

**ΠΜΣ Εφαρμοσμένης Οικονομικής
Τμήμα Οικονομικών Επιστημών
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας**

Διπλωματική Εργασία

Δυναμικά μοντέλα της εμφάνισης του πολέμου

Παπαδοπούλου Ευαγγελία

Επιβλέπων: Επίκουρος Καθηγητής Λουκάς Ζαχείλας

Βόλος 2013

Υπεύθυνη Δήλωση Πρωτοτυπίας Διπλωματικής Εργασίας

Βεβαιώνω ότι είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της, είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στη διπλωματική εργασία. Επίσης έχω αναφέρει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επίσης βεβαιώνω ότι αυτή η πτυχιακή εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά ειδικά για τις απαιτήσεις του προγράμματος μεταπτυχιακών σπουδών στην Εφαρμοσμένη Οικονομική του Τμήματος Οικονομικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

Βόλος, Ιούνιος 2013

Στους γονείς μου,
και στον επιβλέποντα καθηγητή μου
κ. Λουκά Ζαχείλα

Περιεχόμενα

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	6
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	8
ABSTRACT.....	9
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	11
1.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ «ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ».....	11
1.2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ.....	13
1.3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	19
2 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ.....	23
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	23
2.2 ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΟΥ LANCHESTER	27
2.2.1 <i>Ο Γραμμικός Νόμος του Lanchester</i>	27
2.2.2 <i>Ο Τετραγωνικός Νόμος του Lanchester</i>	29
2.3 ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΩΝ ΕΞΟΠΛΙΣΜΩΝ ΤΟΥ RICHARDSON.....	31
2.3.1 <i>Συνθήκες Σταθερότητας</i>	32
2.3.2 <i>Κριτική του μοντέλου</i>	36
2.4 ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΩΝ INTRILIGATOR & BRITO ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΝΑΡΞΗ ΤΟΥ ΠΟΛΕΜΟΥ	38
2.4.1 <i>Κριτική του μοντέλου</i>	44
2.5 ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΟΥ SAPERSTEIN	46
3 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ	54
3.1 Εισαγωγή.....	54
3.1.1 <i>Μαθηματικοί Ορισμοί</i>	54
3.2 Ανάλυση του μοντέλου μας με το πρόγραμμα E & F Chaos.....	57
3.2.1 <i>Αρχικές συνθήκες</i>	57
3.2.2 <i>1^η περίπτωση: $b = 0,4$</i>	62
3.2.3 <i>2^η περίπτωση: $b = 0,60$</i>	64

3.2.4	3 ^η περίπτωση: $b = 0,83$	66
3.2.5	4 ^η περίπτωση: $b = 0,88$	69
3.2.6	5 ^η περίπτωση: $b = 0,96$	71
3.3	Τροποποιημένο μοντέλο του Saperstein	74
3.3.1	1 ^η περίπτωση: $b = 0,5$	74
3.3.2	2 ^η περίπτωση: $b = 0,83$	84
3.3.3	3 ^η περίπτωση: $b = 0,96$	93
3.4	ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	98

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1-1 Δαπάνες για την άμυνα κατά τη διάρκεια των ετών 1949-1973.....	19
Εικόνα 2-1 Γραμμικός Νόμος της μάχης.....	28
Εικόνα 2-2 Τετραγωνικός Νόμος της μάχης.....	29
Εικόνα 2-3 Συνθήκες Σταθερότητας – Ευστάθεια αν: $k \cdot k' < a \cdot a'$	33
Εικόνα 2-4 Συνθήκες Σταθερότητας – Αστάθεια αν: $k \cdot k' > a \cdot a'$	34
Εικόνα 2-5 Συνθήκες Σταθερότητας – Αστάθεια αν: $k \cdot k' > a \cdot a'$, με $g, g' < 0$	35
Εικόνα 2-6 Το επίπεδο των όπλων για τις χώρες Α και Β με την «περιοχή έναρξης» και την «περιοχή αμοιβαίας αποτροπής».....	44
Εικόνα 3-1 Διάγραμμα περιοχών σύγκλισης στις αρχικές συνθήκες.....	59
Εικόνα 3-2 Διάγραμμα διακλάδωσης (άνω) και διάγραμμα του εκθέτη Lyapunov (κάτω) για $0 < a < 1$	60
Εικόνα 3-3 Διάγραμμα περιοχών σύγκλισης και η ευθεία $b = 0,40$	62
Εικόνα 3-4 Διάγραμμα διακλάδωσης (άνω) και διάγραμμα εκθέτη Lyapunov (κάτω) για $0,80 < a < 1$	63
Εικόνα 3-5 Διάγραμμα περιοχών σύγκλισης και η ευθεία $b = 0,60$	64
Εικόνα 3-6 Διάγραμμα διακλάδωσης (άνω) και διάγραμμα εκθέτη Lyapunov (κάτω) για $0,80 < a < 1$	65
Εικόνα 3-7 Διάγραμμα περιοχών σύγκλισης και η ευθεία $b = 0,83$	66
Εικόνα 3-8 Διάγραμμα διακλάδωσης (άνω) και διάγραμμα εκθέτη Lyapunov (κάτω) για $0,49 < a < 1$	67
Εικόνα 3-9 Διάγραμμα χρονολογικών σειρών για τη χώρα X.....	68
Εικόνα 3-10 Διάγραμμα χρονολογικών σειρών για τη χώρα Y.....	68
Εικόνα 3-11 Διάγραμμα περιοχών σύγκλισης και η ευθεία $b = 0,88$	69
Εικόνα 3-12 Διάγραμμα διακλάδωσης (άνω) και διάγραμμα εκθέτη Lyapunov (κάτω) για $0,36 < a < 1$	70
Εικόνα 3-13 Διάγραμμα περιοχών σύγκλισης και η ευθεία $b = 0,96$	71
Εικόνα 3-14 Διάγραμμα διακλάδωσης (άνω) και διάγραμμα εκθέτη Lyapunov (κάτω) για $0 < a < 1$	72
Εικόνα 3-15 Διάγραμμα χρονολογικών σειρών για τις χώρες X και Y, για $a = 0,97$ και $b = 0,96$	73
Εικόνα 3-16 Διάγραμμα φασικού χώρου για τις χώρες X και Y, για $a = 0,97$ και $b = 0,96$	73

Εικόνα 3-17 Διάγραμμα περιοχών σύγκλισης ($b = 0,5$).....	75
Εικόνα 3-18 Διάγραμμα περιοχών σύγκλισης και η ευθεία $m = 0,08$ ($b = 0,50$)	77
Εικόνα 3-19 Διάγραμμα διακλάδωσης για τις χώρες X και Y για $0,80 < a < 0,97$	78
Εικόνα 3-20 Διάγραμμα εκθέτη Lyapunov για $0,80 < a < 0,97$	79
Εικόνα 3-21 Διαγράμματα φάσης για (α) $a = 0,8119$, (β) $a = 0,8138$, (γ) $a = 0,8515$ και (δ) $a = 0,95$	80
Εικόνα 3-22 Διάγραμμα περιοχών σύγκλισης ($b=0,50$) και η ευθεία $m = 0,5$	81
Εικόνα 3-23 Διάγραμμα διακλάδωσης για τις χώρες X και Y για $0,6 < a < 0,85$	82
Εικόνα 3-24 Διάγραμμα του εκθέτη Lyapunov για $0,6 < a < 0,85$	82
Εικόνα 3-25 Διαγράμματα φάσης για (α) $a = 0,6832$, (β) $a = 0,7624$, (γ) $a = 0,77$, (δ) $a = 0,78$	83
Εικόνα 3-26 Διάγραμμα περιοχών σύγκλισης για $b = 0,83$	84
Εικόνα 3-27 Διάγραμμα περιοχών σύγκλισης ($b = 0,83$) και η ευθεία $m = 0,2$	85
Εικόνα 3-28 Διάγραμμα διακλάδωσης για τις χώρες X και Y για $0,30 < a < 1$	86
Εικόνα 3-29 Διάγραμμα του εκθέτη Lyapunov για $0,30 < a < 1$	87
Εικόνα 3-30 Διαγράμματα φασικού χώρου για (α) $a = 0,3706$, (β) $a = 0,5546$, (γ) $a =$ $0,6161$, (δ) $a = 0,6542$	88
Εικόνα 3-31 Διάγραμμα περιοχών σύγκλισης ($b = 0,83$) και η ευθεία $m = 0,50$	89
Εικόνα 3-32 Διάγραμμα διακλάδωσης για τις χώρες X και Y για $0 < a < 0,5$	90
Εικόνα 3-33 Διάγραμμα εκθέτη Lyapunov για $0 < a < 0,5$	90
Εικόνα 3-34 Διαγράμματα φάσης για (α) $a = 0,2784$, (β) $a = 0,3$, (γ) $a = 0,328$, (δ) $a =$ $0,3778$	92
Εικόνα 3-35 Διάγραμμα περιοχών σύγκλισης ($b = 0,96$) και η ευθεία $m = 0,05$	93
Εικόνα 3-36 Διάγραμμα διακλάδωσης για τις χώρες X και Y για $0 < a < 1$	94
Εικόνα 3-37 Διάγραμμα εκθέτη Lyapunov για $0 < a < 1$	95
Εικόνα 3-38 Διαγράμματα φάσης για (α) $a = 0,292$, (β) $a = 0,296$, (γ) $a = 0,316$, (δ) $a =$ $0,326$	96
Εικόνα 3-39 Διαγράμματα φασικού χώρου για (ε) $a = 0,38$, (στ) $a = 0,427$	97

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη των δυναμικών μοντέλων των ανταγωνιστικών εξοπλισμών και η σχέση τους με την εμφάνιση του πολέμου. Η μελέτη είναι διαχωρισμένη σε τρία μέρη. Στο πρώτο μέρος παρουσιάζεται ο ορισμός του ανταγωνιστικού εξοπλισμού και γίνεται ιστορική ανασκόπηση κυρίως στη σύγχρονη ιστορία. Στο δεύτερο μέρος παρουσιάζεται η ανάλυση τεσσάρων μοντέλων για τους ανταγωνιστικούς εξοπλισμούς, το μοντέλο του Lanchester, το μοντέλο ανταγωνιστικών εξοπλισμών του Richardson, το μοντέλο των Intriligator και Brito για την έναρξη του πολέμου και το μοντέλο του Saperstein. Στο τρίτο μέρος γίνεται η δυναμική ανάλυση του μοντέλου του Saperstein, που αφορά την εμφάνιση (ξέσπασμα) του πολέμου με βάση τη θεωρία του χάους.

Στη συνέχεια, το μοντέλο του Saperstein τροποποιείται με την εισαγωγή νέου συντελεστή για περαιτέρω δυναμική ανάλυση. Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για τη δυναμική ανάλυση των μοντέλων είναι το E & F Chaos. Αναλύοντας τα διαγράμματα φάσης, Lyapunov και περιοχών σύγκλισης μπορούμε να παρουσιάσουμε την συμπεριφορά του συστήματος μας. Η εργασία κλείνει με κάποια συμπεράσματα αναφορικά με την ανάλυση των δύο μοντέλων ανταγωνιστικών εξοπλισμών για το ξέσπασμα του πολέμου.

ABSTRACT

The purpose of this study is to examine the dynamic modeling of arms races and their relationship with the outbreak of war. The study is divided into three parts. The first part presents the definition of arm races and it is mainly a historical overview of modern history. The second part presents the analysis of four models for arms races, the Lanchester model, the Richardson's arms races model, the Intriligator and Brito model of war initiation and the model of Saperstein. In the third part the dynamic analysis of Saperstein's model is demonstrated that is related to the onset (outbreak) of war, based on chaos theory. Then, the Saperstein model is modified by introducing a new factor for further dynamic analysis. The software used in the dynamic analysis of the models is the E & F Chaos. Analyzing the phase diagrams, the Lyapunov's exponents and the convergence regions, we can study the behavior of our system. The diploma thesis ends with some conclusions regarding the analysis of the two arms races models for the outbreak of war.

ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ «ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ»

Με τον όρο «ανταγωνιστικό εξοπλισμό» ή «arms races» εννοούμε την ανταγωνιστική, αναγκαστική, δυναμική διαδικασία αλληλεπίδρασης μεταξύ δύο κρατών ή συνδυασμό κρατών όσον αφορά την απόκτηση όπλων (Intriligator & Brito, 2000). Κάθε μεριά ανταγωνίζεται να παράγει μεγαλύτερο αριθμό όπλων, καλύτερο εξοπλισμό ή ανώτερη στρατιωτική τεχνολογία στην τεχνολογική κλιμάκωση. Υπάρχουν αρκετοί εναλλακτικοί ορισμοί για τον όρο «ανταγωνιστικός εξοπλισμός». Σε κάθε προσπάθεια όμως προσδιορισμού του όρου, θα πρέπει να λάβουμε υπόψη δύο παρατηρήσεις: (1) ο «ανταγωνιστικός εξοπλισμός» δεν συμβαίνει μόνο μεταξύ κρατών ή συνασπισμό κρατών (δηλ. δεν θα πρέπει να μας ενδιαφέρει μόνο η πολιτική μεταξύ των κρατών και να ξεχάμε τη βία που ασκείται μεταξύ τους) και (2) στην πράξη είναι δύσκολο να ξεχωρίσουμε ποιες αποφάσεις παίρνει ένα κράτος για λόγους εξωτερικής πολιτικής (ανταγωνισμός εξοπλισμών) ή για λόγους εσωτερικής πολιτικής. Όσο μεγαλύτερα και αν είναι τα περιθώρια στον ορισμό του «ανταγωνιστικού εξοπλισμού», υπάρχουν κάποιες βασικές προϋποθέσεις για την εμφάνιση του:

- 1) Θα πρέπει να υπάρχουν δύο ή περισσότερα μέλη, έχοντας επίγνωση για τον ανταγωνισμό τους,
- 2) Θα πρέπει να διαμορφώνουν τις ένοπλες δυνάμεις τους έτσι ώστε να λειτουργούν σαν αποτελεσματικός παράγοντας ή σαν αποτρεπτικός παράγοντας στη μάχη με τον άλλο συμμετέχοντα,
- 3) Θα πρέπει να ανταγωνίζονται σε όρους ποσότητας (στρατός/οπλισμός) και/ή σε όρους ποιότητας (στρατός, οπλισμός, οργάνωση, ανάπτυξη),
- 4) Θα πρέπει να υπάρχει ραγδαία αύξηση στην ποσότητα και/ή βελτιώσεις στην ποιότητα.

Και οι τέσσερις αυτοί παράγοντες πρέπει να υπάρχουν, ώστε να μπορούμε να πούμε με εγκυρότητα ότι έχουμε «ανταγωνιστικό εξοπλισμό» (Gray, 1971). Στις μέρες μας ο όρος χρησιμοποιείται για να περιγράψει οποιοδήποτε ανταγωνισμό μεταξύ των κρατών, με μόνο ουσιαστικό στόχο κάθε κράτος να παραμένει καλύτερο και ισχυρότερο από τους ανταγωνιστές του.

Γιατί όμως συμβαίνει αυτό; Κάθε κράτος θέλει να είναι άρτια εξοπλισμένο σε σχέση με τους αντιπάλους του, έτσι ώστε να μπορεί να αντιμετωπίσει οποιαδήποτε σύγκρουση. Υπάρχουν κράτη τα οποία εξοπλίζονται γιατί θέλουν να επιτεθούν σε άλλα κράτη και μ' αυτό τον τρόπο είναι πιο σίγουρα για τη νίκη. Υπάρχουν αντιθέτως κράτη τα οποία εξοπλίζονται, ώστε να μπορούν αμυνθούν σε μια ενδεχόμενη επίθεση. Στην πράξη όμως δεν υπάρχει σημαντική διαφορά μεταξύ του εξοπλισμού ενός κράτους για λόγους επίθεσης και του εξοπλισμού για λόγους άμυνας (Schelling, 1960, Jervis, 1976). Ακόμα και αν ένα κράτος εξοπλίζεται για λόγους άμυνας, θα κάνει τα υπόλοιπα κράτη να αισθάνονται λιγότερο ασφαλή. Επιπλέον η υποψία και μόνο ότι ένα κράτος μπορεί να εξοπλιστεί, για οποιοδήποτε λόγο, έχει ως αποτέλεσμα τα υπόλοιπα κράτη να εξοπλιστούν για λόγους εθνικής άμυνας, δημιουργώντας έτσι ένα ατέρμονα ανταγωνισμό εξοπλισμών, που χειροτερεύει ακόμα περισσότερο την κατάσταση μεταξύ των κρατών. Το φαινόμενο αυτό είναι γνωστό ως «security dilemma» ή «spiraling model» (Jervis, 1976, 1978). Ο Jervis υποστήριξε ότι είναι ο παραλογισμός των κρατών, που οδηγεί σε αυτόν τον ατέρμονα ανταγωνισμό εξοπλισμών, γιατί ενώ το κάθε κράτος πιστεύει ότι είναι καλύτερο να μην εξοπλιστεί κανένα κράτος, προτιμά να το κάνει εάν πιστεύει ότι ο αντίπαλος του θα εξοπλιστεί: *«Εάν η σπειροειδής θεωρία είναι σωστή, οφείλεται στα συμβαλλόμενα μέρη που δεν μπορούν να την κατανοήσουν ή να ακολουθήσουν τις προδιαγραφές της»* (Jervis, 1978, p. 81).

