

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
TECHNICAL UNIVERSITY OF CRETE

Διπλωματική Εργασία

Ανάλυση και πρόβλεψη δεδομένων
θνησιμότητας στην Ελλάδα

Επιβλέπων Καθηγητής : Γεώργιος Ατσαλάκης
Επιμέλεια : Σπυρίδων Κοντός

Χανιά, 2023

Περίληψη

Στη παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιείται μια ανάλυση δεδομένων θνησιμότητας στην Ελλάδα, κατά τα έτη 1990-2020. Τα δεδομένα εξάχθηκαν από τη βάση δεδομένων του Ευρωπαϊκού Στατιστικού Γραφείου (Eurostat) καθώς και από τη βάση δεδομένων «Human Mortality Database». Στο πρώτο μέρος της εργασίας, γίνεται χρήση ενός στοχαστικού μοντέλου για την εκτίμηση της μέσης διάρκειας ζωής και της συνολικής κατάστασης υγείας του ελληνικού πληθυσμού κατά τα έτη που μελετώνται, ανά περιφέρεια και φύλο. Επίσης, στους πίνακες αποτελεσμάτων εφαρμόζεται μέθοδος ανάλυσης συστάδων, με σκοπό την περαιτέρω μελέτη τους και την εύρεση τυχών ομαδοποιήσεων μεταξύ των περιφερειών και των ετών μελέτης. Στο δεύτερο μέρος της εργασίας, ερευνάται η απόδοση του νεύρο-ασαφούς συστήματος ασαφούς συμπερασμού – ANFIS στη πρόβλεψη του μηνιαίου αδρού δείκτη θνησιμότητας στην Ελλάδα κατά τα χρόνια 1990-2020 σε σχέση με άλλες μεθόδους πρόβλεψης. Παράλληλα, προτείνεται ένα μοντέλο εκπαίδευσης του ANFIS, το οποίο προέρχεται από τη θεωρία πρόβλεψης χαοτικών χρονοσειρών.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη.....	2
Κατάλογος Γραφημάτων.....	5
ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	7
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – ΔΗΜΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ - Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΟΥ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ.....	9
Εισαγωγή στη δημογραφική ανάλυση του πληθυσμού της Ελλάδας.....	9
1.1 Θνησιμότητα (Mortality)	9
1.2 Πίνακες Επιβίωσης (Life Tables).....	11
1.3 Γεννητικότητα (fertility).....	12
1.4 Δείκτες Διάρκειας Ζωής (Life Span Indicators).....	14
1.5 Σύθεση Πληθυσμού.....	15
1.6 Δημογραφικό Πρόβλημα.....	16
1.7 Σημασία της πρόβλεψης στη δημογραφία και την υγεία	16
1.8 Ονοματολογία Εδαφικών Μονάδων Στατιστικής (NUTS)	17
1.9 Σύνοψη κεφαλαίου	18
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ	19
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ.....	24
3.1 Μοντέλα κατάστασης υγείας.....	24
3.1.1 Εισαγωγή.....	24
3.1.2 Στατικά και Δυναμικά Μοντέλα κατάστασης υγείας	24
3.1.3 Ειδικά Δυναμικά Μοντέλα.....	25
3.1.4 Γενικά Αποτελέσματα στις διαδικασίες διασποράς.....	25
3.1.5 Θεωρία του χρόνου πρώτης διέλευσης και η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας.....	28
3.1.6 Το στοχαστικό μοντέλο και σχετικές παράμετροι.....	30
3.1.7 Κύριες παράμετροι και τεχνική στατιστικής εκτίμησης	32
3.1.8 Στοχαστική Προσομοίωση	33
3.1.9 Εκτίμηση Συνολικής Κατάστασης Υγείας.....	33
3.1.10 Λογιστική Καμπύλη και εκτίμηση θνησιμότητας σε μεγάλη ηλικία	34
3.2 Ασαφή Σύνολα.....	35
3.2.1 Εισαγωγή.....	35
3.2.2 Συναρτήσεις Συμμετοχής (Membership Functions).....	36
3.2.3 Συστήματα Ασαφούς Συμπερασμού (Fuzzy Interference System-FIS).....	37
3.3 Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα	38
3.3.1 Εισαγωγή.....	38

3.3.2 Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα	38
3.4 Υβριδικά Μοντέλα	40
3.4.1 Εισαγωγή.....	40
3.4.2 Προσαρμοστικά Δίκτυα (Adaptive Networks)	40
3.4.3 Αρχιτεκτονική Προσαρμοστικών Δικτύων	40
3.4.4 Καταμερισμός Παραμέτρων σε Προσαρμοστικά Δίκτυα	41
3.5 Προσαρμοστικό Νευροασαφές Σύστημα Ασαφούς Συμπερασμού (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System – ANFIS).....	42
3.5.1 Αρχιτεκτονική του ANFIS	42
3.5.2 Ανάλυση Συστάδων στο σύστημα ANFIS και η μέθοδος Subtractive Clustering	43
3.6 Ομαδοποίηση-Ανάλυση Συστάδων (Cluster Analysis).....	45
3.6.1 Ιεραρχική Ανάλυση Συστάδων (Hierarchical Clustering)	45
3.6.2 Η απόσταση Mahalanobis	46
3.6.3 Ο αλγόριθμος Dynamic Time Warping (DTW)	46
3.7 Σύνοψη Κεφαλαίου	48
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ.....	49
4.1 Εφαρμογή του δυναμικού μοντέλου, στοχαστική προσομοίωση και ομαδοποίηση των αποτελεσμάτων για τα δεδομένα της Ελλάδας	49
4.1.1 Εφαρμογή του δυναμικού μοντέλου στα δεδομένα της Ελλάδας.....	50
4.1.2 Εφαρμογή του δυναμικού μοντέλου στα δεδομένα των περιφερειών της Ελλάδας.....	72
4.1.3 Εφαρμογή Ιεραρχικής συσταδοποίησης στους πίνακες αποτελεσμάτων.....	85
4.2 Εφαρμογή του μοντέλου πρόβλεψης με χρήση του ANFIS.....	88
4.2.1 Δεδομένα	88
4.2.2 Προεπεξεργασία Δεδομένων.....	89
4.2.3 Εκπαίδευση	89
4.2.4 Δημιουργία Ασαφούς Συστήματος Συμπερασμού (FIS) και εκπαίδευση.....	89
4.2.5 Αποτελέσματα.....	93
4.2.6 Συγκριτική Ανάλυση μοντέλων ANFIS.....	95
4.2.7 Συγκριτική Ανάλυση μοντέλων πρόβλεψης	96
4.3 Σύνοψη Κεφαλαίου	96
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	97
5.1 Συμπεράσματα εφαρμογής του δυναμικού μοντέλου	97
5.2 Συμπεράσματα εφαρμογής μεθόδου πρόβλεψης με ANFIS.....	97
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	99
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	101

Κατάλογος Γραφημάτων

Διάγραμμα 1.1: Διαχρονική εξέλιξη των δεικτών IMR και CDR στην Ελλάδα, 1950-2023	10
Διάγραμμα 1.2: Διαχρονική εξέλιξη του αδρού συντελεστή γεννήσεων και του γενικού συντελεστή γεννητικότητας	12
στην Ελλάδα, 1950-2023	12
Διάγραμμα 1.3: Μια τυπική συνάρτηση πυκνότητας θανάτων για έναν πληθυσμό και τα τρία μέτρα της διάρκειας ζωής.....	14
Διάγραμμα 1.4: Πληθυσμιακή Πυραμίδα για τον πληθυσμό της Ελλάδας το 2023	15
Πίνακας 1.1: Πρότυπο γεωκωδικών NUTS για την Ελλάδα, σε επίπεδα 1,2 και 3	17
Σχήμα 3.6.1.: Σχηματική Αναπαράσταση της διαφοράς στην αντιστοίχιση χρονοσειρών με την Ευκλείδεια απόσταση και τον αλγόριθμο DTW, Εικόνα από Wikipedia Commons	47
Διάγραμμα 4.1.1: Δεδομένα (κατανομή πιθανότητας θανάτου) και προσαρμοσμένη καμπύλη από το δυναμικό μοντέλο, Ελλάδα, Άνδρες, 1990	50
Διάγραμμα 4.1.2: Στοχαστικές Προσομοιώσεις, Διαστήματα εμπιστοσύνης και Συνάρτηση Κατάστασης Υγείας, Ελλάδα, Άνδρες, 1990	51
Διάγραμμα 4.1.3: Δεδομένα (κατανομή πιθανότητας θανάτου), προσαρμοσμένη καμπύλη και αποτελέσματα προσομοίωσης, Ελλάδα, Άνδρες, 1990	52
Διάγραμμα 4.1.4: Δεδομένα (κατανομή πιθανότητας θανάτου) και προσαρμοσμένη καμπύλη από το δυναμικό μοντέλο, Ελλάδα, Άνδρες, 2000	53
Διάγραμμα 4.1.5: Στοχαστικές Προσομοιώσεις, Διαστήματα εμπιστοσύνης και Συνάρτηση Κατάστασης Υγείας, Ελλάδα, Άνδρες, 2000	54
Διάγραμμα 4.1.6: Δεδομένα (κατανομή πιθανότητας θανάτου), προσαρμοσμένη καμπύλη και αποτελέσματα προσομοίωσης, Ελλάδα, Άνδρες, 2000	54
Διάγραμμα 4.1.7: Δεδομένα (κατανομή πιθανότητας θανάτου) και προσαρμοσμένη καμπύλη από το δυναμικό μοντέλο, Ελλάδα, Άνδρες, 2010	55
Διάγραμμα 4.1.8: Στοχαστικές Προσομοιώσεις, Διαστήματα εμπιστοσύνης και Συνάρτηση Κατάστασης Υγείας, Ελλάδα, Άνδρες, 2010	56
Διάγραμμα 4.1.9: Δεδομένα (κατανομή πιθανότητας θανάτου), προσαρμοσμένη καμπύλη και αποτελέσματα προσομοίωσης, Ελλάδα, Άνδρες, 2010	57
Διάγραμμα 4.1.10: Δεδομένα (κατανομή πιθανότητας θανάτου) και προσαρμοσμένη καμπύλη από το δυναμικό μοντέλο, Ελλάδα, Άνδρες, 2020	58
Διάγραμμα 4.1.11: Στοχαστικές Προσομοιώσεις, Διαστήματα εμπιστοσύνης και Συνάρτηση Κατάστασης Υγείας, Ελλάδα, Άνδρες, 2020	59
Διάγραμμα 4.1.12: Δεδομένα (κατανομή πιθανότητας θανάτου), προσαρμοσμένη καμπύλη και αποτελέσματα προσομοίωσης, Ελλάδα, Άνδρες, 2020	60
Διάγραμμα 4.1.13: Δεδομένα (κατανομή πιθανότητας θανάτου) και προσαρμοσμένη καμπύλη από το δυναμικό μοντέλο, Ελλάδα, Γυναίκες, 1990	61
Διάγραμμα 4.1.14: Στοχαστικές Προσομοιώσεις, Διαστήματα εμπιστοσύνης και Συνάρτηση Κατάστασης Υγείας, Ελλάδα, Γυναίκες, 1990	62
Διάγραμμα 4.1.15: Δεδομένα (κατανομή πιθανότητας θανάτου), προσαρμοσμένη καμπύλη και αποτελέσματα προσομοίωσης, Ελλάδα, Γυναίκες, 1990	62
Διάγραμμα 4.1.16: Δεδομένα (κατανομή πιθανότητας θανάτου) και προσαρμοσμένη καμπύλη από το δυναμικό μοντέλο, Ελλάδα, Γυναίκες, 2000	63
Διάγραμμα 4.1.17: Στοχαστικές Προσομοιώσεις, Διαστήματα εμπιστοσύνης και Συνάρτηση Κατάστασης Υγείας, Ελλάδα, Γυναίκες, 2000	64
Διάγραμμα 4.1.18: Δεδομένα (κατανομή πιθανότητας θανάτου), προσαρμοσμένη καμπύλη και αποτελέσματα προσομοίωσης, Ελλάδα, Γυναίκες, 2000	65
Διάγραμμα 4.1.19: Δεδομένα (κατανομή πιθανότητας θανάτου) και προσαρμοσμένη καμπύλη από το δυναμικό μοντέλο, Ελλάδα, Γυναίκες, 2010	66
Διάγραμμα 4.1.20: Στοχαστικές Προσομοιώσεις, Διαστήματα εμπιστοσύνης και Συνάρτηση Κατάστασης Υγείας, Ελλάδα, Γυναίκες, 2010	67
Διάγραμμα 4.1.21: Δεδομένα (κατανομή πιθανότητας θανάτου), προσαρμοσμένη καμπύλη και αποτελέσματα προσομοίωσης, Ελλάδα, Γυναίκες, 2010	67

Διάγραμμα 4.1.22: Δεδομένα (κατανομή πιθανότητας θανάτου) και προσαρμοσμένη καμπύλη από το δυναμικό μοντέλο, Ελλάδα, Γυναίκες, 2020	68
Διάγραμμα 4.1.23: Στοχαστικές Προσομοιώσεις, Διαστήματα εμπιστοσύνης και Συνάρτηση Κατάστασης Υγείας, Ελλάδα, Γυναίκες, 2020	69
Διάγραμμα 4.1.24: Δεδομένα (κατανομή πιθανότητας θανάτου), προσαρμοσμένη καμπύλη και αποτελέσματα προσομοίωσης, Ελλάδα, Γυναίκες, 2020	70
Διάγραμμα 4.1.25: Συνάρτηση Κατάστασης Υγείας, Ελλάδα, Άνδρες και Γυναίκες, 1990-2000-2010-2020. 1.2 Αποτελέσματα εφαρμογής δυναμικού μοντέλου στα δεδομένα των περιφερειών	71
Διάγραμμα 4.1.26: Ετήσια τιμή μέσης διάρκειας ζωής (1990-2020), Νησιά Αιγαίου και Κρήτη, Άνδρες	72
Διάγραμμα 4.1.27: Ετήσια τιμή μέσης διάρκειας ζωής (1990-2020), Αττική, Άνδρες	73
Διάγραμμα 4.1.28: Ετήσια τιμή μέσης διάρκειας ζωής (1990-2020), Κεντρική Ελλάδα, Άνδρες	73
Διάγραμμα 4.1.29: Ετήσια τιμή μέσης διάρκειας ζωής (1990-2020), Βόρεια Ελλάδα, Άνδρες	74
Διάγραμμα 4.1.30: Ετήσια τιμή μέσης διάρκειας ζωής (1990-2020), Νησιά Αιγαίου και Κρήτη, Γυναίκες	75
Διάγραμμα 4.1.31: Ετήσια τιμή μέσης διάρκειας ζωής (1990-2020), Αττική, Γυναίκες	76
Διάγραμμα 4.1.32: Ετήσια τιμή μέσης διάρκειας ζωής (1990-2020), Κεντρική Ελλάδα, Γυναίκες	77
Διάγραμμα 4.1.33: Ετήσια τιμή μέσης διάρκειας ζωής (1990-2020), Βόρεια Ελλάδα, Γυναίκες	77
Διάγραμμα 4.1.35: Ετήσια τιμή συνολικής κατάστασης υγείας (1990-2020), Άνδρες, Νησιά Αιγαίου και Κρήτη	79
Διάγραμμα 4.1.36: Ετήσια τιμή συνολικής κατάστασης υγείας (1990-2020), Άνδρες, Αττική	80
Διάγραμμα 4.1.37: Ετήσια τιμή συνολικής κατάστασης υγείας (1990-2020), Άνδρες, Κεντρική Ελλάδα	80
Διάγραμμα 4.1.38: Ετήσια τιμή συνολικής κατάστασης υγείας (1990-2020), Άνδρες, Βόρεια Ελλάδα	81
Διάγραμμα 4.1.39: Ετήσια τιμή συνολικής κατάστασης υγείας (1990-2020), Γυναίκες, Νησιά Αιγαίου και Κρήτη	82
Διάγραμμα 4.1.40: Ετήσια τιμή συνολικής κατάστασης υγείας (1990-2020), Γυναίκες, Αττική	83
Διάγραμμα 4.1.41: Ετήσια τιμή συνολικής κατάστασης υγείας (1990-2020), Γυναίκες, Κεντρική Ελλάδα	83
Διάγραμμα 4.1.42: Ετήσια τιμή συνολικής κατάστασης υγείας (1990-2020), Γυναίκες, Βόρεια Ελλάδα	84
Διάγραμμα 4.1.43: Αποτελέσματα Ανάλυσης Συστάδων για τις Ελληνικές Περιφέρειες, 1991-2020, Άνδρες	85
Διάγραμμα 4.1.44: Αποτελέσματα Ανάλυσης Συστάδων για τις Ελληνικές Περιφέρειες, 1991-2020, Γυναίκες	86
Διάγραμμα 4.1.45: Αποτελέσματα Ανάλυσης Συστάδων των χρονικών περιόδων, Ελλάδα, 1991-2020	87
Πίνακας 4.1.1: Αποτελέσματα Συσταδοποίησης/ Ανάθεση συστάδων σε κάθε έτος	88
Διάγραμμα 4.2.1: Μηνιαίος Αδρός Δείκτης Θνησιμότητας, Ελλάδα 1990-2020	88
Διάγραμμα 4.2.2: Ασαφές Σύστημα Συμπερασμού (FIS) πριν την εκπαίδευση (ANFIS 3)	90
Διάγραμμα 4.2.3: Συναρτήσεις Συμμετοχής πριν την εκπαίδευση (ANFIS 3)	90
Διάγραμμα 4.2.4: Σφάλματα εκπαίδευσης και επικύρωσης σε συνάρτηση με τα epochs εκπαίδευσης (ANFIS 3)	91
Διάγραμμα 4.2.5: Δεδομένα εξόδου εκπαίδευσης και έξοδοι ANFIS 3 κατά την εκπαίδευση	92
Διάγραμμα 4.2.6: Πίνακας Συσχέτισης των εισόδων εκπαίδευσης (ANFIS 3)	92
Διάγραμμα 4.2.7: Ασαφές Σύστημα Συμπερασμού (FIS) μετά την εκπαίδευση (ANFIS 3)	93
Διάγραμμα 4.2.8: Συναρτήσεις Συμμετοχής μετά την εκπαίδευση (ANFIS 3)	93
Διάγραμμα 4.2.9: Δεδομένα εξόδου επικύρωσης και έξοδοι ANFIS 3 κατά την επικύρωση	94
Διάγραμμα 4.2.10: Σφάλματα Εξόδου Επικύρωσης ANFIS 3	94
Πίνακας 4.2: Παράμετροι διαφόρων δοκιμών ANFIS και σφάλματα στην εφαρμογή	95
Πίνακας 4.3: Σφάλματα διάφορων μεθόδων πρόβλεψης στα μηνιαία δεδομένα	96

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο πλαίσιο των σπουδών μου στη σχολή Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης του Πολυτεχνείου Κρήτης. Η εκπόνηση της ξεκίνησε τον Νοέμβριο του 2022 και ολοκληρώθηκε τον Ιούλιο του 2023, υπό την επίβλεψη του καθηγητή κ. Γεώργιου Ατσαλάκη.

Η εκπόνηση της εργασίας μου δεν θα ήταν εφικτή χωρίς τη συμβολή μιας σειράς ανθρώπων που στάθηκαν δίπλα μου, τόσο κατά την εκπόνηση της, όσο και κατά τις σπουδές μου στο Πολυτεχνείο Κρήτης.

Αρχικά, ευχαριστώ τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Ατσαλάκη Γεώργιο, για τον χρόνο που διέθεσε, την εμπιστοσύνη του, τη βοήθεια του και τη διαρκή του στήριξη του κατά την εκπόνηση της εργασίας.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τη καθηγήτρια του Ιονίου Πανεπιστημίου κ. Αθανασοπούλου Ιωάννα και τον καθηγητή του Δημοκρίτειου Πανεπιστημίου Θράκης κ. Ζαφείρη Κωνσταντίνο, για τη συμβολή και τη βοήθεια τους σε θεωρητικά θέματα δημογραφίας.

Τέλος, ευχαριστώ τον Χρήστο, την Ανθή, την Τόνια και φυσικά την οικογένεια μου, Άγγελο, Αμαλία και Ιωάννα, για τη διαρκή υπομονή, στήριξη και τις ευκαιρίες που μου προσέφεραν τα πέντε χρόνια που φοιτώ στο Πολυτεχνείο Κρήτης.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής είναι η ανάλυση της θνησιμότητας του πληθυσμού της Ελλάδας και στις δεκατρείς περιφέρειες της κατά τα έτη 1990-2020. Στόχος είναι ο προσδιορισμός της μέσης διάρκειας ζωής και της κατάστασης υγείας του πληθυσμού της Ελλάδας και των περιφερειών της κατά τα έτη 1990-2020, η ομαδοποίηση των περιφερειών σύμφωνα με τη μέση διάρκεια ζωής, η ομαδοποίηση των χρονικών περιόδων με παρόμοια χαρακτηριστικά σχετικά με τη θνησιμότητα και τέλος, η μελέτη της απόδοσης του Προσαρμοστικού Νευροασαφούς Συστήματος Ασφαούς Συμπερασμού -ANFIS στη πρόβλεψη των μηνιαίων δεδομένων θνησιμότητας.

Η εργασία χωρίζεται σε 5 κεφάλαια:

Στο πρώτο κεφάλαιο αναλύονται μερικές εισαγωγικές έννοιες της επιστήμης της δημογραφίας, όπως δείκτες, πίνακες και γραφήματα και παρουσιάζονται ορισμένα αποτελέσματα για τον πληθυσμό της Ελλάδας.

Στο δεύτερο κεφάλαιο εξετάζεται συνοπτικά η βιβλιογραφία και τα επιστημονικά άρθρα που υπάρχουν σχετικά με τα θέματα που αναφέρεται η εργασία.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται το θεωρητικό υπόβαθρο των μεθόδων και των εργαλείων που χρησιμοποιούνται στη παρούσα ανάλυση. Χωρίζεται σε δύο μέρη, το πρώτο αναφέρεται στο δυναμικό μοντέλο και τη συσταδοποίηση ενώ το δεύτερο αναφέρεται στη πρόβλεψη με το ANFIS

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα εφαρμογής των μεθόδων, καθώς και περαιτέρω ανάλυση των αποτελεσμάτων.

Στο πέμπτο κεφάλαιο σχολιάζονται τα αποτελέσματα της εφαρμογής των μεθόδων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – ΔΗΜΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ - Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΟΥ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

Εισαγωγή στη δημογραφική ανάλυση του πληθυσμού της Ελλάδας

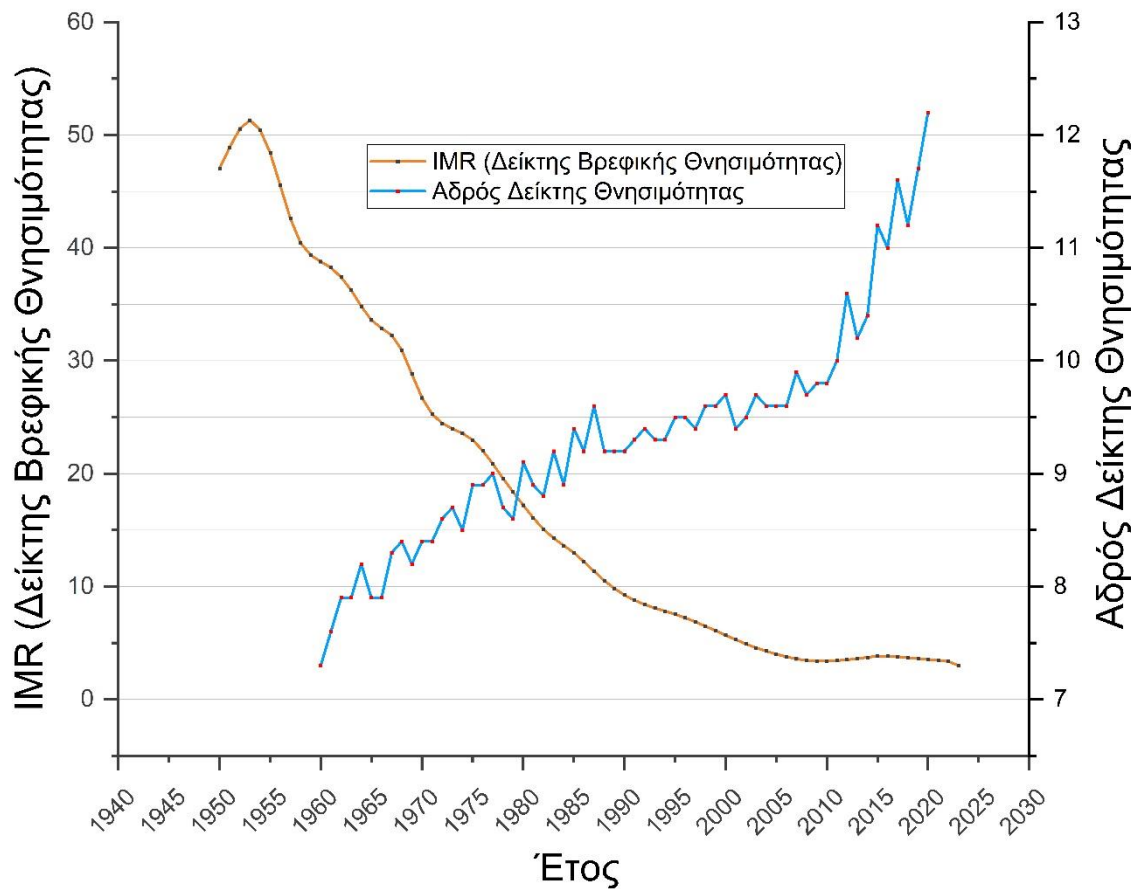
Τα δημογραφικά χαρακτηριστικά του πληθυσμού της Ελλάδας ακολουθούν όμοια πορεία με εκείνα των άλλων κρατών της Ευρώπης (ιδιαίτερα με εκείνα των Ευρωπαϊκών μεσογειακών κρατών) και περιλαμβάνουν χαμηλή θνησιμότητα και γεννητικότητα, έντονο δημογραφικό πρόβλημα και γήρανση του πληθυσμού. Μέσα στον 20^ο αιώνα, τα χαρακτηριστικά αυτά έχουν επηρεαστεί από πληθώρα παραγόντων, όπως επιδημικές και πανδημικές κρίσεις, πολέμους, μετανάστευση, επιστημονικές και τεχνολογικές εξελίξεις, τα οποία παρουσιάζονται στη συνέχεια.

1.1 Θνησιμότητα (Mortality)

Πρόκειται για το μέτρο των θανάτων σε έναν πληθυσμό ως προς το μέγεθος του, ανά μονάδα χρόνου, ενώ οι θάνατοι θεωρούνται είτε λόγω γενικής, είτε λόγω συγκεκριμένης αιτίας. Η θνησιμότητα μετράται με ποικίλους δείκτες, οι πιο σημαντικοί εκ των οποίων είναι:

1. Ο Αδρός Δείκτης Θνησιμότητας (Crude Death Rate), ο οποίος εκφράζει τον αριθμό των θανάτων από κάθε αίτιο σε έναν πληθυσμό σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, διαιρεμένο με τον ενδιάμεσο πληθυσμό του συγκεκριμένου χρονικού διαστήματος επί τοις χιλίοις. Συνήθως, το χρονικό διάστημα είναι το έτος, ενώ ο ενδιάμεσος πληθυσμός του συγκεκριμένου έτους είναι αυτός που μετράται ή εκτιμάται στο μέσο κάθε έτους.
2. Ο ειδικός κατά Ηλικία Συντελεστής Θνησιμότητας (Age-Specific Death Rate), ο οποίος εκφράζει τον αριθμό των θανάτων σε κάθε ηλικία κατά τη διάρκεια ενός έτους, διαιρεμένο με το μέσο πληθυσμό της αντίστοιχης ηλικίας, επί τοις χιλίοις.
3. Ο δείκτης Βρεφικής Θνησιμότητας (Infant Mortality Rate), ο οποίος εκφράζει τον αριθμό των θανάτων βρεφών (όπου βρέφος θεωρείται το νεογέννητο παιδί μέχρι τη συμπλήρωση του πρώτου έτους της ζωής του) κατά τη διάρκεια ενός έτους, διαιρεμένο με τον αριθμό των γεννήσεων του συγκεκριμένου έτους, επί τοις χιλίοις.

Δείκτης Βρεφικής Θνησιμότητας και Αδρός Δείκτης Θνησιμότητας Ελλάδα, 1950-2023



Διάγραμμα 1.1: Διαχρονική εξέλιξη των δεικτών IMR και CDR στην Ελλάδα, 1950-2023

Στο διάγραμμα (1.1) φαίνεται η διαχρονική εξέλιξη του IMR (Δείκτης Βρεφικής Θνησιμότητας) και του CDR (αδρός δείκτης θνησιμότητας) για την Ελλάδα, κατά τα έτη 1940-2023. Όπως φαίνεται, ο δείκτης βρεφικής θνησιμότητας μειώνεται και τείνει να σταθεροποιηθεί από το 2005 και μετά, ενώ ο αδρός δείκτης θνησιμότητας αυξάνεται γεωμετρικά, φαινόμενο που εξηγείται στη παράγραφο 1.6.

1.2 Πίνακες Επιβίωσης (Life Tables)

Πρόκειται για πίνακες των οποίων η χρήση είναι απαραίτητη στη βιοστατιστική, στη δημογραφική έρευνα και ιδιαίτερα στη μελέτη και μέτρηση της θνησιμότητας ενός πληθυσμού. Υπάρχουν δύο βασικές κατηγορίες:

1. Πίνακες Επιβίωσης Γενεάς (Cohort life tables): Περιγράφουν την κατά ηλικία θνησιμότητα μιας «ιδανικής» γενεάς L ατόμων, τα οποία θεωρείται πως έχουν γεννηθεί στο ίδιο ημερολογιακό έτος και σταδιακά μειώνονται. Η δημιουργία ενός τέτοιου πίνακα απαιτεί τη μελέτη του πληθυσμού από την γέννηση μέχρι και τον θάνατο του τελευταίου μέλους του.
2. Πίνακες Επιβίωσης Περιόδου (Period Life Tables): Πρόκειται για μια προσέγγιση των πινάκων επιβίωσης γενεάς, καθώς περιγράφουν την κατά ηλικία θνησιμότητα ενός πληθυσμού σε συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Τα μέλη του πληθυσμού έχουν γεννηθεί σε διαφορετικές χρονικές στιγμές, έτσι θεωρείται «συνθετική γενεά», ενώ η διαχρονική εξέλιξη εξετάζεται σύμφωνα με τα δεδομένα θνησιμότητας της περιόδου αναφοράς.

Οι ηλικίες στις οποίες αναφέρονται οι Πίνακες Επιβίωσης μπορεί να είναι πλήρεις (ηλικίες 0,1,2,... έτη) ή συνεπτυγμένες, δηλαδή να παρουσιάζουν εύρος ηλικιών.

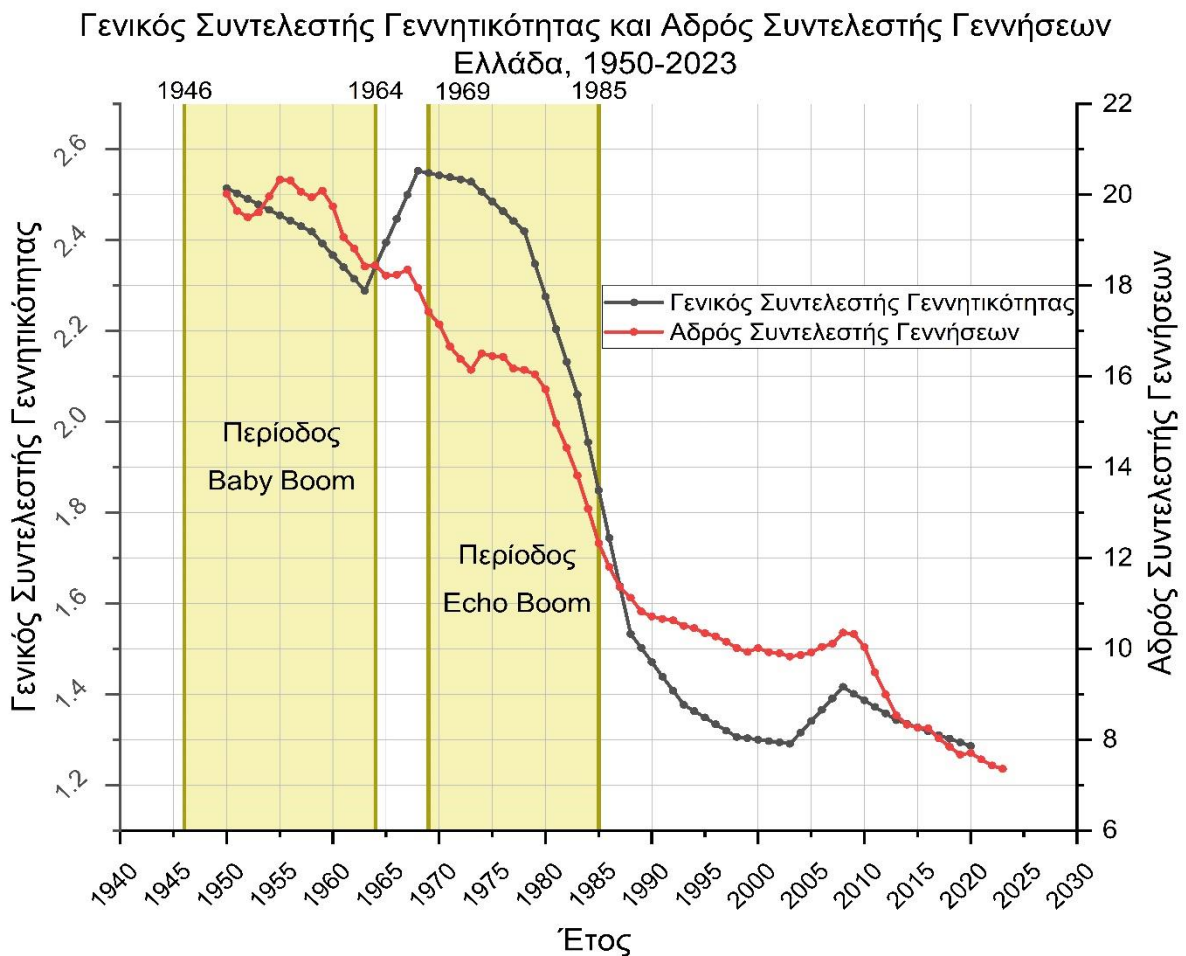
Για να δομηθεί ένας πίνακας επιβίωσης, χρειάζεται να οριστεί ο αριθμός των ατόμων μια γενεάς l_0 (συνήθως θεωρείται 10.000), ο οποίος αναφέρεται ως ρίζα του πίνακα. Στη συνέχεια, υπολογίζονται οι παρακάτω δείκτες:

- l_0 : ο αριθμός γεννήσεων των ατόμων που παρατηρούνται
- l_x : ο αριθμός των ατόμων που επιβιώνουν μέχρι την ηλικία x
- ${}_nq_x$: η πιθανότητα ενός ατόμου ηλικίας x να πεθάνει πριν φτάσει στην ηλικία $x+n$
- ${}_nP_x$: η πιθανότητα ενός ατόμου ηλικίας x να επιβιώσει άλλα n χρόνια
- S_x : η πιθανότητα επιβίωσης, δηλαδή η πιθανότητα ενός ατόμου να φτάσει στην ηλικία x
- ${}_nD_x$: το σύνολο των θανάτων στο διάστημα $[x, x+n]$
- ${}_nL_x$: το σύνολο των ετών ζωής που βιώνουν όλα τα άτομα του πληθυσμού στο διάστημα $[x, x+n]$
- T_x : το σύνολο των ετών ζωής που πρόκειται να ζήσουν τα άτομα του πληθυσμού στο διάστημα ηλικίας $[x, w)$, όπου $w-1$ η ανώτατη ηλικία στον πληθυσμό
- e_x^0 : προσδοκώμενη ζωή, δηλαδή τα υπόλοιπα χρόνια ζωής που έχουν μείνει στα άτομα ηλικίας x του πληθυσμού.

1.3 Γεννητικότητα (fertility)

Ο όρος «Γεννητικότητα» συνήθως αναφέρεται στη συχνότητα ή στον αριθμό των γεννήσεων μέσα σε έναν πληθυσμό, σε μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Τα βασικά μέτρα της γεννητικότητας είναι:

1. Ο Αδρός Συντελεστής Γεννήσεων (Crude Birth Rate), ο οποίος εκφράζει τον λόγο του αριθμού των γεννήσεων και του πληθυσμού, σε μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο.
2. Ο Γενικός Συντελεστής Γεννητικότητας (General Fertility Rate), ο οποίος εκφράζει τον αριθμό των γεννήσεων ανά 1000 γυναίκες σε αναπαραγωγική ηλικία.



Διάγραμμα 1.2: Διαχρονική εξέλιξη του αδρού συντελεστή γεννήσεων και του γενικού συντελεστή γεννητικότητας στην Ελλάδα, 1950-2023

Η συχνότητα και ο αριθμός των γεννήσεων επηρεάζονται από ποικίλους παράγοντες, όπως οι συνθήκες διαβίωσης, πολεμικές συρράξεις, επιδημικές ή πανδημικές κρίσεις και μετανάστευση. Σε παγκόσμιο επίπεδο, σημαντική αύξηση των γεννήσεων έχει καταγραφεί τη περίοδο που ακολούθησε τον 2^ο Παγκόσμιο Πόλεμο, φαινόμενο γνωστό ως «baby boom», το οποίο αναφέρεται στο διάστημα 1946-1964. Αξίζει να σημειωθεί πως η επόμενη περίοδος αυξημένων γεννήσεων ξεκινά τα τέλη της δεκαετίας του '70 και

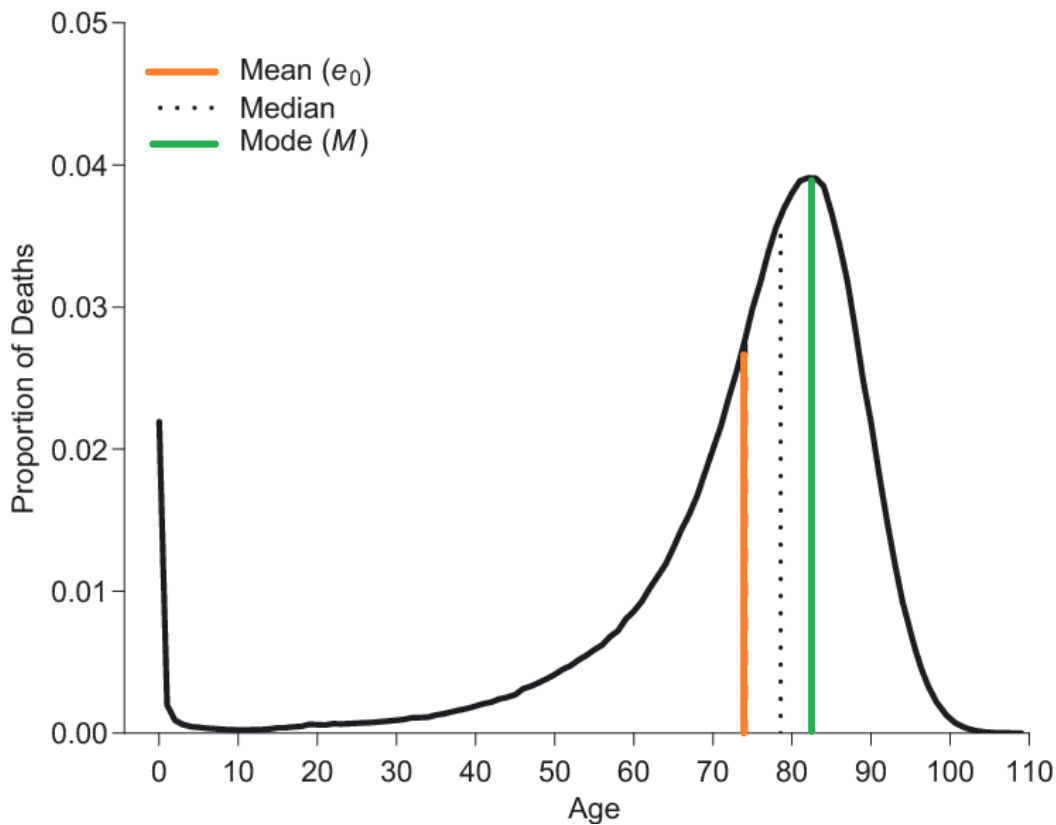
τελειώνει στα μέσα της δεκαετίας του '90, δηλαδή μια γενιά μετά το baby boom. Πρόκειται για την γενιά των «Echo Boomers», δηλαδή τα παιδιά όσων γεννήθηκαν κατά τη διάρκεια του «baby boom», ενώ αυτή η αύξηση αποτελεί τον «απόηχο» της αρχικής αύξησης. Αντίθετα, σημαντική μείωση των γεννήσεων έχει παρατηρηθεί μετά από επιδημίες ή πανδημίες, με πιο πρόσφατο παράδειγμα την πανδημία του Covid-19.

Το διάγραμμα (1.2) απεικονίζει τη διαχρονική εξέλιξη των δύο μέτρων της γεννητικότητας (αδρός συντελεστής γεννήσεων και γενικός συντελεστής γεννητικότητας) στην Ελλάδα, κατά τα έτη 1950-2023. Διακρίνεται ελαφρά το baby boom και πιο καθαρό το echo boom, ενώ διαχρονικά οι δείκτες έχουν πτωτική πορεία, με εξαίρεση τα έτη 2005-2010, στα οποία υπάρχει μια άνοδος η οποία στη συνέχεια εξαλείφεται.

1.4 Δείκτες Διάρκειας Ζωής (Life Span Indicators)

Για τη μέτρηση της διάρκειας ζωής, υπάρχουν τρεις αρκετά διαδεδομένοι δείκτες:

1. Mode ή Modal age at death, ο οποίος εκφράζει την ηλικία με τον μεγαλύτερο αριθμο θανάτων για έναν πληθυσμό. Υπολογίζεται από το μέγιστο της καμπύλης πυκνότητας θανάτων.
2. Median ή Mean Age at Death, ο οποίος εκφράζει την ηλικία στη πάνω στη καμπύλη πυκνότητας θανάτων στην οποία οι θάνατοι στα αριστερά της κατανομής είναι ίσοι με τους θάνατους στα δεξιά της κατανομής.
3. Προσδόκιμο Ζωής (Life Expectancy), το οποίο υπολογίζεται στην στήλη e των πινάκων επιβίωσης.

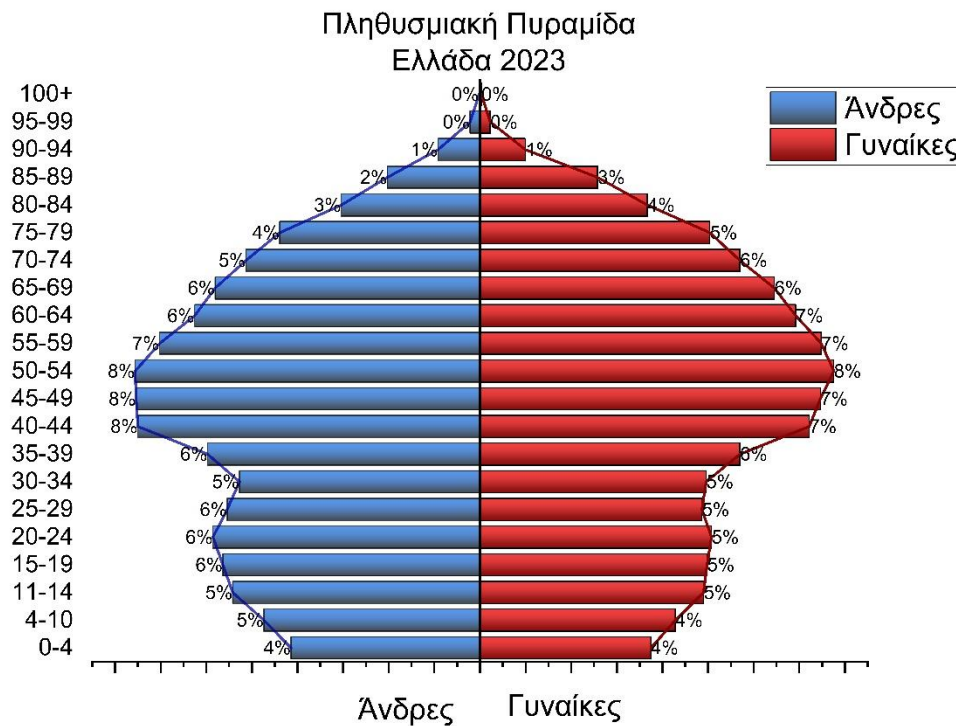


Διάγραμμα 1.3: Μια τυπική συνάρτηση πυκνότητας θανάτων για έναν πληθυσμό και τα τρία μέτρα της διάρκειας ζωής

Η σχέση μεταξύ των τριών δεικτών παρουσιάζεται στο διάγραμμα (1.3). Τυπικά, το προσδόκιμο ζωής εμφανίζεται σε μικρότερη ηλικία, το Mode εμφανίζεται σε μεγαλύτερη ηλικία, ενώ το Median εμφανίζεται μεταξύ των άλλων δύο μετρήσεων.

1.5 Σύνθεση Πληθυσμού

Ο όρος «Σύνθεση του πληθυσμού» αναφέρεται στη κατανομή ενός πληθυσμού ως προς ένα σύνολο χαρακτηριστικών (συνήθως την ηλικία και το φύλο) και χρησιμοποιείται για την διαχρονική μελέτη του πληθυσμού και την σύγκριση του με άλλους. Ένα βασικό διαγραμματικό εργαλείο για τη παρουσίαση της σύνθεσης ενός πληθυσμού είναι η πληθυσμιακή πυραμίδα.



Διάγραμμα 1.4: Πληθυσμιακή Πυραμίδα για τον πληθυσμό της Ελλάδας το 2023

Η πληθυσμιακή πυραμίδα αποτυπώνει την κατά φύλο και ηλικία σύνθεση του πληθυσμού σε ιστογράμματα. Επίσης, αποτυπώνει τις διαφορές επιπέδων θνησιμότητας και γεννητικότητας. Το διάγραμμα (1.4) απεικονίζει τη σύνθεση του Ελληνικού πληθυσμού το 2023 για άνδρες και γυναίκες. Το ποσοστό των γυναικών μεταξύ των ηλικιών 4 έως 29 έτη φαίνεται να είναι μικρότερο από αυτό των ανδρών, ενώ είναι μεγαλύτερο μεταξύ των ηλικιών 40-89. Η δομή της πληθυσμιακής πυραμίδας, δηλαδή το ρομβοειδές σχήμα και η στενή βάση, είναι χαρακτηριστική ενός πληθυσμού που μειώνεται, με χαμηλό δείκτη γονιμότητας αλλά και θνησιμότητας και μεγάλο μέσο όρο ηλικίας. Αυτή η δομή συναντάται συχνά σε χώρες της Ευρώπης καθώς και της Ανατολικής Ασίας και χαρακτηρίζει το δημογραφικό πρόβλημα.

1.6 Δημογραφικό Πρόβλημα

Ο όρος «δημογραφικό πρόβλημα» αναφέρεται στο σύνολο των συνεπειών ορισμένων δημογραφικών φαινομένων, όπως η μείωση και η γήρανση του πληθυσμού, η υπογεννητικότητα και η μετανάστευση. Στην Ελλάδα, το δημογραφικό πρόβλημα είναι ιδιαίτερα έντονο, ενώ χαρακτηρίζεται από:

- Μείωση Πληθυσμού, με βασικά αίτια την μειωμένη γονιμότητα, το αρνητικό ισοζύγιο θανάτων/γεννήσεων και τη μαζικά μετανάστευση εκτός Ελλάδας.
- Γήρανση Πληθυσμού, με βασικά αίτια τη μείωση της θνησιμότητας, την αύξηση του βιοτικού επιπέδου και κατ' επέκταση του προσδόκιμου ζωής και την μετανάστευση των νέων.
- Αστικοποίηση, δηλαδή τη μετακίνηση πληθυσμών από τη περιφέρεια προς τα αστικά κέντρα.

Οι συνέπειες του δημογραφικού προβλήματος στην Ελλάδα περιλαμβάνουν:

- Μετασχηματισμό της πληθυσμιακής πυραμίδας με την αύξηση του πληθυσμού για τις μεγαλύτερες ηλικίες και μείωση στους νεότερους.
- Επιβάρυνση του ασφαλιστικού συστήματος, λόγω αυξημένου αριθμού συνταξιούχων.
- Μείωση του εργατικού δυναμικού.
- Έντονη αύξηση του πληθυσμού στα αστικά κέντρα και ερήμωση των μη αστικών περιοχών.

1.7 Σημασία της πρόβλεψης στη δημογραφία και την υγεία

Η πρόβλεψη δεικτών υγείας και θνησιμότητας αποτελεί σημαντικό εργαλείο για τους επιστήμονες και τους υπεύθυνους των υγειονομικών αρχών μιας χώρας.

Αρχικά, τέτοιου είδους προβλέψεις μπορούν να βοηθήσουν στη λήψη αποφάσεων σχετικά με τη σχεδίαση, τη προετοιμασία και τη διαχείριση των πόρων ενός συστήματος υγείας στην αντιμετώπιση υγειονομικών κρίσεων, καθώς και στη λήψη προληπτικών μέτρων για την προστασία του πληθυσμού.

Παράλληλα, η προβλέψεις μπορούν να συμβάλουν στη κατανόηση των αιτιών και των παραγόντων που επηρεάζουν την υγεία και τη θνησιμότητα σε ένα πληθυσμό, ακόμα και σε σχέση με τις διάφορες ασθένειες ή τις διαθέσιμες θεραπείες. Το πιο πρόσφατο παράδειγμα αφορά τη πανδημία του COVID-19, όπου μοντέλα πρόβλεψης συνέβαλαν στον προσδιορισμό της διάρκειας των «κυμάτων» της πανδημίας στην Ελλάδα με εξαιρετική ακρίβεια, προσφέροντας σημαντικά συμπεράσματα στις υγειονομικές αρχές της χώρας.

1.8 Ονοματολογία Εδαφικών Μονάδων Στατιστικής (NUTS)

Η Ονοματολογία Εδαφικών Μονάδων Στατιστικής (Nomenclature of Territorial Units for Statistics – NUTS) πρόκειται για ένα πρότυπο γεωκώδικα αναφοράς σε διοικητικές περιοχές χωρών για στατιστικούς σκοπούς. Υπάρχουν 3 επίπεδα γεωκωδικών NUTS:

1. NUTS-1, ο οποίος αναφέρεται σε διοικητικές περιοχές με πληθυσμό 3.000.000-7.000.000 κατοίκων.
2. NUTS-2, ο οποίος αναφέρεται σε διοικητικές περιοχές με πληθυσμό 800.000-3.000.000 κατοίκων (στη περίπτωση της Ελλάδας αναφέρεται στις Περιφέρειες).
3. NUTS-3, ο οποίος αναφέρεται σε μικρότερες περιοχές (στη περίπτωση της Ελλάδας αναφέρεται στους Νομούς)

Η κωδικοποίηση για την Ελλάδα στα τρία επίπεδα είναι:

Πίνακας 1.1: Πρότυπο γεωκωδικών NUTS για την Ελλάδα, σε επίπεδα 1,2 και 3

NUTS 1	Code	NUTS 2	Code	NUTS 3	Code
Attiki	EL3	Attica	EL30	Northern Athens	EL301
				Western Athens	EL302
				Central Athens	EL303
				Southern Athens	EL304
				Eastern Attica	EL305
				Western Attica	EL306
				Piraeus, Islands	EL307
Nisia Aigaiou, Kriti	EL4	North Aegean	EL41	Lesbos, Lemnos	EL411
				Ikaria, Samos	EL412
				Chios	EL413
		South Aegean	EL42	Dodekanisos Prefecture	EL421
				Kyklades Prefecture	EL422
		Crete	EL43	Heraklion	EL431
				Lasithi	EL432
				Rethymno	EL433
				Chania	EL434
Voreia Ellada	EL5	Eastern Macedonia and Thrace	EL51	Evros	EL511
				Xanthi	EL512
				Rhodope	EL513
				Drama	EL514
				Thasos, Kavala	EL515
		Central Macedonia	EL52	Imathia	EL521
				Thessaloniki	EL522
				Kilkis	EL523
				Pella	EL524
				Pieria	EL525
				Serres	EL526
				Chalkidiki	EL527
		Western Macedonia	EL53	Grevena, Kozani	EL531
				Kastoria	EL532
				Florina	EL533
		Epirus	EL54	Arta, Preveza	EL541
				Thesprotia	EL542
				Ioannina	EL543

Kentriki Ellada	EL6	Thessaly	EL61	Karditsa, Trikala	EL611
				Larissa	EL612
				Magnesia	EL613
		Ionian Islands	EL62	Zakynthos	EL621
				Corfu	EL622
				Ithaca, Cephalonia	EL623
				Lefkada	EL624
		Western Greece	EL63	Aetolia-Acarnania	EL631
				Achaea	EL632
				Elis	EL633
		Central Greece	EL64	Boeotia	EL641
				Euboea	EL642
				Evrytania	EL643
				Phthiotis	EL644
				Phocis	EL645
		Peloponnese	EL65	Argolis, Arcadia	EL651
				Korinthia	EL652
				Laconia, Messenia	EL653

1.9 Σύνοψη κεφαλαίου

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή στη θεωρία της δημογραφικής ανάλυσης, σε ορισμένους δείκτες που χρησιμοποιούνται στη δημογραφία, τη βιοστατιστική και τη δυναμική των πληθυσμών, και παρουσιάζονται ορισμένα εργαλεία και κωδικοποιήσεις που θα συμβάλουν στη παρακάτω ανάλυση. Παράλληλα, παρουσιάζονται τα δημογραφικά χαρακτηριστικά της Ελλάδας κατά τα τελευταία έτη και σχολιάζεται η σημασία της συγκεκριμένης ανάλυσης για τη χώρα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

Τα τελευταία χρόνια έχουν πραγματοποιηθεί πολλές έρευνες σχετικά με τη δημογραφία, τη θνησιμότητα και την υγεία του Ελληνικού πληθυσμού. Σημαντική δουλειά έχει γίνει κυρίως από Έλληνες αλλά και ξένους ερευνητές όπως παρουσιάζονται στη συνέχεια.

