

ΠΜΣ ΒΙΟΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ

ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΙΑΤΡΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΚΙΚΑΚΗ ΒΑΣΙΛΙΚΗ

Χρήση μαθηματικών μοντέλων για την προσομοίωση της επιδημίας
COVID - 19 σε δομή μεταναστών στην Ελλάδα

ΑΘΗΝΑ, 2023

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο πλαίσιο των σπουδών για την απόκτηση του Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης στη

ΒΙΟΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ

που απονέμει η Ιατρική Σχολή και το Τμήμα Μαθηματικών του Εθνικού & Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών

Εγκρίθηκε την **6^η Φεβρουαρίου 2023** από την εξεταστική επιτροπή:

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ

ΒΑΘΜΙΑΔΑ

ΥΠΟΓΡΑΦΗ

Β. Σύψα (Επιβλέπουσα)

Καθηγήτρια

.....

Γ. Τουλούμη

Καθηγήτρια

PANAGIOTA TOULOUMI
30/05/2023.00:08

Σ. Τρέβεζας

Επίκουρος καθηγητής

Samis Trevezas
Samis Trevezas May 29 2023 8:14 PM

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της μεταπτυχιακής διπλωματικής μου εργασίας, θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στην επιβλέπουσά μου Καθηγήτρια κυρία Βάνα Σύψα. Η υποστήριξη και η διαθεσιμότητά της καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας αποτέλεσε σπουδαία αρωγή, παρέχοντας μεταξύ άλλων πολύτιμες συμβουλές και καθοδήγηση όπου κρίθηκε αναγκαίο.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τα μέλη της τριμελούς επιτροπής, την Καθηγήτρια κυρία Γιώτα Τουλούμη, καθώς και τον Επίκουρο Καθηγητή κύριο Σάμη Τρέβεζα.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω τον Εθνικό Οργανισμό Δημόσιας Υγείας για την παροχή ανώνυμων δεδομένων από τον έλεγχο SARS-CoV-2 στη δομή Μαυροβουνίου στη Λέσβο, ο οποίος διεξήχθη την περίοδο Μαΐου – Ιουλίου 2021.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | ΕΙΣΑΓΩΓΗ..... | 5 |
| 1.1 | COVID – 19 | 5 |
| 1.2 | Μετανάστες και COVID – 19 | 7 |
| 1.3 | Μαθηματικά μοντέλα και COVID – 19 | 12 |
| 1.4 | Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας..... | 15 |
| 2 | Προσφυγικό και COVID – 19 | 16 |
| 2.1 | Προσφυγική κρίση | 16 |
| 2.2 | Προσφυγικές δομές στην Ελλάδα | 22 |
| 2.2.1 | Νέο ΚΥΤ Λέσβου (Προσωρινή Δομή Μαυροβουνίου) – Πληθυσμιακή και ηλικιακή κατανομή - δημογραφικά χαρακτηριστικά..... | 29 |
| 2.3 | Διαχείριση της πανδημίας COVID – 19 στις δομές προσφύγων | 33 |
| 3 | Μαθηματικά μοντέλα για την πανδημία COVID – 19..... | 37 |
| 3.1 | Βασικές έννοιες στην επιδημιολογία λοιμωδών νοσημάτων..... | 37 |
| 3.2 | Εκτίμηση του βασικού αριθμού αναπαραγωγής (R_0) και του ενεργού αριθμού αναπαραγωγής 40 | |
| 3.3 | Ντετερμινιστικά μοντέλα για την πανδημία COVID – 19..... | 41 |
| 3.3.1 | Το SIR μοντέλο | 42 |
| 3.3.2 | Το SEIR μοντέλο | 47 |
| 3.4 | Μεθοδολογία που εφαρμόστηκε στα δεδομένα δομής μεταναστών | 50 |
| 3.4.1 | Εκτίμηση βασικού και ενεργού αριθμού αναπαραγωγής..... | 50 |
| 3.4.2 | Βασικό σενάριο (χωρίς παρεμβάσεις)..... | 51 |
| 3.4.3 | Ενσωμάτωση φαρμακευτικών και μη παρεμβάσεων | 53 |
| 3.4.3.1 | Ενσωμάτωση παρέμβασης με μείωση κοινωνικών επαφών | 54 |

| | | |
|---------|---|----|
| 3.4.3.2 | Ενσωμάτωση παρέμβασης με απομόνωση των ατόμων | 54 |
| 3.4.3.3 | Ενσωμάτωση παρέμβασης με εμβολιασμό των ατόμων | 57 |
| 3.4.3.4 | Συνδυασμός παρεμβάσεων (μείωση κοινωνικών επαφών κατά 40 % και εμβολιασμός) | |
| | 60 | |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 4 | Μαθηματικά μοντέλα προσομοίωσης της νόσου COVID – 19 στο ΚΥΤ Μαυροβουνίου στη Λέσβο..... | 61 |
| 4.1 | Δημογραφικά χαρακτηριστικά των ατόμων που διαγνώστηκαν θετικά στη νόσο COVID – 19 στο ΚΥΤ Μαυροβουνίου..... | 61 |
| 4.2 | Εφαρμογή μοντέλων για την προσομοίωση της νόσου COVID - 19 στο ΚΥΤ της Λέσβου | 63 |
| 4.2.1 | Σενάρια παρέμβασης με μέτρα κοινωνικής αποστασιοποίησης..... | 64 |
| 4.2.2 | Σενάρια παρέμβασης με απομόνωση των ατόμων..... | 74 |
| 4.2.3 | Σενάριο παρέμβασης με εμβολιασμό των ατόμων..... | 76 |
| 4.2.4 | Σενάριο παρέμβασης με εμβολιασμό και μείωση επαφών κατά 40 %..... | 77 |
| 5 | Συζήτηση – συμπεράσματα | 80 |
| | Περίληψη | 84 |
| | Abstract | 85 |
| | Βιβλιογραφία..... | 86 |

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

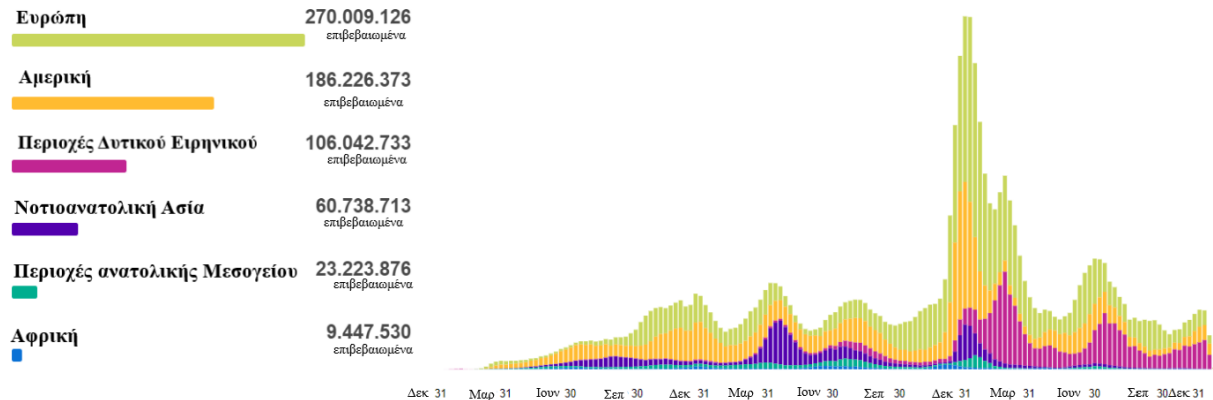
1.1 COVID – 19

Οι κορωνοϊοί (CoV) αναγνωρίστηκαν ως παθογόνοι μικροοργανισμοί τη δεκαετία του 1960. Με τη χαρακτηριστική τους επιφάνεια, τα ισωμάτια, έχουν εμφάνιση σαν κορώνα κάτω από το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο, γι' αυτό και η ονομασία των ιών αυτών προέρχεται από τη λατινική λέξη «corona», που σημαίνει στέμμα ή φωτοστέφανο. Είναι μια μεγάλη οικογένεια ιών, αρκετοί από τους οποίους προκαλούν αναπνευστικές ασθένειες στον άνθρωπο, όπως το κοινό κρυολόγημα μέχρι και πιο σπάνιες και σοβαρές ασθένειες όπως το Σοβαρό Οξύ Αναπνευστικό Σύνδρομο (SARS) και το αναπνευστικό σύνδρομο της Μέσης Ανατολής (MERS). Παρουσιάζουν υψηλά ποσοστά θνησιμότητας και εντοπίστηκαν για πρώτη φορά το 2003 και το 2012 αντίστοιχα και θεωρούνται επιδημίες τα τελευταία είκοσι έτη (European Centre for Disease Prevention and Control (ECDC), 2019). Οι περισσότεροι κορωνοϊοί μολύνουν ζώα (όπως νυχτερίδες, πτηνά και θηλαστικά) τα οποία λειτουργούν ως ενδιάμεσος ξενιστής. Μερικές φορές αλλάζουν ξενιστή και μολύνουν και τον άνθρωπο.

Στα τέλη Δεκεμβρίου 2019, περιπτώσεις ασθενών με ιογενή πνευμονία αναφέρθηκαν στη Γουχάν της Κίνας. Στη συνέχεια, ένας νέος κορωνοϊός αναγνωρίστηκε ως ο αιτιολογικός παράγοντας και ονομάστηκε προσωρινά νέος κορωνοϊός 2019 (2019 - nCoV) και κατόπιν SARS – CoV - 2. Μέχρι τις 26 Ιανουαρίου 2020, είχαν επιβεβαιωθεί περισσότερα από 2.000 κρούσματα 2019 - nCoV, τα περισσότερα από τα οποία αφορούσαν άτομα που ζουν ή επισκέπτονται τη Γουχάν (Lu et al., 2020). Ο τρόπος μετάδοσης του ιού γίνεται μέσω σταγονιδίων, με άμεση ή έμμεση επαφή με εκκρίσεις. Τα πιο συνήθη συμπτώματα είναι πυρετός, ξηρός βήχας, δυσκαταποσία, κεφαλαλγία, μυαλγίες, κόπωση, απώλεια γεύσης - όσφρησης, διάρροια - έμετοι.

Στις 11 Μαρτίου 2020, ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (ΠΟΥ) κήρυξε πανδημία εξαιτίας της ραγδαίας αύξησης κρουσμάτων και αναφέρεται ότι μέχρι τότε είχαν παρατηρηθεί 118.000 επιβεβαιωμένα κρούσματα σε 114 χώρες και 4.291 θάνατοι (Our World in Data, 2020). Ως θάνατος από τη νόσο COVID – 19, ορίζεται ο θάνατος που προκύπτει από κλινικά συμβατή ασθένεια σε πιθανό ή επιβεβαιωμένο κρούσμα COVID - 19, εκτός εάν υπάρχει σαφής εναλλακτική αιτία θανάτου που δεν μπορεί να συσχετιστεί με τη νόσο (π.χ. τραύμα). Επίσης, δεν πρέπει να υπάρχει περίοδος πλήρους ανάρρωσης μεταξύ της ασθένειας και του θανάτου (WHO, 2020). Σήμερα, όπως φαίνεται και στο Γράφημα 1.1, οι περιπτώσεις COVID – 19 αθροιστικά από την αρχή της πανδημίας είναι 655.689.155 και οι θάνατοι 6.671.624.

Γράφημα 1.1 Επιβεβαιωμένα κρούσματα ανά περιοχή του ΠΟΥ από την αρχή της πανδημίας COVID -19 μέχρι 31 Δεκεμβρίου 2022 (WHO, 2022).



Για μεγάλη χρονική περίοδο, δεν υπήρχε αποτελεσματική θεραπεία και η ανάπτυξη ενός ασφαλούς και αποτελεσματικού εμβολίου ήταν μείζονος σημασίας και προτεραιότητα όλων των επιστημονικών κοινοτήτων στον κόσμο, προκειμένου να περιοριστεί η πανδημία. Μέχρι τις 25 Μαΐου 2021, υπήρχαν 101 υποψήφια εμβόλια σε στάδιο κλινικής ανάπτυξης, χρησιμοποιώντας ένα ευρύ φάσμα τεχνολογικών πλατφορμών από παραδοσιακές μέχρι και νέες προσεγγίσεις (Cheng et al., 2021). Έκτοτε, έπειτα από μία σειρά κλινικών δοκιμών, πληθώρα εμβολίων είναι διαθέσιμα τα οποία συνεχώς ανανεώνονται και παρέχουν υψηλή προστασία. Σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Φαρμάκων (EMA), οι κυριότεροι τύποι εμβολίων που έχουν λάβει έγκριση και χρησιμοποιούνται στην Ευρώπη, είναι τα mRNA (Pfizer-BioNTech, Moderna), τα εμβόλια πρωτεϊνικής υπομονάδας (Novavax), τα εμβόλια αδενοϊών (AstraZeneca), καθώς και τα εμβόλια απενεργοποιημένου ιού (Valneva) (EMA, 2021).

Στην Ελλάδα από την αρχή της πανδημίας μέχρι το Δεκέμβριο 2021 παρατηρήθηκαν 951.351 επιβεβαιωμένα κρούσματα και 18.325 θάνατοι από τη νόσο COVID – 19.

Γράφημα 1.2 Επιδημική καμπύλη του SARS – CoV – 2 στην Ελλάδα μέχρι 5 Δεκεμβρίου 2021 (Our World in Data, 2020).



1.2 Μετανάστες και COVID – 19

Οι περισσότερες χώρες προέβησαν αρχικά σε εφαρμογή μη φαρμακευτικών παρεμβάσεων με σκοπό να περιορίσουν την εξάπλωση της πανδημίας. Κάποια από αυτά τα μέτρα ήταν η απομόνωση ατόμων τα οποία έχουν διαγνωσθεί θετικά στον SARS – CoV - 2, ο εντοπισμός επαφών, καραντίνα των εκτεθειμένων ατόμων, ταξιδιωτικοί περιορισμοί, κλείσιμο σχολείων, εξ' αποστάσεως εργασία και ακύρωση μαζικών συγκεντρώσεων (Lai et al., 2020).

Ωστόσο, όσον αφορά τους ευάλωτους πληθυσμούς, η εφαρμογή και η τήρηση των διάφορων στρατηγικών παρέμβασης, καθίσταται δύσκολη ή ακόμα και ανέφικτη και ενδεχομένως αυτές οι ομάδες να εκτεθούν σε κινδύνους. Με τον όρο ευάλωτες ομάδες, εννοούνται τα άτομα τρίτης ηλικίας, αυτοί που έχουν υποκείμενα νοσήματα, οι άστεγοι, οι γυναίκες, οι έφηβοι, οι ιθαγενείς, τα παιδιά, άτομα με αναπηρίες, οι πρόσφυγες, οι μετανάστες και οι μειονότητες που αντιμετωπίζουν κοινωνικο – οικονομικές δυσκολίες (The Lancet, 2020). Ειδικά σε περιόδους πανδημίας, είναι πολύ πιθανό αυτοί οι πληθυσμοί να συναντήσουν αρκετά προσκόμματα, λόγω της έλλειψης πρόσβασης στην σωστή ενημέρωση και σε υπηρεσίες υγείας (International Organization for Migration (IOM), 2020). Όσον αφορά τους μετανάστες και τους πρόσφυγες, πρόκειται για άτομα που διαμένουν σε περιοχές με υψηλή εγκληματικότητα,

βιώνουν επισφαλείς συνθήκες εργασίας και έχουν περιορισμένη ή ακόμα και μηδαμινή πρόσβαση σε τεχνολογίες και στην πληροφόρηση (The Lancet, 2020).

Ακόμα και πριν από την πανδημία, ήταν ευρέως διαδεδομένο ότι οι μετανάστες και οι πρόσφυγες διέτρεχαν μεγαλύτερο κίνδυνο, με αποτέλεσμα να παρουσιάζουν μεγαλύτερα ποσοστά θνησιμότητας από μεταδιδόμενα νοσήματα, συγκριτικά με τους γηγενείς (Κέντρο Έρευνας & Εκπαίδευσης στην Δημόσια Υγεία, την Πολιτική Υγείας και την Πρωτοβάθμια Φροντίδα Υγείας (ΚΕΠΥ), 2020). Οι αιτίες αυτής της συνθήκης είναι αρκετές. Καταρχάς, η σημαντικότερη αιτία έγκειται στο γεγονός ότι αυτές οι ομάδες αντιμετωπίζουν προβλήματα στη στέγαση, όπως η στεγαστική υπερπληρότητα. Σε όλες τις χώρες, οι μετανάστες συνήθως ζούνε σε υπερβολικά πυκνοκατοικημένες κατοικίες, όπου η τήρηση της κοινωνικής αποστασιοποίησης και άλλες μέθοδοι πρόληψης είναι πολύ δύσκολο να εφαρμοστούν, αφού διαμένουν σε ανθυγιεινές συνθήκες και βιώνουν κοινωνικό αποκλεισμό (ΚΕΠΥ, 2020).

Επίσης, η νομική κατάσταση, οι διακρίσεις, το εμπόδιο της γλώσσας παίζουν σημαντικό ρόλο στην περιθωριοποίηση αυτών των ομάδων, όπως και το γεγονός ότι δεν λαμβάνουν ενημέρωση σχετικά με την υγεία. Ακόμη, η κινητικότητα αυτών των πληθυσμών, όταν διασχίζουν τα σύνορα, καθώς και η έλλειψη εγγράφων και εσόδων εμποδίζουν την όποια πρόσβαση σε υπηρεσίες υγείας (ΚΕΠΥ, 2020). Τέλος, πολλές φορές, οι εθνικές παρεμβάσεις που αφορούν τη δημόσια υγεία δεν τους συμπεριλαμβάνουν και δεν τους λαμβάνουν υπόψη (Kluge et al., 2020; Dost, 2020). Ακόμη όμως και να υπάρχουν οι κατάλληλες συνθήκες περιορισμού μίας νόσου και διαφύλαξης της δημόσιας υγείας, όταν πρόκειται για πυκνοκατοικημένες περιοχές η κατάσταση είναι διαφορετική. Ο αριθμός των επαφών που πραγματοποιούν τα άτομα σε καθημερινή βάση είναι μεγαλύτερος, με αποτέλεσμα να αυξάνεται και η πιθανότητα μετάδοσης ή έκθεσης σε ένα λοιμώδες νόσημα που μεταδίδεται με απλή κοινωνική επαφή. Η έκβαση είναι, αυτοί οι πληθυσμοί να είναι περισσότερο εκτεθειμένοι σε ασθένειες (ειδικά σε μία πανδημία), όπως στην περίπτωση της COVID - 19 (Πίνακας 1.1) (WHO, 2020).

Πίνακας 1.1 Σύνοψη των αιτιών που καθιστούν ευάλωτους τους μετανάστες στη νόσο COVID – 19 (Guadagno, 2020).

| Επαναλαμβανόμενες συνθήκες ευαλωτότητας | Αυξημένη πιθανότητα για: |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Περιορισμένη επίγνωση των συνιστώμενων μέτρων πρόληψης, μεταξύ άλλων λόγω γλωσσικών εμποδίων • Αδυναμία τήρησης της κοινωνικής απόστασης λόγω διαμονής σε υπερπληθείς κατοικίες • Εξάρτηση από τα μέσα μαζικής μεταφοράς • Συνεχής έκθεση σε επαγγέλματα στενής επαφής • Περιορισμένη πρόσβαση σε βασικά είδη υγιεινής • Περιορισμένος εξοπλισμός ατομικής προστασίας στο χώρο εργασίας | <p>Μόλυνση με τη νόσο COVID - 19</p> |
| <ul style="list-style-type: none"> • Έλλειψη δικαιώματος υγειονομικής περίθαλψης και προτεραιότητας στην παροχή υπηρεσιών • Έλλειψη πρόσβασης σε εγκαταστάσεις σε υποεξυπηρετούμενες τοποθεσίες • Περιορισμένη αντίληψη των επιλογών ή του δικαιώματος λήψης υγειονομικής περίθαλψης • Γλωσσικά εμπόδια που εμποδίζουν την επικοινωνία με τους παρόχους • Απροθυμία να προσέλθουν για βοήθεια λόγω φόβου σύλληψης ή /και στιγματισμού | <p>Έλλειψη πρόσβασης σε κατάλληλη υγειονομική περίθαλψη</p> |
| <ul style="list-style-type: none"> • Προϋπάρχοντα πνευμονικά / αναπνευστικά προβλήματα λόγω μετακίνησης και συνθηκών διαβίωσης • Φυσικές καιρικές συνθήκες • Αδυναμία έγκαιρης πρόσβασης σε βοήθεια | <p>Εμφάνιση σοβαρών συμπτωμάτων</p> |
| <ul style="list-style-type: none"> • Περιορισμένος χώρος διαβίωσης και εξωτερικός χώρος κατά τη διάρκεια του lockdown • Απομόνωση και ανικανότητα επικοινωνίας • Εμπόδια στην ορθή ταφή των αποθανόντων • Άγχος που συνδέεται με εγκλωβισμό, πιθανή σύλληψη ή να βιώσει ξενοφοβικές συμπεριφορές | <p>Σημαντικές ψυχολογικές επιδράσεις</p> |
| <ul style="list-style-type: none"> • Διακοπή παροχής βασικής βοήθειας και υπηρεσιών ένταξης • Απώλεια επισφαλούς, απροστάτευτης εργασίας • Απουσία ένταξης σε προγράμματα εισοδηματικής στήριξης λόγω της νόσου COVID -19, προγράμματα παροχής στέγης ή επιδοτήσεις/εξαιρέσεις ενοικίου • Αδυναμία διατήρησης του καθεστώτος κανονικής μετανάστευσης | <p>Ανασφάλεια βιοπορισμού και εισοδήματος</p> |

Σύμφωνα με τους Alemi et al. (2020), στη δομή προσφύγων Cox's Bazar στο Μπαγκλαντές, το οποίο φιλοξενεί 600.000 Ροχίνγκια πρόσφυγες από τη Μιανμάρ και είναι το μεγαλύτερο στρατόπεδο προσφύγων στον κόσμο, εκτιμάται ότι ένα ξέσπασμα της νόσου COVID – 19 θα ήταν καταστροφικό για

τα νοσοκομεία της δομής σε χρονικό διάστημα 58 ημερών και ότι ο αριθμός θανάτων από άλλα λοιμώδη νοσήματα, όπως η ελονοσία, θα αυξανόταν (Alemi et al., 2020).

Στην ίδια μελέτη αναφέρεται ότι εξαιτίας του φόβου ενός επιπλέον πιθανού στιγματισμού που συνδέεται με τη νόσο COVID – 19, αλλά και της απομόνωσης σε καραντίνα, όπου θα είναι χωριστά από τις οικογένειές τους, οι βοηθοί που εργάζονται στις δομές αναφέρουν ελάχιστο αριθμό διαγνωστικών ελέγχων σε άτομα με συμπτώματα της νόσου. Ως αποτέλεσμα, πιθανώς να μην καταγράφεται ο ακριβής αριθμός κρουσμάτων, να υπάρχει καθυστέρηση στην ανίχνευση περιπτώσεων της νόσου, στην θεραπεία, μη συμμόρφωση και μη παρατεταμένη ανάρρωση.

Στον πίνακα 1.2, παρατηρείται ότι στις χώρες οι οποίες επηρεάστηκαν σε μεγάλο βαθμό από τη νόσο COVID – 19 και είχαν μεγάλο αριθμό θανάτων, το ποσοστό του πληθυσμού των μεταναστών είναι μεγαλύτερο από το μέσο όρο συγκριτικά με άλλες χώρες. Ακόμη επισημαίνεται, λόγω της μεγάλης αναλογίας των μεταναστών και προσφύγων σε αυτές τις χώρες, ότι υπάρχει η ανάγκη ένταξης αυτών των ομάδων στα προγράμματα υγείας και αντιμετώπισης του κορωνοϊού. Διαφορετικά, αν δεν διασφαλιστεί η πρόσβαση αυτών των ατόμων σε βασικά δικαιώματα ενδέχεται να παρατηρηθεί αύξηση στον αριθμό των κρουσμάτων στον ευρύτερο πληθυσμό (Guadagno, 2020).

Πίνακας 1.2 Αριθμός θανάτων από τη νόσο COVID – 19 και ο αριθμός των μεταναστών σε 10 χώρες που επηρεάστηκαν ιδιαίτερα από τον κορωνοϊό SARS – CoV-2 μέχρι τις 10 Απριλίου 2020 (Guadagno, 2020).

| Χώρα | Θάνατοι από τη νόσο COVID - 19 | Πληθυσμός | Θάνατοι / 1.000 ανθρώπους | Πληθυσμός διεθνών μεταναστών | Ποσοστό (%) διεθνών μεταναστών |
|----------------------------|--------------------------------|-------------|---------------------------|------------------------------|--------------------------------|
| Ηνωμένες Πολιτείες | 23.068 | 329.064.917 | 0,07 | 50.661.149 | 15,4 |
| Αμερικής (ΗΠΑ) | | | | | |
| Ιταλία | 20.465 | 60.550075 | 0,34 | 6.273.722 | 10,4 |
| Ισπανία | 1.628 | 46.736.776 | 0,38 | 6.104.203 | 13,1 |
| Γαλλία | 14.967 | 65.129.728 | 0,23 | 8.334.875 | 12,8 |
| Ηνωμένο Βασίλειο | 11.329 | 67.530.172 | 0,17 | 9.552.110 | 14,1 |
| Ιράν (Ισλαμική Δημοκρατία) | 4.585 | 82.913.906 | 0,06 | 2.682.214 | 3,2 |
| Βέλγιο | 3.903 | 11.539.328 | 0,34 | 1.981.919 | 17,2 |
| Γερμανία | 3.043 | 83.517.045 | 0,04 | 13.132.146 | 15,7 |
| Ολλανδία | 2.823 | 17.097.130 | 0,17 | 2.282.791 | 13,4 |
| Ελβετία | 1.138 | 8.591.365 | 0,13 | 2.572.029 | 29,9 |

Μία άλλη μελέτη αναφέρει ότι μέχρι τον Ιούνιο του 2020 στις Ηνωμένες Πολιτείες, η αναλογία κρουσμάτων COVID – 19 ήταν 21,8 % και 33,8 % σε Αφροαμερικάνους και Λατίνους, αντίστοιχα, ενώ η αναλογία τους στον πληθυσμό ήταν 13 % και 18 % αντίστοιχα (Greenaway et al., 2020). Επίσης, παρατηρήθηκε ότι στη Νέα Υόρκη οι Αφροαμερικάνοι και οι Λατίνοι είχαν διπλάσια πιθανότητα να πεθάνουν από κορωνοϊό σε σχέση με τους λευκούς ακόμα και όταν έγινε στάθμιση ως προς την ηλικία. Στο Ηνωμένο Βασίλειο, Αφρικανοί και ασιατικής καταγωγής άτομα είχαν 70 % και 60 % αντίστοιχα αυξημένο κίνδυνο να πεθάνουν από τη νόσο COVID – 19, σε σχέση με αυτούς που ανήκαν στη λευκή φυλή. Τέλος, αναφέρεται ότι παρόλο που δεν υπάρχουν πολλά δεδομένα σχετικά με την επίδραση της συγκεκριμένης νόσου στην θνητότητα και τη θνησιμότητα στους μετανάστες και στους πρόσφυγες, επισημαίνεται το γεγονός ότι αυτές οι πληθυσμιακές ομάδες που διαμένουν σε δομές και Κέντρα Υποδοχής και Ταυτοποίησης (ΚΥΤ) είναι ιδιαίτερα εκτεθειμένοι στον κίνδυνο να νοσήσουν (Greenaway et al., 2020).

Σε άλλες χώρες της Ευρώπης, όπως στη Νορβηγία, καταγράφηκε ότι μεταξύ των επιβεβαιωμένων περιπτώσεων της νόσου, το 31 % είχαν γεννηθεί σε άλλη χώρα (Organization for Economic Co-operation and Development (OECD), 2020). Ομοίως και στην Σουηδία, κατά τη διάρκεια της κορύφωσης της πανδημίας (από 13 Μαρτίου μέχρι 7 Μαΐου το 2020), το 32 % των κρουσμάτων ήταν μετανάστες από χώρες με χαμηλό εισόδημα και τα παιδιά τους, που είχαν γεννηθεί στη Σουηδία, αποτελούσαν το 18 % των κρουσμάτων. Στην Λισαβόνα, το αντίστοιχο ποσοστό ήταν 24 % και εκτός Ευρώπης, στο Οντάριο, στον Καναδά, ήταν 43,5 %, ενώ το ποσοστό των μεταναστών στην χώρα υπολογίζεται στο 25% (OECD, 2020).

Όσον αφορά τα κρούσματα στα ΚΥΤ, στο Ελβάνγκεν στις Γερμανίας, καταγράφηκε αύξηση κρουσμάτων από 7 σε 259 μέσα σε μια εβδομάδα, παρόλο που το κέντρο είχε τεθεί σε καραντίνα και μέχρι τον Απρίλιο του 2020, το 68 % των αιτούντων άσυλο είχε μολυνθεί (ECDC, 2020). Επίσης, μία ανασκόπηση αναφέρει ότι κατά τη διάρκεια των εξάρσεων της επιδημίας, 42 κέντρα σε 11 περιοχές της Γερμανίας είχαν κρούσματα, εκ των οποίων τα 30 τέθηκαν σε καραντίνα, ενώ στη Λισαβόνα της Πορτογαλίας σε ένα ξενοδοχείο που διέμεναν 187 αιτούντες άσυλο, οι 138 διαγνώστηκαν με τη νόσο COVID – 19 (ECDC, 2020).

Όσον αφορά την Ελλάδα, σύμφωνα με τους Kondilis et al. (2021), παρατηρήθηκαν συρροές της νόσου COVID – 19 σε κέντρα υποδοχής και σε δομές προσφύγων. Πιο συγκεκριμένα, από τις 26 Φεβρουαρίου 2020 μέχρι τις 15 Νοεμβρίου του ίδιου έτους, αναφέρουν ότι καταγράφηκε τουλάχιστον μία έξαρση σε 6 από 7 ΚΥΤ και σε 18 από 32 κέντρα υποδοχής. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, για τους πρόσφυγες και τους αιτούντες άσυλο που διέμεναν σε δομές στην ηπειρωτική Ελλάδα, η αθροιστική

επίπτωση της COVID – 19 ήταν 1.758 περιπτώσεις ανά 100.000 ανθρώπους και για αυτούς που κατοικούσαν σε ΚΥΤ ήταν 2.052 ανά 100.000, ενώ στον πληθυσμό της χώρας την ίδια περίοδο 717 ανά 100.000 (Kondilis et al., 2021). Ακόμη, αναφέρεται ότι για τις ίδιες πληθυσμιακές ομάδες ο κίνδυνος μόλυνσης από COVID – 19 είναι 2,5 με 3 φορές μεγαλύτερος σε σχέση με τον γενικό πληθυσμό της Ελλάδας, με το εύρημα αυτό να είναι στατιστικά σημαντικό (Kondilis et al., 2021).

1.3 Μαθηματικά μοντέλα και COVID – 19

Η μαθηματική μοντελοποίηση των μολυσματικών ασθενειών διαδραματίζει πρωταρχικό ρόλο στον σχεδιασμό στρατηγικών παρέμβασης και στον έλεγχο μετάδοσης μίας νόσου (Grassly and Fraser, 2008).

Τα μαθηματικά μοντέλα περιγράφουν ένα σύστημα μέσω μαθηματικών εξισώσεων. Μας επιτρέπουν να μελετήσουμε τον τρόπο με τον οποίο αλλάζει ένα σύστημα από μία κατάσταση στην άλλη, καθώς και τη σχέση μεταξύ των μεταβλητών που χρησιμοποιούνται στις εξισώσεις που ορίζουν το σύστημα αυτό. Τα μαθηματικά μοντέλα λοιμωδών νοσημάτων περιγράφουν τους υποκείμενους μηχανισμούς καθώς και τη δυναμική εξέλιξης της νόσου στο μολυσμένο άτομο και στη μετάδοση στον πληθυσμό. Η χρήση τους είναι μία πλέον συνηθισμένη πρακτική για τη αξιολόγηση του επιπέδου του κινδύνου στο οποίο βρίσκεται ένας πληθυσμός εξαιτίας μίας μολυσματικής ασθένειας (Donnelly et al., 2004).

Τα επιδημιολογικά μοντέλα είναι μαθηματικά μοντέλα τα οποία είναι κατάλληλα για την περιγραφή της μετάδοσης μίας λοιμώδους νόσου σε έναν πληθυσμό. Η κατανόηση του μηχανισμού εξάπλωσης της νόσου είναι μείζονος σημασίας για τον έλεγχο της νόσου (ή την εκρίζωση) και μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω της εκτίμησης παραμέτρων όπως π.χ ο ρυθμός μετάδοσης και ο βασικός αριθμός αναπαραγωγής (R_0). Τα μοντέλα είναι ένα εργαλείο για την πρόβλεψη της εξέλιξης της πανδημίας, για την προετοιμασία για επικείμενη επιδημία / πανδημία υποθέτοντας διάφορα σενάρια, ή την αντιμετώπιση μιας αναδυόμενης επιδημίας. Επίσης, παρέχεται το πλαίσιο για αξιολόγηση του επιπέδου των παρεμβάσεων που πρέπει να εφαρμοστούν, όπως ο υπολογισμός του ποσοστού του πληθυσμού που θα πρέπει να εμβολιαστεί, προκειμένου να περιοριστεί η μετάδοση και η βέλτιστη πολιτική εμβολιασμού (π.χ. προτεραιοποίηση ομάδων του πληθυσμού) (Keeling and Danon, 2009). Επίσης, τα μαθηματικά μοντέλα προσφέρουν πολύτιμα εργαλεία για την κατανόηση των επιδημιολογικών προτύπων και για την ανάπτυξη και αξιολόγηση στοιχείων για τη λήψη αποφάσεων σε παγκόσμιο επίπεδο υγείας. Τα τελευταία 50 χρόνια, η μελέτη της δυναμικής των μολυσματικών ασθενειών έχει εξελιχθεί σε πλούσιο διεπιστημονικό πεδίο. Για παράδειγμα, όλο και περισσότερο η λήψη αποφάσεων για στρατηγικές εμβολιασμού εξαρτάται από τις αναλύσεις μοντέλων. Τις τελευταίες δεκαετίες, απαντήσεις σε εξάρσεις λοιμωδών νοσημάτων συμπεριλαμβανομένου του HIV, της σπογγώδους βοοειδούς εγκεφαλοπάθειας

(ΣΕΒ), του αφθώδους πυρετού (FMD), του SARS, της πανδημίας της γρίπης και της γρίπης των πτηνών, έχουν δείξει τόσο την ανάγκη όσο και τις δυνατότητες των μοντέλων (Heesterbeek et al., 2015).

Από το 2020, με την έναρξη της πανδημίας, μέχρι σήμερα, έχουν δημοσιευθεί αρκετά άρθρα σχετικά με τη χρήση μαθηματικών μοντέλων για την πρόβλεψη διάφορων παραμέτρων για την εξέλιξη της πανδημίας COVID -19. Οι Li et al. (2020) εφάρμοσαν ένα μοντέλο μετάδοσης ορίζοντας ως ημερομηνίες έναρξης την εμφάνιση κρουσμάτων που συνδέονταν με την αγορά θαλασσινών Huanan, για να εκτιμήσουν τον ρυθμό που εξελίσσεται η πανδημία και τον βασικό αναπαραγωγικό αριθμό (R_0) (Li et al., 2020). Το Μάιο του 2020, οι Kucharski και συνεργάτες συνδύασαν ένα στοχαστικό μοντέλο με τέσσερα σύνολα δεδομένων εντός και εκτός της Γουχάν, με σκοπό να υπολογίσουν πώς κυμάνθηκε η μετάδοση του κορωνοϊού στη Γουχάν από το Δεκέμβριο του 2019 μέχρι τον Φεβρουάριο του 2020 και χρησιμοποίησαν αυτές τις εκτιμήσεις για να αξιολογήσουν την πιθανή μετάδοση από άνθρωπο σε άνθρωπο σε άλλες τοποθεσίες εκτός Γουχάν (Kucharski et al., 2020). Τον Απρίλιο του 2020, οι Leung και οι συνεργάτες χρησιμοποίησαν ένα μοντέλο με σκοπό να αξιολογήσουν την επίδραση της χαλάρωσης μη φαρμακευτικών παρεμβάσεων και παρεμβάσεων κοινωνικής αποστασιοποίησης, αφού η επιδημία είχε αρχίσει να τίθεται υπό έλεγχο, χωρίς όμως να έχει εξαλειφθεί (Leung et al., 2020). Το ίδιο έτος, οι Ndairou και οι συνεργάτες, λαμβάνοντας υπόψη την ύπαρξη super – spreaders (υπερμεταδότες, δηλαδή άτομα που μολύνουν μεγαλύτερο αριθμό ατόμων από το μέσο όρο), πρότειναν ένα μοντέλο που συμπεριλαμβάνει αυτά τα άτομα. Το σταθερό συνολικό μέγεθος του πληθυσμού N υποδιαιρείται σε οκτώ κατηγορίες: τους επίνοσους, τους εκτεθειμένους, τους μολυσματικούς που είναι συμπτωματικοί, τους super – spreaders, τους μολυσματικούς που είναι ασυμπτωματικοί, τους νοσηλευόμενους, αυτούς που έχουν αναρρώσει και τέλος αυτούς που έχουν πεθάνει. Με βάση αυτό το μοντέλο, υπολόγισαν το βασικό αριθμό αναπαραγωγής (R_0) (Ndairou et al., 2020). Το Μάιο του 2020, οι Sypsa και συνεργάτες προσομοίωσαν την έναρξη του SARS-CoV-2 στην Ελλάδα από την αρχή της μετάδοσης του ιού στην χώρα μέχρι τις 26 Απριλίου 2020, χρησιμοποιώντας ένα μοντέλο το οποίο ήταν χωρισμένο σε έξι καταστάσεις: σε επίνοσους, σε εκτεθειμένους, σε μολυσματικούς πριν εμφανίσουν συμπτώματα, σε μολυσματικούς αφού έχουν εμφανίσει συμπτώματα (κλινικά ασθενείς), σε πραγματικά ασυμπτωματικούς και τέλος σε αυτούς που έχουν αναρρώσει (Sypsa et al., 2020). Με αυτό τον τρόπο, εκτίμησαν το συνολικό αριθμό ατόμων που μολύνθηκαν κατά την υπό μελέτη περίοδο. Οι Peak και οι συνεργάτες, προκειμένου να εκτιμήσουν και να συγκρίνουν την αποτελεσματικότητα διαφόρων

παρεμβάσεων, όπως η καραντίνα και η ενεργή παρακολούθηση των επαφών για τον έλεγχο του COVID-19, εφάρμοσαν ένα στοχαστικό μοντέλο (Peak et al., 2020).

Όσον αφορά τη χρήση μαθηματικών μοντέλων για την πανδημία COVID-19 σε κλειστές δομές και πιο συγκεκριμένα σε προσφυγικές δομές, οι έρευνες που έχουν δημοσιευθεί είναι περιορισμένες. Οι Truelove και συνεργάτες το 2020, χρησιμοποίησαν ένα μοντέλο μετάδοσης με παραμέτρους που προέρχονται από την διαθέσιμη βιβλιογραφία και την ηλικία ως τον κύριο καθοριστικό παράγοντα για τη σοβαρότητα της μόλυνσης προκειμένου να διερευνήσουν τον πιθανό αντίκτυπο της εμφάνισης του ιού SARS-CoV-2 στην προσφυγική δομή Kutupalong-Balukhali στο Μπαγκλαντές (Truelove et al., 2020). Οι Hernandez-Suarez και συνεργάτες το 2020, εφάρμοσαν ένα μαθηματικό μοντέλο για τη μετάδοση του SARS-CoV-2 και το ανέλυσαν χρησιμοποιώντας τόσο ντετερμινιστική όσο και στοχαστική προσέγγιση. Χρησιμοποίησαν αυτό το μοντέλο για να προβλέψουν το φορτίο της νόσου σε προσφυγικούς καταυλισμούς, που χαρακτηρίζονται από ιδιόμορφα δημογραφικά χαρακτηριστικά, έλλειψη ιατρικών εγκαταστάσεων και προσωπικού και η εφαρμογή μέτρων περιορισμού και καραντίνας είναι μειωμένης δυνατότητας (Hernandez-Suarez et al., 2020). Οι Gilman και συνεργάτες το 2020, κατασκεύασαν ένα μοντέλο με σύστημα πρακτόρων (Agent – Based model) για την έξαρση της πανδημίας COVID-19 σε έναν καταυλισμό προσφύγων στη Μόρια της Λέσβου, με σκοπό να αξιολογήσουν την επίδραση μη φαρμακευτικών παρεμβάσεων (Gilman et al., 2020).

Σε άλλους κλειστούς πληθυσμούς, οι Smith και συνεργάτες το 2020, χρησιμοποίησαν ένα στοχαστικό, ατομικιστικό μοντέλο για την προσομοίωση μετάδοσης του SARS-CoV-2, μαζί με λεπτομερή δίκτυα που περιγράφουν τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ του προσωπικού και των ασθενών σε μονάδες φροντίδας ηλικιωμένων ατόμων (Smith et al., 2020). Οι Ryckman και συνεργάτες το 2021, ανέπτυξαν μία δυναμική στοχαστική μικροπροσομοίωση μετάδοσης, παραμετροποιημένη στα δεδομένα της Καλιφόρνια και αξιοποιώντας τη διαθέσιμη βιβλιογραφία. Το μοντέλο αξιολογεί την επίδραση διαφόρων στρατηγικών παρέμβασης στον αριθμό κρουσμάτων και νοσηλείας σε διάστημα 200 ημερών, μετά την εμφάνιση της πρώτης μόλυνσης σε μια φυλακή (Ryckman et al., 2021). Οι Ssematimba και συνεργάτες το 2021, για να μελετήσουν τη δυναμική μετάδοσης του COVID-19 σε υπερπληθείς οικισμούς, όπως καταυλισμούς προσφύγων, σχολεία, αγορές και εκκλησίες εφάρμοσαν ένα διαμερισματικό επιδημιολογικό μοντέλο, που χωρίζεται στις εξής καταστάσεις: σε επίνουσους, σε εκτεθειμένους, σε μολυσματικά άτομα που χωρίζονται σε ασυμπτωματικούς και συμπτωματικούς, σε νοσηλευόμενους και σε άτομα που έχουν αναρρώσει (Ssematimba et al., 2021).

