφών και πιο συγκεκριμένα των Αρχαίων Αιγυπτιακών Ιερογλυφικών, της Γραμμικής Β' και της Γραμμικής Α'.

Στην εργασία αρχικά γίνεται ο διαχωρισμός ανάμεσα στις έννοιες της κρυπτογραφίας και της στενογραφίας, και στην συνέχεια μελετιούνται τα πρώτα βήματα της κρυπτογραφίας στην Αρχαία Αίγυπτο, στην Αρχαία Ελλάδα αλλά και κατά την Ρωμαϊκή εποχή και τον Μεσαίωνα τέλος γίνεται αναφορά στις σύγχρονες προσεγγίσεις του θέματος.

Στην συνέχεια μελετάται η Αρχαία Ιερογλυφική Γραφή καθώς και η αποκρυπτογράφηση της αλλά και οι προσπάθειες να αποκρυπτογραφηθεί εκ νέου με χρήση τεχνικών της Τεχνητής Νοημοσύνης.

Ακολουθεί η ανάλυση της δομής της Γραμμικής Α' και η χρήση τεχνικών μηχανικής μάθησης, επεξεργασίας φυσικής γλώσσας και βιοπληροφορικής στην προσπάθεια αποκρυπτογράφησης της γραφής αυτής.

Στο τελευταίο μέρος της εργασίας μελετάται η δομή της Γραμμικής Β', τα βήματα που ακολουθήθηκαν για την αποκρυπτογράφηση της, αλλά και η χρήση νευρωνικών γλωσσικών μοντέλων ως μία πιο σύγχρονη προσέγγιση στο ζήτημα.

Abstract

The purpose of this thesis is to study the history of cryptography from Ancient Times to the Middle Ages and the study of attempts to decipher ancient scripts and more specifically the Ancient Egyptian Hieroglyphs, Linear B and Linear A.

The paper first distinguishes between the concepts of cryptography and shorthand, and then analyzes the first steps of cryptography in Ancient Egypt, Ancient Greece, but also during the Roman era and the Middle Ages, and finally, mention is made to modern approaches to the subject.

Then the Ancient Hieroglyphic Scripture is studied as well as its decipherment and the attempts to decipher it anew using techniques of Artificial Intelligence.

Next is the analysis of the structure of Linear A' and the use of machine learning, natural language processing and bioinformatics techniques in the attempt to decipher this writing.

In the last part of the paper, the structure of Linear B' is studied, the steps followed for its decipherment, but also the use of neural language models as a more modern approach to the issue.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα αρχικά να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για όλη την ηθική αλλά και υλική συμπαράσταση αλλά και για την πολύτιμη βοήθεια τους ώστε να ολοκληρώσω τις σπουδές μου.

Από τις ευχαριστίες μου δεν θα μπορούσε να απουσιάζει ο κ. Στεφανέας ο οποίος μέσα από τα μαθήματα μου με βοήθησε να κατανοήσω πόσο αρμονικά μπορούν να συνδεθούν δύο επιστήμες οι οποίες εκ πρώτης όψεως μοιάζουν εκ διαμέτρου αντίθετες, τα Μαθηματικά και η Ιστορία.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους και συναδέλφους μου για την υποστήριξη που μου παρείχαν σε όλη την διάρκεια της προσπάθειας αυτής.

Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 1	Πηγή: Bauer, 2013, p. 4	σ. 16
Εικόνα 2	Πηγή: http://cryptowiki.net/index.php?title=Leon_Alberty_cipher_disk	σ. 17
Εικόνα 3	Πηγή: Cohen & Associates, 1995	σ. 20
Εικόνα 4	Έκθεμα στο Μουσείο Ηρακλειδών	σ. 22
Εικόνα 5	Daggumati και Revesz, 2019	σ. 30
Εικόνα 6	Πηγή: Guidi et al., 2023	σ. 33
Εικόνα 7	Πηγή: Zender, n.d., p. 1	σ. 34
Εικόνα 8	Πηγή Zender, n.d., p. 2	σ. 34
Εικόνα 9	Πηγή: Barucci et al., 2016, p. 3	σ. 37
Εικόνα 10	Πηγή: Zender, n.d., p. 7	σ. 42
Εικόνα 11	Πηγή: Boucher, 2020, p. 4	σ. 44
Εικόνα 12	Πηγή: Zamacona, 2015	σ. 46
Εικόνα 13	Πηγή: Guidi et al., 2023	σ. 47
Εικόνα 14	Πηγή: Guidi et al., 2023	σ. 50
Εικόνα 15	Πηγή: Guidi et al., 2023	σ. 51
Εικόνα 16	Πηγή: Barucci et al., 2016, p. 3	σ. 52
Εικόνα 17	Πηγή: Kober, 1948, p. 89	σ. 54
Εικόνα 18	Πηγή: Corazza, et al., 2020, p. 4	σ. 55
Εικόνα 19	Πηγή: Kober, 1948, p. 90	σ. 56
Εικόνα 20	Πηγή: Corazza, et al., 2020, p. 2	σ. 57
Εικόνα 21	Πηγή: Jajwalya et al., 2021, p. 3	σ. 62
Εικόνα 22	Πηγή: Jajwalya et al., 2021, p. 12	σ. 62
Εικόνα 23	Πηγή: Jajwalya et al., 2021, p. 13	σ. 63
Εικόνα 24	Πηγή: Jajwalya et al., 2021, p. 13	σ. 64
Εικόνα 25	Πηγή: Papavasileiou et al., 2022, p. 2	σ. 70
Εικόνα 26	Πηγή: Chadwick, 1958, p. 45	σ. 72
Εικόνα 27	Πηγή: Chadwick, 1958, p. 45	σ. 73
Εικόνα 28	Πηγή: Chadwick, 1958, p. 44	σ. 73
Εικόνα 29	Πηγή: Chadwick, 1958, p. 23	σ. 75
Εικόνα 30	Πηγή: Chadwick, 1958, p. 24	σ. 76

Εικόνα 31	Πηγή: Hooker, 1996, σ. 58	σ. 84
Εικόνα 32	Πηγή: Chadwick, 1958, . p. 59	σ. 89
Εικόνα 33	Πηγή: Faculty of Classics, n.d..	σ. 91
Εικόνα 34	Πηγή: Faculty of Classics, n.d..	σ. 93
Εικόνα 35	Πηγή: Chadwick, 1958, p. 81	σ. 96
Εικόνα 36	Πηγή: Chadwick, 1959	σ. 97

Κατάλογος πινάκων

Πίνακας 1	Πηγή: Corazza, et al., 2020, p. 2	σ. 29
Πίνακας 2	Πηγή: Corazza, et al., 2020, p. 2	σ. 31
Πίνακας 3	Πηγή: Corazza, et al., 2020, p. 2	σ. 59
Πίνακας 4	Πηγή: Corazza, et al., 2020, p. 2	σ. 59
Πίνακας 5	Πηγή: Revesz, 2016, p. 68	σ. 63
Πίνακας 6	Πηγή: Papavasileiou et al., 2022, p. 18	σ. 86

1. Εισαγωγή

Οι γλώσσες του αρχαίου κόσμου και οι μυστηριώδεις γραφές, οι οποίες για μεγάλο διάστημα δεν είχαν αποκρυπτογραφηθεί στη γραφή στην οποία ήταν κωδικοποιημένες, αποτέλεσαν ένα από τα πιο ενδιαφέροντα προβλήματα της αρχαιολογίας στη σύγχρονη εποχή. Η αποκρυπτογράφιση της Γραμμικής Β΄ αποτέλεσε ένα γεγονός θεμελιώδους σημασίας για τους κλάδους της αιγαιοπελαγίτικης αρχαιολογίας και της ινδοευρωπαϊκής γλωσσολογίας, καθώς άλλαξε εντελώς την κατανόησή των πρώιμων πολιτισμών στον ελλαδικό χώρο και στην Κρήτη. Επιπλέον, μετέθεσε τις παλαιότερες γνωστές μαρτυρίες γραπτής ελληνικής γλώσσας σε περισσότερο από 3.000 χρόνια πριν, καθιστώντας τα ελληνικά την αρχαιότερη γνωστή ευρωπαϊκή γλώσσα, που ομιλείται ακόμα και σήμερα.

Με την αποκρυπτογράφιση της Γραμμικής Β΄ κατά τη δεκαετία του 1950 από τον Michael Ventris αποκαλύφθηκαν τα μυστικά της Γραμμικής γραφής Β΄ και, αποκαλύπτοντας συναρπαστικές λεπτομέρειες της θρησκείας και της οικονομικής ιστορίας ενός αρχαίου πολιτισμού, αποτέλεσε μια πολύτιμη έρευνα της υστερομινωικής και μυκηναϊκής αρχαιολογίας.

Την αφήγηση της αποκρυπτογράφισης της Γραμμικής γραφής Β΄ φιλοδοξεί να προσεγγίσει η παρούσα εργασία. Κρίθηκε σκόπιμο η παρουσίαση του θέματος να συσχετιστεί με στοιχεία της κρυπτογραφίας και της στενογραφίας, καθώς και στις περιπτώσεις αυτές, σύμφωνα με τον Κουκουβίνο (2007), πρόκειται για μία ακολουθία συμβόλων, η οποία δεν μπορεί να αναγνωριστεί ή να αναγνωστεί, σε κάποια γραφή, η οποία να αντιστοιχεί σε μία γνωστή γλώσσα. Επιπλέον, κρίθηκε σκόπιμη μία αναδρομή στις προσπάθειες αποκρυπτογράφισης των γραφών της αιγυπτιακής Ιερογλυφικής, η οποία ήταν η πρώτη γραφή η οποία προσέλκυσε το ενδιαφέρον των μελετητών για την αποκρυπτογράφησή της, και της Γραμμικής γραφής Α΄, καθώς η Γραμμική Β΄ αντικατέστησε τη Γραμμική Α΄ (Revesz, 2016, p. 67 ; Anthes, 2020). Τέλος, καθώς τομείς όπως η αρχαιολογία, η φιλολογία και οι ανθρωπιστικές επιστήμες αρχίζουν να διαπερνούν την τεχνητή νοημοσύνη, παρόλο που ο πραγματικός της ρόλος δεν έχει ακόμη κατανοηθεί πλήρως (Barucci et al., 2016), στην παρούσα εργασία προσεγγίζονται ζητήματα εφαρμογών της τεχνητής νοημοσύνης, τα οποία άπτονται των προσπαθειών αποκρυπτογράφισης της αιγυπτιακής Ιερογλυφικής, της Γραμμικής γραφής Α΄ και της Γραμμικής Β΄.

Η παρούσα εργασία διαρθρώνεται σε τέσσερις άξονες. Ο πρώτος άξονας (Κεφάλαια 2 και 3) αναφέρονται στις έννοιες της κρυπτογραφίας και της στενογραφίας παρουσιάζοντας βασικές έννοιες και την πορεία της κρυπτογραφίας από την Αρχαιότητα έως τον Μεσαίωνα. Ο δεύτερος άξονας (Κεφάλαιο 4) αναφέρεται σε ζητήματα δομής και αποκρυπτογράφησης της αιγυπτιακής Ιερογλυφικής γραφής, των εφαρμογών της τεχνητής νοημοσύνης, καθώς και των προβλημάτων της μηχανικής μάθησης στις προσπάθειες αποκρυπτογράφησης. Ο τρίτος άξονας (Κεφάλαιο 5) αναφέρεται στη δομή της Γραμμικής γραφής Α΄ τις προσπάθειες αποκρυπτογράφησης και της αξιοποίησης νέων υπολογιστικών τεχνικών, όπως η μηχανική μάθηση, στη προσπάθεια αποκωδικοποίησή της. Τέλος, ο τέταρτος άξονας (Κεφάλαιο 6) αναφέρεται στη δομή και τις προσπάθειες αποκρυπτογράφησης της Γραμμικής γραφής Α΄, καθώς και της αξιοποίησης εφαρμογών της κρυπτογραφίας και των νευρωνικών γλωσσικών μοντέλων για την αποκρυπτογράφησης της.

2. Εισαγωγικές Έννοιες

2.1 Κρυπτογραφία

Η κρυπτογραφία είναι ένα διεπιστημονικό γνωστικό πεδίο το οποίο ασχολείται με τη μελέτη, την ανάπτυξη και τη χρήση τεχνικών κρυπτογράφησης και αποκρυπτογράφησης, με σκοπό την απόκρυψη του περιεχομένου των μηνυμάτων.

Για να επιτευχθεί ο σκοπός αυτός γίνεται χρήση μαθηματικών προβλημάτων τα οποία είναι δύσκολο να επιλυθούν και έτσι εξασφαλίζεται η ασφάλεια των δεδομένων.

Η διαδικασία μέσω της οποίας κρυπτογραφείται ένα κείμενο είναι σχετικά απλή ως προς την σκέψη αλλά και ως προς την εκτέλεση. Αρχικά ένα κομμάτι ενός κειμένου ή ένα μήνυμα, γνωστό και ως απλό κείμενο επεξεργάζεται από ένα άτομο ή από μία μηχανή (π. χ Enigma) έως ότου να δημιουργηθεί μία ακολουθία γραμμάτων, αριθμών είτε ακόμα και συμβόλων, η οποία δεν μπορεί να αναγνωριστεί ή να αναγνωστεί, σε κάποια γνωστή έως τη συγκεκριμένη αυτή στιγμή, γλώσσα.

Την ακολουθία αυτή την ονομάζουμε κρυπτογραφημένο κείμενο ή αλλιώς ciphertext ενώ ο αλγόριθμος τον οποίο τρέξαμε για να κατασκευάσουμε την ακολουθία μας ονομάζεται cipher.

Κατά την αποκρυπτογράφηση ακολουθείται η αντίστροφη διαδικασία. Δηλαδή το ciphertext εισάγεται σε έναν αλγόριθμο ο οποίος αποτελεί μία παραλλαγή του cipher, ο οποίος μας δίνει ως έξοδο το αρχικό απλό κείμενο (Κουκουβίνος, 2007).

Για παράδειγμα θα μπορούσαμε να κρυπτογραφήσουμε ένα μήνυμα αλλάζοντας κάθε γράμμα του κειμένου με τον αριθμό της θέσης την οποία κατέχει αυτό στο αλφάβητο.

H	E	L	L	O	W	O	R	L	D
8	5	12	12	15	22	15	17	12	4

2.2 Στενογραφία

Αντίθετα με την κρυπτογραφία, η στενογραφία δεν έχει ως στόχο να αποκρύψει το νόημα του μηνύματος, αλλά το ίδιο το μήνυμα.

Στην Αρχαία Ελλάδα η χρήση της στενογραφίας ήταν ευρέως διαδεδομένη εν αντιθέσει με την κρυπτογραφία, την οποία την χρησιμοποιούσαν κυρίως οι Σπαρτιάτες.

Ένα σύστημα γραφής, για να είναι τέλειο, θα πρέπει να έχει μια ενιαία μέθοδο αναπαράστασης κάθε ήχου ο οποίος εκφέρεται στην ομιλία και είναι διακριτός. Επιπλέον, είναι επιθυμητό για πρακτικούς λόγους να αποκτήσει τη μεγαλύτερη δυνατή συντομία, και, επομένως, οι χαρακτήρες ή τα γράμματα με τα οποία οι ήχοι θα αναπαρίστανται γραπτά θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν απλούστερα και προκειμένου να διευκολυνθεί η εκμάθησή και η χρήση τους, θα πρέπει να επιλέγονται και να τακτοποιούνται σε αυστηρή αντιστοιχία με τη φύση και τη σειρά των ήχων που αντιπροσωπεύουν. Επομένως, σε ένα καλό σύστημα στενογραφίας θα πρέπει να οι ήχοι να σχετίζονται μεταξύ τους και να αντιπροσωπεύονται από σημάδια που έχουν στις μορφές τους μία αντίστοιχη ομοιότητα. Σύμφωνα με τον Reed, αυτές οι ιδιότητες συνδυάζονται θαυμάσια στο σύστημα της φωνητικής στενογραφίας το οποίο εφηύρε ο Pitman τον 19^ο αιώνα (Reed, 2013, p. 170).










Ο Πλαγιάννης αναφέρεται σε συστήματα στενογραφίας, τα οποία αναπτύχθηκαν από τον 15ο αιώνα και έπειτα, από τα οποία άλλα είχαν επιτυχία και άλλα εγκαταλήφθηκαν. Ως «πατρίδα» της στενογραφίας θεωρεί την Αγγλία, όπου οι πρώτες προσπάθειες δημιουργίας συστημάτων στενογραφίας ξεκίνησαν τον 16ο αιώνα (Πλαγιάννης, 1931, σ. 10). Ο Sir Isaac Pitman κατέχει μια μοναδική θέση, ως εμπνευστής μίας μεθόδου στενογραφίας, η οποία χρησιμοποιήθηκε ευρέως στην Αγγλία. Το τολμηρό πείραμά του να δώσει στον κόσμο ένα σύστημα στενογραφίας με απολύτως φωνητική βάση ήταν μια άμεση επιτυχία και για πάνω από εβδομήντα χρόνια έχει αποδειχθεί ανεκτίμητη υπηρεσία για κάθε σκοπό για τον οποίο είναι επιθυμητός και έχει γίνει η τυπική μέθοδος αγγλικής στενογραφίας. Ο Pitman δεν έζησε για να δει την επιτυχία του για μια δραστική μεταρρύθμιση της αγγλικής ορθογραφίας σε αυστηρά φωνητική βάση. Στο έργο του οφείλεται σε μεγάλο βαθμό το αναζωογονημένο ενδιαφέρον για την απλοποιημένη ορθογραφία που εκδηλώθηκε στην εποχή μας και για αυτό θεωρείται πρωτοποριακό (Baker, 1919, p. v).

Όπως αναφέρει ο Baker (1919, p. 349), στην πρώτη έκδοση του βιβλίου του *Stenographic Sound-hand*, το 1837, τα σύμφωνα δόθηκαν με τη σειρά του κοινού αλφαβήτου, αλλά ομαδοποιήθηκαν σε ζευγάρια στο κείμενο της εργασίας. Οι περιπτώσεις στις οποίες άλλαξαν τα σημάδια στις επόμενες εκδόσεις υποδεικνύονται με μικρά κεφαλαία γράμματα στην ακόλουθη λίστα-

/ B, | d, \ F, _ g, / H, \ J, — k, (l, ~ m,
 ~ n, / P, // r (up), °) s, | t, \ v, | w, / y, °) z.

Σε αυτά προστέθηκαν

| WH, \ CH, (SH, (th, (thee, / zH, ~ ng.

Τα γράμματα τα οποία περιέχουν κάθετες και οριζόντιες γραμμές (*straight letters*) ήταν αρχικά για τα l και r, έτσι τα  kl,  kr, και υπήρχαν μεγάλα αρχικά άγκιστρα  για τα dw και  tw, και φόρμες  για  shr,  ihr,  iheer και  zhr.

Η κλίμακα των φωνηέντων και οι δίφθογγοι ήταν:

 ee	 aw	 f	 ou
 a	 o	 u	
 ah	 oo	 oi	

Ο Pitman εξέδωσε συνολικά έντεκα εκδόσεις διαφοροποιώντας το σύστημά του (Reed, 2013, p.p. 185-186). Κανείς δεν είχε φανταστεί τη διάδοση που θα είχε το σύστημα στενογραφίας του Pitman στο Ηνωμένο Βασίλειο, καθώς προσέφερε ταχύτητα και αξιοπιστία.

3. Η Κρυπτογραφία Κατά τα Αρχαία Χρόνια Και τον Μεσαίωνα

Η κρυπτογραφία είναι ένα από τα παλαιότερα πεδία τεχνικής μελέτης στα οποία μπορούμε να βρούμε αρχεία, που χρονολογούνται τουλάχιστον 4.000 χρόνια πριν. Είναι αξιοσημείωτο ότι από όλα τα κρυπτοσυστήματα που αναπτύχθηκαν σε αυτά τα 4.000 χρόνια προσπάθειας, μόνο τρία συστήματα παραμένουν αρκετά ανθεκτικά για να σπάσουν ώστε να έχουν πραγματική αξία (Cohen & Associates, 1995).

3.1 Αρχαία Αίγυπτος

Στην Αρχαία Αίγυπτο θεωρείται ότι βρίσκονται οι ρίζες της κρυπτογραφίας, καθώς το πρώτο κρυπτογραφημένο κείμενο χρονολογείται περί το 4000 π.Χ σε μία Αιγυπτιακή πόλη κοντά στον Νείλο, το Menet Khufu. Πιο συγκεκριμένα, ένας πλοίαρχος είχε γράψει στον τάφο του άρχοντα του, Khnumhotep II, ένα κείμενο το οποίο ήταν εμπλουτισμένο με κάποια άγνωστα και ασυνήθιστα σύμβολα καθιστώντας το κείμενο μη κατανοητό. Επιπλέον οι Αρχαίοι Αιγύπτιοι άλλαζαν ορισμένα στοιχεία στους τοίχους των θρησκευτικών τους μνημείων αλλάζοντας έτσι το νόημα της ιστορίας που χάραζαν. Παρόλο όμως που η αλλαγή γινόταν συνειδητά, σκοπός τους δεν φαίνεται να ήταν η συγκάλυψη του νοήματος αλλά να αυξήσουν το μυστήριο γύρω από τα θρησκευτικά τους κείμενα. (Pincock, 2006)

Ωστόσο, οι Cohen & Associates (1995) υποστηρίζουν ότι η κρυπτογραφία πιθανότατα ξεκίνησε το 2000 π.Χ. στην Αίγυπτο, όπου ιερογλυφικά χρησιμοποιήθηκαν για τη διακόσμηση των τάφων των νεκρών ηγεμόνων και βασιλιάδων. Αυτά τα σύμβολα αφηγούνταν την ιστορία της ζωής του βασιλιά και διακήρυτταν τις σπουδαίες πράξεις της ζωής του. Ενώ επρόκειτο για κρυπτογράφιση, προφανώς δεν είχαν σκοπό να αποκρύψουν το κείμενο. Μάλλον, φαίνεται ότι είχαν σκοπό να κάνουν το κείμενο να φαίνεται σημαντικό. Όσο περνούσε ο καιρός, αυτά τα γραπτά γίνονταν όλο και πιο περίπλοκα και τελικά το ενδιαφέρον για την αποκρυπτογράφησή τους χάθηκε, με αποτέλεσμα η πρακτική αυτή σύντομα να σταματήσει.

3.2 Αρχαία Ελλάδα

Στην Αρχαία Ελλάδα όπως ήδη αναφέρθηκε ήταν πιο διαδεδομένη η στενογραφία σε σχέση με την κρυπτογραφία.

Στη Ιλιάδα του Ομήρου η κρυπτογραφία χρησιμοποιήθηκε όταν ο Βελλεροφόντης στάλθηκε στον βασιλιά με μια μυστική πλάκα η οποία έλεγε στον βασιλιά να τον θανατώσει. Ο βασιλιάς προσπάθησε να τον σκοτώσει βάζοντάς τον να πολεμήσει

πολλά μυθικά πλάσματα, ωστόσο αυτός κέρδισε κάθε μάχη (Cohen & Associates, 1995).

3.2.1. Σπάρτη

Τον 5ο αιώνα π. Χ οι Σπαρτιάτες είχαν εφεύρει μία πρόιμη κρυπτογραφική συσκευή με την οποία μπορούσαν να μεταφέρουν με ασφαλή τρόπο μηνύματα οι έφοροι στους στρατηγούς τους.



Εικόνα 1: Παράδειγμα σκυτάλης που χρησιμοποιούταν στην Αρχαία Σπάρτη.

Η τεχνική αυτή είχε να κάνει με την χρήση μίας σκυτάλης που είχε μία καθορισμένη διάμετρο στην οποία κάθε φορά που η μία πλευρά ήθελε να επικοινωνήσει με την άλλη, τυλιγόταν γύρω της μία λωρίδα είτε περγαμηνής είτε δέρματος πάνω στην οποία γραφόταν ένα μήνυμα. Όταν η περγαμηνή ξετυλιγόταν φαινόταν σαν μία ακατανόητη ακολουθία γραμμάτων, ουσιαστικά είχε δημιουργηθεί ένα ciphertext.

Για να γίνει η αποκρυπτογράφηση του μηνύματος θα έπρεπε κάποιος να έχει μία σκυτάλη με ακριβώς την ίδια διάμετρο.

Η μέθοδος αυτή μοιάζει πολύ με κάποιες σύγχρονες μεθόδους οι οποίες χρησιμοποιούν την μετάθεση των γραμμάτων. Η ομοιότητα τους έχει να κάνει κυρίως με το γεγονός ότι δεν αλλάζουν τα γράμματα του κειμένου αλλά μόνο η σειρά με την οποία εμφανίζονται μετά την κρυπτογράφηση (Bauer, 2013, p. 4).

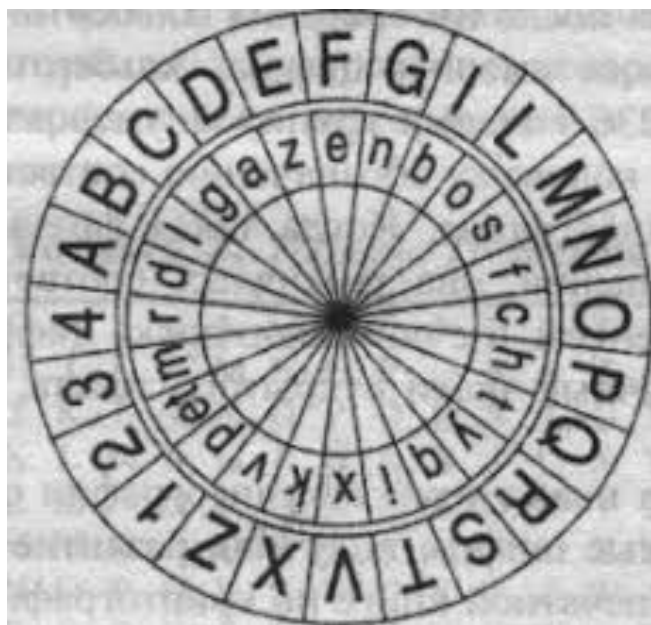
3.2.2 Κωδικό Μοιρογνωμόνιο

Αποτελούσε ένα πολύ απλό σύστημα κρυπτογράφησης τον 4ο αιώνα π.Χ. Η διαδικασία ήταν η εξής:

Σε ένα δίσκο 8-10 εκατοστών ανοίγονταν περιμετρικά 24 οπές, όσες και τα γράμματα του ελληνικού αλφαβήτου. Επίσης ανοιγόταν μία οπή στο κέντρο και μία κατά μήκος της διαμέτρου σε απόσταση περίπου δύο εκατοστών από το κέντρο, η οποία και υποδείκνυε την θέση κάποιου προκαθορισμένου γράμματος. Το μήνυμα αποτυπωνόταν με τη βοήθεια λεπτού κορδονιού, το οποίο δενόταν στο κέντρο και από εκεί περνούσε διαδοχικά από τις οπές που αντιστοιχούσαν στα γράμματα του μηνύματος.

Στην περίπτωση που ένα γράμμα επαναλαμβανόταν, το κορδόνι περνούσε δύο φορές από την ίδια οπή, με περιέλιξη γύρω από την περιφέρεια του δίσκου. Η ανάγνωση του μηνύματος γινόταν από το τέλος προς την αρχή, με το "ξετύλιγμα" του κορδονιού. (Diepenbroek 2020, p. 154)

Το κρυπτογραφικό αυτό όργανο αυτό είχε κάποιες ομοιότητες με μία εφεύρεση του Leon Batista Alberti, ο οποίος θεωρείται ο πατέρας της δυτικής κρυπτογραφίας. Το όργανο αυτό ήταν ένας μηχανικός δίσκος ο οποίος λειτουργούσε ως εξής: Στο εσωτερικό ενός σταθερού εξωτερικού δίσκου βρισκόταν ένας μικρότερος, ενώ και οι δύο περιείχαν κυκλικά το λατινικό αλφάβητο με κάποιες απουσίες και κάποιες προσθήκες. Στον εξωτερικό δίσκο έλειπαν τα γράμματα H, J, K, U, W, Y ενώ είχαν προστεθεί οι αριθμοί 1, 2, 3, 4 και η λέξη et (και) (Hooker, 1980).



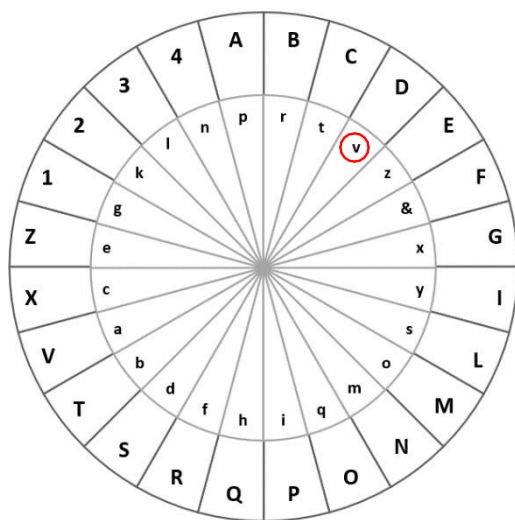
Εικόνα 2: http://cryptowiki.net/index.php?title=Leon_Alberti_cipher_disk

Αρχικά υπήρχε ένα προσυμφωνημένο γράμμα κλειδί το οποίο βρισκόταν στον εσωτερικό δίσκο.

- Το κλειδί αυτό τοποθετούταν τυχαία σε κάποια θέση του δίσκου.
- Το κεφαλαίο γράμμα που αντιστοιχούσε σε αυτή τη θέση τοποθετούταν στην αρχή του κωδικοποιημένου κειμένου με κεφαλαίο γράμμα.
- Έπειτα θεωρούμε ότι τα γράμματα του απλού κειμένου αντιστοιχούν στον εξωτερικό δίσκο και του κωδικοποιημένου στον εσωτερικό, και κάνουμε την κωδικοποίηση.
- Αφού κωδικοποιούνταν κάποια γράμματα άλλαζε η θέση του γράμματος κλειδί.
- Αναγραφόταν ξανά με κεφαλαίο το γράμμα που αντιστοιχεί στη θέση του γράμματος κλειδιού και συνεχιζόταν η διαδικασία με τον ίδιο τρόπο.

Για παράδειγμα, έστω ότι θέλουμε να κωδικοποιήσουμε την φράση: Hello World. Όπως έχει προαναφερθεί τα γράμματα H και W δεν υπάρχουν στον δίσκο για αυτό το λόγο θα κάνουμε χρήση της πιο απλής μεθόδου, δηλαδή να τα αφήσουμε όπως είναι, και έστω ότι έχουμε την εξής διάταξη:

Επιλέγω ως γράμμα κλειδί το v, τότε:

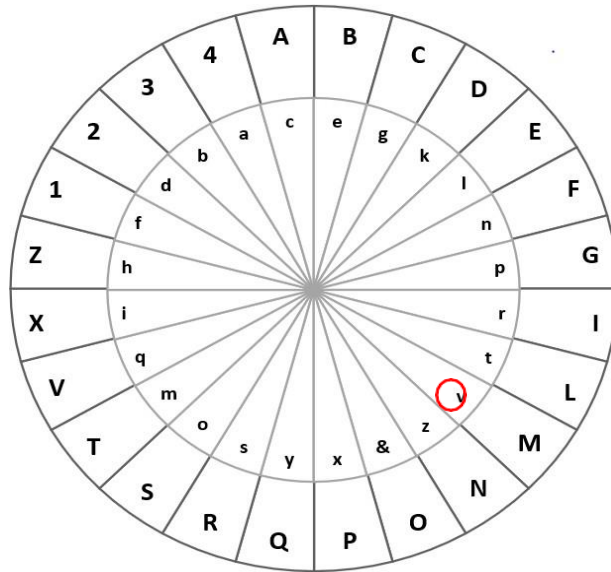


	H	E	L	L	O	W	O	R	L	D
D	h	z	s	s	q	w				



Σε αυτό το σημείο θα αλλάξουμε θέση στο γράμμα κλειδί

Έστω λοιπόν ότι θα έχουμε την εξής διάταξη:



	H	E	L	L	O	W		O	R	L	D
D	h	z	s	s	q	w	M	&	s	t	k

Έτσι έχω το εξής ciphertext: **DhzzsqwM&stk**

3.2.3 Το Τετράγωνο του Πολύβιου

Μια άλλη ελληνική μέθοδος, η οποία αποκαλείται το «Τετράγωνο του Πολύβιου», αναπτύχθηκε από τον Πολύβιο. Τα γράμματα του αλφαβήτου τοποθετούνταν σε τετράγωνο πέντε επί πέντε (παρόμοιο με την μεταγενέστερη μέθοδο Playfair) με το i και το j να καταλαμβάνουν το ίδιο τετράγωνο. Οι γραμμές και οι στήλες αριθμούνται από το 1 έως το 5, έτσι ώστε κάθε γράμμα να έχει ένα αντίστοιχο ζεύγος ανά γραμμή και στήλη. Αυτά τα ζεύγη θα μπορούσαν εύκολα να σηματοδοτηθούν με δάδες ή χειροκίνητα σήματα. Η αποκρυπτογράφηση συνίσταται στην αντιστοίχιση των ζευγών ψηφίων στους αντίστοιχους χαρακτήρες τους. Αυτό το σύστημα ήταν το πρώτο που μείωσε το μέγεθος του συνόλου των συμβόλων, και κατά μία έννοια θα μπορούσε να θεωρηθεί ο πρόδρομος των σύγχρονων δυαδικών αναπαραστάσεων χαρακτήρων. Στην Εικόνα 3 παρουσιάζεται το Τετράγωνο του Πολύβιου ελαφρώς τροποποιημένο (Cohen & Associates, 1995).