1.2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Η ιστορία μας έχει δείξει πολλά παραδείγματα όπου ο φόβος και η δυσπιστία σε συνδυασμό με την αβεβαιότητα σχετικά με τα κίνητρα του αντιπάλου, μπορεί να αποτελέσουν το έναυσμα για έναν «ανταγωνιστικό εξοπλισμό». Από την αρχαιότητα ακόμα τα φαινόμενα «ανταγωνιστικών εξοπλισμών» είναι γνωστά. Οι Περσικοί πόλεμοι μεταξύ των Ελλήνων και των Περσών, που διεξήχθησαν το πρώτο μισό του 5^{ου} αιώνα π.Χ. είναι ένα παράδειγμα «ανταγωνιστικού εξοπλισμού». Οι Έλληνες αναγκάστηκαν να δημιουργήσουν στόλους υπό την απειλή των Περσών.

Στον Πελοποννησιακό πόλεμο (431 π.Χ. - 404 π.Χ.), ο Θουκυδίδης αναφέρει ως καταλυτικό αίτιο στην κήρυξη του πολέμου: *«...ήταν η ολοένα αυξανόμενη δύναμη της Αθήνας, που προκάλεσε φόβο στους συμμάχους της Σπάρτης και κατέστησε τη σύρραξη ανάμεσα στις δύο πόλεις αναπότρεπτη»*.

Επίσης οι Ρωμαίοι, κατά τους Ρωμαιο-Καρχηδονιακούς πολέμους αύξησαν το στρατό τους και δημιούργησαν στόλους για να μπορέσουν να αντιμετωπίσουν την επεκτατική πολιτική των Καρχηδόνιων, καθώς και την αύξηση ισχύος τους.

Η σύγχρονη ιστορία έχει μερικά σημαντικά γεγονότα στα οποία εμφανίζονται οι «ανταγωνιστικοί εξοπλισμοί». Από το 1891 έως το 1919 δημιουργείται «ανταγωνιστικός εξοπλισμός» μεταξύ διάφορων ευρωπαϊκών χωρών, συμπεριλαμβανομένης της Γερμανίας, της Γαλλίας, της Ρωσίας, της Βρετανίας και μερικών ακόμα. Πιο συγκεκριμένα δημιουργείται ένας ναυτικός «ανταγωνιστικός εξοπλισμός» στα τέλη του 19^{ου} αιώνα, στον οποίο η Γαλλία και η Ρωσία προκαλούν τη Βρετανία για επέκταση των αποικιών τους. Η Βρετανία απάντησε με αποφασιστικότητα, ώστε να διατηρήσει τη ναυτική υπεροχή της. Το τελικό αποτέλεσμα, στην περίπτωση αυτή, δεν ήταν ο πόλεμος, αλλά μια Αγγλο-Γαλλική πολιτική διευθέτηση το 1904 και μια Αγγλο-Ρωσική επαναπροσέγγιση το 1907, στο πλαίσιο μιας ανερχόμενης γερμανικής απειλής. Ο πιο διάσημος ναυτικός «ανταγωνιστικός εξοπλισμός» είναι μεταξύ της Βρετανίας και της Γερμανίας. Η Βρετανία τότε, όπως αναφέρθηκε, ήταν η μεγαλύτερη ναυτική δύναμη με τον περισσότερο ναυτικό στόλο και τα περισσότερα θωρηκτά. Η Γερμανία, από την άλλη, βλέποντας τη ναυτική υπεροχή της Βρετανίας, θέλησε να δημιουργήσει μια ανταγωνιστική ναυτική δύναμη. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα ο «ανταγωνιστικός εξοπλισμός» που δημιουργήθηκε εξαιτίας της αντιπαλότητας, να κρατήσει μέχρι τον Ιούνιο του 1914 και να δημιουργηθούν δύο ανταγωνιστικά στρατόπεδα. Αυτός ο «α-

νταγωνιστικός εξοπλισμός» αποτέλεσε έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες για το ξέσπασμα του Α΄ Παγκοσμίου Πολέμου, τον Ιούλιο του 1914. Αξίζει ακόμη να αναφερθεί ότι πριν από τον Α΄ Παγκόσμιο Πόλεμο υπήρχε ένας «ανταγωνιστικός εξοπλισμός» στη Νότια Αμερική μεταξύ της Αργεντινής, της Βραζιλίας και της Χιλής. Ξεκίνησε, όταν η κυβέρνηση της Βραζιλίας παρήγγειλε τρία θωρηκτά, πανίσχυρα πλοία μάχης, που οι δυνατότητες τους ξεπερνούσαν τα παλαιότερα μέχρι τότε ναυτικά πλοία. Το αποτέλεσμα ήταν και οι άλλες δύο χώρες να παραγγείλουν από δύο θωρηκτά η κάθε μία. Ο Α΄ Παγκόσμιος Πόλεμος όμως σήμανε το τέλος αυτού του ναυτικού «ανταγωνιστικού εξοπλισμού».

Ένας ακόμα σημαντικός ναυτικός «ανταγωνιστικός εξοπλισμός», που περιλάμβανε τις Ηνωμένες Πολιτείες, τη Βρετανία και την Ιαπωνία, ξέσπασε στο τέλος του Α΄ Παγκοσμίου Πολέμου. Πυροδοτήθηκε από τις ιαπωνικές προσπάθειες να επεκτείνουν την πολιτική επιρροή τους στην ανατολική Ασία και από μια αμερικανική προσπάθεια να ασκήσουν μεγαλύτερη πολιτική επιρροή στη Βρετανία. Αυτόν τον «ανταγωνιστικό εξοπλισμό», για οικονομικούς λόγους, κανένας από τους συμμετέχοντες δεν ήθελε να τον τραβήξει μέχρι τέλους και τελείωσε στη διάσκεψη της Ουάσιγκτον του 1921-1922 με την πρώτη σημαντική συνθήκη για τον περιορισμό των όπλων και μια νέα πολιτική διευθέτηση για την Ανατολική Ασία.

Στα μέσα του 20^{ου} αιώνα, ο Αδόλφος Χίτλερ, λόγω ενός «ανταγωνιστικού εξοπλισμού» που είχε ξεκινήσει το 1930 και φοβούμενος ότι το γερμανικό προβάδισμα μπορεί να ξεπεραστεί, επειγότανε να επιτεθεί στη Γαλλία το 1940 και στη Σοβιετική Ένωση το 1941. Παράλληλα, λόγω οικονομικών προβλημάτων, η Βρετανία και η Γαλλία είχαν μείνει πίσω στους εξοπλισμούς τους. Αλλά εκτός της Βρετανίας και της Γαλλίας, στα τέλη του 1930, οι άλλες αντίπαλες χώρες της Γερμανίας, είχαν επισπεύσει τον επανεξοπλισμό τους καθώς έβλεπαν ότι ο Χίτλερ προχωρούσε στο πρόγραμμα κατάκτησης που είχε σχεδιάσει.

Το 1941, οι ναυτικοί ηγέτες της Ιαπωνίας, εκτιμούν ότι το πολεμικό ναυτικό της είχε αποκτήσει προβάδισμα έναντι του πολεμικού στόλου των Ηνωμένων Πολιτειών (Σημ. το ναυτικό πρόγραμμα των Αμερικάνων, που είχε ξεκινήσει το 1940, θα τους έκανε εν δυνάμει ισχυρότερους μέχρι το 1943). Με αυτές τις εκτιμήσεις και σε συνδυασμό με το εμπάργκο πετρελαίου των Αμερικάνων εναντίον της Ιαπωνίας, αυτό το

παιχνίδι «ανταγωνιστικού εξοπλισμού» βοήθησε σε μια άμεση επίθεση κατά των Ηνωμένων Πολιτειών το Δεκέμβριο του 1941 (με τις γνωστές στη συνέχεια συνέπειες).

Μετά το τέλος του Β΄ Παγκοσμίου Πολέμου και για να μπορέσει να διατηρηθεί η ειρήνη και η σταθερότητα στον κόσμο, έπρεπε να υπάρχει μια ισορροπία δυνάμεων μεταξύ των χωρών, που κατά κύριο λόγο είχαν εμπλακεί στην σύρραξη. Δυστυχώς, όμως, η ισορροπία αυτή δεν ήρθε ποτέ και έτσι ξεκίνησε ένας ανταγωνισμός πυρηνικών εξοπλισμών («nuclear arms race»). Οι Ηνωμένες Πολιτείες ήταν η μόνη χώρα εκείνη την περίοδο που διέθετε πυρηνικά όπλα. Η Σοβιετική Ένωση φοβούμενη την κυριαρχία των Ηνωμένων Πολιτειών ως παγκόσμια δύναμη, ανέπτυξε τη δική της πυρηνική βόμβα. Έτσι ξεκίνησε ο «πυρηνικός ανταγωνιστικός εξοπλισμός», στον οποίο οι δύο χώρες προσπάθησαν να πάρουν το πάνω χέρι όσον αφορά τον αριθμό των πυρηνικών όπλων που κατείχε η κάθε χώρα. Ο συγκεκριμένος «πυρηνικός ανταγωνιστικός εξοπλισμός» εξελίχθηκε στον περίφημο Ψυχρό Πόλεμο. Ονομάστηκε έτσι, γιατί δεν διεξήχθη ποτέ ένοπλη σύγκρουση μεταξύ των Ηνωμένων Πολιτειών και της Σοβιετικής Ένωσης. Ο «πόλεμος» ήταν ένας γεωπολιτικός, ιδεολογικός και οικονομικός αγώνας μεταξύ των δύο υπερδυνάμεων και έγινε με τη μορφή αγώνα επικράτησης σε διάφορους τομείς, όπως στα συμβατικά και τα πυρηνικά όπλα, στα δίκτυα συμμαχιών, στην οικονομία και τους οικονομικούς αποκλεισμούς, στην προπαγάνδα, στην κατασκοπεία, στους πολέμους σε περιφερειακά κράτη και στον ανταγωνισμό για την κατάκτηση του διαστήματος. Κατά τη διάρκειά του δεν χρησιμοποιήθηκαν πυρηνικά όπλα. Ο «πυρηνικός ανταγωνιστικός εξοπλισμός» του Ψυχρού Πολέμου διήρκεσε από το 1941 έως το 1991. Είναι χαρακτηριστικό ότι στα μέσα της δεκαετίας του 1960, οι Ηνωμένες Πολιτείες και η Σοβιετική Ένωση είχαν πυρηνική δύναμη ικανή να εξολοθρεύσει η μία την άλλη, αλλά και ολόκληρο τον πλανήτη μας.

Ο Ψυχρός Πόλεμος βασίστηκε στο φόβο και των δύο πλευρών για την απειλή χρήσης πυρηνικών όπλων. Γι' αυτό το λόγο και οι δύο πλευρές ανέπτυξαν πολιτικές αποφυγής της χρήσης τους. Μια γνωστή πολιτική αποφυγής ήταν η MAD (Mutual Assured Destruction). Και οι δύο πλευρές ήξεραν ότι αν επιτεθεί η μια στην άλλη αυτό θα έχει καταστροφικές συνέπειες και για την ίδια, οπότε απέφευγαν να επιτεθούν. Οι Ηνωμένες Πολιτείες και η Σοβιετική Ένωση έφτασαν στα όρια του πολέμου κατά την κρίση των πυραύλων της Κούβας, το 1962. Οι Σοβιετικοί ήθελαν να τοποθετήσουν πυρηνικούς πυραύλους στην Κούβα, τη νέα σύμμαχο τους. Όμως δεν άργησε να έρθει η α-

ντίδραση από τους Αμερικάνους, που απείλησαν για πυρηνικά αντίποινα. Γι αυτό το λόγο η Σοβιετική Ένωση απέσυρε τους πυραύλους της από την Κούβα.

Πόλεμοι κατά την διάρκεια του Ψυχρού Πολέμου όμως έγιναν στην Κορέα, στο Βιετνάμ, στο Αφγανιστάν, αλλά και μικρότερες συγκρούσεις στην Αγκόλα, το Ελ Σαλβαδόρ και τη Νικαράγουα. Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1990 και πιο συγκεκριμένα από το 1980, οι σχέσεις των δύο πλευρών άρχισαν να εξομαλύνονται. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα το 1987 να υπογραφεί το πρώτο σύμφωνο πυρηνικού αφοπλισμού. Το 1989 έχουμε την πτώση του τείχους του Βερολίνου και το 1991 τη διάλυση της Σοβιετικής Ένωσης. Το τελευταίο αυτό γεγονός σήμανε και το τέλος του Ψυχρού Πολέμου.

Μετά το τέλος του Ψυχρού Πολέμου, ο «ανταγωνιστικός εξοπλισμός» μεταξύ των Ηνωμένων Πολιτειών και της Σοβιετικής Ένωσης έπαυσε να κυριαρχεί πλέον στο σύνολο της παγκόσμιας πολιτικής σκηνής και οι περιφερειακοί ανταγωνισμοί μεταξύ χωρών έρχονται στο προσκήνιο και γίνονται το επίκεντρο του ενδιαφέροντος. Φαινόμενα «ανταγωνιστικών εξοπλισμών», για παράδειγμα, εμφανίστηκαν μεταξύ γειτονικών χωρών, όπως η Ελλάδα με την Τουρκία, το Ιράν με το Ιράκ, η Βόρεια με τη Νότια Κορέα, η Ινδία με το Πακιστάν, κ.α.

Στην περίπτωση του «ανταγωνιστικού εξοπλισμού» μεταξύ Ινδίας και Πακιστάν, είναι γνωστό ότι η αντιπαλότητα στη σχέση τους ξεκίνησε από τη στιγμή της δημιουργίας τους ως ξεχωριστά κράτη, τον Αύγουστο του 1947. Μετά από τόσα χρόνια ανεξαρτησίας, και παρ' ό,τι οι δύο χώρες έχουν εξελιχθεί σημαντικά στον οικονομικό, κοινωνικό και πολιτικό τομέα, βρίσκονται σε διαρκή αντιπαράθεση μεταξύ τους. Στην σχετικά πρόσφατη ιστορία είχαν τουλάχιστον 4 μεγάλους πολέμους¹ και πολλές (μικρής κλίμακας εξοπλισμού) διαμάχες. Η Ινδία και το Πακιστάν, αν και είναι δύο από τις πιο φτωχές χώρες του κόσμου βάσει του κατά κεφαλή ΑΕΠ, εν τούτοις αφιερώνουν ένα σημαντικό μέρος των πόρων τους για το εξοπλιστικό τους πρόγραμμα. Ενώ οι στρατιωτικές δαπάνες μειώθηκαν στις περισσότερες βιομηχανικές χώρες μετά τον Ψυχρό Πόλεμο, στην Ινδία και το Πακιστάν αυξήθηκαν σημαντικά. Αυτό συνέβη γιατί μετά το διαχωρισμό σε δύο ανεξάρτητα κράτη, τα περισσότερα εργοστάσια πυροβολικού βρίσκονταν στην Ινδία, με αποτέλεσμα στην αρχή η Ινδία να έχει το πλεο-

¹ Πρώτος Ινδο-Πακιστανικός Πόλεμος: 1947-1948, Δεύτερος Ινδο-Πακιστανικός Πόλεμος: 1965, Τρίτος Ινδο-Πακιστανικός Πόλεμος: 1971, Ο Πόλεμος στο Καργκίλ: 1999

νέκτημα επικράτησης στην στρατιωτική βιομηχανική βάση σε σχέση με το Πακιστάν. Έτσι, το Πακιστάν αναγκάστηκε να «καλύψει τη διαφορά» αυξάνοντας τις στρατιωτικές δαπάνες και την εισαγωγή όπλων. Για να ανταγωνιστεί τη στρατιωτική βιομηχανία της Ινδίας, ήταν απαραίτητο για το Πακιστάν να αρχίσει την εγχώρια παραγωγή όπλων και γι' αυτό αύξησε τις στρατιωτικές της δαπάνες. Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1960 και με την υποστήριξη των Ηνωμένων Πολιτειών, το Πακιστάν απέκτησε όπλα και μ' αυτόν τον τρόπο ενισχύεται ακόμα περισσότερο. Από τη άλλη πλευρά, η Ινδία διατηρεί την πολιτική για την αυτάρκη εκβιομηχάνιση και επεκτείνει τις στρατιωτικές βιομηχανίες της. Για να μπορέσει να κρατήσει το πλεονέκτημα σε σχέση με το Πακιστάν, του οποίου ο εξοπλισμός είχε βελτιωθεί κατά τη διάρκεια εκείνης της περιόδου, οι στρατιωτικές δαπάνες της Ινδίας και η εγχώρια παραγωγή όπλων παρουσιάζουν μια ταχεία ανάπτυξη. Αυτή η αντιπαλότητα μεταξύ των δύο γειτονικών χωρών συνεχίζεται για αρκετό καιρό με αποτέλεσμα άλλους δύο ινδοπακιστανικούς πολέμους (τον δεύτερο και τον τρίτο). Τη δεκαετία του 1990 η Ρωσία εισέβαλε στο Αφγανιστάν, ενώ ταυτόχρονα το Πακιστάν ενεργούσε ως κύρια δίοδος μέσω της οποίας οι Ηνωμένες Πολιτείες παρείχαν βοήθεια στους Αφγανούς αντάρτες. Το Πακιστάν παρείχε επίσης στους Αμερικάνους πρόσβαση στις στρατιωτικές του βάσεις για να τις χρησιμοποιήσουν εναντίον της Σοβιετικής Ένωσης. Έτσι το Πακιστάν έλαβε οικονομική και στρατιωτική βοήθεια από τις Ηνωμένες Πολιτείες με προμήθεια μαχητικών αεροσκαφών F-16 και άλλου οπλισμού. Σε απάντηση στο μεγάλο οπλοστάσιο, που είχε δημιουργήσει το Πακιστάν, η Ινδία εισάγει εξοπλισμούς από τη Σοβιετική Ένωση για να επιταχύνει τη διαδικασία εκβιομηχάνισης της άμυνάς της. Στα τέλη της δεκαετίας του 1990, οι δύο χώρες επέκτειναν τις στρατιωτικές τους δαπάνες ακόμα πιο πολύ, καθώς πλέον τους ενδιέφερε ο τρόπος εξέλιξης γύρω από τον πόλεμο και τα πυραυλικά προγράμματα. Η ένταση μεταξύ των δύο χωρών κλιμακώθηκε δραματικά τη δεκαετία του 2000, όταν και οι δύο πλευρές πραγματοποιούν πυρηνικές δοκιμές την ίδια χρονιά, το 1998. Το 1999 ο στρατός του Πακιστάν κατέλαβε την στρατηγικής σημασίας περιοχή του Κασμίρ, που ήταν υπό την κατοχή της Ινδίας γύρω από την πόλη Καργκίλ. Η Ινδία απάντησε με εναέριες επιθέσεις εναντίον των Πακιστανικών στρατευμάτων και ανακατέλαβε το μεγαλύτερο μέρος της περιοχής που είχαν διεισδύσει τα Πακιστανικά στρατεύματα. Με διεθνή διπλωματική βοήθεια, οι πακιστανικές δυνάμεις αναγκάστηκαν να φύγουν από το Καργκίλ. Ο πόλεμος στο Καργκίλ ήταν ο πιο πρόσφατος πόλεμος εδάφους μεταξύ δύο χωρών, που και οι δύο διαθέτουν πυρηνικά όπλα και οδήγησε σε αυξημένη ένταση μεταξύ Ινδίας και