1.4 Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας

Μολονότι οι πρόσφυγες ανήκουν σε ευάλωτες ομάδες πληθυσμού και όπως προαναφέρθηκε έχουν αυξημένη πιθανότητα νόσησης και μετάδοσης του ιού SARS - CoV-2, υπάρχουν ελάχιστα δεδομένα για την εξάπλωση της νόσου COVID -19 σε προσφυγικούς καταυλισμούς και είναι ελάχιστες οι έρευνες που διερευνούν ποιες παρεμβάσεις είναι ικανές να περιορίσουν τη διασπορά της νόσου σε ένα τέτοιο περιβάλλον.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι:

- 1) Η ανασκόπηση μαθηματικών μοντέλων που χρησιμοποιούνται για την προσομοίωση της εξέλιξης της επιδημίας της νόσου COVID – 19.
- 2) Η εφαρμογή μοντέλων σε δεδομένα κορωνοϊού SARS-CoV-2 και διερεύνηση της επίδρασης φαρμακευτικών και μη φαρμακευτικών παρεμβάσεων για τον περιορισμό της επιδημίας COVID – 19 στον προσφυγικό πληθυσμό της δομής της Λέσβου.

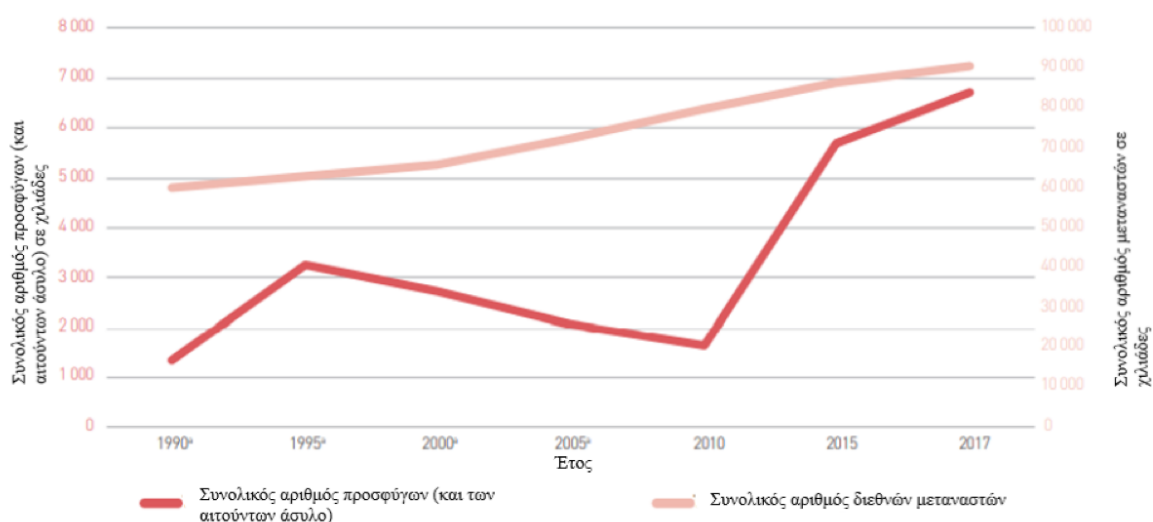
Στο Κεφάλαιο 2 θα παρατεθούν στοιχεία για την προσφυγική κρίση στην Ελλάδα, τις δομές προσφύγων και τη διαχείριση της πανδημίας COVID – 19 στις δομές αυτές. Επίσης, θα δοθούν στοιχεία για τη δομή μεταναστών στη Λέσβο στα δεδομένα της οποίας θα βασιστεί η ανάλυση της παρούσας διπλωματικής. Στο Κεφάλαιο 3 θα γίνει ανασκόπηση των διάφορων μαθηματικών μοντέλων για λοιμώδη νοσήματα και για τον τρόπο με τον οποίο μπορούν να ενσωματωθεί η επίδραση παρεμβάσεων. Στο Κεφάλαιο 4, θα περιγραφούν τα μοντέλα που εφαρμόστηκαν στα δεδομένα της δομής μεταναστών στη Λέσβο και θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα από τα διάφορα σενάρια. Τέλος, στο Κεφάλαιο 5 ακολουθεί η συζήτηση των ευρημάτων καθώς και οι διάφοροι περιορισμοί.

2 Προσφυγικό και COVID – 19

2.1 Προσφυγική κρίση

Από τα τέλη του 2000 και μετά, διάφορα μεταναστευτικά ρεύματα είχαν αρχίσει να λαμβάνουν χώρα παγκοσμίως. Αυτό το γεγονός, είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση του αριθμού των μεταναστών και προσφύγων, αφού η αναλογία των ανθρώπων που είχαν εκτοπιστεί βίαια το 1997 ήταν σχεδόν 5 στους 1.000 ανθρώπους παγκοσμίως και μέχρι το 2017 είχε φτάσει στους 9. Αυτό το φαινόμενο άρχισε να εντείνεται κυρίως το 2011 και κορυφώθηκε το 2015 (Migration Data Portal, 2020). Στην αρχή οι λόγοι μετανάστευσης ήταν κυρίως οικονομικοί, αλλά στην συνέχεια σημαντικό ρόλο διαδραμάτισαν οι διαμάχες και οι συγκρούσεις σε χώρες της βορειοδυτικής Αφρικής και της Μέσης Ανατολής (WHO, 2018). Το ξέσπασμα αυτής της κρίσης σε συνδυασμό με άλλες υποκείμενες τάσεις όσον αφορά την δημογραφία, την κλιματική αλλαγή, τη φτώχεια, την παγκοσμιοποίηση στον τομέα των μεταφορών και επικοινωνιών συνέβαλαν από κοινού στον τεράστιο αριθμό μεταναστών και προσφύγων που κατέφθασαν στην Ευρωπαϊκή Ένωση το 2015 (Γράφημα 2.1).

Γράφημα 2.1 Τάσεις στον πληθυσμό των προσφύγων (και των αιτούντων άσυλο) και στον πληθυσμό των μεταναστών στις περιοχές του ΠΟΥ Ευρώπης (2000 – 2017) (WHO, 2020).



Ο διαχωρισμός των εννοιών «μετανάστης», «αιτών άσυλο» και «πρόσφυγας» δεν είναι πάντα ξεκάθαρος και εύκολος. Ακόμη και σήμερα είναι μία κρίσιμη διαδικασία, διότι και οι τρεις ομάδες ανθρώπων δικαιούνται τα ίδια ανθρώπινα δικαιώματα και τις ίδιες βασικές ελευθερίες, όπως όλοι. Ωστόσο, οι

πρόσφυγες και οι αιτούντες άσυλο είναι πιο προστατευμένοι με βάση τους διεθνείς νόμους και το θεσμικό πλαίσιο που τους αφορά σε σχέση με τους μετανάστες.

Σύμφωνα με τον Διεθνή Οργανισμό Μετανάστευσης (ΙΟΜ), **μετανάστης** είναι το άτομο που μετακινείται / μετακομίζει μακριά από τη συνήθη κατοικία του, διασχίζοντας τα διεθνή σύνορα, ανεξάρτητα από τη νομική του κατάσταση, αν η μετακίνηση είναι εκούσια ή μη, ποιοι είναι οι λόγοι που πραγματοποιείται αυτή και τη διάρκεια παραμονής.

Με βάση την Ύπατη Αρμοστεία (ΥΑ) ΟΗΕ για τους Πρόσφυγες (UNHCR), **πρόσφυγας** είναι το άτομο που εξαιτίας του φόβου δίωξης λόγω της φυλής του, της θρησκείας, της εθνικότητας, των πολιτικών του πεποιθήσεων, βρίσκεται εκτός της χώρας της εθνικότητάς του.

Ως αιτών / ούσα άσυλο, ορίζεται το πρόσωπο που έχει εγκαταλείψει τη χώρα του/της και επιδιώκει προστασία από διώξεις και σοβαρές παραβιάσεις των ανθρωπίνων δικαιωμάτων σε άλλη χώρα, αλλά δεν έχει ακόμη αναγνωριστεί νομικά ως πρόσφυγας και αναμένει να λάβει απόφαση σχετικά με την αίτησή του ασύλου. Η αναζήτηση ασύλου συνιστά ανθρώπινο δικαίωμα. Αυτό σημαίνει ότι όλοι/ες πρέπει να έχουν τη δυνατότητα να εισέλθουν σε άλλη χώρα για να ζητήσουν άσυλο (Διεθνής Αμνηστία, 2019).

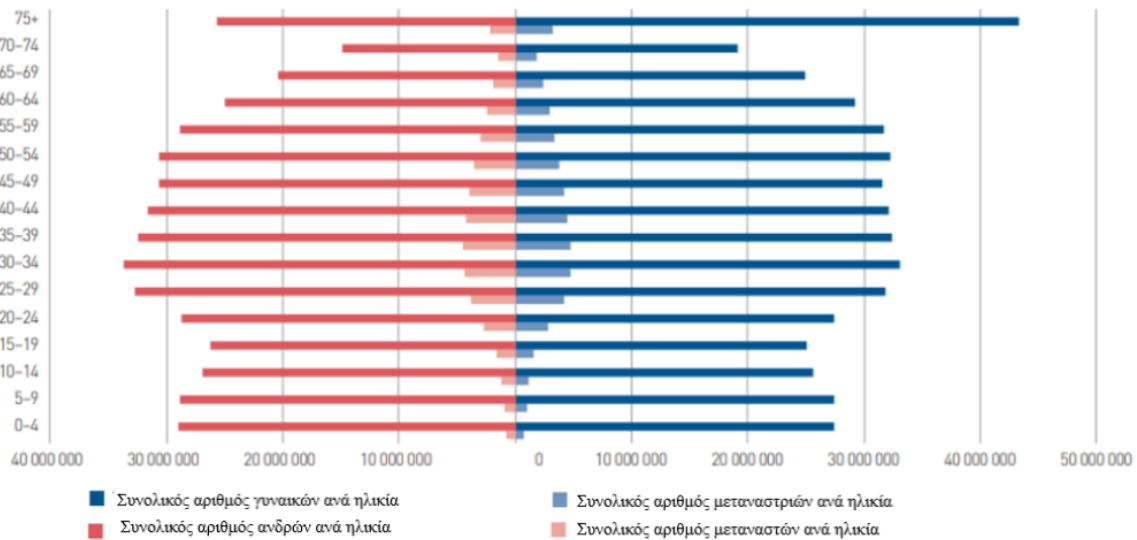
Το 2015, 1.015.000 πρόσφυγες και μετανάστες έφτασαν σε Ελλάδα, Ιταλία, Ισπανία και την Κύπρο, ενώ το 2014 ήταν μόλις 216.000 (ΚΕΠΥ, 2020). Παγκοσμίως, ο προσφυγικός πληθυσμός μέχρι το τέλος του 2016, ήταν σχεδόν 22,5 εκατομμύρια και η κυριότερη αιτία ήταν οι συρράξεις και οι πόλεμοι σε διάφορες χώρες, όπως προαναφέρθηκε. Όσον αφορά την Ευρώπη, η Ελλάδα και η Ιταλία ήταν και είναι οι κύριες εισοδοί μεταναστευτικών εισροών. Στο πλαίσιο αυτό, η Ύπατη Αρμοστεία του ΟΗΕ για τους Πρόσφυγες και η Ευρωπαϊκή Επιτροπή χαρακτήρισαν αυτό το γεγονός «προσφυγική κρίση». Εκτιμάται ότι 856.723 άνθρωποι έφτασαν στην Ελλάδα από τα θαλάσσια σύνορα με την Τουρκία, από τον Ιανουάριο μέχρι τον Δεκέμβριο του 2015. Οι περισσότεροι πρόσφυγες ήταν από την Συρία (47 %), το Αφγανιστάν (24 %) και το Ιράκ (15 %) (Bjerttrup et al., 2018).

Το 2017, ο πληθυσμός στις 53 χώρες που ανήκουν στο ευρωπαϊκό τμήμα του ΠΟΥ ήταν σχεδόν 920 εκατομμύρια, ενώ ο αριθμός των μεταναστών ανερχόταν στο 90,7 εκατομμύρια αποτελώντας το 10 % του γενικού πληθυσμού και το 35 % του παγκόσμιου πληθυσμού μεταναστών (258 εκατομμύρια) (WHO, 2018).

Σχετικά με τα δημογραφικά χαρακτηριστικά, πρέπει να σημειωθεί ότι παρόλο που οι περισσότεροι πρόσφυγες και μετανάστες είναι νέοι ενήλικες (Γράφημα 2.2), τα τελευταία χρόνια έχει παρατηρηθεί

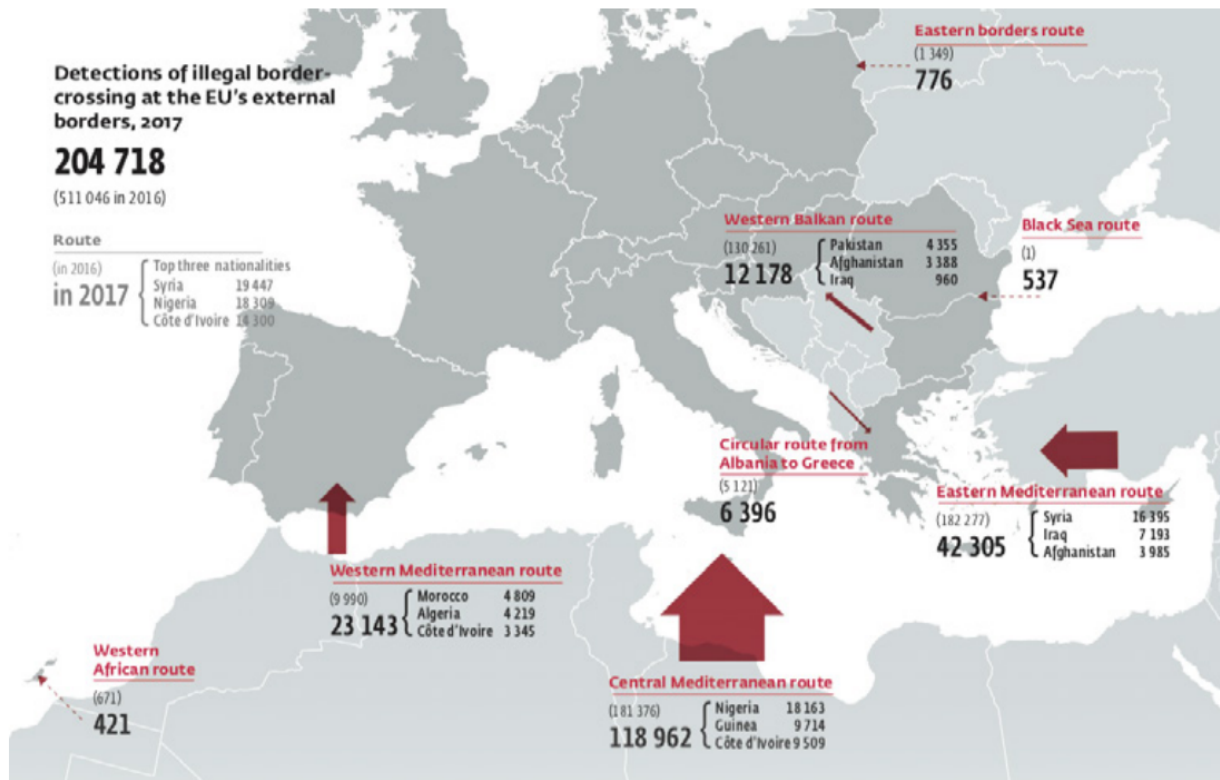
αύξηση στον αριθμό των ηλικιωμένων και ατόμων με αναπηρίες, καθώς και ανήλικων ασυνόδευτων στις χώρες του ΠΟΥ Ευρώπης.

Γράφημα 2.2 Γενικός και μεταναστευτικός πληθυσμός στις χώρες του ΠΟΥ Ευρώπης ανά φύλο και ηλικία για το έτος 2017 (WHO, 2018).



Το 2015, με βάση στοιχεία του Ευρωπαϊκού Δικτύου Παρακολούθησης για την εδαφική ανάπτυξη και συνοχή (ESPON), υπολογίζεται ότι υποβλήθηκαν 1,3 εκατομμύρια αιτήσεις ασύλου στα 28 κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) και οι χώρες καταγωγής των αιτούντων ήταν κυρίως το Αφγανιστάν, το Ιράκ και η Συρία. Στη συνέχεια, εξαιτίας της συμφωνίας ΕΕ - Τουρκίας που έθεσε όρια στις μεταναστευτικές εισροές από την Ανατολική Μεσόγειο και τα Δυτικά Βαλκάνια, αυτός ο αριθμός ελαττώθηκε κατακόρυφα το 2016. Οι κυριότερες οδοί διέλευσης των συνόρων της Ε.Ε. από την στεριά και την θάλασσα ήταν κυρίως οι χώρες της νότιας Ευρώπης - πιο συγκεκριμένα, η οδός της ανατολικής, της κεντρικής και της δυτικής Μεσογείου (Γράφημα 2.3) (ESPON, 2018). Η είσοδος από την Τουρκία προς την ανατολική Μεσόγειο και την Ελλάδα, ήταν η επικρατέστερη το 2015 (Bjerttrup et al., 2018). Πρωτεύων στόχος των προσφύγων είναι η εγκατάστασή τους σε χώρες με υψηλότερο βιοτικό επίπεδο όπως η Αυστρία, η Γερμανία, η Σουηδία ή η Γαλλία.

Γράφημα 2.3 Εντοπισμός διαβάσεων των συνόρων και εθνικότητες των μεγαλύτερων αριθμών ατόμων που διέρχονται τα σύνορα το έτος 2017 (ESPON, 2018).



Το 2017, η πλειοψηφία των αιτούντων άσυλο για πρώτη φορά στην Ελλάδα, κατάγεται κυρίως από τη Συρία με ποσοστό εκπροσώπησης 28 % και ακολουθούν το Ιράκ, το Αφγανιστάν και το Πακιστάν.

Σύμφωνα με την Ύπατη Αρμοστεία, κατά το χρονικό διάστημα 2015 – 2016 μέχρι το τέλος Φεβρουαρίου του 2020, οι πρόσφυγες και οι μετανάστες στην Ελλάδα ήταν 118.000, κατατάσσοντάς την στην ένατη θέση παγκοσμίως με τον περισσότερο προσφυγικό πληθυσμό (Πίνακας 2.1) και τέταρτη στην Ευρώπη σε σχέση με τις άλλες χώρες υποδοχής. Από αυτούς που διαμένουν στην Ελλάδα, 76.000 ζώνουν στην ηπειρωτική χώρα και 42.000 στα νησιά.

Πίνακας 2.1 Βασικές χώρες υποδοχής προσφύγων και οι αντίστοιχοι προσφυγικοί πληθυσμοί (ΚΕΠΥ, 2020).

| Χώρα | Προσφυγικοί πληθυσμοί |
|-------------|---|
| Τουρκία | 4.000.000 (Φεβρουάριος 2020) |
| Πακιστάν | 1.428.000 (Δεκέμβριος 2019) |
| Ουγκάντα | 1.394.678 (Ιανουάριος 2020) |
| Σουδάν | 1.086.034 (Φεβρουάριος 2020) |
| Γερμανία | Πάνω από 1.000.000 (Ιανουάριος 2020) |
| Ιράν | 979.410 (Οκτώβριος 2019) |
| Λίβανος | 931.000 (Φεβρουάριος 2020) (η κυβέρνηση εκτιμά 1,5 εκ) |
| Μπαγκλαντές | 854.704 (Φεβρουάριος 2020) |
| Ελλάδα | 118.000 (Μάρτιος 2020) |

Σε αυτό το σημείο, αξίζει να σημειωθεί ότι κατά την προσπάθεια εισόδου των προσφύγων στην Ευρώπη, από τις κύριες οδούς της Μεσογείου που έχουν προαναφερθεί, χιλιάδες έχασαν τη ζωή τους είτε παραμένουν αγνοούμενοι. Συγκεκριμένα, από το 2014 έχει καταγραφεί ότι ο αριθμός των θανάτων και των αγνοούμενων συνολικά μέχρι σήμερα είναι 22.813. Ο μεγαλύτερος αριθμός παρατηρήθηκε το 2016 και η πιο διαδεδομένη οδός φαίνεται να ήταν αυτή της κεντρικής Μεσογείου (Missing Migrants Project, IOM). Στον Πίνακα 2.2 αναφέρεται ο αριθμός αφίξεων των προσφύγων στην Ελλάδα από την στεριά και την θάλασσα, αλλά και ο αριθμός των θανάτων και των αγνοούμενων διαχρονικά, από το 2014 μέχρι το 2020. Παρατηρείται ότι η κορύφωση έγινε το 2015 από τα θαλάσσια σύνορα και στη συνέχεια σημειώνεται πτώση, ενώ όσον αφορά τα χερσαία σύνορα οι περισσότερες αφίξεις πραγματοποιήθηκαν το 2018 (Πίνακας 2.2) (Operational Data Portal, UNHCR).

Πίνακας 2.2 Αριθμός αφίξεων προσφύγων ανά έτος από στεριά και θάλασσα και αριθμός θανάτων και αγνοούμενων στην Ελλάδα (Operational Data Portal, UNHCR).

| Προηγούμενα έτη | Αφίξεις από τη θάλασσα | Αφίξεις από τη στεριά | Αποθανόντες και αγνοούμενοι |
|-----------------|------------------------|-----------------------|-----------------------------|
| 2020 | 9.714 | 5.982 | 102 |
| 2019 | 59.726 | 14.887 | 71 |
| 2018 | 32.494 | 18.014 | 174 |
| 2017 | 29.718 | 6.592 | 59 |
| 2016 | 173.450 | 3.784 | 441 |
| 2015 | 856.723 | 4.907 | 799 |
| 2014 | 41.038 | 2.280 | 405 |

Οι εισροές μεταναστών και προσφύγων τα τελευταία χρόνια είχαν ως αποτέλεσμα την δημιουργία προκαταλήψεων, ενός κλίματος αβεβαιότητας και ανασφάλειας στους πολίτες των ευρωπαϊκών χωρών και πολλές φορές προκλήθηκαν φαινόμενα ρατσισμού. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η αντίληψη ότι υπάρχουν πάρα πολλοί πρόσφυγες στην Ευρώπη, παρά το γεγονός ότι οι μετανάστες και οι πρόσφυγες στην Ευρώπη αποτελούν το 10 % του συνολικού πληθυσμού, όπως έχει ήδη προαναφερθεί (WHO, 2018). Μία άλλη άποψη που επικρατεί, είναι ότι οι συγκεκριμένοι πληθυσμοί «φέρνουν» από τις χώρες καταγωγής τους διάφορες μολυσματικές ασθένειες κάτι που δεν είναι πάντα αληθές. Για παράδειγμα, σχετικά με τον ιό HIV (Human Immunodeficiency Virus – Ιός Ανοσοανεπάρκειας του Ανθρώπου), αρκετές έρευνες έχουν δείξει ότι οι μετανάστες οι οποίοι είναι οροθετικοί, μολύνθηκαν με τον ιό μετά την μετανάστευσή τους στις χώρες υποδοχής (Alvarez - del Arco et al., 2017; Pantazis et al., 2019).

2.2 Προσφυγικές δομές στην Ελλάδα

Το καλοκαίρι του 2015, όταν η προσφυγική κρίση άρχισε να κορυφώνεται, υπολογίζεται ότι περίπου 10.000 μετανάστες και πρόσφυγες έφταναν καθημερινά στην Ελλάδα (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2017). Αυτό οδήγησε στη δημιουργία μίας κατάστασης έκτακτης ανθρωπιστικής ανάγκης εντός της ΕΕ. Παρόλο που η ΕΕ έχει ήδη αναπτύξει χρηματοδοτικά μέσα για να ενισχύσει τα κράτη μέλη ώστε να μπορέσουν να αντιμετωπίσουν διάφορες εσωτερικές προκλήσεις σε περιοχές που έχουν πληγεί από καταστροφές, η εξαιρετικά μεγάλη κλίμακα της προσφυγικής κρίσης δεν κατέστησε απόλυτα αποτελεσματικό κανένα από αυτά, προκειμένου να ανταποκριθούν στις εκτεταμένες ανθρωπιστικές ανάγκες στην ΕΕ. Ένα σημείο που επισημάνθηκε στην ανακοίνωση της Επιτροπής σχετικά με την πραγματοποίηση των δράσεων προτεραιότητας, στο πλαίσιο του ευρωπαϊκού προγράμματος δράσης για τη μετανάστευση, ήταν «η ανάγκη να αποκτήσει η ΕΕ ικανότητα παροχής ανθρωπιστικής βοήθειας εντός των συνόρων της, προκειμένου να βοηθήσει τα κράτη μέλη που βρίσκονται αντιμέτωπα με το μεγάλο αριθμό προσφύγων και μεταναστών» (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2017).

Σε έκθεση προόδου για την υλοποίηση των κομβικών σημείων (hotspots) στην Ελλάδα, η Επιτροπή στις 29 Σεπτεμβρίου 2015, δημοσίευσε ανακοίνωση προς το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο η οποία παρουσιάζει τα άμεσα επιχειρησιακά, δημοσιονομικά και νομικά μέτρα που αφορούν τη μετανάστευση. Σε αυτό το πλαίσιο αιτείται «την πλήρη εφαρμογή του καθεστώτος μετεγκατάστασης και των ομάδων υποστήριξης της διαχείρισης της μετανάστευσης που δραστηριοποιούνται στα «κομβικά σημεία» (hotspots)» (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2015).

Στη διεθνή βιβλιογραφία οι όροι «κομβικά σημεία» (hotspots) ή «προσφυγικοί καταυλισμοί» (refugee camps) δεν είναι απόλυτα ξεκάθαροι. Η αποσαφήνισή τους συνήθως πραγματοποιείται εμπειρικά, ύστερα από διερεύνηση των διαφόρων περιπτώσεων των προσφυγικών καταυλισμών (Turner, 2016). Γενικά όμως αυτοί οι όροι χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν οικισμούς που ποικίλουν σε μέγεθος και χαρακτηριστικά. Οι προσφυγικοί καταυλισμοί διαφέρουν μεταξύ τους, διότι διαφέρουν και οι συνθήκες κάτω από τις οποίες δημιουργήθηκε ο καθένας τους ξεχωριστά. Πρόκειται για οριοθετημένες περιοχές, όπου στεγάζονται πρόσφυγες, στους οποίους παρέχεται βοήθεια και κάλυψη βασικών αναγκών κυρίως από τις χώρες φιλοξενίας και διάφορες ανθρωπιστικές οργανώσεις. Επίσης, χαρακτηρίζονται από προσωρινές και πρόχειρες εγκαταστάσεις, στέγασης και λειτουργίας ανθρώπινων δραστηριοτήτων (UNHCR, 2014).

Ο σχεδιασμός ενός προσφυγικού καταυλισμού βασίζεται στο εγχειρίδιο Masterplan και θα πρέπει να ακολουθεί κάποιες συγκεκριμένες προδιαγραφές. Ο χώρος του καταυλισμού πρέπει να είναι τετράγωνο σχήματος, ενώ η κάτοψη της κάθε κοινότητας να έχει σχήμα με μορφή U ή H. Αρχικά, ο σχεδιασμός θα πρέπει να ξεκινάει με τη μικρότερη μονάδα που είναι η οικογένεια. Η μονάδα της οικογένειας αποτελείται από 4-6 άτομα, οι κοινότητες στην συνέχεια από 16 οικογένειες, τα τετράγωνα από 16 κοινότητες, οι τομείς από 4 τετράγωνα και τέλος ολόκληρο το camp από 4 τετράγωνα. Ο συνολικός αριθμός ατόμων σε ένα camp δεν θα πρέπει να ξεπερνάει τους 20.000 και ο συνολικός χώρος που αναλογεί σε κάθε πρόσφυγα εντός του καταυλισμού πρέπει είναι 30 - 45 τμ (UNHCR, 2007).

Ο πρώτος προσφυγικός καταυλισμός που δημιουργήθηκε στην Ελλάδα ήταν στην περιοχή τη Μόριας, στη Λέσβο. Την ίδια περίοδο οι ελληνικές αρχές καθόρισαν πέντε άλλα κομβικά σημεία σε Λέσβο, Λέρο, Κω, Χίο και Σάμο. Σε ανακοίνωση προς το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, στις 15 Δεκεμβρίου 2015, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή αναφέρει ότι «η Μόρια (Λέσβος) ήταν το μόνο λειτουργικό κομβικό σημείο με εργασίες καταγραφής που περιελάμβαναν: διαχωρισμό (screening), έλεγχο εγγράφων, λήψη δακτυλικών αποτυπωμάτων και καταγραφή με την επίβλεψη του Frontex (Οργανισμός Ευρωπαϊκής Συνοριοφυλακής και Ακτοφυλακής), καθώς και την ευκαιρία υποβολής αίτησης για παροχή ασύλου και μετεγκατάσταση, με τη βοήθεια της Ευρωπαϊκής Υπηρεσίας Υποστήριξης για το Άσυλο (EASO)» (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2015).

Έπειτα από τη συμφωνία ΕΕ - Τουρκίας, της 18ης Μαρτίου 2016, η κατάσταση στη διαδρομή της Ανατολικής Μεσογείου άλλαξε άρδην με αποτέλεσμα να μειωθούν σημαντικά οι διελεύσεις από την Τουρκία στην Ελλάδα, με μέσο όρο αφίξεων 79 άτομα την ημέρα, έως τις 6 Μαρτίου 2017 (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2017). Συνεπώς, η παροδική επαναφορά των ελέγχων στα εσωτερικά σύνορα από ορισμένα κράτη μέλη και στα εξωτερικά σύνορα ορισμένων άλλων χωρών κατά μήκος της διαδρομής της Ανατολικής Μεσογείου είχε ως απόρροια να «εγκλωβιστούν» στην Ελλάδα περισσότεροι από 62.000 πρόσφυγες και μετανάστες, μεταξύ των οποίων πάνω από 14.000 στα νησιά. Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή επιτροπή, αυτό είχε ως συνέπεια «...να προκύψουν σημαντικές ανθρωπιστικές ανάγκες, συμπεριλαμβανομένων της επισιτιστικής βοήθειας, της στέγασης, της ιατροφαρμακευτικής περίθαλψης, της ύδρευσης, αποχέτευσης και υγιεινής (WASH), μη εδωδιμων προϊόντων (NFI) και προστασίας» (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2017).

Σύμφωνα με τις οδηγίες που ανακοινώθηκαν από τις ελληνικές αρχές, ο κανονισμός επέτρεψε σε διάφορους φορείς να συμβάλουν ταχέως στη διαχείριση των ανθρωπιστικών επιπτώσεων της κρίσης αυτής. Αυτό επέφερε αίσια έκβαση σε περισσότερους από 45.000 πρόσφυγες σε περισσότερες από 30 δομές στα νησιά και στην ηπειρωτική Ελλάδα (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2017). Με βάση την Ευρωπαϊκή

Επιτροπή της 15 Μαρτίου 2017, «οι κυριότερες επιχειρησιακές προτεραιότητες ήταν η παροχή καταλυμάτων και διαχείρισης, βοήθειας μέσω μεταβιβάσεων μετρητών, προστασίας ασυνόδευτων ανηλίκων (UAMs/AA), εκπαίδευσης σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης, καθώς και υπηρεσιών υγειονομικής περίθαλψης». Ακόμη, αναφέρεται ότι για την παροχή καταλυμάτων σε περισσότερους από 35.000 πρόσφυγες και μετανάστες στην Ελλάδα, διάτεθηκαν 80 εκ. ευρώ σε ΥΑ, IOM, Διεθνή Επιτροπή Διάσωσης (IRC), Διεθνή Ομοσπονδία των Εταιριών του Ερυθρού Σταυρού και της Ερυθράς Ημισελήνου (IFRC), Arbeiter-Samariter-Bund (ASB), Danish Refugee Council (DRC), Norwegian Refugee Council (NRC) και Oxfam. Επιπλέον, σε συνεργασία με τις ελληνικές αρχές, υλοποιήθηκαν έργα χρηματοδοτημένα από το Μέσο Στήριξης Έκτακτης Ανάγκης (ESI) σε 30 προσωρινές και μόνιμες εγκαταστάσεις από τις 49, οι οποίες έχουν προσδιοριστεί από την ελληνική κυβέρνηση στην ηπειρωτική χώρα. Οι δομές αυτές, στις 14 Φεβρουαρίου 2017, φιλοξενούσαν 11.568 ανθρώπους και η συνολική χωρητικότητά τους ήταν 18.510 (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2017). Σε αυτό το πλαίσιο προτάθηκαν έργα ανάπτυξης των εγκαταστάσεων, παροχή σκηνών (στα αρχικά στάδια) και rub halls (εμπορικό όνομα για μια ιδιαίτερα μεγάλη, μετακινούμενη δομή τύπου σκηνής που χρησιμοποιείται συχνά σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης και προσωρινής βιομηχανίας), εγκατάσταση οικίσκων κοντέινερ, καθώς και ανακαίνιση υφιστάμενων κτιρίων (Asylum Information Database (AIDA), 2021). Επίσης χρηματοδοτούνται η αποκατάσταση, η αναβάθμιση και η κατασκευή υπηρεσιών ύδρευσης και αποχέτευσης (WASH) και συστημάτων και εγκαταστάσεων θέρμανσης και ηλεκτρισμού (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2017).

Οι συμβάσεις που υπογράφηκαν το 2016, αφορούσαν μεταξύ άλλων και δραστηριότητες προσαρμογής στις χειμερινές συνθήκες και περιελάμβαναν παρεμβάσεις στέγασης και υγιεινής (WASH) και τη σχετική συντήρηση. Από το ESI (Μέσο για την παροχή στήριξης έκτακτης ανάγκης εντός της Ένωσης) χρηματοδοτούνται συνολικά 30 εγκαταστάσεις, οι οποίες επισημαίνεται ότι είναι «έτοιμες να ανταπεξέλθουν στις χειμερινές συνθήκες». Αυτές οι δράσεις, αποσκοπούν κυρίως στη βελτίωση της μόνωσης, στην εγκατάσταση συσκευών θέρμανσης και σε αναβαθμίσεις ασφάλειας για τον περιορισμό του κινδύνου πυρκαγιάς (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2017).

Η ελληνική κυβέρνηση έχει αναθέσει στην UNHCR εξ'ολοκλήρου την ανάπτυξη υποδομών και την προσαρμογή στις χειμερινές συνθήκες σε 14 δομές στην ηπειρωτική χώρα. Στον Πίνακα 2.3 παρουσιάζεται αναλυτικά η κατανομή των διαθέσιμων θέσεων στέγασης σύμφωνα με το σχέδιο της UNHCR. Για την αντιμετώπιση των χειμερινών συνθηκών στις δομές, οι δράσεις που έχουν ανατεθεί στην UNHCR διαφέρουν από μια τοποθεσία σε άλλη. Σε ορισμένες περιπτώσεις, τοποθετήθηκαν

προκατασκευασμένα σπίτια, ενώ σε άλλες η UNHCR αποκατέστησε υπάρχοντα κτίρια και αναβάθμισε τον εξοπλισμό τους (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2017).

Πίνακας 2.3 Κατανομή των διαθέσιμων θέσεων στέγασης σύμφωνα με το σχέδιο της UNHCR τον Φεβρουάριο του 2017 σε δομές στέγασης στην Ελλάδα (AIDA, 2016).

| Σχέδιο στέγασης της UNHCR: 21 Φεβρουαρίου 2017 | |
|---|---------------------|
| Τύποι στέγασης | Χωρητικότητα |
| Διαμερίσματα | 11.149 |
| Ξενοδοχεία | 5.226 |
| Κτίρια (δομές) | 1.808 |
| Ανάδοχες οικογένειες | 372 |
| Κατοικίες για ασυνόδευτα παιδιά | 732 |
| Συνολικός αριθμός κατοικιών | 19.287 |
| Συνολικός αριθμός επωφελομένων | 25.817 |
| Ποσοστό (%) χρήσης | 79 % |

Ο νόμος του Απριλίου 2016 παρείχε νομική βάση για τη δημιουργία διαφορετικών καταλυμάτων εγκατάστασης. Εκτός από τα Κέντρα Υποδοχής και Ταυτοποίησης, το Υπουργείο Οικονομίας και το Υπουργείο Μεταναστευτικής Πολιτικής, με κοινή απόφαση, ανακοίνωσαν την έναρξη δημιουργίας Δομών Προσωρινής Υποδοχής Αιτούντων Άσυλο, καθώς και Δομών Προσωρινής Φιλοξενίας για άτομα που πρόκειται να επαναπατριστούν ή γι' αυτούς που προσωρινά αυτή η διαδικασία έχει ανασταλεί. Παρά τις διατάξεις αυτές, οι περισσότερες προσωρινές δομές φιλοξενίας και εγκαταστάσεις έκτακτης ανάγκης λειτουργούν χωρίς προηγούμενη Υπουργική Απόφαση και απαιτούμενη νομική βάση. Από τον Ιανουάριο του 2017, συνολικά 1.896 θέσεις ήταν διαθέσιμες σε 64 εγκαταστάσεις υποδοχής που διευθύνονται κυρίως από ΜΚΟ, εκ των οποίων οι 1.312 είναι προορισμένες για ασυνόδευτα παιδιά (AIDA, 2016).

Τον Ιούλιο του 2017, όπως ανακοίνωσε η Ευρωπαϊκή Επιτροπή, το πρόγραμμα στέγασης συμπεριλήφθηκε στο πρόγραμμα Emergency Support to Integration and Accommodation (ESTIA) που χρηματοδοτείται από το τμήμα Ανθρωπιστικής Βοήθειας και Πολιτικής Προστασίας της Ευρωπαϊκής Επιτροπής (DG ECHO), με στόχο την παροχή αστικών καταλυμάτων και χρηματικής βοήθειας, προκειμένου να φιλοξενηθούν έως και 30.000 άτομα από το τέλος του 2017 (AIDA, 2021).

Σύμφωνα με τις τροποποιήσεις που επέφερε ο Ν. 4686/2020, το Υπουργείο Οικονομικών, Προστασίας του Πολίτη και Μετανάστευσης & Ασύλου αποφάσισαν τον σχεδιασμό κλειστών προσωρινών κέντρων υποδοχής και κλειστών ελεγχόμενων νησιωτικών κέντρων ασύλου για αιτούντες που υπόκεινται σε ένταλμα κράτησης και για αιτούντες ή πρόσωπα που υπόκεινται σε διαδικασία επιστροφής ή επαναπροώθησης, ή των οποίων η απομάκρυνση έχει ανασταλεί, υπό την προϋπόθεση ότι τους έχουν επιβληθεί περιοριστικοί όροι. Σύμφωνα με την ίδια τροπολογία, Κέντρα Υποδοχής και Ταυτοποίησης (ΚΥΤ), κλειστές δομές προσωρινής υποδοχής, προαναχωρησιακά κέντρα κράτησης, καθώς και χωριστοί χώροι με κατάλληλες προδιαγραφές για τη φιλοξενία υπηκόων τρίτων χωρών ή απάτριδων που ανήκουν σε ευάλωτες ομάδες μπορούν να λειτουργήσουν εντός των προαναφερθέντων κλειστών προσωρινών κέντρων υποδοχής και κλειστών ελεγχόμενων νησιωτικών κέντρων (AIDA, 2021).

Το 2019, περισσότερα από 70.000 άτομα έφτασαν στα ελληνικά νησιά και την ηπειρωτική χώρα, σημειώνοντας αύξηση 50 % σε σύγκριση με τις αφίξεις του 2018, επηρεάζοντας έτσι περαιτέρω την ικανότητα του κράτους να παρέχει υλικές συνθήκες υποδοχής. Αυτή η τάση συνέχισε να ισχύει και τους πρώτους μήνες του 2020. Για παράδειγμα, έως τις 29 Φεβρουαρίου 2020, περισσότερα από 38.000 άτομα αναγκάστηκαν να παραμείνουν σε νησιωτικά ΚΥΤ με χωρητικότητα όχι μεγαλύτερη από 6.178 θέσεις (AIDA, 2021).

Έκτοτε, οι συνθήκες υπερπληθυσμού άρχισαν σταδιακά να βελτιώνονται, καθώς πραγματοποιήθηκαν μεταφορές αιτούντων άσυλο, με τη διαδικασία να διευκολύνεται από τον μειωμένο αριθμό αφίξεων στα νησιά, στο πλαίσιο της παρατηρούμενης γενικής μείωσης των διασυνοριακών μετακινήσεων στα ανατολικά της Μεσογείου το 2020, και ιδιαίτερα από τον Μάρτιο, όταν η πανδημία COVID-19 έπληξε την Ελλάδα και την Ευρώπη (AIDA, 2021). Ωστόσο, η κατάσταση στα νησιά παρέμεινε κάτω από τα αποδεκτά πρότυπα, ενώ ο χρόνος μείωσης του αριθμού των αφίξεων συμπίπτει επίσης με αύξηση των αναφορών και μαρτυριών για επαναπροωθήσεις που πραγματοποιήθηκαν στα χερσαία και θαλάσσια σύνορα της Ελλάδας οι οποίες δεν έχουν ακόμη διερευνηθεί αποτελεσματικά. Στον Πίνακα 2.4 παρουσιάζεται η κατανομή του πληθυσμού και η αντίστοιχη χωρητικότητα σε κάθε προσωρινή δομή φιλοξενίας στην ηπειρωτική Ελλάδα το Δεκέμβριο του 2020 (AIDA, 2021).

