ePublishing

Open Schools Journal for Open Science

Vol 2, No 1 (2019)

Special Issue Articles from the 1st Greek Student Conference on Research and Science

Επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στη δημόσια υγεία, επιδημίες τον 21αι.

Νίκος Μούλιος, Ελευθερία Φερεντίνου

doi: 10.12681/osj.19342

To cite this article:

Μούλιος Ν., & Φερεντίνου Ε. (2019). Επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στη δημόσια υγεία, επιδημίες τον 21αι. *Open Schools Journal for Open Science*, *2*(1), 98–107. https://doi.org/10.12681/osj.19342

https://epublishing.ekt.gr | **e-Publisher:** EKT | **Downloaded at:** 17/08/2025 06:05:14

Open Schools Journal for Open Science

Volume 1

Επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στη δημόσια υγεία, επιδημίες τον 21αι.

Μούλιος Ν.[1], Φερεντίνου Ε.[1], Μυζήθρα Ι.[1], Πόλκας Λάμπρος[1], Γκαράς Γεώργιος[1]

[1]11ο Π. ΓΕ.Λ. Αθήνας "Γεννάδειο", Αθήνα, Ελλάδα

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στην δημόσια υγεία και, ειδικότερα, στη διάδοση μολυσματικών ασθενειών με τη μορφή επιδημιών και πανδημιών. Τα δύο κύρια ερευνητικά ερωτήματα που μας απασχολούν είναι: α) Πώς η κλιματική αλλαγή επηρεάζει την εξάπλωση επιδημιών; β) Τι είδους μέτρα ενδείκνυνται για την αποτροπή των επιδημιών; Γίνεται επισκόπηση της σχετικής βιβλιογραφίας (Εκθέσεις Διεθνών Οργανισμών και φορέων δημόσιας υγείας, επιστημονική αρθρογραφία, συγγράμματα) και εξαγωγή συμπερασμάτων. Στη συνέχεια, ερευνάται η επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην εξάπλωση των ασθενειών και τη δυνατότητα περιορισμού των επιπτώσεων, με τη χρήση του λογισμικού προσομοίωσης Πολύπλοκων Συστημάτων "NetLogo". Τέλος, παρουσιάζονται οι στόχοι για την προστασία της δημόσιας υγείας από τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής, τους οποίους προτείνει η ερευνητική ομάδα.

Λέξεις κλειδιά

Επιδημία; δημόσια υγεία; κλιματική αλλαγή; Υπερθέρμανση; περιβάλλον

Ανασκόπηση της Βιβλιογραφίας

Η ανά χείρας μελέτη συζητά την συσχέτιση της κλιματικής αλλαγής με τις επιδημίες, ένα πρόβλημα της ανθρωπότητας το οποίο έχει επηρεάσει σημαντικά τον ρου της ανθρώπινης ιστορίας. Η κλιματική αλλαγή έχει επίδραση στην εξάπλωση επιδημιών τόσο πρωτογενώς (αύξηση θερμοκρασίας, τροπικοποίηση περιοχών, υποβάθμιση ποιότητας αέρα) όσο και δευτερογενώς, λόγω της βίαιης μετακίνησης πληθυσμών εξαιτίας ερημοποίησης ή φυσικών καταστροφών. Επιπλέον η αύξηση της συχνότητας ακραίων καιρικών φαινομένων και

κλιματογενών φυσικών καταστροφών (λ.χ. πλημμύρες) δημιουργούν πίεση στα συστήματα υγείας προκαλώντας κρίσεις υγείας. Η μεταβολή του κλίματος, τέλος, δύναται να προκαλέσει εξάπλωση ασθενειών σε περιοχές που δεν ενδημούν, με πληθυσμούς μη ανοσοποιημένους με αποτέλεσμα την πρόκληση επιδημιών. Ιστορικά η πρώτη επιδημία καταγράφεται στην Αθήνα στα 430 π.Χ. προκαλώντας σημαντικές κοινονικο-οικονομικές ανακατατάξεις. Στη διάρκεια των αιώνων οι επιδημίες προκάλεσαν μεταβολές αντίστοιχες των μεγάλων πολέμων με κυριότερη την απώλεια μεγάλου μέρους του πληθυσμού (Ματθαίου, 2014).