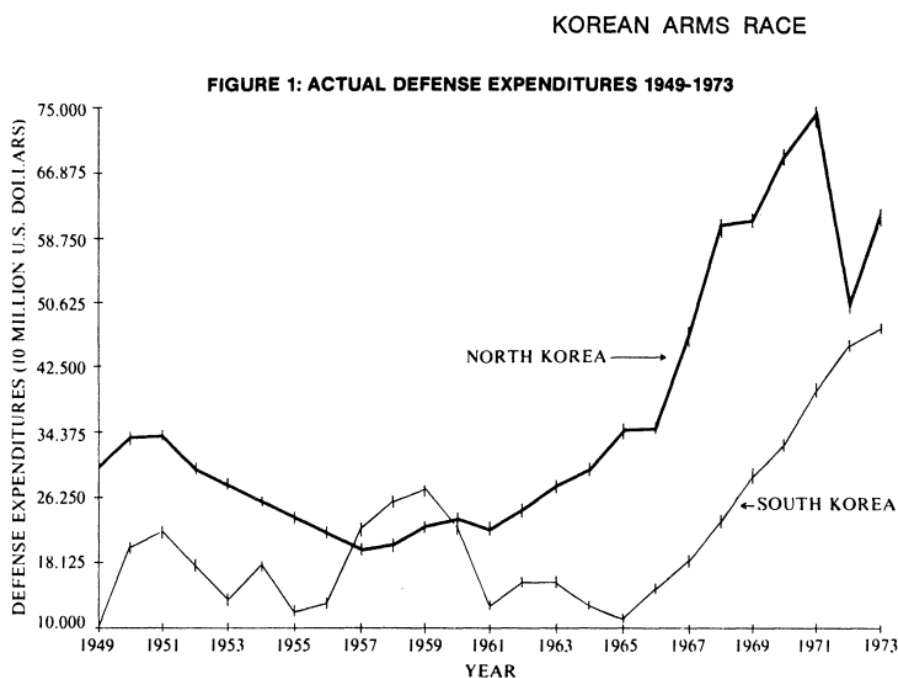
Πακιστάν. Κατά την περίοδο 2001-2002 ένα εκατομμύριο στρατιώτες είχαν παραταχθεί απειλητικά κατά μήκος των ινδο-πακιστανικών συνόρων με την απειλή του πραγματικού πολέμου να είναι κοντά. Ωστόσο, οι σχέσεις μεταξύ των δύο χωρών άρχισαν να εξομαλύνονται από το 2003 και τα δυο γειτονικά κράτη έλαβαν μέτρα για την αποκατάσταση των διπλωματικών σχέσεων τους. Κατά τη διάρκεια του 2007 και του 2008, οι βομβιστικές επιθέσεις από μια ομάδα του πακιστανικού λαού², φέρνει στο προσκήνιο για άλλη μια φορά την αμοιβαία καχυποψία ανάμεσα στις δύο χώρες. Παρόλα αυτά, οι δύο κυβερνήσεις έχουν καταστήσει σαφές ότι θέλουν μια ειρηνική λύση για τα προβλήματα που αφορούν και τους δύο, όπως η περιοχή του Κασμίρ, τα συμβατικά και τα πυρηνικά όπλα, η τρομοκρατία και η οικονομική συνεργασία.

Αυτή η σύντομη παρουσίαση των συγκρούσεων της Ινδίας και του Πακιστάν και η δυναμική των στρατιωτικών δαπανών τους, μας δείχνει ότι οι επιπρόσθετοι παράγοντες (π.χ. η Ρωσία και οι Ηνωμένες Πολιτείες), που ήταν παρόντες στην αλληλεπίδραση της διαδικασίας απόκτησης εξοπλισμών των δύο κρατών, ήταν αρκετοί για προκληθεί συνεχής ένταση από τον «ανταγωνιστικό εξοπλισμό» που υπάρχει μεταξύ τους. Η κατάσταση θα μπορούσε να χαρακτηριστεί από το γνωστό μοντέλο δράσης-αντίδρασης. Ως εκ τούτου, θα ήταν πολύ απλοϊκό να πιστέψουμε ότι αυτή ήταν η κύρια αιτία για τις αντίστοιχες στρατιωτικές δαπάνες της Ινδίας και του Πακιστάν.

Όπως προαναφέραμε, προγράμματα «ανταγωνιστικού εξοπλισμού» υπάρχουν και μεταξύ της Βόρειας και της Νότιας Κορέας. Εκτός από τις προφανείς στρατιωτικές εχθροπραξίες, τις μυστικές κατασκοπευτικές δραστηριότητες και τις απειλητικές λεκτικές ανταλλαγές, η Βόρεια και η Νότια Κορέα έχουν εμπλακεί σε έναν δαπανηρό «ανταγωνιστικό εξοπλισμό», κυρίως μετά τον πόλεμο της Κορέας, το 1950-1953. Ο «ανταγωνιστικός εξοπλισμός» αντικατοπτρίζεται στις αμυντικές τους δαπάνες, όπως μπορούμε να δούμε και στο ακόλουθο διάγραμμα για τα έτη 1949-1973 (Εικόνα 1-1). Μέχρι το 1965 οι αμυντικές δαπάνες ήταν σχετικά σταθερές, αλλά μετά το 1965 παρατηρούμε μια ραγδαία αύξηση. Αυτή η απότομη αύξηση για τη Βόρεια αλλά και για τη Νότια Κορέα, μπορεί να οφείλεται σε συνδυασμό πολλών παραγόντων. Οι σημαντικότεροι από αυτούς θα μπορούσαν να είναι ο εκσυγχρονισμός του στρατιωτικού

² Το 2007 η βομβιστική επίθεση στο Samjhauta Express ήταν μια τρομοκρατική επίθεση που συνέβη γύρω στα μεσάνυχτα της 18^{ης} Φεβρουαρίου του 2007. Το Samjhauta Express είναι το τρένο που συνδέει το Δελχί (Ινδία) με τη Λαχώρα (Πακιστάν). Εξήντα οχτώ άνθρωποι σκοτώθηκαν και δεκάδες τραυματίστηκαν. Το 2008 έγιναν πάνω από δέκα συντονισμένες βομβιστικές επιθέσεις σε όλη τη Βομβάη. Οι επιθέσεις αυτές προγραμματίστηκαν από την οργάνωση Lashkar-e-Taiba. Τουλάχιστον 164 θύματα (πολίτες και προσωπικό ασφαλείας) και 9 δράστες σκοτώθηκαν στις επιθέσεις.

εξοπλισμού και ο παγκόσμιος πληθωρισμός στο κόστος του στρατιωτικού εξοπλισμού. Από τις αρχές της δεκαετίας του 1980, η Βόρεια Κορέα έχει αναπτύξει σημαντικές αμυντικές βιομηχανίες, κατασκευάζοντας τανκς, πολεμικά πλοία, υποβρύχια και άλλα όπλα εκτός από προηγμένα όπλα, όπως πύραυλοι και αεροσκάφη. Ως απάντηση σε αυτές τις κινήσεις της Βόρειας Κορέας, η Νότια Κορέα ξεκίνησε το δικό της πρόγραμμα εκσυγχρονισμού του στρατιωτικού εξοπλισμού της. Με οικονομία περίπου τέσσερις φορές μεγαλύτερη από την οικονομία της Βόρειας Κορέας, η Νότια Κορέα αναμένεται να ξεπεράσει τα προγράμματα στρατιωτικού εκσυγχρονισμού της Βόρειας Κορέας στο εγγύς μέλλον. Αυτό που μας προβληματίζει στο συγκεκριμένο «ανταγωνιστικό εξοπλισμό» είναι εάν αυτή η πρόσφατη τάση για σπειροειδή «ανταγωνιστικό εξοπλισμό» θα συνεχιστεί ή θα επιστρέψει σε μια σταθερή κατάσταση (Tong Whan Park, 1980).



Εικόνα 1-1 Δαπάνες για την άμυνα κατά τη διάρκεια των ετών 1949-1973.

1.3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τη ανασκόπηση που κάναμε για τον «ανταγωνιστικό εξοπλισμό», παρατηρούμε ότι με την πάροδο του χρόνου αλλάζει και η δομή του. Στην αρχαιότητα οι άνθρωποι δημιουργούσαν στόλους, καράβια και ενίσχυναν το στρατό ξηράς με άλογα και περισ-

σότερα άτομα, έτσι ώστε να οργανώσουν ένα βαρύ πεζικό. Πριν τον Α΄ Παγκόσμιο Πόλεμο, ο «ανταγωνιστικός εξοπλισμός» είναι κυρίως ναυτικός. Τα πράγματα αλλάζουν περισσότερο κατά τη διάρκεια του Ψυχρού Πολέμου. Με τη ανάπτυξη της τεχνολογίας δημιουργούνται πλέον όπλα βαριάς βιομηχανίας, τα πυρηνικά όπλα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να αναπτυχθεί η βιομηχανία όπλων στις Ηνωμένες Πολιτείες και στη Σοβιετική Ένωση και η δημιουργία όπλων μαζικής καταστροφής. Μετά το τέλος του Ψυχρού Πολέμου, παρατηρείται διάδοση των όπλων μαζικής καταστροφής. Υπάρχει πλέον μεγαλύτερη παγκόσμια πρόσβαση στην τεχνολογία και στα απαιτούμενα υλικά για πυρηνικά και χημικά όπλα, που προκύπτουν εν μέρει από την κατάρρευση της Σοβιετικής Ένωσης. Όλο και περισσότερες χώρες μπορούν και εφοδιάζονται με υπερσύγχρονους εξοπλισμούς ή έχουν αναπτύξει τις δικές τους βιομηχανίες όπλων. Επίσης πλέον υπάρχουν πολλοί «ανταγωνιστικοί εξοπλισμοί» μεταξύ γειτονικών χωρών και όχι σε παγκόσμιο επίπεδο, όπως συνέβη λίγο νωρίτερα στον Ψυχρό Πόλεμο. Οι χώρες που έχουν αναπτύξει βιομηχανίες όπλων, παίζουν σημαντικό ρόλο στη προμήθεια αυτών των γειτονικών «ανταγωνιστικών εξοπλισμών» με εξαγωγές όπλων, συμπεριλαμβανομένου και του πλεονάσματος όπλων, που υπήρχε διαθέσιμο την περίοδο μετά τον Ψυχρό Πόλεμο. Χώρες όπως οι Ηνωμένες Πολιτείες, η Ρωσία, η Γερμανία, η Βρετανία και η Γαλλία είναι οι κύριοι προμηθευτές αυτού του πλεονάσματος όπλων, ενώ η Τουρκία, η Ελλάδα, το Πακιστάν, το Μαρόκο και μια σειρά από χώρες της Μέσης Ανατολής είναι οι κύριοι αποδέκτες αυτών των όπλων. (Intriligator & Brito, 2000). Αυτό που αξίζει να σημειωθεί, είναι ότι υπάρχει συνέχεια στη αλυσίδα διάδοσης που ξεκίνησε με τις Ηνωμένες Πολιτείες και συνεχίστηκε με τη Σοβιετική Ένωση, το Ηνωμένο Βασίλειο, τη Γαλλία, την Κίνα, την Ινδία και το Πακιστάν και θα μπορούσε να συνεχιστεί και σε άλλα κράτη, συμπεριλαμβανομένων και εκείνων της περιοχής του Κόλπου (Intriligator & Brito, 2000).

Όπως καταλαβαίνουμε, το φαινόμενο των «ανταγωνιστικών εξοπλισμών» δεν είναι κάτι απλό και σίγουρα χρήζει μεγάλης σημασίας. Πρώτον, όταν έχουμε μια κατάσταση «ανταγωνιστικού εξοπλισμού» μεταξύ δύο ή περισσότερων χωρών, η κάθε χώρα θα προσπαθήσει να βελτιώσει και να αποκτήσει καινούριο εξοπλισμό, προσπαθώντας να διατηρήσει ή να δημιουργήσει υπεροχή δύναμης σε σχέση με τις αντίπαλες χώρες και να ενισχύσει το αίσθημα εθνικής ασφάλειας. Αυτές οι στρατιωτικές δαπάνες, είτε για άμυνα είτε για επίθεση, έχουν σοβαρό αντίκτυπο στη οικονομία της χώρας, καθώς ένα μεγάλο μέρος της πηγαίνει σε αυτές. Άρα οι «ανταγωνιστικοί εξοπλι-

σμοί» σχετίζονται άμεσα με την οικονομία των χωρών που παίρνουν μέρος. Δεύτερον, από πολλά παραδείγματα που μας έχει δείξει η ιστορία, οι «ανταγωνιστικοί εξοπλισμοί» πολλές φορές καταλήγουν σε συγκρούσεις μεταξύ των χωρών και κατ' επέκταση σε πόλεμο. Γι' αυτό το λόγο η σχέση μεταξύ των «ανταγωνιστικών εξοπλισμών» και του πολέμου είναι καίριας σημασίας, τόσο για την επικράτηση της ειρήνης μεταξύ των χωρών, όσο και για τον σχεδιασμό στρατηγικής κάθε χώρας.

ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ

2 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Όπως αναφέραμε και στο πρώτο μέρος, η σχέση μεταξύ των «ανταγωνιστικών εξοπλισμών» και του πολέμου είναι σημαντική τόσο για τη διατήρηση της ειρήνης, όσο και για το στρατηγικό σχεδιασμό μιας χώρας. Η σχέση αυτή ανάμεσα στον «ανταγωνιστικό εξοπλισμό» και στον πόλεμο, έχει προβληματίσει ερευνητές και επιστήμονες, οι οποίοι προσπαθούν να μελετήσουν και να αναλύσουν καλύτερα το θέμα. Έτσι, όλα αυτά τα χρόνια, έχουν αναπτυχθεί διάφορα μαθηματικά μοντέλα, τα σημαντικότερα από τα οποία θα αναλύσουμε παρακάτω. Πριν αναλύσουμε όμως το κάθε μοντέλο ξεχωριστά, πρέπει να αναφέρουμε ότι για την καλύτερη ανάλυση τους μπορούμε να χωρίσουμε τα μοντέλα σε δύο μεγάλες κατηγορίες.

Η πρώτη κατηγορία είναι τα μοντέλα που δημιουργούν εξοπλισμούς (Arms-Building Models) και περιγράφει πώς τα έθνη οργανώνουν (δημιουργούν) τις στρατιωτικές τους δυνάμεις. Η δεύτερη κατηγορία είναι τα μοντέλα που χρησιμοποιούν εξοπλισμούς (Arms-Using Models) και περιγράφει τη φθορά των δυνάμεων που εμφανίζεται κατά της διάρκεια μιας μάχης (Moll & Luebbert, 1980). Τα μοντέλα που δημιουργούν εξοπλισμούς ακολουθούν το κυβερνητικό πρότυπο, παρουσιάζοντας πόση προσπάθεια έχει κάνει μια χώρα για τη δημιουργία ή διατήρηση του εξοπλισμού της. Αντιμετωπίζουν το ζήτημα του εξοπλισμού περιγράφοντας «πόση προσπάθεια δαπανάζεται». Στις περισσότερες περιπτώσεις πρόκειται για απλοϊκές υποθέσεις σχετικά με το πώς οι προσπάθειες εξοπλισμού επηρεάζονται από διάφορες παραμέτρους. Τα μοντέλα που χρησιμοποιούν εξοπλισμούς, ακολουθούν το αναλυτικό πρότυπο στο οποίο περιγράφεται πώς οι εξοπλισμοί, οι στρατιωτικές δυνάμεις ή οι εθνικοί πόροι καταναλώνονται στη μάχη. Σε αυτή την κατηγορία, τα μοντέλα αντιμετωπίζουν το ζήτημα του εξοπλισμού έμμεσα, προσπαθώντας να περιγράψουν «πόση προσπάθεια χρειάζεται» για να εξασφαλίσουν τη νίκη, την αποτροπή, την ικανότητα δεύτερης επίθεσης, την εθνική επιβίωση, τη σταθερότητα ή κάποιον άλλο ορθολογικό σκοπό.

Υπάρχει μια αρκετά μεγάλη βιβλιογραφία για τη μελέτη των μοντέλων που έχουν δημιουργηθεί για να περιγράψουν τους ανταγωνιστικούς εξοπλισμούς. Μια πραγματικά μεγάλη ποσότητα από μελέτες των μοντέλων ανταγωνιστικών εξοπλισμών έγινε κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1980. Οι Kendall D. Moll και Gregory M. Luebbert (1980) προσπάθησαν να κάνουν μια ταξινόμηση των μελετών αυτής της δεκαετίας.