Πίνακας 2.4 Ο πληθυσμός και η αντίστοιχη χωρητικότητα σε κάθε προσωρινή δομή φιλοξενίας στην ηπειρωτική Ελλάδα το Δεκέμβριο του 2020 (AIDA, 2021).

| Χρήση των προσωρινών κέντρων στέγασης: Δεκέμβριος 2020 | | | | | | | | | | |
|--|---------------|--------------|-----------|----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|------------|------------|
| Δομή | Πληθυσμός | Χωρητικότητα | Χρήση (%) | Εθνικότητα (%) | | | | Ηλικία /Φύλο | | |
| | | | | Αφγ. | Συρία | Ιράκ | Άλλο | Ανδρες | Γυναίκες | Παιδιά |
| Αλεξάνδρεια | 738 | 614 | 120% | 43,60 | 33,05 | 17,02 | 6,33 | 30% | 20% | 50% |
| Ανδραβίδα – Κυλλήνη | 284 | 312 | 91% | – | 98,73 | 1,27 | – | 25% | 23% | 52% |
| Διαβατά | 1.091 | 936 | 117% | 46,75 | 16,92 | 19,63 | 16,7 | 33% | 24% | 43% |
| Δολιανά | 159 | 177 | 90% | – | 47,17 | 26,42 | 26,42 | 18% | 26% | 56% |
| Δράμα | 409 | 420 | 97% | – | 74,29 | 20 | 5,71 | 22% | 18% | 60% |
| Ελευσίνα | 193 | 180 | 107% | 14,36 | 62,38 | 18,32 | 4,96 | 17% | 20% | 63% |
| Ελαιώνας | 2.196 | 1.914 | 115% | 43,77 | 29,07 | 5,33 | 21,83 | 31% | 27% | 42% |
| Φιλιπιάδα | 694 | 672 | 103% | 55,28 | 21,56 | 8,39 | 14,77 | 24% | 23% | 53% |
| Γρεβενά | 730 | 742 | 98% | 20,33 | 56,59 | 12,09 | 11 | 28% | 26% | 46% |
| Κάτω Μηλιά | 344 | 340 | 101% | 23,55 | 53,78 | 12,79 | 9,87 | 29% | 25% | 46% |
| Κάτσικας | 1.265 | 1.147 | 110% | 46,25 | 21,90 | 11,94 | 19,91 | 32% | 23% | 45% |
| Καβάλα | 1.022 | 1.237 | 83% | 75,30 | 4,94 | 10,28 | 9,48 | 25% | 21% | 54% |
| Κλειδί-Σιντική | 344 | 1.500 | 23% | 32,27 | 9,59 | 1,45 | 56,69 | 59% | 25% | 16% |
| Κόρινθος | 690 | 784 | 88% | 50,28 | 19,47 | 1,82 | 28,43 | 39% | 28% | 33% |
| Κουτσόγερο (Λάρισα) | 1.386 | 1.500 | 92% | 43,38 | 27,80 | 7,75 | 78,93 | 40% | 25% | 35% |
| Λαγκαδίκια | 447 | 456 | 98% | 3,34 | 28,64 | 55,37 | 12,65 | 34% | 23% | 43% |
| Λαύριο | 267 | 269 | 99% | 24,61 | 38,67 | 2,34 | 34,38 | 37% | 21% | 42% |
| Μαλακάσα | 1.861 | 1.589 | 117% | 96,46 | – | – | 3,54 | 38% | 23% | 39% |
| Νέα Μαλακάσα | 802 | 1.500 | 53% | 27,88 | 29,16 | 1,53 | 41,43 | 40% | 27% | 33% |
| Νέα Καβάλα - Πολύκαστρο | 1.521 | 1.921 | 79% | 56,75 | 19,44 | 4,03 | 19,78 | 38% | 22% | 40% |
| Οινόφυτα | 596 | 621 | 96% | 14,31 | 79,44 | 6,09 | 0,16 | 36% | 23% | 41% |
| Πύργος | 81 | 80 | 101% | 55 | 40 | 2,50 | 2,50 | – | 49% | 51% |
| Ριτσώνα | 2.871 | 2.978 | 96% | 34,11 | 46,70 | 4,15 | 15,04 | 30% | 25% | 45% |
| Σχιστό | 985 | 1.100 | 90% | 65,25 | 24,68 | 6,10 | 3,97 | 30% | 23% | 47% |
| Σέρρες | 1.057 | 1.679 | 63% | 11,17 | 5,92 | 80,47 | 2,44 | 30% | 29% | 41% |
| Σκαρμαγκάς | 2.699 | 2.772 | 97% | 33,48 | 45,35 | 7,12 | 14,05% | 36% | 24% | 40% |
| Θερμοπύλες | 339 | 560 | 61% | – | 80,83 | 14,16 | 5,01 | 25% | 22% | 53% |
| Θήβα | 870 | 956 | 91% | 59,42 | 23,47 | 11,91 | 5,21 | 36% | 19% | 45% |
| Βαγιοχώρι | 799 | 792 | 101% | 80,31 | 12,69 | 2,33 | 4,66 | 23% | 26% | 51% |
| Βέροια | 479 | 519 | 92% | 1,32 | 58,33 | 23,03 | 17,32 | 26% | 24% | 50% |
| Βόλος | 141 | 150 | 92% | – | 41,55 | 20,42 | 38,03 | 38% | 20% | 42% |
| Βόλβη – Νέα Απολλωνία | 1.021 | 1.011 | 101% | 30,91 | 35,23 | 8,15 | 25,71 | 30% | 28% | 42% |
| Σύνολο | 28.381 | | | 42,44 | 31,51 | 11,08 | 14,95 | 33% | 24% | 43% |

Συνοπτικά, οι 118.000 ευρισκόμενοι στη χώρα από το 2015-2016, κατανέμονται στα νησιά του Ανατολικού Αιγαίου, σε Κέντρα Υποδοχής & Ταυτοποίησης, στο Κέντρο Υποδοχής και Ταυτοποίησης Φυλακίου στον Έβρο, σε τριάντα ανοικτές δομές φιλοξενίας στην ηπειρωτική Ελλάδα, όπου παρέχει υπηρεσίες ο ΔΟΜ, σε ξενοδοχεία όπου επίσης παρέχει υπηρεσίες ο ΔΟΜ, σε διαμερίσματα του προγράμματος ΕΣΤΙΑ και σε αυτοσχέδιους καταυλισμούς. Οι συμμετέχοντες στο πρόγραμμα εγκατάστασης ΕΣΤΙΑ της Ύπατης Αρμοστείας του ΟΗΕ το οποίο συγχρηματοδοτείται από το ταμείο Asylum, Migration and Integration Fund (AMIF) της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, έφταναν τους 22.053 τον Απρίλιο του 2020 (ΚΕΠΥ, 2020).

Ενώ στην ηπειρωτική Ελλάδα οι περιπτώσεις υπερπληθυσμού είναι μειωμένες, από την άλλη πλευρά στα νησιά η κατάσταση είναι ασφυκτική. Ο Veizis (2020) επισήμανε ότι τον Απρίλιο του 2020, σχεδόν 40.000 άνθρωποι βρίσκονται στα 5 ΚΥΤ στα ελληνικά νησιά, τα οποία έχουν χωρητικότητα μόνο για 6.095. Συγκεκριμένα, στον Πίνακα 2.5 αναφέρεται ότι στη Λέσβο σε έναν χώρο σχεδιασμένο για 2.757 πρόσφυγες διαμένουν σχεδόν 18.804 και στην Σάμο αντίστοιχα οι διαμένοντες είναι 6.932 σε ένα κέντρο με μέγιστη χωρητικότητα τα 648 άτομα (Veizis, 2020).

Πίνακας 2.5 Πληθυσμός προσφύγων και η αντίστοιχη χωρητικότητα σε κάθε δομή στα νησιά του Ανατολικού Αιγαίου στις 7 Απριλίου το έτος 2020 (General Secretariat for Information and Communication, 2020).

| Μέρος/Τοποθεσία | | Λέσβος | | Χίος | | Σάμος | | Κως | |
|---|-----------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | | Χρήση | Χωρητικότητα | Χρήση | Χωρητικότητα | Χρήση | Χωρητικότητα | Χρήση | Χωρητικότητα |
| ΚΥΤ | | 18.804 | 2.757 | 5.300 | 1.014 | 6.932 | 648 | 2.628 | 816 |
| Άλλες δομές στέγασης | | 1.068 | | - | - | - | - | - | - |
| Υποδομές ελληνικής αστυνομίας | ΠΚΕΚ* | 196 | 210 | - | - | - | - | 449 | 474 |
| | Κέντρα κράτησης | 33 | - | 13 | - | 31 | - | - | - |
| UNHCR | | 640 | 776 | 266 | 297 | 298 | 282 | 189 | 213 |
| ΕΚΚΑ** | | 142 | 148 | 16 | 18 | 17 | 18 | | |
| Άλλες ΜΚΟ | | 68 | 100 | - | - | - | - | - | - |
| Συνολικός αριθμός μεταναστών στο εκάστοτε νησί | | 20.951 | | 5.595 | | 7.278 | | 3.266 | |

*Προαναχωρησιακά Κέντρα Κράτησης (Π.Κ.Ε.Κ), **Εθνικό Κέντρο Κοινωνικής Αλληλεγγύης (ΕΚΚΑ)

Είναι φανερό ότι οι καταυλισμοί προσφύγων δεν μπορούν να αποτελέσουν λύση στο πρόβλημα στέγασης των προσφύγων και των μεταναστών. Η λειτουργία των συγκεκριμένων δομών και η διαμονή σε αυτές μπορεί να έχει αντίκτυπο τόσο στους πρόσφυγες, όσο και στην τοπική κοινωνία. Καταρχάς, η εξάρτηση από την εξωτερική βοήθεια μειώνει την αυτονομία των ανθρώπων, αναπτύσσεται κοινωνική απομόνωση και δημιουργούνται προβλήματα ασφαλείας εντός του καταυλισμού (Γερασιμάτος, 2016). Το Κέντρο Ελέγχου & Πρόληψης Νοσημάτων (ΚΕΕΛΠΝΟ, νυν ΕΟΔΥ (Εθνικός Οργανισμός Δημόσιας Υγείας)), το 2016 σε επιστολή προς το Υπουργείο Μεταναστευτικής Πολιτικής, τόνισε ότι στα κέντρα φιλοξενίας οι συνθήκες διαβίωσης είναι δυσμενείς, δεδομένου ότι οι άνθρωποι στεγάζονται σε αποθήκες εν αγρηστία έπειτα από βιομηχανική χρήση. Επιπλέον, οι Subbaraman (2020) και Vonen et al. (2021) επισημαίνουν ότι υπάρχει συγχρωτισμός εκατοντάδων ατόμων σε αυτές τις δομές, με ανεπαρκή εξαερισμό και κακές συνθήκες υγιεινής, με αποτέλεσμα να αυξάνονται οι πιθανότητες εμφάνισης τροφιμογενών και υδατογενών επιδημιών καθώς και μεταδιδόμενων νοσημάτων. Επιπροσθέτως, όσοι πρόσφυγες διαμένουν σε ιδιωτικά καταλύματα ενδέχεται να αντιμετωπίσουν πολλές προκλήσεις, όπως υψηλές τιμές ενοικίων και πιεστικές απαιτήσεις για πληρωμή προκαταβολών από τους ιδιοκτήτες (ESPON, 2018). Τούτο μπορεί να οδηγήσει στον ανταγωνισμό μεταξύ αναγνωρισμένων προσφύγων και γηγενών που ομοίως αναζητούν στέγαση, να συντελέσει στην εμφάνιση προκαταλήψεων και να εμποδίσει την ομαλή ένταξη των πρώτων στην τοπική κοινωνία και στην χώρα υποδοχής τους (Subbaraman, 2020 ; Vonen et al., 2021).

2.2.1 Νέο KYT Λέσβου (Προσωρινή Δομή Μαυροβουνίου) – Πληθυσμιακή και ηλικιακή κατανομή - δημογραφικά χαρακτηριστικά

Όπως έχει προαναφερθεί, η πρώτη δομή φιλοξενίας προσφύγων στην Ελλάδα δημιουργήθηκε στη Λέσβο και πιο συγκεκριμένα στη Μόρια. Επρόκειτο για τη μεγαλύτερη δομή μεταναστών στην Ευρώπη, η οποία όμως καταστράφηκε λόγω πυρκαγιάς, τον Σεπτέμβριο του 2020 (InfoMigrants, 2021). Έκτοτε, κάποιοι μετανάστες μεταφέρθηκαν στη δομή στο Καρά Τεπέ και κάποιοι άλλοι στο **νέο KYT Μαυροβουνίου** (αναφέρεται και ως νέο Καρά Τεπέ). Το νέο KYT της Λέσβου, διαμορφώθηκε τον Οκτώβριο του ίδιου έτους, ως κατάσταση έκτακτης ανάγκης, ύστερα από τη διάλυση της δομής στη Μόρια (Legal Centre Lesbos, 2021), αφού 12.000 άτομα έμειναν άστεγα. Μέχρι και το Δεκέμβριο 2020, περίπου 7.172 πρόσφυγες παρέμειναν στην προσωρινή δομή του Μαυροβουνίου (AIDA, 2021). Στη συνέχεια, τον Απρίλιο 2021 εκκενώθηκε και η δομή στο Καρά Τεπέ (UNHCR, 2021). Συνεπώς, την περίοδο που θα μελετήσουμε την πορεία της πανδημίας (από αρχές Μαΐου μέχρι και αρχές Ιουλίου 2021), στη Λέσβο, είναι ανοιχτό μόνο το νέο KYT στο Μαυροβούνι. Το νέο KYT βρίσκεται σε πρώην πεδίο βολής του στρατού, δίπλα στη θάλασσα, στον κεντρικό δρόμο που συνδέει την πόλη της

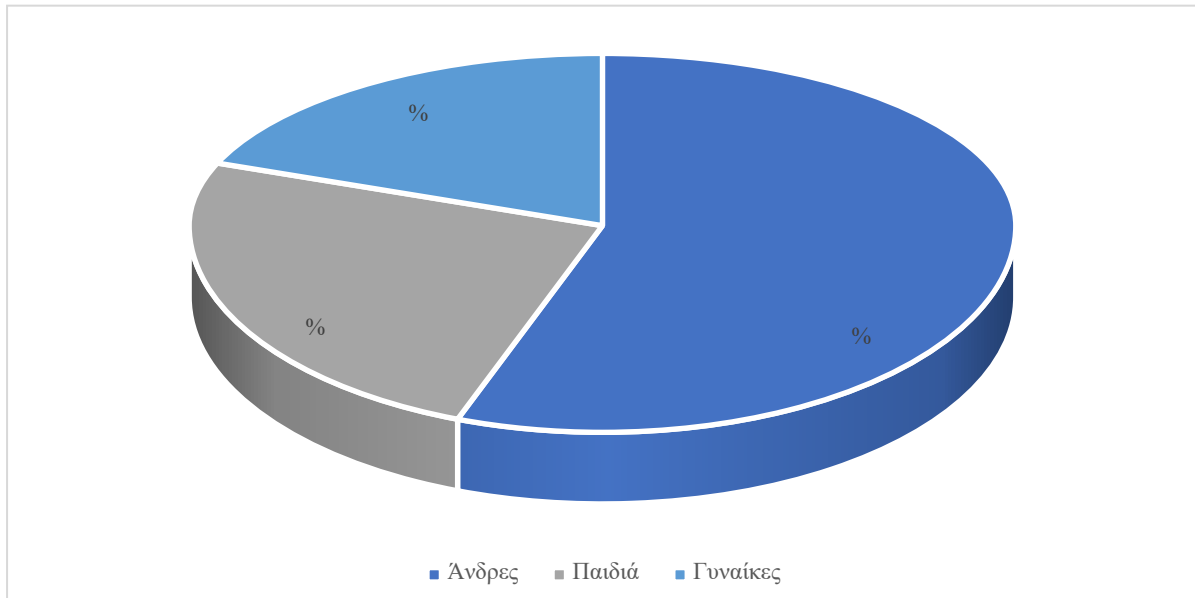
Μυτιλήνης με το χωριό Παναγιούδα (Médecins du Monde, 2020). Όσον αφορά τις υποδομές, υπάρχει ένας μεγάλος ιατρικός χώρος στο μπροστινό μέρος, μετά την κύρια είσοδο του στρατοπέδου. Το camp χωρίζεται σε 6 διαφορετικές ζώνες (Médecins du Monde, 2020):

- Η είσοδος και ο ιατρικός χώρος.
- Οι δύο ζώνες καραντίνας / απομόνωσης (για COVID – 19 περιπτώσεις). Οι νεοφερμένοι που είναι θετικοί, κρατούνται εκεί για επτά ημέρες.
- Τέσσερις ζώνες για διαμονή.

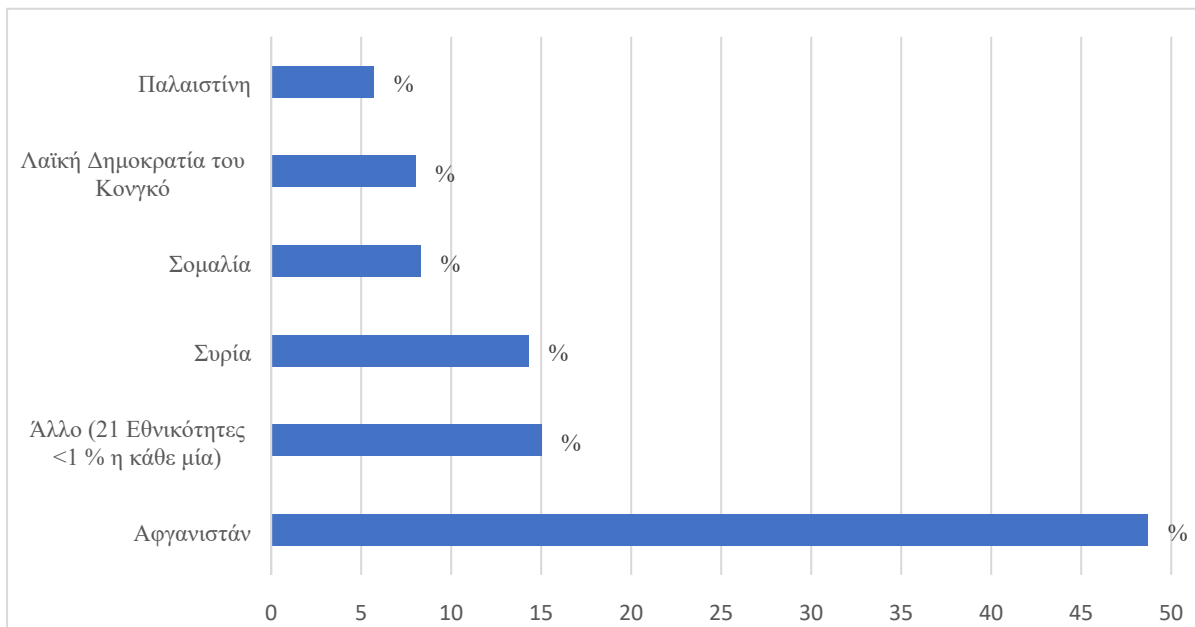
Οι διαμένοντες στο camp χωρίζονται σε 4 κύριες ζώνες (μπλε, κίτρινη, πράσινη και κόκκινη) – ανάλογα με κάποια δημογραφικά χαρακτηριστικά (ευάλωτοι πληθυσμοί, άγαμοι άνδρες, οικογένειες) και τη χωρητικότητα κάθε ζώνης δεδομένων των συνεχιζόμενων κατασκευαστικών εργασιών (Legal Centre Lesvos, 2021). Επίσης, ομαδοποιούνται σε διαφορετικά τμήματα κάθε ζώνης, ανάλογα και με την κατάστασή τους στη διαδικασία ασύλου. Για παράδειγμα, οι οικογένειες με παιδιά, των οποίων τα αιτήματα ασύλου έχουν απορριφθεί κατόπιν έφεσης, συγκεντρώνονται σε μεγάλες σκηνές (rub halls), που φιλοξενούν 80 έως 100 άτομα της «πράσινης ζώνης», η οποία είναι και η πιο απομακρυσμένη (Legal Centre Lesvos, 2021).

Ο μέσος αριθμός του πληθυσμού των διαμενόντων στο KYT του Μαυροβουνίου την περίοδο Μαΐου – Ιουλίου το έτος 2021, υπολογίζεται στους 6.093 ανθρώπους (Υπουργείο Μετανάστευσης και Ασύλου, 2021). Στη συνέχεια, στα Γραφήματα 2.4, 2.5 παρουσιάζονται κάποια δημογραφικά χαρακτηριστικά των μεταναστών και προσφύγων που διαμένουν σε δομές και KYT στα νησιά του Αιγαίου (Λέσβος, Χίος, Σάμος, Κως, Λέρος). Το μεγαλύτερο ποσοστό (55,7 %) αποτελούν, όπως φαίνεται και στο γράφημα 2.4, οι άνδρες, ενώ ακολουθούν τα παιδιά με ποσοστό 24,3 % και οι γυναίκες 20 % του πληθυσμού (UNHCR, 2021). Στο Γραφήμα 2.5, παρατηρείται ότι οι χώρες καταγωγής των προσφύγων που κατοικούν στα νησιά του Αιγαίου, είναι το Αφγανιστάν (48,7 %), η Συρία (14,3 %), η Σομαλία (8,3%), η Λαϊκή Δημοκρατία του Κονγκό (8 %), η Παλαιστίνη (5,7 %) και άλλες 21 χώρες που η κάθε μία αποτελεί ένα ποσοστό μικρότερο του 1 % (15 %).

Γράφημα 2.4 Δημογραφικά χαρακτηριστικά των διαμενόντων σε δομές και ΚΥΤ στα νησιά του Αιγαίου (Μάιος 2021 – Ιούλιος 2021) (UNHCR, 2021).



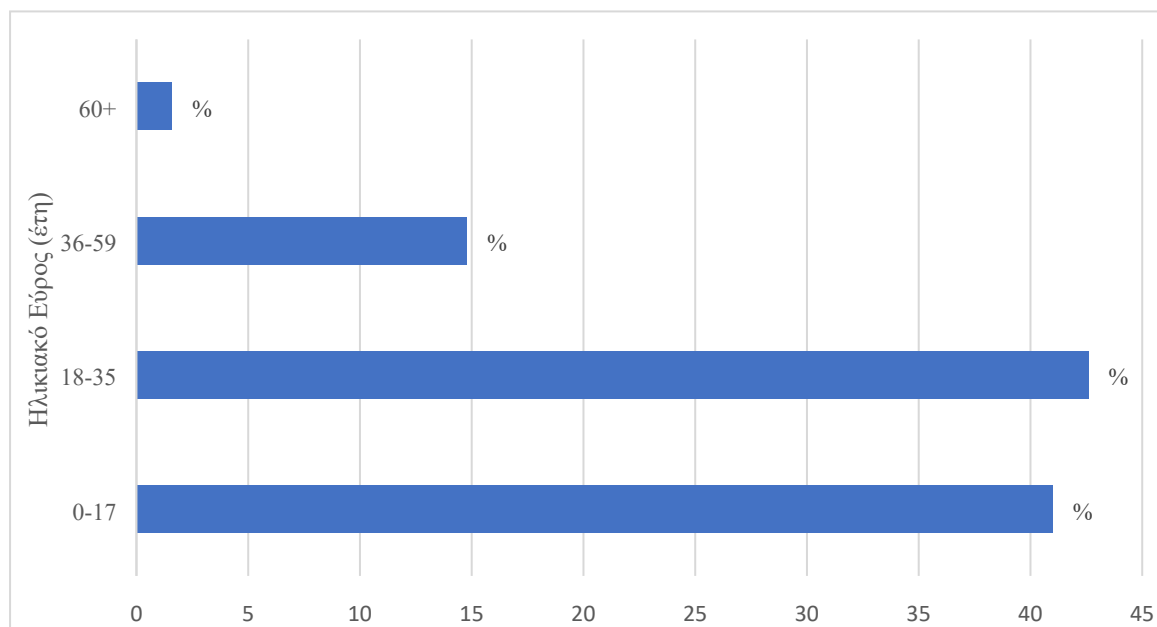
Γράφημα 2.5 Ποσοστό πληθυσμού ανά χώρα καταγωγής που διαμένει σε δομές και ΚΥΤ στα νησιά του Αιγαίου (Μάιος 2021 – Ιούλιος 2021) (IOM, 2021).



Στο Γράφημα 2.6 παρουσιάζεται η ηλικιακή κατανομή του πληθυσμού που διαμένει σε προσφυγικές δομές στην ηπειρωτική Ελλάδα. Παρατηρείται ότι οι περισσότεροι πρόσφυγες είναι νέοι, αφού τα άτομα ηλικίας 0 – 35 ετών αποτελούν το 83,6 % του πληθυσμού. Τα Γραφήματα 2.4 – 2.5 δημιουργήθηκαν με

τη χρήση δεδομένων που προέρχονται από στοιχεία της UNHCR, ενώ το Γράφημα 2.6 από στοιχεία του IOM.

Γράφημα 2.6 Ηλικιακή κατανομή του πληθυσμού που διαμένει σε προσφυγικές δομές στην ηπειρωτική Ελλάδα (Μάιος 2021 – Ιούλιος 2021) (IOM, 2021).



Επειδή τα δεδομένα για τα δημογραφικά χαρακτηριστικά και την ηλικιακή κατανομή των ατόμων που κατοικούν στο ΚΥΤ του Μαυροβουνίου είναι ελλιπή, θα θεωρήσουμε για τα δημογραφικά χαρακτηριστικά ότι ισχύει ο μέσος όρος των δεδομένων από τα νησιά του Αιγαίου που υπάρχουν δομές. Αντίστοιχα για την ηλικιακή κατανομή, θα θεωρήσουμε το μέσο όρο από τις δομές συνολικά που υπάρχουν στην ηπειρωτική Ελλάδα.

2.3 Διαχείριση της πανδημίας COVID – 19 στις δομές προσφύγων

Με την κήρυξη της νόσου COVID – 19 σε πανδημία από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (ΠΟΥ) στις 11 Μαρτίου του 2020, πολλές χώρες ανά τον κόσμο προέβησαν στη λήψη μέτρων με στόχο τον περιορισμό της μετάδοσης του ιού SARS - CoV - 2. Ωστόσο, από την εμφάνιση της νόσου μέχρι σήμερα, τα περισσότερα εθνικά προγράμματα που αφορούν την προώθηση της υγείας και την πρόληψη της συγκεκριμένης ασθένειας πολλές φορές αποκλείουν του μετανάστες και τους πρόσφυγες, με αποτέλεσμα να αυξάνεται ο κίνδυνος εμφάνισης επιδημιών ανάμεσα σε αυτούς τους πληθυσμούς (WHO, 2020). Αυτό είναι επακόλουθο κυρίως των άθλιων συνθηκών διαβίωσης αυτών των ομάδων και της ελλιπούς πρόσβασης σε νερό και σε εγκαταστάσεις υγιεινής (The Lancet, 2021).

Ήδη από το 2018, ο WHO επισημαίνει ότι «δεν υπάρχει δημόσια υγεία χωρίς την υγεία προσφύγων και μεταναστών» και υποδεικνύει την ανάγκη της προστασίας αυτών των πληθυσμών και τη λήψη μέτρων που θα λαμβάνουν υπόψη τις συνθήκες υπερπληθυσμού στις δομές, αφού κάτι τέτοιο καθιστά αδύνατη την εφαρμογή κοινωνικής αποστασιοποίησης (Openshaw and Travassos, 2021). Στις 17 Μαρτίου του 2020 η Μόνιμη Διατομεακή Επιτροπή (Interagency Standing Committee), στην οποία εκπροσωπούνται ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (WHO), ο Διεθνής Οργανισμός Μετανάστευσης (IOM), η Ύπατη Αρμοστεία των Ηνωμένων Εθνών για τους Πρόσφυγες (UNHCR), η Διεθνής Ομοσπονδία Ερυθρού Σταυρού και ο Προσωρινός Οδηγός Ετοιμότητας και Απόκρισης για ανθρωπιστικές επιχειρήσεις, ανακοίνωσε οδηγίες σχετικά με την υγεία των μεταναστών και τη νόσο COVID – 19. Οι βασικοί στόχοι ήταν ο περιορισμός της μετάδοσης, ο εντοπισμός και η κατάλληλη φροντίδα στους ασθενείς που θα μολυνθούν και η μείωση κοινωνικών και οικονομικών επιπτώσεων (Inter - Agency Standing Committee, 2020). Οι προτάσεις αναφέρονταν στα εξής σημεία:

- 1) Σχέδια Πρόληψης / Διάγνωσης που να συμπεριλαμβάνουν μέτρα για όλους τους μετανάστες και περιθωριοποιημένους ανθρώπους, όπως αποσυμφόρηση των δομών και επανασχεδιασμός των συνθηκών στέγασης στη βάση της αναγκαίας κοινωνικής αποστασιοποίησης.
- 2) Η πληροφόρηση πρέπει να γίνεται σε κατάλληλες γλώσσες.
- 3) Εντοπισμός των περιοχών με το μεγαλύτερο κίνδυνο, όπου δηλαδή ζουν άνθρωποι σε ιδιαίτερες συνθήκες υπερπληθυσμού ή / και με μεγάλη αναλογία ευάλωτου πληθυσμού.
- 4) Η εφαρμογή επιδημιολογικής επιτήρησης σύμφωνα με τα πρότυπα του WHO (Meer and Villegas, 2020).

Στο Μπαγκλαντές, όπου βρίσκεται ο μεγαλύτερος καταυλισμός προσφύγων στο Cox's Bazar, προκειμένου να περιοριστεί η πανδημία, δημιούργησαν μονάδες απομόνωσης έτσι ώστε αν κάποιος δεν αισθάνεται καλά και εμφανίσει συμπτώματα της COVID – 19 να έχει τη δυνατότητα να μετακινηθεί σε μία ζώνη απομόνωσης στην κοινότητα και από εκεί να μεταφερθεί σε μία μονάδα απομόνωσης. Επίσης, στις 16 Μαρτίου 2020, η κυβέρνηση της χώρας εκτός από το κλείσιμο των σχολείων ανακοίνωσε και τη διακοπή λειτουργίας των εκπαιδευτικών κέντρων στους προσφυγικούς καταυλισμούς (Vince, 2020).

Στην Ελλάδα, το Δεκέμβριο του 2020, οι Hayward και συνεργάτες επισήμαναν ότι στην Αττική μέχρι τον Σεπτέμβριο 2020, σχεδόν οι μισοί από τους ασθενείς που νοσηλεύονται με COVID -19 είναι πρόσφυγες που διαμένουν σε δομές ή μετανάστες που είναι άποροι (Hayward et al., 2020). Στις 21 Μαρτίου του 2020, τα Υπουργεία Προστασίας του Πολίτη, Υγείας και Μετανάστευσης και Ασύλου από κοινού αποφάσισαν τη λήψη μέτρων κατά της εμφάνισης και διασποράς κρουσμάτων του κορωνοϊού COVID -19 στα Κέντρα Υποδοχής και Ταυτοποίησης, στο σύνολο της Επικράτειας (Διαδικτυακή πύλη του ελληνικού κράτους, 2020). Τα μέτρα αυτά παρατάθηκαν και ενώ το εθνικό lockdown στο πρώτο κύμα της πανδημίας ολοκληρώθηκε στις 4 Μαΐου για τις προσφυγικές δομές αποφασίστηκε ο προσωρινός περιορισμός της κυκλοφορίας των πολιτών τρίτων χωρών που διέμεναν στα Κέντρα Υποδοχής και Ταυτοποίησης και στις δομές φιλοξενίας μέχρι και τις 15 Σεπτεμβρίου 2020. Δικαίωμα εξόδου από τις δομές είχαν μόνο οι εκπρόσωποι οικογενειών ή ομάδων που διέμεναν στα ΚΥΤ από τις επτά το πρωί έως τις επτά το απόγευμα, προκειμένου να καλύψουν τις βασικές ανάγκες τους στα πλησιέστερα αστικά κέντρα. Τον Ιούλιο 2020 έγινε μία τροποποίηση στα μέτρα και οι ώρες εξόδου ορίζονταν από 07:00 έως και 21:00 και στις περιπτώσεις που δεν διατίθονταν μέσα μεταφοράς, επιτρεπόταν η έξοδος έως 150 ατόμων την ώρα, σε ομάδες μικρότερες των 10 ατόμων (Παρατηρητήριο της Προσφυγικής και Μεταναστευτικής Κρίσης στο Αιγαίο, 2020).

Επιπλέον, τα μέτρα περιελάμβαναν την αναστολή όλων των ειδικών δραστηριοτήτων και εγκαταστάσεων στις δομές όπως τα σχολεία, οι βιβλιοθήκες και οι χώροι άσκησης, ενώ οι νέες αφίξεις έπρεπε να ελέγχονταν για πυρετό ή άλλα συμπτώματα της COVID -19 και αν θεωρούταν αναγκαίο να απομονώνονται σε καραντίνα σε περίπτωση νόσησης. Προκειμένου να διασφαλιστεί ότι όλοι οι χώροι κοινής χρήσης καθαρίζονται, εφαρμόστηκαν μέτρα υγιεινής και δίνονταν τακτικά οδηγίες στους κατοίκους των πέντε καταυλισμών στα νησιά σε πολλές γλώσσες, όπως Αραβικά, Φαρσί, Αγγλικά, Γαλλικά και Ελληνικά (AIDA, 2021).

Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί ότι η διαχείριση των συρροής κρουσμάτων COVID -19 σε καταυλισμούς και εγκαταστάσεις από τις ελληνικές αρχές ακολουθεί διαφορετικό πρωτόκολλο σε σύγκριση με αυτό που χρησιμοποιείται σε συρροές σε άλλες κλειστές

πληθυσμιακές ομάδες. Συγκεκριμένα, σε παρόμοιες περιπτώσεις επιδημιών σε κλειστές ομάδες πληθυσμού (όπως γηροκομεία ή ιδιωτικά κέντρα αιμοκάθαρσης), τα ευάλωτα άτομα μεταφέρονταν αμέσως από το χώρο διαμονής τους σε ασφαλή καταλύματα, ενώ όλα τα επιβεβαιωμένα και ύποπτα κρούσματα απομονώνονταν εκτός του χώρου σε ξεχωριστή εγκατάσταση. Το πρωτόκολλο της ελληνικής κυβέρνησης για τη διαχείριση επιδημίας σε καταυλισμό προσφύγων, είναι γνωστό ως «Σχέδιο Αγνοδίκη» και αναφέρει ότι σε περίπτωση κρούσματος η δομή πρέπει να τίθεται σε καραντίνα και όλα τα κρούσματα (επιβεβαιωμένα και ύποπτα) να απομονώνονται και να αντιμετωπίζονται επιτόπου (AIDA, 2021).

Στις 31 Μαρτίου 2020, 23 πρόσφυγες διαγνώστηκαν θετικοί στον SARS - CoV - 2 μεταξύ 63 διαμένοντων στη δομή της Ριτσώνας, οι οποίοι εξετάστηκαν αμέσως μόλις διαπιστώθηκε ότι μια γυναίκα είχε μολυνθεί με τον ιό σε νοσοκομείο στην Αθήνα, αφότου γέννησε (Fouskas, 2020). Οι λοιμώξεις που παρατηρήθηκαν στον καταυλισμό της Ριτσώνας ήταν οι πρώτες γνωστές περιπτώσεις της συγκεκριμένης νόσου μεταξύ των χιλιάδων αιτούντων άσυλο που ζουν σε όλη την Ελλάδα.

Στις 2 Απριλίου 2020 η δομή τέθηκε σε καραντίνα για 14 ημέρες με σκοπό η κίνηση μέσα και έξω να περιοριστεί και με τις αστυνομικές δυνάμεις να παρακολουθούν την εφαρμογή των μέτρων. Ακόμη, πραγματοποιήθηκε ιχνηλάτηση επαφών και περαιτέρω έλεγχος στη δομή. Με την υποστήριξη της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, ο IOM διένειμε καλάθια τροφίμων και κιτ υγιεινής σε όλους τους κατοίκους ως άμεση απάντηση στην καραντίνα, η οποία πιθανώς να περιόριζε την πρόσβαση στην παροχή τροφίμων από το εξωτερικό της δομής (United Nations Office for the Coordination of Humanitarian Affairs, 2020). Ταυτόχρονα, οι ελληνικές αρχές δημιούργησαν χώρους καραντίνας σε όλους τους καταυλισμούς ως πρόσθετο μέτρο για την υποστήριξη της διαχείρισης της κατάστασης από τις υπηρεσίες δημόσιας υγείας. Επίσης, μοιράστηκαν καθαριστικά και σαπούνια σε όλους τους κατοίκους και όλοι οι χώροι εργασίας καθώς και οι κοινόχρηστοι χώροι απολυμάνθηκαν (United Nations Office for the Coordination of Humanitarian Affairs, 2020).

Στη συνέχεια στις 5 Απριλίου 2020 η δομή της Μαλακάσας, που βρίσκεται κοντά στην Αθήνα, τέθηκε σε απομόνωση για 14 ημέρες αφού ένας άνδρας βρέθηκε θετικός. Επιπροσθέτως, στις 21 Απριλίου 2020 αναφέρθηκε ότι 148 αιτούντες άσυλο, οι οποίοι κατοικούσαν σε ξενοδοχείο στη νότια πόλη Κρανίδι, το οποίο διαχειρίζεται ο IOM, διαγνώστηκαν θετικοί στον ιό. Το συγκεκριμένο ξενοδοχείο φιλοξενεί περίπου 450 αιτούντες άσυλο, οι περισσότεροι από τους οποίους είναι από την Αφρική (Meer and Villegas, 2020). Στον Πίνακα 2.6 παρουσιάζονται ο

συνολικός αριθμός κρουσμάτων COVID - 19 και ο συνολικός αριθμός διαγνωστικών ελέγχων σε 16 δομές φιλοξενίας από την αρχή της πανδημίας μέχρι 17 Ιανουαρίου 2021.

Πίνακας 2.6 Συνολικός αριθμός κρουσμάτων COVID - 19 και συνολικός αριθμός διαγνωστικών ελέγχων σε 16 δομές φιλοξενίας από 30 Μαρτίου 2020 μέχρι 17 Ιανουαρίου 2021 (OpenData στις δομές φιλοξενίας προσφύγων, 2021).

| Δομές | Συνολικά COVID -19 κρούσματα | Συνολικά COVID -19 τεστ (Όταν τα COVID -19 τεστ=0, δεν υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία) |
|--------------------|-------------------------------------|--|
| Νέα δομή Καρά Τεπέ | 396 | 7.064 |
| Κρανίδι | 188 | 600 |
| Χίου | 90 | 440 |
| Σάμου | 84 | 0 |
| Κατσικά | 46 | 0 |
| Κουτσόχερου | 43 | 0 |
| Πολυκάστρου | 43 | 0 |
| Ριτσώνας | 43 | 200 |
| Μόριας | 31 | 2.400 |
| Μαλακάσας | 25 | 100 |
| Σκαραμαγκάς | 25 | 0 |
| Βύρωνας | 22 | 0 |
| Φιλιπιάδας | 20 | 35 |
| Βόλου | 19 | 0 |
| Λέσβου | 18 | 106 |
| Αγία Ελένη | 18 | 50 |

3 Μαθηματικά μοντέλα για την πανδημία COVID – 19

3.1 Βασικές έννοιες στην επιδημιολογία λοιμωδών νοσημάτων

Μία πολύ σημαντική επιδημιολογική παράμετρος είναι ο βασικός αριθμός αναπαραγωγής (R_0). Πρόκειται για έναν επιδημιολογικό δείκτη που χρησιμοποιείται για να περιγράψει τη μεταδοτικότητα μίας νόσου. Επηρεάζεται από βιολογικούς, κοινωνικο - συμπεριφορικούς και περιβαλλοντικούς παράγοντες, που διέπουν τη μετάδοση των παθογόνων και συνήθως υπολογίζεται με τη βοήθεια πολύπλοκων μαθηματικών μοντέλων (Delamater et al., 2019). Ορίζεται ως ο μέσος αριθμός δευτερογενών κρουσμάτων που οφείλονται σε ένα μόνο άτομο στην αρχή της επιδημίας, όπου όλοι στον πληθυσμό είναι επίνοσοι (μη εμβολιασμένοι ή όσοι δεν έχουν νοσήσει). Δίνεται από τη σχέση:

$$R_0 = D \cdot C \cdot p \quad (1)$$

όπου D είναι η διάρκεια μολυσματικότητας, C ο ρυθμός με τον οποίο πραγματοποιούνται επαφές με άλλα άτομα στη μονάδα του χρόνου και p η πιθανότητα μετάδοσης ανά επαφή (Vynnycky and White, 2010).

Επίσης, καθορίζει το κατώφλι ανοσίας της αγέλης και επομένως την κάλυψη εμβολιασμού που απαιτείται για να αποτραπεί η αρχή ή η συντήρηση μίας επιδημίας. Καθώς αυξάνεται, απαιτείται και μεγαλύτερη κάλυψη εμβολιασμού για την επίτευξη της ανοσίας της αγέλης (Guerra et al., 2017).

Στην περίπτωση της COVID -19, οι Zhao et al. (2020) εκτίμησαν το μέσο R_0 με βάση τις περιπτώσεις της νόσου στην ηπειρωτική Κίνα, για το διάστημα 10 - 24 Ιανουαρίου 2020, στην έναρξη της πανδημίας και υπολόγισαν ότι το μέσο R_0 κυμαίνεται από 2,24 (95% ΔΕ: 1,96 – 2,55) μέχρι 3,58 (95% ΔΕ: 2,89 – 4,39) (Zhao et al., 2020). Επίσης, Οι Sypsa et al. (2021), για να αξιολογήσουν την πορεία της επιδημίας στην Ελλάδα εκτίμησαν ότι το R_0 , πριν την εφαρμογή στρατηγικών παρέμβασης ήταν 2,8 (95% ΔΕ: 2,01 – 2,80) (Sypsa et al., 2021). Ενώ οι D’Arienzo και Coniglio (2020), για το διάστημα 25 Φεβρουαρίου – 12 Μαρτίου 2020, χρησιμοποιώντας ως δεδομένα τις περιπτώσεις COVID - 19 στην Ιταλία, εκτίμησαν ότι ο βασικός αναπαραγωγικός αριθμός κυμαίνεται από 2,43 – 3,10 (D’Arienzo and Coniglio, 2020). Επιπροσθέτως, οι Salje et al. (2020) εκτίμησαν ότι πριν την καθιέρωση καραντίνας στις 17 Μαρτίου 2020 στη Γαλλία, στο πρώτο πανδημικό κύμα, το R_0 ήταν 2,90 (Salje et al., 2020).