\	1	2	3	4	5				
1	A	B	C	D	E	T=54			
2	F	G	H	I	J	H=32	5344	44	4435
3	K	L	M	N	O	I=42	4224	24	3211
4	P	Q	R	S	T	S=44			
5	U	V	W	X	Y/Z				

Εικόνα 3: Το Τετράγωνο του Πολύβιου (ελαφρώς τροποποιημένο).

Ο Πολύβιος είχε εφεύρει έναν κώδικα ο οποίος ως στόχο είχε την τηλεγραφία. Δηλαδή την γρήγορη και σωστή μετάδοση μηνυμάτων. Το τετράγωνο ή η σκακιέρα του Πολύβιου ήταν το εξής:

i \ j	1	2	3	4	5
1	Α	Β	Γ	Δ	Ε
2	Ζ	Η	Θ	Ι	Κ
3	Λ	Μ	Ν	Ξ	Ο
4	Π	Ρ	Σ	Τ	Υ
5	Φ	Χ	Ψ	Ω	

Ουσιαστικά κάθε γράμμα του αλφαβήτου κωδικοποιείται μέσω ενός ζεύγους συντεταγμένων (i,j) , $1 \leq i, j \leq 5$

Ο Πολύβιος είχε προτείνει την χρήση δύο πεντάδων πυρσών για την μετάδοση του μηνύματος. Οι πυρσοί θα ανεβοκατέβαιναν σχηματίζοντας έτσι τους αριθμούς που αντιστοιχούν στο ζεύγος των συντεταγμένων κάθε γράμματος.

Το Τετράγωνο του Πολύβιου αν και δημιουργήθηκε με βάση το ελληνικό αλφάβητο, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για οποιοδήποτε άλλο αλφάβητο είτε προσθέτοντας είτε αφαιρώντας γραμμές και στήλες. Για παράδειγμα οι Ιάπωνες χρησιμοποιούσαν ένα τροποποιημένο 7×7 , για να καλύπτει τα 49 γράμματα του ιαπωνικού αλφαβήτου, τετράγωνο του Πολύβιου από το 1500 έως το 1910.

Ως κώδικας χρησιμοποιήθηκε στις φυλακές της Ρωσίας, όπου οι φυλακισμένοι χτυπώντας τους σωλήνες ή τους τοίχους μετέδιδαν μηνύματα ο ένας στον άλλο αλλά και από τους Αμερικανούς αιχμαλώτους στον πόλεμο του Βιετνάμ. Παρότι η πολυπλοκότητα του κώδικα είναι μικρή και άρα και ασφάλεια του δεν είναι ικανοποιητική, η χρήση του για έναν τέτοιο σκοπό είναι καλή επιλογή, αφού πέρα από την ευκολία στην μετάδοση του μηνύματος είναι εξίσου εύκολη και η αποστήθιση του κώδικα, σε αντίθεση με άλλους αντίστοιχους κώδικες όπως για παράδειγμα ο κώδικας Morse.

3.2.4 Κρυφές Επιστολές

Η μέθοδος αυτή περιγράφεται από Αινεία τον Τακτικόν ως ένα από τα πιο χαρακτηριστικά παραδείγματα κρυπτογραφία των Αρχαίων Ελλήνων. Το όνομα της μεθόδου δεν είναι και τόσο αντιπροσωπευτικό της πολυπλοκότητας της μεθόδου, καθώς όπως θα αποδειχτεί παρακάτω η διαδικασία είναι πολύ απλή.

Η κωδικοποίηση είναι η εξής: κρατάμε τα σύμφωνα ως έχουν και αντικαθιστούμε τα φωνήεντα με τελείες, ο αριθμός των οποίων αντιπροσωπεύει την σειρά με την οποία συναντάμε τα φωνήεντα στο αλφάβητο (Diepenbroek 2020, p. 151) .

Δηλαδή:

α	ε	η	ι	ο	υ	ω
1	2	3	4	5	6	7

→

α	ε	η	ι	ο	υ	ω
•	••	•••	••••	•••••	••••••	•••••••

Για παράδειγμα η λέξη: ΕΠΙΘΕΣΗ γράφεται ως,

••Π••Θ••Σ••

3.2.5 Κερωμένα Δίπτυχα Πινακίδια

Η εφεύρεση αυτή δεν αποτελούσε μέθοδο κρυπτογράφησης, αλλά μέθοδο ανταλλαγής μηνυμάτων. Τα δίπτυχα κερωμένα πινακίδια ήταν ένας πρόγονος των σύγχρονων βιβλίων.

Αυτά αποτελούνταν από δύο πινακίδες οι οποίες ήταν σκαλισμένες με τέτοιο τρόπο ώστε να δημιουργείται ένα μικρό τοίχος και ενώνονταν μεταξύ τους με ένα κρίκο. Στο εσωτερικό αυτό του περιθωρίου υπήρχε κερί, χρωματισμένο με μελάνι το οποίο ονομαζόταν μάλθη ή μάλθα. Στο κερί αυτό χαραζόταν με μία γραφίδα η οποία είχε είτε μυτερή μύτη, που ονομαζόταν στύλος, είτε πλατιά μύτη, και ονομαζόταν κέστρο.

Η εφεύρεση αυτή χρησιμοποιούταν για να μεταφέρει κρυπτογραφημένα μηνύματα, μέσω διάφορων μεθόδων. Δύο από τις πιο χαρακτηριστικές μεθόδους είναι η εξής:

- Το μήνυμα γραφόταν με ανάποδο τρόπο έτσι ώστε να χρειάζεται κάτοπτρο για να γίνει ανάγνωση του μηνύματος. Η μέθοδος αυτή μοιάζει με τη με μέθοδο του κάθετου καθρέφτη που είχε εφεύρει ο Leonardo Da Vinci για να κρύβει μηνύματα ακόμα και στους πίνακες του.
- Το μήνυμα χαραζόταν στο ξύλο της πινακίδας και από πάνω τοποθετούταν το κερί. Έτσι αρχικά οι πινακίδες φαίνονταν άδειες, ενώ όταν αφαιρούνταν το κερί αποκαλυπτόταν το μήνυμα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτής της μεθόδου είναι όταν ο αυτοεξόριστος στην Περσία, Σπαρτιάτης Δημάρατος, έστειλε με αυτό τον τρόπο μήνυμα στην Σπάρτη ότι ο Ξέρξης ετοιμαζόταν να επιτεθεί στην Ελλάδα. (Diepenbroek 2020, p. 71)



Εικόνα 4: Έκθεμα στο Μουσείο Ηρακλειδών

3.2. Αρχαία Ρώμη

Στην Αρχαία Ρώμη, ο Ιούλιος Καίσαρας εφηύρε έναν τρόπο κωδικοποίησης ώστε να επικοινωνεί με τους στρατηγούς του. Ο κώδικας αυτός ήταν ένας απλός κώδικας αντικατάστασης (substitution cipher), σύμφωνα με τον οποίο κάθε γράμμα αντικαθίσταται με το γράμμα που βρίσκεται μετατοπισμένο κατά k -θέσεις¹ από εκείνο. Δηλαδή έχουμε την εξής σχέση:

$$y = x + k \bmod n,$$

όπου x η θέση του γράμματος στο αλφάβητο, y η θέση του μετά τον μετασχηματισμό k ($1 \leq k \leq n - 1$) οι θέσεις που θα το μεταθέσω (το κλειδί του κώδικα) και n ο συνολικός αριθμός γραμμάτων στο αλφάβητο (στα αγγλικά $n=26$).

Έτσι για να αποκρυπτογραφήσει κάποιος το κωδικοποιημένο μήνυμα το μόνο που χρειαζόταν ήταν να γνωρίζει το κλειδί k , και να κάνει χρήση της αντίστροφης σχέσης:

$$x = y - k \bmod n$$

Ο κώδικας ονομάστηκε Κώδικας Του Ιούλιου Καίσαρα. Για πολλά χρόνια οι Ρωμαίοι αυτοκράτορες χρησιμοποιούσαν τον κώδικα αυτό για να επικοινωνούν με τους στρατηγούς τους, απλά αλλάζοντας το κλειδί του κώδικα.

Στις μέρες μας ένας τέτοιος κώδικας είναι πάρα πολύ εύκολο να σπάσει αρκεί να γνωρίζεις την γλώσσα στην οποία είναι γραμμένο το κείμενο (Κουκουβίνος, 2007).

¹ Ο Ιούλιος Καίσαρας έκανε χρήση της μεθόδου για $k=3$. Όμως εδώ αναλύουμε την γενική μέθοδο.

3.4 Μεσαίωνας

Κατά το μεσαίωνα (400-1200 μ.Χ) η κρυπτογραφία θεωρούταν μία απαγορευμένη τέχνη, που συσχετιζόταν με τον αποκρυφισμό και τη μαύρη μαγεία. Εκείνη τη εποχή η κρυπτογραφία άκμασε όμως στην Ινδία και τις Ισλαμικές χώρες. Για παράδειγμα τον 4ο αιώνα μ.Χ στο εγχειρίδιο του βραχμάνου λόγιου Βατιαγιάννα, Κάμα Σούτρα περιγράφεται μία μέθοδος κρυπτογράφησης που προτείνει το ζευγάρι των γραμμάτων με τυχαίο τρόπο, ώστε το κάθε γράμμα να αντικαθίσταται στο κρυπτογραφημένο κείμενο με το ταίρι του (Κουκουβίνος, 2007). Για παράδειγμα στην αγγλική γλώσσα έχω το ζευγάρι:

K	T	Z	V	Q	L	P	R	B	G	I	J	N
O	U	C	Y	E	F	W	M	S	D	H	A	X

Τότε η φράση **Hello World** μας δίνει το ciphertext: **IQFFKPKMFG**

Ο παραπάνω κώδικας όμως, όπως και ο Κώδικας του Καίσαρα αλλά και κάθε μονοαλφαβητικός κώδικας αντικατάστασης είναι πολύ εύκολο να σπάσουν πλέον. Η τεχνική η οποία χρησιμοποιείται είναι γνωστή από το 9ο αιώνα, όταν Άραβας φιλόσοφος Αλ Κίντι ανέφερε στην πραγματεία του «Χειρόγραφο περί αποκρυπτογραφίσεως κρυπτογραφικών μηνυμάτων», ότι για να αποκρυπτογραφήσουμε ένα κείμενο, το οποίο ξέρουμε σε ποια γλώσσα είναι γραμμένο, αρκεί να βρούμε ένα αρκετά μεγάλο κείμενο στην γλώσσα αυτή και να βρούμε τις συχνότητες εμφάνισης των γραμμάτων. Έπειτα αρκεί να έχουμε ένα αρκετά μεγάλο κρυπτογραφημένο κείμενο και να βρούμε πάλι τις συχνότητες εμφάνισης των γραμμάτων. Τέλος αντιστοιχούμε το γράμμα του κρυπτογραφημένου κειμένου με τη μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης στο αντίστοιχο του απλού κειμένου. Κάνουμε το ίδιο για όλα τα γράμματα και τότε θα έχουμε αποκρυπτογραφήσει το κείμενο μας.

Πλέον οι συχνότητα εμφάνισης των γραμμάτων σε κάθε γλώσσα είναι γνωστή. Για παράδειγμα στα Ελληνικά γνωρίζουμε ότι το γράμμα που συναντάμε πιο συχνά είναι το 'α' με συχνότητα 12%, με το 'ο' να έρχεται δεύτερο με 9,8% ενώ τελευταίο είναι το 'ψ' με 0,2%.

Όπως υποστηρίζουν οι Cohen και Associates (1995), κατά τον Μεσαίωνα, η κρυπτογραφία άρχισε να προοδεύει. Όλες οι κυβερνήσεις της Δυτικής Ευρώπης χρησιμοποίησαν κρυπτογραφία με τη μία ή την άλλη μορφή και οι κώδικες άρχισαν να

γίνονται πιο δημοφιλείς. Οι κρυπτογράφοι χρησιμοποιούνταν συνήθως για να κρατούν επαφή με τους πρεσβευτές. Οι πρώτες σημαντικές εξελίξεις στην κρυπτογραφία έγιναν στην Ιταλία. Η Βενετία δημιούργησε έναν περίτεχνο οργανισμό το 1452 με μοναδικό σκοπό να ασχοληθεί με την κρυπτογραφία. Είχαν τρεις γραμματείς κρυπτογράφησης που έλυσαν και δημιούργησαν κρυπτογράφους που χρησιμοποιούνταν από την κυβέρνηση.

3.5 Σύγχρονες προσεγγίσεις

3.5.1 Αποκρυπτογράφηση - Προσεγγίσεις

Αλφαβητική χαρτογράφηση

Όπως επισημαίνουν οι Snyder et al., το πρώτο ουσιαστικό βήμα προς μία επιτυχή αποκρυπτογράφηση είναι η ανάκτηση της αντιστοίχισης μεταξύ των συμβόλων της χαμένης γλώσσας και του αλφαβήτου μιας γνωστής γλώσσας. Ως αντιπροσωπευτικό πρότυπο για αυτή τη σύγκριση, προτείνουν την καλά εδραιωμένη σχέση μεταξύ του ουγαριτικού και του εβραϊκού αλφάβητου. Αυτή η αντιστοίχιση δεν είναι στενή, αλλά είναι γενικά αρκετά ελεύθερη. Από τα 30 ουγαριτικά σύμβολα, τα 28 αντιστοιχίζονται κυρίως σε ένα μόνο εβραϊκό γράμμα και τα υπόλοιπα δύο αντιστοιχίζονται σε δύο διαφορετικά γράμματα. Καθώς το εβραϊκό αλφάβητο περιέχει μόνο 22 γράμματα, έξι αντιστοιχούν σε δύο διακριτά ουγαριτικά γράμματα και δύο χαρτογραφούνται με τρία ξεχωριστά ουγαριτικά γράμματα. Αναφερόμενοι στην υπολογιστική αποκρυπτογράφηση, εκφράζουν την άποψη ότι ακολουθεί πιστά τη ρύθμιση που αντιμετωπίζουν συνήθως οι αποκρυπτογραφητές.

Ο ορισμός μας για την εργασία υπολογιστικής αποκρυπτογράφησης ακολουθεί πιστά τη μέθοδο που ακολουθούν συνήθως οι αποκρυπτογραφητές. Η αποκρυπτογράφηση περιλαμβάνει δύο σχετικές δευτερεύουσες εργασίες, την εύρεση της αντιστοίχισης μεταξύ των αλφαβήτων των γνωστών και των χαμένων γλωσσών και τη μετάφραση λέξεων της χαμένης γλώσσας σε αντίστοιχες συγγενικές της γνωστής γλώσσας. Ενώ δεν υπάρχει ενιαίος τύπος αποκρυπτογράφησης, οι προσπάθειες των αποκρυπτογραφητών έχουν επικεντρωθεί σε πολλές κατευθυντήριες αρχές. Ένα κοινό σημείο εκκίνησης αποτέλεσε η σύγκριση των συχνοτήτων γραμμάτων και λέξεων μεταξύ των χαμένων και των γνωστών γλωσσών. Με την παρουσία συγγενικών γλωσσών, η σωστή αντιστοίχιση μεταξύ των γλωσσών αποκαλύπτει ομοιότητες στη συχνότητα, τόσο σε επίπεδο χαρακτήρα όσο και σε λεξιλογικό επίπεδο. Επιπλέον, η μορφολογική ανάλυση παίζει καθοριστικό ρόλο, καθώς οι πολύ συχνές αντιστοιχίες μορφών μπορεί να είναι ιδιαίτερα αποκαλυπτικές. Στην πραγματικότητα, αυτά τα τρία σκέλη της ανάλυσης, συχνότητα χαρακτήρων, μορφολογία και λεξιλογική συχνότητα, είναι αλληλένδετα σε όλη την προσπάθεια αποκρυπτογράφησης και η μερική γνώση του καθενός οδηγεί τους άλλους στην ανακάλυψη (Snyder et al., 2010, p. 1048).

Όπως επισημαίνουν οι Luo et al., η αποκρυπτογράφηση είναι μια χαμηλών πόρων πρόκληση τόσο για τους ανθρώπους όσο και για τις μηχανές. Η έλλειψη παράλληλων

δεδομένων και οι σπάνιες ποσότητες αρχαίου κειμένου περιπλέκουν την υιοθέτηση νευρωνικών μεθόδων, οι οποίες κυριαρχούν στη σύγχρονη μηχανική μετάφραση. Επιπλέον, οι τεχνικές που εφαρμόζονται για την αποκρυπτογράφηση μιας χαμένης γλώσσας είναι σπάνια επαναχρησιμοποιήσιμες για μια άλλη γλώσσα. Ως αποτέλεσμα, κάθε σημαντική ανθρώπινη αποκρυπτογράφηση θεωρείται ως μοναδική (Luo et al., 2017).

Προκειμένου να μην εξαρτάται η μέθοδος αποκρυπτογράφησης από τη φύση της γλώσσας οι Luo et al. κρίνουν απαραίτητο τον σχεδιασμό ενός μοντέλου, το οποίο θα βασίζεται στις πιο βασικές αρχές αποκρυπτογράφησης, οι οποίες έχουν εφαρμογή σε πολλές γλώσσες. Αυτές οι αρχές συγκεντρώνουν πληροφορίες από γνωστά πρότυπα γλωσσικών αλλαγών, τα οποία τεκμηριώνονται εκτενώς από την ιστορική γλωσσολογία. Σε επίπεδο χαρακτήρων, είναι γνωστό ότι οι χαρακτήρες που προέρχονται από την ίδια πρωτογλώσσα έχουν παρόμοια προφίλ διανομής σε σχέση με τις εμφανίσεις τους στο κείμενο. Ένας σημαντικός περιορισμός σε επίπεδο χαρακτήρων είναι ότι η συγγενική στοίχιση αποτελεί μία μονότονη διαδικασία, καθώς οι αναδιατάξεις χαρακτήρων σε συγγενικά ζεύγη είναι σπάνιες. Σε επίπεδο λεξιλογίου, οι Luo et al. προτείνουν τον τύπο της λοξής αντιστοίχισης σε επίπεδο λέξης (*skewd mapping at the word*), ώστε η προκύπτουσα χαρτογράφηση του λεξιλογίου να καλύπτει ένα σημαντικό μέρος του χαμένου λεξιλογίου της γλώσσας και να εξηγεί την παρουσία μη συγγενικών λέξεων (Luo et al., ό.π.).

Το μοντέλο των Luo et al. καταγράφει περιορισμούς τόσο σε επίπεδο χαρακτήρων όσο και σε επίπεδο λέξεων σε ένα ενιαίο πλαίσιο, στο οποίο η ευθυγράμμιση του λεξιλογίου είναι μια λανθάνουσα μεταβλητή. Η ομοιότητα διανομής σε επίπεδο χαρακτήρων επιτυγχάνεται μέσω καθολικών ενσωματώσεων χαρακτήρων. Τα δύο στοιχεία του μοντέλου, η ευθυγράμμιση των χαρακτήρων και οι περιορισμοί ροής βρίσκονται σε ακολουθία, χρησιμοποιώντας μια διαδικασία τύπου EM (*expectation-maximization - EM*). Αξιολογώντας τον αλγόριθμό τους σε δύο χαμένες γλώσσες – την Ουγγαρική και τη Γραμμική Β, διαπίστωσαν ότι στην περίπτωση της Ουγγαρικής, παρατηρείται βελτιωμένη απόδοση ταυτοποίησης συγγενικών γραφών, αποφέροντας απόλυτη βελτίωση 5,5% σε σχέση με τα αποτελέσματα που είχαν δημοσιευτεί προηγουμένως. Αυτό επιτυγχάνεται χωρίς πρόσβαση στις μορφολογικές πληροφορίες στη γνωστή γλώσσα. Προκειμένου να εξεταστεί η δυνατότητα εφαρμογής του μοντέλου σε άλλες γλωσσικές οικογένειες, εξετάστηκε η αποκρυπτογράφηση της Γραμμικής γραφής Β, η

οποία χρονολογείται από το 1450 π.Χ. Η Γραμμική Β εμφανίζει έναν αριθμό σημαντικών διαφορών από την Ουγγαριτική, μεταξύ των οποίων σημειώνεται το συλλαβικό σύστημα γραφής της. Αξίζει να σημειωθεί ότι η Γραμμική Β προηγουμένως δεν είχε αποκρυπτογραφηθεί με αυτόματα μέσα. Οι Luo et al στο σενάριο αποκρυπτογράφησης κατάφεραν να μεταφράσουν σωστά το 67,3% των συγγενών (*cognates*) της Γραμμικής Β στην αντίστοιχη ελληνική (Luo et al., ό.π.).

Χρήση μη παράλληλων υπολογισμών - Use of non-parallel data

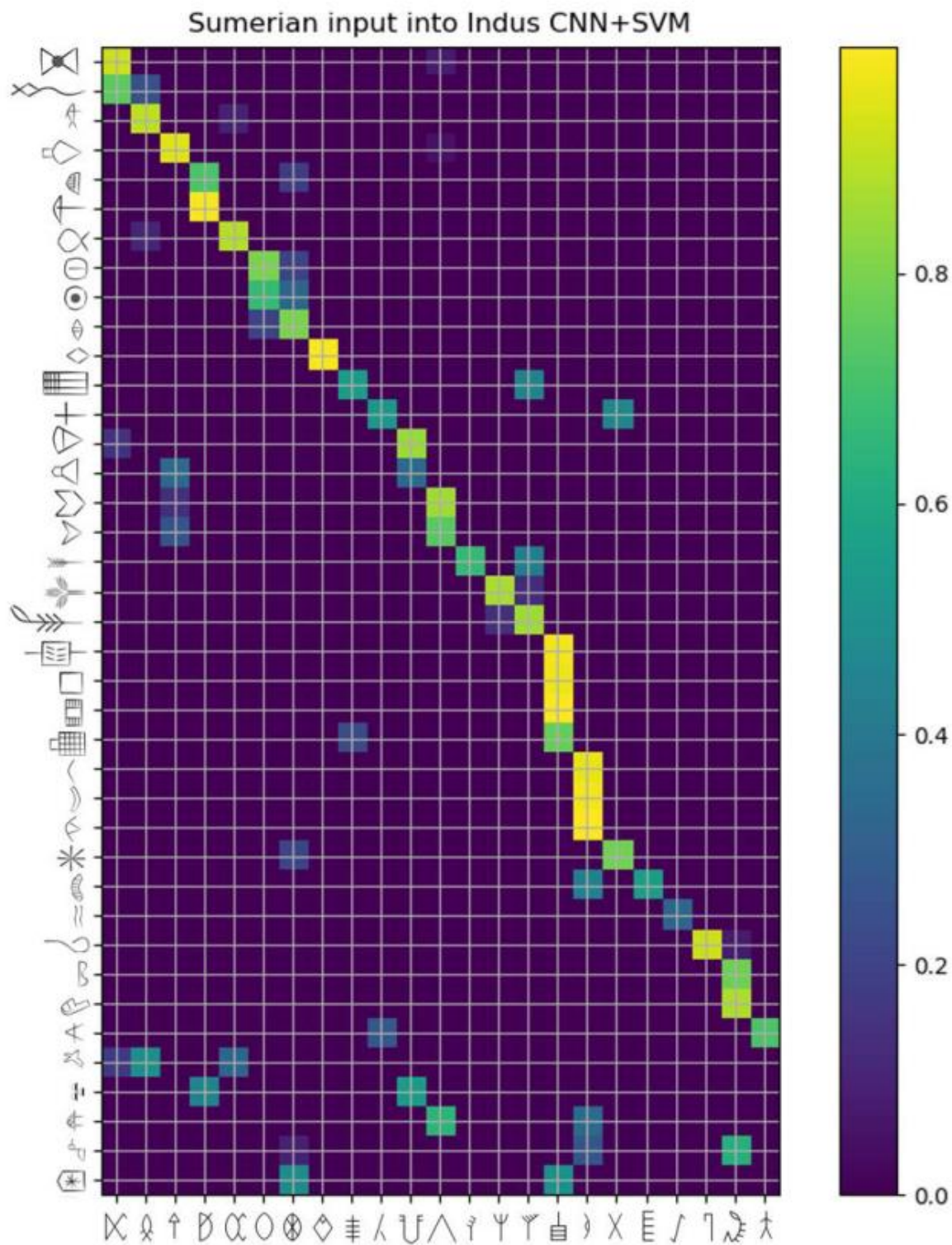
Οι Pourdamghani και Knight (2017) σε μελέτη τους παρουσιάζουν μια μέθοδο μετάφρασης κειμένων μεταξύ στενά συγγενών γλωσσών με δυνητικά διαφορετική ορθογραφία, χωρίς να χρειάζονται παράλληλα δεδομένα. Η μόνη απαίτηση είναι μερικές χιλιάδες γραμμές μονόγλωσσων δεδομένων για κάθε γλώσσα και ένα μοντέλο γλώσσας λέξης για τον στόχο. Μελετώντας έξι ζεύγη γλωσσών κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η μέθοδος υπερτερεί των άλλων, οι οποίες δεν χρησιμοποιούν παράλληλα δεδομένα. Προτείνουν μια καθολική μέθοδο για τη μετάφραση κειμένων μεταξύ στενά συγγενών γλωσσών. Υποθέτουν ότι η προσπίπτουσα γλώσσα (*Incident Language – IL*) και οι στενά συσχετιζόμενες γλώσσες (*closely Related Languages – RL*) είναι ως επί το πλείστον συγγενικές, έχοντας περίπου την ίδια σειρά λέξεων. Η μέθοδος είναι ορθογραφικά-α-γνωστική (*orthography-agnostic*) για αλφαβητικά συστήματα και το σημαντικότερο είναι ότι δεν χρειάζεται παράλληλα δεδομένα. Το μοντέλο μετάφρασης συσχετιζόμενων γλωσσών σε προσπίπτουσες βασίζεται σε χαρακτήρες και κατά την αποκωδικοποίηση συνδυάζεται με ένα μοντέλο στενά συσχετιζόμενης γλώσσας, το οποίο βασίζεται σε λέξεις για την παραγωγή ενός κειμένου προσπίπτουσας γλώσσας. Η προτεινόμενη μέθοδος δίνει μία σχεδόν τέλεια μετάφραση μεταξύ Σερβικών (*srb*) και Βοσνιακών (*bos*). Για άλλα ζεύγη, η μετάφραση είναι σωστή για το ένα τέταρτο με τις μισές λέξεις. Ο Πίνακας 1 απεικονίζει τη μετατροπή της πρώτης πρότασης του πρώτου άρθρου της UDHR από τα Αφρικάανς (*afn*) σε Ολλανδικά (*dut*) χρησιμοποιώντας PM+2g LM (4.3 BLEU4, 36.2 BLEU1).

afr:	alle menslike wesens word	vry met gelyke	-- waardigheid en regte
a2d:	alle menslike wezens werd	vrij met gelijke	-- waardigheid en rechte
dut:	alle mensen	----- worden vrij en gelijk	in waardigheid en rechten
afr2en:	all human beings are	free with equal	-- dignity and rights
a2d2en:	all human beings were	free with equal	-- dignity and straight
dut2en:	all people	----- are free and equal	in dignity and rights

Πίνακας 1. Πρώτη πρόταση του πρώτου άρθρου της UDHR στα Αφρικάανς (afr), Ολλανδικά (dut) και η μετατροπή της από τα Αφρικάανς σε Ολλανδικά χρησιμοποιώντας PM+2-gram LM (a2d), μαζί με τις μεταφράσεις τους στα Αγγλικά.

Μηχανική Μάθηση

Όπως αναφέρουν οι Daggumati και Revesz, η χρήση νευρωνικών δικτύων για τη δημιουργία οικογενειών συγγενικών γραφών αποτελεί έναν νέο τομέα στην αποκρυπτογράφηση αρχαίων γραφών. Προκειμένου να αναλύσουν και να ταξινομήσουν εικόνες και να διαβάσουν ένα κείμενο, έχουν χρησιμοποιήσει διάφορες τεχνικές μηχανικής μάθησης, ενώ για την αναγνώριση πληθώρας γραφών έχουν χρησιμοποιήσει μηχανές διανυσματικής υποστήριξης (*Support vector machines - SVM*) και τεχνητά νευρωνικά δίκτυα. Σε άρθρο τους παρουσιάζουν την παρέμβασή τους για την πρόβλεψη της προέλευσης άγνωστης γραφής. Δεδομένου ότι ο προγνωστικός παράγοντας συνελκτικών νευρωνικών δικτύων (Convolutional Neural Networks, στο εξής CNN) και μηχανών διανυσματικής υποστήριξης (Support Vector Machines, στο εξής: SVM) λειτούργησε καλά στην ανάγνωση γραφών γνωστής προέλευσης, αποδίδοντας τις αναμενόμενες σχέσεις αρχαίας – σύγχρονης γραφής, οι Daggumati και Revesz εκφράζουν την άποψη ότι θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν με ασφάλεια και για την αποκρυπτογράφηση γραφών άγνωστης προέλευσης. Όπως απεικονίζεται στο Εικόνα 5, τα σουμεριανά εικονογράμματα και η γραφή της κοιλάδας του Ινδού έχουν μια αρκετά ισχυρή συσχέτιση και σχεδόν παρόμοια χαρτογράφηση σχέση με ένα προς ένα προς τα φοινικικά και τα ελληνικά, καθώς και μεταξύ των κρητικών ιερογλυφικών και της Γραμμικής Β. Ο Πίνακας 3 σημειώνει τον αριθμό των σύμβολα που έχουν $\geq 75\%$ συσχέτιση μεταξύ σεναρίων. (Daggumati & Revesz, 2019)



Εικόνα 5. Τα φοινικικά γράμματα παρέχονται ως εισαγωγή στο εκπαιδευμένο ελληνικό CNN+SVM.

	Brahmi	Cretan Hier.	Greek	Indus Valley	Linear B	Phoenician	Proto-Elamite	Sumerian Pict.
Brahmi	34	-	-	-	-	-	-	-
Cretan Hier.	2	22	-	-	-	-	-	-
Greek	9	4	26	-	-	-	-	-
Indus Valley	8	5	9	23	-	-	-	-
Linear B	3	20	7	4	20	-	-	-
Phoenician	9	6	22	9	9	22	-	-
Proto-Elamite	2	2	2	4	0	3	17	-
Sumerian Pict.	6	6	7	20	5	7	3	39

Πίνακας 2. Ο αριθμός των συμβόλων με συσχέτιση $\geq 75\%$ μεταξύ κάθε ζεύγους από τις οκτώ γραφές, οι οποίες μελετήθηκαν.

Σύνοψη

Η αποκρυπτογράφηση στοχεύει σε μια αντιστοιχία μεταξύ των λέξεων σε μια άγνωστη γλώσσα και των λέξεων σε μια γνωστή γλώσσα (Berg-Kirkpatrick & Klein, 2011, p.313). Η ιστορία της κρυπτογραφίας παρουσιάζει δύο όψεις. Υπάρχουν εκείνοι οι οποίοι κρυπτογραφούν ένα κείμενο και εκείνοι οι οποίοι το αποκρυπτογραφούν. Ο αποστολέας και ο παραλήπτης γνωρίζουν και οι δύο τη μέθοδο κρυπτογράφησης και αποκρυπτογράφησης, αλλά οι πιθανοί υποκλέπτες παραμένουν στο σκοτάδι. Εάν το κρυπτογραφημένο μήνυμα καταγραφεί από κάποιον που παρακολουθεί, τότε μεταβιβάζεται σε κάποιον ο οποίος θα αποκρυπτογραφήσει το μήνυμα χωρίς προηγούμενη γνώση του κλειδιού αποκρυπτογράφησης (Singh, 2003, p. 3).