Επιδημίες

Ως επιδημία ορίζεται από την Παγκόσμια Οργάνωση Υγείας (WHO) η εμφάνιση σε μία κοινότητα ή περιοχή περιστατικών μιας ασθένειας, μίας σχετιζόμενης με την υγεία συμπεριφοράς ή άλλου περιστατικού υγείας, ξεκάθαρα σε μεγαλύτερο βαθμό από το κανονικό. Η περιοχή ή κοινότητα εμφάνισης της νόσου πρέπει να ορίζεται σαφώς. Ο αριθμός κρουσμάτων ποικίλει ανάλογα με τον πράκτορα, τη σύνθεση και το μέγεθος του πληθυσμού που έχει εκτεθεί, προηγούμενη εμφάνιση ή όχι της νόσου αλλά και τον τόπο και χρόνο της εμφάνισης.

Το υπό συζήτηση θέμα αφορά επιδημίες λοιμωδών νοσημάτων. Οι νόσοι που μελετώνται έχουν την ιδιαιτερότητα της μεταδοτικότητας μεταξύ ανθρώπων ή ανθρώπων-ζώων. Οι οδοί ποικίλλουν, μεταξύ αυτών είναι τα τρόφιμα-νερό, ιατρογενής μετάδοση, βιολογικά υγρά, μολυσμένος αέρας, κ.ά. Το πειραματικό μοντέλο της εργασίας αυτής αφορά αερογενή μετάδοση. Στην περίπτωση που η νόσος εξαπλωθεί σε πολλές χώρες και σημειωθούν πολλά κρούσματα παρουσιάζεται πανδημία. Η εμφάνιση επιδημίας απαιτεί ειδικά μέτρα για τον περιορισμό της από το υγειονομικό σύστημα. Τέτοια μέτρα μπορεί να είναι η απομόνωση των ασθενών ή και των φορέων και η δημόσια ενημέρωση-διαφώτιση του κοινού. Η αντιμετώπιση των επιδημιών απαιτεί την συνεργασία διαφορετικών επιστημονικών κλάδων όπως: επιδημιολόγοι, ιατροί, περιβαλλοντολόγοι και μικροβιολόγοι, ενώ αποτελεί πρόκληση για κάθε σύστημα υγείας. Εξαιρετικά σημαντική είναι η επιδημιολογική επιτήρηση με σκοπό την πρόληψη και αποτροπή επιδημιών. Ως επιδημιολογική επιτήρηση ορίζεται η συστηματική και συνεχιζόμενη συλλογή, ανάλυση και ερμηνεία στοιχείων με προσανατολισμό την εφαρμοσμένη δημόσια υγεία (ΚΕΕΛΠΝΟ, 2017).

Μοντελοποίηση

Η μελέτη των επιδημιών μπορεί να γίνει με τη χρήση υπολογιστικών επιδημιολογικών μοντέλων προσομοίωσης. Από τις αρχές του προηγούμενου αιώνα υπάρχουν προσπάθειες μελέτης επιδημιών με χρήση μοντέλων (Abbey, 1952). Τα επιδημιολογικά μοντέλα χωρίζονται σε

προσδιοριστικά, των οποίων η εξέλιξη είναι μαθηματικά προκαθορισμένη (Brauer & Castillo-Chávez 2001), και στοχαστικά, τα οποία ενέχουν το στοιχείο της τυχαιότητας. Η μελέτη αυτή έγινε με χρήση του στοχαστικού προγράμματος NetLogo (Wilensky, 1999). Ειδικότερα, χρησιμοποιήθηκαν δύο παραλλαγές του μοντέλου epiDEM. Το μοντέλο που χρησιμοποιείται στην παρούσα είναι τύπου SIR (epiDEM Basic), σε ορισμένα όμως πειράματα προστίθεται ανοσοποιημένος πληθυσμός, οπότε χρησιμοποιείται μοντέλο τύπου MSIR (epiDEM Travel & Control). Ο υπό μελέτη πληθυσμός είναι σχετικά μικρός (50-400 άτομα) και χωρίζεται σε τρία διαμερίσματα: τους επίνοσους-λευκοί, τους μολυσματικούς-ερυθροί και τους αποσυρθέντες-πράσινοι. Σε ορισμένα πειράματα προστίθενται: οι ανοσοποιημένοι-κυανοί, το υγειονομικό προσωπικό-κίτρινοι και οι ασθενείς που νοσηλεύονται. Παράγοντες όπως η τάση μόλυνσης, η ταχύτητα ανάρρωσης και η κινητικότητα του πληθυσμού ρυθμίζονται από τον ερευνητή. Τέλος σημαντικό είναι να αναφερθεί ότι το μοντέλο epiDEM Basic που χρησιμοποιήθηκε είναι μοντέλο κατά Kermack-McKendrick (Yang & Wilensky, 2011a; Yang & Wilensky, 2011b).