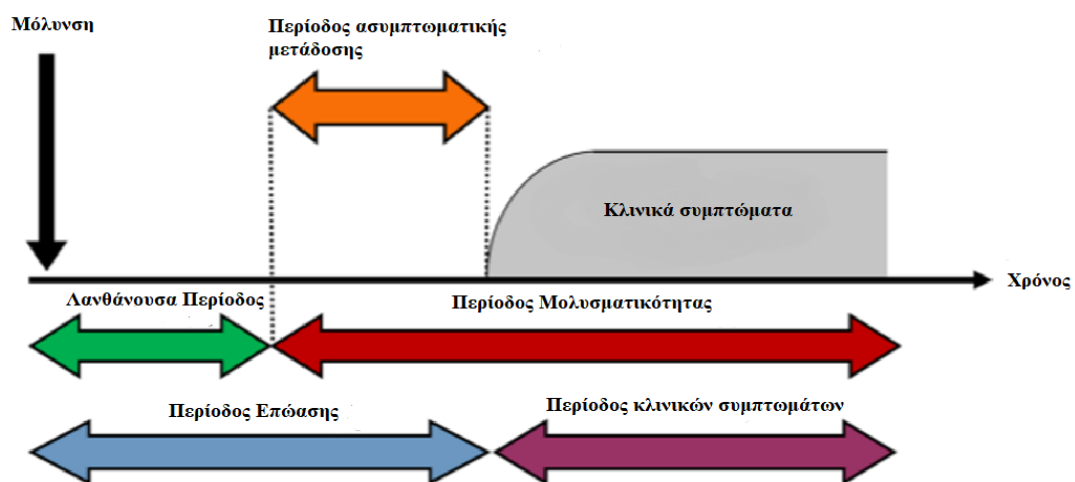
Η γνώση του βασικού αριθμού αναπαραγωγής είναι θεμελιώδης, αφού προκύπτουν χρήσιμες πληροφορίες για την πιθανότητα που έχει ένα λοιμώδες νόσημα να προκαλέσει επιδημία, τον αρχικό ρυθμό αύξησης του αριθμού των κρουσμάτων, τον επιπολασμό στην κορύφωση της επιδημίας, το ποσοστό των επίνοσων μετά το τέλος της επιδημίας και τέλος, το ελάχιστο ποσοστό των ατόμων που

πρέπει να εμβολιαστεί προκειμένου να ελεγχθεί η εξάπλωση της επιδημίας. Αν $R_0 > 1$ σε ένα πληθυσμό που όλοι είναι επίνοσοι, τότε πιθανότατα θα ξεσπάσει επιδημία (Diekmann, Heesterbeek and Metz, 1990).

Σημαντικό ρόλο επίσης διαδραματίζουν οι χρονικές περίοδοι που μεσολαβούν μεταξύ μόλυνσης, έναρξης μολυσματικότητας και εμφάνισης συμπτωμάτων (Σχήμα 3.1). Πιο συγκεκριμένα:

- **Περίοδος επώασης (incubation period):** το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί από το χρόνο μόλυνσης μέχρι την εμφάνιση συμπτωμάτων.
- **Λανθάνουσα περίοδος (latent period):** το χρονικό διάστημα μεταξύ του χρόνου μόλυνσης και της έναρξης της μολυσματικότητας.
- **Περίοδος μεταδοτικότητας (infectious period):** το χρονικό διάστημα κατά το οποίο το άτομο μπορεί να μεταδώσει.

Σχήμα 3.1 Αναπαράσταση των σταδίων από τη χρονική στιγμή της μόλυνσης του ατόμου. Η λανθάνουσα περίοδος (πράσινο βέλος) ξεκινά τη στιγμή της μόλυνσης και τελειώνει με την έναρξη της μολυσματικής περιόδου (κόκκινο βέλος). Η περίοδος επώασης (μπλε βέλος) ξεκινά τη στιγμή της μόλυνσης και τελειώνει με την εμφάνιση κλινικών συμπτωμάτων της νόσου (μωβ βέλος). Η διαφορά μεταξύ επώασης και λανθάνουσας περιόδου (πορτοκαλί βέλος) μπορεί να έχει είτε θετική είτε αρνητική τιμή ανάλογα με το αν η μετάβαση στη μολυσματική περίοδο συμβαίνει πριν ή μετά την εμφάνιση κλινικών συμπτωμάτων (Arzt et al., 2019).



Μία ακόμη χρήσιμη παράμετρος για τη μέτρηση της ταχύτητας μετάδοσης ενός λοιμώδους νοσήματος είναι ο χρόνος γενιάς (Generation Time: T_g), ο οποίος ορίζεται ως ο μέσος χρόνος που μεσολαβεί από τη μόλυνση ενός ατόμου μέχρι να μολύνει αυτό με τη σειρά του τα δευτερογενή κρούσματα (Svensson, 2007). Η γνώση του χρόνου γενιάς μας δίνει πολύτιμες πληροφορίες σχετικά με την εξάπλωση και την πορεία μίας επιδημίας. Μαζί με το R_0 καθορίζουν τη χρονική κλίμακα της εξέλιξης της επιδημίας και ως εκ τούτου την ταχύτητα με την οποία πρέπει να ληφθούν μέτρα παρέμβασης για την αποφυγή μίας πιθανής έξαρσης (Fraser et al., 2004). Ωστόσο, στην πράξη συνήθως εκτιμάται το διαδοχικό διάστημα (serial interval), δηλαδή ο χρόνος που μεσολαβεί από την εκδήλωση συμπτωμάτων σε ένα κρούσμα μέχρι να εκδηλώσει συμπτώματα το δευτερογενές του κρούσμα (Griffin et al., 2011). Στο Σχήμα 3.2 αναπαρίστανται γραφικά ο χρόνος γενιάς, καθώς και το διαδοχικό διάστημα για μία μολυσματική ασθένεια.

Σχήμα 3.2 Σχηματική αναπαράσταση του χρόνου γενιάς και του διαδοχικού διαστήματος ενός λοιμώδους νοσήματος. Πρωτογενές κρούσμα (μπλε), δευτερογενές κρούσμα (μωβ) (Thomas, R., 2021).



Όπως ήδη έχει αναφερθεί, ο βασικός αριθμός αναπαραγωγής R_0 ορίζεται στη βάση ότι ολόκληρος ο πληθυσμός, στον οποίο εισέρχεται ένας παθογόνος ιός, είναι επίνοςος (Statistics for Biology and Health, 2012). Καθώς όμως εξελίσσεται μία επιδημία, ο αριθμός των επίνοςων μειώνεται και πιθανώς σε κάποιες περιπτώσεις εφαρμόζονται και μέτρα παρέμβασης. Τα μολυσμένα άτομα αποκτούν ανοσία, με αποτέλεσμα το ποσοστό αυτών των ατόμων να αυξάνεται με τον χρόνο. Αυτό έχει ως συνέπεια ένα μολυσματικό άτομο να μολύνει λιγότερους ανθρώπους και υπό αυτές τις συνθήκες, ο αριθμός των

δευτερογενών κρουσμάτων να ελαττώνεται σε σχέση με το R_0 (Vynnycky and White, 2010). Επομένως δημιουργείται η ανάγκη για τον ορισμό μία άλλης παραμέτρου που είναι γνωστή ως **Ενεργός Αριθμός Αναπαραγωγής (Effective Reproduction number: R_t)** και εκφράζει το μέσο αριθμό δευτερογενών κρουσμάτων που οφείλονται σε ένα μόνο άτομο σε πληθυσμό που δεν είναι όλοι επίνοσοι, μία δεδομένη χρονική στιγμή t . Δίνεται από τη σχέση:

$$R_t = R_0 \cdot \frac{S}{N}$$

όπου S/N η αναλογία των επίνοσων στον πληθυσμό. Στην αρχή όπου όλος ο πληθυσμός είναι επίνοσος ισχύει $R_t = R_0$, αφού $S=N$. Η παράμετρος R_t δίνει πληροφορίες για το πότε μία επιδημία θα κορυφωθεί (δηλαδή όταν $R_t=1$) και πότε θα αρχίσει να υποχωρεί ($R_t < 1$) και θα επέλθει η «**συλλογική ανοσία (herd immunity)**», η οποία ορίζεται ως η επιδεκτικότητα ή η αντοχή ενός πληθυσμού απέναντι σε ένα ορισμένο λοιμώδες νόσημα) (Statistics for Biology and Health, 2012). Η παραπάνω εξίσωση υποδεικνύει μία σχέση μείζονος σημασίας, αφού η τιμή για το κατώφλι $R(t) = 1$ πραγματοποιείται όταν το ποσοστό των επίνοσων S/N είναι ίσο με $1/R_0$. Με άλλα λόγια, εάν το ποσοστό των επίνοσων στον πληθυσμό είναι μικρότερο από $1/R_0$ ή εάν το ποσοστό των ατόμων με ανοσία είτε φυσική είτε με εμβολιασμό είναι $1 - 1/R_0$, τότε η επίπτωση της ασθένειας θα μειωθεί. Αυτό το κριτήριο είναι γνωστό ως κρίσιμη τιμή συλλογικής ανοσίας (Herd Immunity Threshold: HIT)». Συγκεκριμένα αυτή η κρίσιμη τιμή ορίζει το επίπεδο της συλλογικής ανοσίας που μπορεί να προστατέψει ένα πληθυσμό από την έκρηξη ή τη συντήρηση μίας επιδημίας και εκφράζεται μέσω της εξίσωσης (Vynnycky and White, 2010):

$$HIT = 1 - \frac{1}{R_0} = \frac{R_0 - 1}{R_0}$$

Η συλλογική ανοσία μεταξύ άλλων, επηρεάζει αν θα σημειωθεί επιδημία όταν ένας λοιμογόνος παράγοντας εισαχθεί σε ένα πληθυσμό, πότε θα τερματιστεί μία επιδημική έκρηξη και την περιοδικότητα των επιδημικών εκρήξεων. Επίσης η γνώση της κρίσιμης τιμής της συλλογικής ανοσίας είναι πολύ χρήσιμη ιδιαίτερα όσον αφορά τον σχεδιασμό και την εφαρμογή προγραμμάτων εμβολιασμού (Vynnycky and White, 2010).

3.2 Εκτίμηση του βασικού αριθμού αναπαραγωγής (R_0) και του ενεργού αριθμού αναπαραγωγής

Μία μέθοδος για την εκτίμηση του ενεργού αριθμού αναπαραγωγής είναι αυτή της Cori και συνεργάτων που δημοσιεύθηκε το 2013 (Cori et al., 2013). Στη μέθοδο αυτή υποθέτουμε ότι η μολυσματικότητα

ακολουθεί μια κατανομή πιθανότητας w_s , η οποία εξαρτάται από την έναρξη της μόλυνσης της συγκεκριμένης περίπτωσης s . Επομένως, ένα άτομο θα είναι περισσότερο μολυσματικό τη στιγμή που η w_s γίνεται μεγαλύτερη. Στη συνέχεια θεώρησαν ότι ο ενεργός αριθμός αναπαραγωγής (R_t), μπορεί να εκτιμηθεί από την αναλογία του αριθμού των νέων μολύνσεων που πραγματοποιούνται την χρονική στιγμή t (I_t), προς τη συνολική μολυσματικότητα των μολυσμένων ατόμων την ίδια χρονική στιγμή t .

Η συνολική μολυσματικότητα δίνεται από τον τύπο:

$$\sum_{s=1}^t I_{t-s} w_s$$

Συνεπώς, ο R_t υπολογίζεται από τη σχέση:

$$R_t = \frac{I_t}{\sum_{s=1}^t I_{t-s} w_s}$$

Το συγκεκριμένο μοντέλο μετάδοσης, βασίζεται στη Μπεϋζιανή Συμπερασματολογία και καταλήγει σε μία απλή posterior κατανομή των R_t αν θεωρήσουμε μια prior κατανομή Γάμμα για το R_t .

Στη συνέχεια, στην ίδια δημοσίευση, επισημαίνεται ότι επειδή οι χρονικές στιγμές κατά τις οποίες μολύνονται τα άτομα, παρατηρούνται σπάνια, η κατανομή του χρόνου γενιάς είναι δύσκολο να υπολογιστεί. Επομένως, χρησιμοποιείται ο χρόνος έναρξης των συμπτωμάτων, ο οποίος είναι συνήθως γνωστός, για την εκτίμηση της κατανομής του serial interval. Συμπερασματικά, η συγκεκριμένη μέθοδος εφαρμόζεται σε δεδομένα που αποτελούνται από ημερήσιες μετρήσεις έναρξης συμπτωμάτων όπου η μολυσματικότητα w_s προσεγγίζεται από την κατανομή του serial interval.

3.3 Ντετερμινιστικά μοντέλα για την πανδημία COVID – 19

Όσον αφορά τη δυναμική της μετάδοσης των μολυσματικών ασθενειών υπάρχει ο ισχυρισμός ότι ο κόσμος είναι στοχαστικός, αφού η τυχαιότητα διαδραματίζει θεμελιώδη ρόλο σε πολλές από τις εμπλεκόμενες διαδικασίες. Ένα μοντέλο μπορεί να είναι αμιγώς στοχαστικό, αμιγώς ντετερμινιστικό ή μικτό (Keeling and Danon, 2009). Σε αυτό το σημείο είναι σημαντικό να επισημανθεί ότι, παρόλο που ο κόσμος είναι στοχαστικός, τα στοχαστικά μοντέλα δεν είναι εξ' ορισμού πιο αποτελεσματικά από τα ντετερμινιστικά.

Ως **ντετερμινιστικό μοντέλο** ορίζεται ένα μοντέλο, το οποίο έχει μόνο ένα πιθανό αποτέλεσμα, όταν όλες οι παράμετροι είναι σαφώς ορισμένες. Ονομάζεται ντετερμινιστικό, διότι με αυτόν τον τρόπο η «συμπεριφορά» του μοντέλου είναι προβλέψιμη. Με την εφαρμογή αυτών των μοντέλων, γνωρίζοντας όλες τις παραμέτρους, είναι εφικτό να οριστεί και η **επιδημική καμπύλη**. Η επιδημική καμπύλη δείχνει την εξέλιξη μίας επιδημίας και απεικονίζει το συνολικό αριθμό των ατόμων που έχουν μολυνθεί στη διάρκεια του χρόνου.

Το 1906, ο Hamer υπέθεσε ότι η πορεία μίας επιδημίας εξαρτάται από το ρυθμό που έρχονται σε επαφή τα επίνουσα άτομα με μολυσματικά (Anderson, 1991) και στη συνέχεια, οι Ronald Ross, William Hamer και άλλοι διατύπωσαν ένα μοντέλο σε συνεχή χρόνο. Αυτό το μοντέλο είναι ευρέως γνωστό ως **SIR (Susceptible-Infected-Removed)** μοντέλο και αποτελείται από διαφορετικές – ολοκληρωτικές εξισώσεις (Howard Weiss, 2006). Μοντέλα σαν το SIR μοντέλο χρησιμοποιούν μια μαθηματική προσέγγιση κατά την οποία ο πληθυσμός διαιρείται σε διαφορετικά «διαμερίσματα (compartments)», τα οποία αναπαριστούν την κατάστασή τους σχετικά με μία νόσο. Σκοπός είναι να αποτυπωθεί η μεταβολή στον αριθμό των ατόμων σε κάθε ομάδα μέσα στο χρόνο με τη χρήση εξισώσεων που βασίζονται σε συγκεκριμένες παραμέτρους – άλλες γνωστές και άλλες προς εκτίμηση. Το μοντέλο SIR κυρίως χρησιμοποιείται για τη μοντελοποίηση ασθενειών κατά τις οποίες τα άτομα που μολύνονται αποκτούν ανοσία.

3.3.1 Το SIR μοντέλο

Στο απλούστερο μοντέλο μιας επιδημίας, ιδίως όταν μας ενδιαφέρει μία σχετικά σύντομη χρονική περίοδος, οι γεννήσεις και οι θάνατοι μπορούν συχνά να αγνοηθούν και άρα να υποθέσουμε **κλειστό πληθυσμό** (Keeling and Danon, 2009). Σε αυτό το μοντέλο μόνο δύο μεταβάσεις είναι δυνατές: η μόλυνση (μετακίνηση ατόμων από την κατάσταση των επίνουσων στην κατάσταση των μολυσμένων) και ανάρρωση (μετακίνηση των ατόμων από την κατάσταση των μολυσμένων σε αυτή αυτών που έχουν αναρρώσει) (Keeling and Danon, 2009). Πιο συγκεκριμένα οι υποθέσεις αυτού του μοντέλου είναι οι εξής (Jones, 2007):

- 1) Ο πληθυσμός είναι κλειστός, άρα υποθέτουμε ότι δεν υπάρχουν γεννήσεις, θάνατοι και ότι δεν μπαίνει και δεν βγαίνει κανείς από αυτόν τον πληθυσμό.
- 2) Ο πληθυσμός είναι ομοιογενής, δηλαδή τα άτομα που βρίσκονται στην ίδια κατάσταση (διαμέρισμα) υπόκεινται στους ίδιους κινδύνους.

- 3) Ο πληθυσμός είναι «καλά αναμειγμένος» (well-mixed population). Ένας καλά αναμειγμένος πληθυσμός ορίζεται αυτός στον οποίο όλοι οι επίνοδοι έχουν τον ίδιο κίνδυνο να μολυνθούν ανάλογα με τον αριθμό των μολυσμένων.
- 4) Η διάρκεια μολυσματικότητας θεωρείται ότι δεν αλλάζει κατά τη διάρκεια της λοίμωξης.
- 5) Τα μολυσμένα άτομα μετακινούνται απευθείας στην κατηγορία των μολυσματικών.

Έστω ότι το μέγεθος του πληθυσμού είναι N άτομα. Τα επίνοδοι (Susceptibles) συμβολίζονται με S , τα μολυσμένα άτομα με I (Infected) και τα άτομα που έχουν αναρρώσει και έχουν αποκτήσει μόνιμη ανοσία και ούτε μολύνονται, ούτε μεταδίδουν την ασθένεια με R (Recovered). Αυτό το μοντέλο επίσης υποθέτει ότι η ανοσία των ατόμων διαρκεί εφ'ορου ζωής. Για τη μελέτη της δυναμικής της πανδημίας COVID - 19 πληθώρα μελετών έχουν εφαρμόσει αντίστοιχα μοντέλα.

Περιγραφή SIR μοντέλου σε κλειστό πληθυσμό

Ο πληθυσμός αρχικά διαιρείται σε τρία διαμερίσματα, τα επίνοδοι άτομα (S), τα μολυσματικά (I) και τα άτομα που έχουν ανοσία (R). Η μετάβαση από την κατάσταση των επίνοδοι στην κατάσταση των μολυσμένων ατόμων, δηλαδή ο ρυθμός με τον οποίο τα άτομα μολύνονται, ονομάζεται force of infection και είναι ίσος με $\beta \cdot \frac{I}{N}$, όπου β είναι ο ρυθμός μετάδοσης της υπό μελέτη ασθένειας και εκφράζει τον ρυθμό κατά τον οποίο δύο άτομα έρχονται σε επαφή επί την πιθανότητα μετάδοσης ανά επαφή (Statistics for Biology and Health, 2012). Ο αριθμός των ατόμων από την ομάδα των επίνοδοι που μετακινείται συνολικά ανά μονάδα χρόνου λόγω νόσου είναι $\beta \cdot \frac{I}{N} \cdot S$ άτομα και εισέρχονται στην ομάδα των μολυσματικών ατόμων. Στη συνέχεια, όπως παρουσιάζεται και στο Σχήμα 3.3, τα μολυσματικά άτομα μετακινούνται στην κατάσταση όσων έχουν αναρρώσει και έχουν ανοσία με ρυθμό γ . Θεωρείται ότι και οι δύο ρυθμοί (β και γ) είναι σταθεροί στον χρόνο και άρα η αναμενόμενη διάρκεια μόλυνσης είναι απλώς το αντίστροφο του ρυθμού ανάρρωσης ($D=1/\gamma$) (Howard Weiss, 2006).

Σχήμα 3.3 Διάγραμμα ροής για το SIR μοντέλο σε κλειστό πληθυσμό.



Οι παράμετροι και οι διαφορικές εξισώσεις του μοντέλου SIR σε κλειστό πληθυσμό

Οι παρακάτω διαφορικές εξισώσεις αφορούν το ρυθμό μεταβολής των ατόμων από τη μία πληθυσμιακή ομάδα στην άλλη. Οι αρχικές συνθήκες για τον υπό μελέτη πληθυσμό δίνονται από τις σχέσεις: $S(0)=S_0$, $I(0)=I_0$, $R(0)=R_0$. Ο αριθμός που εισέρχεται σε μία κατηγορία στη μονάδα του χρόνου προστίθεται στο μοντέλο και ο αριθμός που εξέρχεται από μία κατηγορία αντίστοιχα στη μονάδα του χρόνου αφαιρείται. Παρακάτω παρουσιάζονται οι βασικές παράμετροι και εξισώσεις ενός SIR μοντέλου (Bjørnstad, 2018):

- $S(t)$: επίνοσα άτομα τα οποία έχουν πιθανότητα να μολυνθούν από τον ιό.
- $I(t)$: μολυσματικά άτομα
- $R(t)$: άτομα που έχουν αποκτήσει μόνιμη ανοσία και ούτε μολύνονται, ούτε μεταδίδουν την ασθένεια.
- β : ρυθμός μετάδοσης
- λ : force of infection
- $\frac{dS(t)}{dt}$: ρυθμός μεταβολής των επίνοσων ατόμων
- $\frac{dI(t)}{dt}$: ρυθμός μεταβολής των μολυσματικών ατόμων
- $\frac{dR(t)}{dt}$: ρυθμός μεταβολής των ατόμων που έχουν αναρρώσει

με το σύστημα των διαφορικών εξισώσεων να παίρνει τη μορφή:

$$\bullet \quad \frac{dS(t)}{dt} = -\beta \cdot \frac{I}{N} \cdot S \quad (2)$$

$$\bullet \quad \frac{dI(t)}{dt} = +\beta \cdot \frac{I}{N} \cdot S - \gamma \cdot I \quad (3)$$

$$\bullet \quad \frac{dR(t)}{dt} = +\gamma \cdot I \quad (4)$$

$$\bullet \quad N=S+I+R \quad (5)$$

Σύνδεση παραμέτρων με το βασικό αριθμό αναπαραγωγής R_0

Ο βασικός αριθμός αναπαραγωγής δίνεται από τη σχέση $R_0 = D \cdot C \cdot p$. Η διάρκεια μολυσματικότητας D εκφράζεται ως το αντίστροφο του ρυθμού ανάρρωσης γ , άρα $D=1/\gamma$. Επίσης, ο ρυθμός μετάδοσης β ισούται με το γινόμενο $C \cdot p$, άρα στο απλό μοντέλο SIR σε κλειστό πληθυσμό ισχύει ότι $R_0 = \beta / \gamma$. Όπως ήδη έχει προαναφερθεί, αν $R_0 < 1$, τότε δεν θα ξεσπάσει επιδημία. Αυτό εξηγείται από τις παρακάτω σχέσεις:

Γνωρίζουμε ότι

$$\frac{dI}{dt} = \beta \cdot \frac{I}{N} \cdot S - \gamma \cdot I = (\beta \cdot \frac{S}{N} - \gamma) \cdot I < (\beta - \gamma) \cdot I,$$

τότε αν $R_0 < 1 \Rightarrow \frac{\beta}{\gamma} < 1 \Rightarrow \beta < \gamma \Rightarrow \frac{dI}{dt} < 0$, I φθίνουσα συνάρτηση. Συμπερασματικά, ο αριθμός των μολυσμένων ατόμων θα μειώνεται με το χρόνο.

Μία άλλη εξίσου σημαντική παράμετρος είναι η λ (**force of infection**). Ορίζεται ως $\lambda = \beta \cdot \frac{I}{N}$ και εκφράζει τον κίνδυνο μόλυνσης ενός ατόμου, ανά μονάδα χρόνου. Δρα δηλαδή, σαν μία δύναμη που μετατρέπει τα επίνοσα άτομα σε μολυσμένα. Εξαρτάται από τον αριθμό των μολυσματικών ατόμων που υπάρχουν στον πληθυσμό και από το πόσο συχνά έρχονται αυτά τα άτομα σε επαφή με άλλα (Vynnycky and White, 2010).

Ο πρωταρχικός στόχος με την εφαρμογή του μοντέλου SIR, είναι η εκτίμηση της παραμέτρου β και κατ' επέκταση του βασικού αριθμού αναπαραγωγής. Αφού κατασκευαστεί το μοντέλο, όπως αναπαρίσταται και στο Σχήμα 3.3, ορίζονται οι αρχικές συνθήκες για την κάθε κατάσταση,

$$S(0) = S_0 \geq 0, \quad I(0) = I_0 \geq 0, \quad R(0) = R_0 \geq 0 \quad (6)$$

και οι τιμές στις παραμέτρους που χρησιμοποιούνται για την περιγραφή του μοντέλου που φαίνονται παραπάνω. Έπειτα τρέχοντας το μοντέλο σε κάποιο πρόγραμμα με κατάλληλο αλγόριθμο, επιλύεται το παραπάνω σύστημα διαφορικών εξισώσεων ως προς $S(t)$, $I(t)$, $R(t)$, σύμφωνα με τις αρχικές τιμές που έχουμε δώσει. Με τη χρήση αυτού του μοντέλου μπορούμε να εξάγουμε χρήσιμες πληροφορίες και αρκετά συμπεράσματα. Για παράδειγμα, διαμορφώνοντας το κατάλληλο μοντέλο, ανάλογα με το νόσημα, υπάρχει η δυνατότητα για δεδομένες παραμέτρους να αναπαρασταθεί η αναμενόμενη πορεία της επιδημίας. Επιπλέον, είναι εφικτό να εισαχθούν παρεμβάσεις στο μοντέλο (π.χ. μείωση κοινωνικών επαφών, απομόνωση κρουσμάτων, εμβολιασμός,) και να εξεταστεί πώς κάθε μία θα επηρεάσει την πορεία της επιδημίας σε σχέση με την απουσία αυτών. Τέλος, γνωρίζοντας τον αριθμό των ατόμων που βρίσκονται σε κάθε ομάδα κάθε χρονική στιγμή, δύναται να εκτιμηθεί και ο επιπολασμός της υπό μελέτης ασθένειας μία δεδομένη χρονική στιγμή.

Ένα ακόμη χρήσιμο συμπέρασμα που λαμβάνουμε με την εφαρμογή του SIR μοντέλου είναι το **τελικό μέγεθος της επιδημίας (final size of the epidemic)** (Howard Weiss, 2006). Από τις εξισώσεις του μοντέλου SIR, παρατηρείται ότι εφόσον η δεξιά πλευρά της εξίσωσης (2) είναι αρνητική και η δεξιά πλευρά της (4) είναι θετική, συνεπάγεται ότι $\frac{dS}{dt} \leq 0$ και $\frac{dR}{dt} \geq 0$. Επειδή, $0 \leq S(t) \leq S(0) \leq N$ και $0 \leq R(0) \leq R(t) \leq N$, αυτό σημαίνει ότι τα όρια $S(\infty) = \lim_{t \rightarrow \infty} S(t)$, $R(\infty) = \lim_{t \rightarrow \infty} R(t)$ και έτσι $I(\infty) = \lim_{t \rightarrow \infty} I(t)$

$I(t) = N - S(\infty) - R(\infty)$ υπάρχουν. Επιπλέον, $S(\infty) \geq S(0) \cdot \exp(-R_0) > 0$ και διαιρώντας την (2) με την (4),

προκύπτει $\frac{dS}{dR} = \frac{-\frac{\beta}{N} \cdot I \cdot S}{\gamma \cdot I} = -\beta \cdot S \cdot \gamma$. Αυτή η διαφορική εξίσωση είναι «διαχωρίσιμη (δηλαδή μπορεί να

λυθεί με ολοκλήρωση)», αφού για $S > 0$ μπορεί να διατυπωθεί ως $\int_S^1 \frac{1}{S} dS = \int -\frac{\beta}{\gamma} dR$. Η ολοκλήρωση και

των δύο πλευρών καταλήγει στην εξίσωση $S(t) = S(0) \cdot \exp\left(-\frac{\beta}{\gamma} (R(t) - R(0))\right)$ (7).

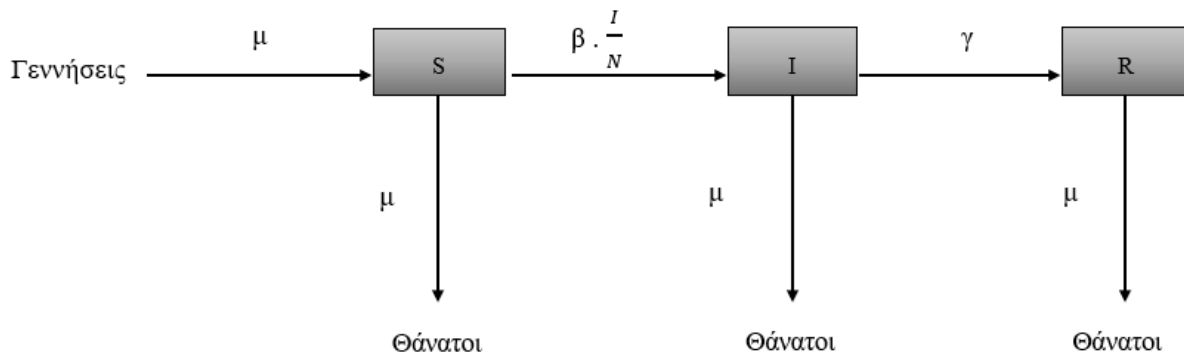
Η εξίσωση (7), όταν $R(0) = 0$, οδηγεί με τη σειρά της στην $\frac{S(\infty)}{N} = \left(\frac{S(0)}{N}\right) \exp\left(\frac{\beta \cdot R(\infty)}{\gamma}\right) = \left(\frac{S(0)}{N}\right) \exp\left(\frac{-\beta \cdot (1 - \frac{S(\infty)}{N})}{\gamma}\right)$ και αν στον αρχικό πληθυσμό είναι όλοι επίνοσοι, καταλήγουμε στην $\log\left(\frac{S(\infty)}{N}\right) = R_0 \cdot \left(\frac{S(\infty)}{N} - 1\right)$, όπου $\frac{S(\infty)}{N}$ είναι το ποσοστό, που δε θα μολυνθεί μέχρι το τέλος της επιδημίας (απουσία μέτρων) και αντίστοιχα το $1 - \frac{S(\infty)}{N}$, το ποσοστό των ατομών που θα έχει μολυνθεί (Howard Weiss, 2006).

Περιγραφή SIR μοντέλου σε ανοιχτό πληθυσμό

Όπως και στον κλειστό πληθυσμό, στο SIR μοντέλο, ο πληθυσμός χωρίζεται σε τρία διαμερίσματα. Στους επίνοσους ($S(t)$), στους μολυσματικούς ($I(t)$) και σε αυτούς που έχουν αναρρώσει ($R(t)$). Στο Σχήμα 3.5, παρατίθεται το μοντέλο SIR σε ανοιχτό πληθυσμό. Η διαφορά έγκειται στο ότι ο πληθυσμός θεωρείται «ανοιχτός», δηλαδή λαμβάνονται υπόψη οι γεννήσεις και οι θάνατοι (είσοδοι και έξοδοι) που πραγματοποιούνται σε αυτόν τον πληθυσμό. Οι υπόθεσεις αυτού του μοντέλου είναι οι εξής (Bjørnstad, 2018):

- 1) Ο ρυθμός θανάτου/εξόδου ορίζεται ως μ , ο οποίος εξισορροπείται από το ρυθμό των γεννήσεων/εισόδου μ , $dN/dt = 0$ και $N = S + E + I + R$.
- 2) Τα άτομα εισέρχονται απευθείας στο διαμέρισμα των επίνοσων κατά την είσοδο στον πληθυσμό
- 3) Οι πιθανότητες ανάρρωσης ή θανάτου θεωρείται ότι δεν αλλάζουν κατά τη διάρκεια της μόλυνσης.
- 4) Η μολυσματικότητα θεωρείται ότι δεν αλλάζει κατά τη διάρκεια της λοίμωξης.
- 5) Το μοντέλο υποθέτει ότι τα άτομα που έχουν αναρρώσει είναι άνοσα εφ' όρου ζωής.
- 6) Ο πληθυσμός είναι ομοιογενής, δηλαδή τα άτομα που βρίσκονται στην ίδια κατάσταση (διαμέρισμα) υπόκεινται στους ίδιους κινδύνους.
- 7) Ο πληθυσμός είναι «καλά αναμεμιγμένος» (well-mixed population).

Σχήμα 3.5 Διάγραμμα ροής για το SIR μοντέλο σε ανοιχτό πληθυσμό.



Οι εξισώσεις γι' αυτό το μοντέλο είναι οι εξής:

$$\bullet \quad \frac{dS(t)}{dt} = +\mu \cdot N - \beta \cdot \frac{I}{N} \cdot S - \mu \cdot S \quad (8)$$

$$\bullet \quad \frac{dI(t)}{dt} = +\beta \cdot \frac{I}{N} \cdot S - (\mu + \gamma) \cdot I \quad (9)$$

$$\bullet \quad \frac{dR(t)}{dt} = +\gamma \cdot I - \mu \cdot R \quad (10)$$

Σε αυτό το μοντέλο, θεωρείται ότι ένα μολυσμένο άτομο μολύνει άλλα άτομα με ρυθμό β , για όσο διαρκεί η μολυσματικότητα. Από αυτή την κατάσταση αποχωρεί με ρυθμό $\gamma + \mu$ και η διάρκεια μολυσματικότητας είναι ίση με $\frac{1}{\gamma + \mu}$. Συνεπώς, $R_0 = \frac{\beta}{\gamma + \mu}$.

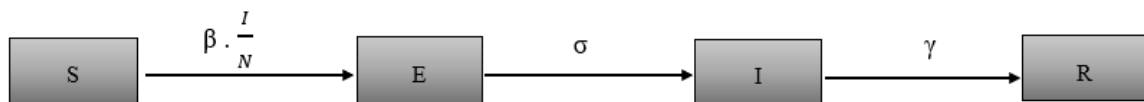
3.3.2 Το SEIR μοντέλο

Αν μία μολυσματική ασθένεια χαρακτηρίζεται από μία σημαντική λανθάνουσα περίοδο, αγνοώντας την και εφαρμόζοντας ένα SIR μοντέλο μπορεί να οδηγήσει σε μεροληπτικές εκτιμήσεις των παραμέτρων του μοντέλου. Συμπερασματικά, σε κάποια νοσήματα, τα άτομα πρώτα εκτίθενται στον ιό (exposed) και μολύνονται, και στη συνέχεια γίνονται μολυσματικά (infectious). Τέτοιες ασθένειες είναι για παράδειγμα η νόσος COVID -19 και η εποχική γρίπη. Συνεπώς προκειμένου να περιγράψουμε αυτό το μοντέλο, ο πληθυσμός χωρίζεται σε τέσσερα διαστήματα, όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.6. Στους επίνουσους ($S(t)$), στους εκτεθειμένους στην υπό μελέτη νόσο, αλλά όχι μολυσματικούς, ($E(t)$), στους

μολυσματικούς ($I(t)$) και σε αυτούς που έχουν αναρρώσει ($R(t)$). Τα εκτεθειμένα άτομα γίνονται μολυσματικά και μεταβαίνουν στην κατάσταση $I(t)$ με ρυθμό σ , ενώ τα μολυσματικά άτομα, με τη σειρά τους, αναρρώνουν με ρυθμό γ και μεταβαίνουν στο διαμέρισμα $R(t)$ (Bjørnstad, 2018). Οι υποθέσεις του μοντέλου SEIR σε κλειστό πληθυσμό είναι (Bjørnstad et al., 2020):

- 1) Στο μοντέλο SEIR, τα μολυσμένα άτομα μετακινούνται στην κατηγορία των εκτεθειμένων (όχι μολυσματικών) μετά από μία μέση λανθάνουσα περίοδο $\frac{1}{\sigma}$ και στη συνέχεια μέσω της κατάστασης των μολυσματικών μετά από μέσο χρόνο $\frac{1}{\gamma}$.
- 2) Τα άτομα που έχουν αναρρώσει είναι άνοσα εφ' όρου ζωής.
- 3) Ο πληθυσμός είναι κλειστός, άρα υποθέτουμε ότι δεν υπάρχουν γεννήσεις, θάνατοι και ότι δεν μπαίνει και δεν βγαίνει κανείς από αυτόν τον πληθυσμό.
- 4) Ο πληθυσμός είναι ομοιογενής, δηλαδή τα άτομα που βρίσκονται στην ίδια κατάσταση (διαμέρισμα) υπόκεινται στους ίδιους κινδύνους.
- 5) Ο πληθυσμός είναι «καλά αναμεμειγμένος» (well-mixed population).
- 6) Η διάρκεια μολυσματικότητας θεωρείται ότι δεν αλλάζει κατά τη διάρκεια της λοίμωξης.

Σχήμα 3.6 Διάγραμμα ροής για το SEIR μοντέλο σε κλειστό πληθυσμό.



Οι εξισώσεις για αυτό το μοντέλο είναι οι εξής:

$$\bullet \quad \frac{dS(t)}{dt} = -\beta \cdot \frac{I}{N} \cdot S \quad (11)$$

$$\bullet \quad \frac{dE(t)}{dt} = +\beta \cdot \frac{I}{N} \cdot S - \sigma \cdot E \quad (12)$$

$$\bullet \quad \frac{dI(t)}{dt} = +\sigma \cdot E - \gamma \cdot I \quad (13)$$

$$\bullet \quad \frac{dR(t)}{dt} = +\gamma \cdot I \quad (14)$$

$$S(0)=S_0 \geq 0, \quad E(0)=E_0 \geq 0, \quad I(0)=I_0 \geq 0, \quad R(0)=R_0 \geq 0, \quad N=S+E+I+R$$

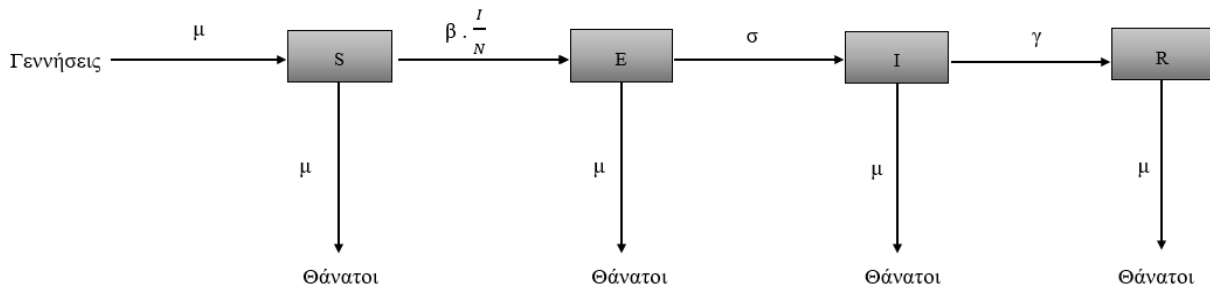
Σε αυτό το μοντέλο, ο βασικός αριθμός αναπαραγωγής R_0 είναι ίσος με $\frac{\beta}{\gamma}$.

Περιγραφή SEIR μοντέλου σε ανοιχτό πληθυσμό

Όπως και στον κλειστό πληθυσμό, στο SEIR μοντέλο, ο πληθυσμός χωρίζεται σε τέσσερα διαμερίσματα. Στους επίνοσους ($S(t)$), στους εκτεθειμένους στην υπό μελέτη νόσο, αλλά όχι μολυσματικούς, ($E(t)$), στους μολυσματικούς ($I(t)$) και σε αυτούς που έχουν αναρρώσει ($R(t)$). Στο Σχήμα 3.7, παρουσιάζεται το μοντέλο SEIR σε ανοιχτό πληθυσμό. Η διαφορά, όπως και προηγουμένως στο SIR μοντέλο, είναι ότι ο πληθυσμός θεωρείται «ανοιχτός», δηλαδή λαμβάνονται υπόψη οι γεννήσεις και οι θάνατοι που πραγματοποιούνται σε αυτόν τον πληθυσμό. Οι υποθέσεις αυτού του μοντέλου είναι οι εξής (Bjørnstad, 2018):

- 1) Τα άτομα εισέρχονται απευθείας στο διαμέρισμα των επίνοσων κατά την είσοδο στον πληθυσμό.
- 2) Τα άτομα που έχουν αναρρώσει είναι άνοσα εφ' όρου ζωής.
- 3) Ο ρυθμός θανάτου/εξόδου ορίζεται ως μ , ο οποίος εξισορροπείται από το ρυθμό των γεννήσεων/εισόδου μN , $\frac{dN}{dt} = 0$ και $N = S+E+I+R$.
- 4) Οι πιθανότητες ανάρρωσης ή θανάτου θεωρείται ότι δεν αλλάζουν κατά τη διάρκεια της μόλυνσης.
- 5) Η μολυσματικότητα θεωρείται ότι δεν αλλάζει κατά τη διάρκεια της λοίμωξης.
- 6) Ο πληθυσμός είναι ομοιογενής, δηλαδή τα άτομα που βρίσκονται στην ίδια κατάσταση (διαμέρισμα) υπόκεινται στους ίδιους κινδύνους.
- 7) Ο πληθυσμός είναι «καλά αναμεμειγμένος» (well-mixed population).
- 8) Λαμβάνονται υπόψη οι γεννήσεις και οι θάνατοι που πραγματοποιούνται σε αυτόν τον πληθυσμό.

Σχήμα 3.7 Διάγραμμα ροής για το SEIR μοντέλο σε ανοιχτό πληθυσμό.



