



Σχολή Θετικών Επιστημών & Τεχνολογίας
Διαχείριση και Τεχνολογία Ποιότητας Msc

Διπλωματική Εργασία

«Από την ανάλυση διακινδύνευσης στην ανάλυση
ανθεκτικότητας: Πλεονεκτήματα και πεδία εφαρμογής»

Ελένη Μουξιού

Α΄ Επιβλέπων καθηγητής: Αγάπιος Πλατής

Β΄ Επιβλέπουσα καθηγήτρια: Σωτηρία Μαλεφάκη

Θεσσαλονίκη, Μάϊος 2023

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του φοιτητή («συγγραφέας/δημιουργός») που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο ΕΑΠ, μη αποκλειστική άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, προσαρμογής, δημόσιου δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσής τους διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος και για όλο το χρόνο διάρκειας των δικαιωμάτων πνευματικής ιδιοκτησίας. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο για μελέτη και ανάγνωση δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, αποθήκευση, πώληση, εμπορική χρήση, μετάδοση, διανομή, έκδοση, εκτέλεση, «μεταφόρτωση» (downloading), «ανάρτηση»(uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού. Ο συγγραφέας/δημιουργός διατηρεί το σύνολο των ηθικών και περιουσιακών του δικαιωμάτων.



«Από την ανάλυση διακινδύνευσης στην ανάλυση
ανθεκτικότητας: Πλεονεκτήματα και πεδία εφαρμογής»

Ελένη Μουξιού

Επιτροπή Επίβλεψης Πτυχιακής / Διπλωματικής Εργασίας

Επιβλέπων Καθηγητής:
Αγάπιος Πλατής
Καθηγητής-Πανεπιστήμιο Αιγαίου

Συν-Επιβλέπουσα Καθηγήτρια:
Σωτηρία Μαλεφάκη
Επίκουρη Καθηγήτρια-
Πανεπιστήμιο Πατρών

Θεσσαλονίκη, Μάϊος 2023

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ευχαριστώ θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή της διπλωματικής μου εργασίας κ. Αγάπιο Πλατή, καθηγητή του πανεπιστημίου Αιγαίου, για την υπομονή και την κατανόηση που έδειξε, για τις πολύτιμες συμβουλές και την καθοδήγηση που μου παρείχε κατά τη διάρκεια της συγγραφής της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία ασχολείται με την ανάλυση ανθεκτικότητας στη σύγχρονη εποχή και ειδικά μετά από τα καταστροφικά γεγονότα χωρίς προηγούμενο, τη μετα-COVID-19 περίοδο, τη διαρκή απειλή της κλιματικής αλλαγής, τη ραγδαία ανάπτυξη της κοινωνίας της πληροφορίας και επομένως την ανάγκη εξέλιξης της ανάλυσης διακινδύνευσης για να αντιμετωπίσει τις νέες προκλήσεις.

Ειδικότερα εξετάζεται ο ρόλος της ανάλυσης ανθεκτικότητας προς την κατεύθυνση αυτή, κατά πόσο αυτή αποτελεί ένα νέο ή συμπληρωματικό πεδίο της ανάλυσης διακινδύνευσης και τι έχει να προσφέρει. Εκτός από την ανθεκτικότητα υπάρχουν και άλλες έννοιες που είναι βασικές τόσο για στην ανάλυση διακινδύνευσης, όσο και για την ανάλυση της ανθεκτικότητας όπως πχ η τρωτότητα, ή η ευρωστία του εξεταζόμενου συστήματος.

Πολλοί ερευνητές έχουν ήδη θέσει το ερώτημα: «Ποιο είναι το μέλλον της ανάλυσης διακινδύνευσης;» Ιδιαίτερα υπό την πίεση των συνεπειών της κλιματικής αλλαγής, των πολύπλοκων πλέον συστημάτων που πρέπει να προστατευτούν, την παγκοσμιοποίηση των απειλών (ιοί, διαδίκτυο, μεταφορές κ.α.), αλλά και της ανάγκης για βιώσιμη και αειφόρο ανάπτυξη. Κάποιες φωνές αμφισβητούν την κλασική ανάλυση διακινδύνευσης και καλούν για μετάβαση προς την ανάλυση ανθεκτικότητας ή για ένα συνδυασμό των δυο πεδίων.

Για την καλύτερη κατανόηση της έννοιας της ανθεκτικότητας ανασκοπείται η βιβλιογραφία και παρουσιάζονται οι ορισμοί και η ιστορική εξέλιξη του όρου. Περιγράφονται πλεονεκτήματα της ανάλυσης ανθεκτικότητας σε σχέση με την ανάλυση διακινδύνευσης, εξετάζονται τομείς στους οποίους η εφαρμογή της ανάλυσης ανθεκτικότητας μπορεί να βοηθήσει να αντιμετωπιστούν οι προκλήσεις και οι κίνδυνοι που αντιμετωπίζουν στη σύγχρονη εποχή. Παρά τις διάφορες εφαρμογές της ανάλυσης ανθεκτικότητας, υπάρχουν ζητήματα που χρειάζεται να αντιμετωπιστούν για την ευρύτερη εφαρμογή της και τονίζονται από τους ερευνητές, όπως κυρίως το θέμα του κοινού ορισμού και της προτυποποίησης.

Αναφέρονται κάποιες μεθοδολογίες και πλαίσια που έχουν αναπτυχθεί από ερευνητές για την εφαρμογή της ανάλυσης ανθεκτικότητας σε συγκεκριμένα συστήματα και

παρουσιάζονται πιο αναλυτικά η προσέγγιση της Μήτρας Ανθεκτικότητας και το πλαίσιο SCRAM για την καλύτερη κατανόηση.

Γίνεται αναφορά στα εργαστήρια δοκιμών και στα οφέλη που μπορούν να προκύψουν από την ενσωμάτωση της ανάλυσης ανθεκτικότητας στις διάφορες διαδικασίες τους, για το πως μπορεί η ανάλυση ανθεκτικότητας να ενισχύσει την ικανότητα και προσαρμοστικότητά τους απέναντι σε διάφορες προκλήσεις που μπορεί να διαταράξουν τη ροή των εργασιών και δυναμική ενός τέτοιου εργαστηρίου. Παρουσιάζεται μια μελέτη περίπτωσης από ένα νοσοκομειακό εργαστήριο στη Σαουδική Αραβία, από την περίοδο της πανδημίας του COVID-19, καθώς και τα προβλήματα που αντιμετώπισαν τα εργαστήρια του Υπουργείου Αγροτικής ανάπτυξης και Τροφίμων την ίδια περίοδο.

Τέλος παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση και τη μελέτη περίπτωσης.

Λέξεις-Κλειδιά:

Διακινδύνευση, ανθεκτικότητα, ανάλυση ανθεκτικότητας, τρωτότητα, εφοδιαστική αλυσίδα, εργαστήρια δοκιμών.

ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Τονίζεται ότι για τις ανάγκες παράθεσης και παρουσίασης διαγραμμάτων και σχηματικών περιγραφών που σχετίζονται με την αξιολόγηση διακινδύνευσης, τα περισσότερα από τα σχήματα που περιλαμβάνονται στην εργασία είναι στην αγγλική γλώσσα. Αφενός διασφαλίζεται η πιστότητα της πληροφορίας που περιέχεται στα σχήματα αυτά και αφετέρου διατηρούνται οι δόκιμοι όροι της ορολογίας όπως έχει επικρατήσει να χρησιμοποιείται στην αγγλική γλώσσα.

«From Risk Analysis to Resilience Analysis: Advantages and Fields of Application»

Eleni Mouxiou

Abstract

This diploma thesis deals with resilience analysis in the modern era and especially after the unprecedented catastrophic events, the post-COVID-19 period, the constant threat of climate change, the rapid development of the information society and therefore the need to evolve risk analysis to meet the new challenges.

In particular, the role of resilience analysis in this direction is examined, whether this is a new or complementary field of risk analysis and what it has to offer. In addition to resilience, there are other concepts that are essential in both risk and resilience analysis, such as vulnerability, or the robustness of the system under consideration.

Many researchers have already asked the question: “What is the future of risk analysis?” Especially under the pressure of the consequences of climate change, the more complex systems that must be protected, the globalization of threats (viruses, internet, transport, etc.), but also the need for viable and sustainable development. Some voices challenge classical risk analysis and call for a transition to resilience analysis or a combination of the two fields.

For a better understanding of the concept of resilience, the literature is reviewed and the definitions and historical evolution of the term are presented. Advantages of resilience analysis over risk analysis are described, areas where the application of resilience analysis can help address the challenges and risks faced in the modern era are examined. Despite the various applications of resilience analysis, there are issues that need to be addressed for its wider application and are highlighted by researchers, such as the issue of common definition and standardization.

Some methodologies and frameworks developed by researchers to apply resilience analysis to specific systems are mentioned and the approach of the Resilience Matrix and the framework SCRAM are presented in more detail for better understanding.

Finally, report is made to testing laboratories and the benefits that can arise from the integration of resilience analysis into their various processes, on how resilience analysis can enhance their ability and adaptability to various challenges that can disrupt the flow of work and dynamics of such a laboratory. A case study from a hospital laboratory in Saudi Arabia, from the period of COVID-19 pandemic is presented, as well as the problems faced by the laboratories of the Ministry of Rural Development and Food during the same period.

Finally, the conclusions derived from the literature review and the case study are discussed.

Keywords:

Risk, Resilience, Resilience Analysis, Vulnerability, Supply Chain, Test Labs.

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	v
Abstract	vii
Περιεχόμενα	ix
Κατάλογος Σχημάτων/Πινάκων	x
Συντομογραφίες και Ακρωνύμια.....	xii
1 Εισαγωγή.....	1
1.1 Παρουσίαση της υφιστάμενης κατάστασης	1
1.2 Πηγές βιβλιογραφίας και δομή της εργασίας.....	9
2 Ανάλυση Ανθεκτικότητας.....	11
2.1 Η έννοια της Ανθεκτικότητας - Προσέγγιση και ιστορική αναδρομή	11
2.2 Χαρακτηριστικά της ανθεκτικότητας	18
2.2.1 Η αβεβαιότητα αντί για την πιθανότητα	24
2.3 Η ανάλυση ανθεκτικότητας και η ανάλυση διακινδύνευσης συγκριτικά.....	27
3 Πεδία Εφαρμογής και Πλεονεκτήματα	37
3.1 Ανθεκτικότητα στις υποδομές και τα κρίσιμα συστήματα.....	37
3.2 Ανθεκτικότητα στη διακυβέρνηση και πολιτική.....	41
3.3 Ανθεκτικότητα στην υγειονομική περίθαλψη και δημόσια υγεία.....	48
3.4 Κοινωνική και περιβαλλοντική ανθεκτικότητα.....	57
3.5 Ανθεκτικότητα στην διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας και την επιχειρηματική συνέχεια	66
4 Πλαίσια και δείκτες μέτρησης της ανθεκτικότητας	75
4.1 Μέθοδοι εκτίμησης και μέτρησης της ανθεκτικότητας.....	75
4.1.1. Μήτρες Ανθεκτικότητας (Resilience Matrix)	77
4.1.2. Μέθοδος βάσει αριθμητικής ανάλυσης.....	80
4.1.3. Μέθοδος που βασίζεται στη βελτιστοποίηση	82
4.1.4. Μέθοδος βάσει δεδομένων	85
4.2 Παρουσίαση μεθοδολογίας στην εφοδιαστική αλυσίδα	86
5 Ανάλυση ανθεκτικότητας σε εργαστήρια δοκίμων.....	91
5.1 Πεδία εφαρμογής	91
5.2 Μελέτη περίπτωσης	93
6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	98

Κατάλογος Σχημάτων/Πινάκων

ΣΧΗΜΑ 1-1: Η ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΟΡΟΥ «ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ» ΣΕ ΔΗΜΟΣΙΕΥΜΑΤΑ ΠΑΡΟΥΣΙΑΖΕΙ ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΑΥΞΗΣΗ ΜΕΤΑ ΤΟ 1973 (PARK ET AL. 2013).....	4
ΣΧΗΜΑ 1-2: ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΑΥΞΗΣΗΣ ΤΩΝ ΔΗΜΟΣΙΕΥΜΕΝΩΝ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΣΤΙΣ ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ ΤΗΣ ΟΙΚΟΛΟΓΙΑΣ, ΒΙΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ) ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΗ, ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ, ΦΥΣΙΚΗ (ΔΕΞΙΑ) (PARK ET AL. 2013).....	4
ΣΧΗΜΑ 1-3: ΈΝΑ ΠΛΑΙΣΙΟ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΠΕΡΙΛΑΜΒΑΝΕΙ ΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΩΣ ΚΕΝΤΡΙΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ. Η ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΕΞΑΡΤΑΤΑΙ ΑΠΟ ΤΟΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟ ΤΟΥ ΤΙΣ ΑΠΕΙΛΕΣ, ΤΑ ΤΡΩΤΑ ΣΗΜΕΙΑ ΚΑΙ ΤΙΣ ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ ΤΗΣ ΑΝΕΠΙΘΥΜΗΤΩΝ ΣΥΜΒΑΝΤΩΝ ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟ ΤΗΣ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΗΣ ΖΗΜΙΑΣ ΚΡΙΣΙΜΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑΣ (LINKOV ET AL.2014B).....	6
ΣΧΗΜΑ 1-4: ΔΥΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΠΟΥ ΔΕΙΧΝΟΥΝ ΠΟΣΟ ΑΛΛΗΛΟΣΥΝΔΕΜΕΝΑ ΕΙΝΑΙ ΤΑ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ, ΑΡΙΣΤΕΡΑ ΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΤΡΑΤΙΩΤΙΚΗΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΔΕΞΙΑ ΜΙΑ ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΥΠΟΔΟΜΗ ΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ (LINKOV ET AL, 2016).....	7
ΣΧΗΜΑ 2-1: ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΤΟΥ ΟΡΟΥ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ (ALEXANDER 2013).	12
ΣΧΗΜΑ 2-2: ΣΥΝΟΨΗ ΤΗΣ ΘΕΣΗΣ ΤΟΥ ΟΡΟΥ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΑ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΑ ΠΕΔΙΑ (ALEXANDER, 2013).	16
ΣΧΗΜΑ 2-3: ΠΙΝΑΚΑΣ ΟΡΙΣΜΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ (BHAMRA, DANI & BURNARD, 2011).	20
ΠΙΝΑΚΑΣ 2-4: ΓΝΩΡΙΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟΝ ΟΡΙΣΜΟ ΕΘΝΙΚΗΣ ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΤΩΝ Η.Π.Α., ΠΟΥ ΣΧΕΤΙΖΟΝΤΑΙ ΜΕ ΤΙΣ ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΦΑΣΕΙΣ ΤΗΣ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΕΝΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ (CONELLY & AL. (2016).	21
ΣΧΗΜΑ 2-5: ΤΡΟΧΙΕΣ ΑΝΑΚΑΜΨΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ (FISKEL, 2003).	22
ΣΧΗΜΑ 2-6: ΑΠΟΔΟΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΟΥ ΚΥΚΛΟΥ ΣΥΜΒΑΝΤΟΣ. ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΔΙΑΚΟΠΗ, Η ΑΡΧΙΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ (Υ0) ΥΦΙΣΤΑΤΑΙ ΚΑΠΟΙΑ ΑΛΛΑΓΗ (ΔΥ) ΑΛΛΑ ΣΤΗ ΣΥΝΕΧΕΙΑ ΕΠΑΝΕΡΧΕΤΑΙ ΣΕ ΜΙΑ ΝΕΑ ΣΤΑΘΕΡΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ (ΥF) ΑΠΟΔΟΣΗΣ. Η ΧΡΟΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΑΝΑΚΑΜΨΗΣ ΜΕΤΑ ΤΗ ΔΙΑΤΑΡΑΧΗ (ΔΧ) ΕΙΝΑΙ ΕΝΑ ΚΡΙΣΙΜΟ ΣΥΣΤΑΤΙΚΟ ΤΗΣ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ. Η ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΜΠΟΡΕΙ ΝΑ ΒΕΛΤΙΩΘΕΙ ΜΕΙΩΝΟΝΤΑΣ ΤΟ ΜΕΓΕΘΟΣ ΤΗΣ ΔΙΑΤΑΡΑΧΗΣ (Α), ΜΕΙΩΝΟΝΤΑΣ ΤΟ ΧΡΟΝΟ ΑΝΑΚΑΜΨΗΣ (Β) Η ΑΛΛΑΖΟΝΤΑΣ ΤΟ ΣΧΗΜΑ ΤΗΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ (Γ) (FOX-LENT & LINKOV, 2018).....	23
ΣΧΗΜΑ 2-7: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΩΝ ΤΗΣ ΔΙΑΚΙΝΔΥΝΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (PARK ET. AL., 2013).....	28
ΣΧΗΜΑ 3-1: ΠΩΣ Η ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΕΠΗΡΕΑΖΕΙ ΤΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΔΙΑΚΥΒΕΡΝΗΣΗΣ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΩΝ (LINKOV & TRUMP, 2019).....	44
ΣΧΗΜΑ 3-2: ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΩΝ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΗΝ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗΣ ΠΕΡΙΘΑΛΨΗΣ (LINGZHI ET AL., 2021).	49
ΣΧΗΜΑ 3-3: ΈΝΑ ΕΝΝΟΙΟΛΟΓΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ: ΟΙ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΤΗΣ ΔΙΑΚΥΒΕΡΝΗΣΗΣ ΤΗΣ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (BLANCHET ET AL, 2017).	55
ΣΧΗΜΑ 3-4: ΈΝΑΣ ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟΣ, ΔΙΑΤΟΜΕΑΚΟΣ ΚΑΙ ΠΟΛΥΕΠΙΠΕΔΟΣ ΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΕΝΝΟΙΟΛΟΓΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗΣ ΠΕΡΙΘΑΛΨΗΣ. ΤΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΓΝΩΡΙΣΜΑΤΑ ΠΑΡΑΤΙΘΕΝΤΑΙ ΩΣ ΕΠΙΚΕΦΑΛΙΔΕΣ ΣΤΟΥΣ 3 ΧΡΟΝΙΚΟΥΣ ΤΟΜΕΙΣ ΤΟΥ ΚΥΚΛΟΥ: ΠΡΟ-ΣΥΜΒΑΝΤΟΣ, ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΚΑΙ ΜΕΤΑ ΤΟ ΣΥΜΒΑΝ (TAN ET AL., 2023).	56
ΣΧΗΜΑ 3-5: ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΩΝ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ ΣΤΗΝ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΤΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΤΟΝ ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΚΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ (YAMAGATA & SHARIFI, 2018).	58

ΣΧΗΜΑ 3-6: ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΤΗΣ ΚΟΙΝΩΝΙΚΗΣ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (BUHEJI, 2020).....	60
ΣΧΗΜΑ 3-7: ΔΙΑΦΟΡΑ ΜΕΤΑΞΥ ΠΡΟΣΑΡΜΟΣΤΙΚΗΣ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΕΓΓΕΝΟΥΣ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (CARIOLET ET AL., 2019).....	62
ΣΧΗΜΑ 3-8: ΕΝΝΟΙΟΛΟΓΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΝΟΣ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΥ BCM (STEEN ET AL., 2024).....	68
ΣΧΗΜΑ 3-9: ΚΡΙΣΙΜΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗΣ ΑΛΥΣΙΔΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΤΟΥ COVID-19 (DAS ET AL., 2021).....	69
ΣΧΗΜΑ 3-10: ΚΛΑΣΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΚΙΝΔΥΝΕΥΣΗΣ (PETTIT ET AL., 2013).....	72
ΣΧΗΜΑ 3-11: ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (PETTIT ET AL., 2013).....	73
ΣΧΗΜΑ 3-12: Η ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΙΕΡΑΡΧΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΤΗΝ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗ ΑΛΥΣΙΔΑ (HOSSEINI ET AL., 2019).....	74
ΣΧΗΜΑ 4-1: ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΩΝ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΗΣ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (HOSSEINI ET AL., 2016).....	75
ΣΧΗΜΑ 4-2 : ΜΗΤΡΑ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ. ΤΑ ΚΕΛΙΑ ΣΤΟΝ ΠΙΝΑΚΑ ΠΑΡΕΧΟΥΝ ΚΑΤΕΥΘΥΝΤΗΡΙΕΣ ΓΡΑΜΜΕΣ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΔΕΙΚΤΕΣ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΠΟΥ ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΑΝΑΠΤΥΧΘΟΥΝ ΚΑΙ ΝΑ ΣΥΝΔΥΑΣΤΟΥΝ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ (LINKOV ET AL., 2013)....	79
ΣΧΗΜΑ 4-3: ΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΗΣ ΜΗΤΡΑΣ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (LINKOV ET AL., 2013)	81
ΣΧΗΜΑ 4-4: ΣΥΜΠΛΗΡΩΜΕΝΟΙ ΠΙΝΑΚΕΣ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ 4 ΚΡΙΣΙΜΑ ΥΠΟΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΤΗΝ ΑΛΑΜΠΑΜΑ, Η.Π.Α.: Α)ΤΟΥΡΙΣΜΟΣ, Β)ΣΤΕΓΑΣΗ, Γ)ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΕΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ, Δ)ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΑ. ΟΙ ΑΡΙΘΜΟΙ ΥΠΟΔΕΙΚΝΟΥΝ ΤΑ ΚΕΛΙΑ ΠΟΥ ΘΑ ΕΠΗΡΕΑΣΟΥΝ ΟΙ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΒΕΛΤΙΩΣΕΙΣ (FOX-LENT & LINKOV, 2018).....	81
ΣΧΗΜΑ 4-5: ΤΟ ΙΕΡΑΡΧΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΩΝ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΩΝ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΤΗΣ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (LIU ET AL., 2021).....	83
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-6: ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ RES ΣΕ ΚΡΙΣΙΜΕΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ (LIU ET AL.2021).	84
ΣΧΗΜΑ 4-7: SYSTEM PERFORMANCE FOLLOWING THE OCCURRENCE OF A DISRUPTIVE EVENT (LIU ET AL., 2021).....	85
ΣΧΗΜΑ 4-8: ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗΣ ΑΛΥΣΙΔΑΣ ΠΟΥ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΤΗΚΑΝ ΑΠΟ ΤΟΥΣ ΕΡΕΥΝΗΤΕΣ ΤΟΥ SCRAM (FISKEL ET AL., 2015).	87
ΣΧΗΜΑ 4-9: ΙΚΑΝΟΤΗΤΕΣ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗΣ ΑΛΥΣΙΔΑΣ ΠΟΥ ΜΠΟΡΟΥΝ ΝΑ ΑΝΑΠΤΥΧΘΟΥΝ, ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΤΟΥ SCRAM (FISKEL ET AL., 2015).....	88
ΣΧΗΜΑ 4-10: ΒΡΙΣΚΟΝΤΑΣ ΤΗ ΖΩΝΗ ΙΣΟΡΡΟΠΗΜΕΝΗΣ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (FISKEL ET AL., 2015).	90
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-1: : ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΩΝ ΠΟΥ ΕΡΕΥΝΗΘΗΚΑΝ (ΑΛΑΙΜΙ ET AL., 2021).....	94
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-2: ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΠΡΟΜΗΘΕΥΤΩΝ ΠΟΥ ΕΡΕΥΝΗΘΗΚΑΝ (ΑΛΑΙΜΙ ET AL., 2021).....	95
ΣΧΗΜΑ 5-3: Η ΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΗΣ ΠΑΝΔΗΜΙΑΣ ΣΤΗΝ ΑΛΥΣΙΔΑ ΕΦΟΔΙΑΣΜΟΥ ΤΩΝ ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΩΝ (ΑΛΑΙΜΙ ET AL., 2021).	96

Συντομογραφίες και Ακρωνύμια

IRCG	International Risk Governance Center
NAS	Natural Academy of Sciences
SRA	Society for Risk Analysis
ASME	American Society of Mechanical Engineers
SCADA	Supervisory Control & Data Acquisition
EEA	European Environment Agency
UNISDR	United Nations/International Strategy for Disaster Reduction
UTS	Urban Transport System
UNDP	United Nations Development Program
DHS	Department of Homeland Security
DOI	Department of the Interior
EPA	Environmental Protection Agency
NIST	National Institute of Standards and Technology
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
USACE	U.S. Army Corps of Engineers
USAEC	U.S. Army Environmental Command
OECD	Organisation for Economic Cooperation and Development
DFID	Department for International Development
IRGC	International Risk Government Council
WHO	World Health Organisation
CAS	Complex Adaptive Systems
DRR	Disaster Risk Reduction
EM	Emergency Management
OSN	Online Social Networks
COPEWELL	Composite of Post-Event Well-being
UNISDR	United Nations Office for Disaster Risk Reduction
DRM	Disaster Risk Management

NAPA	National adaptation Program of Action
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change
RC	Resilient Cities
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
WMO	World Meteorological Organisation
BCM	Business Continuity Management
ERM	Enterprise Risk Management
RES	Resilience Enhancement Strategies
MOO	Multi-Objective Optimisation
ICI	Interdependent Critical Infrastructure
FRAM	Functional Resonance Analysis Method
PRAF	Process Resilience Analysis Framework
SCRAM	Supply Chain Resilience Assessment and Management
ΜΚΟ	Μη Κυβερνητικές Οργανώσεις
ΟΟΣΑ	Οργανισμός Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης
ΠΟΥ	Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας

1 Εισαγωγή

'When facts change, I change my mind. What do you do?' (John Maynard Keynes)

1.1 Παρουσίαση της υφιστάμενης κατάστασης

Οι χώρες, οι κοινότητες, οι οργανισμοί, τα άτομα υπόκεινται σε ένα ποικίλο και πάντα μεταβαλλόμενο περιβάλλον. Οι απειλές που δημιουργεί αυτό το μερικές φορές ταραγμένο περιβάλλον μπορεί να ποικίλλουν τόσο σε σοβαρότητα όσο και σε συχνότητα και μπορεί να προέρχονται εσωτερικά ή εξωτερικά από ένα σύστημα.

Ένα γεγονός σε μια περιοχή μπορεί συχνά να έχει καταστροφικές συνέπειες σε μια άλλη. Τρανταχτά παραδείγματα αποτελούν το τσουνάμι του Ινδικού Ωκεανού το 2004, οι σεισμοί της Αϊτής και της Χιλής το 2010, η πρόσφατη παγκόσμια οικονομική κρίση, ο αποκλεισμός της διώρυγας του Σουέζ από το τάνκερ Ever Green το 2021 και τόσα άλλα γεγονότα.

Φυσικές καταστροφές, πανδημίες, τρομοκρατικές επιθέσεις, οικονομική ύφεση, αστοχία εξοπλισμού και το ανθρώπινο λάθος μπορούν όλα να αποτελέσουν μια δυνητικά απρόβλεπτη και σοβαρή απειλή για τη συνέχεια της λειτουργίας ενός οργανισμού. Οι καταστροφές είναι μια πολυσχιδής έννοια που αποτελείται από πολλά διαφορετικά στοιχεία που φαίνεται να αψηφούν κάθε ακριβή ορισμό. Συχνά μόνο εκ των υστέρων οι καταστροφές φαίνονται ως γεγονότα τέτοια που τα άτομα, κοινότητες, οργανισμοί και χώρες θα έπρεπε ή θα μπορούσαν να έχουν προετοιμαστεί για να τα αντιμετωπίσουν καλύτερα ή πιο αποτελεσματικά ώστε οι συνέπειες να είναι λιγότερο καταστροφικές. Βέβαια δεν είναι μόνο οι μεγάλες καταστροφές αλλά και μικρές αβεβαιότητες ή αποκλίσεις που μπορούν να αποτελέσουν πρόκληση για ένα σύστημα ή έναν οργανισμό και να διαταράξουν την ισορροπία του. (Bhamra, Dani and Burnard, 2011)

Η δομή της κλασικής ανάλυσης διακινδύνευσης καθοδηγεί τους αναλυτές στον εντοπισμό πιθανών κινδύνων/απειλών, αναλύουν τα αίτια και τις συνέπειές τους και περιγράφουν συνήθως τον κίνδυνο ποσοτικά και με υπολογισμών των αντίστοιχων αβεβαιοτήτων. Στην ανάλυση/αξιολόγηση, οι αναλυτές κάνουν υποθέσεις και απλουστεύσεις, συλλέγουν και αναλύουν δεδομένα και αναπτύσσουν και

χρησιμοποιούν μοντέλα για την αναπαράσταση των φαινομένων υπό μελέτη. Η ανάλυση διακινδύνευσης ενός συστήματος απαιτεί την εξέταση ενός πιθανώς πολύ μεγάλου αριθμού σεναρίων με πολλαπλές αστοχίες των στοιχείων του και, με αυτόν τον τρόπο, παρέχεται μια σε βάθος κατανόηση και γνώση των πιθανών τρόπων αστοχίας του συστήματος, επίγνωση σχετικά με τους κινδύνους, που επικεντρώνεται έτσι στην ενίσχυση της και βελτίωση της συνολικής ασφάλειάς του.

Οι στρατηγικές διαχείρισης της διακινδύνευσης καλούνται στη συνέχεια να κατευθύνουν τις επιλογές των μέτρων που επικεντρώνονται παραδοσιακά στη μείωση της πιθανότητας γεγονότων που προκαλούν αναστάτωση και τη μείωση των πιθανών συνεπειών του συμβάντος, καθώς και συνδυασμό των δύο. Ως εκ τούτου, η διαχείριση της διακινδύνευσης συχνά δίνει έμφαση στις επιλογές μετριασμού με τη μορφή πρόληψης και προστασίας: σχεδιασμός συστημάτων για την αποφυγή ή την απορρόφηση ανεπιθύμητων συμβάντων πριν από την εμφάνισή τους. Παρόλο που μια τέτοια προσέγγιση είναι κρίσιμη για την πρόληψη ανεπιθύμητων συμβάντων ή συνεπειών, γεγονότα όπως αυτά που αναφέρθηκαν παραπάνω αποδεικνύουν ότι δεν μπορούν να προβλεφθούν και να προληφθούν όλοι οι πιθανοί κίνδυνοι και τα ανεπιθύμητα ή καταστροφικά συμβάντα, ειδικά στις περιπτώσεις τελείως άγνωστων κινδύνων ή κινδύνων με μεγάλη αβεβαιότητα να συμβούν. Από την άλλη πλευρά η ραγδαία ανάπτυξη και εξέλιξη του κόσμου που ζούμε σε όλους τους τομείς, τεχνολογία, καινοτομία, κοινωνία, ενέργεια, πληροφορική κ.α., «απαιτούν» την εξέλιξη ή καλύτερα, την επανάσταση στην ανάλυση διακινδύνευσης καθώς και την ενίσχυση της ανθεκτικότητας, ώστε όλα αυτά τα συστήματα να είναι προετοιμασμένα και να μπορούν να ανακάμψουν από συμβάντα μεγάλης έντασης και έκτασης. (Hosseini, Barker and Ramirez-Marquez, 2015)

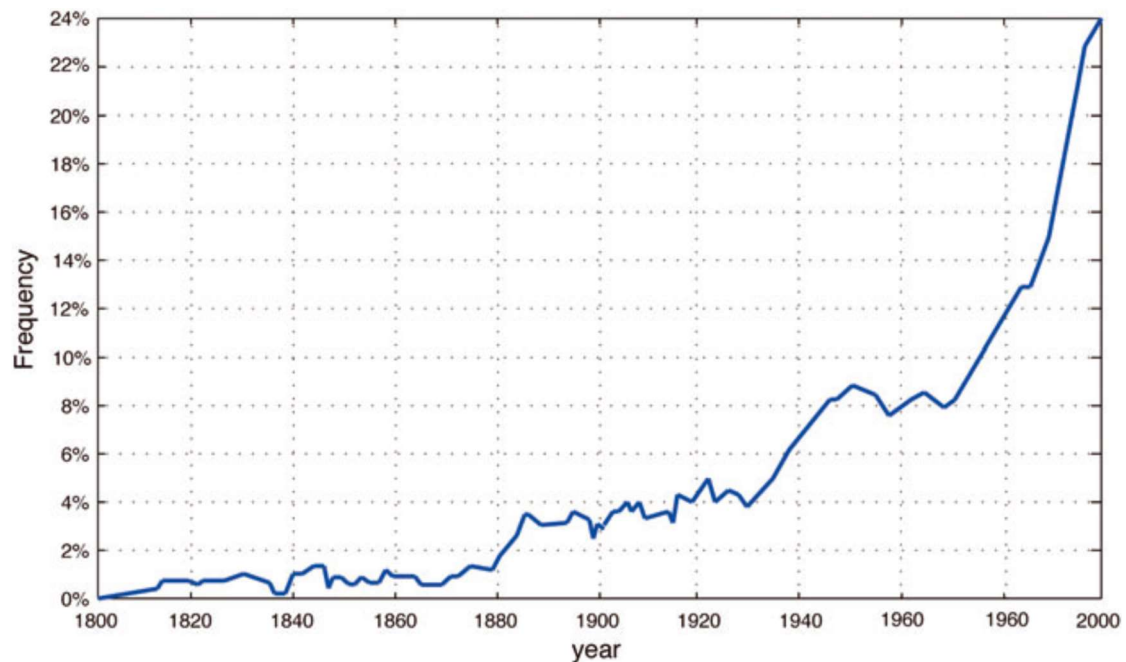
Η προσοχή των ειδικών έχει στραφεί πλέον με μεγάλο ενδιαφέρον προς την ανάλυση ανθεκτικότητας, που παρέχει έναν άλλο τρόπο σκέψης και αντιμετώπισης σχετικά με την ασφάλεια και προστασία των συστημάτων (όπου σύστημα μπορεί να είναι μια οντότητα, μια κοινότητα, επιχείρηση, οργανισμός, κράτος, ένα οικολογικό ή μηχανικό σύστημα).

Τα τελευταία χρόνια υπάρχει έντονη τάση για μετάβαση από την ανάλυση της διακινδύνευσης στην ανάλυση της ανθεκτικότητας, όπως τονίζεται από αρκετούς ερευνητές, επιστήμονες του χώρου, οργανισμούς, αλλά και κρατικούς φορείς, ενώ

φαίνεται ξεκάθαρα και στην κατακόρυφη αύξηση των εργασιών και δημοσιεύσεων. Στο σχήμα 1-1, από το άρθρο των J. Park et. al. (2013), «Integrating Risk and Resilience Approaches to Catastrophe Management in Engineering Systems» φαίνεται ότι ο ρυθμός εμφάνισης του όρου **ανθεκτικότητα** σε επιστημονικά άρθρα και εργασίες αυξάνεται αργά μέχρι περίπου το 1973, χρονιά που ο C.S. Holling δημοσίευσε την περίφημη εργασία του «Resilience and stability of ecological systems» και διατύπωσε το ορισμό της ανθεκτικότητας στα οικολογικά συστήματα, που αποτέλεσε τη βάση και για άλλες επιστήμες. Στη συνέχεια υπάρχει μια έκρηξη προς τα πάνω του αριθμού των σχετικών δημοσιεύσεων. Στο σχήμα 1-2, στο ίδιο άρθρο, συγκρίνεται ο συνολικός αριθμός των άρθρων που έχουν καταχωρηθεί στη βάση του ISI Web of Science, σχετικά με την ανθεκτικότητα, στους τομείς της οικολογίας, βιολογίας και φυσικών επιστημών με αυτά που έχουν καταχωρηθεί στους τομείς της μηχανικής, των μαθηματικών και της φυσικής. Η ιδιαίτερη αύξηση του αριθμού των άρθρων που παρατηρείται το 2009, έγινε μετά από μια σειρά από φυσικές και ανθρωπογενείς καταστροφές όπως το τσουνάμι στον Ινδικό Ωκεανό το 2004, οι τυφώνες Κατρίνα και Ρίτα στον Κόλπο του Μεξικού το 2005 και η χρηματοπιστωτική κρίση των στεγαστικών δανείων του 2008 που επίσπευσε τη χρεοκοπία της Lehman Brothers στις Ηνωμένες Πολιτείες. Βέβαια από τότε ακολούθησαν και άλλες σοβαρές καταστροφές (πχ. ατύχημα στον πυρηνικό σταθμό της Φουκοσίμα, πανδημία COVID-19 κ.α.), όμως όπως διατυπώνουν αρκετοί ερευνητές η ανάπτυξη ορολογίας, ποιοτικών και ποσοτικών εργαλείων για την εφαρμογή της ανάλυσης ανθεκτικότητας δεν ακολουθεί τους ταχείς ρυθμούς της τεχνολογικής ανάπτυξης που βιώνουμε στη σημερινή εποχή, ενώ πολλές προσεγγίσεις της ανάλυσης ανθεκτικότητας συγχέονται με αυτές της ανάλυσης διακινδύνευσης.

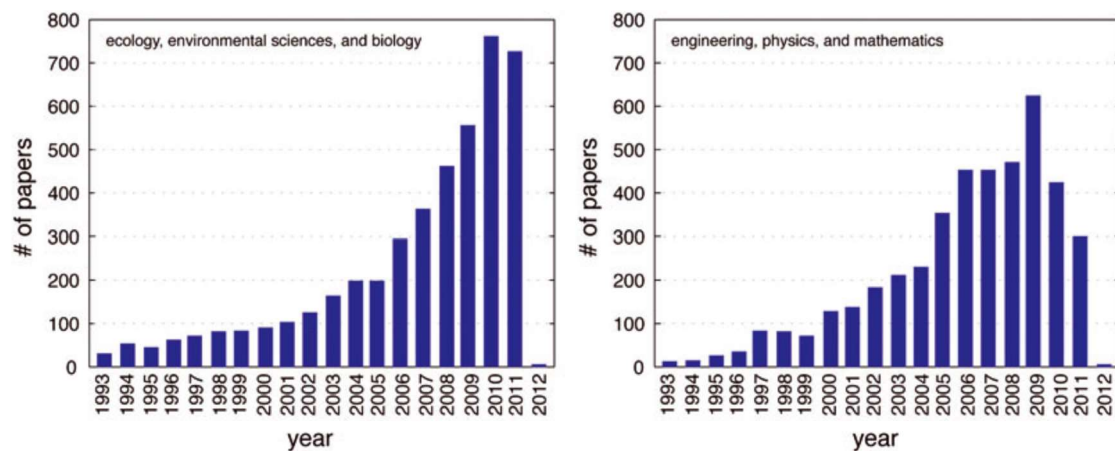
Ο Aven (2019) στο άρθρο του “The Call for a Shift from Risk to Resilience” αναφέρεται επίσης στη σημαντική ανάπτυξη της ανάλυσης ανθεκτικότητας, τόσο στην πράξη, όσο και ως επιστήμη και στην τάση που υπάρχει να υπερσκελίσει την ανάλυση διακινδύνευσης. Σύμφωνα με τον ίδιο, αλλά και άλλους ερευνητές (Zio 2016, Park et al., 2013, Bergström, van Winsen, & Henriqson, 2015, Bhamra, Dani, & Burnard, 2011) αυτό προέκυψε κυρίως λόγω των περιορισμών της κλασικής ανάλυσης διακινδύνευσης να προστατεύσει πολλούς τύπους πραγματικών συστημάτων, ειδικά περίπλοκα συστήματα με μεγάλες αβεβαιότητες στους κινδύνους που αντιμετωπίζουν, που είναι

δύσκολο να προσδιοριστούν και να μοντελοποιηθούν, καθώς πρέπει να ληφθεί υπόψη ένας μεγάλος αριθμός σεναρίων αποτυχίας.



Σχήμα 1-1: Η χρήση του όρου «ανθεκτικότητα» σε δημοσιεύματα παρουσιάζει εκθετική αύξηση μετά το 1973 (Park et al. 2013).

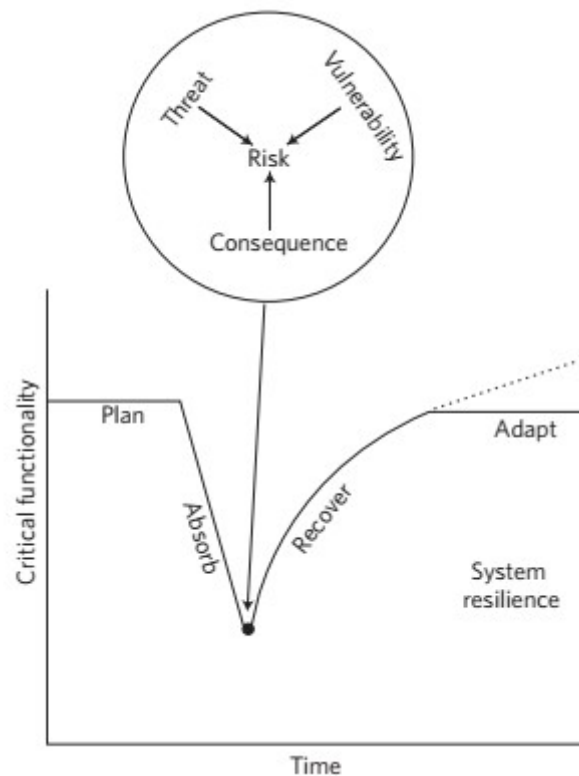
Ενώ ενισχύοντας την ανθεκτικότητα του συστήματος, ενισχύεται έμμεσα και η ασφάλεια. Για παράδειγμα ενισχύοντας το ανοσοποιητικό σύστημα, ενισχύεται η ανθεκτικότητα και το άτομο έχει λιγότερες πιθανότητες να αρρωστήσει, όταν εκτεθεί σε κάποια μόλυνση. Άρα ενισχύοντας την ανθεκτικότητα, μειώνεται ο κίνδυνος ανεπιθύμητων συνεπειών.



Σχήμα 1-2: Γραφική παράσταση της αύξησης των δημοσιευμένων εργασιών στις επιστήμες της οικολογίας, βιολογίας και φυσικών επιστημών (αριστερά) και μηχανική, μαθηματική, φυσική (δεξιά) (Park et al. 2013).

Στο άρθρο των Linkon et al. (2014b), «Changing the resilience paradigm», που προέκυψε ως αποτέλεσμα ενός workshop που έγινε το 2014 στο Βερολίνο, με θέμα τις μεθόδους της ανάλυσης διακινδύνευσης και ανθεκτικότητας στην καθοδήγηση των πολιτικών εξελίξεων σχετικά με την κλιματική αλλαγή, τονίζεται επίσης η αναγκαιότητα για εξέλιξη της ανάλυσης διακινδύνευσης προς την κατεύθυνση της ανθεκτικότητας. Σύμφωνα λοιπόν με τις απόψεις που διατυπώθηκαν οι μέθοδοι της ανάλυσης διακινδύνευσης αναγνωρίζουν τις τρωτότητες συγκεκριμένων τμημάτων ενός συστήματος σε σχέση με ένα γεγονός και ποσοτικοποιούν την απώλεια της λειτουργικότητας του σαν συνέπεια του γεγονότος αυτού. Στη συνέχεια ο στόχος της διαχείρισης είναι να ενισχύσει τα ευάλωτα τμήματα ώστε να αντέχουν τη συγκεκριμένη απειλή και έτσι να αποτραπεί η ολική αποτυχία του συστήματος.

Το συμπέρασμα και εδώ είναι ότι η πολυπλοκότητα των συστημάτων (κοινωνικά, τεχνικά, οικονομικά κ.α.) πλέον αυξάνει απαγορευτικά το κόστος και το χρόνο που απαιτείται. Επιπλέον οι αβεβαιότητες που σχετίζονται με τις τρωτότητες των συστημάτων αυτών σε συνδυασμό με την απροβλεπτότητα, δυσκολεύουν τη δυνατότητα διαχείρισης. Επομένως η ανάλυση διακινδύνευσης μπορεί να βοηθήσει να αποτραπούν οι συνέπειες προβλέψιμων απειλών, αλλά η ανθεκτικότητα του συστήματος πρέπει να ενισχυθεί ενδογενώς ώστε το σύστημα να μπορεί να ανακάμψει γρήγορα ή/και να προσαρμοστεί όταν συμβαίνουν απρόβλεπτα γεγονότα (σχήμα 1-3).

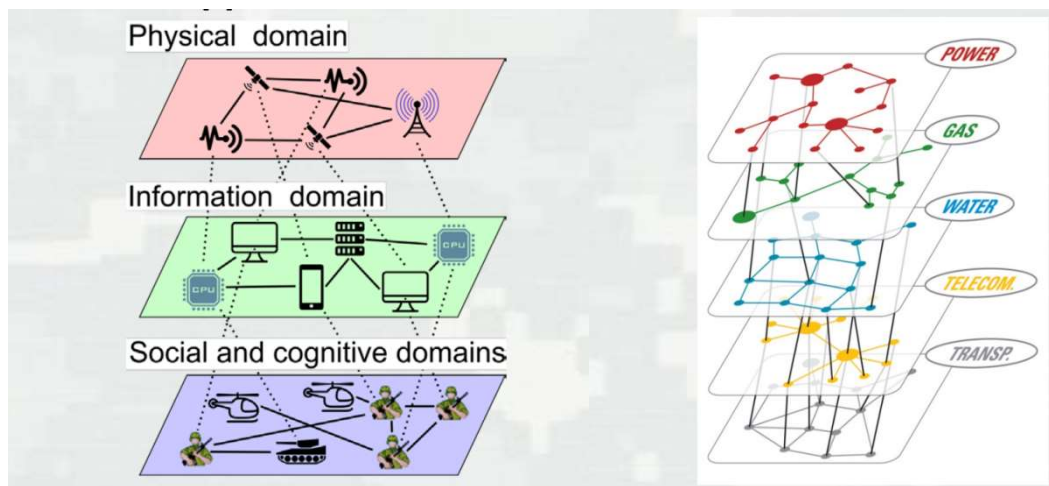


Σχήμα 1-3: Ένα πλαίσιο διαχείρισης ανθεκτικότητας περιλαμβάνει την ανάλυση κινδύνου ως κεντρικό στοιχείο. Η ανάλυση διακινδύνευσης εξαρτάται από τον χαρακτηρισμό, τις απειλές, τα τρωτά σημεία και τις συνέπειες της ανεπιθύμητων συμβάντων για τον προσδιορισμό της αναμενόμενης ζημίας της κρίσιμης λειτουργικότητας (Linkov et al.2014b).

Όπως τονίζουν, για καταστεί δυνατή η ανάπτυξη μιας τέτοιας δυνατότητας χρειάζονται: i. συγκεκριμένες μέθοδοι για τον ορισμό και τη μέτρηση της ανθεκτικότητας, ii. νέα μοντέλα και τεχνικές προσομοίωσης για ιδιαίτερα περίπλοκα συστήματα, iii. μεγαλύτερη ανάπτυξη της μηχανικής της ανθεκτικότητας καθώς και iv. νομοθετικές και κανονιστικές αλλαγές για την διαχείριση της ανθεκτικότητας σε επίπεδο λήψης αποφάσεων.