Προκειμένου να κάνουμε μια αναφορά, δημιουργήσαμε ένα σχεδιάγραμμα στο οποίο παρουσιάζονται οι μελέτες με βάση τον τύπο του μοντέλου, καθώς και το επίπεδο της ανάλυσης.

Όλες οι μελέτες ταξινομούνται ανάλογα με το αν αναφέρονται σε μοντέλα που δημιουργούν εξοπλισμούς ή σε μοντέλα που χρησιμοποιούν εξοπλισμούς. Τα μοντέλα που δημιουργούν εξοπλισμούς επικεντρώνονται σε ιστορικά βασισμένες παραμέτρους, όπως τα συμβατικά όπλα, τα στρατεύματα και τους προϋπολογισμούς. Τα μοντέλα που χρησιμοποιούν εξοπλισμούς, από την άλλη πλευρά, αναπτύσσονται από την ανάγκη να δημιουργήσουν στρατηγικές άμυνας στην πυρηνική εποχή, έτσι ώστε τα μοντέλα αυτά να είναι σχεδόν αποκλειστικά προσανατολισμένα προς τις πυρηνικές ανταλλαγές όπλων. Για τον ίδιο λόγο, τα δύο είδη των μοντέλων μπορούν γενικά να διακριθούν ανάλογα με την προέλευση τους. Τα μοντέλα που δημιουργούν εξοπλισμούς προέρχονται από την πολιτική επιστήμη και την επιστήμη των διεθνών σχέσεων και τα μοντέλα που χρησιμοποιούν εξοπλισμούς από την τεχνοκρατική επιχειρησιακή έρευνα και τα οικονομικά μέτρα πειθαρχίας που εφαρμόζονται στον στρατιωτικό τομέα.

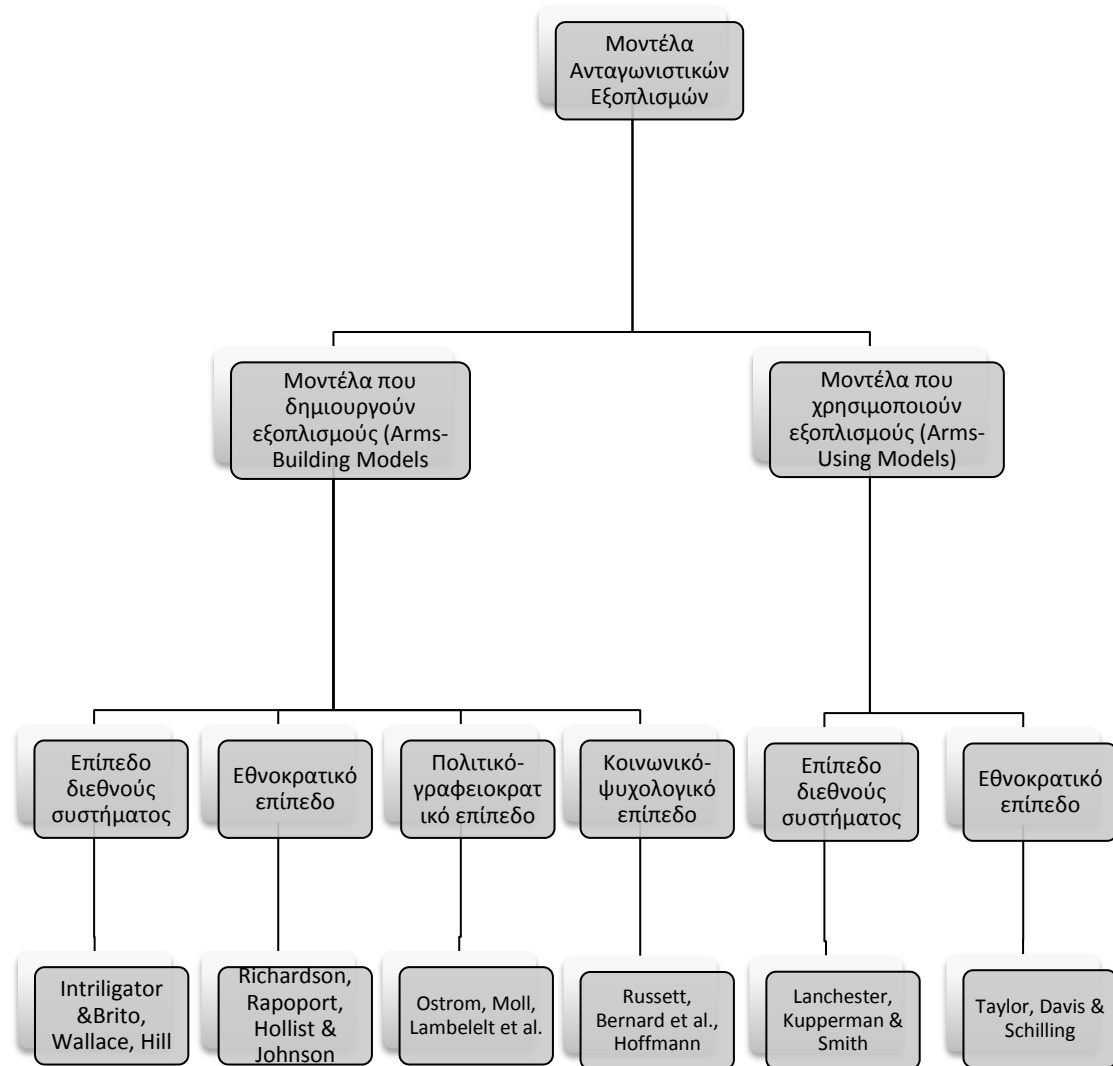
Οι μελέτες, επίσης, κατατάσσονται ανάλογα με το κύριο επίπεδο ανάλυσης σε: διεθνές σύστημα, εθνοκρατικό επίπεδο, πολιτικό-γραφειοκρατικό και κοινωνικο-ψυχολογικό. Οι ταξινομήσεις αυτές υποδεικνύουν κατά πόσο μια μελέτη δίνει έμφαση σε ερωτήσεις για τις συγκρίσεις μεταξύ των εθνών και τη σταθερότητα των αλληλεπιδράσεων, τις τάσεις και τις παραμέτρους του μοντέλου στο πλαίσιο των επιμέρους εθνών, την εγχώρια πολιτική και γραφειοκρατική οργάνωση, ή την επιρροή των κοινωνικών και ψυχολογικών παραγόντων.

- Το επίπεδο του διεθνούς συστήματος επικεντρώνεται σε θέματα όπως η παρουσία ή η απουσία των ανταγωνιστικών εξοπλισμών, η ισορροπία των ανταγωνιστικών εξοπλισμών, η σταθερότητα τους και τα αποτελέσματα διάδοσης των πυρηνικών όπλων.
- Το εθνοκρατικό επίπεδο είναι το επίπεδο το οποίο μελετά το αρχικό έργο του Richardson. Σε αυτό το επίπεδο, το έθνος θεωρείται ως μονάδα ανάλυσης από μόνο του. Τα εθνικά χαρακτηριστικά και οι συμπεριφορές είναι στο επίκεντρο μελέτης. Οι έρευνες στηρίζονται στις εθνικές τάσεις με παραμέτρους, όπως οι

δαπάνες για τους εξοπλισμούς, το στρατιωτικό προσωπικό και οι αριθμοί των όπλων.

- Το πολιτικό-γραφειοκρατικό επίπεδο δίνει έμφαση στα εσωτερικά ιδρύματα και στους οργανισμούς των χωρών, που έχουν μεγάλη ή μικρή άμεση επιρροή στον τρόπο που η χώρα διαχειρίζεται την πολιτική των εξοπλισμών της. Πιο συγκεκριμένα δίνει έμφαση σε γραφειοκρατικές διαδικασίες, όπως τεχνολογικές καινοτομίες, επιλογή των στρατιωτικών δυνάμεων, κ.λπ.
- Τέλος, το κοινωνικό-ψυχολογικό επίπεδο δίνει έμφαση στις σχετικά μη προγραμματισμένες συμπεριφορές και στις αποφάσεις που λαμβάνονται από άτομα, μικρές ομάδες και από άλλες μη δομημένες ομάδες κοινωνικών συμφερόντων. Οι έρευνες περιλαμβάνουν παράγοντες όπως η κοινή γνώμη, η ανάλυση περιεχομένου των μέσων ενημέρωσης, οι ψυχολογικές διεργασίες και οι μηχανισμοί αλλαγής συμπεριφοράς.

Παρακάτω παρουσιάζεται το διάγραμμα που δημιουργήσαμε με την ταξινόμηση της βιβλιογραφίας των μοντέλων ανταγωνιστικών εξοπλισμών.



Σχεδιάγραμμα 2-1 Ταξινόμηση βιβλιογραφίας των μοντέλων ανταγωνιστικών εξοπλισμών για τη δεκαετία του 1980.

Μετά το τέλος αυτής της δεκαετίας, συνεχίστηκαν οι προσπάθειες για την ανάπτυξη μοντέλων ανταγωνιστικών εξοπλισμών (Axelrod, 1991, Lee-Zinnes-Muncaster, 1991, Saperstein, 1984-1992).

Παρακάτω αναλύονται τα μοντέλα των Lanchester, Richardson, Intriligator & Brito, καθώς και το μοντέλο του Saperstein.

2.2 ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΟΥ LANCHESTER

Η προέλευση των ποσοτικών μοντέλων που χρησιμοποιούν εξοπλισμό, εντοπίζεται στον Lanchester, ο οποίος ανέπτυξε ντετερμινιστικά μοντέλα για το αποτέλεσμα των διάφορων τύπων στρατιωτικών «μονομαχιών». Ο F. W. Lanchester ήταν Βρετανός μηχανικός, ο οποίος κατασκεύασε το πρώτο αυτοκίνητο στη Βρετανία το 1895 και έκανε σημαντικές συνεισφορές στην αεροναυπηγική. Η πιο σημαντική συνεισφορά του όμως, είναι οι ιδέες του για τις στρατιωτικές τακτικές. Στο βιβλίο του «*Aircraft in Warfare: the Dawn of the Fourth Arm*», που γράφτηκε το 1916 και δημοσιεύτηκε κατά τη διάρκεια του Α' Παγκοσμίου Πολέμου, πρότεινε το πρώτο μοντέλο μάχης. Ο Lanchester έδειχνε μεγάλο ενδιαφέρον για τα αεροσκάφη και ήταν από τους πρώτους που συνειδητοποίησε ότι η χρήση τους θα άλλαζε τη δυναμική του πολέμου. Έτσι θεώρησε το αεροσκάφος ως τέταρτο είδος στρατιωτικής δύναμης μετά το ιππικό, το πεζικό και το πυροβολικό.

2.2.1 Ο Γραμμικός Νόμος του Lanchester

Ο Lanchester διέκρινε τον πόλεμο σε δύο βασικές κατηγορίες: τον αρχαίο και το σύγχρονο. Για τον αρχαίο πόλεμο ο Lanchester λέει: «...στα παλαιότερα χρόνια, όταν το όπλο άμεσα αντιμετώπιζε απέναντί του όπλο, η πράξη της άμυνας ήταν θετική και άμεση, το χτύπημα του σπαθιού ή του τσεκουριού μπορούσε να το αντικρούσει σπαθί ή ασπίδα. Σύμφωνα με τις παλιές συνθήκες, δεν ήταν δυνατό κάτω από οποιοδήποτε στρατηγικό σχέδιο ή ελιγμό να έχουμε κάτι διαφορετικό εκτός από περίπου ίσο αριθμό πολεμιστών στη γραμμή του πυρός. Ένας στρατιώτης κανονικά έχει να πολεμήσει απέναντι του έναν στρατιώτη. Ακόμα και αν η μία πλευρά είχε το διπλάσιο αριθμό των αντρών σε οποιοδήποτε πεδίο της μάχης σε σχέση με την αντίπαλη πλευρά, ο αριθμός των αντρών που ήταν οπλισμένοι στο πεδίο της μάχης, στην πραγματικότητα, ήταν σε γενικές γραμμές ο ίδιος και για τις δύο πλευρές» (Lanchester, 1916) (Εικόνα 2-1).



Σε αυτή την περίπτωση (αρχαίο πόλεμο), μόνο μία μονάδα από την Μ πλευρά μπορεί να πολεμήσει μία μονάδα από τη Ν πλευρά και το αντίστροφο.

Εικόνα 2-1 Γραμμικός Νόμος της μάχης.

Με βάση αυτό το σκεπτικό, ο Lanchester κατέληξε σε ένα γραμμικό νόμο της μάχης (*Linear Law of Combat*), που λέει ότι η πιθανότητα της νίκης εξαρτάται όχι τόσο από τον αριθμό των επιτιθέμενων μονάδων, αλλά κυρίως από την αποτελεσματικότητα της κάθε επιτιθέμενης μονάδας, ειδικά αν η μάχη στην πραγματικότητα αποτελείται από μια σειρά μονομαχιών. Έτσι, ο γραμμικός νόμος της μάχης του Lanchester μοντελοποιείται ως εξής:

Έχουμε δύο αντίπαλες δυνάμεις, την M και τη N . Με m, n συμβολίζουμε το πλήθος των αντίπαλων δυνάμεων αντίστοιχα, ενώ α, β είναι η μαχητική ικανότητα (αποτελεσματικότητα) μια μονάδας από την κάθε δύναμη αντίστοιχα. Ο ρυθμός φθοράς των δύο πλευρών υπολογίζεται ως εξής:

$$\frac{dm}{dt} = -\alpha n \quad \text{και} \quad \frac{dn}{dt} = -\beta m \quad \text{όπου} \quad m < n.$$

$$\text{Επιπλέον} \quad \frac{dm}{dn} = \frac{\alpha}{\beta}, \quad dm = \left(\frac{\alpha}{\beta}\right) dn \quad \text{και} \quad \beta dm = \alpha dn.$$

Ολοκληρώνοντας από τον χρόνο $t = 0$ έως τον χρόνο t προκύπτει:

$$\beta(m - m_0) = \alpha(n - n_0).$$

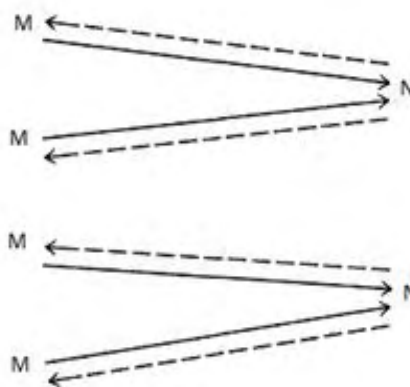
Όταν κερδίζει η M δύναμη, τότε $n = 0$. Επίσης, $m = m_0 - \frac{\alpha}{\beta}(n_0)$.

Κατά συνέπεια, η M πλευρά θα νικήσει εάν: $m_0 > \frac{\alpha}{\beta}(n_0)$.

Αυτό σημαίνει ότι, εάν $m_0 = n_0$, η M πλευρά μπορεί να νικήσει μόνο εάν η αποτελεσματικότητα της κάθε μονάδας της M είναι μεγαλύτερη από εκείνη της κάθε μονάδας της N . Αυτό είναι ένα απλό, κοινής λογικής συμπέρασμα, αν η μάχη έχει συσταθεί ως ένα σύνολο μονομαχιών.

2.2.2 Ο Τετραγωνικός Νόμος του Lanchester

Στη συνέχεια, ο Lanchester ασχολήθηκε με τον σύγχρονο πόλεμο. Σε αυτή την περίπτωση, κάθε μονάδα της πλευράς M μπορούσε να προκαλέσει ζημιά σε κάθε μονάδα της πλευράς N ταυτόχρονα. Αυτό σημαίνει ότι η συγκέντρωση των δυνάμεων θα πρέπει να οργανώνεται με βάση μια καλύτερη στρατηγική. Για παράδειγμα προηγουμένως στη γραμμική κατάσταση των μονομαχιών, 100 μονάδες παραταγμένες για επίθεση έναντι 50 μονάδων δεν θα είχαν κανένα πλεονέκτημα. Ωστόσο, στο σύγχρονο πόλεμο, 100 μονάδες της μιας πλευράς έναντι 50 μονάδων της άλλης, θα ήταν ένα σίγουρο πλεονέκτημα, αφού κάθε μονάδα από τις 50 θα δέχονταν επίθεση από 2 μονάδες της αντίπαλης πλευράς. Σε μια τέτοια κατάσταση, για να κερδίσει η πλευρά με τις λιγότερες μονάδες θα πρέπει να έχει αναπτύξει καλύτερους στρατηγικούς ελιγμούς. (Εικόνα 2-2).



Οι μονάδες της M πλευράς μπορούν και οι δύο να πολεμούν εναντίον του ίδιου στόχου. Επίσης τα πυρά από την M πλευρά κατανέμονται ομοιόμορφα μεταξύ των στόχων της N πλευράς και αντίστροφα.

Εικόνα 2-2 Τετραγωνικός Νόμος της μάχης.