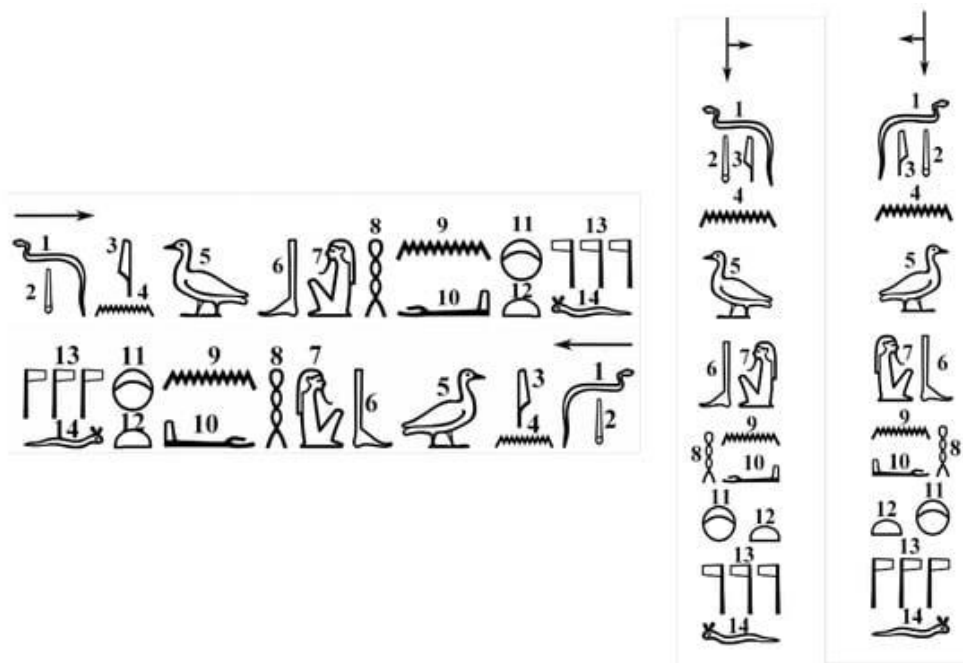
Η κρυπτογραφία μπορεί να εντοπιστεί από την αρχαιότητα μέχρι τη σύγχρονη εποχή και παραμένει ζωτικής σημασίας για την εξασφάλιση της επικοινωνίας και των πληροφοριών κατά τη μεταφορά τους και την αποτροπή της ανάγνωσής τους από μη αξιόπιστους αποδέκτες. Έχουν χρησιμοποιηθεί διαφορετικές φυσικές συσκευές και βοηθήματα για να βοηθήσουν στην κρυπτογράφηση κειμένων. Ένα από τα παλαιότερα μπορεί να ήταν η σκυτάλη, η οποία χρονικά τοποθετείται στην αρχαία Σπάρτη. Κατά τον Μεσαίωνα η κρυπτογραφία χρησιμοποιήθηκε με διάφορες μορφές και οι κώδικες άρχισαν να γίνονται πιο δημοφιλείς, ενώ παράλληλα, άρχισαν να αναπτύσσονται και συστήματα στενογραφίας.

Η υπολογιστική αποκρυπτογράφηση αποτελεί μία σύγχρονη προσέγγιση της κρυπτογραφίας. Οι ερευνητές εκφράζουν την άποψη ότι ακολουθεί πιστά τη μέθοδο την οποία ακολουθούν συνήθως οι αποκρυπτογραφητές. Η χρήση νευρωνικών δικτύων για τη δημιουργία οικογενειών συγγενικών γραφών αποτελεί έναν νέο τομέα στην αποκρυπτογράφηση αρχαίων γραφών, που προκειμένου να αναλύσουν και να ταξινομήσουν εικόνες και να διαβάσουν ένα κείμενο, αξιοποιούν διάφορες τεχνικές μηχανικής μάθησης.

4. Η αιγυπτιακή Ιερογλυφική γραφή

Ο Ferdinand de Saussure ορίζει την αιγυπτιακή λέξη ως ένα γλωσσικό σύμβολο με ένα σημαίνον, το οποίο είναι η γραφική όψη, και ένα σημαινόμενο, το οποίο είναι η γλωσσική εσωτερική δομή. Το σημαίνον μπορεί να αποτελείται από ένα ή πολλά ιερογλυφικά ταυτόχρονα. Το ίδιο το αιγυπτιακό ιερογλυφικό αποτελείται από δύο διαφορετικά στοιχεία: το φθόγγο και το σηματογράφημα (semagram), ένα σημασιολογικό σύμβολο (εικόνα ή γλυφό) που σχετίζεται με μια έννοια. Το πρώτο παίζει φωνητικό ρόλο. Θα μπορούσε είτε να υποδηλώνει τον ήχο του σημείου, ή μιας ακολουθίας σημείων, είτε να λειτουργεί ως φωνητικό συμπλήρωμα. Το τελευταίο είναι το γραφικό σύμβολο, το οποίο εκφράζει μια ιδέα που σχετίζεται με αυτό. Μέσα σε μια λέξη, το γλυφό θα μπορούσε απλώς να λειτουργήσει ως το αντιπροσωπευόμενο αντικείμενο που υποδεικνύει μια λέξη ή ως προσδιοριστικό, προσδιορίζοντας το λεξικό πεδίο στο οποίο ανήκει η λέξη (Guidi et al., 2023).

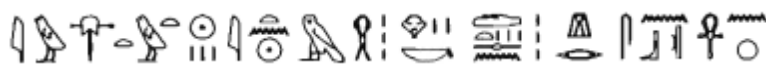
Τα αρχαία αιγυπτιακά ιερογλυφικά αντιπροσωπεύονται από περισσότερα από 700 ιδεογράμματα, τα οποία ανήκουν σε περίπου 26 κατηγορίες. Αυτά τα ιδεογράμματα συνδυάζονται για να δημιουργήσουν λέξεις και ήχους. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι γραφής ιερογλυφικών, όπως καμπύλες ή μνημειώδεις (*monumental*). Μπορούν επίσης να γραφτούν σε διαφορετικές κατευθύνσεις (Εικ. 6).



Εικόνα 6. Διάφορες οδηγίες ανάγνωσης αρχαίων αιγυπτιακών ιερογλυφικών.

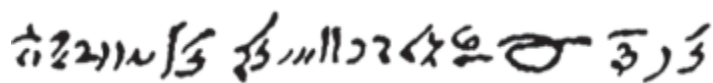
4.1 Γλώσσες και συστήματα γραφής στην αρχαία Αίγυπτο

Η πιο πρόωμη γραφή είναι γνωστή ως Ιερογλυφική – και όχι ως ιερογλυφικά, όπως επισημαίνουν οι Zender και οι Guidi et al.– και συχνά ήταν λαξευτή ή ζωγραφιστή σε τοίχους ναών και ταφών, καθώς επίσης σε αντικείμενα όπως γλυπτά, σαρκοφάγους, καθώς και σε στήλες. Η πιο πρόωμη χρήση της ιερογλυφικής τοποθετείται πριν το 3000 π.Χ., αλλά δεν χρησιμοποιήθηκε για την καταγραφή κειμένων σε πλήρη μορφή παρά μέχρι το 2600 π.Χ., παρότι κατά τη διάρκεια του Μέσου Βασιλείου σταμάτησε να χρησιμοποιείται ως προφορική γλώσσα, γύρω στα 1600 π.Χ. και μέχρι το 394 μ.Χ. η ιερογλυφική συνέχισε να συναντάται σε γραπτά κείμενα. Η ιερατική υπήρξε ένα σύστημα γραφής, το οποίο σχετίζεται στενά με την Ιερογλυφική και θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως ένα σύστημα ρέουσας Ιερογλυφικής γραφής (Εικ. 7). Χρησιμοποιήθηκε για καταγραφή κειμένων με λιγότερο επίσημο χαρακτήρα, όπως λογοτεχνικών, ποιημάτων, επιστολών και μετρήσεων, καθώς και κάποιων κειμένων θρησκευτικού χαρακτήρα, όπως το Βιβλίο των Νεκρών. Γραφόταν σε γενικές γραμμές σε παπύρους, δέρμα ή ξύλο (Zender, n.d., pp. 1-2 ; Guidi et al., 2016) με τη χρήση πινέλου και μελάνης. Ήταν σε κοινή χρήση μέχρι το 650 π.Χ., ενώ το τελευταίο γνωστό κείμενο ιερατικής απαντάται στο 250 μ.Χ.



Εικόνα 7. Παράδειγμα Ιερογλυφικής(επάνω) και Ιερατικής γραφής(κάτω)

Γύρω στο 650 π.Χ. η Ιερατική άρχισε να αντικαθίσταται από τη Δημοτική, από ένα ακόμη πιο ρέον και συντομευμένο σύστημα γραφής (Εικ. 8).



Εικόνα 8. Παράδειγμα Δημοτικής γραφής

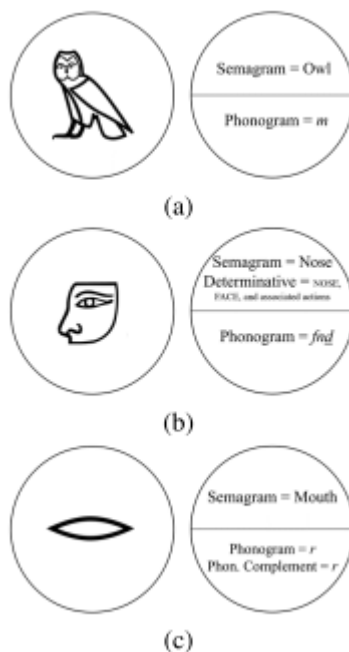
Η εξέλιξη αυτή είχε ως αποτέλεσμα να εξελιχθεί μία νέα γλώσσα, η Δημοτική, κατά το Νέο Βασίλειο. Για εκατοντάδες χρόνια τα τρία συστήματα γραπτής και προφορικής γλώσσας χρησιμοποιούταν ταυτόχρονα στην Αίγυπτο, το καθένα όμως σε διαφορετικό πλαίσιο/η καθεμιά: η Ιερογλυφική σε μνημεία και τάφους με αναφορές κυρίως κατά το Μέσο Βασίλειο, η Ιερατική σε επίσημα κείμενα θρησκευτικού χαρακτήρα με αναφορές κυρίως κατά το Νέο βασίλειο και η Δημοτική για οποιαδήποτε άλλη χρήση. Με τον καιρό, ο αλφαριθμητισμός στην Ιερογλυφική περιορίστηκε μόνο στους ιερείς. Όταν το

196 π.Χ. η στήλη της Ροζέτας συντάχθηκε προς τιμήν της έλευσης του φαραώ Πτολεμαίου Ε', σκαλίστηκε σε τρεις γλώσσες και συστήματα γραφής: την Ιερογλυφική γραφή του Μέσου βασιλείου, η οποία αποτελούσε το σύστημα γραφής των ιερέων, τη Δημοτική, η οποία ήταν η γλώσσα και το σύστημα γραφής του απλού λαού και την ελληνική, η οποία ήταν η γλώσσα και το σύστημα γραφής των Ελλήνων Φαραώ. Από αυτές, το σύστημα της Δημοτικής γραφής συνέχισε να χρησιμοποιείται μέχρι το 450 μ.Χ. (Zender, n.d., pp. 1-2).

4. 2 Η Δομή της Ιερογλυφικής γραφής

Όπως έχει αναφερθεί, η αιγυπτιακή λέξη είναι ένα γλωσσικό σημάδι με ένα σημαίνον και ένα σημαινόμενο μετά τον ορισμό του Saussure. Το πρώτο στοιχείο αντιπροσωπεύει την εξωτερική όψη, απλώς γραφική, που μπορεί να αποτελείται από ένα ή περισσότερα ιερογλυφικά. Το δεύτερο αντιπροσωπεύει την εσωτερική δομή, ουσιαστικά τη γλωσσολογία. Το αιγυπτιακό ιερογλυφικό είναι ένα σύνθετο σημάδι το οποίο αποτελείται από δύο στοιχεία: ένα γλυφό (ή ιδεόγραμμα) και ένα φθόγγο. Το διάγραμμα είναι ένα γραφικό σύμβολο που αντιπροσωπεύει μια ιδέα σε σχέση με αυτό. Η σύγχρονη κουλτούρα μας περιβάλλεται κυριολεκτικά από σηματογραφήματα (*semagram*), όπως οι οδικές πινακίδες, τα λογότυπα πολλών εμπορικών σημάτων ή τα emoticon των κοινωνικών δικτύων (Barucci et al., 2016, p.).



Ένα σηματογράφημα μπορεί να έχει δύο διαφορετικές αξίες, ανάλογα με τη λειτουργία του στη λέξη. Το κατάλληλο σηματογράφημα (*proper semagram*), που σημαίνει το αντιπροσωπευόμενο αντικείμενο που δηλώνει απευθείας μια λέξη, και το προσδιοριστικό σηματογράφημα (*determinative*), ένα σημάδι με καθαρά σημασιολογική και χωρίς φωνητική αξία, του οποίου η λειτουργία είναι να εκφράζει το λεξικό πεδίο στο οποίο ανήκει η λέξη. Το φωνόγραμμα (*phonogram*) μπορεί επίσης να έχει δύο διαφορετικούς ρόλους. Τον κατάλληλο φθόγγο, τον οποίο μπορεί να υποδεικνύει η φωνητική αξία του σημείου και μεταφωνικά μόνο τον ήχο ή τη φωνητική ακολουθία, και το φωνητικό συμπλήρωμα (*phonetic complement*), μια συγκεκριμένη σειρά σημείων, η οποία εκφράζει με περιττό τρόπο τον ήχο του σημείου με το οποίο συνοδεύονται (Εικ. 9). Δεδομένης αυτής της περίπλοκης φύσης, το αιγυπτιακό ιερογλυφικό αποδεικνύεται πρόσφορο έδαφος για την εφαρμογή μιας προσέγγισης **Βαθιάς Μάθησης (deep learning)** για την αναγνώριση και την ταξινόμησή του (Barucci et al., 2016, p.).



Εικόνα 9. Τα δομικά στοιχεία ενός αιγυπτιακού ιερογλυφικού: (α) διάγραμμα (OWL) και φωνόγραμμα /m/. (β) σηματογράφημα (NOSE), καθοριστικό (μύτη, πρόσωπο και σχετικές ενέργειες) και φωνόγραμμα. (γ) σηματογράφημα (ΣΤΟΜΑ), φωνόγραμμα /r/ και φωνητικό συμπλήρωμα (R).

Σύμφωνα με τον Zender (n.d. p. 4), η αιγυπτιακή Ιερογλυφική γραφή χρησιμοποιεί τρεις κατηγορίες συμβόλων:


Ιδεογράμματα (Λογογραφικά). Αναπαριστούν τα αντικείμενα που απεικονίζουν. Για

παράδειγμα,  pr οικία ή  r Ήλιος (Θεός). Συχνά ακολουθούνται από ένα σημείο προκειμένου να δείξουν αντί για τη φωνητική αξία τού αντικειμένου το οποίο

απεικονίζεται είναι η επιδιωκόμενη ανάγνωσή του .

Φωνογραφήματα (Φωνητικά σύμβολα). Αντιπροσωπεύουν ήχους, οι οποίοι συχνά προέρχονται από το αντικείμενο που απεικονίζουν μέσω ενός εικονογρίφου (*rebus*) και μπορούν να συνδυαστούν για τον συλλαβισμό λέξεων. Για παράδειγμα, η λέξη *γιος*


 είναι ίδια με τη λέξη για την *πάπια* . Καθώς κατά τη διάρκεια του Μέσου

Βασιλείου τα θηλυκά ουσιαστικά τελειώνουν σε t, η λέξη *κόρη* είναι .

Προσδιοριστικές λέξεις (σημασιολογικά σύμβολα). Όπως τα εβραϊκά και τα αραβικά, στην Ιερογλυφική κατά την περίοδο του Μέσου Βασιλείου παραλείπονται τα φωνήεντα


στην ορθογραφία της. Εξαιτίας αυτού, δεν είναι πάντα σαφές για ποια λέξη πρόκειται. Για παράδειγμα, οι αγγλικές λέξεις bit και bat διαφέρουν μόνο κατά ένα μόνο φωνήεν. Εάν γράφαμε αυτή τη λέξη χρησιμοποιώντας μόνο σύμφωνα, bt και bt, θα ήταν ασαφής ο προσδιορισμός της λέξης. Αν και η σωστή ανάγνωση μπορεί συνήθως να προσδιοριστεί από τα συμφραζόμενα, στην Ιερογλυφική γραφή χρησιμοποιούνταν μία σειρά από σύμβολα στα άκρα των λέξεων, τα οποία βοηθούσαν στην ένδειξη της ανάγνωσης της λέξης. Στο παράδειγμα της λέξης *γιος*, το σημάδι για τη λέξη *πάπια*




ακολουθούσαν από το σχέδιο ενός άνδρα, για να προσδιορίσει ότι πρέπει να διαβαστεί ως *γιος* και όχι ως *πάπια* . Εάν εννοούταν η λέξη *πάπια*,

ακολουθούσαν από το σημείο, το οποίο αναφέρθηκε πιο πάνω. Μερικές φορές χρησιμοποιούνταν προσδιορισμοί σε περιπτώσεις όπου δεν υπήρχε αμφισημία σχετικά με την ανάγνωση μιας λέξης. Για παράδειγμα, η λέξη *κόρη* ακολουθούσαν από ένα



σχέδιο γυναίκας  Σε αυτή την περίπτωση επισημαίνει ότι η λέξη *κόρη* ανήκει σε μια κατηγορία λέξεων για γυναίκες. Η εκμάθηση της αναγνώρισης προσδιοριστικών σημείων μπορεί να δώσει μια εικόνα για τη σημασία μιας λέξης, ακόμη και αν δεν είναι εύκολο να διαβαστεί. Για παράδειγμα, οι λέξεις με κινήσεις ακολουθούνται από δύο



πόδια που περπατούν, όπως στη λέξη *ανεβαίνω* .

Στα γραπτά κείμενα χρησιμοποιούνταν και οι τρεις κατηγορίες σημείων ταυτόχρονα. Η ορθογραφία ήταν λιγότερο σταθερή από ό,τι στην αγγλική γλώσσα και οι περισσότερες λέξεις μπορούσαν να γραφτούν με πολλούς τρόπους, χρησιμοποιώντας διαφορετικούς συνδυασμούς φωνογραφημάτων. Μια τελευταία σημαντική πτυχή της ιερογλυφικής είναι η διαίρεση των φωνογραφημάτων σε τρεις κατηγορίες σημείων:

Μονολεκτικά σύμβολα. Κατέγραφαν τον ήχο ενός μόνο συμφώνου.








Για παράδειγμα,

Διπλής σημασίας σύμβολα. Κατέγραφαν τον ήχο δύο συμφώνων. Να σημειωθεί ότι ο ήχος του φωνήεντος μεταξύ αυτών των συμφώνων δεν υποδεικνύεται.

Για παράδειγμα,  *wn, or*  *mr.*

Πολλαπλής σημασίας σύμβολα. Κατέγραφαν τον ήχο πολλαπλών συμφώνων, με πιο συνηθισμένα αυτά της τριπλής σημασίας.

Για παράδειγμα,  *ankh,*  *mwt,*  *nfr,*  *wsr,* and  *khpr.*
(Zender, n.d. p. 4).

4.3 Η Αποκρυπτογράφιση της Ιερογλυφικής

Η αποκρυπτογράφιση αιγυπτιακής Ιερογλυφικής γραφής είχε προσελκύσει το ενδιαφέρον και τη γοητεία τόσο των μελετητών όσο και του κοινού για περίπου δύο αιώνες. Η ανακάλυψη της στήλης της Ροζέτας από τις δυνάμεις του Ναπολέοντα στην Αίγυπτο, το δράμα της παραχώρησής της στους Βρετανούς και η τελική μεταφορά της στο Βρετανικό Μουσείο, η οποία έγινε δύο δεκαετίες αργότερα από την αποκρυπτογράφιση της γραφής, είναι ίσως τα γνωστά γεγονότα στην ιστορία του ευρωπαϊκού ενδιαφέροντος για την αρχαιότητα. Οι πρώτες μαρτυρίες για τις προσπάθειες αποκρυπτογράφισης επικεντρώθηκαν στη δραματική αντιπαράθεση μεταξύ των οπαδών του Άγγλου πολυμαθή, Thomas Young και του νεαρού Γάλλου Jean-François Champollion. Καθώς η Αιγυπτιολογία διαμορφώθηκε σε έναν συνεκτικό επιστημονικό κλάδο, οι ιστορικοί επικεντρώθηκαν ως επί το πλείστον στην περίοδο λίγο πριν και μετά το 1822, καθώς εκείνη τη χρονιά η περίφημη *Lettre a Dacier* του Champollion αποκάλυψε το σύστημά του παρουσία του Young σε μια συνάντηση της Académie des Inscriptions et Belles-Lettres στις 22 Σεπτεμβρίου 1822 (Buchwald, 2016).

Ωστόσο, ακόμη και πριν από τη χάραξη των τελευταίων κειμένων στην Ιερογλυφική γραφή, η γραφή αυτή θεωρούνταν ευρέως ως αινιγματική και μυστηριώδης. Μια πρώιμη προσπάθεια ερμηνείας του νοήματος των κειμένων Ιερογλυφικής γραφής έγινε από τον Ωραπόλλωνα τον 4ο αιώνα μ.Χ. Αν και κατόρθωσε να κατανοήσει εν μέρει τη γραφή, στο βιβλίο του, *Ιερογλυφικά*, περιγράφει τα κείμενα κυρίως αλληγορικά, ερμηνεύοντας το περιεχόμενο από τις εικόνες που απεικονίζονται στις πινακίδες και προωθώντας την ιδέα ότι αντιπροσωπεύουν ιδεογράμματα. Αυτή ήταν η κυρίαρχη ερμηνεία της Ιερογλυφικής γραφής μέχρι τις αρχές του 18ου αιώνα, όταν ο Επίσκοπος Warburton πρότεινε ότι ορισμένα από τα σύμβολα μπορεί να είναι φωνητικά, ο Zoëga προσδιόρισε σωστά τις πινακίδες ως δείκτες ονομάτων και ο Åkerblad επεξεργάστηκε μια πρωτόγονη αλφαβητική ανάθεση για ορισμένους χαρακτήρες ή σύμβολα (Zender, n.d., pp. 2-3).

Στις αρχές του 18ου αιώνα, στην Ευρώπη η αρχαία Αίγυπτος δεν ήταν ιδιαίτερα γνωστή. Ελεγχόταν από την Οθωμανική Αυτοκρατορία και ήταν κλειστή στους Δυτικούς επισκέπτες για περισσότερο από τρεις αιώνες. Τα μόνα αντικείμενα και γλυπτά τα οποία ήταν γνωστά στην Ευρώπη ήταν αυτά που είχαν λεηλατηθεί από την Αίγυπτο στην αρχαιότητα από τους Ρωμαίους. Η αιγυπτιακή στρατιωτική εκστρατεία

του Ναπολέοντα από το 1798 έως το 1801 άλλαξε δραματικά τις αντιλήψεις της Δύσης για την Αίγυπτο, οδηγώντας σε μια περίοδο «Αιγυπτομανίας», καθώς ανακαλύφθηκαν εκατοντάδες μνημεία και αντικείμενα, συμπεριλαμβανομένης της περίφημης στήλης της Ροζέτας, η οποία βοήθησε στην αποκρυπτογράφηση της Ιερογλυφικής γραφής. Η ανακάλυψη της στήλης της Ροζέτας ήταν σημαντική, γιατί για πρώτη φορά οι μελετητές είχαν μία πλήρη μετάφραση ενός κειμένου Ιερογλυφικής γραφής στην ελληνική, μια γλώσσα και ένα σύστημα γραφής το οποίο μπορούσαν να διαβάσουν (Zender, n.d., p. 3).

Κατά τις δεκαετίες που ακολούθησαν την ανακάλυψη της στήλης της Ροζέτας, έγιναν δύο βασικές παρατηρήσεις, οι οποίες επέτρεψαν στον Champollion να αποκρυπτογραφήσει αργότερα τη γραφή.

Η πρώτη οφείλεται στον Thomas Young, οποίος αναγνώρισε ότι μερικές από τις πινακίδες περιείχαν μια φωνητική ορθογραφία του ονόματος «Πτολεμαίος», ορίζοντας σωστά τις φωνητικές αποδόσεις στα περισσότερα από τα ιερογλυφικά σύμβολα του ονόματος. Η δεύτερη οφείλεται στον Henry Salt, ο οποίος, βασιζόμενος στο έργο του Young, κατάφερε στη συνέχεια να αποκρυπτογραφήσει εν μέρει το όνομα «Κλεοπάτρα» στον Οβελίσκο της νήσου Philae. Ωστόσο, η Ιερογλυφική ήταν ακόμη άγνωστη, αφού είχαν αποκρυπτογραφηθεί μόνο ελληνικά ονόματα. Το 1822, ο Jean François Champollion εφάρμοσε τις τεχνικές των Young και Salt στα ονόματα και τους τίτλους των υπολοίπων Ελλήνων Φαραώ και Ρωμαίων αυτοκρατόρων, δημιουργώντας μια φωνητική ιερογλυφική λίστα. Ο Champollion, μαθητής της Κοπτικής γραφής, άρχισε στη συνέχεια να χρησιμοποιεί μία λίστα σημείων, προκειμένου να αποκρυπτογραφήσει το υπόλοιπο κείμενο, με την ιδέα ότι η γλώσσα μπορεί να είναι παρόμοια με την Κοπτική. Η διαίσθησή του αποδείχθηκε σωστή και μέσω μιας διαδικασίας αφαίρεσης, μπόρεσε να επεξεργαστεί μεγάλο μέρος του λεξιλογίου και της γραμματικής μίας γραφής η οποία δεν είχε διαβαστεί για σχεδόν 1.500 χρόνια. (Zender, n.d., p. 3).

Ο Zender παραθέτει δύο παράλληλα αποσπάσματα από την στήλη της Ροζέτας, -το ένα στην ελληνική και το άλλο στην Ιερογλυφική, καθώς και μια μετάφραση στην αγγλική. Οι επισημασμένες περιοχές επισημαίνουν ονόματα ατόμων ή θεών, και βοηθούν στην αντιστοίχιση της αγγλικής (πρώτη στήλη) και ελληνικής (δεύτερη στήλη) γραφής με την αντίστοιχη ιερογλυφική (τρίτη στήλη) (Εικ. .10).

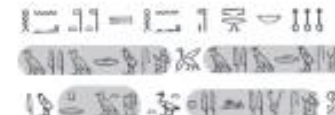
...great king of the Upper Country and of the Lower Country, offspring of the gods Philopatores, whom Hephaistos [Ptah] hath chosen, to whom Helios [Re] hath given the victory, the living image of Zeus, the son of Ra [Helios], PTOLEMY, the everliving, the beloved of PTAB. In the IXth year, when the priest of ALEXANDROS

ΜΕΓΑΣ ΒΑΣΙΛΕΥΣ ΤΩΝ ΤΕ ΑΝΩ ΚΑΙ ΤΩΝ ΚΑΤΩ ΧΩΡΩΝ, ΕΚΓΟΝΟΥ ΘΕΩΝ ΦΙΛΟΠΑΤΩΡΩΝ, ΟΝ Ο ΗΦΑΙΣΤΟΣ ΕΔΟΚΙΜΑΣΕΝ ΩΙ Ο ΗΛΙΟΣ ΕΔΩΚΕΝ ΤΗΝ ΝΙΚΗΝ, ΕΙΚΟΝΟΣ ΖΩΣΗΣ ΤΟΥ ΔΙΟΣ, ΥΙΟΥ ΤΟΥ ΗΛΙΟΥ, ΠΤΟΛΕΜΑΙΟΥ ΑΙΩΝΟΒΙΟΥ, ΗΓΑΠΗΜΕΝΟΥ ΥΠΟ ΤΟΥ ΦΘΑ,



was AETOS, son of AETOS, and of the gods Soteres, and of the gods Adelphoi, and of the gods Euergetes, and of the gods Philopatores, and the god Epiphanes Eucharistos; EYRRAN, daughter of PHILINOS,

ΕΤΟΥΣ ΕΝΑΤΟΥ ΕΦ ΙΕΡΕΩΣ ΑΕΤΟΥ ΤΟΥ ΑΕΤΟΥ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥ ΚΑΙ ΘΕΩΝ ΣΩΤΗΡΩΝ ΚΑΙ ΘΕΩΝ ΑΔΕΛΦΩΝ ΚΑΙ ΘΕΩΝ ΕΥΕΡΓΕΤΩΝ ΚΑΙ ΘΕΩΝ ΦΙΛΟΠΑΤΩΡΩΝ ΚΑΙ



the Athlohoros of BERENIKE Euergetes, and AREIA, daughter of DIOGENES, the Kanephoros of ARSINOE Philadelphos,

ΘΕΩΝ ΕΠΙΦΑΝΟΥΣ ΕΥΧΑΡΙΣΤΟΥ, ΑΘΛΟΦΟΡΟΥ ΒΕΡΕΝΙΚΗΣ ΕΥΕΡΓΕΤΙΔΟΣ ΠΥΡΡΑΣ ΤΗΣ ΦΙΛΙΝΟΥ, ΚΑΝΗΦΟΡΟΥ ΑΡΣΙΝΟΗΣ ΦΙΛΑΔΕΛΦΟΥ ΑΡΕΙΑΣ ΤΗΣ ΔΙΟΓΕΝΟΥΣ, ΙΕΡΕΙΑΣ



and ERENE, the daughter of PTOLEMY, being the priestess of ARSINOE Philopator, the IVth day of the month Xandikos, which corresponds to the XVIIth day of the Egyptian month of Mekheir, the second month of the season Pert.

ΑΡΣΙΝΟΗΣ ΦΙΛΟΠΑΤΟΡΟΣ ΕΙΡΗΝΗΣ ΤΗΣ ΠΤΟΛΕΜΑΙΟΥ, ΜΗΝΟΣ ΞΑΝΔΙΚΟΥ ΤΕΤΡΑΔΙ, ΑΙΓΥΠΤΙΩΝ ΑΕ ΜΕΧΕΙΡ ΟΚΤΩΚΑΙΔΕΚΑΤΗ, ΨΗΦΙΣΜΑ ΟΙ ΑΡΧΙΕΡΕΙΣ ΚΑΙ ΠΡΟΦΗΤΑΙ ΚΑΙ ΟΙ ΕΙΣ ΤΟ ΑΔΥΤΟΝ ΕΙ[Σ] ΠΟΡΕΥΟΜΕΝΟΙ ΠΡΟΣ ΤΟΝ ΣΤΟΛΙΣΜΟΝ ΤΩΝ



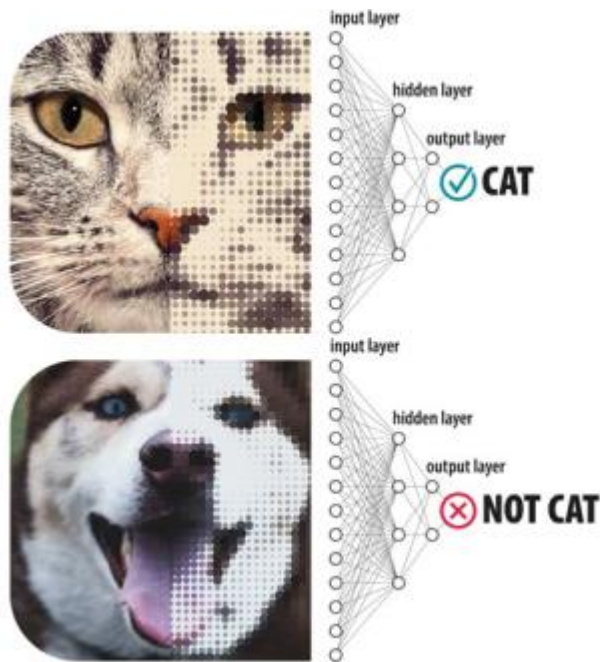
Εικόνα 10. Δύο παράλληλα αποσπάσματα από την Στήλη της Ροζέτας: το ένα στην ελληνική και το άλλο στην ιερογλυφική γραφή, καθώς και μια μετάφραση στην αγγλική.

4.3.1 Η Τεχνητή Νοημοσύνη (Artificial Intelligence) και οι εφαρμογές Μηχανικής Μάθησης (machine learning) στην αποκρυπτογράφηση της Ιερογλυφικής
 Ο Boucher εκφράζει την άποψη ότι η τεχνητή νοημοσύνη (Artificial intelligence) είναι πιθανώς η καθοριστική τεχνολογία της τελευταίας και ίσως και της επόμενης δεκαετίας. Σύμφωνα με τον ορισμό, τον οποίο πρότεινε η Ευρωπαϊκή Επιτροπή για την τεχνητή νοημοσύνη το 2018, η τεχνητή νοημοσύνη αναφέρεται σε συστήματα, τα οποία εμφανίζουν έξυπνη συμπεριφορά, αναλύοντας το περιβάλλον τους και αναλαμβάνοντας δράση –με κάποιο βαθμό αυτονομίας– για την επίτευξη συγκεκριμένων στόχων. Δεδομένου ότι η τεχνητή νοημοσύνη αναφέρεται σε τόσες πολλές τεχνικές και περιβάλλοντα, απαιτείται μεγαλύτερη ακρίβεια, προκειμένου να διεξαχθούν ουσιαστικές και εποικοδομητικές συζητήσεις σχετικά με αυτή (Boucher, 2020, p. 1).