1. Greece since the 1960s: the mortality transition revisited: a join point regression analysis.

Στην έρευνα του, ο Konstantinos N. Zafeiris, εξετάζοντας το φαινόμενο της δημογραφικής μετάβασης, μελετά ενδελεχώς τη θνησιμότητα στην Ελλάδα, ξεκινώντας από το 1960. Χρησιμοποιεί ένα σύνολο μεθόδων, ξεκινώντας από ανάλυση των πινάκων επιβίωσης. Συνεχίζει, χρησιμοποιώντας τη συνάρτηση πυκνότητας των θανάτων στην Ελλάδα, αναλύοντας τη με χρήση ενός δυναμικού μοντέλου, όμοιου με αυτού που μελετάται σε αυτή τη διπλωματική, αλλά και αλγορίθμους μηχανικής μάθησης και συγκεκριμένα ανάλυση συστάδων, με σκοπό την ομαδοποίηση των χρονικών περιόδων με παρόμοια χαρακτηριστικά ως προς τη θνησιμότητα. Επίσης, υπολογίζει τον συντελεστή Gini, ο οποίος εκφράζει τον βαθμό της διακύμανσης σε ένα σύνολο μετρήσεων και πιο συγκεκριμένα, τον βαθμό ανισότητας. Τέλος, υπολογίζονται οι κανονικοποιημένοι δείκτες για τις κυριότερες αιτίες θανάτου.

2. Long-term trends and recent upturns in regional mortality variations in Greece

Σε αυτή την έρευνα, ο Vasilis S. Gavalas κάνει χρήση δεδομένων θνησιμότητας σε περιφερειακό επίπεδο, προκειμένου να αναλύσει διαφορές και ανισότητες στη θνησιμότητα μεταξύ περιφερειών. Για τη συγκριτική αυτή μελέτη, χρησιμοποιούνται μετρήσεις του δείκτη βρεφικής θνησιμότητας (IMR-Infant Mortality Rate) και του κανονικοποιημένου δείκτη θνησιμότητας (SMR-Standardized Mortality Rate) για τα έτη 1981-2014. Τα αποτελέσματα επιβεβαιώνουν την ύπαρξη ανισοτήτων μεταξύ των περιφερειών, χωρίς όμως κάποιο γεωγραφικό μοτίβο. Οι Περιφέρειες με αυξημένη, σε σχέση με τον μέσο όρο, κανονικοποιημένη θνησιμότητα είναι της Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης, του Νοτίου Αιγαίου, των Ιόνιων Νησιών, της Πελοποννήσου της Κεντρικής Ελλάδας και Εύβοιας, ενώ τόσο ο δείκτης όσο και οι περιφερειακές ανισότητες έχουν μειωθεί κατά τη περίοδο μελέτης. Όσον αφορά τον δείκτη βρεφικής θνησιμότητας, τα δύο μεγάλα αστικά κέντρα, η Αθήνα και η Θεσσαλονίκη κινούνται πάνω από τον μέσο όρο της Ελλάδας.

3. Regional mortality differentials in Greece by selected causes of death: 2006-2008

Στο συγκεκριμένο άρθρο, οι Kalogirou, Tsimbos, Veropoulou και Kotsifakis αναλύουν τις διαφορές στη θνησιμότητα 51 περιοχών/ νομών της Ελλάδας, για επιλεγμένες αιτίες θανάτου, τα έτη 2006-2008. Επιλέγεται η μελέτη θανάτων από νεόπλασμα και ασθένειες του κυκλοφορικού και αναπνευστικού συστήματος, καθώς ευθύνονται για το 80% των συνολικών θανάτων στην Ελλάδα, ενώ ως δείκτης χρησιμοποιείται το κανονικοποιημένο ποσοστό θνησιμότητας (Standardized Mortality Ratio - SMR). Τα αποτελέσματα της έρευνας περιλαμβάνουν:

1. Όμοια συμπεριφορά του δείκτη μεταξύ ανδρών και γυναικών σε σχέση με τις υπό μελέτη περιοχές.
2. Η θνησιμότητα από νεόπλασμα και ασθένειες του κυκλοφορικού είναι χαμηλότερη στη νότια και δυτική Ελλάδα καθώς και στα νησιά και υψηλότερη στη Βόρεια Ελλάδα και ιδιαίτερα στη Θράκη.
3. Η θνησιμότητα από ασθένειες του αναπνευστικού δεν διαφοροποιείται σημαντικά ανά την Ελλάδα.
4. Το προσδόκιμο ζωής είναι υψηλότερο στη νότια Ελλάδα και στα νησιά, για τους άνδρες στο Νότιο Αιγαίο και για τις γυναίκες στην Ήπειρο.
5. Στην Ανατολική Μακεδονία και Θράκη παρατηρείται το χαμηλότερο προσδόκιμο ζωής.

4. Forecasting Mortality Rate Using a Neural Network with Fuzzy Inference System

Σε αυτή την έρευνα, οι Atsalakis, Nezis, Matalliotakis, Ucenic και Skiadas εξετάζουν την επίδοση του Προσαρμοστικού Νευροασφαούς Συστήματος Ασαφούς συμπερασμού- ANFIS στην πρόβλεψη θνησιμότητας σε σχέση με άλλα μοντέλα πρόβλεψης. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν αφορούν τη θνησιμότητα στην Αμερική τα έτη 1933-2004. Το 70% των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε για την εκπαίδευση του μοντέλου, ενώ το υπόλοιπο 30% χρησιμοποιήθηκε για την επαλήθευση του. Τα αποτελέσματα της έρευνας δείχνουν τις ικανοποιητικές επιδόσεις του ANFIS στη πρόβλεψη θνησιμότητας, καθώς και την υπεροχή του έναντι των μεθόδων AR και ARMA.

5. Demographic Transition and economic growth: Empirical Evidence from Greece

Σε αυτό το άρθρο, οι George Hondroyiannis και Evangelia Papapetrou εξετάζουν την επίδραση του δημογραφικού προβλήματος στην οικονομική ανάπτυξη της Ελλάδας. Σύμφωνα με τους συγγραφείς, ο συνδυασμός χαμηλών γεννήσεων και υψηλού προσδόκιμου ζωής επηρεάζει τη πληθυσμιακή σύνθεση «βιομηχανοποιημένων» χωρών, προκαλώντας έλλειψη εργατικού δυναμικού και γήρανση του πληθυσμού. Μέσω στατιστικής ανάλυσης, εξετάζεται η σχέση μεταξύ του ποσοστού γονιμότητας, του αδρού δείκτη βρεφικής θνησιμότητας, του «πραγματικού» μισθού και τη πραγματική κατά κεφαλήν παραγωγή της Ελλάδας, κατά τα έτη 1960-1996. Τα συμπεράσματα της έρευνας αναφέρουν πως η βρεφική θνησιμότητα, η κατάσταση της αγοράς εργασίας και η οικονομική ανάπτυξη αποτελούν παράγοντες που μεταβάλλουν τη γονιμότητα. Ένα επίσης σημαντικό εύρημα είναι ότι η «θετική» σχέση μεταξύ θνησιμότητας και γονιμότητας είναι πιο πιθανό να παρατηρηθεί σε μια χώρα που έχει χαμηλή βρεφική θνησιμότητα, όπως η Ελλάδα.

6. Regional dimensions of mortality and health status in Greece, 2000-2012

Η θνησιμότητα και η κατάσταση υγείας στις περιφέρειες της Ελλάδας κατά τα έτη 2000-2012 μελετώνται σε αυτό το άρθρο των Zafeiris και Skiadas. Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται στη συγκεκριμένη έρευνα αντλήθηκαν από την Ελληνική Στατιστική

Υπηρεσία (ΕΛΣΤΑΤ) και αφορούν πίνακες επιβίωσης για τις 5 περιοχές κωδικοποίησης NUTS3 της Ελλάδας, για τα έτη 2000-2012, για άνδρες και γυναίκες. Για την ανάλυση, χρησιμοποιείται ένα δυναμικό μοντέλο που βασίζεται στη θεωρία της πρώτης εξόδου για τον προσδιορισμό της κατάστασης υγείας καθώς και το μοντέλο του Chiang για τον προσδιορισμό των πιθανοτήτων θανάτου των πινάκων επιβίωσης, καθώς και το προσδόκιμο ζωής για τους πληθυσμούς.

Τα συμπεράσματα της έρευνας αναφέρουν πως το προσδόκιμο ζωής έχει αυξηθεί, ενώ φαίνεται να έχει επηρεαστεί από παράγοντες όπως η οικονομική κρίση του 2008. Επίσης, παρατηρούνται έντονες διαφορές στη κατάσταση υγείας μεταξύ των πληθυσμών των διαφόρων περιοχών, με τις περιοχές της Βόρειας Ελλάδας (εκτός της Δυτικής Μακεδονίας), της Αττικής και της Δυτικής Ελλάδας να έχουν χαμηλότερο προσδόκιμο σε σχέση με τις υπόλοιπες. Τέλος, η οικονομική κρίση έχει επηρεάσει σε διαφορετικό βαθμό τις περιοχές, με την Αττική να έχει πληγεί σε μεγαλύτερο βαθμό.

7. Life expectancy in Greece 1991-2007: regional variations and spatial clustering

Μια από τις λίγες έρευνες που ασχολούνται με τη θνησιμότητα στους νομούς της Ελλάδας είναι αυτή των Tsimbos, Kotsifakis, Verroroulou και Kalogirou. Στην εν λόγω δημοσίευση, αναλύονται διαφορές του προσδόκιμου ζωής μεταξύ των νομών της Ελλάδας, καθώς και χωρικά «μοτίβα» για τα έτη 1991, 2001 και 2007. Επιπρόσθετα, επιχειρείται απεικόνιση των αποτελεσμάτων σε χάρτη, ώστε να οπτικοποιηθούν οι μεταβολές του προσδόκιμου ζωής κατά τη διάρκεια χρόνου, για κάθε περιοχή. Στα αποτελέσματα παρατηρείται μία συστάδα περιοχών με χαμηλό προσδόκιμο (Μακεδονία, Θράκη) και τρεις συστάδες με υψηλό προσδόκιμο, οι οποίες περιλαμβάνουν τις περιοχές Πελοπόννησος, Νησιά Αιγαίου και Κρήτη. Οι μεταβολές είναι ίδιες για άνδρες και γυναίκες, ενώ οι διαφορές μεταξύ τους φαίνεται να μειώνονται μετά το 2001, ακολουθώντας το «Ευρωπαϊκό» πρότυπο με μια καθυστέρηση 20 ετών.

8. Estimating Spatial Differentials in Life Expectancy in Greece at Local Authority Level

Σε μία ακόμη τους έρευνα, οι Tsimbos, Kalogirou και Verroroulou επιχειρούν να εκτιμήσουν τις χωρικές μεταβολές του προσδόκιμου ζωής στην Ελλάδα, σε επίπεδο τοπικής αυτοδιοίκησης. Τα δεδομένα της έρευνας προέρχονται από τα αποτελέσματα της απογραφής του 2001 καθώς και από τα ληξιαρχικά γραφεία. Για περιοχές με περισσότερους από 5000 κατοίκους χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος του Chiang για τη κατασκευή των πινάκων επιβίωσης, ενώ για περιοχές με λιγότερους από 5000 κατοίκους, το προσδόκιμο ζωής εκτιμήθηκε μέσω παλινδρόμησης.

Τα αποτελέσματα αναφέρουν πως οι πληθυσμοί των περιοχών της Κρήτης, Νησιά Αιγαίου, Ιόνια Νησιά, Πελοπόννησος, Κεντρική και Δυτική Ελλάδα, Θεσσαλονίκη και Αθήνα έχουν υψηλότερο προσδόκιμο ζωής, ενώ οι πληθυσμοί της Βόρειο-ανατολικής Ελλάδας και ιδιαίτερα της Θράκης έχουν χαμηλότερο προσδόκιμο.

Γενικά, το προσδόκιμο κυμαίνεται μεταξύ 70.7 και 79.6 για άνδρες ενώ για γυναίκες μεταξύ 76.1 και 82.5. Τέλος, οι πιο υποβαθμισμένες περιοχές εμφανίζουν χαμηλότερο προσδόκιμο και υψηλότερη διαφορά μεταξύ των φύλων.

9. Health, economic crisis, and austerity: A comparison of Greece, Finland, and Iceland

Σε αυτή την έρευνα των Granados και Rodriguez, πραγματοποιείται μια συγκριτική ανάλυση δεικτών υγείας μεταξύ Ελλάδας, Ισλανδίας και Φινλανδίας. Σκοπός είναι η μελέτη της επίδρασης των μέτρων λιτότητας που εφαρμόστηκαν στην Ελλάδα μετά την οικονομική κρίση του 2008, σε σχέση με τη Ισλανδία και τη Φινλανδία, στις οποίες δεν εφαρμόστηκαν μέτρα. Τα δεδομένα που αναλύονται αφορούν το προσδόκιμο ζωής, δείκτες θνησιμότητας, δείκτες λοιμωδών νοσημάτων, ποσοστά εμβολιασμού και η αυτοαναφερόμενη κατάσταση υγείας, κατά τα έτη 1990-2011 και αντλήθηκαν από τη βάση δεδομένων του παγκόσμιου οργανισμού υγείας (World Health Organization-WHO). Μεθοδολογικά, για κάθε δείκτη έγινε σύγκριση της τάσης της ευθείας παλινδρόμησης πριν και μετά την οικονομική κρίση και εξετάστηκε η υπόθεση να μην έχει αλλάξει η κλίση της ευθείας μεταξύ των δύο περιόδων. Τα αποτελέσματα της έρευνας επιβεβαιώνουν την υπόθεση και το γεγονός ότι η υγεία στην Ελλάδα δεν επιδεινώθηκε κατά τη διάρκεια της οικονομικής κρίσης, αλλά ακολούθησε παρόμοια πορεία με αυτή της Φινλανδίας και της Ισλανδίας, τουλάχιστον μέχρι το 2012.

10. Mortality Modelling Using Probability Distributions. Application in Greek Mortality Data

Σε αυτό το άρθρο από το 2016, οι Andreopoulos, Bersimis, Tragaki και Rovolis αναλύουν την απόδοση διαφόρων κατανομών για την μοντελοποίηση δεδομένων θνησιμότητας. Οι κατανομές αυτές ανήκουν στη κατηγορία των στατικών μεθόδων, οι οποίες δεν λαμβάνουν υπόψιν τις διαχρονικές μεταβολές στη κατάσταση υγείας ενός πληθυσμού. Ενδεικτικά, χρησιμοποιούνται οι κατανομές Gompertz και Gompertz-Makeham, ενώ στο άρθρο προτείνεται μια ακόμη κατανομή, συνδυασμός των παραπάνω με τη κατανομή Beta, προκειμένου να βελτιωθούν τα δεδομένα για τις μικρότερες και μεγαλύτερες ηλικίες. Τέλος, έγινε εφαρμογή των μοντέλων στα δεδομένα θνησιμότητας της Ελλάδας το 2011, για άνδρες και γυναίκες. Τα αποτελέσματα δείχνουν βελτιωμένα αποτελέσματα με το προτεινόμενο μοντέλο ANBE και ικανοποιητική απόδοση στα κριτήρια AIC και BIC.

11. Comparing the Gompertz- Type Models with a First Passage Time Density Model

Σε αυτό το σύντομο άρθρο από τους Skiadas και Skiadas, συγκρίνονται οι κατανομές πυκνότητας θανάτων που προκύπτουν από μοντέλα τύπου Gompertz και των δυναμικών μοντέλων που προέρχονται από τη θεωρία πρώτης διάβασης. Τα μοντέλα εφαρμόστηκαν στα δεδομένα θνησιμότητας των γυναικών στις Ηνωμένες Πολιτείες το έτος 2004, καθώς και στα δεδομένα των Carey et al. (1992). Προκύπτει πως για την μοντελοποίηση δεδομένων με θετικό και αρνητικό βάρος αντίστοιχα, χρειάζονται δύο κατανομές τύπου Gompertz και μία συνάρτηση από δυναμικό μοντέλο, δείχνοντας έτσι την υπεροχή του δυναμικού μοντέλου.

12. Economic Downturns and compositional effects in regional population structures by age: a multi temporal analysis in Greek regions, 1981-2017

Σε αυτή τη σχετικά πρόσφατη έρευνα, αναλύεται η δημογραφική σύνθεση και οι οικονομικές επιπτώσεις στην ηλικιακή σύνθεση του πληθυσμού των 13 περιφερειών της Ελλάδας. Οι Benassi και Salvati πραγματοποιούν μια στατιστική ανάλυση για τα έτη 1981-2017, με σκοπό να ερευνήσουν τη σχέση μεταξύ της μεταβαλλόμενης σύνθεσης των πληθυσμών και της οικονομικής ανισότητας, ενώ επιλέχθηκε η Ελλάδα, καθώς αποτελεί από παράδειγμα οικονομικής ανάπτυξης και μετέπειτα ύφεσης, η οποία επηρέασε τη δημογραφία της τα τελευταία 40 χρόνια. Η διαχρονική αυτή ανάλυση βασίζεται στην ανάλυση σε κύριες συνιστώσες (PCA- Principal Component Analysis). Συμπεραίνεται πως οι αστικές και νησιώτικες περιοχές παρουσιάζουν ταχύτερη πληθυσμιακή δυναμική, ενώ περιοχές της περιφέρειας παρουσιάζουν πιο έντονες αλλαγές ως προς τη γήρανση του πληθυσμού. Επίσης, αυτή η γήρανση φαίνεται να έχει αρνητικές επιπτώσεις και να συμβάλλει αρνητικά στην έξοδο της χώρας από την οικονομική κρίση.

13. Demographic forecasting of population aging in Greece and Cyprus: one big challenge for the Mediterranean health and social system long-term sustainability

Με την αυξημένη γήρανση του πληθυσμού και τη μείωση του λόγου ενεργού και εξαρτώμενου πληθυσμού, η γήρανση και το δημογραφικό πρόβλημα φαίνεται να αποτελεί πρόκληση για πολλές χώρες, καθώς αυξάνεται το βάρος στα συστήματα υγείας και του συνταξιοδοτικού. Σε αυτό το άρθρο των Lamnisis, Giannakou και Jakovljevic, ερευνώνται οι τάσεις ορισμένων δημογραφικών δεικτών που σχετίζονται με τη γήρανση για την Ελλάδα και τη Κύπρο. Για την πρόβλεψη χρησιμοποιήθηκε το Μπεϋζιανό Ιεραρχικό Μοντέλο, ενώ τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν αφορούν δείκτες συνολικού πληθυσμού, γονιμότητας, προσδόκιμου ζωής και τον λόγο εξάρτησης ατόμων μέσης και τρίτης ηλικίας (PSR), για τα έτη 1950-2015, ενώ η πρόβλεψη πραγματοποιήθηκε μέχρι το 2100. Από τα αποτελέσματα φαίνεται αύξηση της γονιμότητας, σημαντική μείωση του δείκτη PSR και αύξηση του προσδόκιμου ζωής και για τις δύο χώρες

14. A Comparative Analysis of Neuro Fuzzy Inference Systems for Mortality Forecasting

Στο συγκεκριμένο άρθρο της Gabriella Piscopo αναλύεται η απόδοση ορισμένων νευροασαφών μεθόδων για την πρόβλεψη θνησιμότητας. Αρχικά, αναλύεται το στοχαστικό μοντέλο Lee-Carter, με το οποίο γίνεται εκτίμηση του πίνακα του λογάριθμου της ειδικής κατά ηλικίας θνησιμότητας, μέσω ανάλυσης σε ιδιάζουσες τιμές (Singular Value Decomposition -SVD). Στη συνέχεια, 4 νευροασαφή μοντέλα (DENFIS, ANFIS, HYFIS, LC) εφαρμόζονται στα δεδομένα της Ιταλίας για τα έτη 1994-2012, ενώ μετράται το μέσο τετραγωνικό σφάλμα για τη μέτρηση της απόδοσης τους. Η έρευνα καταλήγει στο ότι το μοντέλο DENFIS υπερέχει των υπόλοιπων, το οποίο οφείλεται στους βελτιωμένους κανόνες που παρέχει σε σχέση με το ANFIS.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

3.1 Μοντέλα κατάστασης υγείας

3.1.1 Εισαγωγή

Η κατάσταση υγείας, προκειμένου να μοντελοποιηθεί, απαιτεί τη χρήση μιας στοχαστικής διαδικασίας συνεχούς χρόνου:

$$S = (S(t), t > 0) \text{ ορισμένη στο χώρο } (\Omega, \theta, (\theta t), P) \quad [1.1.1]$$

όπου η τυχαία μεταβλητή $S(t)$ εκφράζει την κατάσταση της υγείας ενός ατόμου, μια δεδομένη χρονική στιγμή t .

Το γεγονός «θάνατος» ορίζεται ως η χρονική στιγμή όπου η κατάσταση υγείας ενός ατόμου διέρχεται για πρώτη φορά το ελάχιστο επίπεδο υγείας, το οποίο ονομάζεται α . Κατά συνέπεια, η διάρκεια ζωής ενός ατόμου εκφράζεται από τον χρόνο T_α του συνόλου $(0, \alpha)$ για τη στοχαστική διαδικασία S .

3.1.2 Στατικά και Δυναμικά Μοντέλα κατάστασης υγείας

Η συνήθης προσέγγιση για την εφαρμογή στοιχείων θνησιμότητας ονομάζεται στατική μέθοδος, και περιλαμβάνει την εφαρμογή μια θεωρητικής συνάρτησης κατανομής ή πυκνότητας ή ποσοστού θνησιμότητας σε ένα σύνολο παρατηρήσεων (π.χ. κατανομή Makehan ή Gompertz). Η προτεινόμενη μέθοδος βασίζεται στο γεγονός ότι η ανθρώπινη ζωή εξελίσσεται και ο κανόνας που μπορεί να παρατηρηθεί ανά πάσα στιγμή σχετικά με αυτή είναι αν το άτομο είναι ζωντανό ή νεκρό. Έστω A μια δυαδική τυχαία μεταβλητή:

$$A(t) = \begin{cases} 0, & \text{εάν το άτομο είναι νεκρό} \\ 1, & \text{εάν το άτομο είναι ζωντανό} \end{cases} \quad [1.2.1]$$

Και η τυχαία μεταβλητή T , η οποία παριστάνει τον ανθρώπινο χρόνο ζωής:

$$A(t) = \begin{cases} 0, & \text{εάν } T < t \\ 1, & \text{εάν } T > t \end{cases} \quad [1.2.2]$$

Η βασική έννοια που εισάγεται είναι η κατάσταση υγείας σε χρονική στιγμή t , η οποία ορίζεται ως $S(t)$ και παριστάνει την υγεία ενός ατόμου την στιγμή t . Το γεγονός «θάνατος» συμβαίνει όταν η στοχαστική διαδικασία $S(t)$ αγγίζει για πρώτη φορά την κρίσιμη τιμή που ονομάζεται φράγμα και παριστάνεται από τον ακριβή θετικό πραγματικό αριθμό α .

Τη στιγμή της γέννησης του, η κατάσταση υγείας του ατόμου έχει αρχική τιμή $S(0)$, ενώ όσο μεγαλύτερη η τιμή της κατάστασης υγείας στη γέννηση, τόσο καλύτερα για το άτομο. Αυτό το σημείο επιτρέπει να χαρακτηριστεί ο ανθρώπινος χρόνος ζωής (ο οποίος είναι η τυχαία μεταβλητή T) μέσω της στοχαστικής διαδικασίας S και πιο συγκεκριμένα, από τη στοχαστική διαφορική εξίσωση

$$dS(t) = \mu(S, t) + \sigma(S, t)dW(t) \quad [1.2.3]$$

η οποία έχει μοναδική λύση όταν δίνεται η αρχική συνθήκη, δηλαδή το $S(0)$.

3.1.3 Ειδικά Δυναμικά Μοντέλα

Το μοντέλο C-C-J-P

Το μοντέλο των Cattoir, Chensey, Janssen και Pene προϋποθέτει:

$$\mu(S, t) = \mu S \quad \sigma(S, t) = \sigma S \quad [1.3.1]$$

με μ, σ σταθερά ($\mu < 0, \sigma > 0$), κάτι που σημαίνει ότι η στοχαστική διαδικασία S προκύπτει από τον τύπο Black & Scales. Έχει προκύψει πως το συγκεκριμένο μοντέλο δεν εφαρμόζει αρκετά καλά στους πίνακες επιβίωσης, ενώ με χρήση της τεχνικής αντιστροφής του χρόνου προκύπτουν καλά αποτελέσματα για ηλικίες άνω των 25 ετών.

Τάξη Μοντέλων Janssen-Skiadas

Ένας ακόμα τύπος μοντέλου δίνεται από την επιλογή:

$$\mu(S, t) = \mu(t) \quad \sigma(S, t) = \sigma(t) \quad [1.3.2]$$

Συνδυάζοντας τις δύο αυτές περιπτώσεις, επιλέγεται:

$$\mu(S, t) = \mu(t)S \quad \sigma(S, t) = \sigma(t)S \quad [1.3.3]$$

3.1.4 Γενικά Αποτελέσματα στις διαδικασίες διασποράς

Συνδυάζοντας τις σχέσεις (1.3.2) και (1.2.3) προκύπτει:

$$dS(t) = \mu(t)dt + \sigma(t)dW(t) \quad [1.4.1]$$

Όπου $S = S(t)$ η στοχαστική διαδικασία με χρόνο t , $\mu(t)$ η μέση τιμή, $\sigma(t)$ η διασπορά και $W(t)$ μια διαδικασία τύπου Wiener.

Η εξίσωση (1.4.1) πρόκειται για μια πλήρως ολοκληρώσιμη στοχαστική διαφορική εξίσωση. Με αρχικές συνθήκες $S(t=0) = S(0)$, η διαδικασία $S(t)$ δίνεται ως:

$$S(t) = S(0) + \int_0^t \mu(s)ds + \int_0^t \sigma(s)dW(s) \quad [1.4.2]$$

Η εξίσωση (πάνω) δίνει το επίπεδο κατάστασης της υγείας S ενός ατόμου σε μια δεδομένη χρονική στιγμή t . Με την εισαγωγή της μεταβλητής συνάρτησης πιθανότητας P για τη διαδικασία S :

$$P(x, t; z, \tau) = P[S(t) \leq x, S(\tau) = z] \quad [1.4.3]$$

Όπου: $\tau < t$ και $x, z > 0$

Κάτω από κανονική υπόθεση μπορεί να αποδειχθεί ότι εξαγόμενη συνάρτηση πυκνότητας ρ , προκύπτει από τη μεταβλητή συνάρτηση P , ικανοποιώντας την ισότητα Chapman-Kolmogorov. Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας P εξαρτάται από τη συνάρτηση πυκνότητας- πιθανότητας $\rho = \rho(S, t)$ σύμφωνα με την έκφραση:

$$p(x, t; z, \tau) = \frac{\partial}{\partial x} P(x, t; z, \tau) \quad [1.4.4]$$

Ενώ η εξίσωση Chapman-Kolmogorov που ικανοποιείται από τη συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας είναι:

$$p(S_0, t_0; S, t) = \int_{-\infty}^{\infty} p(S_0, t_0; y, s) p(y, s; S(t), t) dy \quad [1.4.5]$$

όπου $t_0 < S < t$

Από την οποία προκύπτει:

$$P(S_0, t; S(t), t) = \delta(S(t) - S_0) \quad [1.4.6]$$

όπου $\delta(s)$: Δέλτα του Dirac

Για στοχαστικές διαδικασίες συνεχούς χρόνου, η εξίσωση Chapman-Kolmogorov μειώνει την εξίσωση Fokker-Planck για τη μεταβλητή συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας:

$$\frac{\partial p(S, t)}{\partial t} = -\mu(t) \frac{\partial [\rho(S, t)]}{\partial S} + \frac{1}{2} [\sigma(t)]^2 \frac{\partial^2 [\rho(S, t)]}{\partial S^2} \quad [1.4.7]$$

Η (1.4.7) αποκαλείται «εξίσωση προς τα εμπρός» για τη μεταβαλλόμενη πυκνότητα, ενώ προκύπτει από την αυθεντική στοχαστική διαφορική εξίσωση (1.4.1) υπό τις υποθέσεις ότι η $\rho(S, t)$ υπάρχει και ότι οι παράγωγοι της υπάρχουν και είναι συνεχείς. Σε αυτή τη περίπτωση, η εξίσωση Fokker-Planck επιλύεται με ακρίβεια κάτω από συγκεκριμένες δυαδικές καταστάσεις:

$$P(S(t), t_0; S_0, t_0) \delta(S(t) - S_0) \text{ και}$$

$$\text{καθώς } S(t) \rightarrow \pm\infty \quad [1.4.8]$$

$$\frac{\partial p[S(t), t_0; S_0, t]}{\partial S(t)} \rightarrow 0$$

Για να επιλυθεί η εξίσωση (1.4.7) γίνεται χρήση της μεθόδου των χαρακτηριστικών συναρτήσεων. Η χαρακτηριστική συνάρτηση της $\Phi(s, t)$ δίνεται από την εξίσωση:

$$\Phi(s, t) = \int_{-\infty}^{\infty} p(S, t; S_0, t_0) e^{isS} ds \quad [1.4.9]$$

ενώ παραγωγίζοντας κατά μέλη, προκύπτει η διαφορική εξίσωση:

$$\frac{\partial \Phi}{\partial t} = is \mu(t) \Phi - \frac{1}{2} [\sigma(t)]^2 s^2 \Phi \quad [1.4.10]$$

Η οποία, με αρχική κατάσταση δίνει αποτελέσματα από την (1.4.8) :

$$\Phi(S, t_0) = \exp(isS_0) \quad [1.4.11]$$

Επιλύοντας, προκύπτει η ακόλουθη έκφραση για το Φ

$$\Phi = \exp \left[is \left[S_0 + \int_{t_0}^t \mu(t') dt' \right] - \frac{1}{2} s^2 \int_{t_0}^t [\sigma(t')]^2 dt' \right] \quad [1.4.12]$$

Η οποία πρόκειται για τη χαρακτηριστική συνάρτηση μιας Γκαουσιανής με μέση τιμή:

$$[S_0 + \int_{t_0}^t \mu(t') dt'] \quad [1.4.13]$$

Και διασπορά:

$$\int_{t_0}^t [\sigma(t')]^2 dt' \quad [1.4.14]$$

Συνεπώς, η λύση της (1.4.7) είναι:

$$p(S, t; S_0, t_0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi \int_{t_0}^t [\sigma(s)]^2 ds}} \exp \left[-\frac{[S - S_0 - \int_{t_0}^t \mu(s) ds]^2}{2 \int_{t_0}^t [\sigma(s)]^2 ds} \right] \quad [1.4.15]$$

Όταν μ, σ : σταθερά, τότε προκύπτει η έκφραση:

$$P(S, t; S_0, t_0) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi(t - t_0)}} \exp \left[-\frac{[S - S_0 - \mu(t - t_0)]^2}{2\sigma^2(t - t_0)} \right] \quad [1.4.16]$$

3.1.5 Θεωρία του χρόνου πρώτης διέλευσης και η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας

Κατά τη πρώτη φορά που η συνάρτηση κατάστασης υγείας διέρχεται από τον οριζόντιο άξονα, η χρονική στιγμή T_a , που εντοπίζεται σε απόσταση a από την αρχή των αξόνων, εκφράζεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$T = \inf\{t | S(t) \leq a\} \quad [1.5.1]$$

Το κύριο ζήτημα είναι να τυποποιηθεί η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του χρόνου της πρώτης διέλευσης $G(t)$ με την ιδιότητα:

$$g(a, t; S_0, t_0) = \frac{\partial}{\partial t} \Pr\{T < t\} \quad , t \geq t_0 \quad [1.5.2]$$

Η σχέση μεταξύ της συνάρτησης $G(t)$ και της συνάρτησης πυκνότητας του χρόνου πρώτης διέλευσης δίνεται από τη σχέση:

$$g(t) = g(t; S_0, a) = \frac{\partial}{\partial t} G(a, t; S_0, t_0) \quad [1.5.3]$$

Ενώ για τη συμμετρική διαδικασία μπορεί να αποδειχθεί πως η συνάρτηση πυκνότητας του χρόνου πρώτης διέλευσης (για τη περίπτωση απλού φράγματος) έχει τη μορφή:

$$G(t) = G(a, t; S_0, t_0) = 2 \int_{-\infty}^{\infty} p(S, t) ds \quad [1.5.4]$$

Στη συνέχεια, η γενική εξίσωση μετασχηματίζεται ακολούθως:

$$y(S, t) = S(t) - \int_{t_0}^t \mu(s) ds \quad [1.5.5]$$

όπου

$$y(a, t) = a - \int_{t_0}^t \mu(s) ds \quad [1.5.6]$$

Έτσι, προκύπτει η συμμετρική διαδικασία με συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας:

$$p(y, t) = p(y, t; S_0, t_0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi \int_{t_0}^t [\sigma(s)]^2 ds}} \exp \left[-\frac{[y - S_0]^2}{2 \int_{t_0}^t [\sigma(s)]^2 ds} \right] \quad [1.5.7]$$

Και η συνάρτηση πυκνότητας χρόνου πρώτης διέλευσης:

$$G(y, t) = G(y, t; S_0, t_0) = 2 \int_{-\infty}^{y(a, t)} \left[\frac{1}{\sqrt{2\pi \int_{t_0}^t [\sigma(s)]^2 ds}} e^{-\frac{[y-S_0]^2}{2 \int_{t_0}^t [\sigma(s)]^2 ds}} \right] dy \quad [1.5.8]$$

Ενώ, αντικαθιστώντας το y με το S , προκύπτει η συνάρτηση πυκνότητας του χρόνου πρώτης διέλευσης της εξίσωσης (1.4.9)

$$G(a, t; S_0, t_0) = 2 \int_{-\infty}^a \left[\frac{1}{\sqrt{2\pi \int_{t_0}^t [\sigma(s)]^2 ds}} \exp \left[-\frac{[S - S_0 - \int_{t_0}^t \mu(s) ds]^2}{2 \int_{t_0}^t [\sigma(s)]^2 ds} \right] \right] ds \quad [1.5.9]$$

Παραγωγίζοντας και θεωρώντας σταθερό σ , προσδιορίζεται η συνάρτηση πυκνότητας $g(t)$, η οποία δίνει τη πιθανότητα όπου το στοχαστικό μονοπάτι της εξίσωσης (1.4.2) θα συναντηθεί από τη πρώτη στιγμή με το φράγμα που εντοπίζεται στη τιμή a μεταξύ του χρόνου t και $t + dt$, δεδομένου ότι το πρώτο σημείο της διαδικασίας για χρόνο $t(0)$ είναι $S(0)$:

$$g(t) = g(a, t; S_0, t_0) = \frac{|a - S_0|}{\sigma \sqrt{2\pi(t - t_0)^3}} \exp \left[-\frac{[a - S_0 - \int_{t_0}^t \mu(s) ds]^2}{2\sigma^2(t - t_0)} \right] \quad [1.5.10]$$

3.1.6 Το στοχαστικό μοντέλο και σχετικές παράμετροι

Το στοχαστικό μοντέλο συνεχούς χρόνου που προτείνεται, με σταθερό σ , είναι:

$$dS(t) = h(t) dt + \sigma dW(t) \quad [1.6.1]$$

Ολοκληρώνοντας την παραπάνω σχέση, προκύπτει η εξίσωση για τα στοχαστικά μονοπάτια $S(t)$:

$$S(t) = \int_0^t h(s) ds + \sigma \int_0^t dW_s = H_t + \sigma W_t \quad [1.6.2]$$

Όπου W_t : η στοχαστική διαδικασία Wiener, H_t : η κατάσταση υγείας σε χρόνο t

Η στοιχειώδης μεταβολή της κατάστασης υγείας και η κατάσταση υγείας συνδέονται με την εξίσωση :

$$h_t = \frac{dH_t}{dt} \quad [1.6.3]$$

Θεωρείται πως η εξέλιξη του χρόνου ξεκινά από το $t = 0$. Ο «θάνατος» επέρχεται όταν τα στοχαστικά μονοπάτια «αγγίξουν» το 0, δηλαδή για $S(t) = 0$:

$$H_t + \sigma W_t = 0 \quad [1.6.4]$$

Η απλούστερη μορφή για τη συνάρτηση κατάστασης υγείας $H(t)$ (Janssen and Skiadas 1995, Skiadas and Skiadas 2007, 2010, 2014, 2015) είναι:

$$H(t) = l - (bt)^c \quad [1.6.5]$$

Η εξίσωση (1.6.4) γίνεται:

$$l - (bt)^c + \sigma W_t = 0 \quad [1.6.6]$$

Ενώ η νέα μορφή της (1.6.2) προκύπτει:

$$S(t) = l - (bt)^c + \sigma W_t \quad [1.6.7]$$

Η τελευταία εξίσωση χρησιμεύει στη κατασκευή των στοχαστικών μονοπατιών στη συνέχεια.

Η τελική μορφή του μοντέλου είναι:

$$g(t) = \frac{H(t)(1-c) + c}{\sigma \sqrt{2\pi t^3}} \exp \left[-\frac{[H(t)]^2}{2\sigma^2 t} \right] \quad [1.6.8]$$

3.1.7 Κύριες παράμετροι και τεχνική στατιστικής εκτίμησης

Στη συνέχεια, οι παράμετροι του τύπου (1.6.8) εκτιμώνται κάνοντας χρήση της τεχνικής της μη γραμμικής παλινδρόμησης. Τα μ και σ δεν έχουν αναλυτικές εκφράσεις στις γενικές περιπτώσεις, αλλά γίνεται να δοθούν προσεγγίσεις τους μέσω αριθμητικών μεθόδων, συγκεκριμένα μέσω της μη-γραμμικής επαναληπτικής μεθόδου ελαχίστων τετραγώνων. Η συγκεκριμένη μέθοδος ελαχιστοποιεί το άθροισμα του τετραγωνικού σφάλματος:

$$S = \sum e_t^2 \quad [1.7.1]$$

όπου $e(t)$ ο παράγοντας σφάλματος της εξίσωσης:

$$Y_t = g_t + \sum_{i=1}^n \frac{\partial g_t}{\partial \alpha_i} \Delta \alpha_i + e_t \quad \text{για } t = 1, 2, 3, \dots, n \quad [1.7.2]$$

Κάνοντας χρήση του συντελεστή ρ , ο οποίος κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 0 και 1, οι τιμές των $\alpha(i)$ εκτιμώνται σε κάθε επανάληψη, κάνοντας χρήση του τύπου:

$$\alpha_{i,j+1} = \alpha_{i,j} + \rho \Delta \alpha_{i,j} \quad [1.7.3]$$

Ενώ οι τιμές του $\Delta \alpha_i$ υπολογίζονται από το σύνολο των μη γραμμικών εξισώσεων που προέρχονται από τις μερικές παραγώγους τους ως προς τις m παραμέτρους $\alpha(i)$ και εξισώνοντας τες με το 0.

$$\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial g_t}{\partial \alpha_i} \right) \left(\frac{\partial g_t}{\partial \alpha_j} \right) \Delta \alpha_i = u_t \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial g_t}{\partial \alpha_i} \right) \quad [1.7.4]$$

Όπου $u(t) = y(t) - g(t)$

3.1.8 Στοχαστική Προσομοίωση

Σύμφωνα με το μοντέλο που παρουσιάστηκε παραπάνω, η εξίσωση κατάστασης υγείας έχει τη μορφή:

$$H(t) = l - (bt)^c \quad [1.8.1]$$

Θα θεωρηθεί πως η Κατάσταση Υγείας στη γέννηση ($t = 0$) είναι ίση με 1, ενώ η συνάρτηση κατάστασης υγείας φθίνει χρονικά με εκθετικό ρυθμό, όσο δηλαδή ο δείκτης $(bt)^c$ αυξάνεται με την ηλικία της προσομοίωσης. Αυτός ο δείκτης καλείται Συνάρτηση Επιδείνωσης (Deterioration Function) και συμβολίζεται ως:

$$Det(t) = (bt)^c \quad [1.8.2]$$

Από τις εξισώσεις (1.8.1) και (1.6.8) προκύπτει το τελικό μοντέλο:

$$g(t) = \frac{1 + (c - 1)(bt)^c}{\sigma \sqrt{2\pi t^3}} e^{-\left[\frac{[1-(bt)^c]^2}{2\sigma^2 t}\right]} \quad [1.8.3]$$

3.1.9 Εκτίμηση Συνολικής Κατάστασης Υγείας

Τα δυναμικά μοντέλα για τη θνησιμότητα θεωρούν πως η υγεία δεν παραμένει σταθερή αλλά μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια της ζωής ενός ατόμου, με αποτέλεσμα η υγεία να εκφράζεται από μια συνάρτηση και όχι έναν αριθμό. Παραμένει όμως η ανάγκη έκφρασης της υγείας μονοδιάστατα, για την απεικόνιση και τη συγκριτική ανάλυση των αποτελεσμάτων. Συνεπώς, προτείνεται ο υπολογισμός της Συνολικής Κατάστασης Υγείας ως το εμβαδό της συνάρτησης κατάστασης υγείας από την ηλικία 0 έως τον μηδενισμό της, δηλαδή ως τη μέση διάρκεια ζωής. Η συνολική κατάσταση υγείας δίνεται από τον τύπο:

$$Total\ Health\ State = \int_0^{\frac{1}{b}} H(t)dt \quad [1.9.1]$$

Όπου b : η παράμετρος b του μοντέλου (Μέση διάρκεια ζωής $= \frac{1}{b}$)

3.1.10 Λογιστική Καμπύλη και εκτίμηση θνησιμότητας σε μεγάλη ηλικία

Η λογιστική συνάρτηση είναι μια συνήθης μαθηματική απεικόνιση της σιγμοειδούς καμπύλης. Χρησιμοποιείται στη μηχανική μάθηση και τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα ως συνάρτηση ενεργοποίησης, στη στατιστική καθώς και στην επιστήμη της δυναμικής των πληθυσμών. Η μαθηματική έκφραση της συνάρτησης είναι:

$$f(x) = \frac{e^x}{1 + e^x} \quad [1.9.1]$$

Στη δυναμική πληθυσμών, η λογιστική συνάρτηση περιγράφει τον ρυθμό ανάπτυξης ενός πληθυσμού που ακολουθεί «φυσιολογική ανάπτυξη», λαμβάνοντας υπόψιν περιοριστικούς παράγοντες, όπως τη φέρουσα ικανότητα του και τον ανταγωνισμό για τους διαθέσιμους πόρους. Η φυσιολογική ανάπτυξη χαρακτηρίζεται από πέντε στάδια:

1. Τη γέννηση, κατά την οποία ο ρυθμός ανάπτυξης είναι πολύ αργός
2. Την ανάπτυξη, κατά την οποία ο ρυθμός ανάπτυξης αυξάνεται
3. Την ωριμότητα, κατά την οποία ο ρυθμός ανάπτυξης φτάνει στο μέγιστο του
4. Τη παρακμή, κατά την οποία ο ρυθμός ανάπτυξης σταδιακά μειώνεται
5. Τον θάνατο, κατά τον οποίο ο ρυθμός ανάπτυξης μηδενίζεται

Για την εκτίμηση της ειδικής κατά ηλικία θνησιμότητας σε μεγάλη ηλικία έχουν προταθεί πολλές μέθοδοι, οι περισσότερες των οποίων περιλαμβάνουν τη προσαρμογή μιας καμπύλης στα δεδομένα μέσω μη-γραμμικής παρεμβολής, μεταξύ των οποίων τα μοντέλα:

- Μοντέλο Weibull (Weibull Model)
- Διωνυμικό Μοντέλο (Quadratic Model)
- Μοντέλο Heligman & Pollard
- Μοντέλο Kannisto (Kannisto model)

Ειδικότερα, το μοντέλο Kannisto (Kannisto model for old-age mortality) χρησιμοποιεί μια λογιστική συνάρτηση με ασύμπτωτη ίση με 1, της μορφής:

$$m_x(a, b) = \frac{ae^{b(x-d)}}{1 + ae^{b(x-d)}} \quad [1.9.2]$$

Όπου $a, b \geq 0$: παράμετροι και d : η ηλικία μετά την οποία θα γίνει η εκτίμηση

3.2 Ασαφή Σύνολα

3.2.1 Εισαγωγή

Η έννοια της «ασαφούς λογικής» εισήχθη για πρώτη φορά το 1962 σε άρθρο του L.A. Zadeh, στο οποίο εξέφρασε την ανάγκη ύπαρξης θεωρητικής υποστήριξης για την επεξεργασία ασαφών εννοιών, οι οποίες δεν δύναται να μοντελοποιηθούν χρησιμοποιώντας τη θεωρία πιθανοτήτων. Λίγα χρόνια αργότερα (1965), διατυπώθηκε από τον Zadeh η θεωρία των ασαφών συνόλων, ως η μαθηματική θεμελίωση της ασαφούς λογικής.

Η ασαφής λογική (fuzzy logic) πρόκειται για υπεрсύνολο της κλασικής λογικής, καθώς μπορεί να χειριστεί ενδιάμεσες τιμές αλήθειας σε σχέση με το «απόλυτα αληθές» και το «απόλυτα ψευδές». Σύμφωνα με τον Zadeh, πρόκειται για «μια διαδικασία μετατροπής διακριτών μεγεθών σε ασαφή (fuzzification), κάτι το οποίο επιτρέπει τη γενίκευση μιας διακριτής θεωρίας σε συνεχή».

Ως ασαφές σύνολο (fuzzy set) ορίζεται ένα σύνολο διατεταγμένων ζευγών

$(x, \mu_A(x))$ όπου $x \in X$ και $\mu_A(x) \in [0,1]$, όπου:

- X : ένα ευρύτερο σύνολο αναφοράς, στο οποίο εμπεριέχονται όλα τα αντικείμενα στα οποία δύναται να γίνει αναφορά
- $\mu_A(x)$: βαθμός αλήθειας (degree of truth) ή συνάρτηση συμμετοχής (membership function). Καθορίζει τον βαθμό κατά τον οποίο το x συμμετέχει στο A και παίρνει τιμές από το σύνολο $[0,1]$.

Στη περίπτωση της κλασικής θεωρίας συνόλων, ο βαθμός αλήθειας παίρνει τιμές από το σύνολο $\{0,1\}$, δηλαδή είτε το x ανήκει στο A ($\mu_A(x) = 1$), είτε δεν ανήκει ($\mu_A(x) = 0$)

Το ασαφές σύνολο ορίζεται ακολούθως:

- $A = \sum_{x_i \in X} \frac{\mu_A(x_i)}{x_i}$, για X : σύνολο διακριτών αντικειμένων
- $A = \int_X \frac{\mu_A(x_i)}{x_i}$, για X : συνεχές διάστημα

Στα ασαφή σύνολα ισχύουν ιδιότητες και πράξεις αντίστοιχες με αυτές των κλασικών συνόλων, ενώ ορισμένες (π.χ. ένωση και τομή) ορίζονται με τη χρήση των τελεστών \min και \max . Αυτοί οι τελεστές χρησιμοποιούνται για την επιλογή του μεγαλύτερου ή μικρότερου στοιχείου μέσα σε ένα σύνολο.

3.2.2 Συναρτήσεις Συμμετοχής (Membership Functions)

Όπως αναφέρθηκε, οι συναρτήσεις συμμετοχής (membership functions) καθορίζουν τον βαθμό κατά τον οποίο το x συμμετέχει στο A και παίρνουν τιμές από το σύνολο $[0,1]$.

Οι μονοδιάστατες παραμετρικές συναρτήσεις συμμετοχής (δηλαδή με μοναδική είσοδο) μπορούν να πάρουν ορισμένες μορφές, ανάλογα με ποια συνάρτηση ή κατανομή απεικονίζουν. Περιλαμβάνουν συναρτήσεις συμμετοχής:

- Καμπανοειδούς Μορφής (Generalized Bell MFs) με εξίσωση:

$$gbellmf(x, a, b, c) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x - c}{a} \right|^{2b}} \quad [2.2.1]$$

- Τραπεζοειδούς Μορφής (Trapezoidal MFs) με εξίσωση:

$$trapmf(x, a, b, c, d) = \max \left(\min \left(\frac{x - a}{b - a}, 1, \frac{d - x}{d - c} \right), 0 \right) \quad [2.2.2]$$

- Γκαουσιανής Μορφής (Gaussian MFs) με εξίσωση:

$$gaussmf(x, c, \sigma) = e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{x - c}{\sigma} \right)^2} \quad [2.2.3]$$

- Σιγμοειδούς Μορφής (Sigmoidal MFs) με εξίσωση:

$$sigmf(x, a, c) = \frac{1}{1 + e^{[-a(x - c)]}} \quad [2.2.4]$$

- Τριγωνικής Μορφής (Triangular MFs)

$$trimf(x, a, b, c) = \max \left(\min \left(\frac{x - a}{b - a}, \frac{c - x}{c - b} \right), 0 \right) \quad [2.2.5]$$

Ως ασαφής κανόνας ορίζεται μια υπό συνθήκη έκφραση, μέσω της οποίας συσχετίζονται κάποιες ασαφείς προτάσεις. Η απλούστερη μορφή του είναι:

$$\text{Εάν } x \text{ είναι } A \text{ τότε το } y \text{ είναι το } B$$

Όπου το τμήμα «εάν» πρόκειται για την υπόθεση (antecedent), ενώ το τμήμα «τότε» πρόκειται για την απόδοση (consequence).

3.2.3 Συστήματα Ασαφούς Συμπερασμού (Fuzzy Inference System-FIS)

Τα συστήματα ασαφούς συμπερασμού (FIS) αντιστοιχίζουν μια έξοδο σε μια είσοδο, κάνοντας χρήση ασαφούς λογικής. Δομικά, αποτελούνται από 3 βασικά αντικείμενα:

1. Βάση κανόνων (rule base), όπου περιέχει τη κωδικοποίηση των ασαφών κανόνων την μορφής if-then που χρησιμοποιούνται για τη περιγραφή ενός συστήματος.
2. Βάση δεδομένων (database), όπου προσδιορίζει τις συναρτήσεις συμμετοχής για τους ασαφείς κανόνες.
3. Μηχανισμός αιτιότητας (reasoning mechanism), όπου αναλαμβάνει τη διαδικασία εξαγωγής συμπερασμάτων.

Δύο πρόσθετα στάδια είναι η ασαφοποίηση (fuzzification) και η αποασαφοποίηση (defuzzification).

Η δομή παρουσιάζεται διαγραμματικά παρακάτω:

Τα πιο διαδεδομένα μοντέλα ασαφούς συμπερασμού είναι:

1. Το μοντέλο Mamdani, το οποίο προτάθηκε από τους Mamdani & Assilian το 1975 και χρησιμοποιήθηκε για τον έλεγχο μιας ατμομηχανής μέσα από λεκτικούς κανόνες. Δέχεται (n) εισόδους και εξάγει ένα ακριβές συμπέρασμα.
2. Το μοντέλο Sugeno (TSK), το οποίο προτάθηκε από τους Takagi, Sugeno και Kang για πρώτη φορά το 1985 και βασίζεται στον κανόνα:

$$\text{Αν το } x \text{ είναι } A \text{ και το } y \text{ είναι } B, \text{ τότε } z = f(x, y)$$

όπου A,B: ασαφή σύνολα εισόδου και z: μια ακριβής συνάρτηση εξόδου

3. Το μοντέλο Tsukamoto, το οποίο προτάθηκε από τον Tsukamoto το 1979, στο οποίο χρησιμοποιείται ένα ασαφές σύνολο μονότονων συναρτήσεων συμμετοχής. Ως αποτέλεσμα, η έξοδος προκύπτει από τον μέσο όρο των βαρών των κανόνων.