Για τον σύγχρονο πόλεμο, ο ρυθμός της φθοράς υπολογίζεται ως εξής:

$$\frac{dm}{dt} = -\alpha n \quad \text{και} \quad \frac{dn}{dt} = -\beta m$$

Επιπλέον,

$$\frac{dm}{dn} = \frac{\alpha}{\beta} \times \frac{n}{m} \quad \text{από το οποίο προκύπτει} \quad m dm = \frac{\alpha}{\beta} n dn.$$

Ολοκληρώνοντας από χρόνο $t = 0$ έως χρόνο t έχουμε:

$$m^2 - m_0^2 = \left(\frac{\alpha}{\beta}\right) n^2 - n_0^2$$

Όταν κερδίζει η πλευρά M , τότε $n = 0$. Άρα :

$$m^2 = m_0^2 - \left(\frac{\alpha}{\beta}\right) n_0^2, \quad m = \sqrt{m_0^2 - \frac{\alpha}{\beta} n_0^2}$$

Καταλαβαίνουμε ότι για να κερδίσει η M πλευρά θα πρέπει να ισχύει: $m_0^2 > \frac{\alpha}{\beta} n_0^2$

Αυτός είναι ο τετραγωνικός νόμος του Lanchester (*Lanchester's Square Law*)

2.3 ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΩΝ ΕΞΟΠΛΙΣΜΩΝ ΤΟΥ RICHARDSON

Τα μοντέλα που δημιουργούν εξοπλισμούς προέρχονται από το μοντέλο του Richardson. Ο Lewis Fry Richardson ήταν Άγγλος μετεωρολόγος και εξαιτίας του Α' Παγκοσμίου Πολέμου χρησιμοποίησε τις μαθηματικές του δεξιότητες για να κατανοήσει καλύτερα του ανταγωνιστικούς εξοπλισμούς, που πολλοί πίστευαν ότι συνέβαλαν στο ξέσπασμα αυτού του πολέμου. Ένα από τα συμπεράσματα στη έρευνά του, ήταν ένα σύστημα διαφορικών εξισώσεων για τη μοντελοποίηση των ανταγωνιστικών εξοπλισμών. Το σύστημα αυτό έχει γίνει γνωστό ως το μοντέλο Richardson για τους ανταγωνιστικούς εξοπλισμούς (*Richardson Arms Race Model*).

Όταν ξεκίνησε να αναπτύσσει το μοντέλο του, το σημείο εκκίνησης ήταν τρεις υποθέσεις, για τις συνθήκες υπό τις οποίες τα έθνη αυξάνουν ή μειώνουν τους εξοπλισμούς τους. Οι υποθέσεις αυτές είναι :

1. Υπό τον φόβο της στρατιωτικής ανασφάλειας, η χώρα A θα αυξήσει τον εξοπλισμό της σε επίπεδο ανάλογο με εκείνο που βρίσκεται η χώρα B. Με παρόμοιο τρόπο θα αντιδράσει και η χώρα B.
2. Οι συνεχείς δαπάνες για εξοπλισμό επιβαρύνουν την οικονομία της χώρας, γι' αυτό υπάρχει ένα σύστημα περιορισμού και αυτοσυγκράτησης για περαιτέρω δαπάνες.
3. Υπάρχουν παράγοντες που οδηγούν τα έθνη να εξοπλίζονται με ένα σταθερό ρυθμό, ακόμα και όταν απουσιάζει η στρατιωτική απειλή από μια άλλη χώρα, όπως οι εχθροπραξίες, οι φιλοδοξίες και οι διεκδικήσεις για δικούς τους σκοπούς.

Αυτές οι τρεις υποθέσεις αποτελούν μια απλουστευμένη μορφή της εθνικής διαδικασίας λήψης αποφάσεων, σχετικά με τις εθνικές απαιτήσεις ασφαλείας. Αυτός ακριβώς ήταν ο σκοπός του. Η εμπειρία του ως Φυσικός του δίδαξε, ότι η συνετή απλούστευση μπορεί να φωτίσει σημαντικές πτυχές σε ιδιαίτερα πολύπλοκα συστήματα (Caspary, 1967, σελ. 64).

Για να κατανοήσουμε το μαθηματικό μοντέλο που παρουσιάζουμε παρακάτω, θα πρέπει πρώτα να ορίσουμε μαθηματικά τις τρεις υποθέσεις που έχουμε αναφέρει. Έτσι με k και k' συμβολίζουμε τους συντελεστές άμυνας (για τις χώρες A και B αντί-

στοιχα) που μας δείχνουν την αλλαγή στο επίπεδο του εξοπλισμού της μιας χώρας, σε σχέση με το επίπεδο εξοπλισμού της άλλης χώρας. Οι συντελεστές a και a' είναι οι συντελεστές δαπάνης και δείχνουν το μέγεθος του περιορισμού της δαπάνης μιας στρατιωτικής μονάδας. Τέλος, οι σταθερές g και g' μας δείχνουν το μέγεθος του κινήτρου μια χώρας να εξοπλίζεται, ανεξάρτητα από το επίπεδο εξοπλισμού της άλλης χώρας. Εάν x και y είναι το επίπεδο των εξοπλισμών για κάθε χώρα αντίστοιχα, το καθαρό αποτέλεσμα των κινήτρων τους να εξοπλιστούν και των περιορισμών για τις δαπάνες, προκύπτει ως ένα ποσοστό μεταβολής των εξοπλισμών. Η μαθηματική έκφραση για το ρυθμό μεταβολής του x ως προς τον χρόνο, είναι η παράγωγος dx/dt .

Έτσι έχουμε :

$$dx/dt = ky - ax + g$$

$$dy/dt = k'x - a'y + g'$$

Πρέπει να σημειωθεί ότι ο τρόπος με τον οποίο διατυπώθηκε μαθηματικά το μοντέλο, μας δείχνει ότι υπάρχει και μια τέταρτη υπόθεση. Είναι η υπόθεση ότι οι τρεις ξεχωριστές επιπτώσεις έχουν ένα καθαρό αποτέλεσμα που παρουσιάζει προσθετικότητα. Αυτή η επιλογή μιας σχέσης που παρουσιάζει προσθετικότητα, σε αντίθεση με μια άλλη στην οποία τα αποτελέσματα αλληλεπιδρούν, είναι ακόμη μια εφαρμογή του κριτηρίου απλότητας από την πλευρά του Richardson.

2.3.1 Συνθήκες Σταθερότητας

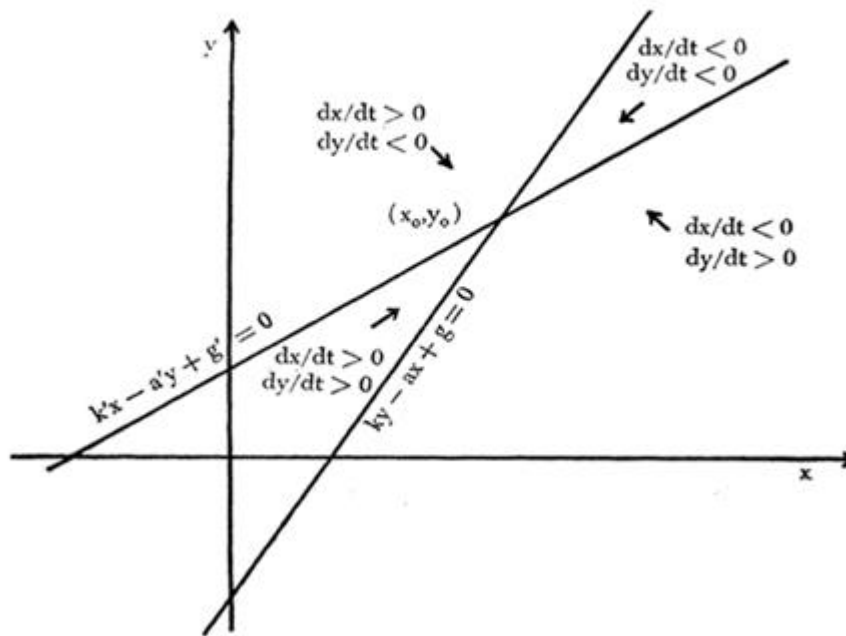
Ιδιαίτερο ενδιαφέρον, σε ό,τι αφορά τους ανταγωνιστικούς εξοπλισμούς, παρουσιάζουν οι συνθήκες κάτω από τις οποίες θα υπάρξει ισορροπία και όχι μια ανεξέλεγκτη αύξηση των επιπέδων των εξοπλισμών. Ισορροπία θα συμβεί όταν ο ρυθμός μεταβολής των εξοπλισμών είναι μηδέν και για τις δύο πλευρές. Έτσι θέτουμε το δεξιό μέρος και των δύο εξισώσεων ίση με το μηδέν και λύνουμε ως προς x και y :

$$ky - ax + g = 0$$

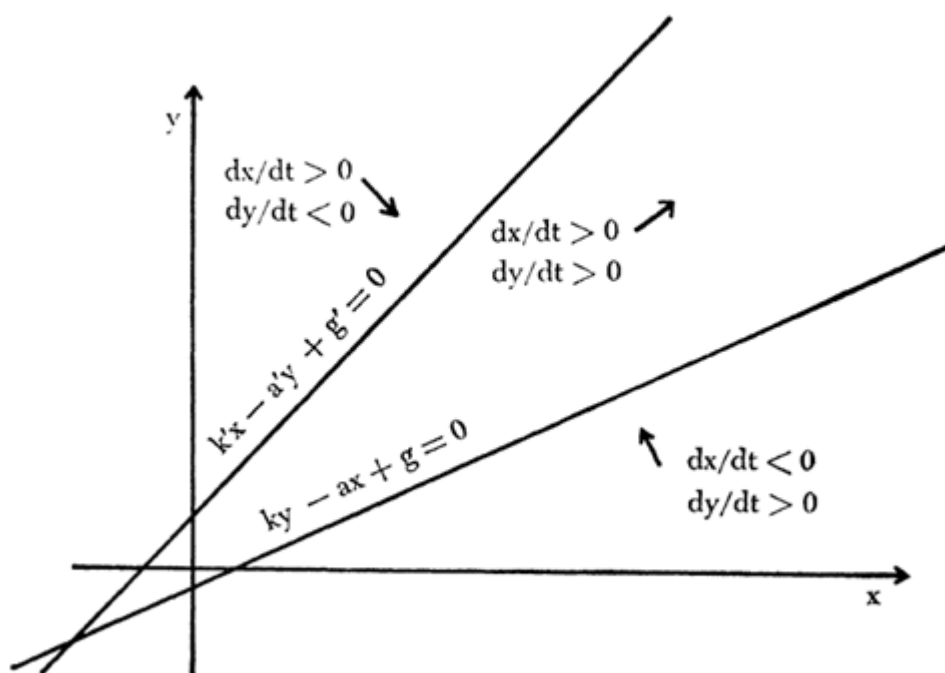
$$k'x - a'y + g' = 0$$

Η σταθερότητα της ισορροπίας φαίνεται από τη γραφική μέθοδο. Εξετάζουμε το πρόσημο των παραγώγων στις τέσσερις περιοχές στις οποίες το θετικό επίπεδο των x και y χωρίζεται από τις δύο ευθείες, κατά μήκος των οποίων οι παράγωγοι είναι μηδέν. Μπορούμε να δούμε στην Εικόνα 2-3, ότι οποιοδήποτε σημείο αρχικών τιμών (x, y) κι αν επιλέξουμε, θα κινηθούμε προς το σημείο ισορροπίας (x_0, y_0) .

Αντιθέτως, στην Εικόνα 2-4, κάθε σημείο αρχικών τιμών (x_0, y_0) κινείται μακριά από το σημείο ισορροπίας. Έτσι, η προϋπόθεση για ευσταθή ισορροπία είναι η συνθήκη που διαφοροποιεί την Εικόνα 2-3 από την Εικόνα 2-4. Δηλαδή, η κλίση της ευθείας για τη χώρα Α είναι να μεγαλύτερη από την κλίση της ευθείας για τη χώρα Β, ή με μαθηματική σχέση: $k \cdot k' < a \cdot a'$



Εικόνα 2-3 Συνθήκες Σταθερότητας – Ευστάθεια αν: $k \cdot k' < a \cdot a'$



Εικόνα 2-4 Συνθήκες Σταθερότητας – Αστάθεια αν: $k \cdot k' > a \cdot a'$

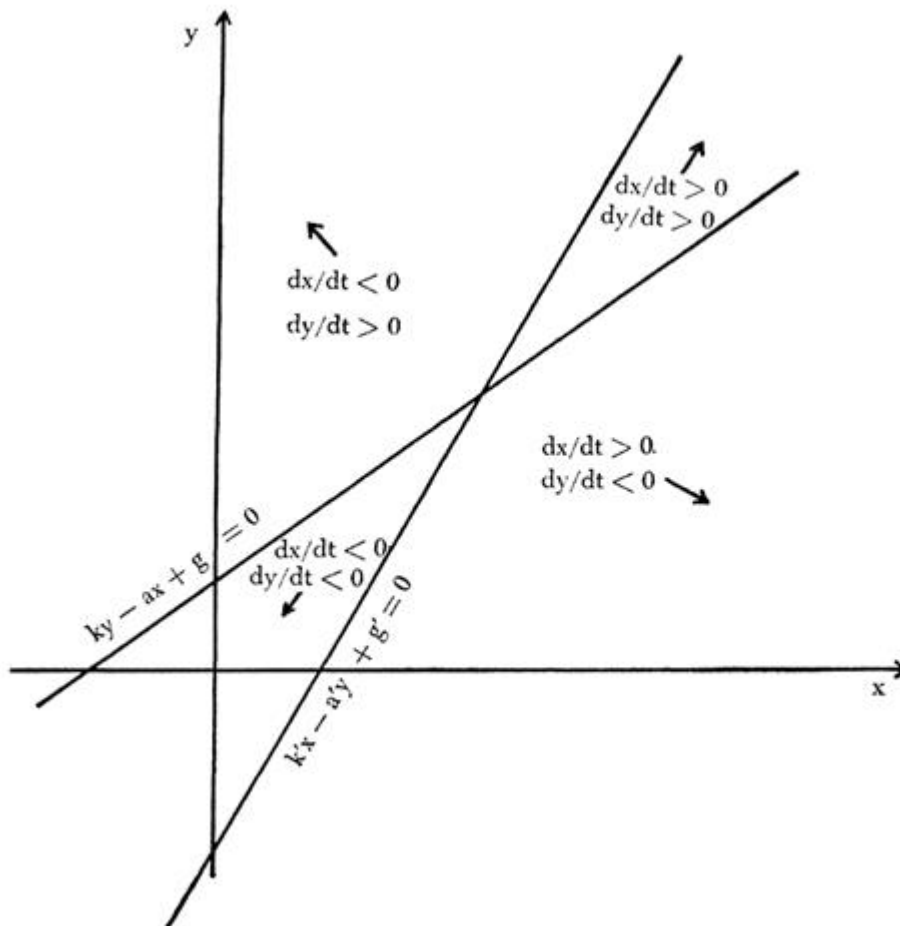
Με άλλα λόγια η συνθήκη σταθερότητας επιβάλλει ότι το γινόμενο των δύο συντελεστών άμυνας να είναι μικρότερο από το γινόμενο των δύο συντελεστών δαπάνης. Πάνω από το σημείο ισορροπίας, το βάρος της δαπάνης για εξοπλισμό είναι μεγαλύτερο από το κίνητρο για εξοπλισμό. Κάτω από το σημείο ισορροπίας, συμβαίνει ακριβώς το αντίθετο. Η λύση αυτή είναι εντελώς ανεξάρτητη από τους συντελεστές g και g' . Παίζουν όμως σημαντικό ρόλο στον καθορισμό του σημείου στο οποίο επέρχεται ισορροπία, το οποίο είναι:

$$x_0 = \frac{g'k + ga'}{aa' - kk'} \quad y_0 = \frac{gk' + g'a}{aa' - kk'}$$

Όσο μεγαλύτεροι είναι οι συντελεστές g και g' , τόσο μεγαλύτερο είναι το ελάχιστο επίπεδο των εξοπλισμών (x_0, y_0) στο οποίο λαμβάνει χώρα η ισορροπία.

Στη ασταθή κατάσταση, όπου $k \cdot k' > a \cdot a'$, οποιαδήποτε αρχική τιμή των x και y , θα οδηγήσει σε έναν ανταγωνισμό εξοπλισμών, όσο οι συντελεστές g και g' είναι θετικοί. Αν οι συντελεστές g και g' είναι αρνητικοί, τότε έχουμε ένα διαφορετικό αποτέλεσμα. Για τις τιμές των x και y που είναι μικρότερες από τις x_0 και y_0 , έχουμε «κα-

θοδική» αστάθεια (αγώνας αφοπλισμού). Κάτω από το σημείο ισορροπίας (x_0, y_0), η καλή θέληση που συνάγεται από τις αρνητικές τιμές των όρων g και g' , είναι επαρκής για να περιορίσει τον ανταγωνισμό των εξοπλισμών. Ενώ πάνω από το σημείο ισορροπίας (x_0, y_0), η ανάγκη για ασφάλεια οδηγεί και τις δύο πλευρές να εξοπλίζονται (Εικόνα 2-5).



Εικόνα 2-5 Συνθήκες Σταθερότητας – Αστάθεια αν: $k \cdot k' > a \cdot a'$, με $g, g' < 0$.

Το συγκεκριμένο μοντέλο δίνει μια απάντηση στο ερώτημα: «τι προηγείται, οι εξοπλισμοί ή οι εντάσεις;». Επισημαίνει αφενός τις συνθήκες κάτω από τις οποίες μπορεί να υπάρξει ένας ανταγωνιστικός εξοπλισμός παρά την καλή θέληση και αφετέρου τις συνθήκες όπου τα επίπεδα των εξοπλισμών βρίσκονται σε ισορροπία παρά τις εντάσεις. Ο βασικός μηχανισμός βρίσκεται στον τρόπο που κάθε χώρα αντιδρά σε σχέση με το επίπεδο εξοπλισμού της αντίπαλης χώρας. Αν οι συντελεστές άμυνας είναι αρκετά μεγάλοι και οι συντελεστές δαπάνης αρκετά μικροί, μπορεί να υπάρξει ανταγωνιστικός εξοπλισμός, ακόμα και αν οι δυο πλευρές έχουν αμυντική πρόθεση.