Κλιματική Αλλαγή & Επιδημίες

Ένα λοιμώδες νόσημα το οποίο ενδημεί σε μια περιοχή ή εισάγεται σε αυτήν μπορεί να προκαλέσει επιδημία. Οι επιδημίες είναι βιολογικά φαινόμενα τα οποία λαμβάνουν χώρα μέσα στο οικοσύστημα, συνεπώς οι μεταβολές του οικοσυστήματος επηρεάζουν ποικιλοτρόπως την διάδοση των επιδημιών (μετακίνηση ξενιστών, βελτίωση κλιματικών συνθηκών πολλαπλασιασμού παθογόνου, επιδείνωση συνθηκών διαβίωσης πληθυσμού λόγω έλλειψης νερού και τροφής, επιβάρυνση αέρα και νερού). Ειδικότερα, η αύξηση της θερμοκρασίας αναμένεται να επηρεάσει την εξάπλωση των νοσημάτων που μεταδίδονται μέσω του νερού και του αέρα, ενώ τα λοιμώδη νοσήματα αφορούν άμεσα ή έμμεσα επτά από τις έντεκα κατηγορίες στις οποίες χωρίζει το Αμερικανικό Κέντρο Έλεγχου Νοσημάτων τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην υγεία (Ζίφα, Μαμούρης & Μούτου, 2011) .

Η κλιματική αλλαγή είναι η αργή και σταθερή μεταβολή του κλίματος, η οποία οφείλεται σε ανθρωπογενείς και φυσικούς παράγοντες (Υφαντόπουλος & Παπανδρέου, 2011). Η σημαντικότερη μεταβολή θεωρείται η αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη. Τα περισσότερα βακτήρια αλλά και οι ξενιστές (κώνωπες του γένους Anopheles κ.ά.) παθογόνων μικροοργανισμών αναπαράγονται ταχύτερα σε υψηλότερες θερμοκρασίες. Η αύξηση της στάθμης της θάλασσας, επιπλέον, αυξάνει τον κίνδυνο πλημμυρών, οι οποίες προκαλούν βλάβες στο δίκτυο ύδρευσης και άλλες κρίσιμες υποδομές, με αποτέλεσμα να γίνεται ευκολότερη η μετάδοση νοσημάτων μέσω του νερού (χολέρα, δυσεντερία, τυφοειδής πυρετός κ.ά.) αλλά και δυσκολία στην αντιμετώπιση οποιασδήποτε ασθένειας λόγω δυσχερειών στην πρόσβαση σε υγειονομικούς σχηματισμούς (Wagner, Meusel & Kirch, 2005) καθώς και

ανεπάρκειας του συστήματος υγείας εξαιτίας καταστροφών και άλλων παραγόντων. Η αγροτική παραγωγή πιθανότατα επιμολύνεται ή καταστρέφεται σε πλημμυρικά επεισόδια, με αποτέλεσμα την αύξηση των μολυσματικών ασθενειών που μεταδίδονται με την τροφή αλλά και την γενικότερη υποβάθμιση της υγείας του πληθυσμού και εξασθένηση του ανοσοποιητικού συστήματος των ατόμων, ειδικά στις υπό ανάπτυξη χώρες, γεγονός που επηρεάζει την εξάπλωση των επιδημιών καθώς και την νοσηρότητα και θνητότητα εξαιτίας αυτών.