3.3 Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα

3.3.1 Εισαγωγή

Η Τεχνητή Νοημοσύνη (Artificial Intelligence- AI) πρόκειται για το σημείο που συναντώνται επιστήμες όπως η πληροφορική, η νευρολογία, η φιλοσοφία και η μηχανική, με σκοπό τη παραγωγή ευφυούς συμπεριφοράς. Διακρίνεται σε:

- Συμβολική Τεχνητή Νοημοσύνη (Symbolic AI), η οποία προσομοιώνει την ανθρώπινη σκέψη χρησιμοποιώντας σύμβολα.
- Μη Συμβολική Τεχνητή Νοημοσύνη (Non Symbolic AI), η οποία προσομοιώνει βιολογικές διαδικασίες.

Τα Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα (Artificial Neural Networks) ανήκουν στη δεύτερη κατηγορία, καθώς προσομοιώνουν τη λειτουργία των νευρώνων του εγκεφάλου.

Ο νευρώνας πρόκειται για το κύτταρο που αποτελεί δομικό μέρος και λειτουργική μονάδα του νευρικού συστήματος. Τα μέρη από τα οποία αποτελείται ένας νευρώνας είναι:

1. Το σώμα, το οποίο περιέχει τον πυρήνα
2. Οι δενδρίτες, μέσω των οποίων συλλέγονται τα σήματα
3. Ο νευράξονας, ο οποίος αποτελεί την έξοδο του νευρώνα

Στην άκρη των δενδριτών εμφανίζεται η περιοχή λειτουργικής σύνδεσης, δηλαδή η περιοχή στην οποία γίνεται η σύνδεση με άλλους νευρώνες ή εκτελεστικά όργανα, η οποία ονομάζεται σύναψη. Μέσω χημικών αντιδράσεων, οι συνάψεις μεταβάλλουν τη ροή ηλεκτρικών φορτίων στο σώμα του νευρώνα. Σε αυτή ακριβώς την ικανότητα των συνάψεων οφείλεται η ικανότητα μνήμης και μάθησης του εγκεφάλου.

3.3.2 Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα

Ο τεχνητός νευρώνας (artificial neuron) πρόκειται για τη βασική διάταξη πάνω στην οποία είναι βασισμένα τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα. Πρόκειται για μια μονάδα υπολογισμού εμπνευσμένη από τον βιολογικό νευρώνα, καθώς λειτουργεί με αντίστοιχο τρόπο. Αρχικά, δέχεται ως είσοδο σήματα συνεχών μεταβλητών, αντί για ηλεκτρικούς παλμούς του εγκεφάλου. Στη συνέχεια, το σήμα εισόδου σταθμίζεται με κάποιο βάρος w_i , του οποίου η λειτουργία είναι αντίστοιχη της σύναψης, και μπορεί να πάρει αρνητικές ή θετικές τιμές.

Το κυρίως σώμα του νευρώνα αποτελείται από:

1. Τον Μηχανισμό Άθροισης, ο οποίος υπολογίζει τον γραμμικό συνδυασμό σήματος εισόδων και βαρών, σύμφωνα με την έκφραση:
$$S = \sum w_i * x_i \text{ με } i = 1, 2, 3, \dots, n$$
2. Τη Συνάρτηση Ενεργοποίησης, η οποία πρόκειται για το μη γραμμικό φίλτρο που μορφοποιεί το σήμα εξόδου συναρτήσει του S.

Ένα τεχνητό νευρωνικό δίκτυο αποτελείται από πολλαπλούς τεχνητούς νευρώνες, συνδεδεμένους μεταξύ τους με τρόπο αντίστοιχο με αυτόν του ανθρώπινου εγκεφάλου και είναι οργανωμένοι σε μια σειρά από επίπεδα ή στρώματα (layers). Το πρώτο επίπεδο καλείται επίπεδο εισόδου και σε αυτό εισάγονται τα δεδομένα. Στη πραγματικότητα, τα στοιχεία αυτού το επιπέδου δεν είναι νευρώνες, καθώς δεν εκτελούν υπολογισμούς. Στη

συνέχεια, υπάρχει ένα ή περισσότερα κρυφά επίπεδα νευρώνων, στα οποία γίνονται υπολογισμοί. Τέλος, υπάρχει το επίπεδο εξόδου, το οποίο δίνει τη τελική πληροφορία.

Πλήρως συνδεδεμένοι νευρώνες ενός επιπέδου ονομάζονται εκείνοι οι οποίοι συνδέονται με κάθε έναν από τους νευρώνες του επόμενου επιπέδου, ενώ σε αντίθετη περίπτωση, ονομάζονται μερικώς συνδεδεμένοι.

Τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα διακρίνονται κυρίως σε σχέση με κατεύθυνση της ροής της πληροφορίας:

- Αν υπάρχουν συνδέσεις μόνο μεταξύ των κόμβων ενός επιπέδου με το επόμενο, πρόκειται για δίκτυο με απλή τροφοδότηση (feedforward)
- Αν υπάρχουν αμφίδρομες συνδέσεις των κόμβων ενός επιπέδου με το επόμενο, καθώς και αν υπάρχουν συνδέσεις μεταξύ νευρώνων του ίδιου επιπέδου, πρόκειται για δίκτυο με ανατροφοδότηση (recurrent).

Οι δύο βασικές διαδικασίες που χρησιμοποιούνται για τη λειτουργία των τεχνητών νευρωνικών δικτύων είναι:

1. Η Μάθηση ή εκπαίδευση (learning/ training), που αναφέρεται στη μεταβολή των τιμών των βαρών στις εισόδους κάθε κόμβου, με σκοπό τη παραγωγή ακριβούς εξόδου από συγκεκριμένο διάνυσμα εισόδου.
2. Η ανάκληση (recall), που αναφέρεται στον υπολογισμό της εξόδου από συγκεκριμένη είσοδο και βάρη. Σε αυτή τη διαδικασία, υπολογίζονται οι νέες έξοδοι και καταστάσεις ενεργοποίησης.

Οι λειτουργία των τεχνητών νευρωνικών δικτύων μπορεί να χαρακτηριστεί από τέσσερις βασικές ιδιότητες: Της εκμάθησης από παραδείγματα, τη θεώρηση τους ως κατανεμημένη μνήμη, την ευρεία ανοχή σε σφάλματα και τη δυνατότητα αναγνώρισης προτύπων.

3.4 Υβριδικά Μοντέλα

3.4.1 Εισαγωγή

Υβριδικά ή Νευροασαφή συστήματα ονομάζονται τα μοντέλα που συνδυάζουν χαρακτηριστικά των τεχνητών νευρωνικών δικτύων και της ασαφούς λογικής. Κυριότερο δομικό στοιχείο αυτών των μοντέλων είναι οι ασαφείς νευρώνες, οι οποίοι χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες: Τους νευρώνες συμμετοχής, τους λειτουργικούς νευρώνες και τους συνθετικούς νευρώνες.

3.4.2 Προσαρμοστικά Δίκτυα (Adaptive Networks)

Ως προσαρμοστικό δίκτυο ορίζεται κάθε δίκτυο με συγκεκριμένο αριθμό κόμβων ή μονάδων επεξεργασίας, οι οποίοι είναι συνδεδεμένοι μέσω κατευθυντικών συνδέσμων, που καθορίζουν την αιτιολογική σχέση μεταξύ των κόμβων. Ως προσαρμοστικός κόμβος ορίζεται ο κόμβος του οποίου η έξοδος προκύπτει από τις προσαρμοζόμενες παραμέτρους του, ενώ ο τρόπος με τον οποίο μεταβάλλονται αυτές οι παράμετροι εξαρτάται από τους κανόνες εκπαίδευσης, ώστε το μέτρο του σφάλματος να ελαχιστοποιείται. Γενικά, τα προσαρμοστικά δίκτυα βρίσκουν χρήση στη ταυτοποίηση του συστήματος, ενώ στόχος είναι η εύρεση κατάλληλης αρχιτεκτονικής του δικτύου καθώς και ο προσδιορισμός παραμέτρων που βελτιστοποιούν τη μοντελοποίηση ενός συστήματος-στόχου, το οποίο περιγράφεται από ζεύγη δεδομένων εισόδου-εξόδου.

Η δημιουργία του βαθμωτού διανύσματος βασίζεται σε επιτυχείς επικλήσεις του κανόνα της αλυσίδας, όπως ορίζει η απότομη φθίνουσα μέθοδος. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό του βαθμωτού σε ένα τεχνητό νευρωνικό δίκτυο πολλών επιπέδων, ενώ είναι γνωστή και ως κανόνας οπισθόδρομης διάδοσης (backpropagation learning rule).

3.4.3 Αρχιτεκτονική Προσαρμοστικών Δικτύων

Ένα προσαρμοστικό δίκτυο έχει δομή κατάλληλη για τη διαμόρφωση της συμπεριφοράς εισόδου-εξόδου από ένα σύνολο μεταβλητών παραμέτρων. Ειδικότερα, ένα προσαρμοστικό δίκτυο αποτελείται από μια συστοιχία συνδεδεμένων, με κατευθυντήριους δεσμούς, κόμβων. Κάθε ένας από τους κόμβους πραγματοποιεί μια συγκεκριμένη διαδικασία στα σήματα εισόδου, ώστε να προκύψει μια μοναδική έξοδος, ενώ κάθε σύνδεσμος προσδιορίζει την κατεύθυνση της ροής του σήματος μεταξύ των κόμβων. Η λειτουργία ενός κόμβου, ή ακόμη και ολόκληρου του προσαρμοστικού δικτύου, μεταβάλλεται με την αλλαγή των παραμέτρων της παραμετρικής συνάρτησης του κόμβου.

Κάθε κόμβος ενός προσαρμοστικού δικτύου περιέχει ένα τοπικό σύνολο παραμέτρων, το σύνολο των οποίων καθορίζει το ολικό σύνολο παραμέτρων του δικτύου. Στη περίπτωση που το τοπικό σύνολο παραμέτρων ενός κόμβου είναι κενό, η λειτουργία του είναι προκαθορισμένη, ενώ αν το σύνολο δεν είναι κενό, οι παράμετροι αυτές καθορίζουν τη λειτουργία του. Σχηματικά, οι κόμβοι με κενό σύνολο παραμέτρων απεικονίζονται ως κύκλος, ενώ οι κόμβοι χωρίς κενό σύνολο ως τετράγωνο. Κατά κανόνα, οι προσαρμοστικοί κόμβοι μπορούν να διαχωριστούν σε ένα προκαθορισμένο κόμβο και σε τουλάχιστον ένα κόμβο παραμέτρων.

3.4.4 Καταμερισμός Παραμέτρων σε Προσαρμοστικά Δίκτυα

Η πιο απλή εκδοχή ενός προσαρμοστικού δικτύου αποτελείται από έναν μόνο κόμβο, ο οποίος αναπαρίσταται ως μια συνάρτηση δύο μεταβλητών $y=f(a,x)$, όπου x : είσοδος y : έξοδος και a : παράμετρος κόμβου. Ισοδύναμα, η μια παράμετρος μπορεί να μετακινηθεί έξω από τον κόμβο και μέσα σε έναν κόμβο παράμετρο. Ο τελευταίος πρόκειται για ειδικό είδος προσαρμοστικού κόμβου, ο οποίος δεν δέχεται είσοδο και η παράμετρος είναι η έξοδος του, και χρησιμεύει στη επίλυση ειδικών αντιπροσωπευτικών προβλημάτων.

Ο βασικός τρόπος διάκρισης των προσαρμοστικών δικτύων είναι σύμφωνα με τον τύπο των συνδέσεων που περιέχουν. Διακρίνονται σε:

1. Εμπροσθόδρομα (feedforward) δίκτυα, στα οποία η έξοδος κάθε κόμβου διαδίδεται στη κατεύθυνση: «είσοδος» προς «έξοδος».
2. Επαναληπτικά-Αναδρομικά (recurrent) δίκτυα, στα οποία υπάρχει τουλάχιστον ένας κόμβος ανάδρασης, δηλαδή κόμβος που δημιουργεί κύκλο στο δίκτυο

Ο βασικός τρόπος αναπαράστασης ενός εμπροσθόδρομου προσαρμοστικού δικτύου είναι η αναπαράσταση σε επίπεδα, στην οποία δεν υπάρχουν σύνδεσμοι μεταξύ κόμβων ίδιου επιπέδου, ενώ οι έξοδοι των κόμβων σε ένα επίπεδο είναι πάντα συνδεδεμένες με κόμβους σε διαδοχικά επίπεδα. Το εν λόγω δίκτυο πρόκειται για μια στατική αντιστοίχιση μεταξύ των χώρων εισόδου και εξόδου, η οποία μπορεί να είναι γραμμική ή μη-γραμμική, ενώ εξαρτάται από τη δομή του δικτύου και τη λειτουργία κάθε κόμβου.

Για τη κατασκευή ενός προσαρμοστικού δικτύου χρησιμοποιείται ένα σύνολο δεδομένων εκπαίδευσης και διαδικασίες όπως προσαρμοστικοί αλγόριθμοι και κανόνες εκπαίδευσης, καθώς στόχος είναι η τροποποίηση των παραμέτρων των κόμβων προκειμένου να βελτιωθεί η απόδοση του δικτύου. Κατά κανόνα, η απόδοση ενός προσαρμοστικού δικτύου μετριέται μέσω του σφάλματος, δηλαδή τη διαφορά μεταξύ πραγματική και επιθυμητής εξόδου, κάτω από τις ίδιες συνθήκες. Γενικά, για δεδομένη μέτρηση σφάλματος και τεχνική βελτιστοποίησης εξάγεται ένας κανόνας εκπαίδευσης.

3.5 Προσαρμοστικό Νευροασαφές Σύστημα Ασαφούς Συμπερασμού (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System – ANFIS)

3.5.1 Αρχιτεκτονική του ANFIS

Δομικά, το προσαρμοστικό νευροασαφές σύστημα ασαφούς συμπερασμού – ANFIS , αποτελείται από ένα προσαρμοστικό δίκτυο τύπου Takagi-Sugeno σε συνδυασμό με αλγορίθμους υπό επίβλεψη εκπαίδευσης. Πιο συγκεκριμένα, διαθέτει πέντε επίπεδα κόμβων, που περιγράφονται ως εξής (για λόγους κατανόησης, το σύστημα διαθέτει 2 εισόδους x, y):

- Επίπεδο 1: Κάθε κόμβος του επιπέδου 1 είναι προσαρμοστικός, με συνάρτηση:

$$O_{1,i} = \mu_{A_i}(x) \quad [5.1.1]$$

Όπου:

x : η είσοδος στον κόμβο i

A_i : μια γλωσσική ετικέτα που σχετίζεται με τον κόμβο

$O_{1,i}$: ο βαθμός κατά τον οποίο η ποσοτικοποίηση του A ικανοποιείται από την είσοδο.

- Επίπεδο 2: Οι κόμβοι του επιπέδου 2 είναι σταθεροί και συμβολίζονται με το γράμμα Π , ενώ η έξοδος τους είναι το γινόμενο όλων των εισερχόμενων σημάτων και αντιπροσωπεύει τον «βαθμό ενεργοποίησης» (firing strength) ενός κανόνα:

$$O_{2,i} = w_i = \prod \mu_{A_i} \quad [5.1.2]$$

- Επίπεδο 3: Οι κόμβοι του επιπέδου 3 είναι σταθεροί και συμβολίζονται με το γράμμα N . Σε αυτούς του κόμβους κανονικοποιούνται οι βαθμοί ενεργοποίησης, δηλαδή υπολογίζεται ο λόγος του βαθμού ενεργοποίησης του κανόνα i και του αθροίσματος των βαθμών ενεργοποίησης όλων των κανόνων.

$$O_{3,i} = \bar{w}_i = \frac{w_i}{\sum w} \quad [5.1.3]$$

- Επίπεδο 4: Οι κόμβοι του επιπέδου 4 είναι προσαρμοστικοί, όπου w_i είναι ο κανονικοποιημένος βαθμός ενεργοποίησης του κανόνα i , ενώ το $\{r_i, q_i, g_i\}$ είναι το σύνολο παραμέτρων του συγκεκριμένου κόμβου.

$$O_{4,i} = \bar{w}_i f_i = \bar{w}_i (p_i x + q_i y + r_i) \quad [5.1.4]$$

- Επίπεδο 5: Ο κόμβος του επιπέδου 5 είναι σταθερός και πρόκειται για τον μοναδικό κόμβο του επιπέδου. Σε αυτόν, ως έξοδος υπολογίζεται το άθροισμα των εισερχόμενων σημάτων. Συνολικά, η έξοδος είναι ο γραμμικός συνδυασμός των παραμέτρων που έχουν προκύψει για δεδομένες τιμές εισόδων.

$$\text{overall output} = O_{5,i} = \sum_i \bar{w}_i f_i = \frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i w_i} \quad [5.1.5]$$

3.5.2 Ανάλυση Συστάδων στο σύστημα ANFIS και η μέθοδος Subtractive Clustering

Η διαδικασία της ανάλυσης συστάδων, όπως αναλύεται και στο επόμενο κεφάλαιο, χρησιμοποιείται για το διαχωρισμό ενός συνόλου δεδομένων σε ομάδες (συστάδες), βάσει κάποιου κριτηρίου ομοιότητας. Στη περίπτωση του ANFIS, χρησιμοποιείται για τη δόμηση του μοντέλου, ενώ οι μέθοδοι που προσφέρονται για την ανάλυση συστάδων είναι:

1. Grid Partitioning Method

Σε αυτή τη μέθοδο, ο χώρος δεδομένων εισόδου χωρίζεται σε ορθογώνιους υπό-χώρους παράλληλους στους άξονες, σε μορφή πλέγματος. Κάθε είσοδος διαχωρίζεται σε συναρτήσεις συμμετοχής όμοιου σχήματος. Γενικά, προτείνεται για ασαφή συστήματα με περιορισμένο αριθμό εισόδων, καθώς ο αριθμός των ασαφών κανόνων που παράγονται είναι ίσος με M^n , όπου M: ο αριθμός των ασαφών υποσυνόλων για κάθε δεδομένο είσοδο και n: ο αριθμός εισόδων. Βάσει αυτής της σχέσης, ο αριθμός των κανόνων και κατά συνέπεια, η πολυπλοκότητα του συστήματος αυξάνεται εκθετικά με τη προσθήκη δεδομένων εισόδου.

2. Fuzzy C-Means

Η μέθοδος FCM χρησιμοποιείται για τον την ομαδοποίηση δεδομένων σε συστάδες, βελτιστοποιώντας μια αντικειμενική συνάρτηση. Το σύνολο δεδομένων ομαδοποιείται σε N συστάδες, με κάθε δεδομένο να ανήκει σε όλες τις συστάδες σε έναν ορισμένο βαθμό, με υψηλό βαθμό αν βρίσκεται κοντά στο κέντρο μιας συστάδας και χαμηλό βαθμό αν βρίσκεται μακριά.

3. Subtractive Clustering

Η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται όταν δεν υπάρχει ένδειξη για τον αριθμό των κεντροειδών κατά τον καταμερισμό των δεδομένων. Πρόκειται για μια επέκταση της μεθόδου του Yager (Yager and Filev 1994) και αφορά μια επαναληπτική διαδικασία στην οποία υπολογίζεται το «δυναμικό» κάθε σημείου, δηλαδή την εγγύτητα του με τα υπόλοιπα δεδομένα.

Η μέθοδος Subtractive Clustering

Η εφαρμογή της μεθόδου έγκειται στην εύρεση του «δυναμικού» κάθε δεδομένου, δηλαδή μιας τιμής που απεικονίζει την εγγύτητα του με τα υπόλοιπα δεδομένα.

Αρχικά, τα δεδομένα κανονικοποιούνται, ώστε να έχουν ομοιόμορφη κλίματα το διάστημα $[0,1]$. Το «δυναμικό» κάθε σημείου υπολογίζεται από τον τύπο:

$$P_i = \sum_{j=1}^n e^{-a|x_t-x_j|^2}, \text{ όπου } a = \frac{4}{r_a^2} \quad [5.2.1]$$

Η σταθερά r_a εκφράζει την ακτίνα μιας περιοχής και ορίζεται από τον χρήστη.

Ως πρώτο κέντρο συστάδας (κεντροειδές) επιλέγεται αυτό με το υψηλότερο «δυναμικό». Στη συνέχεια, υπολογίζονται εκ νέου τα «δυναμικά» των δεδομένων κατάλληλα, ώστε τα δεδομένα που βρίσκονται πιο κοντά στο κέντρο να έχουν ακόμα χαμηλότερο «δυναμικό», με αποτέλεσμα την μειωμένη πιθανότητα επιλογής τους ως νέο κέντρο. Αν x_i^* : συντεταγμένες ενός κέντρου και P_i^* το δυναμικό του, το «δυναμικό» όλων των δεδομένων υπολογίζεται ως:

$$P_i = P_i - P_i^* e^{-b|x_t-x_j|^2}, \text{ όπου } b = \frac{4}{r_b^2} \quad [5.2.2]$$

Η σταθερά r_b εκφράζει την ακτίνα της γειτονιάς δεδομένων των οποίων το «δυναμικό» μειώνεται σημαντικά. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι το «δυναμικό» κάθε δεδομένου να πέσει κάτω από ένα κατώφλι.

3.6 Ομαδοποίηση-Ανάλυση Συστάδων (Cluster Analysis)

Γενικά, ως συσταδοποίηση ορίζεται η διαδικασία κατά την οποία ένα σύνολο δεδομένων τμηματοποιείται σε διακριτές ομάδες που ονομάζονται συστάδες, ώστε τα δεδομένα που ανήκουν σε μια συστάδα να είναι όμοια μεταξύ τους και ανόμοια με τα δεδομένα που ανήκουν σε άλλες συστάδες. Πρόκειται για μια ευρέως διαδεδομένη, μη εποπτευόμενη τεχνική της μηχανικής μάθησης (machine learning) και βρίσκει εφαρμογή σε πληθώρα επιστημών.

3.6.1 Ιεραρχική Ανάλυση Συστάδων (Hierarchical Clustering)

Η Ιεραρχική Συσταδοποίηση (Hierarchical Clustering) πρόκειται για μια αρκετά διαδεδομένη μέθοδο ανάλυσης συστάδων, η χρησιμοποιείται στην εξόρυξη δεδομένων από κοινωνικά δίκτυα, στην επεξεργασία εικόνων και στη βιοπληροφορική. Παράγει ένα σύνολο εμφωλευμένων συστάδων, οι οποίες μπορούν να οργανωθούν σε ένα ιεραρχικό δέντρο (δενδρόγραμμα). Το δενδρόγραμμα απεικονίζει ένα δέντρο και απεικονίζει τις ακολουθίες από διαχωρισμούς και συγχωνεύσεις των συστάδων. Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι ιεραρχικής συσταδοποίησης:

- Ο διαιρετικός (Divisive), όπου ξεκινά με μία συστάδα που περιέχει όλα τα σημεία. Κάθε επανάληψη, διαχωρίζεται μια συστάδα, μέχρι να υπάρχουν k συστάδες.
- Ο συσσωρευτικός (Agglomerative), όπου ξεκινά με μια συστάδα για κάθε σημείο. Κάθε επανάληψη, το πιο κοντινό ζευγάρι συστάδων συγχωνεύεται, μέχρι να υπάρχουν k συστάδες

Από τις δύο μεθόδους, αυτή της Συσσωρευτικής Ιεραρχικής Συσταδοποίησης είναι η πιο διαδεδομένη. Ο αλγόριθμος που περιγράφει τη λειτουργία της είναι ο εξής:

- Βήμα 1: Υπολογισμός πίνακα εγγύτητας ή απόστασης
- Βήμα 2: Ανάθεση κάθε σημείου σε μια συστάδα
- Βήμα 3: Συγχώνευση των δύο πλησιέστερων/πιο όμοιων συστάδων
- Βήμα 4: Εκ νέου υπολογισμός του πίνακα εγγύτητας/αποστάσεων
- Βήμα 5: Επιστροφή στο βήμα 3, έως ότου υπάρχει μία συστάδα

Ιδιαίτερα σημαντική για τη συσταδοποίηση είναι η έννοια της απόστασης, καθώς και της εγγύτητας. Η απόσταση υπολογίζεται κυρίως ως η Ευκλείδεια Απόσταση μεταξύ σημείων, ενώ μπορούν να χρησιμοποιηθούν και άλλα είδη αποστάσεων (π.χ. απόσταση Minkowski ή απόσταση Manhattan). Η εγγύτητα, δηλαδή η απόσταση δύο συστάδων, μετράται με πέντε τρόπους:

1. Ελάχιστη Συνδεσιμότητα (Single Linkage), δηλαδή η ελάχιστη απόσταση μεταξύ των σημείων των δύο συστάδων.
2. Μέγιστη Συνδεσιμότητα (Complete Linkage), δηλαδή η μέγιστη απόσταση μεταξύ των σημείων των δύο συστάδων.
3. Κεντροειδή Συνδεσιμότητα (Centroid Linkage), δηλαδή η απόσταση μεταξύ των κεντροειδών των συστάδων.
4. Μέση Συνδεσιμότητα (Average Linkage), δηλαδή ο μέσος όρος των αποστάσεων των σημείων κάθε συστάδας σε ζευγάρια.
5. Συνδεσιμότητα Ward (Ward Linkage), δηλαδή μια συσχέτιση της απόστασης δύο συστάδων σε σχέση με τη διακύμανση των σημείων της κάθε συστάδας.

3.6.2 Η απόσταση Mahalanobis

Η απόσταση Mahalanobis χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της απόστασης μεταξύ δύο σημείων σε ένα πολυμεταβλητό χώρο. Για συσχετιζόμενες μεταβλητές, η Ευκλείδεια απόσταση δεν έχει καλά αποτελέσματα, καθώς οι άξονες του χώρου στον οποίο απεικονίζονται τα δεδομένα δεν είναι κάθετοι μεταξύ τους (ο χώρος δεν είναι Ευκλείδειος). Η απόσταση Mahalanobis υπολογίζει την απόσταση ενός σημείου σε σχέση με ένα κεντροειδές, δηλαδή ένα σημείο που εκφράζει το συνολικό «μέσο» των όλων των μεταβλητών των δεδομένων.

Η μαθηματική έκφραση της απόστασης είναι (Varmouza & Filzmoser, 2016):

$$D_{Mahalanobis} = \sqrt{[(x_B - x_A)^T C^{-1} (x_B - x_A)]} \quad [6.3.1]$$

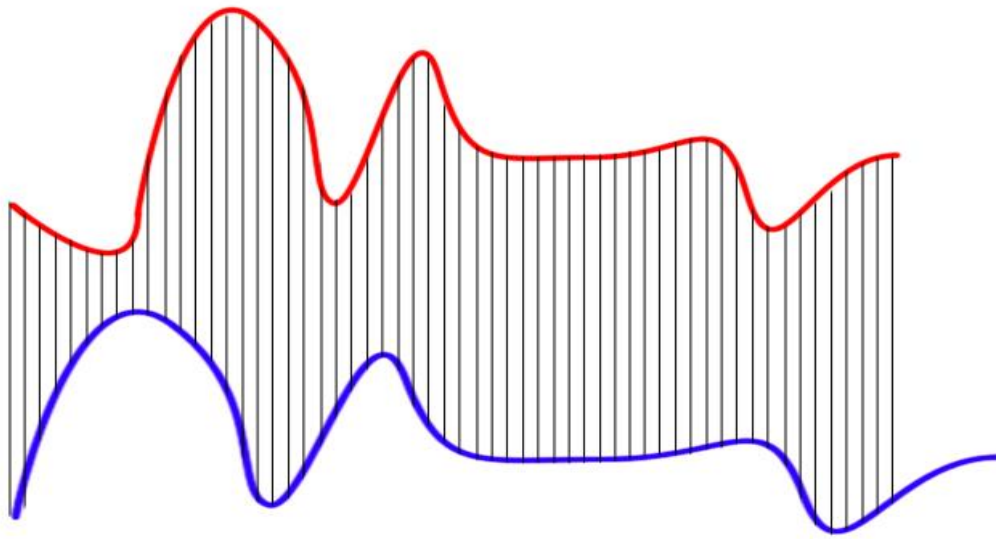
Όπου x_B, x_A : ένα ζευγάρι δεδομένων και C : ο πίνακας συνδιακύμανσης του δείγματος

3.6.3 Ο αλγόριθμος Dynamic Time Warping (DTW)

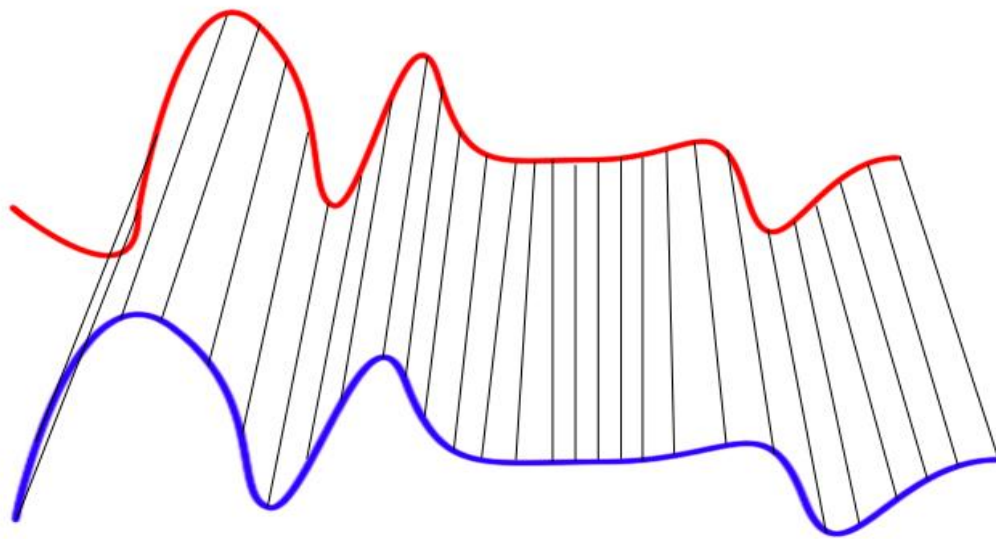
Ο αλγόριθμος DTW χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της ομοιότητας δύο χρονοσειρών, μεταξύ των οποίων μπορεί να υπάρχει διαφορά φάσης ή άνισος ρυθμός μεταβολής. Βρίσκει εφαρμογή στην αναγνώριση ομιλίας, υπογραφών, αντιστοίχισης σχημάτων, ενώ μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μέτρο απόστασης στην ανάλυση συστάδων.

Όπως αναφέρει το όνομα του, ο αλγόριθμος «στρεβλώνει» τον χρόνο, ώστε να βρει τη βέλτιστη αντιστοίχιση μεταξύ δύο χρονοσειρών, υπό τους περιορισμούς:

1. Κάθε στοιχείο της πρώτης χρονοσειράς μπορεί να αντιστοιχηθεί με ένα ή περισσότερα στοιχεία της δεύτερης χρονοσειράς, και αντίστροφα.
2. Το πρώτο στοιχείο της πρώτης χρονοσειράς πρέπει να αντιστοιχηθεί και με το πρώτο σημείο της δεύτερης χρονοσειράς.
3. Το τελευταίο στοιχείο της πρώτης χρονοσειράς πρέπει να αντιστοιχηθεί και με το τελευταίο σημείο της δεύτερης χρονοσειράς.
4. Η αντιστοίχιση των σημείων της πρώτης χρονοσειράς με αυτών της δεύτερης πρέπει να είναι μονότονα αυξανόμενη, και αντίστροφα.



Euclidean Matching



Dynamic Time Warping Matching

Σχήμα 3.6.1.: Σχηματική Αναπαράσταση της διαφοράς στην αντιστοίχιση χρονοσειρών με την Ευκλείδεια απόσταση και τον αλγόριθμο DTW, Εικόνα από Wikipedia Commons η Ευκλείδεια Απόσταση δεν είναι κατάλληλη για τη σύγκρισή

Στο σχήμα (3.6.1) παρουσιάζεται σχηματικά η διαφορά της Ευκλείδειας Απόστασης και της αντιστοίχισης μέσω DTW για δύο χρονοσειρές. Φαίνεται πως, ενώ οι χρονοσειρές έχουν παρόμοιες τάσεις, τους, καθώς χρησιμοποιεί κάθετες αποστάσεις και δεν λαβάνεται υπόψιν η χρονική καθυστέρηση.

3.7 Σύνοψη Κεφαλαίου

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται μια αναλυτική παρουσίαση του θεωρητικού υπόβαθρου των μεθόδων που χρησιμοποιούνται στην ανάλυση αυτής της εργασίας. Αρχικά, παρουσιάζεται η θεωρία των δυναμικών μοντέλων για την υγεία, το προτεινόμενο μοντέλο καθώς και ο τρόπος που πραγματοποιείται η στατιστική εκτίμηση. Στη συνέχεια, παρουσιάζεται η θεωρία σχετικά με τα ασαφή σύνολα και την ασαφή λογική, τα νευρωνικά δίκτυα και τελικά στα υβριδικά συστήματα και το Προσαρμοστικό Νευροασαφές Σύστημα Ασαφούς Συμπερασμού- ANFIS. Τέλος, παρουσιάζεται η βασική θεωρία για την ανάλυση συστάδων και οι μέθοδοι συσταδοποίησης που χρησιμοποιούνται στη παρούσα εργασία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ

Η εφαρμογή των μεθόδων που παρουσιάζονται γίνεται στο μαθηματικό λογισμικό MATLAB-2022b και χωρίζεται σε δύο μέρη:

4.1 Εφαρμογή του δυναμικού μοντέλου, στοχαστική προσομοίωση και ομαδοποίηση των αποτελεσμάτων για τα δεδομένα της Ελλάδας

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν προέρχονται από τη βάση δεδομένων της Ευρωπαϊκής Στατιστικής Υπηρεσίας (Eurostat) και αφορούν τους πίνακες επιβίωσης περιόδου των δεκατριών περιφερειών της Ελλάδας, ανά φύλο (άνδρας-γυναίκα) και ανά έτος (τα έτη που μελετώνται είναι από το 1990 έως το 2020). Συνολικά, πρόκειται για 868 πίνακες επιβίωσης, από τους οποίους χρησιμοποιήθηκε η στήλη της ειδικής κατά ηλικίας θνησιμότητας ανά 1000 άτομα, και των οποίων η επεξεργασία έγινε στο λογισμικό EXCEL.

Η ειδική κατά ηλικία θνησιμότητα ανά 1000 άτομα δίνεται ανά ηλικία, για τις ηλικίες 0 έως 85+. Σε πολλές περιπτώσεις, η μέση διάρκεια ζωής ξεπερνά τα 85 έτη, δηλαδή το άνω όριο των δεδομένων. Ως αποτέλεσμα, η μέση διάρκεια ζωής δεν υπολογίζεται, αλλά εκτιμάται προς τα πάνω, καθώς η μέθοδος έχει την τάση να υπερεκτιμά τα αποτελέσματα. Ως λύση προτείνεται το μοντέλο Kannisto για τη θνησιμότητα σε μεγάλη ηλικία (Thatcher et al. (1998)), με το οποίο γίνεται προσαρμογή μιας λογιστικής καμπύλης στα δεδομένα μέσω μη-γραμμικής παλινδρόμησης. Σκοπός είναι η επέκταση του εύρους των δεδομένων μέχρι τα 110+ έτη, καθώς και η ομαλοποίηση των δεδομένων από 80 έτη και άνω, καθώς, λόγω του μικρότερου δείγματος σε αυτές τις ηλικίες, υπάρχουν έντονες διακυμάνσεις.

Λόγω του όγκου δεδομένων, κρίθηκε σκόπιμη η δημιουργία μιας διαδραστικής εφαρμογής μέσω του λογισμικού MATLAB. Στην εν λόγω εφαρμογή, ο χρήστης επιλέγει περιφερειακή ενότητα, φύλο, έτος και λαμβάνει τα αποτελέσματα της εφαρμογής της μεθόδου, δηλαδή τις παραμέτρους της συνάρτησης, τη μέση διάρκεια ζωής, στατιστικά μέτρα για τη ποιότητα της εφαρμογής καθώς και τα απαραίτητα γραφήματα.

Η διαδικασία που ακολουθεί η εφαρμογή της μεθόδου περιγράφεται συνοπτικά από τα παρακάτω βήματα:

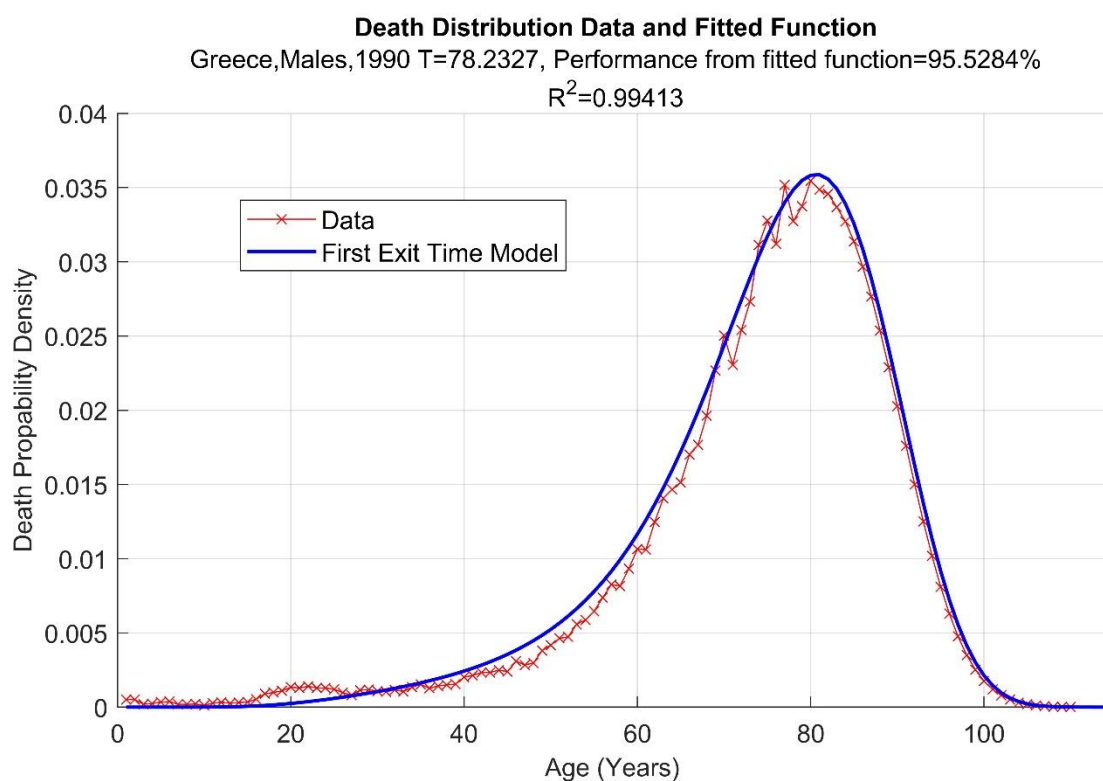
- Βήμα 1: Εισαγωγή Δεδομένων
- Βήμα 2: Επέκταση του εύρους των δεδομένων μέσω προσαρμογής λογιστικής καμπύλης
- Βήμα 3: Μετατροπή δεδομένων σε συνάρτηση πυκνότητας θανάτων και κανονικοποίησή τους
- Βήμα 4: Προσαρμογή προτεινόμενης καμπύλης και εκτίμηση παραμέτρων
- Βήμα 5: Στοχαστική Προσομοίωση του συστήματος για επιβεβαίωση των αποτελεσμάτων και διαμόρφωση πυκνότητας θανάτων από τη προσομοίωση

4.1.1 Εφαρμογή του δυναμικού μοντέλου στα δεδομένα της Ελλάδας

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα εφαρμογής του δυναμικού μοντέλου στους πίνακες επιβίωσης περιόδου της Ελλάδας, για άνδρες και γυναίκες τα έτη 1990,2000, 2010 και 2020.

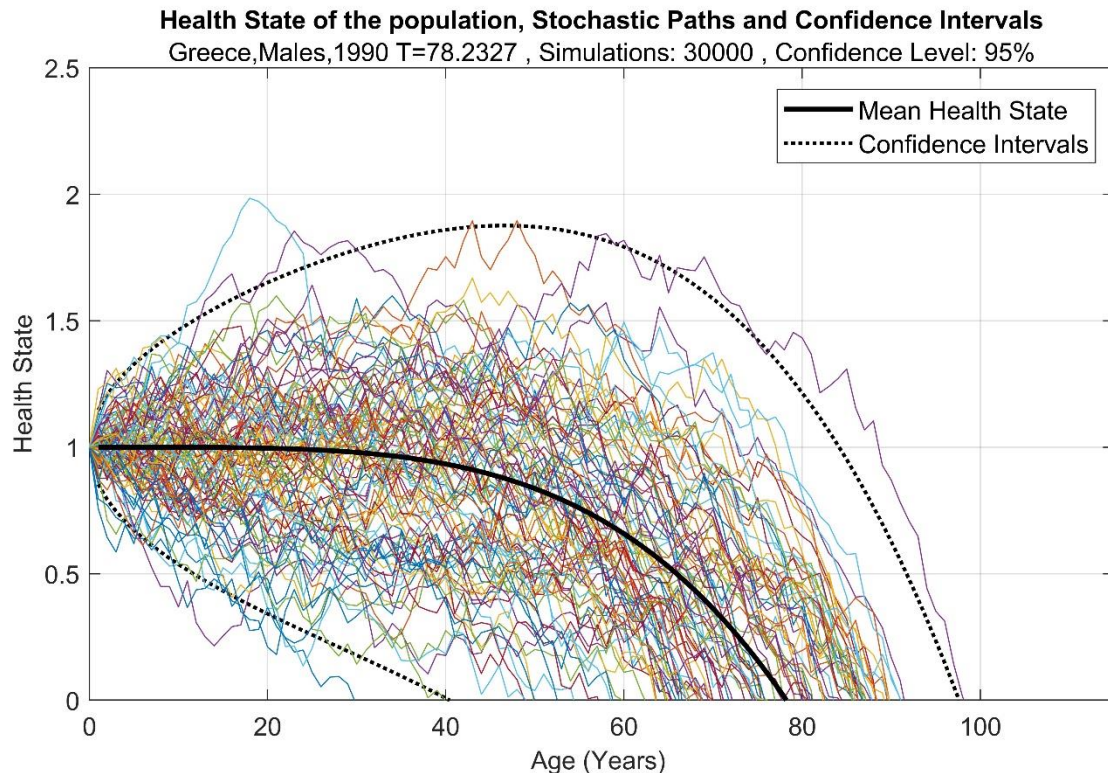
- **Ελλάδα, Άνδρες, 1990**

Στο πρώτο διάγραμμα (4.1.1.) φαίνονται τα δεδομένα που προέρχονται από τον πίνακα επιβίωσης (με κόκκινο) και η εφαρμογή του μοντέλου (με μπλε). Ο οριζόντιος άξονας αναφέρεται στην ηλικία, ενώ ο κάθετος στη πιθανότητα θανάτου. Η εφαρμογή είναι πολύ καλή, με εξαίρεση μία άνοδο μεταξύ 15 και 28 ετών, ενώ από τα 70 έτη και μετά φαίνεται η αύξηση της διακύμανσης λόγω μεγάλης ηλικίας, η οποία εξαλείφεται από τα 80 έτη και μετά, λόγω του μοντέλου Kannisto. Η μέση διάρκεια ζωής εκτιμάται από το μοντέλο στα 78.23 έτη.



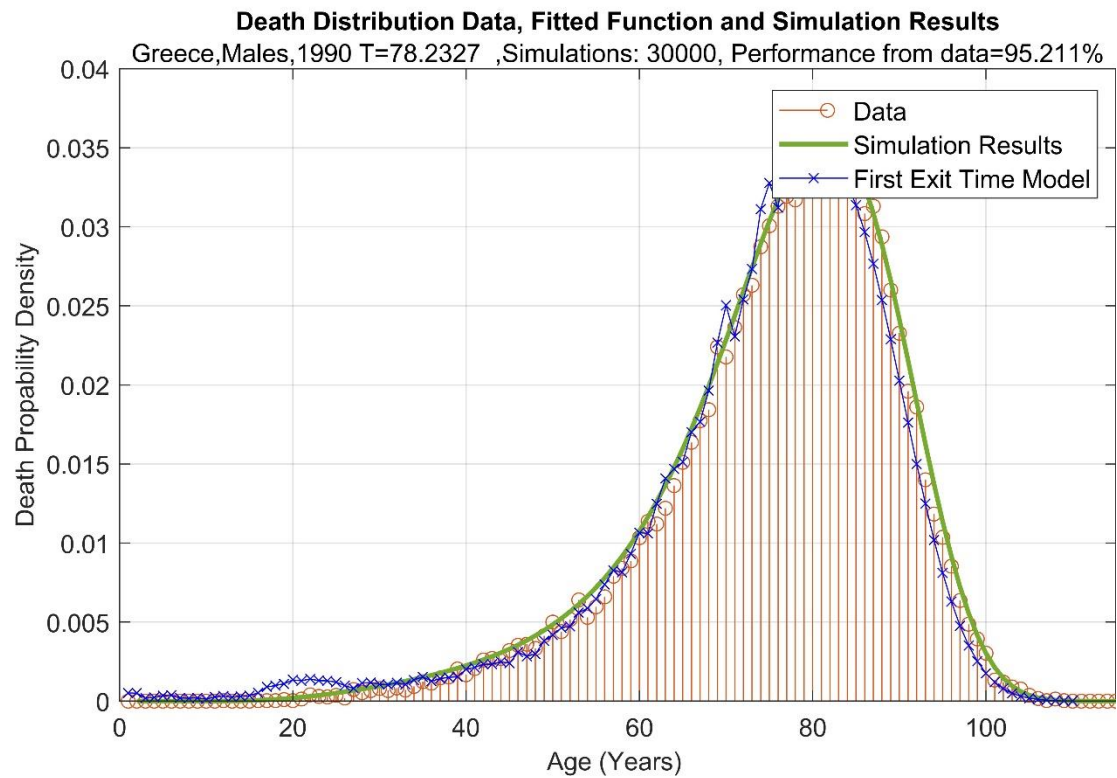
Διάγραμμα 4.1.1: Δεδομένα (κατανομή πιθανότητας θανάτου) και προσαρμοσμένη καμπύλη από το δυναμικό μοντέλο, Ελλάδα, Άνδρες, 1990

Στο επόμενο διάγραμμα (4.1.2) παρουσιάζεται η συνάρτηση κατάστασης υγείας του πληθυσμού (μαύρη γραμμή), 100 από τα στοχαστικά μονοπάτια (πολύχρωμες γραμμές) και τα διαστήματα εμπιστοσύνης 95% (διακεκομμένες γραμμές). Ο οριζόντιος άξονας αναφέρεται στην ηλικία, ενώ ο κάθετος στην κατάσταση υγείας. Η συνάρτηση κατάστασης υγείας ξεκινά από το 1 και «συναντά» τον οριζόντιο άξονα στην ηλικία 78.23 έτη, δηλαδή στη μέση διάρκεια ζωής.



Διάγραμμα 4.1.2: Στοχαστικές Προσομοιώσεις, Διαστήματα εμπιστοσύνης και Συνάρτηση Κατάστασης Υγείας, Ελλάδα, Άνδρες, 1990

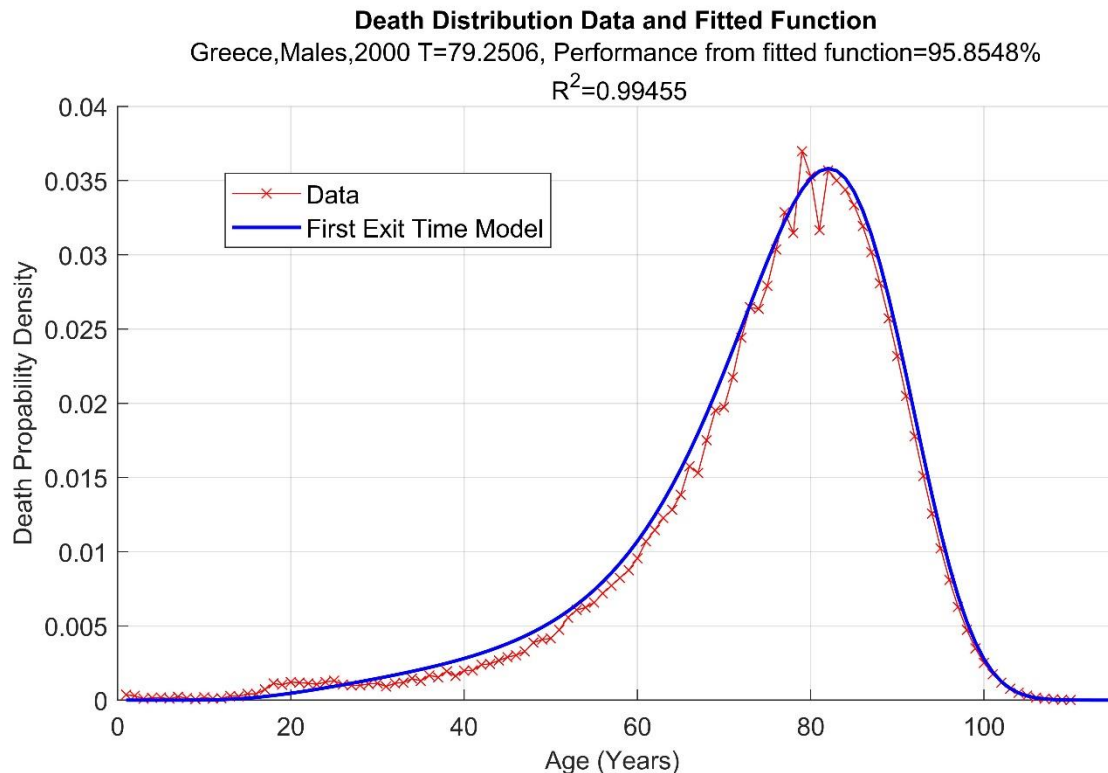
Το τελευταίο διάγραμμα (4.1.3) απεικονίζει τα δεδομένα από τον πίνακα επιβίωσης (μπλε γραμμή), το μοντέλο που εκτιμήθηκε (πράσινη γραμμή) και τα αποτελέσματα της προσομοίωσης (κόκκινες μπάρες). Ο οριζόντιος άξονας αναφέρεται στην ηλικία και ο κάθετος στη πιθανότητα θανάτου, ενώ φαίνεται η καλή προσαρμογή του μοντέλου τόσο με τα πραγματικά δεδομένα, τόσο και με τα δεδομένα που προέρχονται από τη προσομοίωση. Σημειώνεται πως η περίοδος αυξημένων θανάτων στις ηλικίες 15-28 εμφανίζεται και στα αποτελέσματα της προσομοίωσης.



Διάγραμμα 4.1.3: Δεδομένα (κατανομή πιθανότητας θανάτου), προσαρμοσμένη καμπύλη και αποτελέσματα προσομοίωσης, Ελλάδα, Άνδρες, 1990

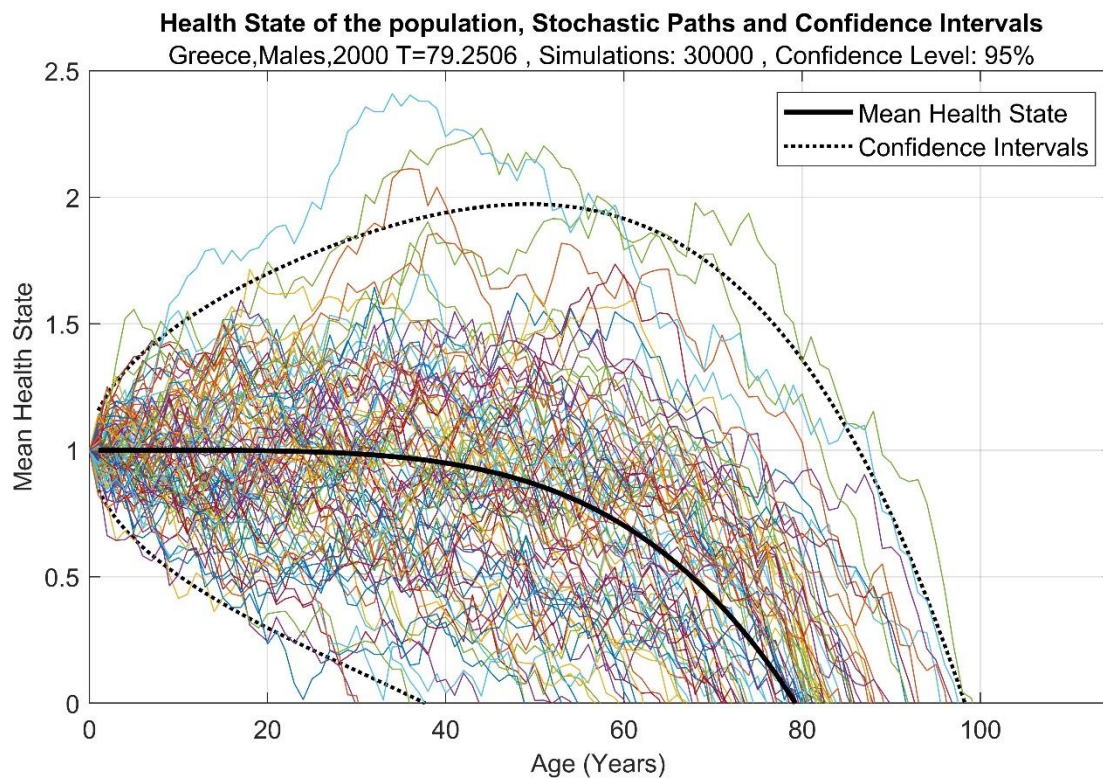
- **Ελλάδα, Άνδρες, 2000**

Στο διάγραμμα 4.1.4 φαίνονται τα δεδομένα που προέρχονται από τον πίνακα επιβίωσης (με κόκκινο) και η εφαρμογή του μοντέλου (με μπλε). Ο οριζόντιος άξονας αναφέρεται στην ηλικία, ενώ ο κάθετος στη πιθανότητα θανάτου. Η εφαρμογή είναι πολύ καλή, με εξαίρεση μία άνοδο μεταξύ 18 και 25 ετών και τη μικρή απόκλιση στις ηλικίες 30-70, ενώ από τα 70 έτη και μετά φαίνεται η αύξηση της διακύμανσης λόγω μεγάλης ηλικίας, η οποία εξαλείφεται από τα 80 έτη και μετά, λόγω του μοντέλου Kannisto. Η μέση διάρκεια ζωής εκτιμάται από το μοντέλο στα 79.25 έτη.