2.3.2 Κριτική του μοντέλου

Το μοντέλο του Richardson για τους ανταγωνιστικούς εξοπλισμούς, αποτελεί ένα από τα πιο σημαντικά παραδείγματα προσπάθειας εφαρμογής μαθηματικών μοντέλων για τη μελέτη συγκρούσεων μεταξύ των χωρών. Στο μοντέλο αυτό η δυναμική των ανταγωνιστικών εξοπλισμών συνοψίζεται σε ένα σύστημα διαφορικών εξισώσεων. Χρησιμοποιώντας αυτό το απλό μαθηματικό πλαίσιο, ο Richardson ήταν σε θέση να κάνει αξιολογικές παρατηρήσεις για τα διάφορα καθεστάτα παραμέτρων, οι οποίες αντανακλούν τα επίπεδα εξοπλισμών και τη συμμαχία των ανταγωνιστών. Ένα από τα κύρια μειονεκτήματα του μοντέλου είναι ότι εξετάζει τους ανταγωνιστικούς εξοπλισμούς από το εξωτερικό, ως ένα μηχανιστικό μοντέλο και όχι από το εσωτερικό, από την πλευρά των αποφάσεων που λαμβάνονται από τους σχεδιαστές άμυνας (Intriligator, 1975). Επίσης, οι τιμές των συντελεστών στο μοντέλο έπρεπε να καθορίζονται από τα χαρακτηριστικά των αντίστοιχων κοινωνιών και κυβερνήσεων. Καθώς οι κοινωνίες αλλάζουν, αυτές οι παράμετροι θα αλλάξουν, αλλά θεωρήθηκε ότι η κλίμακα του χρόνου για την αλλαγή των παραμέτρων είναι πολύ μεγαλύτερη από εκείνη των λύσεων της εξίσωσης. Ως εκ τούτου, θεωρήθηκαν σταθερές, που μπορούν να προσδιοριστούν με την παρατήρηση συγκεκριμένων συστημάτων. Πρέπει να σημειωθεί ότι ο Richardson μοντελοποιεί δυνατότητες. Δεν υπάρχουν δυναμικοί όροι στις εξισώσεις του, παρά μόνο οι στατικοί συντελεστές g και g' , οι οποίοι, όπως αναμενόταν, δεν έχουν καμία επίδραση στη φύση των λύσεων και τη συμπεριφορά του συστήματος. Οι λύσεις στις εξισώσεις του Richardson είναι γραμμικοί συνδυασμοί της ανοδικής και καθοδικής εκθετικής συμπεριφοράς. Αν οι παράμετροι ήταν τέτοιοι, ώστε να έχουμε καθοδική εκθετική συμπεριφορά, το σύστημα θα ήταν σε ευσταθή κατάσταση. Κανένας πόλεμος δε θα συμβεί σε ένα σύστημα στο οποίο κάθε κράτος δεν αυξάνει τις στρατιωτικές του δυνατότητες εκθετικά. Μερικά Ευρωπαϊκά δεδομένα, που ελήφθησαν σχετικά με τις εξοπλιστικές δαπάνες πριν από τον Α' Παγκόσμιο Πόλεμο, απέδειξαν ότι δεν υπήρξε μετάβαση από την ειρήνη στον πόλεμο στο μοντέλο του Richardson (Saperstein, 2006).

Παρά τα μειονεκτήματα που μπορεί να έχει το μοντέλο του, το έργο του Richardson έλαβε ευρεία αναγνώριση, κυρίως στα τέλη της δεκαετίας του 1960. Σε αυτό συνέβαλε η επαναστατική αλλαγή της συμπεριφοράς των κοινωνικών επιστημών, καθώς και η αυξανόμενη ανησυχία για τους κινδύνους που ελλοχεύουν από έναν ανταγωνιστικό

εξοπλισμό, που ενισχύεται από την ανάπτυξη διηπειρωτικών πυραύλων (Etcheson, 1989).

«Μεγάλο μέρος της έρευνας για τα μοντέλα των ανταγωνιστικών εξοπλισμών έχουν παραχθεί από μελετητές από τον τομέα της επιστήμης της Πολιτικής Κοινωνιολογίας, της Οικονομίας, της Μηχανικής, της Φυσικής και άλλων κλάδων. Πολλοί από αυτούς τους μελετητές αντλούν την έμπνευση τους από την πρωτοποριακή εργασία του Richardson» (McGinnis, 1991). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, το μοντέλο του Richardson να αποτελεί το κίνητρο για μια ποικιλία από τροποποιήσεις και αριθμητικά πειράματα τις τελευταίες δεκαετίες. Ειδικότερα, η ανάπτυξη του τομέα της μη γραμμικής δυναμικής και η παρατήρηση φυσικών συστημάτων που εμφανίζουν πολύπλοκη συμπεριφορά, έχουν ανοίξει νέες δυνατότητες όσον αφορά τη μοντελοποίηση βασισμένη στο πρότυπο μοντέλο του Richardson. Οι Saperstein, Grossman και Mayer-Kress ήταν από τους πρώτους που ανέπτυξαν τροποποιημένα μοντέλα με τη βοήθεια μη γραμμικών δυναμικών συστημάτων. Ο Saperstein υποστήριξε ότι ο θεμελιώδης παράγοντας για την εμφάνιση του πολέμου μπορεί να είναι στην πραγματικότητα η απώλεια της προβλεψιμότητας, που είναι μια γενική ιδιότητα των χαοτικών χρονικών εξελίξεων και κατά κανόνα προκύπτουν από τις μη γραμμικότητες σε αυτά τα συστήματα. Ενώ η χρονική εξέλιξη είναι φραγμένη, μικρές αβεβαιότητες στις αρχικές συνθήκες με την πάροδο του χρόνου θα αυξηθούν εκθετικά, καθιστώντας έτσι τις μακροχρόνιες προβλέψεις αδύνατες. Αργότερα, οι Grossman & Mayer-Kress (1989) (όπως επίσης και Saperstein, 1991) επεσήμαναν ότι η έναρξη του χάους δεν θα πρέπει στην πραγματικότητα να συνδέεται με το ξέσπασμα του πολέμου. Διατύπωσαν ότι ο πόλεμος ή η πολιτική κρίση συνδέονται με την έναρξη της αστάθειας, παρά με την απώλεια της προβλεψιμότητας. Σε επόμενη ενότητα γίνεται περαιτέρω ανάλυση του μοντέλου του Saperstein.

2.4 ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΩΝ INTRILIGATOR & BRITO ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΝΑΡΞΗ ΤΟΥ ΠΟΛΕΜΟΥ

Οι Intriligator & Brito (1984) αμφισβήτησαν την ιδέα ότι οι ανταγωνιστικοί εξοπλισμοί αναπόφευκτα οδηγούν σε πόλεμο. Ανέπτυξαν ένα μοντέλο για την έναρξη του πολέμου, θέλοντας να δείξουν ότι αν και μερικοί ανταγωνιστικοί εξοπλισμοί μπορεί να οδηγήσουν σε πόλεμο, κάποιος άλλος μπορεί να έχουν ως αποτέλεσμα σταθερή ειρήνη. Σύμφωνα με το μοντέλο τους, η διαδικασία του αφοπλισμού μπορεί επίσης να οδηγήσει σε πόλεμο. Αν ο αφοπλισμός διαρκεί για αρκετό καιρό – αν οι συμμετέχοντες στη διαδικασία είναι στην ουσία άοπλοι – τότε επικρατεί μια ασταθής κατάσταση και ο πόλεμος είναι ένα πιθανό αποτέλεσμα. Οι Intriligator & Brito εφάρμοσαν την ανάλυση τους στον ανταγωνιστικό εξοπλισμό μεταξύ Ηνωμένων Πολιτειών και Σοβιετικής Ένωσης. Καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι ο ανταγωνισμός, τουλάχιστον στην ποσοτική διάσταση, μείωσε τις πιθανότητες του πολέμου και παρείχε κάποια προστασία από τις επικίνδυνες συνέπειες των ποιοτικών βελτιώσεων των όπλων.

Το μοντέλο των Intriligator & Brito εκτιμά συγκεκριμένα τον πυρηνικό πόλεμο ή τον πόλεμο με πυραύλους. Προσεγγίζει το θέμα με τη μοντελοποίηση του τρόπου με τον οποίο σκέφτονται αυτοί που σχεδιάζουν την στρατηγική της άμυνας, και σε αυτή τη βάση, συνάγει τόσο τις συνθήκες κάτω από τις οποίες τα άτομα που σχεδιάζουν την άμυνα εξετάζουν το ενδεχόμενο ενός πυρηνικού πολέμου, όσο και τις συνθήκες υπό τις οποίες δεν το κάνουν.

Ας σκεφτούμε ότι έχουμε μια διπολική διαμάχη μεταξύ των χωρών Α και Β. Αν ξεσπάσει πυρηνικός πόλεμος μεταξύ αυτών των χωρών, σύμφωνα με την στρατηγική λογική αυτών που σχεδιάζουν την άμυνα, ο πόλεμος θα διεξαχθεί σε τρία στάδια (Intriligator, 1967).

- Κατά τη διάρκεια του πρώτου σταδίου, η χώρα που ξεκινά τον πόλεμο, θα πυροδοτήσει τα πυρηνικά της όπλα στο μέγιστο δυνατό ρυθμό, με αποκλειστικό στόχο τους πυραύλους του εχθρού της. Ο σκοπός αυτής της «αντίρροπης» στρατηγικής είναι να μειωθεί όσο το δυνατόν περισσότερο η ικανότητα του εχθρού να προβεί σε αντίποινα. Αυτό το στάδιο, σύμφωνα με τα άτομα που σχεδιάζουν την άμυνα, θα συνεχιστεί μέχρις ότου η χώρα που δέχεται επίθεση να είναι σε θέση να πυροδοτήσει τους δικούς της πυραύλους.

- Το δεύτερο στάδιο διαφέρει από το πρώτο σε πολλά σημεία. Η στρατηγική λογική υποδηλώνει ότι και οι δύο χώρες, εφόσον ενεργούν ορθολογικά, θα πρέπει σε αυτό το στάδιο να εκτοξεύουν πυραύλους στο υψηλότερο δυνατό ρυθμό εναντίον πόλεων και αστικών κέντρων της αντίπαλης χώρας. Ο στόχος αυτής της στρατηγικής είναι να αποκτήσουν πλεονέκτημα προκαλώντας σοβαρές καταστροφές στον εχθρό. Αυτή η διαδικασία των μαζικών αντιποίνων συνεχίζεται έως ότου το θύμα της αρχικής επίθεσης σταματήσει την επίθεση του.
- Το τρίτο στάδιο του πυρηνικού πολέμου, σύμφωνα πάλι με τα άτομα που σχεδιάζουν την άμυνα, είναι ένας «πόλεμος νεύρων». Και οι δύο πλευρές έχουν σταματήσει τη ρίψη πυρηνικών πυραύλων, αλλά όλα τα υπόλοιπα όπλα είναι σε θέση μάχης και στοχεύουν προς τις υπόλοιπες πόλεις της αντίπαλης χώρας.

Δεδομένου των τριών σταδίων του πυρηνικού πολέμου, οι σχεδιαστές της άμυνας είναι πρόθυμοι, στο ενδεχόμενο ενός πρώτου χτυπήματος της πυρηνικής επίθεσης κατά του εχθρού, αν μπορούν να το πετύχουν με τις λιγότερες δυνατές απώλειες. Από την άλλη πλευρά, οι σχεδιαστές της άμυνας αισθάνονται ασφαλείς στην πιθανότητα επίθεσης κατά της χώρας τους, εάν μπορούν να αντιμετωπίσουν τη χειρότερη δυνατή επίθεση προκαλώντας αφόρητες απώλειες στην επιτιθέμενη χώρα.

Για να παρουσιάσουμε το μοντέλο, θα υιοθετήσουμε την οπτική γωνία των σχεδιαστών άμυνας της χώρας A (Mayer, 1986). Οι μεταβλητές και οι παράμετροι που παρουσιάζονται στις επόμενες παραγράφους, εκπροσωπούν τη συγκεκριμένη προοπτική της χώρας A για τον πυρηνικό πόλεμο. Οι σχεδιαστές της άμυνας της χώρας B μπορεί να έχουν διαφορετική άποψη για το θέμα αυτό. Παρ' όλα αυτά, σύμφωνα με το μοντέλο των Intriligator & Brito, η δομή των δυναμικών εξισώσεων που δίνονται παρακάτω, θα παραμείνει η ίδια.

Το μοντέλο των Intriligator & Brito παρουσιάζει κάθε στάδιο ενός πυρηνικού πολέμου (όπως σχεδιάστηκε από τους σχεδιαστές άμυνας στη χώρα A) σαν ένα σύστημα διαφορικών εξισώσεων. Έστω ότι η χώρα A είναι η επιτιθέμενη χώρα και η B η χώρα που δέχεται επίθεση. Ορίζουμε:

$M_A(t)$: το πλήθος των πυραύλων στη χώρα A τη χρονική στιγμή t

$M_B(t)$: το πλήθος των πυραύλων στη χώρα B τη χρονική στιγμή t

$C_A(t)$: το πλήθος των απωλειών που υπέστη η χώρα A το χρονικό διάστημα $[0, t]$

$C_B(t)$: το πλήθος των απωλειών που υπέστη η χώρα B το χρονικό διάστημα $[0, t]$

Οι εξισώσεις για το πρώτο στάδιο του πυρηνικού πολέμου είναι:

$$\frac{dM_A(t)}{dt} = -\alpha M_A(t) , \quad M_A(0) = M_A \quad [1]$$

$$\frac{dM_B(t)}{dt} = -\alpha f_A M_A(t), \quad M_B(0) = M_B \quad [2]$$

$$C_A(t) = C_A(0) = 0 \quad [3]$$

$$C_B(t) = C_B(0) = 0 \quad [4]$$

όπου $0 \leq t \leq \theta_A$ και οι παράμετροι α , f_A και θ_A έχουν την ακόλουθη ερμηνεία:

α : ο μέγιστος ρυθμός με τον οποίο η χώρα A μπορεί να πυροδοτήσει τους πυραύλους της,

f_A : ο αριθμός των πυραύλων της χώρας B, που καταστράφηκαν από κάθε πύραυλο της χώρας A,

θ_A : η διάρκεια του πρώτου σταδίου, ή ισοδύναμα το διάστημα πριν η χώρα B ξεκινήσει να πυροδοτεί τους πυραύλους της.

Όπως μπορούμε να δούμε από τις εξισώσεις [3] και [4], οι σχεδιαστές της άμυνας υποθέτουν ότι δεν υπάρχουν ανθρώπινες απώλειες στο στάδιο αυτό.

Το δεύτερο στάδιο ξεκινάει όταν λήξει το πρώτο στάδιο. Έτσι, οι τελικές τιμές του πρώτου σταδίου, δηλ. $M_A(\theta_A)$, $M_B(\theta_A)$, $C_A(\theta_A)$ και $C_B(\theta_A)$, θα είναι οι αρχικές τιμές του δεύτερου σταδίου.

Το δεύτερο στάδιο συνεχίζεται για το διάστημα $\theta_A \leq t \leq \theta_A + \psi_B$ (όπου ψ_B είναι η διάρκεια του διαστήματος αντιποίνων από τη χώρα B) και περιγράφεται από τις εξής εξισώσεις:

$$\frac{dM_A(t)}{dt} = -\alpha M_A(t) \quad [5]$$

$$\frac{dM_B(t)}{dt} = -\beta M_B(t) \quad [6]$$

$$\frac{dC_A(t)}{dt} = -\beta V_B M_B(t) , \quad C_A(\theta_A) = 0 \quad [7]$$

$$\frac{dC_B(t)}{dt} = -\alpha V_A M_A(t), \quad C_B(\theta_A) = 0 \quad [8]$$

Οι παράμετροι α και θ_A έχουν την ερμηνεία που είχαν και προηγουμένως. Επιπλέον έχουμε:

β : η μέγιστη ταχύτητα με την οποία η χώρα B μπορεί να πυροδοτήσει τους πυραύλους της

V_A : ο αριθμός των απωλειών που προκλήθηκαν από κάθε πύραυλο της χώρας A

V_B : ο αριθμός των απωλειών που προκλήθηκαν από κάθε πύραυλο της χώρας B

Οι εξισώσεις [5] και [6] δηλώνουν ότι κανένας πύραυλος δεν καταστράφηκε από τα πυρά του εχθρού κατά τη διάρκεια αυτής της φάσης. Με όλους τους πυραύλους να στοχεύουν τα αστικά κέντρα του εχθρού, η μείωση της πυρηνικής δύναμης μιας χώρας, προκύπτει εξ ολοκλήρου από τη χρήση των πυραύλων.

Το τρίτο στάδιο του πυρηνικού πολέμου, επειδή δεν περιλαμβάνει ούτε πρόσθετες απώλειες θυμάτων, αλλά ούτε πρόσθετες απώλειες πυραύλων και από τις δύο πλευρές, δεν απαιτεί ένα τυπικό μοντέλο. Για αυτούς που σχεδιάζουν την στρατηγική της άμυνας για την χώρα A, το κρίσιμο ζήτημα σχετικά με την έναρξη του πολέμου είναι ο αριθμός των απωλειών που υπέστη η χώρα (στην περίπτωση αυτή θεωρείται ότι είναι ο εισβολέας). Επιλύοντας το σύστημα των παραπάνω διαφορικών εξισώσεων, οι Intriligator & Brito δημιούργησαν μια σχέση για τα θύματα της χώρας A στο τέλος του πολέμου:

$$C_A(\theta_A + \psi_B) = V_B[M_B - f_A(1 - e^{-\alpha\theta_A})M_A][1 - e^{-\beta\psi_B}] \quad [9]$$

Στην πραγματικότητα, αυτός ο τύπος δίνει τον αριθμό των απωλειών που περιμένουν οι σχεδιαστές της άμυνας μέχρι το τέλος του πολέμου. Ο αριθμός των απωλειών εξαρτάται από τις παραμέτρους α , f_A , V_B , θ_A , ψ_B και (πιο σημαντικό) από τον αριθμό των πυραύλων που κατέχει η αντίπαλη πλευρά στην αρχή.