Η σύγχρονη ανάλυση διακινδύνευσης είναι μια ώριμη ειδικότητα, που αναπτύχθηκε για την κατανόηση και την αντιμετώπιση των κινδύνων ατυχημάτων και άρχισε να εφαρμόζεται πρώτα στον κλάδο της ασφάλισης για να καλύψει τις οικονομικές συνέπειες κάποιου ανεπιθύμητου συμβάντος ή τις απώλειες από ατύχημα (Dionne, 2013). Παράλληλα όμως από το Β' Παγκόσμιο Πόλεμο και μετά, ο τύπος και το πλαίσιο των συστημάτων που κατασκευάζουμε αλλάζει συνεχώς και μαζί και οι κίνδυνοι των ατυχημάτων. Η Levenson (2004) στο άρθρο της «A new accident model for engineering safer systems» αναφέρει έναν αριθμό τέτοιων αλλαγών που ωθούν στα άκρα τα μοντέλα ασφάλειας και διαχείρισης της διακινδύνευσης, όπως:

- Υψηλός ρυθμός τεχνολογικής προόδου
- Διαφορετική φύση των ατυχημάτων
- Νέοι κίνδυνοι
- Μικρή ανοχή σε μεμονωμένα ατυχήματα
- Μεγάλη πολυπλοκότητα και σύζευξη μεταξύ συστημάτων
- Περισσότερο περίπλοκη αλληλεπίδραση μεταξύ ανθρώπων και αυτοματισμών
- Νέο ρυθμιστικό πλαίσιο και διαφορετική αντίληψη της κοινωνίας για την ασφάλεια



Σχήμα 1-4: Δοο παραδείγματα που δείχνουν πόσο αλληλοσυνδεδεμένα είναι τα πραγματικά συστήματα, αριστερά ένα σύστημα στρατιωτικής επιχείρησης και δεξιά μια σύγχρονη υποδομή των δικτύων (Linkov et al, 2016).

Είναι επομένως φανερό ότι η ανάλυση διακινδύνευσης πρέπει να εξελιχθεί για να μπορέσει να αντιμετωπίσει υφιστάμενες και μελλοντικές προκλήσεις καθώς και για να μπορέσει να αντιμετωπίσει κινδύνους που απειλούν τα νέα, πιο περίπλοκα συστήματα που έχουν ήδη μπει στη ζωή μας και αυτά που έρχονται μπροστά (σχήμα 1-4). Η ψηφιοποίηση φέρνει ευκαιρίες αλλά μαζί της έρχεται η πολυπλοκότητα των κυβερνο-συστημάτων. Η κλιματική αλλαγή και τα ακραία φυσικά φαινόμενα αυξάνονται και απειλούν τις υποδομές μας· τρομοκρατικές και κακόβουλες απειλές εγείρουν σοβαρές ανησυχίες για την ασφάλεια των κοινωνιών και της ζωής μας. Αυτές οι πηγές κινδύνου είναι εξαιρετικά αβέβαιες και, επομένως, δύσκολο να περιγραφούν και να μοντελοποιηθούν ποσοτικά από τις συμβατικές μεθόδους ανάλυσης της διακινδύνευσης, που είναι βασισμένες στη γνώση που ήδη έχουμε από την εμπειρία

προηγούμενων ατυχημάτων και τις αβεβαιότητες που μπορούμε να αποδώσουμε. Από την άλλη πλευρά, η ανάλυση και διαχείριση της ανθεκτικότητας δίνει έμφαση και ενισχύει την ικανότητα των υποδομών, των ψηφιακών, κοινωνικών, περιβαλλοντικών και ανθρώπινων συστημάτων να αποδεχτούν την αβεβαιότητα και την αποτυχία με την προσδοκία ότι αυτή θα συμβεί, να προσαρμόζονται στις αλλαγές και να μπορούν να ανακάμψουν μετά από μια διαταραχή-χτύπημα (Anderies, Rodriguez, Janssen & Cifdaloz, 2007).

Παρόλα αυτά, υπάρχει σχέση μεταξύ διακινδύνευσης και ανθεκτικότητας και ποια είναι αυτή; Αυτό είναι ένα ερώτημα που συνοδεύει όλη αυτή την τάση για μετάβαση από την ανάλυση διακινδύνευσης στην ανάλυση ανθεκτικότητας για το κατά πόσο αυτές οι δύο έννοιες και μέθοδοι πρέπει να αντιμετωπίζονται ως ανταγωνιστικές, συγκρουόμενες ή συμπληρωματικές σε μια ολιστική προσέγγιση. Όπως καταλήγει ο Aven (2022) στο άρθρο του «On Some Foundational Issues Concerning the Relationship between Risk and Resilience», το σημαντικό είναι να κατανοηθεί η σχέση ανάμεσα στις έννοιες ώστε η αντίστοιχη διαχείρισή τους να είναι αποτελεσματική και προφανώς μια κοινή προσέγγιση θα μπορεί να έχει καλύτερα αποτελέσματα. Στρατηγικές που βασίζονται στην ανθεκτικότητα είναι απαραίτητες στην ανάλυση διακινδύνευσης, ενώ από την άλλη η ανάλυση διακινδύνευσης είναι σημαντικός παράγοντας στην ανάλυση και διαχείριση της ανθεκτικότητας (Aven & Thekdi, 2018).

Συνοψίζοντας, είναι φανερό ότι υπάρχει έντονη τάση και ανάγκη για μετατόπιση του βάρους και του τρόπου σκέψης από την κλασική ανάλυση διακινδύνευσης. Η ανάλυση ανθεκτικότητας έχει ήδη κερδίσει το έδαφος σε πολλούς τομείς και έχει πολλά να προσφέρει, ειδικά αναπτύσσοντας και ένα κοινό θεωρητικό και μετρητικό υπόβαθρο.

Στο επόμενο κεφάλαιο γίνεται μια ιστορική αναδρομή και προσέγγιση του όρου της ανθεκτικότητας. Γίνεται αναφορά σε βασικά χαρακτηριστικά της, όπως εξετάζονται στον οδηγό του IRGC για την ανθεκτικότητα και σύγκριση ανάμεσα στις δυο μεθόδους, ανάλυση ανθεκτικότητας και ανάλυση διακινδύνευσης.

1.2 Πηγές βιβλιογραφίας και δομή της εργασίας

Η κύρια πηγή βιβλιογραφίας για την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας ήταν η ηλεκτρονική βιβλιοθήκη του Ε.Α.Π. και η πρόσβαση μέσω αυτής σε άλλες βιβλιοθήκες και ηλεκτρονικές πηγές, το αποθετήριο διπλωματικών εργασιών και διδακτορικών διατριβών καθώς και επιστημονικές εργασίες, άρθρα και βιβλία που υπάρχουν ελεύθερα στο διαδίκτυο. Για την εφαρμογή της ανάλυσης ανθεκτικότητας σε εργαστήρια δοκιμών που αφορά και το θέμα της διπλωματικής εργασίας η βιβλιογραφία είναι περιορισμένη.

Στο πρώτο κεφάλαιο εξετάζεται η υφιστάμενη κατάσταση σε σχέση με την τάση και την ανάγκη για μετάβαση στην ανάλυση ανθεκτικότητας και τι έχει να προσφέρει περισσότερο ή διαφορετικό από την ανάλυση διακινδύνευσης.

Στο δεύτερο κεφάλαιο της παρούσας εργασίας γίνεται ιστορική αναδρομή της έννοιας της ανθεκτικότητας, πώς εξελίχθηκε μέσα σε διάφορα επιστημονικά πεδία και η σύνδεσή της με την ανάλυση της διακινδύνευσης. Γίνεται σύγκριση μεταξύ των δυο προσεγγίσεων. Εξετάζονται οι λόγοι για τους οποίους προέκυψε πλέον μια ανάγκη για διαφορετική διαχείριση των κινδύνων σε διάφορους τομείς, όχι μόνο μέσω της διακινδύνευσης.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύονται βασικά πλεονεκτήματα που μπορούν να προκύψουν από την εφαρμογή της ανάλυσης ανθεκτικότητας και τομείς στους οποίους η εφαρμογή της ανάλυσης ανθεκτικότητας έχει να προσφέρει σημαντικά οφέλη. Πλέον η ανάλυση της ανθεκτικότητας είναι απαίτηση κυβερνήσεων και οργανισμών, σε αρκετές περιπτώσεις. Στο κεφάλαιο τέσσερα αναφέρονται μεθοδολογίες που αναπτύχθηκαν από διάφορους ερευνητές για την εφαρμογή της ανάλυσης ανθεκτικότητας σε τομείς του ενδιαφέροντος τους και παρουσιάζονται συγκεκριμένα οι Μήτρες Ανθεκτικότητας.

Στο κεφάλαιο πέντε, εξετάζεται η ανάλυση της ανθεκτικότητας σε σχέση με διάφορες διαδικασίες των εργαστηρίων δοκιμών. Οι διαδικασίες ενός εργαστηρίου δοκιμών για τις οποίες εξετάζονται τα οφέλη από την ανάλυση ανθεκτικότητας, επιλέχθηκαν με γνώμονα το ISO 17025 και παρουσιάζεται μια μελέτη περίπτωσης από ένα νοσοκομειακό εργαστήριο στη Σαουδική Αραβία.

Στο κεφάλαιο έξι παρουσιάζονται τα συμπεράσματα και οι περιορισμοί της έρευνας στο πλαίσιο της διπλωματικής εργασίας και προτάσεις για μελλοντική έρευνα στην εφαρμογή της ανάλυσης ανθεκτικότητας.

Στο πλαίσιο της εργασίας, στη συνέχεια, χρησιμοποιούμε τον όρο «ανάλυση διακινδύνευσης» σε συμφωνία με τον αντίστοιχο ορισμό της Εταιρείας Ανάλυσης Διακινδύνευσης (SRA) συνολικά για όλους τους τομείς: αξιολόγηση της διακινδύνευσης, αναγνώριση της διακινδύνευσης, διαχείριση της διακινδύνευσης και πολιτικές σχετικές με τη διακινδύνευση (SRA, 2015). Για την ανθεκτικότητα χρησιμοποιείται ο ορισμός της Ακαδημίας Φυσικών Επιστημών των Η.Π.Α. Ο όρος «ανάλυση ανθεκτικότητας» περιλαμβάνει τους τομείς της αξιολόγησης της ανθεκτικότητας, αναγνώριση ανθεκτικότητας, επικοινωνία ανθεκτικότητας, διαχείριση ανθεκτικότητας και πολιτικές που σχετίζονται με την ανθεκτικότητα.

2 Ανάλυση Ανθεκτικότητας

«It is not necessary to predict all potential causes of a ship sinking to provide life boats and other emergency measures» (K. Marais et al.: Beyond normal accidents & High Reliability Organisations)

2.1 Η έννοια της Ανθεκτικότητας - Προσέγγιση και ιστορική αναδρομή

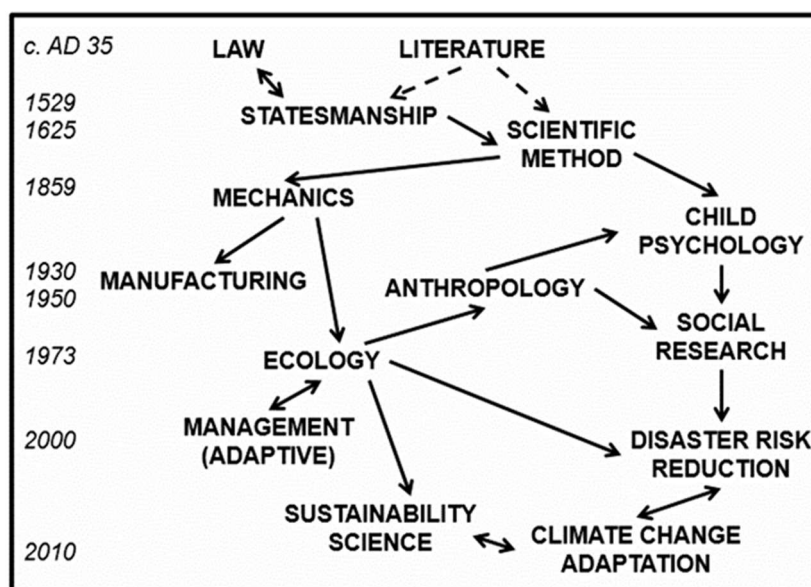
Ο όρος ανθεκτικότητα εμφανίζεται όλο και περισσότερο στη λογοτεχνία της έρευνας και την επιστημονική λογοτεχνία λόγω του ρόλου της στη μείωση των επιπτώσεων των κινδύνων που συνδέονται με την αναπόφευκτη διαταραχή της λειτουργίας σε ένα σύστημα (Hosseini, Barker & Ramirez-Marquez, 2016 και Henry & Ramirez-Marquez, 2012).

Ο όρος «resilience», που στα ελληνικά μεταφράζουμε ως ανθεκτικότητα, παρόλο που πολλοί πιστεύουν ότι επινοήθηκε από τον Holling στην εργασία του ορόσημο για την οικολογία των συστημάτων το 1973, έχει τις ρίζες του στα λατινικά και προέρχεται ετυμολογικά από τη λέξη «resilio» ή «resiliere» που σημαίνει «αναπήδηση»- εξ ου και η ιδέα της αναπήδησης (bouncing back). Ο όρος εμφανίζεται στα γραπτά των Σενέκα του πρεσβύτερου, Πλίνιος ο Πρεσβύτερος, Οβίδιος, Κικέρων και Λίβιος. Στη συλλογή του από φανταστικές νομικές υποθέσεις, ο Σενέκας χρησιμοποίησε τον όρο, με την έννοια του «να πηδήξει». Στις Μεταμορφώσεις (στ.12.480), ο Οβίδιος τον χρησιμοποίησε με την έννοια «για να συρρικνωθεί». Μέσα από μια πορεία σε νομικά και φιλολογικά κείμενα, μεταμορφώθηκε στις αρχές του δέκατου ένατου αιώνα, σε έναν τεχνικό όρο που χρησιμοποιήθηκε στη μηχανική για να προσδιορίσει τις ιδιότητες ευκαμψίας μηχανικών εξαρτημάτων. Από εκεί ο όρος επεκτάθηκε ανεξάρτητα και σε διάφορους άλλους τομείς συμπεριλαμβανομένης της οικολογίας, των κοινωνικών επιστημών, της φυσικής, των επιστημών υγείας, της ψυχολογίας, της οικονομίας, της πληροφορικής και τις επικοινωνίες (Alexander, 2013).

Θεωρητικά, η έννοια της ανθεκτικότητας μπορεί να εφαρμοστεί σε οποιοδήποτε φαινόμενο που συνεπάγεται διατάραξη σε ένα σύστημα (όπου σύστημα μπορεί να είναι μια οντότητα, μια κοινότητα, επιχείρηση, οργανισμός, κράτος, ένα οικολογικό ή μηχανικό σύστημα), είτε είναι φυσικό είτε κοινωνικό, είτε η διατάραξη περιλαμβάνει

καταστροφές ή απλώς ένα σκληρό χτύπημα με την κυριολεκτική ή μεταφορική έννοια. Μια τέτοια οντότητα μπορεί να είναι για παράδειγμα ένα άτομο (ή οικογένεια) που ξεπερνά ένα προσωπικό σοκ ή μια μεγάλη ταλαιπωρία και έτσι θεωρείται ανθεκτικό. Η ανθεκτικότητα αποτελεί θετικό γνώρισμα για το χαρακτήρα ενός ανθρώπου. Επίσης, κάθε φορά που οι αγορές ανακάμπτουν από πτώση του δείκτη στο χρηματιστήριο, χαρακτηρίζονται ως ανθεκτικές. Στρατιώτες που κερδίζουν μια μάχη από μια χαμένη θέση, πόλεις και κοινότητες που επιστρέφουν στην κανονικότητα μετά από μια φυσική καταστροφή θεωρούνται επίσης ανθεκτικά. Το σχήμα 2-1 είναι ένα χρονολογικό διάγραμμα της εξέλιξης του όρου ανθεκτικότητα, στο οποίο περιλαμβάνονται οι πιο σημαντικοί σύνδεσμοι.

Στο βιβλίο τους «The Science and Practice of Resilience», οι Linkon και Trump (2019) αναφέρουν ως δείγμα πρώιμης διαχείρισης της ανθεκτικότητας την περίπτωση



Σχήμα 2-1: Σχηματική αναπαράσταση της εξέλιξης του όρου ανθεκτικότητα (Alexander 2013).

της επιδημίας πανώλης στη Βενετία του Μεσαίωνα. Η πόλη αναγκάστηκε να αντιμετωπίσει τη συνεχιζόμενη απειλή πανώλης που παραλίγο να καταστρέψει τον ιστό της ευρωπαϊκής κοινωνίας και να σακατέψει την κυριαρχία της Βενετίας στο θαλάσσιο εμπόριο. Αυτή η πρώιμη σκέψη διαχείρισης της ανθεκτικότητας δεν γλύτωσε πλήρως τη βενετική κοινωνία από τις καταστροφικές συνέπειες των επιδημιών — αντίθετα, οι περιορισμοί της ιατρικής γνώσης και η απουσία ελέγχου των συνόρων επέτρεψε την εξάπλωση επιδημιών σε όλη την πρώιμη σύγχρονη εποχή — ωστόσο ώθησε τους

Βενετούς πολιτικούς να αρχίσουν να σκέφτονται τρόπους δράσης για να πολεμήσουν τη θανατηφόρα ασθένεια. Οι επιτυχίες στη μείωση των επιπτώσεων και της εξάπλωσης της ασθένειας σε όλη την πόλη και τους γύρω οικισμούς της, έκαναν τελικά τους πολιτικούς να υιοθετήσουν μια λογική διαχείρισης της ανθεκτικότητας και σε άλλα έργα, πάντα με γνώμονα την ενίσχυση της κοινωνικής, οικονομικής και πολιτιστικής ευρωστίας της Βενετίας εν μέσω ενός αβέβαιου μέλλοντος. (Vergano & Nunes, 2007 και Linkov, Fox-Lent, Keisler, Sala & Sieweke, 2014c). Όλα αυτά δείχνουν ότι παρόλο που η σκέψη και η ανάλυση της ανθεκτικότητας είναι δημοφιλείς έννοιες στις μέρες μας, οι ρίζες τους πηγαίνουν αιώνες πίσω, πριν την εφεύρεση του τύπου και την ανάπτυξη της ιατρικής πρακτικής, γιατί η έννοιας της ανθεκτικότητας έχει την κοινή λογική που είναι εγγενής στην επιθυμία για τη διατήρηση της ζωής.

Ο Holling (1973) πρώτος εισήγαγε τον όρο της ανθεκτικότητας στον σύγχρονο επιστημονικό κόσμο με τη θεμελιώδη εργασία του με θέμα «Ανθεκτικότητα και σταθερότητα των οικολογικών Συστημάτων» και την όρισε ως «την ιδιότητα ενός οικολογικού συστήματος, η οποία μετρά την επιμονή και την ικανότητά του να απορροφά αλλαγές και διαταραχές διατηρώντας τα αρχικά του είδη». Ο ορισμός αυτός είναι σημαντικός και αναφέρεται σχεδόν σε όλη τη σχετική βιβλιογραφία, περιλαμβάνει επίσης κρίσιμες πτυχές της ανθεκτικότητας όπως ορίζεται σήμερα, ενώ σηματοδότησε την αρχή μιας προληπτικής και διευρυμένης προσέγγισης για τη διασφάλιση της ευημερίας ενός συστήματος.

Ο ίδιος συγγραφέας επαναπροσδιόρισε την ανθεκτικότητα ως «την ικανότητα ενός συστήματος να διατηρήσει τη δομή και τα πρότυπα συμπεριφοράς του όταν συμβαίνει μια διατάραξη», δίνοντας μεγαλύτερη σημασία στη διατήρηση του συστήματος παρά στην ίδια τη διατάραξη. Ένας τρίτος ορισμός της ανθεκτικότητας, ο οποίος βασίζεται στους δύο προηγούμενους, δόθηκε πάλι από τον Holling το 1996 και δηλώνει ότι «η ανθεκτικότητα είναι η ρυθμιστική ικανότητα ή η ικανότητα ενός συστήματος να απορροφά διαταραχές ή το μέγεθος διαταραχής που μπορεί να απορροφηθεί προτού το σύστημα αλλάξει δομή αλλάζοντας τις μεταβλητές και τις διαδικασίες που ελέγχουν τη συμπεριφορά του". Η προληπτική ενσωμάτωση της ρυθμιστικής ικανότητας (ή ικανότητας ρύθμισης - buffer capacity), εν αναμονή αυξημένης πίεσης, δίνει στο σύστημα την ικανότητα απορρόφησης πιθανών κραδασμών. Επίσης το θέμα του

χρόνου εισάγεται επίσημα για πρώτη φορά στον ορισμό της ανθεκτικότητας (Francis & Bekera, 2014).

Η έννοια βέβαια της ανθεκτικότητας είναι πολυεπιστημονική και πολύπλευρη, προσαρμόσιμη σε διάφορες χρήσεις και πλαίσια, με διαφορετικούς τρόπους, όπως φαίνεται στο σχήμα 2-2. Έχει αναπτυχθεί σημαντικά από την εποχή που ο Holling διατύπωσε το βασικό ορισμό στο έργο του και ως εκ τούτου από τότε έχουν προταθεί πολλοί και διάφοροι ορισμοί ανάλογα με το επιστημονικό πεδίο. Το θεμελιώδες έργο του Holling έθεσε τις βάσεις και για άλλες ειδικές ερμηνείες της έννοιας της ανθεκτικότητας.

Σε πολλούς κλάδους της μηχανικής, και όχι μόνο, η έννοια της ανθεκτικότητας είναι στενά συνδεδεμένη με την έννοια της διακινδύνευσης. Οι απόψεις δυο καταξιωμένων ερευνητών σε θέματα διακινδύνευσης και αξιοπιστίας καταδεικνύουν αυτή την πολύ στενή σύνδεση μεταξύ τους. Ο Haimes (2009) στο άρθρο του «On the Definition of Resilience in Systems» ορίζει την ανθεκτικότητα ως την ικανότητα του συστήματος να αντέχει σε μια μεγάλη διαταραχή με αποδεκτή υποβάθμιση παραμέτρων και να μπορεί να ανακάμψει μέσα σε αποδεκτό χρόνο και σύνθετα κόστη και κινδύνους. Επίσης ορίζει ότι η ανθεκτικότητα ενός συστήματος είναι μια εκδήλωση/συνάρτηση των καταστάσεων του συστήματος, ένα διάνυσμα που εξαρτάται από το χρόνο. Ο Aven (2011) ορίζει την ανθεκτικότητα ελαφρώς διαφορετικά όσον αφορά στην αβεβαιότητα, σχετικά με το είδος και τη σοβαρότητα των συνεπειών που συνδέονται με την εμφάνιση ενός αναμενόμενου ή απρόβλεπτου ανατρεπτικού συμβάντος. Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα διαθέσιμα δεδομένα σε συγκεκριμένη χρονική στιγμή, μικρή πιθανότητα ενός συστήματος να κινδυνεύει λόγω του συμβάντος αντιστοιχεί σε υψηλή ανθεκτικότητα του συστήματος και αντίστροφα.

Οι Walker, Carpenter, Anderies, Abel, Cumming, Janssen, et al. (2002) επέκτειναν την έννοια της ανθεκτικότητας για να συμπεριλάβει την ικανότητα αυτο-οργάνωσης και προσαρμογής του συστήματος ενώ υφίστανται αλλαγές. Ο Woods (2006) ορίζει την ανθεκτικότητα ως την ικανότητα του συστήματος να δημιουργεί προνοητικότητα, διάκριση και υπεράσπιση έναντι του κινδύνου πριν από δυσμενείς συνέπειες.

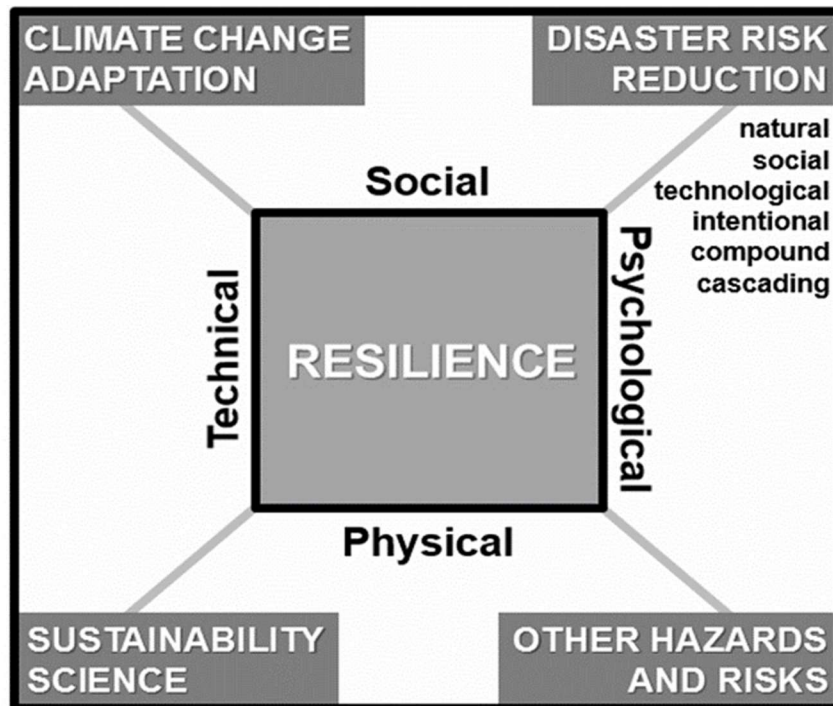
Ανάλογα με το επιστημονικό πεδίο ο ορισμός της ανθεκτικότητας είναι πιο συγκεκριμένος. Η έννοια της οργανωτικής ανθεκτικότητας έχει αναδυθεί για να

αντιμετωπίζει την ανάγκη των επιχειρήσεων να ανταποκριθούν σε ταχέως μεταβαλλόμενα επιχειρηματικά περιβάλλοντα. Η ανθεκτικότητα ενός οργανισμού ορίζεται από τον Sheffi (2005) ως η εγγενής ικανότητα διατήρησης ή ανάκτησης σταθερής κατάστασης, επιτρέποντάς του έτσι να συνεχίσει την κανονική λειτουργία μετά από ένα διαταρακτικό γεγονός ή παρουσία συνεχούς στρες. Οι Vogus & Sutcliffe (2007) όρισαν την οργανωτική ανθεκτικότητα ως την ικανότητα ενός οργανισμού να απορροφά την πίεση και να βελτιώνει τη λειτουργία του παρά την παρουσία αντιξοοτήτων.

Ο κοινωνικός τομέας εξετάζει τις ικανότητες ανθεκτικότητας των ατόμων, των ομάδων, της κοινότητας και του περιβάλλοντος. Ο Adger (2000) όρισε την κοινωνική ανθεκτικότητα ως την ικανότητα ομάδων ή κοινοτήτων να αντιμετωπίζουν εξωτερικές πιέσεις και διαταραχές ως αποτέλεσμα κοινωνικών, πολιτικών και περιβαλλοντικών αλλαγών». Το Ινστιτούτο Κοινοτικής και Περιφερειακής Ανθεκτικότητας (2009) όρισε την ανθεκτικότητα ως την ικανότητα πρόβλεψης του κινδύνου, περιορισμού των αρνητικών συνέπειών και γρήγορης ανάκαμψης μέσω της επιβίωσης, προσαρμοστικότητας και ανάπτυξης ενόψει των ταραχωδών αλλαγών.

Στον οικονομικό τομέα, οι Rose και Liao (2005) περιέγραψαν την οικονομική ανθεκτικότητα ως εγγενή ικανότητα και προσαρμοστική απόκριση που επιτρέπει στις επιχειρήσεις και τις περιφέρειες να αποφύγουν μέγιστες πιθανές απώλειες. Ένας πιο συγκεκριμένος ορισμός της οικονομικής ανθεκτικότητας παρουσιάζεται από τον Martin (2012) ως η ικανότητα αναδιάρθρωσης, δηλαδή προσαρμογής, της δομής του συστήματος (επιχειρήσεις, βιομηχανίες, τεχνολογίες, ιδρύματα) ώστε να διατηρηθεί μια αποδεκτή πορεία ανάπτυξης σε παραγωγή, απασχόληση και πλούτο σε βάθος χρόνου.

Στον τομέα της Μηχανικής, η American Society of Mechanical Engineers (ASME) (2009) όρισε την ανθεκτικότητα ως την ικανότητα ενός συστήματος να διατηρεί εξωτερικές και εσωτερικές διαταραχές χωρίς ασυνέχεια εκτέλεσης της λειτουργίας του συστήματος ή, εάν η λειτουργία είναι αποσυνδεδεμένη, για να ανακτήσει πλήρως τη λειτουργία γρήγορα. Οι Dinh et al. (2012) εντόπισαν έξι παράγοντες που ενισχύουν τη μηχανική ανθεκτικότητα βιομηχανικών διεργασιών, συμπεριλαμβανομένης της ελαχιστοποίησης των αποτυχιών, περιορισμός επιπτώσεων, διοικητικοί έλεγχοι/διαδικασίες, ευελιξία, δυνατότητα ελέγχου και έγκαιρη ανίχνευση.



Σχήμα 2-2: Σύνοψη της θέσης του όρου ανθεκτικότητα σε διάφορα επιστημονικά πεδία (Alexander, 2013).

Επιπλέον οι Bhamra, Dani & Burnard (2011) στην εργασία τους «Resiliene: the concept a literature review and future directions» συγκέντρωσαν μια ποικιλία ορισμών της ανθεκτικότητας ανάλογα με το πεδίο εφαρμογής, όπως φαίνεται στο σχήμα 2-3, που παρατίθεται.

Από τα παραπάνω φαίνεται ότι υπάρχουν πολλοί, διαφορετικοί ορισμοί και προσεγγίσεις για την έννοια της ανθεκτικότητας και προκύπτουν συνεχώς καινούργιοι από τους επιστήμονες διαφόρων κλάδων που ασχολούνται με το αντικείμενο αυτό, καταλήγοντας έτσι κάποιοι ορισμοί της ανθεκτικότητας να επικαλύπτονται μεταξύ τους αλλά και με άλλες έννοιες όπως η ευρωστία, η τρωτότητα, η ευελιξία, η επιβίωση και η ευκινησία (Hosseini, Barker & Ramirez-Marquez, 2016).

Ομοίως εκτός από τους πολλούς ορισμούς για την ανθεκτικότητα, υπάρχουν και αρκετές, διαφορετικές προσεγγίσεις για την ανάλυση της ανθεκτικότητας. Αυτό ενδεχομένως εμποδίζει την προτυποποίηση της ανάλυσης, την ανάπτυξη κανονιστικών και νομοθετικών ρυθμίσεων για τη διαχείρισης της ανθεκτικότητας και την μέτρηση της ανθεκτικότητας συστημάτων με κοινό και συγκρίσιμο τρόπο, γεγονός που θα ενίσχυε την ακόμα μεγαλύτερη εξέλιξη και εφαρμογή της στην ανάπτυξη ανθεκτικών

συστημάτων, στη σύγκριση στρατηγικών για την ενίσχυση της ανθεκτικότητας και την υποστήριξη αποφάσεων που σχετίζονται με την ανθεκτικότητα κατά τον σχεδιασμό και τη λειτουργία. Έτσι και οι επαγγελματίες θα έχουν στα χέρια τους ικανά εργαλεία για την εφαρμογή της διαχείρισης ανθεκτικότητας σε ακόμα περισσότερους τομείς στο μέλλον, όσο οι απαιτήσεις απομακρύνονται από την κλασική ανάλυση και διαχείρισης της διακινδύνευσης.

Οι Linkon et al. (2013), επισημαίνουν επίσης ότι η κατανόηση και η πρακτική εφαρμογή της ανθεκτικότητας απαιτεί μεγαλύτερη προσοχή στην ανάπτυξη διαδικασιών μέτρησης της ανθεκτικότητας, καθώς και σύγκριση των προσεγγίσεων της ανθεκτικότητας σε διάφορα πλαίσια για την εξαγωγή γενικευμένων αρχών. Σύμφωνα με τους ίδιους υπάρχουν τουλάχιστον δύο σημαντικά εμπόδια που έχουν περιορίσει την ανάπτυξη μετρητικών συστημάτων της ανθεκτικότητας για πολύπλοκα συστήματα. Το πρώτο από αυτά είναι η επιτυχία της ποσοτικής αξιολόγησης της διακινδύνευσης ως κυρίαρχο μοντέλο για το σχεδιασμό και τη διαχείριση συστημάτων. Στη διαχείριση υποδομών και καταστροφών, οι κυρίαρχες έννοιες της διακινδύνευσης έχουν επισκιάσει την κατανόηση της ανθεκτικότητας. Ωστόσο, η ανθεκτικότητα έχει ευρύτερο πεδίο εφαρμογής από τη διακινδύνευση και είναι απαραίτητη ειδικά όταν η διακινδύνευση δεν μπορεί να υπολογιστεί, όπως για παράδειγμα όταν οι επικίνδυνες συνθήκες είναι μια πλήρης έκπληξη ή όταν η ανάλυση διακινδύνευσης έχει αποδειχθεί αναποτελεσματική. Επομένως, η μέτρηση της ανθεκτικότητας πρέπει να προωθηθεί με νέες αναλυτικές προσεγγίσεις που είναι συμπληρωματικές, αλλά εύκολα διακριτές από εκείνες της ανάλυσης διακινδύνευσης. Το δεύτερο από αυτά τα εμπόδια είναι, όπως έχει ήδη επισημανθεί είναι ο κατακερματισμός της γνώσης της ανθεκτικότητας σε διάφορους κλάδους π.χ. υποδομές, περιβαλλοντική διαχείριση, κυβερνοασφάλεια κ.α. Έτσι είναι δύσκολο να εφαρμοστεί η ολιστική προσέγγιση της ανθεκτικότητας απέναντι στους κινδύνους, με την εφαρμογή μόνο σταδιακών αλλαγών απέναντι σε γνωστούς κινδύνους. Ένας τέτοιος στόχος απαιτεί μια γενικευμένη προσέγγιση που μπορεί να εφαρμόζεται σε μια ποικιλία συστημάτων και μπορεί να αξιοποιηθεί και από την πολιτική προστασία για την ενίσχυση της ανθεκτικότητας σε εθνικό επίπεδο και στη λήψη αποφάσεων.

2.2 Χαρακτηριστικά της ανθεκτικότητας

Για να αξιοποιήσουμε την έννοια της ανθεκτικότητας και κατ' επέκταση την ανάλυση ανθεκτικότητας στα επιστημονικά πεδία και τα συστήματα που μας ενδιαφέρουν πρέπει να κατανοήσουμε τόσο την έννοια της ανθεκτικότητας, καθώς και τις εγγενείς ιδιότητες που συνεισφέρουν στην ανθεκτικότητα τους συστήματος, που πρέπει να λάβουμε υπόψη μας κατά την ανάλυση ώστε να ενισχύσουμε και να προετοιμάσουμε το σύστημα να αντιμετωπίσει δυσμενείς και καταστροφικές καταστάσεις.

Οι Francis και Bekera (2014) στο πλαίσιο της εργασίας τους «A metric and frameworks for resilience analysis of engineered and infrastructure systems» συνόψισαν αρκετούς ορισμούς της ανθεκτικότητας μαζί με χαρακτηριστικά γνωρίσματα και βασικές ιδιότητες της, ανάλογα με την επιστήμη που εφαρμόζεται. Παρά τους διάφορους ορισμούς, αυτό που προκύπτει από ιδιότητες που δίνονται δίπλα σε κάθε ορισμό, είναι ότι εγγενή χαρακτηριστικά της ανθεκτικότητας είναι η ικανότητα προσδοκίας/προετοιμασίας για ένα απρόβλεπτο γεγονός, η ικανότητα απορρόφησης μέρους ή όλων των διαταραχών που μπορεί να προκαλέσει ένα γεγονός, η ικανότητα προσαρμογής σε μια νέα κατάσταση ισορροπίας και η δυνατότητα ανάκτησης της λειτουργικότητας. Οι ιδιότητες αυτές ταιριάζουν με τον ορισμό που δίνει το NAS των Η.Π.Α. Οι Linkov & Trump (2019) στο βιβλίο τους «The science and practice of resilience» αναφέρουν και στηρίζουν την ανάλυση τους κυρίως στον ορισμό που δίνει το NAS των Η.Π.Α. που ορίζει την ανθεκτικότητα ως «την ικανότητα να μπορείς να προετοιμαστείς και να οργανωθείς, να απορροφήσεις, να ανακάμψεις και να προσαρμοστείς σε δυσμενείς συνθήκες».

Με βάση αυτό τον ορισμό οι Conelly & al. (2016) στην εργασία τους «Resilience as the Feature, or Features of Resilience? Forthcoming» αναγνωρίζουν κάποια χαρακτηριστικά της ανθεκτικότητας που είναι κοινά σε επιστημονικά πεδία όπως κοινωνική οικολογία, ψυχολογία, οργανισμοί, μηχανική και υποδομές και σχετίζονται με τις χρονικές φάσεις της ανθεκτικότητας ενός συστήματος (πίνακας 2-4).

Αυτά είναι:

- *Κρίσιμες λειτουργίες* του συστήματος που πρέπει να γνωρίζουμε για να ενισχύσουμε την ανθεκτικότητά του,

- *Κατώτατα όρια*, εγγενή του συστήματος, που καθορίζουν κατά πόσο το σύστημα μπορεί να απορροφήσει ένα σοκ και χρειάζεται χρόνο να ανακάμψει ή να μεταβεί σε ένα διαφορετικό επίπεδο ισορροπίας,
- Ο *Χρόνος ανάκαμψης* είναι σημαντικός για την αξιολόγηση του συστήματος μετά από ένα σοκ, όταν δεν έχουν ξεπεραστεί τα κατώτατα όρια,
- Τέλος η *μνήμη και διαχείριση της προσαρμογής* περιγράφει το βαθμό αυτό-οργάνωσης του συστήματος και δίνει πληροφορίες για τα όρια και τις ευκαιρίες ανθεκτικότητας, σε ένα safe-to-fail τρόπο.

Ο Fiksel (2003) στην εργασία του «Designing resilient, sustainable systems» αναγνωρίζει τέσσερα κύρια στοιχεία του συστήματος που συνεισφέρουν στην ανθεκτικότητα. Αυτά είναι:

- ποικιλομορφία - ύπαρξη πολλαπλών μορφών και συμπεριφορών
- αποτελεσματικότητα - απόδοση με μέτρια κατανάλωση πόρων
- προσαρμοστικότητα - ευελιξία αλλαγής εν όψη νέων πιέσεων
- συνοχή - ύπαρξη συνδετικών σχέσεων και δεσμών μεταξύ των μεταβλητών και των στοιχείων του συστήματος.

Ο Fiksel (2003) παρουσίασε απλές γραφικές απεικονίσεις θερμοδυναμικών συστημάτων για να αποδώσει τους διαφορετικούς τύπους ανθεκτικότητας. Κάθε σύστημα έχει μια σταθερή κατάσταση, που ανταποκρίνεται στη χαμηλότερη δυναμική ενέργεια. Όταν το σύστημα υφίσταται κάποιο σοκ, η θέση αυτή θα μετακινηθεί κατά μήκος του οριζόντιου άξονα προς μια νέα θέση, σχήμα 2-5.

Το σύστημα **1** λειτουργεί μέσα σε ένα περιορισμένο πλαίσιο πιθανών καταστάσεων. Παρόλο που έχει σχεδιαστεί να είναι ανθεκτικό σε μικρές διαταραχές γύρω από την κατάσταση ισορροπίας και δεν μπορεί να αντιμετωπίσει μεγαλύτερες ή πιο καταστροφικές διαταραχές. Το σύστημα **2** έχει μεγαλύτερη ανθεκτικότητα στις διαταραχές, καθώς μπορεί να διατηρήσει τη βασική λειτουργία του σε μεγαλύτερο εύρος πιθανών καταστάσεων και σταδιακά να επιστέψει στην ισορροπία. Το σύστημα **3** μπορεί να αντέξει μεγαλύτερες διαταραχές, μεταπηδώντας τελικά σε μια νέα κατάσταση ισορροπίας, η οποία μπορεί να σημαίνει θεμελιώδεις αλλαγές στη δομή και τη λειτουργία του.

Author	Context	Definition
Bodin and Wiman (2004)	Physical systems	The speed at which a system returns to equilibrium after displacement, irrespective of oscillations indicates the elasticity (resilience)
Holling (1973)	Ecological systems	The measure of the persistence of systems and of the ability to absorb change and disturbance and still maintain the same relationships between state variables
Walker <i>et al.</i> (2004)	Ecological systems	The capacity of a system to absorb a disturbance and reorganise while undergoing change while retaining the same function, structure, identity and feedback
Gunderson (2000)	Ecological systems	The magnitude of disturbance that a system can absorb before its structure is redefined by changing the variables and processes that control behaviour
Tilman and Downing (1994)	Ecological systems	The speed at which a system returns to a single equilibrium point following a disruption
Walker <i>et al.</i> (2002)	Socio-ecological systems	The ability to maintain the functionality of a system when it is perturbed or the ability to maintain the elements required to renew or reorganise if a disturbance alters the structure of function of a system
Carpenter <i>et al.</i> (2001)	Socio-ecological systems	The magnitude of disturbance that a system can tolerate before it transitions into a different state that is controlled by a different set of processes
Luthans <i>et al.</i> (2006)	Psychology	The developable capacity to rebound from adversity
Bruneau <i>et al.</i> (2003)	Disaster management	The ability of social units to mitigate hazards, contain the effects of disasters when they occur and carry out recovery activities that minimise social disruption and mitigate the effects of future earthquakes
Paton <i>et al.</i> (2000)	Disaster management	Resilience describes an active process of self righting, learned resourcefulness and growth. The concept relates to the ability to function at a higher level psychologically given an individual's capabilities and previous experience
Coutu (2002)	Individual	Resilient individuals' possess three common characteristics. These include an acceptance of reality, a strong belief that life is meaningful and the ability to improvise
Hamel and Valikangas (2003)	Organisational	Resilience refers to the capacity to continuous reconstruction
Horne and Orr (1998)	Organisational	Resilience is the fundamental quality to respond productively to significant change that disrupts the expected pattern of event without introducing an extended period of regressive behaviour
McDonald (2006)	Organisational	Resilience conveys the properties of being able to adapt to the requirements of the environment and being able to manage the environments variability
Hollnagel <i>et al.</i> (2006)	Engineering	The ability to sense, recognise, adapt and absorb variations, changes, disturbances, disruptions and surprises

Σχήμα 2-3: Πίνακας ορισμών για την ανθεκτικότητα (Bhamra, Dani & Burnard, 2011).

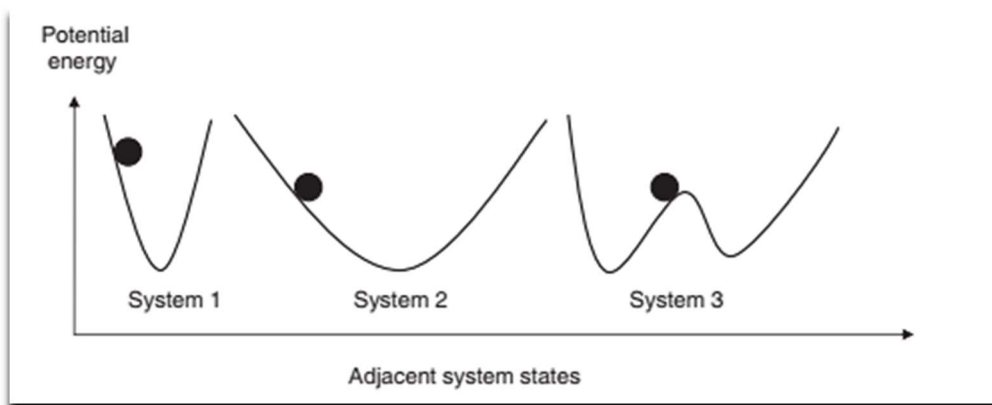
NAS phase of resilience	Resilience Feature	Description by Application Domain			
		Socio-Ecological	Psychological	Organizational	Engineering & Infrastructure
Plan	Critical function	A system function identified by stakeholders as an important dimension by which to assess system performance			
		Ecosystem services provided to society	Human psychological well-being	Goods and services provided to society	Services provided by physical and technical engineered systems
Absorb	Threshold	Intrinsic tolerance to stress or changes in conditions where exceeding a threshold perpetuates a regime shift			
		Used to identify natural breaks in scale	Based on sense of community and personal attributes	Linked to organizational adaptive capacity and to brittleness when close to threshold	Based on sensitivity of system functioning to changes in input variables
Recover	Time	Duration of degraded system performance			
		Emphasis on dynamics over time	Emphasis on time of disruption (i.e., developmental stage: childhood vs adulthood)	Emphasis on time until recovery	Emphasis on time until recovery
Adapt	Memory/Adaptive Management	Change in management approach or other responses in anticipation of or enabled by learning from previous disruptions, events, or experiences			
		Ecological memory guides how ecosystem reorganizes after a disruption, which is maintained if the system has high modularity	Human and social memory, can enhance (through learning) or diminish (e.g., post-traumatic stress) psychological resilience	Corporate memory of challenges posed to the organization and management that enable modification and building of responsiveness to events	Re-designing of engineering systems designs based on past and potential future stressors

Πίνακας 2-4: Γνωρίσματα της ανθεκτικότητας με βάση τον ορισμό Εθνικής Ακαδημίας Επιστημών των Η.Π.Α., που σχετίζονται με τις χρονικές φάσεις της ανθεκτικότητας ενός συστήματος (Connelly & al. (2016).

Από την άλλη οι Park et. al. (2013) στην εργασία τους «Integrating risk and resilience approaches to catastrophe management in engineering systems» σχετικά με το σχεδιασμό συστημάτων αναφέρουν ότι η ανάλυση ανθεκτικότητας απαιτεί:

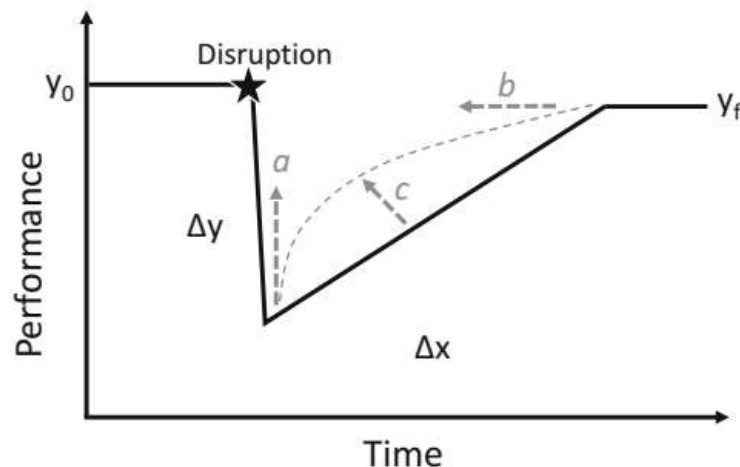
1. Συνεχή προσοχή, δηλαδή η ανάλυση ανθεκτικότητας χρειάζεται διαρκή αυτοσχεδιασμό, ευελιξία, προσαρμογή και καινοτομία και γρήγορη ενσωμάτωση των αλλαγών μέσω της νέας γνώσης. Αυτό μπορεί να περιγραφεί σαν ένας κύκλος με τουλάχιστον τέσσερα στοιχεία: *i.* διαίσθηση, *ii.* πρόβλεψη, *iii.* προσαρμογή και *iv.* γνώση που αποκτιέται.