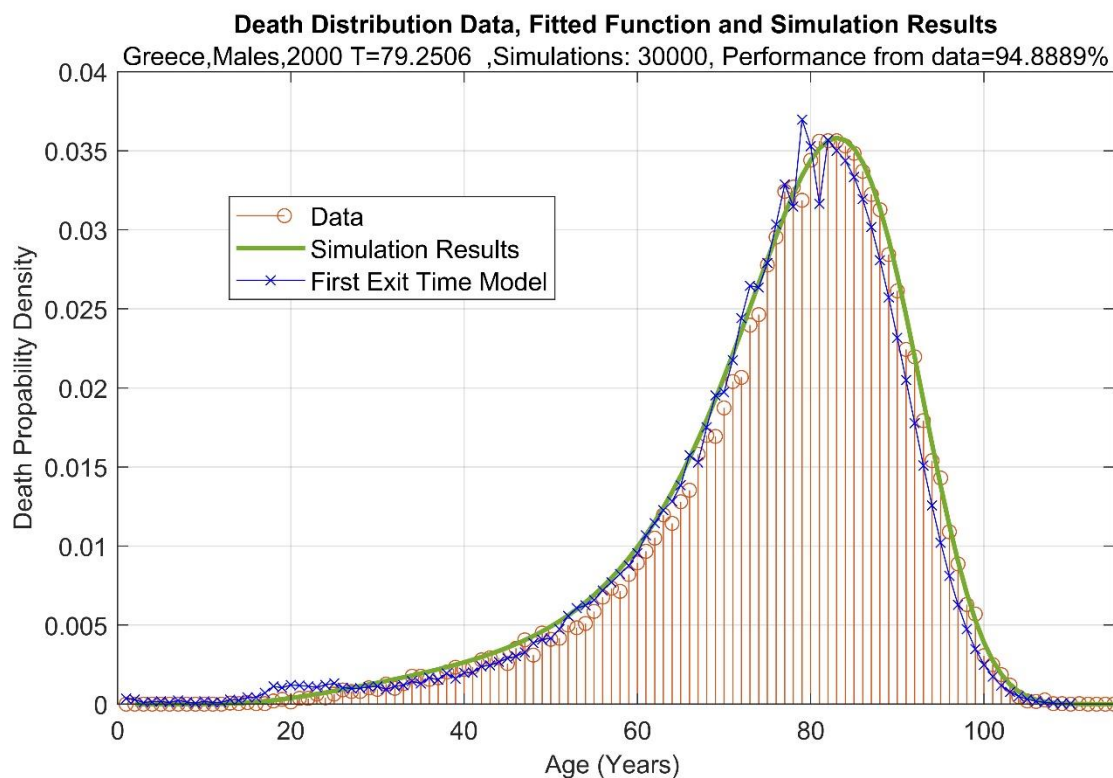


Διάγραμμα 4.1.4: Δεδομένα (κατανομή πιθανότητας θανάτου) και προσαρμοσμένη καμπύλη από το δυναμικό μοντέλο, Ελλάδα, Άνδρες, 2000

Στο επόμενο διάγραμμα (4.1.5) παρουσιάζεται η συνάρτηση κατάστασης υγείας του πληθυσμού (μαύρη γραμμή), 100 από τα στοχαστικά μονοπάτια (πολύχρωμες γραμμές) και τα διαστήματα εμπιστοσύνης 95% (διακεκομμένες γραμμές). Ο οριζόντιος άξονας αναφέρεται στην ηλικία, ενώ ο κάθετος στην κατάσταση υγείας. Η συνάρτηση κατάστασης υγείας ξεκινά από το 1 και «συναντά» τον οριζόντιο άξονα στην ηλικία 79.25 έτη, δηλαδή στη μέση διάρκεια ζωής.



Διάγραμμα 4.1.5: Στοχαστικές Προσομοιώσεις, Διαστήματα εμπιστοσύνης και Συνάρτηση Κατάστασης Υγείας, Ελλάδα, Άνδρες, 2000

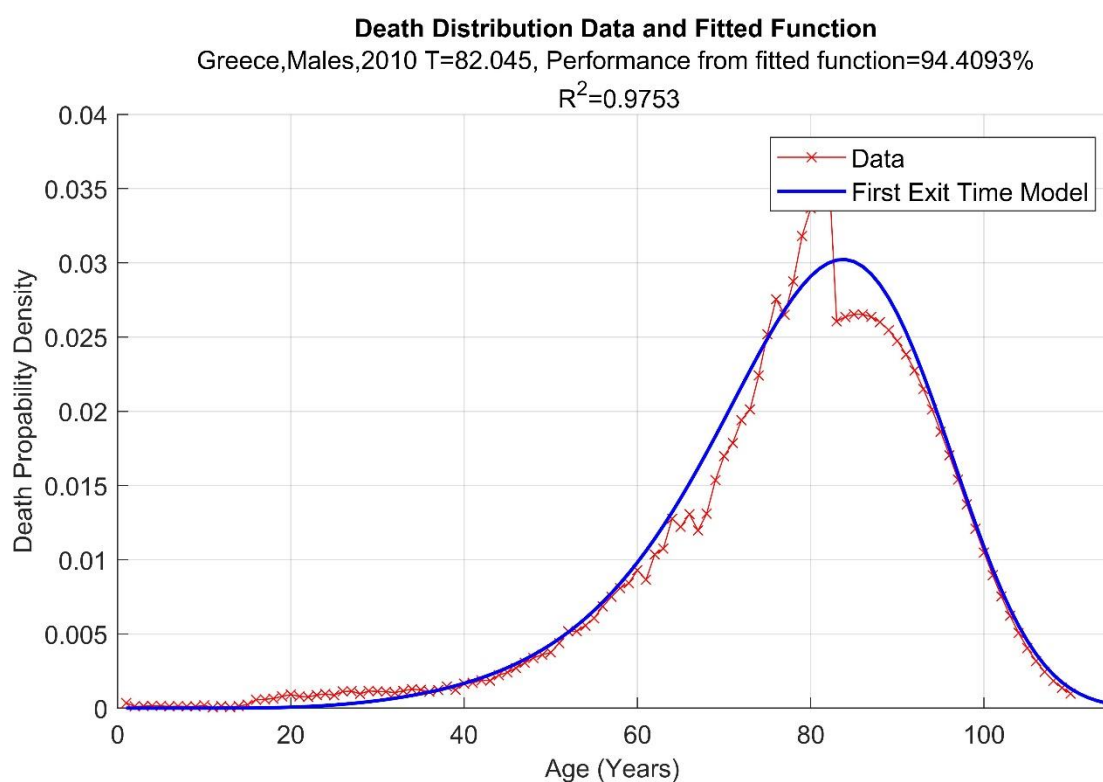


Διάγραμμα 4.1.6: Δεδομένα (κατανομή πιθανότητας θανάτου), προσαρμοσμένη καμπύλη και αποτελέσματα προσομοίωσης, Ελλάδα, Άνδρες, 200

Το τελευταίο διάγραμμα (4.1.6) απεικονίζει τα δεδομένα από τον πίνακα επιβίωσης (μπλε γραμμή), το μοντέλο που εκτιμήθηκε (πράσινη γραμμή) και τα αποτελέσματα της προσομοίωσης (κόκκινες μπάρες). Ο οριζόντιος άξονας αναφέρεται στην ηλικία και ο κάθετος στη πιθανότητα θανάτου, ενώ φαίνεται η καλή προσαρμογή του μοντέλου τόσο με τα πραγματικά δεδομένα, τόσο και με τα δεδομένα που προέρχονται από τη προσομοίωση. Σημειώνεται πως η περίοδος αυξημένων θανάτων στις ηλικίες 18-25 εμφανίζεται και στα αποτελέσματα της προσομοίωσης.

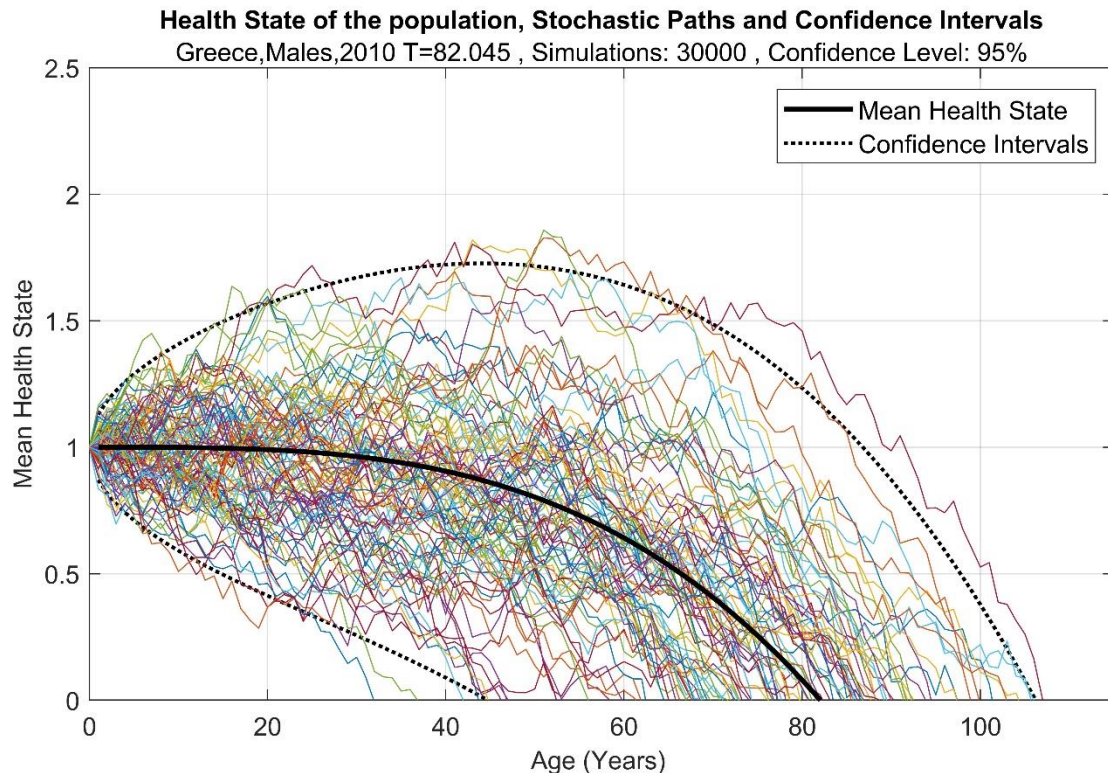
- **Ελλάδα, Άνδρες, 2010**

Στο διάγραμμα 4.1.7 φαίνονται τα δεδομένα που προέρχονται από τον πίνακα επιβίωσης (με κόκκινο) και η εφαρμογή του μοντέλου (με μπλε). Ο οριζόντιος άξονας αναφέρεται στην ηλικία, ενώ ο κάθετος στη πιθανότητα θανάτου. Η εφαρμογή είναι αρκετά καλή, με εξαίρεση την άνοδο μεταξύ 15 και 35 ετών, ενώ υπάρχουν μεγάλες αποκλίσεις στις μεγάλες ηλικίες. Σε αυτή τη περίπτωση το μοντέλο Kannisto υποεκτίμησε τη θνησιμότητα σε μεγάλη ηλικία, καθώς μετά από τα 80 έτη οι τιμές των δεδομένων αλλάζουν απότομα, ενώ η προσαρμογή μεταξύ των 80 και 90 ετών δεν είναι αρκετά καλή. Η μέση διάρκεια ζωής εκτιμάται από το μοντέλο στα 82.045 έτη.



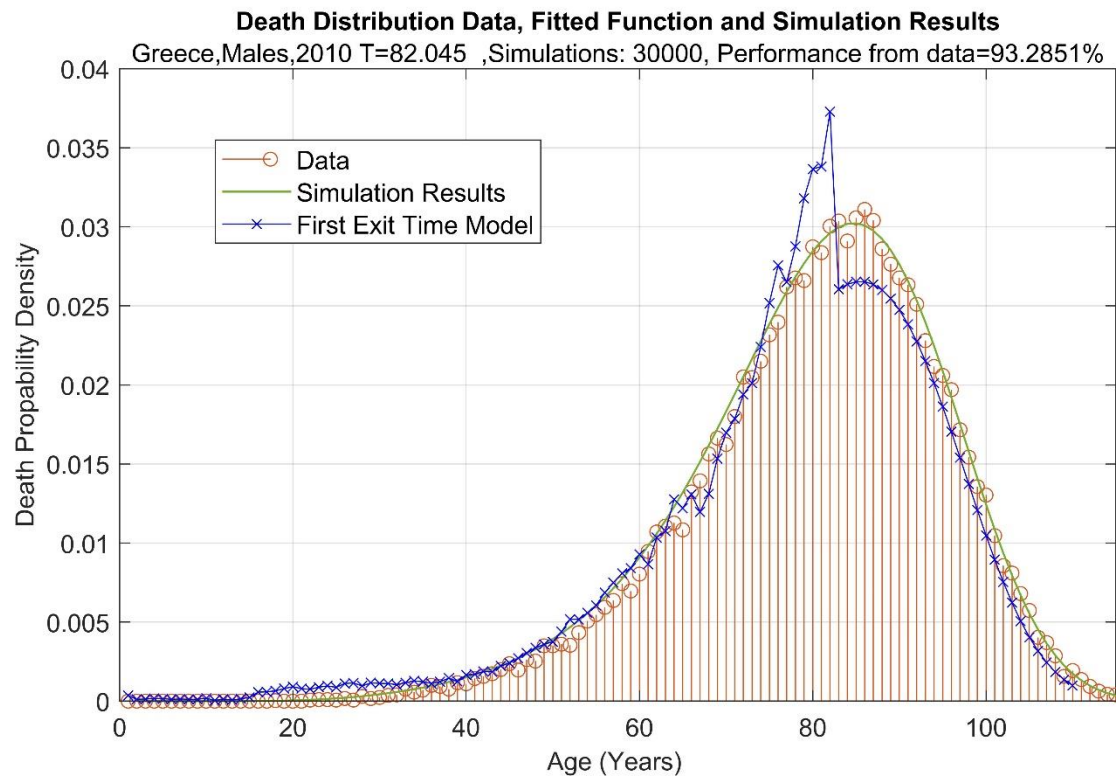
Διάγραμμα 4.1.7: Δεδομένα (κατανομή πιθανότητας θανάτου) και προσαρμοσμένη καμπύλη από το δυναμικό μοντέλο, Ελλάδα, Άνδρες, 2010

Στο επόμενο διάγραμμα (4.1.8) παρουσιάζεται η συνάρτηση κατάστασης υγείας του πληθυσμού (μαύρη γραμμή), 100 από τα στοχαστικά μονοπάτια (πολύχρωμες γραμμές) και τα διαστήματα εμπιστοσύνης 95% (διακεκομμένες γραμμές). Ο οριζόντιος άξονας αναφέρεται στην ηλικία, ενώ ο κάθετος στην κατάσταση υγείας. Η συνάρτηση κατάστασης υγείας ξεκινά από το 1 και «συναντά» τον οριζόντιο άξονα στην ηλικία 82.045 έτη, δηλαδή στη μέση διάρκεια ζωής.



Διάγραμμα 4.1.8: Στοχαστικές Προσομοιώσεις, Διαστήματα εμπιστοσύνης και Συνάρτηση Κατάστασης Υγείας, Ελλάδα, Άνδρες, 2010

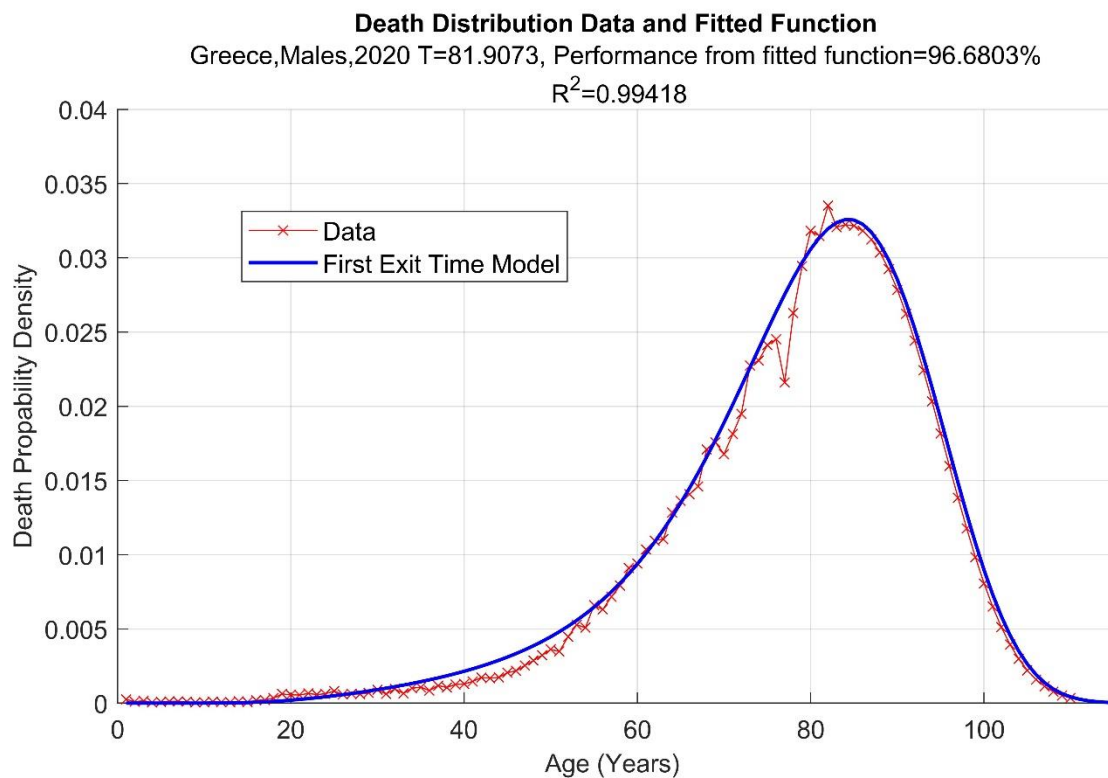
Το τελευταίο διάγραμμα (4.1.9) απεικονίζει τα δεδομένα από τον πίνακα επιβίωσης (μπλε γραμμή), το μοντέλο που εκτιμήθηκε (πράσινη γραμμή) και τα αποτελέσματα της προσομοίωσης (κόκκινες μπάρες). Ο οριζόντιος άξονας αναφέρεται στην ηλικία και ο κάθετος στη πιθανότητα θανάτου, ενώ φαίνεται η καλή προσαρμογή του μοντέλου τόσο με τα πραγματικά δεδομένα, τόσο και με τα δεδομένα που προέρχονται από τη προσομοίωση. Σημειώνεται πως η περίοδος αυξημένων θανάτων στις ηλικίες 15-35 εμφανίζεται πιο ήπια και στα αποτελέσματα της προσομοίωσης, ενώ οι αποκλίσεις σε μεγάλη ηλικία δεν εμφανίζονται.



Διάγραμμα 4.1.9: Δεδομένα (κατανομή πιθανότητας θανάτου), προσαρμοσμένη καμπύλη και αποτελέσματα προσομοίωσης, Ελλάδα, Άνδρες, 2010

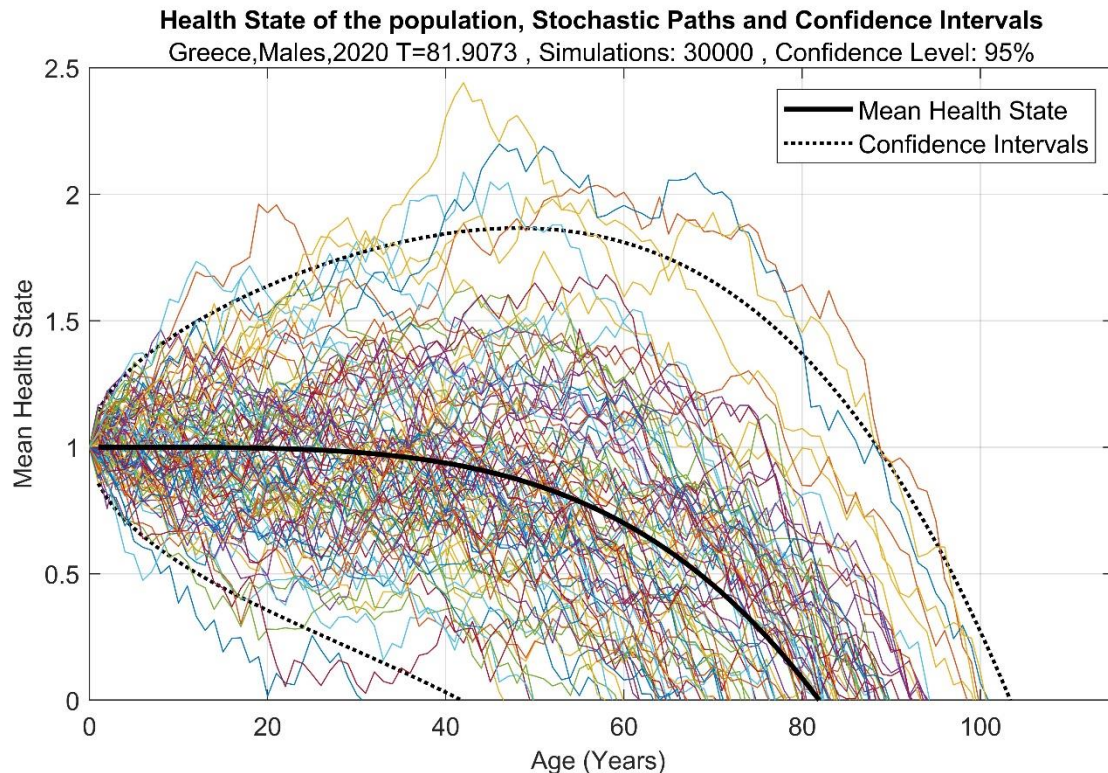
- **Ελλάδα, Άνδρες, 2020**

Στο διάγραμμα 4.1.10 απεικονίζονται τα δεδομένα που προέρχονται από τον πίνακα επιβίωσης (με κόκκινο) και η εφαρμογή του μοντέλου (με μπλε). Ο οριζόντιος άξονας αναφέρεται στην ηλικία, ενώ ο κάθετος στη πιθανότητα θανάτου. Η εφαρμογή είναι πολύ καλή, με εξαίρεση την άνοδο μεταξύ 18 και 27 ετών και τη μικρή απόκλιση στις ηλικίες 30-50, ενώ από τα 70 έτη και μετά φαίνεται η αύξηση της διακύμανσης λόγω μεγάλης ηλικίας, η οποία εξαλείφεται από τα 80 έτη και μετά, λόγω του μοντέλου Kannisto. Η μέση διάρκεια ζωής εκτιμάται από το μοντέλο στα 81.91 έτη.



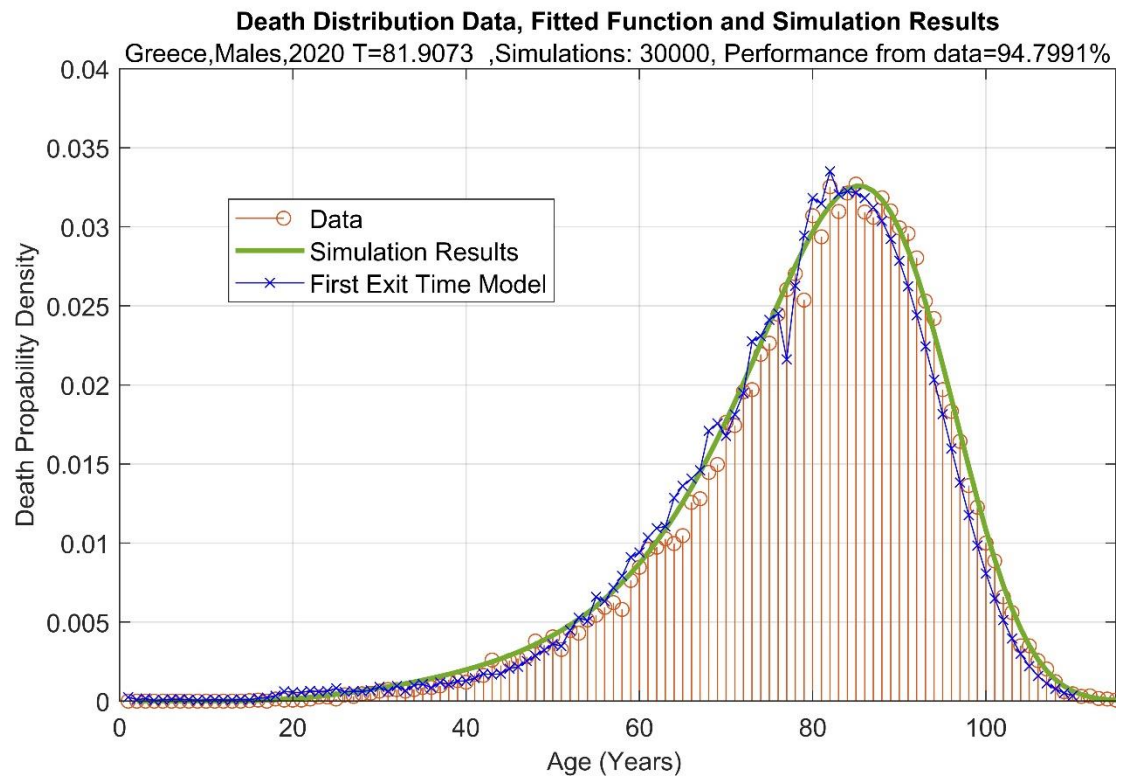
Διάγραμμα 4.1.10: Δεδομένα (κατανομή πιθανότητας θανάτου) και προσαρμοσμένη καμπύλη από το δυναμικό μοντέλο, Ελλάδα, Άνδρες, 2020

Στο επόμενο διάγραμμα (4.1.11) παρουσιάζεται η συνάρτηση κατάστασης υγείας του πληθυσμού (μαύρη γραμμή), 100 από τα στοχαστικά μονοπάτια (πολύχρωμες γραμμές) και τα διαστήματα εμπιστοσύνης 95% (διακεκομμένες γραμμές). Ο οριζόντιος άξονας αναφέρεται στην ηλικία, ενώ ο κάθετος στην κατάσταση υγείας. Η συνάρτηση κατάστασης υγείας ξεκινά από το 1 και «συναντά» τον οριζόντιο άξονα στην ηλικία 81.91 έτη, δηλαδή στη μέση διάρκεια ζωής.



Διάγραμμα 4.1.11: Στοχαστικές Προσομοιώσεις, Διαστήματα εμπιστοσύνης και Συνάρτηση Κατάστασης Υγείας, Ελλάδα, Άνδρες, 2020

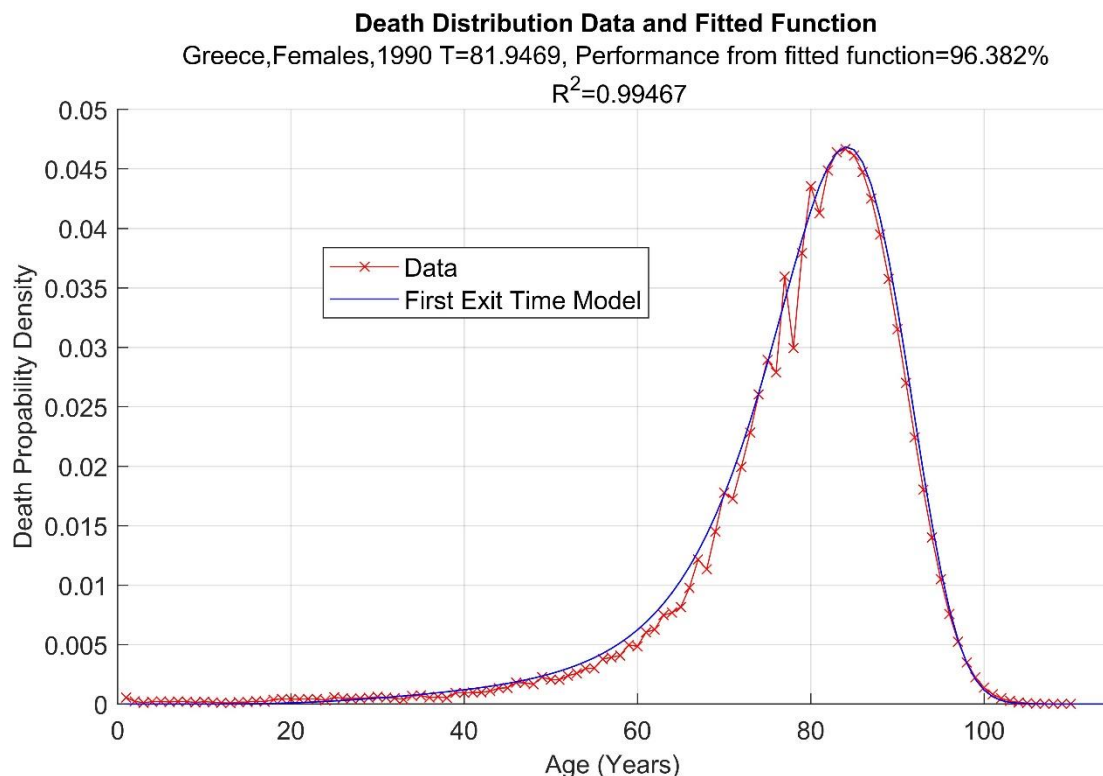
Το τελευταίο διάγραμμα (4.1.12) απεικονίζει τα δεδομένα από τον πίνακα επιβίωσης (μπλε γραμμή), το μοντέλο που εκτιμήθηκε (πράσινη γραμμή) και τα αποτελέσματα της προσομοίωσης (κόκκινες μπάρες). Ο οριζόντιος άξονας αναφέρεται στην ηλικία και ο κάθετος στη πιθανότητα θανάτου, ενώ φαίνεται η καλή προσαρμογή του μοντέλου τόσο με τα πραγματικά δεδομένα, τόσο και με τα δεδομένα που προέρχονται από τη προσομοίωση. Σημειώνεται πως η περίοδος αυξημένων θανάτων στις ηλικίες 18-27 εμφανίζεται και στα αποτελέσματα της προσομοίωσης.



Διάγραμμα 4.1.12: Δεδομένα (κατανομή πιθανότητας θανάτου), προσαρμοσμένη καμπύλη και αποτελέσματα προσομοίωσης, Ελλάδα, Άνδρες, 2020

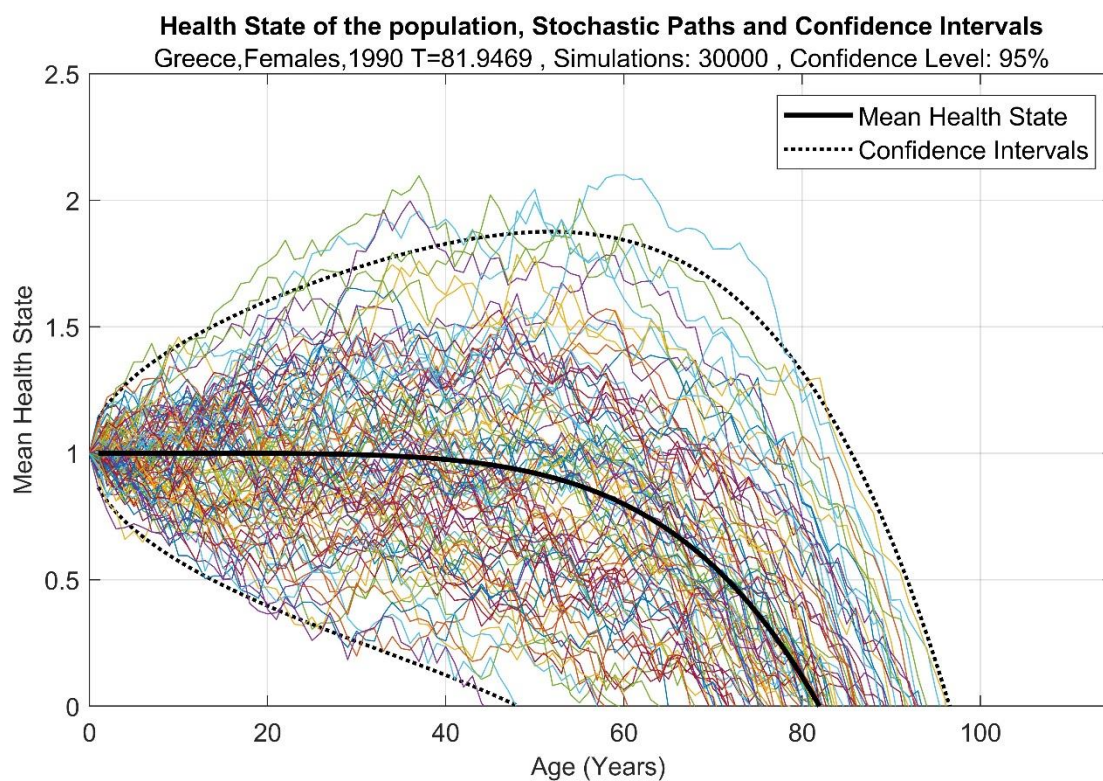
- **Ελλάδα, Γυναίκες, 1990**

Στο διάγραμμα 4.1.13 παρουσιάζονται τα δεδομένα που προέρχονται από τον πίνακα επιβίωσης (με κόκκινο) και η εφαρμογή του μοντέλου (με μπλε). Ο οριζόντιος άξονας αναφέρεται στην ηλικία, ενώ ο κάθετος στη πιθανότητα θανάτου. Η εφαρμογή είναι πολύ καλή, με εξαίρεση τη μικρή απόκλιση στις ηλικίες 50-70, ενώ από τα 70 έτη και μετά φαίνεται μια μικρή αύξηση της διακύμανσης λόγω μεγάλης ηλικίας, η οποία εξαλείφεται από τα 80 έτη και μετά, λόγω του μοντέλου Kannisto. Η μέση διάρκεια ζωής εκτιμάται από το μοντέλο στα 81.95 έτη.

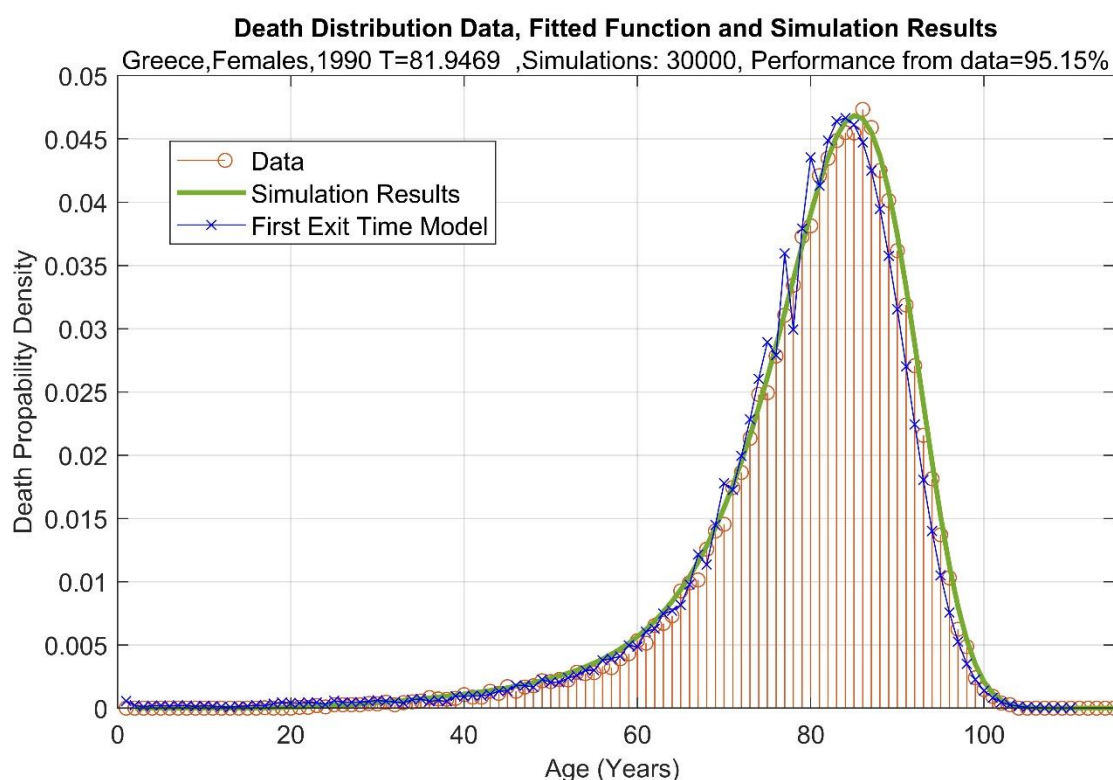


Διάγραμμα 4.1.13: Δεδομένα (κατανομή πιθανότητας θανάτου) και προσαρμοσμένη καμπύλη από το δυναμικό μοντέλο, Ελλάδα, Γυναίκες, 1990

Στο διάγραμμα 4.1.14 παρουσιάζεται η συνάρτηση κατάστασης υγείας του πληθυσμού (μαύρη γραμμή), 100 από τα στοχαστικά μονοπάτια (πολύχρωμες γραμμές) και τα διαστήματα εμπιστοσύνης 95% (διακεκομμένες γραμμές). Ο οριζόντιος άξονας αναφέρεται στην ηλικία, ενώ ο κάθετος στην κατάσταση υγείας. Η συνάρτηση κατάστασης υγείας ξεκινά από το 1 και «συναντά» τον οριζόντιο άξονα στην ηλικία 81.95 έτη, δηλαδή στη μέση διάρκεια ζωής. Συγκριτικά με το αντίστοιχο διάγραμμα των Ανδρών το 1990, η συνάρτηση κατάστασης υγείας των γυναικών φαίνεται να μειώνεται με μικρότερο ρυθμό στην αρχή και μεγαλύτερο ρυθμό (πιο απότομα) στις μεγαλύτερες ηλικίες.



Διάγραμμα 4.1.14: Στοχαστικές Προσομοιώσεις, Διαστήματα εμπιστοσύνης και Συνάρτηση Κατάστασης Υγείας, Ελλάδα, Γυναίκες, 1990

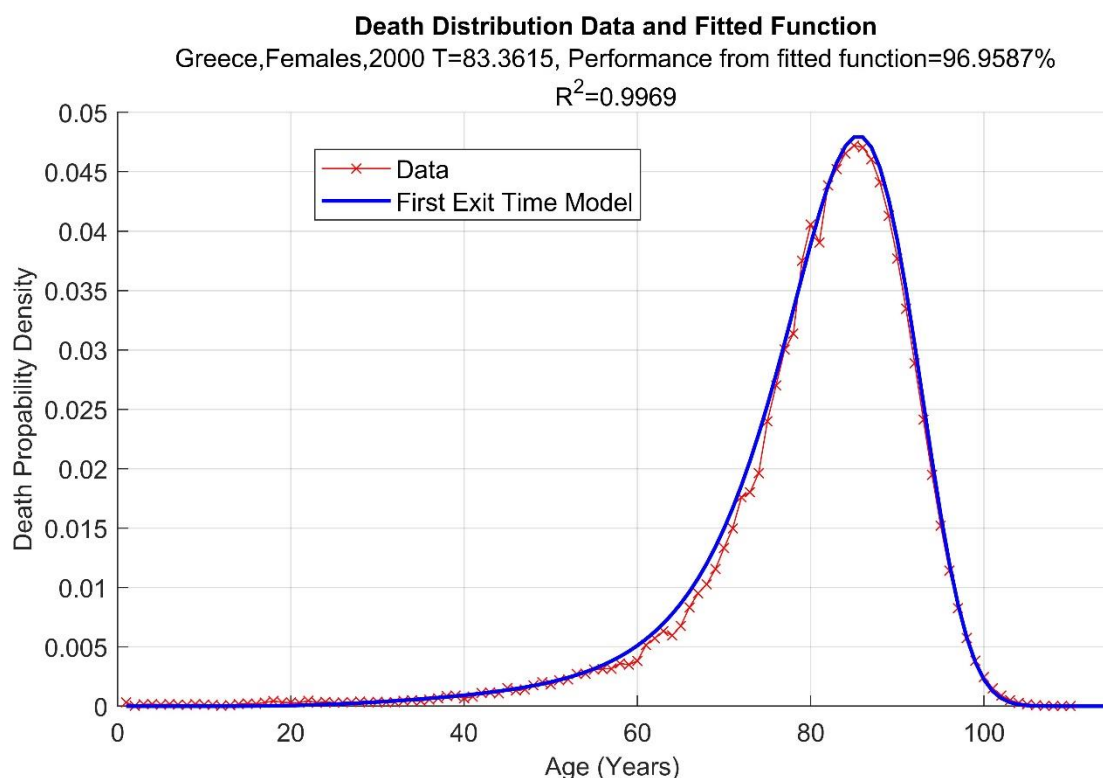


Διάγραμμα 4.1.15: Δεδομένα (κατανομή πιθανότητας θανάτου), προσαρμοσμένη καμπύλη και αποτελέσματα προσομοίωσης, Ελλάδα, Γυναίκες, 1990

Το τελευταίο διάγραμμα (4.1.15) απεικονίζει τα δεδομένα από τον πίνακα επιβίωσης (μπλε γραμμή), το μοντέλο που εκτιμήθηκε (πράσινη γραμμή) και τα αποτελέσματα της προσομοίωσης (κόκκινες μπάρες). Ο οριζόντιος άξονας αναφέρεται στην ηλικία και ο κάθετος στη πιθανότητα θανάτου, ενώ φαίνεται η καλή προσαρμογή του μοντέλου τόσο με τα πραγματικά δεδομένα, τόσο και με τα δεδομένα που προέρχονται από τη προσομοίωση.

- **Ελλάδα, Γυναίκες, 2000**

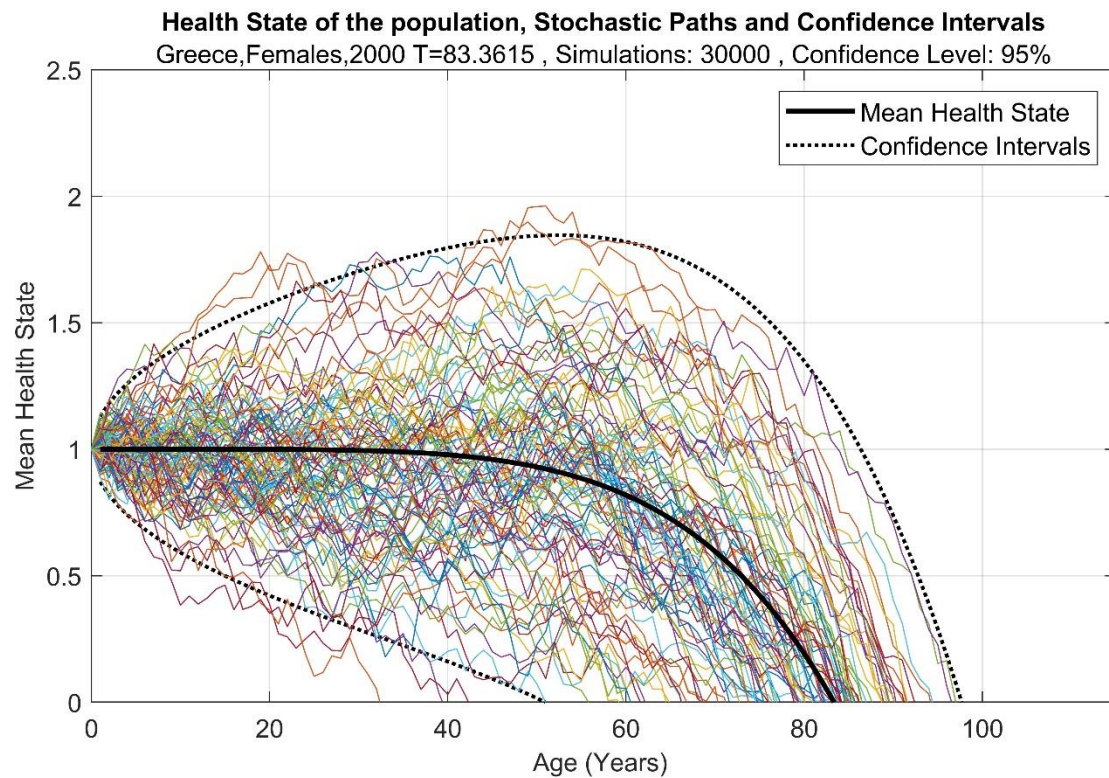
Στο διάγραμμα 4.1.16 παρουσιάζονται τα δεδομένα που προέρχονται από τον πίνακα επιβίωσης (με κόκκινο) και η εφαρμογή του μοντέλου (με μπλε). Ο οριζόντιος άξονας αναφέρεται στην ηλικία, ενώ ο κάθετος στη πιθανότητα θανάτου. Η εφαρμογή είναι πολύ καλή, με εξαίρεση τη μικρή απόκλιση στις ηλικίες 55-75, ενώ από τα 70 έτη και μετά φαίνεται μια πολύ μικρή αύξηση της διακύμανσης λόγω μεγάλης ηλικίας. Η μέση διάρκεια ζωής εκτιμάται από το μοντέλο στα 83.36 έτη.



Διάγραμμα 4.1.16: Δεδομένα (κατανομή πιθανότητας θανάτου) και προσαρμοσμένη καμπύλη από το δυναμικό μοντέλο, Ελλάδα, Γυναίκες, 2000

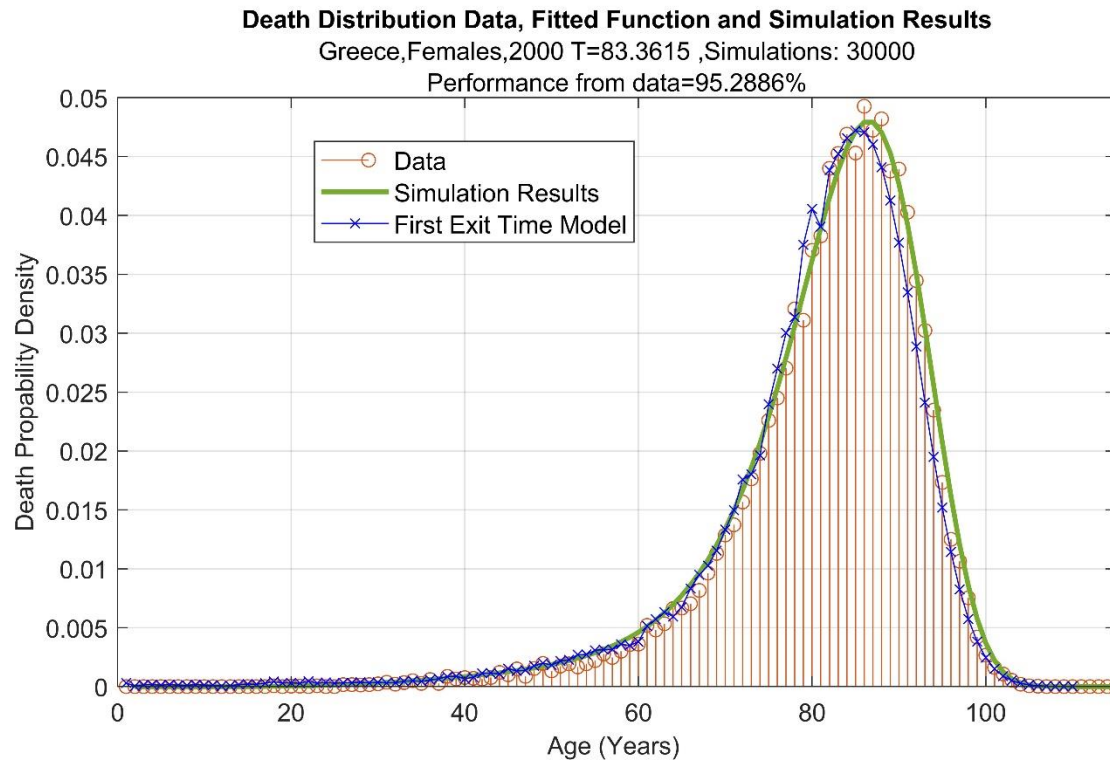
Στο διάγραμμα 4.1.17 παρουσιάζεται η συνάρτηση κατάστασης υγείας του πληθυσμού (μαύρη γραμμή), 100 από τα στοχαστικά μονοπάτια (πολύχρωμες γραμμές) και τα διαστήματα εμπιστοσύνης 95% (διακεκομμένες γραμμές). Ο οριζόντιος άξονας αναφέρεται στην ηλικία, ενώ ο κάθετος στην κατάσταση υγείας. Η συνάρτηση κατάστασης υγείας ξεκινά από το 1 και «συναντά» τον οριζόντιο άξονα στην ηλικία 83.36 έτη, δηλαδή στη μέση διάρκεια ζωής. Συγκριτικά με το αντίστοιχο διάγραμμα των Ανδρών το 2000, η συνάρτηση κατάστασης υγείας των γυναικών φαίνεται να μειώνεται

με μικρότερο ρυθμό στην αρχή και μεγαλύτερο ρυθμό (πιο απότομα) στις μεγαλύτερες ηλικίες.



Διάγραμμα 4.1.17: Στοχαστικές Προσομοιώσεις, Διαστήματα εμπιστοσύνης και Συνάρτηση Κατάστασης Υγείας, Ελλάδα, Γυναίκες, 2000

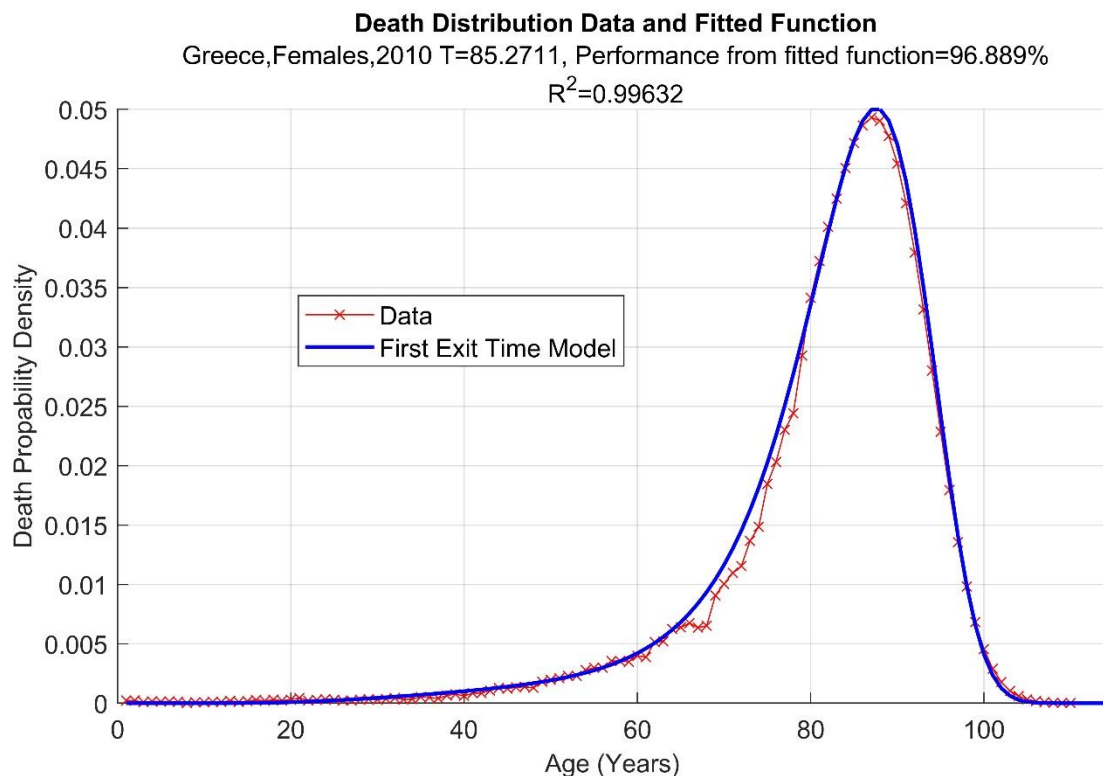
Το τελευταίο διάγραμμα (4.1.18) απεικονίζει τα δεδομένα από τον πίνακα επιβίωσης (μπλε γραμμή), το μοντέλο που εκτιμήθηκε (πράσινη γραμμή) και τα αποτελέσματα της προσομοίωσης (κόκκινες μπάρες). Ο οριζόντιος άξονας αναφέρεται στην ηλικία και ο κάθετος στη πιθανότητα θανάτου, ενώ φαίνεται η καλή προσαρμογή του μοντέλου τόσο με τα πραγματικά δεδομένα, τόσο και με τα δεδομένα που προέρχονται από τη προσομοίωση.