Ο Boucher διακρίνει τρία κύματα ανάπτυξης διαφορετικών προσεγγίσεων της τεχνητής νοημοσύνης. Το πρώτο κύμα περιγράφει πρώιμες τεχνικές τεχνητής νοημοσύνης, που περιγράφονται ως «συμβολική τεχνητή νοημοσύνη». Οι προσεγγίσεις κατά το πρώτο

κύμα, ενώ παραμένουν πολύ σχετικές, εξακολουθούν να εφαρμόζονται με επιτυχία σε πολλούς τομείς. Η συμβολική τεχνητή νοημοσύνη αναφέρεται σε προσεγγίσεις για την ανάπτυξη ευφυών μηχανών κωδικοποιώντας τη γνώση και την εμπειρία των ειδικών σε σύνολα κανόνων που μπορούν να εκτελεστούν από το μηχάνημα (Boucher, 2020, p. 2). Το δεύτερο κύμα σχετίζεται με τη μηχανική μάθηση (*Machine learning*) και την τεχνητή νοημοσύνη που βασίζεται σε δεδομένα. Η μηχανική μάθηση αναφέρεται σε ένα ευρύ φάσμα τεχνικών, οι οποίες αυτοματοποιούν τη διαδικασία εκμάθησης των αλγορίθμων. Αυτό διαφέρει από τις προσεγγίσεις του πρώτου κύματος, όπου οι βελτιώσεις στην απόδοση επιτυγχάνονταν μόνο από ανθρώπους που προσάρμοζαν ή πρόσθεταν στην τεχνογνωσία, η οποία κωδικοποιούνταν απευθείας στον αλγόριθμο (Boucher, ό.π., 3). Το τρίτο κύμα διερευνά πιθανά μελλοντικά κύματα τεχνητής νοημοσύνης, εστιάζοντας σε προσεγγίσεις που παραμένουν μακριά από την αγορά. Στόχος είναι να εξοπλίσει τους αναγνώστες με την κατανόηση βασικών εννοιών και μεθόδων στην τεχνητή νοημοσύνη, ώστε να γνωρίζουν τι είναι η βαθιά μάθηση (*Deep learning*) και να κατανοούν τη διαφορά μεταξύ της ασαφούς λογικής και των εξελικτικών μεθόδων (Boucher, ό.π., 2).

Το επόμενο κύμα τεχνητής νοημοσύνης θα μπορούσε να συνδυάσει πτυχές του πρώτου και του δεύτερου κύματος με τρόπους που προσφέρουν εντελώς νέα λειτουργικότητα. (Boucher, ό.π., 8). Θα μπορούσαν να διατηρήσουν την περίπλοκη και εξελιγμένη ισχύ που σχετίζεται με τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα (*Artificial neural networks*). Θα μπορούσαν να είναι σε θέση να λαμβάνουν υπόψη ευρύτερες γνώσεις σχετικά με τα συμφραζόμενα για τον κόσμο, προκειμένου να παρέχουν πιο ακριβή αποτελέσματα από μικρότερα σύνολα δεδομένων εκπαίδευσης. Για παράδειγμα, ένα τέτοιο εργαλείο για την αναγνώριση ζώων θα μπορούσε να εκπαιδευτεί με δύο ή τρεις φωτογραφίες ενός ζώου που δεν έχει ξαναδεί, αλλά να μπορεί να αξιοποιήσει την ευρύτερη γνώση του για τον κόσμο, δηλαδή σχετικά με τις κινήσεις των ζώων, το σώμα τους και τον τρόπο με τον οποίο μπορεί να φαίνονται από διαφορετικές οπτικές γωνίες για τις οποίες δεν υπάρχουν δεδομένα για μία αξιόπιστη αναγνώριση του ζώου σε άλλες εικόνες Εικ. 11). Ομοίως, ένα σύστημα αναγνώρισης χειρογράφου, το οποίο εκπαιδεύεται σε εικόνες γραπτού κειμένου, μπορεί επίσης να βασιστεί στα δεδομένα του σχετικά με το πώς οι άνθρωποι χρησιμοποιούν στυλό για να γράψουν, προκειμένου να τους βοηθήσει να αποκρυπτογραφήσουν αυτό που είναι γραμμένο (Barucci et al., ό.π., p. 14).

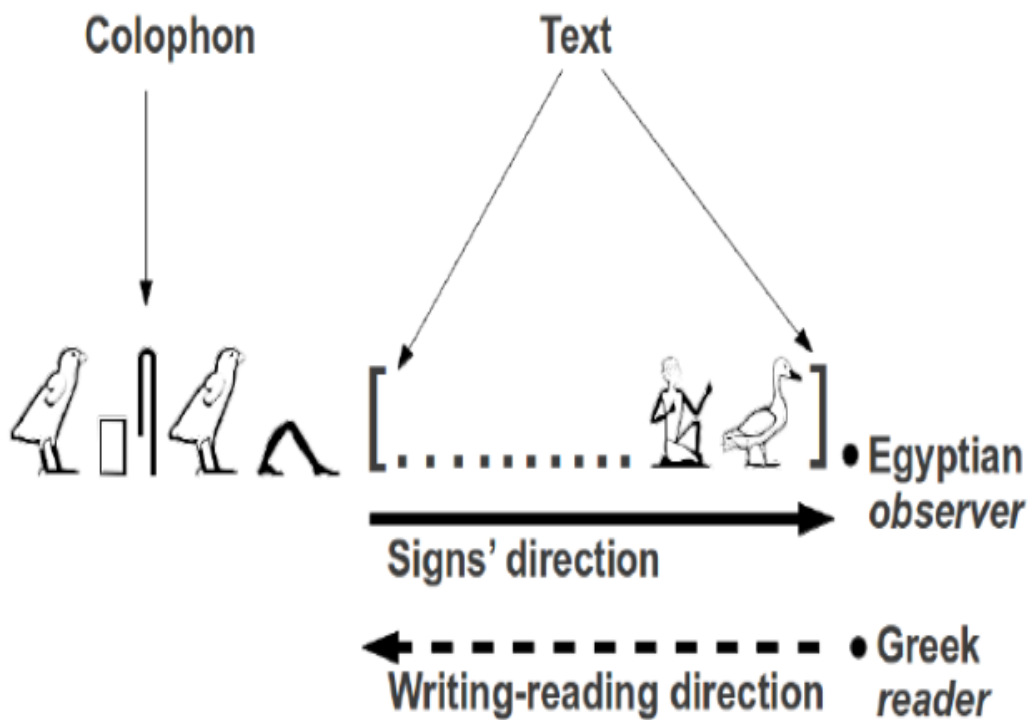


Εικόνα 11. Σχηματικό τεχνητό νευρωνικό δίκτυο για την αναγνώριση εικόνων γατών

Οι Barucci et al. (2016), επισημαίνουν η τεχνητή νοημοσύνη και οι εφαρμογές μηχανικής μάθησης εξαπλώνονται σε οποιονδήποτε τομέα της επιστήμης, από τη θεμελιώδη φυσική έως την επεξεργασία της φυσικής γλώσσας και την κλινική ιατρική, με αποτελέσματα τα οποία επηρεάζουν έντονα τη ζωή μας. Παρά τις ανησυχίες που σχετίζονται με τη χρήση τους, στην τεχνητή νοημοσύνη υπάρχει η δυνατότητα και η προοπτική όχι μόνο για την αυτοματοποίηση των ανθρώπινων εργασιών, αλλά και για τη βελτίωση της ανθρώπινης κατανόησης. Τομείς όπως η αρχαιολογία, η φιλολογία και οι ανθρωπιστικές επιστήμες αρχίζουν να διαπερνούν την τεχνητή νοημοσύνη, παρόλο που ο πραγματικός της ρόλος δεν έχει ακόμη κατανοηθεί πλήρως. Εκκινώντας από τα αποτελέσματα των εφαρμογών της τεχνητής νοημοσύνης και της μηχανικής μάθησης σε άλλα πεδία, όπου οι μέθοδοι που σχετίζονται με την τεχνητή νοημοσύνη και τη μηχανική μάθηση έχουν ήδη εδραιωθεί.

Σε άρθρο τους προσεγγίζουν το πρόβλημα της ταξινόμησης των αρχαίων αιγυπτιακών ιερογλυφικών. Όπως αναφέρουν, αρκετά παραδείγματα εφαρμογών των νέων τεχνολογιών στην ταξινόμηση ιδεογραμμάτων που ανήκουν σε αρχαίες ή μη χρησιμοποιούμενες γλώσσες μπορούν να βρεθούν στη βιβλιογραφία. Για παράδειγμα, το δίκτυο KuroNet, το οποίο βασίζεται σε μια αρχιτεκτονική Unet, σχεδιάζεται για να αναγνωρίσει τον παλιό ιαπωνικό τρόπο γραφής Kuzushiji. Οι γραμμικοί

αυτοκωδικοποιητές χρησιμοποιούνται για τον χαρακτηρισμό τοπικών περιοχών πολύπλοκων σχημάτων και έχουν εφαρμογή στη δημιουργία μιας συλλογής ιερογλυφικών του αρχαίου πολιτισμού των Μάγιας. Τα πλεονεκτήματα τέτοιων τεχνικών είναι πολλά και για την αιγυπτιακή αρχαιολογία, τόσο σε συγχρονικό όσο και σε διαχρονικό επίπεδο και σχετίζονται με τις εξελίξεις της παλαιογραφίας, την αναγνώριση παραλλαγών, τον υπολογισμό του λογογραφικού, συλλαβικού και αλφαβητικού ποσοστού του συστήματος της Ιερογλυφικής γραφής. Το πρόβλημα της ανάκτησης και ταξινόμησης της αρχαίας αιγυπτιακής γλώσσας έχει αντιμετωπιστεί με διαφορετικούς σκοπούς σε αρκετές εργασίες. Οι μέθοδοι υπολογιστικής όρασης χρησιμοποιούνται για τον εντοπισμό συμβόλων Ιερογλυφικής γραφής σε θραύσματα αιγυπτιακών πινακίδων, με στόχο να συμβάλουν σε ένα σύστημα πλοήγησης σε μουσεία. Ωστόσο, εξακολουθεί να υπάρχει έλλειψη εργαλείων, τα οποία να επιτρέπουν μία ημιαυτόματη προσέγγιση για την αποκρυπτογράφηση αρχαίων αιγυπτιακών κειμένων (Barucci et al., 2016).



Εικόνα 12. Οδηγίες σήμανσης και γραφής-ανάγνωσης στα αιγυπτιακά ιερογλυφικά

Τα ιερογλυφικά αντιπροσωπεύονται από ένα ευρύ φάσμα ιδεογραμμάτων, τα οποία μπορούν γενικά να αντιστοιχιστούν σε περίπου 26 κατηγορίες, και συνδυάζονται για να δώσουν λέξεις και ήχους. Γράφτηκαν με διαφορετικούς τρόπους, όπως μνημειακά ή γράμματα, σε διαφορετικές κατευθύνσεις (Εικ. 12), και σε διάφορα υλικά όπως πάπυρο, ξύλο και πέτρες. Σήμερα, ένας πολιτισμός που διαρκεί σχεδόν 5000 χρόνια έχει αφήσει μεγάλο αριθμό εγγράφων, τα οποία πρέπει ακόμη να αποκτηθούν, να μεταφραστούν και να ερμηνευτούν. Εδώ ακριβώς παίζει ρόλο η τεχνητή νοημοσύνη, υποστηρίζοντας την ταξινόμηση ιδεογραμμάτων και στη συνέχεια τη μετάφρασή τους (Barucci et al., 2016).

4.3.2 Προβλήματα της μηχανικής μάθησης στην προσπάθεια αποκρυπτογράφησης

Βαθιά Νευρωνικά Δίκτυα (Deep Neural Networks)

Τα **Βαθιά Νευρωνικά Δίκτυα (Deep Neural Networks)** είναι εξαιρετικά υψηλής απόδοσης αλγόριθμοι για την ανακάλυψη μοτίβων σε δεδομένα. Ωστόσο, μπορούν να επισημανθούν ορισμένοι περιορισμοί κατά την εφαρμογή τους. Ένα πρώτο ζήτημα είναι ότι η εκπαίδευση (*training*) πρέπει να εκτελείται σε σημαντικό αριθμό δειγμάτων, ειδικά εάν ο στόχος είναι η δημιουργία ενός μοντέλου με δυνατότητες γενίκευσης. Στο συγκεκριμένο μοντέλο των Guidi et al. το σύνολο δεδομένων που χρησιμοποιήθηκε για την εκπαίδευση του μοντέλου Συνελκτικών Νευρωνικών Δικτύων (*CNN*) περιείχε έναν μέτρια μεγάλο, αλλά όχι τεράστιο, αριθμό εικόνων και χειροκίνητα τμηματοποιημένων γλύφων. Έτσι, ο κύριος περιορισμός στα ληφθέντα αποτελέσματα θα μπορούσε να σχετίζεται με τον ανεπαρκή αριθμό δειγμάτων (Guidi et al., 2016).

Όπως σε όλα τα αρχαιολογικά ευρήματα, οι ζημιές είναι συχνές, με συνέπεια τα σύμβολα να είναι εν μέρει αλλοιωμένα. Αυτά τα εφέ είναι ορατά στην Εικόνα 13, όπου διακρίνεται το αποτέλεσμα της κατάτμησης ενός παπύρου.



Εικόνα 13. Παράδειγμα αποτελεσμάτων σοβαρής τμηματοποίησης (στον πάπυρο *Cyregus*, από την ηλεκτρονική συλλογή του Αιγυπτιακού Μουσείου του Τορίνο, Βιβλίο των νεκρών του *Nebheret*, γραφέας της νεκρόπολης, αριθμός καταλόγου 1768). Στην αριστερή πλευρά απεικονίζεται το πρωτότυπο έγγραφο, ενώ στη δεξιά το τμηματοποιημένο.

Γλυφοί, στους οποίους έχει διατηρηθεί το μελάνι και παρουσιάζουν καλή αντίθεση (contrast), φαίνεται να παράγουν ένα καλό αποτέλεσμα τμηματοποίησης, όπως διακρίνεται στην μπλε μάσκα επάνω αριστερά στην Εικόνα 13, ενώ οι γλυφοί με χαμηλή αντίθεση ή εμφανείς γρατσουνιές είναι κακώς ή μερικώς τμηματοποιημένοι. Σε ορισμένες περιπτώσεις, η διαδικασία τμηματοποίησης αποτυγχάνει εντελώς, με αποτέλεσμα διαφορετικά στιγμιότυπα να συνδέονται εσφαλμένα ή ακόμη τα τεχνουργήματα να ταξινομούνται ως γύφοι, όπως διακρίνεται στην κόκκινη μάσκα στην Εικόνα 13 (Guidi et al., 2016).

Συνελκτικά Νευρωνικά Δίκτυα - Convolutional Neural Networks (CNN)

Όπως αναφέρουν ο Guidi et al., η εξαιρετικά περίπλοκη προσέγγιση, η οποία αναφέρθηκε, αποτελεί ένα πολύ ενδιαφέρον τεστ για τα CNN, τα οποία είναι σε θέση να «μάθουν» από δεδομένα και να ενσωματώσουν σε ένα δίκτυο τη γνώση του «ειδικού» χωρίς να επιχειρήσουν να κατασκευάσουν ένα μοντέλο, το οποίο θα είναι πολύ δύσκολο να εκτιμηθεί. Ταυτόχρονα, τα μη τετριμμένα προβλήματα πρέπει να αντιμετωπίζονται όταν επιδιώκεται μια λύση Βαθιάς Μάθησης (*Deep Learning*): τα κύρια ζητήματα σχετίζονται με τη σπανιότητα των δεδομένων. Το πρόβλημα της τμηματοποίησης των πολλαπλών περιπτώσεων σε μια εικόνα (*multiple instances segmentation in an image*) με τη χρήση προσεγγίσεων βαθιάς μάθησης έχει μελετηθεί εκτενώς τα τελευταία χρόνια. Για το συγκεκριμένο έργο της τμηματοποίησης εικόνας, έχουν προταθεί πολλές αρχιτεκτονικές CNN, όπως το δημοφιλές U-Net, αφιερωμένο κυρίως στη σημασιολογική τμηματοποίηση, το Fast R-CNN και το Faster R-CNN. Η μάσκα R-CNN, μια επέκταση του Faster R-CNN, είναι κατάλληλη για τμηματοποίηση περιπτώσεων. Η εκπαίδευση στο εργαλείο Mask R-CNN χρειάζεται τη διαθεσιμότητα ενός κατάλληλου συνόλου δεδομένων, το οποίο θα περιέχει έναν αριθμό διαφορετικών αιγυπτιακών ιερογλυφικών μαζί με μια μάσκα τμηματοποίησης (*segmentation mask*), η οποία σχετίζεται με καθένα από αυτά. Ένας αριθμός εικόνων είναι διαθέσιμος στο διαδίκτυο, για παράδειγμα στα αποθετήρια μουσείων, όπως η συλλογή του Αιγυπτιακού Μουσείου στο Τορίνο ή στο Μουσείο The Met στη Νέα Υόρκη, αλλά, δυστυχώς, όλες αυτές οι εικόνες δεν είναι τμηματοποιημένες. Επιπλέον, οι περισσότερες από τις εικόνες δεν είναι ακόμη έτοιμες να χρησιμοποιηθούν για εκπαίδευση, καθώς έχουν διαφορετικές διαστάσεις, αναλύσεις ή όψεις. Παρομοίως, σε πολλά προβλήματα μηχανικής μάθησης, η κατασκευή ενός συνόλου δεδομένων για εκπαιδευτικούς σκοπούς χρειάζεται ακριβή επιλογή και προετοιμασία των εικόνων.

Πιο συγκεκριμένα, αναμένονται καλύτερα αποτελέσματα εάν οι εικόνες περιέχουν σύμβολα, τα οποία από άποψη διάστασης είναι όσο το δυνατόν πιο ομοιόμορφα. Συχνά, οι εικόνες περιέχουν ιερογλυφικά σύμβολα και σχέδια, έτσι ώστε, παρόλο που η εφαρμογή Detectron2 λειτουργεί με εικόνες εισόδου αυθαίρετου μεγέθους, πραγματοποιήθηκε περικοπή προσθηκών από μεγαλύτερες εικόνες για την εξαγωγή περιοχών «κειμένου» (Guidi et al., 2016).

Αναφορικά με τα προβλήματα μηχανικής μάθησης, οι Barucci et al. προτείνουν ότι ένα επισημασμένο σύνολο δεδομένων πρέπει να χωριστεί σε υποσύνολα εκπαίδευσης, επικύρωσης και δοκιμής. Στα πειράματά που διεξήγαγαν η κατανομή ολόκληρου του συνόλου δεδομένων σε τέτοια υποσύνολα ήταν 70%, 15% και 15%, αντίστοιχα. Προκειμένου να περιοριστεί το ζήτημα των μη ισορροπημένων δεδομένων, εφαρμόστηκε αύξηση δεδομένων στα δεδομένα εκπαίδευσης. Η επαύξηση χρησιμοποιείται ευρέως σε προσεγγίσεις βαθιάς μάθησης για την αύξηση του μεγέθους του σετ εκπαίδευσης. Συνήθως, βοηθά στην αύξηση της απόδοσης των CNN και στη μείωση του προβλήματος υπερπροσαρμογής (*overfitting problem*). Η επαύξηση συνίσταται στη δημιουργία νέων αντικειμένων από τα διαθέσιμα που θα χρησιμοποιηθούν για εκπαίδευση. Συχνά χρησιμοποιούνται μετασχηματισμοί, όπως η μετάφραση, η περιστροφή και η μεγέθυνση και συμβάλλουν στο να κάνουν το δίκτυο αμετάβλητο σε διαφορετικούς προσανατολισμούς και κλίμακες (Barucci et al., 2016, p. 4).

Όπως εξηγούν οι Guidi et al., χρησιμοποίησαν διαφορετικούς πόρους προκειμένου να δημιουργήσουν ένα σύνολο δεδομένων εικόνων, από τα οποία μέρος των εικόνων προέρχεται από το σύνολο δεδομένων που χρησιμοποιεί ο συγγραφέας του "GlyphReader", Franken M. Οι εικόνες από αυτό το σύνολο δεδομένων αντιπροσωπεύουν τις στήλες που περιέχονται στην Αιγυπτιακή Πυραμίδα του Unas και κάθε εικόνα περιέχει πολλά ιερογλυφικά σύμβολα. Ο αριθμός των εικόνων είναι περιορισμένος (δέκα) και μοιάζουν αρκετά μεταξύ τους, δηλαδή προέρχονται από τις ίδιες στήλες, χωρίς ωστόσο να χαρακτηρίζονται από ομοιογένεια. Το στοιχείο αυτό είναι απαραίτητο, προκειμένου να αποκτήσει το δίκτυο τη δυνατότητα να «μάθει» τα γενικά χαρακτηριστικά τα οποία είναι σημαντικά για την τμηματοποίηση. Ως εκ τούτου, το σύνολο δεδομένων επεκτάθηκε με την προσθήκη εικόνων, οι οποίες αντιπροσωπεύουν διαφορετικά στυλ γραφής και είναι διαθέσιμα χάρη στους διαδικτυακούς πόρους που αναφέρθηκαν πιο πάνω. Το τελικό σύνολο δεδομένων

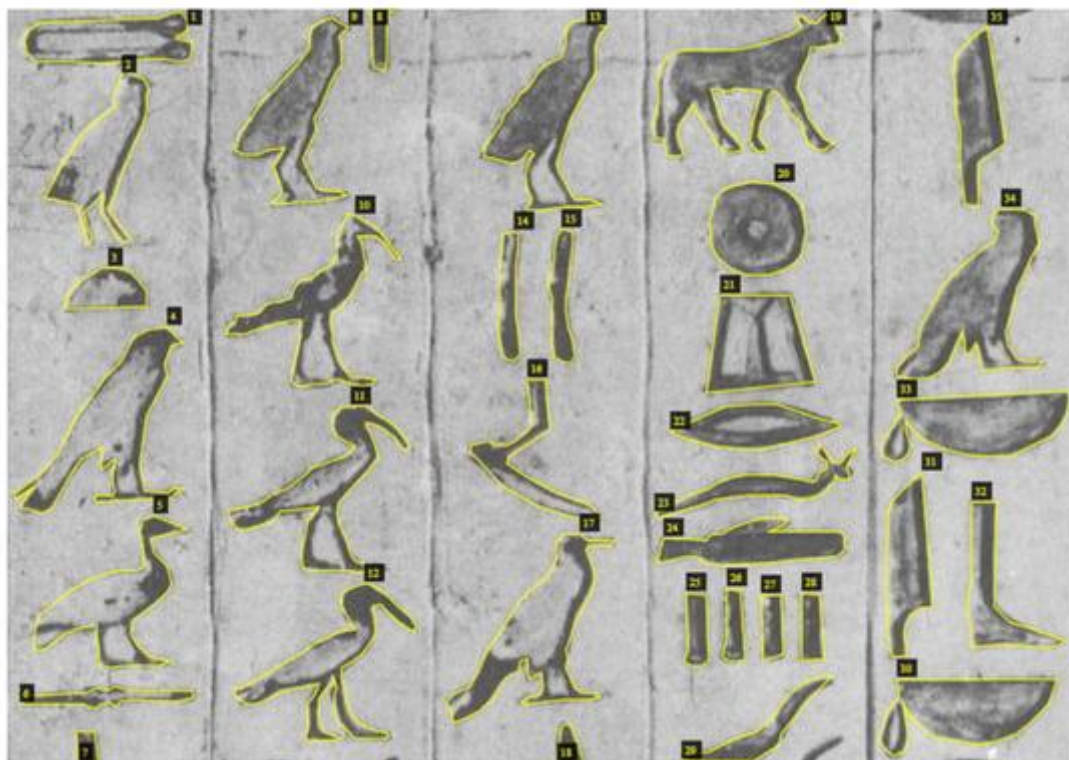
αποτελείται από 101 εικόνες, καθεμία από τις οποίες περιέχει πολλαπλούς γλυφούς. Το σύνολο των δεδομένων χωρίστηκε σε εκπαίδευση (59 εικόνες), επικύρωση (14 εικόνες) και σετ δοκιμής (28 εικόνες) Μερικά παραδείγματα φαίνονται στην Εικόνα 14 (Guidi et al., 2016).



Εικόνα 14: Παραδείγματα εικόνων σε πάπυρο (στο επάνω μέρος) και ανάγλυφο (στο κάτω μέρος), οι οποίες ανήκουν στο σύνολο δεδομένων, στο οποίο αναφέρονται οι Guidi et al.

Έπειτα από την επιλογή της εικόνας, όλες οι παρουσίες στα σύνολα εκπαίδευσης και επικύρωσης τμηματοποιήθηκαν χειροκίνητα και επισημάνθηκαν χρησιμοποιώντας το εργαλείο VGG (Image Annotator, στο εξής: VIA), προκειμένου να δημιουργηθεί η «αληθινή» μάσκα τμηματοποίησης όλων των ιερογλυφικών που περιέχονται στις εικόνες. Το VIA επιτρέπει στις εικόνες να σχολιάζονται με πλαίσια οριοθέτησης, κύκλους ή, όπως στην περίπτωση αυτή, με πολυγωνικές μάσκες. Οι σχολιασμοί αποθηκεύτηκαν σε ένα αρχείο json, το οποίο μπορεί να διαβαστεί από το πλαίσιο Detectron2. Στο τέλος της διαδικασίας μη αυτόματης τμηματοποίησης, οι

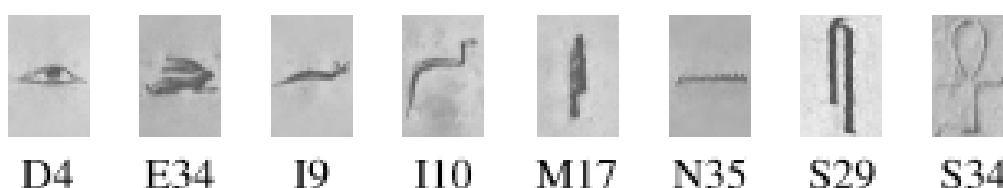
συγκεντρωμένες περιπτώσεις ιερογλυφικών συμβόλων και σχετικών μασκών για το σετ εκπαίδευσης ήταν 2.198 και εκείνες για το σύνολο επικύρωσης ήταν 564. Ένα παράδειγμα του αποτελέσματος αυτής της διαδικασίας μη αυτόματης τμηματοποίησης φαίνεται στην Εικόνα 15 (Guidi et al., 2016).



Εικόνα 15: Παραδείγματα χειροκίνητης τμηματοποίησης των περιπτώσεων ιερογλυφικών σε μια εικόνα χρησιμοποιώντας ένα VGG-Image Annotator.

Δεδομένου ότι στην προσέγγιση των Guidi et al. ενδιέφερε μόνο η εργασία τμηματοποίησης, κάθε σύμβολο σε μια εικόνα χαρακτηρίστηκε ότι ανήκει στη γενική κατηγορία των γλυφών, έτσι ώστε, σε επίπεδο pixel, να παρέχεται η δυνατότητα μίας εργασίας δυαδικής ταξινόμησης μεταξύ φόντου και γλυφού. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα ιερογλυφικά αντιπροσωπεύονται από περισσότερα από 700 διαφορετικά ιδεογράμματα. Η διαδικασία τμηματοποίησης επωφελείται από τη χρήση ενός συνόλου δεδομένων, το οποίο αποτελείται από τις περισσότερες κατηγορίες ιερογλυφικών. Στην προσέγγιση των Guidi et al. μπορεί να παρατηρηθεί ότι οι κατηγορίες των γλυφών δεν αναπαρίστανται εξαντλητικά και, σε ορισμένες περιπτώσεις, υπάρχουν μόνο λίγες αναπαραστάσεις ανά κατηγορία. Αυτό το γεγονός μπορεί να ληφθεί ως ένας προφανής περιορισμός στην ικανότητα γενίκευσης του μοντέλου (Guidi et al., 2016).

Οι Barucci et al. σε μελέτη που πραγματοποίησαν χρησιμοποίησαν δύο διαφορετικά σύνολα δεδομένων εικόνων, τα οποία για λόγους συντομίας αναφέρουν ως D1 και D2. Το πρώτο είναι διαθέσιμο δημόσια και περιέχει κείμενα αιγυπτιακών ιερογλυφικών τα οποία βρέθηκαν στην Πυραμίδα του Unas. Το δεύτερο περιέχει εικόνες που επιλέχθηκαν και επισημαίνονται από τους συγγραφείς, καθώς αντιπροσωπεύουν ιερογλυφικά σε διαφορετικά κείμενα. Τα ιερογλυφικά που αντιπροσωπεύονται στις εικόνες επισημαίνονται σύμφωνα με τη λίστα με τα σημάδια Gardiner, δηλαδή με έναν αλφαβητικό χαρακτήρα ακολουθούμενο από έναν αριθμό (Εικ. 16).



Εικόνα 16. Παραδείγματα εικόνων, οι οποίες έχουν επισημανθεί σύμφωνα με τη λίστα πινακίδων Gardiner.

Οι Barucci et al. διερεύνησαν την ικανότητα των τεχνικών βαθιάς μάθησης για την αντιμετώπιση του προβλήματος της ταξινόμησης των αρχαίων αιγυπτιακών ιερογλυφικών. Για το σκοπό αυτό, τα τυπικά δίκτυα, που έχουν ήδη προταθεί για την αντιμετώπιση εργασιών αναγνώρισης εικόνων, έχουν δοκιμαστεί και ένα νέο, το Glyphnet, έχει αναπτυχθεί και προσαρμοστεί για τον συγκεκριμένο σκοπό. Δύο σύνολα δεδομένων εικόνων με επισημασμένα ιερογλυφικά χρησιμοποιήθηκαν για την εκπαίδευση και τη δοκιμή των δικτύων. Οι επιδόσεις μετρήθηκαν χρησιμοποιώντας τυπικές μετρήσεις, δίνοντας σημαντικά αποτελέσματα για όλα τα δίκτυα που δοκιμάστηκαν, με το προτεινόμενο Glyphnet να ξεπερνά τα άλλα, όσον αφορά την απόδοση, καθώς και την ευκολία εκπαίδευσης και υπολογιστικής εξοικονόμησης (Barucci et al., 2016, p. 3).

Σύνοψη

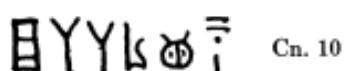
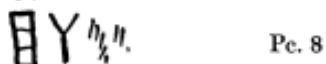
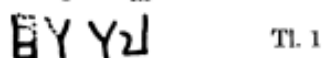
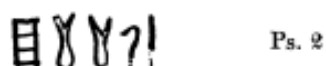
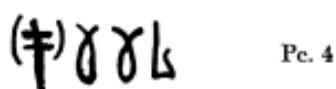
Η αποκρυπτογράφηση της αιγυπτιακής Ιερογλυφικής γραφής είχε προσελκύσει το ενδιαφέρον των μελετητών για περίπου δύο αιώνες, έως ότου ο Champollion μέσω μιας διαδικασίας αφαίρεσης, μπόρεσε να επεξεργαστεί μεγάλο μέρος του λεξιλογίου και της γραμματικής της αιγυπτιακής Ιερογλυφικής και να αποκρυπτογραφήσει το κείμενο της στήλης της Ροζέτας.

Η γραφή αυτή προσέλκυσε και το ενδιαφέρον όσων ασχολούνται με τις αρχιτεκτονικές νευρωνικών δικτύων, οι οποίες έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως για την εκμάθηση ενσωματώσεων σε επίπεδο χαρακτήρων, με τις εφαρμογές μεταξύ άλλων, μηχανικής μετάφρασης. Οι μέθοδοι αυτές αντιπροσωπεύουν μια πιθανή εναλλακτική λύση και έχουν ήδη χρησιμοποιηθεί για την αποκρυπτογράφηση γραφών. Ωστόσο, το μειονέκτημα των νευρωνικών δικτύων είναι ότι απαιτούν τεράστιο όγκο δεδομένων εκπαίδευσης και εξειδικευμένο υλικό (Lauriola et al., 2020, p. 638).

5. Η Γραμμική Α'

5.1 Η δομή της Γραμμικής γραφής Α

Σύμφωνα με την Kober, οι επιγραφές τη Γραμμικής γραφής Α χωρίζονται σε δύο γενικές κατηγορίες. Τις επιγραφές θρησκευτικού χαρακτήρα και τις επιγραφές κοσμικού χαρακτήρα. Η Γραμμική γραφή Α είναι η μόνη από τις μινωικές γραφές που απαντάται τακτικά σε αντικείμενα τα οποία πρέπει να σχετίζονταν με θρησκευτική λειτουργία, όπως τα τραπέζια σπονδής και οι αναθηματικές κουτάλες. Επιπλέον, σε αρκετές περιπτώσεις λέξεις που εμφανίζονται σε ένα από αυτά τα αντικείμενα φαίνεται



Εικόνα 17. Μία εικονογραφική επιγραφή Γραμμικής γραφής Α και πέντε όμοιες λέξεις θρησκευτικού χαρακτήρα.