2. Αποδοχή της ατέλειας. Αν θέλουμε να σκεφτόμαστε με όρους ανθεκτικότητας πρέπει να λαμβάνουμε υπόψη μας όλους τους τύπους εγγενούς αβεβαιότητας, συμπεριλαμβανομένης της εσωτερικής μεταβλητότητας και δυναμικής του συστήματος, εξωτερικούς παράγοντες και πιθανές διαταραχές. Βέβαια η γνώση γύρω από ένα περίπλοκο σύστημα και η μελλοντική δυναμική του δεν μπορεί ποτέ να είναι πλήρης και απόλυτη. Για παράδειγμα οι μηχανικοί είναι εκπαιδευμένοι να σχεδιάζουν συστήματα με γνώμονα τη βελτιστοποίηση και απρόθυμοι να διαχειριστούν την εγγενή ατέλεια ενός περίπλοκου συστήματος. Παρ' όλα αυτά αντιμετωπίζοντας ένα περίπλοκο σύστημα ως άκαμπτο, αυτό μπορεί να ενισχύσει την τρωτότητά του σε αναπόφευκτες διαταραχές.
3. Μετακίνηση από τις κλασικές πρακτικές σχεδιασμού συστημάτων. Σε ένα «safe-fail» σύστημα έχουν σχεδιαστεί και ενσωματωθεί ελεγχόμενοι τρόποι βλάβης/αποτυχίας. Άρα στα χαρακτηριστικά γνωρίσματα ενός τέτοιου συστήματος περιλαμβάνονται εν γένει η αλλαγή και η απροβλεπτότητα. Ενώ σε ένα «fail-safe» σχεδιασμό συστήματος κύρια γνωρίσματα είναι η αποδοτικότητα, η σταθερότητα και η προβλεψιμότητα. Παρόλο που η λογική του «fail-safe» κυριαρχεί, η αποτυχία σε αυτές τις περιπτώσεις μπορεί να είναι «ψαθυρή» και καταστροφική. Επομένως φεύγοντας από τις κλασικές πρακτικές σχεδιασμού συστημάτων και ενσωματώνοντας την ανθεκτικότητα, μπορούμε να κάνουμε ένα περίπλοκο σύστημα πιο ανθεκτικό, ακόμα και αν δεν μπορούμε να γνωρίζουμε όλους τους κινδύνους που μπορεί να απειλήσουν το σύστημα αυτό.



Σχήμα 2-5: Τροχιές ανάκαμψης συστημάτων (Fiskel, 2003).

Παρατηρούμε επομένως ότι η ανθεκτικότητα ως ιδιότητα προϋποθέτει διαφορετικά χαρακτηριστικά για το υπό μελέτη σύστημα, αποδεχόμενη την ατέλεια οποιουδήποτε συστήματος και θεωρώντας δεδομένη την προσαρμογή, ακόμα και αν αυτό σημαίνει μετάβαση σε μια διαφορετική αρχική κατάσταση ισορροπίας.



Σχήμα 2-6: Απόδοση συστήματος κατά τη διάρκεια του κύκλου συμβάντος. Μετά από διακοπή, η αρχική απόδοση (y_0) υφίσταται κάποια αλλαγή (Δy) αλλά στη συνέχεια επανέρχεται σε μια νέα σταθερή κατάσταση (y_f) απόδοσης. Η χρονική περίοδος ανάκαμψης μετά τη διαταραχή (Δx) είναι ένα κρίσιμο συστατικό της ανθεκτικότητας. Η ανθεκτικότητα μπορεί να βελτιωθεί μειώνοντας το μέγεθος της διαταραχής (a), μειώνοντας το χρόνο ανάκαμψης (β) ή αλλάζοντας το σχήμα της καμπύλης ανάκτησης (γ) (Fox-Lent & Linkov, 2018).

Το σχήμα 2-6 περιγράφει τη λειτουργία ενός γενικού συστήματος με την πάροδο του χρόνου. Η αρχική οριζόντια γραμμή περιγράφει τις συνήθεις εργασίες. Στο σημείο που συμβαίνει ένα ανατρεπτικό γεγονός, η λειτουργία του συστήματος μειώνεται γρήγορα και, στη συνέχεια, μόλις περάσει η απειλή, αρχίζει η φάση της ανάκαμψης. Το επίπεδο λειτουργικότητας που ανακτάται εξαρτάται από αρκετούς παράγοντες. Αποτελεσματική διαχείριση συστήματος θα πρέπει να στοχεύει στην ευθυγράμμιση ολόκληρης αυτής της καμπύλης, εξαλείφοντας τη λεκάνη διαταραχής, το οποίο θα έδειχνε ότι η απόδοση παραμένει σταθερή παρά το συμβάν. Η ανάλυση διακινδύνευσης δεν προσφέρεται για αυτόν τον στόχο διαχείρισης, διότι στην πραγματικότητα περιγράφει μόνο τη δυνατότητα αρχικής απώλειας ($\max \Delta y$). Η ανάλυση διακινδύνευσης δεν εξετάζει την επάρκεια της αρχικής λειτουργικότητας (y_0) και στο πόσο μπορεί να βοηθήσει στο χρόνο που χρειάζεται το σύστημα για να ανακάμψει (Δx) και εν αναμονή του επόμενου γεγονότος (y_f). Η ανάλυση διακινδύνευσης περιγράφει μόνο την παθητική τρωτότητα ή τις επιπτώσεις της στο σύστημα. Η ανάλυση

διακινδύνευσης δεν είναι αρκετά ευρεία για να καλύψει τις ανάγκες των σημερινών κοινωνιών για ανθεκτικότητα από μόνη της. Αποτελεί όμως σημαντικό στοιχείο στην ανάλυση της ανθεκτικότητας (Linkov et al, 2014b).

2.2.1 Η αβεβαιότητα αντί για την πιθανότητα

Οι περισσότερες μελέτες αναλύουν την ανθεκτικότητα σε σχέση με καλά καθορισμένους στόχους και διαταραχές, ανάλογα με το σύστημα που εξετάζεται. Ο Haimes (2009) θεωρεί την ανθεκτικότητα εγγενή και βασική λειτουργία της κατάστασης ενός συστήματος και του περιβάλλοντός του (π.χ. φυσικοί κίνδυνοι έναντι σκόπιμων επιθέσεων). Ο Aven (2022) παρουσιάζει μια εναλλακτική προσέγγιση, όπου ορίζει τη διακινδύνευση, την ανθεκτικότητα και την τρωτότητα ενσωματώνοντας τον παράγοντα της αβεβαιότητας και στους τρεις ορισμούς, ενώ είναι γενικά υποστηρικτής της άποψης ότι η ανάλυση ανθεκτικότητας μπορεί να επωφεληθεί από την ανάλυση διακινδύνευσης.

Το εναλλακτικό αυτό πλαίσιο παρουσιάζεται στην εργασία του «On some recent definitions and analysis frameworks for Risk, Vulnerability and Resilience» με ένα απλό παράδειγμα περίπτωσης συνοψίζεται που ως εξής:

Μπορεί να συμβεί ένα γεγονός A και, ανάλογα με τη λειτουργία ή όχι του συστήματος S , θα μπορούσε να προκληθεί θάνατος. Αυτές οι πληροφορίες είναι το μόνο που χρειαζόμαστε για να εξηγήσουμε τι εννοούμε διακινδύνευση, ευαλωτότητα και ανθεκτικότητα.

- **Διακινδύνευση**

Το συμβάν A μπορεί να συμβεί ή να μην συμβεί και οι συνέπειες όσον αφορά την απώλεια ζωών είναι C . Δεν ξέρουμε αν θα συμβεί το A και αν συμβεί, τότε, και δεν ξέρουμε την τιμή του C . Είναι άγνωστα και κατά συνέπεια υπόκειται σε αβεβαιότητες. Η ανάλυση διακινδύνευσης συνυπολογίζει αυτά τα δεδομένα:

- (i) Γεγονότα A και οι συνέπειες αυτών των γεγονότων C , και
- (ii) Οι σχετικές αβεβαιότητες U (θα συμβεί A και τότε και ποια τιμή θα πάρει το C);).

Αυτό ορίζεται ως προοπτική διακινδύνευσης (A, C, U) . Εξ 'αυτού μπορούμε να ορίσουμε τη διακινδύνευση που σχετίζεται με μια δραστηριότητα, ως:

Αβεβαιότητα και σοβαρότητα των Συνεπειών μιας Δραστηριότητας.

Εδώ η σοβαρότητα αναφέρεται στην ένταση, το μέγεθος, την έκταση, το εύρος και άλλα πιθανά μέτρα μεγέθους, και είναι σε σχέση με κάτι που εκτιμούν οι άνθρωποι (ζωές, περιβάλλον, χρήματα κ.λπ.). Οι αβεβαιότητες σχετίζονται με τα γεγονότα και τις συνέπειες. Η αβεβαιότητα εδώ σημαίνει απλώς ότι δεν ξέρουμε αν το γεγονός θα συμβεί ή όχι και ποιες θα είναι οι συνέπειες εάν συμβεί. Επομένως, η διακινδύνευση υπάρχει αντικειμενικά, δεν εξαρτάται από τις γνώσεις μας για αυτά τα γεγονότα, απλώς αντικατοπτρίζει ότι το μέλλον δεν μπορεί να προβλεφθεί με ακρίβεια).

- **Τρωτότητα**

Η τρωτότητα ορίζεται ακολουθώντας την ίδια λογική με τη διακινδύνευση ως:

Τρωτότητα = $(C, U | A)$.

Έτσι η τρωτότητα ερμηνεύεται ως αβεβαιότητα και σοβαρότητα των συνεπειών του γεγονότος, δεδομένου ότι το γεγονός A συμβαίνει.

- **Ανθεκτικότητα**

Σύμφωνα με τον Aven η ανθεκτικότητα συνδέεται στενά με την έννοια της ευρωστίας. Η βασική διαφορά είναι το εναρκτήριο συμβάν A . Η ευρωστία και η τρωτότητα σχετίζονται με τις συνέπειες και αβεβαιότητες για συγκεκριμένο συμβάν A , ενώ η ανθεκτικότητα είναι ανοιχτή για κάθε τύπο συμβάντος A , συμπεριλαμβανομένων και των απρόβλεπτων γεγονότων. Για παράδειγμα μπορεί να αρρωστήσουμε λόγω διαφορετικών τύπων ιών. Μπορεί επίσης να δημιουργηθούν νέοι τύποι ιών. Με τα δεδομένα αυτά η ανθεκτικότητα ορίζεται ως:

Ανθεκτικότητα = $(C, U | \text{οποιοδήποτε συμβάν } A, \text{ συμπεριλαμβανομένων των νέων τύπων } A)$,

δηλαδή η ανθεκτικότητα μπορεί να ερμηνευθεί ως η αβεβαιότητα σχετικά με και η σοβαρότητα των συνεπειών ενός συμβάντος, δεδομένης της εμφάνισης οποιουδήποτε συμβάντος A . Στην πράξη βέβαια πρέπει πάντα να ορίζουμε κάποια όρια για το τί είδους συμβάντα θα συμπεριληφθούν.

- **Μέτρηση της διακινδύνευσης, της τρωτότητας και της ανθεκτικότητας**

Η ποσοτικοποίηση της διακινδύνευσης, της ανθεκτικότητας και της τρωτότητας με τη χρήση πιθανοτήτων, σύμφωνα με το ορισμό του Haimes (2009), στηρίζεται σε κάποια βασική γνώση που περιλαμβάνει υποθέσεις και προϋποθέσεις. Αυτή η γνώση μπορεί να είναι φτωχή ή/και να βασίζεται σε λάθος υποθέσεις. Μια υποκειμενική πιθανότητα

$P(A) = P(A|K)$ ερμηνεύεται ως μια πιθανότητα βασισμένη στη γνώση αναφορικά με ένα πρότυπο που εκφράζει την αβεβαιότητα των αναλυτών (βαθμός πεποίθησης) σχετικά με την εμφάνιση του γεγονότος A , δεδομένης της βασικής γνώσης K . Για παράδειγμα, αν η πιθανότητα ισούται με 0,1, αυτό σημαίνει ότι η αβεβαιότητα των αξιολογητών για το συμβάν A , μπορεί να συγκριθεί με την αβεβαιότητα να τραβήξεις μια τυχαία μπάλα από ένα κουτί που περιέχει 10 μπάλες

Η πιθανότητα εισάγεται ως εργαλείο για να περιγράψει τις αβεβαιότητες, αλλά χρειάζεται να δούμε πέρα από τις πιθανότητες για να αποτυπωθεί πλήρως η «διάσταση της έκπληξης». Μπορούμε βέβαια να αποδώσουμε υποκειμενικές πιθανότητες που να αντικατοπτρίζουν το βαθμό της πεποίθησής μας, αλλά όπως έχει ήδη αναφερθεί το υπόβαθρο της γνώσης μας, στο οποίο βασίζονται αυτές οι πιθανότητες μπορεί να είναι φτωχό ή να «κρύβει» αβεβαιότητες. Αυτό που απασχολεί είναι η απόδοση του συστήματος όχι μόνο στην περίπτωση ενός συγκεκριμένου συμβάντος A , αλλά και στην περίπτωση απρόβλεπτων γεγονότων. Δεν μπορεί να γίνει σχεδιασμός για όλα τα είδη σεναρίων και χωρίς να ενσωματώνεται η διάσταση της αβεβαιότητας. Ποιος είναι ο τύπος των γεγονότων A που πρέπει να συμπεριληφθεί στην αξιολόγηση της ανθεκτικότητας; Αυτό είναι πάντα ένα ερωτηματικό, καθώς φυσικά τα απρόβλεπτα γεγονότα μπορεί να είναι πολλά.

Συνδυάζοντας τα δεδομένα από την παραπάνω ανάλυση οι Aven et al. (2018) καταλήγουν στον παρακάτω τύπο που δείχνει ότι η ανάλυση διακινδύνευσης και η ανάλυση ανθεκτικότητας είναι αλληλένδετες:

$$\text{Risk} = (A, C, U) = (A, U) + (C, U/A)$$

$$= \text{'occurrence of events, and associated uncertainties'} + \text{resilience}$$

δείχνοντας ξεκάθαρα ότι η ανθεκτικότητα είναι μέρος της έννοιας της διακινδύνευσης και ως εκ τούτου η ανάλυση ανθεκτικότητας μπορεί να θεωρηθεί ως στοιχείο της ανάλυσης διακινδύνευσης. Το σύμβολο «+» εδώ δεν πρέπει να είναι ερμηνεύεται ως άθροισμα, όπως στα μαθηματικά, αλλά ως σύμβολο για το συνδυασμό των δύο στοιχείων. Η προηγούμενη ενότητα υποστηρίζει ότι απαιτούνται εκτιμήσεις διακινδύνευσης σε σχέση με την ανάλυση ανθεκτικότητας με διάφορους τρόπους. Εκφράζοντας την ανθεκτικότητα ως $(C, U|A)$, οι αβεβαιότητες που σχετίζονται με τα γεγονότα A που θα συμβούν, πρέπει να αντιμετωπιστούν με κάποιο τρόπο προκειμένου

να διεξαχθεί με νόημα η ανάλυση ανθεκτικότητας. Το ευρύτερο πλαίσιο που περιγράφεται παραπάνω επιτρέπει μια πιο ολιστική προσέγγιση που θεωρεί την ανάλυση ανθεκτικότητας και διακινδύνευσης συμπληρωματικές δραστηριότητες που στοχεύουν στη διαχείριση της απόδοσης του συστήματος (Aven & Thekdi 2018).

2.3 Η ανάλυση ανθεκτικότητας και η ανάλυση διακινδύνευσης συγκριτικά

Στην προηγούμενη ενότητα είδαμε κάποια γνωρίσματα της ανθεκτικότητας ως έννοια καθώς και γνωρίσματα που κάνουν ένα σύστημα ανθεκτικό και επομένως μπορούμε να τα αναγνωρίσουμε και να τα ενισχύσουμε. Υπάρχουν πολλοί που υποστηρίζουν ότι η ανάλυση ανθεκτικότητας θα πρέπει να είναι διαφορετική από την ανάλυση διακινδύνευσης, άλλοι που υποστηρίζουν είναι η μια είναι μέρος της άλλης και αυτοί που θεωρούν ότι η ανάλυση ανθεκτικότητας και η ανάλυση διακινδύνευσης πρέπει και είναι αποτελεσματικότερο να αντιμετωπίζονται συμπληρωματικά. Τα τελευταία χρόνια, όπως αναφέρθηκε ήδη, υπάρχει έντονη τάση για μετάβαση από τη μια προσέγγιση στην άλλη. Ο Aven (2019) στο άρθρο του «The call for a shift from risk to resilience» θέτει το ερώτημα: «Πρέπει να αντικατασταθεί η ανάλυση διακινδύνευσης ή είναι περισσότερο θέμα προτεραιοτήτων; Πρέπει μήπως να δοθεί περισσότερο βάρος στην ανθεκτικότητα;» Αυτή η τάση υπογραμμίζει την ανάγκη που υπάρχει να αναπτυχθεί ακόμα περισσότερο η ανάλυση ανθεκτικότητας και γενικότερα η επιστήμη της ανθεκτικότητας καθώς υπάρχουν πλέον ανάγκες που δεν καλύπτονται επαρκώς από την ανάλυση και διαχείριση της διακινδύνευσης.

Οι Park et. al. (2013) στο άρθρο τους «Integrating risk and resilience approaches to catastrophe management in engineering systems» υποστηρίζουν ότι τόσο η ανάλυση διακινδύνευσης όσο και η ανάλυση ανθεκτικότητας είναι απαραίτητες για κάθε σύστημα και έχουν εφαρμογή σε διαφορετικές περιστάσεις. Αναφέρουν την ανάγκη η ανάλυση ανθεκτικότητας να εξελιχθεί ακόμα περισσότερο, κάτι που τονίζουν όλοι οι ερευνητές που ασχολούνται με το θέμα της ανθεκτικότητας, ώστε να μπορέσουμε να κατανοήσουμε τα μοναδικά πλεονεκτήματα που έχει να μας προσφέρει. Στο σχήμα 2-7 παρουσιάζεται μια σύγκριση των δυο προσεγγίσεων.

Οι Steen και Aven (2011) στο άρθρο τους «*A risk perspective suitable for resilience engineering*» αναφερόμενοι στο θέμα της ασφάλειας στα κοινωνικό-τεχνολογικά συστήματα, επισημαίνουν την αδυναμία την κλασικής ανάλυσης διακινδύνευσης να καλύψει τις απαιτήσεις, καθώς βασίζεται σε εκ των υστέρων γνώση, αναφορές αποτυχιών και εκτιμήσεις κινδύνου που υπολογίζουν πιθανότητες που βασίζονται σε ιστορικά δεδομένα. Οι υποστηρικτές της διαχείρισης της ανθεκτικότητας θεωρούν ότι η συμβατική διαχείριση ασφάλειας και διακινδύνευσης είναι ανεπαρκής για τα σημερινά συστήματα. Είναι απλό γεγονός ότι ενώ τα τεχνολογικά και κοινωνικοτεχνικά συστήματα έχουν αναπτυχθεί ταχύτατα και συνεχίζουν να αναπτύσσονται, οι μέθοδοι για την αντιμετώπιση των ζητημάτων ασφάλειας δεν έχουν εξελιχθεί το ίδιο γρήγορα.

	Risk Management	Resilience
Design principles	Preservation of status quo, that is, avoid transformative change; minimize risk of failures	Adaptation to changing conditions without permanent loss of function (e.g., changing paths, if not destinations) Acknowledgment of unknown hazards. Intentional failure may be allowed at subsystem level to reduce the possibility of permanent loss of function in larger system
Design objectives	Minimization of probability of failure, albeit with rare catastrophic consequences and long recovery times	Minimization of consequences of failure, albeit with more frequent failures and rapid recovery times
Design strategies	Armoring, strengthening, oversizing, resistance, redundancy, isolation	Diversity, adaptability, cohesion, flexibility, renewability, regrowth, innovation, transformation ^(61,62)
Relation to sustainability⁽⁶³⁾	Security, longevity	Recovery, renewal, innovation
Mechanisms of coordinating response	Centralized, hierarchical decision structures coordinate efforts according to response plans	Decentralized, autonomous agents respond to local conditions
Modes of analysis	Quantitative (probability-based) and semiquantitative (scenario-based) analysis of identified hazards ⁽⁶⁴⁾ in context of utility theory (i.e., costs & benefits)	Possible consequence analysis of involving scenarios with unidentified causes

Σχήμα 2-7: Σύγκριση των προσεγγίσεων της διακινδύνευσης και της ανθεκτικότητας (Park et. al., 2013).

Ως εκ τούτου, υπάρχει σαφής ανάγκη για νέες προσεγγίσεις για την αξιολόγηση της διακινδύνευσης και τη διαχείριση της ασφάλειας και η διαχείριση της ανθεκτικότητας προτείνεται ως λύση για την κάλυψη αυτής της ανάγκης. Ο Hollnagel (2007) στην εργασία του «*What is resilience engineering*» παρουσιάζει μια εξαιρετική περίληψη της προσέγγισης της διαχείρισης την ανθεκτικότητας που διαφοροποιείται από την κλασική ανάλυση και διαχείριση της διακινδύνευσης. Ορισμένα από τα σημεία αυτά είναι τα εξής:

- Πολλές ανεπιθύμητες καταστάσεις δεν μπορούν να αποδοθούν σε βλάβη ή δυσλειτουργία εξαρτημάτων και λειτουργιών του συστήματος. Γίνονται καλύτερα κατανοητά ως αποτέλεσμα απροσδόκητων συνδυασμών στη μεταβλητότητα της κανονικής λειτουργίας.
- Η αποτελεσματική διαχείριση της ασφάλειας δεν μπορεί να βασίζεται σε εκ των υστέρων γνώση, ούτε σε πίνακα σφαλμάτων και στον υπολογισμό των πιθανοτήτων αποτυχίας. Η διαχείριση της ασφάλειας δεν πρέπει να στηρίζεται μόνο στην αντίδραση σε κάτι, αλλά και στην πρωτοβουλία.
- Η συμβατική άποψη για τη διαχείριση της διακινδύνευσης θεωρεί την κάθε είδους μεταβλητότητα απόδοσης, ως απειλή και ως κάτι που πρέπει να αποφεύγεται. Το αποτέλεσμα είναι συχνά η χρήση περιοριστικών μέσων (ιδίως για τη μεταβλητότητα της ανθρώπινης απόδοσης) όπως τα εμπόδια, οι συζεύξεις, οι κανόνες, οι διαδικασίες και η αυτοματοποίηση.
- Στη διαχείριση της ανθεκτικότητας, η μεταβλητότητα της απόδοσης θεωρείται φυσιολογικό και απαραίτητο κομμάτι. Είναι η πηγή τόσο θετικών όσο και αρνητικών αποτελεσμάτων. Η ασφάλεια δεν μπορεί να επιτευχθεί με περιορισμό της μεταβλητότητας απόδοσης, καθώς αυτό θα επηρέαζε επίσης την ικανότητα για την επίτευξη των επιθυμητών αποτελεσμάτων. Η λύση αντίθετα είναι, η απόσβεση της μεταβλητότητας που μπορεί να οδηγήσει σε αρνητικά αποτελέσματα και ταυτόχρονα η ενίσχυση της μεταβλητότητας που μπορεί να οδηγήσει σε θετικά αποτελέσματα.

Για να είναι επομένως ανθεκτικό, ένα σύστημα ή ένας οργανισμός πρέπει να έχει τα εξής χαρακτηριστικά: την ικανότητα

- να ανταποκρίνεται σε συνηθισμένες και ασυνήθιστες απειλές με δυναμικό και ευέλικτο τρόπο.
- να παρακολουθεί διαρκώς τι συμβαίνει και πως το ίδιο συμπεριφέρεται.
- να προβλέπει/ προλαμβάνει τόσο τις απειλές όσο και για τις ευκαιρίες.
- να μαθαίνει από τις εμπειρίες του.

Από τα παραπάνω, καταλήγει ο Hollnagel (2007), γίνεται φανερό ότι αυτή η πρόβλεψη/πρόληψη για το τι μπορεί να συμβεί, είναι πέρα από την συμβατική ανάλυση διακινδύνευσης, ειδικά στα κοινωνικό-τεχνικά συστήματα. Η κλασική ανάλυση διακινδύνευσης, σύμφωνα πάντα με τον Hollnagel, θεωρεί ότι ο τρόπος που

λειτουργούν τα συστήματα αυτά είναι απόλυτα γνωστός, ότι είναι εύκολο να περιγραφούν και ότι το σύστημα δεν αλλάζει ενώ περιγράφεται.

Οι Aven και Renn (2018) προτείνουν διαφορετικές προσεγγίσεις της διακινδύνευσης που εξυπηρετούν καλύτερα τη διαχείριση της ανθεκτικότητας, στηρίζοντας έτσι την τάση που υπάρχει για μετάβαση από την ανάλυση διακινδύνευσης στην ανάλυση ανθεκτικότητας και την ανάγκη να ενισχυθεί η ανάλυση ανθεκτικότητας στην πρακτική εφαρμογή της.

Οι Linkov, Trump & Fox-Lent (2016) στο άρθρο τους «Resilience: Approaches to risk analysis and Governance» που εντάσσεται στον Οδηγό Πόρων για την Ανθεκτικότητα που εξέδωσε το IRGC, παρουσιάζουν μια σύγκριση της ανάλυσης και διαχείρισης της ανθεκτικότητας με τη διακινδύνευση. Αναφέρουν λοιπόν, ότι η ανάλυση ανθεκτικότητας διατηρεί ουσιαστικά το ίδιο φιλοσοφικό υπόβαθρο με αυτό της κλασικής ανάλυσης διακινδύνευσης. Ωστόσο, η ανάλυση ανθεκτικότητας εμβαθύνει περισσότερο στο άγνωστο, αβέβαιο και απροσδόκητο, σε επίπεδο συστημάτων παρά μεμονωμένων στοιχείων. Τόσο η ανάλυση ανθεκτικότητας όσο και η ανάλυση διακινδύνευσης ενδιαφέρονται για την πρόβλεψη μελλοντικών απειλών και την εφαρμογή μέτρων για την αποφυγή μεγάλων απωλειών. Ωστόσο μια βασική διαφορά είναι ότι η ανάλυση ανθεκτικότητας εστιάζει πρωτίστως στην ικανότητα του επηρεαζόμενου οργανισμού, υποδομής ή περιβάλλοντος να ανακάμψει από το σοκ και να προσαρμοστεί σε νέες συνθήκες. Με άλλα λόγια, όπου η κλασική ανάλυση διακινδύνευσης επιδιώκει να σκληρύνει ένα ευάλωτο στοιχείο του συστήματος με βάση ένα σημείο στο χρόνο, η ανάλυση ανθεκτικότητας επιδιώκει να προσφέρει μια «ομαλή προσγείωση» για το σύστημα. Αυτή η φιλοσοφική διαφορά είναι περίπλοκη, αλλά απαραίτητη ενόψει των αυξανόμενων προκλήσεων ενός όλο και πιο παγκόσμιου και διασυνδεδεμένου κόσμου. Η αλληλεξάρτηση και οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των υποσυστημάτων και των στοιχείων ενός περίπλοκου συστήματος, μπορεί να προκαλέσουν την κατάρρευση του συστήματος με αφορμή μια αποτυχία σε ένα πρωτεύων υποσύστημα. Επιπλέον η γήρανση και η υποβάθμιση των στοιχείων του συστήματος αποτελούν έναν άλλο πιθανό κίνδυνο για την ασφάλεια του συστήματος, με πιθανές σοβαρές συνέπειες. Ο σχεδιασμός ενός αξιόπιστου μηχανικού συστήματος κάτω από αβέβαιες συνθήκες είναι μια πρόκληση. Η εφαρμογή της τακτικής του πλεονασμού (redundance) για την αύξηση της αξιοπιστίας του συστήματος έχει γενικά

υψηλό κόστος (Tong, Yang & Zinetullina, 2020). Η ανάλυση και αξιολόγηση της διακινδύνευσης έχει χρησιμοποιηθεί για την υποστήριξη λήψης αποφάσεων στο σχεδιασμό μηχανικών συστημάτων (Aven & Zio, 2011). Η αξιολόγηση της ανθεκτικότητας είναι πιο κατάλληλη από την αξιολόγηση της διακινδύνευσης για την προστασία ενός πολύπλοκου συστήματος από απρόβλεπτους κινδύνους και διαδοχικές αστοχίες μετά από μια διαταραχή. Στη μελέτη που διεξήχθη από τους Park et al. (2013), οι συγγραφείς έχουν δηλώσει ότι η παραδοσιακή ανάλυση διακινδύνευσης είναι ανεπαρκής από μόνη της να διασφαλίσει την ασφάλεια ενός σύνθετου μηχανικού συστήματος σε περίπτωση επικείμενων απειλών.

Κατά την ανασκόπηση των ομοιοτήτων και των διαφορών στους τομείς της διακινδύνευσης και της ανθεκτικότητας (προσεγγίσεις και μεθοδολογίες), είναι απαραίτητο να ληφθούν υπόψη οι φιλοσοφικοί, αναλυτικοί και χρονικοί παράγοντες που εμπλέκονται στην ανάπτυξη κάθε πεδίου (Aven 2011). Οι φιλοσοφικοί παράγοντες περιλαμβάνουν τη γενική στάση και προοπτική της διακινδύνευσης ή ανθεκτικότητας που εκφράζει ο αναλυτής στην προσπάθειά του να κατανοήσει και να προετοιμάσει ένα δεδομένο μοντέλο για τους κινδύνους. Οι αναλυτικοί παράγοντες περιλαμβάνουν τα ποσοτικά και ποιοτικά μοντέλα για την αξιολόγηση των κινδύνων σε ένα συγκεκριμένο μοντέλο. Τέλος, οι χρονικοί παράγοντες περιλαμβάνουν το χρονικό πλαίσιο μέσα στο οποίο εξετάζονται οι κίνδυνοι χρησιμοποιώντας τα διαθέσιμα αναλυτικά μοντέλα. Συνοπτικά, λαμβάνοντας υπόψη αυτούς και άλλους παράγοντες, φαίνεται ότι ενώ η ανάλυση ανθεκτικότητας διαφέρει από τη συμβατική ανάλυση διακινδύνευσης, είναι αρκετά συμβατή με μεθόδους και προσεγγίσεις της κλασικής ανάλυσης διακινδύνευσης, οι οποίες μπορεί να λειτουργήσουν συνεργιστικά.

Φιλοσοφικά, η ανάλυση διακινδύνευσης και η ανάλυση ανθεκτικότητας βασίζονται σε παρόμοιο τρόπο σκέψης (α) αποφυγής αρνητικών συνέπειών από τα επικίνδυνα γεγονότα και (β) εξέταση των συστημάτων για αδυναμίες και εντοπισμός πολιτικών και/ή ενεργειών που θα μπορούσαν να μετριάσουν ή να επιλύσουν καλύτερα τέτοιες αδυναμίες. Ο κίνδυνος είναι ο λειτουργικός όρος και για τις δύο μεθοδολογίες, και ο γενικός στόχος είναι να μειωθούν όσο το δυνατόν περισσότερο οι ζημιές που θα μπορούσαν να προκύψουν από ένα επικίνδυνο εξωτερικό σοκ ή άλλο ανεπιθύμητο συμβάν. Ως εκ τούτου, σε πρακτικό επίπεδο οι αναλυτές και στα δυο πεδία απαιτείται να εντοπίσουν και να κατηγοριοποιήσουν τα γεγονότα εκείνα που θα μπορούσαν να

είναι επιζήμια για τον άνθρωπο, το περιβάλλον ή την κοινωνία γενικότερα (δηλαδή το εμπόριο, υποδομές, υπηρεσίες υγείας, κ.λπ.), και στη συνέχεια να εντοπίσουν αντίμετρα για την αντιμετώπισή των κινδύνων αυτών.

Ωστόσο, οι δύο αυτές μεθοδολογίες αντιπαραβάλλονται σε δύο βασικές πτυχές: πώς αξιολογούν και κατανοούν την αβεβαιότητα και πώς κρίνουν τα αποτελέσματα επικίνδυνων συμβάντων (Scholz et al., 2012, Fekete et al., 2014, Aven & Krohn, 2014). Για το πεδίο της ανάλυσης διακινδύνευσης, μια παραδοσιακή προσέγγιση ανάλυσης της διακινδύνευσης επιδιώκει να εντοπίσει μια γκάμα πιθανών σεναρίων με ad hoc ή τυποποιημένο τρόπο και να προστατέψει από τις αρνητικές συνέπειες ενός συμβάντος με βάση την πιθανότητά του, τις συνέπειες και τη διαθεσιμότητα χρηματοδότησης, για μια δεδομένη υποδομή ή κατασκευή. Με αυτόν τον τρόπο, οι αναλυτές διακινδύνευσης κατασκευάζουν ένα συντηρητικό πλαίσιο που επικεντρώνεται στο να κάνει το σύστημα πιο σκληρό, όπως για παράδειγμα προστασία συστήματος, fail-safe μηχανισμούς και και/ή μέτρα απόκρισης για προστασία από ανεπιθύμητες ενέργειες. Ένα τέτοιο πλαίσιο έχει τα πλεονεκτήματά του, αλλά όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη ενότητα, εάν η φιλοσοφία της ανάλυσης διακινδύνευσης είναι πολύ άκαμπτη και ανελαστική, αυτό μπορεί να εμποδίσει τις προσπάθειες για ανάκαμψη από ένα σοβαρό ή καταστροφικό συμβάν.

Από την άλλη πλευρά, η ανάλυση ανθεκτικότητας επιδιώκει βασικά να παρέχει το υπόβαθρο για μια «μαλακή προσγείωση» ή τη δυνατότητα μείωσης των ζημιών βοηθώντας παράλληλα το σύστημα να επανέλθει σε πλήρη λειτουργικότητα όσο το δυνατόν πιο γρήγορα και αποτελεσματικά, κάτι που μπορεί να συνεπάγεται προσαρμογή σε νέα συνθήκες. Αυτό είναι σύμφωνο με τον ορισμό του NAS των Η.Π.Α. για την ανθεκτικότητα, που δηλώνει «την ικανότητα να σχεδιάζεις και να προετοιμάζεσαι, να απορροφάς, να ανακάμπτεις και να προσαρμόζεσαι σε ανεπιθύμητα συμβάντα». Παρόλο που αυτή η διαφορά ανάμεσα στην ανάλυση ανθεκτικότητας και διακινδύνευσης μπορεί να φαίνεται μικρή, έχει μια σημαντικά λειτουργική διαφορά, καθώς κατευθύνει τους αναλυτές ανθεκτικότητας να επικεντρωθούν περισσότερο στην «ευελιξία» και την «προσαρμογή» των όποιων συστημάτων. Αυτό διαφέρει από τη συμβατική προσέγγιση που χρησιμοποιείται συνήθως από κλασική ανάλυση διακινδύνευσης, η οποία αντίθετα επιδιώκει να εντοπίσει κατά πόσο ένα σύστημα είναι fail-safe από τη φύση του και εγγενώς

συντηρητικό. Ωστόσο, η εγγενής αβεβαιότητα του κόσμου, ο συστημικός χαρακτήρας πολλών κινδύνων και διάφοροι άλλοι παράγοντες, καθιστούν σημαντικά απίθανο ένα άκαμπτο σύστημα να μπορεί μακροπρόθεσμα να αποτρέπει όλους τους κινδύνους ή να προστατευτεί επαρκώς από σοβαρά συμβάντα που θα μπορούσαν να προκαλέσουν μόνιμες και σαρωτικές ζημιές. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα για γεγονότα με μικρές πιθανότητες να συμβούν, τα οποία έχουν σημαντικές πιθανότητες να αγνοηθούν σε μια συμβατική ανάλυση διακινδύνευσης, καθώς όντας εξαιρετικά απίθανα να συμβούν, δεν εξασφαλίζουν κατάλληλους πόρους για να αντιμετωπιστούν (Park et al., 2013, Merz et al., 2009). Ακόμη και κίνδυνοι υψηλών συνεπειών συχνά παραγκωνίζονται κατά τη λήψη αποφάσεων, όταν έχουν μικρή πιθανότητα να εμφανιστούν.

Οι αναλυτικές διαφορές μεταξύ της κλασικής ανάλυσης διακινδύνευσης και της ανάλυσης ανθεκτικότητας είναι ίσως λιγότερο κατανοητές και ανεπτυγμένες λόγω της σχετικά πρόσφατης εξέλιξης του πεδίου της ανάλυσης ανθεκτικότητας, επομένως υπάρχει ακόμα ανάγκη για περισσότερη εξειδίκευση και προτυποποίηση. Ωστόσο, είναι δυνατή η εξαγωγή συμπερασμάτων βασισμένων στο θεωρητικό πλαίσιο της ανάλυσης διακινδύνευσης. Τόσο η ανάλυση διακινδύνευσης όσο και η ανάλυση ανθεκτικότητας χρησιμοποιούν ποιοτικά και ποσοτικά δεδομένα, τα οποία επιτρέπουν μεγαλύτερη συνολική ευελιξία σε εφαρμογές που κυμαίνονται από πολύ γνωστούς έως εξαιρετικά αβέβαιους και φουτουριστικούς κινδύνους, όπου στηριζόμαστε στην εμπειρογνωμοσύνη, ειδικά στις περιπτώσεις όπου τα ποσοτικά δεδομένα είναι περιορισμένα. Τέτοιες πληροφορίες ενσωματώνονται γενικά σε ένα συγκεκριμένο δείκτη ή μοντέλο ανάλυσης προκειμένου να υπάρχει καλύτερη κατανόηση της πραγματικής διακινδύνευσης που ενέχουν συγκεκριμένοι κίνδυνοι για ένα στοχευμένο σύστημα, καθώς και ποιες δράσεις ή επιλογές πολιτικών είναι βέλτιστες για τον μετριασμό των ζημιών που προκαλούνται από τέτοιους κινδύνους.

Τα ποσοτικά αυτά δεδομένα μπορούν να προέρχονται π.χ. από δοκιμές πεδίου, κλιματικά μοντέλα, σχεδιασμό προδιαγραφών, ιστορικά δεδομένα ή πειράματα σε εργαστήριο, όπου οι υπεύθυνοι και τα ενδιαφερόμενα μέρη είναι σε θέση να αξιολογήσουν την πιθανότητα και τις συνέπειες συγκεκριμένων κινδύνων για το προς εξέταση σύστημα. Ομοίως, η ποιοτική αξιολόγηση μπορεί να προέρχεται από ειδικούς, εμπειρογνώμονες, υπεύθυνους και χρήστες. Φυσικά στις περισσότερες περιπτώσεις, ~~το~~ είναι βέλτιστο να υπάρχουν διαθέσιμα τόσο ποιοτικά όσο και ποσοτικά δεδομένα για

την αξιολόγηση των κινδύνων. Ωστόσο, αυτό δεν είναι πάντα δυνατό, αφήνοντας τους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής και τα ενδιαφερόμενα μέρη να λαμβάνουν τις καλύτερες αποφάσεις με τα δεδομένα που είναι διαθέσιμα. Αυτό ισχύει γενικά τόσο για την ανάλυση διακινδύνευσης όσο και για ανάλυση ανθεκτικότητας.

Ωστόσο, η εννοιολόγηση της διακινδύνευσης και της ανθεκτικότητας είναι διαφορετικές. Η ποσοτικοποίηση της ανθεκτικότητας είναι λιγότερο ώριμη από την αξιολόγηση της διακινδύνευσης, η οποία κατά τα άλλα μετράει δεκαετίες πρακτικής εφαρμογής. Αυτό συμβαίνει επειδή η ανάλυση ανθεκτικότητας είναι ιδιαίτερα σημαντική για την αντιμετώπιση απειλών με μεγάλη αβεβαιότητα, που είναι πάντα δύσκολο, αν όχι αδύνατο, να ποσοτικοποιηθούν. Ωστόσο, πολλές ποσοτικές, ημιποσοτικές και ποιοτικές προσεγγίσεις έχουν προταθεί και αναπτυχθεί για τη μέτρηση της συστημικής ανθεκτικότητας σε τοπικό, εθνικό και διεθνές επίπεδο για μια ποικιλία καταστροφικών γεγονότων (ειδικά αυτά με χαμηλή πιθανότητα, υψηλές συνέπειες). Μερικές από αυτές τις προσεγγίσεις είναι σχετικά απλοϊκές, για παράδειγμα ένα ποιοτικό σύστημα ταξινόμησης. Άλλες είναι πιο σύνθετες, για παράδειγμα με πίνακες ανθεκτικότητας ή η πιο πολύπλοκη ανάλυση δικτύου, όπου η διαθεσιμότητα πληροφοριών και οι προτιμήσεις του χρήστη καθορίζουν το επίπεδο πολυπλοκότητας που χρησιμοποιείται για μια δεδομένη περίπτωση ανθεκτικότητας. Παρά τις διαφορές αυτές, η χρήση έγκυρων και αξιόπιστων ποιοτικών ή ποσοτικών δεδομένων είναι σημαντική στην ανάλυση ανθεκτικότητας (Hulett et al., 2000).

Χρονικά, τόσο η ανάλυση διακινδύνευσης όσο και η ανάλυση ανθεκτικότητας απαιτείται να διαχειριστούν τους βραχυπρόθεσμους κινδύνους που μπορεί να προκύψουν και να προκαλέσουν όλεθρο σε πολύπλοκα συστήματα (Hughes et al., 2005). Οι κίνδυνοι αυτοί αξιολογούνται από τους αναλυτές με βάση την πιθανότητα εμφάνισής τους και τις συνέπειες. Τέλος, οι αναλυτές της διακινδύνευσης αξιολογούν τις άμεσες συνέπειες των διαφόρων ανεπιθύμητων γεγονότων που εντοπίστηκαν αρχικά για να κατανοήσουν τον τρόπο με τον οποίο τα διάφορα τμήματα του συστήματος μπορεί να καταστραφούν και ποιες μπορεί να είναι οι συνέπειες.

Η ανάλυση ανθεκτικότητας διαφέρει στην αντιμετώπιση του χρόνου από την κλασική ανάλυση διακινδύνευσης, γιατί λαμβάνει επίσης υπόψη την αποκατάσταση του συστήματος μόλις γίνει η ζημιά. Έτσι, εκτός από την εξέταση της φθοράς του

συστήματος αμέσως μετά από ένα αρνητικό γεγονός, η ανάλυση ανθεκτικότητας έχει πιο μακροπρόθεσμο ορίζοντα που περιλαμβάνει ανάκαμψη και προσαρμογή του συστήματος. Η κλασική ανάλυση διακινδύνευσης μπορεί επίσης να ενσωματώσει την ανάκαμψη και προσαρμογή (για παράδειγμα, εξετάζοντας την πιθανότητα του συστήματος να ανακάμψει σε συγκεκριμένο χρόνο μετά το συμβάν ή την πιθανότητα να μπορέσει να προσαρμοστεί), ωστόσο αυτό δεν είναι απαραίτητα ο κύριος στόχος της ανάλυσης διακινδύνευσης. Αντίθετα, μια κλασική ανάλυση διακινδύνευσης καταρτίζει το βέλτιστο πλάνο που, δεδομένων των διαθέσιμων πόρων, θα δρομολογήσουν τις καταλληλότερες ενέργειες για την πρόληψη και διαχείριση της διακινδύνευσης. Μακροπρόθεσμες και με μικρότερες πιθανότητες απειλές συχνά παραμελούνται υπέρ πιο άμεσων και πιθανών κινδύνων, με περιορισμένη μόνο έμφαση στην ανάγκη για ενίσχυση της ανθεκτικότητας. Με αυτόν τον τρόπο, η κλασική ανάλυση διακινδύνευσης μπορεί να μην προετοιμαστεί επαρκώς ή με ακρίβεια για τέτοια γεγονότα με μικρή πιθανότητα να συμβούν, αλλά με μεγάλες συνέπειες που θα μπορούσαν να επηρεάσουν δραματικά τον άνθρωπο και το περιβάλλον ή διάφορα κοινωνικά, οικολογικά ή/και οικονομικά συστήματα του σύγχρονου κόσμου.

Συνοψίζοντας όσα είδαμε στο κεφάλαιο 2 προκύπτει ότι η ανάλυση ανθεκτικότητας και διακινδύνευσης έχουν κοινό υπόβαθρο καθώς το ζητούμενο είναι η αναγνώριση κινδύνων και η εφαρμογή μέτρων για την αντιμετώπιση αυτών. Βασικά πλεονεκτήματα της ανάλυσης ανθεκτικότητας είναι ότι δεν περιορίζεται μόνο στην αναγνώριση και αντιμετώπιση συγκεκριμένων κινδύνων, αλλά έχει πιο ευρεία προσέγγιση απέναντι στις προκλήσεις που μπορεί να προκύψουν, ενθαρρύνοντας στρατηγικές ολοκληρωμένης προετοιμασίας. Είναι περισσότερο προσανατολισμένη στην ενίσχυση της προσαρμοστικότητας του συστήματος και τη δυνατότητα ανάκαμψής του. Η προσαρμοστικότητα ενός συστήματος μετά από ένα σοκ, ακόμα κι αν αυτό σημαίνει μετάβαση σε μια νέα κατάσταση ισορροπίας, ενισχύει τη μακροπρόθεσμη βιωσιμότητά του. Επιπλέον η ολιστική προσέγγιση που προσφέρει η ανάλυση ανθεκτικότητας για την προστασία ενός συστήματος, βοηθάει στην περισσότερο ορθολογική χρήση των διαθέσιμων πόρων στις ενέργειες διάχυσης των κινδύνων.