Διάγραμμα 4.1.18: Δεδομένα (κατανομή πιθανότητας θανάτου), προσαρμοσμένη καμπύλη και αποτελέσματα προσομοίωσης, Ελλάδα, Γυναίκες, 2000

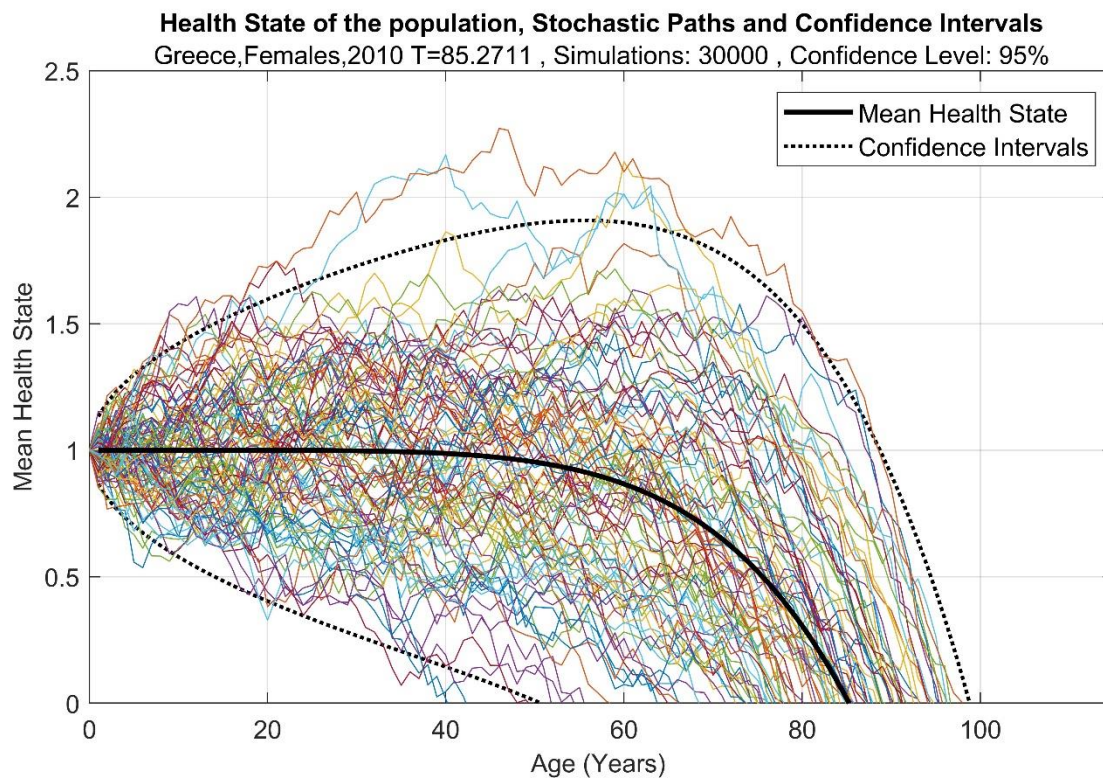
- **Ελλάδα, Γυναίκες, 2010**

Στο διάγραμμα 4.1.19 παρουσιάζονται τα δεδομένα που προέρχονται από τον πίνακα επιβίωσης (με κόκκινο) και η εφαρμογή του μοντέλου (με μπλε). Ο οριζόντιος άξονας αναφέρεται στην ηλικία, ενώ ο κάθετος στη πιθανότητα θανάτου. Η εφαρμογή είναι πολύ καλή, με εξαίρεση τη μικρή απόκλιση στις ηλικίες 65-80. Η μέση διάρκεια ζωής εκτιμάται από το μοντέλο στα 85.27 έτη.

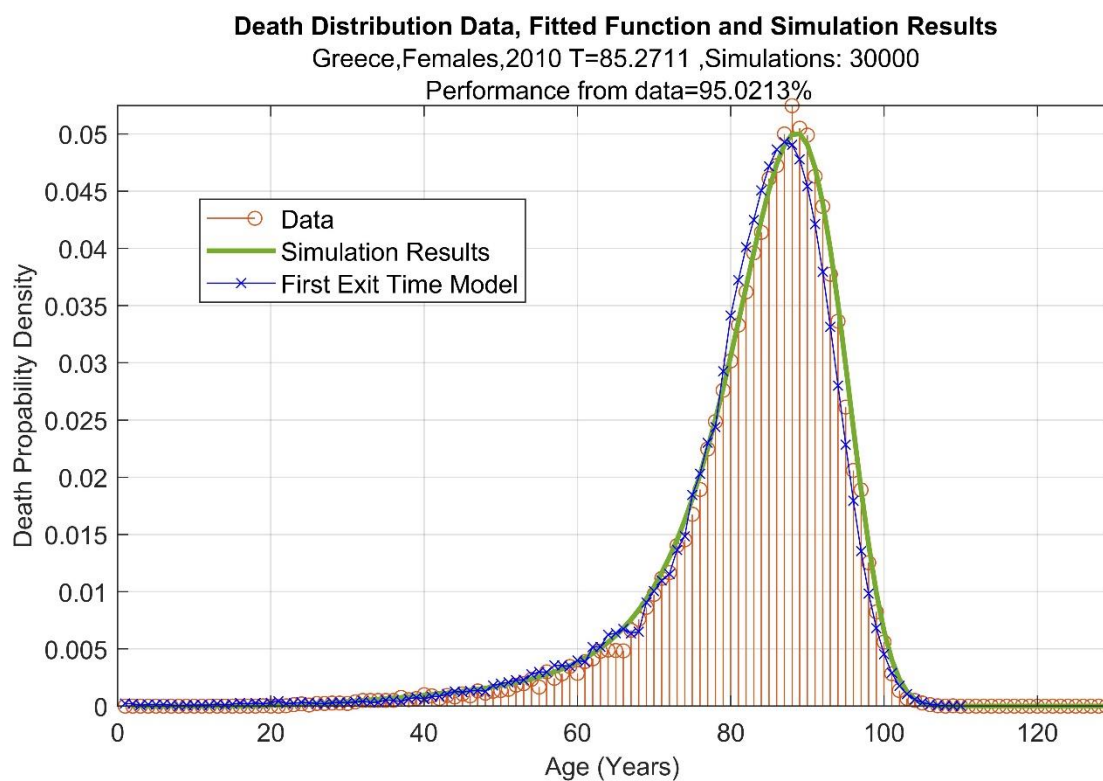


Διάγραμμα 4.1.19: Δεδομένα (κατανομή πιθανότητας θανάτου) και προσαρμοσμένη καμπύλη από το δυναμικό μοντέλο, Ελλάδα, Γυναίκες, 2010

Στο διάγραμμα 4.1.20 παρουσιάζεται η συνάρτηση κατάστασης υγείας του πληθυσμού (μαύρη γραμμή), 100 από τα στοχαστικά μονοπάτια (πολύχρωμες γραμμές) και τα διαστήματα εμπιστοσύνης 95% (διακεκομμένες γραμμές). Ο οριζόντιος άξονας αναφέρεται στην ηλικία, ενώ ο κάθετος στην κατάσταση υγείας. Η συνάρτηση κατάστασης υγείας ξεκινά από το 1 και «συναντά» τον οριζόντιο άξονα στην ηλικία 85.27 έτη, δηλαδή στη μέση διάρκεια ζωής. Συγκριτικά με το αντίστοιχο διάγραμμα των Ανδρών το 2010, η συνάρτηση κατάστασης υγείας των γυναικών φαίνεται να μειώνεται με μικρότερο ρυθμό στην αρχή και μεγαλύτερο ρυθμό (πιο απότομα) στις μεγαλύτερες ηλικίες.



Διάγραμμα 4.1.20: Στοχαστικές Προσομοιώσεις, Διαστήματα εμπιστοσύνης και Συνάρτηση Κατάστασης Υγείας, Ελλάδα, Γυναίκες, 2010

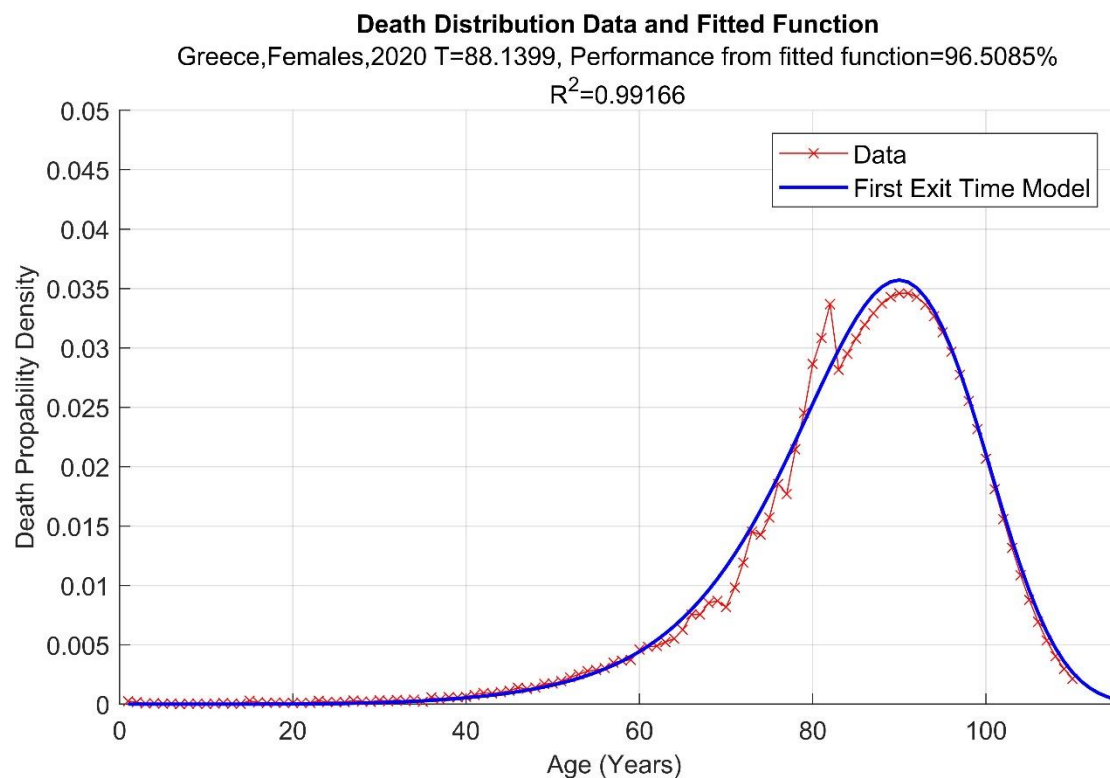


Διάγραμμα 4.1.21: Δεδομένα (κατανομή πιθανότητας θανάτου), προσαρμοσμένη καμπύλη και αποτελέσματα προσομοίωσης, Ελλάδα, Γυναίκες, 2010

Το τελευταίο διάγραμμα (4.1.21) απεικονίζει τα δεδομένα από τον πίνακα επιβίωσης (μπλε γραμμή), το μοντέλο που εκτιμήθηκε (πράσινη γραμμή) και τα αποτελέσματα της προσομοίωσης (κόκκινες μπάρες). Ο οριζόντιος άξονας αναφέρεται στην ηλικία και ο κάθετος στη πιθανότητα θανάτου, ενώ φαίνεται η καλή προσαρμογή του μοντέλου τόσο με τα πραγματικά δεδομένα, τόσο και με τα δεδομένα που προέρχονται από τη προσομοίωση.

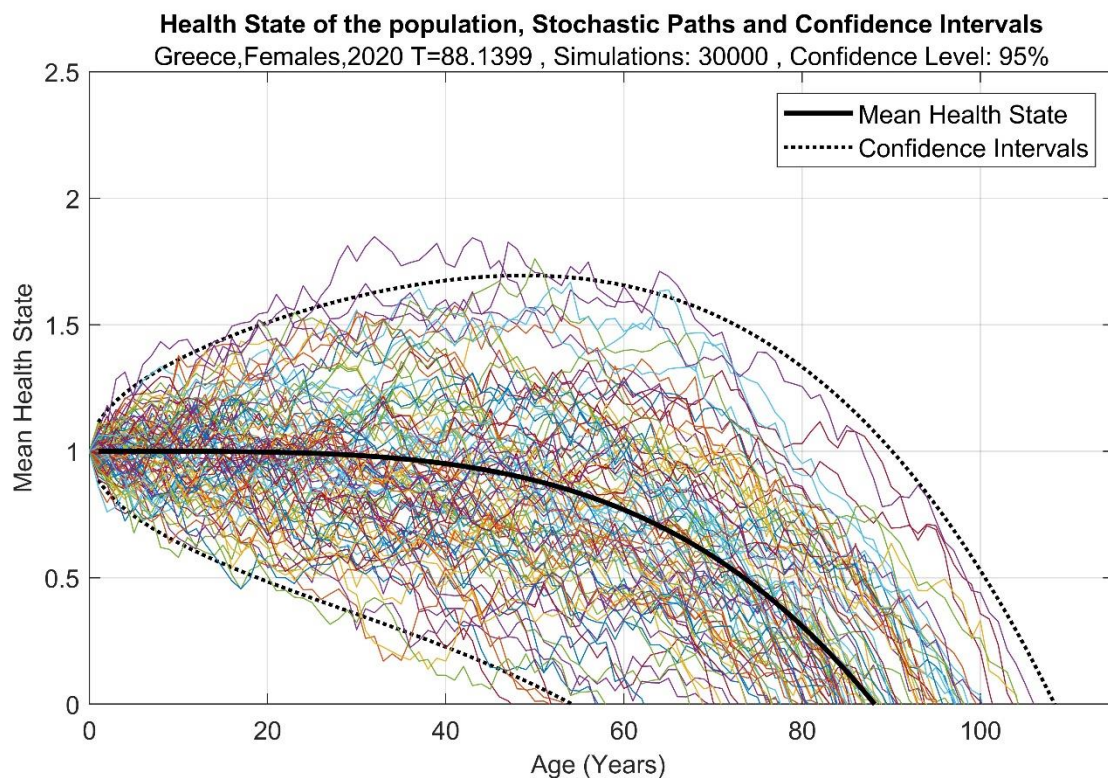
- **Ελλάδα, Γυναίκες, 2020**

Στο διάγραμμα 4.1.22 παρουσιάζονται τα δεδομένα που προέρχονται από τον πίνακα επιβίωσης (με κόκκινο) και η εφαρμογή του μοντέλου (με μπλε). Ο οριζόντιος άξονας αναφέρεται στην ηλικία, ενώ ο κάθετος στη πιθανότητα θανάτου. Η εφαρμογή είναι πολύ καλή, με εξαίρεση τη μικρή απόκλιση στις ηλικίες 60-82, ενώ φαίνεται η αύξηση των διακυμάνσεων στις μεγαλύτερες ηλικίες. Η μέση διάρκεια ζωής εκτιμάται από το μοντέλο στα 88.13 έτη.



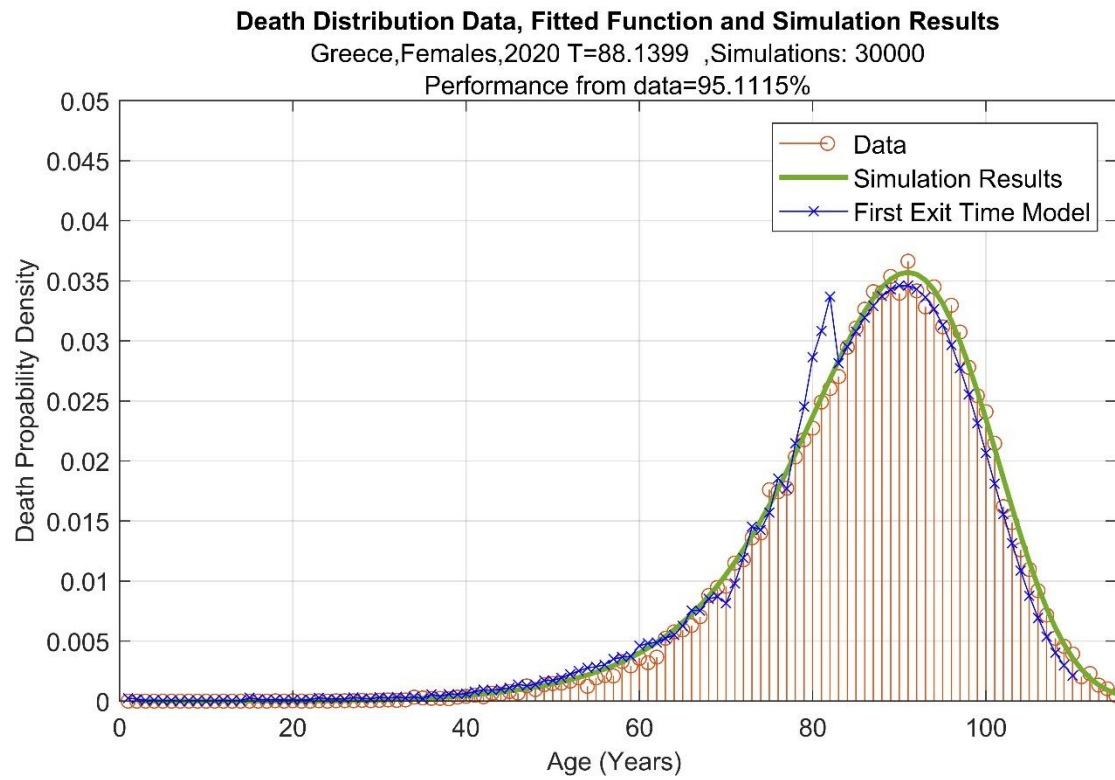
Διάγραμμα 4.1.22: Δεδομένα (κατανομή πιθανότητας θανάτου) και προσαρμοσμένη καμπύλη από το δυναμικό μοντέλο, Ελλάδα, Γυναίκες, 2020

Στο διάγραμμα 4.1.23 παρουσιάζεται η συνάρτηση κατάστασης υγείας του πληθυσμού (μαύρη γραμμή), 100 από τα στοχαστικά μονοπάτια (πολύχρωμες γραμμές) και τα διαστήματα εμπιστοσύνης 95% (διακεκομμένες γραμμές). Ο οριζόντιος άξονας αναφέρεται στην ηλικία, ενώ ο κάθετος στην κατάσταση υγείας. Η συνάρτηση κατάστασης υγείας ξεκινά από το 1 και «συναντά» τον οριζόντιο άξονα στην ηλικία 88.13 έτη, δηλαδή στη μέση διάρκεια ζωής. Συγκριτικά με το αντίστοιχο διάγραμμα των Ανδρών το 2020, η συνάρτηση κατάστασης υγείας των γυναικών φαίνεται να μειώνεται με μικρότερο ρυθμό στην αρχή και μεγαλύτερο ρυθμό (πιο απότομα) στις μεγαλύτερες ηλικίες.



Διάγραμμα 4.1.23: Στοχαστικές Προσομοιώσεις, Διαστήματα εμπιστοσύνης και Συνάρτηση Κατάστασης Υγείας, Ελλάδα, Γυναίκες, 2020

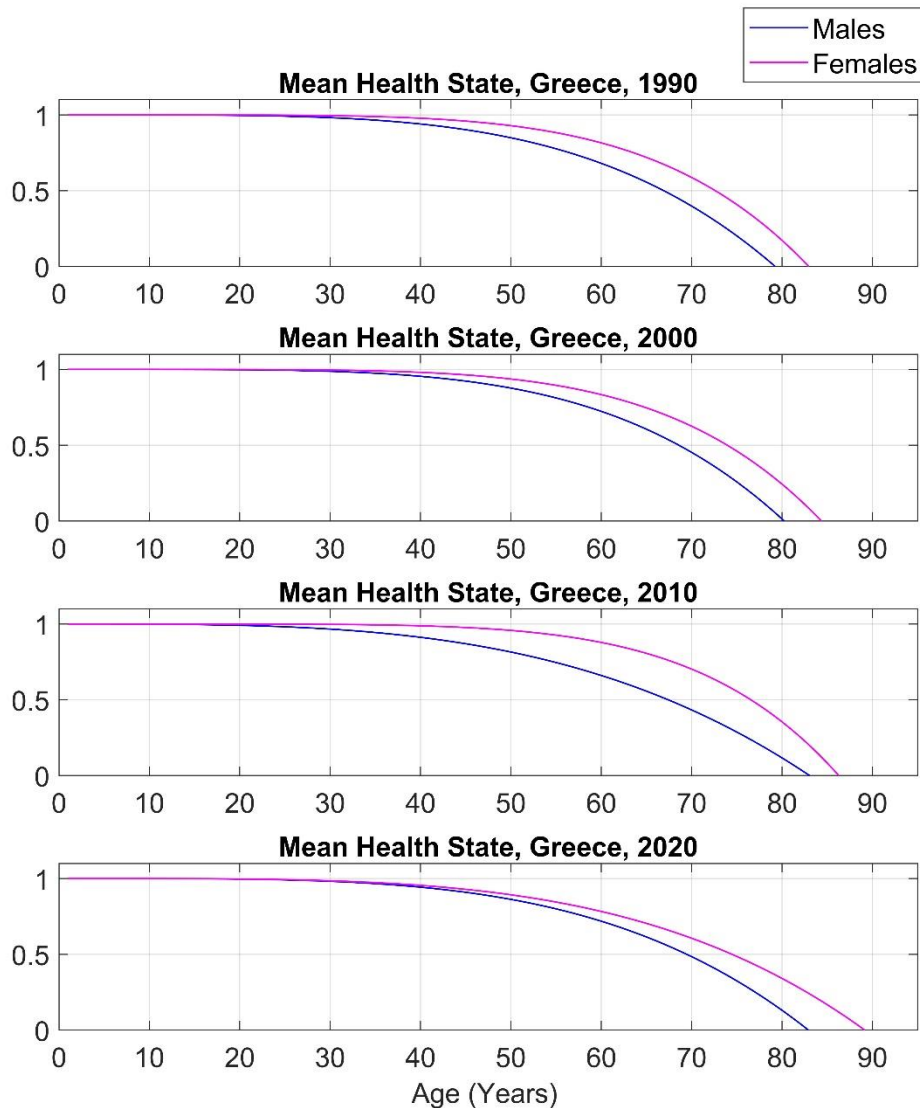
Το τελευταίο διάγραμμα (4.1.24) απεικονίζει τα δεδομένα από τον πίνακα επιβίωσης (μπλε γραμμή), το μοντέλο που εκτιμήθηκε (πράσινη γραμμή) και τα αποτελέσματα της προσομοίωσης (κόκκινες μπάρες). Ο οριζόντιος άξονας αναφέρεται στην ηλικία και ο κάθετος στη πιθανότητα θανάτου, ενώ φαίνεται η καλή προσαρμογή του μοντέλου τόσο με τα πραγματικά δεδομένα, τόσο και με τα δεδομένα που προέρχονται από τη προσομοίωση.



Διάγραμμα 4.1.24: Δεδομένα (κατανομή πιθανότητας θανάτου), προσαρμοσμένη καμπύλη και αποτελέσματα προσομοίωσης, Ελλάδα, Γυναίκες, 2020

Σύγκριση κατάστασης υγείας μεταξύ ανδρών και γυναικών

Στα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζονται οι συναρτήσεις κατάστασης υγείας του Ελληνικού πληθυσμού, για άνδρες και γυναίκες κατά τα έτη μελέτης 1990,2000,2010 και 2020. Ο οριζόντιος άξονας αναφέρεται στην ηλικία σε έτη, ενώ ο κάθετος στη κατάσταση υγείας. Και στις τέσσερις περιπτώσεις η κατάσταση υγείας των γυναικών είναι καλύτερη από των ανδρών, ενώ το έτος 2010 η καμπύλη των γυναικών είναι πιο «απότομη» σε σχέση με των ανδρών.



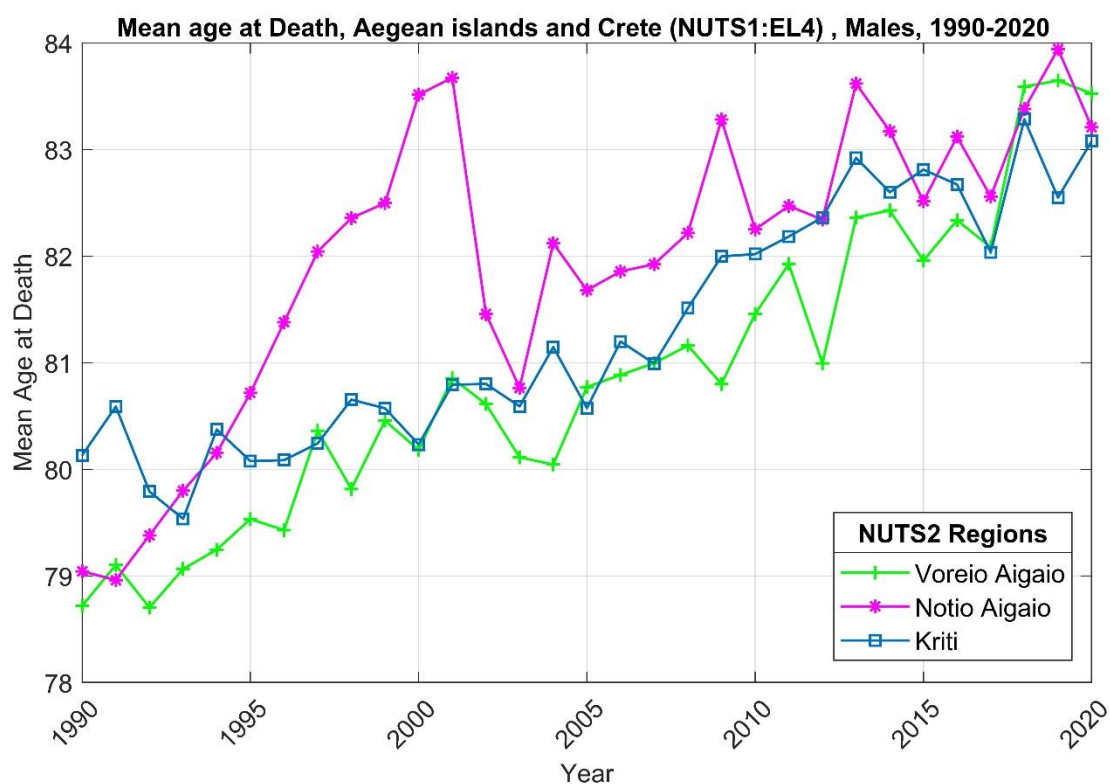
Διάγραμμα 4.1.25: Συνάρτηση Κατάστασης Υγείας , Ελλάδα, Άνδρες και Γυναίκες, 1990-2000-2010-2020
Αποτελέσματα εφαρμογής δυναμικού μοντέλου στα δεδομένα των περιφερειών

4.1.2 Εφαρμογή του δυναμικού μοντέλου στα δεδομένα των περιφερειών της Ελλάδας

Παρακάτω, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εφαρμογής του δυναμικού μοντέλου για τα δεδομένα των περιφερειών. Αρχικά, παρατίθενται τα διαγράμματα με την ετήσια τιμή της μέσης διάρκειας ζωής για άνδρες και γυναίκες και στη συνέχεια, τα διαγράμματα με την ετήσια τιμή της Συνολικής Κατάστασης Υγείας (Total Health State).

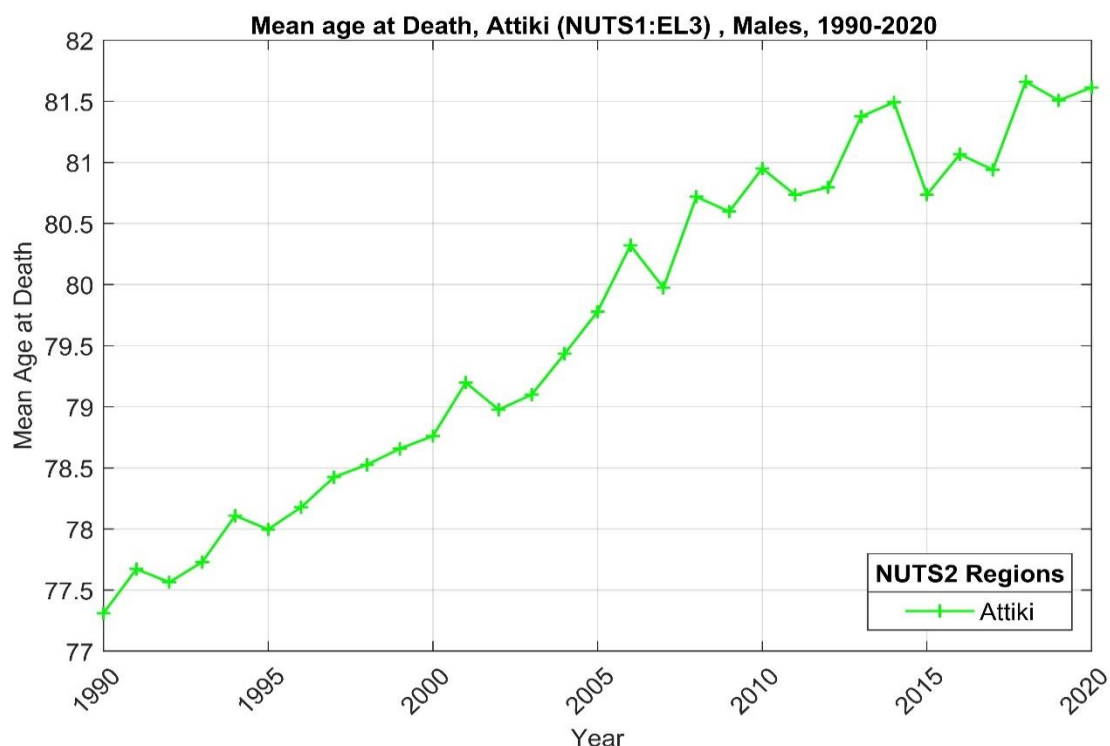
Μέση Διάρκεια Ζωής, Άνδρες, 1990-2020

Στο διάγραμμα 4.1.26 φαίνεται η διαχρονική εξέλιξη της μέσης διάρκειας ζωής των ανδρών στα Νησιά του Αιγαίου και τη Κρήτη. Το Βόρειο Αιγαίο και η Κρήτη ακολουθούν παρόμοια πορεία, ενώ το Νότιο Αιγαίο παρουσιάζει μια σημαντική αύξηση από το 1995 έως το 2003, με κορύφωση το 2001. Ενδιαφέρον παρουσιάζει η συντονισμένη πτώση της μέσης διάρκειας ζωής και στις τρεις περιοχές τα έτη 2003 και 2017



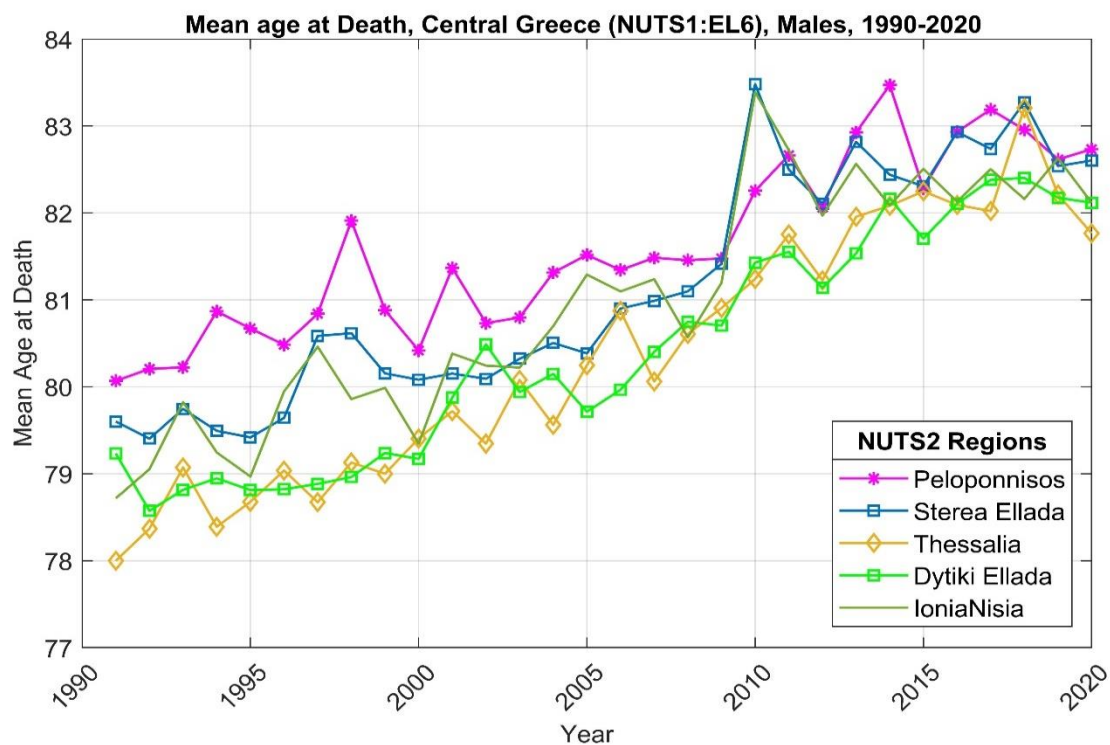
Διάγραμμα 4.1.26: Ετήσια τιμή μέσης διάρκειας ζωής (1990-2020), Νησιά Αιγαίου και Κρήτη, Άνδρες

Το επόμενο διάγραμμα (4.1.27) παρουσιάζει τα αποτελέσματα για την Αττική, η οποία ακολουθεί διαχρονικά ανοδική πορεία, με μικρές αποκλίσεις από αυτή



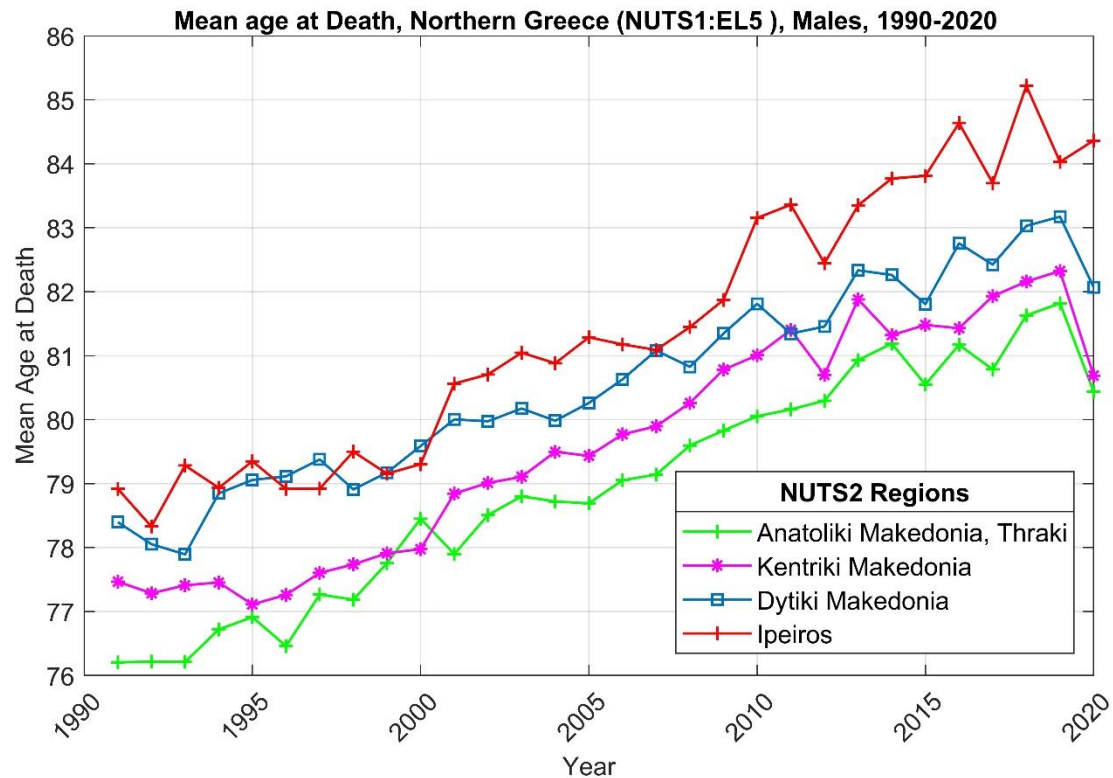
Διάγραμμα 4.1.27: Ετήσια τιμή μέσης διάρκειας ζωής (1990-2020), Αττική, Άνδρες

Το διάγραμμα 4.1.28 περιλαμβάνει τις περιφέρειες της Κεντρικής Ελλάδας. Η Πελοπόννησος και η Στερεά Ελλάδα φαίνεται να ξεκινούν από υψηλότερες τιμές το 1990, ενώ όλες οι περιφέρειες καταλήγουν περίπου στην ίδια τιμή το 2020. Εμφανίζεται μια συντονισμένη πτώση του δείκτη σε όλες τις περιφέρειες το έτος 2012, ενώ εμφανίζεται μείωση του δείκτη στη Στερεά Ελλάδα και τα Ιόνια Νησιά από το 2019 προς το 2020.



Διάγραμμα 4.1.28: Ετήσια τιμή μέσης διάρκειας ζωής (1990-2020), Κεντρική Ελλάδα, Άνδρες

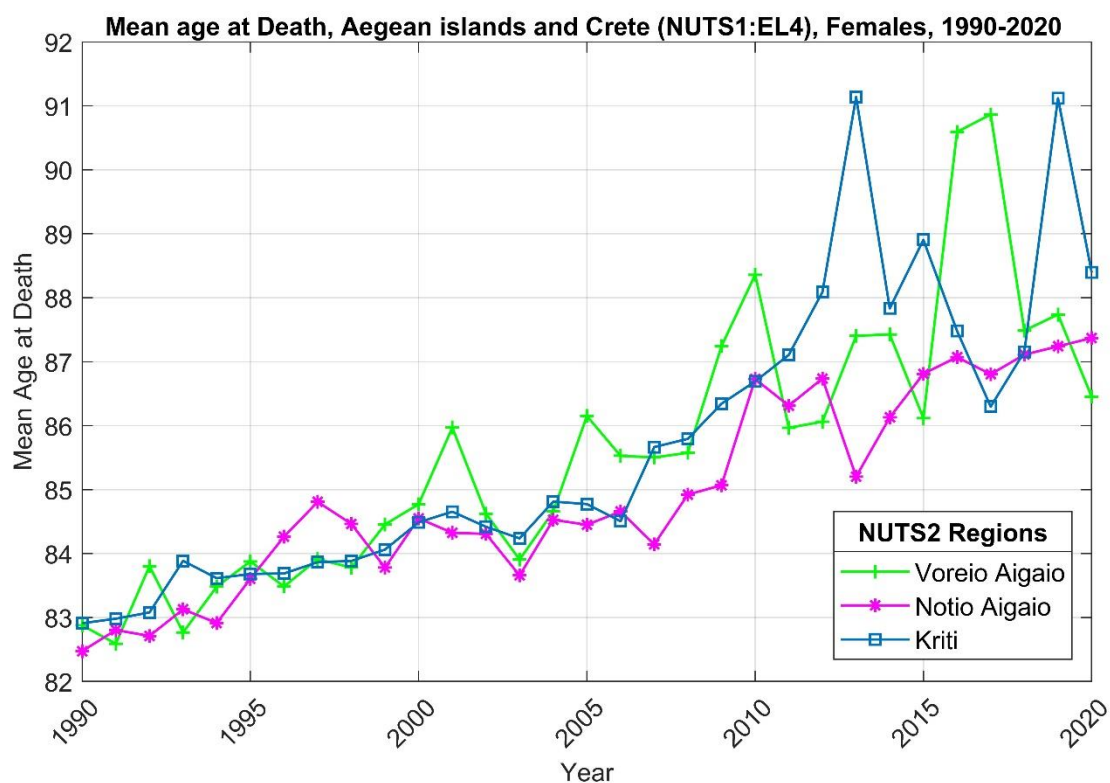
Το τελευταίο διάγραμμα για τους άνδρες (4.1.29) αφορά τις περιφέρειες της Βόρειας Ελλάδας. Η Ήπειρος και η Δυτική Μακεδονία ξεκινούν από υψηλότερες τιμές του δείκτη το 1990 και παραμένουν σε όλη τη διάρκεια σε υψηλότερα επίπεδα, ενώ η Κεντρική Μακεδονία και Ανατολική Μακεδονία-Θράκη έχουν διαχρονικά χαμηλότερες τιμές. Ενδιαφέρον παρουσιάζει η πτώση στη μέση διάρκεια ζωής όλων των περιφερειών της Βόρειας Ελλάδας εκτός της Ηπείρου μεταξύ των ετών 2019 και 2020.



Διάγραμμα 4.1.29: Ετήσια τιμή μέσης διάρκειας ζωής (1990-2020), Βόρεια Ελλάδα, Άνδρες

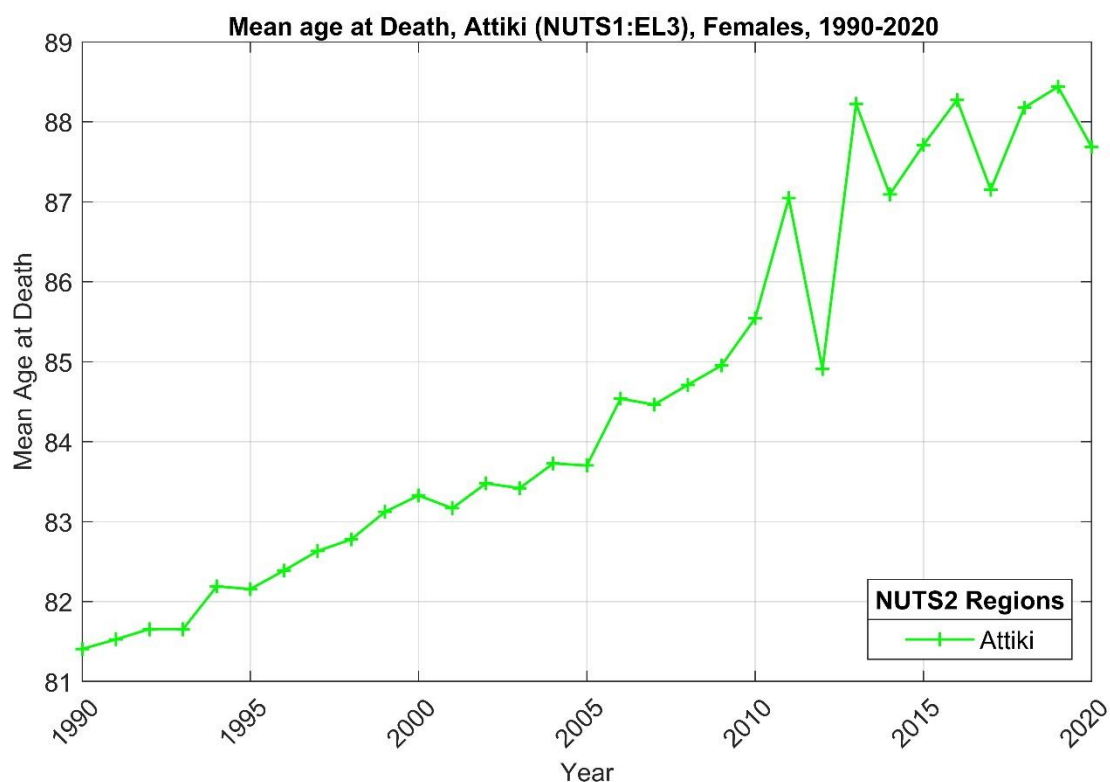
Μέση Διάρκεια Ζωής, Γυναίκες, 1990-2020

Στο διάγραμμα 4.1.30 φαίνεται η διαχρονική εξέλιξη της μέσης διάρκειας ζωής των γυναικών στα Νησιά του Αιγαίου και τη Κρήτη. Ο δείκτης έχει παρόμοια συμπεριφορά μεταξύ των περιοχών από το 1990 έως το 2007, ενώ από το 2008 και μετά διαφοροποιούνται αρκετά. Το 2003 εμφανίζεται μια συντονισμένη μείωση του δείκτη, ενώ το Βόρειο Αιγαίο και η Κρήτη παρουσιάζουν μείωση μεταξύ των ετών 2019 και 2020.



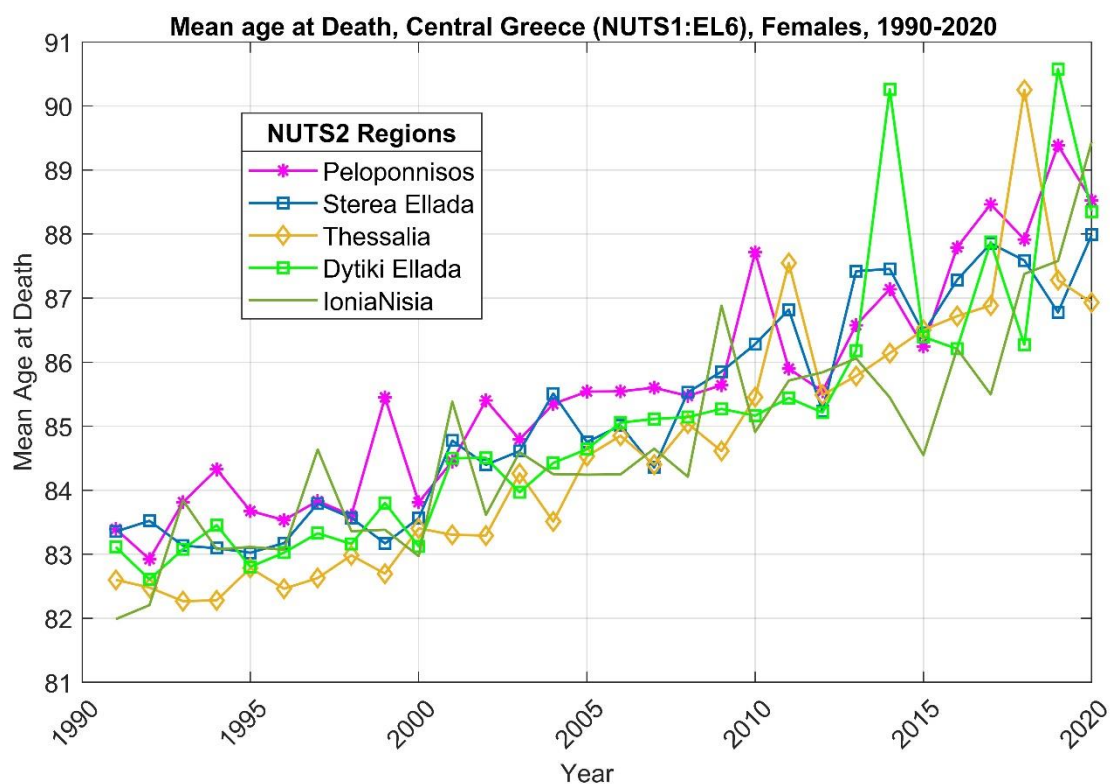
Διάγραμμα 4.1.30: Ετήσια τιμή μέσης διάρκειας ζωής (1990-2020), Νησιά Αιγαίου και Κρήτη, Γυναίκες

Το επόμενο διάγραμμα (4.1.31) παρουσιάζει τα αποτελέσματα για την Αττική, η οποία ακολουθεί διαχρονικά ανοδική πορεία, με σημαντική αύξηση (81 έτη το 1990 σε 88 έτη το 2020), ενώ υπάρχει μια σημαντική πτώση το 2013.



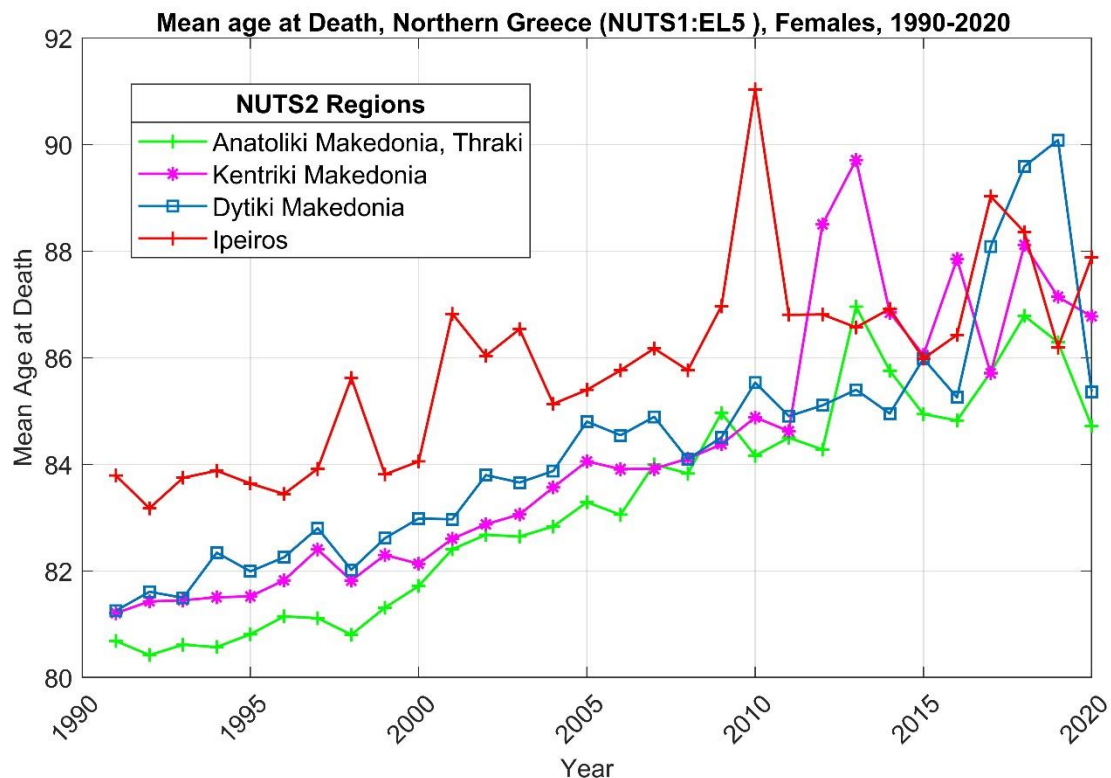
Διάγραμμα 4.1.31: Ετήσια τιμή μέσης διάρκειας ζωής (1990-2020), Αττική, Γυναίκες

Το διάγραμμα 4.1.32 περιλαμβάνει τις περιφέρειες της Κεντρικής Ελλάδας. Όλες οι περιφέρειες ακολουθούν παρόμοια ανοδική πορεία, με μικρή εξαίρεση τα Ιόνια Νησιά από το 2013 και μετά. Συντονισμένες πτώσεις του δείκτη παρουσιάζονται τα έτη 2000 και 2012, ενώ η Δυτική Ελλάδα, η Πελοπόννησος και η Θεσσαλία παρουσιάζουν μείωση του δείκτη τα έτη 2019 και 2020.