να επανεμφανίζονται, μερικές φορές με ελαφρώς διαφορετική μορφή και σε άλλα (Εικ. 17). Τα σύμβολα τα οποία χρησιμοποιούνται σε αυτές τις επιγραφές είναι, με ελάχιστες εξαιρέσεις, ίδια με εκείνα τα οποία βρίσκονται σε πήλινες πινακίδες κοσμικού χαρακτήρα, ωστόσο, οι λέξεις έχουν διαφορετική σημασία. Αυτό, σύμφωνα με την Kober, είναι αναμενόμενο, καθώς οι όροι λατρείας μπορεί να διαφέρουν ριζικά από εκείνους οι οποίοι χρησιμοποιούνται στις καθημερινές συναλλαγές. Επιγραφές της Γραμμικής Α έχουν βρεθεί σε πολλές τοποθεσίες και σε μία ποικιλία αντικειμένων, αλλά ο μεγαλύτερος αριθμός τους προέρχεται από την Αγία Τριάδα, όπου έχουν καταγραφεί πάνω από 150 πήλινες πινακίδες και 30 δίσκοι, καθώς επίσης βρέθηκαν και πολυάριθμες σφραγίδες σε πινακίδες Α. Οι πήλινες πινακίδες ποικίλλουν σε

μέγεθος και διαστάσεις, αλλά όλες είναι πινακίδες «σελίδας» και συχνά είναι οπισθογραφικές. Σε αντίθεση με τις πινακίδες P, όπου η γραμμή γραφής είναι παράλληλη με τον μακρύ άξονα, η γραφή στις πινακίδες A είναι παράλληλη με τον βραχύ άξονα. Η κατεύθυνση γραφής είναι από αριστερά προς τα δεξιά. Σύμφωνα με την Kober, αυτές οι πινακίδες αφήνουν έντονα την εντύπωση ότι οι γραφείς δεν ήταν ειδικοί στην τέχνη της γραφής (Kober, 1948, pp. 88-89).

Τα σύμβολα των πινακίδων είναι συχνά παραμορφωμένα. Οι πινακίδες σπάνια καθορίζονται με κατευθυντήριες γραμμές και είναι συχνά δύσκολο να διακρίνει κανείς σε ποια γραμμή ανήκουν ορισμένα από τα σύμβολα ή τις λέξεις, ώστε, προκειμένου να μελετηθούν, να πρέπει να ξαναγραφτούν (Εικ. 18). Ο γενικός κανόνας στη γραφή της Γραμμικής A είναι οι λέξεις να ξεκινούν από τη μια γραμμή και να τελειώνουν στην επόμενη, ενώ οι ζυγοί αριθμοί να χωρίζονται μεταξύ των γραμμών. Ωστόσο, είναι δύσκολο να συμπεράνει κανείς εάν αυτή η έλλειψη δεξιοτήτων είναι χαρακτηριστική της Γραμμικής A ή αποτελεί ιδιομορφία των πινακίδων της Αγίας Τριάδας. Σε γενικές γραμμές όμως, οι πινακίδες οι οποίες έχουν βρεθεί σε άλλες τοποθεσίες προξενούν καλύτερη εντύπωση (Kober, 1948, pp. 89-90).



Εικόνα 18. Γραμμική A πήλινη πινακίδα HT 104 (Ευγενική προσφορά του Αρχαιολογικού Μουσείου Ηρακλείου και του Ελληνικού Υπουργείου Πολιτισμού και Αθλητισμού, Ταμείο Αρχαιολογικών Πόρων).

Το αριθμητικό σύστημα στη Γραμμική Α

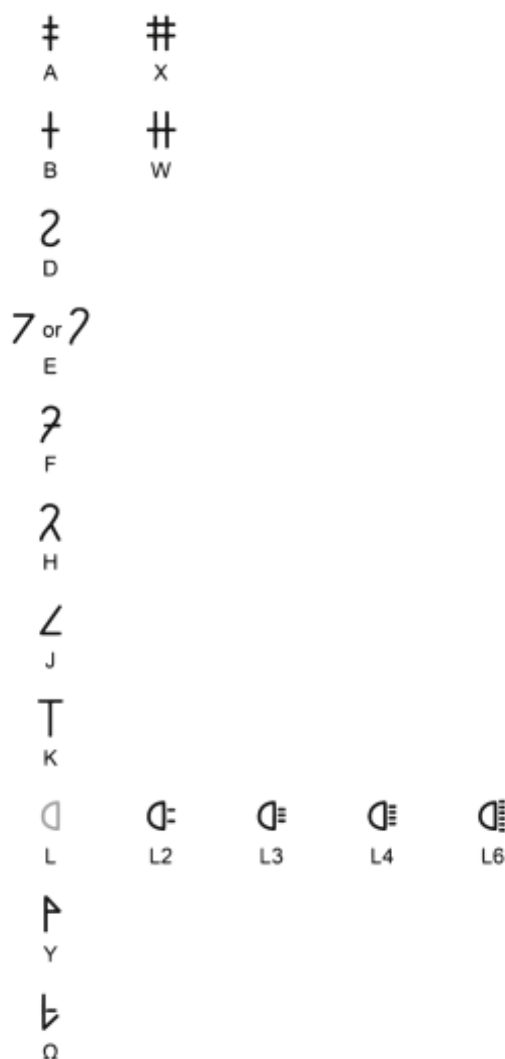
Όπως αναφέρει η Kober, η Γραμμική γραφή Α βασίζεται στο δεκαδικό σύστημα αρίθμησης. Οι μονάδες αντιπροσωπεύονται με μικρές κάθετες γραμμές, οι δεκάδες με μικρές οριζόντιες διαδρομές και οι εκατοντάδες με κύκλους. Πολλές πινακίδες περιέχουν μια λίστα στοιχείων, το καθένα ακολουθούμενο από έναν αριθμό καταλήγοντας σε ένα άθροισμα. Αρκετές από αυτές τις προσθήκες είναι πλήρεις και επιβεβαιώνουν όσα έχουν ειπωθεί για το αριθμητικό σύστημα. Η λέξη που προηγείται τακτικά του αθροίσματος γράφεται *ιπτάμενο πουλί*, *σταυρός* και πρέπει να σημαίνει *άθροισμα* ή *σύνολο* (Εικ. 19). Είναι η μόνη λέξη αυτής της κατηγορίας που η σημασία της είναι πρακτικά βέβαια (Kober, 1948, p. 90).

	Γραμμική Α	
	Γραμμική Β	<i>άθροισμα σύνολο</i>
	Πύλος	
	Γραμμική Β	<i>γυναίκα με αγόρι και κορίτσι</i>
	Πύλος	

Εικόνα 19. Μινωικές λέξεις με εύλογη σημασία

Όσον αφορά τις αριθμητικές σημειώσεις, η Γραμμική Α χρησιμοποιεί ένα δεκαδικό σύστημα, με σημεία τα οποία αντιπροσωπεύουν τέσσερα αριθμητικά μεγέθη: οι μονάδες γράφονται με κάθετες γραμμές, οι δεκάδες με οριζόντιες ή τελείες, οι εκατοντάδες με κύκλους και οι χιλιάδες με κύκλους που περιβάλλονται από γραμμές. Το σύστημα είναι αθροιστικό και οι αριθμοί γράφονται από αριστερά προς τα δεξιά με τις δυνάμεις σε φθίνουσα σειρά. Έτσι, ο αριθμός 6.352 γραφόταν με έξι σημεία τη αριθμητικής τάξης μεγέθους των χιλιάδων τρία των εκατοντάδων, πέντε των δεκάδων και δύο της μονάδας. Η Γραμμική Α περιλαμβάνει επίσης ένα σύνολο 17 πινακίδων οι οποίες αντιπροσωπεύουν κλασματικούς αριθμούς (Εικ.20). Μεταγράφονται με κεφαλαία γράμματα: Α, Β, D, E, F, H, J, K, L, L2, L3, L4, L6, W, X, Y και Ω. Τα

σύμβολα L2, L3, L4 και L6 έχουν αριθμούς επειδή αποτελούνται από ένα βασικό ημικυκλικό ή τριγωνικό σύμβολο, το οποίο ονομάζεται L, στο οποίο προστίθενται δύο, τρία, τέσσερα και έξι οριζόντια σχήματα ή τελείες. Ωστόσο, η κατάσταση του βασικού L ως αυτοδύναμου συμβόλου είναι αβέβαιη, αφού εμφανίζεται μόνο ενωμένο με το L2 (ZA 11a.4) και σε άλλες αμφίβολες περιπτώσεις. Το σχήμα δεν θεωρήθηκε ως ανεξάρτητο σύμβολο, αλλά διακρίθηκε στο πρότυπο Γραμμικό σώμα A και μεταγενέστερες μελέτες το αντιμετώπισαν ως μεταβλητή (Corazza, et al., 2020, p. 1).



Εικόνα 20. Σύμβολα γραμμικού κλάσματος A και η τυπική μεταγραφή τους.

Προκειμένου να ερμηνευθούν οι τιμές των κλασματικών αριθμών, κρίθηκε σκόπιμο να επιλεγεί ένα συνεκτικό επιγραφικό δείγμα. Πρέπει να σημειωθεί ότι τα στοιχεία τα οποία είναι διαθέσιμα δεν είναι εξίσου συνεπή για όλες τις τοποθεσίες και περιόδους

της Μινωικής εποχής (Μεσομινωική ΙΙ, Μεσομινωική ΙΙΙ και Υστερομινωική Ι), και, ως εκ τούτου, δεν είναι δυνατή η διεξαγωγή μελέτης περιφερειακής και διαχρονικής ανάπτυξης. Για τον λόγο αυτό οι Corazza, et al εστίασαν σε ένα συγκεκριμένο σύνολο υλικού Γραμμικής Α, το οποίο αναπαρίσταται πιο ουσιαστικά και χρονολογείται κατά την Υστερομινωική Ι περίοδο (περίπου 1600 - 1450 π.Χ.) και τοπικά είναι κατανομημένη στα δυτικά στην περιοχή των Χανίων, κεντρικά στις περιοχές της Κνωσού της Τυλίσου και της Αγίας Τριάδας, ενώ στα ανατολικά τμήματα του νησιού στις περιοχές της Πέτρας και της Ζάκρου (Corazza, et al., 2020, pp. 1-2).

Τα σύμβολα των κλασμάτων πιστοποιούνται κυρίως σε αρχαία εμπορευμάτων, όπως σιτηρά, σύκα, κρασί, τα οποία εκφράζονται με τη χρήση λογογραμμάτων (*logograms*), τα οποία αναφέρονται σε μονάδες μέτρησης. Τα ποσά τους αντιπροσωπεύονται από οριζόντιες ή κατακόρυφες ακολουθίες συμβόλων κλασμάτων, τα οποία τοποθετούνται αμέσως μετά το εμπόρευμα, εάν η τιμή τους είναι μικρότερη από την ακέραια μονάδα, και μετά από πρόσημα για ακέραιους αριθμούς, εάν η τιμή τους είναι μεγαλύτερη από την ακέραια μονάδα. Αυτό δείχνει ότι η σημείωση των κλασμάτων ήταν αθροιστική και με φθίνουσα σειρά, όπως οι ακέραιοι αριθμοί, με τις μεγαλύτερες τιμές γραμμένες στα αριστερά ή πάνω από τη μικρότερη. Κατά καιρούς, τα κλάσματα εμφανίζονται επίσης συνδεδεμένα με λογόγραμμα εμπορευμάτων, πιθανώς δηλώνοντας γνήσια κλάσματα (Πίνακες 3 και 4) (Corazza, et al., 2020, p. 2).

Single (also next to fracture) in numeral phrases		Combination in numeral phrases		Logogram + single		Logogram + combination	
J	101	J E	24	*303+D	20	GRA + K + L2	3
E	52	D D	14	*303+E	12	GRA + L3+L3	1
B	21	B B	5	GRA + F	4		
K	21	E F	5	*412VAS + E	3		
D	19	K L2	5	GRA + B	2		
H	15	E L2	3	*180+B	2		
A	13	J B	3	*412VAS + F	2		
F	9	J E L2	3	GRA + E	1		
L2	6	J L2	2	GRA + H	1		
W	4	A A	1	GRA + L2	1		
X	2	D D D D	1	*180+SA + B	1		
L3	2	E B	1	*303+K	1		
Y	1	E L4	1	*405+Ω	1		
L	0	E L6	1	*414VAS + F	1		
L4	0	F K	1	*417VAS + L2	1		
L6	0	H H H	1	*418VAS + L2	1		
Ω	0	J A	1				
		J E B	1				
		J F	1				
		J H	1				
		J K	1				
		L L2	1				
		L2 L4	1				
		Y Y Y	1				

Πίνακας 3. Αριθμός μαρτυριών γραμμικών συμβόλων κλάσματος *A*, ως μέρος συνδυασμών, και σε απολινώσεις με λογογράμματα, με βάση το πρότυπο σώμα και τις επιγραφές που δημοσιεύθηκαν αργότερα. Οι αβέβαιες μετρήσεις εξαιρούνται από αυτόν τον πίνακα, ο οποίος περιλαμβάνει βεβαιώσεις από αμφίβολες επιγραφές Γραμμικής *A* (*180+B και *180+SA + B από το tablet MA 4 και HHH από το CHIC #068.r.A) που δεν χρησιμοποιήθηκαν στην Προσομοίωση 2 (βλέπε Ενότητα 3). Ο συνδυασμός *A A* ακολουθεί την ανάγνωση του δισκίου KH 86.2

Sign	J	E	D	B	K	L2	F	H	A
Total attestations	137	105	68	36	32	26	23	19	15
Sign	W	Y	L3	L4	L6	X	L	Ω	
Total attestations	4	4	3	2	2	2	1	1	

Πίνακας 4. Συνολικός αριθμός μαρτυριών γραμμικών συμβόλων κλάσματος Γραμμικής γραφής *A*

5.2 Προσπάθειες αποκρυπτογράφησης της Γραμμικής γραφής A

Η Κρήτη υπήρξε η γενέτειρα αρκετών αρχαίων γραφών, οι οποίες κατηγοριοποιήθηκαν για πρώτη φορά από τον Arthur Evans, τον εξερευνητή του Παλατιού της Κνωσού, ως Κρητική Ιερογλυφική γραφή, Γραμμική γραφή A και Γραμμική γραφή B. Η Γραμμική A, η οποία χρονολογείται περίπου στο 2500 π.Χ., ήταν η κύρια γραφή η οποία χρησιμοποιήθηκε στα μινωικά ανάκτορα της αρχαίας Κρήτης. Η Κρητική Ιερογλυφική γραφή, η οποία μπορεί να προηγείται της Γραμμικής A, χρησιμοποιήθηκε για αιώνες ταυτόχρονα με τη Γραμμική A. Η Γραμμική A αντικαταστάθηκε γύρω στο 1450 π.Χ. από τη Γραμμική B, η οποία χρησιμοποιήθηκε στη Μυκηναϊκή Ελλάδα και είναι η παλαιότερη γνωστή ελληνική γραφή. Όπως αναφέρεται από τον Chadwick, παρά τις δεκαετίες προσπάθειες του Evans να αποκρυπτογραφήσει τη Γραμμική B, παρέμεινε ένα μυστήριο μέχρι το 1952 όταν ο Michael Ventris αποκρυπτογράφησε τη Γραμμική B και φάνηκε ότι πρόκειται για μια αρχαϊκή εκδοχή της ελληνικής. Ωστόσο, η Κρητική Ιερογλυφική και η Γραμμική A δεν έχουν ακόμη αποκρυπτογραφηθεί (Revesz, 2016, p. 67).

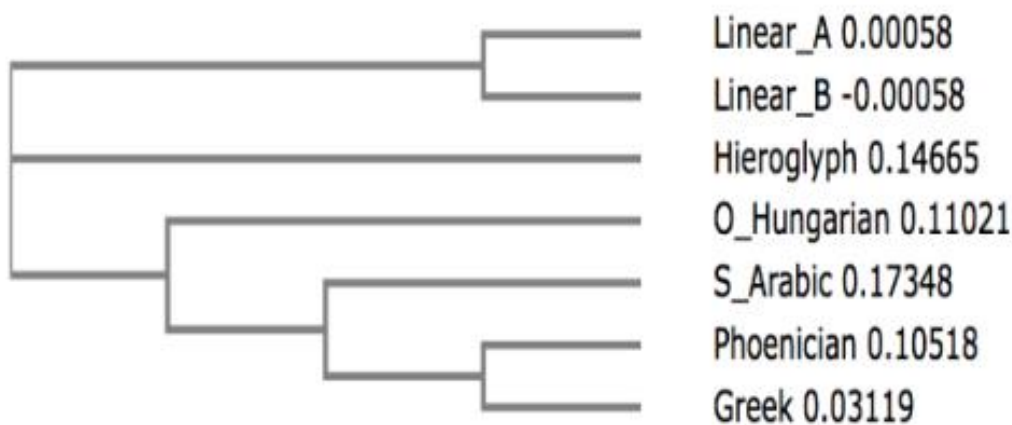
5.2.1 Υπολογιστική Αναγνώριση Προτύπων στη Γραμμική γραφή A

Στην περίπτωση των μη αποκρυπτογραφημένων γλωσσών, όπως η Γραμμική A, πολλοί ερευνητές με στόχο την αποκωδικοποίησή τους στράφηκαν σε νέες υπολογιστικές τεχνικές, όπως η μηχανική μάθηση και η επεξεργασία της φυσικής γλώσσας. Οι Jajwalya et al. εκφράζουν την άποψη ότι, ακόμη και αν δεν υπάρχει αποκρυπτογράφηση, στατιστικά και πληροφοριακά μοτίβα, τα οποία προέκυψαν από την προσέγγιση της μελέτης από την προοπτική της επιστήμης δεδομένων και της θεωρίας της πληροφορίας, θα συνέβαλαν στην καλύτερη κατανόηση της καθολικότητας της ανθρώπινης γλώσσας, τόσο της αρχαίας όσο και της σύγχρονης. Από την άποψη της επιστήμης των δεδομένων (*data science*), οι γλώσσες είναι αποθήκες πληροφοριών, οι οποίες, επιπλέον της σημασίας που τους αποδίδουμε από την ανθρώπινη-πολιτισμική προοπτική έχουν και ποσοτική αξία. Οι μη αποκρυπτογραφημένες γλώσσες αντιπροσωπεύουν έναν τύπο α-γνωστικών δεδομένων, τα οποία θα μπορούσαν να βοηθήσουν στον σχεδιασμό καλύτερων, αμερόληπτων αλγόριθμων (*unbiased algorithms*), ιδιαίτερα στις περιπτώσεις των μεθόδων επεξεργασίας μίας φυσικής γλώσσας. Εκκινώντας από την παραπάνω συλλογιστική προσέγγιση, οι Jajwalya et al θέτουν ως στόχο την εξαγωγή σημαντικών

αναδυόμενων μοτίβων λεξιλογίου από μια ανεξάρτητη πρωτογενή πηγή, τη Γραμμική γραφή Α, σε μια προσπάθεια του εντοπισμού, της προσομοίωσης και της μελέτης της προέλευσης και της εξέλιξης των γλωσσικών οικογενειών μέσω της υπολογιστικής μεθοδολογίας (Jajwalya et al., 2021, p. 1).

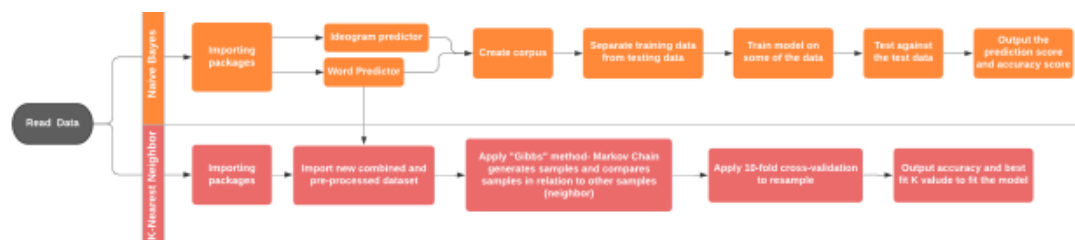
Η αποκρυπτογράφηση της Γραμμικής Α, αποτελεί μια συνεχή προσπάθεια δεκαετιών. Μέσω της διερευνητικής υπολογιστικής ανάλυσης, οι Jajwalya et al. επιχείρησαν, εισάγοντας διάφορες νέες μεθοδολογίες, να προσθέσουν στη συζήτηση γύρω από τη Γραμμική Α. Πρόκειται για μία υπολογιστική ανάλυση της Γραμμικής Α και της διερεύνησης της εργαλειοθήκης για τη Γραμμική Α και της γεφύρωσης του χάσματος μεταξύ μιας γλωσσικής προσέγγισης και μιας προσέγγισης εξόρυξης δεδομένων. Υπάρχουν πλούσιες αλληλεξαρτήσεις μεταξύ διαφόρων άγνωστων γλωσσών και της δυνατότητας εφαρμογής τους στην αποκάλυψη πληροφοριών από τους σύγχρονους μελετητές της εξελικτικής βιολογίας. Η διαθεσιμότητα γονιδιωματικών δεδομένων (*genomic data*) εξαρτάται από το είδος του αλγορίθμου που λειτουργεί. Η κατασκευή φυλογενετικών δέντρων χρησιμοποιεί αλγόριθμους, όπως η μέθοδος του πλησιέστερου γείτονα (*Neighbor joining method*), η μέγιστη πιθανότητα (*maximum likelihood*), η μήτρα ομοιότητας κοινών μεταλλάξεων (*common mutations similarity matrix*), οι οποίοι είναι συγκριτικά αντικειμενικά απαλλαγμένοι από ανθρώπινη προκατάληψη. Το κλαδόγραμμα (*cladogram*) ClustalW2 (Εικ. 21) με δύο αλγόριθμους δημιουργίας φυλογενετικών δέντρων, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο του πλησιέστερου γείτονα και τη μέθοδο ομαδοποίησης με σταθμισμένη κατά ζεύγη μέση διασύνδεση (UPGMA - *unweighted pair group method with arithmetic mean*) δίνει τον δείκτη ομοιότητας μεταξύ διαφόρων συγκρίσιμων γλωσσικών μοντέλων (Jajwalya et al., 2021, p. 3).

Ως εκ τούτου, οι γλώσσες με τις ίδιες πρωτογλωσσικές δομές που έχουν παρόμοια προφίλ διανομής δεν είναι άγνωστες στους γλωσσολόγους. Το μοντέλο αλληλουχίας σε ακολουθία συλλαμβάνει την αντιστοιχία χαρακτήρων μεταξύ συγγενών γλωσσών χρησιμοποιώντας το πρόβλημα ελάχιστου κόστους ροής (*minimum cost flow problem*), δηλαδή τον αλγόριθμο μακροπρόθεσμης βραχυπρόθεσμης μνήμης.



Εικόνα 21. Εξελικτικό δέντρο αρχαίων σεναρίων ανακατασκευάστηκε χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο Neighbor Joining στο ClustalW2

Οι Jajwalya et al. αξιοποίησαν εφαρμογές της μηχανικής μάθησης για τον εντοπισμό των πιο κοινών συμβόλων της Γραμμικής γραφής Α. Για τον σκοπό αυτό, τα δεδομένα έπρεπε να υποβληθούν σε προεπεξεργασία, ώστε να μπορούν να λειτουργήσουν καλύτερα εντός των περιορισμών των δύο μεθόδων επάνω στις οποίες εργάστηκαν, την Naïve Bayes¹⁵ (στο εξής: NB) και την K-nearest-neighbor¹⁶ (στο εξής: kNN) (Jajwalya et al., 2021, p. 12).



Εικόνα 22. Ροή διαδικασίας εξόρυξης γνώσης

Η NB χρησιμοποιεί μια πιθανολογική μέθοδο για τη διάσπαση των συστατικών των συμβόλων της γραφής. Από την προοπτική της προεπεξεργασίας δεδομένων, έπρεπε να καταστεί κατανοητό ποια σύμβολα και ποια αναπαράσταση έπρεπε να χρησιμοποιηθεί και επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθούν τα σύμβολα τα οποία ήταν πιθανές λέξεις, καθώς και τα σύμβολα τα οποία ήταν πιθανά ιδεογράμματα. Για τον λόγο αυτό, η αντιστοίχιση αληθούς ή ψευδούς στο αν το σύμβολο αντιπροσώπευε μια λέξη ή ένα ιδεόγραμμα, θα μπορούσε να επιτρέψει στη NB να καθορίσει μελλοντικά σύμβολα ή

ιδεογράμματα ή εάν ένα σύμβολο δεν εμπίπτει σε αυτές τις κατηγορίες (Εικ. 23). Προκειμένου να επιτευχθεί αυτό, στην εκπαίδευση της NB χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικά ποσοστά για την εκπαίδευση έναντι των δεδομένων δοκιμών, με τα παρακάτω αποτελέσματα να χρησιμοποιούν το 1/3 των δεδομένων για την εκπαίδευση και τα υπόλοιπα δεδομένα για τις δοκιμές. Η ακρίβεια της NB για την ανίχνευση λέξεων ήταν σε ποσοστό 73% με χαμηλό, ωστόσο, ποσοστό ακρίβειας περίπου 0,45, ενώ η ακρίβεια για την ανίχνευση ιδεογράμματος ήταν σε ποσοστό 65% με μεγαλύτερη ακρίβεια 0,71. Προκειμένου να ερμηνευτούν τα σύμβολα, έπρεπε να γίνει μια υπόθεση για το ποια από αυτά αποτελούσαν μια λέξη. Σε κάποιες περιπτώσεις ένα σύμβολο αντιστοιχούσε σε μία λέξη, ενώ μέσα σε λέξεις περιέχονταν ιδεογράμματα, γεγονός το οποίο μπορεί να εξηγήσει τη χαμηλότερη ακρίβεια για τον εντοπισμό ιδεογραμμάτων. Επίσης, αξίζει να σημειωθεί ότι το σύνολο δεδομένων περιελάμβανε λιγότερα ιδεογράμματα παρά λέξεις (Jajwalya et al., όπ., p. 12).

	symbols	is_word	is_idiom
0	𐀀	TRUE	TRUE
1	𐀁𐀂	TRUE	TRUE
2	𐀃𐀄𐀅𐀆	TRUE	FALSE
3	𐀇𐀈 𐀉𐀊𐀋𐀌 𐀍𐀎𐀏𐀐𐀑𐀒𐀓𐀔𐀕 𐀖𐀗𐀘𐀙 𐀚𐀛𐀜𐀝 𐀞𐀟	TRUE	FALSE
4	𐀠𐀡𐀢	TRUE	FALSE
5	𐀣𐀤𐀥𐀦	TRUE	FALSE
6	𐀧 ~ 𐀨𐀩	TRUE	FALSE
7	𐀪𐀫 𐀬𐀭𐀮𐀯 𐀰𐀱𐀲𐀳𐀴𐀵 𐀶𐀷𐀸𐀹𐀺𐀻 𐀼𐀽𐀾𐀿𐁀𐁁𐁂𐁃𐁄𐁅	TRUE	FALSE
8	𐁆𐁇	TRUE	TRUE
9	𐁈𐁉𐁊𐁋𐁌𐁍𐁎𐁏	TRUE	FALSE
10	𐁐𐁑𐁒𐁓 𐁔 𐁕𐁖𐁗𐁘𐁙𐁚𐁛𐁜𐁝𐁞𐁟𐁠𐁡𐁢𐁣𐁤	TRUE	FALSE
11	𐁥𐁦𐁧 𐁨𐁩𐁪𐁫𐁬𐁭𐁮 𐁯𐁰𐁱𐁲𐁳𐁴𐁵	TRUE	FALSE
12	𐁶𐁷 𐁸𐁹𐁺𐁻 𐁼𐁽𐁾𐁿	TRUE	FALSE
13	𐁿𐂀𐂁𐂂 𐂃𐂄 𐂅𐂆𐂇𐂈 𐂉𐂊𐂋𐂌𐂍𐂎𐂏𐂐𐂑𐂒	TRUE	FALSE
14	𐂓𐂔𐂕𐂖𐂗𐂘𐂙𐂚𐂛𐂜𐂝𐂞𐂟𐂠𐂡	TRUE	FALSE
15	𐂢𐂣𐂤𐂥𐂦𐂧 𐂨𐂩	TRUE	FALSE
16	𐂪𐂫 𐂬𐂭𐂮𐂯	TRUE	FALSE
17	𐂰	TRUE	TRUE
18	𐂲 ~ 𐂳𐂴	TRUUF	FAISF

Εικόνα 23. Αναδιάρθρωση δεδομένων για τον προσδιορισμό πιθανών λέξεων ως λέξη ή λογογραφικό ιδεόγραμμα

Επιδιώκοντας να καθοριστεί το επόμενο πλησιέστερο σημείο δημιουργώντας μια αλυσίδα δειγμάτων στην εφαρμογή kNN, οι Jajwalya et al. αξιοποίησαν τη μέθοδο "Gibbs", η οποία χρησιμοποιεί μια αλυσίδα Markov, προκειμένου να καθορίσει το επόμενο πλησιέστερο σημείο σε μία αλυσίδα δειγμάτων για ένα σύνολο δεδομένων τα οποία δεν είχαν αποκρυπτογραφηθεί και, επομένως, δεν υπήρχε η δυνατότητα της λήψης αποφάσεων για τη γνώση της γλώσσας. Με τη μέθοδο «Gibbs» σε συνδυασμό με τη δεκαπλάσια διασταυρούμενη επικύρωση, η ακρίβεια της πρόβλεψης ήταν περίπου 64% (Jajwalya et al., 2021, p. 12).



Εικόνα 24. Προσδιορισμός της συχνότητας των συμβόλων σύμφωνα με την αναπαράστασή τους.

5.2.2 Βιοπληροφορική (Bioinformatics Evolutionary)

Προκειμένου να καταστήσει κατανοητές τις τρεις αρχαίες κρητικές γραφές, οι οποίες κατηγοριοποιήθηκαν από τον Evans, ο Revesz μελέτησε τη σχέση τους με άλλες έξι γραφές: την κυπριακή συλλαβική γραφή, τη φοινικική, τη νοτιοαραβική, την ελληνική, την παλαιά ουγγρική και τα αλφάβητα Tifinagh. Χρησιμοποιώντας μεθόδους βιοπληροφορικής (*bioinformatics methods*), έδειξε ότι αποτελούν μέλη της ίδιας οικογένειας γραφών, η οποία εκτείνεται σε όλες τις γλωσσικές οικογένειες. Στην υπολογιστική βιολογία, (*computational biology*) η μελέτη των εξελικτικών σχέσεων διευκολύνεται σε μεγάλο βαθμό από τη χρήση αλγορίθμων κατασκευής φυλογενετικών δέντρων (*phylogenetic tree construction algorithms*), όπως η μέθοδος ένωσης γειτόνων (*neighbor-joining method*) των Saitou και Nei και η μέθοδος UPGMA των Sokal και Michener. Πρόσφατα, ο Revesz πρότεινε επίσης τη μέθοδο Common Mutations Similarity Matrix ή CMSM για την κατασκευή φυλογενετικών δέντρων. Η μέθοδος CMSM προέρχεται από μια σειρά προηγούμενων μελετών εξελικτικής βιολογίας. Μερικοί από τους αποτελεσματικούς αλγόριθμους φυλογενετικών δέντρων είναι σε θέση να ανακατασκευάσουν υποθετικά εξελικτικά δέντρα σε λίγα λεπτά υπολογιστικού χρόνου. Επιπλέον, βασίζονται σε στατιστικές τεχνικές που είναι απαλλαγμένες από

ανθρώπινη μεροληψία, κάτι που μερικές φορές εμποδίζει την αντικειμενική αξιολόγηση των γλωσσικών ευρημάτων (Revesz, 2016, p. 67).

Σχετικά, ενδιαφέρον παρουσιάζει η αναφορά του Boucher στα «Υγρά λογισμικά» (*Wetware*) και τα βιολογικά συστήματα. Όπως εξηγεί, το εκκολαπτόμενο πεδίο της τεχνητής ζωής (*Alife*) διαφέρει από την τεχνητή νοημοσύνη στο ότι οι ιδέες και οι τεχνικές του βασίζονται σε θεμελιώδεις βιολογικές διεργασίες και όχι σε νοημοσύνη ή τεχνογνωσία. Ωστόσο, υπάρχουν κάποιες διασταυρώσεις με την τεχνητή νοημοσύνη, ιδιαίτερα στο πλαίσιο των προσεγγίσεων της εξελικτικής μάθησης και άλλων μεθόδων εμπνευσμένων από τη φύση. Όπως και η τεχνητή νοημοσύνη, το πεδίο *Alife* αναπτύσσεται κυρίως μέσω λογισμικού (κωδικός υπολογιστή και δεδομένα) και υλικού (φυσικά στοιχεία), αλλά μπορεί επίσης να περιλαμβάνει υγρό λογισμικό, το οποίο αναφέρεται στη χρήση βιολογικών υλικών ως εξαρτημάτων του συστήματος το οποίο αναπτύσσεται. Σε άλλους τομείς, όπως η επεξεργασία γονιδίων και η συνθετική βιολογία με τη δημιουργία τεχνητών βιολογικών συστημάτων, το υγρό λογισμικό κατέχει κεντρική θέση (Boucher, 2020, p. 17).