Εκτός από τις πλημμύρες, άλλα ακραία καιρικά φαινόμενα, συνέπειες της κλιματικής αλλαγής, είναι οι τυφώνες, τα τσουνάμι κ.ά. τα οποία, εκτός των άμεσων απωλειών ζωής, προκαλούν επιβάρυνση του συστήματος υγείας με έκτακτα περιστατικά (κυρίως τραυματισμοί), ενώ πιθανότατα περιορίζεται ταυτόχρονα η αποτελεσματικότητα του λόγω ιδίων καταστροφών. Επιπρόσθετα, ο πληθυσμός εκτοπίζεται με αποτέλεσμα να δημιουργούνται δομές φιλοξενίας, οι οποίες είναι τόποι επικίνδυνοι για εκδήλωση επιδημίας. Η υγιεινή του πληθυσμού είναι ελλιπής και το βιοτικό του επίπεδο μειώνεται, με αποτέλεσμα να παρουσιάζεται υψηλότερη τρωτότητα του σε επιδημίες (UNESCO, 2017).

Το φαινόμενο της ξηρασίας τέλος έχει σημαντικές επιδημιολογικές επιπτώσεις, καθώς η τροφή περιορίζεται με αποτέλεσμα την καχεξία του πληθυσμού, επιπλέον, ειδικά στον κατ' ευφημισμό αναπτυσσόμενο κόσμο ο οποίος βασίζεται οικονομικά, σχεδόν αποκλειστικά στην αγροτική παραγωγή, προκαλεί de facto οικονομική δυσπραγία, με αποτέλεσμα την υπολειτουργία του συστήματος υγείας και την δυσκολία ελέγχου νοσημάτων. Σημαντική δε είναι η μετανάστευση πληθυσμών βίαια οι οποίοι, ιδιαίτερα στην Αφρική παρατηρείται να μένουν σε καταυλισμούς, όπου οι συνθήκες υγιεινής είναι κακές και επικρατεί μεγάλη πυκνότητα πληθυσμού, με αποτέλεσμα την αύξηση κινδύνου εξάπλωσης επιδημιών. Τέλος, υπάρχει κίνδυνος εμφάνισης τοπικών θερμών επεισοδίων-συρράξεων, με αποτέλεσμα την επιπλέον επιβάρυνση της υγειονομικής φροντίδας (Ευρωπαϊκή Επιτροπή 2014; Ευρωπαϊκό Συμβούλιο 2017; Καραγεωργάκης, 2017).

Μεθοδολογία

Για την εκπόνηση του πειραματικού μέρους της παρούσας εργασίας χρησιμοποιήθηκαν τα μοντέλα epiDEM basic και epiDEM Travel & Control του προγράμματος προσομοίωσης πολλαπλών πρακτόρων NetLogo χωρίς επέμβαση στον κώδικά τους. Λόγω της πιθανοκρατικής φύσης της προσομοίωσης, το κάθε πείραμα επαναλήφθηκε πέντε φορές και λήφθηκαν μέσες τιμές. Σημειώνεται ότι οι προσομοιώσεις πραγματοποιήθηκαν σε κλειστούς πληθυσμούς. Πειραματικό μοντέλο για την έρευνα αυτή θεωρήθηκε αερογενώς μεταδιδόμενος ιός, ο οποίος δεν δημιουργεί ανοσία, χωρίς να προσδιοριστεί. Ο δείκτης που απασχόλησε την εργασία αυτή είναι ο Βασικός Αριθμός Αναπαραγωγής R0 (Basic Reproduction Number). Αν ο R0<1 κάθε φορέας επιμολύνει λιγότερο από έναν υγιή πράκτορα, κατά συνέπεια η ασθένεια εξαλείφεται. Αν ο R0=1 ο κάθε φορέας επιμολύνει έναν υγιή πράκτορα και η ασθένεια ενδημεί. Τέλος, αν ο

R0>1 κάθε φορέας μολύνει περισσότερους από ένα πράκτορες και προκαλείται επιδημία της νόσου.