Οι εξισώσεις γι' αυτό το μοντέλο είναι οι εξής:

$$\bullet \frac{dS(t)}{dt} = \mu \cdot N - \beta \cdot \frac{I}{N} \cdot S - \mu \cdot S \quad (15)$$

$$\bullet \frac{dE(t)}{dt} = +\beta \cdot \frac{I}{N} \cdot S - \sigma \cdot E - \mu \cdot E \quad (16)$$

$$\bullet \frac{dI(t)}{dt} = +\sigma \cdot E - (\gamma + \mu) \cdot I \quad (17)$$

$$\bullet \frac{dR(t)}{dt} = +\gamma \cdot I - \mu \cdot R \quad (18)$$

$$S(0) = S_0 \geq 0, E(0) = E_0 \geq 0, I(0) = I_0 \geq 0, R(0) = R_0 \geq 0, N = S + E + I + R$$

Στο παραπάνω μοντέλο, η πιθανότητα ένα άτομο από εκτεθειμένο να γίνει μολυσματικό είναι $\frac{\sigma}{\sigma + \mu}$. Από τη στιγμή που γίνεται μολυσματικό, μολύνει άλλα άτομα με ρυθμό β για όσο διαρκεί η περίοδος μολυσματικότητας. Από αυτή την κατάσταση αποχωρεί με ρυθμό $\gamma + \mu$, επομένως η διάρκεια μολυσματικότητας ισούται με $\frac{1}{\gamma + \mu}$ και άρα $R_0 =$ ρυθμός μετάδοσης * ποσοστό των εκτεθειμένων που μεταβαίνουν στους μολυσματικούς * μέση περίοδο μολυσματικότητας. Επομένως, $R_0 = \frac{\sigma}{\sigma + \mu} \cdot \frac{\beta}{\gamma + \mu}$

3.4 Μεθοδολογία που εφαρμόστηκε στα δεδομένα δομής μεταναστών

3.4.1 Εκτίμηση βασικού και ενεργού αριθμού αναπαραγωγής

Υπήρχαν διαθέσιμα δεδομένα για τον αριθμό των κρουσμάτων στη δομή για τη χρονική περίοδο Μαΐου - Ιουλίου 2021. Αρχικά, πριν την εφαρμογή των μαθηματικών μοντέλων, πραγματοποιήθηκε εκτίμηση

του βασικού αριθμού αναπαραγωγής R_0 , καθώς και του ενεργού αριθμού αναπαραγωγής R_t , για την περίοδο αυτή με βάση τα δεδομένα των κρουσμάτων. Χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της CoTi και των συνεργατών όπως προαναφέρθηκε στην παράγραφο 3.2. Η επεξεργασία των δεδομένων, η εκτίμηση των R_0 και R_t και η υλοποίηση των μοντέλων έγιναν με τη χρήση του στατιστικού πακέτου R.

Σε αυτό το σημείο πρέπει να επισημανθεί ότι τα δεδομένα που ήταν διαθέσιμα ήταν ελλιπή, αφού δεν παρουσίαζαν τον αριθμό κρουσμάτων για κάθε ημέρα του χρονικού διαστήματος που μελετάμε. Σε περίοδο δύο μηνών οι ημερομηνίες στις οποίες είχαν καταγραφεί κρούσματα ήταν 37 (πιθανώς οι ημερομηνίες κατά τις οποίες πραγματοποιήθηκε έλεγχος COVID -19 στη δομή). Αυτό υποδηλώνει ότι ενδεχομένως αυτά τα δεδομένα δεν αντιστοιχούν στον ημερήσιο αριθμό, αλλά αφορούν κρούσματα και προηγούμενων ημερών. Συμπερασματικά, δημιουργήθηκε η ανάγκη για χρήση μεθόδων παρεμβολής (interpolation), προκειμένου να ληφθεί ο ημερήσιος αριθμός κρουσμάτων και στις ενδιάμεσες ημερομηνίες. Πιο συγκεκριμένα, εφαρμόσαμε μεθόδους γραμμικής (linear) και κυβικής παρεμβολής (cubic spline interpolation) χρησιμοποιώντας το πακέτο “`zoo`” της R και συγκεκριμένα τις συναρτήσεις “`na.approx`” και “`na.spline`” αντίστοιχα. Τα δεδομένα που προέκυψαν από την κυβική παρεμβολή περιείχαν και αρνητικές τιμές, με αποτέλεσμα στη συνέχεια να προχωρήσουμε μόνο με τα δεδομένα από τη γραμμική παρεμβολή.

Συνεπώς η εκτίμηση των R_0 και R_t έγινε βασισμένη στον ημερήσιο αριθμό κρουσμάτων (που προέκυψαν από τη γραμμική παρεμβολή) για το συγκεκριμένο διάστημα, με τη χρήση του πακέτου “`EpiEstim`” και της συνάρτησης “`estimate_R`”. Ως χρονικό παράθυρο ορίστηκαν οι 7 ημέρες και έγινε η υπόθεση ότι το διαδοχικό διάστημα (serial interval) ακολουθεί Gamma κατανομή με μέση τιμή 6,67 ημέρες και τυπική απόκλιση 4,85 (Bi et al., 2020; Cereda et al., 2020; Lavezzo et al., 2020).

3.4.2 Βασικό σενάριο (χωρίς παρεμβάσεις)

Προκειμένου να μελετήσουμε πώς μεταβάλλεται ο αριθμός των επίνουσων, των εκτεθειμένων, των μολυσματικών και των ατόμων που έχουν αναρρώσει στη προσφυγική δομή της Λέσβου, εφαρμόστηκαν ορισμένα SEIR μοντέλα σε ανοιχτό πληθυσμό. Δεδομένου ότι στη νόσο COVID -19 υπάρχει μία λανθάνουσα περίοδος, χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο SEIR σε ανοιχτό πληθυσμό με τέσσερα διαμερίσματα: τα επίνουσα άτομα $S(t)$, τα εκτεθειμένα $E(t)$, τα μολυσματικά $I(t)$ και τα άτομα που έχουν αναρρώσει $R(t)$. Οι αρχικές καταστάσεις του μοντέλου ορίστηκαν ως εξής: $S(0)=N-E(0)-I(0)=6.083$, $E(0)=5$, $I(0)=5$ και $R(0)=0$. Στο βασικό σενάριο (baseline) δεν υποτέθηκε ότι εφαρμόζεται κάποια παρέμβαση.

Το μοντέλο παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.7 και οι αντίστοιχες καταστάσεις και παράμετροι στους Πίνακες 3.1 και 3.2.

Πίνακας 3.1 Καταστάσεις του SEIR μοντέλου για τα διάφορα σενάρια κοινωνικής αποστασιοποίησης.

| Καταστάσεις μοντέλου | Σύμβολο |
|--------------------------------------|---------|
| Αριθμός ατόμων που είναι επίνουσα | S(t) |
| Αριθμός ατόμων που είναι εκτεθειμένα | E(t) |
| Αριθμός ατόμων που είναι μολυσματικά | I(t) |
| Αριθμός ατόμων που έχουν αναρρώσει | R(t) |
| Μέγεθος πληθυσμού | N |

Ως N συμβολίζεται ο συνολικός πληθυσμός που διαμένει στο ΚΥΤ της Λέσβου και ισούται με 6.093 άτομα. Μολονότι το χρονικό διάστημα που εξετάζεται στην παρούσα διπλωματική είναι σύντομο, υποθέσαμε ότι ο πληθυσμός είναι ανοιχτός. Στις προσφυγικές δομές η μετακίνηση πληθυσμών είναι συχνό φαινόμενο, αφού ανά τακτά χρονικά διαστήματα πραγματοποιούνται αφίξεις και μεταφορές στην ενδοχώρα (Υπουργείο Μετανάστευσης και Ασύλου, 2021). Συμπερασματικά, αντί για ρυθμό γεννήσεων και θνησιμότητας, θεωρήσαμε ρυθμό αφίξεων και αποχώρησης αντίστοιχα και υποθέσαμε επιπλέον ότι οι δύο ρυθμοί είναι ίσοι.

Ο βασικός αριθμός αναπαραγωγής δίνεται από τη σχέση:

$$R_0 = \frac{\sigma}{\sigma + \mu} \cdot \frac{\beta}{\gamma + \mu}$$

Συνεπώς, έχοντας εκτιμήσει το R_0 από τα δεδομένα των κρουσμάτων, ο ρυθμός μετάδοσης β μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση:

$$\beta = \frac{R_0 \cdot (\gamma + \mu) \cdot (\sigma + \mu)}{\sigma}$$

Πίνακας 3.2 Παράμετροι του SEIR μοντέλου για τα διάφορα σενάρια κοινωνικής αποστασιοποίησης.

| Παράμετροι (Σύμβολο) | Τιμή | Πηγή |
|--|-----------------------------|--|
| Βασικός αριθμός αναπαραγωγής (R_0) | 3,83 (95 % CrI: 2,70, 5,12) | Εκτιμήθηκε (βλ. κεφάλαιο 4) |
| Λανθάνουσα περίοδος ($1/\sigma$) | 3,5 ημέρες | (Sypsa et al., 2020) |
| Διάρκεια μολυσματικότητας ($1/\gamma$) | 5 ημέρες | (Hakki et al., 2022) |
| Ρυθμός αφίξεων (μ) | 0,02 | (Υπουργείο Μετανάστευσης και Ασύλου, 2021) |
| Ρυθμός αποχώρησης (μ) | 0,02 | (Υπουργείο Μετανάστευσης και Ασύλου, 2021) |

Αρχικά τα άτομα εισέρχονται στην κατάσταση των επίνοσων με ρυθμό μ . Στη συνέχεια, μολύνονται με ρυθμό β και μεταβαίνουν στο διαμέρισμα των εκτεθειμένων. Ύστερα, η λανθάνουσα περίοδος είναι 3,5 ημέρες (Sypsa et al., 2020), άρα μεταβαίνουν με ρυθμό σ ($1/3,5$) στο διαμέρισμα των μολυσματικών και τέλος αναρρώνουν με ρυθμό γ ($1/5$) (Hakki et al., 2022). Οι εξισώσεις του μοντέλου έχουν οριστεί στην προηγούμενη παράγραφο.

3.4.3 Ενσωμάτωση φαρμακευτικών και μη παρεμβάσεων

Διερευνήθηκαν 4 σενάρια τροποποιώντας κατάλληλα το βασικό μοντέλο. Πιο συγκεκριμένα:

- A. Μείωση αριθμού των κοινωνικών επαφών και κατ' επέκταση του ρυθμού μετάδοσης β
- B. Απομόνωση των μολυσματικών ατόμων
- Γ. Εμβολιασμός
- Δ. Σενάριο με συνδυασμό παρεμβάσεων (μείωσης κοινωνικών επαφών και εμβολιασμού).

Μέσω των μοντέλων, υπάρχει η δυνατότητα να εκτιμήσουμε το συνολικό αριθμό των ατόμων που θα μολυνθούν μέχρι το τέλος της περιόδου που εξετάζουμε, αλλά και να συγκρίνουμε τα διάφορα μέτρα.

3.4.3.1 Ενσωμάτωση παρέμβασης με μείωση κοινωνικών επαφών

Διερευνήθηκαν 4 επίπεδα μείωσης των κοινωνικών επαφών (Πίνακας 3.3). Θεωρήσαμε ότι τα μέτρα τίθενται σε ισχύ από την πρώτη κιόλας ημέρα της υπό μελέτη περιόδου και ότι ήδη έχουν μολυνθεί στη δομή συνολικά 10 άτομα. Το μοντέλο που παρατίθεται στο Σχήμα 3.7 εφαρμόστηκε και για τα τέσσερα σενάρια, διαφοροποιώντας μόνο το β , όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.3.

Πίνακας 3.3 Σενάρια παρέμβασης ανάλογα με το ποσοστό μείωσης κοινωνικών επαφών.

| Σενάρια παρέμβασης | Ρυθμός μετάδοσης (β) | Βασικός αριθμός αναπαραγωγής (R_0) |
|--|------------------------------|--|
| 1 ^ο Σενάριο, χωρίς μέτρα παρέμβασης | 0,90 | 3,83 |
| 2 ^ο Σενάριο, μείωση κοινωνικών επαφών κατά 10 % | 0,81 | 3,45 |
| 3 ^ο Σενάριο, μείωση κοινωνικών επαφών κατά 40 % | 0,54 | 2,30 |
| 4 ^ο Σενάριο, μείωση κοινωνικών επαφών κατά 60 % | 0,36 | 1,53 |

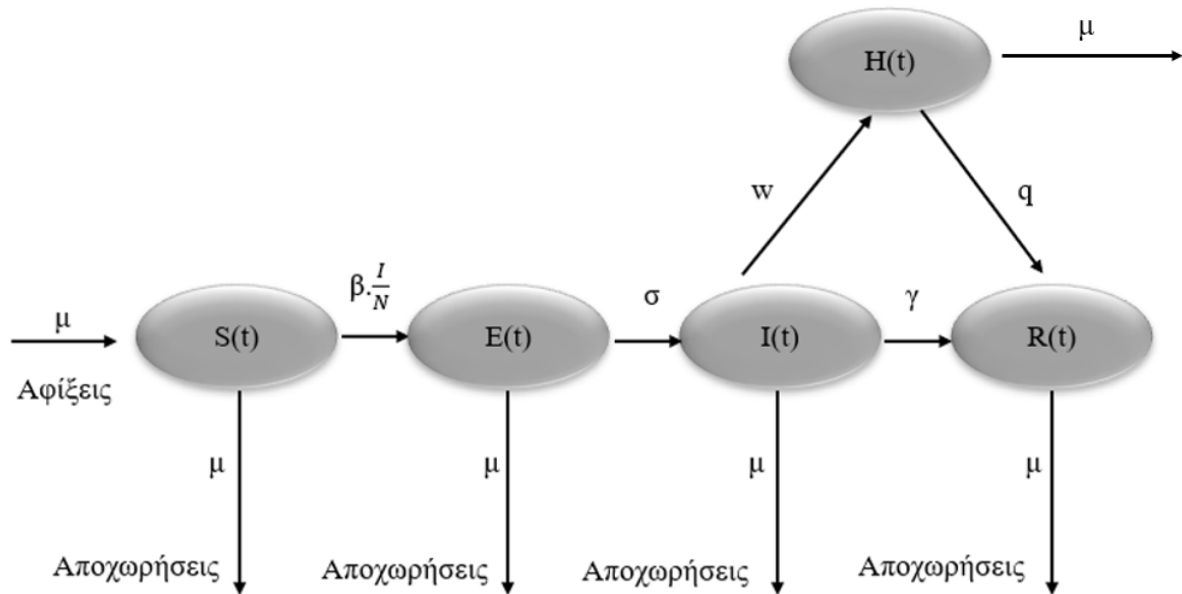
3.4.3.2 Ενσωμάτωση παρέμβασης με απομόνωση των ατόμων

Σε αυτή την παράγραφο θα διερευνήσουμε τρία σενάρια απομόνωσης, ανάλογα με το ρυθμό που τα μολυσματικά άτομα εισέρχονται σε απομόνωση. «Απομόνωση» είναι ο διαχωρισμός των ασθενών, που πάσχουν από μία μεταδοτική ασθένεια, από τους μη μολυσμένους και αποσκοπεί στη διακοπή της μετάδοσης ενός παθογόνου μικροοργανισμού και στην προστασία των υγιών ατόμων (Wilder-Smith and Freedman, 2020). Στόχος του συγκεκριμένου μέτρου είναι να μειώσουμε τον αριθμό των μολυσματικών ατόμων, μειώνοντας τη μετάδοση της νόσου.

Χρησιμοποιήθηκε μία επέκταση του SEIR μοντέλου με πέντε καταστάσεις και παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.8. Τα ευπαθή άτομα $S(t)$ μολύνονται με ρυθμό β και μεταβαίνουν στο διαμέρισμα των εκτεθειμένων $E(t)$, στο οποίο τα άτομα βρίσκονται σε λανθάνουσα κατάσταση, στη συνέχεια γίνονται μολυσματικά $I(t)$ με ρυθμό σ και ύστερα από την κατάσταση των μολυσματικών όσα άτομα είτε έχουν διαγνωσθεί θετικά, είτε έχουν εμφανίσει συμπτώματα απομονώνονται με ρυθμό w μεταβαίνοντας στην κατάσταση $H(t)$. Από αυτό το διαμέρισμα αναρρώνουν με ρυθμό q ($1/q$ διάρκεια απομόνωσης). Η διάρκεια απομόνωσης μέχρι τα μολυσματικά άτομα να αναρρώσουν ($1/q$), θεωρήθηκε ότι είναι 5 ημέρες

(όση έχουμε υποθέσει ότι είναι η συνολική διάρκεια μολυσματικότητας (Hakki et al., 2022)), για όλες τις περιπτώσεις, ανεξάρτητα από τη διάρκεια κατά την οποία τα άτομα είναι ήδη μολυσματικά, καθώς αυτή δεν μπορεί να υπολογισθεί με ακρίβεια. Τα μολυσματικά άτομα που δεν απομονώθηκαν εισέρχονται στα άτομα που έχουν αναρρώσει $R(t)$ με ρυθμό γ .

Σχήμα 3.8 Διάγραμμα ροής για το SEIR μοντέλο σε ανοιχτό πληθυσμό με ενσωμάτωση μέτρου απομόνωσης.



Έχουμε υποθέσει ότι τα απομονωμένα άτομα δεν μολύνουν κανένα άλλο άτομο (100% αποτελεσματική απομόνωση), το οποίο βέβαια σε πραγματικές συνθήκες είναι πιθανώς μη ρεαλιστικό, ειδικά όταν πρόκειται για μία δομή όπου ο χώρος είναι περιορισμένος και υπάρχει υπερπληθυσμός. Στους Πίνακες 3.4, 3.5 και 3.6 αναγράφονται οι καταστάσεις και οι παράμετροι του μοντέλου, καθώς και τα σενάρια που διερευνήθηκαν αντίστοιχα. Θεωρήσαμε ότι τα μέτρα τίθενται σε ισχύ όταν μολυνθούν στη δομή συνολικά 15 άτομα και οι αρχικές καταστάσεις ορίστηκαν ως εξής: $S(0)=6.078$, $E(0)=5$, $I(0)=5$, $H(0)=5$ και $R(0)=0$.

Οι διαφορικές εξισώσεις οι οποίες αναπαριστούν τις μετακινήσεις από τη μία κατάσταση στην άλλη για το μοντέλο που παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.8 είναι οι εξής:

- $\frac{dS(t)}{dt} = \mu \cdot N - \beta \cdot \frac{I}{N} \cdot S - \mu \cdot S$
- $\frac{dE(t)}{dt} = +\beta \cdot \frac{I}{N} \cdot S - \sigma \cdot E - \mu \cdot E$

- $\frac{dI(t)}{dt} = +\sigma \cdot E - (\gamma + \mu + w) \cdot I$
- $\frac{dH(t)}{dt} = w \cdot I - q \cdot H$
- $\frac{dR(t)}{dt} = +\gamma \cdot I + q \cdot H - \mu \cdot R$

$$S(0) = S_0 \geq 0, E(0) = E_0 \geq 0, I(0) = I_0 \geq 0, H(0) = H_0 \geq 0, R(0) = R_0 \geq 0, N = S + E + I + H + R$$

Ο βασικός αριθμός αναπαραγωγής υπολογίστηκε σύμφωνα με τη θεωρία που ανέπτυξαν οι Diekmann, Heesterbeek και Metz το 1990 χρησιμοποιώντας πίνακες «επόμενης γενιάς (next generation matrices)» και τις μεθόδους που παρουσίασαν αργότερα οι van den Driessche et. al το 2002 (Diekmann, Heesterbeek and Metz, 1990; van den Driessche and Watmough, 2002). Επομένως, δίνεται από την εξής σχέση:

$$R_0 = \frac{\sigma}{\sigma + \mu} \cdot \frac{\beta}{\gamma + \mu + w}$$

Πίνακας 3.4 Καταστάσεις του SEIR μοντέλου ενσωματώνοντας ως παρέμβαση την απομόνωση των ατόμων.

| Καταστάσεις μοντέλου | Σύμβολο |
|---------------------------------------|---------|
| Αριθμός ατόμων που είναι επίνουσα | S(t) |
| Αριθμός ατόμων που είναι εκτεθειμένα | E(t) |
| Αριθμός ατόμων που είναι μολυσματικά | I(t) |
| Αριθμός ατόμων που είναι σε απομόνωση | H(t) |
| Αριθμός ατόμων που έχουν αναρρώσει | R(t) |
| Μέγεθος πληθυσμού | N |

Πίνακας 3.5 Παράμετροι του SEIR μοντέλου ενσωματώνοντας ως παρέμβαση την απομόνωση των ατόμων.

| Παράμετροι (Σύμβολο) | Τιμή | Πηγή |
|--|-----------------------------|----------------------|
| Βασικός αριθμός αναπαραγωγής (R_0) | 3,83 (95 % CrI: 2,70, 5,12) | Εκτιμήθηκε |
| Λανθάνουσα περίοδος (1/σ) | 3,5 ημέρες | (Sypsa et al., 2020) |

| | | |
|---------------------------------|----------|--|
| Διάρκεια μολυσματικότητας (1/γ) | 5 ημέρες | (Hakki et al., 2022) |
| Ρυθμός αφίξεων (μ) | 0,02 | (Υπουργείο Μετανάστευσης και Ασύλου, 2021) |
| Ρυθμός αποχώρησης (μ) | 0,02 | (Υπουργείο Μετανάστευσης και Ασύλου, 2021) |

Πίνακας 3.6 Σενάρια παρέμβασης ανάλογα με το ρυθμό που εισέρχονται τα άτομα σε απομόνωση.

| Σενάρια παρέμβασης | Διάρκεια μολυσματικότητας μέχρι την απομόνωση 1/w (σε ημέρες) | Βασικός αριθμός αναπαραγωγής (R_0) | Ρυθμός απομόνωσης (w) |
|------------------------|---|--|-----------------------|
| Βασικό σενάριο | 5 | 3,83 | 0 |
| 1 ^ο Σενάριο | 4 | 1,80 | 0,25 |
| 2 ^ο Σενάριο | 3 | 1,54 | 0,33 |
| 3 ^ο Σενάριο | 2 | 1,18 | 0,50 |

3.4.3.3 Ενσωμάτωση παρέμβασης με εμβολιασμό των ατόμων

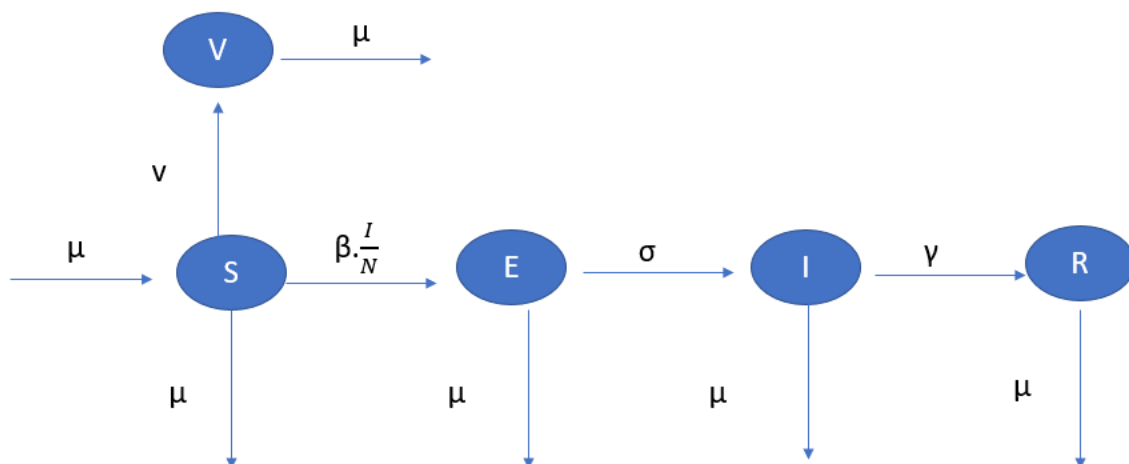
Η 3^η παρέμβαση, που διερευνήσαμε θεωρητικά για το ΚΥΤ Μαυροβουνίου είναι ο εμβολιασμός των ατόμων που διαμένουν εκεί. Σύμφωνα με τον ΕΟΔΥ (ΕΟΔΥ, 2021), αρχές Ιουνίου ξεκίνησε να υλοποιείται εμβολιασμός των κατοίκων στο ΚΥΤ της Λέσβου από κλιμάκια του ΕΟΔΥ και του Προγράμματος «Ολοκληρωμένη επείγουσα Παρέμβαση Υγείας για την προσφυγική κρίση-Philos» (ΕΟΔΥ, 2021).

Τα εμβόλια προστατεύουν άμεσα, αλλά και έμμεσα από διάφορες μολυσματικές ασθένειες. Άμεσα, διότι τα εμβολιασμένα άτομα παρουσιάζουν μειωμένη πιθανότητα μόλυνσης και είναι λιγότερο μεταδοτικά σε σχέση με τα μη εμβολιασμένα, σε περίπτωση μίας επιδημικής έκρηξης. Έμμεσα, επειδή ο ρυθμός μετάδοσης, τόσο στους εμβολιασμένους όσο και στους μη εμβολιασμένους είναι σαφώς ελαττωμένος (Shim and Galvani, 2012). Η αποτελεσματικότητα ενός εμβολίου εκφράζει τις «προστατευτικές επιδράσεις» που έχει το εκάστοτε εμβόλιο μέσω της μείωσης του κινδύνου μόλυνσης ενός εμβολιασμένου ατόμου σε σχέση με ένα ανεμβολίαστο (Shim and Galvani, 2012). Επειδή όμως η ανοσολογική ανταπόκριση κάθε οργανισμού είναι διαφορετική κανένα εμβόλιο δεν είναι 100%

αποτελεσματικό σε έναν ολόκληρο πληθυσμό. Οι δύο κύριοι τρόποι θεώρησης της αποτελεσματικότητας των εμβολίων είναι το «leaky» και το «all-or-nothing» εμβόλιο. Ως leaky ορίζεται το εμβόλιο που προσφέρει μερική ανοσία στα εμβολιασμένα άτομα, ενώ ως all-or-nothing εκείνο που προσφέρει πλήρη προστασία σε ένα υποσύνολο μόνο των εμβολιασμένων ατόμων (Halloran, Haber and Longini, 1992; Shim and Galvani, 2012).

Προκειμένου να μελετήσουμε πως θα εξελιχθεί η επιδημία στο ΚΥΤ της Λέσβου, λαμβάνοντας υπόψη την πραγματοποίηση εμβολιασμών, θεωρήσαμε ότι στην αρχή της υπό μελέτη χρονικής περιόδου ξεκινάνε οι εμβολιασμοί των διαμενόντων στο ΚΥΤ. Επίσης, υποθέσαμε ότι το εμβόλιο είναι all-or-nothing με αποτελεσματικότητα 70 % (Feikin et al., 2022) και ότι πραγματοποιούνται καθημερινά 200 εμβολιαμοί ανά ημέρα, άρα ο ρυθμός που τα επίνοσα άτομα μεταβαίνουν στους εμβολιασμένους είναι $v=0,033$. Το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.9 και οι αντίστοιχες καταστάσεις και παράμετροι παρατίθενται στους Πίνακες 3.7 και 3.8. Επιπροσθέτως, υποθέσαμε ότι οι αρχικές καταστάσεις είναι: $S(0)=6.083$, $V(0)=0$, $E(0)=5$, $I(0)=5$, $R(0)=0$. Τέλος, υποθέσαμε ότι τα μέτρα τίθενται σε ισχύ στην αρχή της υπό μελέτης περιόδου και ότι ήδη έχουν μολυνθεί στη δομή συνολικά 10 άτομα.

Σχήμα 3.9 Διάγραμμα ροής για το SEIR μοντέλο σε ανοιχτό πληθυσμό με ενσωμάτωση εμβολιασμού των ατόμων.



Οι εξισώσεις γι' αυτό το μοντέλο είναι οι εξής:

- $\frac{dS(t)}{dt} = \mu \cdot N - \beta \cdot \frac{I}{N} \cdot S - \mu \cdot S - v \cdot S$
- $\frac{dV(t)}{dt} = v \cdot S - \mu \cdot V$
- $\frac{dE(t)}{dt} = +\beta \cdot \frac{I}{N} \cdot S - \sigma \cdot E - \mu \cdot E$
- $\frac{dI(t)}{dt} = +\sigma \cdot E - (\gamma + \mu) \cdot I$
- $\frac{dR(t)}{dt} = +\gamma \cdot I - \mu \cdot R$

$$S(0) = S_0 \geq 0, V(0) = V_0 \geq 0, E(0) = E_0 \geq 0, I(0) = I_0 \geq 0, R(0) = R_0 \geq 0, N = S + V + E + I + R$$

Πίνακας 3.7 Καταστάσεις του SEIR μοντέλου ενσωματώνοντας ως παρέμβαση τον εμβολιασμό των ατόμων.

| Καταστάσεις μοντέλου | Σύμβολο |
|--------------------------------------|---------|
| Αριθμός ατόμων που είναι επίνουσα | S(t) |
| Αριθμός που είναι εμβολιασμένα | V(t) |
| Αριθμός ατόμων που είναι εκτεθειμένα | E(t) |
| Αριθμός ατόμων που είναι μολυσματικά | I(t) |
| Αριθμός ατόμων που έχουν αναρρώσει | R(t) |
| Μέγεθος πληθυσμού | N |

Πίνακας 3.8 Παράμετροι του SEIR μοντέλου ενσωματώνοντας ως παρέμβαση τον εμβολιασμό των ατόμων.

| Παράμετροι (Σύμβολο) | Τιμή | Πηγή |
|--|-----------------------------|--|
| Βασικός αριθμός αναπαραγωγής (R_0) | 3,83 (95 % CrI: 2,70, 5,12) | Εκτιμήθηκε |
| Ρυθμός μετάδοσης (β) | 0,9 | Εκτιμήθηκε |
| Ρυθμός εμβολιασμού (ν) | 0,033 | Υπόθεση |
| Λανθάνουσα περίοδος ($1/\sigma$) | 3,5 ημέρες | (Sypsa et al., 2020) |
| Διάρκεια μολυσματικότητας ($1/\gamma$) | 5 ημέρες | (Hakki et al., 2022) |
| Ρυθμός αφίξεων (μ) | 0,02 | (Υπουργείο Μετανάστευσης και Ασύλου, 2021) |
| Ρυθμός αποχώρησης (μ) | 0,02 | (Υπουργείο Μετανάστευσης και Ασύλου, 2021) |

3.4.3.4 Συνδυασμός παρεμβάσεων (μείωση κοινωνικών επαφών κατά 40 % και εμβολιασμός)

Τέλος, υποθέσαμε ένα σενάριο κατά το οποίο εφαρμόζονται δύο παρεμβάσεις, μείωση των κοινωνικών επαφών κατά 40 % και εμβολιασμός των ατόμων. Πιο συγκεκριμένα συνδυάσαμε το 3^ο σενάριο όπως περιγράφεται στην παράγραφο 3.4.3.1 και το σενάριο της προηγούμενης παραγράφου που υποθέτει ότι εμβολιάζονται 200 άτομα ανά ημέρα στη δομή του Μαυροβουνίου. Επομένως το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε είναι ίδιο με αυτό που περιγράφεται στην προηγούμενη παράγραφο με τη μόνη διαφορά ότι ο ρυθμός μετάδοσης β είναι ίσος με 0,54 και ο $(R_0)=2,30$, όπως ορίστηκαν στο σενάριο με μείωση των κοινωνικών επαφών κατά 40 %.

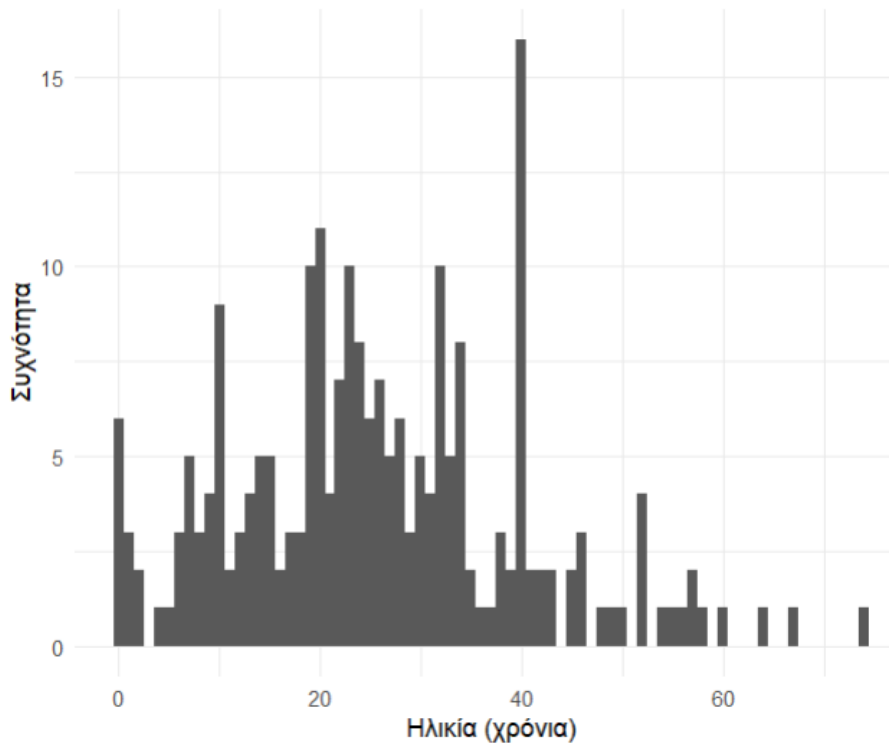
4 Μαθηματικά μοντέλα προσομοίωσης της νόσου COVID – 19 στο KYT Μαυροβουνίου στη Λέσβο

4.1 Δημογραφικά χαρακτηριστικά των ατόμων που διαγνώστηκαν θετικά στη νόσο COVID – 19 στο KYT Μαυροβουνίου

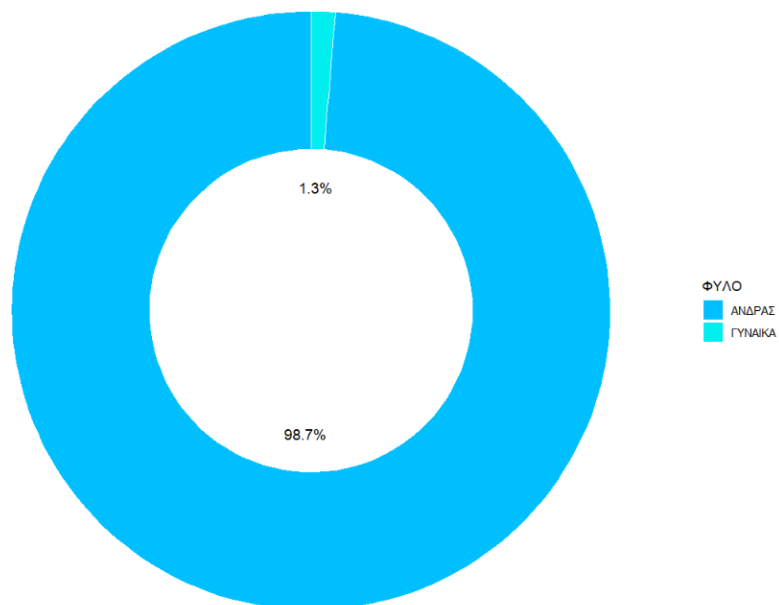
Αρχικά, τα δεδομένα για την παρούσα διπλωματική εργασία, αποτελούνταν από την ηλικία, το φύλο, την ημερομηνία διενέργειας διαγνωστικού ελέγχου για τη νόσο COVID – 19, καθώς και το αντίστοιχο αποτέλεσμα. Αφορούσαν την περίοδο από 1^η Μαρτίου 2021 μέχρι και την 18^η Ιουλίου 2021. Στη συνέχεια, αφαιρέθηκαν ο Μάρτιος και ο Απρίλιος, διότι ο αριθμός των κρουσμάτων ήταν ελάχιστος και τα δεδομένα ήταν ελλιπή και η περίοδος που εξετάστηκε στην παρούσα διπλωματική ήταν από τις 3 Μαΐου μέχρι και 2 Ιουλίου 2021. Συνολικά για την αρχική περίοδο, τα τεστ που διεξήχθησαν ήταν 11.779. Η ηλικία του αρχικού δείγματος δεν ακολουθούσε την κανονική κατανομή με τη διάμεση ηλικία να είναι τα 25 έτη και το ενδοτεταρτημοριακό εύρος (25^ο, 75^ο) 19 έτη. Οι γυναίκες ήταν 851 (7,2 %) και οι άνδρες 10.926 (92,8 %). Στο αρχικό δείγμα τα θετικά τεστ ήταν 272, ενώ τη 2^η περίοδο, με βάση την οποία πραγματοποιήθηκε και η ανάλυση, θετικά ήταν αντίστοιχα τα 226.

Στα Γραφήματα 4.1 και 4.2 παρουσιάζονται δημογραφικά χαρακτηριστικά των 226 ατόμων που ανιχνεύθηκαν θετικά. Κατόπιν εξέτασης της υπόθεσης κανονικότητας για την ηλικία με τον έλεγχο Kolmogorov – Smirnov και σε συνδυασμό με το Γράφημα 4.1, παρατηρείται ότι η ηλικία δεν ακολουθεί την κανονική κατανομή. Η διάμεση ηλικία είναι τα 24 έτη και το ενδοτεταρτημοριακό εύρος (25^ο, 75^ο) είναι 19, ενώ η επικρατούσα τιμή είναι τα 40 έτη. Στο Γράφημα 4.2, παρουσιάζονται τα ποσοστά των ανδρών (98,7 %) και γυναικών (1,3 %) που ήταν θετικοί /ες.

Γράφημα 4.1 Ηλικιακή κατανομή των ατόμων που διαγνώστηκαν θετικά την περίοδο Μαΐου – Ιουλίου 2021 στη δομή του Μαυροβουνίου.



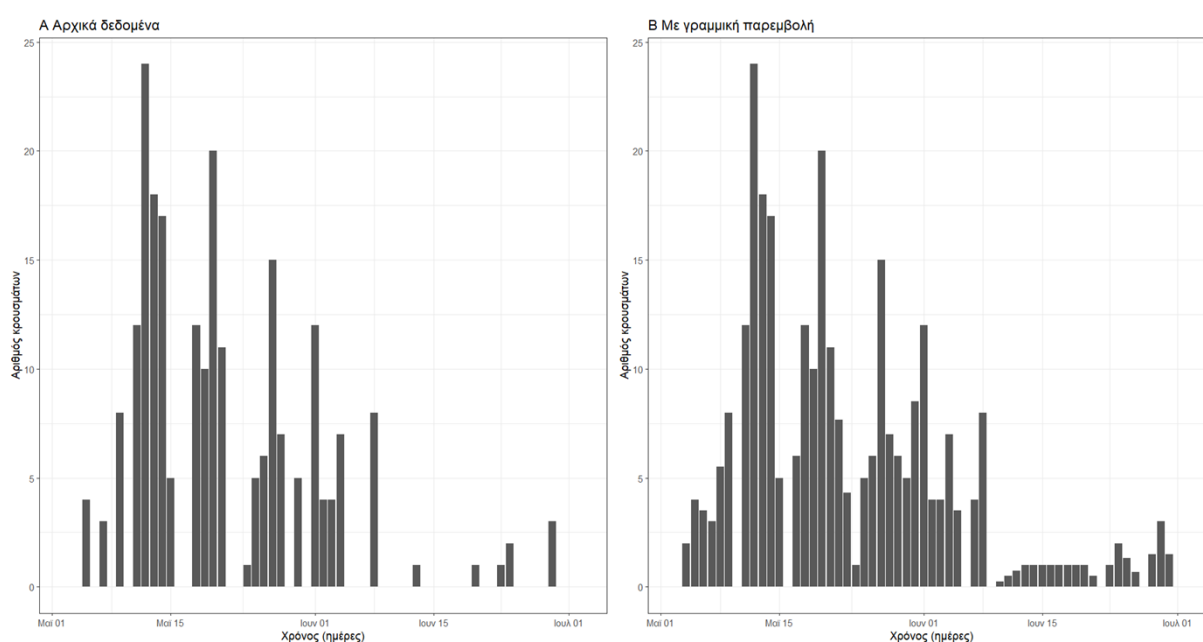
Γράφημα 4.2 Ποσοστό (%) ανδρών και γυναικών που διαγνώστηκαν θετικοί / ες την περίοδο Μαΐου - Ιουλίου 2021 στη δομή του Μαυροβουνίου.



4.2 Εφαρμογή μοντέλων για την προσομοίωση της νόσου COVID - 19 στο KYT της Λέσβου

Στο Γράφημα 4.3 απεικονίζεται η επιδημική καμπύλη για τη νόσο COVID-19 στο KYT της Λέσβου για τη χρονική περίοδο 3 Μαΐου – 2 Ιουλίου 2021, πριν και μετά την εφαρμογή γραμμικής παρεμβολής αντίστοιχα.

Γράφημα 4.3 Επιδημική καμπύλη για τη νόσο COVID – 19 στο KYT της Λέσβου το χρονικό διάστημα 3 Μαΐου –2 Ιουλίου 2021, ανά ημέρα καταγραφής κρουσμάτων. Α) Αρχικά δεδομένα, Β) Με γραμμική παρεμβολή.