Ένα άλλο συμπέρασμα είναι ότι μέθοδοι και στρατηγικές που χρησιμοποιεί η ανάλυση διακινδύνευσης μπορούν να λειτουργήσουν συνεργητικά προς την κατεύθυνση της ανάλυσης ανθεκτικότητας. Αρκετοί ερευνητές θεωρούν την ανάλυση διακινδύνευσης

και την ανάλυση ανθεκτικότητας συμπληρωματικές (Linkon et al., 2016, Aven & Thekdi, 2018)

Στο κεφάλαιο 3 θα δούμε την εφαρμογή της ανάλυσης ανθεκτικότητας πιο αναλυτικά σε συγκεκριμένους τομείς και τα πλεονεκτήματα που προκύπτουν από την ενίσχυση της σε συστήματα, οργανισμούς και κοινωνικές δομές.

3 Πεδία Εφαρμογής και Πλεονεκτήματα

*«The oak fought the wind and was broken, the willow bent when it must survive»
(Robert Jordan, The fires of Heaven)*

3.1 Ανθεκτικότητα στις υποδομές και τα κρίσιμα συστήματα

Μια υποδομή ζωτικής σημασίας ή Κρίσιμο Σύστημα ορίζεται ως ένα «σημείο, σύστημα ή μέρος ενός [...] που είναι απαραίτητο για τη διατήρηση των ζωτικών λειτουργιών μιας κοινωνίας, την υγεία, την προστασία, την ασφάλεια και την οικονομική και κοινωνική ευημερία της κοινότητας και του οποίου η παύση λειτουργίας ή η καταστροφή θα είχε σημαντικό αντίκτυπο» (Council Directive 2008/114/EC of 8 December 2008). Οι υποδομές ζωτικής σημασίας ή Κρίσιμα Συστήματα (στο εξής ΚΣ) παρέχουν υπηρεσίες που είναι απαραίτητες για την υποστήριξη των καθημερινών δραστηριοτήτων στο σύγχρονο κόσμο. Τα ΚΣ παράγουν και διανέμουν βασικά αγαθά ή υπηρεσίες. Παραδείγματα ΚΣ είναι εκείνα που παρέχουν υπηρεσίες ενέργειας (συμπεριλαμβανομένης της παραγωγής, μεταφοράς, διανομής και αποθήκευσης, σε σχέση με παροχή ηλεκτρικής ενέργειας, πετρελαίου και φυσικού αερίου), μεταφοράς (σιδηρόδρομοι, οδικοί άξονες, αερομεταφορές και θαλάσσιες μεταφορές), πληροφορίες και τηλεπικοινωνίες (συμπεριλαμβανομένων πληροφοριακών συστημάτων, βιομηχανικών συστήματα ελέγχου (SCADA), διαδίκτυο, δίκτυο επικοινωνιών). Ο αντίκτυπος της αποτυχίας τους μπορεί να εκφραστεί από τη σοβαρότητα της επίδρασής της (διάρκεια έλλειψης της υπηρεσίας, τις οικονομικές απώλειες), την έκταση της περιοχής και τον αριθμό των ατόμων που επηρεάστηκαν και την ταχύτητα ανάκαμψης από την αποτυχία (Cantelmi et al., 2021, Curt & Tacnet, 2018).

Από τη φύση τους τα ΚΣ είναι περίπλοκα συστήματα που αποτελούνται από πολλά τμήματα που αλληλοεπιδρούν και είναι σχεδιασμένα να λειτουργούν για μεγάλες περιόδους, με συνεχή συντήρηση, αναβάθμιση και ενσωμάτωση νέων τεχνολογιών. Όντας το αποτέλεσμα μιας συνεχούς διαδικασίας ολοκλήρωσης διαφορετικών τεχνολογιών και εμπλεκόμενων φορέων δεν μπορούν να αντιμετωπιστούν ως μια στατική οντότητα, αλλά ως ένα σύστημα συστημάτων που πρέπει να μπορούν να προσαρμόζονται στις λειτουργικές απαιτήσεις. Επιπλέον είναι συνεχώς εκτεθειμένα σε απειλές που μπορούν να υπονομεύσουν την ασφάλεια, την προστασία και τη συνέχεια

της κοινωφελούς ή επιχειρηματικής δραστηριότητας που εξυπηρετούν. Από αυτή την άποψη, ένα από τα πιο δύσκολα ζητήματα είναι η ανάλυση της δυσλειτουργίας ή διαταραχής τους, της ικανότητάς τους να αντιστέκονται, να προσαρμόζονται και να ανακτούν τη λειτουργία τους, δηλαδή η ανθεκτικότητά τους.

Η ανάλυση και διαχείριση της ανθεκτικότητας για την προστασία των ΚΣ αποτελεί ζήτημα προτεραιότητας τόσο σε Ευρωπαϊκό όσο και σε διεθνές επίπεδο. Η μεγάλη ανάπτυξη και το ενδιαφέρον όσον αφορά την ανάλυση ανθεκτικότητας στα ΚΣ οφείλεται στο γεγονός ότι η κλασική ανάλυση διακινδύνευσης είναι αναποτελεσματική για να αντιμετωπίσει την αυξημένη πολυπλοκότητα, την απροβλεπτότητα των απειλών και τις μεγάλες αβεβαιότητες που έχουν τα σενάρια αποτυχίας, τη δυναμική αλληλεξάρτηση των υποσυστημάτων τους που μπορεί να προκαλέσει ντόμινο συνεπειών σε περίπτωση καταστροφής. Όπως τονίζουν οι Coaffee & Clarke (2017) «...η διαχείριση της διακινδύνευσης βοηθάει ώστε το σύστημα να προετοιμαστεί για δυσμενή γεγονότα, ενώ η διαχείριση της ανθεκτικότητας πάει ένα βήμα παραπέρα, δίνοντας στο σύστημα τη δυνατότητα να απορροφήσει τις συνέπειες ενός σοκ και να επανέλθει και στη συνέχεια να προσαρμοστεί στη νέα ισορροπία».

Οι Curt & Tacnet (2021) στην εργασία τους «Resilience of critical infrastructures: review and analysis of current approaches» αναφέρουν ότι παρά τη σημαντική πρόοδο, η διαχείριση της διακινδύνευσης, ιδιαίτερα σε πλαίσια που συνδυάζουν φυσικά φαινόμενα και τεχνολογικά ατυχήματα, δεν είναι αποδοτική. Οι περιορισμοί των διαδικασιών διαχείρισης κινδύνου μπορούν να αποδοθούν κυρίως σε:

- – Έλλειψη γνώσης (άγνωστες απειλές – «black swan events») και αβεβαιότητα (απροσδόκητη σοβαρότητα φυσικών φαινομένων, χαμηλής πιθανότητας γεγονότα, ατυχήματα, παγκόσμιες αλλαγές, αυξανόμενη απειλή τρομοκρατικών επιθέσεων).
- – Αυξανόμενη πολυπλοκότητα μεγάλων κοινωνικο-τεχνικών συστημάτων και συνδυασμένες αστοχίες σε οργανωτικό και τεχνικό επίπεδο, που οδηγούν σε απροσδόκητες καταστάσεις ή/και διαδοχικές επιπτώσεις που επιδεινώνονται από τις ισχυρές αλληλεπιδράσεις και αλληλοεξαρτήσεις μεταξύ των υποδομών, κυρίως λόγω της αυξημένης χρήσης των τεχνολογιών πληροφοριών και επικοινωνιών. Η ενίσχυση των συστημάτων διαχείρισης κινδύνου σε ένα πλαίσιο διασυνδεδεμένων δικτύων καθίσταται απαγορευτική οικονομικά και

ως προς τον χρόνο που απαιτείται για την υλοποίησή τους (Linkon et al., 2014b).

- – Ανεπαρκή ή κακώς σχεδιασμένα ή συντηρημένα όρια άμυνας.
- – Διαδικαστικά λάθη (λάθος εφαρμογής ή κακώς σχεδιασμένες διαδικασίες), ανεπαρκής αποτελεσματικότητα εκπαίδευσης σε θέματα ασφάλειας ή πολύ μεγάλος χρόνος απόκρισης.

Ένα ακόμα στοιχείο προβληματισμού που αναφέρουν μεταξύ άλλων στο άρθρο τους αφορά στην τοποθέτηση της ανθεκτικότητας σε σχέση με τη βιώσιμη ανάπτυξη. Αυτές οι δύο προσεγγίσεις μοιράζονται κοινές αρχές (EEA, 2016):

- – η ζήτηση για συνεχή βελτίωση.
- – η ελαχιστοποίηση των δυσμενών επιπτώσεων των κινδύνων στις κοινωνίες, σε μια κατάσταση παγκόσμιων αλλαγών.
- – η συνεχής βελτίωση της λειτουργικότητας των συστημάτων με την προσαρμογή και την εκμάθηση των θεμελιωδών αλλαγών που προκαλούνται από αυτά τα γεγονότα.

Η ανάγκη για αλλαγή και εξέλιξη από την ανάλυση διακινδύνευσης στην ανάλυση ανθεκτικότητας τονίζεται έμμεσα και στην αναφορά του UNISDR το 2002 «Living with risk». Δηλαδή πλέον η υπάρχει μετακίνηση από τη λογική του «μάχομαι τον κίνδυνο και διαχειρίζομαι την τρωτότητα» στο «μαθαίνω να ζω με τον κίνδυνο και γίνομαι ανθεκτικός». Μακροπρόθεσμα ένα πιο ανθεκτικό σύστημα θα έχει μικρότερο κόστος ανάκαμψης από ένα άλλο λιγότερο ανθεκτικό, που αντιμετωπίζουν τους ίδιους κινδύνους, ενώ και οι επιπτώσεις μπορεί να μειωθούν με σωστή διαχείριση των διαθέσιμων πόρων.

Σήμερα, υπάρχει μια ποικιλία προσεγγίσεων στο πλαίσιο της έρευνας για την ανθεκτικότητα των ΚΣ. (Filippini & Silva, 2014). Μεγάλη ώθηση για την ανάλυση της ανθεκτικότητας σε ΚΣ έδωσε ένας μεγάλος αριθμός πρωτοβουλιών και διεθνών ερευνητικών προγραμμάτων από τις ΗΠΑ, την ΕΕ και Ασία (Fajita et al., 2019). Οι πολιτικοί, οι υπεύθυνοι λήψης αποφάσεων και οι πολίτες γνωρίζουν πλέον τις δραστικές συνέπειες που μπορεί να έχουν οι διαδοχικές συνέπειες από ένα δυσμενές γεγονός στα ΚΣ. Βέβαια αυτό που τονίζεται από όλες τις πλευρές είναι η ανάγκη για διεπιστημονική προσέγγιση στην ανάλυση ανθεκτικότητας των ΚΣ, ώστε να

αποφευχθεί ο κίνδυνος της υπεραπλούστευσης και να αντιμετωπιστεί κατάλληλα η πολυπλοκότητα των συστημάτων αυτών σε συνδυασμό με τις μεγάλες αβεβαιότητες. Επίσης και η ανάπτυξη κοινού πλαισίου, ορολογία και σύστημα μέτρησης, δηλαδή προτυποποίηση, καθώς υπάρχουν αρκετές προσεγγίσεις και πλαίσια για την αξιολόγηση της ανθεκτικότητας για εξειδικευμένα συστήματα.

Οι Kete et al. (2018) στο άρθρο τους «Enhancing resilience within and between critical infrastructure systems» στο περιοδικό ‘Environment Systems and Decisions’ περιγράφουν μια νέα πρωτοβουλία που ξεκίνησε το 2016 και ονομάζεται Resilience Shift, που προέκυψε ως μια εταιρική σχέση μεταξύ του Lloyds Register Foundation και του One Arup & Partners International, για να προωθήσει την ανθεκτικότητα σε υποδομές ζωτικής σημασίας. Στο τεύχος αυτό όλα τα άρθρα είναι εργασίες διάφορων ερευνητών προς την κατεύθυνση της εφαρμογής της θεωρίας και των εννοιών της ανθεκτικότητας στην πράξη. Αναγνωρίζεται η σημασία της ανάλυσης διακινδύνευσης στη λειτουργία των ΚΣ, αλλά τονίζεται ότι πρέπει να επεκταθεί ώστε να συμπεριλάβει και την ανάλυση ανθεκτικότητας.

Ένα παράδειγμα πλαισίου για τη βελτίωση της ανθεκτικότητας ΚΣ στις μεταφορές είναι το ευρωπαϊκό έργο RESOLUTE που θα μπορούσε ενδεχομένως να χρησιμεύσει ως οδικός χάρτης για την αντιμετώπιση ορισμένων από τις ευπάθειες και τις κρίσιμες δυσκολίες που αντιμετωπίζει το Σύστημα Αστικών Μεταφορών (UTS). Στο πλαίσιο του έργου RESOLUTE, αυτή η ανάγκη έχει αντιμετωπιστεί, με τον καθορισμό ευρωπαϊκών κατευθυντήριων γραμμών διαχείρισης ανθεκτικότητας προσαρμοσμένες στις λειτουργίες του UTS, με την ανάπτυξη εργαλείων για τη λειτουργικοποίησή τους, καθώς και με τον καθορισμό δεικτών απόδοσης για την αξιολόγηση της απόδοσής τους. Το πιλοτικό έργο RESOLUTE που πραγματοποιήθηκε στη Φλωρεντία έχει εφαρμόσει αυτήν την προσέγγιση και τα ευρήματα δείχνουν ότι η αποτελεσματική διαχείριση και η συνεχής παρακολούθηση του UTS, με τη χρήση κατάλληλων εργαλείων, διευκολύνει τον έγκαιρο εντοπισμό των τρωτών σημείων και επιτρέπει την εκ των προτέρων ενίσχυση της ανθεκτικότητας του συστήματος (Bellini et al., 2020).

3.2 Ανθεκτικότητα στη διακυβέρνηση και την πολιτική

Η διακυβέρνηση είναι μια έννοια περίπλοκη και αμφιλεγόμενη. Σύμφωνα με τον ορισμό των Ηνωμένων Εθνών για την Ανάπτυξη (UNDP), «διακυβέρνηση» είναι η άσκηση πολιτικής, οικονομικής και διοικητικής εξουσίας στην διαχείριση των υποθέσεων μιας χώρας σε όλα τα επίπεδα». Περιλαμβάνει τους μηχανισμούς, τις διαδικασίες και τους θεσμούς μέσω των οποίων πολίτες και ομάδες εκφράζουν τα συμφέροντά τους, ασκούν τα νόμιμα δικαιώματά τους, ανταποκρίνονται στις υποχρεώσεις τους και μεσολαβούν στις διαφορές τους. Δύο πτυχές αυτού του ορισμού είναι καθοριστικής σημασίας. Πρώτον, διακυβέρνηση δεν είναι η κυβέρνηση. Η έννοια της διακυβέρνησης αναγνωρίζει ότι η εξουσία υπάρχει τόσο εντός όσο και πέρα από την επίσημη εξουσία και τους θεσμούς της κυβέρνησης. Σε πολλές διατυπώσεις, η διακυβέρνηση συνιστά την κυβέρνηση, τον ιδιωτικό τομέα και την κοινωνία των πολιτών. Δεύτερον, η διακυβέρνηση επικεντρώνεται στη «διαδικασία». Οι αποφάσεις λαμβάνονται με βάση πολύπλοκες σχέσεις μεταξύ πολλών ενδιαφερόμενων μερών με διαφορετικές προτεραιότητες. Επομένως, η διακυβέρνηση δεν ταυτίζεται μόνο με την επίσημη κυβέρνηση του κράτους, αλλά περιλαμβάνει τους πολίτες μιας περιοχής, επιχειρήσεις, κοινότητες, και διάφορες μη-κυβερνητικές οργανώσεις (σχήμα 3-1). Ορισμένοι μελετητές υποστηρίζουν ότι «περιλαμβάνει και τους κανόνες και νόρμες μιας κοινωνίας που καθορίζουν πώς λαμβάνονται οι αποφάσεις και κατανέμονται οι πόροι.

Ενώ οι κυβερνητικές υπηρεσίες και οι φορείς είναι σίγουρα σημαντικοί για την τέχνη της διακυβέρνησης, δεν είναι σε καμία περίπτωση οι μόνοι σημαντικοί παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη. Εκεί που η κυβέρνηση τείνει να κυριαρχεί είναι η δημιουργία, η εφαρμογή και η εκτέλεση αυτού που αναφέρεται ως «hard law», που αφορά στις επίσημες νομοθετικές απαιτήσεις.

Άλλοι παράγοντες, εκτός από την κυβέρνηση, όπως η βιομηχανία, ο ακαδημαϊκός κόσμος, ρυθμιστικές αρχές και κοινωνικοί φορείς μπορούν να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στη διακυβέρνηση, αναπτύσσοντας κώδικες δεοντολογίας ή άλλες αρχές λειτουργίας, αυτό που συχνά ονομάζουμε «soft law», το οποίο χαρακτηρίζεται από την έλλειψη νομικά δεσμευτικών απαιτήσεων, την εκούσια συμμετοχή των ενδιαφερόμενων μερών, αλλά και για την ικανότητά του να συντονίζει ταχύτερα και να

καθιερώνει βέλτιστες πρακτικές με πιο γρήγορο τρόπο από ό,τι θα αναμενόταν μέσω κυβερνητικού κανονισμού.

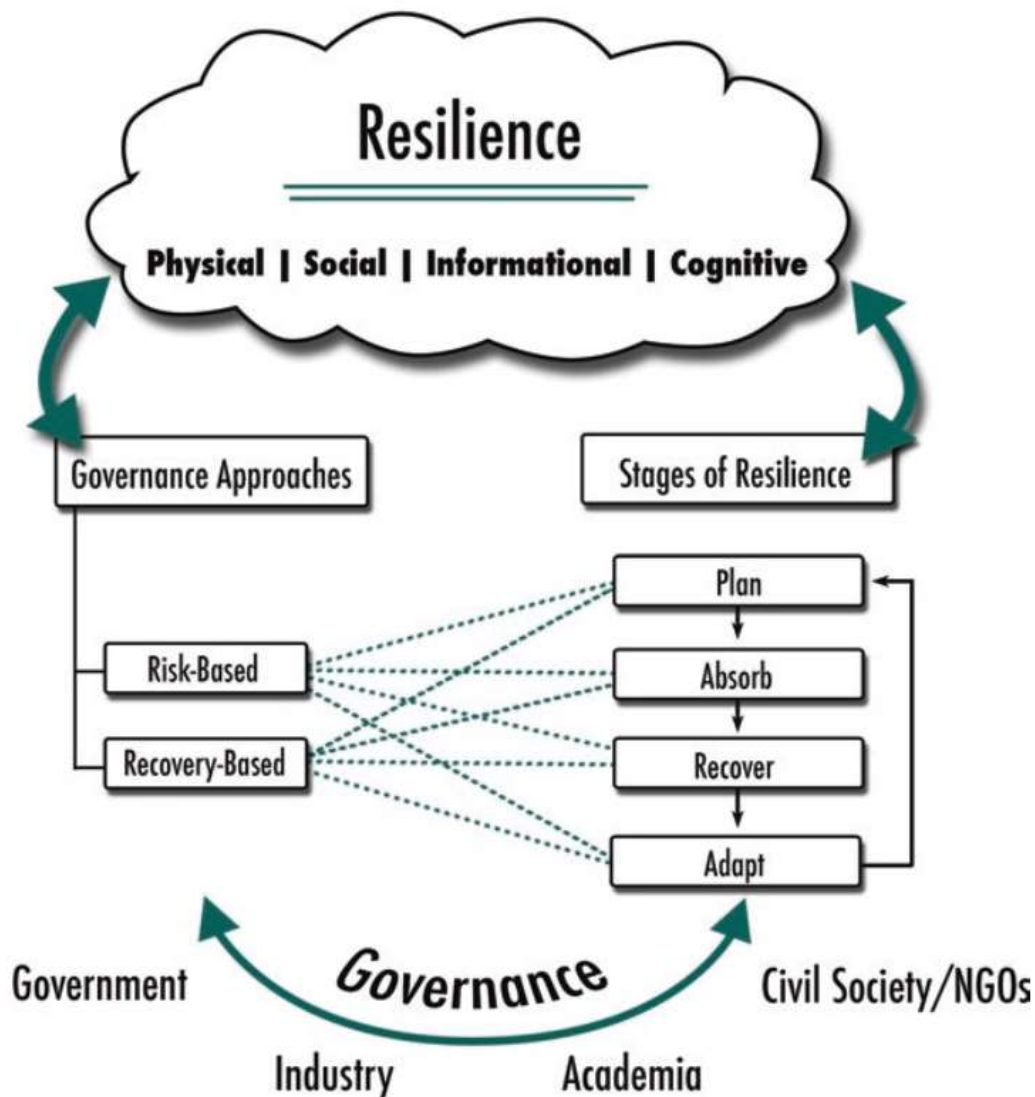
Η ανθεκτικότητα έχει ενσωματωθεί ως κυρίαρχη αρχή διακυβέρνησης και πολιτικής εντός και μεταξύ διάφορων οργανισμών. Τόσο στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής, όσο και στην Ευρώπη, η ανθεκτικότητα έχει αρχίσει να θεωρείται ως συμπληρωματική ή εναλλακτική των συμβατικών προσεγγίσεων ανάλυσης διακινδύνευσης, ενώ υπάρχουν και περιπτώσεις χρηματοδότησης για να μελετηθεί η ωρίμανση και εξέλιξη της ανθεκτικότητας σε συγκεκριμένα projects (Moteff, 2012).

Λαμβάνοντας υπόψη τις αυξανόμενες ευκαιρίες και απειλές που επιβάλλονται από την παγκοσμιοποίηση, τις φυσικές καταστροφές και την τεχνολογική ανάπτυξη σε έναν κόσμο όλο και πιο διασυνδεδεμένο, ο πρώτος ερευνητικός οργανισμός αφιερωμένος στην ανάλυση της ανθεκτικότητας στο σύγχρονο κόσμο δημιουργήθηκε στη Στοκχόλμη της Σουηδίας στα τέλη της δεκαετίας του 1990 (Berkas et al., 2000). Τις επόμενες δύο δεκαετίες, ένας διαφορετικός τρόπος σκέψης μέσα από την ανάλυση της ανθεκτικότητας άρχισε να εφαρμόζεται στην περιβαλλοντική έρευνα και την αξιολόγηση φυσικών κινδύνων εντός κοινοτήτων, μέσα από επίσημες προσκλήσεις από το Εθνικό Συμβούλιο Έρευνας των ΗΠΑ, για τη συμπερίληψη της ανάλυσης ανθεκτικότητας στην οικολογική ανάλυση διακινδύνευσης (Cutter et al., 2003). Η ώθηση για τέτοιο κάλεσμα ήταν να ξεπεραστούν τα επαναλαμβανόμενα ζητήματα που αντιμετωπίζει η παραδοσιακή ανάλυση διακινδύνευσης στις αυξανόμενες προκλήσεις του εικοστού πρώτου αιώνα. Στην ανάγκη για ένα καινούργιο παράδειγμα διαχείρισης της διακινδύνευσης, η ανάλυση ανθεκτικότητας αναπτύχθηκε γρήγορα ως μια πιθανή βελτίωση σε σχέση στις υπάρχουσες δυνατότητες.

Υπάρχουν δυο βασικά θέματα στην ανάπτυξη της ανάλυσης ανθεκτικότητας, όπως τονίστηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο. Ένα είναι οι διαφορετικοί ορισμοί που υπάρχουν. Συνεπώς οργανισμοί που ενδιαφέρονται να εφαρμόσουν την ανάλυση ανθεκτικότητας χρησιμοποιούν διαφορετικούς ορισμούς του όρου. Διάφορα ερευνητικά κέντρα στην Ευρώπη και τις ΗΠΑ έχουν ήδη αρχίσει να ασχολούνται με το θέμα ώστε να υπάρξει μια σύγκληση σε έναν ενιαίο ορισμό ή πλαίσιο. Ένα άλλο τέτοιο θέμα είναι η έλλειψη σύγκλισης και τυποποίησης των μεθόδων ανάλυσης ανθεκτικότητας μεταξύ των διαφόρων φορέων. Η επίλυση αυτών κυρίως των θεμάτων,

θα βοηθήσει στη μεγαλύτερη κατανόηση και εξέλιξη της ανάλυσης ανθεκτικότητας και την εφαρμογή της στα κέντρα λήψης αποφάσεων και χάραξης πολιτικής.

Όσον αφορά στις ΗΠΑ οι Linkon & Trump (2019) στο βιβλίο του «The science and practice of Resilience», μας δίνουν μια σαφή εικόνα για την προώθηση της ανάλυσης ανθεκτικότητας στη διακυβέρνηση και τα κέντρα λήψης αποφάσεων. Παρόλο που η ανάλυση ανθεκτικότητας δεν χρησιμοποιείται επίσημα από όλους τους εκτελεστικούς οργανισμούς στις ΗΠΑ, εφαρμόζεται κατά περίπτωση από πολλούς από αυτούς, που εκτείνονται από το Υπουργείο Εσωτερικής Ασφάλειας (DHS) έως την Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος (EPA). Η γενική έκκληση για την προώθηση της ανάλυσης ανθεκτικότητας προκύπτει την Προεδρική Οδηγία Πολιτικής 21 (PPD-21 2013, «Κρίσιμες Υποδομές και Ανθεκτικότητα») και τον Εκτελεστικό Κανονισμό 13636 (EO-13636 2013, «Προετοιμασία των ΗΠΑ για τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής»), τα οποία διέταξαν τις ομοσπονδιακές υπηρεσίες να προωθήσουν της ανθεκτικότητα σε εθνικό επίπεδο μέσα από διάφορους φορείς εκτελεστικής διακυβέρνησης. Αυτές οι οδηγίες εκτελεστικής πολιτικής εκδόθηκαν στην προσπάθεια να βελτιωθεί η ομοσπονδιακή ανθεκτικότητα απέναντι σε γεγονότα με σοβαρές συνέπειες σε διάφορους τομείς υποδομής από τις επικοινωνίες και την οικονομία μέχρι την ενέργεια και τα οικολογικά συστήματα, την κυβερνοασφάλεια και τη δημοσία υγεία. Ήταν μια κίνηση της κυβέρνησης Ομπάμα που βασίστηκε στην ανάγκη βελτίωσης της υφιστάμενης και άκαμπτης διακυβέρνησης με βάση την ανάλυση διακινδύνευσης, ως απάντηση σε καταστροφικά ή σοβαρά γεγονότα όπως ο τυφώνας Κατρίνα, η υπερθύελλα Σάντι και η πετρελαιοκηλίδα Deepwater Horizon του 2010. Αν και είναι σχετικά σπάνιες, αυτές οι περιπτώσεις καταδεικνύουν πόσο ένα απίθανο, αλλά οικονομικά, κοινωνικά και περιβαλλοντικά καταστροφικό γεγονός μπορεί να αποδείξει ένα υπάρχον σύστημα διαχείρισης διακινδύνευσης κατώτερο των περιστάσεων.



Σχήμα 3-1: Πως η ανθεκτικότητα επηρεάζει τη διαδικασία διακυβέρνησης διαφόρων δραστηριοτήτων (Linkon & Trump, 2019).

Ο σύγχρονος παγκόσμιος κόσμος προσφέρει νέες ευκαιρίες για ταξίδια, επιχειρηματικές δραστηριότητες, βελτιωμένα επίπεδα διαβίωσης, και μεγαλύτερη πρόσβαση σε πληροφορίες. Ταυτόχρονα η διασύνδεση και αυτοματοποίηση διαφόρων υποδομών και πληροφοριακών συστημάτων δημιουργεί νέους κινδύνους για ολοκληρωτική αποτυχία των συστημάτων αυτών, που αν δεν είναι επαρκώς προετοιμασμένα, θα μπορούσε να βλάψει μόνιμα ένα σημαντικό κομμάτι της σύγχρονης ανθρώπινης δραστηριότητας.

Έχοντας επίγνωση τέτοιων νέων και εκτεταμένων απειλών σε διάφορους τομείς της αμερικανικής ζωής, η κυβέρνηση Ομπάμα όρισε ότι δεκαέξι τομείς υποδομής (που κυμαίνονται από την κυβερνοασφάλεια και ιατρική περίθαλψη στην οικολογική και

οικονομική υποδομή) να αναθεωρηθούν μέσω της ανάλυσης ανθεκτικότητας από έναν αριθμό ομοσπονδιακών υπηρεσιών. Καθεμία από τις υπηρεσίες αυτές έχει αναπτύξει προσεγγίσεις για την αξιολόγηση της ανθεκτικότητας:

- Το Υπουργείο Εσωτερικής Ασφάλειας (DHS)
- Η Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος (EPA)
- Το Υπουργείο Εσωτερικών (DOI)
- Η Εθνική Υπηρεσία Ωκεανών και Ατμόσφαιρας (NOAA)
- Το Εθνικό Ινστιτούτο Προτύπων και Τεχνολογίας (NIST)
- Το Σώμα Μηχανικών Στρατού των ΗΠΑ (USACE)
- Περιβαλλοντική Διοίκηση Στρατού των ΗΠΑ (USAEC)

Αυτές οι υπηρεσίες ανταποκρίθηκαν γρήγορα στην Προεδρική Οδηγία, με τις περισσότερους να εκδίδουν κατευθυντήριες δηλώσεις σχετικά με το πώς να αρχίσουν να ενσωματώνονται οι αρχές της ανθεκτικότητας στις διαδικασίες λειτουργίας τους έως το 2012 ή το 2013.

Πιο πρόσφατα, η κυβέρνηση Τραμπ ενσωμάτωσε την ανθεκτικότητα σε πολλούς τομείς της πολιτικής. Το ένα περιλαμβάνει το Εκτελεστικό Διάταγμα 13806 («Αξιολόγηση και ενίσχυση της κατασκευαστικής και αμυντικής βιομηχανίας και της ανθεκτικότητας της εφοδιαστικής αλυσίδας των ΗΠΑ) η οποία επιδιώκει να ενισχύσει τις κατασκευαστικές ικανότητες των ΗΠΑ για σκοπούς που σχετίζονται με την άμυνα. Ένα άλλο περιλαμβάνει το Εκτελεστικό διάταγμα 13800 («Ενίσχυση της κυβερνοασφάλειας των ομοσπονδιακών δικτύων και των Κρίσιμων Υποδομών»), το οποίο επιδιώκει να προωθήσει την ανθεκτικότητα ως αρχή λειτουργίας πίσω από τη βελτίωση της υποδομής στον κυβερνοχώρο των ΗΠΑ.

Εκτός των Ηνωμένων Πολιτειών, προέκυψαν εκκλήσεις για διαχείριση καταστροφών μέσω της ανθεκτικότητας ήδη από τα τέλη της δεκαετίας του 1990, με τη δημιουργία ενός ερευνητικού κέντρου ανάλυσης ανθεκτικότητας στη Στοκχόλμη της Σουηδίας. Το 2008, το Κέντρο STEPS του Ηνωμένου Βασιλείου φιλοξένησε ένα διεθνές συνέδριο με τον τίτλο «Re-framing Resilience», το οποίο επικεντρώθηκε στον επαναπροσδιοσμό της εστίασης στον κίνδυνο προκειμένου να ενσωματωθούν καλύτερα οι αρχές της

ανθεκτικότητας σε περιβάλλοντα υψηλής αβεβαιότητας και υψηλού κινδύνου (Leach, 2008). Αυτές οι προσπάθειες σηματοδοτούσαν μια πρώιμη εκτίμηση της ανάγκης για καλύτερης κατανόησης της ανάλυσης ανθεκτικότητας, ιδιαίτερα σε σχέση με τον οικολογικούς και κινδύνους σχετικούς με την κλιματική αλλαγή.

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή (European Commission) ξεκίνησε τη διερεύνηση της ανάλυσης ανθεκτικότητας σε ένα άρθρο του 2013 με τίτλο «Ανθεκτικότητα σε καταστροφές: διασφάλιση και ασφάλεια της κοινωνίας, συμπεριλαμβανομένης της προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή», το οποίο επισήμως υποχρεώνει τα κράτη-μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) να ενσωματώσουν τις αρχές της ανάλυσης ανθεκτικότητας στη διαχείριση του κινδύνου σε επίπεδο συστήματος. Παρόλο που η κλιματική αλλαγή χρησίμευσε και πάλι ως σημείο εκκίνησης για αυτό το κάλεσμα για δράση, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή αναγνώρισε και άλλες εξωτερικές απειλές όπως π.χ τρομοκρατική δραστηριότητα και απρόβλεπτες απειλές για μια ποικιλία συστημάτων υποδομής, συμπεριλαμβανομένης της ενέργειας, του νερού, των μεταφορών, της οικονομίας και άλλων. Συγκεκριμένα, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή δήλωσε ότι «καλύτερη κατανόηση της αρχιτεκτονικής των υποδομών ζωτικής σημασίας είναι απαραίτητη για τον καθορισμό μέτρων για την επίτευξη μεγαλύτερης ανθεκτικότητας, με ολοκληρωμένο τρόπο απέναντι σε φυσικές ή ανθρωπογενείς απειλές. Έτσι, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή σηματοδότησε την ανάγκη υιοθέτησης αρχών ανθεκτικότητας σε διάφορα διασυνδεδεμένα έργα υποδομής σε όλη την Ευρωζώνη, όπου τόσο σκόπιμες απειλές (π.χ. τρομοκρατικές) όσο και ακούσιες/τυχαίες απειλές (π.χ. φυσικές καταστροφές) θα μπορούσαν να προκαλέσουν χάος σε ολόκληρη την ήπειρο, εάν δεν ήταν κατάλληλα προετοιμασμένη.

Η ανθεκτικότητα έχει επίσης υιοθετηθεί εν μέρει από τις διεθνείς κυβερνήσεις και οργανισμούς όπως ο ΟΟΣΑ, Υπουργείο Διεθνούς Ανάπτυξης του Ηνωμένου Βασιλείου (UK DFID) και το Διεθνές Συμβούλιο Διακυβέρνησης Διακινδύνευσης (IRGC).

Η ανθεκτικότητα υιοθετήθηκε εν μέρη, πρώτη φορά διεθνώς ως στρατηγική διαχείρισης κινδύνου από τον ΟΟΣΑ (OECD) μετά την οικονομική κρίση του 2008 και υιοθετείται όλο και περισσότερο ως στρατηγική διαχείρισης καταστροφών μεταξύ αναπτυξιακών και ανθρωπιστικών ομάδων (OECD, 2014). Περαιτέρω, οι G20 δημοσίευσαν μια «Σημείωση σχετικά με τις αρχές ανθεκτικότητας στις οικονομίες των

G20» το 2017, με λεπτομερείς συμβουλές για την «ενίσχυση των μακροοικονομικών θεμελίων και των πλαισίων πολιτικής για να καρπωθούν τα οφέλη του ανοίγματος στο εμπόριο και τις διεθνείς ροές κεφαλαίων» (Nienaber 2017). Παρόμοια με τις Ηνωμένες Πολιτείες, διεθνείς οργανισμοί όπως ο ΟΟΣΑ έχουν εφαρμόσει την ανάλυση ανθεκτικότητας συμπληρωματικά μαζί με την ανάλυση διακινδύνευσης ως μέσο προετοιμασίας συστημάτων για την πιο αποτελεσματική ανάκαμψη από καταστροφικά γεγονότα, παρέχοντας τη δυνατότητα μιας πιο ομαλής προσγείωσης για το σύστημα (Linkov et al. 2016, OECD, 2017). Η ανθεκτικότητα ως επιστημονική πρακτική έχει αποδειχθεί ιδιαίτερα χρήσιμη για όλο και πιο πολύπλοκα και διασυνδεδεμένα συστήματα μέσω του εντοπισμού τρωτών σημείων και απειλών κινδύνου και της ενίσχυσης της απόδοσης του συστήματος σε όλο το φάσμα της κλίμακας και της συχνότητας των σοκ που μπορεί να υποστεί το σύστημα.

Οι επίσημες εκκλήσεις για ενίσχυση και εφαρμογή της ανάλυσης ανθεκτικότητας στις Ηνωμένες Πολιτείες και την Ευρώπη επικεντρώνονται στην ανάγκη για μεγαλύτερη προστασία έναντι απειλών για συστήματα και υποδομές σε μια εποχή όπου ουσιαστικά όλα είναι ψηφιοποιημένα και διασυνδεδεμένα σε εθνικό επίπεδο. Τόσο η κυβέρνηση Ομπάμα όσο και η Ευρωπαϊκή Επιτροπή είχαν, κατά τα τελευταία χρόνια, επιφορτίσει φορείς και ερευνητικά κέντρα με το έργο του εντοπισμού τρόπων με τους οποίους η ανάλυση ανθεκτικότητας μπορεί να υιοθετηθεί στις υπάρχουσες διαδικασίες διαχείρισης διακινδύνευσης καθώς και της προτυποποίησης της ανάλυσης ανθεκτικότητας για τη βελτίωση των υφιστάμενων εργαλείων ανάλυσης διακινδύνευσης που χρησιμοποιούνται επί του παρόντος από φορείς χάραξης πολιτικής. Αναμφίβολα το επόμενο βήμα για την προώθηση της ανάλυσης ανθεκτικότητας, καθώς τα πράγματα ωριμάζουν, είναι να υπάρξει ένα σαφές, κατανοητό και γενικευμένο σύνολο ορισμών και μεθόδων που θα μπορούσε να χρησιμοποιήσει οποιοσδήποτε οργανισμός για τη διεξαγωγή της δικής του ανάλυσης ανθεκτικότητας σε ένα συγκεκριμένο σύστημα ή υποδομή προκειμένου να καταστεί δυνατή μια αποτελεσματική αναθεώρηση της κατάστασης και να διασφαλιστεί η σωστή χρηματοδότηση για την ενίσχυσή του.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, οι πρακτικές διακυβέρνησης επηρεάζουν και διαμορφώνουν την ανθεκτικότητα των οργανισμών τόσο σε οξείες όσο και σε καθημερινές προκλήσεις, σε διάφορους τομείς όπως και στον τομέα της υγείας, όπου η

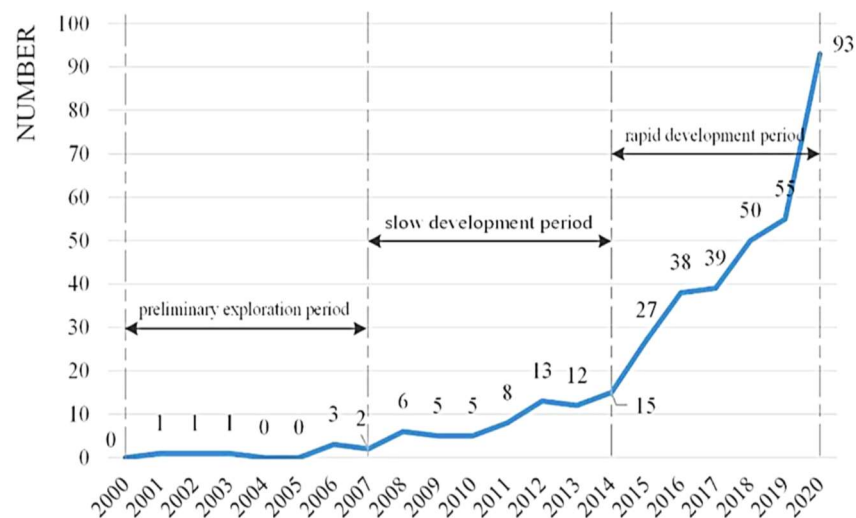
ηγετικότητα και η διαχείριση αποτελούν βασικά στοιχεία και παράγοντες ανθεκτικότητας. Ο τομέας της δημόσιας υγείας και υγειονομικής περίθαλψης είναι το επόμενο πεδίο που θα εξετάσουμε και στο οποίο η ανάλυση ανθεκτικότητας έχει πολλά να προσφέρει, αναλογιζόμενοι τις μεγάλες προκλήσεις των τελευταίων ετών που ταλαιπώρησαν τα συστήματα υγείας.

3.3 Ανθεκτικότητα στην υγειονομική περίθαλψη και δημόσια υγεία

Οι καταστροφές είτε φυσικές, είτε ανθρωπογενείς, αποτελούν μεγάλη πρόκληση για την ανθρώπινη υγεία και την ανάπτυξη. Οι εγκαταστάσεις υγειονομικής περίθαλψης είναι από τις πιο σημαντικές και περίπλοκες κρίσιμες εγκαταστάσεις σε οποιαδήποτε περιοχή και χώρα. Στη διάρκεια καταστροφών (π.χ. σεισμός, πλημμύρα, επιδημία κ.α.), ο ρόλος τους είναι ιδιαίτερα ζωτικής σημασίας για την ταχεία και αποτελεσματική απόκριση σε θύματα, τραυματισμένους ή πληγέντες. Μπροστά μας φαίνεται να έχουμε ένα μέλλον στο οποίο οι φυσικές και ανθρωπογενείς κρίσεις θα αυξηθούν εξαιτίας της επιτάχυνσης της αστικοποίησης, της κλιματικής αλλαγής και της παγκοσμιοποίησης. Συνεπώς η ικανότητα του συστήματος υγείας να λειτουργεί υπό συνθήκες πίεσης γίνεται όλο και πιο επιτακτική (Therrien, Normandin & Denis, 2016). Την τελευταία δεκαετία τα συστήματα υγείας παγκοσμίως έχουν βιώσει μεγάλες κρίσεις που έχουν δοκιμάσει τα όρια και τις αντοχές τους να ανταποκριθούν στο ρόλο τους. Η παγκοσμιοποίηση έχει επηρεάσει αισθητά τον τομέα της υγείας καθώς μια τοπική κρίση ή μια επιδημία εγκυμονεί απρόβλεπτους κινδύνους και συνέπειες που μπορεί να πάρουν ανεξέλεγκτες διαστάσεις. Τρανταχτά παραδείγματα είναι η παγκόσμια οικονομική κρίση του 2008, το ξέσπασμα του Έμπολα το 2014-2016, η πανδημία του COVID 2019, καταστροφές λόγω της κλιματικής αλλαγής και η πρόσφατη μεταναστευτική κρίση στην Ευρώπη. Αυτά αλλά και παλαιότερα πλήγματα έχουν ενισχύσει το όλο και αυξανόμενο ενδιαφέρον που υπάρχει σχετικά με την ανάλυση της ανθεκτικότητας στο χώρο της δημόσιας υγείας και της υγειονομικής περίθαλψης σε παγκόσμιο επίπεδο. Το έντονο ενδιαφέρον για την ανθεκτικότητα στα συστήματα υγείας τα τελευταία 15 χρόνια είναι τόσο μεταξύ των ερευνητών, με άνοδο του αριθμού των ερευνών και εργασιών, πάνω στο θέμα, όσο και μεταξύ των υπεύθυνων χάραξης

πολιτικής, όπως αποτυπώνεται στις έρευνες και στις επιλογές αποφάσεων και δράσεων για τη διαχείριση και ενίσχυση της ανθεκτικότητας στον τομέα της δημόσιας υγείας και υγειονομικής περίθαλψης (Forsgren, Tediosi, Blanchet & Saulnier, 2022). Είναι χαρακτηριστικό ότι από το 2015 και μετά, δηλαδή από το ξέσπασμα της επιδημίας του Έμπολα, αυξήθηκε σημαντικά ο αριθμός των δημοσιεύσεων για την ανθεκτικότητα στον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης, σχήμα 3-2 (Turenne et al., 2019).

Σύμφωνα με τους E.Barasa et al. (2018), η ανθεκτικότητα του Συστήματος υγείας μπορεί να οριστεί ως το συστημικό εκείνο χαρακτηριστικό αντοχής στο χρόνιο στρες και τα έντονα σοκ, και ως ένα χαρακτηριστικό, που όχι μόνο επιτρέπει στο σύστημα υγείας να απορροφήσει το σοκ αλλά μπορεί να το υποστηρίξει ώστε να προσαρμοστεί ή/και να μεταμορφωθεί όταν αντιμετωπίζει βραχυπρόθεσμες ή μακροπρόθεσμες προκλήσεις.



Σχήμα 3-2: Αριθμός δημοσιεύσεων σχετικά με την ανθεκτικότητα της Υγειονομικής περίθαλψης (Lingzhi et al., 2021).

Παρόμοια στο άρθρο τους «Governance and Capacity to Manage Resilience of Health Systems: Towards a New Conceptual Framework», οι Blanchet et al. (2017) ερμηνεύουν την ανθεκτικότητα ενός συστήματος υγείας ως την ικανότητά του να απορροφά, να προσαρμόζεται και να μεταμορφώνεται όταν εκτίθεται σε σοκ όπως η πανδημία, μια φυσική καταστροφή, ένοπλη σύγκρουση ή οικονομική κρίση και να εξακολουθεί να διατηρεί τον ίδιο έλεγχο στη δομή και τις λειτουργίες του.

Ένας ακόμα ορισμός της ανθεκτικότητας στην υγειονομική περίθαλψη είναι από τον Hollnagel (2013) στο άρθρο «Making health care resilient: From safety-I to safety-II: a white paper», ως «η ικανότητα του συστήματος υγειονομικής περίθαλψης (ένα ιατρείο, ένας θάλαμος, ένα νοσοκομείο, μια περιοχή) να προσαρμόσει τη λειτουργία του πριν από, κατά τη διάρκεια και/ή μετά από γεγονότα, και ως εκ τούτου να διατηρήσει τις απαιτούμενες λειτουργίες του υπό αναμενόμενες και μη αναμενόμενες συνθήκες».

Τέλος οι Kruk et al. (2015) στο άρθρο τους «What is a resilient health system? Lessons from Ebola», ορίζουν την ανθεκτικότητα του συστήματος ως την ικανότητα των παραγόντων υγείας, των ιδρυμάτων και των πληθυσμών να είναι προετοιμασμένοι για και να αντιδράσουν αποτελεσματικά στην περίπτωση κρίσεων. Αυτό σημαίνει να μπορούν να διατηρήσουν τις βασικές τους λειτουργίες όταν προκύπτει μια κρίση και μαθαίνοντας από την εμπειρία τους κατά τη διάρκεια της κρίσης, να αναδιοργανωθούν ανάλογα, εάν οι συνθήκες το απαιτούν. Θεωρούν ότι τα συστήματα υγείας είναι ανθεκτικά εάν προστατεύουν την ανθρώπινη ζωή και παράγουν θετικά αποτελέσματα για την υγεία για όλους τόσο κατά τη διάρκεια μιας κρίσης και όσο και μετά το τέλος της.