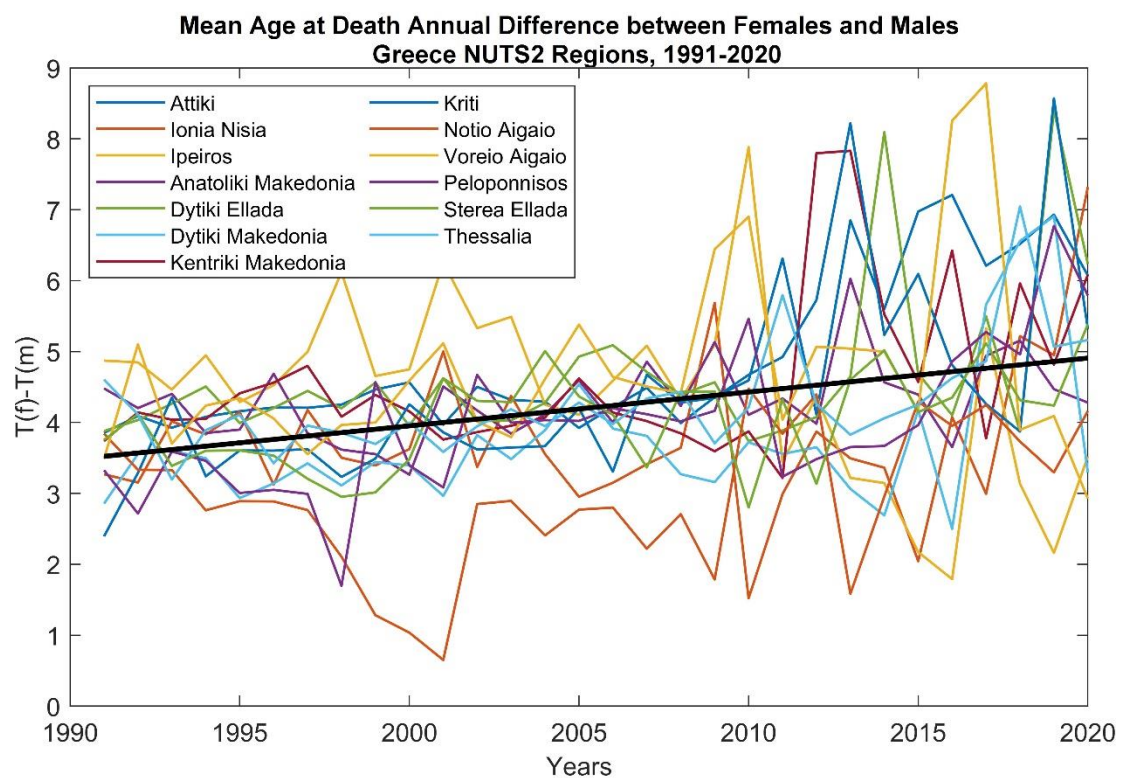
Διάγραμμα 4.1.32: Ετήσια τιμή μέσης διάρκειας ζωής (1990-2020), Κεντρική Ελλάδα, Γυναίκες

Το επόμενο διάγραμμα για τις γυναίκες (4.1.33) αφορά τις περιφέρειες της Βόρειας Ελλάδας. Η Ήπειρος και η Δυτική Μακεδονία ξεκινούν από υψηλότερες τιμές του δείκτη το 1990 και παραμένουν σε όλη τη διάρκεια σε υψηλότερα επίπεδα, ενώ η Κεντρική Μακεδονία και Ανατολική Μακεδονία-Θράκη έχουν διαχρονικά χαμηλότερες τιμές και παρόμοια πορεία. Αρκετά διαφορετική από τις υπόλοιπες περιφέρειες φαίνεται να είναι Ήπειρος και σε μικρότερο βαθμό η Δυτική Μακεδονία. Ενδιαφέρον παρουσιάζει η πτώση στη μέση διάρκεια ζωής όλων των περιφερειών της Βόρειας Ελλάδας εκτός της Ηπείρου μεταξύ των ετών 2019 και 2020.



Διάγραμμα 4.1.33: Ετήσια τιμή μέσης διάρκειας ζωής (1990-2020), Βόρεια Ελλάδα, Γυναίκες

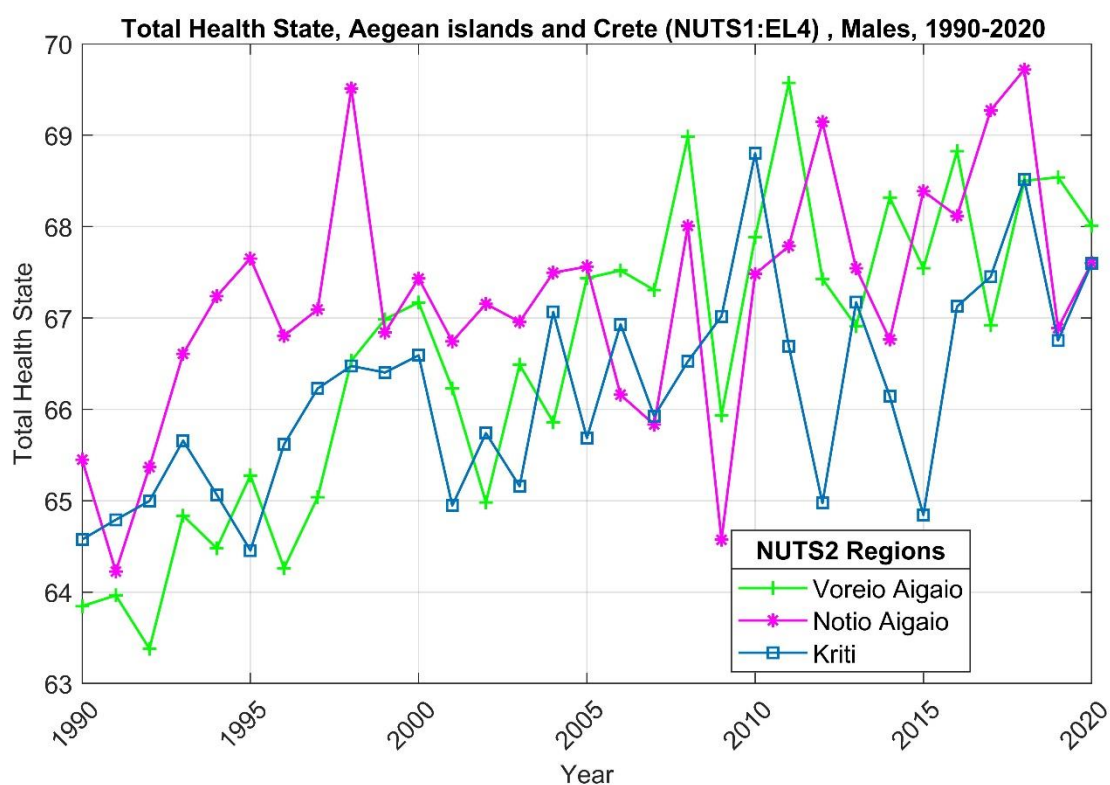
Το τελευταίο διάγραμμα της ενότητας παρουσιάζει το λεγόμενο Age Gap, δηλαδή τη διαφορά μεταξύ γυναικών και ανδρών. Η μαύρη γραμμή αποτελεί μια γραμμή τάσης για τον μέσο όρο του Age Gap μεταξύ των περιφερειών, η οποία παρουσιάζει αύξηση (υπέρ των γυναικών) της διαφοράς, από 3.5 χρόνια το 1990 σε 5 χρόνια το 2020.



Διάγραμμα 4.1.34: Ετήσια διαφορά μέσης διάρκειας ζωής γυναικών-ανδρών (1990-2020), Ελλάδα

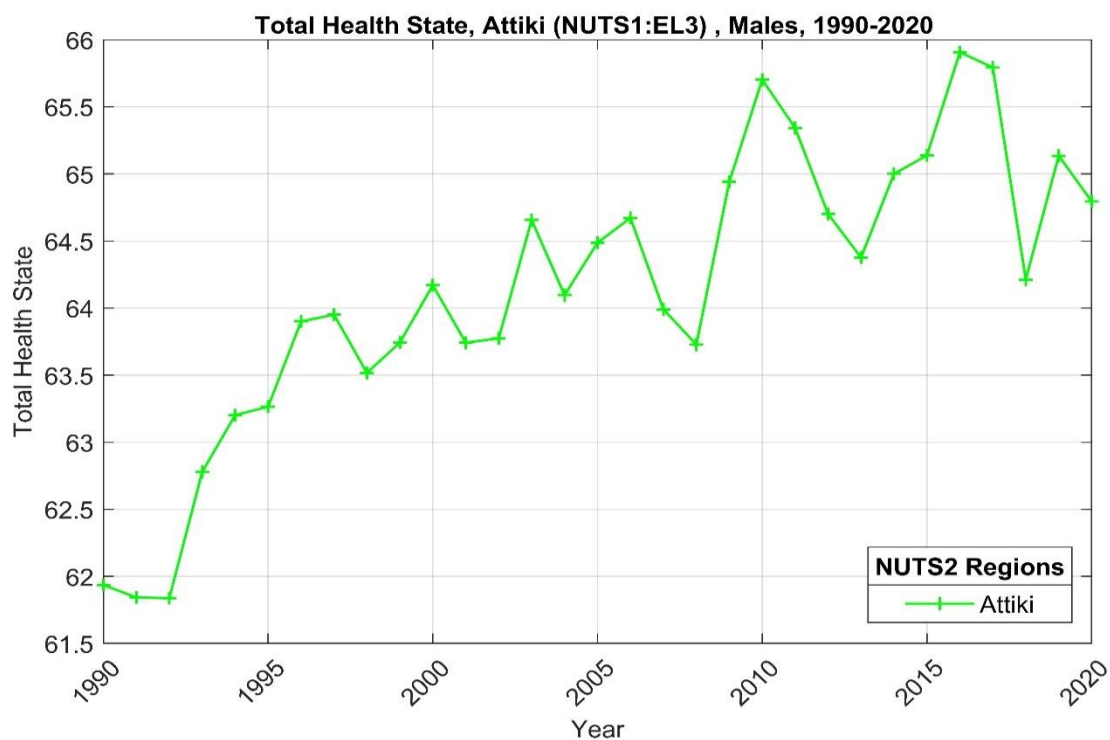
Συνολική Κατάσταση Υγείας, Άνδρες, 1990-2020

Στο διάγραμμα 4.1.35 φαίνεται η διαχρονική εξέλιξη της συνολικής κατάστασης υγείας των ανδρών στα Νησιά του Αιγαίου και τη Κρήτη. Μέχρι το 2005 το Νότιο Αιγαίο διαφοροποιείται αρκετά από το Βόρειο Αιγαίο και τη Κρήτη, ενώ τα επόμενα έτη ακολουθεί πορεία αντίστοιχη με τη Κρήτη. Αντίθετα, το Βόρειο Αιγαίο ταυτίζεται αρκετά με τη Κρήτη μέχρι το 2005, ενώ τα επόμενα έτη διαφοροποιείται. Και οι τρεις περιφέρειες εμφανίζουν αύξηση στον δείκτη, όμως με μεγάλες διακυμάνσεις.



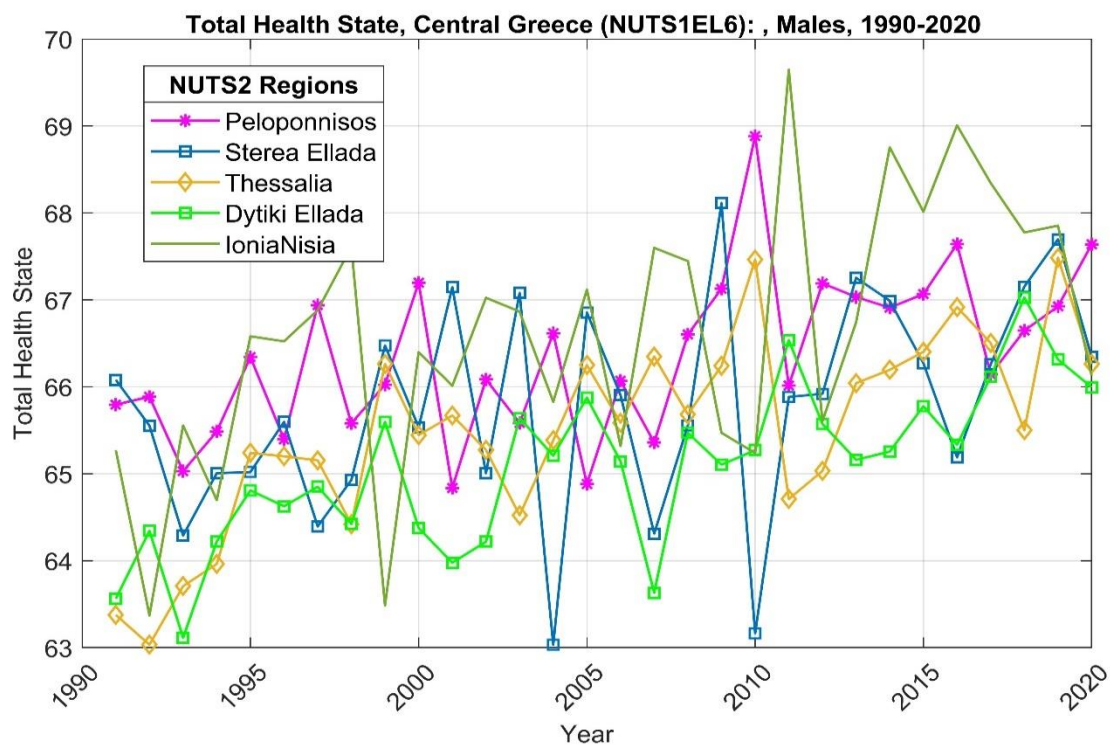
Διάγραμμα 4.1.35: Ετήσια τιμή συνολικής κατάστασης υγείας (1990-2020), Άνδρες, Νησιά Αιγαίου και Κρήτη

Το επόμενο διάγραμμα (4.1.36) παρουσιάζει τα αποτελέσματα για την Αττική, η οποία ακολουθεί διαχρονικά ανοδική πορεία, με έντονες όμως διακυμάνσεις. Σημαντικές μειώσεις συμβαίνουν το 2008 και 2013, ενώ φαίνεται η αρχή μιας πτώσης και μετά το 2019.



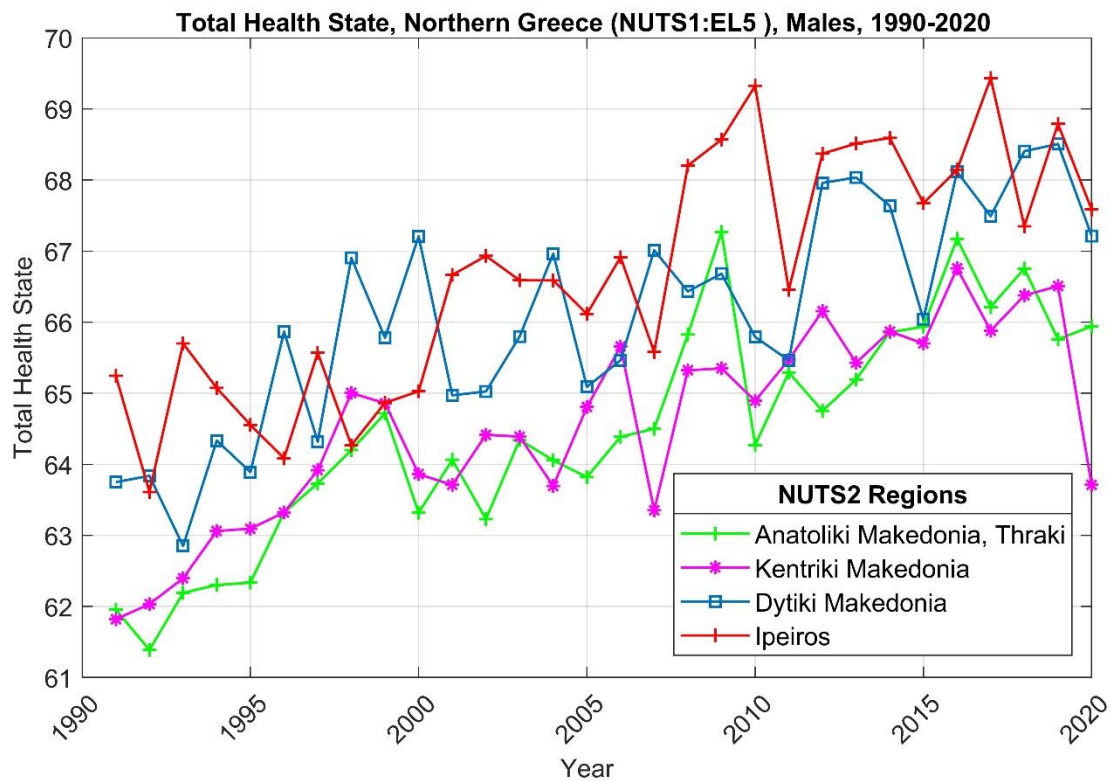
Διάγραμμα 4.1.36: Ετήσια τιμή συνολικής κατάστασης υγείας (1990-2020), Άνδρες, Αττική

Το διάγραμμα 4.1.37 περιλαμβάνει τις περιφέρειες της Κεντρικής Ελλάδας. Η συνολική κατάσταση υγείας φαίνεται να έχει έντονες διακυμάνσεις σε όλες τις περιοχές, ενώ η διαχρονική πορεία της είναι ήπια ανοδική ή και στάσιμη. Η Πελοπόννησος, Στερεά Ελλάδα και Δυτική Ελλάδα παρουσιάζουν μια συντονισμένη μείωση του δείκτη το έτος 2007, ενώ τα Ιόνια Νησιά διαφοροποιούνται πολύ από τη πορεία της υπόλοιπης Κεντρικής Ελλάδας μετά το 2005



Διάγραμμα 4.1.37: Ετήσια τιμή συνολικής κατάστασης υγείας (1990-2020), Άνδρες, Κεντρική Ελλάδα

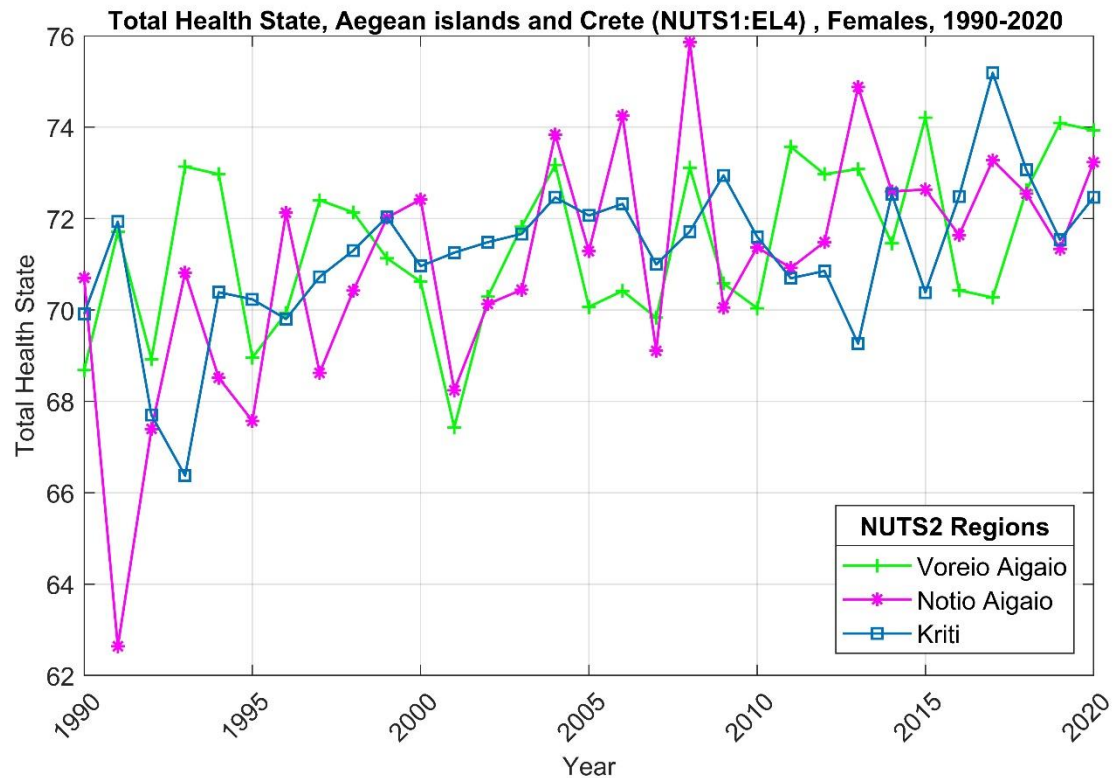
Το επόμενο διάγραμμα για τους άνδρες (4.1.38) αφορά τις περιφέρειες της Βόρειας Ελλάδας. Η Κεντρική Μακεδονία και Ανατολική Μακεδονία-Θράκη έχουν διαχρονικά χαμηλότερες τιμές και παρόμοια πορεία ενώ η Ήπειρος και η Δυτική Μακεδονία ξεκινούν από υψηλότερες τιμές του δείκτη το 1990 και παραμένουν σε όλη τη διάρκεια σε υψηλότερα επίπεδα. Η Ήπειρος παρουσιάζει αρκετά διαφορετική πορεία με τις υπόλοιπες περιφέρειες, ενώ όλες τους παρουσιάζουν μείωση μεταξύ του 2019 και μετά με εξαίρεση την Ανατολική Μακεδονία και Θράκη.



Διάγραμμα 4.1.38: Ετήσια τιμή συνολικής κατάστασης υγείας (1990-2020), Άνδρες, Βόρεια Ελλάδα

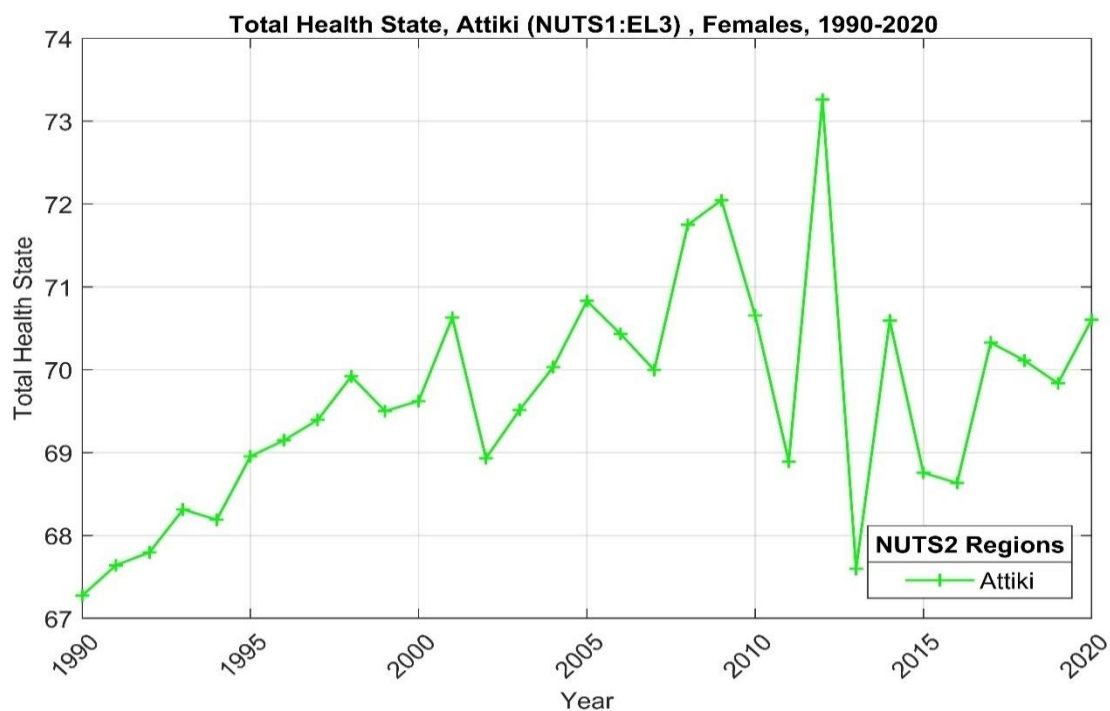
Συνολική Κατάσταση Υγείας, Γυναίκες, 1990-2020

Στο διάγραμμα 4.1.39 φαίνεται η διαχρονική εξέλιξη της συνολικής κατάστασης υγείας των γυναικών στα Νησιά του Αιγαίου και τη Κρήτη. Και οι τρεις περιφέρειες παρουσιάζουν παρόμοια πορεία, ενώ το Νότιο Αιγαίο διαφέρει από τις άλλες δύο σε ορισμένα σημεία, για παράδειγμα στην έντονη μείωση το 1991.



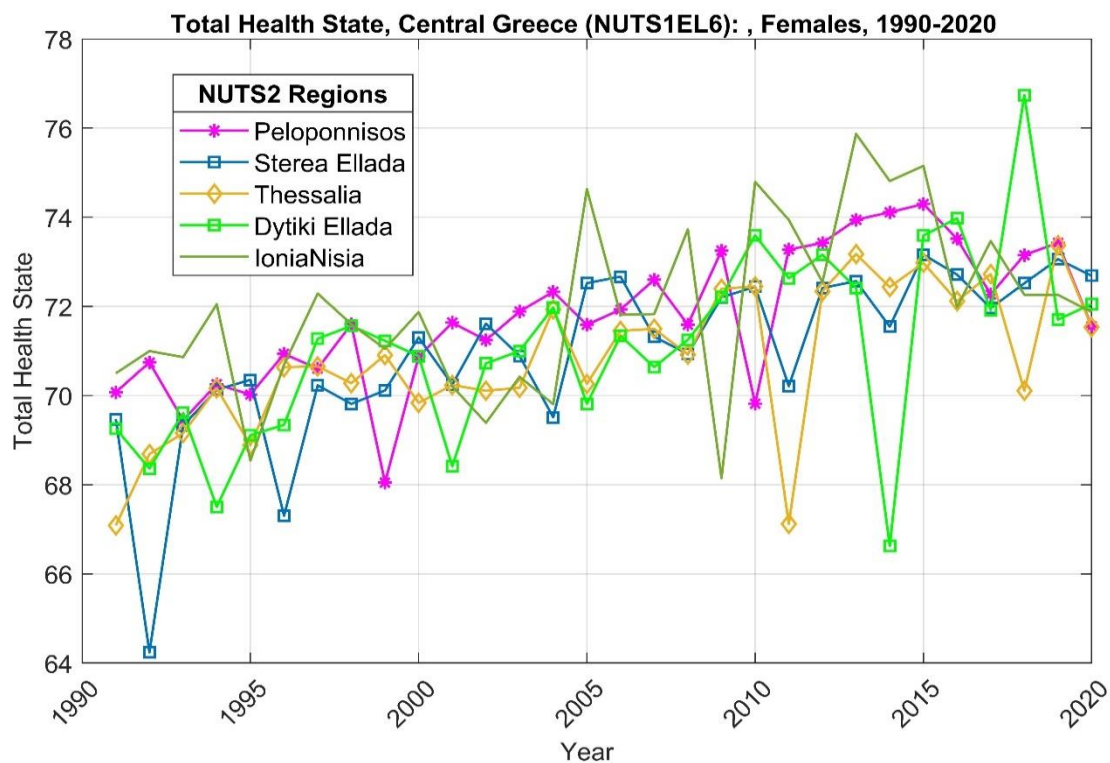
Διάγραμμα 4.1.39: Ετήσια τιμή συνολικής κατάστασης υγείας (1990-2020), Γυναίκες, Νησιά Αιγαίου και Κρήτη

Το επόμενο διάγραμμα (4.1.40) παρουσιάζει τα αποτελέσματα για την Αττική, της οποίας η πορεία είναι αρχικά ανοδική, αλλά μετά το 2009 είναι πτωτική. Εμφανίζονται κάποιες έντονες διακυμάνσεις, ιδιαίτερα τα έτη 2011, 2012 και 2013.



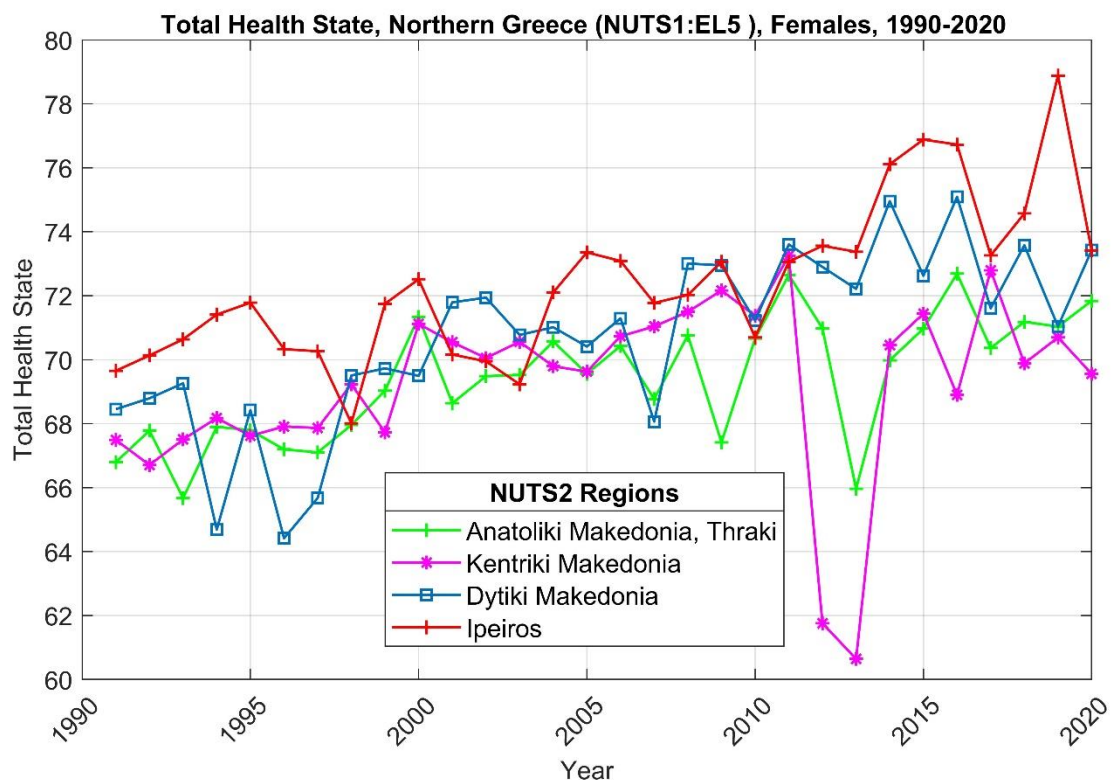
Διάγραμμα 4.1.40: Ετήσια τιμή συνολικής κατάστασης υγείας (1990-2020), Γυναίκες, Αττική

Το διάγραμμα 4.1.41 περιλαμβάνει τις περιφέρειες της Κεντρικής Ελλάδας. Η συνολική κατάσταση υγείας φαίνεται να ακολουθεί όμοια πορεία σε όλες τις περιφέρειες, σε αντίθεση με τους άνδρες, ενώ περιορισμένες διαφορές εμφανίζει η Στερεά Ελλάδα και τα Ιόνια Νησιά.



Διάγραμμα 4.1.41: Ετήσια τιμή συνολικής κατάστασης υγείας (1990-2020), Γυναίκες, Κεντρική Ελλάδα

Το επόμενο διάγραμμα για τους άνδρες (4.1.42) αφορά τις περιφέρειες της Βόρειας Ελλάδας. Η Κεντρική Μακεδονία και Ανατολική Μακεδονία-Θράκη έχουν διαχρονικά παρόμοια πορεία, ενώ η Ήπειρος και η Δυτική Μακεδονία παραμένουν σε όλη τη διάρκεια σε υψηλότερα επίπεδα και όμοια πορεία. Η Ήπειρος παρουσιάζει αρχικά αρκετά διαφορετική πορεία με τις υπόλοιπες περιφέρειες, ενώ σχεδόν ταυτίζεται με τη Δυτική Μακεδονία τα τελευταία έτη. Τέλος, τις χρονιές 2012 και 2013, η Κεντρική Μακεδονία και η Ανατολική Μακεδονία, Θράκη παρουσιάζουν σημαντική μείωση σε σχέση με τις υπόλοιπες περιοχές.



Διάγραμμα 4.1.42: Ετήσια τιμή συνολικής κατάστασης υγείας (1990-2020), Γυναίκες, Βόρεια Ελλάδα

4.1.3 Εφαρμογή Ιεραρχικής συσταδοποίησης στους πίνακες αποτελεσμάτων

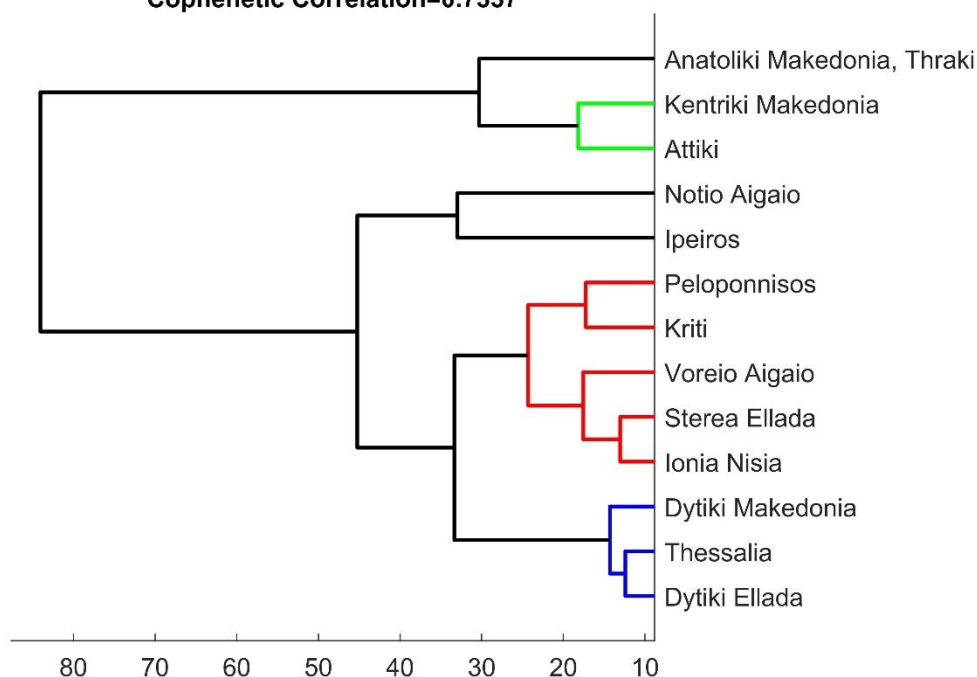
Στη συνέχεια, αφού η μέθοδος εφαρμόστηκε σε όλους του πίνακες επιβίωσης, τα αποτελέσματα, δηλαδή η μέτρηση της μέσης διάρκειας ζωής, συγκεντρώθηκαν σε δύο πίνακες, έναν για κάθε φύλο. Οι στήλες κάθε πίνακα αναφέρονται στο έτος του μελετήθηκε, ενώ οι γραμμές αναφέρονται στις περιφερειακές ενότητες.

Στους δύο πίνακες αποτελεσμάτων εφαρμόστηκε Συσσωρευτική Ιεραρχική Ανάλυση Συστάδων (Agglomerative Hierarchical Cluster Analysis) στις δύο διαστάσεις, δηλαδή για την ομαδοποίηση περιφερειών και την ομαδοποίηση χρονικών περιόδων.

Ομαδοποίηση Περιφερειών

Κάθε γραμμή του πίνακα αναφέρεται στις 13 περιφέρειες και περιέχει την τιμή της μέσης διάρκειας ζωής για κάθε έτος από το 1990 έως το 2020 για την αντίστοιχη περιφέρεια. Συνεπώς, μπορούμε να αντιμετωπίσουμε κάθε γραμμή ως χρονοσειρά. Για τη μέτρηση της «απόστασης» μεταξύ των δεδομένων χρησιμοποιείται ο αλγόριθμος Dynamic Time Waring (DTW) καθώς, μεταβολές στη μέση διάρκεια ζωής λόγω κάποια συνθήκης μπορεί να μην γίνονται ταυτόχρονα στις περιφέρειες, αλλά με κάποια χρονική καθυστέρηση. Για τη μέτρηση της εγγύτητας μεταξύ των συστάδων χρησιμοποιείται η απόσταση Ward. Ο αλγόριθμος εφαρμόζεται δύο φορές, μία στον πίνακα των ανδρών και μια στον πίνακα των γυναικών. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται παρακάτω σε δένδρογραμμα:

Cluster Dendrogram, GREECE NUTS-2 Regions, Males, 1991-2020
Cophenetic Correlation=0.7337



Διάγραμμα 4.1.43: Αποτελέσματα Ανάλυσης Συστάδων για τις Ελληνικές Περιφέρειες, 1991-2020, Άνδρες

Για τους άνδρες (Διάγραμμα 4.1.43), η ποιότητα της συσταδοποίησης είναι αρκετά καλή, ενώ έχουν διαμορφωθεί 6 συστάδες για συγκεκριμένο επίπεδο ομοιότητας.

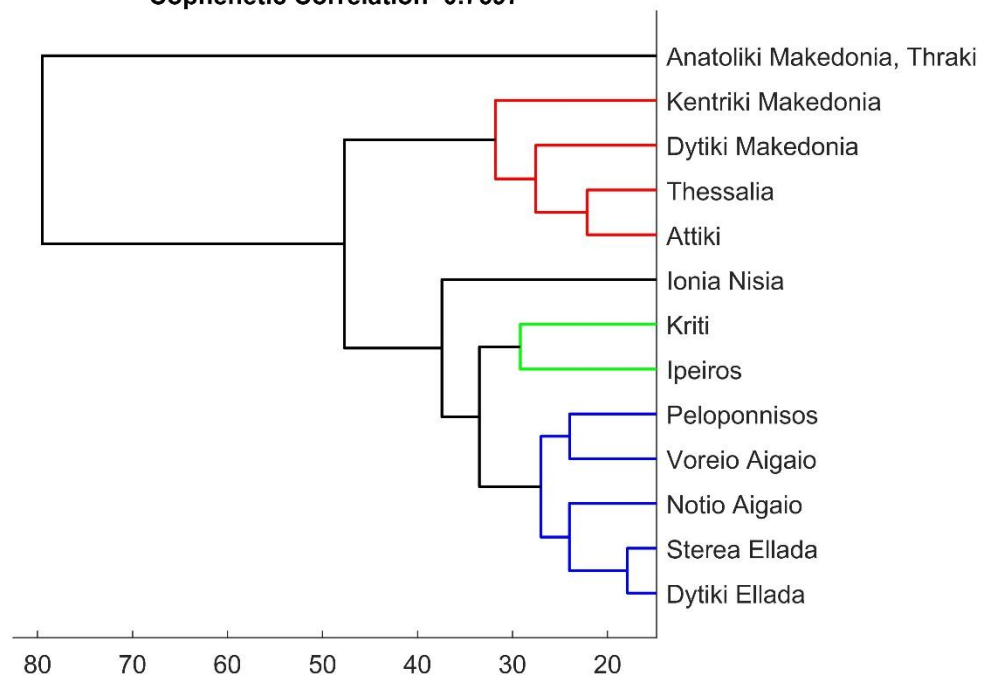
Το Νότιο Αιγαίο, η Ήπειρος και η Ανατολική Μακεδονία, Θράκη έχουν ανατεθεί σε ξεχωριστές συστάδες ενός στοιχείου, δείχνοντας τη μεγάλη διαφοροποίηση τους από τις υπόλοιπες περιφέρειες.

Η Αττική και η Κεντρική Μακεδονία βρίσκονται στην ίδια συστάδα, γεγονός αναμενόμενο, καθώς αποτελούν τις δύο έντονα αστικές περιοχές της Ελλάδας.

Η Πελοπόννησος, Κρήτη, Στερεά Ελλάδα, Ιόνια Νησιά και το Βόρειο Αιγαίο βρίσκονται στην ίδια συστάδα, δηλαδή έχουν ανάλογη διαχρονική συμπεριφορά, ενώ εκφράζουν ένα μέρος της Νοτιοδυτικής αλλά και νησιώτικης Ελλάδας

Τέλος, η Δυτική Μακεδονία, Δυτική Ελλάδα και Θεσσαλία διαμορφώνουν μία ακόμα συστάδα. Πρόκειται για περιοχές της ορεινής και ηπειρωτικής Ελλάδας, όπου γεωγραφικά καταλαμβάνουν το Κεντρικό και Βορειοδυτικό τμήμα της χώρας.

Cluster Dendrogram, GREECE NUTS-2 Regions, Females, 1991-2020
Cophenetic Correlation=0.7697



Διάγραμμα 4.1.44: Αποτελέσματα Ανάλυσης Συστάδων για τις Ελληνικές Περιφέρειες, 1991-2020, Γυναίκες

Για τις γυναίκες (Διάγραμμα 4.1.44), η ποιότητα της συσταδοποίησης είναι καλύτερη από τους άνδρες, ενώ έχουν διαμορφωθεί 5 συστάδες για συγκεκριμένο επίπεδο ομοιότητας.

Τα Ιόνια Νησιά και η Ανατολική Μακεδονία, Θράκη έχουν ανατεθεί σε ξεχωριστές συστάδες ενός στοιχείου, δείχνοντας τη μεγάλη διαφοροποίηση τους από τις υπόλοιπες περιφέρειες.

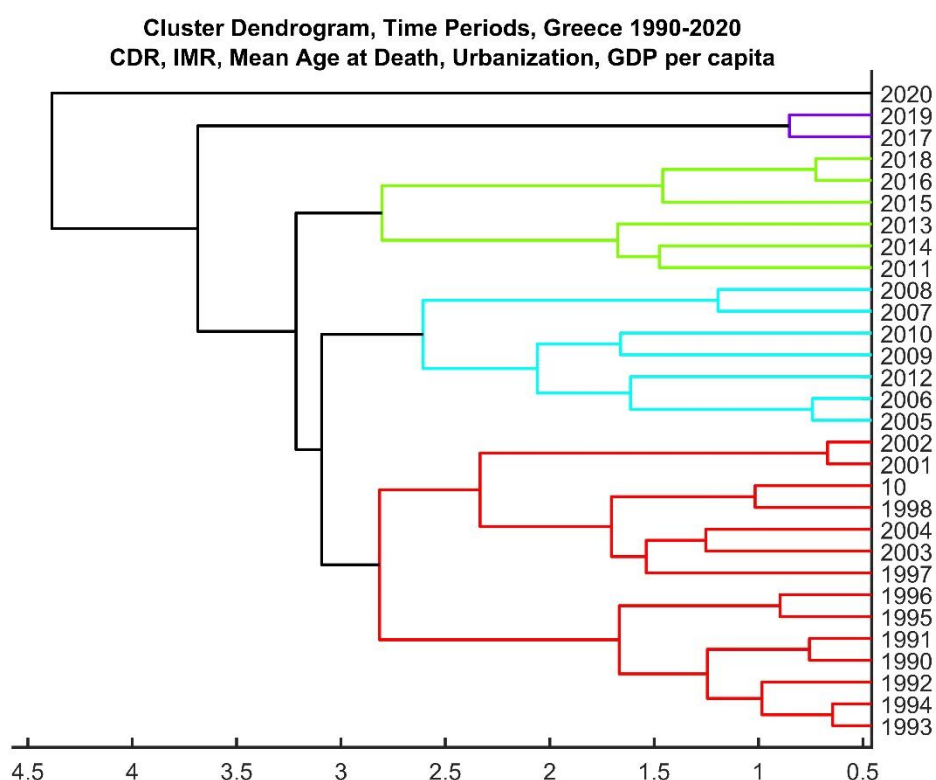
Η Αττική και Κεντρική Μακεδονία βρίσκονται πάλι στην ίδια συστάδα, ως μεγάλες αστικές περιοχές, μαζί με τη Δυτική Μακεδονία και τη Θεσσαλία.

Μία ακόμη συστάδα διαμορφώνουν οι περιοχές: Πελοπόννησος, Βόρειο και Νότιο Αιγαίο, Στερεά και Δυτική Ελλάδα, δηλαδή το Νοτιοδυτικό και νησιωτικό τμήμα της χώρας.

Η τελευταία συστάδα περιλαμβάνει τις περιφέρειες της Κρήτης και της Ηπείρου

Ομαδοποίηση Χρονικών Περιόδων

Για την ομαδοποίηση των χρονικών περιόδων, χρησιμοποιούνται 5 χαρακτηριστικά: Η μέση διάρκεια ζωής (για το σύνολο του Ελληνικού πληθυσμού), ο δείκτης βρεφικής θνησιμότητας, ο αδρός δείκτης θνησιμότητας, ένας δείκτης που εκφράζει το ποσοστό του πληθυσμού που ζει σε αστικά κέντρα (Urbanization) και τέλος το κατά κεφαλήν ακαθάριστο εγχώριο προϊόν (per capita GDP). Επιπρόσθετα, γίνεται χρήση της απόστασης Mahalanobis για τη μέτρηση της απόστασης μεταξύ των σημείων, καθώς πρόκειται για χαρακτηριστικά με έντονη συγγραμμικότητα μεταξύ τους.



Διάγραμμα 4.1.45: Αποτελέσματα Ανάλυσης Συστάδων των χρονικών περιόδων, Ελλάδα, 1991-2020

Τα αποτελέσματα της συσταδοποίησης παρουσιάζονται στον διάγραμμα 4.1.45, στο οποίο φαίνονται 5 συστάδες για συγκεκριμένο επίπεδο ομοιότητας. Στον πίνακα 4.1.1 φαίνεται η ανάθεση των συστάδων, η οποία προτείνει μια μεγάλη συστάδα από το 1990 έως το 2004, μια συστάδα τη περίοδο 2005-2010 και 2012 και μία ακόμη τα έτη 2011, 2013 έως 2016 και 2018. Τέλος, τα έτη 2017 και 2019 είναι ομαδοποιημένα μαζί, ενώ το έτος 2020 αποτελεί μια τελευταία συστάδα μόνο του.

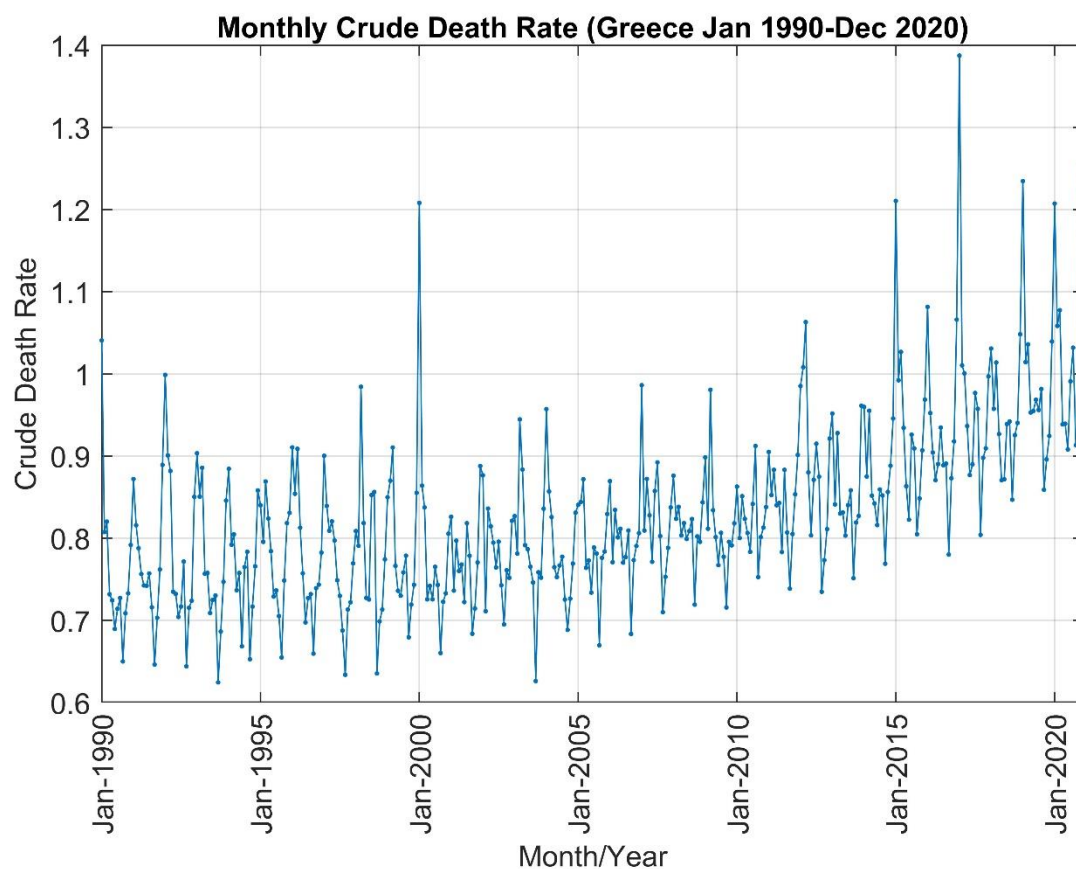
Πίνακας 4.1.1: Αποτελέσματα Συσταδοποίησης/ Ανάθεση συστάδων σε κάθε έτος

1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	3
2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020		
1	3	3	3	3	4	3	4	5		

4.2 Εφαρμογή του μοντέλου πρόβλεψης με χρήση του ANFIS

4.2.1 Δεδομένα

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για το μοντέλο πρόβλεψης προέρχονται από τη βάση δεδομένων Eurostat και αφορούν τον αδρό δείκτη θνησιμότητας του Ελληνικού πληθυσμού ανά μήνα για τα έτη 1990 έως 2020. Πρόκειται για μια χρονοσειρά με ετήσια περιοδικότητα, δηλαδή ανά 12 δεδομένα. Στο σχήμα 4.2.1 απεικονίζονται τα δεδομένα:



Διάγραμμα 4.2.1: Μηνιαίος Αδρός Δείκτης Θνησιμότητας, Ελλάδα 1990-2020

4.2.2 Προεπεξεργασία Δεδομένων

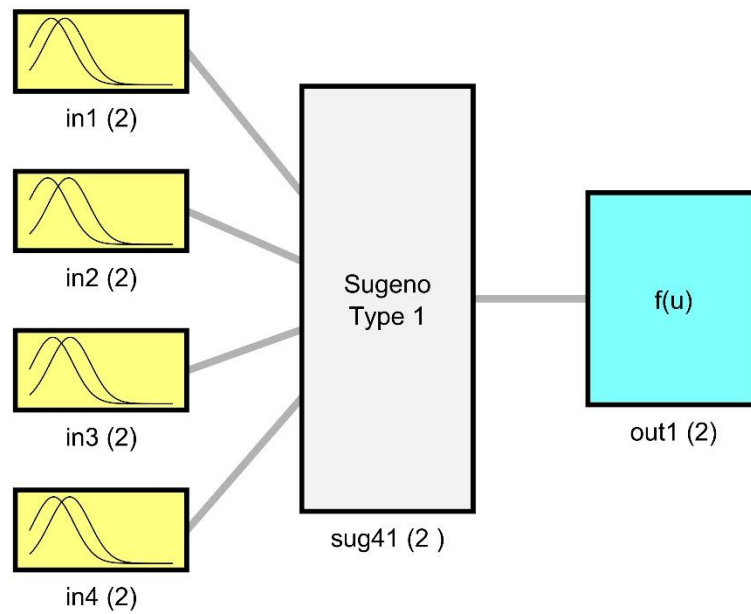
Έναντι του συμβατικού μοντέλου εισαγωγής δεδομένων στο ασαφές σύστημα συμπερασμού-FIS, στο οποίο τα δεδομένα εκπαίδευσης εισαγωγής είναι τα $(n-2)$ και $(n-1)$ ενώ το δεδομένο (n) είναι το δεδομένο με το οποίο συγκρίνεται η έξοδος του ANFIS, προτιμήθηκε ένα μοντέλο που προέρχεται από τη πρόβλεψη χαοτικών χρονοσειρών. Στην συγκεκριμένη προσέγγιση, τα δεδομένα εισαγωγής (input data) εισάγονται στο σύστημα συμπερασμού κατά ομάδες τεσσάρων δεδομένων, τα οποία έχουν μια σταθερή απόσταση μεταξύ του. Η απόσταση αυτή είναι ίση με την «περίοδο» της χρονοσειράς, δηλαδή 12 μήνες ή δώδεκα δεδομένα. Ως αποτέλεσμα, τα δεδομένα εισαγωγής και το δεδομένο εξαγωγής έχουν την μορφή $[(n-3), (n-2), (n-1), (n)]|(n+1)$, ώστε το δεδομένο εξαγωγής που αντιστοιχεί σε μια ημερομηνία (για παράδειγμα "Jan-2020") να αντιστοιχεί σε δεδομένα εισαγωγής των τεσσάρων τελευταίων ίδιων μηνών (δηλαδή "Jan-2019", "Jan-2018", "Jan-2017", "Jan-2016").

4.2.3 Εκπαίδευση

Τα τροποποιημένα δεδομένα, όπως αναλύθηκαν στη προηγούμενη ενότητα αποτελούν έναν πίνακα διαστάσεων 324×5 , του οποίου οι πρώτες τέσσερις στήλες είναι τα δεδομένα εισαγωγής του συστήματος ασαφούς συμπερασμού, ενώ η τελευταία στήλη είναι το δεδομένο εισαγωγής. Για την εκπαίδευση του συστήματος χρησιμοποιείται το 70% των δεδομένων του πίνακα, δηλαδή οι πρώτες 227 εγγραφές, ενώ το υπόλοιπο 30% (145 εγγραφές) χρησιμοποιείται ως δεδομένα αξιολόγησης.