Hieroglyph and Phaistos	Linear A	Linear B		Cypriot		Phoeni-cian		South Arabic		Greek	Old Hungarian		Tifin-agh
			A		I		?		?	Α		A	
			SE		SE		B		B	Β		P	
					KO		G		G	Γ		G	X
			DA		TA, TE		D		D	Δ		D, T	V
			KU		XE		H		H	Ε		E	
					MO		W		W	Υ		US	⊖
					MU		Z		Z	Ζ		U	Ж
			PA		PA		H		ḥ f	Η		ǰ	Е
			KA		E		T		T	Θ		C	
			MA		WO		Y		Y	Ι		J	
			WE		NU		K		k	Κ		K	
			PU		LI		L		l	Λ		L	
			TWE		MI		M		m	Μ		M	□
			NE		U, NA		N		n	Ν		NT	
			TE		TO		s		s	Ξ		H	⊙
			QE		JA		ʃ		ʃ	Ο		J, L	...
			PO		PO		P			Π			
			ZO		TI		ʃ		ʃ	Μ		ts	┌
			QA		KI		Q		Q	ο		K	
					RA		R		R	Ρ		*R	⊖
			TI		SA		ʃ		ʃ	Σ		ʃ	⊖
			RO		LO		T		T	Τ		D	+
					A				F	⊖		F	
										X		H	
			RE		RI				H	Ψ		ʒ	
			TA		LU					Ω		O	

Πίνακας 5 Σύγκριση γραφών με τη γνωστή ηχητική τιμή κάθε συμβόλου προς τα δεξιά (μπλε) εκτός από το αλφάβητο Tifinagh, το οποίο είναι παρόμοιο με το νότιο αραβικό.

Ο Revesz επιχειρεί μία μέθοδο για τη μετάφραση συγκριτικών πινάκων σε κωδικοποιήσεις DNA, επιτρέποντας έτσι τη χρήση αλγορίθμων βιοπληροφορικής που κατασκευάζουν υποθετικά εξελικτικά δέντρα γραφών, εκφράζοντας την άποψη ότι το μέτρο ομοιότητας μεταξύ αρχαίων γραφών μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως βοήθημα για την ανάπτυξη ενός συγκριτικού πίνακα γραφών. Εφάρμοσε αυτή τη μέθοδο σε εννέα γραφές αξιοποιώντας ένα εξελικτικό δέντρο γραφών με δύο κύριους κλάδους. Η μελέτη αυτή συνέβαλε σε μία εκτιμώμενη αποκρυπτογράφηση της Κρητικής Ιερογλυφικής γραφής και της Γραμμικής γραφής Α. Συγκεκριμένα, ως πρώτο βήμα, πρέπει να επιτευχθεί η φωνητική εκτίμηση αυτών των άγνωστων γραφών. Στον Πίνακα 5, η εκτίμηση αντιστοιχεί στη φοινικική, στη νότια αραβική, στην ελληνική, στην αρχαία Ουγγρική και στην Tifinagh. Ωστόσο, η εκτίμηση της φωνητικής της Γραμμικής Β είναι συχνά αισθητά διαφορετική. Έχει γίνει προσπάθεια ανάγνωσης κρητικών ιερογλυφικών και γραφών Γραμμικής Α, χρησιμοποιώντας την ηχητική απόδοση της Γραμμικής Β χωρίς κανένα γόνιμο αποτέλεσμα. Τα εξελικτικά δέντρα των γραφών υποδηλώνουν ότι η φωνητική απόδοση των συμβόλων της Κρητικής Ιερογλυφικής μπορεί να είναι πιο κοντά σε εκείνη των αντίστοιχων κυπριακών και παλαιών ουγγρικών συμβόλων γραφής. Επιπλέον, η φωνητική απόδοση των συμβόλων Γραμμικής Α μπορούν να ανακατασκευαστούν με την εύρεση των πιθανών κοινών προγονικών φωνητικών αποδόσεων των αντίστοιχων συμβόλων των αλφαβήτων της φοινικικής, της ελληνικής, της νοτιοαραβικής, της αρχαίας ουγγρικής και της γραφής Tifinagh. Και στις δύο περιπτώσεις, οι πρόσφατα προβλεπόμενες φωνητικές αποδόσεις μπορεί να αντιστοιχούν καλύτερα από εκείνες της Γραμμικής Β στην πραγματική φωνητική απόδοση της Κρητικής Ιερογλυφικής και των συμβόλων της Γραμμικής γραφής Α. Ο Revesz ευελπιστεί ότι αυτή η συνειδητοποίηση θα ανοίξει μια νέα φάση στην κατανόηση των αρχαίων κρητικών γραφών (Revesz, 2016, p. 76).

Σύνοψη

Οι περισσότερες προσπάθειες αποκρυπτογράφησης της Γραμμικής γραφής Α΄ ξεκινούν με την προσωρινή αντιστοίχιση φωνητικών αποδόσεων της Γραμμικής γραφής Β΄ σε σημεία της Γραμμικής Α΄, τα οποία είναι γραφικά παρόμοια, λόγω του ότι η Γραμμική Β΄, που αποκρυπτογραφήθηκε από τον Michael Ventris το 1952, διαμορφώθηκε με βάση τη Γραμμική Α΄. Πρόκειται για ένα συμπέρασμα το οποίο μπορεί να εξαχθεί λόγω των κοινών συμβόλων μεταξύ των δύο συστημάτων γραφής.

Επιπλέον, πολλοί ερευνητές στράφηκαν σε νέες υπολογιστικές τεχνικές, όπως η μηχανική μάθηση και η επεξεργασία της φυσικής γλώσσας, με στόχο την αποκωδικοποίησή της. Χρησιμοποιώντας μεθόδους βιοπληροφορικής (*bioinformatics methods*), έδειξαν ότι γραφές όπως η Γραμμική Α΄ αποτελούν μέλη της ίδιας οικογένειας γραφών, η οποία εκτείνεται και σε άλλες γλωσσικές οικογένειες. Ακόμη και αν δεν κατέληξαν σε αποκρυπτογράφηση της Γραμμικής Α΄, στατιστικά και πληροφοριακά μοτίβα, τα οποία προέκυψαν από την προσέγγιση της μελέτης συνέβαλαν στην καλύτερη κατανόηση της καθολικότητας της ανθρώπινης γλώσσας.

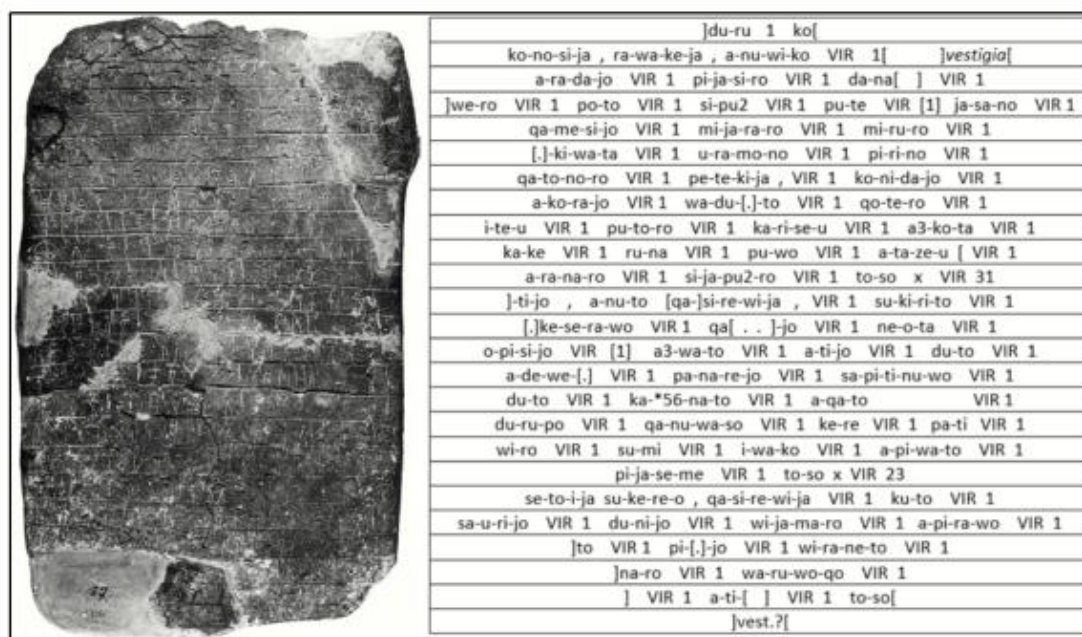
6. Η Γραμμική Β'

Η μυκηναϊκή γραφή Γραμμική Β γραφή αποτελεί ένα από τα συστήματα γραφής που χρησιμοποιήθηκαν στην περιοχή του Αιγαίου στο δεύτερο μισό της δεύτερης χιλιετίας π.Χ. Είναι μια συλλαβική γραφή, της οποίας η αποκρυπτογράφηση ανακοινώθηκε στις 1-6-1952 από τον Michael Ventris. Ο Ventris απέδειξε ότι οι συλλαβές της Γραμμικής Β γραφής σχηματίζουν λέξεις της ελληνικής γλώσσας και ότι ο μυκηναϊκός κόσμος ήταν τόσο γλωσσικά όσο και πολιτισμικά συνδεδεμένος με την αρχαία Ελλάδα. Τα κείμενα της Μυκηναϊκής Γραμμικής Β, αν και σύντομα, σε έκταση, παρέχουν πολύτιμες πληροφορίες για την εξέλιξη της ελληνικής γλώσσας ανά τους αιώνες. Ωστόσο, η σημασία των μυκηναϊκών εγγράφων παρουσιάζει ενδιαφέρον όχι μόνο για την επιστήμη της γλωσσολογίας, της κοινωνιογλωσσολογίας και της επιγραφικής, αλλά και για την κατανόηση της αρχαίας θρησκείας, της οικονομίας, και της αρχαίας ιστορίας, καθώς αυτά τα κείμενα μπορούν να παρέχουν πληροφορίες για την πολιτική και διοικητική οργάνωση, την κοινωνική δομή, την οικονομική δραστηριότητα, τη θρησκεία και τη στρατιωτική οργάνωση του μυκηναϊκού βασιλείου (Papavasileiou et al., 2022, p. 1).

6.1 Η δομή της γραμμικής γραφής Β'

Η Γραμμική γραφή Β καταγράφεται κυρίως σε πήλινες πινακίδες από τις οποίες μέχρι σήμερα έχουν ανακαλυφθεί περίπου 5.500. Οι κύριες δυσκολίες στη μελέτη αυτών των πήλινων επιγραφών είναι κατ' αρχήν το κατεξοχήν διοικητικό τους περιεχόμενο. Πολλές από τις μυκηναϊκές πινακίδες αποτελούνται από απλούς καταλόγους, με αποτέλεσμα να παρέχουν λιγότερες πληροφορίες από το αναμενόμενο αναφορικά με τη συντακτική τους δομή. Έπειτα, καθώς θεματικά ασχολούνται εκτενώς με ανθρώπους και τοποθεσίες, αναπόφευκτα ένας μεγάλος αριθμός λέξεων που αναγράφονται σε αυτές είναι ουσιαστικά, γεγονός το οποίο περιέπλεξε την προσπάθεια αποκρυπτογράφησης της Γραμμικής γραφής Β. Έτσι, ενώ τα ονόματα προσώπων ήταν το σημείο εκκίνησης για την αποκρυπτογράφηση της περσικής σφηνοειδούς γραφής, καθώς αφορούσαν τα ήδη γνωστά ονόματα των Περσών βασιλιάδων, στην περίπτωση της Γραμμικής Β τα αναγραφόμενα ονόματα δεν παρείχαν την αναμενόμενη βοήθεια, καθώς αφορούσαν σε ονόματα εντελώς ταπεινών ανθρώπων. Τέλος, η κακή κατάσταση στην οποία βρέθηκαν - οι περισσότερες από αυτές είναι σπασμένες, φθαρμένες ή καμένες σε μικρότερο ή μεγαλύτερο βαθμό - είχε ως αποτέλεσμα να λείπουν πολλές

συλλαβές (Εικ. 25) και, ως εκ τούτου, να έχουν πιθανόν χαθεί σημαντικά τμήματά τους (Papavasileiou et al., 2022, p. 2).



Εικόνα 25. Αριστερά, η εικόνα της μυκηναϊκής πινακίδας KN As 1516 . Στα δεξιά, το μεταγραμμαμένο κείμενο του KN As 1516. Τα δυσανάγνωστα μέρη σημειώνονται με αγκύλες.

Για πολλά χρόνια οι επιστήμονες θεωρούσαν ότι η Ελληνική γλώσσα ήταν ένα δημιούργημα των χρόνων του Ομήρου καθώς από τα μέσα του 8ου αιώνα π.Χ έχουμε κείμενα γραμμένα στην Αρχαία Ελληνική. Η θεώρηση αυτή ανατράπηκε όταν εντός μίας εκατονταετίας ανακαλύφθηκαν στον Ελλαδικό χώρο δύο νέα είδη γραφής σε διαφορετικούς τόπους και με αρκετές διαφορές. Η αρχή έγινε από τον Γερμανό αρχαιολόγο Ερρίκο Σλήμαν (Heinrich Schliemann), όταν το 1876 σκάβοντας εντός των τειχών, σε μικρή απόσταση από την πύλη των Λεόντων, βρήκε ένα λίθινο περίβολο, ο οποίος περιέκλειε πέντε βαθείς λακκοειδείς τάφους, με σκελετούς ανδρών, γυναικών και παιδιών, συνοδευόμενων από ένα θησαυρό χρυσών κοσμημάτων, χάλκινων όπλων και άλλων κτερισμάτων. Ο Σλήμαν είχε ανακαλύψει τον Τάφο των Ατρείδων. Η ανακάλυψη αυτή ήταν τόσο σημαντική, διότι μέσω αυτής άνοιγε ένα νέο πεδίο αρχαιολογικών ερευνών, που πλέον αφορούσε την αποκάλυψη των προϊστορικών πολιτισμών της Ελλάδας.

Το επόμενο βήμα έγινε από τον Arthur Evans, όταν στις αρχές του 20ου αιώνα ανακάλυψε στην Κρήτη τρία στάδια γραφής. Ο Evans αποσαφήνισε το 1909 τα τρία αυτά είδη με τον εξής τρόπο:

- Ένας πρώιμος τύπος εικονογραφικής γραφής που θυμίζει τα αιγυπτιακά ιερογλυφικά.
- Ένας τύπος με γραμμικούς χαρακτήρες που ονομάστηκε Γραμμική Α΄.
- Και ένας άλλος τύπος ανεπτυγμένης γραμμικής γραφής που ονομάστηκε Γραμμική Β (Hooker, 1980).

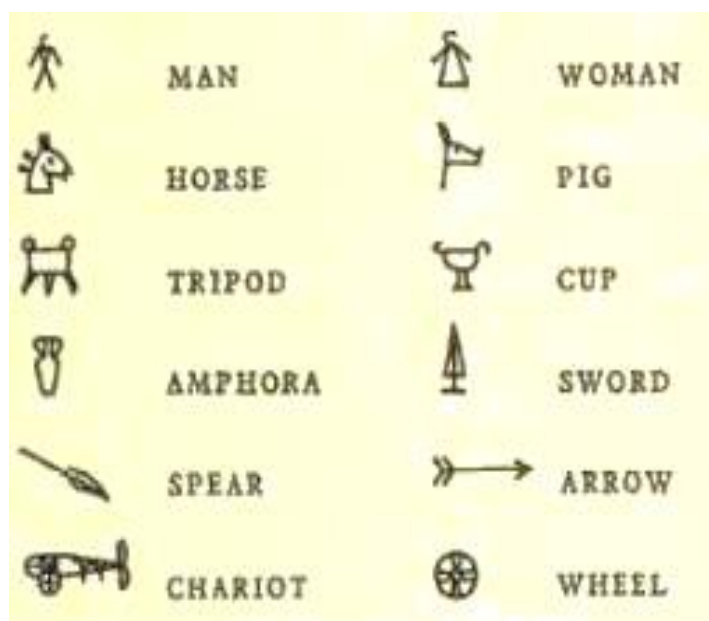
Το τελευταίο βήμα για την εν μέρη ερμηνεία των προϊστορικών χρόνων στον Ελλαδικό χώρο ήταν η αποκρυπτογράφηση της Γραμμικής Β΄ από τον Michael Ventris. Η αποκρυπτογράφηση της Γραμμικής Β΄ αναλύθηκε στο βιβλίο του «Αποδείξεις για τη Μυκηναϊκά Ελληνικά» το οποίο εκδόθηκε το 1956 από το πανεπιστήμιο του Cambridge. Ο Evans αρχικά είχε υποθέσει ότι η Γραμμική γραφή Β΄ ήταν μία «βασιλική ορθογραφία» η οποία είχε ανακαλυφθεί από τους γραφείς του παλατιού και υιοθετήθηκε αποκλειστικά και μόνο στην Κνωσό. Η θεωρία αυτή καταρρίφθηκε αργότερα, όταν βρέθηκαν επιγραφές της Γραμμικής Β΄ στην ηπειρωτική Ελλάδα. (Chadwick, 1958).

Χρονικά, η εικονογραφική γραφή θεωρείται ότι άκμασε στις αρχές της Μέσης Εποχής του Χαλκού. Δείγματα της Γραμμική γραφής Α΄, όπως παρατήρησε ο Evans, βρέθηκαν κυρίως στο πρώτο ή πρώιμο ανάκτορο της Κνωσού, το οποίο καταστράφηκε, πιθανότατα από σεισμό στα τέλη της Μεσαιωνικής Περιόδου, οπότε η ανάπτυξη της τοποθετείται σε κάποιο απροσδιόριστο σημείο στα μέσα της Μεσαιωνικής Περιόδου. Τέλος σχεδόν όλες οι επιγραφές της Γραμμικής γραφής Β΄, χρονολογούνται γύρω στο 1375 π.Χ, δηλαδή κοντά στην καταστροφή του δεύτερου ανακτόρου της Κνωσού. Άξιο αναφοράς είναι ότι η πυρκαγιά που κατέστρεψε το παλάτι της Κνωσού το 1350 π.Χ, είναι ο λόγος που σώθηκαν πολλές από τις επιγραφές της Γραμμικής γραφής Β. Αυτό συνέβη διότι για τις επιγραφές αυτές γινόταν χρήση αργίλου πάνω στον οποίο χαράζονταν τα κείμενα. Ο άργιλος λοιπόν, με την πυρκαγιά αυτή ψήθηκε με αποτέλεσμα να γίνει πιο σκληρός και φυσικά και πιο ανθεκτικός. (Chadwick, 1958).

Σύμφωνα με τον Chadwick , υπάρχουν τρεις τρόποι να παραπομπής του προφορικού λόγου σε γραφή:

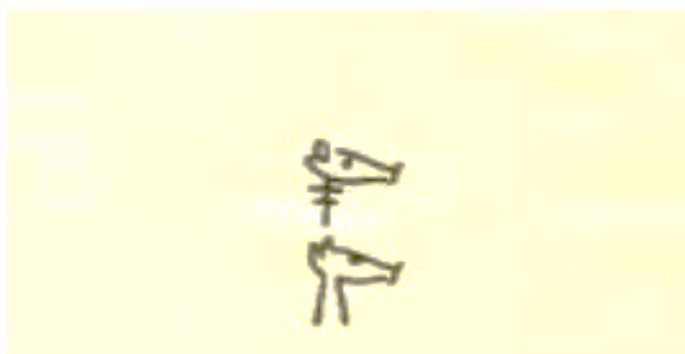
- Η Ιδεογραφική Γραφή: είναι η απλούστερη μέθοδος. Σε αυτό το είδος παράγονται σύμβολα τα οποία παραπέμπουν στην εικόνα των αντικειμένων τα οποία περιγράφουν. Στο υψηλότερο επίπεδο αυτής της γραφής έχουν φτάσει οι Κινέζοι οι οποίοι μέχρι και σήμερα κάνουν εν μέρη χρήση της μεθόδου αυτής. Τα μειονεκτήματα της μεθόδου αυτής είναι ότι απαιτεί έναν πάρα πολύ μεγάλο αριθμό συμβόλων, καθώς επίσης και ότι τα σύμβολα αυτά δεν δίνουν καμία πληροφορία για την εκφορά της λέξης που αντιπροσωπεύουν.
- Το Συλλαβικό Σύστημα: στο σύστημα αυτό, οι λέξεις χωρίζονται σε συλλαβές. Η ευελιξία του συστήματος είναι μεγαλύτερη και οι απαιτήσεις σε σύμβολα είναι λιγότερες από αυτές της ιδεογραφικής γραφής, χωρίς όμως αυτό να σημαίνει ότι είναι λίγες. Ο αριθμός των συμβόλων εξαρτάται από τη γλώσσα και κυρίως από την πληθώρα των ομάδων συμβόλων.
- Αλφαβητική Γραφή: είναι το πιο συνηθισμένο είδος γραφής στις μέρες μας. Το είδος αυτό ξεκίνησε από τους Αιγύπτιους και ολοκληρώθηκε από τους Έλληνες. Χαρακτηριστικό αυτού του είδους είναι η ανάγκη για μικρό αριθμό συμβόλων, απόδειξη αυτού είναι ότι το αλφάβητο με τους περισσότερους χαρακτήρες είναι το ρωσικό, με μόνο 36 (Chadwick, 1958).

Στην Γραμμική γραφή Β' έχουν απομονωθεί 87 χαρακτήρες. Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε διά της εις άτοπον απαγωγής ότι πρόκειται για συλλαβικό αλφάβητο,



Εικόνα 26. Προφανή ιδεογράμματα.

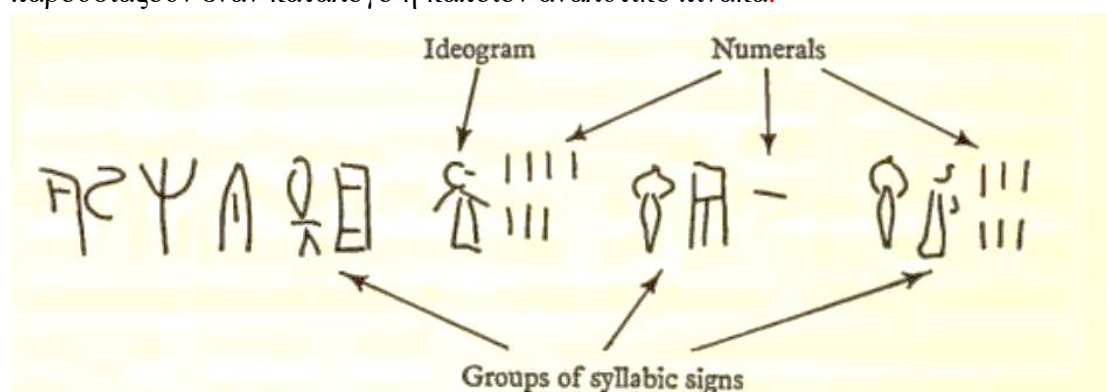
καθώς ο αριθμός αυτός είναι πολύ μικρός για ιδεογραφική γραφή και πολύ μεγάλος για αλφαβητική γραφή. Η Γραμμική γραφή Β' όμως περιέχει και κάποια ιδεογράμματα. Επίσης το αρσενικό με το θηλυκό ζώο διαφοροποιούνται με την τοποθέτηση ενός κάθετου άξονα κάτω από το ιδεόγραμμα του ζώου, ο οποίος κοβόταν με δύο κάθετες γραμμές.



Εικόνα 27. Διαφοροποίηση φύλου στα ιδεογράμματα. Εικόνα από το Βιβλίο: Η Αποκρυπτογράφηση της Γραμμικής Β

Από τα 87 σύμβολα έχει αποκρυπτογραφηθεί η φωνητική αξία των 72 συμβόλων, ενώ παραμένει άγνωστη αυτή των υπολοίπων 15. Επιπλέον έχουν ανακαλυφθεί 100 περίπου ιδεογράμματα, τα οποία αφορούν κυρίως σύμβολα αγαθών. Άλλωστε η Γραμμική γραφή Β' θεωρείται ότι αποτελούσε μία διοικητική γραφή, η οποία χρησιμοποιούταν για την καταγραφή διοικητικών και λογιστικών εγγράφων.

Τέλος η Γραμμική Β' χρησιμοποιεί συχνά ομάδες φωνητικών συμβόλων, τα οποία ακολουθούνται από ένα ιδεόγραμμα, έτσι που τα σύμβολα και το ιδεόγραμμα να παρουσιάζουν έναν κατάλογο ή κάποιον αναλυτικό πίνακα.

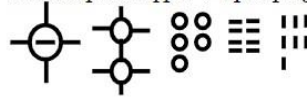


Εικόνα 28. Επιγραφή που βρέθηκε στην Πύλο. Εικόνα από το Βιβλίο: Η Αποκρυπτογράφηση της Γραμμικής Β

Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 29, η Γραμμική γραφή Β' είχε ένα αρκετά προφανές αριθμητικό σύστημα το οποίο είχε γίνει κατανοητό από πολύ νωρίς. Το σύστημα αυτό ήταν το εξής (Chadwick, 1958).

- | : μονάδες
- — : δεκάδες
- ○ : εκατοντάδες
- ⊖ : χιλιάδες
- ⊖⊖ : δεκάδες χιλιάδες

Για παράδειγμα ο αριθμός 12587 γράφεται ως εξής:



6.2 Κλασική Κυπριακή γραφή

Η Κλασική Κυπριακή είναι ένα είδος γραφής το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την γραπτή απόδοση της ελληνικής γλώσσας από τον 6ο αιώνα π.Χ έως τον 3ο ή 2ο αιώνα

a	✱	e	✱	i	✱	o	Ϛ	u	ϛ
ka	⊥	ke	✱	ki	⊥	ko	∧	ku	✱
ta	⊥	te	⊥	ti	⊥	to	F	tu	⊥
pa	⊥	pe	⊥	pi	Ϛ	po	⊥	pu	Ϛ
la	⊥	le	8	li	⊥	lo	⊥	lu	⊥
ra	⊥	re	⊥	ri	⊥	ro	⊥	ru	⊥
ma	⊥	me	⊥	mi	⊥	mo	⊥	mu	⊥
na	⊥	ne	⊥	ni	⊥	no	⊥	nu	⊥
ja	⊥					jo	⊥		
wa	⊥	we	⊥	wi	⊥	wo	⊥		
sa	⊥	se	⊥	si	⊥	so	⊥	su	⊥
za	⊥					zo	⊥		
		xe	⊥						

Εικόνα 29. Το Κυπριακό αλφάβητο.

Η Κλασική Κυπριακή έχει αποκρυπτογραφηθεί κυρίως χάρη στην ανακάλυψη κάποιων δίγλωσσων επιγραφών σε φοινικικό και ελληνικό αλφάβητο.

Σύμφωνα με τον Chadwick, η γραφή αυτή συνέβαλε σε μεγάλο βαθμό στην αποκρυπτογράφηση της Γραμμικής Β', καθώς εξ αρχής είχε παρατηρηθεί ότι υπήρχαν επτά σύμβολα, τα οποία ήταν κοινά ανάμεσα στην Κλασική Κυπριακή και στην Γραμμική γραφή Β'. Επίσης υπάρχουν αρκετά παραπλήσια σύμβολα, όμως για τους υπόλοιπους χαρακτήρες, που αποτελούν και την πλειοψηφία πρέπει να γίνουν πολλές εικασίες έτσι ώστε να εξισώσουμε τα σύμβολα των δύο γραφών μεταξύ τους.

Linear B	Cypriot	Value in Cypriot
𐀀	𐀀	ta
𐀁	𐀁	lo
𐀂	𐀂	to
𐀃	𐀃	se
𐀄	𐀄	pa
𐀅	𐀅	na
𐀆	𐀆	ti

Εικόνα 30. Κοινά σύμβολα της Γραμμικής γραφής Β' και του Κυπριακού αλφαβήτου.

Η συσχέτιση όμως αυτή οδήγησε και σε παρανοήσεις. Από τη στιγμή που συσχετίστηκαν τα σύμβολα των δύο γραφών εύλογα έγινε και η υπόθεση ότι σχετίζονται και οι κανόνες ορθογραφίας. Αυτό όμως οδήγησε σε μία μεγάλη παρανόηση. Η πιο κοινή κατάληξη στην ελληνική γλώσσα είναι το «**ς**». Το ίδιο συμβαίνει και στην Κλασική Κυπριακή, στην οποία το μεγαλύτερο μέρος των λέξεων τελειώνουν σε «**σε**» ή στο νεκρό φωνήεν «**ε**». Αυτό το χαρακτηριστικό δεν συναντάται όμως στην Γραμμική Β' καθώς το σύμβολο 𐀃 εμφανίζεται μόνο 8 φορές στο τέλος κάποιας λέξης, από τις συνολικά 53 εμφανίσεις του σε ένα σύνολο 2529

λέξεων². Επιπλέον το χαρακτηριστικό αυτό, δηλαδή η μεγάλη συχνότητα εμφάνισης κάποιου συμβόλου στο τέλος των λέξεων, δεν συναντάται σε κανένα άλλο σύμβολο. (Chadwick, 1958, pp. 23-24).

Η ιδιαιτερότητα αυτή ήταν κάτι που χρησιμοποίησε ο Evans, με σκοπό να τεκμηριώσει την άποψη του, ότι δηλαδή η Γραμμική Β' δεν ήταν ελληνική γραφή. Η άποψη αυτή ήταν η επικρατέστερη στους κύκλους των επιστημών που ασχολούνταν με τις Μινωικές Γραφές, Μάλιστα, πίστευαν ότι η Γραμμική Β' ανήκε στην «Ινδοευρωπαϊκή οικογένεια». Ακόμα και ο Ventris ήταν πεπεισμένος ότι η Γραμμική Β' δεν ήταν Ελληνικά, για την ακρίβεια εκείνος είχε αρχικά υποθέσει ότι επρόκειτο για Ετρουσκικά (Chadwick, 1958, p. 28).

² Οι στατιστικές λεπτομέρειες των εμφανίσεων των συμβόλων έχουν παρθεί από την εργασία του Κ. Κτιστόπουλου: *Statistical Data On Minoan Words* (Κτιστόπουλος, 1953).

6.3 Η Αποκρυπτογράφηση της Γραμμικής Β΄

Η ιστορία της αποκρυπτογράφησης της Γραμμικής γραφής Β΄ ξεκινά με την πρώτη της ανακάλυψη στην Κνωσό της Κρήτης. Ένας Έλληνας επιχειρηματίας και αρχαιολόγος, ο Μίνως Καλοκαιρινός, διεξήγαγε ανασκαφές στην τοποθεσία της Κνωσού το 1878. Ήταν πιθανώς ο πρώτος σύγχρονος ανασκαφέας που ανακάλυψε μια πινακίδα Γραμμικής γραφής Β, καθώς το 1895 ο Sir Arthur Evans είδε στο Ηράκλειο μια πινακίδα, η οποία, πιθανότατα, προήλθε από τις ανασκαφές του Καλοκαιρινού. Από το 1900, οι ανασκαφές του Evans έφεραν στο φως χιλιάδες ακόμη επιγραφές. Καθοδηγούμενος από το ενδιαφέρον του για την προαλφαβητική γραφή, ο Evans μπόρεσε να αναγνωρίσει παραδείγματα τριών διαφορετικών γραφών και επινόησε τις ονομασίες με τις οποίες είναι ακόμα γνωστές. Πρόκειται για την Κρητική Ιερογλυφική γραφή ή Εικονογραφική, επειδή ίσως ο Evans νόμιζε ότι έμοιαζε με την αιγυπτιακή Ιερογλυφική γραφή και τη γραφή εικόνων, καθώς και δύο γραφές, τις οποίες ο Evans θεωρούσε λιγότερο εικονογραφικές και πιο «γραμμικές», τη Γραμμική γραφή Α και τη Γραμμική γραφή Β. Από αυτές, η Κρητική Ιερογλυφική και η Γραμμική γραφή Α παραμένουν μέχρι σήμερα άγνωστες (Faculty of Classics, n.d.).

Όταν ανακαλύφθηκε η Γραμμική γραφή Β΄, κανείς δεν ήταν σε θέση να τη διαβάσει και να προσδιορίσει ποια ήταν η γλώσσα των επιγραφών. Οι θεωρίες οι οποίες διατυπώθηκαν προσανατολίζονταν σε μια από τις γλώσσες της Ανατολίας, καθώς και στην ετρουσκική γλώσσα. Πολύ λίγοι μελετητές εξέφρασαν την άποψη ότι είχε σχέση με την ελληνική γλώσσα, κυρίως επειδή ο Evans είχε απορρίψει εντελώς αυτή την πιθανότητα. (Faculty of Classics, n.d.).