Ο κύριος όγκος της έρευνας αναφέρεται στην αξιολόγηση της ανθεκτικότητας των συστημάτων υγείας σε καταστάσεις κρίσεων, καθώς μετά το ξέσπασμα της επιδημίας του Έμπολα, δόθηκε ιδιαίτερη βαρύτητα στο θέμα της ανθεκτικότητας, όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω. Εντούτοις κάτι που τονίζεται από αρκετούς ερευνητές είναι ότι τα ανθεκτικά συστήματα υγείας πρέπει να μπορούν επίσης να λειτουργήσουν παραγωγικά και στην καθημερινότητά τους, αντιμετωπίζοντας αποτελεσματικά την καθημερινή πίεση. Πολλοί ερευνητές επομένως εξετάζουν τις δυνατότητες και το πλαίσιο της ανθεκτικότητας του υγειονομικού συστήματος όχι μόνο στην περίπτωση κρίσεων, αλλά και στην πραγματικότητα της καθημερινότητας. Αυτή η διαπίστωση είναι κρίσιμη, όχι μόνο γιατί η ανθεκτικότητα στην καθημερινότητα είναι μια εγγενής αξία του υγειονομικού συστήματος, αλλά γιατί είναι επίσης σημαντική για την ενίσχυση της ανθεκτικότητας τους στην αντιμετώπιση έντονων σοκ.

Ευρήματα από έρευνες στην ανάλυση της ανθεκτικότητας των υγειονομικών συστημάτων διαπιστώνουν ότι τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα που πρέπει να έχει το υγειονομικό σύστημα για να ανταπεξέλθει στην πίεση και τις ανάγκες της καθημερινότητας είναι κοινά με τα γνωρίσματα που ενισχύουν την ανθεκτικότητά του

σε περιπτώσεις κρίσεων, όπου υπάρχει αυξημένη ροή ασθενών, ελλείψεις σε ιατρικό υλικό, ακόμη και σε ανθρώπινο δυναμικό (Tan et al., 2023).

Η ανάλυση της ανθεκτικότητας γενικά, αλλά και ειδικά στην περίπτωση της υγειονομικής περίθαλψης και δημοσίας υγείας, σε αντίθεση με την ανάλυση διακινδύνευσης που ελέγχει συγκεκριμένους δείκτες, (Rahmani et al., 2022) έχει μια ολιστική προσέγγιση στην αντιμετώπιση των κινδύνων και απειλών και αγκαλιάζει την αβεβαιότητα, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι αποδέχεται την αδυναμία, αλλά αντίθετα αποδέχεται την πρόκληση που υπάρχει στην αβεβαιότητα (Barasa et al., 2017). Καθώς ένα μεγάλο της πλεονέκτημα είναι το χαρακτηριστικό της προσαρμογής και προσαρμοστικότητας και τα συστήματα υγείας πρέπει να μάθουν να διαχειρίζονται την αλλαγή και όχι μόνο να αντιδρούν σε αυτή, όταν προκύψει μια έντονη κρίση. Από τη βιβλιογραφία προκύπτει ότι η ανθεκτικότητα εμπεριέχει τόσο το σχεδιασμό και προετοιμασία για μια μελλοντική κρίση (προγραμματισμένη ανθεκτικότητα) όσο και την προσαρμογή σε αλλαγές και διαταραχές (προσαρμοστική ανθεκτικότητα).

Αναγνωρίζεται ωστόσο ότι ο προγραμματισμός από μόνος του δεν αρκεί και οι οργανισμοί πρέπει να επικεντρωθούν στην ανάπτυξη της ικανότητας προσαρμογής σε μεταβαλλόμενα περιβάλλοντα. Ενώ ο σχεδιασμός μπορεί να βοηθήσει στον μετριασμό των επιπτώσεων στο σύστημα υγείας από ένα έντονο σοκ, το αν το σύστημα υγείας θα είναι σε θέση ή όχι να διατηρήσει τις βασικές λειτουργίες παροχής ποιοτικής υγειονομικής περίθαλψης με αποτελεσματικό και δίκαιο τρόπο εξαρτάται επίσης και από το πόσο καλά προσαρμόζεται στη φάση μετά το σοκ. Επομένως η επένδυση σε δομές και διαδικασίες που προάγουν την προσαρμοστική ικανότητα των συστημάτων υγείας είναι σημαντική.

Επιπλέον διαπιστώνεται ότι, η ανθεκτικότητα στις καθημερινές προκλήσεις των συστημάτων υγείας δεν μπορεί να επιτευχθεί πλέον μόνο μέσω της ανάλυσης και διαχείρισης της διακινδύνευσης, καθώς συχνά στοχεύει σε μεμονωμένα γεγονότα που είναι παροδικά και έχουν ξεκάθαρα όρια, επομένως δεν υπάρχει η ολιστική προσέγγιση της ανάλυσης ανθεκτικότητας που ενσωματώνει την αβεβαιότητα του απρόβλεπτου. Οι καθημερινές προκλήσεις είναι απρόβλεπτες, πολλαπλές, και έχουν ασαφή όρια με την έννοια ότι διασυνδέονται με πολύπλοκους τρόπους. Συνεπώς το κλειδί για πιο αποτελεσματική διαχείριση και των καθημερινών προκλήσεων είναι η ικανότητα

μετασχηματισμού και συνεχούς προσαρμοστικότητας, μέσα από τη αξιολόγηση και ενίσχυση της ανθεκτικότητας.

Με βάση τα όσα αναφέρουν οι E.Barasa et al. (2017) στην εργασία τους, η ανθεκτικότητα περιλαμβάνει την κατάσταση της προετοιμασίας πριν από μια κρίση, τη διαχείριση κατά τη διάρκειά της και την ανάκαμψη/προσαρμογή μετά το τέλος της κρίσης. Η διαχείριση της διακινδύνευσης αντίθετα ενδιαφέρεται κυρίως για την προετοιμασία του συστήματος πριν από μια κρίση, ώστε να υπάρχει η μικρότερη διαταραχή σε αυτό. Δεδομένης της νέας πραγματικότητας και των αναγκών και η θεωρία της ανάλυσης διακινδύνευσης εξελίσσεται για να προσαρμοστεί και αυτό είναι ένα ζητούμενο, σύμφωνα με τα όσα ειπώθηκαν. Η τάση για μετάβαση από την ανάλυση διακινδύνευσης στην ανάλυση ανθεκτικότητας δείχνει αυτή ακριβώς την ανάγκη.

Κατανοώντας τα χαρακτηριστικά των ανθεκτικών συστημάτων και τις στρατηγικές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάπτυξη και ενίσχυση της ανθεκτικότητας θα είναι χρήσιμο για τις συντονισμένες παγκόσμιες προσπάθειες για την ενίσχυση των συστημάτων υγείας. Ο ΠΟΥ (WHO, 2016) έχει συμπεριλάβει την ανθεκτικότητα στη διατύπωση του στόχου αειφόρου ανάπτυξης για το 2030. Η ανθεκτικότητα ήταν ένα ουσιαστικό μέρος της έκθεσης του 2016, «Παγκόσμια κάλυψη υγείας: Προχωρώντας προς καλύτερη υγεία», το οποίο περιείχε πέντε σημαντικούς τομείς αρμοδιοτήτων βάσει των οποίων πρέπει να λειτουργούν τα συστήματα υγείας. Το 2017, σε συνέχεια του Παγκόσμιου Συνεδρίου του 2016 σε θέματα έρευνας στα Συστήματα Υγείας, το περιοδικό 'Health Policy and Planning' εξέδωσε ένα ειδικό τεύχος με το τίτλο «Ανθεκτικότητα και ανταποκρινόμενα συστήματα υγείας σε μεταβαλλόμενο κόσμο - Resilient and responsive Health Systems for a changing world». Το 2014, έγινε στη Γενεύη μια συνάντηση υψηλού επιπέδου όπου συμμετείχαν η Αφρικανική Τράπεζα Ανάπτυξης, η Παγκόσμια Τράπεζα, ο Οργανισμός Υγείας της Δυτικής Αφρικής, ο ΠΟΥ, υπουργοί πολλών χωρών και διάφοροι μη κρατικοί παράγοντες. Αυτή η συνάντηση κατέληξε σε μια δημοσίευση του ΠΟΥ όπου καλούσε τις εθνικές κυβερνήσεις «να αναπτύξουν και να εφαρμόσουν στρατηγικές για να κάνουν τα συστήματα υγείας τους ισχυρότερα και πιο ανθεκτικά» με τη βοήθεια της διεθνούς κοινότητας και της έρευνας.

Ένα ανθεκτικό σύστημα υγείας είναι αυτό που είναι σε θέση να προετοιμαστεί αποτελεσματικά, να αντέξει το στρες και να ανταποκριθεί στις συνέπειες που έχει μια καταστροφή στη δημόσια υγεία. Τα ανθεκτικά συστήματα υγείας είναι σε θέση να προστατεύουν τον εαυτό τους και τις ανθρώπινες ζωές από τις επιπτώσεις των καταστροφών στη δημόσια υγεία και είναι κρίσιμα για την διατήρηση της δημόσιας υγείας, όσο το δυνατόν καλύτερα, πριν, κατά τη διάρκεια και μετά από μια καταστροφή.

Οι Kruk et al. (2015) στην εργασία τους «What is a resilient health system? Lessons learnt from EBOLA» όρισαν πέντε στοιχεία ενός ανθεκτικού συστήματος υγείας. Τα ανθεκτικά συστήματα υγείας θα πρέπει να γνωρίζουν τα δυνατά και ευάλωτα σημεία των δομικών στοιχείων τους και το φάσμα των απειλών και των κινδύνων στους οποίους εκτίθενται. Θα πρέπει να είναι σε θέση να ανταποκρίνονται σε ένα ευρύ φάσμα θεμάτων δημόσιας υγείας πριν ή κατά τη διάρκεια της καταστροφής. Τα συστήματα υγείας θα πρέπει να είναι σε θέση να προσαρμόζονται γρήγορα και αποτελεσματικά στις μεταβαλλόμενες καταστάσεις και θα πρέπει να χρησιμοποιούν ολοκληρωμένες προσεγγίσεις για την ανταπόκριση σε γεγονότα που απειλούν τη δημόσια υγεία. Τέλος, ένα ανθεκτικό σύστημα δημόσιας υγείας και υγειονομικής περίθαλψης θα πρέπει να είναι σε θέση να αυτορυθμίζεται. Τα στοιχεία αυτά αποτελούν τον πυρήνα για την ενίσχυση ενός συστήματος υγείας και την αξιοποίηση του στα σχέδια διαχείρισης κρίσεων και καταστροφών.

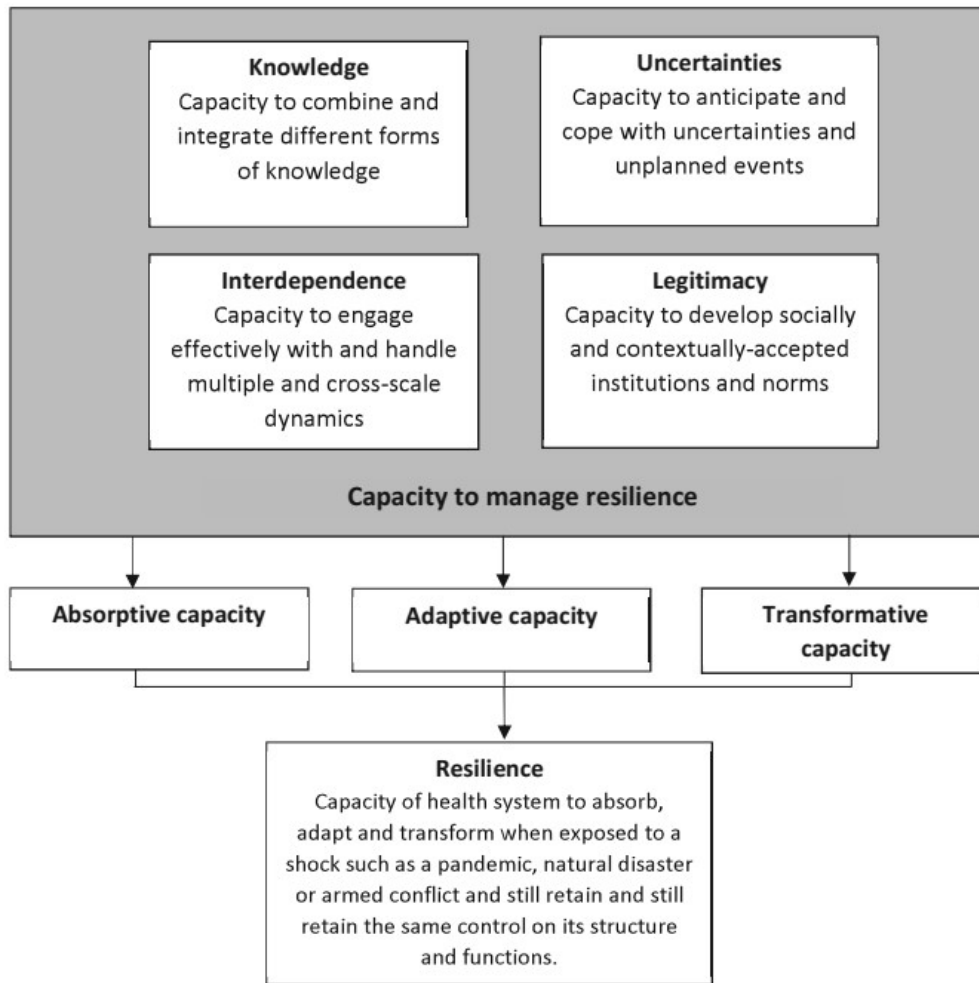
Στο περιοδικό 'Safety Science' δημοσιεύτηκε το 2019 το άρθρο «Resilient Health Care – Making steady progress» που αναφέρεται στην ανθεκτική υγειονομική περίθαλψη και την παρουσιάζει ως ένα νέο πεδίο ενδιαφέροντος που πρωτοπαρουσιάστηκε το 2012 στο αντίστοιχο workshop. Στηρίζεται κυρίως στην εφαρμογή των αρχών του Resilience Engineering στον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης, καθώς θεωρεί ότι τα σημαντικά προβλήματα που αντιμετωπίζουν τα υγειονομικά συστήματα δεν μπορούν αν αντιμετωπιστούν με συμβατικά εργαλεία και μεθόδους (Hollnagel et al., 2019).

Η έννοια της ανθεκτικότητας λοιπόν μπορεί να προσφέρει ένα χρήσιμο πλαίσιο για τα συστήματα υγείας ενισχύοντας όχι μόνο τις απαντήσεις σε έντονες και ξαφνικές κρίσεις αλλά και στις καθημερινές προκλήσεις, καθώς μπορεί να καλύψει καλύτερα από την ανάλυση διακινδύνευσης την ανάγκη προσαρμογής, ως αποτέλεσμα μιας διαταραχής.

Ένα ακόμα σημείο που είναι σημαντικό για τη διαχείριση της ανθεκτικότητας των συστημάτων δημόσιας υγείας και υγειονομικής περίθαλψης είναι οι κίνδυνοι που προκύπτουν για τη δημόσια υγεία από καταστροφικά γεγονότα λόγω της κλιματικής αλλαγής. Κατά συνέπεια αναπτύσσοντας την ανθεκτικότητα έναντι των κινδύνων εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής, δημιουργώντας ανθεκτικές κοινωνίες, ενισχύουμε την ανθεκτικότητα της δημόσιας υγείας και υγειονομικής περίθαλψης,

Από τη βιβλιογραφία προκύπτει ότι ενώ η ανάλυση της ανθεκτικότητας εξακολουθεί να αποτελεί σημαντικό κομμάτι της ανάλυσης και διαχείρισης της διακινδύνευσης και ειδικά στο πεδίο της διαχείρισης κρίσεων και καταστροφών, πλέον αυτό αρχίζει να αλλάζει. Καθώς αναπτύσσονται συνεχώς πλαίσια ποιοτικής εκτίμησης και δείκτες για τη μέτρηση της ανθεκτικότητας τόσο στα υγειονομικά όσο και σε άλλα συστήματα, η εγγενής ιδιότητα της ανθεκτικότητας στην προσαρμογή είναι αυτό που της δίνει το συγκριτικό πλεονέκτημα. (Rahmani, 2022). Οι Blanchet et al. (2016) στην εργασία τους «Governance and capacity to manage Health Care resilience», βασισμένοι σε ένα πλαίσιο από την επιστήμη της οικολογίας, προτείνουν κάτι ανάλογο για την ανάλυση και διαχείριση της ανθεκτικότητας στα συστήματα υγείας, με βάση τρεις ιδιότητες της ανθεκτικότητας: ελαστικότητα, προσαρμοστικότητα, μετασχηματισμός (σχήμα 3-3) .

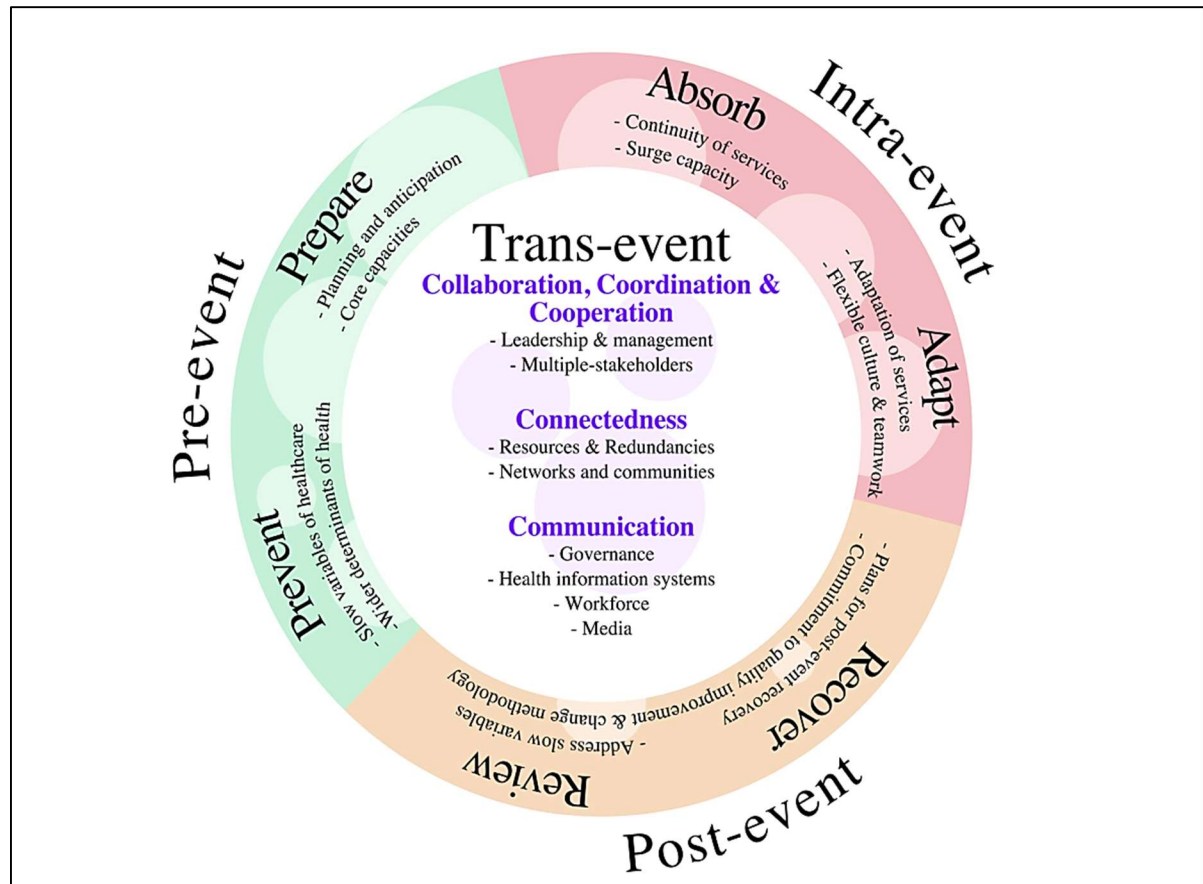
Οι Basara et al. (2017) εξετάζουν επίσης τις τρέχουσες επικρίσεις για την έννοια της ανθεκτικότητας στα συστήματα υγείας, όπως το ότι εστιάζεται η προσοχή στην προσδοκία μελλοντικών κρίσεων, διασφαλίζοντας τη διατήρηση του status quo. Μια άλλη κριτική της ανθεκτικότητας εντός και εκτός του τομέα της υγείας είναι ότι δέχεται ως φυσιολογική μια εικόνα του κόσμου ως μόνιμα σε κρίση και εκτεθειμένου σε ενδημικούς κινδύνους. Σύμφωνα με τους ερευνητές οι επικρίσεις είναι δικαιολογημένες στο βαθμό που αναφέρονται σε διαστάσεις της ανθεκτικότητας που δεν ταιριάζουν με την πραγματικότητα των συστημάτων υγείας ως πολύπλοκα προσαρμοστικά συστήματα (CAS) και υποστηρίζουν ότι οι παρατηρούμενες αδυναμίες της ανάλυσης και διαχείρισης της ανθεκτικότητας μπορούν να αντιμετωπιστούν με αναπλαισίωση της ανθεκτικότητας που ταιριάζει καλύτερα στα χαρακτηριστικά των συστημάτων υγείας ως πολύπλοκα προσαρμοστικά συστήματα και ενισχύοντας την ανθεκτικότητας τους όχι μόνο στην αντιμετώπιση καταστροφικών γεγονότων και επιδημιών, αλλά και στην πραγματικότητα της καθημερινότητας που αντιμετωπίζουν.



Σχήμα 3-3: Ένα εννοιολογικό πλαίσιο: Οι διαστάσεις της διαχείρισης της ανθεκτικότητας (Blanchet et al, 2017).

Η πανδημία του COVID-19 υπέβαλε σε δοκιμασία την ανθεκτικότητα των συστημάτων υγείας παγκόσμια. Πολλές χώρες που θεωρούνταν ότι έχουν ένα ανθεκτικό σύστημα υγείας, δεν τα πήγαν καλά κατά τη διάρκεια της πανδημίας. Οι Tan et al. (2023) παρουσίασαν τα αποτελέσματα της έρευνά τους για την ανθεκτικότητα στον τομέα της υγείας μετά και από την εμπειρία της πρόσφατης πανδημίας. Πρώτο συμπέρασμα είναι ο ορισμός για την ανθεκτικότητα στα συστήματα υγείας/ υγειονομικής περίθαλψης: «είναι η ικανότητα των εργαζομένων στον τομέα της υγείας, των οργανισμών ή των συστημάτων υγείας, (α) για προετοιμασία και πρόληψη, (β) να απορροφούν και να προσαρμόζονται για να διατηρήσουν τη δομή και τις απαραίτητες λειτουργίες, (γ) για

ανάκαμψη και επαναξιολόγηση μετά από κρίσεις, σοκ ή στρεσογόνες καταστάσεις (σχήμα 3-4).



Σχήμα 3-4: Ένας διεπιστημονικός, διατομεακός και πολυεπίπεδος ορισμός και εννοιολογικό πλαίσιο για την ανθεκτικότητα της υγειονομικής περίθαλψης. Τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα παρατίθενται ως επικεφαλίδες στους 3 χρονικούς τομείς του κύκλου: προ του συμβάντος, κατά τη διάρκεια και μετά το συμβάν (Tan et al., 2023).

Τα κύρια σχήματα που εφαρμόζονται μέχρι τώρα για την ανθεκτικότητας της υγειονομικής περίθαλψης περιλαμβάνουν μείωση κινδύνου καταστροφών (DRR), διαχείριση έκτακτων καταστάσεων (EM), ασφάλεια ασθενών και δημόσια υγεία. Πλέον υπάρχει μια στροφή από την εστίαση κυρίως στις καταστροφές και κρίσεις, σε μια ολιστική προσέγγιση των κινδύνων μέσω της ανάλυσης της ανθεκτικότητας. Η ανάλυση ανθεκτικότητας έχει μια ολιστική προσέγγιση των κινδύνων, ώστε να μπορεί να ανταπεξέλθει και στο αναπάντεχο, καθώς και μια προοπτική προσανατολισμένη στη διαδικασία. Ένα άλλο συμπέρασμα από την έρευνά τους είναι ότι λίγα πλαίσια ενσωματώνουν αυτές τις αρχές, ενώ δυσκολότερα ακόμα αποτυπώνονται σε ένα συστήματα μέτρησης. Τονίζουν ότι πρέπει να γίνει καλύτερα αντιληπτό πώς λειτουργεί η ανθεκτικότητα σε διάφορα ιεραρχικά επίπεδα και πως μπορεί να υπάρχουν

ανταγωνιστικές προτεραιότητες που επηρεάζουν τη συνολική ανθεκτικότητα. Η κατανόηση αυτών μπορεί να υποστηρίξει διεπιστημονικές, διατομεακές και πολυεπίπεδες προσεγγίσεις για την ανάλυση της ανθεκτικότητας στην υγειονομική περίθαλψη για το μέλλον.

Το ζητούμενο, που βλέπουμε να αναφέρεται από τους περισσότερους ερευνητές, είναι η διεπιστημονική προσέγγιση της ανάλυσης ανθεκτικότητας, ώστε να υπάρχει «κοινός τόπος».

3.4 Κοινωνική και περιβαλλοντική ανθεκτικότητα

«Πρέπει επείγοντως να εφαρμόσουμε την έννοια της ανθεκτικότητας, εάν θέλουμε να προετοιμάσουμε τις κοινωνίες μας για την κλιματική αλλαγή και τους επιδεινούμενους φυσικούς κινδύνους». Έτσι ξεκινάει το abstract της εργασίας των Logan et al. (2020), «Reframing Resilience: Equitable Access to Essential Services». Η κατανόηση του τρόπου οικοδόμησης της ανθεκτικότητας στο πλαίσιο μιας κοινότητας έχει περιγραφεί ως ένα από τα ερευνητικά ερωτήματα και πρακτικές προκλήσεις του σήμερα που πρόκειται να έχουν μεγάλη επίδραση στις κοινωνίες του αύριο και η επίλυσή τους είναι επείγοντως απαραίτητη (Caldarice et al. 2019). Στις Ηνωμένες Πολιτείες, οι Εθνικές Ακαδημίες Επιστημών προτείνουν έναν τρόπο μείωσης των επιπτώσεων των καταστροφών στο έθνος και τις κοινότητές του που είναι η επένδυση στην ενίσχυση της ανθεκτικότητας. Το Εθνικό Ινστιτούτο Προτύπων και Τεχνολογίας ορίζει την ανθεκτικότητα της κοινότητας ως ‘την ικανότητα μιας κοινότητας να προετοιμάζεται για τους αναμενόμενους κινδύνους, να προσαρμόζεται στις μεταβαλλόμενες συνθήκες, να αντέχει και να ανακάμπτει γρήγορα από καταστροφές.’

Η ανάλυση της ανθεκτικότητας μιας κοινότητας/κοινωνίας επιτρέπει την ανάπτυξη στρατηγικών για τη μείωση των αρνητικών επιπτώσεων που έχουν στη λειτουργία και την ασφάλεια της κοινωνίας τα ανατρεπτικά γεγονότα, όπως οι φυσικοί κίνδυνοι, οι τεχνολογικές καταστροφές και οι υγειονομικοί κίνδυνοι, μεταξύ άλλων. Οι αρνητικές συνέπειες από τέτοια γεγονότα μπορεί να διαρκέσουν αρκετούς μήνες ή και χρόνια ανάλογα με την ανθεκτικότητα της κοινότητας. Στο σχήμα 3-5 φαίνεται πως διάφορες στρατηγικές προγραμματισμού μπορούν να ενισχύσουν χαρακτηριστικά της ανθεκτικότητας στον πολεοδομικό σχεδιασμό (Yamagata & Sharifi, 2018).

	Robustness	Stability	Diversity	Redundancy	Flexibility	Resourcefulness	Coordination capacity	Modularity	Collaboration	Agility	Efficiency	Creativity	Equity	Foresight capacity	Self-organization	Adaptability
Planning vision and strategy																
Public participation and capacity building																
Building equity and empowering poor and marginalized communities																
Learning from traditional local knowledge																
Institutional reforms																
Social networks and social support																
Sectoral, spatial, and temporal interlinkages																
Resilience-oriented land use planning																
Resilient urban infrastructure																

Σχήμα 3-5: Συνεισφορά στρατηγικών προγραμματισμού στην ενίσχυση των στοιχείων ανθεκτικότητας στον πολεοδομικό σχεδιασμό (Yamagata & Sharifi, 2018).

Τα τελευταία χρόνια, έχουν γίνει προσπάθειες για τη μέτρηση, την ανάλυση και τη βελτίωση της ανθεκτικότητας της κοινότητας από διάφορους τομείς της επιστήμης και της τεχνολογίας και έχουν προταθεί διάφορα πλαίσια ανάλυσης και δείκτες μέτρησης π.χ. διαδικτυακά κοινωνικά δίκτυα, OSN (Lopez-Cuervas et al., 2017), το μοντέλο COPEWELL (Schoch-Spana et al., 2019).

Επιπλέον η ανάλυση και ανάπτυξη της ανθεκτικότητας των σύγχρονων κοινωνιών έχει συνδεθεί άρρηκτα και με την κλιματική αλλαγή που βιώνει ο πλανήτης και είναι αναγκαία μια ολιστική προσέγγιση και συνεργασία ανάμεσα σε διάφορους παράγοντες για να αντιμετωπιστούν οι διάφορες πτυχές και συνέπειες της κλιματικής αλλαγής.

Το Γραφείο των Ηνωμένων Εθνών, στην έκθεση αναφοράς του 2012 για τη μείωση του κινδύνου καταστροφών (UNISDR) (Ayyub, 2014) ανέφερε ότι το ήμισυ των κατοίκων του κόσμου, αριθμός που αναμένεται έως το 2025 να αυξηθεί στα δύο τρίτα περίπου, καθώς και η συντριπτική πλειοψηφία της περιουσίας και ο πλούτος είναι συγκεντρωμένα σε αστικά κέντρα που βρίσκονται σε τοποθεσίες ήδη επιρρεπείς σε μεγάλες καταστροφές, όπως π.χ. σεισμοί και σοβαρές ξηρασίες, αλλά και κατά μήκος των ακτών που είναι επιρρεπείς στις πλημμύρες. Ο UNISDR ανέφερε επίσης ότι οι φυσικές καταστροφές του 2011, συμπεριλαμβανομένου του σεισμού και το τσουνάμι που έπληξε την Ιαπωνία, είχαν ως αποτέλεσμα 366 δισεκατομμύρια δολάρια σε άμεσες

ζημιές και 29.782 θανάτους παγκοσμίως. Οι καταιγίδες και οι πλημμύρες αντιπροσωπεύουν έως και 70 από τις 302 φυσικές καταστροφές παγκοσμίως το 2011, με τους σεισμούς να έχουν προκαλέσει τον μεγαλύτερο αριθμό θανάτων. Οι μέσες ετήσιες απώλειες στις Ηνωμένες Πολιτείες ανέρχονται σε περίπου 55 δισεκατομμύρια δολάρια. Αναμένεται ότι τέτοιες καταστροφές θα συμβαίνουν τα επόμενα χρόνια με αυξητικές τάσεις, λόγω της συνδυασμένης επίδρασης της κλιματικής αλλαγής και της αυξημένης παράκτιας οικιστικής ανάπτυξης. Αν και κανένα πληθυσμιακό κέντρο ή γεωγραφική περιοχή δεν μπορεί ποτέ να είναι απαλλαγμένο από κινδύνους, φυσικούς ή ανθρωπογενείς, κοινότητες θα πρέπει να ενισχύσουν την ανθεκτικότητά τους απέναντι στις καταστροφικές δυνάμεις και τις επιπτώσεις τους.

Ο Gilbert (2010) στην εργασία του «Disaster Resilience: A Guide to the Literature» κατέγραψε τις τάσεις απώλειας περιουσίας σε σχέση με τους αντίστοιχους θανάτους από το 1960 έως το 2009 και έδειξε ότι οι δύο παράμετροι είναι σχεδόν παράλληλα χωρίς σημαντικές αποκλίσεις. Ωστόσο, σημειώνεται ότι οι Ηνωμένες Πολιτείες γίνονται όλο και πιο ευάλωτες σε καταστροφές λόγω της αύξησης της συγκέντρωσης πληθυσμού σε περιοχές επιρρεπείς σε φυσικές καταστροφές χωρίς επαρκείς υποδομές. Η ενίσχυση επομένως της ανθεκτικότητας του συστήματος σε επίπεδο δομών, δικτύων, κοινότητας κ.λπ. θα μπορούσε να οδηγήσει σε τεράστια εξοικονόμηση πόρων μέσω της μείωσης της έκθεσης σε κινδύνους και της ταχείας ανάκαμψης. Η ανάλυση και διαχείριση της ανθεκτικότητας μπορεί παρέχοντας τα κατάλληλα πλαίσια και δείκτες μέτρησης και σε συνδυασμό με τη διαχείριση κινδύνων καταστροφών (DRM) να διευκολύνει την προστασία και γρήγορη ανάκαμψη σε περιπτώσεις τέτοιων καταστροφών, σχήμα 3-6. Σύμφωνα με τον Ayyub (2014), τα ανθεκτικά συστήματα πρέπει αναπτύσσονται έτσι ώστε να ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις της αειφορίας που ορίζονται από τους τρεις πυλώνες: περιβάλλον, κοινωνική ισότητα και οικονομικές απαιτήσεις. Επομένως η επίτευξη της ανθεκτικότητας στα κοινωνικά συστήματα συνδέεται και ενισχύεται και από τη βιωσιμότητα, όπως και στα οικολογικά συστήματα.

Παρόμοια οι Norris et al. (2007) στην εργασία τους «Community Resilience as a Metaphor, Theory, Set of Capacities, and Strategy for Disaster Readiness», αναφέρουν την ανθεκτικότητα ως στρατηγική για την προετοιμασία απέναντι σε καταστροφές και ειδικά την ανθεκτικότητα των κοινοτήτων: «Πρώτον, για να αυξήσουν την

ανθεκτικότητά τους σε καταστροφές, οι κοινότητες πρέπει να αναπτύξουν τους οικονομικούς πόρους, να μειώσουν τον κίνδυνο και τις ανισότητες στην κατανομή των πόρων και να προσέξουν ιδιαίτερα τις περιοχές τους με τη μεγαλύτερη κοινωνική ευαλωτότητα».

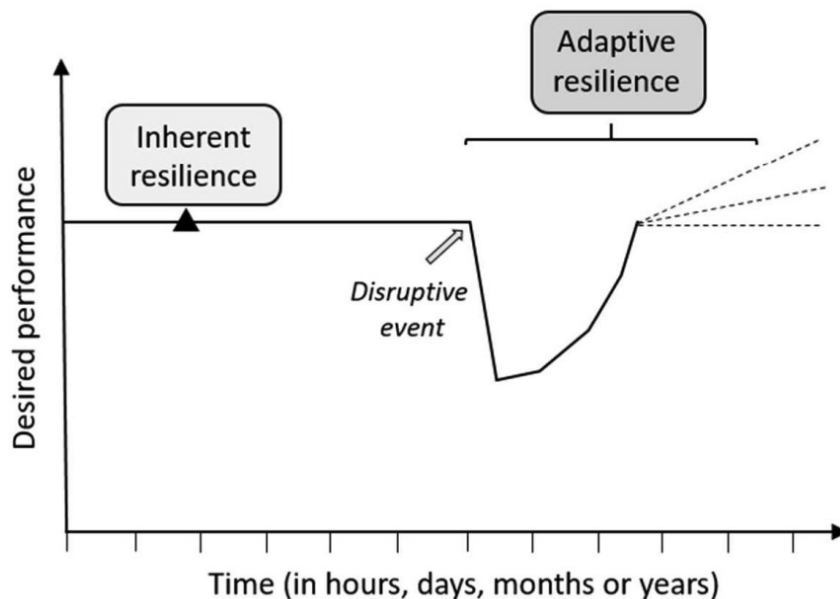


Σχήμα 3-6: Παράγοντες ενίσχυσης της κοινωνικής ανθεκτικότητας (Buheji, 2020).

Ακόμα πιο εντοπισμένα οι Cariolet et al. (2019) στην εργασία τους «Mapping urban resilience to disasters-review» προτείνουν έναν ευρύ ορισμό που βασίζεται σε μια ανασκόπηση της βιβλιογραφίας: «Η αστική ανθεκτικότητα αναφέρεται στην ικανότητα ενός αστικού συστήματος -και όλων των κοινωνικο-οικολογικών και κοινωνικο-τεχνικών δικτύων σε χρονικές και χωρικές κλίμακες- να διατηρεί ή να επιστρέφει γρήγορα στις επιθυμητές λειτουργίες ενόψει μιας διαταραχής, να προσαρμόζεται στην αλλαγή και να μετασχηματίζει γρήγορα υποσυστήματα του που περιορίζουν την τρέχουσα ή μελλοντική προσαρμοστική ικανότητα» (Meerow 2016). Καθώς η κοινότητα θεωρείται ένα σύστημα διασυνδεδεμένων συστημάτων, μπορούμε να θεωρήσουμε την ανθεκτικότητα της κοινότητας στις αστικές περιοχές παρόμοια με την αστική ανθεκτικότητα. Σύμφωνα με την έρευνά τους, τονίζουν ότι από τη φύση της, η ανθεκτικότητα μπορεί να παρατηρηθεί και να χαρακτηριστεί μόνο μετά από μια

καταστροφή, γεγονός που καθιστά δύσκολη τη μέτρηση – και επομένως τη χαρτογράφηση – πριν συμβεί μια καταστροφή. Ωστόσο, οι υπεύθυνοι λήψης αποφάσεων χρειάζεται συχνά να αξιολογούν την ανθεκτικότητα πριν συμβούν καταστροφές, προκειμένου να βελτιώσουν την αστική ανθεκτικότητα όσο «υπάρχει ακόμη χρόνος». Αυτή η δυσκολία οδήγησε τους ερευνητές να προτείνουν δύο τρόπους μέτρησης -και συνεπώς χαρτογράφησης- της ανθεκτικότητας. Οι Cutter (2016), Rose (2004) και Tierney (2007) κάνουν διάκριση μεταξύ προσαρμοστικής ανθεκτικότητας και εγγενούς ανθεκτικότητας. Αυτή είναι μια απλουστευμένη εκδοχή της έννοιας της ανθεκτικότητας, αλλά επιτρέπει τη σαφή διάκριση δύο ειδών «χαρτογράφησης» με αντίστοιχους στόχους, λαμβάνοντας υπόψη το κριτήριο του χρόνου, σχήμα 3-7. Η προσαρμοστική ανθεκτικότητα σχετίζεται με το αποτέλεσμα και τις διαδικασίες που γίνονται μετά από ένα καταστροφικό γεγονός και μπορεί να μετρηθεί μόνο μετά από αυτό. Η εγγενής ανθεκτικότητα συχνά αναφέρεται και ως ικανότητα ανθεκτικότητας και είναι η δυνατότητα που έχει μια κοινότητα ή μια περιοχή να ανταποκριθεί και να ανακάμψει από ένα σοκ. Θεωρητικά η εγγενής ανθεκτικότητα μπορεί να μετρηθεί πριν από ένα συμβάν και να αποτελέσει βάση για τη βελτίωση της αστικής, κοινωνικής ανθεκτικότητας.

Ο Wilson (2012) στο βιβλίο του «Community Resilience and Environmental Transitions» τονίζει τη μεγάλη σημασία της ενίσχυσης της ανθεκτικότητας πρώτα σε τοπικό κοινωνικό επίπεδο, προτού κλιμακωθεί σε περιφερειακό, εθνικό και παγκόσμιο επίπεδο λήψης περιβαλλοντικών αποφάσεων. Ενώ αναφέρει ότι υπάρχει ιδιαίτερη αλληλεπίδραση μεταξύ της ανθεκτικότητας της κοινότητας και των διαφορετικών μορφών οικονομικού, κοινωνικού και περιβαλλοντικού κεφαλαίου. Μακροπρόθεσμα η οικονομική ικανότητα και η επιβίωση των κοινοτήτων ανά τον κόσμο θα βασίζεται στην επίδειξη ισχυρής ανθεκτικότητας, ειδικά από την άποψη των ολοένα και πιο απαιτητικών διαταραχών που επηρεάζουν τις κοινωνίες και που συνδέονται με την επιτάχυνση της κλιματικής αλλαγής και την εμβάθυνση της παγκοσμιοποίησης. Ένα βασικό ερώτημα είναι, για παράδειγμα, πως οι μεγάλες πόλεις με αρκετά εκατομμύρια κατοίκους μπορούν να ενισχύσουν την ανθεκτικότητα σε όλες τις διαφορετικές αστικές τους κοινότητες που χαρακτηρίζονται από μεγάλες εισοδηματικές ανισότητες, πολυπολιτισμικότητα και πολυεθνικότητα, περίπλοκες προσδοκίες ανθεκτικότητας και μεγάλες αλληλοεξαρτώμενες παροχές, όπως αστικές μεταφορές, παροχή τροφίμων και ενέργειας. Όπως τόνισε ο Magis (2010), «η



Σχήμα 3-7: Διαφορά μεταξύ προσαρμοστικής ανθεκτικότητας και εγγενούς ανθεκτικότητας (Cariolet et al., 2019).

ανθεκτικότητα μιας κοινότητας θα επηρεάσει την ικανότητά της να ανταποκρίνεται επιτυχώς στην αλλαγή, καθιστώντας έτσι την ανθεκτικότητα εξαιρετικά σημαντική για την ίδια την κοινότητα και την κοινωνική βιωσιμότητα».

Επίσης οι Quandt & Paderes (2022), αναφέρουν ότι η ανάλυση ανθεκτικότητας αποτελεί ουσιαστικά κοινό τόπο στον προγραμματισμό και την υλοποίηση παρεμβάσεων σε πολλούς τομείς, συμπεριλαμβανομένων των ανθρωπιστικών ενεργειών, μείωση του κινδύνου καταστροφών, προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή και επισιτιστική ασφάλεια και διατροφή. Εθνικά προγράμματα, όπως το Resilient America, έχουν προκύψει για να διερευνήσουν τις διαφορετικές προσεγγίσεις για την ενίσχυση της ανθεκτικότητας σε κοινότητες (Forrest & Milliken, 2019). Η διεθνής κοινότητα έχει ορίσει την ανθεκτικότητα ως βασικό στόχο σε έργα που αφορούν τη βιώσιμη και δίκαιη χρήση των φυσικών πόρων. Επιπλέον η προώθηση της ανθεκτικότητας σε ακραίες κλιματικές συνθήκες έχει αναδειχθεί ως ιδιαίτερα κρίσιμη αναπτυξιακή προτεραιότητα. Για παράδειγμα, η προώθηση της ανθεκτικότητας έχει υιοθετηθεί από τον Ίδρυμα Ροκφέλερ μέσω του έργου τους «Πρωτοβουλία για την ανθεκτικότητα», που θα δούμε και παρακάτω, όσο και από τη συνεργασία Ερυθρού Σταυρού/Ερυθράς Ημισελήνου. Η Παγκόσμια Τράπεζα έχει επίσης χρηματοδοτήσει έργα που επικεντρώνονται στην ενίσχυση της ανθεκτικότητας απέναντι στην κλιματική

αλλαγή και τις συνεπακόλουθες καταστροφές για να βοηθήσει τις χώρες που έχουν υποβάλει το εθνικό τους Πρόγραμμα Προσαρμοσμένης Δράσης (NAPA) στο Πλαίσιο της Σύμβασης της Γραμματείας των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή (UNFCCC). Τονίζεται και εδώ η ανάγκη, αλλά και η δυσκολία για την επιλογή κατάλληλων, αντικειμενικών δεικτών για την ανάλυση της κοινωνικής και περιβαλλοντικής ανθεκτικότητας.

Το 2013, το Ίδρυμα Ροκφέλερ πρωτοστάτησε με το πρόγραμμα 100 Ανθεκτικές Πόλεις (RC), για να βοηθήσει περισσότερες πόλεις να δημιουργήσουν ανθεκτικότητα στις φυσικές, κοινωνικές και οικονομικές προκλήσεις που αποτελούν ένα αυξανόμενο τμήμα του 21ου αιώνα. Οι πόλεις του δικτύου 100RC έχουν εφοδιαστεί με τους απαραίτητους πόρους για την ανάπτυξη ενός οδικού χάρτη για την ενίσχυση της ανθεκτικότητας κατά μήκος τεσσάρων κύριων οδών:

- Οικονομική και υλικοτεχνική καθοδήγηση για τη δημιουργία μιας καινοτόμου νέας θέσης στη διακυβέρνηση της πόλης, ενός Chief Resilience Officer, ο οποίος θα ηγηθεί των προσπαθειών για την ανθεκτικότητα της πόλης.
- Υποστήριξη εμπειρογνομόνων για την ανάπτυξη μιας ισχυρής στρατηγικής για την ανθεκτικότητα.
- Πρόσβαση σε λύσεις, παρόχους υπηρεσιών και συνεργάτες από τον ιδιωτικό, το δημόσιο και τον τομέα των ΜΚΟ που μπορούν να βοηθήσουν, να αναπτύξουν και να εφαρμόσουν τις Στρατηγικές τους για την ανθεκτικότητα.
- Συμμετοχή σε ένα παγκόσμιο δίκτυο πόλεων-μελών που μπορούν να μάθουν και να βοηθήσουν η μία την άλλη.

Μέχρι σήμερα, περισσότερες από 1.000 πόλεις έχουν υποβάλει αίτηση και 100 πόλεις έχουν επιλεγεί, για να ενταχθούν στο Δίκτυο—που αντιπροσωπεύουν περισσότερο από το ένα πέμπτο του παγκόσμιου αστικού πληθυσμού. Επί του παρόντος, έχουν δημιουργηθεί περισσότερες από 50 ολιστικές στρατηγικές ανθεκτικότητας, οι οποίες έχουν σκιαγραφήσει πάνω από 1.800 συγκεκριμένες δράσεις και πρωτοβουλίες. Αυτό οδήγησε σε περισσότερες από 150 συνεργασίες μεταξύ εταίρων και πόλεων για την αντιμετώπιση των προκλήσεων που αντιμετωπίζει μια πόλη, συμπεριλαμβανομένων 230 εκατομμυρίων δολαρίων δεσμευμένης υποστήριξης από συνεργάτες της

πλατφόρμας και περισσότερων από 655 εκατομμυρίων δολαρίων από εθνικές, φιλανθρωπικές και ιδιωτικές πηγές για την υλοποίηση έργων ανθεκτικότητας.

Μετά από περισσότερα από έξι επιτυχημένα χρόνια ανάπτυξης και καταλυτικής επίδρασης επί του κινήματος αστικής ανθεκτικότητας, ο οργανισμός 100 Ανθεκτικές Πόλεις ολοκληρώθηκε στις 31 Ιουλίου 2019. Στις 8 Ιουλίου 2019, το Ίδρυμα Rockefeller ανακοίνωσε δέσμευση 8 εκατομμυρίων δολαρίων για να συνεχίσει να υποστηρίζει το έργο του Chief Resilience Officers και τις πόλεις μέλη του Δικτύου 100 RC. Αυτή η νέα χρηματοδότηση θα επιτρέψει τη συνέχιση της υλοποίησης των πρωτοβουλιών για την ενίσχυση της ανθεκτικότητας που επώαστηκαν μέσω του έργου 100 RC.