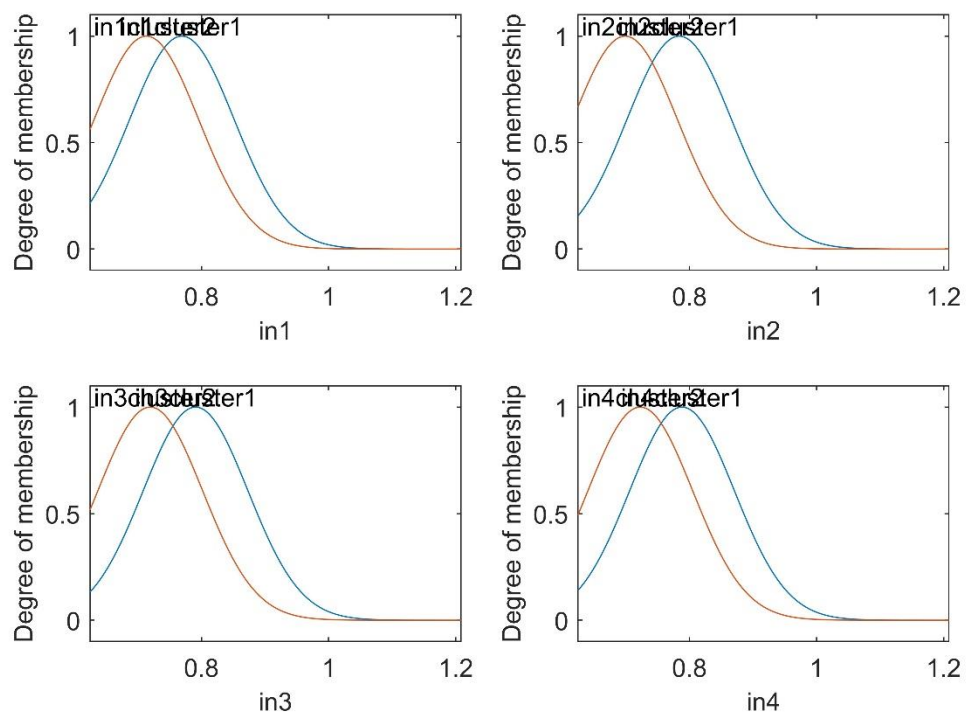
4.2.4 Δημιουργία Ασαφούς Συστήματος Συμπερασμού (FIS) και εκπαίδευση

Για τη δημιουργία του ασαφούς συστήματος συμπερασμού, επιλέχθηκε η μέθοδος συσταδοποίησης Subtractive Clustering, ενώ για κάθε είσοδο επιλέχθηκαν 2 συναρτήσεις συμμετοχής καμπανοειδούς μορφής. Στα διαγράμματα 4.2.2 και 4.2.3 παρουσιάζεται η διάταξη του ασαφούς συστήματος συμπερασμού πριν την εκπαίδευση, καθώς και οι συναρτήσεις συμμετοχής.



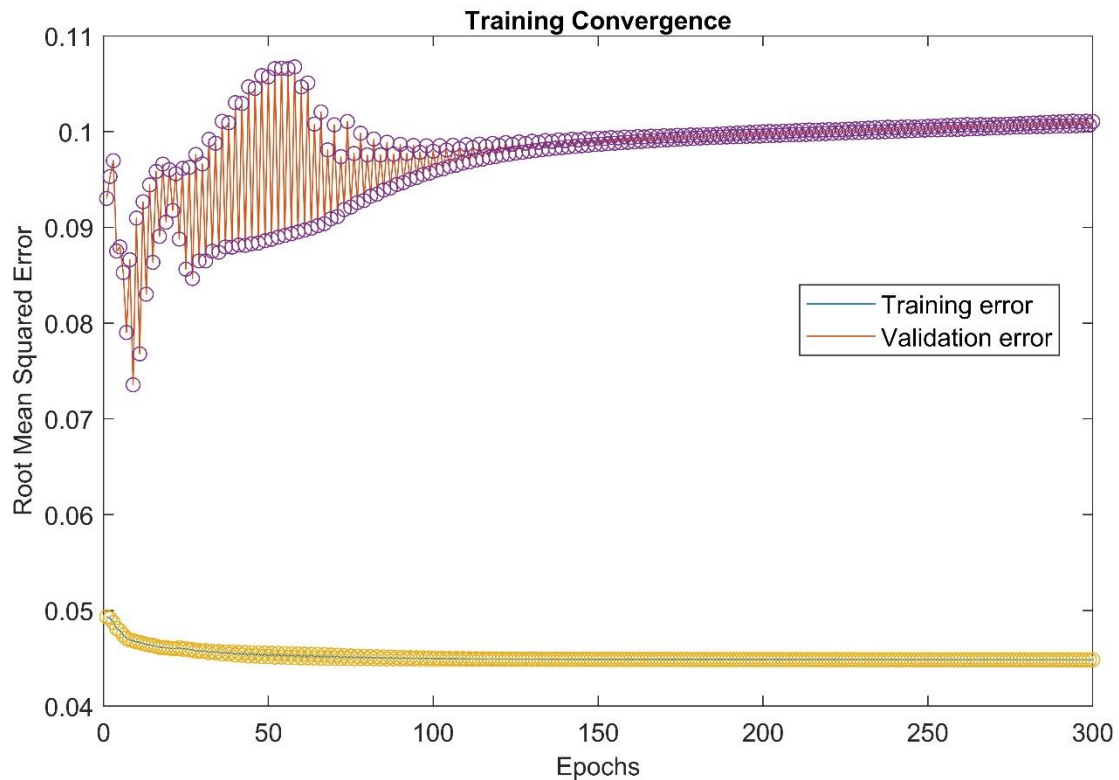
System sug41: 4 inputs, 1 outputs, 2 rules

Διάγραμμα 4.2.2: Ασαφές Σύστημα Συμπερασμού (FIS) πριν την εκπαίδευση (ANFIS 3)



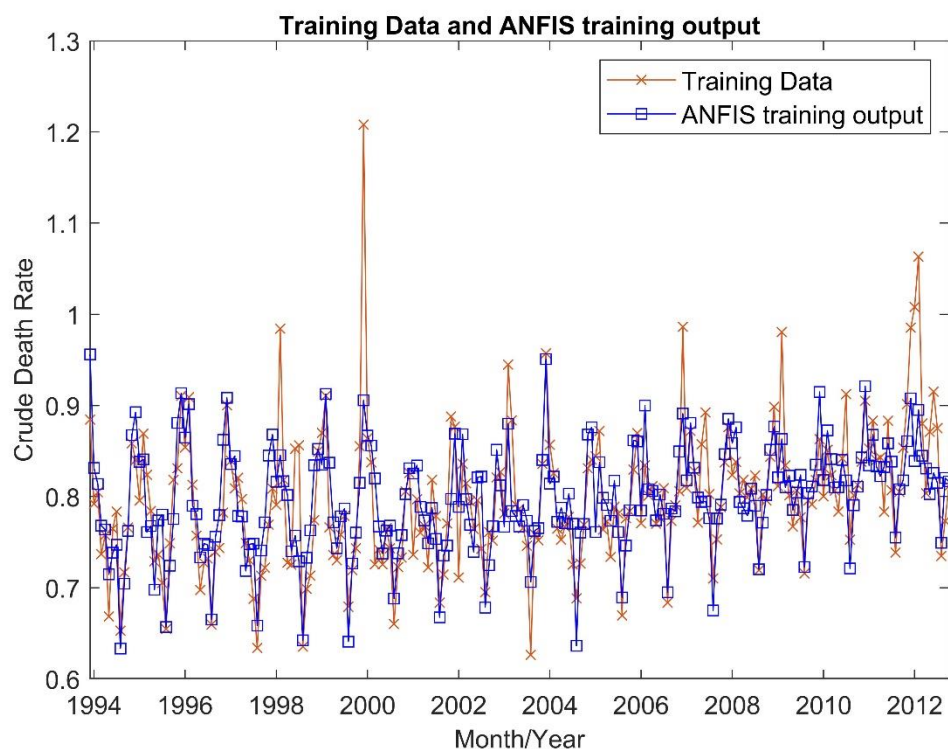
Διάγραμμα 4.2.3: Συναρτήσεις Συμμετοχής πριν την εκπαίδευση (ANFIS 3)

Το διάγραμμα 4.2.4 απεικονίζει τη σύγκλιση του σφάλματος εκπαίδευσης (μπλε/κίτρινη γραμμή) και του σφάλματος επαλήθευσης (κόκκινη/μωβ γραμμή) σε σχέση με τις εποχές εκπαίδευσης. Αξίζει να σημειωθεί πως το σφάλμα συγκλίνει μετά από 50 εποχές στην εκπαίδευση, ενώ στην επαλήθευση παρουσιάζεται το ελάχιστο σφάλμα μέσα στις πρώτες δέκα εποχές, ενώ ακολουθεί μια φθίνουσα ταλάντωση, η οποία συγκλίνει σε υψηλότερη τιμή σφάλματος.

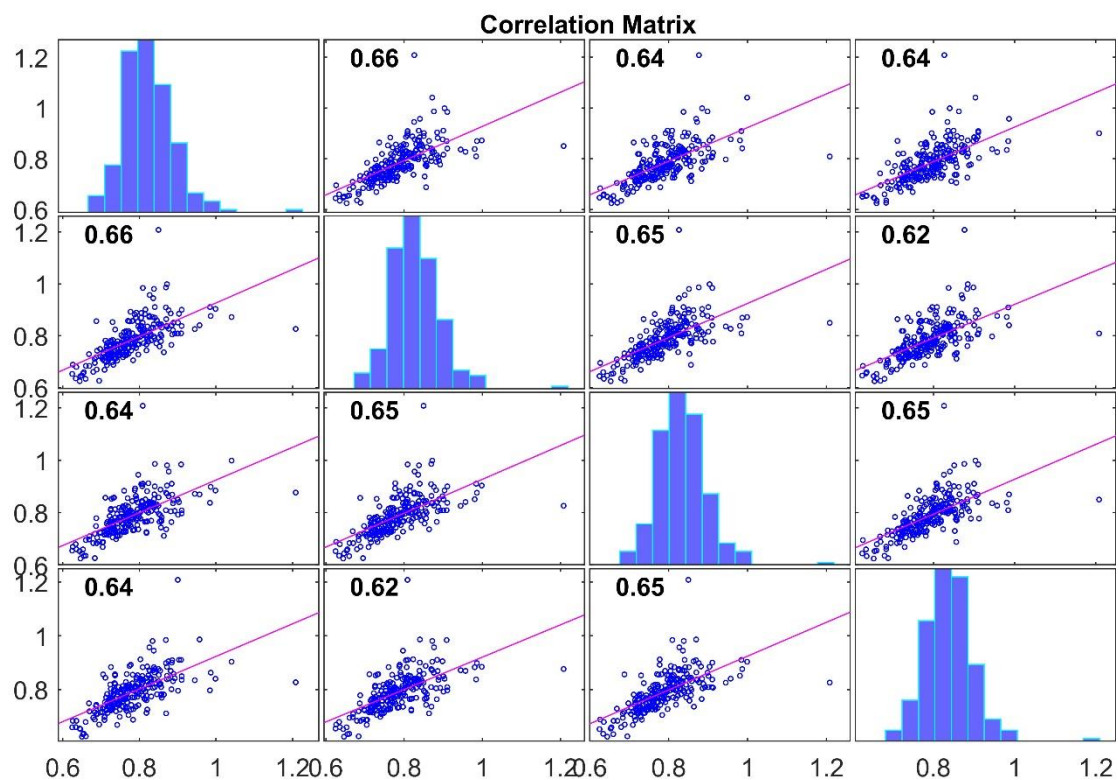


Διάγραμμα 4.2.4: Σφάλματα εκπαίδευσης και επικύρωσης σε συνάρτηση με τα epochs εκπαίδευσης(ANFIS 3)

Τα δεδομένα εξόδου εκπαίδευσης και τα δεδομένα εξόδου του συστήματος ANFIS παρουσιάζονται στο διάγραμμα 4.2.5 στο οποίο φαίνεται η καλή προσαρμογή του μοντέλου ANFIS στα δεδομένα εκπαίδευσης.



Διάγραμμα 4.2.5: Δεδομένα εξόδου εκπαίδευσης και έξοδοι ANFIS 3 κατά την εκπαίδευση

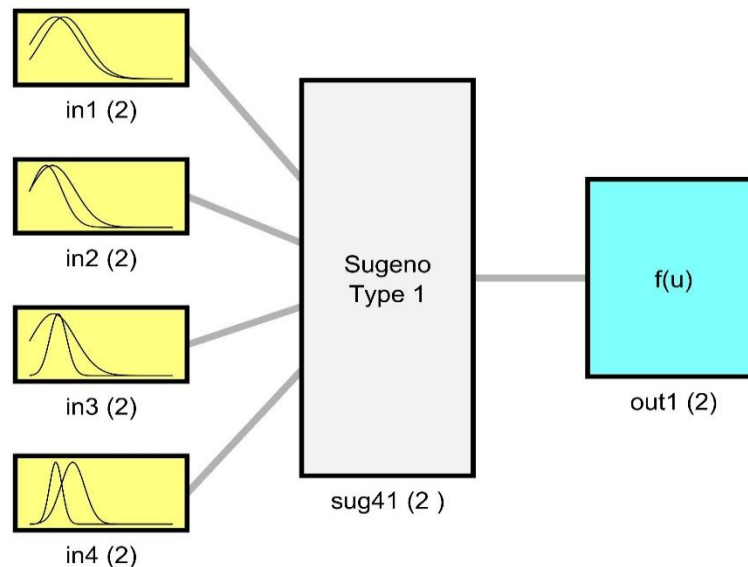


Διάγραμμα 4.2.6: Πίνακας Συσχέτισης των εισόδων εκπαίδευσης (ANFIS 3)

Τέλος, στο διάγραμμα 4.2.6. απεικονίζεται η συσχέτιση μεταξύ των τεσσάρων δεδομένων εισόδου της εκπαίδευσης καθώς και οι γραμμές τάσεις και το R^2

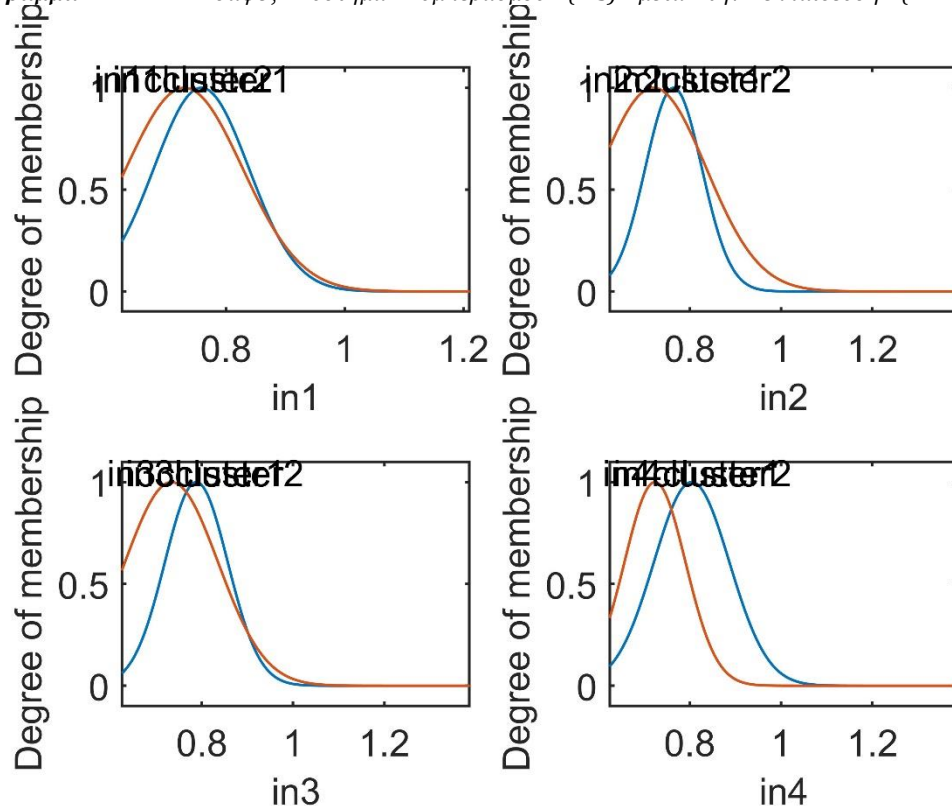
4.2.5 Αποτελέσματα

Στα επόμενα διαγράμματα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εφαρμογής της μεθόδου, μετά την εκπαίδευση. Τα διαγράμματα 4.2.7 και 4.2.8 απεικονίζουν τη δομή του συστήματος ασαφούς συμπερασμού και τις συναρτήσεις συμμετοχής, όπως έχουν διαμορφωθεί μετά την εκπαίδευση.



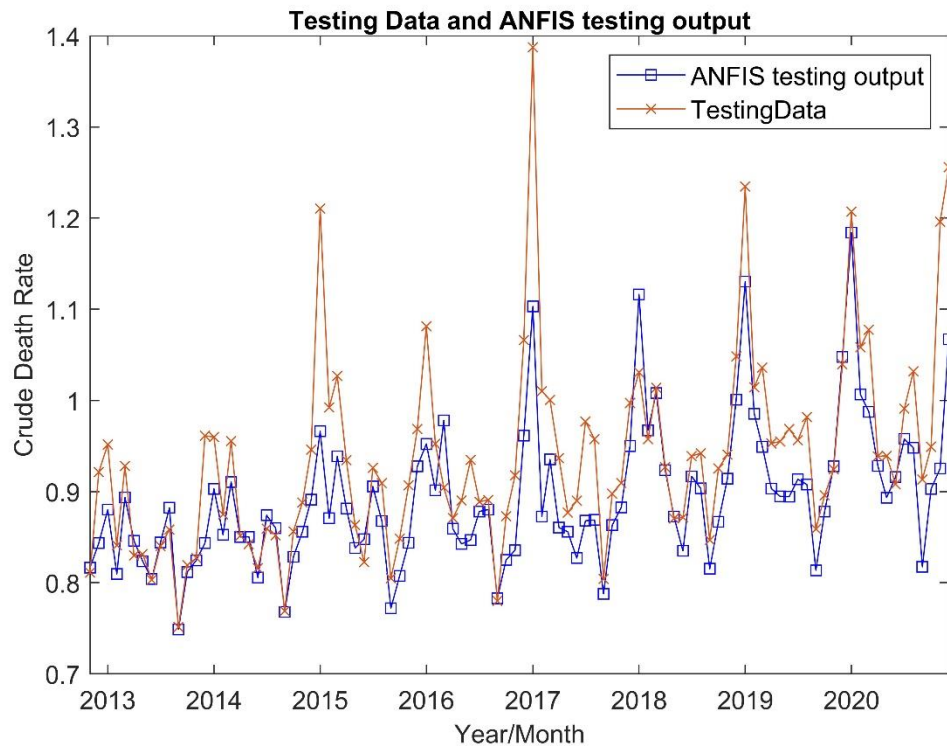
System sug41: 4 inputs, 1 outputs, 2 rules

Διάγραμμα 4.2.7: Ασαφές Σύστημα Συμπερασμού (FIS) μετά την εκπαίδευση (ANFIS 3)

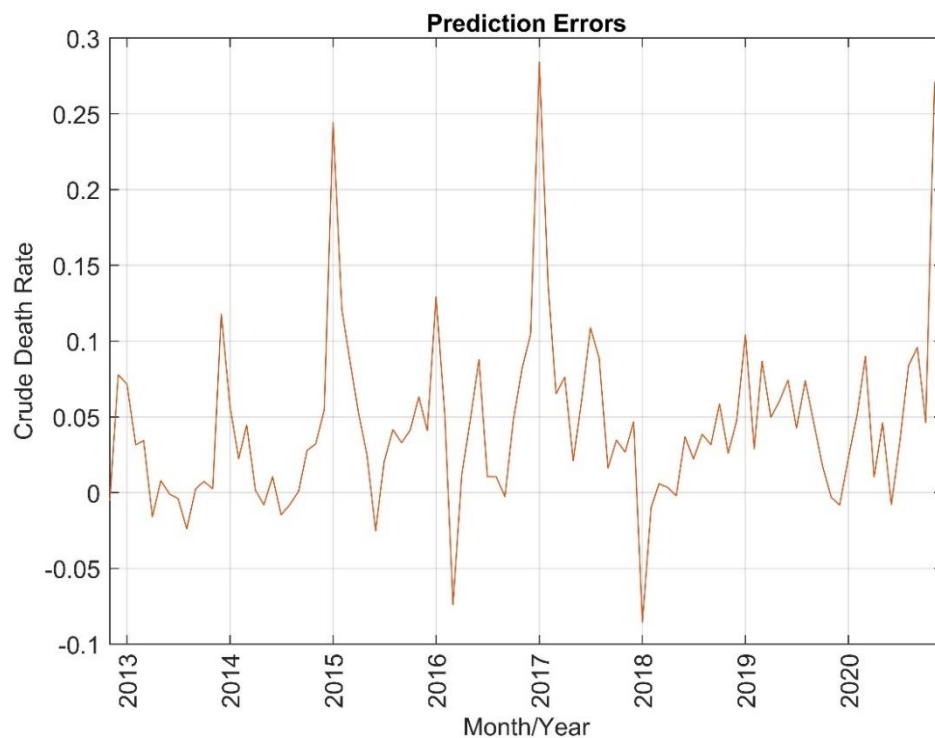


Διάγραμμα 4.2.8: Συναρτήσεις Συμμετοχής μετά την εκπαίδευση (ANFIS 3)

Το διάγραμμα 4.2.9 απεικονίζει τα δεδομένα επαλήθευσης (κόκκινη γραμμή) και την έξοδο του ANFIS (μπλε γραμμή). Στο συγκεκριμένο σχήμα φαίνεται η πολύ καλή προσαρμογή του ANFIS στα δεδομένα επαλήθευσης, καθώς παρατηρείται ότι «πιάνει» τόσο την ετήσια περιοδικότητα των δεδομένων, όσο και τη διαχρονική τάση τους.



Διάγραμμα 4.2.9: Δεδομένα εξόδου επικύρωσης και έξοδοι ANFIS 3 κατά την επικύρωση



Διάγραμμα 4.2.10: Σφάλματα Εξόδου Επικύρωσης ANFIS 3

Στο διάγραμμα 4.2.10 φαίνονται τα σφάλματα του μοντέλου σε σχέση με τα δεδομένα επαλήθευσης, από το οποίο παρατηρείται πως για μεγαλύτερες μεταβολές διαδοχικών δεδομένων υπάρχουν μεγαλύτερα σφάλματα.

4.2.6 Συγκριτική Ανάλυση μοντέλων ANFIS

Στον πίνακα 4.2 παρουσιάζονται 5 μοντέλα ANFIS με διαφορετικές παραμέτρους, μεθόδους συσταδοποίησης, αριθμό και τύπο συναρτήσεων συμμετοχής καθώς και τα συνολικά σφάλματα από την εφαρμογή τους στα δεδομένα. Παρατηρείται πως το μοντέλο ANFIS 3, το οποίο εκπαιδεύτηκε με τη προτεινόμενη τεχνική του συνόλου περιόδων, με 4 εισόδους και δύο συναρτήσεις συμμετοχής τύπου gaussmf η καθεμία, έχει μικρότερα σφάλματα από τις υπόλοιπες και θεωρείται η καλύτερη από τις 5.

Πίνακας 4.2: Παράμετροι διαφόρων δοκιμών ANFIS και σφάλματα στην εφαρμογή

ANFIS Model	1	2	3	4	5
Training	(n-2),(n-1)	(n-2),(n-1)	Σύνολο περιόδων	Σύνολο περιόδων	Σύνολο περιόδων
Clustering Algorithm	Grid Partition	Grid Partition	Subtractive Clustering (RoI=0.4)	Grid Partition	Subtractive Clustering (RoI=0.2)
Epochs	100	100	300	100	100
Number of inputs	2	2	4	4	4
Number of MFs for each input	2	2	2	2	2
Membership Function	gaussmf	gbellmf	gaussmf	gbellmf	gaussmf
Αποτελέσματα Εφαρμογής/Results					
RMSE	0.1125	0.1193	0.0736	0.0846	0.982
MSE	0.0127	0.0142	0.0054	0.0072	0.0097
MAE	0.0789	0.0831	0.0513	0.0547	0.0676
MAPE	7.8231	8.2329	5.1003	5.3743	6.6581

4.2.7 Συγκριτική Ανάλυση μοντέλων πρόβλεψης

Ο πίνακας 4.3 παρουσιάζει τα σφάλματα των πέντε μοντέλων ANFIS καθώς και άλλων μοντέλων που χρησιμοποιούνται συχνά στη πρόβλεψη χρονοσειρών. Τα μοντέλα AR και ARX έχουν παρόμοια και σχετικά καλή απόδοση με τα υπόλοιπα μοντέλα, ενώ το μοντέλο Box-Jenkins έχει την λιγότερο καλή απόδοση σε σχέση με τα υπόλοιπα μοντέλα. Σχεδόν όλα τα μοντέλα ANFIS έχουν απόδοση καλύτερη από τα υπόλοιπα, ενώ το μοντέλο των νευρωνικών δικτύων έχει μέτρια απόδοση. Μικρότερα σφάλματα και, επακολούθως, καλύτερη απόδοση έχει το μοντέλο ANFIS 3.

Πίνακας 4.3: Σφάλματα διάφορων μεθόδων πρόβλεψης στα μηνιαία δεδομένα

Μέθοδος	MSE	RMSE	MAE	MAPE
AR	0.0104	0.1019	0.0751	7.7228
ARX	0.0104	0.1019	0.0751	7.7228
ARMA	0.019	0.1380	0.0836	8.6312
Box-Jenkins	0.0537	0.2318	0.1968	20.7865
Neural Networks	0.0170	0.1304	0.0999	10.1199
ANFIS 1	0.0127	0.1125	0.0789	7.8231
ANFIS 2	0.0142	0.1193	0.0831	8.2329
ANFIS 3	0.0054	0.0736	0.0513	5.1003
ANFIS 4	0.0072	0.0846	0.0547	5.3743
ANFIS 5	0.0097	0.982	0.0676	6.6581

4.3 Σύνοψη Κεφαλαίου

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εφαρμογής των μεθόδων που αναλύθηκαν στο 3^ο κεφάλαιο και χωρίζεται σε δύο μέρη.

Το πρώτο μέρος αφορά την εφαρμογή του δυναμικού μοντέλου στα δεδομένα της Ελλάδας και των περιφερειών της. Παρουσιάστηκαν και σχολιάστηκαν τα γραφήματα που προέκυψαν από τους πίνακες επιβίωσης της Ελλάδας για 4 έτη (1990,2000,2010,2020), τα οποία αφορούν τη προσαρμογή του μοντέλου στα δεδομένα, τη συνάρτηση κατάστασης υγείας και τη προσομοίωση. Στη συνέχεια, παρουσιάστηκαν και σχολιάστηκαν τα γραφήματα με τη διαχρονική εξέλιξη της μέσης διάρκειας ζωής και της συνολικής κατάστασης υγείας στις περιφέρειες, καθώς και τα δενδρογράμματα που προέκυψαν από τη συσταδοποίηση.

Το δεύτερο μέρος αφορά την εφαρμογή του μοντέλου ANFIS στα μηνιαία δεδομένα θνησιμότητας στην Ελλάδα. Παρουσιάζονται και σχολιάζονται τα γραφήματα που προκύπτουν από την εφαρμογή του ANFIS και πραγματοποιείται μια συγκριτική ανάλυση των μοντέλων ANFIS και άλλων μεθόδων πρόβλεψης. Τέλος, προτείνεται η ομάδα παραμέτρων του ANFIS που προσφέρει τα καλύτερα αποτελέσματα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

5.1 Συμπεράσματα εφαρμογής του δυναμικού μοντέλου

Η εφαρμογή του δυναμικού μοντέλου στους πίνακες επιβίωσης του Ελληνικού πληθυσμού κατά τα έτη 1990-2020, καθώς και η ανάλυση συστάδων, προσέφερε αξιολογικά αποτελέσματα από τα οποία μπορούν να εξαχθούν σημαντικά συμπεράσματα:

1. Σε κάθε πίνακα επιβίωσης που μελετήθηκε, η μέση διάρκεια ζωής των γυναικών είναι μεγαλύτερη από αυτή των ανδρών
2. Η συνολική κατάσταση υγείας των γυναικών είναι καλύτερη από αυτή των ανδρών.
3. Η κατάσταση υγείας των ανδρών χειροτερεύει νωρίτερα και έχει πιο ομαλή πορεία. Αντίστοιχα, η κατάσταση υγείας των γυναικών μένει σε υψηλό επίπεδο για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα σε σχέση με τους άνδρες, όμως επιδεινώνεται αρκετά πιο απότομα τα τελευταία έτη πριν τον θάνατο
4. Η μέση διάρκεια ζωής έχει αυξηθεί από το 1990 έως το 2020 σε άνδρες και γυναίκες
5. Η διαφορά της μέσης διάρκειας ζωής μεταξύ ανδρών και γυναικών αυξάνεται διαχρονικά υπέρ των γυναικών, ενώ αυξάνονται και οι ετήσιες διακυμάνσεις
6. Οι άνδρες εμφανίζουν αυξημένους θανάτους στις ηλικίες 15-28 ετών σε σχέση με τις γυναίκες
7. Σε πολλές από τις περιφέρειες εμφανίζεται μια πτώση της μέσης διάρκειας ζωής και της συνολικής κατάστασης υγείας μετά το 2019. Το γεγονός αυτό ίσως οφείλεται στη πανδημία του COVID-19, αλλά αυτός ο ισχυρισμός απαιτεί επαλήθευση, όταν δημοσιευτούν τα δεδομένα.
8. Οι αστικές περιοχές ομαδοποιούνται μαζί και έχουν χειρότερη κατάσταση υγείας από τις περιοχές της περιφέρειας
9. Η συσταδοποίηση δεν γίνεται αμιγώς με γεωγραφικά κριτήρια, καθώς περιοχές που βρίσκονται στην ίδια συστάδα δεν συνορεύουν στον χάρτη

5.2 Συμπεράσματα εφαρμογής μεθόδου πρόβλεψης με ANFIS

Από την εφαρμογή του συστήματος ANFIS για τη πρόβλεψη της χρονοσειράς του Μηνιαίου Αδρού Δείκτη Θνησιμότητας του Ελληνικού πληθυσμού κατά τα έτη 1990-2020, προέκυψαν τα παρακάτω συμπεράσματα:

1. Η πρόβλεψη της χρονοσειράς με το σύστημα ANFIS (σε οποιαδήποτε μορφή του) είναι πιο ακριβής από τα συμβατικά μοντέλα πρόβλεψης
2. Η προτεινόμενη δόμηση των δεδομένων εκπαίδευσης προσφέρει αρκετά καλύτερα αποτελέσματα από τον συμβατικό τρόπο, καθώς το σύστημα ασαφούς συμπερασμού δημιουργεί κανόνες από τα δεδομένα του ίδιου μήνα των προηγούμενων ετών και όχι από τους ακριβώς δύο προηγούμενους μήνες. Με αυτό τον τρόπο, έχει καλή απόδοση τόσο στη διαχρονική πορεία του δείκτη, αλλά και στις μηνιαίες και εποχικές διακυμάνσεις

3. Η θνησιμότητα μέσα σε ένα χρονολογικό έτος έχει τοπικά μέγιστα κατά τους μήνες Ιανουάριο και Ιούνιο, ενώ τοπικά ελάχιστα κατά τους μήνες Σεπτέμβριο και Απρίλιο
4. Διαχρονικά, ο αδρός δείκτης θνησιμότητας αυξάνεται, γεγονός που συνδέεται με το δημογραφικό πρόβλημα και τη γήρανση του πληθυσμού.
5. Η θνησιμότητα έχει περιοδικότητα 12 μηνών

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Atsalakis, George, and Katerina Tsakalaki. "Simulating annealing and neural networks for chaotic time series forecasting." *Chaotic Modeling and Simulation* 1 (2012): 81-90.

Atsalakis, George, Christos Skiadas, and Dimitrios Nezis. "Forecasting Chaotic time series by a Neural Network." *Proceedings of the 8th International Conference on Applied Stochastic Models and Data Analysis, Vilnius, Lithuania*. Vol. 30. 2008.

Atsalakis, George, et al. "Forecasting mortality rate using a neural network with fuzzy inference system." *International Workshop on Applied Probability. Compi'egne, FR*. 2007.

Chen, De-Wang, and Jun-Ping Zhang. "Time series prediction based on ensemble ANFIS." *2005 International conference on machine learning and cybernetics*. Vol. 6. IEEE, 2005.

Henderi Henderi, et al. *Periodic Data Analysis and Forecasting as an Overview of Future Management Economics*. Vol. 3, no. 1, 14 Feb. 2019, pp. 73–83

Henderi, Henderi, Siti Ria Zuliana, and Restu Adi Pradana. "Periodic Data Analysis and Forecasting As An Overview of Future Management Economics." *Aptisi Transactions on Management (ATM)* 3.1 (2019): 73-83.

Kannisto, Vaino, et al. "Reductions in mortality at advanced ages: several decades of evidence from 27 countries." *Population and development review* (1994): 793-810.

Keskin, M. Erol, Dilek Taylan, and Oezlem Terzi. "Adaptive neural-based fuzzy inference system (ANFIS) approach for modelling hydrological time series." *Hydrological sciences journal* 51.4 (2006): 588-598.

Kose, Utku, and Ahmet Arslan. "Forecasting chaotic time series via anfis supported by vortex optimization algorithm: Applications on electroencephalogram time series." *Arabian Journal for Science and Engineering* 42 (2017): 3103-3114.

Laliotis, Ioannis, John PA Ioannidis, and Charitini Stavropoulou. "Total and cause-specific mortality before and after the onset of the Greek economic crisis: an interrupted time-series analysis." *The Lancet Public Health* 1.2 (2016): e56-e65.

Melin, Patricia, et al. "A new approach for time series prediction using ensembles of ANFIS models." *Expert Systems with Applications* 39.3 (2012): 3494-3506.

Pano-Azucena, Ana Dalia, Esteban Tlelo-Cuautle, and Sheldon X-D. Tan. "Prediction of chaotic time series by using ANNs, ANFIS and SVMs." *2018 7th International Conference on Modern Circuits and Systems Technologies (MOCAST)*. IEEE, 2018.

Piscopo, Gabriella. "AR dynamic evolving neuro-fuzzy inference system for mortality data." *Demography and Health Issues: Population Aging, Mortality and Data Analysis* (2018): 217-223.

Piscopo, Gabriella. "Dynamic evolving neuro fuzzy inference system for mortality prediction." *Int. J. Eng. Res. Appl* 7.3 (2017): 26-29.

Skiadas, Charilaos, and Christos H. Skiadas. "Development, simulation, and application of first-exit-time densities to life table data." *Communications in Statistics—Theory and Methods* 39.3 (2010): 444-451.

Skiadas, Christos H., and Charilaos Skiadas. "Demography and Health Issues."

Skiadas, Christos H., and Charilaos Skiadas. "Exploring the state of a stochastic system via stochastic simulations: An interesting inversion problem and the health state function." *Methodology and Computing in Applied Probability* 17 (2015): 973-982.

Skiadas, Christos H., and Charilaos Skiadas. "The first exit time theory applied to life table data: The health state function of a population and other characteristics." *Communications in statistics-theory and methods* 43.7 (2014): 1585-1600.

Skiadas, Christos. "Two generalized rational models for forecasting innovation diffusion." *Technological Forecasting and Social Change* 27.1 (1985): 39-61.

Skiadas, Konstantinos N. Zafeiris-Christos. "AN EXERCISE ON THE FUTURE HEALTH DEVELOPMENTS IN GREECE."

Thatcher, A. Roger, Väinö Kannisto, and James W. Vaupel. "The force of mortality at ages 80 to 120." (1998).

Tsimbos, Cleon, et al. "Life expectancy in Greece 1991–2007: Regional variations and spatial clustering." *Journal of Maps* 7.1 (2011): 280-290.

Tsimbos, Cleon, Stamatis Kalogirou, and Georgia Verropoulou. "Estimating spatial differentials in life expectancy in Greece at local authority level." *Population, space, and place* 20.7 (2014): 646-663.

Valaoras, Vasilios G. "A Comparative Study of the Mortality of the Population of Greece." *Human Biology* 8.4 (1936): 553.

Varmuza, Kurt, and Peter Filzmoser. *Introduction to Multivariate Statistical Analysis in Chemometrics* (2016)

Vlachadis, Nikolaos, et al. "Mortality and the economic crisis in Greece." *Lancet* 383.9918 (2014): 691.

Vlachadis, Nikolaos, et al. "Mortality and the economic crisis in Greece." *Lancet* 383.9918 (2014): 691.

Wei, Liang-Ying, Ching-Hsue Cheng, and Hsin-Hung Wu. "A hybrid ANFIS based on n-period moving average model to forecast TAIEX stock." *Applied Soft Computing* 19 (2014): 86-92.

Wei, Liang-Ying, et al. *A Hybrid ANFIS Based on N-Period Moving Average Model to Forecast TAIEX Stock*. Vol. 19, 1 June 2014, pp. 86–92

Zafeiris, Konstantinos N., and Anastasia Kostaki. "Recent mortality trends in Greece." *Communications in Statistics-Theory and methods* 48.1 (2019): 112-126.

Zafeiris, Konstantinos N., and Anastasia Kostaki. "Recent mortality trends in Greece." *Communications in Statistics-Theory and methods* 48.1 (2019): 112-126.

Zafeiris, Konstantinos N., and Christos H. Skiadas. "An application of the first exit time theory in some European populations." *Statistical, stochastic and data analysis methods and applications* (2015): 229-249.

Zafeiris, Konstantinos N., and Christos H. Skiadas. "Regional dimensions of mortality and health status in Greece, 2000-2012."

Zavras, Dimitris, et al. "Impact of economic crisis and other demographic and socio-economic factors on self-rated health in Greece." *The European Journal of Public Health* 23.2 (2013): 206-210.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Στο παράρτημα παρουσιάζονται τα πιο σημαντικά δεδομένα, δηλαδή αυτά της Ελλάδας στο σύνολο, για τα έτη 1990,2000, 2010,2020. Τα δεδομένα για τις υπόλοιπες χρονιές και τις περιφέρειες μπορούν να βρεθούν στη βάση δεδομένων της Eurostat:

<https://ec.europa.eu/eurostat/web/main/data/database>

Period Life Table, Males, Greece, 1990							
AGE/INDIC_DE	Mx	ex	gx	px	Lx	lx	Tx
Less than 1 year	0.00964	74.7	0.00956	0.99044	99,235	100,000	7,470,785
1 year	0.00050	74.4	0.00050	0.99950	99,019	99,044	7,371,550
2 years	0.00049	73.5	0.00049	0.99951	98,970	98,994	7,272,531
3 years	0.00019	72.5	0.00019	0.99981	98,936	98,946	7,173,560
4 years	0.00023	71.5	0.00023	0.99977	98,915	98,927	7,074,624
5 years	0.00033	70.5	0.00033	0.99967	98,887	98,904	6,975,708
6 years	0.00036	69.6	0.00036	0.99964	98,853	98,871	6,876,821
7 years	0.00019	68.6	0.00019	0.99981	98,826	98,835	6,777,968
8 years	0.00018	67.6	0.00018	0.99982	98,808	98,817	6,679,142
9 years	0.00020	66.6	0.00020	0.99980	98,789	98,799	6,580,335
10 years	0.00012	65.6	0.00012	0.99988	98,774	98,779	6,481,546
11 years	0.00026	64.6	0.00026	0.99974	98,755	98,768	6,382,772
12 years	0.00032	63.6	0.00032	0.99968	98,726	98,742	6,284,017
13 years	0.00025	62.7	0.00025	0.99975	98,698	98,710	6,185,290
14 years	0.00030	61.7	0.00030	0.99970	98,671	98,686	6,086,592
15 years	0.00033	60.7	0.00033	0.99967	98,640	98,657	5,987,921
16 years	0.00052	59.7	0.00052	0.99948	98,598	98,624	5,889,280
17 years	0.00087	58.7	0.00087	0.99913	98,530	98,573	5,790,682
18 years	0.00096	57.8	0.00096	0.99904	98,440	98,487	5,692,152
19 years	0.00107	56.9	0.00107	0.99893	98,340	98,393	5,593,712
20 years	0.00131	55.9	0.00131	0.99869	98,223	98,288	5,495,371
21 years	0.00126	55.0	0.00126	0.99874	98,097	98,159	5,397,148
22 years	0.00137	54.1	0.00137	0.99863	97,968	98,035	5,299,051
23 years	0.00127	53.1	0.00127	0.99873	97,839	97,901	5,201,083
24 years	0.00126	52.2	0.00126	0.99874	97,716	97,777	5,103,244
25 years	0.00118	51.3	0.00117	0.99883	97,596	97,654	5,005,528
26 years	0.00096	50.3	0.00096	0.99904	97,492	97,539	4,907,932
27 years	0.00080	49.4	0.00080	0.99920	97,407	97,446	4,810,439
28 years	0.00112	48.4	0.00112	0.99888	97,313	97,368	4,713,032
29 years	0.00116	47.5	0.00116	0.99884	97,202	97,258	4,615,719
30 years	0.00106	46.5	0.00106	0.99894	97,094	97,145	4,518,518
31 years	0.00102	45.6	0.00102	0.99898	96,993	97,042	4,421,424
32 years	0.00115	44.6	0.00115	0.99885	96,888	96,943	4,324,431
33 years	0.00104	43.7	0.00104	0.99896	96,782	96,832	4,227,543
34 years	0.00133	42.7	0.00133	0.99867	96,667	96,732	4,130,762
35 years	0.00152	41.8	0.00152	0.99848	96,530	96,603	4,034,094
36 years	0.00126	40.8	0.00126	0.99874	96,395	96,456	3,937,564
37 years	0.00142	39.9	0.00142	0.99858	96,266	96,334	3,841,169
38 years	0.00149	38.9	0.00149	0.99851	96,126	96,197	3,744,903
39 years	0.00154	38.0	0.00154	0.99846	95,980	96,054	3,648,777
40 years	0.00201	37.0	0.00201	0.99799	95,810	95,906	3,552,797
41 years	0.00214	36.1	0.00213	0.99787	95,611	95,713	3,456,987
42 years	0.00234	35.2	0.00234	0.99766	95,397	95,509	3,361,376
43 years	0.00235	34.3	0.00234	0.99766	95,174	95,286	3,265,979
44 years	0.00251	33.4	0.00251	0.99749	94,943	95,062	3,170,805
45 years	0.00242	32.4	0.00241	0.99759	94,709	94,824	3,075,862
46 years	0.00314	31.5	0.00313	0.99687	94,446	94,595	2,981,153
47 years	0.00289	30.6	0.00289	0.99711	94,162	94,298	2,886,706

48 years	0.00303	29.7	0.00302	0.99698	93,884	94,026	2,792,544
49 years	0.00390	28.8	0.00389	0.99611	93,559	93,742	2,698,660
50 years	0.00430	27.9	0.00429	0.99571	93,177	93,377	2,605,101
51 years	0.00479	27.0	0.00478	0.99522	92,754	92,977	2,511,924
52 years	0.00491	26.1	0.00490	0.99510	92,305	92,532	2,419,170
53 years	0.00584	25.3	0.00582	0.99418	91,810	92,078	2,326,864
54 years	0.00617	24.4	0.00615	0.99385	91,261	91,542	2,235,054
55 years	0.00683	23.6	0.00681	0.99319	90,670	90,979	2,143,793
56 years	0.00787	22.7	0.00784	0.99216	90,006	90,360	2,053,124
57 years	0.00889	21.9	0.00885	0.99115	89,255	89,652	1,963,118
58 years	0.00885	21.1	0.00881	0.99119	88,467	88,858	1,873,863
59 years	0.01022	20.3	0.01017	0.98983	87,628	88,076	1,785,396
60 years	0.01181	19.5	0.01174	0.98826	86,668	87,180	1,697,768
61 years	0.01192	18.7	0.01185	0.98815	85,646	86,156	1,611,100
62 years	0.01421	17.9	0.01411	0.98589	84,535	85,136	1,525,454
63 years	0.01630	17.2	0.01616	0.98384	83,256	83,935	1,440,919
64 years	0.01728	16.4	0.01713	0.98287	81,870	82,578	1,357,663
65 years	0.01815	15.7	0.01798	0.98202	80,433	81,163	1,275,792
66 years	0.02083	15.0	0.02061	0.97939	78,882	79,703	1,195,359
67 years	0.02212	14.3	0.02188	0.97812	77,207	78,060	1,116,477
68 years	0.02521	13.6	0.02490	0.97510	75,402	76,353	1,039,270
69 years	0.02998	12.9	0.02953	0.97047	73,352	74,452	963,868
70 years	0.03427	12.3	0.03369	0.96631	71,036	72,253	890,516
71 years	0.03263	11.7	0.03210	0.96790	68,698	69,819	819,480
72 years	0.03729	11.1	0.03661	0.96339	66,340	67,577	750,782
73 years	0.04183	10.5	0.04097	0.95903	63,770	65,103	684,442
74 years	0.05010	9.9	0.04888	0.95112	60,910	62,436	620,672
75 years	0.05577	9.4	0.05426	0.94574	57,773	59,384	559,762
76 years	0.05618	8.9	0.05464	0.94536	54,628	56,162	501,988
77 years	0.06777	8.4	0.06554	0.93446	51,353	53,093	447,361
78 years	0.06746	8.0	0.06526	0.93474	47,995	49,613	396,007
79 years	0.07496	7.5	0.07225	0.92775	44,700	46,376	348,013
80 years	0.08581	7.0	0.08228	0.91772	41,255	43,025	303,312
81 years	0.09252	6.6	0.08843	0.91157	37,739	39,485	262,057
82 years	0.10163	6.2	0.09672	0.90328	34,253	35,993	224,319
83 years	0.11444	5.8	0.10824	0.89176	30,752	32,512	190,066
84 years	0.12454	5.5	0.11724	0.88276	27,293	28,993	159,314
85+ years	0.19386	5.2	1.00000	0.00000	132,020	25,594	132,020

Period Life Table, Males, Greece, 2000							
AGE/INDIC_DE	Mx	ex	gx	px	Lx	lx	Tx
Less than 1 year	0.00683	75.9	0.00679	0.99321	99,457	100,000	7,588,199
1 year	0.00035	75.4	0.00035	0.99965	99,303	99,321	7,488,742
2 years	0.00027	74.4	0.00027	0.99973	99,273	99,286	7,389,439
3 years	0.00010	73.4	0.00010	0.99990	99,254	99,259	7,290,166
4 years	0.00015	72.5	0.00015	0.99985	99,242	99,250	7,190,912
5 years	0.00017	71.5	0.00017	0.99983	99,226	99,234	7,091,670
6 years	0.00009	70.5	0.00009	0.99991	99,213	99,217	6,992,444
7 years	0.00023	69.5	0.00023	0.99977	99,197	99,208	6,893,231
8 years	0.00013	68.5	0.00013	0.99987	99,179	99,186	6,794,034
9 years	0.00006	67.5	0.00006	0.99994	99,170	99,173	6,694,855
10 years	0.00018	66.5	0.00018	0.99982	99,158	99,167	6,595,685
11 years	0.00009	65.5	0.00009	0.99991	99,145	99,149	6,496,527
12 years	0.00011	64.5	0.00011	0.99989	99,135	99,140	6,397,382
13 years	0.00027	63.5	0.00027	0.99973	99,116	99,130	6,298,247
14 years	0.00024	62.6	0.00024	0.99976	99,091	99,103	6,199,131
15 years	0.00041	61.6	0.00041	0.99959	99,058	99,079	6,100,040
16 years	0.00041	60.6	0.00041	0.99959	99,017	99,038	6,000,982
17 years	0.00069	59.6	0.00069	0.99931	98,963	98,997	5,901,965

18 years	0.00109	58.7	0.00109	0.99891	98,875	98,929	5,803,002
19 years	0.00100	57.7	0.00100	0.99900	98,772	98,822	5,704,126
20 years	0.00118	56.8	0.00118	0.99882	98,665	98,723	5,605,354
21 years	0.00114	55.8	0.00114	0.99886	98,550	98,606	5,506,689
22 years	0.00110	54.9	0.00110	0.99890	98,440	98,494	5,408,139
23 years	0.00104	54.0	0.00104	0.99896	98,335	98,386	5,309,699
24 years	0.00119	53.0	0.00119	0.99881	98,225	98,284	5,211,364
25 years	0.00128	52.1	0.00128	0.99872	98,104	98,167	5,113,139
26 years	0.00102	51.2	0.00102	0.99898	97,991	98,041	5,015,035
27 years	0.00097	50.2	0.00097	0.99903	97,893	97,941	4,917,044
28 years	0.00098	49.3	0.00098	0.99902	97,798	97,846	4,819,150
29 years	0.00107	48.3	0.00107	0.99893	97,697	97,750	4,721,353
30 years	0.00111	47.4	0.00111	0.99889	97,591	97,645	4,623,655
31 years	0.00091	46.4	0.00091	0.99909	97,493	97,537	4,526,064
32 years	0.00111	45.4	0.00111	0.99889	97,394	97,448	4,428,572
33 years	0.00117	44.5	0.00117	0.99883	97,283	97,340	4,331,178
34 years	0.00143	43.5	0.00143	0.99857	97,156	97,226	4,233,895
35 years	0.00128	42.6	0.00128	0.99872	97,024	97,087	4,136,739
36 years	0.00165	41.7	0.00165	0.99835	96,882	96,962	4,039,714
37 years	0.00152	40.7	0.00152	0.99848	96,728	96,802	3,942,832
38 years	0.00193	39.8	0.00193	0.99807	96,562	96,655	3,846,104
39 years	0.00161	38.9	0.00161	0.99839	96,391	96,468	3,749,542
40 years	0.00197	37.9	0.00197	0.99803	96,218	96,313	3,653,152
41 years	0.00200	37.0	0.00200	0.99800	96,027	96,123	3,556,933
42 years	0.00238	36.1	0.00238	0.99762	95,817	95,931	3,460,906
43 years	0.00245	35.2	0.00245	0.99755	95,585	95,703	3,365,089
44 years	0.00268	34.2	0.00268	0.99732	95,340	95,468	3,269,504
45 years	0.00291	33.3	0.00290	0.99710	95,074	95,212	3,174,164
46 years	0.00306	32.4	0.00305	0.99695	94,791	94,936	3,079,090
47 years	0.00332	31.5	0.00331	0.99669	94,489	94,646	2,984,299
48 years	0.00394	30.6	0.00394	0.99606	94,147	94,333	2,889,809
49 years	0.00417	29.8	0.00416	0.99584	93,766	93,961	2,795,662
50 years	0.00427	28.9	0.00426	0.99574	93,372	93,571	2,701,896
51 years	0.00489	28.0	0.00488	0.99512	92,945	93,172	2,608,525
52 years	0.00578	27.1	0.00576	0.99424	92,450	92,718	2,515,580
53 years	0.00634	26.3	0.00632	0.99368	91,892	92,183	2,423,129
54 years	0.00655	25.4	0.00653	0.99347	91,302	91,601	2,331,237
55 years	0.00695	24.6	0.00692	0.99308	90,688	91,003	2,239,935
56 years	0.00766	23.8	0.00763	0.99237	90,028	90,373	2,149,248
57 years	0.00829	23.0	0.00826	0.99174	89,313	89,683	2,059,220
58 years	0.00893	22.1	0.00889	0.99111	88,548	88,943	1,969,906
59 years	0.00959	21.3	0.00955	0.99045	87,732	88,153	1,881,359
60 years	0.01056	20.5	0.01051	0.98949	86,852	87,311	1,793,627
61 years	0.01196	19.8	0.01189	0.98811	85,880	86,394	1,706,775
62 years	0.01299	19.0	0.01291	0.98709	84,816	85,367	1,620,894
63 years	0.01412	18.2	0.01402	0.98598	83,674	84,265	1,536,079
64 years	0.01498	17.5	0.01487	0.98513	82,465	83,083	1,452,405
65 years	0.01643	16.7	0.01630	0.98370	81,180	81,847	1,369,940
66 years	0.01906	16.0	0.01888	0.98112	79,753	80,513	1,288,759
67 years	0.01886	15.3	0.01869	0.98131	78,255	78,993	1,209,006
68 years	0.02207	14.6	0.02183	0.97817	76,671	77,517	1,130,751
69 years	0.02523	13.9	0.02492	0.97508	74,880	75,825	1,054,080
70 years	0.02617	13.2	0.02583	0.97417	72,981	73,936	979,200
71 years	0.02975	12.6	0.02932	0.97068	70,970	72,026	906,219
72 years	0.03455	11.9	0.03397	0.96603	68,727	69,914	835,249
73 years	0.03893	11.3	0.03819	0.96181	66,250	67,540	766,522
74 years	0.04036	10.8	0.03956	0.96044	63,676	64,960	700,271
75 years	0.04471	10.2	0.04374	0.95626	61,026	62,391	636,596
76 years	0.05116	9.6	0.04989	0.95011	58,174	59,662	575,569
77 years	0.05876	9.1	0.05708	0.94292	55,068	56,686	517,396

78 years	0.05972	8.6	0.05799	0.94201	51,900	53,450	462,328
79 years	0.07570	8.2	0.07294	0.92706	48,514	50,350	410,428
80 years	0.07814	7.8	0.07521	0.92479	44,923	46,678	361,914
81 years	0.07556	7.3	0.07281	0.92719	41,596	43,167	316,991
82 years	0.09352	6.9	0.08934	0.91066	38,237	40,025	275,395
83 years	0.11952	6.5	0.11278	0.88722	34,393	36,449	237,158
84 years	0.13407	6.3	0.12564	0.87436	30,307	32,338	202,765
85+ years	0.16395	6.1	1.00000	0.00000	172,458	28,275	172,458