Εάν $C_A(\theta_A + \psi_B)$, είναι το πλήθος των απωλειών που υπέστη η χώρα A, και είναι μικρότερο ή ίσο με C_A (το μέγιστο αποδεκτό επίπεδο), τότε οι σχεδιαστές της στρατηγικής της άμυνας της χώρας A, θα υποστηρίξουν την έναρξη ενός πυρηνικού πολέμου. Εάν, όμως, το $C_A(\theta_A + \psi_B)$ είναι μεγαλύτερο ή ίσο από το \bar{C}_A (το ελάχιστο ανεκτό επίπεδο απωλειών), τότε θα απορρίψουν την πιθανότητα έναρξης ενός πυρηνικού πολέμου και θα αναγνωρίσουν την ικανότητα της χώρας B να την αποκρούσει. Προκύπτει, λοιπόν, ότι οι σχεδιαστές της άμυνας της χώρας A, θα εξετάσουν την πιθανότητα επίθεσης του εχθρού, εάν:

$$M_B \leq f_A [1 - e^{-\alpha\theta_A}] M_A + \frac{C_A}{V_B [1 - e^{-\beta\psi_B}]} \quad [10]$$

Αλλά η χώρα Β θα την αποκρούσει, εάν:

$$M_B \geq f_A [1 - e^{-\alpha\theta_A}] M_A + \frac{\bar{c}_A}{V_B [1 - e^{-\beta\psi_B}]} \quad [11]$$

Οι δύο ανισότητες διαφέρουν μόνο στη φορά του σημείου ανισότητας και στον αριθμητή του κλάσματος. Εάν οι παράμετροι είναι σταθερές και θεωρηθούν θετικές, τότε τα δεξιά μέλη των ανισοτήτων είναι απλές γραμμικές συναρτήσεις της M_A , ο αρχικός αριθμός των πυραύλων είναι στην κατοχή της χώρας Α. Αυτές οι γραμμικές συναρτήσεις έχουν την ίδια θετική κλίση, αλλά το σημείο τομής της [11], είναι πιο πάνω από το σημείο τομής της [10]. Και τα δύο σημεία τομής είναι θετικά.

Για την ευκολία στην παρουσίαση του μοντέλου, θεωρήσαμε ότι η χώρα Α επιτίθεται στη χώρα Β. Αν είχαμε κάνει την αντίθετη υπόθεση, ότι η χώρα Β επιτίθεται στη χώρα Α, το επιχείρημα θα ήταν ακριβώς το ίδιο. Οι σχεδιαστές της άμυνας της χώρας Α, θα θεωρούσαν τη χώρα τους ευάλωτη σε επίθεση από τη χώρα Β, εάν:

$$M_A \leq f_B [1 - e^{-\beta\theta_B}] M_B + \frac{\hat{c}_B}{V_A [1 - e^{-\alpha\psi_A}]} \quad [12]$$

Και πιστεύουν ότι θα μπορούσαν να αποκρούσουν μια επίθεση από τη χώρα Β, εάν:

$$M_A \geq f_B [1 - e^{-\beta\theta_B}] M_B + \frac{\bar{c}_B}{V_A [1 - e^{-\alpha\psi_A}]} \quad [13]$$

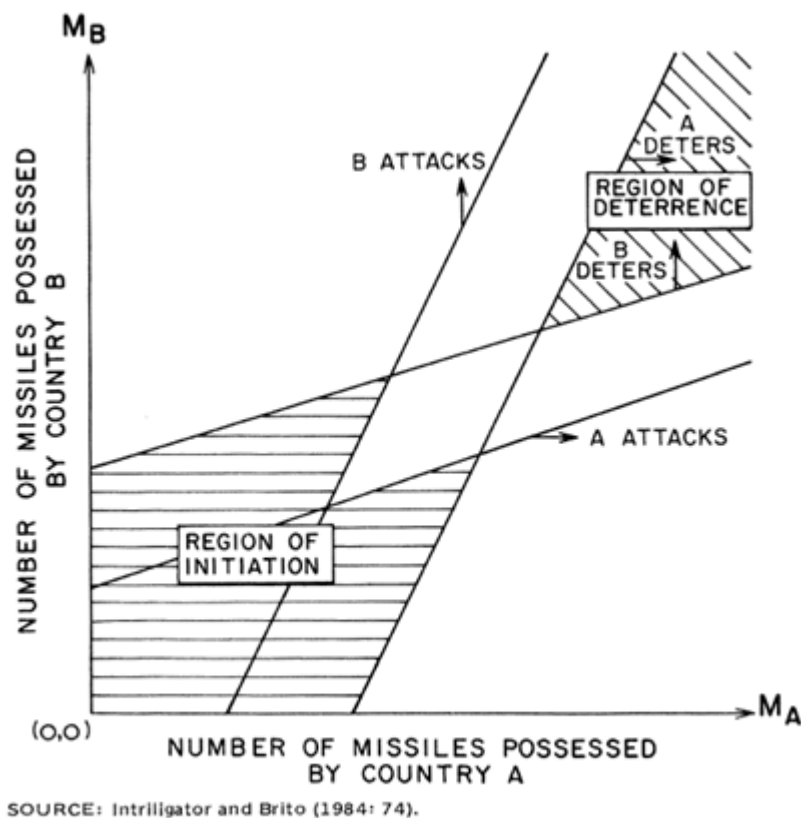
Ούτε οι ανισότητες [10] και [11], αλλά ούτε και οι ανισότητες [12] και [13] μπορούν να ισχύουν ταυτόχρονα. Αυτό σημαίνει ότι τα άτομα που σχεδιάζουν την στρατηγική της άμυνας δεν μπορούν ταυτόχρονα να θεωρούν ότι μπορούν να επιτεθούν στη χώρα Β, ενώ πιστεύουν ότι μπορεί η χώρα Β να τους αποκρούσει, ούτε μπορούν να πιστεύουν ότι είναι ικανοί να αποκρούσουν τη χώρα Β, αλλά είναι ευάλωτοι σε μια επίθεση από τη χώρα Β.

Σύμφωνα με το μοντέλο, μια ιδιαίτερα επικίνδυνη κατάσταση προκύπτει, εάν η χώρα Α θεωρήσει ότι μπορεί να επιτεθεί στη χώρα Β, ενώ δεν είναι σε θέση να αποκρούσει μια επίθεση από τη χώρα Β. Υπό αυτές τις συνθήκες, οι σχεδιαστές άμυνας της χώρας Α θα έχουν την τάση να ξεκινήσουν επίθεση εναντίον της χώρας Β. Με την ίδια λογική, εξίσου επικίνδυνη, είναι η κατάσταση όπου η χώρα Β θεωρεί ότι μπορεί να επιτεθεί στη χώρα Α, αλλά δεν μπορεί να αποκρούσει μια επίθεση της χώρας Α εναντίον

της. Οι Intriligator & Brito αναφέρουν αυτή τη συλλογή επικίνδυνων καταστάσεων ως «περιοχή της έναρξης».

Αντίθετα, μια σχετικά ασφαλής κατάσταση επικρατεί όταν και οι δύο χώρες μπορούν να αποκρούσουν η μία την άλλη. Το σύνολο αυτών των καταστάσεων ονομάζεται «περιοχή της αμοιβαίας αποτροπής».

Το επίπεδο των όπλων (Εικόνα 2-6) αντιπροσωπεύει όλα τα πιθανά ζεύγη από τους αρχικούς πυραύλους για τις χώρες A και B. Πού βρίσκεται η «περιοχή έναρξης» και η «περιοχή αμοιβαίας αποτροπής» σε σχέση με το επίπεδο των όπλων; Η τοπολογία του επιπέδου των όπλων προκύπτει από τις ανισότητες [10], [11], [12] και [13] και έχει τη μορφή που δίνεται στην Εικόνα 2-6. Τα αποτελέσματα από την ανάλυση των Intriligator & Brito προκαλούν έκπληξη. Η «περιοχή της έναρξης» βρίσκεται κοντά στην αρχή, γεγονός που υποδηλώνει ότι μια κατάσταση σχεδόν πλήρους αφοπλισμού είναι ιδιαίτερα επικίνδυνη, ακόμη και όταν τα επίπεδα των όπλων βρίσκονται σε ισορροπία. Αντίθετα, η «περιοχή της αμοιβαίας αποτροπής» βρίσκεται στον κώνο, που εκτείνεται μακριά από την αρχή, πράγμα που σημαίνει ότι οι συνθήκες των υψηλών και αμοιβαία ισορροπημένων εξοπλισμών είναι αρκετά ασφαλείς. Η τοπολογία του επιπέδου των όπλων, έτσι όπως ορίζεται, επιτρέπει τους Intriligator & Brito να φτάσουν στο παράδοξο συμπέρασμα, ότι οι ανταγωνιστικοί εξοπλισμοί μπορούν να οδηγήσουν σε ειρήνη και οι ανταγωνισμοί αφοπλισμού μπορεί να έχουν ως αποτέλεσμα το ξέσπασμα ενός πολέμου!



Εικόνα 2-6 Το επίπεδο των όπλων για τις χώρες A και B με την «περιοχή έναρξης» και την «περιοχή αμοιβαίας αποτροπής»

2.4.1 Κριτική του μοντέλου

Το μοντέλο των Intriligator & Brito περιλαμβάνει την στρατηγική της αποτροπής της επίθεσης, την αποτελεσματικότητα των συντελεστών, τα ποσοστά των πυροδοτούμενων όπλων, καθώς και τα χρονικά διαστήματα για την πυροδότηση. Αυτοί οι παράγοντες είναι σημαντικοί στο να επηρεάζουν τον κώνο της «περιοχής αμοιβαίας αποτροπής» και να έχουν επιπτώσεις στην πολιτική ελέγχου των όπλων. Το μοντέλο παρουσιάζει επίσης τη δυνατή ισορροπία για ειρήνη και το πιθανό ξέσπασμα του πολέμου στο πλαίσιο διαφορετικών συνθηκών. Ωστόσο, το μοντέλο των Intriligator & Brito έχει παρόμοιο πλαίσιο αντίδρασης με το μοντέλο του Richardson και έχει επίσης μερικούς περιορισμούς. Για παράδειγμα μια χώρα ξεκινά μια επίθεση αντίρροπης στρατηγικής, με αποτέλεσμα κάποια στιγμή ο αντίπαλος της χώρας αυτής να ανταποδώσει τα πυρά ως αντίποινα. Δεν υπάρχουν όμως θεωρητικά στοιχεία που να υποστηρίζουν αυτές τις προκαθορισμένες επιθέσεις αντίρροπης στρατηγικής και τα αντί-

ποινα. Επιπλέον, η επίδραση της ποιότητας των εξοπλισμών στους σύγχρονους ανταγωνιστικούς εξοπλισμούς γίνεται ολοένα και πιο σημαντική σε σχέση με την ποσότητα των όπλων στο μοντέλο των Intriligator & Brito.

2.5 ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΟΥ SAPERSTEIN

Ο Saperstein ανέπτυξε ένα μοντέλο για να προβλέψει το ξέσπασμα του πολέμου και βασίστηκε στην πρόοδο που έχει γίνει για την καλύτερη κατανόηση της χαοτικής συμπεριφοράς των δυναμικών συστημάτων. Ο πόλεμος μπορεί να θεωρηθεί ως απώλεια της προβλεψιμότητας: μια κατάσταση κατά την οποία μικρές διαταραχές (όπως δυσλειτουργίες των συστημάτων ραντάρ ή παράλογες πράξεις των ατόμων που δεν υπακούν σε εντολές), οδηγεί σε μεγάλες απρόβλεπτες αλλαγές στις λύσεις των δυναμικών εξισώσεων του μοντέλου.

«Το χάος, όπως διατυπώνεται για τα φυσικά δυναμικά συστήματα, εφαρμόζεται σε ένα πολύ απλό μη γραμμικό μοντέλο των ανταγωνιστικών εξοπλισμών. Η μετάβαση από τη ευστάθεια στην αστάθεια, από τον ανταγωνιστικό εξοπλισμό στον πόλεμο, θα μπορούσε να είναι ανάλογη με τη μετάβαση από στρωτή σε τυρβώδη ή χαοτική ροή» (Saperstein, 1984).

Στη Φυσική, η προβλεψιμότητα έχει αποτυπωθεί στους νόμους κίνησης του Νεύτωνα. Δεδομένων των δυνάμεων, συγκεκριμένες αρχικές συνθήκες, οδηγούν σε συγκεκριμένες, επακριβώς ορισμένες, τροχιές στο σύστημα συντεταγμένων. Παρόμοιες έννοιες οδηγούν στις μη γραμμικές εξισώσεις της μηχανικής των ρευστών. Εφόσον οι κινήσεις των ρευστών παρουσιάζουν και στρωτή και τυρβώδη ροή, πρέπει να δεχτούμε ότι οι λύσεις των εξισώσεων της μηχανικής των ρευστών μπορεί να αντιπροσωπεύουν είτε στρωτό, είτε τυρβώδη χαρακτήρα και η φύση της ροής να αλλάζει από στρωτή σε τυρβώδη, καθώς κάποια παράμετρος ή συνδυασμός παραμέτρων αυξάνεται πάνω από κάποιας κριτική τιμή.

Η στρωτή ροή υποδηλώνει προβλέψιμη συμπεριφορά. Γνωρίζοντας την κίνηση σε ένα σημείο της ροής σε ένα συγκεκριμένο χρόνο, μπορούμε να μάθουμε την κίνηση σε γειτονικά σημεία στο χώρο και στο χρόνο. Αντιθέτως η τυρβώδης ροή είναι χαοτική. Γνωρίζοντας την κίνηση σε ένα σημείο της ροής μια συγκεκριμένη στιγμή, δε μας δείχνει τίποτα για τα γειτονικά σημεία την ίδια χρονική στιγμή, αλλά ούτε για το ίδιο σημείο κάποια μετέπειτα χρονική στιγμή. Άρα η ικανότητα πρόβλεψης είναι ουσιαστικά αδύνατη. Ως εκ τούτου, το ίδιο μαθηματικό μοντέλο έχει προβλέψιμη συμπεριφορά σε μερικές περιοχές μιας παραμέτρου του μοντέλου και απρόβλεπτη συμπεριφορά σε κάποιες άλλες. Αυτή η απώλεια προβλεψιμότητας φαίνεται ένας καλός χαρακτηρισμός του πολέμου στα συστήματα αυτά.

Η πολιτική ζωή προϋποθέτει, σε ένα μεγάλο μέρος της, την προβλεψιμότητα. Η διαμόρφωση και η εφαρμογή της πολιτικής απαιτεί μια λογική ικανότητα να προβλέπουμε το μέλλον, δεδομένης της γνώσης που έχουμε από το παρόν. Η ίδια ανάγκη για προβλεψιμότητα ισχύει και στις σχέσεις μεταξύ των κρατών, είτε πρόκειται για τον συνήθη διεθνή ανταγωνισμό, είτε για έναν εχθρικό ανταγωνισμό εξοπλισμών. Αλλά η ιστορία είναι γεμάτη παραδείγματα για το πώς μπορεί να χαθεί ο έλεγχος από μία ή πολλές κυβερνήσεις, καθώς μεταβαίνουν από την ειρήνη στον πόλεμο. Έτσι κάθε μοντέλο για τους ανταγωνιστικούς εξοπλισμούς μεταξύ των κρατών θα πρέπει να περιλαμβάνει περιοχές προβλέψιμης συμπεριφοράς, περιοχές όπου εμφανίζεται το χάος και μεταβατικές φάσεις μεταξύ αυτών των περιοχών.

Με βάση τα παραπάνω, ο Saperstein ανέπτυξε ένα μοντέλο (1991), ώστε να μπορεί να προβλέψει το αποτέλεσμα για κάθε εναλλακτική πολιτική και κατά συνέπεια να έχει τη δυνατότητα να επιλέξει την πολιτική που ταιριάζει με το επιθυμητό αποτέλεσμα.

Έστω X_0 η παρούσα κατάσταση του διεθνούς συστήματος το οποίο εξετάζουμε. Οι επιλογές της πολιτικής θα αλλάξουν αυτή την κατάσταση σε μια διαφορετική κατάσταση, που τη συμβολίζουμε με X_n (για το μελλοντικό χρόνο n). Διαφορετικές επιλογές πολιτικής έχουν ως αποτέλεσμα διαφορετικές μελλοντικές καταστάσεις, δηλαδή, διαφορετικές τιμές του X_n . Η ικανότητα πρόβλεψης προϋποθέτει να γνωρίζουμε το X_n , δεδομένου του X_0 και μιας συγκεκριμένης πολιτικής. Αυτό δημιουργεί μια μοναδική σχέση μεταξύ των X_0 και X_n , για μια δεδομένη πολιτική. Με άλλα λόγια, κάθε «στάδιο της ιστορίας» καθορίζει το επόμενο στάδιο. Ο προσδιορισμός αυτός εκφράζεται μαθηματικά με την εξής συνάρτηση:

$$X_{n+1} = f(X_n, \lambda) \quad [1]$$

όπου το λ είναι η συλλογή των παραμέτρων, που καθορίζουν τη μορφή της συνάρτησης f . Διαφορετικές πολιτικές σημαίνουν διαφορετικές σχέσεις μεταξύ παρόντος και μέλλοντος, έτσι ώστε διαφορετικές τιμές του λ να αντιστοιχούν σε διαφορετικές επιλογές πολιτικής ή εθνικών χαρακτηριστικών. Η εξίσωση [1] δείχνει τη συσχέτιση της κατάστασης του συστήματος την χρονική στιγμή n με την $n + 1$: την επόμενη χρονική στιγμή, (π.χ. τον επόμενο προϋπολογισμό ή οποιαδήποτε άλλη μονάδα είναι βολική για την περιγραφή της εξέλιξης της πολιτικής και των γεγονότων που συμβαίνουν).