Όσο οι ανθρώπινες δραστηριότητες εξακολουθούν να θερμαίνουν τον πλανήτη με πρωτοφανή ρυθμό, είναι ζωτικής σημασίας τα νοικοκυριά, οι κοινότητες και γενικά η κοινωνία να προετοιμαστούν, να προσαρμοστούν και να γίνουν πιο ανθεκτικά σε αυτές τις κρίσιμες και επείγουσες προκλήσεις για την ανθρωπότητα (IPCC 2021). Η κλιματική αλλαγή είναι ένας από τους πιο σοβαρούς κινδύνους που αντιμετωπίζουν οι σύγχρονες κοινωνίες, αποτελώντας σημαντική απειλή παγκόσμια για τα τρόφιμα, το νερό, την οικολογία, την ενέργεια, τις υποδομές και την ασφάλεια της ζωής και της παρουσίας των ανθρώπων. Μόλις η άνοδος της θερμοκρασίας ξεπεράσει τον 1,5 °C, θα προκαλέσει μη αναστρέψιμα καταστροφικά αποτελέσματα σε ορισμένες περιοχές και οικοσυστήματα. Τον Φεβρουάριο του 2022, η Διακυβερνητική επιτροπή των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC) δημοσίευσε την Έκτη Έκθεση Αξιολόγησης της Ομάδας Εργασίας II, «CC 2022: Επιπτώσεις, προσαρμογή και τρωτότητα», δίνοντας έμφαση στους σημαντικούς κινδύνους της κλιματικής αλλαγής για τα οικοσυστήματα και τις ανθρώπινες κοινωνίες, με περίπου 3,3 έως 3,6 δισεκατομμύρια ανθρώπους σε όλο τον κόσμο να ζουν σε περιοχές ιδιαίτερα ευάλωτες στις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής. (IPCC, 2022).

Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Μετεωρολογικό Οργανισμό (WMO), ο μήνας Ιούλιος του 2022 κατατάσσεται μεταξύ των τριών θερμότερων μηνών Ιουλίου που έχουν καταγραφεί παγκοσμίως. Κλιματικά φαινόμενα όπως η υψηλή θερμοκρασία και η ξηρασία έχουν εμφανιστεί παγκοσμίως. Η Ευρώπη γνώρισε τη χειρότερη ξηρασία των τελευταίων 500 ετών, πολλά ποτάμια στη Βόρεια Αμερική έχουν στεγνώσει, ενώ

περιοχές στην Κίνα αντιμετωπίζουν αλληπάλληλες πυρκαγιές. Εν τω μεταξύ, για να διασφαλιστεί ότι η ανθρώπινη ζωή και παραγωγή μπορούν να συνεχιστούν κανονικά, οι αστικές υποδομές βρίσκονται υπό μεγάλη πίεση λόγω του κλιματικού κινδύνου. Οι Fazey et al. (2021), αναφέρουν ότι η προσαρμογή στις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής απαιτεί σημαντικές και γρήγορες αλλαγές σε τεχνολογικούς και συμπεριφορικούς τομείς, ενέργεια συστήματα και δομές, στη διακυβέρνηση και κουλτούρες, κανόνες και πεποιθήσεις. Σε αυτό το πλαίσιο, έχει δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στην ενίσχυση της ανθεκτικότητας της κοινότητας ως απάντηση στις προκλήσεις που σχετίζονται με την κλιματική αλλαγή. Η κοινωνική ανθεκτικότητα σχετίζεται με πολλούς τομείς, συμπεριλαμβανομένης της ανάπτυξης της κοινότητας, τη διαχείριση κινδύνων καταστροφών, έλλειψη καυσίμων, τρωτότητα, υγεία, εκπαίδευση και αειφορία. Όπως έχει αναφερθεί και από άλλους ερευνητές αν και υπάρχει εκτεταμένη έρευνα για τις εννοιολογικές πτυχές της ανθεκτικότητας, η κατανόηση του τρόπου οικοδόμησης της ανθεκτικότητας της κοινότητας στην πράξη είναι πιο περιορισμένη. Βέβαια, αυτό έχει αρχίσει να αλλάζει και πλέον προτείνονται αρκετά πλαίσια και δείκτες ανάλυσης και εκτίμησης της ανθεκτικότητας (Liu et al., 2023)

Ένα πολύ ενδιαφέρον άρθρο-σχόλιο, ενδεικτικό της τάσης για μετάβαση από την ανάλυση διακινδύνευσης στην ανάλυση της ανθεκτικότητας ή σε συνδυασμό των δυο αυτών πεδίων και στο θέμα της κλιματικής αλλαγής είναι το «Changing the resilience paradigm», που είδαμε και στο κεφάλαιο 2. Όπως επισημαίνεται, δύο παράγοντες καθιστούν την ανάλυση διακινδύνευσης μη ρεαλιστική για πολλά συστήματα. Πρώτον, τα διασυνδεδεμένα κοινωνικά, οικονομικά και τεχνικά δίκτυα δημιουργούν μεγάλα περίπλοκα συστήματα και η ανάλυση διακινδύνευσης για κάθε επιμέρους τμήμα του είναι απαγορευτική λόγω κόστους και χρόνου. Δεύτερον, οι αβεβαιότητες που συνδέονται με τα τρωτά σημεία αυτών των συστημάτων, σε συνδυασμό με το απρόβλεπτο των κλιματικών καταστροφών, δυσκολεύουν την κατανόηση και διαχείρισή τους. Η ανάλυση διακινδύνευσης πρέπει να χρησιμοποιείται, όπου είναι δυνατόν για να αντιμετωπιστούν οι προκλήσεις αυτές, αλλά η ανθεκτικότητα πρέπει να ενσωματωθεί στα συστήματα για να βοηθήσει στη γρήγορη ανάρρωση και προσαρμογή τους όταν συμβαίνουν ανεπιθύμητα γεγονότα. Προτείνουν ότι ένας οδικός τρόπος για την ανάπτυξη της ανθεκτικότητας θα πρέπει να περιλαμβάνει: (1) συγκεκριμένες

μεθόδους προσδιορισμού και μέτρησης της ανθεκτικότητας (2) νέες τεχνικές μοντελοποίησης και προσομοίωσης για εξαιρετικά πολύπλοκα συστήματα (3) ανάπτυξη της μηχανικής της ανθεκτικότητας (4) προσεγγίσεις για επικοινωνία με τα ενδιαφερόμενα μέρη. Οι στρατηγικές για την επικοινωνία με τους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής χρειάζονται για να υποστηρίξουν τη στροφή στη διαχείριση της ανθεκτικότητας από νομοθετικά, κανονιστικά και άλλα μέσα.

Καταλήγουν ότι, με ορίζοντα το μέλλον, η ανθεκτικότητα θα είναι το κλειδί της βιώσιμης ανάπτυξης. Τα ανθεκτικά συστήματα έχουν κοινές ιδιότητες με τα βιώσιμα συστήματα επειδή έχουν την ικανότητα να ελαχιστοποιούν τις αρνητικές επιπτώσεις των δυσμενών γεγονότα για τις κοινωνίες και να διατηρούν ή ακόμη και να βελτιώσουν τη λειτουργικότητά τους προσαρμόζοντας και μαθαίνοντας από θεμελιώδεις αλλαγές που προκλήθηκαν.

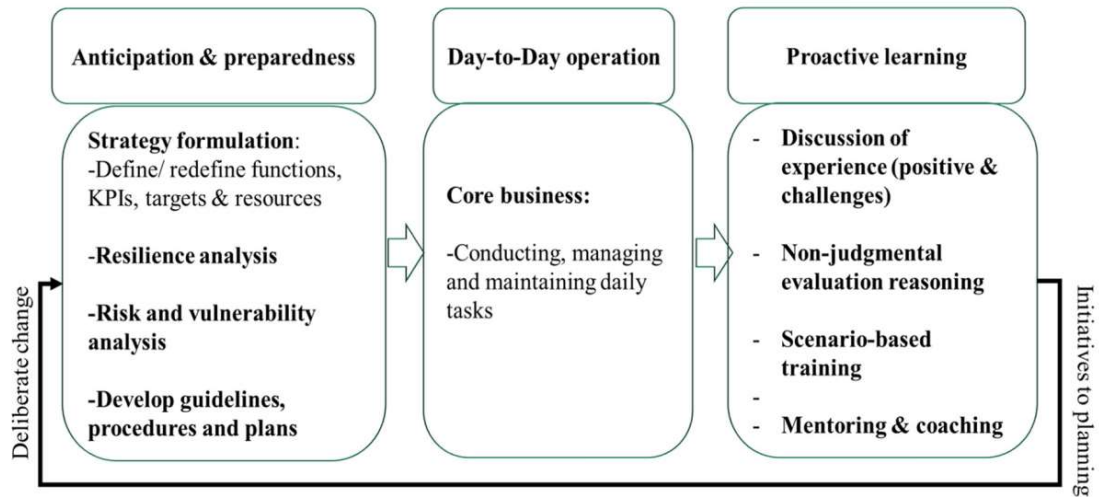
3.5 Ανθεκτικότητα στην διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας και την επιχειρηματική συνέχεια

Ο αυξανόμενος αριθμός φυσικών και ανθρωπογενών κινδύνων αναγκάζει τους οργανισμούς / επιχειρήσεις να οικοδομήσουν ανθεκτικότητα έναντι πολυάριθμων τύπων διαταραχών που απειλούν τη συνέχεια της επιχειρηματικής τους δραστηριότητας. Με αυτόν τον τρόπο οι οργανισμοί θα μπορούν να διατηρήσουν ή να επαναφέρουν τις κρίσιμες λειτουργίες τους μετά από μια καταστροφή (Sahebjamnia, 2018). Για πολλές επιχειρήσεις το εμπορικό τους περιβάλλον εκτείνεται σε περισσότερες από μια ηπείρους, πολιτισμούς και ένα πλήθος πολιτικών, οικονομικών και ρυθμιστικών άγνωστων παραμέτρων που πρέπει να λάβουν υπόψη τους. Και όλα αυτά πριν καν βάλουμε στην εξίσωση των αγνώστων τις δυνάμεις της φύσης – γεωλογικές, μετεωρολογικές και παθολογικές. Η πανδημία του COVID-19 ανάγκασε τις εταιρείες να μεταμορφώσουν τα επιχειρηματικά τους μοντέλα και τις αλυσίδες εφοδιασμού, καθώς δημιούργησε ακούσια νέες «νόρμες» και επιχειρηματικά περιβάλλοντα στην αγορά, απαιτώντας από τις επιχειρήσεις να προσαρμοστούν ανάλογα για να επιβιώσουν.

Η αστάθεια στις παγκόσμιες αγορές προκαλεί διαταραχές στην κανονική ροή και λειτουργία τόσο των επιχειρήσεων όσο και των εφοδιαστικών αλυσίδων. Όπως πολύ εύστοχα παρατηρούν οι Steen et al. (2024): «Ο γενικός στόχος των συστημάτων διαχείρισης επιχειρησιακής συνέχειας (BCM) είναι να παρέχει καθοδήγηση σχετικά με τον τρόπο αξιολόγησης και διαχείρισης της διακινδύνευσης, ώστε να διατηρήσουν τις λειτουργίες όταν αντιμετωπίζουν ένα ανατρεπτικό συμβάν. Τρέχουσες πρακτικές BCM ακολουθούν σε μεγάλο βαθμό μια τυπική δομή για επίσημες διαδικασίες σχεδιασμού και δραστηριότητες αξιολόγησης διακινδύνευσης. Μια υπόθεση στις πρακτικές αυτές είναι ότι τα συστήματα μπορούν να αποσυντεθούν σε υποσυστήματα με ένα λογικό τρόπο, καθώς είναι ιχνηλάσιμα και υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα για την πρόβλεψη της μελλοντικής λειτουργικότητας του συστήματος. Ωστόσο, η πραγματικότητα είναι πολύ πιο περίπλοκη στον ασταθή κόσμο μας. Μια τυπική προσέγγιση του BCM δεν δίνει τη δέουσα προσοχή στην αντιμετώπιση των αβεβαιοτήτων. Έτσι, αδυνατούν να αντιμετωπίσουν την πολυπλοκότητα των επιχειρήσεων που σχετίζονται με καταστάσεις έκτακτης ανάγκης και κρίσης. Η έλλειψη εστίασης στην αβεβαιότητα εμποδίζει την ικανότητα των συστημάτων BCM να παρέχουν επαρκή υποστήριξη για τη λήψη αποφάσεων σε εξαιρετικά αβέβαιες καταστάσεις. Η αντιμετώπιση τέτοιων καταστάσεων απαιτεί μια μετατόπιση από μια αμυντική διαχείριση διακινδύνευσης, βασισμένη σε μια ψευδαίσθηση ελέγχου και υπευθυνότητας, σε μια ενεργητική στάση που βασίζεται στην ανάλυση και διαχείριση της ανθεκτικότητας.» Αυτό που έκαναν στο πλαίσιο της εργασίας του είναι ότι χρησιμοποίησαν έννοιες από το πεδίο της μηχανικής της ανθεκτικότητας, τις οποίες συνέδεσαν με διάφορα στοιχεία από μια προσέγγιση BCM. Ανέπτυξαν τελικά ένα νέο πλαίσιο BCM και προσδιόρισαν ένα σύνολο παραγόντων που επηρεάζουν την ανθεκτικότητα για να ενισχύσουν έτσι την ανθεκτικότητα των συστημάτων μέσα στο πλαίσιο της BCM.

Το προτεινόμενο πλαίσιο αναπτύχθηκε στο πλαίσιο ενός οργανισμού που εφαρμόζει τη μηχανική της ανθεκτικότητας (Η μηχανική της ανθεκτικότητας, δηλαδή η επιστήμη που είναι αφιερωμένη στην ενίσχυση της ανθεκτικότητας των συστημάτων μέσω της μηχανικής) και έχει τρία στάδια. Το πρώτο στάδιο εστιάζει σε βασικές δραστηριότητες που σχετίζονται με την πρόβλεψη και προετοιμασία για την υποστήριξη της βασικής δραστηριότητας, όσον αφορά τον σχεδιασμό για κατανομή πόρων και τον συντονισμό στην καθημερινή λειτουργία (στάδιο δύο), το τρίτο στάδιο επικεντρώνεται σε προσαρμογές/τροποποιήσεις στρατηγικής για την αύξηση της προσαρμοστικής

ικανότητας του οργανισμού, μέσω της ενεργής μάθησης. Στο σχήμα 3-8 δίνεται το μοντέλο της προσέγγισής τους.



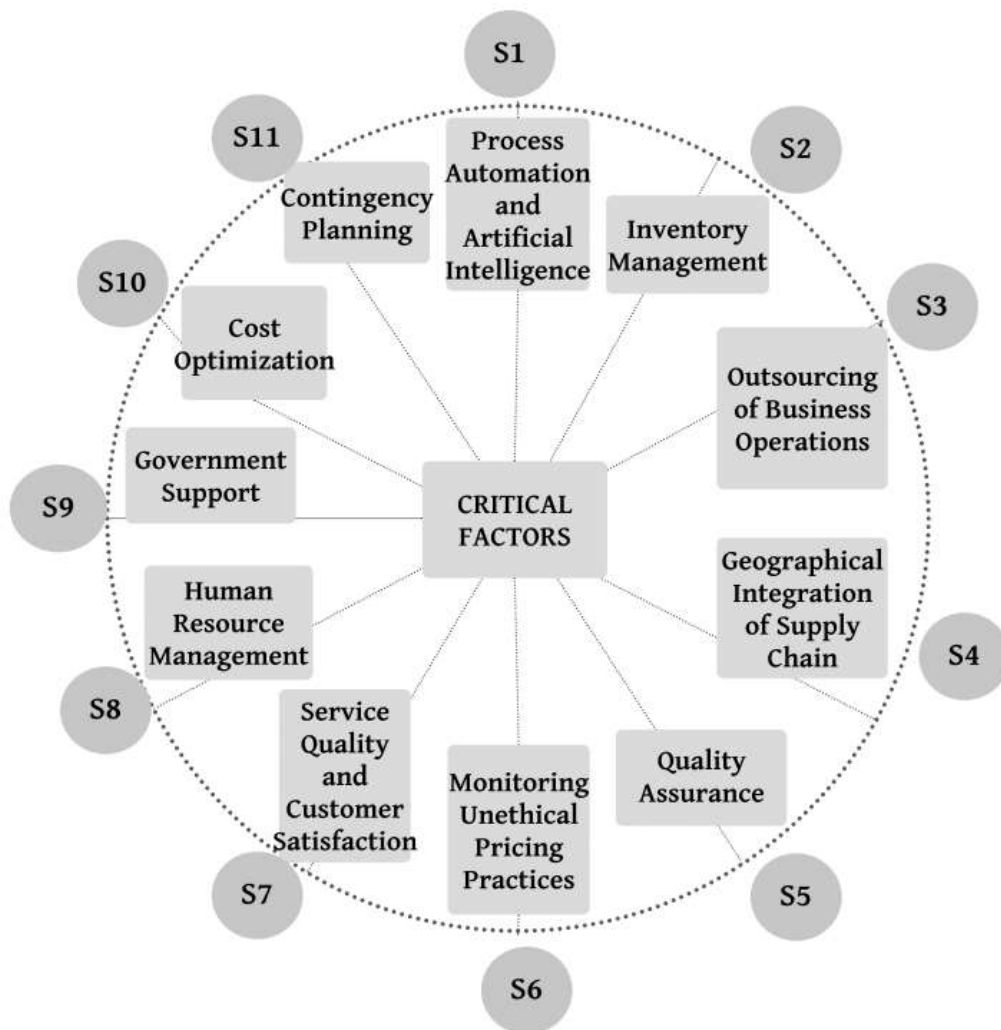
Σχήμα 3-8: Εννοιολογικό μοντέλο ενός ανθεκτικού BCM (Steen et al., 2024).

Για να μπορέσουν να ευημερήσουν και σε περιόδους ταραχώδους αλλαγής, οι επιχειρήσεις χρειάζεται να βελτιώσουν τον τρόπο με τον οποίο αντιμετωπίζουν τις απροσδόκητες διαταραχές σε σχέση με αλυσίδες εφοδιασμού. Οι εταιρείες μπορούν να ενισχύσουν την ανθεκτικότητά τους κατανοώντας τα τρωτά τους σημεία και αναπτύσσοντας συγκεκριμένες δυνατότητες για την αντιστάθμιση αυτών των τρωτών σημείων. Αρκετοί ερευνητές ασχολήθηκαν με την ανάλυση της ανθεκτικότητας της εφοδιαστικής αλυσίδας των εταιριών. Ανέπτυξαν θεωρητικά πλαίσια και δείκτες για την αναγνώριση τρωτών σημείων και τις αντίστοιχες ικανότητες που πρέπει να ενισχύσει μια εταιρία για να τα αντισταθμίσει και να γίνει ή να παραμείνει ανθεκτική, καθώς η ανάλυση της διακινδύνευσης δείχνει να μην είναι αρκετή ή να βρίσκει τους περιορισμούς της, σε μια ταραχώδη παγκόσμια πραγματικότητα.

Οι Das et al. (2021) απαριθμούν ένα ολοκληρωμένο σύνολο κρίσιμων παραμέτρων για την ανάπτυξη της ανθεκτικότητας της εφοδιαστικής αλυσίδας την περίοδο του COVID-19, που προκύπτουν από την βιβλιογραφική τους έρευνα και φαίνονται στο σχήμα 3-9.

Ένα πολύ σημαντικό άρθρο δημοσιεύτηκε στο MITSloan Management Review , το Δεκέμβριο του 2015, από τους Fiskel et al. με τον τίτλο «From Risk to Resilience: Learning to Deal with Disruption». Η βασική ερώτηση είναι: πώς μπορούν οι εταιρίες να γίνουν πιο ανθεκτικές; Τα κύρια ευρήματα της έρευνά τους είναι:

- Προσεγγίσεις όπως διαχείριση επιχειρηματικού κινδύνου και διαχείριση επιχειρηματικής συνέχειας (BCM), παρότι χρήσιμες, έχουν περιορισμούς.
- Κάθε διαταραχή αντιπροσωπεύει μια ευκαιρία να μάθουμε και ότι ίσως πρέπει να μετατοπιστούμε σε μια διαφορετική κατάσταση λειτουργίας.
- Οι εταιρείες πρέπει να προσδιορίζουν τα τρωτά σημεία της εφοδιαστικής τους αλυσίδας και να στοχεύουν στις ικανότητές τους που χρειάζεται να ενισχυθούν.



Σχήμα 3-9: Κρίσιμοι παράγοντες ανθεκτικότητας της εφοδιαστικής αλυσίδας για την αντιμετώπιση του COVID-19 (Das et al., 2021).

Αναφέρονται συγκεκριμένα στις διαδικασίες ERM και BCM που ναι μεν είναι βοηθητικές, έχουν όμως και σοβαρούς περιορισμούς. Αρχικά, βασίζονται και αυτές σε μεγάλο βαθμό στην αναγνώριση του κινδύνου. Σε ένα σύνθετο και ταραγμένο παγκόσμιο δίκτυο εφοδιασμού, πολλοί από τους κινδύνους που αντιμετωπίζει μια

εταιρεία είναι απρόβλεπτοι ή άγνωστοι. Συχνά τέτοιοι κίνδυνοι πυροδοτούνται από απίθανα γεγονότα των οποίων τα αίτια δεν είναι κατανοητά και οι πιθανές συνέπειες είναι δύσκολο να κατανοηθούν εκ των προτέρων, π.χ. πανδημία COVID-19. Σαφώς, δεν θα ήταν πρακτικό για τις εταιρείες να προσδιορίσουν και να διερευνήσουν όλους τους πιθανούς κινδύνους που μπορεί να κρύβονται στις παγκόσμιες αλυσίδες εφοδιασμού τους.

Δεύτερον, οι διαδικασίες ERM και το BCM εξαρτώνται από στατιστικά στοιχεία πληροφορίες που μπορεί να μην υπάρχουν. Οι εκτιμήσεις της διακινδύνευσης περιορίζονται από την ποιότητα και την αξιοπιστία των υποθέσεων στις οποίες βασίζονται και λανθασμένες υποθέσεις ή δεδομένα μπορεί να οδηγήσουν σε κακή κατανομή πόρων. Ιδιαίτερη πρόκληση αποτελούν γεγονότα χαμηλής πιθανότητας-υψηλών συνεπειών για τα οποία υπάρχει ελάχιστη εμπειρική γνώση. Οι πιθανότητα να συμβούν τέτοια γεγονότα ή το μέγεθος των συνεπειών τους μπορεί εύκολα να υποτιμηθεί από τους υπευθύνους, καθώς δεν υπάρχει αντίστοιχη εμπειρία.

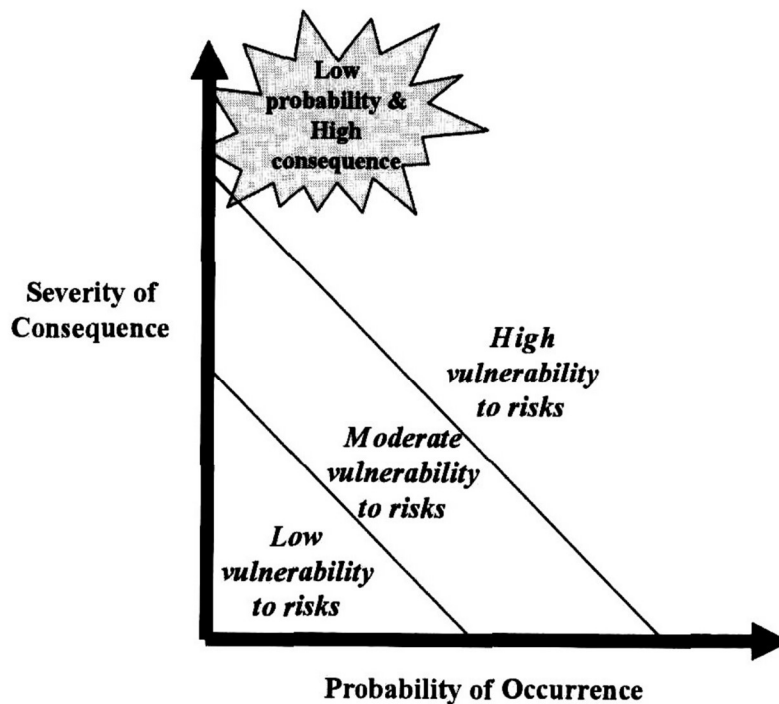
Τρίτον, στη διαδικασία ERM η αναγνώριση, αξιολόγηση, μετριασμός και η παρακολούθηση της διακινδύνευσης βασίζεται σε μια απλοποιημένη, «αναγωγική» άποψη του κόσμου. Κάθε κίνδυνος προσδιορίζεται και αντιμετωπίζεται ανεξάρτητα, και πολλές φορές δεν αναγνωρίζονται κρυφές αλληλεπιδράσεις. Αυτό μπορεί να δημιουργήσει μια ψευδή αίσθηση εφησυχασμού που μπορεί να καταρρεύσει από ένα απροσδόκητο γεγονός (για παράδειγμα, η πετρελαιοκηλίδα στον Κόλπο του Μεξικού). Η σύνθετη, δυναμική φύση των παγκόσμιων αλυσίδων εφοδιασμού απαιτεί συνεχή επαγρύπνηση για τη διάκριση συστημικών τρωτών σημείων, καθώς και εξαιρετική ευελιξία όταν συμβαίνουν διαταραχές.

Τέλος, η κλασική ανάλυση διακινδύνευσης έχει βασικό στόχο την επιστροφή σε σταθερή λειτουργική κατάσταση, όμως οι κίνδυνοι αντιπροσωπεύουν πιθανές αποκλίσεις από αυτή την «κανονική» κατάσταση. Μια πιο ρεαλιστική προσέγγιση είναι να αναγνωρίσουμε ότι κάθε διαταραχή αντιπροσωπεύει μια ευκαιρία μάθησης που μπορεί να οδηγήσει σε μια διαφορετική κατάσταση λειτουργίας.

Οι οργανισμοί πρέπει να βελτιώσουν τον τρόπο που αντιμετωπίζουν την πολυπλοκότητα της εφοδιαστικής αλυσίδας σε απροσδόκητες διαταραχές. Οι οργανισμοί τείνουν να γίνουν λιγότερο ανθεκτικοί καθώς γίνονται πιο περίπλοκοι.

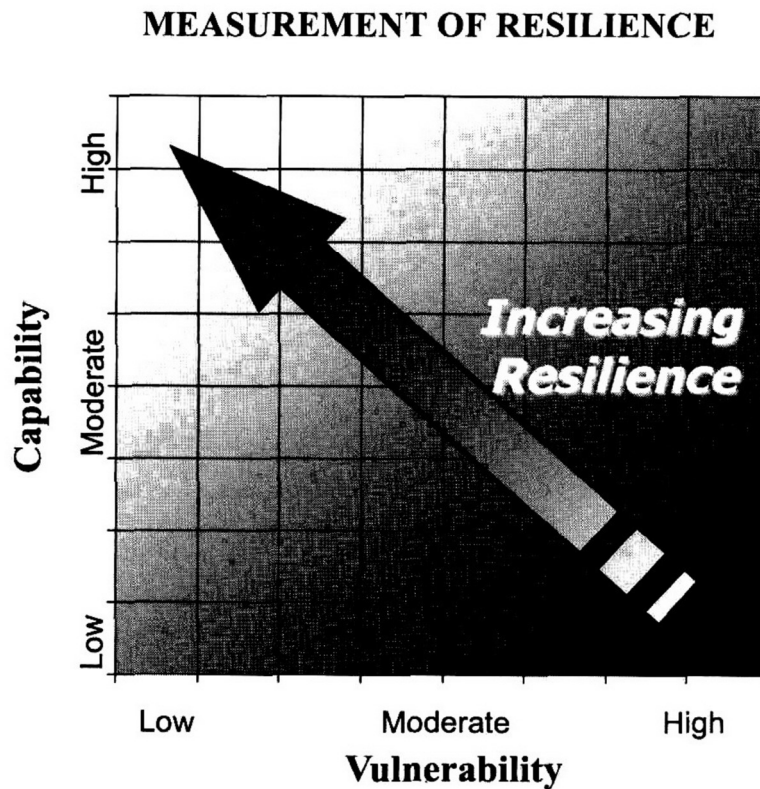
Ωστόσο, μπορούν να ενισχύσουν την ανθεκτικότητα τους αν γνωρίζουν τα τρωτά σημεία της εφοδιαστικής αλυσίδας τους και αναπτύξουν ικανότητες για την αντιμετώπιση διαταραχών. Τα ανθεκτικά συστήματα δεν αποτυγχάνουν απαραίτητα όταν αντιμετωπίζουν διαταραχές, αλλά μάλλον προσαρμόζονται. Ανάλογα με το είδος της διαταραχής, η προσαρμογή μπορεί να είναι γρήγορη ή σταδιακή. Μέσα από την έρευνα των συγγραφέων προέκυψε ένα πλαίσιο για την ανθεκτικότητα στην εφοδιαστική αλυσίδα, που ονομάζεται SCRAM-Supply chain resilience assessment and management, με βάση τον χαρακτηρισμό και την ιεράρχηση των τρωτών σημείων και των δυνατοτήτων της επιχείρησης. Το συμπέρασμα τους είναι ότι η εγκαθίδρυση μιας κουλτούρας ανθεκτικότητας θα βοηθήσει τις εταιρίες να ευδοκιμήσουν σε μια εποχή αναταράξεων.

Σε παρόμοιο πλαίσιο αναγνώρισης τρωτών σημείων και δυνατοτήτων, κινείται και η εργασία των Pettit et al. (2013). Σύμφωνα με το άρθρο, μια σημαντική αδυναμία της διαχείρισης διακινδύνευσης είναι η αδυναμία της να αναγνωρίσει επαρκώς γεγονότα μικρής πιθανότητας-μεγάλων συνεπειών (Low probability/High consequence), όπως φαίνεται και στο σχήμα 3-10. Επιπλέον η κλασική ανάλυση διακινδύνευσης δεν μπορεί να διαχειριστεί απρόβλεπτα γεγονότα. Επομένως η ανάλυση ανθεκτικότητας της εφοδιαστικής αλυσίδας μπορεί να καλύψει τα κενά αυτά και να λειτουργήσει συμπληρωματικά με την ανάλυση διακινδύνευσης (σχήμα 3-11).



Σχήμα 3-10: Κλασική ανάλυση διακινδύνευσης (Pettit et al., 2013).

Οι Golan et al. (2020), τονίζουν ότι η πανδημία COVID-19 έδειξε ξεκάθαρα την έλλειψη ανθεκτικότητας στις αλυσίδες εφοδιασμού και τον αντίκτυπο που μπορεί να έχει σε παγκόσμια κλίμακα δικτύου η αποτυχία έστω και ενός μεμονωμένου κρίκου της αλυσίδας αυτής (κόμβοι εφοδιαστικής αλυσίδας). Αυτή η αποτυχία υπογραμμίζει την ανάγκη για προηγμένες αναλύσεις ανθεκτικότητας που λείπουν από την υπάρχουσα βιβλιογραφία. Παρατηρούν βέβαια ότι τα στοιχεία που συνέλεξαν από το επιστημονικό δίκτυο «All Databases», υποδηλώνουν συνεχή αύξηση του αριθμού των άρθρων που δημοσιεύονται στον τομέα της ανθεκτικότητας της εφοδιαστικής αλυσίδας. Από το 2007, οι δημοσιεύσεις που αφορούν την ανθεκτικότητα σε σχέση με την εφοδιαστική αλυσίδα έχουν αυξηθεί από 0,1% το 2007 σε 3% το 2019. Καταλήγουν δε, ότι παρόλο που η πανδημία ήταν μια μοναδική περίπτωση απειλής, η μοντελοποίηση της ανθεκτικότητας της εφοδιαστικής αλυσίδας δεν πρέπει να επικεντρώνεται αποκλειστικά στο στάδιο της αποκατάστασης. Οι δυνατότητες και η ευελιξία των εταιριών πρέπει να εξελεγχθούν μέσα από το πρίσμα της ανάλυσης

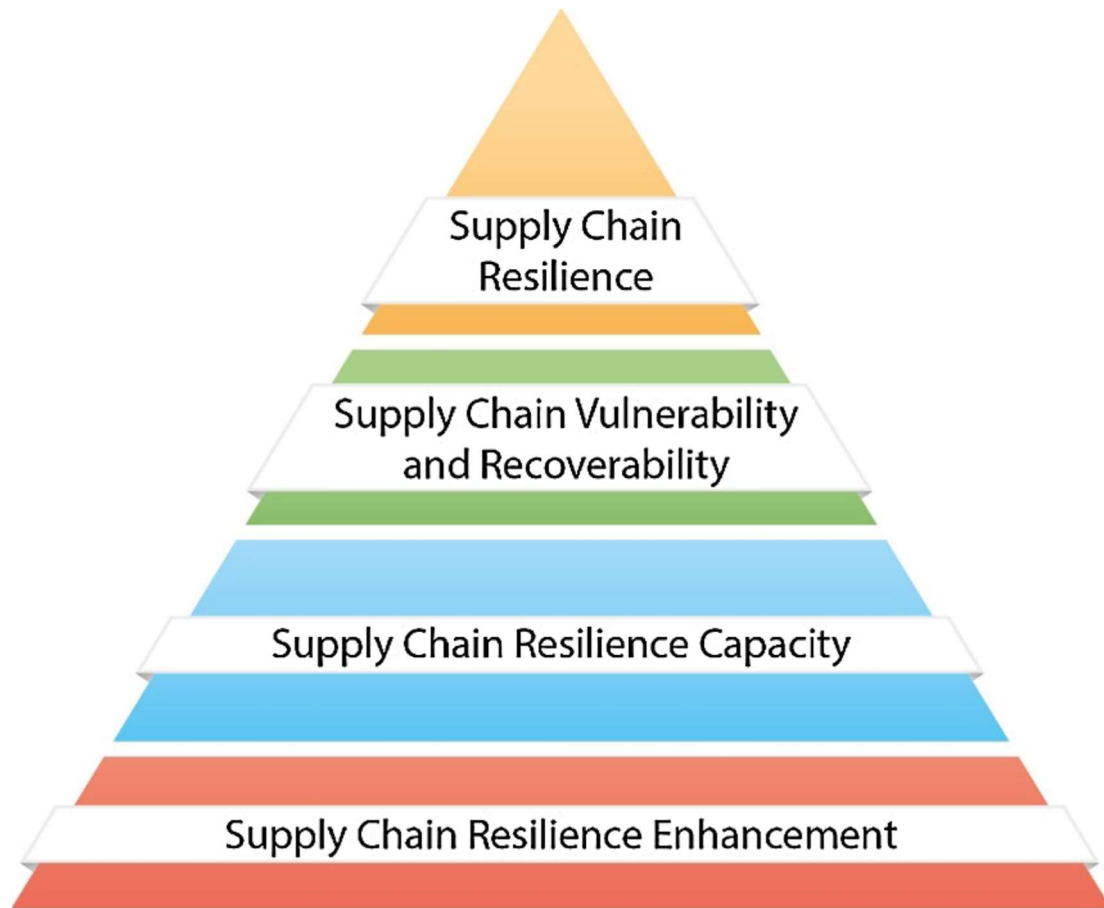


Σχήμα 3-11: Μέτρηση της ανθεκτικότητας (Pettit et al., 2013).

ανθεκτικότητας και η ανθεκτικότητα θα πρέπει να είναι κατευθυντήριος παράγοντας στην απόφαση για επενδύσεις.

Την αύξηση του αριθμού των μελετών και ερευνών και του ενδιαφέροντος της ακαδημαϊκής κοινότητας γύρω από την ανθεκτικότητα της εφοδιαστικής αλυσίδας, διαπιστώνουν και οι Kochan & Nowicki (2018). Τονίζουν δε και οι ίδιοι την ανάγκη για περαιτέρω έρευνα και ανάπτυξη του τομέα της ανθεκτικότητας στην εφοδιαστική αλυσίδα.

Οι Hosseini et al. (2019), παρουσιάζουν στο παρακάτω σχήμα για την ιεραρχία της ανθεκτικότητας στην εφοδιαστική αλυσίδα (σχήμα 3-12).



Σχήμα 3-12: Η προτεινόμενη ιεραρχία για την ανθεκτικότητα στην εφοδιαστική αλυσίδα (Hosseini et al., 2019).

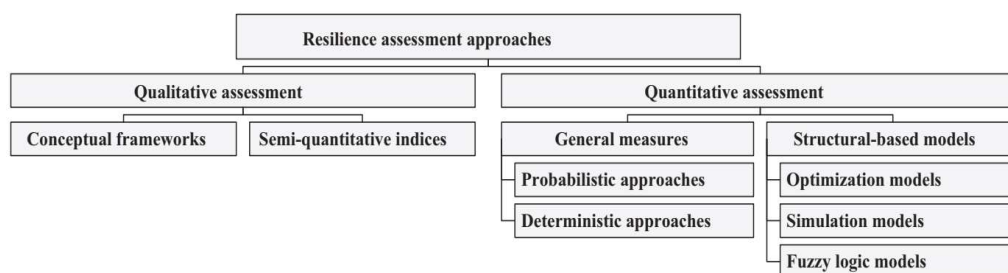
Το παγκόσμιο επιχειρηματικό σενάριο απαιτεί επείγοντως το σχεδιασμό μιας εφοδιαστικής αλυσίδας ανθεκτικής σε καταστροφές, που να μπορεί να απορροφήσει τις συνέπειες μιας διαταραχής. Η ανάλυση ανθεκτικότητας κερδίζει έδαφος καθώς μπορεί να καλύψει τα κενά της ανάλυσης διακινδύνευσης. Φυσικά, θα υπάρχουν πάντα «άγνωστα», γεγονότα όπως π.χ. η 11η Σεπτεμβρίου που είναι τόσο πολύ έξω από την εμπειρία ή το πεδίο αναφοράς μας, που καμία προνοητικότητα δεν θα τα προβλέψει ποτέ πριν συμβούν.

4 Πλαίσια και δείκτες μέτρησης της ανθεκτικότητας

«The moment we believe that success is determined by an ingrained level of ability as opposed to resilience and hard work, we will be brittle in the face of adversity» Joshua Waitzkin.

4.1 Μέθοδοι εκτίμησης και μέτρησης της ανθεκτικότητας

Τα τελευταία χρόνια, καθώς οι απαιτήσεις για τη διαχείριση των ολοκληρωμένων και πολύπλοκων συστημάτων αυξάνονται, η ανθεκτικότητα έχει γίνει ένας κρίσιμος δείκτης για την αξιολόγηση τους σε πολλούς τομείς, όπως η πρόληψη καταστροφών, η μηχανική, η ηλεκτρική ενέργεια, δίκτυα, οικολογία και συστήματα υποδομής κ.α. Έχουν αναπτυχθεί και εφαρμοστεί μέθοδοι και δείκτες ανάλυσης και αξιολόγησης της ανθεκτικότητας από διάφορους ερευνητές. Αντίστοιχα ταξινομούνται και οι υπάρχουσες μεθοδολογίες με διάφορα κριτήρια. Σύμφωνα με τους Hosseini et al. (2016) οι υπάρχουσες μεθοδολογίες για την αξιολόγηση της ανθεκτικότητας ενός συστήματος μπορούν να ταξινομηθούν ευρέως σε δύο κατηγορίες: ποιοτικές προσεγγίσεις και ποσοτικές προσεγγίσεις. Οι ποιοτικές μέθοδοι αξιολόγησης σε γενικές γραμμές αξιολογούν την ανθεκτικότητα του συστήματος χωρίς αριθμητικές εξισώσεις και περιλαμβάνουν δυο κατηγορίες: α) εννοιολογικά πλαίσια που παρέχουν τις βέλτιστες πρακτικές και β) ημιποσοτικούς δείκτες ειδικών αξιολογήσεων διαφορετικών πτυχών της ανθεκτικότητας. Η ταξινόμηση των προσεγγίσεων αξιολόγησης της ανθεκτικότητας, σύμφωνα με τους συγγραφείς παρουσιάζεται στο σχήμα 4-1.



Σχήμα 4-1: Ταξινόμηση μεθοδολογιών αξιολόγησης της ανθεκτικότητας (Hosseini et al., 2016).

Οι Yin et al. (2022) στην εργασία τους «Quantitative analysis for resilience-based urban rail systems: A hybrid knowledge-based and data-driven approach» μέσα από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση που κάνουν, αναφέρουν γενικές μεθοδολογίες για την αξιολόγηση της ανθεκτικότητας σε συστήματα, ενώ και οι ίδιοι ανέπτυξαν με την

ερευνά τους ένα πιλοτικό σύστημα για την ποσοτική ανάλυση ανθεκτικότητας του αστικού δικτύου τρένων στο Πεκίνο, βασισμένο στην ανάλυση δεδομένων και την ειδική γνώση, όπως περιγράφεται στη συνέχεια. Ανάλογα με τους Hosseini et al. (2016), και εδώ οι συγγραφείς ταξινομούν τις υπάρχουσες μεθοδολογίες για την αξιολόγηση της ανθεκτικότητας ενός συστήματος σε δύο κατηγορίες: ποιοτικές προσεγγίσεις και ποσοτικές προσεγγίσεις. Οι ποιοτικές προσεγγίσεις αξιολογούν την ανθεκτικότητα του συστήματος χρησιμοποιώντας πρακτικές εμπειρίες και ειδικές γνώσεις. Η μήτρα ανθεκτικότητας, για παράδειγμα, εφαρμόζεται σε πολλές περιπτώσεις, όπως στον τομέα της ενέργειας και στη Διαχείριση ανθεκτικότητας καταστροφών (Linkon et al., 2013 & 2019). Στη συνέχεια θα δούμε αναλυτικά την τεχνική της μήτρας ανθεκτικότητας. Στο τομέα των χημικών εργοστασίων, οι Shirali et al. (2012) πρότειναν μια μέθοδο δύο σταδίων, δηλαδή, άμεση παρατήρηση και συνεντεύξεις, που ταυτόχρονα εξετάζει την πρόληψη ατυχημάτων μέσω της πρόληψης για το αναμενόμενο, την επιβίωση από μια διαταραχή μέσα από την ανάκαμψη και τον χειρισμό ανατρεπτικών γεγονότων μέσα από την προσαρμογή. Οι Speranza et al. (2014) προσδιόρισαν βασικούς δείκτες της βιοποριστικής ανθεκτικότητας για την υποστήριξη της πολιτικής και των φορέων λήψης αποφάσεων, με βάση ένα τρισδιάστατο πλαίσιο, το οποίο περιλαμβάνει την ικανότητα προσαρμογής, αυτοοργάνωσης και την ικανότητα μάθησης. Στην περίπτωση των κρίσιμων υποδομών, οι Labaka et al. (2015) παρουσίασαν μια ολιστική προσέγγιση για την ανθεκτικότητα που συνδυάζει εσωτερικές και εξωτερικές πολιτικές (Εσωτερικές πολιτικές: maintenance, safety design, emergency response equipment. Εξωτερικές πολιτικές: government, first responders, societal awareness) προσανατολισμένες στην ενίσχυση της ανθεκτικότητας και παρέχει συνεργατικά σχήματα για συστήματα που απαιτούν υψηλή ανθεκτικότητα όπως τα πυρηνικά εργοστάσια.

Οι ποσοτικές προσεγγίσεις, από την άλλη πλευρά, χρησιμοποιούν αριθμητική ανάλυση και μαθηματικά μοντέλα για την ποσοτικοποίηση της ανθεκτικότητας ενός συστήματος. Τέτοιες μέθοδοι μπορεί να είναι αρκετά αποτελεσματικές και ακριβείς για τη μέτρηση της αλληλεπίδρασης μεταξύ διαφορετικών υποσυστημάτων και παραγόντων που επηρεάζουν σε μεγάλα και πολύπλοκα συστήματα. Τα τελευταία χρόνια, οι ποσοτικές μεθοδολογίες για την αξιολόγηση της ανθεκτικότητας έχουν προκαλέσει μεγάλο ερευνητικό ενδιαφέρον. Γενικά, αυτές οι μεθοδολογίες μπορούν να

χωριστούν σε τρεις τύπους: προσεγγίσεις που βασίζονται στην αριθμητική ανάλυση, προσεγγίσεις που βασίζονται στην βελτιστοποίηση και προσεγγίσεις που βασίζονται σε δεδομένα (Yin et al., 2022).

4.1.1. Μήτρες Ανθεκτικότητας (Resilience Matrix)

Η Μήτρα Ανθεκτικότητας (MA) είναι ένα πλαίσιο αξιολόγησης που αναπτύχθηκε από τους Linkon et al. (2013) και επεκτάθηκε σε έρευνες όπως αυτές των Fox-Lent, Bates, & Linkon (2015) και Fox-Lent & Linkon (2018). Η MA παρέχει ένα οργανωτικό πλαίσιο για την αξιολόγηση της ανθεκτικότητας του συστήματος, που μπορεί να εφαρμοστεί με επιτυχία τόσο σε κρίσιμες υποδομές, στον τομέα της ενέργειας, της μηχανικής, όσο στην ανθεκτικότητα των κοινοτήτων. Η MA είναι μια ευέλικτη τεχνική καθώς η κλίμακα στην οποία εφαρμόζεται και οι μετρήσεις που χρησιμοποιούνται για τη συμπλήρωσή της δεν είναι δεδομένες, αλλά μπορούν να προσαρμοστούν σε συγκεκριμένα πλαίσια. Για την ανάπτυξη της MA οι Linkon et al. (2013) συγκλίνουν γύρω από τον ορισμό του NAS για την ανθεκτικότητα, «η ικανότητα προετοιμασίας και προγραμματισμού, απορρόφησης, αποκατάστασης και η προσαρμογή σε ανεπιθύμητα συμβάντα», ως κατευθυντήρια έννοια. Βασίστηκαν δε στο δόγμα των δικτυοκεντρικών επιχειρήσεων που αναπτύχθηκε από το Ερευνητικό Πρόγραμμα Διοίκησης και Ελέγχου του στρατού των ΗΠΑ. Αυτό το δόγμα περιγράφει πως ένα υψηλά δικτυωμένο σύστημα διέπεται από τομείς που οργανώνουν τα στοιχεία του συστήματος σε μετρήσιμες παραμέτρους. Η οργάνωση ενός συστήματος σε αυτούς του τομείς βοηθά στον προσδιορισμό των βασικών στοιχείων του συστήματος και πως αυτοί αλληλεπιδρούν μεταξύ τους. Οι τέσσερις τομείς είναι:

- **Φυσικός τομέας** περιλαμβάνει την απόδοση των φυσικών πτυχών ενός συστήματος στο χώρο και στο χρόνο, όπου κυριαρχεί η υποδομή και ο εξοπλισμός του συστήματος.
- **Ο τομέας πληροφοριών** περιλαμβάνει τη δημιουργία ή τη συλλογή, την ανάλυση και διάδοση πληροφοριών. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση του φυσικού τομέα, δημογραφικές ή συμπεριφορικές πληροφορίες σχετικά με τον κοινωνικό τομέα, και μεθόδους τόσο για τη συλλογή όσο και για την κοινή χρήση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο.