Ειδικότερα, με το μοντέλο epiDEM basic μελετήθηκε η ανάπτυξη επιδημιών σε κλειστό χώρο-σύστημα χωρίς την δυνατότητα ανοσοποίησης και υγειονομικής κάλυψης σε τέσσερις διαφορετικές τιμές πληθυσμού, λήφθηκαν μέσες τιμές R0 οι οποίες παρουσιάζονται σε πίνακα τιμών. Η επιδημία μελετήθηκε μέχρι την ανάρρωση του συνόλου του πληθυσμού, ενώ όλες οι άλλες τιμές παρέμεναν σταθερές στη μέση τιμή τους (50%). Το δεύτερο πείραμα αφορά τη εύρεση αιτιώδους σχέσης μεταξύ ταξιδιών και ανάπτυξης επιδημιών. Το πείραμα πραγματοποιήθηκε με το μοντέλο epiDEM Travel & Control. Η επιδημία μελετήθηκε μέχρι την ανάρρωση του συνόλου του πληθυσμού, ενώ όλες οι τιμές εκτός από την τάση μετακίνησης παρέμεναν σταθερές στη μέση τιμή τους (50%). Κατ' αρχάς έγινε μέτρηση-μάρτυρας χωρίς τη δυνατότητα επικοινωνίας μεταξύ των δυο πληθυσμών. Ακολούθως έγιναν επτά μετρήσεις σε χαρακτηριστικές τιμές του δείκτη Τάσης Μετακίνησης και λήφθηκαν μέσες τιμές.

Το τρίτο πείραμα μελετά την επιρροή του συστήματος υγείας στις επιδημίες. Το πείραμα πραγματοποιήθηκε με το μοντέλο epiDEM Travel & Control, ενώ η επιδημία μελετήθηκε μέχρι την ανάρρωση του συνόλου του πληθυσμού. Αρχικά μελετήθηκε η εξέλιξη της επιδημίας απουσία υγειονομικής κάλυψης και ανοσοποίησης του πληθυσμού με όλους τους υπόλοιπους παράγοντες στις μέσες τιμές. Στη συνέχεια έγινε μελέτη της επιδημίας για δύο τιμές ανοσοποίησης (25% και 50% του πληθυσμού) και τέλος μετρήθηκε η αποτελεσματικότητα του Συστήματος Υγείας (δείκτες initial-ambulace, average-isolation-tendency και average-hospital going-tendency) σε δύο τιμές (50% και 100% των δυνατοτήτων).

Τέλος, μελετήθηκε με χρήση του μοντέλου epiDEM Travel & Control η εξέλιξη του φαινομένου της επιδημίας σε συνθήκες χάους, οι οποίες προσομοιάζουν εκτεταμένη φυσική καταστροφή. Αρχικά μελετήθηκε επιδημία εκτυλισσόμενη σε πεδίο με περιορισμό στην κινητικότητα (0.2 travel tendency), μέγιστο πληθυσμό, αυξημένη τιμή επιπολασμού (75), μειωμένο δείκτη ανάρρωσης (25) και όλους τους δείκτες υγειονομικής κάλυψης (nitial-ambulace, average-isolation-tendency και average-hospital going-tendency) και ανοσοποίησης στο ελάχιστο. Στη συνέχεια αυξήθηκε το ποσοστό ανοσοποίησης στο 25% του πληθυσμού και λήφθηκαν μέσες τιμές. Τέλος, έγινε σύγκριση των Μ.Ο. R0 με σκοπό την μελέτη της αποτελεσματικότητας του εμβολιασμού σε συνθήκες εκτεταμένης υγειονομικής κρίσης.