Period Life Table, Males, Greece, 2010							
AGE/INDIC_DE	Mx	ex	gx	px	Lx	lx	Tx
Less than 1 year	0.00407	78.0	0.00405	0.99595	99,676	100,000	7,796,619
1 year	0.00034	77.3	0.00034	0.99966	99,578	99,595	7,696,943
2 years	0.00011	76.3	0.00011	0.99989	99,555	99,560	7,597,366
3 years	0.00013	75.3	0.00013	0.99987	99,544	99,550	7,497,810
4 years	0.00016	74.3	0.00016	0.99984	99,529	99,537	7,398,267
5 years	0.00015	73.3	0.00015	0.99985	99,514	99,521	7,298,737
6 years	0.00011	72.3	0.00011	0.99989	99,501	99,507	7,199,223
7 years	0.00013	71.4	0.00013	0.99987	99,489	99,496	7,099,722
8 years	0.00011	70.4	0.00011	0.99989	99,477	99,483	7,000,233
9 years	0.00011	69.4	0.00011	0.99989	99,467	99,472	6,900,755
10 years	0.00018	68.4	0.00018	0.99982	99,452	99,461	6,801,289
11 years	0.00004	67.4	0.00004	0.99996	99,441	99,443	6,701,837
12 years	0.00013	66.4	0.00013	0.99987	99,433	99,439	6,602,396
13 years	0.00007	65.4	0.00007	0.99993	99,423	99,427	6,502,963
14 years	0.00014	64.4	0.00014	0.99986	99,412	99,419	6,403,540
15 years	0.00023	63.4	0.00023	0.99977	99,394	99,405	6,304,128
16 years	0.00055	62.4	0.00055	0.99945	99,355	99,382	6,204,734
17 years	0.00057	61.5	0.00057	0.99943	99,299	99,327	6,105,379
18 years	0.00063	60.5	0.00063	0.99937	99,240	99,271	6,006,080
19 years	0.00077	59.5	0.00077	0.99923	99,171	99,209	5,906,840
20 years	0.00089	58.6	0.00089	0.99911	99,088	99,132	5,807,670
21 years	0.00077	57.6	0.00077	0.99923	99,006	99,044	5,708,582
22 years	0.00073	56.7	0.00073	0.99927	98,932	98,968	5,609,576
23 years	0.00086	55.7	0.00086	0.99914	98,853	98,896	5,510,644
24 years	0.00094	54.8	0.00094	0.99906	98,765	98,811	5,411,791
25 years	0.00085	53.8	0.00085	0.99915	98,677	98,718	5,313,026
26 years	0.00109	52.9	0.00109	0.99891	98,581	98,635	5,214,350
27 years	0.00112	51.9	0.00112	0.99888	98,472	98,527	5,115,769
28 years	0.00094	51.0	0.00094	0.99906	98,371	98,417	5,017,297
29 years	0.00113	50.0	0.00113	0.99887	98,269	98,325	4,918,926
30 years	0.00110	49.1	0.00110	0.99890	98,160	98,214	4,820,657
31 years	0.00109	48.1	0.00109	0.99891	98,053	98,106	4,722,497
32 years	0.00102	47.2	0.00102	0.99898	97,950	97,999	4,624,444
33 years	0.00115	46.2	0.00115	0.99885	97,843	97,900	4,526,494
34 years	0.00126	45.3	0.00126	0.99874	97,725	97,787	4,428,651
35 years	0.00121	44.3	0.00121	0.99879	97,605	97,664	4,330,926
36 years	0.00110	43.4	0.00110	0.99890	97,493	97,546	4,233,321
37 years	0.00121	42.4	0.00121	0.99879	97,381	97,439	4,135,828
38 years	0.00144	41.5	0.00144	0.99856	97,252	97,322	4,038,447
39 years	0.00123	40.6	0.00123	0.99877	97,122	97,182	3,941,196
40 years	0.00164	39.6	0.00164	0.99836	96,983	97,062	3,844,073
41 years	0.00169	38.7	0.00169	0.99831	96,821	96,903	3,747,091
42 years	0.00187	37.7	0.00187	0.99813	96,649	96,739	3,650,270
43 years	0.00185	36.8	0.00185	0.99815	96,469	96,558	3,553,621
44 years	0.00222	35.9	0.00221	0.99779	96,273	96,379	3,457,153
45 years	0.00241	34.9	0.00240	0.99760	96,050	96,166	3,360,880
46 years	0.00272	34.0	0.00271	0.99729	95,805	95,935	3,264,830
47 years	0.00308	33.1	0.00308	0.99692	95,527	95,674	3,169,025

48 years	0.00342	32.2	0.00341	0.99659	95,217	95,380	3,073,498
49 years	0.00365	31.3	0.00364	0.99636	94,881	95,054	2,978,281
50 years	0.00382	30.4	0.00381	0.99619	94,528	94,708	2,883,399
51 years	0.00449	29.6	0.00448	0.99552	94,136	94,347	2,788,872
52 years	0.00533	28.7	0.00532	0.99468	93,675	93,925	2,694,736
53 years	0.00535	27.8	0.00534	0.99466	93,176	93,425	2,601,061
54 years	0.00580	27.0	0.00579	0.99421	92,658	92,926	2,507,885
55 years	0.00634	26.1	0.00632	0.99368	92,097	92,389	2,415,227
56 years	0.00723	25.3	0.00720	0.99280	91,474	91,804	2,323,131
57 years	0.00797	24.5	0.00793	0.99207	90,782	91,144	2,231,657
58 years	0.00867	23.7	0.00863	0.99137	90,030	90,420	2,140,875
59 years	0.00910	22.9	0.00906	0.99094	89,234	89,640	2,050,845
60 years	0.01015	22.1	0.01010	0.98990	88,379	88,828	1,961,611
61 years	0.00955	21.3	0.00950	0.99050	87,513	87,930	1,873,232
62 years	0.01156	20.5	0.01150	0.98850	86,594	87,095	1,785,719
63 years	0.01214	19.7	0.01207	0.98793	85,574	86,094	1,699,125
64 years	0.01463	19.0	0.01453	0.98547	84,437	85,054	1,613,550
65 years	0.01420	18.2	0.01410	0.98590	83,228	83,819	1,529,114
66 years	0.01544	17.5	0.01532	0.98468	82,004	82,637	1,445,886
67 years	0.01434	16.8	0.01424	0.98576	80,792	81,371	1,363,881
68 years	0.01595	16.0	0.01582	0.98418	79,578	80,213	1,283,089
69 years	0.01905	15.2	0.01887	0.98113	78,199	78,944	1,203,511
70 years	0.02152	14.5	0.02129	0.97871	76,629	77,454	1,125,312
71 years	0.02317	13.8	0.02290	0.97710	74,937	75,805	1,048,682
72 years	0.02583	13.1	0.02550	0.97450	73,124	74,069	973,746
73 years	0.02753	12.5	0.02715	0.97285	71,200	72,180	900,622
74 years	0.03166	11.8	0.03117	0.96883	69,125	70,220	829,422
75 years	0.03692	11.2	0.03625	0.96375	66,798	68,031	760,296
76 years	0.04212	10.6	0.04125	0.95875	64,213	65,565	693,498
77 years	0.04227	10.0	0.04139	0.95861	61,560	62,861	629,286
78 years	0.04813	9.4	0.04700	0.95300	58,843	60,259	567,726
79 years	0.05631	8.9	0.05477	0.94523	55,854	57,427	508,883
80 years	0.06350	8.3	0.06154	0.93846	52,611	54,281	453,029
81 years	0.06830	7.9	0.06604	0.93396	49,259	50,941	400,418
82 years	0.08171	7.4	0.07851	0.92149	45,709	47,577	351,159
83 years	0.09076	7.0	0.08682	0.91318	41,938	43,842	305,450
84 years	0.10140	6.6	0.09651	0.90349	38,103	40,035	263,512
85+ years	0.16047	6.2	1.00000	0.00000	225,408	36,172	225,408

Period Life Table, Males, Greece, 2020							
AGE/INDIC_DE	Mx	ex	gx	px	Lx	lx	Tx
Less than 1 year	0.00369	78.8	0.00368	0.99632	99,705	100,000	7,881,963
1 year	0.00025	78.1	0.00025	0.99975	99,620	99,632	7,782,257
2 years	0.00009	77.1	0.00009	0.99991	99,603	99,607	7,682,638
3 years	0.00016	76.1	0.00016	0.99984	99,591	99,599	7,583,035
4 years	0.00004	75.1	0.00004	0.99996	99,581	99,583	7,483,444
5 years	0.00008	74.2	0.00008	0.99992	99,575	99,579	7,383,863
6 years	0.00012	73.2	0.00012	0.99988	99,565	99,571	7,284,288
7 years	0.00012	72.2	0.00012	0.99988	99,553	99,559	7,184,724
8 years	0.00009	71.2	0.00009	0.99991	99,542	99,547	7,085,171
9 years	0.00005	70.2	0.00005	0.99995	99,535	99,538	6,985,629
10 years	0.00007	69.2	0.00007	0.99993	99,529	99,532	6,886,094
11 years	0.00010	68.2	0.00010	0.99990	99,520	99,525	6,786,565
12 years	0.00007	67.2	0.00007	0.99993	99,512	99,515	6,687,044
13 years	0.00007	66.2	0.00007	0.99993	99,505	99,508	6,587,533
14 years	0.00011	65.2	0.00011	0.99989	99,496	99,501	6,488,028
15 years	0.00007	64.2	0.00007	0.99993	99,487	99,491	6,388,532
16 years	0.00018	63.2	0.00018	0.99982	99,475	99,483	6,289,045
17 years	0.00021	62.2	0.00021	0.99979	99,456	99,466	6,189,570

18 years	0.00033	61.2	0.00033	0.99967	99,429	99,445	6,090,115
19 years	0.00060	60.3	0.00060	0.99940	99,383	99,413	5,990,686
20 years	0.00054	59.3	0.00054	0.99946	99,326	99,353	5,891,303
21 years	0.00053	58.3	0.00053	0.99947	99,273	99,299	5,791,977
22 years	0.00063	57.4	0.00063	0.99937	99,216	99,247	5,692,703
23 years	0.00056	56.4	0.00056	0.99944	99,157	99,184	5,593,488
24 years	0.00061	55.4	0.00061	0.99939	99,099	99,129	5,494,331
25 years	0.00079	54.5	0.00079	0.99921	99,029	99,068	5,395,232
26 years	0.00056	53.5	0.00056	0.99944	98,963	98,990	5,296,203
27 years	0.00061	52.5	0.00061	0.99939	98,904	98,935	5,197,240
28 years	0.00059	51.6	0.00059	0.99941	98,845	98,874	5,098,336
29 years	0.00067	50.6	0.00067	0.99933	98,782	98,815	4,999,491
30 years	0.00087	49.6	0.00087	0.99913	98,706	98,750	4,900,709
31 years	0.00060	48.7	0.00060	0.99940	98,633	98,663	4,802,002
32 years	0.00093	47.7	0.00093	0.99907	98,558	98,604	4,703,369
33 years	0.00064	46.7	0.00064	0.99936	98,481	98,512	4,604,811
34 years	0.00098	45.8	0.00098	0.99902	98,401	98,449	4,506,330
35 years	0.00105	44.8	0.00105	0.99895	98,301	98,353	4,407,929
36 years	0.00083	43.9	0.00083	0.99917	98,209	98,250	4,309,628
37 years	0.00116	42.9	0.00116	0.99884	98,112	98,169	4,211,418
38 years	0.00103	41.9	0.00102	0.99898	98,004	98,055	4,113,307
39 years	0.00124	41.0	0.00124	0.99876	97,894	97,954	4,015,302
40 years	0.00126	40.0	0.00126	0.99874	97,772	97,833	3,917,409
41 years	0.00144	39.1	0.00144	0.99856	97,640	97,710	3,819,637
42 years	0.00170	38.1	0.00169	0.99831	97,487	97,569	3,721,997
43 years	0.00166	37.2	0.00166	0.99834	97,323	97,404	3,624,511
44 years	0.00171	36.3	0.00171	0.99829	97,159	97,243	3,527,188
45 years	0.00203	35.3	0.00203	0.99797	96,978	97,076	3,430,028
46 years	0.00216	34.4	0.00216	0.99784	96,774	96,879	3,333,050
47 years	0.00252	33.5	0.00252	0.99748	96,548	96,670	3,236,276
48 years	0.00286	32.6	0.00286	0.99714	96,288	96,426	3,139,728
49 years	0.00323	31.7	0.00322	0.99678	95,996	96,151	3,043,440
50 years	0.00363	30.8	0.00362	0.99638	95,667	95,841	2,947,444
51 years	0.00351	29.9	0.00350	0.99650	95,326	95,494	2,851,777
52 years	0.00453	29.0	0.00452	0.99548	94,944	95,159	2,756,451
53 years	0.00537	28.1	0.00536	0.99464	94,475	94,728	2,661,507
54 years	0.00520	27.2	0.00519	0.99481	93,977	94,221	2,567,032
55 years	0.00679	26.4	0.00676	0.99324	93,415	93,732	2,473,056
56 years	0.00654	25.6	0.00652	0.99348	92,795	93,099	2,379,640
57 years	0.00749	24.7	0.00747	0.99253	92,146	92,492	2,286,845
58 years	0.00834	23.9	0.00831	0.99169	91,420	91,801	2,194,699
59 years	0.00968	23.1	0.00963	0.99037	90,600	91,039	2,103,279
60 years	0.01010	22.3	0.01005	0.98995	89,709	90,162	2,012,679
61 years	0.01124	21.5	0.01118	0.98882	88,756	89,255	1,922,970
62 years	0.01204	20.8	0.01197	0.98803	87,729	88,257	1,834,213
63 years	0.01230	20.0	0.01223	0.98777	86,668	87,201	1,746,484
64 years	0.01451	19.3	0.01440	0.98560	85,515	86,135	1,659,816
65 years	0.01563	18.5	0.01551	0.98449	84,236	84,894	1,574,301
66 years	0.01641	17.8	0.01628	0.98372	82,898	83,578	1,490,065
67 years	0.01732	17.1	0.01717	0.98283	81,512	82,218	1,407,167
68 years	0.02071	16.4	0.02050	0.97950	79,978	80,806	1,325,656
69 years	0.02175	15.7	0.02152	0.97848	78,298	79,149	1,245,678
70 years	0.02121	15.1	0.02098	0.97902	76,634	77,446	1,167,380
71 years	0.02347	14.4	0.02320	0.97680	74,942	75,821	1,090,747
72 years	0.02590	13.7	0.02557	0.97443	73,115	74,062	1,015,805
73 years	0.03118	13.1	0.03070	0.96930	71,060	72,168	942,690
74 years	0.03270	12.5	0.03218	0.96782	68,827	69,953	871,629
75 years	0.03539	11.9	0.03477	0.96523	66,525	67,702	802,802
76 years	0.03733	11.3	0.03665	0.96335	64,150	65,347	736,278
77 years	0.03407	10.7	0.03350	0.96650	61,898	62,953	672,128

78 years	0.04323	10.0	0.04231	0.95769	59,557	60,844	610,229
79 years	0.05097	9.5	0.04970	0.95030	56,821	58,269	550,673
80 years	0.05842	8.9	0.05676	0.94324	53,802	55,373	493,851
81 years	0.06143	8.4	0.05960	0.94040	50,674	52,230	440,050
82 years	0.07019	7.9	0.06781	0.93219	47,452	49,117	389,376
83 years	0.07752	7.5	0.07463	0.92537	44,078	45,787	341,924
84 years	0.09022	7.0	0.08633	0.91367	40,541	42,370	297,846
85+ years	0.15045	6.6	1.00000	0.00000	257,305	38,712	257,305
Period Life Table, Females, Greece, 1990							
AGE/INDIC_DE	Mx	ex	gx	px	Lx	lx	Tx
Less than 1 year	0.00936	79.5	0.00929	0.99071	99,257	100,000	7,954,848
1 year	0.00053	79.3	0.00053	0.99947	99,045	99,071	7,855,591
2 years	0.00021	78.3	0.00021	0.99979	99,008	99,018	7,756,547
3 years	0.00011	77.4	0.00011	0.99989	98,992	98,998	7,657,539
4 years	0.00019	76.4	0.00019	0.99981	98,977	98,986	7,558,547
5 years	0.00020	75.4	0.00020	0.99980	98,957	98,967	7,459,570
6 years	0.00016	74.4	0.00016	0.99984	98,939	98,947	7,360,613
7 years	0.00021	73.4	0.00021	0.99979	98,921	98,932	7,261,673
8 years	0.00019	72.4	0.00019	0.99981	98,901	98,910	7,162,752
9 years	0.00013	71.4	0.00013	0.99987	98,886	98,892	7,063,851
10 years	0.00019	70.4	0.00019	0.99981	98,870	98,879	6,964,965
11 years	0.00015	69.5	0.00015	0.99985	98,853	98,861	6,866,095
12 years	0.00011	68.5	0.00011	0.99989	98,840	98,846	6,767,242
13 years	0.00008	67.5	0.00008	0.99992	98,831	98,835	6,668,402
14 years	0.00015	66.5	0.00015	0.99985	98,819	98,827	6,569,571
15 years	0.00016	65.5	0.00016	0.99984	98,804	98,812	6,470,752
16 years	0.00023	64.5	0.00023	0.99977	98,785	98,796	6,371,948
17 years	0.00019	63.5	0.00019	0.99981	98,764	98,774	6,273,163
18 years	0.00035	62.5	0.00035	0.99965	98,738	98,755	6,174,399
19 years	0.00042	61.5	0.00042	0.99958	98,700	98,720	6,075,661
20 years	0.00039	60.6	0.00039	0.99961	98,660	98,679	5,976,962
21 years	0.00039	59.6	0.00039	0.99961	98,621	98,640	5,878,302
22 years	0.00042	58.6	0.00042	0.99958	98,582	98,602	5,779,680
23 years	0.00042	57.6	0.00042	0.99958	98,540	98,561	5,681,099
24 years	0.00029	56.7	0.00029	0.99971	98,505	98,520	5,582,559
25 years	0.00055	55.7	0.00055	0.99945	98,464	98,491	5,484,053
26 years	0.00046	54.7	0.00046	0.99954	98,414	98,437	5,385,589
27 years	0.00044	53.7	0.00044	0.99956	98,370	98,392	5,287,175
28 years	0.00046	52.8	0.00046	0.99954	98,326	98,349	5,188,805
29 years	0.00051	51.8	0.00051	0.99949	98,279	98,304	5,090,479
30 years	0.00059	50.8	0.00058	0.99942	98,225	98,254	4,992,201
31 years	0.00053	49.8	0.00053	0.99947	98,170	98,196	4,893,976
32 years	0.00047	48.9	0.00047	0.99953	98,121	98,144	4,795,806
33 years	0.00038	47.9	0.00038	0.99962	98,079	98,097	4,697,685
34 years	0.00065	46.9	0.00065	0.99935	98,028	98,060	4,599,607
35 years	0.00070	45.9	0.00070	0.99930	97,962	97,996	4,501,578
36 years	0.00052	45.0	0.00052	0.99948	97,902	97,928	4,403,616
37 years	0.00059	44.0	0.00059	0.99941	97,848	97,877	4,305,714
38 years	0.00051	43.0	0.00051	0.99949	97,794	97,819	4,207,866
39 years	0.00091	42.0	0.00091	0.99909	97,725	97,769	4,110,072
40 years	0.00090	41.1	0.00090	0.99910	97,636	97,680	4,012,347
41 years	0.00094	40.1	0.00094	0.99906	97,546	97,592	3,914,711
42 years	0.00095	39.2	0.00095	0.99905	97,454	97,500	3,817,165
43 years	0.00106	38.2	0.00106	0.99894	97,356	97,407	3,719,711
44 years	0.00129	37.2	0.00129	0.99871	97,241	97,304	3,622,355
45 years	0.00133	36.3	0.00133	0.99867	97,114	97,179	3,525,113
46 years	0.00176	35.3	0.00176	0.99824	96,964	97,049	3,428,000
47 years	0.00174	34.4	0.00173	0.99827	96,795	96,879	3,331,035
48 years	0.00163	33.4	0.00163	0.99837	96,632	96,711	3,234,241
49 years	0.00222	32.5	0.00222	0.99778	96,446	96,553	3,137,609

50 years	0.00201	31.6	0.00201	0.99799	96,242	96,339	3,041,163
51 years	0.00201	30.6	0.00201	0.99799	96,049	96,145	2,944,921
52 years	0.00235	29.7	0.00234	0.99766	95,840	95,952	2,848,872
53 years	0.00255	28.8	0.00255	0.99745	95,605	95,727	2,753,032
54 years	0.00295	27.8	0.00294	0.99706	95,343	95,483	2,657,427
55 years	0.00299	26.9	0.00298	0.99702	95,061	95,202	2,562,084
56 years	0.00377	26.0	0.00376	0.99624	94,740	94,919	2,467,024
57 years	0.00393	25.1	0.00392	0.99608	94,376	94,562	2,372,283
58 years	0.00411	24.2	0.00410	0.99590	93,998	94,191	2,277,907
59 years	0.00502	23.3	0.00500	0.99500	93,570	93,805	2,183,909
60 years	0.00493	22.4	0.00491	0.99509	93,106	93,336	2,090,339
61 years	0.00617	21.5	0.00615	0.99385	92,591	92,877	1,997,233
62 years	0.00645	20.6	0.00643	0.99357	92,009	92,306	1,904,641
63 years	0.00774	19.8	0.00771	0.99229	91,359	91,713	1,812,632
64 years	0.00803	18.9	0.00800	0.99200	90,641	91,005	1,721,273
65 years	0.00860	18.1	0.00856	0.99144	89,891	90,277	1,630,632
66 years	0.01041	17.2	0.01035	0.98965	89,041	89,504	1,540,741
67 years	0.01310	16.4	0.01302	0.98698	88,001	88,577	1,451,700
68 years	0.01238	15.6	0.01230	0.98770	86,887	87,424	1,363,699
69 years	0.01609	14.8	0.01596	0.98404	85,660	86,349	1,276,813
70 years	0.02013	14.0	0.01993	0.98007	84,124	84,971	1,191,152
71 years	0.01994	13.3	0.01974	0.98026	82,455	83,277	1,107,028
72 years	0.02359	12.6	0.02331	0.97669	80,682	81,633	1,024,573
73 years	0.02775	11.8	0.02737	0.97263	78,639	79,730	943,892
74 years	0.03272	11.2	0.03219	0.96781	76,300	77,548	865,252
75 years	0.03778	10.5	0.03708	0.96292	73,660	75,052	788,953
76 years	0.03780	9.9	0.03710	0.96290	70,928	72,268	715,293
77 years	0.05128	9.3	0.05000	0.95000	67,848	69,587	644,365
78 years	0.04465	8.7	0.04367	0.95633	64,664	66,108	576,517
79 years	0.06006	8.1	0.05831	0.94169	61,378	63,221	511,853
80 years	0.07430	7.6	0.07164	0.92836	57,402	59,534	450,475
81 years	0.07603	7.1	0.07325	0.92675	53,245	55,269	393,073
82 years	0.09044	6.6	0.08653	0.91347	49,005	51,221	339,828
83 years	0.10511	6.2	0.09986	0.90014	44,453	46,789	290,823
84 years	0.11750	5.8	0.11098	0.88902	39,779	42,116	246,371
85+ years	0.18124	5.5	1.00000	0.00000	206,591	37,442	206,591

Period Life Table, Females, Greece, 2000							
AGE/INDIC_DE	Mx	ex	gx	px	Lx	lx	Tx
Less than 1 year	0.00519	81.3	0.00517	0.99483	99,586	100,000	8,132,583
1 year	0.00029	80.7	0.00029	0.99971	99,469	99,483	8,032,996
2 years	0.00004	79.8	0.00004	0.99996	99,452	99,454	7,933,528
3 years	0.00014	78.8	0.00014	0.99986	99,443	99,450	7,834,076
4 years	0.00016	77.8	0.00016	0.99984	99,428	99,436	7,734,633
5 years	0.00012	76.8	0.00012	0.99988	99,413	99,419	7,635,205
6 years	0.00016	75.8	0.00016	0.99984	99,399	99,407	7,535,792
7 years	0.00012	74.8	0.00012	0.99988	99,385	99,391	7,436,392
8 years	0.00010	73.8	0.00010	0.99990	99,374	99,379	7,337,007
9 years	0.00016	72.8	0.00016	0.99984	99,362	99,369	7,237,633
10 years	0.00012	71.8	0.00012	0.99988	99,348	99,354	7,138,271
11 years	0.00011	70.9	0.00011	0.99989	99,337	99,342	7,038,923
12 years	0.00004	69.9	0.00004	0.99996	99,329	99,331	6,939,586
13 years	0.00007	68.9	0.00007	0.99993	99,324	99,327	6,840,257
14 years	0.00017	67.9	0.00017	0.99983	99,312	99,320	6,740,934
15 years	0.00021	66.9	0.00021	0.99979	99,293	99,303	6,641,622
16 years	0.00019	65.9	0.00019	0.99981	99,273	99,282	6,542,330
17 years	0.00028	64.9	0.00028	0.99972	99,250	99,263	6,443,057
18 years	0.00041	63.9	0.00041	0.99959	99,216	99,236	6,343,807
19 years	0.00030	63.0	0.00030	0.99970	99,180	99,195	6,244,592

20 years	0.00029	62.0	0.00029	0.99971	99,151	99,166	6,145,411
21 years	0.00027	61.0	0.00027	0.99973	99,123	99,137	6,046,260
22 years	0.00043	60.0	0.00043	0.99957	99,089	99,110	5,947,137
23 years	0.00027	59.0	0.00027	0.99973	99,055	99,068	5,848,048
24 years	0.00034	58.0	0.00034	0.99966	99,025	99,041	5,748,993
25 years	0.00027	57.1	0.00027	0.99973	98,995	99,008	5,649,968
26 years	0.00030	56.1	0.00030	0.99970	98,966	98,981	5,550,974
27 years	0.00032	55.1	0.00032	0.99968	98,935	98,951	5,452,008
28 years	0.00036	54.1	0.00036	0.99964	98,902	98,919	5,353,073
29 years	0.00029	53.1	0.00029	0.99971	98,870	98,884	5,254,171
30 years	0.00035	52.1	0.00035	0.99965	98,838	98,855	5,155,301
31 years	0.00030	51.2	0.00030	0.99970	98,806	98,821	5,056,463
32 years	0.00032	50.2	0.00032	0.99968	98,775	98,791	4,957,657
33 years	0.00043	49.2	0.00043	0.99957	98,738	98,759	4,858,882
34 years	0.00048	48.2	0.00048	0.99952	98,693	98,717	4,760,144
35 years	0.00042	47.2	0.00042	0.99958	98,649	98,670	4,661,451
36 years	0.00053	46.3	0.00053	0.99947	98,603	98,629	4,562,802
37 years	0.00064	45.3	0.00064	0.99936	98,545	98,577	4,464,200
38 years	0.00081	44.3	0.00081	0.99919	98,474	98,514	4,365,655
39 years	0.00085	43.4	0.00085	0.99915	98,392	98,434	4,267,181
40 years	0.00063	42.4	0.00063	0.99937	98,319	98,350	4,168,789
41 years	0.00077	41.4	0.00077	0.99923	98,250	98,288	4,070,470
42 years	0.00107	40.4	0.00107	0.99893	98,159	98,212	3,972,220
43 years	0.00111	39.5	0.00111	0.99889	98,052	98,106	3,874,061
44 years	0.00103	38.5	0.00103	0.99897	97,947	97,997	3,776,009
45 years	0.00147	37.6	0.00147	0.99853	97,824	97,896	3,678,062
46 years	0.00127	36.6	0.00127	0.99873	97,691	97,753	3,580,238
47 years	0.00135	35.7	0.00135	0.99865	97,562	97,628	3,482,547
48 years	0.00170	34.7	0.00170	0.99830	97,413	97,496	3,384,985
49 years	0.00194	33.8	0.00194	0.99806	97,236	97,330	3,287,572
50 years	0.00177	32.8	0.00177	0.99823	97,056	97,142	3,190,336
51 years	0.00212	31.9	0.00212	0.99788	96,867	96,970	3,093,280
52 years	0.00220	31.0	0.00220	0.99780	96,658	96,764	2,996,413
53 years	0.00265	30.0	0.00265	0.99735	96,424	96,552	2,899,755
54 years	0.00267	29.1	0.00267	0.99733	96,167	96,296	2,803,331
55 years	0.00303	28.2	0.00303	0.99697	95,893	96,039	2,707,164
56 years	0.00309	27.3	0.00309	0.99691	95,600	95,748	2,611,271
57 years	0.00313	26.4	0.00312	0.99688	95,303	95,453	2,515,670
58 years	0.00357	25.4	0.00356	0.99644	94,985	95,154	2,420,367
59 years	0.00348	24.5	0.00348	0.99652	94,651	94,815	2,325,382
60 years	0.00381	23.6	0.00381	0.99619	94,306	94,486	2,230,731
61 years	0.00518	22.7	0.00516	0.99484	93,883	94,126	2,136,425
62 years	0.00578	21.8	0.00576	0.99424	93,370	93,640	2,042,542
63 years	0.00643	20.9	0.00641	0.99359	92,802	93,101	1,949,172
64 years	0.00610	20.1	0.00608	0.99392	92,223	92,504	1,856,369
65 years	0.00696	19.2	0.00694	0.99306	91,623	91,942	1,764,147
66 years	0.00866	18.3	0.00863	0.99137	90,910	91,304	1,672,524
67 years	0.00998	17.5	0.00993	0.99007	90,067	90,516	1,581,614
68 years	0.01090	16.6	0.01084	0.98916	89,132	89,617	1,491,547
69 years	0.01241	15.8	0.01234	0.98766	88,099	88,646	1,402,416
70 years	0.01454	15.0	0.01443	0.98557	86,921	87,552	1,314,317
71 years	0.01662	14.2	0.01648	0.98352	85,578	86,289	1,227,396
72 years	0.01991	13.5	0.01971	0.98029	84,030	84,867	1,141,818
73 years	0.02083	12.7	0.02061	0.97939	82,336	83,194	1,057,788
74 years	0.02322	12.0	0.02295	0.97705	80,544	81,479	975,452
75 years	0.02921	11.2	0.02879	0.97121	78,463	79,609	894,908
76 years	0.03403	10.6	0.03346	0.96654	76,024	77,317	816,445
77 years	0.03936	9.9	0.03860	0.96140	73,288	74,730	740,421
78 years	0.04291	9.3	0.04201	0.95799	70,337	71,846	667,133
79 years	0.05418	8.7	0.05275	0.94725	67,012	68,828	596,797

80 years	0.06236	8.1	0.06047	0.93953	63,226	65,197	529,785
81 years	0.06400	7.6	0.06201	0.93799	59,355	61,254	466,559
82 years	0.07768	7.1	0.07478	0.92522	55,307	57,456	407,204
83 years	0.10177	6.6	0.09684	0.90316	50,585	53,159	351,897
84 years	0.11019	6.3	0.10444	0.89556	45,504	48,011	301,311
85+ years	0.16808	5.9	1.00000	0.00000	255,807	42,997	255,807

Period Life Table, Females, Greece, 2010							
AGE/INDIC_DE	Mx	ex	gx	px	Lx	lx	Tx
Less than 1 year	0.00367	83.3	0.00365	0.99635	99,708	100,000	8,329,426
1 year	0.00021	82.6	0.00021	0.99979	99,624	99,635	8,229,719
2 years	0.00020	81.6	0.00020	0.99980	99,603	99,613	8,130,095
3 years	0.00007	80.6	0.00007	0.99993	99,589	99,593	8,030,492
4 years	0.00015	79.6	0.00015	0.99985	99,578	99,586	7,930,902
5 years	0.00013	78.7	0.00013	0.99987	99,564	99,570	7,831,324
6 years	0.00014	77.7	0.00014	0.99986	99,550	99,557	7,731,761
7 years	0.00010	76.7	0.00010	0.99990	99,539	99,544	7,632,210
8 years	0.00002	75.7	0.00002	0.99998	99,533	99,534	7,532,671
9 years	0.00008	74.7	0.00008	0.99992	99,528	99,532	7,433,138
10 years	0.00008	73.7	0.00008	0.99992	99,521	99,525	7,333,610
11 years	0.00010	72.7	0.00010	0.99990	99,512	99,517	7,234,089
12 years	0.00009	71.7	0.00009	0.99991	99,503	99,507	7,134,577
13 years	0.00019	70.7	0.00019	0.99981	99,489	99,498	7,035,074
14 years	0.00009	69.7	0.00009	0.99991	99,475	99,479	6,935,586
15 years	0.00017	68.7	0.00017	0.99983	99,462	99,470	6,836,111
16 years	0.00026	67.7	0.00026	0.99974	99,441	99,453	6,736,649
17 years	0.00018	66.8	0.00018	0.99982	99,419	99,428	6,637,209
18 years	0.00027	65.8	0.00027	0.99973	99,396	99,410	6,537,790
19 years	0.00020	64.8	0.00020	0.99980	99,373	99,383	6,438,394
20 years	0.00028	63.8	0.00028	0.99972	99,349	99,363	6,339,021
21 years	0.00041	62.8	0.00041	0.99959	99,315	99,335	6,239,672
22 years	0.00022	61.8	0.00022	0.99978	99,283	99,294	6,140,357
23 years	0.00025	60.9	0.00025	0.99975	99,260	99,272	6,041,073
24 years	0.00032	59.9	0.00032	0.99968	99,231	99,247	5,941,813
25 years	0.00027	58.9	0.00027	0.99973	99,202	99,215	5,842,582
26 years	0.00022	57.9	0.00022	0.99978	99,178	99,189	5,743,380
27 years	0.00020	56.9	0.00020	0.99980	99,157	99,167	5,644,202
28 years	0.00028	55.9	0.00028	0.99972	99,133	99,147	5,545,045
29 years	0.00032	54.9	0.00032	0.99968	99,104	99,120	5,445,911
30 years	0.00028	54.0	0.00028	0.99972	99,074	99,088	5,346,808
31 years	0.00035	53.0	0.00035	0.99965	99,043	99,061	5,247,733
32 years	0.00041	52.0	0.00041	0.99959	99,006	99,026	5,148,690
33 years	0.00030	51.0	0.00030	0.99970	98,970	98,985	5,049,684
34 years	0.00032	50.0	0.00032	0.99968	98,939	98,955	4,950,714
35 years	0.00050	49.0	0.00050	0.99950	98,898	98,923	4,851,775
36 years	0.00046	48.1	0.00046	0.99954	98,851	98,874	4,752,877
37 years	0.00038	47.1	0.00038	0.99962	98,810	98,828	4,654,026
38 years	0.00061	46.1	0.00061	0.99939	98,761	98,791	4,555,216
39 years	0.00073	45.1	0.00073	0.99927	98,696	98,731	4,456,454
40 years	0.00058	44.2	0.00058	0.99942	98,631	98,660	4,357,759
41 years	0.00080	43.2	0.00080	0.99920	98,563	98,603	4,259,127
42 years	0.00081	42.2	0.00081	0.99919	98,484	98,524	4,160,564
43 years	0.00102	41.3	0.00102	0.99898	98,394	98,444	4,062,080
44 years	0.00124	40.3	0.00124	0.99876	98,283	98,344	3,963,687
45 years	0.00117	39.4	0.00117	0.99883	98,165	98,222	3,865,404
46 years	0.00128	38.4	0.00128	0.99872	98,044	98,107	3,767,239
47 years	0.00132	37.4	0.00132	0.99868	97,917	97,981	3,669,195
48 years	0.00124	36.5	0.00123	0.99877	97,792	97,852	3,571,279
49 years	0.00173	35.5	0.00172	0.99828	97,647	97,731	3,473,487

50 years	0.00190	34.6	0.00190	0.99810	97,470	97,563	3,375,840
51 years	0.00203	33.7	0.00203	0.99797	97,279	97,378	3,278,370
52 years	0.00221	32.7	0.00221	0.99779	97,072	97,180	3,181,091
53 years	0.00223	31.8	0.00223	0.99777	96,857	96,965	3,084,019
54 years	0.00271	30.9	0.00270	0.99730	96,618	96,749	2,987,162
55 years	0.00292	30.0	0.00291	0.99709	96,346	96,487	2,890,544
56 years	0.00292	29.0	0.00291	0.99709	96,066	96,206	2,794,198
57 years	0.00349	28.1	0.00349	0.99651	95,758	95,926	2,698,132
58 years	0.00350	27.2	0.00349	0.99651	95,424	95,591	2,602,373
59 years	0.00345	26.3	0.00344	0.99656	95,093	95,257	2,506,949
60 years	0.00397	25.4	0.00396	0.99604	94,741	94,929	2,411,856
61 years	0.00386	24.5	0.00385	0.99615	94,372	94,554	2,317,115
62 years	0.00517	23.6	0.00516	0.99484	93,947	94,190	2,222,743
63 years	0.00523	22.7	0.00521	0.99479	93,459	93,704	2,128,796
64 years	0.00634	21.8	0.00632	0.99368	92,920	93,215	2,035,337
65 years	0.00651	21.0	0.00649	0.99351	92,325	92,626	1,942,416
66 years	0.00693	20.1	0.00691	0.99309	91,707	92,025	1,850,091
67 years	0.00658	19.2	0.00656	0.99344	91,089	91,389	1,758,384
68 years	0.00679	18.4	0.00676	0.99324	90,482	90,789	1,667,296
69 years	0.00954	17.5	0.00950	0.99050	89,747	90,175	1,576,813
70 years	0.01068	16.6	0.01062	0.98938	88,844	89,319	1,487,067
71 years	0.01179	15.8	0.01172	0.98828	87,852	88,370	1,398,222
72 years	0.01259	15.0	0.01251	0.98749	86,788	87,334	1,310,370
73 years	0.01511	14.2	0.01500	0.98500	85,595	86,241	1,223,582
74 years	0.01670	13.4	0.01657	0.98343	84,244	84,948	1,137,988
75 years	0.02121	12.6	0.02099	0.97901	82,664	83,541	1,053,744
76 years	0.02391	11.9	0.02363	0.97637	80,821	81,787	971,080
77 years	0.02783	11.1	0.02745	0.97255	78,759	79,855	890,259
78 years	0.03043	10.4	0.02998	0.97002	76,499	77,663	811,500
79 years	0.03792	9.8	0.03721	0.96279	73,933	75,335	735,002
80 years	0.04631	9.1	0.04527	0.95473	70,890	72,531	661,069
81 years	0.05327	8.5	0.05189	0.94811	67,452	69,248	590,179
82 years	0.06099	8.0	0.05918	0.94082	63,712	65,655	522,727
83 years	0.06924	7.4	0.06693	0.93307	59,702	61,769	459,015
84 years	0.08483	6.9	0.08138	0.91862	55,290	57,635	399,313
85+ years	0.15390	6.5	1.00000	0.00000	344,023	52,945	344,023

Period Life Table, Females, Greece, 2020							
AGE/INDIC_DE	Mx	ex	gx	px	Lx	lx	Tx
Less than 1 year	0.00275	83.9	0.00275	0.99725	99,780	100,000	8,387,913
1 year	0.00024	83.1	0.00024	0.99976	99,713	99,725	8,288,133
2 years	0.00016	82.1	0.00016	0.99984	99,694	99,702	8,188,419
3 years	0.00006	81.1	0.00006	0.99994	99,683	99,686	8,088,725
4 years	0.00008	80.1	0.00008	0.99992	99,675	99,680	7,989,042
5 years	0.00004	79.2	0.00004	0.99996	99,669	99,671	7,889,367
6 years	0.00006	78.2	0.00006	0.99994	99,664	99,667	7,789,698
7 years	0.00000	77.2	0.00000	1.00000	99,661	99,661	7,690,034
8 years	0.00004	76.2	0.00004	0.99996	99,659	99,661	7,590,373
9 years	0.00004	75.2	0.00004	0.99996	99,655	99,657	7,490,714
10 years	0.00002	74.2	0.00002	0.99998	99,652	99,653	7,391,059
11 years	0.00004	73.2	0.00004	0.99996	99,649	99,651	7,291,407
12 years	0.00009	72.2	0.00009	0.99991	99,643	99,648	7,191,758
13 years	0.00004	71.2	0.00004	0.99996	99,636	99,638	7,092,115
14 years	0.00004	70.2	0.00004	0.99996	99,633	99,635	6,992,478
15 years	0.00027	69.2	0.00027	0.99973	99,617	99,631	6,892,846
16 years	0.00014	68.2	0.00014	0.99986	99,597	99,604	6,793,228
17 years	0.00011	67.2	0.00011	0.99989	99,585	99,590	6,693,631
18 years	0.00013	66.2	0.00013	0.99987	99,572	99,579	6,594,046
19 years	0.00009	65.2	0.00009	0.99991	99,561	99,566	6,494,474

20 years	0.00009	64.2	0.00009	0.99991	99,552	99,556	6,394,913
21 years	0.00009	63.2	0.00009	0.99991	99,543	99,547	6,295,361
22 years	0.00011	62.2	0.00011	0.99989	99,532	99,538	6,195,819
23 years	0.00028	61.3	0.00028	0.99972	99,513	99,527	6,096,286
24 years	0.00017	60.3	0.00017	0.99983	99,490	99,499	5,996,774
25 years	0.00017	59.3	0.00017	0.99983	99,473	99,482	5,897,283
26 years	0.00017	58.3	0.00017	0.99983	99,457	99,465	5,797,810
27 years	0.00030	57.3	0.00030	0.99970	99,433	99,448	5,698,353
28 years	0.00022	56.3	0.00022	0.99978	99,407	99,418	5,598,920
29 years	0.00018	55.3	0.00018	0.99982	99,388	99,397	5,499,513
30 years	0.00033	54.3	0.00033	0.99967	99,363	99,379	5,400,125
31 years	0.00024	53.4	0.00024	0.99976	99,335	99,347	5,300,762
32 years	0.00034	52.4	0.00034	0.99966	99,306	99,323	5,201,427
33 years	0.00025	51.4	0.00025	0.99975	99,277	99,289	5,102,121
34 years	0.00036	50.4	0.00036	0.99964	99,246	99,264	5,002,845
35 years	0.00019	49.4	0.00019	0.99981	99,219	99,228	4,903,599
36 years	0.00055	48.4	0.00055	0.99945	99,182	99,210	4,804,380
37 years	0.00037	47.5	0.00037	0.99963	99,137	99,155	4,705,197
38 years	0.00057	46.5	0.00057	0.99943	99,090	99,118	4,606,060
39 years	0.00055	45.5	0.00055	0.99945	99,035	99,062	4,506,970
40 years	0.00060	44.5	0.00060	0.99940	98,978	99,008	4,407,935
41 years	0.00076	43.5	0.00076	0.99924	98,911	98,948	4,308,957
42 years	0.00091	42.6	0.00091	0.99909	98,828	98,873	4,210,046
43 years	0.00087	41.6	0.00087	0.99913	98,741	98,784	4,111,218
44 years	0.00097	40.7	0.00097	0.99903	98,650	98,698	4,012,477
45 years	0.00108	39.7	0.00108	0.99892	98,548	98,602	3,913,828
46 years	0.00135	38.7	0.00135	0.99865	98,429	98,495	3,815,279
47 years	0.00124	37.8	0.00124	0.99876	98,301	98,362	3,716,851
48 years	0.00136	36.8	0.00136	0.99864	98,174	98,240	3,618,549
49 years	0.00166	35.9	0.00166	0.99834	98,025	98,107	3,520,376
50 years	0.00168	34.9	0.00168	0.99832	97,862	97,944	3,422,350
51 years	0.00189	34.0	0.00189	0.99811	97,687	97,780	3,324,489
52 years	0.00219	33.1	0.00219	0.99781	97,488	97,595	3,226,801
53 years	0.00246	32.1	0.00246	0.99754	97,262	97,382	3,129,313
54 years	0.00272	31.2	0.00271	0.99729	97,011	97,142	3,032,051
55 years	0.00283	30.3	0.00283	0.99717	96,742	96,879	2,935,040
56 years	0.00300	29.4	0.00300	0.99700	96,460	96,605	2,838,299
57 years	0.00347	28.5	0.00346	0.99654	96,148	96,315	2,741,839
58 years	0.00364	27.6	0.00363	0.99637	95,807	95,982	2,645,690
59 years	0.00373	26.7	0.00373	0.99627	95,455	95,633	2,549,883
60 years	0.00462	25.8	0.00461	0.99539	95,057	95,277	2,454,428
61 years	0.00486	24.9	0.00485	0.99515	94,608	94,838	2,359,370
62 years	0.00496	24.0	0.00495	0.99505	94,145	94,378	2,264,762
63 years	0.00533	23.1	0.00532	0.99468	93,661	93,911	2,170,618
64 years	0.00565	22.2	0.00563	0.99437	93,149	93,412	2,076,957
65 years	0.00646	21.4	0.00644	0.99356	92,586	92,885	1,983,808
66 years	0.00785	20.5	0.00782	0.99218	91,927	92,287	1,891,222
67 years	0.00790	19.7	0.00786	0.99214	91,206	91,566	1,799,295
68 years	0.00901	18.8	0.00897	0.99103	90,438	90,846	1,708,089
69 years	0.00928	18.0	0.00924	0.99076	89,615	90,031	1,617,651
70 years	0.00879	17.1	0.00876	0.99124	88,808	89,199	1,528,036
71 years	0.01068	16.3	0.01062	0.98938	87,948	88,418	1,439,228
72 years	0.01314	15.4	0.01305	0.98695	86,908	87,479	1,351,280
73 years	0.01628	14.6	0.01615	0.98385	85,640	86,337	1,264,373
74 years	0.01624	13.9	0.01611	0.98389	84,258	84,943	1,178,733
75 years	0.01821	13.1	0.01804	0.98196	82,820	83,574	1,094,475
76 years	0.02200	12.3	0.02176	0.97824	81,173	82,066	1,011,655
77 years	0.02143	11.6	0.02121	0.97879	79,429	80,280	930,482
78 years	0.02670	10.8	0.02635	0.97365	77,543	78,578	851,053
79 years	0.03148	10.1	0.03099	0.96901	75,322	76,507	773,510

80 years	0.03820	9.4	0.03749	0.96251	72,747	74,136	698,188
81 years	0.04292	8.8	0.04201	0.95799	69,858	71,357	625,441
82 years	0.04926	8.1	0.04808	0.95192	66,716	68,359	555,583
83 years	0.05790	7.5	0.05627	0.94373	63,242	65,073	488,867
84 years	0.07267	6.9	0.07013	0.92987	59,258	61,411	425,625
85+ years	0.15587	6.4	1.00000	0.00000	366,367	57,105	366,367

Year	Mean Age At Death	IMR	Urbanization	GDP per capita	CDR
1990	80.0748	9.7	71.467	9600.185	9.2
1991	80.1972	9	71.635	10188.37	9.3
1992	80.06955	8.4	71.757	11176.46	9.4
1993	80.3174	8.5	71.878	10401.98	9.3
1994	80.5255	7.9	71.998	11091.28	9.3
1995	80.4671	8.1	72.119	12959.32	9.5
1996	80.59545	7.2	72.239	13749.12	9.5
1997	80.8253	6.4	72.358	13427.83	9.4
1998	81.0207	6.7	72.478	13472.14	9.6
1999	81.1682	6.2	72.597	13249.66	9.6
2000	81.29395	5.9	72.716	12072.93	9.7
2001	81.5767	5.1	72.913	12549.04	9.4
2002	81.7132	5.1	73.303	14177.57	9.5
2003	81.81895	4	73.689	18518.38	9.7
2004	82.02345	4.1	74.073	21995.48	9.6
2005	82.15005	3.8	74.452	22560.15	9.6
2006	82.43555	3.7	74.827	24821.94	9.6
2007	82.27575	3.5	75.199	28863.97	9.9
2008	82.8762	2.7	75.568	32127.98	9.7
2009	82.93445	3.1	75.932	29828.76	9.8
2010	83.64745	3.8	76.292	26716.65	9.8
2011	84.2599	3.4	76.649	25483.88	10
2012	83.74155	2.9	77.004	21913	10.6
2013	85.2811	3.7	77.355	21787.79	10.2
2014	85.0928	3.7	77.702	21616.71	10.4
2015	84.53445	4	78.046	18083.88	11.2
2016	85.0609	4.2	78.387	17923.97	11
2017	85.3811	3.5	78.724	18582.09	11.6
2018	85.5834	3.5	79.058	19756.99	11.2
2019	85.90385	3.7	79.388	19144.28	11.7
2020	85.01515	3.2	79.715	17658.95	12.2

Monthly Crude Death Rate, Greece, Jan1990-Dec2020								
	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
January	0.001041	0.000872	0.000999	0.000903	0.000885	0.00084	0.000911	0.0009
February	0.000807	0.000816	0.000901	0.000851	0.000792	0.000796	0.000854	0.000839
March	0.00082	0.000788	0.000882	0.000886	0.000805	0.000869	0.000909	0.000809
April	0.000732	0.000756	0.000735	0.000757	0.000737	0.000824	0.000813	0.00082
May	0.000724	0.000743	0.000732	0.000758	0.000758	0.000784	0.000757	0.000797
June	0.00069	0.000742	0.000704	0.000709	0.000668	0.000729	0.000697	0.000749
July	0.000714	0.000757	0.000717	0.000725	0.000765	0.000736	0.000727	0.00073
August	0.000727	0.000716	0.000771	0.00073	0.000783	0.000705	0.000732	0.000688
September	0.00065	0.000646	0.000644	0.000625	0.000653	0.000655	0.000659	0.000634
October	0.000709	0.000703	0.000715	0.000687	0.000717	0.000749	0.000739	0.000713
November	0.000733	0.000762	0.000724	0.000747	0.000766	0.000818	0.000743	0.000722
December	0.000792	0.000889	0.00085	0.000846	0.000858	0.000831	0.000782	0.000769
	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
January	0.000809	0.00085	0.001208	0.000826	0.000877	0.000827	0.000957	0.000841
February	0.000791	0.00087	0.000864	0.000736	0.000711	0.000781	0.000857	0.000844
March	0.000984	0.00091	0.000837	0.000797	0.000836	0.000945	0.000826	0.000872
April	0.000818	0.000766	0.000726	0.00076	0.000814	0.000884	0.000765	0.000764
May	0.000727	0.000736	0.000742	0.000768	0.000795	0.000792	0.000753	0.000773
June	0.000725	0.00073	0.000726	0.000722	0.000764	0.000787	0.000767	0.000734
July	0.000853	0.000758	0.000765	0.000818	0.000796	0.000765	0.000777	0.000789
August	0.000856	0.000779	0.000743	0.000779	0.000743	0.000746	0.000725	0.000781
September	0.000635	0.000679	0.00066	0.000684	0.000695	0.000626	0.000688	0.00067
October	0.000699	0.000719	0.000723	0.000714	0.000761	0.000759	0.000726	0.000776
November	0.000713	0.000743	0.000733	0.00077	0.000752	0.000752	0.000769	0.000784
December	0.000774	0.000855	0.000805	0.000888	0.000821	0.000836	0.000831	0.000829
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
January	0.000869	0.000986	0.000876	0.000898	0.000863	0.000905	0.000985	0.000952
February	0.000771	0.000809	0.000824	0.000811	0.0008	0.000853	0.001008	0.000841
March	0.000834	0.000872	0.000838	0.000981	0.000851	0.000883	0.001063	0.000928
April	0.000801	0.000828	0.000803	0.000834	0.000824	0.00084	0.00088	0.00083
May	0.000811	0.000771	0.000818	0.000801	0.000806	0.000843	0.000803	0.000831
June	0.00077	0.000858	0.000799	0.000767	0.000783	0.000783	0.000871	0.000803
July	0.000777	0.000892	0.000809	0.000807	0.000842	0.000883	0.000915	0.00084
August	0.000809	0.000803	0.000823	0.000777	0.000912	0.000807	0.000875	0.000858
September	0.000683	0.00071	0.000719	0.000716	0.000753	0.000739	0.000735	0.000751
October	0.000773	0.000753	0.000802	0.000796	0.000801	0.000805	0.000773	0.000819
November	0.000791	0.000788	0.000796	0.000791	0.000813	0.000853	0.000811	0.000827
December	0.000806	0.000837	0.000844	0.000818	0.000838	0.000901	0.000921	0.000961
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
January	0.00096	0.00121	0.001082	0.001387	0.001031	0.001235	0.001207	
February	0.000875	0.000992	0.000952	0.00101	0.000957	0.001014	0.001058	
March	0.000955	0.001027	0.000904	0.001001	0.001014	0.001036	0.001077	
April	0.000852	0.000934	0.000871	0.000937	0.000927	0.000953	0.000939	
May	0.000842	0.000863	0.00089	0.000877	0.000871	0.000955	0.000939	
June	0.000816	0.000823	0.000935	0.00089	0.000872	0.000969	0.000908	
July	0.000859	0.000926	0.000889	0.000977	0.000939	0.000956	0.000991	
August	0.000852	0.000909	0.000891	0.000958	0.000942	0.000982	0.001032	
September	0.000769	0.000805	0.00078	0.000804	0.000847	0.000859	0.000913	
October	0.000856	0.000848	0.000873	0.000898	0.000925	0.000896	0.000949	
November	0.000888	0.000907	0.000918	0.000909	0.00094	0.000925	0.001196	
December	0.000946	0.000969	0.001066	0.000997	0.001048	0.001039	0.001256	