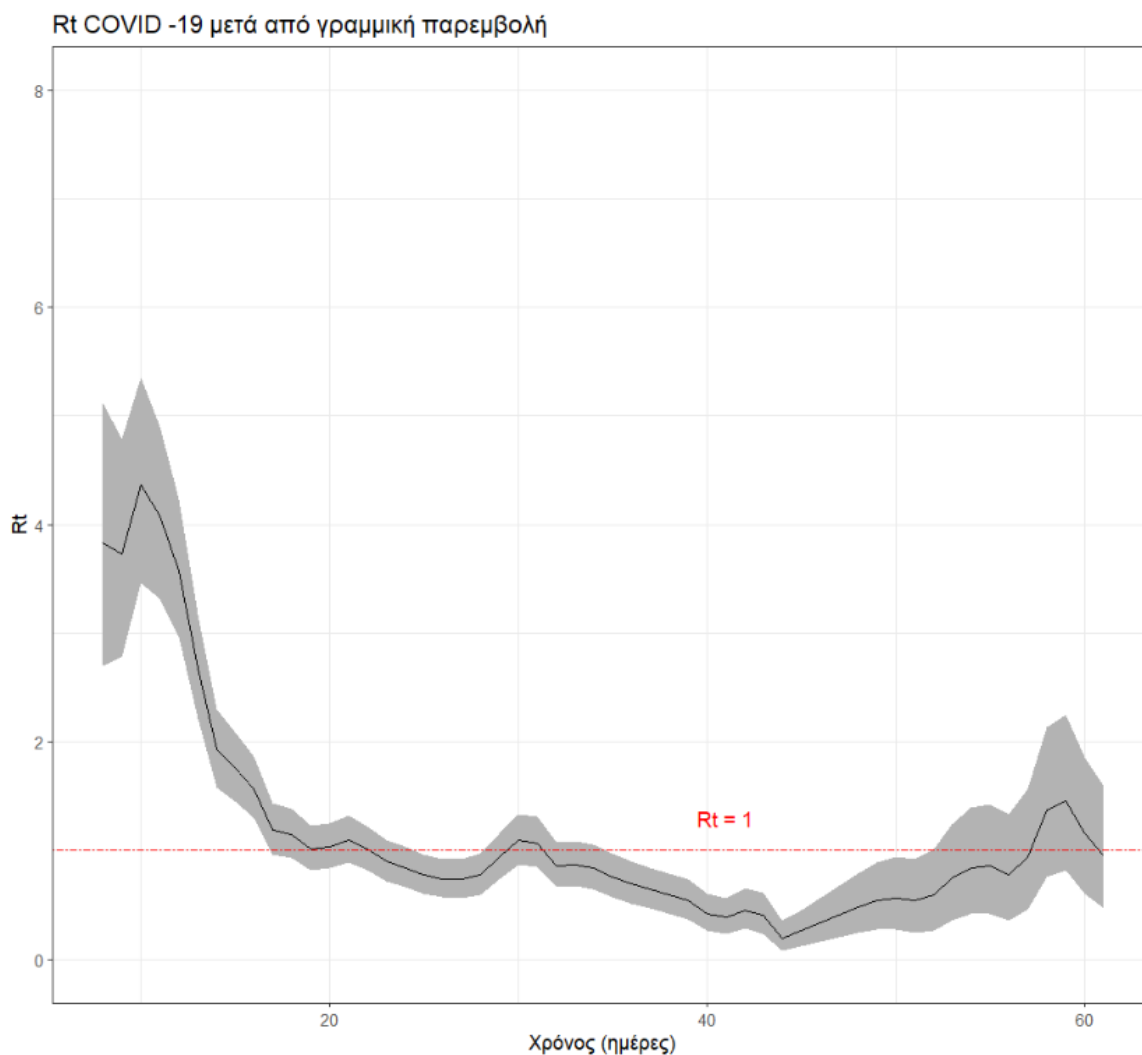


Στο Γράφημα 4.3, παρατηρείται ότι η κορύφωση της επιδημίας για την χρονική περίοδο (3 Μαΐου – 2 Ιουλίου 2021) συμβαίνει το Μάιο και ο μέγιστος αριθμός κρουσμάτων είναι 24. Στη συνέχεια μέχρι τον Ιούλιο, εμφανίζεται μία πτώση στον αριθμό των λοιμώξεων. Αυτό, ίσως οφείλεται στο γεγονός ότι με τον εντοπισμό των πρώτων κρουσμάτων τέθηκαν κάποια μέτρα περιορισμού της επιδημίας, όπως περιγράφονται στην παράγραφο 2.3. Επιπροσθέτως, τον Ιούνιο άρχισαν να πραγματοποιούνται και οι πρώτοι εμβολιασμοί στο KYT (ΕΟΔΥ, 2021).

Στο Γράφημα 4.4, παρουσιάζεται η ημερήσια εκτίμηση του R_t . Στην αρχή της υπό μελέτη περιόδου, το R_0 είναι αρκετά αυξημένο αφού ισούται με 3,83 (95% CrI: 2,70, 5,12). Στη συνέχεια όταν εξελίσσεται η επιδημία, ο ενεργός αριθμός αναπαραγωγής, μειώνεται σταδιακά και γίνεται πρώτη φορά κάτω από 1

στις 22 Μαΐου, ύστερα ξανά αυξάνεται μέχρι οριστικά να παραμείνει κάτω από ένα από τις 3 Ιουνίου μέχρι περίπου το τέλος της εξεταζόμενης περιόδου.

Γράφημα 4.4 Εκτίμηση του R_t για τη νόσο COVID - 19 στο ΚΥΤ της Λέσβου το χρονικό διάστημα 3 Μαΐου – 2 Ιουλίου 2021 μετά από εφαρμογή γραμμικής παρεμβολής.



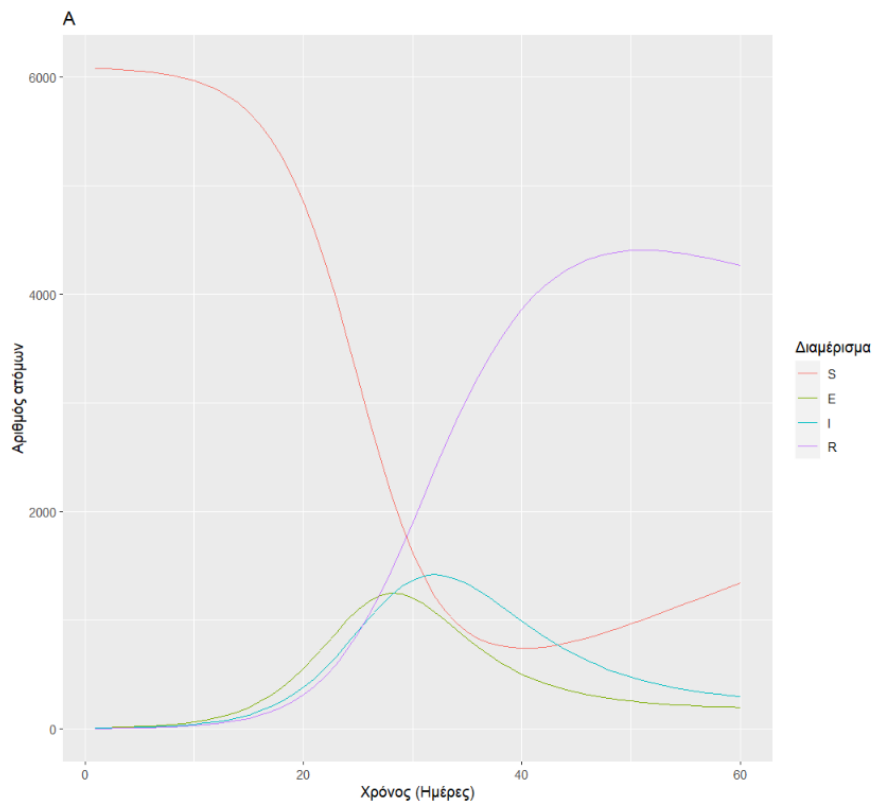
4.2.1 Σενάρια παρέμβασης με μέτρα κοινωνικής αποστασιοποίησης

I. Σενάριο απουσία μέτρων (baseline scenario)

Στο Γράφημα 4.5, απεικονίζεται ο εκτιμώμενος αριθμός των επίνοσων, εκτεθειμένων, μολυσματικών και ατόμων που έχουν αναρρώσει το χρονικό διάστημα 3 Μαΐου – 2 Ιουλίου 2021, χωρίς να έχει εφαρμοστεί καμία παρέμβαση. Παρατηρούμε ότι ο μέγιστος αριθμός μολυσματικών ατόμων είναι

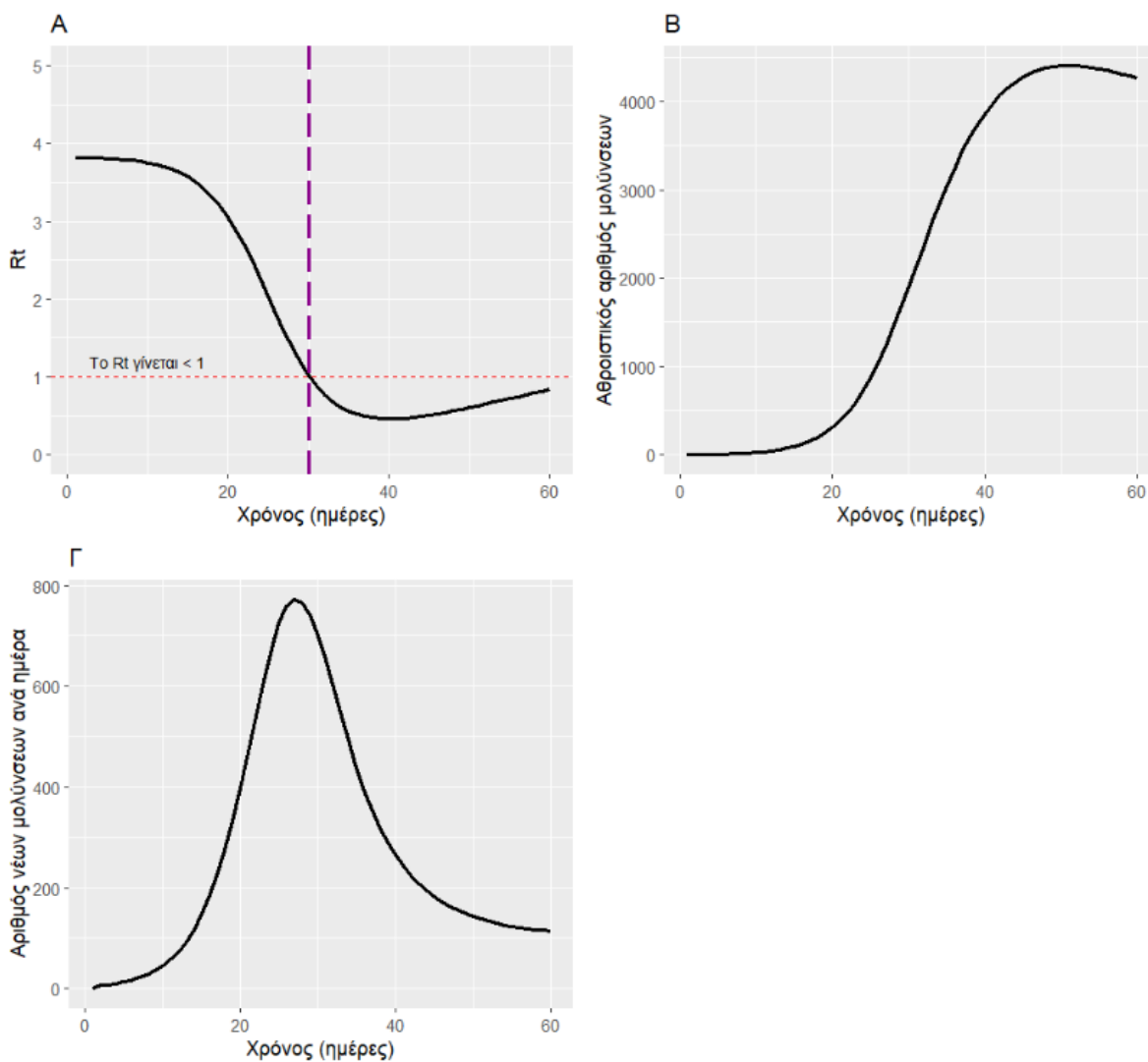
σχεδόν 1.400 άτομα και η κορύφωση της επιδημίας πραγματοποιείται περίπου την 32^η ημέρα από την αρχή του διαστήματος που εξετάζουμε, δηλαδή στις 4 Ιουνίου.

Γράφημα 4.5 Αριθμός επίνσεων, εκτεθειμένων, μολυσματικών και ατόμων που έχουν αναρρώσει στο ΚΥΤ Λέσβου, απουσία μέτρων, το χρονικό διάστημα 2 Μαΐου – 3 Ιουλίου 2021.



Στα διαγράμματα του Γραφήματος 4.6, παρατηρείται ότι ο ενεργός αριθμός αναπαραγωγής γίνεται 1 περίπου την 30^η ημέρα, όπου περιορίζεται και η πανδημία, αφού επέρχεται συλλογική ανοσία. Επιπροσθέτως, ο αθροιστικός αριθμός μολύνσεων, αν δεν ληφθεί κανένα μέτρο ισούται με 4.400 περιπτώσεις, ενώ ο μέγιστος αριθμός νέων μολύνσεων ανά ημέρα στην κορύφωση της επιδημίας είναι περίπου 770.

Γράφημα 4.6 Αποτελέσματα από το μοντέλο SEIR, απουσία μέτρων το χρονικό διάστημα Μαΐου - Ιουλίου 2021, στο ΚΥΤ Λέσβου. Α) Ενεργός αριθμός αναπαραγωγής, Β) Αθροιστικός αριθμός μολύνσεων με COVID – 19, Γ) Αριθμός νέων μολύνσεων με COVID - 19.

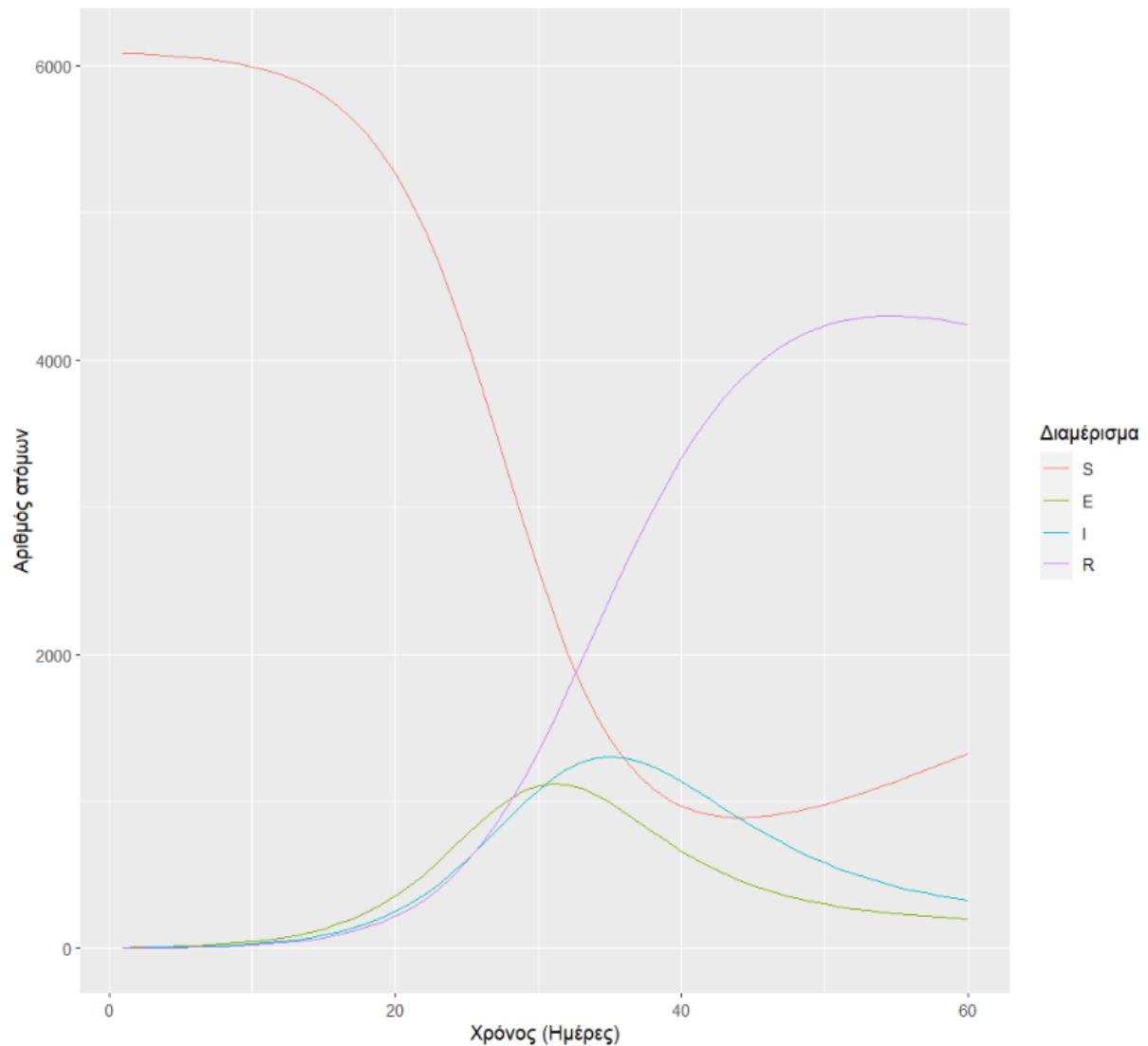


II. Σενάριο 1^ο- Μείωση κοινωνικών επαφών κατά 10%

Στο Γράφημα 4.7, απεικονίζεται ο αριθμός των επίνοσων, εκτεθειμένων, μολυσματικών και ατόμων που έχουν αναρρώσει το χρονικό διάστημα Μαΐου – Ιουλίου 2021. Σε αυτό το σενάριο, έχουμε υποθέσει ότι έχουν εφαρμοστεί μέτρα κοινωνικής αποστασιοποίησης στην προσφυγική δομή του Μαυροβουνίου και ο αριθμός των κοινωνικών επαφών των ατόμων έχει μειωθεί κατά 10 %. Παρατηρούμε ότι ο μέγιστος αριθμός μολυσματικών ατόμων είναι ελάχιστα μειωμένος σε σχέση με το baseline scenario (που ήταν

σχεδόν 1.400) και η κορύφωση της επιδημίας πραγματοποιείται περίπου την 35^η ημέρα από την αρχή του διαστήματος που εξετάζουμε.

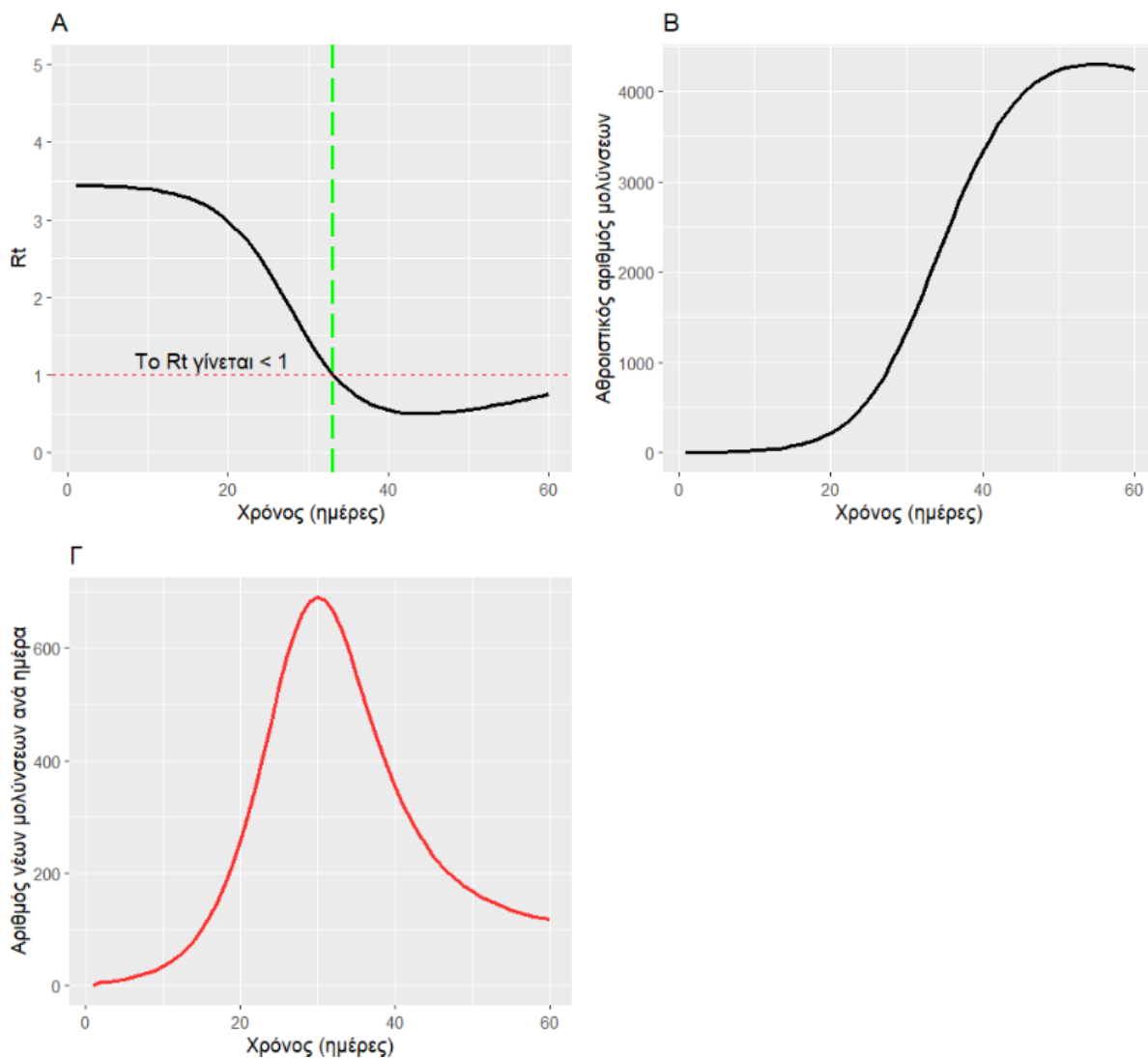
Γράφημα 4.7 Αριθμός επίνωσων, εκτεθειμένων, μολυσματικών και ατόμων που έχουν αναρρώσει στο ΚΥΤ Λέσβου μετά τη μείωση των κοινωνικών επαφών κατά 10 %, το χρονικό διάστημα 3 Μαΐου – 2 Ιουλίου 2021.



Στα διαγράμματα του Γραφήματος 4.8, παρατηρείται ότι η συλλογική ανοσία επιτυγχάνεται όταν ο ενεργός αριθμός αναπαραγωγής γίνεται 1 περίπου την 33^η ημέρα, όπου περιορίζεται και η πανδημία. Επίσης, με τη μείωση των κοινωνικών επαφών κατά 10 %, στο τέλος του διαστήματος που μελετάμε θα έχουν μολυνθεί λιγότερο από 4.300 άτομα (στο baseline scenario ο αθροιστικός αριθμός μολύνσεων

ξεπερνούσε τις 4.400), ενώ ο μέγιστος αριθμός νέων μολύνσεων ανά ημέρα φαίνεται να είναι σχεδόν 700.

Γράφημα 4.8 Αποτελέσματα από το μοντέλο SEIR, για το σενάριο με μείωση κοινωνικών επαφών κατά 10 %, το χρονικό διάστημα Μαΐου - Ιουλίου 2021, στο ΚΥΤ Λέσβου. Α) Ενεργός αριθμός αναπαραγωγής, Β) Αθροιστικός αριθμός μολύνσεων με COVID – 19, Γ) Αριθμός νέων μολύνσεων με COVID - 19.

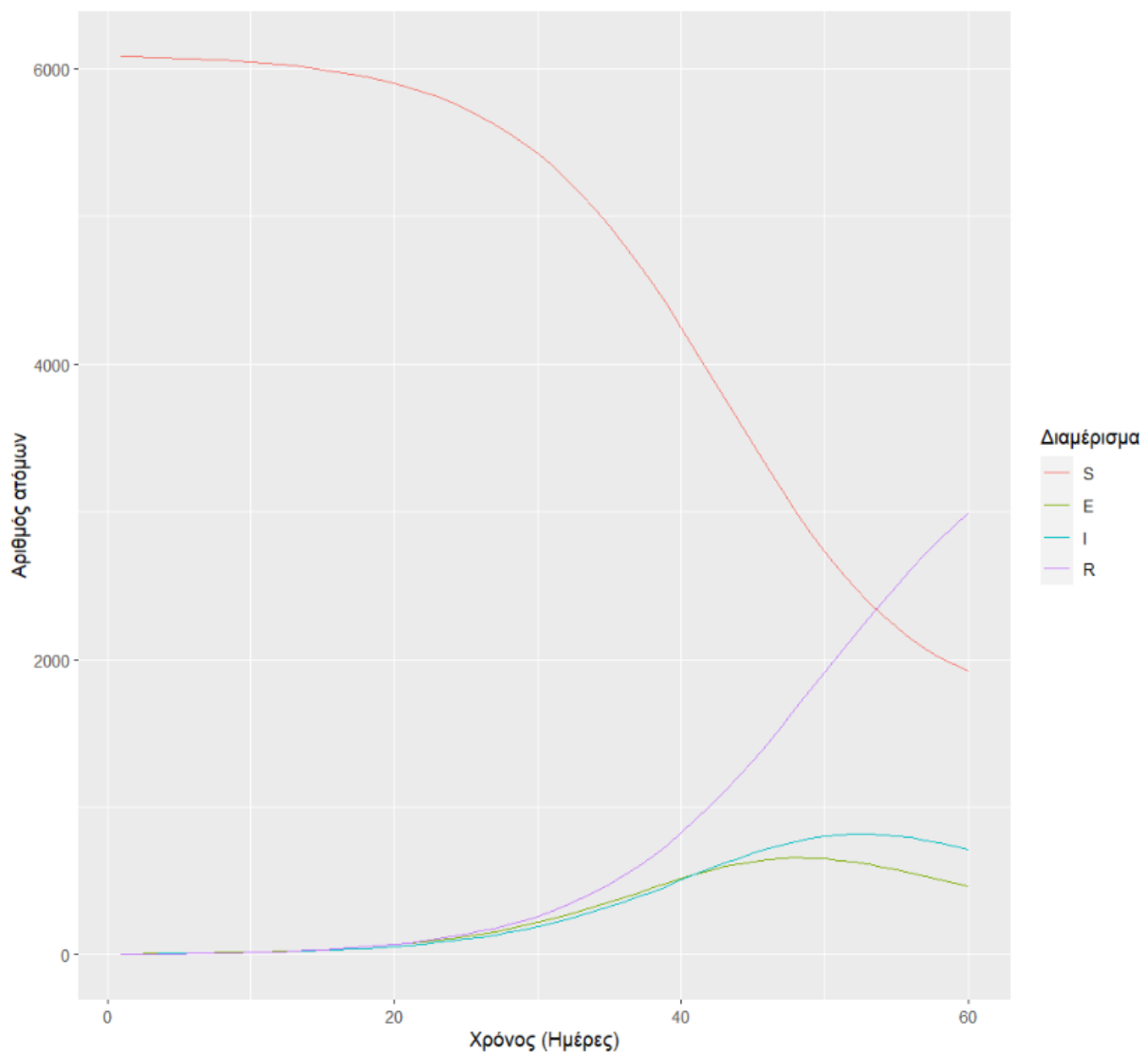


III. Σενάριο 2^ο - Μείωση κοινωνικών επαφών κατά 40%

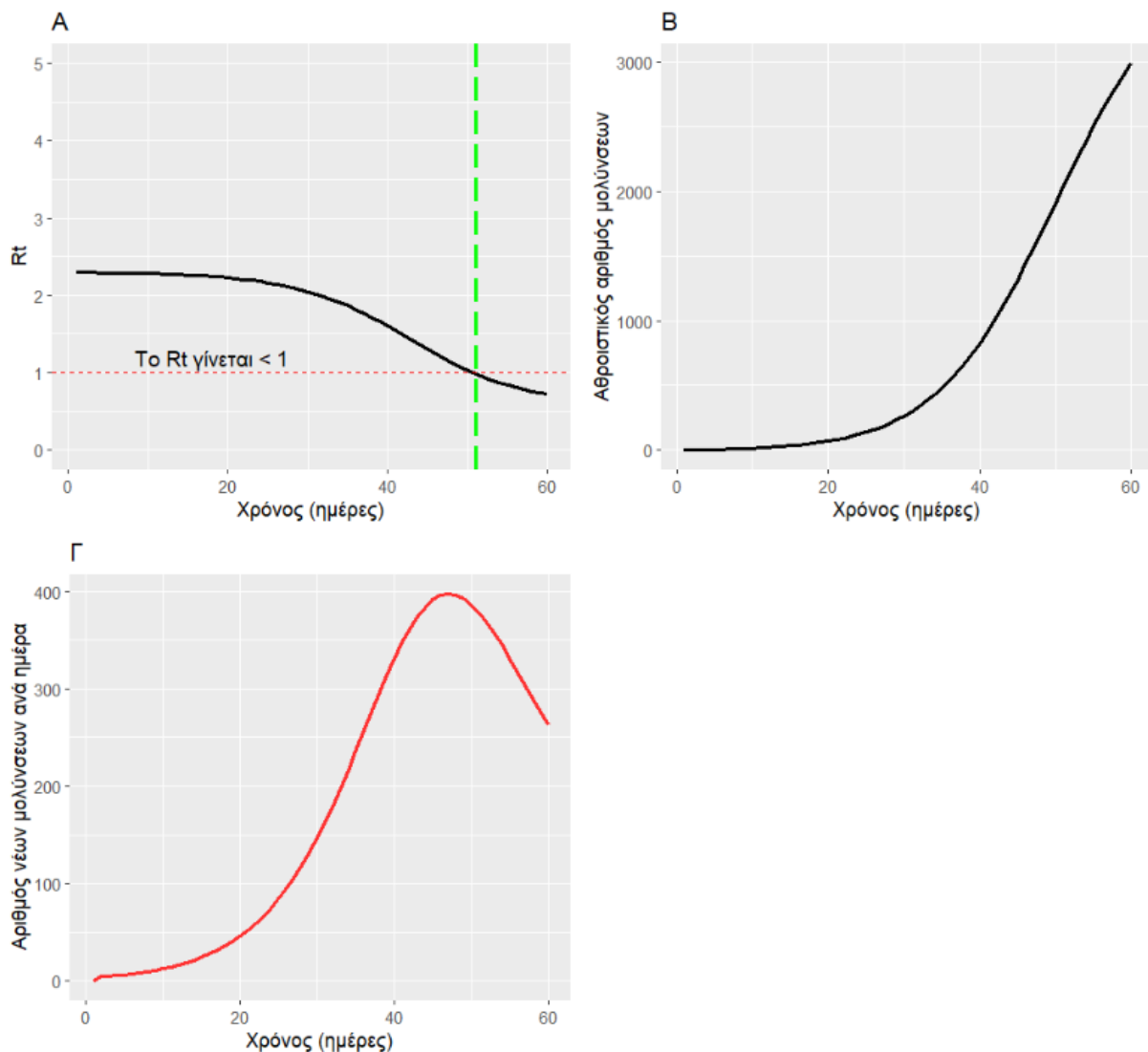
Σε αυτό το σενάριο έχουμε θεωρήσει ότι ο αριθμός των κοινωνικών επαφών έχει περιοριστεί αρκετά και έχει μειωθεί κατά 40 %. Στο Γράφημα 4.9, απεικονίζεται ο αριθμός των επίνουσων, εκτεθειμένων, μολυσματικών και ατόμων που έχουν αναρρώσει το χρονικό διάστημα Μαΐου – Ιουλίου 2021 για το 2^ο σενάριο. Στα διαγράμματα του Γραφήματος 4.10, παρατηρείται ότι ο ενεργός αριθμός αναπαραγωγής

μειώνεται πολύ πιο αργά σε σχέση με τα δύο προηγούμενα σενάρια, αφού εξελίσσεται πιο αργά και η επιδημία, λόγω του μειωμένου αριθμού νέων μολύνσεων. Αυτό οφείλεται στο ότι το ποσοστό των επίνσεων στον πληθυσμό που εξετάζουμε μειώνεται με πιο αργό ρυθμό, αφού αντίστοιχα και ο αριθμός των μολύνσεων είναι μικρότερος μετά την εφαρμογή μέτρων κοινωνικής αποστασιοποίησης. Πιο συγκεκριμένα παρατηρούμε ότι ο αθροιστικός αριθμός μολύνσεων έχει μειωθεί αρκετά και είναι σχεδόν 3.000 περιπτώσεις, ενώ ο μέγιστος αριθμός νέων μολύνσεων είναι περίπου 400.

Γράφημα 4.9 Αριθμός επίνσεων, εκτεθειμένων, μολυσματικών και ατόμων που έχουν αναρρώσει στο ΚΥΤ Λέσβου μετά τη μείωση των κοινωνικών επαφών κατά 40 %, το χρονικό διάστημα Μαΐου – Ιουλίου 2021.



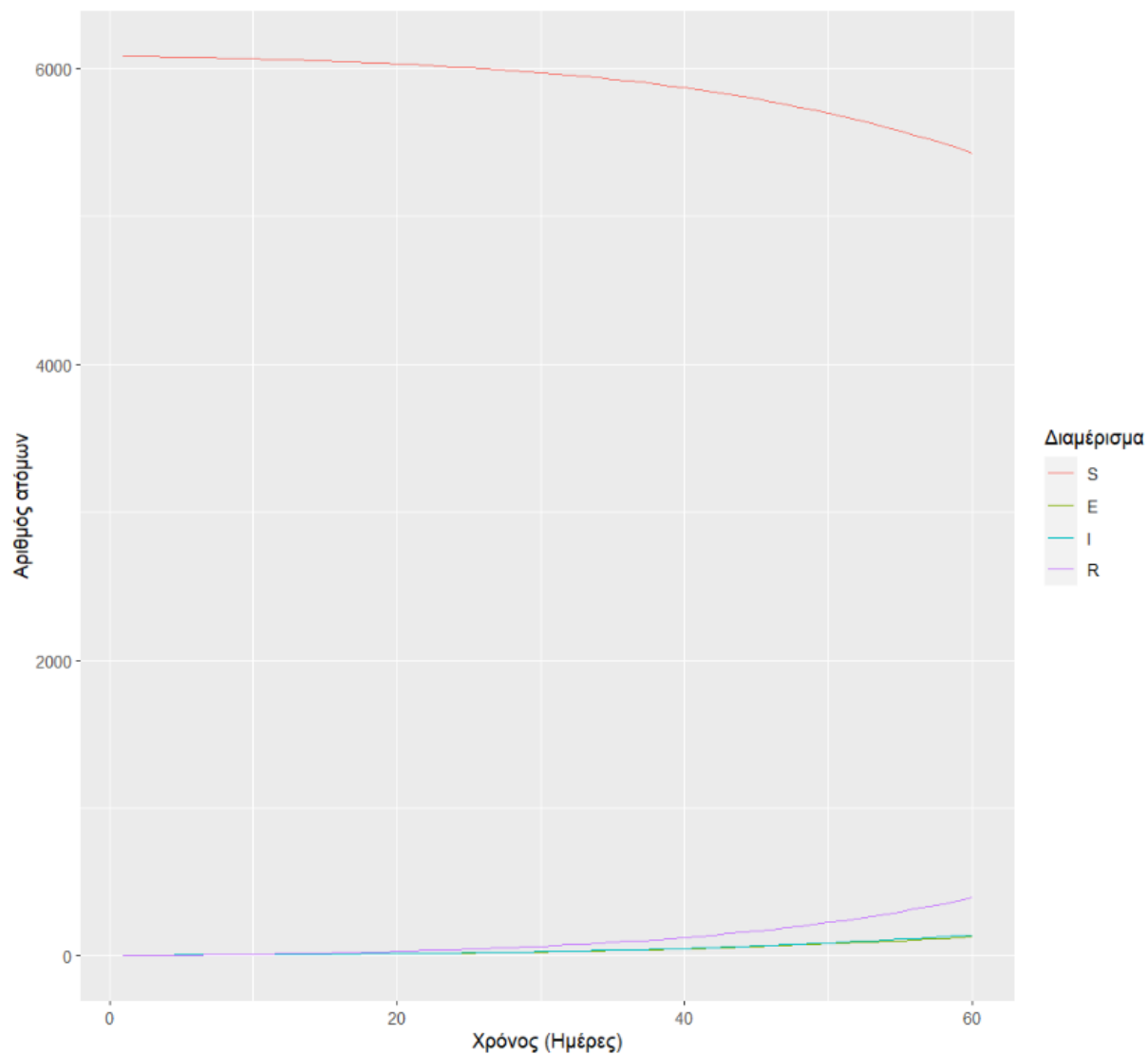
Γράφημα 4.10 Αποτελέσματα από το μοντέλο SEIR, για το σενάριο με μείωση κοινωνικών επαφών κατά 40 % το χρονικό διάστημα Μαΐου - Ιουλίου 2021 στο ΚΥΤ Λέσβου Α) Ενεργός αριθμός αναπαραγωγής, Β) Αθροιστικός αριθμός μολύνσεων με COVID – 19, Γ) Αριθμός νέων μολύνσεων με COVID - 19.



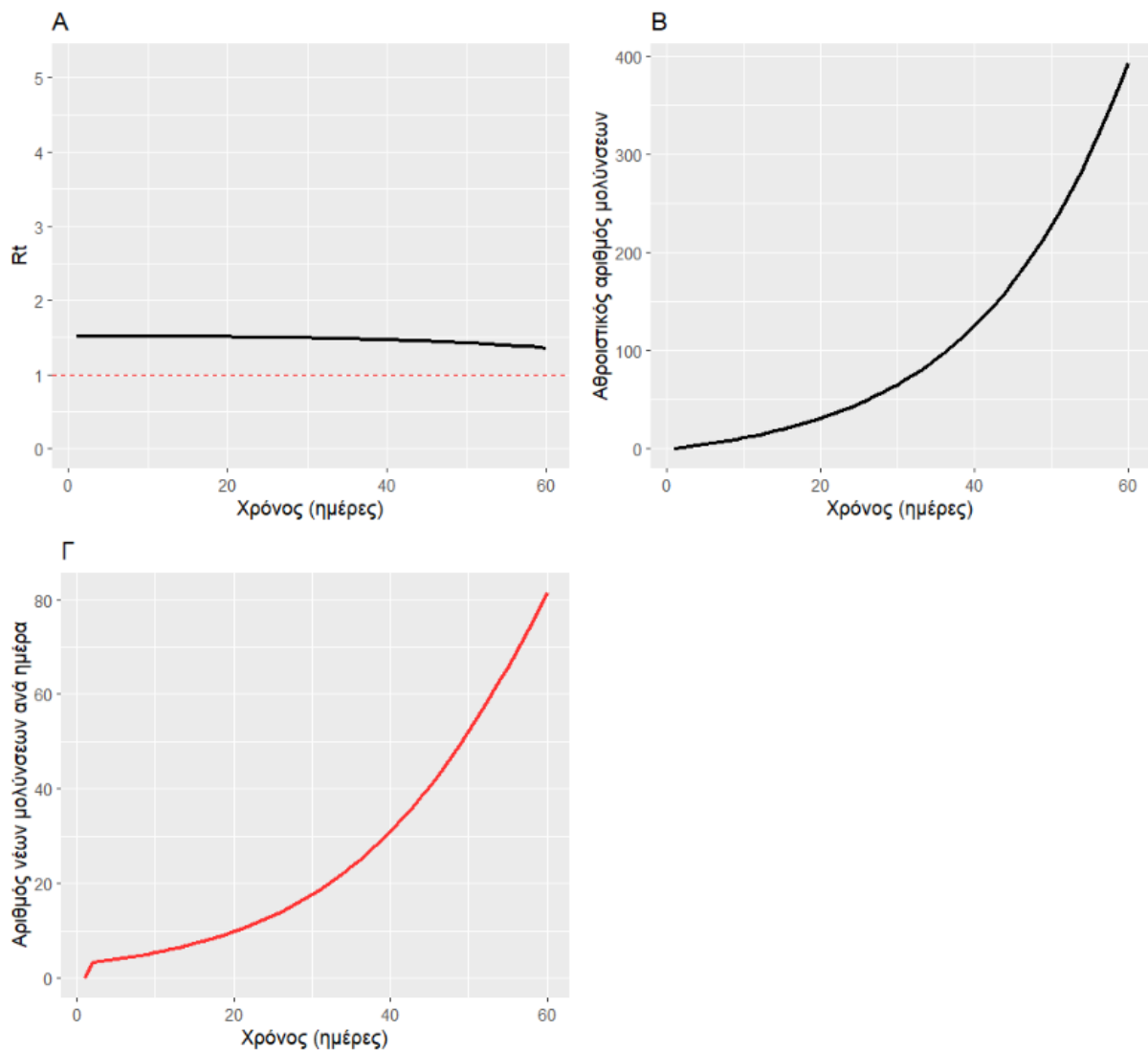
IV. Σενάριο 3^ο – Μείωση κοινωνικών επαφών κατά 60 %

Σε αυτό το σενάριο έχουμε υποθέσει τη λήψη πολύ αυστηρών μέτρων και ότι ο αριθμός των κοινωνικών επαφών έχει μειωθεί κατά 60 % (παραδείγματος χάρι σε περίπτωση lockdown). Εξετάζοντας τα Γραφήματα 4.11 και 4.12, παρατηρείται ότι ο αριθμός των επίνουσων έχει μειωθεί ελάχιστα και αυτό αντικατοπτρίζεται και στον ενεργό αριθμό αναπαραγωγής ο οποίος στο τέλος της υπό μελέτη περιόδου, είναι σχεδόν 1,3. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η επιδημία να μην εξελίσσεται και να μην φτάνει στην κορύφωσή της. Επιπροσθέτως, με τη λήψη αυτών των μέτρων, ο αριθμός νέων μολύνσεων ανά ημέρα παρουσιάζει σημαντική πτώση αφού δεν ξεπερνάει τις 80 και στο τέλος των δύο μηνών θα έχουν μολυνθεί συνολικά 400 άτομα.

Γράφημα 4.11 Αριθμός επίνουσων, εκτεθειμένων, μολυσματικών και ατόμων που έχουν αναρρώσει στο ΚΥΤ Λέσβου μετά τη μείωση των κοινωνικών επαφών κατά 60 %, το χρονικό διάστημα Μαΐου – Ιουλίου 2021.



Γράφημα 4.12 Αποτελέσματα από το μοντέλο SEIR, για το σενάριο με μείωση κοινωνικών επαφών κατά 60 %, το χρονικό διάστημα Μαΐου - Ιουλίου 2021, στο ΚΥΤ Λέσβου. Α) Ενεργός αριθμός αναπαραγωγής, Β) Αθροιστικός αριθμός μολύνσεων με COVID – 19, Γ) Αριθμός νέων μολύνσεων με COVID – 19.