Έρευνα

Σκοπός του πρώτου πειράματος είναι η προσομοίωση ξεσπάσματος επιδημίας σε κλειστούς πληθυσμούς όπως κλειστές δομές εκτοπισμένων (campus) οι οποίες δημιουργούνται για τη φιλοξενία πληγέντων από ακραία καιρικά φαινόμενα ή μετανάστευσης εξαιτίας ξηρασίας ή άλλων περιβαλλοντικών καταστροφών. Το ερευνητικό ερώτημα που τέθηκε είναι η ύπαρξη ή

όχι αιτιώδους συνάφειας μεταξύ αύξησης πληθυσμού και ξεσπάσματος επιδημίας. Επιπρόσθετα, ο υπό μελέτη πληθυσμός δεν είχε ανοσοποίηση και πρόσβαση σε υγειονομική βοήθεια, παρομοιάζοντας έτσι τους ιδιαίτερα ευάλωτους πληθυσμούς των αναπτυσσόμενων (υπο)τροπικών χωρών οι οποίες βιώνουν σε μεγαλύτερο βαθμό τις συνέπειες της κλιματικής αλλαγής (τροπικοποίηση, ακραία καιρικά φαινόμενα). Αυτές οδηγούν στην ενδημία ασθενειών (αρχικοί πράκτορες-φορείς) αλλά και αναγκάζουν πληθυσμούς να εκτοπιστούν σε κλειστές δομές λόγω οφειλόμενων στη κλιματική αλλαγή ακραίων φαινομένων και καταστροφών. Από την στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων (Πίνακας 1) προκύπτει σχέση αιτιώδους συνάφειας μεταξύ πληθυσμού και R0. Επιπλέον, ακόμα και στην ελάχιστη συγκέντρωση πληθυσμού παρατηρείται υψηλός R0 επομένως συμπεραίνεται η σκοπιμότητα αποφυγής κλειστών δομών διαβίωσης εκτοπισμένων.

ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ	**Μ.Ο. R0**
50	3.52
100	4.39
200	4.88
400	5.40

Πίνακας 1: Αποτελέσματα Πειράματος 1.

Το δεύτερο πείραμα εστίασε στην συσχέτιση μετακινήσεων πληθυσμού με την εμφάνιση επιδημιών. Η κινητικότητα πληθυσμών πέραν του ότι είναι δεδομένη στο σύγχρονο παγκοσμιοποιημένο περιβάλλον εντείνεται λόγω των κλιματικών μεταβολών είτε με τη μορφή μεταναστευτικών ροών λόγω ξηρασίας ή μείωσης φυσικών πόρων, είτε με τη μορφή ροών εκτοπισμένων-πληγέντων από φυσικές καταστροφές (π.χ. τσουνάμι) ή ακραία καιρικά φαινόμενα (πλημμύρες). Μετά από τη στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων (Πίνακας 2) δεν προέκυψε καμία συσχέτιση μεταξύ κινητικότητας και επιδημιών. Τέλος, αξιοσημείωτο είναι ότι μόνο σε ποσοστό 3,3% των μετρήσεων προκλήθηκε ενδημία της νόσου.

TRAVEL TENDENCY	**Μ.Ο. R0**
ΜΑΡΤΥΡΑΣ	0.14
0%	0.37

10%	0.61
20%	0.65
40%	0.60
50%	0.60
75%	0.57
100%	0.53

Πίνακας 2: Αποτελέσματα Πειράματος 2

Το τρίτο πείραμα αφορά την μελέτη της επίπτωσης του βαθμού πρόσβασης στο σύστημα υγείας και του εμβολιασμού στην εξέλιξη των επιδημιών. Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής και ειδικότερα η ενδημία λοιμωδών νοσημάτων που προκαλούνται από την τροπικοποίηση δημιουργούν κρίσεις υγείας επιβαρύνοντας ιδιαίτερα τα συστήματα υγείας. Το ερευνητικό ερώτημα που τέθηκε είναι η εύρεση του αποτελεσματικότερου μέσου αποφυγής επιδημιών. Κατόπιν στατιστικής επεξεργασίας των αποτελεσμάτων (Πίνακας 3) αποδείχθηκε ότι ο εμβολιασμός είναι σημαντικότερος από την υγειονομική κάλυψη, καθώς με ανοσοποίηση του 25% του πληθυσμού επιτυγχάνεται χαμηλότερος Μ.Ο. R0 από την χρήση ακόμα και του συνόλου των διαθέσιμων υγειονομικών πόρων. Τέλος, με ανοσοποίηση του 50% του πληθυσμού απαλείφεται ο κίνδυνος επιδημίας.

ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	**Μ.Ο. R0**
ΜΑΡΤΥΡΑΣ	4.82
50% ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΥΓΕΙΑΣ	1.90
100% ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΥΓΕΙΑΣ	1.26
ΕΜΒΟΛΙΑΣΤΙΚΗ ΚΑΛΥΨΗ 25%	1.17
ΕΜΒΟΛΙΑΣΤΙΚΗ ΚΑΛΥΨΗ 50%	-0.27

Πίνακας 3: Αποτελέσματα Πειράματος 3.

Το τέταρτο πείραμα μελετά την εξέλιξη των επιδημιών σε συνθήκες που προσομοιάζουν εκτεταμένη φυσική καταστροφή όπως περιορισμοί στη μετακίνηση, περιορισμένη

διαθεσιμότητα ιατρικής φροντίδας, αυξημένος επιπολασμός λόγω κακών συνθηκών υγιεινής και διαβίωσης και μεγαλύτερη διάρκεια ανάρρωσης εξαιτίας έλλειψης υγειονομικής βοήθειας. Σκοπός του πειράματος είναι η εύρεση μεθόδων αντιμετώπισης επιδημιών κατά τη διάρκεια κρίσεων υγείας. Μετά από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων (Πίνακας 4) αποδεικνύεται η αξία του εμβολιασμού σε συνθήκες υγειονομικής κρίσης και ημίκλειστους πληθυσμούς.

ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΝΟΣΟΠΟΙΗΣΗΣ	**Μ.Ο. R0**
ΕΜΒΟΛΙΑΣΤΙΚΗ ΚΑΛΥΨΗ 25%	3.09
ΕΜΒΟΛΙΑΣΤΙΚΗ ΚΑΛΥΨΗ 25%	0.96

Πίνακας 4: Αποτελέσματα Πειράματος 4.

Από τη μελέτη των πειραματικών δεδομένων προκύπτει η αποτελεσματικότητα του εμβολιασμού στην αποτροπή επιδημιών, η επικινδυνότητα των κλειστών δομών-πληθυσμών και η μη επικινδυνότητα των μετακινήσεων. Λόγω του μικρού σχετικά αριθμού δειγματοληψιών, της μέτρησης ενός δείκτη και της πιθανοκρατικής φύσης του μοντέλου αλλά και της έλλειψης δυνατότητας παραμετροποίησης κλιματικών συνθηκών (θερμοκρασία, υγρασία κ.α.) τα αποτελέσματα δεν είναι οριστικά και επιδέχονται περαιτέρω έρευνα. Τέλος, έχουν διατηρηθεί ερευνητικά δεδομένα που αφορούν την εξέλιξη της επιδημίας στο χρόνο όπως διαγράμματα υγείας πληθυσμού/χρόνου, επιπολασμού/χρόνου αλλά και σχετικά με τη διάρκεια της επιδημίας τα οποία μπορούν να συζητηθούν σε επόμενη εργασία.

Συμπεράσματα

Από την βιβλιογραφική ανασκόπηση προκύπτει άμεση συσχέτιση κλιματικής αλλαγής και επιδημιών, ειδικότερα αυτών που μεταδίδονται με ξενιστές αλλά και μέσω της τροφής και του νερού. Η μονιμότητα των αλλαγών και η σφοδρότητα των φαινομένων επιβαρύνει σημαντικά την δημόσια υγεία ενώ αναγκάζει πληθυσμούς να μετεγκατασταθούν βίαια σε συνθήκες συχνά δυσμενείς. Από την πειραματική μελέτη προκύπτει ότι η διαβίωση σε κλειστές δομές είναι ιδιαιτέρως επιβαρυντική επιδημιολογικά, ιδιαίτερα για τους ανεμβολίαστους πληθυσμούς των αναπτυσσόμενων χρονών.

Η μετακίνηση πληθυσμών με στοιχειώδη υγειονομική κάλυψη δεν παρουσιάζει καμία συνάφεια με την ανάπτυξη επιδημιών, αποτέλεσμα το οποίο πρέπει να επαληθευθεί με επόμενη μελέτη.