Με βάση τις φωνητικές αποδόσεις της Γραμμικής γραφής Β΄, ο Leonard R. Palmer θεώρησε ότι η Γραμμική Α θα μπορούσε να είναι η γραφή μιας γλώσσας της Ανατολίας, πιθανώς της λουβικής, ή μιας κρητικής παραλλαγής της λουβικής. Ο Palmer το έθεσε αυτό κυρίως επειδή πίστευε ότι «η Ελλάδα και η Κρήτη δέχθηκαν δύο φορές εισβολή από Ινδοευρωπαϊκούς λαούς κατά τη δεύτερη χιλιετία π.Χ., γεγονός το οποίο θα πυροδοτούσε μια μαζική μετανάστευση στην Κρήτη. Οι περισσότερες προσπάθειες αποκρυπτογράφησης ξεκινούν με την προσωρινή αντιστοίχιση φωνητικών αποδόσεων Γραμμικής γραφής Β σε σημεία της Γραμμικής Α΄ τα οποία είναι γραφικά παρόμοια. Αυτό οφείλεται στο ότι η Γραμμική γραφή Β΄, η οποία αποκρυπτογραφήθηκε από τον Michael Ventris το 1952, διαμορφώθηκε με βάση τη

Γραμμική Α', ένα συμπέρασμα που μπορεί να εξαχθεί λόγω των κοινών συμβόλων μεταξύ των δύο συστημάτων γραφής. Ωστόσο, όπως υποστηρίζουν οι Eu Min et al. η αξιοπιστία του επιχειρήματος διακυβεύεται κυρίως επειδή η χρονική διαφορά μεταξύ της χρήσης των δύο συστημάτων γραφής είναι πολύ μεγάλη και η Γραμμική Β' είναι μία γραφή η οποία κωδικοποιεί τη μυκηναϊκή ελληνική γραφή (Eu Min et al., 2019, p. 44).

Οι ερευνητές γνώριζαν από προγενέστερες προσπάθειες αποκρυπτογράφησης ότι η Γραμμική Β και η ελληνική γραφή παρουσιάζουν πολλές συγγένειες. Παρότι αυτές οι συγγένειες έχουν την ίδια καταγωγή, με το πέρασμα του χρόνου έχουν υποστεί αλλαγές. Όπως παρατηρεί ο Anthes, ένα σύστημα γραμμικού νευρωνικού δικτύου (*neural network-linear program system*) θα μπορούσε να χρησιμοποιήσει αυτή τη γνώση για την πραγματοποίηση αποκρυπτογραφήσεων ακριβείας με επιτυχία από τη Γραμμική Β στην ελληνική, αλλά όχι από τη Γραμμική Β στη γαλλική. Το γεγονός ότι η επιτυχία της αποκρυπτογράφησης της Γραμμικής Β στην ελληνική αγγίζει ένα ποσοστό 67% σημαίνει ότι το ένα τρίτο των συγγενικών ζευγών λέξεων μεταφράστηκε λάθος ίσως επειδή δεν είχαν κοινή καταγωγή ή επειδή δεν καταχωρήθηκαν στην χειρόγραφο βάση δεδομένων. Αυτό αποτελεί ένα πρόβλημα για τα συστήματα αποκρυπτογράφησης, το οποίο ζητά επίλυση. Όπως αναφέρει ο ίδιος, προηγούμενες προσπάθειες αποκρυπτογράφησης της Γραμμικής Β απέτυχαν διότι οι ερευνητές δεν έλαβαν υπόψη τους τη συγγένεια της Γραμμικής γραφής Β με την ελληνική, προσπαθώντας επί σειρά ετών να τη μεταγράφουν σε άλλες γλώσσες, μέχρι που το 1953 ο Βρετανός αρχιτέκτονας και γλωσσολόγος Michael Ventris το επιχείρησε στην ελληνική, εντοπίζοντας τη σωστή συσχετιζόμενη γλώσσα (*Related Language*) (Anthes, 2020).

6.3.1 Σημαντικά στάδια πριν από την αποκρυπτογράφηση της γραφής

- Άλεξ Πέρσον, 1930: ήταν μία από τις πιο ελπιδοφόρες προσπάθειες αποκρυπτογράφησης της Γραμμικής Β'. Ο Πέρσον είχε ανακαλύψει πριν τέσσερα χρόνια ένα κυλινδρικό δοχείο το οποίο είχε κάποιες επιγραφές στην περιφέρειά του. Συγκρίνοντας τα σύμβολα των επιγραφών αυτών με αυτά της κλασσικής Κυπριακής, η οποία είχε αποκρυπτογραφηθεί και είχε αποδειχθεί ότι ήταν ελληνικά, ο Πέρσον κατάφερε να αποκρυπτογραφήσει σχεδόν όλες τις λέξεις της επιγραφής. Η ανακάλυψη αυτή δεν βρήκε συμμάχους στην επιστημονική κοινότητα, κυρίως γιατί τα σύμβολα βρέθηκαν στο δοχείο δεν

έμοιαζαν με εκείνα της Γραμμικής Β'. Αργότερα ο Ventris απέδειξε ότι τα σύμβολα αυτά όντως δεν ανήκαν στη Γραμμική Β' αλλά δεν αποτελούσαν καν κάποιο σύστημα γραφής, αντιθέτως επρόκειτο για ένα είδος σκαριφήματος.

- Φ. Γκόρντον, 1931: ήταν ακόμη μία προσπάθεια η οποία θεώρησε ότι η Γραμμική Β' δεν είναι ελληνικά. Συγκεκριμένα στη μελέτη στην οποία δημοσιεύτηκε από τις εκδόσεις του πανεπιστημίου της Οξφόρδης, με τίτλο «Διαμέσου της Βασκικής γλώσσας, στην Μινωική», θεωρήθηκε ότι η Μινωική αυτή γλώσσα είχε κάποια σχέση με τα Βασκικά. Αυτός ο συλλογισμός προήλθε κυρίως από το γεγονός ότι θεωρήθηκε πως η Γραμμική γραφή Β' δεν είναι μία ινδοευρωπαϊκή γλώσσα και τα Βασκικά είναι η μόνη μη ινδοευρωπαϊκή γλώσσα που είχε επιβιώσει στην Ευρώπη.

Η μέθοδος η οποία χρησιμοποιήθηκε ήταν μία αρκετά δημοφιλής επιλογή, και είχε να κάνει με την υπόθεση ότι κάθε σύμβολο αντιπροσώπευε και ένα αντικείμενο. Ο Γκόρντον προσπαθώντας να μεταφράσει τις επιγραφές έκανε χρήση κάποιων ανορθόδοξων τρόπων με σκοπό να επιβεβαιώσει την υπόθεση του. Για παράδειγμα διάβαζε τις επιγραφές άλλοτε από τα αριστερά προς τα δεξιά και άλλοτε από τα δεξιά προς τα αριστερά ανάλογα με το πώς η μέθοδος του έβγαζε νόημα. Μάλιστα, κάποιες φορές αναποδογύριζε και τις πλάκες με σκοπό τα σύμβολα να του θυμίζουν κάποιο αντικείμενο.

- Μέλιαν Στάουελ, 1931: αν και η συγκεκριμένη επιστήμονας ασχολήθηκε κυρίως με τη Γραμμική Α' και με το δίσκο της Φαιστού, έκανε και κάποιες προσπάθειες να ερμηνεύσει κάποιες πλάκες της Γραμμικής Β'. Ακολούθησε και αυτή, τη μέθοδο της ακροφωνίας όπως και ο Γκόρντον. Η Στάουελ ξεκίνησε με μία παράτολμη εκείνη την εποχή παραδοχή, ότι τελικά ο Evans είχε άδικο και η Γραμμική Β' ήταν τελικά Ελληνική. Αν και η παραδοχή αυτή τελικά ήταν σωστή, οι ερμηνείες που έδωσε στα σύμβολα ήταν αυθαίρετες (Stawell, 1931).
- Ο Evans δημοσίευσε έναν μικρό αριθμό από τις πινακίδες τις οποίες είχε ανακαλύψει, ωστόσο, τη στιγμή του θανάτου του, το 1941, η κύρια έκδοση των πινακίδων Γραμμικής γραφής Β της Κνωσού (Scripta Minoa II), δεν είχε έρθει στο φως ακόμη. Το έργο ανατέθηκε στον στενό φίλο του Evans, τον ιστορικό και αρχαιολόγο της Οξφόρδης Sir John Myres, αλλά λόγω της ηλικίας του Myres, του ξεσπάσματος του Β' Παγκοσμίου Πολέμου και της κατάστασης των σημειώσεων και των σχεδίων του Evans έπειτα από μία έρευνα 40 ετών, η

πρόοδος στο έργο ήταν αργή. Η Scripta Minoa II εκδόθηκε τελικά το 1952 με σημαντική βοήθεια από άλλους μελετητές, ιδιαίτερα την Αμερικανίδα μελετητή Alice Kober. Στο μεταξύ, περισσότερες πινακίδες Γραμμικής γραφής Β' είχαν ανακαλυφθεί στην Πύλο στην ηπειρωτική Ελλάδα από το 1939, αλλά οι εργασίες και η δημοσίευση των ευρημάτων καθυστέρησαν λόγω του Β' Παγκοσμίου Πολέμου. Έτσι, η ποσότητα του υλικού που ήταν δημόσια διαθέσιμη ήταν, μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του 1950, πολύ περιορισμένη. Παρόλα αυτά, μελετητές σε όλο τον κόσμο μελετούσαν τη γραφή, συχνά σε στενή συνεργασία μεταξύ τους (Faculty of Classics, n.d.).

- Το 1950 ο Έρνστ Ζίντιγκ έκανε χρήση μίας νέας και αρκετά ελπιδοφόρας μεθόδου. Αυτός πήρε τις Κυπριακές επιγραφές, οι οποίες δεν ήταν γραμμένες στην ελληνική, και κατόπιν υπέθεσε ότι υπάρχει κάποια συσχέτιση ανάμεσα σε αυτές και στις επιγραφές της Γραμμικής Β'. Αναλύοντας τις συχνότητες εμφάνισης των συμβόλων της τελευταίας προσπάθησε να συσχετίσει τα δύο αυτά είδη γραφής. Το απόηγμα στο οποίο υπέπεσε είναι ότι υπέθεσε εσφαλμένα ότι τα δύο αυτά είδη γραφής σχετίζονται, υπόθεση η οποία αποδείχτηκε εσφαλμένη.
- Β. Γκεοργκίεφ, 1953: ο Γκεοργκίεφ θεώρησε ότι τα Μινωικά ήταν μία προελληνική γλώσσα. Η θεωρία αυτή είχε αρχίσει να κερδίζει έδαφος στους επιστημονικούς κύκλους και αναμφισβήτητα ήταν εν μέρη αληθής. Ο Γκεοργκίεφ, θεωρώντας ότι η Μινωική γλώσσα είναι εν μέρη Αρχαία Ελληνική γλώσσα, μετέφρασε ένα μέρος των λέξεων, το οποίο ταίριαζε με τις Ελληνικές λέξεις, και όποια λέξη είχε αυτό το χαρακτηριστικό, δηλαδή δεν ταίριαζε με τα Ελληνικά αφέθηκε για να μεταφραστεί αργότερα.
- Παρότι ο Michael Ventris ήταν εκείνος ο οποίος τελικά κατόρθωσε να αποκρυπτογραφήσει τη Γραμμική γραφή Β, την επιτυχία του την οφείλει σε μεγάλο βαθμό σε προηγούμενες μελέτες, και ιδιαίτερα σε αυτές της Alice Kober και ενός άλλου Αμερικανού μελετητή, του Emmett L. Bennett Jr. Ο Bennett, με έδρα αρχικά στο Cincinnati και αργότερα στο Yale, εκπόνησε τη διδακτορική του διατριβή στις πινακίδες της Πύλου και ήταν υπεύθυνος για τη δημοσίευσή τους το 1951. Πραγματοποίησε επίσης την πρώτη συστηματική ταξινόμηση των συμβόλων της Γραμμικής Β, καθορίζοντας τον οριστικό κατάλογο των πινακίδων και της τυπολογίας τους. Ακριβώς όπως στα αγγλικά το ίδιο γράμμα μπορεί να φαίνεται

πολύ διαφορετικό, για παράδειγμα **a, α** τα και , **a** έτσι και στη Γραμμική γραφή Β' η μορφή ενός συμβόλου μπορεί να ποικίλλει. Αυτό είχε ιδιαίτερη σημασία, διότι μετά την ταξινόμηση των συμβόλων και των παραλλαγών τους από τον Bennett θα μπορούσαν να πραγματοποιηθούν έγκυρες στατιστικές αναλύσεις (Faculty of Classics, n.d.).

6.3.2 Η χρήση της κρυπτογραφίας στην λύση του μυστηρίου

Οι ομοιότητες και οι διαφορές ανάμεσα σε μία άγνωστη ως προς εμάς γλώσσα και σε έναν κώδικα ίσως μερικές φορές να μην είναι εμφανείς. Ακόμη, ίσως και μερικές φορές να μας φαίνονται δύο τόσο ξένα μεταξύ τους αντικείμενα, ώστε να μην μπαίνουμε καν στον κόπο να τα συγκρίνουμε. Όταν όμως βρισκόμαστε αντιμέτωποι με ένα άλυτο μυστήριο το οποίο απασχόλησε γλωσσολόγους, αρχαιολόγους αλλά και κάθε λογής επιστήμονα για περισσότερο από 50 χρόνια (1900-1956) καλούμαστε να εξετάσουμε μεθόδους που ίσως αρχικά φαίνονται ανεφάρμοστες.

Αρχικά ένα κρυπτογραφημένο κείμενο έχει σκοπίμως σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι ακατανόητο στο ευρύ κοινό, ενώ αντιθέτως μία γραφή έχει σχεδιαστεί με ακριβώς τον αντίθετο τρόπο. Δηλαδή έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να είναι κατανοητή και να καλύπτει όσο το δυνατόν καλύτερα τις επικοινωνιακές ανάγκες του πληθυσμού από τον οποίο χρησιμοποιούταν.

Επιπλέον, ένα κρυπτογραφημένο μήνυμα είτε γνωρίζουμε είτε μπορούμε να υποψιαστούμε σε ποια γλώσσα είναι γραμμένο. Για παράδειγμα όλοι γνώριζαν ότι τα μηνύματα που παρήγαγε η μηχανή Enigma ήταν γραμμένα στα Γερμανικά. Αντιθέτως για μία δυσνόητη γραφή τίποτα δεν πρέπει να θεωρηθεί δεδομένο. Για παράδειγμα σε ότι αφορά τη Γραμμική Β', όπως έχει ήδη αναφερθεί, αρχικά όλοι οι επιστήμονες ήταν πεπεισμένοι δεν ήταν Ελληνικά. Επίσης υπάρχει πιθανότητα η ανακαλυφθείσα γραφή να μην ανήκει σε μία άγνωστη γλώσσα.

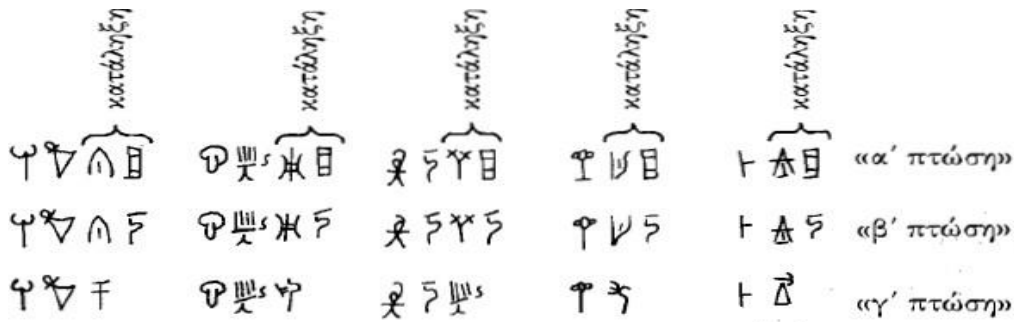
Η κρυπτογραφία έχει φανεί πολύ χρήσιμη στη μελέτη άγνωστων γραφών, από τη στιγμή που υπάρχουν αρκετά κείμενα ώστε να επιτευχθεί όσο μεγαλύτερη βεβαιότητα είναι δυνατό, στην μελέτη που θα γίνει. Η βασική αρχή έχει να κάνει με την λεπτομερή μελέτη των κειμένων, αλλά και με τη στατιστική ανάλυση των συμβόλων και των θέσεων αυτών, στα κρυπτογραφημένα κείμενα με στόχο την 'απομόνωση' κάποιας «ομάδας συμβόλων» στο κρυπτογραφημένο κείμενο, η οποία θα έχει κάποια ιδιαίτερη λειτουργία. Έπειτα, και από τη στιγμή που θα γνωρίζουμε την γλώσσα στην οποία είναι

γραμμένο το απλό κείμενο μπορούμε να συγκρίνουμε τις λειτουργίες των ομάδων αυτών με τους γραμματικούς και τους συντακτικούς κανόνες της γλώσσας και έτσι να εξάγουμε κάποια συμπεράσματα για την ερμηνεία των συμβόλων. Η κρυπτογραφία είναι μία επιστήμη, και όπως όλες οι επιστήμες, έτσι και αυτή βασίζεται στην παρατήρηση, την υπόθεση, το πείραμα και εν τέλη το συμπέρασμα.

Αρχικά ο Ventris είχε ασχοληθεί από πάρα πολύ μικρή ηλικία με τη Μινωική Γραφή. Χαρακτηριστικό είναι ότι η πρώτη δημοσίευση του ήταν το 1940, σε ηλικία μόλις 18 ετών, δημοσίευσε στο περιοδικό *American Journal of Archeology*, ένα άρθρο με τίτλο «Εισαγωγή στη Μινωική Γλώσσα». Εκτός όμως από τη χρόνια ενασχόληση του Ventris με το θέμα, στο να οδηγηθεί ο Ventris στην υπόθεση που τελικά θα έλυνε το γρίφο, πολύ σημαντικό ρόλο έπαιξαν και τρεις ακόμα πολύ σημαντικοί επιστήμονες.

Αρχικά, ο Κωνσταντίνος Κτιστόπουλος, ο οποίος είναι από τους ελάχιστους Έλληνες που ασχολήθηκαν με την αποκρυπτογράφηση της Γραμμικής Β'. Ο Κτιστόπουλος είχε πολλά χρόνια επικοινωνία με τον Ventris και είναι ίσως ο πρώτος άνθρωπος που πίστεψε στην ανάγκη για εκτενή στατιστική έρευνα πάνω στις επιγραφές της Γραμμικής Β', μάλιστα ο Κτιστόπουλος είναι ίσως ο πρώτος ερευνητής, ο οποίος μετέφρασε το σύμβολο **𐀀** με το γράμμα «α».

Μία ακόμη πολύ σημαντική ανακάλυψη που οδήγησε στην αποκρυπτογράφηση είναι αυτή της Alice Kober. Η Kober παρατήρησε ότι υπήρχαν κάποιες ομάδες συμβόλων οι οποίες βρισκόντουσαν στο τέλος των λέξεων και σύμφωνα με την ίδια φανέρωναν την ύπαρξη κλίσεων στα ουσιαστικά της γραφής. Αυτό οδηγούσε στο συμπέρασμα η Γραμμική Β' ήταν ένα είδος γραφής, που ακολουθούσε γραμματικούς κανόνες. Η ανακάλυψη αυτή ήρθε σε αντίθεση με την πεποίθηση του Ventris, ότι δηλαδή η Γραμμική Β' ήταν Ετρουσκικά, καθώς η γλώσσα αυτή, σε αντίθεση με τα Ελληνικά, δεν ακολουθεί γραμματικούς κανόνες. Η Kober εντόπισε πέντε ομάδες λέξεων, σε ένα σώμα πινακίδων, η καθεμιά από τις οποίες αποτελείτο από τρεις λέξεις, οι οποίες κατά την άποψή της, ήταν ενδεικτικές κλίσης. Το ενδιαφέρον είναι πώς κατέληξε στην υπόθεση ότι τα εν λόγω τρίδυμα αποτελούν τοπωνύμια. Οι ομάδες αυτές ονομάστηκαν τα «τρίδυμα» της Kober (Kober, 1948)



Εικόνα 31 Τα Τρίδυμα Της Kober.

Τέλος, εξαιρετικά σημαντική ήταν και η συμβολή του Έμετ Μπένετ. Το 1939, ο Αμερικανός καθηγητής Καρλ Μπλέγκεν μαζί με τον Έλληνα καθηγητή Κουρουνιώτη ανακάλυψαν περίπου 600 επιγραφές γραμμένες σε άργιλο σε μία τοποθεσία, στην οποία, κατά τον Μπλέγκεν, βρισκόταν η Αρχαία Πύλος. Οι πλάκες αυτές ήταν παρόμοιες με αυτές της Κνωσού και ήταν γραμμένες σε Γραμμική γραφή Β'. Η ανακάλυψη αυτή είναι πολύ σημαντική, διότι έτσι καταρριπτόταν ένα πολύ βασικό επιχείρημα πάνω στο οποίο στηρίζονταν οι υποστηρικτές της άποψης, ότι η Γραμμική Β' δεν ήταν ελληνική γραφή. Το επιχείρημα αυτό είχε να κάνει με το γεγονός ότι μέχρι τότε πινακίδια με Γραμμική γραφή Β' είχαν βρεθεί μόνο στην Κρήτη, άρα θεωρήθηκε δεδομένο ότι επρόκειτο μία τοπική γλώσσα. Ο Έμετ Μπένετ είναι εκείνος στον οποίο εμπιστεύθηκαν την “φωτογράφιση” των πινακιδίων που βρέθηκαν στην Πύλο και έτσι το 1951 εξέδωσε τη μονογραφία του «Οι Πινακίδες της Πύλου», η οποία περιείχε τον πρώτο οριστικό κατάλογο των συμβόλων της Γραμμικής Β'. Η εργασία αυτή ήταν καθοριστικής σημασίας διότι όσο εύκολο είναι να αναγνωρίσει κάποιος τα γράμματα μίας γνωστής του γλώσσας ανεξαρτήτως γραφικού χαρακτήρα, τόσο δύσκολο είναι να ξεχωρίσει κάποιος τα σύμβολα μίας άγνωστης γραφής, στην οποία δεν γνωρίζει τα μεγέθη των γραμμάτων ή την εκφορά τους (Chadwick, 1958).

6.3.3. Η χρήση των νευρωνικών γλωσσικών μοντέλων

Οι Papavasileiou et al. δημιούργησαν ένα μοντέλο γενετικής νευρωνικής γλώσσας (*generative language model*) για τη Γραμμική γραφή Β' με τη συλλογή ενός συνόλου δεδομένων ακολουθιών, τα οποία εξήχθησαν από ένα μερικώς παραγωγικό μοντέλο για τη μυκηναϊκή γραφή Γραμμικής Β και την εφαρμογή του στη συμπλήρωση κειμένου από αρχαίες πινακίδες. Με την εκπαίδευση του γλωσσικού μοντέλου κατέστη δυνατό να αποκατασταθούν τα κατεστραμμένα μέρη των επιγραφών. Το μοντέλο των Papavasileiou et al. εκμεταλλεύεται ένα αμφίδρομο επαναλαμβανόμενο νευρωνικό

δίκτυο σε επίπεδο συμβόλων, προκειμένου να αποτυπώσει τη στατιστική δομή των μυκηναϊκών εγγράφων. Προτείνουν ένα παραγωγικό γλωσσικό μοντέλο (*generative language model*), το οποίο υπολογίζει την πιθανότητα εμφάνισης μίας συγκεκριμένης πρότασης, λέξης ή χαρακτήρα μέσα σε ένα συγκεκριμένο πλαίσιο ή θέμα, αναλύοντας ένα σύνολο παρόμοιων κειμένων εκπαίδευσης, τα οποία αναφέρονται στο ίδιο πλαίσιο ή θέμα. Με αυτόν τον τρόπο αναπτύσσονται στατιστικές και πιθανοτικές τεχνικές ικανές να προβλέψουν και να προσδιορίσουν την πιθανότητα εμφάνισης συγκεκριμένων προτάσεων, λέξεων ή χαρακτήρων σε μια ακολουθία. Για το σκοπό αυτό, τα επαναλαμβανόμενα νευρωνικά δίκτυα (*recurrent neural networks*) έχουν χρησιμοποιηθεί με παραγωγικό τρόπο σε επίπεδο λέξεων ή χαρακτήρων. Ωστόσο, αυτά τα μοντέλα, αν και είναι πολύτιμα για τη δημιουργία κειμένου, συνήθως δεν λαμβάνουν υπόψη το κείμενο μετά το μέρος που λείπει, το οποίο, ωστόσο, μπορεί να περιέχει πολύτιμες πληροφορίες (Papavasileiou et al., 2022, p. 3).

Μελετώντας τη σχετική βιβλιογραφία, χρησιμοποίησαν το μοντέλο για να καταλήξουν σε προβλέψεις για ορισμένες ακολουθίες για τις οποίες υπάρχουν σχετικές πληροφορίες στη βιβλιογραφία. Στον Πίνακα 4 παρουσιάζονται 15 τέτοιες περιπτώσεις. Τα βιβλιογραφικά σχόλια για το σύμβολο που λείπει φαίνονται στην τρίτη στήλη και τα αποτελέσματα του μοντέλου στην τέταρτη. Το σύμβολο «b1» αντιστοιχεί στο σύμβολο του διαστήματος (Papavasileiou et al., 2022, p 16).

Damaged Tablets	Sequences	Bibliographic annotation	BRNN TOP-5
KN Dq 447	*-ta-wo da-mi-ni-jo OVIS:m oOVIS:m	possibly 'ka' or 'qe'	'ri', 'ka', 'u', 'ti', 'pi'
KN Dl 933 + 968 + 975 (Fig. 6)	*-83-re-to si-ja-du-we po-ti-ni-ja-we-jo OVIS:f LANA oLANA oOVISf okiOVIS:m	perhaps 'ko'	'da', 'e', 'po', 'ma', 'ovis:m
KN Dp 1061	*-sa pa-i-ti-ja OVIS LANA	probably 'to'	'to', 'ka', 'je', 'qa', '*86'
KN Dv 1213	*-so u-ta-no OVIS:m	'to', 'jo' possible	'ko', 'ta', 'de', 'pu', 'wo'
KN Da 1341 [+] 1454 + 8777	*-no-qa-ta pa-i-to da-mi-ni-jo OVIS:m	'po' possible, but difficult	'wo', 'jo', 'ta', 'ku', 'o'
KN Db 1344 + 6017 + 7268 + 7950 + 8235	*-tu-to pa-i-to we-we-si-jo-jo OVIS:m OVIS:f	perhaps 'ti'	'ti', 'bl', 'ke', 'ra', 'ka'
KN Da 1401 + 7998 + fr.	*-wi da-*22-to OVIS:m	perhaps 'na'	'ti', 'ri', 'to', 'na', '*22'
KN Df 5198 + 5238 + 5269	wi-na-jo ra-* ki-ri-jo-te OVIS:m OVIS:f peOVIS:m	traces favour 'ja'	'ja', 'to', 'bl', 'jo', 'ko'
KN Dv 5236 + 5329 (Fig. 7)	*-jo ra-to OVIS:m	perhaps 'qa' or 'wo'	'ri', '*18', 'ti', 'te', 'na'
KN Dv 5278 + 5338 + 8557	*-ma-we qa-mo OVIS:m	'ko' not impossible	'ra', 'ko', 'ja', 'ri', '*56'
KN Db 5310 + 6062 + 8375 (Fig. 8)	e-*jo ku-ta-to OVIS:m OVIS:f	perhaps 'qa' or 'ri'	'ko', 'ki', 'da', 'ka', 'wi'
KN Db 5359 + 5565 + 7214	*-ma-na-so ra-su-to u-ta-jo OVIS:m OVIS:f	'pi' not impossible	'bl', 'ta', 'ri', 'mi', 'su'
KN Dv 5690	du-ni-*	'jo' possible	'ja', 'bl', 'wa', 'ma', 'u'
KN Dc 7161 + 7179 + 8365 + fr. (Fig. 9)	*-to ku-ta-to u-ta-jo-jo OVIS:m oOVIS:m	possibly 'ke'	'ra', 'me', 'ka', 'a2', 'a3'
KN Do 7740	*-ta ka-to-ro se-to-i-ja	'ke' or 'de'	'ri', 'ti', 'si', 'me', 'nu'

Πίνακας 6. Βιβλιογραφικοί σχολιασμοί σε σύγκριση με προβλέψεις αμφίδρομων επαναλαμβανόμενων νευρωνικών δικτύων (*Bidirectional Recurrent Neural Networks – BRNN*), σε όλες τις ακολουθίες που εμφανίζονται στις πραγματικές περιπτώσεις.

6. 3.4 Η αποκρυπτογράφηση

Αν και ο Ventris παρέμενε πιστός στην άποψη του, ότι δηλαδή η Γραμμική Β' ήταν μία γραφή η οποία ανήκε στην γλώσσα των Ετρουσκικών, και αν και προσπάθησε να συνδέσει τα Μινωικά με τα Ετρουσκικά, αυτό δεν τον εμπόδισε να μελετήσει τα στοιχεία χωρίς προκατάληψη και εν τέλει να καταλήξει στη λύση του προβλήματος. Το πρώτο βήμα για την αποκρυπτογράφηση ήταν η ενδεδειγμένη στατιστική ανάλυση των επιγραφών που είχαν ανακαλυφθεί. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, ο πρώτος που πίστευε

στην σημασία της στατικής ανάλυσης ήταν ο Κωνσταντίνος Κτιστόπουλος. Μέσω της στατικής λοιπόν βγήκαν τα εξής συμπεράσματα:

- Υπήρχαν τρία σύμβολα με μεγάλη συχνότητα εμφάνισης στην αρχή λέξεων. Αυτά ήταν τα εξής:
- **Ψ** : σε ένα σύνολο 2529 ολοκληρωμένων λέξεων το σύμβολο αυτό είχε συνολικά 371 εμφανίσεις, εκ των οποίων οι 338 ήταν ως αρχικό σύμβολο, επομένως το 13,36% των λέξεων ξεκινούσαν με το διπλό πέλεκυ.
- **Α** : το σύμβολο αυτό έχει συνολικά 297 εμφανίσεις εκ των οποίων οι 221 είναι ως αρχικό σύμβολο, άρα το 8,74% των λέξεων ξεκινάει με το σύμβολο αυτό.
- **Β** : έχει συνολικά 232 εμφανίσεις εκ των οποίων οι 131 είναι ως αρχικό, δηλαδή με το σύμβολο αυτό ξεκινά το 5,18% των λέξεων.

Και τα τρία αυτά σύμβολα αυτά μπορούν να βρεθούν και σε άλλες θέσεις εκτός από την αρχική, με το σύμβολο **Β** να έχει αρκετά μεγάλη συχνότητα εμφάνισης και ως τελικό σύμβολο σε 73 από τις 232 λέξεις (Κτιστόπουλος, 1953).

- Μία ακόμα παρατήρηση που έγινε μέσω της στατιστικής ανάλυσης είναι ότι το σύμβολο **Ϟ** εμφανίζεται συχνά στο τέλος των λέξεων. Από τις συνολικά 113 εμφανίσεις του οι 61 είναι ως τελικό σύμβολο (Κτιστόπουλος ό.π.).

Εάν ληφθεί υπόψιν και το γεγονός ότι στις συλλαβικές γραφές ένα σύμβολο αντιπροσωπεύει είτε ένα μεμονωμένο φωνήεν είτε από μία συλλαβή που θα αποτελείται από ένα σύμφωνο που θα ακολουθείται από ένα φωνήεν, και άρα τα αμιγή φωνήεντα ήταν αρκετά σπάνια μέσα σε μία λέξη, όταν για παράδειγμα υπάρχει δίφθογγος, μπορούν να βγουν κάποια συμπεράσματα.

Αρχικά λοιπόν μπορεί να συναχθεί με αρκετά μεγάλη βεβαιότητα ότι τα σύμβολα **Ψ** **Α** και **Β** είναι φωνήεντα, χωρίς ωστόσο να μπορεί να υπάρξει κανένα στοιχείο ακόμα για την φωνητική τους αξία. Επιπλέον από την υψηλή συχνότητα εμφάνισης του συμβόλου **Ϟ** στο τέλος των λέξεων ο

Βέντρις συμπεράνε ότι επρόκειτο για κάτι το συνδετικό, με τηντιο προφανή επιλογή να είναι η λέξη «και», και χρησιμοποιούταν στο τέλος των λέξεων προκειμένου να τις συνδέσει με τις επόμενες.

Ένα επιπλέον στοιχείο το οποίο προέκυψε από την ενδελεχή παρατήρηση των πινακιδίων είναι ότι υπήρχαν λέξεις οι οποίες είχαν ίδια όλα τα σύμβολά τους πλην ενός. Από το γεγονός αυτό εξήχθη το συμπέρασμα ότι οι δύο λέξεις ήταν ουσιαστικά και απλώς σε κάποια από τις δύο επιγραφές που είχαν βρεθεί υπήρχε κάποιο ορθογραφικό λάθος. Με τον τρόπο αυτό μπορούσε να γίνει κάποια συσχέτιση της προφοράς κάποιων συμβόλων..