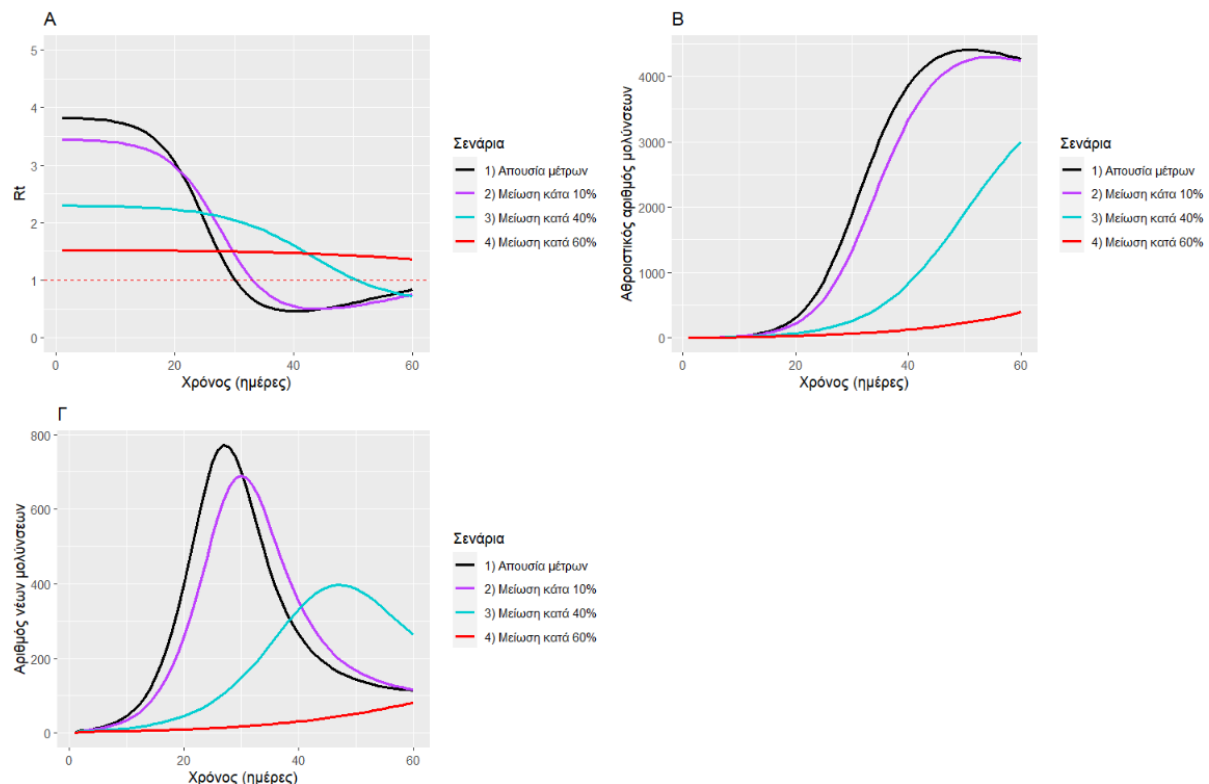
Στο Γράφημα 4.13 συγκρίνουμε τον ενεργό αριθμό αναπαραγωγής, τον αθροιστικό αριθμό μολύνσεων και τον αριθμό νέων μολύνσεων ανά ημέρα για το διάστημα που μελετάμε, ανάλογα με το βαθμό κατά τον οποίο έχουν μειωθεί οι κοινωνικές επαφές των ατόμων που κατοικούν στη δομή της Λέσβου. Όσον αφορά τον ενεργό αριθμό αναπαραγωγής, στο σενάριο με μείωση κοινωνικών επαφών κατά 60 %, παρατηρείται ότι μεταβάλλεται ελάχιστα, με αποτέλεσμα να μην γίνεται μικρότερος από 1 και κατά συνέπεια να μην επιτυγχάνεται ο τερματισμός της επιδημίας και η συλλογική ανοσία, διότι οι μεταδόσεις του ιού είναι ελάχιστες και ανοσία αποκτούν ελάχιστα άτομα. Σχετικά με τα άλλα σενάρια, η επιδημία εξελίσσεται ταχύτερα απουσία μέτρων και η συλλογική ανοσία πραγματοποιείται νωρίτερα.

Ακολουθούν το σενάριο με μείωση επαφών κατά 10 % και 40 % αντίστοιχα, κατά τα οποία ο περιορισμός της επιδημίας συμβαίνει αργότερα.

Αντίστοιχα είναι τα αποτελέσματα που εξάγουμε και από τα διαγράμματα Β και Γ στο Γράφημα 4.13. Ο αθροιστικός αριθμός μολύνσεων καθώς ο αριθμός νέων μολύνσεων (ο αριθμός των εκτεθειμένων (E) και ο αριθμός των μολυσματικών (I)), ελαττώνονται ανάλογα με το σενάριο μείωσης των κοινωνικών επαφών. Πιο συγκεκριμένα, στο τέλος της χρονικής περιόδου που μελετάμε, φαίνεται συνολικά να έχουν αναρρώσει περισσότερα από 4.000 άτομα, αν δεν ληφθούν μέτρα αλλά και για το σενάριο μείωσης των κοινωνικών επαφών κατά 10 %. Ωστόσο, μειώνοντας τις κοινωνικές επαφές κατά 40 % και 60 %, ο αθροιστικός αριθμός μολύνσεων είναι 3.000 και 400 αντίστοιχα.

Στον Πίνακα 4.1 παρουσιάζεται το τελικό μέγεθος επιδημίας (final size of the epidemic) για τα 4 σενάρια που έχουμε υποθέσει. Αν δεν εφαρμοστεί κανένα μέτρο κοινωνικής αποστασιοποίησης συνολικά μέχρι το τέλος της υπό μελέτη περιόδου θα έχει μολυνθεί το 73,87 % της δομής του Μαυροβουνίου, ενώ για τα υπόλοιπα σενάρια τα ποσοστά αντίστοιχα είναι 70,97 %, 56,45 % και αν τεθούν πιο αυστηρά μέτρα (4^ο σενάριο), θα μολυνθεί συνολικά το 34,67 % του συνολικού πληθυσμού της προσφυγικής δομής.

Γράφημα 4.13 Αποτελέσματα από το μοντέλο SEIR συνδυαστικά για όλα τα σενάρια κοινωνικής αποστασιοποίησης, το χρονικό διάστημα Μαΐου - Ιουλίου 2021, στο KYT Λέσβου. Α) Ενεργός αριθμός αναπαραγωγής, Β) Αθροιστικός αριθμός μολύνσεων με COVID – 19, Γ) Αριθμός νέων μολύνσεων με COVID – 19.



Πίνακας 4.1 Τελικό μέγεθος επιδημίας ανάλογα με το σενάριο κοινωνικής αποστασιοποίησης.

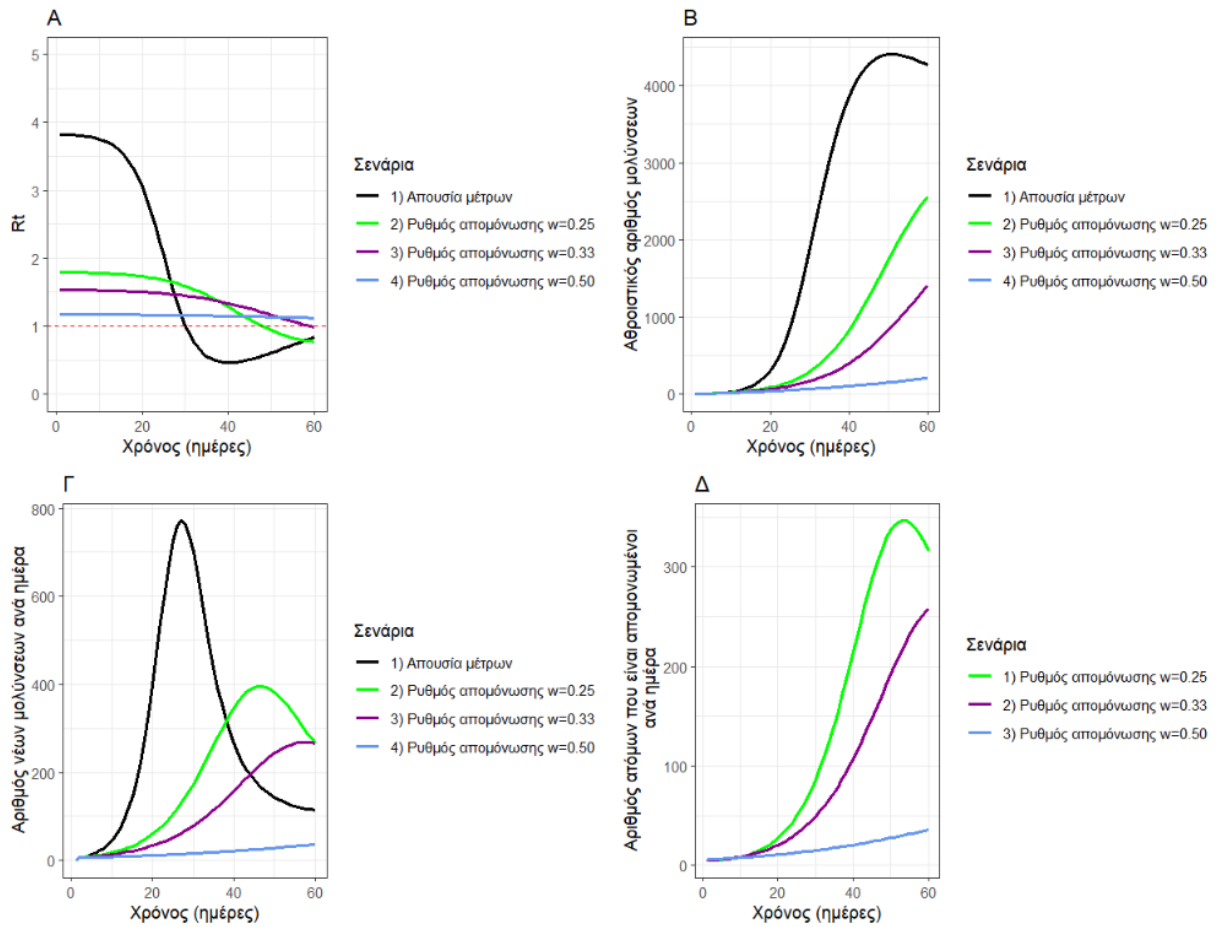
| Σενάριο | Τελικό μέγεθος επιδημίας (Final size of the epidemic) |
|--|---|
| 1 ^ο Σενάριο (απουσία παρεμβάσεων) | 73,87 % |
| 2 ^ο Σενάριο, μείωση κοινωνικών επαφών κατά 10 % | 70,97 % |
| 3 ^ο Σενάριο, μείωση κοινωνικών επαφών κατά 40 % | 56,45 % |
| 4 ^ο Σενάριο, μείωση κοινωνικών επαφών κατά 60 % | 34,67 % |

4.2.2 Σενάρια παρέμβασης με απομόνωση των ατόμων

Σε αυτήν την παράγραφο παρατίθενται τα αποτελέσματα για την προσομοίωση της επιδημίας COVID – 19 στη δομή της Λέσβου, εφαρμόζοντας ως παρέμβαση για τον έλεγχο της εξάπλωσής της, την απομόνωση των ατόμων.

Στο Γράφημα 4.14, στο διάγραμμα Δ, παρατηρούμε ότι αν τα άτομα τίθενται σε απομόνωση μετά από 4 ημέρες από την έναρξη της μολυσματικότητάς τους, στην κορύφωση της επιδημίας, ο μέγιστος αριθμός των απομονωμένων είναι περίπου ίσος με 347. Αντίστοιχα για τα σενάρια με ρυθμό απομόνωσης $w=0,33$ ανά ημέρα ο μέγιστος αριθμός των ατόμων που θα απομονωθούν είναι 257 και για $w=0,50$ είναι μόλις 36 άτομα. Αυτό συμβαίνει διότι, απομονώνοντας περισσότερα άτομα, τα μολυσματικά άτομα μειώνονται αφού έχουμε υποθέσει ότι όσα άτομα απομονώνονται δεν μεταδίδουν τη νόσο. Συνεπώς, οι μεταδόσεις είναι λιγότερες κάτι που απεικονίζεται και στα Διαγράμματα Α, Β και Γ του παραπάνω Γραφήματος. Παρατηρούμε ότι η επιδημία εξελίσσεται πιο αργά, αυξάνοντας το ρυθμό απομόνωσης και ο ενεργός αριθμός αναπαραγωγής ελαττώνεται κάτω από 1 σε μεταγενέστερο χρόνο ανάλογα με το σενάριο απομόνωσης. Οι νέες μολύνσεις ανά ημέρα για το 2^ο σενάριο φτάνουν τις 395, ενώ για τα επόμενα σενάρια ο μέγιστος αριθμός είναι 268 και 36 αντίστοιχα. Ανάλογα συμπεράσματα εξάγουμε και για τον αθροιστικό αριθμό μολύνσεων, αφού αν απομονώνονται τα άτομα με ρυθμό 0,50, δηλαδή δύο ημέρες μετά την έναρξη μολυσματικότητά τους, συνολικά στη δομή της Λέσβου θα έχουν μολυνθεί περίπου 210 άτομα στο τέλος των δύο μηνών. Στον Πίνακα 4.2, παρατίθεται το τελικό μέγεθος της επιδημίας ανάλογα με το ρυθμό που τα μολυσματικά άτομα εισέρχονται σε απομόνωση.

Γράφημα 4.14 Αποτελέσματα από το μοντέλο SEIR συνδυαστικά για όλα τα σενάρια απομόνωσης το χρονικό διάστημα Μαΐου - Ιουλίου 2021, στο ΚΥΤ Λέσβου. Α) Ενεργός αριθμός αναπαραγωγής, Β) Αθροιστικός αριθμός μολύνσεων με COVID – 19, Γ) Αριθμός νέων μολύνσεων με COVID – 19, Δ) Αριθμός νέων μολύνσεων με COVID – 19 που είναι απομονωμένοι.



Πίνακας 4.2 Τελικό μέγεθος επιδημίας ανάλογα με το σενάριο απομόνωσης.

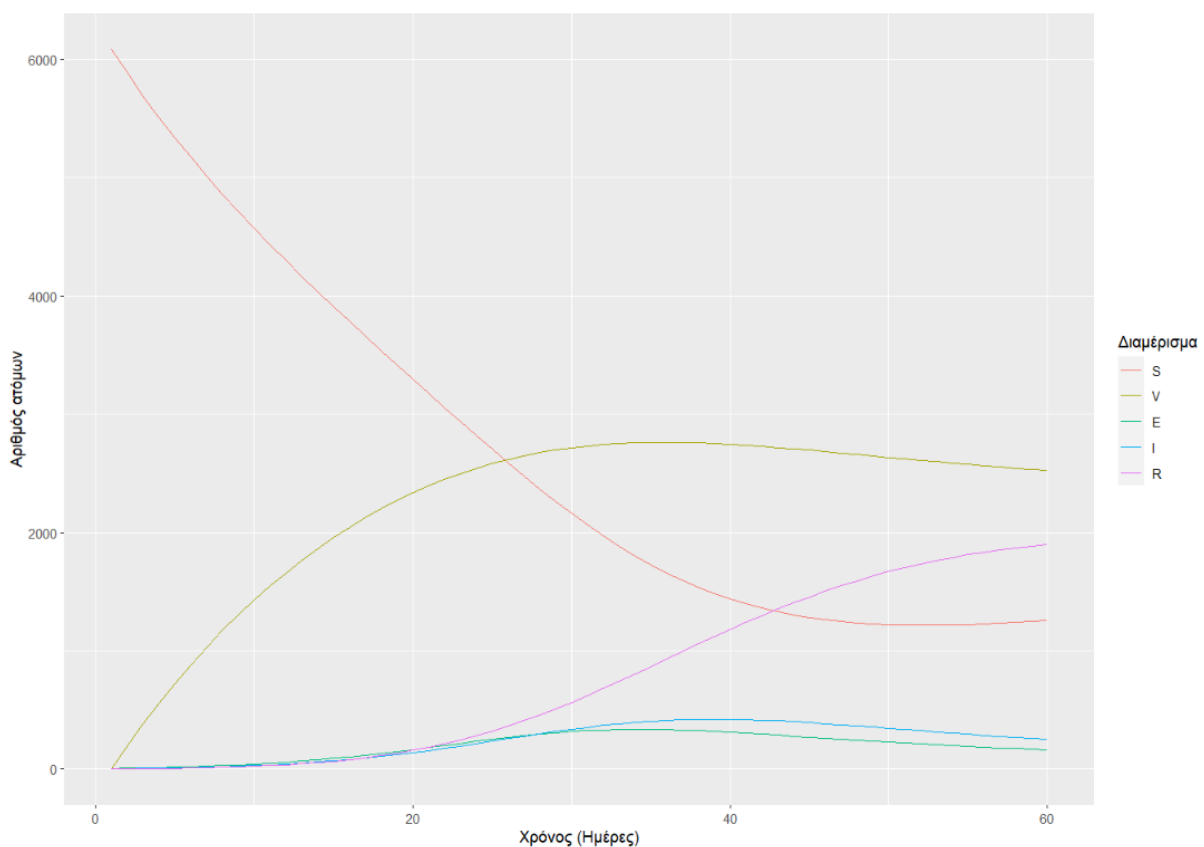
| Σενάριο | Τελικό μέγεθος επιδημίας (Final size of the epidemic) |
|--|---|
| 1 ^ο Σενάριο, απουσία παρεμβάσεων | 73,87 % |
| 1 ^ο Σενάριο, ρυθμός απομόνωσης ($w=0.25$) | 44,18 % |
| 2 ^ο Σενάριο, ρυθμός απομόνωσης ($w=0.33$) | 34,67 % |
| 3 ^ο Σενάριο, ρυθμός απομόνωσης ($w=0.50$) | 14,48 % |

4.2.3 Σενάριο παρέμβασης με εμβολιασμό των ατόμων

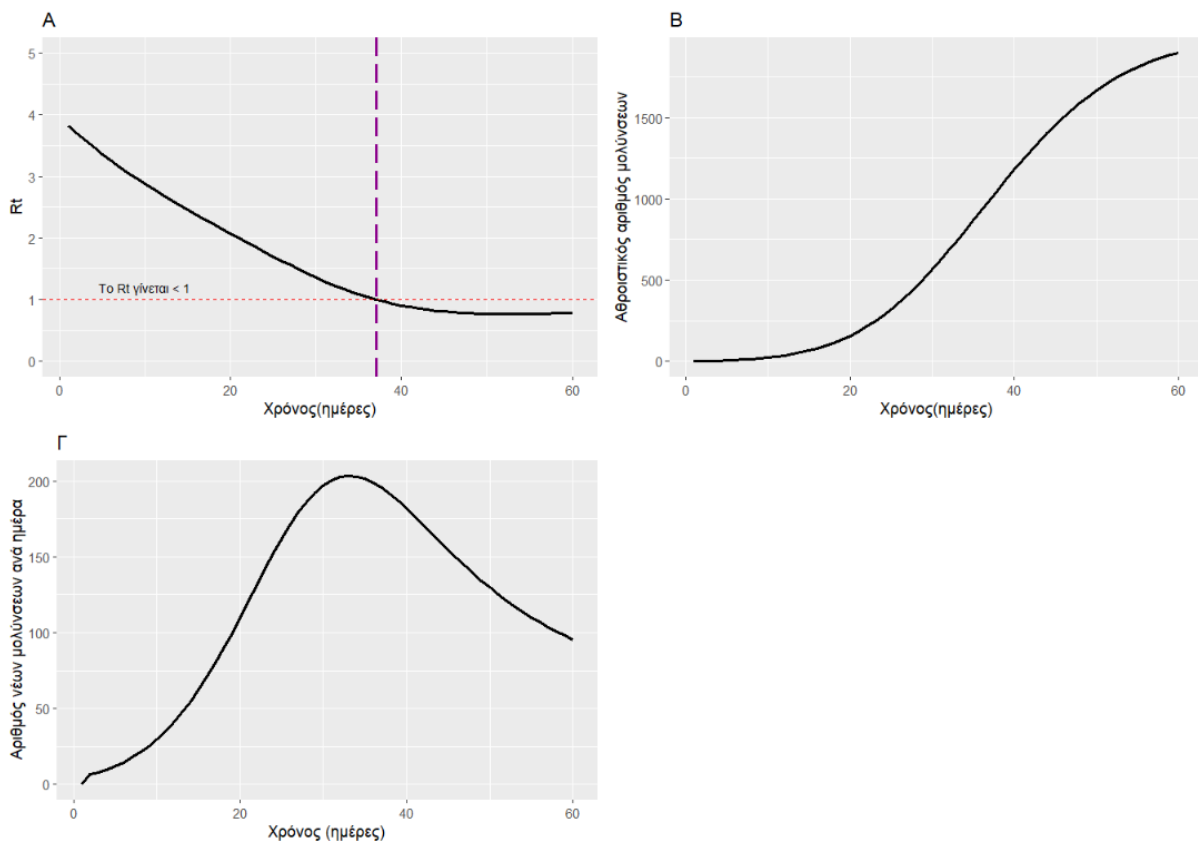
Σε αυτή την παράγραφο παρατίθενται τα αποτελέσματα για το σενάριο με εμβολιασμό των ατόμων.

Από τα Γραφήματα 4.14 και 4.15 παρατηρούμε ότι ο μέγιστος αριθμός μολυσματικών ατόμων είναι σχεδόν 420 περιπτώσεις και η κορύφωση της επιδημίας πραγματοποιείται περίπου την 39^η ημέρα από την αρχή του διαστήματος που εξετάζουμε, δηλαδή στις 11 Ιουνίου. Όσον αφορά τον ενεργό αριθμό αναπαραγωγής γίνεται 1 περίπου την 38^η ημέρα, όπου περιορίζεται και η πανδημία. Επιπλέον, ο αθροιστικός αριθμός μολύνσεων, έχοντας υποθέσει ότι εμβολιάζονται 200 άτομα ανά ημέρα ισούται με 2.000 περιπτώσεις, ενώ ο μέγιστος αριθμός νέων μολύνσεων ανά ημέρα στην κορύφωση της επιδημίας φαίνεται να είναι σχεδόν 200.

Γράφημα 4.14 Αριθμός επίνοσων, εμβολιασμένων, εκτεθειμένων, μολυσματικών και ατόμων που έχουν αναρρώσει έχοντας υποθέσει ότι πραγματοποιούνται 200 εμβολιασμοί ανά ημέρα για το χρονικό διάστημα Μαΐου – Ιουλίου 2021, στο ΚΥΤ Λέσβου.



Γράφημα 4.15 Αποτελέσματα από το μοντέλο SEIR, έχοντας υποθέσει ότι εμβολιάζονται 200 άτομα ανά ημέρα, το χρονικό διάστημα Μαΐου - Ιουλίου 2021, στο ΚΥΤ Λέσβου. Α) Ενεργός αριθμός αναπαραγωγής, Β) Αθροιστικός αριθμός μολύνσεων με COVID – 19, Γ) Αριθμός νέων μολύνσεων με COVID – 19.

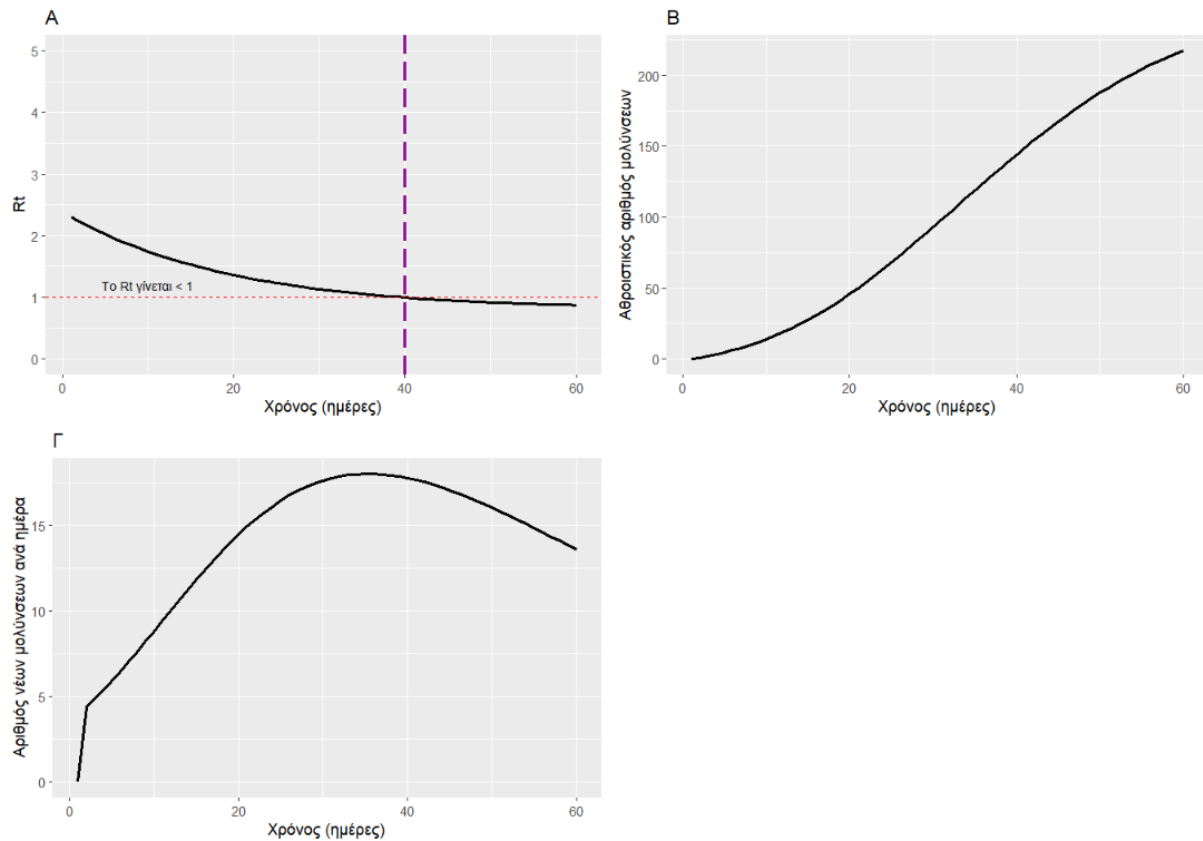


4.2.4 Σενάριο παρέμβασης με εμβολιασμό και μείωση επαφών κατά 40 %

Τέλος, σε αυτή την παραγράφο, υλοποιήσαμε μία ακόμη προσομοίωση της επιδημίας COVID – 19, υποθέτοντας ότι εφαρμόζεται στο ΚΥΤ Λέσβου ένας συνδυασμός παρεμβάσεων, δηλαδή ότι εμβολιάζονται 200 άτομα ανά ημέρα και ότι οι κοινωνικές επαφές έχουν μειωθεί κατά 40 %.

Από το Γράφημα 4.16 ο ενεργός αριθμός αναπαραγωγής γίνεται 1 περίπου την 40^η ημέρα, όπου περιορίζεται και η πανδημία. Επιπλέον, ο αθροιστικός αριθμός μολύνσεων, έχοντας υποθέσει ότι εμβολιάζονται 200 άτομα ανά ημέρα, ισούται με 200 περίπου περιπτώσεις, ενώ ο μέγιστος αριθμός νέων μολύνσεων ανά ημέρα στην κορύφωση της επιδημίας φαίνεται να είναι σχεδόν 18.

Γράφημα 4.16 Αποτελέσματα από το μοντέλο SEIR, έχοντας υποθέσει ότι εμβολιάζονται 200 άτομα ανά ημέρα και οι κοινωνικές επαφές έχουν μειωθεί κατά 40 %, για το χρονικό διάστημα Μαΐου - Ιουλίου 2021, στο ΚΥΤ Λέσβου. Α) Ενεργός αριθμός αναπαραγωγής, Β) Αθροιστικός αριθμός μολύνσεων με COVID – 19, Γ) Αριθμός νέων μολύνσεων ανά ημέρα με COVID – 19.

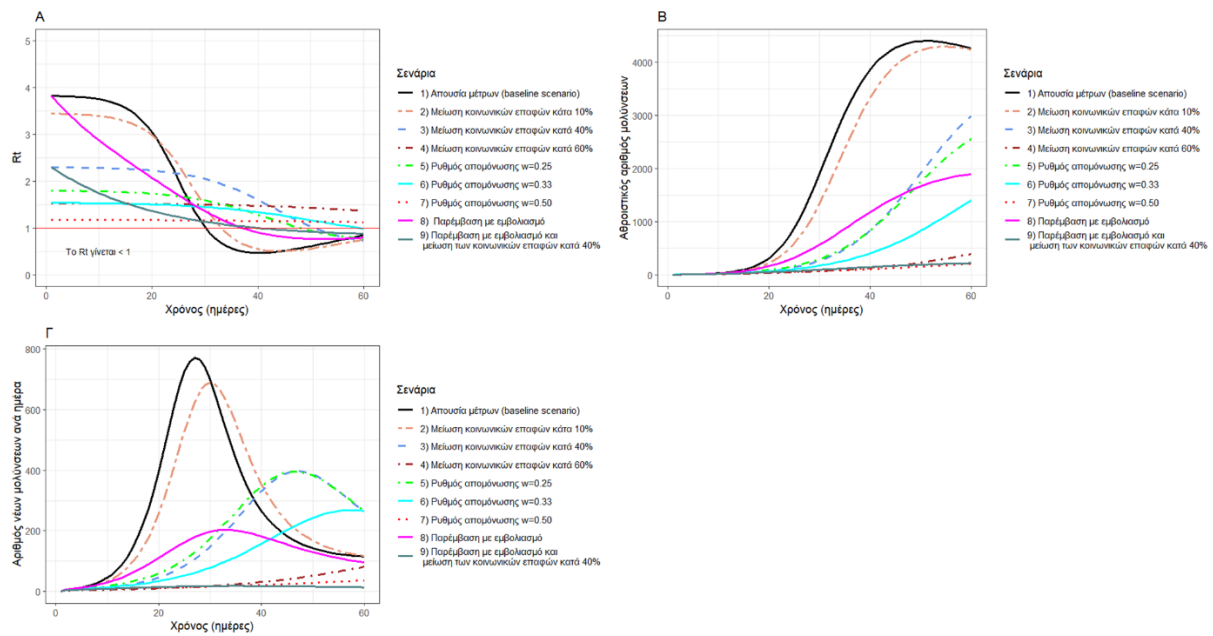


Παρακάτω, στο Γράφημα 4.17, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από όλα τα μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν και για όλα τα σενάρια που υποθέσαμε, προκειμένου να συγκρίνουμε την επίδραση της εκάστοτε παρέμβασης, με σκοπό τον περιορισμό της νόσου COVID – 19 στη δομή της Λέσβου. Πιο αναλυτικά, εξετάζοντας το διάγραμμα Α, για το σενάριο με μείωση κοινωνικών επαφών κατά 60 % και γι' αυτό με ρυθμό απομόνωσης $w=0,5$, ο ενεργός αριθμός αναπαραγωγής φαίνεται να μεταβάλλεται ελάχιστα, χωρίς να παρουσιάζει τιμές κάτω από 1. Ο ιός μεταδίδεται ελάχιστα σε σχέση με τα υπόλοιπα σενάρια, οπότε δεν επέρχεται η συλλογική ανοσία. Για τα υπόλοιπα σενάρια οι μετάδοση του ιού SARS – CoV – 2, πραγματοποιείται ταχύτερα, με αποτέλεσμα στους 2 μήνες να επιτυγχάνεται συλλογική ανοσία.

Αντίστοιχα είναι τα αποτελέσματα που λαμβάνουμε και από τα διαγράμματα Β και Γ του Γραφήματος 4.17. Πιο συγκεκριμένα, το σενάριο με μείωση των κοινωνικών επαφών κατά 60 %, το σενάριο με ρυθμό απομόνωσης των ατόμων $w=0,50$ και το σενάριο με συνδυασμό παρεμβάσεων (εμβολιασμός των ατόμων και μείωση των κοινωνικών επαφών κατά 40 %), φαίνεται να είναι τα πιο αποτελεσματικά,

καθώς για το πρώτο ο μέγιστος αριθμός νέων μολύνσεων ανά ημέρα είναι 81, για το δεύτερο 36 και για το συνδυασμό παρεμβάσεων ο μέγιστος αριθμός νέων μολύνσεων ανά ημέρα είναι μόλις 18. Επιπροσθέτως, στο τέλος του διαστήματος που εξετάζουμε, συνολικά για το σενάριο με μείωση κοινωνικών επαφών κατά 60 % θα έχουν μολυνθεί 392 άτομα, απομονώνοντας τους μολυσματικούς 2 ημέρες ύστερα από την έναρξη της μολυσματικότητάς τους, ο αθροιστικός αριθμός μολύνσεων θα είναι σχεδόν 210 και για σενάριο με συνδυασμό παρεμβάσεων, συνολικά θα έχουν μολυνθεί μετά το πέρας των δύο μηνών περίπου 200 άτομα.

Γράφημα 4.17 Αποτελέσματα από τα μοντέλα SEIR συνδυαστικά για όλα τα σενάρια που διερευνήθηκαν το χρονικό διάστημα Μαΐου - Ιουλίου 2021, στο KYT Λέσβου. Α) Ενεργός αριθμός αναπαραγωγής, Β) Αθροιστικός αριθμός μολύνσεων με COVID – 19, Γ) Αριθμός νέων μολύνσεων με COVID – 19.



5 Συζήτηση – συμπεράσματα

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως αντικείμενο μελέτης τη χρήση και εφαρμογή ορισμένων μαθηματικών μοντέλων με σκοπό την προσομοίωση της πορείας της επιδημίας COVID – 19 στην προσφυγική δομή του Μαυροβουνίου στη Λέσβο. Η νόσος COVID - 19 είναι μια μολυσματική ασθένεια που προκαλείται από τον ιό SARS-CoV-2. Πρόκειται για μία λοίμωξη του αναπνευστικού κατά την οποία οι περισσότεροι άνθρωποι που θα μολυνθούν θα αναρρώσουν χωρίς ειδική θεραπεία (WHO, 2020). Ωστόσο, αρκετοί εκδηλώνουν πιο σοβαρά συμπτώματα και ορισμένοι από αυτούς χρήζουν άμεσης ιατρικής φροντίδας. Οι πιο ευπαθείς ομάδες είναι οι ηλικιωμένοι και εκείνοι με υποκείμενα ιατρικά νοσήματα, όπως τα καρδιαγγειακά, ο διαβήτης, οι χρόνιες αναπνευστικές παθήσεις και σε κάποιες περιπτώσεις η μόλυνση με το συγκεκριμένο ιό μπορεί να καταλήξει και στο θάνατο (WHO, 2020).

Εκτός όμως από τις παραπάνω πληθυσμιακές ομάδες, ως «ευάλωτοι» θεωρούνται οι μετανάστες και οι πρόσφυγες. Η πλειοψηφία αυτών των ατόμων βιώνει δυσμενείς συνθήκες, λόγω ανέχειας, ανεργίας και κοινωνικού αποκλεισμού. Αυτές οι δυσκολίες οξύνονται έντονα σε περιπτώσεις κρίσεων, όπως στην περίπτωση μιας πανδημίας. Με το ξέσπασμα της πανδημίας COVID – 19, οι κυβερνήσεις όλων των χωρών κλήθηκαν να αντιμετωπίσουν και να διαχειριστούν τη ραγδαία εξάπλωση του ιού. Σε αυτήν την προσπάθεια, αξιοσημείωτη ήταν η συμβολή και η καθοδήγηση επιδημιολόγων και επαγγελματιών υγείας με σκοπό να ληφθούν οι κατάλληλες παρεμβάσεις και στρατηγικές για τον έλεγχο της μετάδοσης της εν λόγω ασθένειας. Επειδή η μετάδοση της COVID -19 εξαρτάται από το ρυθμό που πραγματοποιούνται οι κοινωνικές επαφές μεταξύ των ατόμων, οι αρχικές παρεμβάσεις που εφαρμόστηκαν περιλάμβαναν κατά κύριο λόγο μη φαρμακευτικές παρεμβάσεις (διαγνωστικούς ελέγχους, απομόνωση, μείωση κοινωνικών επαφών).

Αντίστοιχα μέτρα τέθηκαν σε ισχύ και στις προσφυγικές δομές. Ωστόσο, ο υπερπληθυσμός και ο συνωστισμός που πραγματοποιείται για την κάλυψη βασικών αναγκών σε συγκεκριμένα σημεία των δομών αυτών, καθώς και η έλλειψη πρόσβασης σε υπηρεσίες υγείας, καθιστά σχεδόν ανέφικτη την τήρηση τέτοιων μέτρων και κατ'επέκταση τον έλεγχο της διασποράς του ιού (Hargreaves et al., 2020). Για την εφαρμογή αποτελεσματικών παρεμβάσεων, αλλά και για την πρόβλεψη της εξέλιξης μιας μολυσματικής ασθένειας στο χρόνο, η χρήση μαθηματικών μοντέλων είναι μείζονος σημασίας. Στην παρούσα διπλωματική εργασία, αρχικά έγινε εκτίμηση του βασικού και ενεργού αριθμού αναπαραγωγής με βάση τον ημερήσιο αριθμό διαγνωσμένων κρουσμάτων που καταγράφηκαν το διάστημα Μαΐου - Ιουλίου 2021, στην προσφυγική δομή Μαυροβουνίου στη Λέσβο. Στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν

διάφορα ντετερμινιστικά μοντέλα SEIR, στα οποία ενσωματώθηκαν διάφορες παρεμβάσεις, όπως κοινωνική αποστασιοποίηση, απομόνωση και εμβολιασμός.

Πιο συγκεκριμένα, αφού εφαρμόσαμε μία μέθοδο γραμμικής παρεμβολής στον αριθμό των κρουσμάτων, ο βασικός αριθμός αναπαραγωγής υπολογίστηκε ίσος με 3,83 (95 % CrI: 2,70, 5,12). Σχετικά με τον ενεργό αριθμό αναπαραγωγής, παρατηρήθηκε ότι γίνεται πρώτη φορά κάτω από 1 στις 22 Μαΐου, ύστερα ξανά αυξάνεται, μέχρι να παραμείνει κάτω από 1 στις 3 Ιουνίου μέχρι το τέλος της εξεταζόμενης περιόδου. Σύμφωνα με την υπάρχουσα βιβλιογραφία, η εκτίμηση αυτή συνάδει με άλλες εκτιμήσεις στο γενικό πληθυσμό όπως αναφέρουν οι Zhao και συνεργάτες το 2020 (Zhao et al., 2020), ο οποίος εκτιμήθηκε ίσος με 3,58 (95 % CrI: 2,89–4,39), για το διάστημα 10-24 Ιανουαρίου το 2020. Επίσης, οι Liu και συνεργάτες το ίδιο έτος εκτίμησαν ότι η μέση τιμή του R_0 ίση με 3,28 και η διάμεση ίση με 2,79 και το IQR ίσο με 1,16 (Liu et al., 2020).

Στη συνέχεια, μελετήσαμε την πορεία της επιδημίας τόσο απουσία μέτρων όσο και με εφαρμογή παρεμβάσεων (κοινωνική αποστασιοποίηση σε διάφορα επίπεδα, απομόνωση των κρουσμάτων σε διάφορα επίπεδα, εμβολιασμός, εμβολιασμός και κοινωνική αποστασιοποίηση). Αρχικά θεωρήσαμε ένα SEIR μοντέλο απουσία μέτρων (baseline scenario) και στη συνέχεια τρία σενάρια κοινωνικής αποστασιοποίησης με μείωση των κοινωνικών επαφών κατά 10%, 40 % και 60 %. Το τελικό μέγεθος της επιδημίας για κάθε σενάριο υπολογίστηκε αντίστοιχα 73,87 %, 70,97 %, 56,45 % και 34,67 % και ο αριθμός των ατόμων που θα έχουν μολυνθεί συνολικά ως το τέλος της υπό μελέτης περιόδου εκτιμήθηκε στα 4.000 άτομα, αν δεν ληφθούν μέτρα αλλά και για το σενάριο μείωσης των κοινωνικών επαφών κατά 10 %, ενώ μειώνοντας τις κοινωνικές επαφές κατά 40 % και 60 %, ο αθροιστικός αριθμός μολύνσεων είναι 3.000 και 400 περιπτώσεις αντίστοιχα. Ύστερα, υλοποιήθηκαν τρία σενάρια υποθέτοντας ότι τα μολυσματικά άτομα εισέρχονται σε απομόνωση με ρυθμό $w=0,25$, $w=0,33$ και $w=0,50$. Με βάση τα αποτελέσματα που εξήχθησαν, υπολογίστηκε ότι ο νέος αριθμός μολύνσεων για το πρώτο σενάριο δεν ξεπερνάει τις 395, ενώ για τα επόμενα σενάρια ο μέγιστος αριθμός είναι 268 και 36 αντίστοιχα. Το τελικό μέγεθος της επιδημίας ενσωματώνοντας στο μοντέλο την απομόνωση των ατόμων εκτιμήθηκε ως 44,18 %, 34,67 % και 14,48 % αντίστοιχα για το κάθε σενάριο. Στη συνέχεια, προκειμένου να διερευνήσουμε την αποτελεσματικότητα του εμβολιασμού ως μέτρο περιορισμού της επιδημίας, θεωρήσαμε ότι στην αρχή της υπό μελέτη χρονικής περιόδου ξεκινάνε οι εμβολιασμοί των διαμενόντων στο KYT, υποθέτοντας ότι το εμβόλιο είναι all-or-nothing με αποτελεσματικότητα 70 % και ότι πραγματοποιούνται καθημερινά 200 εμβολιασμοί ανά ημέρα. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα γι' αυτό το σενάριο παρατηρήθηκε ότι ο αθροιστικός αριθμός μολύνσεων ισούται με 2.000 περιπτώσεις, ενώ ο μέγιστος αριθμός νέων μολύνσεων ανά ημέρα στην κορύφωση της επιδημίας φαίνεται να είναι σχεδόν 200. Τέλος, η τελευταία προσομοίωση που πραγματοποιήσαμε ήταν ένας συνδυασμός παρεμβάσεων. Πιο

συγκεκριμένα, υποθέσαμε όπως και προηγουμένως ότι εμβολιάζονται 200 άτομα ανά ημέρα, καθώς και ότι οι κοινωνικές επαφές μειώνονται κατά 40 %. Σε αυτό το σενάριο υπολογίστηκε ότι ο αθροιστικός αριθμός μολύνσεων ισούται με 200 περίπου περιπτώσεις, ενώ ο μέγιστος αριθμός νέων μολύνσεων ανά ημέρα στην κορύφωση της επιδημίας φαίνεται να είναι σχεδόν 18. Με βάση τα αποτελέσματα που λάβαμε από τα μοντέλα, οι πιο αποτελεσματικές παρεμβάσεις φαίνεται να είναι η μείωση των κοινωνικών επαφών κατά 60 %, δηλαδή αν εφαρμοστεί lockdown στη δομή, η απομόνωση των ατόμων 2 ημέρες ύστερα από την έναρξη μολυσματικότητας τους, καθώς και ο συνδυασμός παρεμβάσεων αφού ο συνολικός αριθμός των ατόμων που θα μολυνθούν για την κάθε παρέμβαση είναι 400, 210 και 200 άτομα αντίστοιχα, ενώ ο μέγιστος αριθμός νέων μολύνσεων ανά ημέρα είναι 80, 36 και 18 περιπτώσεις αντίστοιχα για κάθε σενάριο.