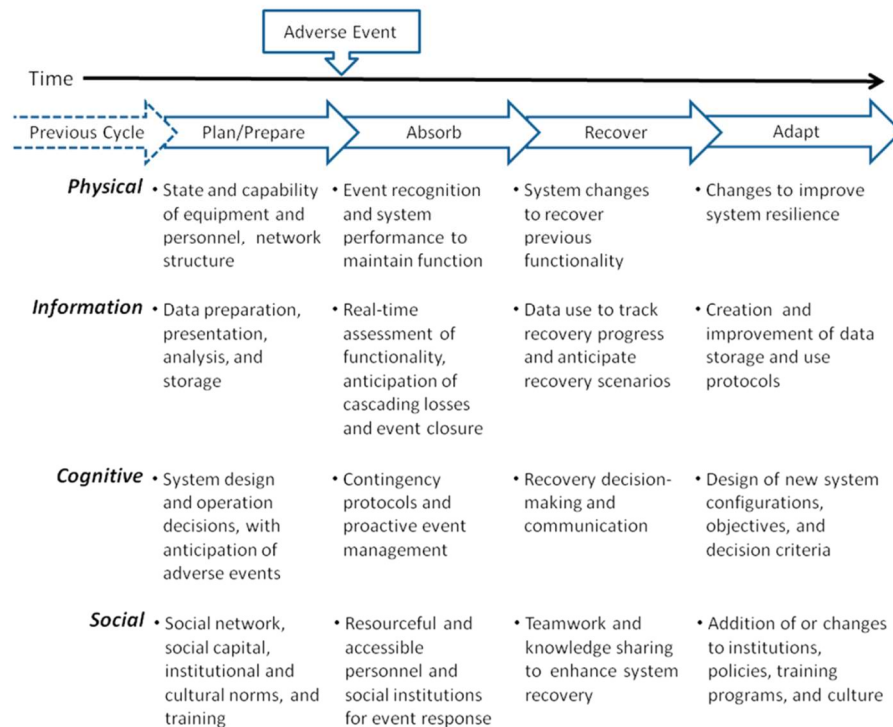
- **Ο Γνωστικός τομέας** περιλαμβάνει τα οργανωτικά και θεσμικά στοιχεία του συστήματος, ειδικά όσον αφορά τη λήψη αποφάσεων: ποιος είναι εξουσιοδοτημένος να λαμβάνει αποφάσεις και σε ποιες πληροφορίες βασίζονται τις αποφάσεις. Αυτός ο τομέας περιλαμβάνει αξιολόγηση του βαθμού στον οποίο υπάρχουν σχέδια και στρατηγικές, κοινοποιούνται και γίνονται αποδεκτές σε όλο τον οργανισμό, και εάν πραγματοποιούνται δοκιμές για τη βελτίωση των σχεδίων.
- **Ο Κοινωνικός τομέας** περιλαμβάνει ιδιαίτερα την ανθρώπινη διάσταση του συστήματος, τα άτομα που δεν συνδέονται με τη διαχείριση και τη διακυβέρνηση του συστήματος. Αυτό περιλαμβάνει την αλληλεπίδραση, τη συνεργασία μεμονωμένων πολιτών και ομάδων της κοινότητας και τον αυτοσυγχρονισμό τους (Σχήμα 4-2).

Άλλοι ερευνητές και επαγγελματίες έχουν οργανώσει τους δείκτες μέτρησης με βάση τις κατηγορίες συστημάτων (υποδομές, οικονομικά, κοινωνική, περιβαλλοντική, κοινοτική, πολιτική, θεσμική, μηχανική, κ.λπ.) ή με βάση τα χαρακτηριστικά ανθεκτικότητας (στιβαρότητα, ταχύτητα, προσαρμοστικότητα κ.α.) (Fox-Lent et al., 2015).

Η ΜΑ αποτελεί έναν Πίνακα 4Χ4, όπου ένας άξονας περιέχει τα κύρια υποσυστήματα οποιουδήποτε συστήματος και ο άλλος άξονας παραθέτει τα στάδια ενός ανατρεπτικού συμβάντος (Σχήμα 4-3). Οι σειρές περιγράφουν τους τέσσερις τομείς που αναφέρθηκαν. Οι στήλες περιγράφουν τα τέσσερα στάδια διαχείρισης καταστροφών (σχεδιασμός/προετοιμασία, απορρόφηση/αντοχή, ανάκτηση, προσαρμογή) όπως ορίζεται από το NAS στον ορισμό της ανθεκτικότητας.

Συλλογικά, αυτά τα δεκαέξι κελιά παρέχουν μια γενική περιγραφή της λειτουργικότητας του συστήματος κατά τη διάρκεια ενός ανατρεπτικού συμβάντος. Η ανθεκτικότητα αξιολογείται με την ανάθεση βαθμολογίας σε κάθε κελί που αναφέρεται στην ικανότητα του συστήματος να αποδώσει λειτουργικά σε αυτόν τον τομέα, το δεδομένο χρόνο. Για παράδειγμα, στο κελί Πληροφορία-Ανάκτηση δίνεται μια βαθμολογία σύμφωνα με την ικανότητα του συστήματος να συλλέγει (παρακολουθεί) και να μοιράζεται (ανάλυση και διάδοση) δεδομένα που θα βοηθήσουν στην ανάκτηση. Το κελί Κοινωνία-Προσαρμογή λαμβάνει μια βαθμολογία σύμφωνα με την ικανότητα που έχουν οι χρήστες του συστήματος να προσαρμόσουν τη συμπεριφορά τους και να

διατηρήσουν τις αλλαγές αυτές πέρα από την άμεση ανταπόκριση στο συμβάν. Οι βαθμολογίες των κελιών της μήτρας μπορούν να συγκεντρωθούν για να αντιπροσωπεύσουν ένα στιγμιότυπο της ανθεκτικότητας του συστήματος, η οποία μπορεί να παρακολουθείται με την πάροδο του χρόνου για σύγκριση με παρόμοια συστήματα ή να εξεταστεί πιο διεξοδικά για να βρεθούν υπάρχοντα κενά στην ικανότητα ανθεκτικότητας του συστήματος.



Σχήμα 4-2 : Μήτρα Ανθεκτικότητας. Τα κελιά στον πίνακα παρέχουν κατευθυντήριες γραμμές για τους δείκτες ανθεκτικότητας που πρέπει να αναπτυχθούν και να συνδυαστούν για τη μέτρηση της συνολικής ανθεκτικότητας του συστήματος (Linkov et al., 2013).

Η αξιολόγηση ανθεκτικότητας χρησιμοποιώντας την προσέγγιση της ΜΑ έχει 4 στάδια: (1) ορισμός των ορίων του συστήματος υπό εξέταση για συγκεκριμένο εύρος σεναρίων απειλών· (2) προσδιορισμός των κρίσιμων λειτουργιών του συστήματος που πρέπει να διατηρηθούν· (3) για κάθε κρίσιμη λειτουργία, επιλογή δεικτών και απόδοση βαθμολογίας σε κάθε κελί· (4) άθροιση των πινάκων για να δημιουργηθεί μια συνολική βαθμολογία ανθεκτικότητας.

Κάθε κελί της ΜΑ περιγράφει τι είναι σημαντικό για την ανάπτυξη συγκεκριμένων ποσοτικών και ποιοτικών εφαρμογών σε σχέση με τον ορισμό του ΝΑΣ για την ανθεκτικότητα. Για παράδειγμα, οι πληροφορίες που συλλέχθηκαν μετά από μια καταστροφή μπορεί να βελτιώσουν τις λειτουργίες προσαρμογής με την ενίσχυση της

διατομεακής μάθησης. Επιπλέον, η προσέγγιση της MA παρέχει ένα πλαίσιο για την εκτίμηση της συμβατότητας μετρήσεων από διαφορετικούς κλάδους που βρίσκονται στα ίδια κελιά μήτρας. Επομένως, η MA μπορεί να βοηθήσει τόσο τους σχεδιαστές να επικεντρωθούν στην απόδοση της ανθεκτικότητας των συστημάτων, όσο και τους διαχειριστές έκτακτων καταστάσεων να επικεντρώθηκαν στη διαχείριση της ανθεκτικότητας και να υιοθετήσουν μια πιο ολιστική άποψη που είναι απαραίτητη για τη μείωση των επιπτώσεων μιας ανεπιθύμητης διαταραχής. Η εφαρμογή της προσέγγισης της MA μπορεί ακόμα να προσφέρει καθοδήγηση για εφαρμογή πολιτικών εθνικών στόχων, για τη βελτίωση της ανθεκτικότητας σε τομείς ενδιαφέροντος (Linkov et al., 2013).

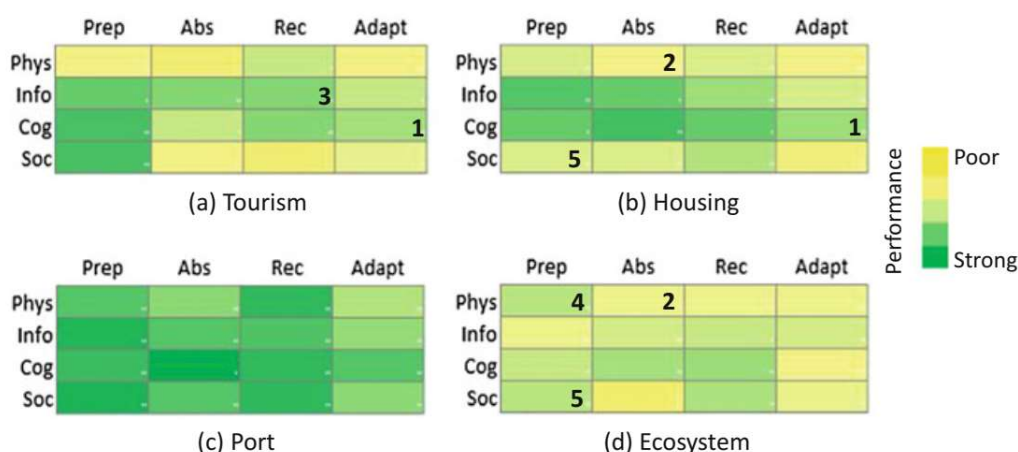
Στο σχήμα 4-4 δίνονται οι μήτρες ανθεκτικότητας που προέκυψαν από τη μελέτη περίπτωσης στην πόλη Mobile, στην Αλαμπάμα των Η.Π.Α. μετά από τον τυφώνα George, στις 29 Σεπτεμβρίου 1998 για να αξιολογηθεί η ανθεκτικότητα της περιοχής (Fox-Lent & Linkov, 2018).

4.1.2. Μέθοδος βάσει αριθμητικής ανάλυσης

Αυτός ο τύπος μεθόδου χρησιμοποιεί ντετερμινιστικούς ή πιθανολογικούς δείκτες απόδοσης για τη σύγκριση των μετρήσεων ανθεκτικότητας διαφορετικών συστημάτων και γίνεται με την κατασκευή μαθηματικών μοντέλων και την κατανόηση υποκείμενων συμπεριφορών του συστήματος. Οι Zobel et al. (2014) πρότειναν έναν δείκτη ανθεκτικότητας με τον υπολογισμό της συνολικής απώλειας του συστήματος κατά τη διάρκεια ενός ορισμένου χρονικού διαστήματος, όπου η συνολική απώλεια συστήματος θεωρείται ως η ποιοτική υποβάθμιση της λειτουργικότητας του συστήματος και μετριέται με την τριγωνική περιοχή που σχετίζεται με τη λειτουργία του συστήματος.

	Prepare	Absorb	Recover	Adapt
Physical				
Information				
Cognitive				
Social				

Σχήμα 4-3: Το πλαίσιο της Μήτρας Ανθεκτικότητας (Linkov et al., 2013).



Σχήμα 4-4: Συμπληρωμένοι πίνακες ανθεκτικότητας για 4 κρίσιμα υποσυστήματα στην Αλαμπάμα, Η.Π.Α.: α) τουρισμός, β) στέγαση, γ) ναυτιλιακές δραστηριότητες, δ) οικοσυστήματα. Οι αριθμοί υποδεικνύουν τα κελιά που θα επηρεάσουν οι προτεινόμενες βελτιώσεις (Fox-Lent & Linkov, 2018).

Άλλοι υιοθετούν πιθανολογικούς δείκτες απόδοσης για την αξιολόγηση της ανθεκτικότητας του συστήματος. Για παράδειγμα, οι Chang & Shinozuka (2004) εισήγαγαν μια πιθανολογική προσέγγιση που μετρά δύο στοιχεία: (i) απώλεια απόδοσης και (ii) διάρκεια ανάκτησης. Η ανθεκτικότητα ορίζεται ως η πιθανότητα η αρχική απώλεια απόδοσης του συστήματος μετά από διακοπή να είναι μικρότερη από τη μέγιστη αποδεκτή απώλεια απόδοσης και ο χρόνος για την πλήρη ανάκτηση να είναι μικρότερος από τον μέγιστο αποδεκτό χρόνο διακοπής. Το μέτρο αυτό αντιπροσωπεύεται με την εξίσωση (1), όπου το A αντιπροσωπεύει το σύνολο των

κριτηρίων απόδοσης για τη μέγιστη αποδεκτή απώλεια απόδοσης του συστήματος, r^* , και το μέγιστο αποδεκτό χρόνο ανάκτησης, t^* , για μια διαταραχή μεγέθους i .

$$R = P(A/i) = P(r_0 < r^* \text{ and } t_1 < t^*) \quad (1)$$

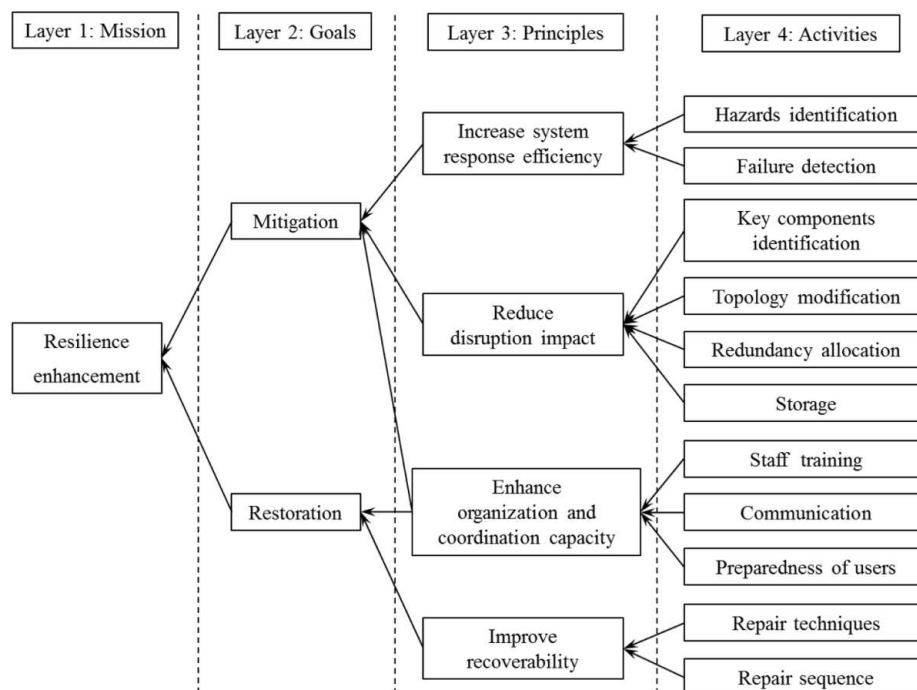
Πραγματοποιήθηκαν μια σειρά από προσομοιώσεις διαταραχών και η πιθανότητες στην Εξ. (1) προέκυψαν από την αναλογία των προσομοιώσεων που δεν πληρούν τα κριτήρια που ορίζονται από την παράμετρο A . Αν και οι Chang και Shinozuka (2004) εφάρμοσαν αυτήν την προσέγγιση για να μετρήσουν το ανθεκτικότητα των υποδομών και των κοινοτήτων μετά από σεισμό, μπορεί γενικά να εφαρμοστεί σε οποιαδήποτε άλλα συστήματα και διαταραχές. Το διακριτικό χαρακτηριστικό της προτεινόμενης προσέγγισης είναι η αποδοχή της αβεβαιότητας στην ποσοτικοποίηση της ανθεκτικότητας. Ωστόσο, δεν προβλέπεται επιπλέον ποινή όταν τόσο η απώλεια απόδοσης όσο και η διάρκεια της ανάκαμψης υπερβαίνουν τις μέγιστες αποδεκτές τιμές.

Οι Ouyang et al. (2012) αντιμετώπισαν την ανθεκτικότητα των αστικών υποδομών στο πλαίσιο πολλαπλών κινδύνων, όπου τα ποσοστά εμφάνισης του καθενός συσχετίζονται μεταξύ τους. Η καμπύλη απόδοσης του συστήματος δημιουργήθηκε με βάση την ικανότητα αντίστασης, την ικανότητα απορρόφησης και την ικανότητα αποκατάστασης του συστήματος.

4.1.3. Μέθοδος που βασίζεται στη βελτιστοποίηση

Η μέθοδος που βασίζεται στη βελτιστοποίηση χρησιμοποιεί μαθηματικές εξισώσεις για να εξετάσει την επίδραση των δομών του συστήματος στην ανθεκτικότητα του συστήματος και να προσδιορίσει την βέλτιστη δομή του συστήματος. Οι Jin et al. (2014) ανέπτυξαν ένα μοντέλο στοχαστικού προγραμματισμού δύο σταδίων για να αναλύσουν την ανθεκτικότητα ενός μητροπολιτικού δικτύου δημόσιων συγκοινωνιών (με μετρό και λεωφορεία). Οι συγγραφείς όρισαν την ανθεκτικότητα του δικτύου ως το κλάσμα της ταξιδιωτικής ζήτησης που μπορεί να ικανοποιηθεί από τη διακοπή δικτύου μετά την εμφάνιση μιας διαταραχής. Το προτεινόμενο μαθηματικό μοντέλο δημιουργεί την καλύτερη διάταξη του δικτύου κίνησης των λεωφορείων που βελτιστοποιεί την ανθεκτικότητα του συστήματος. Οι Li και Zhao (2010) πρότειναν ένα μαθηματικό μοντέλο για την ανάλυση της ανθεκτικότητας της εφοδιαστικής αλυσίδας. Η

αντικειμενική συνάρτηση ορίστηκε με βάση τα στοιχεία ανθεκτικότητας με αυτοπροσαρμοστικές ικανότητες και ικανότητες αυτο-ανάρρωσης. Αριθμητικά πειράματα αναλύουν τη σχέση μεταξύ των επιρροών κινδύνου και της ανθεκτικότητας του συστήματος. Οι Liu et al. (2021) πρότειναν ένα ιεραρχικό πλαίσιο για τον προσδιορισμό στρατηγικών ενίσχυσης της ανθεκτικότητας (RES) κρίσιμων υποδομών. Κατασκευάστηκε ένα μοντέλο βελτιστοποίησης δύο στόχων για την ελαχιστοποίηση του κόστους των RES και τη μεγιστοποίηση της ανθεκτικότητας του συστήματος. Πιο συγκεκριμένα, με σημείο αναφοράς ένα συμβάν, αναλύονται στρατηγικές για την ενίσχυση της ανθεκτικότητας του συστήματος πριν και μετά το συμβάν. Οι στρατηγικές αυτές συμπεριλαμβάνονται σε ένα ιεραρχικό μοντέλο που έχει πολλαπλά επίπεδα, όπως φαίνεται στο σχήμα 4-5. Το μοντέλο αυτό ενσωματώνεται στη συνέχεια σε ένα δυναμικό πλαίσιο-μοντέλο προγνωστικού ελέγχου, έτσι ώστε οι παράμετροι του συστήματος να συσχετιστούν με την επίδραση των στρατηγικών ενίσχυσης της ανθεκτικότητας.



Σχήμα 4-5: Το ιεραρχικό μοντέλο των στρατηγικών ενίσχυσης της ανθεκτικότητας (Liu et al., 2021).

Στη συνέχεια ορίζεται ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης πολλαπλών στόχων (MOO), με τους στόχους που ταυτόχρονα ελαχιστοποιούν το κόστος RES και μεγιστοποιούν την ανθεκτικότητα των ICI (πίνακας 4-6).

Effects of resilience enhancement activities on ICIs.

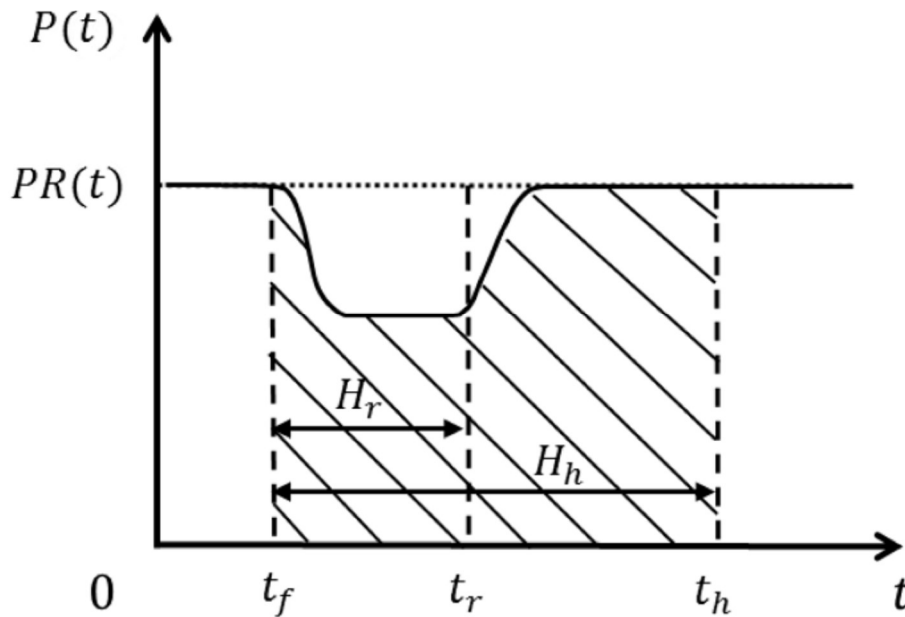
Activities	Impacts of activities	Affected parameters
Hazards identification	Aid to the prediction and early awareness of potential accidents.	H_r, F_i
Failure detection	Detect the position and magnitude of failure efficiently and accurately.	H_r
Key components identification	Identify the key components, for protecting them.	F_i
Topology modification	Increase the robustness of elements.	F_i
Redundancy allocation	Increase the robustness of elements.	F_i
Storage	Increase the storage of buffer nodes.	$x_{BF_i}^{I=0}$
Staff training	Increase the efficiency of operators.	F_i, H_r, μ_i
Communication	Establish efficient communication channels for operators.	F_i, H_r, μ_i
Preparedness of users	Increase the tolerance of users.	H_h
Repair techniques	Improve repair efficiency of failed elements.	μ_i
Repair sequence	Improve repair efficiency of failed elements.	μ_i

Πίνακας 4-6: Επίδραση των RES σε κρίσιμες συστήματα (Liu et al.2021).

Το συνολικό επίπεδο ανθεκτικότητας του συστήματος, δηλαδή η συνολική ανθεκτικότητα R_t (εξίσωση 2), ορίζεται ως η αναλογία της συνολικής επιφάνειας μεταξύ της συνάρτησης της πραγματικής απόδοσης $P(t)$ και του άξονα του χρόνου (η περιοχή που σκιάζεται διαγώνιες ρίγες στο σχήμα 4-7, στο τετράγωνο εμβαδόν τετραγώνου μεταξύ του συνάρτηση αναφοράς απόδοσης $PR(t)$ και του άξονα του χρόνου, για το διάστημα $t_f \leq t \leq t_h$ με $t_h \geq t_f$):

$$R_t = \frac{\int_{t_f}^{t_h} P(t) dt}{\int_{t_f}^{t_h} PR(t) dt} \quad (2)$$

όπου, $H_r = t_r - t_f$ είναι ο χρόνος απόκρισης του συστήματος και $H_h = t_h - t_f$ είναι ο χρόνος ανάκαμψης του συστήματος. Ο αλγόριθμος NSGA-II χρησιμοποιείται για την επίλυση του προβλήματος MOO και την εύρεση της βέλτιστης λύσης.



Σχήμα 4-7: System performance following the occurrence of a disruptive event (Liu et al., 2021).

4.1.4. Μέθοδος βάσει δεδομένων

Η μέθοδος που βασίζεται σε δεδομένα χρησιμοποιεί προσομοίωση ή ιστορικά δεδομένα συστήματος για να αξιολογήσει την ανθεκτικότητα ενός πολύπλοκου συστήματος. Οι Carvalho et al. (2012) εφάρμοσαν προσομοίωση διακριτών γεγονότων για την αξιολόγηση της ανθεκτικότητας μιας αλυσίδας εφοδιασμού στη διαδικασία λήψης αποφάσεων. Προκειμένου να βελτιωθεί η ανθεκτικότητα του συστήματος, το μοντέλο προσομοιώνει τις συμπεριφορές του συστήματος υπό κανονικές συνθήκες, υπό συνθήκες απόσυρσης και σε ευέλικτα σενάρια. Οι Sun et al. (2021) χρησιμοποίησαν μια μέθοδο προσομοίωσης παραγόντων για την εξέταση της ανθεκτικότητας των οδικών δικτύων μετά από σεισμό, όπου ήταν κάθε είδους επισκευαστική προσέγγιση αντιπροσωπεύεται από έναν παράγοντα στο πλαίσιο προσομοίωσης.

Για πολύπλοκα συστήματα, ωστόσο, είναι σχεδόν αδύνατο να γίνει ακριβής προσομοίωση κάθε υποσυστήματος, οδηγώντας έτσι σε απόκλιση στην αξιολόγηση της ανθεκτικότητας. Εν τω μεταξύ, λόγω της ανάπτυξης των κυβερνο-συστημάτων τα τελευταία χρόνια, υπάρχουν όλο και περισσότερα και πιο ακριβή δεδομένα με αποτέλεσμα κάποιες έρευνες σχετικά με την ανάλυση της ανθεκτικότητας να βασίζονται στην ανάλυση δεδομένων. Οι Xu et al. (2019) απέδειξαν την αποτελεσματικότητα της χρησιμοποίησης ιστορικών δεδομένων για τη διερεύνηση της σχέσης μεταξύ εγγενών χαρακτηριστικών και της ανθεκτικότητας του συστήματος.

Κατασκεύασαν ένα ευφυές επιχειρηματικό αναλυτικό σύστημα με τη βοήθεια ‘εξόρυξης’ δεδομένων και τεχνικών μηχανικής εκμάθησης, που μπορούν να βοηθήσουν την επιχειρησιακή ομάδα στην ενίσχυση της ανθεκτικότητας της επιχείρησης. Οι Zhang & Huang (2018) συνέλεξαν ιστορικά δεδομένα από φυσικές καταστροφές σε 207 διαφορετικές χώρες του κόσμου. Από τους αυτούς όρισαν 6 πρωτογενείς δείκτες και 38 δευτερογενείς παράγοντες και χρησιμοποίησαν την αυτοματοποιημένη διαδικασία ελάχιστο-μέγιστο για να επεξεργαστούν τα δεδομένα. Αναλύθηκε η διακύμανση της ανθεκτικότητας των διαφόρων χωρών και έγιναν προτάσεις για την ενίσχυση της ανθεκτικότητας.

Οι μέθοδοι που αναφέρθηκαν στις προηγούμενες παραγράφους δεν αποτελούν σε καμία περίπτωση εξαντλητική λίστα, αλλά ενδεικτική του μεγάλου αριθμού πλαισίων και τεχνικών που έχουν αναπτυχθεί από ερευνητές για διάφορους τομείς και περιπτώσεις συστημάτων. Πολλές από τις τεχνικές αυτές αναπτύχθηκαν αρχικά για την ανάλυση της ανθεκτικότητας στο σχεδιασμό και βελτιστοποίηση συγκεκριμένων συστημάτων ή τη διαχείριση της ανθεκτικότητας σε συγκεκριμένες βιομηχανίες, π.χ. PRAF, FRAM.

4.2 Παρουσίαση μεθοδολογίας στην εφοδιαστική αλυσίδα

Θα δούμε πιο αναλυτικά τη μεθοδολογία που ανέπτυξαν οι Fiskel et al. (2015) για την ποιοτική ανάλυση της ανθεκτικότητας και την παρουσίασαν στην εργασία τους «From risk to resilience: Learning to deal with Disruption» και ονόμασαν **SCRAM**- Supply Chain Resilience Assessment and Management. Η έρευνα τους οδήγησε στην ανάπτυξη του εργαλείου SCRAM για την αξιολόγηση και διαχείριση της ανθεκτικότητας της εφοδιαστικής αλυσίδας, την οποία επικύρωσαν με δεδομένα από επτά παγκόσμιους οργανισμούς παραγωγής και παροχής υπηρεσιών. Χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος ενσωμάτωσης δεδομένων για να προσδιοριστούν ειδικοί δεσμοί μεταξύ των εγγενών παραγόντων τρωτότητας (σχήμα 4-8) και των ελεγχόμενων παραγόντων ικανότητας (σχήμα 4-9), που επιτρέπουν στη μέθοδο να παράγει προτάσεις για βελτίωση ικανοτήτων ώστε να ξεπεραστούν τα τρωτά σημεία υψηλής προτεραιότητας. Μετά την αρχική φάση της έρευνας, οι συγγραφείς συνεργάστηκαν εκτενώς με την Dow

Chemical για να δημιουργήσουν μια διαδικασία για την εφαρμογή του εργαλείου, η οποία έχει εφαρμοστεί σε περισσότερες από 20 επιχειρηματικές της μονάδες.

SUPPLY CHAIN VULNERABILITY FACTORS		
Our framework includes six major vulnerability factors, each broken into subfactors. Vulnerabilities are typically inherent to the business and difficult to avoid.		
VULNERABILITY FACTOR	DEFINITION	SUBFACTORS
Turbulence	Environment characterized by frequent changes in external factors beyond the company's control	Unpredictability in demand, fluctuations in currencies and prices, geopolitical disruptions, natural disasters, technology failures, pandemics
Deliberate threats	Intentional attacks aimed at disrupting operations or causing human or financial harm	Terrorism and sabotage, piracy and theft, labor disputes, special interest groups, industrial espionage, product liability
External pressures	Influences, not specifically targeting the company, that create business constraints or barriers	Competitive innovation, government regulations, price pressures, corporate responsibility, social/cultural issues, environmental, health and safety concerns
Resource limits	Constraints on output based upon availability of the factors of production	Raw material availability, utilities availability, human resources, natural resources
Sensitivity	Importance of carefully controlled conditions for product and process integrity	Restricted materials, supply purity, stringency of manufacturing, fragility of handling, complexity of operations, reliability of equipment, safety hazards, visibility of disruption to stakeholders, symbolic profile of brand, customer requirements for quality
Connectivity	Degree of interdependence and reliance on outside entities	Scale and extent of supply network, import/export channels, reliance on specialty sources, reliance on information flow, degree of outsourcing

NOTE: A company is indirectly vulnerable to disruptions that affect its multiple tiers of customers and suppliers. The framework can also be used to assess the resilience of selected external organizations.

Σχήμα 4-8: Παράγοντες τρωτότητας της εφοδιαστικής αλυσίδας που προσδιορίστηκαν από τους ερευνητές του SCRAM (Fiskel et al., 2015).

Το πλαίσιο SCRAM που προκύπτει παρέχει μια γενική μεθοδολογία στις εταιρίες για να εντοπίσουν τα πιο σημαντικά τρωτά σημεία της εφοδιαστικής αλυσίδας τους και να θέσουν σε προτεραιότητα τις ικανότητες που πρέπει να ενισχυθούν. Για παράδειγμα, μια εταιρεία που αντιμετωπίζει απρόβλεπτη ζήτηση από την αγορά θα μπορούσε να ενισχύσει μια σειρά από ικανότητες: ευελιξία στην παραγωγή για την

SUPPLY CHAIN CAPABILITY FACTORS

The framework includes 16 capability factors, each of which is broken into subfactors. Companies can strengthen appropriate supply chain capabilities to offset the vulnerabilities they have.

CAPABILITY FACTOR	DEFINITION	SUBFACTORS
Flexibility in sourcing	Ability to quickly change inputs or the mode of receiving inputs	Common product platforms, supply contract flexibility, supplier capacity, supplier expediting, alternate suppliers
Flexibility in manufacturing	Ability to quickly and efficiently change the quantity and type of outputs	Product/service modularity, multiple pathways and skills, manufacturing postponement, changeover speed, batch size, manufacturing expediting, reconfigurability, scalability, rerouting of requirements
Flexibility in order fulfillment	Ability to quickly change the method of delivering outputs	Multisourcing, demand pooling, inventory management, alternate distribution modes, multiple service centers, transportation capacity, transportation expediting
Capacity	Availability of assets to enable sustained production levels	Backup utilities, raw materials, reserve capacity, labor capacity, ecological capacity
Efficiency	Capability to produce outputs with minimum resource requirements	Labor productivity, asset utilization, quality management, preventive maintenance, process standardization, resource productivity
Visibility	Knowledge of the status of operating assets and the environment	Information technology, status of inventory/equipment/personnel, information exchange with supplies/customers/carriers, market visibility, external monitoring
Adaptability	Ability to modify operations in response to challenges or opportunities	Seizing advantage from disruptions, alternative technology development, learning from experience, strategic gaming and simulation, environmental sustainability
Anticipation	Ability to discern potential future events or situations	Demand forecasting methods, risk identification and prioritization, monitoring/communicating deviations and "near misses," recognition of early warning signals, business continuity planning, emergency preparedness, recognition of opportunities, business intelligence gathering, government lobbying, awareness of global change
Recovery	Ability to return to normal operational state rapidly	Equipment repairability, resource mobilization, communications strategy, crisis management, consequence mitigation
Dispersion	Broad distribution or decentralization of assets	Distributed suppliers/production/distribution, distributed decision making, location-specific empowerment, dispersion of markets
Collaboration	Ability to work effectively with other entities for mutual benefit	Collaborative forecasting, supply chain communication, collaborative decision making, supplier/customer involvement in innovation, postponement of orders, product life cycle management, supplier/customer collaboration, risk/reward sharing with partners
Organization	Human resource structures, policies, skills and culture	Creative problem-solving culture, accountability, diversity of skills and experience, substitute leadership capacity, benchmarking/feedback, culture of caring for employees, workforce flexibility
Market position	Status of a company or its products in specific markets	Brand equity, customer loyalty/retention, market share, product differentiation, sustainability position
Security	Defense against deliberate intrusion or attack	Layered defenses, access restriction, employee involvement in security, collaboration with governments, cybersecurity, personnel security
Financial strength	Capacity to absorb fluctuations in cash flow	Financial reserves and liquidity, portfolio diversification, insurance coverage, price margin
Product stewardship	Sustainable business practices throughout the product life cycle	Proactive product design, resource conservation, auditing and monitoring, supplier management, customer support

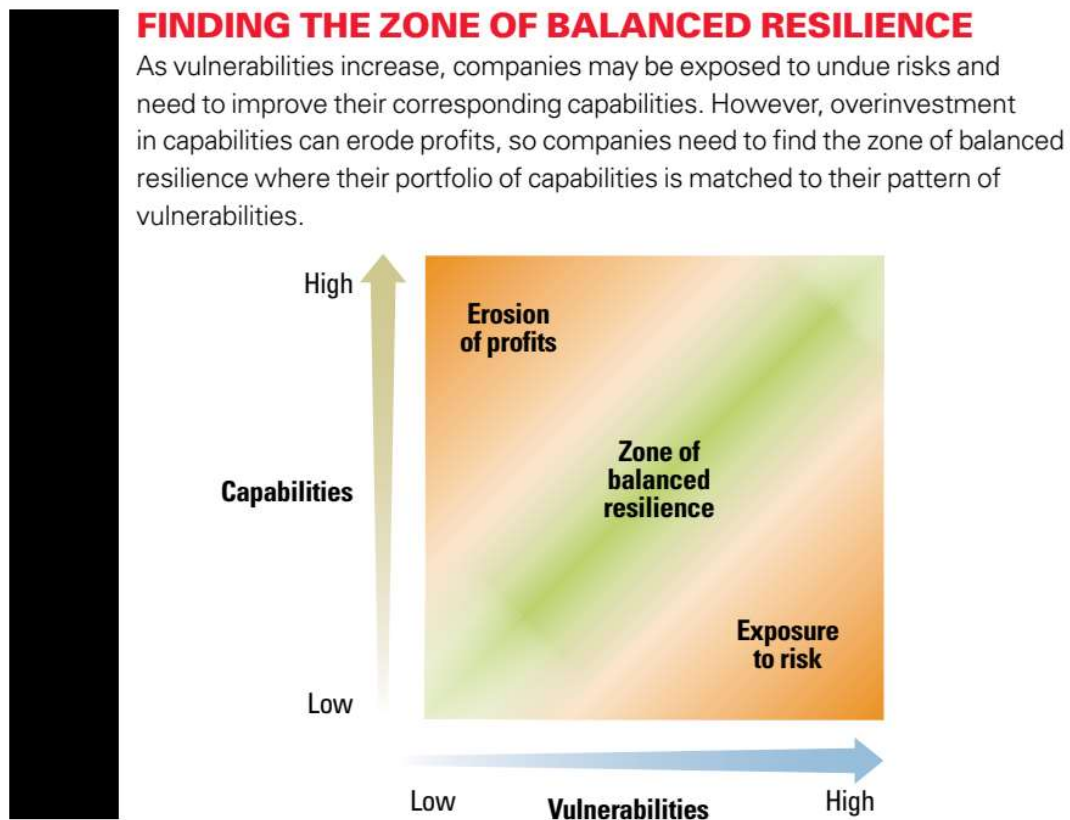
Σχήμα 4-9: Ικανότητες εφοδιαστικής αλυσίδας που μπορούν να αναπτυχθούν, με βάση τη μεθοδολογία του SCRAM (Fiskel et al., 2015).

ικανοποίηση της αυξημένης ζήτησης, ακριβής και επικαιροποιημένη ενημέρωση για την κατάσταση ζήτησης για έγκαιρη λήψη αποφάσεων, έγκαιρη πρόβλεψη και αναγνώριση των αλλαγών της αγοράς ώστε να είναι δυνατές στρατηγικές κινήσεις και στενή συνεργασία με τους πελάτες και προμηθευτές για τη διασφάλιση συντονισμένης δράσης. Ομοίως, μια εταιρεία που εξαρτάται από ένα σύνθετο δίκτυο εφοδιασμού θα μπορούσε να ενισχύσει την ευελιξία όσον αφορά στις προμήθειες με τον εντοπισμό εναλλακτικών πηγών, την ευελιξία στην παραγωγή για μείωση του χρόνου παράδοσης

και την πρόβλεψη αναγνωρίζοντας έγκαιρα σημάδια προειδοποίησης πιθανών διαταραχών. Με βάση τα αποτελέσματα της ανάλυσης SCRAM, οι μάνατζερ μπορούν αναπτύξουν ένα χαρτοφυλάκιο ικανοτήτων για την αντιμετώπιση σημαντικών κενών στην ανθεκτικότητα της επιχείρησης και την ενίσχυση της ανταγωνιστικότητας.

Οι ερευνητές του SCRAM τονίζουν ότι κάθε εταιρία έχει το δικό της ξεχωριστό προφίλ τρωτών σημείων και δυνατοτήτων Ένας οργανισμός με αρκετά τρωτά σημεία που δεν έχει επαρκείς δυνατότητες θα είναι υπερεκτεθειμένος σε κινδύνους, ως εκ τούτου θα πρέπει να επενδύσει πόρους για τη βελτίωση δυνατοτήτων που θα τον προστατέψουν. Αντίστροφα, μια επιχείρηση που έχει λίγα τρωτά σημεία, αλλά επενδύει πολύ περισσότερο στην ανάπτυξη ικανοτήτων μπορεί να σπαταλά τα κέρδη της χωρίς λόγο (βλέπε σχήμα 4-10 «Βρίσκοντας τη Ζώνη Ισορροπημένης Ανθεκτικότητας»). Κάθε οργανισμός πρέπει να βρει και να αναπτύξει μια ισορροπημένη στρατηγική ανθεκτικότητας, δημιουργώντας το σωστό χαρτοφυλάκιο ικανοτήτων που να αντισταθμίζουν τα τρωτά σημεία που έχουν εντοπιστεί.

Μια εταιρεία που έχει ενσωματώσει το πλαίσιο SCRAM στον τρόπο λειτουργίας της είναι η Dow Chemical Co. Από το 2010, η Dow έχει εφαρμόσει αυτό το πλαίσιο σε περισσότερες από 20 παγκόσμιες επιχειρηματικές μονάδες, επιτυγχάνοντας σημαντικά επιχειρηματικά οφέλη. Για παράδειγμα, μετά την εφαρμογή του SCRAM στη σειρά προϊόντων αιθέρα της γλυκόλης, η Dow εντόπισε αρκετά πιθανά σενάρια διαταραχών, όπως για παράδειγμα η διακοπή της παραγωγής, η έλλειψη προμήθειας πρώτων υλών και εσωτερική έλλειψη πρώτων υλών λόγω κατανομής. Η εταιρεία ανέπτυξε ένα μοντέλο προσομοίωσης για τον έλεγχο των συνεπειών για τα σενάρια αυτά και ήταν σε θέση να επιβεβαιώσει ένα επίπεδο ετοιμότητας 95% με τις υπάρχουσες δυνατότητές της. Επιπλέον, η ανάλυση αποκάλυψε ευκαιρίες για μείωση των παγίων και του κεφαλαίου κίνησης, με αποτέλεσμα ετήσια εξοικονόμηση 1,1 εκατ. δολαρίων. Μια άλλη επιχείρηση της Dow που χρησιμοποίησε το SCRAM για να βελτιώσει την ανθεκτικότητά σε ελλείψεις προμήθειας πρώτων υλών και εντόπισε πάνω από 1,5 εκατομμύρια δολάρια σε απώλειες που θα μπορούσαν να αποφευχθούν.



Σχήμα 4-10: Βρίσκοντας τη Ζώνη Ισορροπημένης Ανθεκτικότητας (Fiskel et al., 2015).

Η ενίσχυση της ανθεκτικότητας είναι μια συνεχής διαδικασία που επιτρέπει στις εταιρείες να αγκαλιάσουν την αλλαγή και να ευδοκιμήσουν σε μια ταραχώδη περίοδο καθώς και σε ένα πολύπλοκο επιχειρηματικό περιβάλλον.

5 Ανάλυση ανθεκτικότητας σε εργαστήρια δοκιμών

5.1 Πεδία εφαρμογής

Έχοντας εξετάσει στο κεφάλαιο 3 την εφαρμογή της ανάλυσης ανθεκτικότητας σε διάφορα πεδία ενδιαφέροντος, θα δούμε στο κεφάλαιο αυτό την δυνατότητα εφαρμογής της σε διάφορες διαδικασίες ενός εργαστηρίου δοκιμών και όπου η ενσωμάτωση της ανάλυσης ανθεκτικότητας μπορεί να επιφέρει σημαντικά οφέλη και ευελιξία.

- *Διαφορετικά σενάρια δοκιμών:* Τα εργαστήρια δοκιμών αντιμετωπίζουν ένα ευρύ φάσμα σεναρίων δοκιμών, από συνήθεις δοκιμές ποιοτικού ελέγχου έως απροσδόκητες προκλήσεις στις απαιτήσεις αναλύσεων. Η ανάλυση ανθεκτικότητας μπορεί να βοηθήσει τα εργαστήρια να ενισχύσουν την ικανότητά τους να προσαρμόζονται και να ανταποκρίνονται αποτελεσματικά σε διάφορες και διαφορετικές ανάγκες δοκιμών.
- *Απόκριση έκτακτης ανάγκης:* Τα εργαστήρια μπορεί να χρειαστεί να ανταποκριθούν γρήγορα σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης, όπως ανακλήσεις προϊόντων ή περιστατικά μόλυνσης. Η ανάλυση ανθεκτικότητας μπορεί να βοηθήσει στην ανάπτυξη σχεδίων απόκρισης και στρατηγικών κατανομής πόρων για να διασφαλιστεί η έγκαιρη και αποτελεσματική απόκριση σε μια κατάσταση έκτακτης ανάγκης.
- *Ανθεκτικότητα οργάνων και εξοπλισμού:* Η διασφάλιση της ανθεκτικότητας του εξοπλισμού δοκιμών και των οργάνων είναι κρίσιμης σημασίας για ένα εργαστήριο δοκιμών. Η ανάλυση ανθεκτικότητας μπορεί να εντοπίσει τρωτά σημεία και να βοηθήσει στο σχεδιασμό για τη συντήρηση του εξοπλισμού, την ταχεία ανάκτηση της λειτουργίας σε περίπτωση αστοχιών ή τον παροπλισμό εξοπλισμού.
- *Διαχείριση δεδομένων και κυβερνοασφάλεια:* Τα σύγχρονα εργαστήρια εξαρτώνται όλο και περισσότερο από τους υπολογιστές τόσο κατά τις διοικητικές όσο και τις αναλυτικές τους λειτουργίες. Επιπλέον τα εργαστήρια χειρίζονται ευαίσθητα δεδομένα και πρέπει να είναι προετοιμασμένα για πιθανές παραβιάσεις δεδομένων ή κυβερνοεπιθέσεις. Η ανάλυση

ανθεκτικότητας μπορεί να περιλαμβάνει μέτρα κυβερνοασφάλειας και στρατηγικές δημιουργίας αντιγράφων ασφαλείας δεδομένων για την προστασία κρίσιμων πληροφοριών, με περισσότερη ευελιξία.