LINEAR SCRIPT B SYLLABIC GRID (2ND STATE)

WORK NOTE 15

DIAGNOSIS OF CONSONANT AND VOWEL EQUATIONS
IN THE INFLEXIONAL MATERIAL FROM PYLOS:

ATHENS, 28 SEPT 51

THESE 51 SIGNS MAKE UP 90% OF ALL SIGN - OCCURRENCES IN THE PYLOS SIGNGROUP INDEX. APPENDED FIGURES GIVE EACH SIGN'S OVERALL FREQUENCY PER MILLE IN THE PYLOS INDEX.

Impure ending, typical syllables before -ξ & -Ϟ in Case 2c & 3	Pure ending, typical nominatives of forms in Column 1	Includes possible 'accusatives'	Also, but less frequently, the nominatives of forms in Column 1		
THESE SIGNS DON'T OCCUR BEFORE -Ϟ-		THESE SIGNS OCCUR LESS COMMONLY OR NOT AT ALL BEFORE -Ϟ-			
MORE OFTEN FEMININE THAN MASCULINE?	MORE OFTEN MASCULINE THAN FEMININE?			MORE OFTEN FEMININE THAN MASCULINE?	
NORMALLY FORM THE GENITIVE SINGULAR BY ADDING -ξ		NORMALLY FORM THE GENITIVE SINGULAR BY ADDING -Ϟ			
vowel 1	vowel 2	vowel 3	vowel 4	vowel 5	
pure vowels? Ϟ 30.3				Ϟ 37.2	
e semi-vowel?			Ϟ 34.0	Ϟ 29.4	
consonant	Ϟ 14.8	Ϟ 32.5	Ϟ 21.2	Ϟ 28.1	Ϟ 18.8
2	Ϟ 19.6	Ϟ 17.5			Ϟ 13.7
3		Ϟ 7.2		Ϟ 3.3	Ϟ 10.0
4	Ϟ 17.0	Ϟ 28.6			Ϟ 0.4
5	Ϟ 17.7	Ϟ 10.3		Ϟ 4.1	Ϟ 10.2
6	Ϟ 7.4	Ϟ 20.5		Ϟ 14.8	Ϟ 14.4
7	Ϟ 4.1	Ϟ 44.0			
8	Ϟ 6.1	Ϟ 6.1		Ϟ 15.5	Ϟ 15.2
9		Ϟ 33.1		Ϟ 32.3	Ϟ 1.4
10	Ϟ 22.2		Ϟ 38.2	Ϟ 5.5	Ϟ 2.2
11	Ϟ 31.2	Ϟ 33.8	Ϟ 34.4	Ϟ 8.3	Ϟ 0.7
12	Ϟ 17.0			Ϟ 37.7	Ϟ 24.0
13		Ϟ 9.4	Ϟ 14.2		
14	Ϟ 5.0				
15	Ϟ 12.6				

MICHAEL VENTRIS

Εικόνα 32 Το πρωταρχικό πλέγμα του Βέντρις.

Για παράδειγμα μέσω αυτής της οδού ανακαλύφθηκε ότι υπάρχει κάποια συσχέτιση ανάμεσα στα σύμβολα Ψ και 𐀀 , καθώς επίσης και στα σύμβολα 𐀁 και 𐀂 . Με αυτά τα στοιχεία και αλλά και με τα όσα είχε ανακαλύψει η Kober σχετικά με τις καταλήξεις των λέξεων και το κατά πόσο αυτές θα μπορούσαν να προσδιορίζουν την πτώση των ουσιαστικών, τον Σεπτέμβριο του 1951 ο Ventris κατασκεύασε το πρωταρχικό συλλαβικό πλέγμα. Στον πίνακα αυτόν ο Ventris είχε συνθέσει τον πίνακα αυτόν με τέτοιο τρόπο, ώστε τα σύμβολα που ανήκαν στην ίδια σειρά να αποτελούνται από το ίδιο σύμφωνο, αλλά από διαφορετικό φωνήεν, ενώ αντίθετα τα σύμβολα που βρίσκονταν στην στήλη αποτελούνταν από διαφορετικό σύμφωνο, αλλά ακολουθούνταν από το ίδιο φωνήεν. Τον Νοέμβριο του ίδιου χρόνου ο Ventris διόρθωσε το πλέγμα κυρίως σε ότι αφορούσε την στήλη του 'φωνήεν 3'. Και μέσω αυτού κατέληξε στο συμπέρασμα ότι όλες οι καταλήξεις είχαν δανειστεί από τα Ελληνικά. Παρότι όμως αυτό ήταν κάτι που είχε παρατηρήσει ο Ventris, για ακόμα μία φορά προσπάθησε να συνδέσει την Γραμμική Β' με τα Ετρουσκικά, κάτι το οποίο δεν κατάφερε (Chadwick, 1958).

Ο Michael Ventris αποτύπωσε τις σχέσεις μεταξύ των συμβόλων στο συλλαβικό πλέγμα, καθώς η μέθοδός του βασίστηκε στο έργο του Bennett και της Kober με τη διεξαγωγή στατιστικών αναλύσεων και της αναγνώρισης κλιτών μορφών της ίδιας λέξης. Το πλέγμα, το οποίο απεικονίζεται στην Εικόνα 34, είναι ένα από τα πολλά «πλέγματα» τα οποία δημιούργησε, καθώς προχωρούσε η μελέτη του, και λήφθηκε από το «Σημείωμα εργασίας 17» του Φεβρουαρίου 1952. Τα σύμβολα στην ίδια στήλη πιστεύεται ότι μοιράζονται το ίδιο φωνήεν, ενώ εκείνα στην ίδια σειρά ότι μοιράζονται σύμφωνα. Για παράδειγμα, όλα τα σημάδια στην επισημασμένη σειρά εκτιμάται ότι αναφέρονται στο σύμφωνο **n-**, ενώ αυτά στην επισημασμένη στήλη αναφέρονται στο φωνήεν **-i**. Το σύμβολο 𐀃 , το οποίο βρέθηκε στο σημείο τομής της γραμμής και της στήλης, θα εκτιμάται ως **ni**.

LINEAR B SYLLABIC GRID

THIRD STATE : REVIEW OF PYLOS EVIDENCE

FIGURE 11
WORK NOTE 17
20 FEB 1952

SMALL SIGNS INDICATE UNCERTAIN POSITION, CIRCLED SIGNS HAVE NO OBVIOUS EQUIVALENT IN LINEAR SCRIPT A.

POSSIBLE VALUES	CONSONANTS	VOWELS					VOWEL UNCERTAIN
		-i ? -e ?	o ? -a ?	-e ? -a ?	-e ? -i ?		
		v 1	v 2	v 3	v 4	v 5	
PURE VOWEL P	—	⊔				⊔	
j-? c 1				⊔		⊔	
s-? v-? θ-? c-?	c 2	⊔	⊔	⊔	⊔	⊔	
z-? p-?	c 3	⊔		⊔		⊔	⊔
i-?	c 4	⊔	⊔	⊔		⊔	
t-?	c 5		⊔			⊔	⊔
t-?	c 6	⊔	⊔	⊔			⊔
θ-? r-?	c 7	⊔	⊔	⊔		⊔	
n-?	c 8	⊔	⊔	⊔		⊔	
f-?	c 9	⊔	⊔	⊔		⊔	
h/x-? θ-?	c 10		⊔	⊔		⊔	⊔
f-? l-?	c 11	⊔		⊔		⊔	⊔
l-?	c 12	⊔	⊔	⊔		⊔	⊔
v-? r-?	c 13	⊔		⊔		⊔	
c-?	c 14			⊔			
m-?	c 15		⊔	⊔		⊔	⊔
OTHER CONSONANTS		⊔		⊔		⊔	⊔

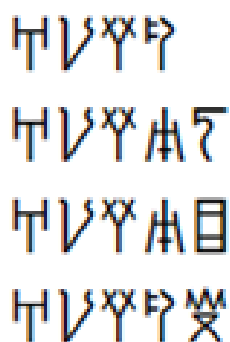
Εικόνα 33. Πλέγμα συλλαβών Γραμμικής γραφής Β, το οποίο σχεδίασε ο Michael Ventris από το «Σημείωμα εργασίας 17» του Φεβρουαρίου 1952

Ωστόσο, στις αρχές του 1952 ο Ventris έκανε μια σειρά από εμπνευσμένες εικασίες. Αρχικά, υπέθεσε ότι το ⊔ σύμβολο μπορεί να αντιστοιχεί σε **α**, καθώς συναντάταν πολύ συχνά στην αρχή των λέξεων, υποδηλώνοντας ότι ήταν φωνήεν. Σε μια συλλαβική γραφή, τα σύμβολα για φωνήεντα είναι πολύ πιο πιθανό να εμφανίζονται στην αρχή των λέξεων, επειδή τα φωνήεντα στη μέση των λέξεων συνήθως ακολουθούν ένα σύμφωνο και θα

συμβολίζονταν ως σύμφωνο + φωνήεν. Παρατήρησε ότι η σύγκριση των συμβόλων της Γραμμικής γραφής Β με την Κυπριακή Συλλαβική γραφή, η οποία χρησιμοποιήθηκε για την γραφή της ελληνικής στην Κύπρο και είχε ήδη αποκρυπτογραφηθεί τον 19ο αιώνα, υποδηλώνει ότι $\Upsilon\chi$ το θα μπορούσε να είναι ni, όπως καταγράφεται στο συλλαβικό πλέγμα (Εικ.34). Τέλος, ο Ventris υπολόγισε ότι ορισμένες λέξεις στις πινακίδες της Κνωσού, οι οποίες συχνά εμφανίζονταν σε επικεφαλίδες, θα μπορούσε να είναι τοπωνύμια. Αναρωτήθηκε εάν στην περίπτωση κατά την οποία ίσχυε κάτι τέτοιο, θα μπορούσε να αντιστοιχούν σε κρητικά τοπωνύμια γνωστά από μεταγενέστερες ελληνικές πηγές (Faculty of Classics, n.d.).

Κατά τον τρόπο αυτό τρεις πολύ σημαντικές εκείνη την εποχή πόλεις, η Αμνισός, η Κνωσσός και η Τυλισσός προσέφεραν μία σημαντική βοήθεια στην αποκρυπτογράφηση της Γραμμικής γραφής Β. Η Αμνισός ήταν ένα κοντινό στην Κνωσσό λιμάνι, στο οποίο αναφερόταν πολύ συχνά και ο Όμηρος. Σε ότι αφορά την ομάδα συμβόλων «μν», θα πρέπει αυτή να συλλαβιστεί με τη βοήθεια ενός πρόσθετου φωνήεν ανάμεσα στα δύο σύμφωνα. Επομένως η λέξη αυτή θα πρέπει να έχει την μορφή «Α-μι-νι-σο».

Η λέξη αυτή ήταν η εξής: $\text{H}\nu\chi\epsilon$ την οποία συναντούσαμε και στις εξής μορφές:



Οι οποίες φαίνεται να είναι επιθετικοί προσδιορισμοί είτε ακόμα και κάποια τοπική πτώση. Επιπλέον από το παραπάνω συμπεραίνουμε ότι το “φωνήεν 4” αντιστοιχούσε στο γράμμα -ο-.

Το άλλο κοινό τοπωνύμιο ήταν το $\text{P}\psi\epsilon$ για το οποίο ήταν εύκολο να

αποκρυπτογραφηθεί ως «ο νο σο », και έτσι δεν ήταν δύσκολο να γίνει αντιληπτό ότι το σύμφωνο που έλειπε από την πρώτη συλλαβή ήταν το -κ-

Τέλος ο Ventris με μεγάλη επιφύλαξη με μεγάλη επιφύλαξη αποκρυπτογράφησε την λέξη $\Phi \Lambda \text{ } \text{E}$ ως Τυλισσός. Η επιφύλαξη είχε να κάνει κυρίως με το γεγονός ότι το σύμβολο Φ είχε πολύ μικρή συχνότητα εμφάνισης, μόλις 70 φορές σε συνολικά 9189 εμφανίσεις συμβόλων (0,00762%), οπότε και η όποια επαλήθευση της ερμηνείας αυτής ήταν πολύ δύσκολη (Κτιστόπουλος, 1953).

t-?	c 6	Λ	F	E	
θ -? r-?	c 7	A	E	C	Y
n-?	c 8	Y	W	C	I
f-?	c 9	S	Y	E	C
h/x-? θ -?	c 10		P	W E	C
r-? l-?	c 11	X		E	C

Εικόνα 34. Λεπτομέρεια του πλέγματος του Ventris. Τα σημεία που μοιράζονται το φωνήεν -ο επισημαίνονται με πράσινο χρώμα, τα σημάδια που μοιράζονται το σύμφωνο n- με κόκκινο.

Η αξία του συλλαβικού πλέγματος φάνηκε καθώς μόλις γινόταν γνωστή η αντιστοιχία ενός συμβόλου, θα μπορούσαν να αναγνωριστούν και άλλα σύμβολα

(Εικ. 35). Ένα άλλο πιθανό τοπωνύμιο ήταν το P W E , το οποίο κατέληγε σε ένα σύμβολο το οποίο θα μπορούσε να προσδιοριστεί ως **SO-**, και επομένως θα προσδιορίζεται και τώρα έτσι. Ωστόσο, όπως φαίνεται στο συλλαβικό πλέγμα (Εικ. 34) τα άλλα δύο σύμβολα βρίσκονταν στην ίδια στήλη του πλέγματος ως **SO-** και κατά συνέπεια θα πρέπει να μοιράζονταν το φωνήεν **Ο**. Το δεύτερο

σύμβολο βρισκόταν στην ίδια σειρά ως **ni-**, και κατά συνέπεια, θα πρέπει να μοιράζεται το σύμφωνό, αποδίδοντας ως **no-**. Επομένως, πρόκειται για το τοπωνύμιο **?o-no-so** το οποίο πρόκειται για την Κνωσό, διατυπωμένο ως **ko-no-so** σε συλλαβική μορφή (Faculty of Classics, n.d.).

Συνοψίζοντας είχαμε τα εξής τοπωνύμια:

Γραμμική Β'	Αποκρυπτογραφημένο Κείμενο	Νέα Ελληνικά
𐀓 𐀚 𐀛 𐀜	A-mi-ni-so	Αμνισός
𐀓 𐀞 𐀜	Ko-no-so	Κνωσσός
𐀓 𐀠 𐀜	Tu-ri-so	Τυλισσός

Μετά από αυτά ο Βέντρις έστρεψε την προσοχή του στις λέξεις, «αγόρι» και «κορίτσι» οι δύο αυτές λέξεις γράφονταν ως εξής:

Αγόρι

𐀓 𐀠

Κορίτσι

𐀓 𐀞

Όπως βλέπουμε λοιπόν και οι δύο λέξεις ξεκινούν με το σύμβολο 𐀓 το οποίο είχε ήδη αποκρυπτογραφηθεί ως -ko-. Η μόνη εξήγηση που κατάφερε να βρει ο Βέντρις ήταν ότι τελικά η Γραμμική Β' προερχόταν από τα ελληνικά και συγκεκριμένα από κάποια δύσκολη διάλεκτο των αρχαϊκών Ελληνικών, τα οποία υπήρξαν τουλάχιστον 500 χρόνια πριν τον Όμηρο. Στην οποία η λέξη αγόρι και κορίτσι θα εμφανιζόντουσαν ως κόρFος και κορFα, υπό τον όρο ότι θα υπήρχε κάποια σύντμηση στην ορθογραφία ως: κο(ρ)-Fo και κο(ρ)-Fa (Chadwick, 1958).

Όπως δήλωσε ο ίδιος: ο Chadwick,

«Μόλις έκανα αυτήν την υπόθεση οι περισσότερες ιδιαιτερότητες της γλώσσας και της ορθογραφίας φάνηκαν να βρίσκουν μία λογική εξήγηση»³

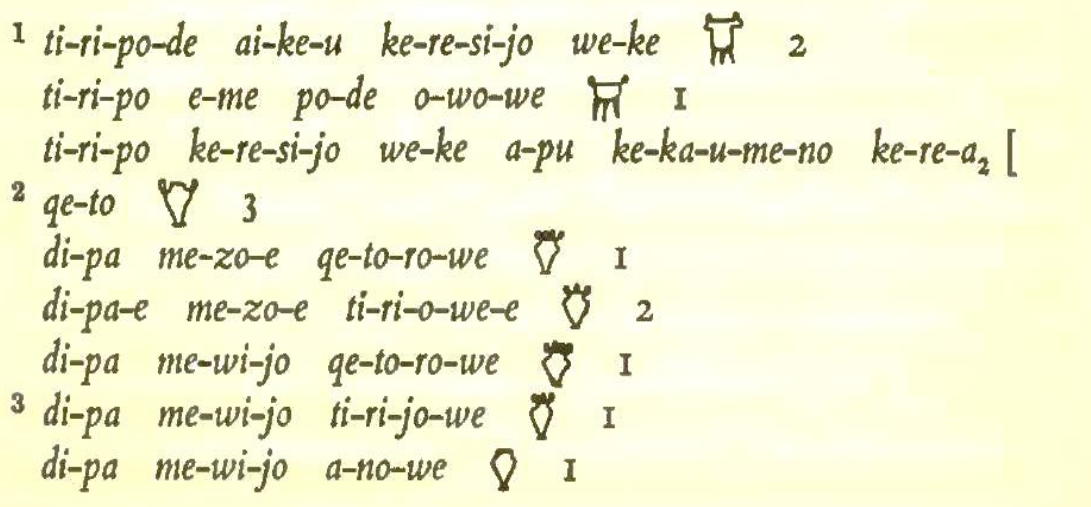
Το δίγαμμα ‘F’ ήταν το έκτο γράμμα ενός πρώιμου ελληνικού, το οποίο πήρε το όνομα του από το γεγονός ότι μοιάζει με την ένωση δύο γάμμα που απλά το ένα είναι τοποθετημένο πιο κάτω από το άλλο. Η φωνητική του αξία ήταν ένας ημιφωνικός φθόγγος όπως το αγγλικό w.

Η πρώτη δημοσίευση του Ventris στην οποία επικαλούταν την σύνδεση της Γραμμικής Β’ με τα Ελληνικά ήταν το άρθρο ‘Στοιχεία της Ελληνικής Διαλέκτου στα Μυκηναϊκά Αρχαία’, το οποίο εκδόθηκε το 1953 στο ‘Περιοδικό των Ελληνικών Σπουδών’ και το οποίο είχε συντάξει με τον Άγγλο καθηγητή κλασσικής φιλολογίας. Chadwick, Στο πρώτο μέρος του άρθρου αυτού διατυπώνεται η ιδέα ότι τελικά η Γραμμική Β’ ήταν Ελληνικά, κυρίως ως μία λογική υπόθεση παρά ως ένα αποδεδειγμένο γεγονός. Στη συνέχεια δίνεται το πειραματικό πλέγμα και γίνεται μία προσπάθεια να εξηγηθούν οι βασικές αρχές δημιουργίας του. Στο πειραματικό αυτό συλλαβικό πλέγμα δίνονται οι φωνητικές αξίες 65 συμβόλων εκ των οποίων τα 7 παρουσιάζονταν ως δοκιμαστικά. Επιπλέον παρουσιάστηκαν οι κανόνες ορθογραφίας της Μυκηναϊκής γραφής, οι οποίοι ήταν απόρροια της απόδοσης των μυκηναϊκών λέξεων ως ελληνικές (Chadwick, 1958).

Η επιβεβαίωση των όσων είχαν δημοσιευθεί στο προαναφερθέν άρθρο ήρθε σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα από τον Καρλ Μπλέγκεν, ο οποίος όπως έχει προαναφερθεί ήταν εκείνος ο οποίος είχε ανακαλύψει τις πλάκες με τις επιγραφές στην Πύλο. Ο Μπλέγκεν έστειλε στην μία επιστολή στον Ventris στην οποία τον ενημέρωνε ότι έχοντας κάνοντας χρήση του πλέγματος του για να αποκρυπτογραφήσει μία από τις πλάκες που είχε ανακαλύψει στην Πύλο είχε καταλήξει σε κάτι που επιβεβαίωνε τις υποθέσεις που είχαν γίνει κατά τη συγγραφή του άρθρου.

Στην πλάκα αυτή εξετάζονταν κάποια είδη δοχείων. Αν είναι δηλαδή με τρία ή με τέσσερα πόδια αλλά και αν είχαν τρεις, τέσσερεις ή και καθόλου λαβές.

³ Κομμάτι της συνέντευξης του Ventris στο Τρίτο Πρόγραμμα της ραδιοφωνίας του BBC (Γαρουφαλής, 2020).



Εικόνα 35 Το κείμενο της πλάκας.

Όπως βλέπουμε και στην Εικόνα 37, οι πρώτες λέξεις που εύκολα ξεχωρίζουν είναι οι «**ti-ri-po-de**» και «**ti-ri-po**», που παραπέμπουν στην λέξη *τρίπους*. Επίσης, διακρίνουμε τις λέξεις «me-zo-e» και «me-wi-jo» οι οποίες μεταφράζονται ως μείζον, δηλαδή μεγαλύτερο και ως μείον, δηλαδή μικρότερο καθώς και η λέξη «di-ra», δηλαδή δοχείο. Τέλος βλέπουμε κάποιες σύνθετες λέξεις, οι οποίες έχουν ως κοινό δεύτερο συνθετικό την λέξη «-o-Fe» που σήμαινε την λέξη αυτή. Το πρώτο μέρος των λέξεων αυτών αποτελείται από τα αριθμητικά προθέματα τρι- («ti-ri») και τετρα-(qe-to-ro-). Προφανώς υπάρχουν και λέξεις στην πλάκα οι οποίες δεν κατέστη τότε δυνατόν να μεταφραστούν, όμως η επιστολή αυτή επιβεβαίωσε σε ένα μεγάλο μέρος της επιστημονικής κοινότητας ότι ο Βέντρις και ο Τσάνγουϊκ είχαν κάνει την σωστή υπόθεση περί ελληνικότητας της γραμμικής Β (Chadwick,1958).

Μετά την πλήρη αποκωδικοποίηση της Γραμμικής Β' σειρά είχε η πλήρης μελέτη των πλακών που είχαν βρεθεί. Η ολοκλήρωση του έργου αυτού ήρθε το καλοκαίρι του 1955, όταν και ολοκληρώθηκε η συγγραφή του βιβλίου 'Αποδείξεις για τα Μυκηναϊκά Ελληνικά' από τους Ventris και Chadwick. Στο βιβλίο αυτό υπήρχε η ερμηνεία και ο σχολαστικός σχολιασμός 300 πλακών από την περιοχή της Κνωσσοῦ, των Μυκηνών και της Πύλου. Οι πλάκες αυτές επιλέχτηκαν βάση της δυσκολίας τους να ερμηνευτούν αλλά και των

ενδιαφερόντων στοιχείων τους. Επιπλέον εκεί βρίσκουμε και τον τελικό πίνακα της ερμηνείας των συμβόλων της Γραμμικής Β' από τον Ventris. (Ventris, & Chadwick, 1959).

Basic values										Homophones	
a	𐀀	e	𐀁	i	𐀂	o	𐀃	u	𐀄	a ₂ (ha)	𐀅
da	𐀆	de	𐀇	di	𐀈	do	𐀉	du	𐀊	ai	𐀋
ja	𐀌	je	𐀍	—	—	jo	𐀎	ju	—	ai ₂ ?	𐀏
ka	𐀐	ke	𐀑	ki	𐀒	ko	𐀓	ku	𐀔	ai ₃ ?	𐀕
ma	𐀖	me	𐀗	mi	𐀘	mo	𐀙	mu?	𐀚	*87 (kwe?)	𐀛
na	𐀜	ne	𐀝	ni	𐀞	no	𐀟	nu	𐀠	nca	𐀡
pa	𐀢	pe	𐀣	pi	𐀤	po	𐀥	pu	𐀦	pa ₂	𐀧
—	—	qe	𐀨	qi	𐀩	qo	𐀪	—	—	pa ₃ ?	𐀫
ra	𐀬	re	𐀭	ri	𐀮	ro	𐀯	ru	𐀰	pte	𐀱
sa	𐀲	se	𐀳	si	𐀴	so	𐀵	su	𐀶	pu ₂ ?	𐀷
ta	𐀸	te	𐀹	ti	𐀺	to	𐀻	tu	𐀼	ra ₂ (ri-ja)	𐀽
za	𐀾	ze	𐀿	zi	𐁀	zo	𐁁	—	—	ra ₃ (rai)	𐁂
za	𐁃	ze	𐁄	zi	—	zo	𐁅	zu?	𐁆	ro ₂ (ri-jo)	𐁇
*22	𐁇	*47	𐁈	*49	𐁉	*63	𐁊	*64	𐁋	*85 (si-ja?)	𐁌
*65	𐁍	*71	𐁎	*82	𐁏	*83	𐁐	*86	𐁑	ta ₂ (ti-ja)	𐁒

Εικόνα 36. Τελικός πίνακας ερμηνείας των συμβόλων της Γραμμικής Β'.

Σύνοψη

Όπως παρατηρήσαμε και στην εργασία από τα αρχαία χρόνια υπήρχε η ανάγκη του ανθρώπου να “κρύψει” τα μηνύματα που θα μεταφερόντουσαν με σκοπό να είναι ασφαλή. Αν και οι “κώδικες” που αναφέρθηκαν πλέον φαίνονται πολύ εύκολο να σπάσουν, είναι σημαντικό να αναφερόμαστε σε αυτούς διότι μας αποδεικνύει σε οποιαδήποτε εποχή και αν ανατρέξουμε η κρυπτογραφία θα είναι ένα σημαντικό της κομμάτι το οποίο σε ένα μεγάλο βαθμό έχει καθορίσει και την ίδια την ιστορία.

Επιπλέον από την μελέτη της διαδικασίας της Γραμμικής Β’ καταλαβαίνουμε ίσως και την συσχέτιση της μελέτης νεκρών γραφών με την κρυπτογραφία. Όπως γνωρίζουμε είναι σχεδόν αδύνατο να αποκρυπτογραφήσουμε ένα οποιοδήποτε κρυπτογραφημένο κείμενο (ciphertext) εάν δεν γνωρίζουμε τη γλώσσα στην οποία είναι γραμμένο. Έτσι και η Γραμμική Β’ αποκάλυψε τα μυστικά της μόνο όταν έγινε η σωστή υπόθεση περί προέλευσης της.

Βιβλιογραφία

- Anthes, G. (2020). Dead languages come to life. *Communications of the ACM*, 4, 13-15.
- Baker, A. F., J. I. (1919). *The life of sir Isaac Pitman*. Sir Isaac Pitman & Sons, Ltd., 1 Amen Corner, E.C.4 Bath, Melbourne and New York.
- Bauer. C. P (2013). *Secret History: The Story of Cryptology*. Chapman and Hall/CRC
- Barucci, A., Cucci, C., Franci, M., Loschiavo, M. (2016). *A Deep Learning Approach to Ancient Egyptian Hieroglyphs Classification*. DOI:10.1109/ACCESS.2021.3110082
- Bendall. L. M. (2003). *Exhibition catalogue*. Cambridge.
- Berg-Kirkpatrick, T., & Klein, D. (2011). Simple Effective Decipherment via Combinatorial Optimization. *Proceedings of the 2011 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing, Edinburgh, Scotland*, 313–321.
- Boucher, P. (2020). Artificial intelligence: How does it work, why does it matter, and what can we do about it? *European Union*. doi: 10.2861/44572
- Buchwald, J. Z. (2016). *Thomas Young and the Decipherment of Egyptian Hieroglyphs*, 871-872. doi.org/10.4000/annuaire-cdf.12658
- Chadwick, J. (1958). *The decipherment of Linear B*. Vintage Books.
- Cohen, F., & Associates. (1995). *A Short History of Cryptography*. <https://web.itu.edu.tr/~orssi/dersler/cryptography/Chap2-1.pdf>
- Corazza, M., Ferrara, S., Montecchi, B., Tamburini, F., & Valerio, M. (2020). The mathematical values of fraction signs in the Linear A script: A computational, statistical and typological approach. *Journal of Archaeological Science*. doi.org/10.1016/j.jas.2020.105214
- Diepenbroek Martine. L. M. (2020). *Myths and Histories of The Spartan Scytale*.
- Daggumati, S., & Revesz, P. Z. (2019). *Data Mining Ancient Scripts to Investigate their Relationships and Origins*. doi.org/10.1145/3331076.3331116
- Eu Min, N. C., Xu, D. D., & Cacciafoco, P. F. (2019). Coding to Decipher Linear A. In J. Hsiang & M. S. Baker (Eds.) *Proceedings of the 2019 Pacific Neighborhood Consortium Annual Conference and Joint Meetings (PNC)*, 44-48.
- Facchetti, G. M. (n.d.). *Again on linear a metrograms J and E*. DOI 10.1515/kadmos-2012-0002

- Faculty of Classics. (n.d.). *The Decipherment Process*. University department in Cambridge, England.
<https://www.classics.cam.ac.uk/system/files/documents/process.pdf>
- Guidi, T., Python, L., Forasassi, M., Cucci, C., Franci, M., Argenti, F., & Barucci, A. (2023). *Egyptian Hieroglyphs Segmentation with Convolutional Neural Networks*. doi.org/10.3390/a16020079
- Γαρουφαλής Δ. (2020). Θέματα Αρχαιολογίας Τόμος 4, τεύχος 2. Michael Ventris: Ο άνθρωπος που έφερε την ιστορία της Ελληνικής γλώσσας από τον 8ο στον 15^ο αι.π.Χ.
- Hooker, J. T. (1980). *Linear B: An Introduction*. Bristol Classical Press.
- Hooker, J. T. (1996). *Εισαγωγή στη Γραμμική Β*. Μορφωτικό Ίδρυμα Εθνικής Τραπέζης.
- Jajwalya R K., Amira A., & Anamaria, B. (2021). *Computational Pattern Recognition in Linear A*. In press. ffhal-03207615f
- Kober, A. E. (1948). The Minoan Scripts: Fact and Theory. *American Journal of Archaeology*, 52(1), 82-103. www.jstor.org/stable/500554
- Κτιστόπουλος, Κ. (1953). *Statistical Data on Minoan Words*.
- Κουκουβίνος, Α. Π. Χ. (2007). *Κρυπτογραφία*, Ε.Μ.Π.
- Lauriola, I., Campese, S., Lavelli, A., Rinaldi, F., & Aiolli, F. (2020). Exploring the feature space of character-level embeddings. *ESANN 2020 proceedings, European Symposium on Artificial Neural Networks, Computational Intelligence and Machine Learning. Online event, 2-4 October 2020*, 637-642. www.i6doc.com/en/.
- Luo, J., Cao, Y., & Barzilay, R. (2019). Neural Decipherment via Minimum-Cost Flow: from Ugaritic to Linear B. *Proceedings of the 57th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics*, 3146–3155. DOI:10.18653/v1/P19-1303
- Papavassileiou, K., Kosmopoulos, D. I., & Owens, G. (2022). A generative model for the Mycenaean Linear B script and its application in infilling text from ancient tablets. *ACM J. Comput. Cult. Herit.* xx, xx, Article xx. doi.org/10.1145/nnnnnnn.nnnnnnn
- Πλαγιάννης, Δ. Ι. (1931). *Ελληνική στενογραφία κατά το σύστημα Gabelsbergen-Mindler*. Τύποις Πυρσού.

- Pincock S. (2006). *Codebreaker – The history of Codes and Ciphers, from the ancient pharaohs to quantum cryptography*. Walker Books.
- Pourdamghani, N., & Knight, K. (2017). Deciphering Related Languages. *Proceedings of the 2017 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing*, 2513–2518.
- Reed, T. A. (2013). *A biography of Isaac Pitman (Inventor of phonography)*. Forgotten Books.
- Revesz, P. Z. (2016). Bioinformatics Evolutionary Tree Algorithms Reveal the History of the Cretan Script Family. *International Journal of Applied Mathematics and Informatics*, 10, 67-76.
- Singh, S. (2003). The history of cryptography. How the history of codebreaking can be used in the mathematics classroom with resources on a new CD-ROM. *Mathematics in School*. https://www.m-a.org.uk/resources/Vol-32-No1_Jan_2003_History_of_cryptography.pdf
- Snyder, B., Barzilay, R., & Knight, K. (2010). A Statistical Model for Lost Language Decipherment. *Proceedings of the 48th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics*, 1048–1057, Association for Computational Linguistics.
- Stawell, F. M. (1931). *A Clue to the Cretan Scripts*. Bell, London.
- Ventris, M., & Chadwick, J. (1959). *Documents in Mycenaean Greek*, Cambridge University Press.
- Zender, M. (n.d.). *Deciphering the Rosetta Stone*. https://www.academia.edu/29278231/Deciphering_the
- Zamacona, C. G. (2015) The Two Inner Directions of the Ancient Egyptian Script