Τέλος, ο εμβολιασμός αποδεικνύεται ιδιαίτερα αποτελεσματικός στην πρόληψη επιδημιών ενώ υπερτερεί κατά πολύ της υγειονομικής παρέμβασης σε ανεμβολίαστους πληθυσμούς. Πρέπει να σημειωθεί πως η μέθοδος της μοντελοποίησης ενέχει τον κίνδυνο να μην να μην συμπεριληφθούν τοπικοί παράγοντες οι οποίοι θα μπορούσαν να επηρεάσουν τα πειραματικά αποτελέσματα

Ευχαριστίες

Η παρούσα εργασία δεν θα είχε πραγματοποιηθεί χωρίς την συνεχή στήριξη των επιβλεπόντων. Επιπρόσθετα, ιδιαίτερα σημαντική ήταν η συνεισφορά του Δ. Γιάτα, καθηγητή πληροφορικής με τη βιβλιογραφία που μας πρότεινε και του Δρ. Π. Κωσταρίδη, βιολόγου ο οποίος μας βοήθησε στην βαθύτερη κατανόηση των επιδημιών.

Βιβλιογραφικές Αναφορές

[1] Ευρωπαϊκή Επιτροπή, (2014). Δράση για το κλίμα (έγγραφο pdf) https://europa.eu/european-union/topics/climate-action_el
Ευρωπαϊκό Συμβούλιο (2017). Η Συμφωνία των Παρισίων για την Κλιματική Αλλαγή. http://www.consilium.europa.eu/el/policies/climate-change/timeline/
[2] Ζίφα, Α., Μαμούρης, Ζ., Μούτου, Κ., (2011) Βιολογία. Βόλος: Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Θεσσαλίας.
[3] Καραγεωργάκης Στ., Λιθοξοΐδου, Λ., Αραμπατζίδου, Φ., Κουράκης, Κ., Γεωργόπουλος, Α., (2017). Περιβαλλοντική Ηθική και στο Σχολείο: Η εκπαίδευση αξιών ανοίγει νέα μονοπάτια, ΕΚΠΑ Προπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών-Τμήμα Εκπαίδευσης Και Αγωγής Στην Προσχολική Ηλικία.
[4] ΚΕΕΛΠΝΟ, (2017). Συστήματα επιδημιολογικής επιτήρησης των λοιμωδών νοσημάτων στην Ελλάδα: δράσεις και στόχοι για το άμεσο μέλλον. Ενημερωτικό Δελτίο.
[5] Ματθαίου, Δ., (2014) Μοντέλο εκτίμησης της αποτελεσματικότητας στρατηγικών που στοχεύουν στη μείωση της θνησιμότητας από βιοτρομοκρατικό χτύπημα ή επιδημία. Θεσσαλονίκη: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
[6] Υφαντόπουλος, Ι., Παπανδρέου, Α., κ.ά. (2011). Κλιματική αλλαγή και υγεία». Αθήνα
Abbey, H.,(1952) An Examination of the Reed-Frost Theory of Epidemics Human Biology:Baltimore
[7] Brauer, F; Castillo-Chavez, C. (2012). Mathematical Models in Population Biology and Epidemiology. Springer Books.
[8] Glossary of Environment Statistics, Studies in Methods, Series F, No. 67.(1997). New York: United Nations
[9] Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University, Evanston, IL.
UNESCO (2017). Addressing Climate Change. http://en.unesco.org/themes/addressing-climate-change.
[10] Wagner, N., Meusel, D. & Kirch, W. J Public Health (2005) 13: 102.
[11] Wilensky, U. (1999). NetLogo. http://ccl.northwestern.edu/netlogo/. Center for Connected

[12] Wilensky, U. and Rand, W. (2015). An introduction to agent-based modeling: Modeling natural, social and engineered complex systems with NetLogo. Cambridge: MIT Press.
[13] Yang, C. and Wilensky, U. (2011a). NetLogo epiDEM Travel and Control model. http://ccl.northwestern.edu/netlogo/models/epiDEMTravelandControl. Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University, Evanston, IL.
[14] Yang, C. and Wilensky, U. (2011b). NetLogo epiDEM Basic model. http://ccl.northwestern.edu/netlogo/models/epiDEMBasic. Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University, Evanston, IL.