Με βάση τα δεδομένα για τη δομή Μαυροβουνίου στη Λέσβο, συνολικά τα θετικά διαγνωσμένα κρούσματα για την περίοδο που μελετάμε ήταν 226 και ο μέγιστος ημερήσιος αριθμός κρουσμάτων που καταγράφηκε ήταν 24 περιπτώσεις. Συνεπώς, παρατηρούμε ότι τα αποτελέσματα από το σενάριο με συνδυασμό παρεμβάσεων συνάδουν με τον παρατηρούμενο αριθμό των κρουσμάτων που καταγράφηκαν το ίδιο χρονικό διάστημα. Συνολικά τα αποτελέσματα της παρούσας ανάλυσης συμφωνούν με την υπάρχουσα βιβλιογραφία (Gilman et al., 2020; Truelove et al., 2020), διότι εφαρμόζοντας παρεμβάσεις όπως απομόνωση των ατόμων και μέτρα κοινωνικής αποστασιοποίησης στην προσφυγική δομή, οι συνολικές μολύνσεις παρουσιάζουν σημαντική μείωση.

Πλεονέκτημα της παρούσας διπλωματικής είναι ότι έχουν πραγματοποιηθεί ελάχιστες αναλύσεις σχετικά με τη μελέτη της πανδημίας COVID – 19 σε κλειστές δομές και συγκεκριμένα σε δομές προσφύγων. Πιο συγκεκριμένα αντίστοιχη ανάλυση για προσφυγική δομή στην Ελλάδα υπάρχει στη βιβλιογραφία μόνο μία, αυτή των Gilman και συνεργατών το 2020 (Gilman et al., 2020). Επίσης, υλοποιήθηκαν διάφορα σενάρια για την κάθε παρέμβαση προκειμένου να εξετάσουμε την πορεία της επιδημίας χρησιμοποιώντας διαφορετικές στρατηγικές παρέμβασης. Μειονέκτημα της ανάλυσης που υλοποιήσαμε, σχετικά με την εκτίμηση του ενεργού αριθμού αναπαραγωγής, είναι αρχικά ότι τα διαθέσιμα δεδομένα ήταν ελλιπή, αφού δεν ήταν καταγεγραμμένος ο ακριβής αριθμός κρουσμάτων για κάθε ημέρα για το διάστημα που εξετάσαμε, αλλά ο αριθμός μολυσμένων ατόμων ανά κάποιο αριθμό ημερών ο οποίος δεν ήταν σταθερός, με αποτέλεσμα να χρησιμοποιηθεί μία μέθοδος γραμμικής παρεμβολής προκειμένου να εκτιμήσουμε το R_t . Επιπροσθέτως, υπάρχουν κάποιοι περιορισμοί σχετικά με τις υποθέσεις και τις καταστάσεις των μοντέλων που εφαρμόσαμε. Αρχικά υποθέσαμε ότι ο πληθυσμός της προσφυγικής δομής αναμειγνύεται ομοιόμορφα, χωρίς να λάβουμε υπόψη τις διάφορες ηλικιακές ομάδες των διαμενόντων, παρόλο που η κάθε ηλικιακή ομάδα έρχεται σε επαφή με διαφορετικό αριθμό ατόμων. Επίσης, ένα άλλο μειονέκτημα είναι ότι στο SEIR μοντέλο, θα ήταν

ορθότερο να είχαμε λάβει υπόψη και την μετάδοση του ιού SARS-CoV-2 απουσία συμπτωμάτων (Sypsa et al., 2020, 2021; Ssematimba et al., 2021). Επιπλέον, για τα ντετερμινιστικά μοντέλα SEIR που εφαρμόστηκαν, χρησιμοποιήσαμε συγκεκριμένες παραμέτρους, χωρίς να λάβουμε υπόψη την αβεβαιότητα της δυναμικής της μετάδοσης. Ακόμη, όσον αφορά τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που διέπουν τις προσφυγικές δομές, δεν συνυπολογίσαμε την ιδιαίτερη τοπολογία που τις χαρακτηρίζουν και η ενσωμάτωση της απομόνωσης στο μοντέλο, θεωρώντας ότι είναι 100 % αποτελεσματική αποτελεί μία παραδοχή που πιθανώς δεν είναι τόσο ρεαλιστική, αφού αυτό προαπαιτεί την ύπαρξη ειδικά σχεδιασμένων χώρων και υγειονομικού προσωπικού, που να εξασφαλίζουν τη σωστή παρακολούθηση και περίθαλψη των ασθενών. Τέλος, η έγκαιρη διάγνωση των μολυσματικών ατόμων έτσι ώστε να εισέρχονται σε απομόνωση, προϋποθέτει τη συχνή πραγματοποίηση διαγνωστικών ελέγχων, κάτι που δεν συμβαίνει στις προσφυγικές δομές, αφού συνήθως οι πρόσφυγες αποκλείονται από αυτή τη διαδικασία και ο έλεγχος καθώς και η θεραπεία και η γενική ενημέρωση για τη νόσο COVID -19, σπάνια αφορούν αυτόν τον πληθυσμό (ΚΕΠΥ, 2020, ΕΟΔΥ, 2020).

Μελλοντικές επεκτάσεις αυτής τη διπλωματικής θα μπορούσαν να λάβουν υπόψη την ηλικιακή κατανομή του πληθυσμού και τον αριθμό των επαφών των ατόμων, αλλά και την τοπολογία της δομής στην οποία εφαρμόζονται. Επίσης, συμπεριλαμβάνοντας την ηλικιακή σύνθεση του πληθυσμού, θα μπορούσαν να προστεθούν επιπλέον καταστάσεις που να περιγράφουν τη νοσηλεία ή το θάνατο των μολυσμένων ατόμων ώστε να εκτιμηθεί το φορτίο νοσηρότητας και θνησιμότητας σε αυτό τον πληθυσμό. Επίσης, η μελλοντική έρευνα θα μπορούσε να εστιάσει και στην εφαρμογή ατομικιστικών μοντέλων (individual based) τα οποία λαμβάνουν υπόψη τις πιθανές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των ατόμων σε έναν πληθυσμό και εισάγουν την ετερογένεια στις επαφές ανάλογα με την ηλικία, την τοπολογία της δομής και άλλα (Agiza, Elgazzar and Youssef, 2003; Roy and Pascual, 2006). Σημαντικό μειονέκτημα αποτελεί η απουσία δεδομένων από τις δομές αυτές που θα επέτρεπαν την πραγματοποίηση της λήψης πιο αναλυτικών εκτιμήσεων και πιο ρεαλιστικών προσομοιώσεων. Εν κατακλείδι, τα μοντέλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την περιγραφή και τη μετάδοση και άλλων μολυσματικών ασθενειών, με στόχο την αντιμετώπιση και τη διαχείριση μίας επιδημίας, ειδικότερα όταν πρόκειται για κλειστές δομές και συγκεκριμένα προσφυγικές, όπου η πρόσβαση σε υγειονομική περίθαλψη είναι περιορισμένη και οι συνθήκες διαβίωσης αρκετά επισφαλείς.

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως σκοπό την ανασκόπηση μαθηματικών μοντέλων που χρησιμοποιούνται για την προσομοίωση της εξέλιξης της επιδημίας COVID – 19 και τη διερεύνηση της επίδρασης φαρμακευτικών και μη φαρμακευτικών παρεμβάσεων για τον περιορισμό της μετάδοσης στον προσφυγικό πληθυσμό της δομής της Λέσβου.

Αρχικά, παρατίθενται πληροφορίες σχετικά με την πανδημία COVID-19 και τον ιό SARS – CoV-2, καθώς και τον αντίκτυπο αυτής σε ευάλωτους πληθυσμούς και συγκεκριμένα στους πρόσφυγες. Στη συνέχεια, γίνεται ανασκόπηση της υπάρχουσας βιβλιογραφίας που αφορά την εφαρμογή μαθηματικών μοντέλων για την προσομοίωση της εξέλιξης της επιδημίας της νόσου COVID–19 στο γενικό πληθυσμό, αλλά και σε κλειστές δομές. Επιπροσθέτως, πραγματοποιείται μία ιστορική αναδρομή που αφορά την προσφυγική κρίση, τις προσφυγικές εισροές σε Ευρώπη και Ελλάδα, τις προσφυγικές δομές όπου διαμένουν πρόσφυγες και μετανάστες, καθώς και τη διαχείριση της πανδημίας COVID-19 σε αυτές. Παρουσιάζονται σημαντικές επιδημιολογικές παράμετροι, όπως ο βασικός αριθμός αναπαραγωγής R_0 και ο ενεργός αριθμός αναπαραγωγής R_t , και στη συνέχεια αναλύονται τα επιδημιολογικά μοντέλα SIR (Susceptible-Infectious-Recovered) και SEIR (Susceptible-Exposed-Infectious-Recovered), καθώς και η σύνδεση του βασικού αριθμού αναπαραγωγής με τις παραμέτρους των παραπάνω μοντέλων. Επιπλέον, περιγράφεται η μέθοδος εκτίμησης του ενεργού αριθμού αναπαραγωγής και κάποιες επεκτάσεις αυτών των μοντέλων που λαμβάνουν υπόψη την εφαρμογή φαρμακευτικών και μη παρεμβάσεων όπως η κοινωνική αποστασιοποίηση, η απομόνωση των ατόμων και ο εμβολιασμός.

Για την εφαρμογή, χρησιμοποιήθηκαν ανώνυμα δεδομένα από ελέγχους για SARS – CoV-2 που διεξήγαγε ο ΕΟΔΥ στον πληθυσμό της προσφυγικής δομής του Μαυροβουνίου στη Λέσβο στο διάστημα Μαΐου - Ιουλίου 2021. Με βάση αυτά, εκτιμήθηκε το R_t και το R_0 με τη μέθοδο των Cori et al. Στη συνέχεια, χρησιμοποιώντας το R_0 που εκτιμήθηκε από τα δεδομένα, πραγματοποιήθηκαν προσομοιώσεις για την εξέλιξη της επιδημίας στη δομή, σε μία περίοδο 2 μηνών με χρήση ενός ανοικτού μοντέλου SEIR κάτω από 4 σενάρια: 1) Βασικό σενάριο (απουσία παρεμβάσεων), 2) Μείωση κοινωνικών επαφών, 3) Απομόνωση μολυσμένων ατόμων, 3) Εμβολιασμός, και 4) Συνδυασμός παρεμβάσεων (μείωση κοινωνικών επαφών και εμβολιασμός). Στα σενάρια 2 - 4 αξιολογήθηκαν διάφορα επίπεδα εφαρμογής των μέτρων.

Το R_0 εκτιμήθηκε ίσο με 3,83 (95 % CrI: 2,70, 5,12) και το R_t παρατηρήθηκε ότι πέφτει πρώτη φορά κάτω από 1 στις 22 Μαΐου, ύστερα ξανά αυξάνεται και τελικά μειώνεται κάτω από 1 στις 3 Ιουνίου μέχρι το τέλος της εξεταζόμενης περιόδου. Με βάση τις προσομοιώσεις που εφαρμόστηκαν, οι πιο αποτελεσματικές παρεμβάσεις φαίνεται να είναι η μείωση των κοινωνικών επαφών κατά 60%, η

απομόνωση των κρουσμάτων εντός 2 ημερών από την έναρξη μολυσματικότητας τους, καθώς και ο συνδυασμός παρεμβάσεων υποθέτοντας ότι εμβολιάζονται 200 άτομα ανά ημέρα και ότι οι κοινωνικές επαφές μειώνονται κατά 40 %. Με βάση αυτά τα σενάρια, ο συνολικός αριθμός των ατόμων που θα μολυνθούν για την κάθε παρέμβαση σε διάστημα 2 μηνών από την έναρξη της μετάδοσης, εκτιμάται ίσος με 400, 210 και 200 άτομα αντίστοιχα, ενώ ο μέγιστος αριθμός νέων μολύνσεων ανά ημέρα είναι 80, 36 και 18 περιπτώσεις αντίστοιχα.

Συμπερασματικά, η εκτίμηση του βασικού αριθμού αναπαραγωγής για τη μετάδοση του SARS-CoV-2 σε δομή μεταναστών συνάδει με άλλες εκτιμήσεις στο γενικό πληθυσμό. Η εφαρμογή μέτρων, όπως η κοινωνική αποστασιοποίηση, αποτελεί μία πρόκληση σε ένα τέτοιο περιβάλλον. Μελλοντική έρευνα σε αυτό το αντικείμενο θα μπορούσε να λαμβάνει υπόψη την ηλικιακή κατανομή του πληθυσμού και τον αριθμό των επαφών των ατόμων, αλλά και την τοπολογία της δομής στην οποία διαμένουν. Περισσότερα δεδομένα για αυτούς τους πληθυσμούς και τις δομές είναι απαραίτητα για την εφαρμογή των μεθόδων αυτών.

Abstract

The aim of this thesis is to review mathematical models used to simulate the spread of the COVID-19 pandemic and to investigate the impact of pharmaceutical and non-pharmaceutical interventions to mitigate transmission in a refugee camp population in the island of Lesbos in Greece.

Initially, information is provided on the COVID-19 pandemic and the SARS - CoV-2 virus, as well as, its impact on vulnerable populations, in particular refugees. A review of the existing literature on the application of mathematical models to simulate the evolution of the COVID-19 epidemic in the general population and in closed structures is provided. In addition, information on the refugee crisis, the refugee influxes in Europe and Greece, the refugee structures where refugees and migrants reside, and the management of the COVID-19 pandemic in these structures is reviewed. Important epidemiological parameters, such as the basic reproduction number R_0 and the effective reproduction number R_t , are presented, followed by an analysis of the epidemiological models SIR (Susceptible-Infectious-Recovered) and SEIR (Susceptible-Exposed-Infectious-Recovered), and the link between the basic reproduction number and the parameters of these models. In addition, the method for estimating the effective reproduction number and some extensions of these models that take into account the application of pharmaceutical and non-pharmaceutical interventions such as social distancing, isolation of individuals and vaccination are described.

These methods were applied on anonymous data from SARS - CoV-2 testing conducted by the National Public Health Organisation (EODY) in the population of Mavrovouni refugee camp in the island of Lesbos, between May and July 2021. Based on these data, R_t and R_0 were estimated using the method of Cori et al. Using the R_0 estimated from the data, the spread of SARS-CoV-2 in the structure over a period of 2 months was simulated using an SEIR model and assuming an open population under 4 scenarios: 1) Baseline scenario (no interventions), 2) Social distancing, 3) Isolation of infected individuals, 3) Vaccination, and 4) Combination of interventions (social distancing and vaccination). In scenarios 2 – 4, various levels of implementation of the measures were evaluated.

R_0 was estimated to be 3.83 (95 % CrI: 2.70, 5.12) and R_t was observed to first drop below 1, on 22 May, then increased again and finally decreased below 1 on 3 June until the end of the period under consideration. Based on the simulations performed, the most effective interventions appear to be a 60 % reduction in social contacts, isolation of cases within 2 days of their onset of infectivity, and a combination of interventions assuming that 200 individuals are vaccinated per day and that social contacts are reduced by 40 %. Based on these scenarios, the total number of individuals infected within 2 months of

transmission onset in the population is estimated to be equal to 400, 210 and 200 individuals respectively, while the maximum number of new infections per day is 80, 36 and 18 cases respectively.

In conclusion, the estimate of the basic reproduction number for SARS-CoV-2 transmission in a refugee camp is consistent with other estimates in the general population. The implementation of measures such as social distancing is a challenge in such an environment. Future research in this area could take into account the age distribution of the population and the number of contacts among individuals, as well as the topology of the structure in which they reside. More data on these populations and structures is needed to apply these methods.

Βιβλιογραφία

Agiza, H.N., Elgazzar, A.S. and Youssef, S.A. (2003) 'Phase transitions in some epidemic models defined on small-world networks', *International Journal of Modern Physics C*, 14(06), pp. 825–833. Available at: <https://doi.org/10.1142/S0129183103004978>.

Alemi, Q. *et al.* (2020) 'Refugees and COVID-19: achieving a comprehensive public health response', *Bulletin of the World Health Organization*, 98(8), pp. 510-510A. Available at: <https://doi.org/10.2471/BLT.20.271080>.

Alvarez-del Arco, D. *et al.* (2017) 'High levels of postmigration HIV acquisition within nine European countries', *AIDS*, 31(14), pp. 1979–1988. Available at: <https://doi.org/10.1097/QAD.0000000000001571>.

Arzt, J. *et al.* (2019) 'Quantitative impacts of incubation phase transmission of foot-and-mouth disease virus', *Scientific Reports*, 9(1), p. 2707. Available at: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-39029-0>.

Asylum Information Database | European Council on Refugees and Exiles. Conditions in reception facilities (2021). *Asylum Information Database | European Council on Refugees and Exiles*. Available at: <https://asylumineurope.org/reports/country/greece/reception-conditions/housing/conditions-reception-facilities/> (Accessed: 30 July 2021).

Asylum Information Database | European Council on Refugees and Exiles. Country Report: Greece (2016), p. 144.

Asylum Information Database | European Council on Refugees and Exiles. Types of accommodation (2021). *Asylum Information Database | European Council on Refugees and Exiles*. Available at: <https://asylumineurope.org/reports/country/greece/reception-conditions/housing/types-accommodation/> (Accessed: 15 October 2021).

Bi, Q. *et al.* (2020) 'Epidemiology and transmission of COVID-19 in 391 cases and 1286 of their close contacts in Shenzhen, China: a retrospective cohort study', *The Lancet Infectious Diseases*, 20(8), pp. 911–919. Available at: [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(20\)30287-5](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(20)30287-5).

Bjertrup, P.J. *et al.* (2018) 'A life in waiting: Refugees' mental health and narratives of social suffering after European Union border closures in March 2016', *Social Science & Medicine*, 215, pp. 53–60. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2018.08.040>.

Bjørnstad, O.N. (2018) *Epidemics: Models and Data using R*. Springer.

Bjørnstad, O.N. *et al.* (2020) ‘The SEIRS model for infectious disease dynamics’, *Nature Methods*, 17(6), pp. 557–558. Available at: <https://doi.org/10.1038/s41592-020-0856-2>.

Cereda, D. *et al.* (2020) *The early phase of the COVID-19 outbreak in Lombardy, Italy*. arXiv:2003.09320. arXiv. Available at: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2003.09320>.

Cheng, H. *et al.* (2021) ‘Efficacy and Safety of COVID-19 Vaccines in Phase III Trials: A Meta-Analysis’, *Vaccines*, 9(6), p. 582. Available at: <https://doi.org/10.3390/vaccines9060582>.

Cori, A. *et al.* (2013) ‘A New Framework and Software to Estimate Time-Varying Reproduction Numbers During Epidemics’, *American Journal of Epidemiology*, 178(9), pp. 1505–1512. Available at: <https://doi.org/10.1093/aje/kwt133>.

D’Arienzo, M. and Coniglio, A. (2020) ‘Assessment of the SARS-CoV-2 basic reproduction number, R_0 , based on the early phase of COVID-19 outbreak in Italy’, *Biosafety and Health*, 2(2), pp. 57–59. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.bsheat.2020.03.004>.

Delamater, P.L. *et al.* (2019). ‘Complexity of the Basic Reproduction Number (R_0) - Volume 25, Number 1—January 2019 - Emerging Infectious Diseases journal - CDC’. Available at: <https://doi.org/10.3201/eid2501.171901>.

Diekmann, O., Heesterbeek, J.A.P. and Metz, J.A.J. (1990) ‘On the definition and the computation of the basic reproduction ratio R_0 in models for infectious diseases in heterogeneous populations’, *Journal of Mathematical Biology*, 28(4). Available at: <https://doi.org/10.1007/BF00178324>.

Donnelly, C.A. *et al.* (2004) ‘Epidemiological and genetic analysis of severe acute respiratory syndrome’, *The Lancet Infectious Diseases*, 4(11), pp. 672–683. Available at: [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(04\)01173-9](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(04)01173-9).

van den Driessche, P. and Watmough, J. (2002) ‘Reproduction numbers and sub-threshold endemic equilibria for compartmental models of disease transmission’, *Mathematical Biosciences*, 180(1), pp. 29–48. Available at: [https://doi.org/10.1016/S0025-5564\(02\)00108-6](https://doi.org/10.1016/S0025-5564(02)00108-6).

EMA (2021) *European Medicines Agency. COVID-19 vaccines: authorised*. Available at: <https://www.ema.europa.eu/en/human-regulatory/overview/public-health-threats/coronavirus-disease-covid-19/treatments-vaccines/vaccines-covid-19/covid-19-vaccines-authorised>, *European Medicines Agency*. Available at: <https://www.ema.europa.eu/en/human-regulatory/overview/public-health-threats/coronavirus-disease-covid-19/treatments-vaccines/vaccines-covid-19/covid-19-vaccines-authorised> (Accessed: 21 March 2023).

ESPON (2018). Ροές προσφύγων και αιτούντων άσυλο. Available at: https://www.espon.eu/sites/default/files/attachments/espon_asylum-flows-response-policies-greece-online-gr_0.pdf (Accessed: 28 January 2022).

European Centre for Disease Prevention and Control. Coronaviruses (2020). Available at: <https://www.ecdc.europa.eu/en/covid-19/latest-evidence/coronaviruses> (Accessed: 27 January 2022).

European Centre for Disease Prevention and Control. Guidance on infection prevention and control of coronavirus disease (COVID-19) in migrant and refugee reception and detention centers (2020). Available at: <https://www.ecdc.europa.eu/sites/default/files/documents/COVID-19-guidance-refugee-asylum-seekers-migrants-EU.pdf> (Accessed: 3 October 2021).

Fouskas, T. (2020) ‘Migrants, asylum seekers and refugees in Greece in the midst of the COVID-19 pandemic’, *Comparative Cultural Studies - European and Latin American Perspectives*, 5(10), pp. 39–58. Available at: <https://doi.org/10.13128/ccselap-12297>.

Fraser, C. *et al.* (2004) ‘Factors that make an infectious disease outbreak controllable’, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 101(16), pp. 6146–6151. Available at: <https://doi.org/10.1073/pnas.0307506101>.

Gilman, R.T. *et al.* (2020) ‘Modelling interventions to control COVID-19 outbreaks in a refugee camp’, *BMJ Global Health*, 5(12), p. e003727. Available at: <https://doi.org/10.1136/bmjgh-2020-003727>.

Grassly, N.C. and Fraser, C. (2008) ‘Mathematical models of infectious disease transmission’, *Nature Reviews Microbiology*, 6(6), pp. 477–487. Available at: <https://doi.org/10.1038/nrmicro1845>.

Greenaway, C. *et al.* (2020) ‘COVID-19: Exposing and addressing health disparities among ethnic minorities and migrants’, *Journal of Travel Medicine*, 27(7), p. taaa113. Available at: <https://doi.org/10.1093/jtm/taaa113>.

Griffin, J.T. *et al.* (2011) ‘Joint estimation of the basic reproduction number and generation time parameters for infectious disease outbreaks’, *Biostatistics*, 12(2), pp. 303–312. Available at: <https://doi.org/10.1093/biostatistics/kxq058>.

Guadagno, L. (2020) *Migrants and the COVID-19 pandemic an initial analysis*. Available at: <https://publications.iom.int/system/files/pdf/mrs-60.pdf> (Accessed: 29 July 2021).

Guerra, F.M. *et al.* (2017) ‘The basic reproduction number (R_0) of measles: a systematic review’, *The Lancet Infectious Diseases*, 17(12), pp. e420–e428. Available at: [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(17\)30307-9](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(17)30307-9).

Hakki, S. *et al.* (2022) ‘Onset and window of SARS-CoV-2 infectiousness and temporal correlation with symptom onset: a prospective, longitudinal, community cohort study’, *The Lancet Respiratory Medicine*, 10(11), pp. 1061–1073. Available at: [https://doi.org/10.1016/S2213-2600\(22\)00226-0](https://doi.org/10.1016/S2213-2600(22)00226-0).

Halloran, M.E., Haber, M. and Longini, I.M., Jr. (1992) ‘Interpretation and Estimation of Vaccine Efficacy under Heterogeneity’, *American Journal of Epidemiology*, 136(3), pp. 328–343. Available at: <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aje.a116498>.

Hargreaves, S. *et al.* (2020) ‘Europe’s migrant containment policies threaten the response to covid-19’, *BMJ (Clinical research ed.)*, 368, p. m1213. Available at: <https://doi.org/10.1136/bmj.m1213>.

Hayward, S.E. *et al.* (2020) ‘Clinical outcomes and risk factors for COVID-19 among migrant populations in high-income countries: a systematic review’, *medRxiv*, p. 2020.12.21.20248475. Available at: <https://doi.org/10.1101/2020.12.21.20248475>.

Heesterbeek, H. *et al.* (2015) ‘Modeling infectious disease dynamics in the complex landscape of global health’, *Science (New York, N.Y.)*, 347(6227), p. aaa4339. Available at: <https://doi.org/10.1126/science.aaa4339>.

Hernandez-Suarez, C. *et al.* (2020) ‘COVID-19 Outbreaks in Refugee Camps’, *medRxiv*, p. 2020.10.02.20204818. Available at: <https://doi.org/10.1101/2020.10.02.20204818>.

Howard (Howie) Weiss (2006) ‘The SIR model and the Foundations of Public Health’, (1), p. 17.

Inter - Agency Standing Committee. Interim Guidance on Scaling-up COVID-19 Outbreak Readiness and Response Operations in Camps and Camp-like Settings (2020). Available at: <https://interagencystandingcommittee.org/system/files/2021-05/IASC%20Interim%20Guidance%20on%20Scaling-up%20COVID-19%20Outbreak%20Readiness%20and%20Response%20Operations%20in%20Camps%20and%20Camp-like%20Settings.pdf> (Accessed: 2 August 2021).

International Organization for Migration. COVID-19: How to include marginalized and vulnerable people in risk communication and community engagement (2020). Available at: https://www.iom.int/sites/g/files/tmzbd1486/files/our_work/covid-19_communityengagement_130320.pdf (Accessed: 2 October 2021).

International Organization for Migration. Factsheets (2021). Available at: <https://greece.iom.int/factsheets> (Accessed: 29 January 2022).

International Organization for Migration. Missing Migrants Project (2021). Available at: <https://missingmigrants.iom.int/region/mediterranean> (Accessed: 23 October 2021).

International Organization for Migration. IOM Raises Concern Over Increasing COVID-19 Cases Recorded in Greece Mainland Refugee and Migrant Camp (2020) (2020) International Organization for Migration. Available at: <https://www.iom.int/news/iom-raises-concern-over-increasing-covid-19-cases-recorded-greece-mainland-refugee-and-migrant> (Accessed: 29 July 2021).

Keeling, M.J. and Danon, L. (2009) 'Mathematical modelling of infectious diseases', *British Medical Bulletin*, 92(1), pp. 33–42. Available at: <https://doi.org/10.1093/bmb/ldp038>.

Kondilis, E. *et al.* (2021) 'The impact of the COVID-19 pandemic on refugees and asylum seekers in Greece: A retrospective analysis of national surveillance data from 2020', *EClinicalMedicine*, 37, p. 100958. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.eclinm.2021.100958>.

Kucharski, A.J. *et al.* (2020) 'Early dynamics of transmission and control of COVID-19: a mathematical modelling study', *The Lancet Infectious Diseases*, 20(5), pp. 553–558. Available at: [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(20\)30144-4](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(20)30144-4).

Lai, S. *et al.* (2020) 'Effect of non-pharmaceutical interventions to contain COVID-19 in China', *Nature*, 585(7825), pp. 410–413. Available at: <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2293-x>.

Lavezzo, E. *et al.* (2020) 'Suppression of COVID-19 outbreak in the municipality of Vo', Italy'. medRxiv, p. 2020.04.17.20053157. Available at: <https://doi.org/10.1101/2020.04.17.20053157>.

Leung, K. *et al.* (2020) 'First-wave COVID-19 transmissibility and severity in China outside Hubei after control measures, and second-wave scenario planning: a modelling impact assessment', *Lancet (London, England)*, 395(10233), pp. 1382–1393. Available at: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30746-7](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30746-7).

Li, Q. *et al.* (2020) 'Early Transmission Dynamics in Wuhan, China, of Novel Coronavirus–Infected Pneumonia', *New England Journal of Medicine*, 382(13), pp. 1199–1207. Available at: <https://doi.org/10.1056/NEJMoa2001316>.

Liu, Y. *et al.* (2020) 'The reproductive number of COVID-19 is higher compared to SARS coronavirus', *Journal of Travel Medicine*, 27(2), p. taaa021. Available at: <https://doi.org/10.1093/jtm/taaa021>.

Lu, R. *et al.* (2020) 'Genomic characterisation and epidemiology of 2019 novel coronavirus: implications for virus origins and receptor binding', *The Lancet*, 395(10224), pp. 565–574. Available at: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30251-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30251-8).

Meer, N. and Villegas, L (2020). ‘The Impact of COVID-19 on Global Migration’, p. 37.

Migration data in Europe (Migration data portal) (2020). Available at: <https://www.migrationdataportal.org/regional-data-overview/europe> (Accessed: 27 January 2022).

Ndairou, F. *et al.* (2020). ‘Mathematical modeling of COVID-19 transmission dynamics with a case study of Wuhan’, *Chaos, Solitons & Fractals*, 135, p. 109846. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2020.109846>.

OpenData στις δομές φιλοξενίας προσφύγων (2021). Available at: <https://camps.covid19response.gr/> (Accessed: 29 January 2022).

Openshaw, J.J. and Travassos, M.A. (2021) ‘COVID-19 Outbreaks in US Immigrant Detention Centers: The Urgent Need to Adopt CDC Guidelines for Prevention and Evaluation’, *Clinical Infectious Diseases: An Official Publication of the Infectious Diseases Society of America*, 72(1), pp. 153–154. Available at: <https://doi.org/10.1093/cid/ciaa692>.

Organization for Economic Co-operation and Development. What is the impact of the COVID-19 pandemic on immigrants and their children? (2020). Available at: https://read.oecd-ilibrary.org/view/?ref=137_137245-8saheqv0k3&title=What-is-the-impact-of-the-COVID-19-pandemic-on-immigrants-and-their-children%3F&_ga=2.106631555.127911939.1633196920-932080779.1633196920 (Accessed: 2 October 2021).

Our World in Data (2020). Available at: <https://ourworldindata.org/coronavirus> (Accessed: 21 March 2023).

Pantazis, N. *et al.* (2019) ‘Determining the likely place of HIV acquisition for migrants in Europe combining subject-specific information and biomarkers data’, *Statistical Methods in Medical Research*, 28(7), pp. 1979–1997. Available at: <https://doi.org/10.1177/0962280217746437>.

Peak, C.M. *et al.* (2020) *Comparative Impact of Individual Quarantine vs. Active Monitoring of Contacts for the Mitigation of COVID-19: a modelling study*. preprint. Infectious Diseases (except HIV/AIDS). Available at: <https://doi.org/10.1101/2020.03.05.20031088>.

Prosfygiko (2020) ‘Secretariat for Crisis Management Communication. National Situational Picture Regarding the Islands at Eastern Aegean Sea (2020).’, *SECRETARIAT FOR CRISIS MANAGEMENT COMMUNICATION*, 5 June. Available at: <https://infocrisis.gov.gr/9184/national-situational-picture-regarding-the-islands-at-eastern-aegean-sea-4-6-2020/?lang=en> (Accessed: 15 October 2021).

Roy, M. and Pascual, M. (2006) ‘On representing network heterogeneities in the incidence rate of simple epidemic models’, *Ecological Complexity*, 3(1), pp. 80–90. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ecocom.2005.09.001>.

Ryckman, T. *et al.* (2021) ‘Outbreaks of COVID-19 variants in US prisons: a mathematical modelling analysis of vaccination and reopening policies’, *The Lancet. Public health*, 6(10), pp. e760–e770. Available at: [https://doi.org/10.1016/S2468-2667\(21\)00162-6](https://doi.org/10.1016/S2468-2667(21)00162-6).

Salje, H. *et al.* (2020) ‘Estimating the burden of SARS-CoV-2 in France’, *Science*, 369(6500), pp. 208–211. Available at: <https://doi.org/10.1126/science.abc3517>.

Shim, E. and Galvani, A.P. (2012) ‘Distinguishing vaccine efficacy and effectiveness’, *Vaccine*, 30(47), pp. 6700–6705. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2012.08.045>.

Smith, D.R.M. *et al.* (2020) ‘Optimizing COVID-19 surveillance in long-term care facilities: a modelling study’, *BMC Medicine*, 18(1), p. 386. Available at: <https://doi.org/10.1186/s12916-020-01866-6>.

Ssematimba, A. *et al.* (2021) ‘Mathematical model for COVID-19 management in crowded settlements and high-activity areas’, *International Journal of Dynamics and Control* [Preprint]. Available at: <https://doi.org/10.1007/s40435-021-00781-9>.

Statistics for Biology and Health. Springer. Available at: <https://www.springer.com/series/2848> (Accessed: 27 January 2022).

Subbaraman, N. (2020) “‘Distancing is impossible’”: refugee camps race to avert coronavirus catastrophe’, *Nature*, 581(7806), p. 18. Available at: <https://doi.org/10.1038/d41586-020-01219-6>.

Svensson, Å. (2007) ‘A note on generation times in epidemic models’, *Mathematical Biosciences*, 208(1), pp. 300–311. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.mbs.2006.10.010>.

Sypsa, V. *et al.* (2020) ‘Modelling the SARS-CoV-2 first epidemic wave in Greece: social contact patterns for impact assessment and an exit strategy from social distancing measures’, *medRxiv*, p. 2020.05.27.20114017. Available at: <https://doi.org/10.1101/2020.05.27.20114017>.

Sypsa, V. *et al.* (2021) ‘Effects of Social Distancing Measures during the First Epidemic Wave of Severe Acute Respiratory Syndrome Infection, Greece’, *Emerging Infectious Diseases*, 27(2), pp. 452–462. Available at: <https://doi.org/10.3201/eid2702.203412>.

The Lancet (2020) ‘Redefining vulnerability in the era of COVID-19’, *Lancet (London, England)*, 395(10230), p. 1089. Available at: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30757-1](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30757-1).

The Lancet, null (2021) ‘Protecting refugees during the COVID-19 pandemic’, *Lancet (London, England)*, 397(10292), p. 2309. Available at: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(21\)01366-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)01366-0).

Thomas, R. (2021) *Why the generation time of COVID-19 is important, Plus Maths*. Available at: <https://plus.maths.org/content/why-generation-time-covid-19-important> (Accessed: 25 March 2023).

Truelove, S. *et al.* (2020) ‘The potential impact of COVID-19 in refugee camps in Bangladesh and beyond: A modeling study’, *PLOS Medicine*, 17(6), p. e1003144. Available at: <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1003144>.

Turner, S. (2016) ‘What Is a Refugee Camp? Explorations of the Limits and Effects of the Camp’, *Journal of Refugee Studies*, 29(2), pp. 139–148. Available at: <https://doi.org/10.1093/jrs/fev024>.

United Nations High Commissioner for Refugees. Handbook for Emergencies (2007), p. 595.

United Nations High Commissioner for Refugees. Operational Data Portal (2021). Available at: <https://data2.unhcr.org/en/situations/mediterranean/location/5179> (Accessed: 15 October 2021).

United Nations High Commissioner for Refugees. Policy on Alternatives to Camps (2014). Available at: <https://cms.emergency.unhcr.org/documents/11982/45535/UNHCR+-+Policy+on+alternatives+to+camps/005c0217-7d1e-47c9-865a-c0098cfdda62> (Accessed: 1 November 2021).

Veizis, A. (2020) ‘Commentary: “Leave No One Behind” and Access to Protection in the Greek Islands in the COVID-19 Era’, *International Migration (Geneva, Switzerland)*, 58(3), pp. 264–266. Available at: <https://doi.org/10.1111/imig.12721>.

Vince, G. (2020) ‘The world’s largest refugee camp prepares for covid-19’, *BMJ (Clinical research ed.)*, 368, p. m1205. Available at: <https://doi.org/10.1136/bmj.m1205>.

Vonen, H.D. *et al.* (2021) ‘Refugee camps and COVID-19: Can we prevent a humanitarian crisis?’, *Scandinavian Journal of Public Health*, 49(1), pp. 27–28. Available at: <https://doi.org/10.1177/1403494820934952>.

Vynnycky, E. and White, R. (2010) *An Introduction to Infectious Disease Modelling*. OUP Oxford.

Wilder-Smith, A. and Freedman, D.O. (2020) ‘Isolation, quarantine, social distancing and community containment: pivotal role for old-style public health measures in the novel coronavirus (2019-nCoV) outbreak’, *Journal of Travel Medicine*, 27(2), p. taaa020. Available at: <https://doi.org/10.1093/jtm/taaa020>.

World Health Organization. Coronavirus (COVID-19) Dashboard (2021). Available at: <https://covid19.who.int> (Accessed: 4 December 2021).

World Health Organization, Coronavirus disease 2019 (COVID-19) Situation Report (2020). Available at: https://www.who.int/docs/default-source/coronaviruse/situation-reports/20200426-sitrep-97-covid-19.pdf?sfvrsn=d1c3e800_6 (Accessed: 1 August 2021).

World Health Organization. Origin of SARS-CoV-2 (2020). Available at: https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/332197/WHO-2019-nCoV-FAQ-Virus_origin-2020.1-eng.pdf (Accessed: 1 August 2021).

World Health Organization. Preparedness, prevention and control of coronavirus disease (COVID-19) for refugees and migrants in non-camp settings (2020). Available at: [https://www.who.int/publications-detail-redirect/preparedness-prevention-and-control-of-coronavirus-disease-\(covid-19\)-for-refugees-and-migrants-in-non-camp-settings](https://www.who.int/publications-detail-redirect/preparedness-prevention-and-control-of-coronavirus-disease-(covid-19)-for-refugees-and-migrants-in-non-camp-settings) (Accessed: 1 October 2021).

World Health Organization. Report on the health of refugees and migrants in the WHO European Region (2018). Available at: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/311347/9789289053846-eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (Accessed: 2 August 2021).

Zhao, S. *et al.* (2020) 'Preliminary estimation of the basic reproduction number of novel coronavirus (2019-nCoV) in China, from 2019 to 2020: A data-driven analysis in the early phase of the outbreak', *International Journal of Infectious Diseases*, 92, pp. 214–217. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2020.01.050>.

Διαδικτυακή πύλη του ελληνικού κράτους. Περιορισμός της κυκλοφορίας των πολιτών τρίτων χωρών που διαμένουν στα Κέντρα Υποδοχής και Ταυτοποίησης και στις δομές φιλοξενίας, με στόχο την πρόληψη κρουσμάτων κορονοϊού (2020) (2020). Available at: <https://covid19.gov.gr/periorismos-tis-kykloforias-ton-poli/> (Accessed: 28 November 2021).

Διεθνής Αμνηστία. ΠΡΟΣΦΥΓΕΣ, ΑΙΤΟΥΝΤΕΣ/ΟΥΣΕΣ ΑΣΥΛΟ ΚΑΙ ΜΕΤΑΝΑΣΤΕΣ/ΣΤΡΠΙΕΣ (2019). Available at: <https://www.amnesty.gr/news/articles/article/22014/prosfyges-aitoyntesoyses-asylo-kai-metanastestries> (Accessed: 29 January 2022).

Ευρωπαϊκή Επιτροπή (2015). Available at: [https://ec.europa.eu/transparency/documents-register/detail?ref=COM\(2015\)678&lang=el](https://ec.europa.eu/transparency/documents-register/detail?ref=COM(2015)678&lang=el) (Accessed: 1 November 2021).

Ευρωπαϊκή Επιτροπή (2017). Available at: [https://ec.europa.eu/transparency/documents-register/detail?ref=COM\(2017\)131&lang=el](https://ec.europa.eu/transparency/documents-register/detail?ref=COM(2017)131&lang=el) (Accessed: 1 November 2021).

Ευρωπαϊκό Δίκτυο Παρακολούθησης για την εδαφική ανάπτυξη και συνοχή. Ροές προσφύγων και αιτούντων άσυλο (2018). Available at: https://www.espon.eu/sites/default/files/attachments/espon_asylum-flows-response-policies-greece-online-gr_0.pdf (Accessed: 4 October 2021).

Κέντρο Έρευνας & Εκπαίδευσης στην Δημόσια Υγεία, την Πολιτική Υγείας και την Πρωτοβάθμια Φροντίδα Υγείας. Η διαχείριση της επιδημικής κρίσης COVID-19 στους προσφυγικούς πληθυσμούς στην Ελλάδα. Κριτική ανάλυση (2020). Available at: https://healthpolicycenter.gr/images/cwattachments/7_41cc1c51dc516db9ba652f94c6f4021f.pdf (Accessed: 30 July 2021).

Παρατηρητήριο της Προσφυγικής και Μεταναστευτικής Κρίσης στο Αιγαίο (2020). Available at: <https://refugeeobservatory.aegean.gr/el/%CE%BA%CE%BB%CE%B5%CE%B9%CF%83%CF%84%CF%8C-%E2%80%91-%CF%85%CF%80%CE%BF%CF%84%CE%AF%CE%B8%CE%B5%CF%84%CE%B1%CE%B9-%E2%80%91-%CF%84%CE%BF-%CE%BA%CF%85%CF%84-%CE%BC%CE%AD%CF%87%CF%81%CE%B9-19-%CE%B9%CE%BF%CF%85%CE%BB%CE%AF%CE%BF%CF%85> (Accessed: 25 October 2021).