- *Ανθεκτικότητα της Εφοδιαστικής Αλυσίδας:* Τα εργαστήρια δοκιμών συχνά βασίζονται σε μια αλυσίδα εφοδιασμού για αντιδραστήρια, αναλώσιμα και εξοπλισμό. Η ανάλυση ανθεκτικότητας μπορεί να βοηθήσει στη διασφάλιση μιας σταθερής αλυσίδας εφοδιασμού και στον εντοπισμό εναλλακτικών πηγών σε περίπτωση διαταραχών.
- *Ανθρώπινο δυναμικό και τεχνογνωσία:* Ο ανθρώπινος παράγοντας είναι πολύ σημαντικός σε όλες τις διαδικασίες που λειτουργούν σε ένα εργαστήριο. Τα εργαστήρια εξαρτώνται από εξειδικευμένο προσωπικό. Η ανάλυση ανθεκτικότητας μπορεί να περιλαμβάνει διασταυρούμενη κατάρτιση, σχεδιασμό διαδοχής και δημιουργία ενός ανθεκτικού εργατικού δυναμικού που μπορεί να προσαρμοστεί στις μεταβαλλόμενες απαιτήσεις.
- *Σχεδιασμός έκτακτης ανάγκης:* Η ανάλυση ανθεκτικότητας περιλαμβάνει την ανάπτυξη σχεδίων έκτακτης ανάγκης για διάφορα σενάρια, όπως βλάβες εξοπλισμού, ελλείψεις προσωπικού και απροσδόκητες αλλαγές στις απαιτήσεις δοκιμών, ώστε να υπάρξει γρηγορότερη ανάκαμψη.
- *Κανονιστική συμμόρφωση:* Τα εργαστήρια πρέπει να πληρούν τις κανονιστικές απαιτήσεις και τις απαιτήσεις διαπίστευσης. Η ανάλυση ανθεκτικότητας μπορεί να βοηθήσει να διασφαλιστεί ότι τα εργαστήρια είναι προετοιμασμένα για κανονιστικές αλλαγές και μπορούν να προσαρμόσουν τις διαδικασίες τους ώστε να παραμείνουν συμμορφούμενα.
- *Ετοιμότητα για καταστροφές:* Τα εργαστήρια δοκιμών, όπως και άλλες εγκαταστάσεις, θα πρέπει να διαθέτουν σχέδια ετοιμότητας για καταστροφές, όπως για φυσικές καταστροφές, διακοπές ρεύματος και άλλες καταστάσεις έκτακτης ανάγκης που μπορούν να διαταράξουν την εύρυθμη λειτουργία τους.
- *Σχέσεις με τους πελάτες:* Η οικοδόμηση ανθεκτικότητας στις σχέσεις με τους πελάτες είναι ζωτικής σημασίας. Τα εργαστήρια μπορούν να χρησιμοποιήσουν την ανάλυση ανθεκτικότητας για να διατηρήσουν κανάλια επικοινωνίας με τους πελάτες, να διαχειριστούν τις προσδοκίες των πελατών κατά τη διάρκεια διαταραχών στη λειτουργία τους και να εξασφαλίσουν τη συνέχεια της παρεχόμενης υπηρεσίας.

- *Βελτιστοποίηση διαδικασίας:* Η ανάλυση ανθεκτικότητας μπορεί να εντοπίσει τομείς για βελτιστοποίηση της διαδικασίας για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας και τη μείωση του αντίκτυπου των διαταραχών.
- *Περιβαλλοντική Αειφορία:* Τα εργαστήρια μπορούν να εφαρμόσουν ανάλυση ανθεκτικότητας στις προσπάθειες περιβαλλοντικής βιωσιμότητας, διασφαλίζοντας ότι μπορούν να προσαρμοστούν στους μεταβαλλόμενους περιβαλλοντικούς κανονισμούς και να μειώσουν τις περιβαλλοντικές τους επιπτώσεις, παραμένοντας ανθεκτικά στην εξελισσόμενη κλιματική αλλαγή.

5.2 Μελέτη περίπτωσης

Η βιβλιογραφία σχετικά με την εφαρμογή της ανάλυσης ανθεκτικότητας σε εργαστήρια δοκιμών είναι σχετικά περιορισμένη. Δεδομένου ότι η περίοδος της πανδημίας δημιούργησε νέα προβλήματα και δεδομένα, ειδικά στην εφοδιαστική αλυσίδα και στην προστασία δεδομένων, έχουν αρχίσει να γίνονται πλέον μελέτες ανθεκτικότητας στους τομείς αυτούς. Γεγονός βέβαια είναι ότι δεν υπάρχει ακόμα κοινός ορισμός του όρου, ούτε κάποιου είδους προτυποποίηση, επομένως εξακολουθεί να εφαρμόζεται κατά βάση η ανάλυση διακινδύνευσης, μέσω της οποίας λαμβάνονται μέτρα που έμμεσα ενισχύουν και την ανθεκτικότητα.

Η πιο σχετική μελέτη για το θέμα της ανθεκτικότητας σε εργαστήριο δοκιμών είναι η εργασία των Alajmi et al. (2021), «Assessment of supply chain management resilience with Saudi Medical Laboratories during Covid-19 Pandemic», τα αποτελέσματα της οποίας παραθέτω εν συντομία παρακάτω.

Η έρευνα αυτή μελέτησε πώς αυτή η πανδημία του Covid-19 επηρέασε τις αλυσίδες εφοδιασμού και τη διαχείριση αποθεμάτων στα εργαστηριακά προϊόντα, εντός της Σαουδικής Αραβίας. Η μελέτη είναι ποιοτική, επικεντρώνεται στο προσωπικό του εργαστηρίου και τους προμηθευτές τους στη Σαουδική Αραβία και διεξάγεται για την αξιολόγηση της διαχείρισης του αποθέματος υλικών των εργαστηρίων. Το δείγμα περιελάμβανε δώδεκα νοσοκομεία και δέκα προμηθευτές, (πίνακες 5-1. και 5-2).

Η μελέτη αποκάλυψε ότι η ανθεκτικότητα της εφοδιαστικής αλυσίδας επηρεάστηκε από μέτρια έως ήπια κατά τη διάρκεια της πανδημίας. Η μεγαλύτερη επίδραση ήταν στο χρόνο παράδοσης (58%), ακολουθούμενη από τη δυνατότητα αγορών (33%) και

General hospital characteristics	Frequency
Type of institution:	
Governmental Hospital	6 (50%)
Private Hospital	6 (50%)
Organization size:	
Less than 100 beds	1 (8%)
100-500 beds	5 (42%)
More than 500 beds	5 (42%)
Other (Private lab)	1 (8%)
Supply chain structure:	
All (Demand management, acquisition, logistics, disposal management and Inventory management).	7 (57%)
Demand management, logistics and inventory management.	2 (17%)
Logistics and inventory management	1 (8%)
Inventory management only.	1 (8%)
Supply chain management:	
Automated	4 (34%)
Partially automated	7 (58%)
Manual	1 (8%)
Have an inventory management software:	
Yes	10 (83%)
No	2 (17%)
Have a supply chain resilience measure:	
Yes	9 (75%)
No	3 (25%)
Type of supply chain resilience measure:	
All (Risk mitigation inventories, backup supply, recovery plan and emergency/disaster agreements coverage).	4 (34%)
Risk mitigation inventories, backup supply and emergency/disaster agreements coverage.	1 (8%)
Backup supply and recovery plan.	1 (8%)
Backup supply	2 (17%)
Risk mitigation inventories	2 (17%)
Direct purchase	1 (8%)

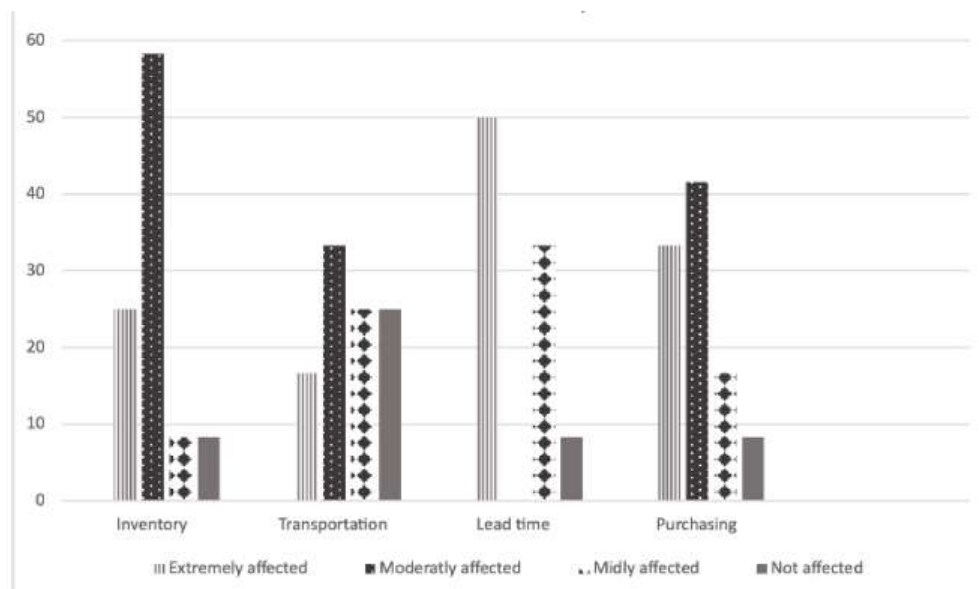
Πίνακας 5-1: : Γενικά χαρακτηριστικά των νοσοκομείων που ερευνήθηκαν (Alajmi et al., 2021).

General supplier's characteristics	Frequency
Type of institution:	
Manufacture	1 (10%)
Supplier	9 (90%)
Supply chain structure:	
All (Demand management, acquisition, logistics, disposal management and Inventory management).	7 (70%)
Demand management, logistics and inventory management.	1 (10%)
Logistics only.	1 (10%)
Inventory management only.	1 (10%)
Supply chain management:	
Automated	5 (50%)
Partially automated	4 (40%)
Manual	1 (10%)
Have an inventory management software:	
Yes	7 (70%)
No	3 (30%)
Have a supply chain resilience measure:	
Yes	8 (80%)
No	2 (20%)
Type of supply chain resilience measure:	
All (Risk mitigation inventories, backup supply, recovery plan and emergency/disaster agreements coverage).	7(70%)
Risk mitigation inventories and emergency/disaster agreements coverage.	2 (20%)
Risk mitigation inventories and recovery plan.	1 (10%)

Πίνακας 5-2: Γενικά χαρακτηριστικά των προμηθευτών που ερευνήθηκαν (Alajmi et al., 2021).

τέλος το απόθεμα (25%). Στην πράξη οι προμήθειες του εργαστηρίου επηρεάστηκαν σημαντικά μόνο σε 2 νοσοκομεία, μετρίως σε 7 νοσοκομεία (58%) και ελαφρά επηρεάστηκε σε 2 νοσοκομεία. Η μη διαθεσιμότητα αντιδραστηρίων ήταν το κυριότερο αποτέλεσμα της διαταραχής (50%), εκτός από την μεταβολή των τιμών και την έλλειψη εναλλακτικών (σχήμα 5-3). Σχεδόν το 86 % των προμηθευτών ανέφερε ότι οι υπηρεσίες τους επηρεάστηκαν εν μέρει στις περισσότερες λειτουργίες της

εφοδιαστικής αλυσίδας, αν και ισχυρίστηκαν ότι ~~έχουν~~ διαθέτουν ικανά μέτρα/διαδικασίες για τη διατήρηση ανθεκτικότητας στην παροχή των υπηρεσιών τους. Τα σημαντικότερα μέτρα μετριασμού της διακινδύνευσης ήταν η εφεδρική παροχή, το σχέδιο ανάκαμψης και η κάλυψη συμφωνιών έκτακτης ανάγκης/καταστροφών. Περισσότεροι τους μισούς οργανισμούς ανέφεραν ότι έχουν ώριμα μέτρα ανθεκτικότητας. Αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι τα αποθέματα τόσο στο επίπεδο του εργαστηρίου όσο και του προμηθευτή και η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας είχε αποτελεσματικές διαδικασίες αξιολόγησης της ανθεκτικότητας στη Σαουδική Αραβία. Αυτά τα μέτρα ήταν συγκεκριμένα για την ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων που προκλήθηκαν από την πανδημία και έχουν μέτριο αντίκτυπο στις εργαστηριακές λειτουργίες.



Σχήμα 5-3: Η έκταση της επίδρασης της πανδημίας στην αλυσίδα εφοδιασμού των νοσοκομείων (Alajmi et al., 2021).

Ο κύριος λόγος διαταραχής της εφοδιαστικής αλυσίδας ήταν η διακοπή των διεθνών πτήσεων, που δημιούργησε πρόβλημα στα αποθέματα από Ευρωπαίους και Αμερικανούς κατασκευαστές. Εκτός από αυτό ο αντίκτυπος δεν ήταν τόσο έντονος στους άλλους τομείς διαχείρισης αποθεμάτων. Όπως τονίζουν οι ερευνητές, αυτό δείχνει ότι υπάρχει ένας σωστός προγραμματισμός αποθεμάτων σε όλα τα εργαστήρια που ερευνήθηκαν, που οφείλεται στο γεγονός ότι οι περισσότερες εγκαταστάσεις υγειονομικής περίθαλψης έχουν υποχρεωτικά κάποια διαπίστευση από το Κεντρικό Συμβούλιο της Σαουδικής Αραβίας για τη διαπίστευση Ιδρυμάτων Υγειονομικής Περίθαλψης.

Σε μια έρευνα που έγινε στην Ευρωπαϊκή Ένωση από τους Stoto et al. (2023) με τίτλο «The European experience with testing and surveillance during the first phase of the COVID-19 pandemic», αναφέρονται κάποια προβλήματα που προέκυψαν κατά τη διάρκεια της πανδημίας και αποτέλεσαν μια σημαντική πρόκληση για την ευελιξία και ανθεκτικότητα του συστήματος υγείας και των κυβερνητικών φορέων. Θα αναφέρω κάποια που αφορούν τα εργαστήρια, καθώς παραπλήσια ζητήματα προέκυψαν και για τα εργαστήρια του Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων που είναι υπεύθυνα για την εκτέλεση του προγράμματος παρακολούθησης της χρήσης φαρμακολογικώς δραστικών ουσιών σε τροφοπαράγωγα ζώα στην Ελλάδα, όπου και εργάζομαι στο Κτηνιατρικό Εργαστήριο Σερρών.

Οι προμήθειες επηρεάστηκαν μέτρια, ενώ η κύρια δυσκολία είχε να κάνει με προμήθειες πρώτων υλών και ανταλλακτικών από προμηθευτές εκτός της χώρας και εκτός της Ευρωπαϊκής Ένωσης και την μετακίνηση των τεχνικών προς τα εργαστήρια. Η παρουσία του προσωπικού ήταν περιορισμένη στο ελάχιστο δυνατό με όλα τα περιοριστικά μέτρα τήρησης των αποστάσεων και κατά συνέπεια το πρόγραμμα αναλύσεων δεν εκτελέστηκε, καθώς και οι δειγματίζουσες αρχές δεν μπορούσαν να στείλουν τα αντίστοιχα δείγματα. Η εφαρμογή της τηλεργασίας δημιούργησε αρκετά θέματα. Πέρα από το γεγονός ότι κάποιοι υπάλληλοι δεν είχαν πρόσβαση σε υπολογιστή, χρειάστηκε αρκετός χρόνος για στηθούν τα δίκτυα και ηλεκτρονικές πλατφόρμες. Το υπάρχον σύστημα δεν έχει σχεδιαστεί για on-line αναφορές σε καθημερινή βάση, έτσι χρειάστηκαν αλλαγές για την προσθήκη προδιαγραφών και πρότυπων εγγράφων για καθημερινές αναφορές. Στην περίπτωση αυτή έπρεπε να διασφαλιστεί ότι οι εθνικές και περιφερειακές αρχές μπορούν να επικοινωνούν άμεσα με την εγγύηση ότι τα ευαίσθητα δεδομένα προστατεύονται επαρκώς. Πολλά ζητήματα δημιουργήθηκαν επίσης για τους εργαζόμενους γονείς για την περίοδο που τα σχολεία ήταν κλειστά, όπως επίσης και για το πλαίσιο της παρουσίας στο χώρο εργασίας ανεμβολίαστων υπαλλήλων, με αποτέλεσμα να καθυστερήσουν εργασίες τόσο σε αναλυτικά όσο και σε διοικητικά θέματα που αφορούν ένα εργαστήριο, που αποτελεί μέρος ενός τμήματος ή μιας διεύθυνσης. Στην περίπτωση αυτή το βασικό ζητούμενο ήταν η ευελιξία και προσαρμοστικότητα των ρυθμιστικών αρχών, για την αντιμετώπιση μιας κατάστασης χωρίς προηγούμενο.

Το γεγονός όλα τα εργαστήρια του Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων, που εμπλέκονται στις αναλύσεις για το συγκεκριμένο πρόγραμμα, έχουν κάποιου είδους διαπίστευση βοήθησε στο να είναι ο αντίκτυπος της πανδημίας μέτριος, όπως και στην περίπτωση των νοσοκομειακών εργαστηρίων στη Σαουδική Αραβία.

Η ενσωμάτωση της ανάλυσης και διαχείρισης της ανθεκτικότητας στα πρότυπα ποιότητας που αφορούν τα εργαστήρια, μπορεί να ενισχύσει περισσότερο την ανθεκτικότητα των εργαστηρίων δοκιμών και την ευελιξία τους στην αντιμετώπιση απρόβλεπτων συμβάντων αλλά και στη διαχείριση των καθημερινών υποχρεώσεων.

Μια πρόταση για μελλοντική έρευνα θα ήταν η εφαρμογή της προσέγγισης της Μήτρας Ανθεκτικότητας σε εργαστήριο δοκιμών, με συλλογή στοιχείων τόσο από την περίοδο της πανδημίας του COVID-19, όσο και λόγω της κλιματικής αλλαγής, όπου οι υψηλότερες κατά μέσο όρο θερμοκρασίες όλη τη χρονιά, αλλά και οι παρατεταμένοι καύσωνες δημιουργούν νέα δεδομένα που θα πρέπει να αντιμετωπιστούν, για να ενισχυθεί η ανθεκτικότητα των εργαστηρίων δοκιμών.

6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η ανάλυση ανθεκτικότητας είναι πλέον πολύ σημαντική και εφαρμόζεται σε πολλούς τομείς, ακόμα και αν δεν υπάρχει κοινός τόπος για τον ορισμό της και κάποιου είδους

προτυποποίηση. Ειδικότερα στα εργαστήρια δοκιμών απαιτείται ακόμα αρκετός χρόνος και έρευνα για να αλλάξει ο τρόπος σκέψης και δράσης από την κλασική ανάλυση διακινδύνευσης. Η έρευνα που έγινε ήταν περιορισμένη τόσο χρονικά, όσο και από τη διαθεσιμότητα δεδομένων. Στόχος ήταν να καταδείξει το κενό αυτό σχετικά με την εφαρμογή της ανάλυσης ανθεκτικότητας και να βοηθήσει όσους εμπλέκονται σε εργαστήρια δοκιμών και αναλύσεων να κατανοήσουν την έννοια της ανθεκτικότητας και τα οφέλη που μπορούν να προκύψουν από την ενσωμάτωσή της στο ήδη υπάρχον σύστημα διαχείρισης της διακινδύνευσης, αρχικά, δίνοντας έτσι μεγαλύτερη ευελιξία, προσαρμοστικότητα και δυνατότητα γρήγορης ανάκαμψης σε περιπτώσεις απροσδόκητων καταστροφών.

Παρόλο που η διακινδύνευση και οι ανθεκτικότητα είναι δύο διαφορετικές έννοιες και υπάρχει σίγουρα ανάγκη να φύγουμε από την κλασική ανάλυση διακινδύνευσης, η ανάλυση διακινδύνευσης και η ανάλυση ανθεκτικότητας είναι χρήσιμο να είναι η μια κομμάτι της άλλης. Στην ταραχώδη και απρόβλεπτη εποχή που ζούμε η ανάλυση διακινδύνευσης σίγουρα χρειάζεται να λάβει υπόψη της την ανθεκτικότητα. Μετά τις πρόσφατες καταστροφές, η έννοια της ανθεκτικότητας έχει αναδειχθεί παγκοσμίως ως ένα νέο παράδειγμα διαχείρισης διακινδύνευσης και μετριασμού καταστροφών (Cariolet et al., 2019). Τέλος όπως αναφέρει και ο Aven (2017) στην εργασία του «How some types of risk assessment can support resilience analysis and management» η ανάλυση και διαχείριση της ανθεκτικότητας μπορεί να βελτιωθεί λαμβάνοντας υπόψη τη διακινδύνευση. Ο τελικός στόχος είναι η εξασφάλιση της ομαλής λειτουργίας του συστήματος, ακόμα και σε μια νέα θέση ισορροπίας.

Η μετατόπιση του κέντρου βάρους από την κλασική ανάλυση διακινδύνευσης στην ανάλυση της ανθεκτικότητας έχει ήδη πραγματοποιηθεί σε αρκετούς τομείς και τα επόμενα χρόνια η απαίτηση αυτή ίσως αλλάξει τα δεδομένα τόσο σε επίπεδο προτυποποίησης όσο και σε νομοθετικό επίπεδο σε κάποιους κλάδους.

Βιβλιογραφία

Adger, WN. (2000) Social ecological resilience: are they related? *Prog Hum Geogr*, 24(3):347–64.

Alajmi, A., Adlan, N. & Layani, R. (2021). Assessment of Supply Chain Management Resilience within Saudi Medical Laboratories during Covid-19 Pandemic. 9th CIRP Global Web Conference – Sustainable, resilient, and agile manufacturing and service operations: Lessons from COVID-19. *Procedia CIRP* 103, 32–36.

Alexander, D. E., (2013). Resilience and disaster risk reduction: an etymological journey. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 13, 2707–2716. DOI: 10.5194/nhess-13-2707-2013.

American Society of Mechanical Engineers (ASME). (2009). Innovative Technological Institute (ITI). Washington, D.C.: ASMEITI, LLC.

Anderies, J.M., Rodriguez, A.A., Janssen, M.A. & Cifdaloz, O. (2007). Panaceas, uncertainty, and the robust control framework in sustainability science. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104(39):15194–15199.

Aven, T. (2011). On some recent definitions and analysis frameworks for risk, vulnerability, and resilience. *Risk Analysis*, 31(4):515–22.

Aven, T. (2017). How some types of risk assessments can support resilience analysis and management. *Reliability Engineering and System Safety*, 167, 536–543.

Aven, T. (2019) The Call for a Shift from Risk to Resilience: What Does it Mean? *Risk Analysis*, Vol. 39, No. 6, 1196-1203. DOI: 10.1111/risa.13247

Aven, T. (2022) On Some Foundational Issues Concerning the Relationship between Risk and Resilience. *Risk Analysis*, Vol. 39, No. 6, 1196-1203. DOI: 10.1111/risa.13247.

Aven, T. & Krohn., B. S. (2014). A new perspective on how to understand, assess and manage risk and the unforeseen. *Reliability Engineering and System Safety*, 121, 1–10.

Aven, T. & Renn, O. (2018). Improving government policy on risk: Eight key principles. *Reliability Engineering and System Safety*, 176, 230–241.

Aven, T. & Thekdi, S. (2018). The importance of resilience-based strategies in risk analysis, and vice versa. IRGC resource guide on resilience, vol. 2: Domains of resilience for complex interconnected systems. Lausanne, Switzerland: International Risk Governance Council.

Aven, T. and Zio, E. (2011). Some considerations on the treatment of uncertainties in risk assessment for practical decision making. *Reliab. Eng. Syst. Saf.*, 96, 64–74

Ayyb, B. M. (2014). Systems Resilience for multihazard Environments: Definition, Metrics and Valuation for Decision Making. *Risk Analysis*, 34 (2). DOI: 10.1111/risa.12093

Barasa, E., Cloete, K. and Gilson, L. (2017). From bouncing back, to nurturing emergence: reframing the concept of resilience in health systems strengthening. *Health Policy Plan*, 32(Suppl 3): iii91–iii94. DOI:10.1093/heapol/czx118.

Barasa, E., Mbau, R. and Gilson, L. (2018). What Is Resilience and How can It Be Nurtured? A Systematic Review of Empirical Literature on Organizational Resilience. *Int J Health Policy Manag*, 7(6), 491–503. DOI: 10.15171/ijhpm.2018.06

Bellini, E., Gaitanidou, E., Bekiaris, E. et al. (2020) The RESOLUTE project's European Resilience Management Guidelines for Critical Infrastructure: development, operationalisation and testing for the urban transport system. *Environ Syst Decis* 40, 321–341. <https://doi.org/10.1007/s10669-020-09765-0>

Bergström, J., van Winsen, R., & Henriqson, E. (2015) On the rationale of resilience in the domain of safety: A literature review. *Reliability Engineering and System Safety*, 141, 131–141.

Berkes, F., Folke, C., & Colding, J. (Eds.). (2000). Linking social and ecological systems: Management practices and social mechanisms for building resilience. New York: Cambridge University Press.

Bhamra, R., Dani, S. & Burnard, K. (2011) Resilience: the concept, a literature review and future directions, *International Journal of Production Research*, 49:18, 5375-5393. DOI: 10.1080/00207543.2011.563826

- Blanchet, K., Nam, S. L., Ramalingam, B. and Pozo-Martin, F. (2017). Governance and Capacity to Manage Resilience of Health Systems: Towards a New Conceptual Framework. *Int. J. Health Policy Manag*, 6 (8), 431-438. DOI: 10.15171/ijhpm.2017.36
- Buheji, M. (2020). *Visualising Resilient Communities*. UK: AuthorHouse.
- Brand, F. S. & K. Jax. (2007). Focusing the meaning(s) of resilience: resilience as a descriptive concept and a boundary object. *Ecology and Society* 12(1): 23. URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol12/iss1/art23/>.
- Caldarice, O., Brunetta, G., & Tollin, N. (2019). The challenge of urban resilience: Operationalization. In G. E. A. Brunetta (Ed.). *Urban resilience for risk and adaptation governance: Theory and practice* (pp. 1–6). Cham: Springer International Publishing.
- Cantelmi, R., Di Gravio, G. and Patriarca, R. (2021). Reviewing qualitative research approaches in the context of critical infrastructure resilience. *Environment Systems and Decisions*, 41:341–376. <https://doi.org/10.1007/s10669-020-09795-8>.
- Cariolet, J-M., Vuillet, M. and Diab, Y. (2019). Mapping urban resilience to disasters- A review. *Sustainable Cities and Society*, 51, pp.101746.
- Carvalho, H., Barroso, A.P., Machado, V.H., Azevedo, S. and Cruz-Machado, V. (2012). Supply chain redesign for resilience using simulation. *Comput Ind Eng*, 62(1):329–41.
- Chang, S.E. and Shinozuka, M. (2004). Measuring improvements in the disaster resilience of communities. *Earthq Spectra*, 20(3):739–55.
- Coaffee, J, and Clarke, J. (2017). Realising Critical Infrastructure Resilience. In: Linkov, I., Palma-Oliveira, J. (eds). *Resilience and Risk*. NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-024-1123-2_13.
- Community and regional resilience institute (CARRI) (2009). Research report 8. Economic resilience to disasters.
- Connelly, E., Allen, C., Hatfield, K., Palma-Oliveira, J., Woods, D., and Linkov, I. (2016). Resilience as the Feature, or Features of Resilience? Forthcoming.
- Curt, C, Tachnet, J. M. (2018) Resilience of critical infrastructures: review and analysis of current approaches. *Risk Analysis*, pp.18. 10.1111/risa.13166. Hal-02607701.

Cutter, S. L. (2016). The landscape of disaster resilience indicators in the USA. *Natural Hazards*, 80(2), 741–758.

Das, D., Datta, A. and Kumar, P. (2021). Building supply chain resilience in the era pf COVID-19: An AHP-DEMATEL approach. *Operations Management Research*, 15, 249-267.

Dinh, L.T.T., Pasman, H., Gao, X. and Sam Mannan, M. (2012). Resilience engineering of industrial processes: principles and contributing factors. *J Loss Prev Process Ind*, 25:233–41.

Dionne, G. (2013). Risk management: History, definition and critique. Ανάκτηση από: 6-218-98 (cirrelt.ca).

European Environment Agency (EEA). (2016). Urban adaptation to climate change in Europe 2016 - Transforming cities in a changing climate - Report N° 12/2016, pp. 135 pages.

Fazey, I., Carmen, E., Ross, H., Rao-Williams, J., Hodgson, A. et al. (2021). Social dynamics of community resilience building in the face of climate change: the case of three Scottish communities. *Sustainability Science*, 16: 1731-1747.

Fekete, A., Hufschmidt, G. & Kruse, S. (2014). Benefits and Challenges of Resilience and Vulnerability for Disaster Risk Management. *Int J Disaster Risk Sci*, 5:3–20. DOI 10.1007/s13753-014-0008-3.

Filippini, R and Silva, A. (2014). A modeling framework for the resilience analysis of networked systems-of-systems based on functional dependencies. *Reliability Engineering and System Safety* 125, 82–91.

Fiskel, J. (2003). Designing Resilient, Sustainable Systems. *Environ. Sci. Technol.*, 37, 5330-5339.

Fiskel, J., Polyviou, M., Croxton, K.L. and Pettit, T.J. (2015). From Risk to Resilience: Learning to Deal with Disruption. *MIT Sloan Management Review*, 5 (2).

Forrest, S., and C. Milliken. (2019). Building Resilience to Disaster: From Advice to Action. *European Review* 27(1):17–26. doi:10.1017/S1062798718000522.

Forsgren, L., Tediosi, F., Blanchet, K. and Saulnier, D.D. (2022). Health systems resilience in practice: a scoping review to identify strategies for building resilience. *BMC Health Services Research*, 22: 1173. DOI: 10.1186/s12913-022-08544-8

Fox-Lent, C., Bates, M. E., & Linkov, I. (2015). A matrix approach to community resilience assessment: an illustrative case at Rockaway Peninsula. *Environment Systems and Decisions*, 35(2), 209–218. <https://doi.org/10.1007/s10669-015-9555-4>

Fox-Lent, C., & Linkov, I. (2018). Resilience Matrix for Comprehensive Urban Resilience Planning. In *Resilience-Oriented Urban Planning* (pp. 29–47). Cham Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-75798-8_2

Francis, R. & Bekera, B. (2014). A metric and frameworks for resilience analysis of engineered and infrastructure systems. *Reliability Engineering and System Safety*, 121, 90–103.

Fujita, H., Gaeta, A., Loia, V. and Orciuoli, F. (2019). Resilience Analysis of Critical Infrastructures: A Cognitive Approach Based on Granular Computing. *IEEE TRANSACTIONS ON CYBERNETICS*, VOL. 49, NO. 5.

Gilbert, S. W. (2010). Disaster Resilience: A guide to the literature. NIST Special Publication 1117, Office of Applied Economics, Engineering Laboratory, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, 2010.

Golan, M.S., Jernegan, L.H. and Linkov, I. (2020). Trends and applications of resilience analytics in supply chain modeling: systematic literature review in the context of the COVID-19 pandemic. *Environment Systems and Decisions*, 40:222–243.

Haimes, YY. (2009). On the definition of resilience in systems. *Risk Analysis*, 29(4):498–501

Henry, D. & Ramirez-Marquez, J.E. (2012). Generic metrics and quantitative approaches for system resilience as a function of time. *Reliability Engineering and System Safety*, 99, 114-122.

Holling, C. S. (1973). Resilience and stability of ecological systems. *Annual Review of Ecology and Systematics* 4:1-23.

Hollnagel, E. (2007). Ανάκτηση από:
<http://www.sites.google.com/site/erikhollnagel2/whatisresilienceengineering%3F>.

- Hollnagel E. (2013). Making health care resilient: from safety-I to safety II. In: Hollnagel E, Braithwaite J, Wears RL, eds. Resilient Healthcare. Ashgate Publishing Limited.
- Hollnagel, E., Sujeanb, M. and Braithwaite, J. (2019). Resilient Health Care – Making steady progress. *Safety Science*, 120, 781-782.
- Hosseini, S., Barker, K. & Ramirez-Marquez, J. E. (2016) A review of definitions and measures of system resilience. *Reliability Engineering and System Safety*, 145, 47-61.
- Hosseini, S., Ivanov, D. and Dolgui. (2019). Review of quantitative methods for supply chain resilience analysis. *Transportation Research Part E* 125, 285-307.
- Hughes, T. P., Bellwood, D. R., Folke, C., Steneck, R. S. and Wilson, J. (2005). New paradigms for supporting the resilience of marine ecosystems. *Trends in Ecology & Evolution*, 20(7), 380–386.
- Hulett, D. T., Preston, J. Y. and CPA PMP. (2000). Garbage in, garbage out? Collect better data for your risk assessment. In *Proceedings of the Project Management Institute Annual Seminars & Symposium* (pp. 983–989).
- IPCC, Climate Change 2021. The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- IPCC, Climate Change 2022. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Summary for Policymakers. A report of Working Group II of the IPCC.
- Jin, J.G., Tang, L.G., Sun, L. and Lee, D-H. (2014). Enhancing metro network resilience via localized integration with bus services. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 63, Pages 17-30.
- Kete, N., Giuliano Punzo, G. and Linkov, I. (2018). Enhancing resilience within and between critical infrastructure systems. *Environment Systems and Decisions*, 38:275–277. <https://doi.org/10.1007/s10669-018-9706-5>.
- Kochan, C.G. and Nowicki, D.R. (2018). Supply chain resilience: a systematic literature review and typological framework. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 48 (8), pp. 842-865.

- Kruk, M.E., Myers, M., Varpilah, S. T. and Dahn, B. T. (2015). What is a resilient health system? Lessons from Ebola. *Lancet*, 385: 1910–12.
- Labaka, L., Hernantes, J. and Sarriegi, J.M. (2015). Resilience framework for critical infrastructures: An empirical study in a nuclear plant. *Reliab Eng Syst Saf*, 141:92–105
- Leach, M. (2008). Re-framing resilience: A symposium report. Brighton: STEPS Centre.
- Levenson, N. (2004). A new accident model for engineering safer systems. *Safety Science* 42, 237–270. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0925-7535\(03\)00047-X](https://doi.org/10.1016/S0925-7535(03)00047-X)
- Li, L., Liao, S., Yuan, J., Wang, E. and She, J. (2021). Analysing Healthcare Facility Resilience: Scientometric Review and Knowledge Map. *Front. Public Health* 9: 764069. DOI: 10.3389/fpubh.2021.764069
- Li, Y. and Zhao, L. (2010). Analyzing deformation of supply chain resilient system based on cell resilience model. In: *Life system modeling and intelligent computing*, 6328. Berlin, Heidelberg: Springer, p. 26–35.
- Lingzhi, L., Liao, S., Yuan, J., Wang, E. and She, J. (2021). Analyzing Healthcare Facility Resilience: A Scientometric Review and Knowledge Map. *Frontiers in Public Health*, 9 (764069).
- Linkov, I., Eisenberg, D.A., Bates, M.E., Chang, D., Convertino, M., Julia H. Allen, J.H., Flynn, S.E. & Seager, T.P. (2013). Measurable Resilience for Actionable Policy. *Environ. Sci. Technol.*, 47, 18, 10108–10110.
- Linkov, I., Bridges, T., Creutzig, F., Decker, J., Fox-Lent, C., Kröger, W., Lambert, J. H., Levermann, A., Montreuil, B, Nathwani, J., Nyer, R., Ortwin Renn, Scharte, B., Scheffler, A., Schreurs, M. & Thiel-Clemen, T. (2014b). Changing the resilience paradigm. *Nature Climate Change*, vol. 4, 407-409.
- Linkov, I., Fox-Lent, C., Keisler, J., Sala, S. D. and Sieweke, J. (2014c). Risk and resilience lessons from Venice. *Environment Systems and Decisions*, 34(3), 378–382.
- Linkov, I., Trump, B. D. (2019). The Science and Practice of Resilience. Switzerland: Springer Nature AG 2019. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-04565-4>
- Linkov, I., Trump, B. D. and Fox-Lent, C. (2016). Resilience: Approaches to risk analysis and governance. An introduction to the IRGC resource guide on resilience. In

I. Linkov & M.-V. Florin (Eds.), IRGC resource guide on resilience (pp.3–14). Lausanne, Switzerland: International Risk Governance Center (IRGC). Ανάκτηση από: <https://www.irgc.org/riskgovernance/resilience/>.

Linkov, I., Fox-Lent, C. and Florin, M.-V. (2016). Resilience Metrics and Approaches for Quantification. 6th International Disaster and Risk Conference IDRC 2016 Integrative Risk Management - Towards Resilient Cities, Davos, Switzerland.

Liu, X., Fan, Y. and Zio, E. (2021). A hierarchical resilience enhancement framework for interdependent critical infrastructures. Reliab Eng Syst Saf, 215:107868.

Liu, Y, Li, Q. Li, W, Jia, L and Pei, X. (2023). Knowledge map and hotspot analysis in climate resilience infrastructure (CRI) from 1997 to 2022 through scientometric analysis. Environmental Research 228, 115874.

Logan, T.M. and Guikema, S. D. (2020). Reframing Resilience: Equitable Access to Essential Services. Risk Analysis, 40 (8). DOI: 10.1111/risa.13492

Lopez-Cuervas, A., Ramirez-Marquez, J., Sanchez-Ante, G. and Barker, K. (2017). A community perspective on Resilience Analytics: A visual Analysis of Community Mood. Risk Analysis, 37 (8). DOI: 10.1111/risa.12788

Magis, K. (2010). Community resilience: an indicator of social sustainability. Society and Natural Resources, 23, pp. 401–416.

Martin, R. L. (2012). Regional economic resilience, hysteresis and recessionary shocks. J Econ Geogr, 12:1–32.

Meerow, S., Newell, J.P. and Stults, M. (2016). Defining urban resilience: A review, landscape and urban planning, 147, 38-49.

Merz, B., Elmer, F. and Thielen, A.H. (2009). Significance of “high probability/low damage” versus “low probability/high damage” flood events. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 9, 1033–1046. www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/9/1033/2009/.

Moteff, J.D. (2012). Critical Infrastructure Resilience: The Evolution of Policy and Programs and Issues for Congress. Congressional Research Service. 7-5700. www.crs.gov. R42683.

Nienaber, M. (2017). G20 adopt list of principles to strengthen economic resilience. Reuters. Retrieved from <https://www.reuters.com/article/us-g20-germany->

resilience/g20-adopt-list-of-principles-to-strengthen-economic-resilience-idUSKBN16P0QY.

Norris, F. H., Stevens, S. P., Pfefferbaum, B., Wyche, K. F. and Pfefferbaum, R. L. (2007). Community Resilience as a Metaphor, Theory, Set of Capacities, and Strategy for Disaster Readiness. *Am J Community Psychol* (2008) 41:127–150. DOI 10.1007/s10464-007-9156-6

OECD. (2014). Recommendation of the Council on the Governance of Critical Risks. Available on line at <http://www.oecd.org/gov/risk/recommendation-on-governance-of-critical-risks.htm>.

OECD. (2017). Secretary-General's Annual Report to Ministers 2017. Available on line at <http://issuu.com/oecd.publishing/docs/0117041e?e=3055080/49775011>

Ouyang, M., Duenas-Osorio, L. and Min, X. (2012). A three-stage resilience analysis framework for urban infrastructure systems. *Struct Saf*, 36–37:23–31.

Ovidius. (2008). *Metamorphoses*. Oxford University Press.

Park, J., Seager, T. P., Rao, P. S. C., Convertino, M. and Linkov, I. (2013). Integrating Risk and Resilience Approaches to Catastrophe Management in Engineering Systems. *Risk Analysis*, Vol. 33 (3), 356-367. DOI: 10.1111/j.1539-6924.2012.01885.x

Pettit, T., J., Croxton, K., L. and Fiskel, J. (2013). Ensuring supply Chain Resilience: Development and Implementation of an Assessment Tool. *Journal of Business Logistics*, 34 (1), 46-76.

Quandt, A. and Paderes, P. (2023). LIVELIHOOD RESILIENCE AND GLOBAL ENVIRONMENTAL CHANGE: TOWARD INTEGRATION OF OBJECTIVE AND SUBJECTIVE APPROACHES OF ANALYSIS. *Geographical Review*, 113:4, 536-553. DOI:10.1080/00167428.2022.2085104

Rahmani, M., Lotfata, A., Khoshnevis, S., Javanmardi, K. and Akdogan, M. E. (2022). Resilience assessment of healthcare facilities with urban context: learning from a non-profit hospital in Texran, Iran. *International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment*, vol. 14 (5), pp. 669-699. DOI: 10.1108/ijdrbe-11-2021-0151.

Rose, A. (2004). Defining and measuring economic resilience to disasters. *Disaster Prev Manage*, 13 (4), 307-314.

- Rose, A. & Liao, S.Y. (2005). Modeling regional economic resilience to disasters: a computable general equilibrium analysis of water service disruptions. *J Reg Sci*, 45(1):75–112.
- Sahebjamnia, N., Torabi, S.A. and Mansouri, S.A. (2018). Building organizational resilience in the face of multiple disruptions. *International Journal of production economics*, 197, 63-83.
- Schoch-Spana, M., Gill, K., Hosangadi, D., Slemp, C., Burhans, R., Zeis, J., Carbone, E.G. and Links, J. (2019). The COPEWELL Rubric: A self-assessment Toolkit to strengthen community resilience to disasters. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 16, 2372. DOI: 10.3390/ijerph16132372
- Scholz, R. W., Blumer, Y. B., & Brand, F. S. (2012). Risk, vulnerability, robustness, and resilience from a decision-theoretic perspective. *Journal of Risk Research*, 15(3), 313–330.
- Sheffi, Y. and James B. Rice Jr, J.B. (2005). A Supply Chain View of the Resilient Enterprise. *MIT Sloan Management Review*, 47 (1).
- Shirali, GHA., Motamedzade, M., Mohammadfam I, Ebrahimipour, V. and Moghim-Beige, A. (2012). Challenges in building resilience engineering (RE) and adaptive capacity: A field study in a chemical plant. *Process Saf Environ Prot*, 90(2):83–90.
- Society for Risk Analysis [SRA] (2015) Glossary Society for Risk Analysis. www.sra.com/resources.
- Speranza, C.I., Wiesmann, U. and Rist, S. (2014). An indicator framework for assessing livelihood resilience in the context of social–ecological dynamics. *Global Environ Change*, 28:109–19.
- Steen, R and Aven, T. (2011). A risk perspective suitable for resilience engineering. *Safety Science*, 49. Pp.292-297.
- Steen, R., Haug, O.J. and Patriarca, R. (2024). Business continuity and resilience management: A conceptual framework. *J. Contingencies Crisis Manag.*, 32:e12501.
- Stoto, M.A., Reno, C., Tsoleva, S. & Fantini, M.P. (2023). The European experience with testing and surveillance during the first phase of the COVID-19 pandemic. *Globalization and Health*, 19:51. <https://doi.org/10.1186/s12992-023-00950-9>.

Sun, L., D'Ayala, D., Fayjaloun, R. and Gehl, P. (2021). Agent-based model on resilience-oriented rapid responses of road networks under seismic hazard. *Reliab Eng Syst Saf.*, 216:108030.

Tan, M. Z. Y., Prager, G., McClelland, A. et al. (2023). Healthcare resilience: a meta-narrative systematic review and synthesis of reviews. *BMJ Open*, 13:e072136. DOI: 10.1136/bmjopen-2023-072136

Therrien, M-C. and Normandin, J-M. (2016). Bridging complexity theory and resilience to develop surge capacity in health systems. *Journal of Health Organization and Management*, 31(1), 96-109.

Tierney, K. (2007). Business and Disasters: Vulnerability, Impacts and Recovery, In: Rodriguez H., Quarentelli E.L. and Dynes, R.R., 2007, *Handbook of Disasters*. Heidelberg: Springer.

Tong, Q., Yang, M. and Zinetullina, A. (2020). A Dynamic Bayesian Network-based approach to Resilience Assessment of Engineered Systems. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 65, 104152.

Turenne, C. P., Gautier, L., Degroote, S., Guillard, E., Chabrol, F. et al. (2019). Conceptual analysis of health systems resilience: A scoping review. *Social Science and Medicine*, 232, pp. 168 - 180. DOI: 10.1016/j.socscimed.2019.04.020.

Vergano, L., & Nunes, P. A. (2007). Analysis and evaluation of ecosystem resilience: An economic perspective with an application to the Venice lagoon. *Biodiversity and Conservation*, 16 (12), 3385–3408.

Vogus, T. J. and Sutcliffe, K.M. (2007). The Safety Organizing Scale: Development and Validation of a Behavioral Measure of Safety Culture in Hospital Nursing Units. *Medical Care*, 45 (1).

Walker, B., Carpenter, S., Anderies, J., Abel, N., Cumming, G., Janssen, M., et al. (2002). Resilience management in social-ecological systems: a working hypothesis for a participatory approach. *Conservation Ecology*, 6(1):14–30.

Wilson, G. *Community Resilience and Environmental Transitions*. Taylor & Francis Group, 2012. ProQuest Ebook Central.

World Health Organization. (2016). Universal Health Coverage: Moving Towards Better Health – Action Framework for the Western Pacific Region [Internet]. Genève: World Health Organization. Available:

http://iris.wpro.who.int/bitstream/handle/10665.1/13371/9789290617563_eng.pdf?ua=1

Woods, DD (2006). Essential characteristics of resilience. In: Hollnagel E, Woods DD, Leveson N, editors. Resilience engineering: concepts and precepts. Aldershot, UK: Ashgate Press; 2006. p. 21–34.

Xu, D., Tsang, I.W., Chew, E.K., Siclari, C. and Kaul, V. (2019). A data-analytics approach for enterprise resilience. *IEEE Intell Syst*, 34(3):6–18.

Yamagata, Y and Sharifi, A. (2018). Resilience-Oriented Urban Planning. Cham Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-75798-8_2.

Yin, J., Ren, X., Liu, R., Tang, T. & Su, S. (2022) Quantitative analysis for resilience-based urban rail systems: A hybrid knowledge-based and data-driven approach. *Reliability Engineering and System Safety* 219, 108183.

Zhang, N. and Huang, H. (2018). Resilience analysis of countries under disasters based on multi source data. *Risk Anal*, 38(1):31–42.

Zio, E. (2016). Challenges in the vulnerability and risk analysis of critical infrastructures. *Reliability Engineering and System Safety*, 152, 137–150.

Zio, E. (2018). The future of risk assessment. *Reliability Engineering and System Safety*, 177, 176–190.

Zobel, C.W. and Khansa, L. (2014). Characterizing multi-event disaster resilience. *Comput Oper Res*, 42:83–94.

Ηλεκτρονική Βιβλιογραφία

<https://irgc.org/risk-governance/resilience/irgc-resource-guide-on-resilience/>

<http://data.europa.eu/eli/dir/2008/114/oj>

<https://www.unep.org/resources/annual-report/unep-2010-annual-report>

<https://www.rockefellerfoundation.org/100-resilient-cities/>

Υπεύθυνη Δήλωση Συγγραφέα:

Δηλώνω ρητά ότι, σύμφωνα με το άρθρο 8 του Ν.1599/1986, η παρούσα εργασία αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής μου εργασίας, δεν προσβάλλει κάθε μορφής δικαιώματα διανοητικής ιδιοκτησίας, προσωπικότητας και προσωπικών δεδομένων τρίτων, δεν περιέχει έργα/εισφορές τρίτων για τα οποία απαιτείται άδεια των δημιουργών/δικαιούχων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον και πληρούν τους κανόνες της επιστημονικής παράθεσης