Για να δούμε τι θα γίνει στο μακρινό μέλλον, για παράδειγμα από το 0 στο n , η εξίσωση [1] επαναλαμβάνεται για n φορές:

$$X_1 = f(X_0, \lambda), X_2 = f(X_1, \lambda), X_3 = f(X_2, \lambda), \dots$$

Το τελικό αποτέλεσμα, για οποιαδήποτε πολιτική, είναι η τιμή του X που αντιστοιχεί σε ένα πολύ μεγάλο χρονικό διάστημα στο μέλλον: $X_\infty = X_n$ (δηλ. καθώς το n προσεγγίζει το άπειρο). Αυτές οι τιμές ή το σύνολο των τιμών ονομάζεται «ελκυστής»³ της εξίσωσης [1] και ποικίλλει καθώς ποικίλλει και το σύνολο των παραμέτρων λ .

Έτσι, το πρόβλημα της πρόβλεψης γίνεται: «δεδομένων των X_0 και λ , ποιος είναι ο ελκυστής X_∞ ;» Το καθήκον των φορέων, που χαράσσουν την πολιτική, είναι είτε να αλλάξουν την παρούσα κατάσταση των σχέσεων, δηλαδή το X_0 και/ή την πολιτική λ , συνδέοντας το παρόν με το μέλλον, έτσι ώστε να εξασφαλιστεί η επιθυμητή τελική κατάσταση X_∞ , είτε να αποφύγει έναν ανεπιθύμητο ελκυστή (Saperstein, 1990).

Είναι αλήθεια ότι πολλά τυχαία γεγονότα επηρεάζουν τη μελλοντική εξέλιξη του παγκόσμιου συστήματος, που αποτελείται από πολλά έθνη, που το καθένα με τη σειρά του αποτελείται από εκατομμύρια πολύπλοκων ανθρώπινων όντων και όλα αυτά υπόκεινται σε ένα περιστασιακά ιδιότροπο φυσικό περιβάλλον. Όλη αυτή η τυχαιότητα δεν μπορεί να αναπαρασταθεί από καθορισμένες σχέσεις, όπως είναι η εξίσωση [1]. Εάν η τυχαιότητα κυριαρχούσε, καμία πρόβλεψη δεν θα ήταν δυνατή. Οι περισσότεροι φορείς χάραξης πολιτικής υποθέτουν ότι έχουν κάποιο έλεγχο πάνω στο μέλλον και ότι παρά την προφανή τυχαία συμπεριφορά των μεμονωμένων μελών των πληθυσμών, τα έθνη αλληλεπιδρούν μεταξύ τους ακολουθώντας πρότυπα και «νόμους», που κάποιος μπορεί να υποθέσει και να χρησιμοποιήσει στη χάραξη πολιτικής. Υπάρχουν και εκείνοι βέβαια που είναι κατά της χρησιμότητας της μοντελοποίησης του παγκόσμιου συστήματος ως ένα σύστημα βάσει του νόμου (εξίσωση [1]), για την κατανόηση της έναρξης του πολέμου στο σύστημα. Έτσι υπάρχουν δύο απόψεις: από τη μία η ανάλυση της κατάστασης, που δίνει έμφαση στο ρόλο του κάθε ηγέτη και υποθέτει ότι η κρίση της συμπεριφοράς οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στις συνθήκες κρίσης, και από την άλλη, η ανάλυση του συστήματος υποθέτει ότι η κρίση της συμπεριφοράς οφείλεται σε μεγάλο βαθμό σε προηγούμενες συνθήκες. Ο Saperstein υιοθετεί την άποψη της ανάλυσης του συστήματος.

Η έναρξη ενός πολέμου αντιπροσωπεύει μια ουσιαστική αλλαγή στην κατάσταση του παγκόσμιου συστήματος, τόσο χαρακτηριστική όσο η αλλαγή του νερού από τη στερεά κατάσταση στην υγρή. Ένα μοντέλο, που μπορεί να προβλέψει ένα τέτοιο πόλεμο, πρέπει να παρέχει ένδειξη της κρίσης της αστάθειας. Με τον όρο κρίση αστάθειας

³ Ελκυστής (attractor) σύμφωνα με τη θεωρία του χάους (που αναλύεται στο τρίτο μέρος) ονομάζεται το σταθερό σύνολο στο οποίο συγκλίνει η τροχιά με την πάροδο του χρόνου

εννοούμε μια ακραία ευαισθησία της συμπεριφοράς του πολιτικού συστήματος σε μικρές αλλαγές στην είσοδο παραμέτρων του συστήματος. Έτσι, καταλαβαίνουμε ότι μερικές διαμορφώσεις του συστήματος μπορεί να είναι ευσταθείς και άλλες ασταθείς λόγω κρίσης. Μαθηματικά για την εξίσωση [1] σημαίνει ότι υπάρχουν ορισμένες περιοχές τιμών του λ που για μικρές αλλαγές του X_0 οδηγούν αντίστοιχα σε μικρές αλλαγές του X_∞ , ενώ υπάρχουν άλλες περιοχές τιμών του λ που για μικρές αποκλίσεις του X_0 μπορεί να οδηγήσουν σε εξωφρενικά δυσανάλογες μεταβολές. Επομένως είναι σίγουρα σημαντικό να μπορούμε να διακρίνουμε μεταξύ «ασφαλών» (ευσταθής κατάσταση) και «επικίνδυνων» (κρίση αστάθειας) τιμών (εύρος τιμών) των παραμέτρων του συστήματος λ , έτσι ώστε να είναι είμαστε σε θέση να απομακρυνθούμε από την τελευταία κατάσταση, όταν χρειάζεται. Για τους παραπάνω λόγους, ο Saperstein όταν αναπτύσσει την εξίσωση [1] υποθέτει ότι η συνολική συμπεριφορά του κόσμου μπορεί να μοντελοποιηθεί από ένα σύστημα που διέπεται από ντετερμινιστικούς νόμους και ότι η μαθηματική δομή αυτών των νόμων είναι τέτοια που να επιτρέπει την πρόβλεψη της έναρξης του απρόβλεπτου. Ο Saperstein χαρακτηρίζει τον πόλεμο ως χάος και η μετάβαση από τον «κρύο πόλεμο» στον «καυτό πόλεμο» μπορεί να παρασταθεί με τη μετάβαση από τη μη χαοτική συμπεριφορά στη χαοτική συμπεριφορά στα μη γραμμικά μοντέλα που αντιπροσωπεύουν τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των ανταγωνιστικών εθνών του συστήματος (Saperstein 1990). Εάν η εμφάνιση του χάους προβλέπεται στο μοντέλο, τότε η κρίση αστάθειας και το ξέσπασμα του πολέμου αναμένονται και αν αυτός ο πόλεμος δεν είναι επιθυμητός, τότε πρέπει να αλλάξει το μοντέλο (ή οι παράμετροι του μοντέλου).

Ο Saperstein ανέπτυξε αυτό το γενικό νόμο της εξίσωσης [1] για ένα διπολικό κόσμο, χρησιμοποιώντας ένα απλό ζευγάρι συζευγμένων εξισώσεων:

$$X_{n+1} = 4aY_n(1 - Y_n) \quad [2]$$

$$Y_{n+1} = 4bX_n(1 - X_n)$$

όπου:

X_n : ο λόγος της προμήθειας εξοπλισμών της χώρας X προς το ΑΕΠ κατά το έτος n , δηλαδή η «αφοσίωση» της χώρας X στον πόλεμο κατά το έτος n και αντίστοιχα,

Y_n : η «αφοσίωση» της χώρας Y στον πόλεμο κατά το έτος n

X_{n+1} : η «αφοσίωση» της χώρας X στον πόλεμο κατά το έτος $n+1$ και αντίστοιχα,

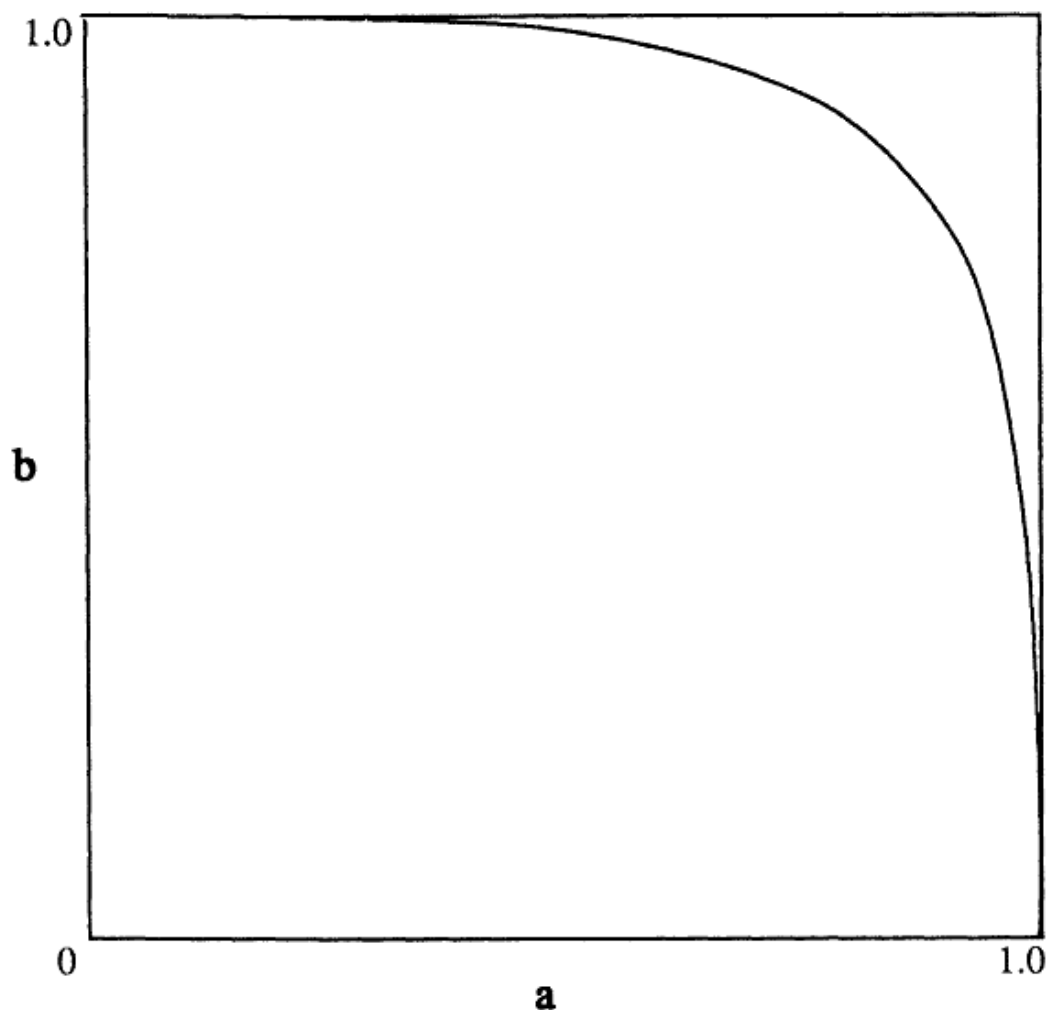
Y_{n+1} : η «αφοσίωση» της χώρας Y στο πόλεμο κατά το έτος $n+1$.

Το X_{n+1} , που όπως αναφέραμε παραπάνω είναι η «αφοσίωση» της χώρας X στον πόλεμο κατά το έτος $n+1$, κυμαίνεται μεταξύ 0 και 1. Με μια πρώτη εκτίμηση θεωρείται ανάλογο με την αφοσίωση της αντίπαλης χώρας κατά το προηγούμενο έτος και αντίστροφα (όσο περισσότερο εξοπλίζεται η μια χώρα αυτό το χρόνο, τόσο περισσότερο θα εξοπλιστεί η αντίπαλη χώρα τον επόμενο χρόνο). Αλλά αυτό δεν μπορεί να συνεχιστεί για πάντα, καμία από τις δύο χώρες δεν μπορεί να υπερβεί τη μονάδα. Ο μη γραμμικός όρος $(1 - Y_n)$ επιβάλλει αυτόν τον περιορισμό. Εκφράζει την υπόθεση ότι εάν οι πόροι της αντίπαλης χώρας έχουν φτάσει σε οριακό σημείο (π.χ. οι προμήθειες εξοπλισμών του προηγούμενου έτους ήταν τόσο μεγάλες, τόσο κοντά στη μονάδα) δεν υπάρχει λόγος να τους αυξήσει ακόμα περισσότερο, έτσι ώστε οι προμήθειες του τρέχοντος έτους μπορεί να μειωθούν αντίστοιχα. Έτσι, όταν οι εξοπλισμοί της χώρας Y είναι μικροί αλλά αυξάνονται, το ίδιο θα συμβεί και με τους εξοπλισμούς της χώρας X (και αντίστροφα). Όταν όμως η χώρα Y φτάσει το οριακό της σημείο, η χώρα X δε χρειάζεται να κάνει το ίδιο, δηλαδή να αυξήσει σε υπερβάλλοντα βαθμό τα αποθέματά της.

Τον ρόλο της παραμέτρου του συστήματος λ , σε αυτό το διπολικό μοντέλο, παίζουν οι δύο σταθερές a και b και καθορίζουν τον τρόπο που οι δυο ανταγωνιστικές χώρες αντιδρούν στις μεταξύ τους απειλητικές δραστηριότητες. Οι δύο αυτές σταθερές κυμαίνονται μεταξύ 0 και 1 έτσι ώστε τα X_n και Y_n να βρίσκονται μεταξύ αυτών των ορίων.

Η περιοχή της ευστάθειας για τις δύο εξισώσεις [2], υπολογίζεται ως συνάρτηση των παραμέτρων a και b . Η καμπύλη που προκύπτει⁴ αντιπροσωπεύει την κρίσιμη σχέση μεταξύ a και b στο μοναδιαίο τετράγωνο του επιπέδου $a-b$. Η περιοχή πάνω από την καμπύλη είναι η χαοτική περιοχή του μοντέλου. Άρα η τετραγωνική περιοχή του παραμετρικού χώρου ($0 < a, b < 1$) χωρίζεται δύο περιοχές (ευσταθής, ασταθής).

⁴ Η καμπύλη αυτή προκύπτει με τη χρήση του εκθέτη Lyapunov από τη θεωρία του χάους. Όταν ο εκθέτης έχει αρνητικές τιμές, στο σύστημα έχουμε ευστάθεια και όταν έχει θετικές στο σύστημα επικρατεί αστάθεια.



Σχεδιάγραμμα 2-2 Καμπύλη των τιμών των παραμέτρων a και b .

Ο Saperstein επέκτεινε το παραπάνω μοντέλο για τρεις χώρες X , Y και Z , με όσο το δυνατό πιο απλό και συμμετρικό τρόπο, παρουσιάζοντας το ακόλουθο σύστημα τριών συζευγμένων εξισώσεων:

$$\begin{aligned}
 X_{n+1} &= 4aY_n(1 - Y_n) + 4\epsilon Z_n(1 - Z_n) \\
 Y_{n+1} &= 4bX_n(1 - X_n) + 4\epsilon cZ_n(1 - Z_n) \\
 Z_{n+1} &= 4\epsilon[X_n(1 - X_n) + cY_n(1 - Y_n)]
 \end{aligned}
 \quad [3]$$

Εδώ τον ρόλο της παραμέτρου λ παίζουν οι σταθερές a , b , c και ϵ . Η παράμετρος ϵ αντιπροσωπεύει τη σύζευξη των χωρών X , Y με την τρίτη χώρα Z . Εάν $c < 1$, οι χώρες Y και Z είναι λιγότερο εχθρικό ζευγάρι απ' ό,τι οι χώρες X και Z . Εάν $c > 1$ συμπεραίνουμε ότι η χώρα Y αντιδρά με τη χώρα Z περισσότερο απ' ό,τι η X με τη Z .

Όταν το $\varepsilon = 0$, το σύστημα των τριών εξισώσεων μετατρέπεται στο προηγούμενο σύστημα με τις δύο εξισώσεις. Καθώς το ε αυξάνεται από το μηδέν, η σύζευξη μεταξύ των χωρών X και Y και της τρίτης χώρας Z γίνεται όλο και πιο σημαντική. Όταν το $\varepsilon = 1$, οι τρεις χώρες αλληλεπιδρούν εντελώς συμμετρικά μεταξύ τους. Η περιοχή όπου υπάρχει σταθερότητα μικραίνει σε εμβαδόν, καθώς το ε αυξάνεται. Ως εκ τούτου το συγκεκριμένο μοντέλο προτείνει ότι ένας τριπολικός κόσμος είναι πιο επικίνδυνος από έναν διπολικό.

ΜΕΡΟΣ ΤΡΙΤΟ

3 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

3.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το μέρος παίρνουμε το μοντέλο ανταγωνιστικών εξοπλισμών που ανέπτυξε ο Saperstein για δύο χώρες (το οποίο παρουσιάσαμε στο δεύτερο μέρος) και το αναλύουμε με τη βοήθεια του προγράμματος *E & F Chaos* (Diks et al., 2008), για το σχεδιασμό των διαφόρων διαγραμμάτων, μέσα από τα οποία γίνεται η προσομοίωση και η μελέτη του συστήματος μας. Πριν περάσουμε όμως στην ανάλυση του μοντέλου μας, θα ήταν χρήσιμο να δώσουμε κάποιους ορισμούς, που θα βοηθήσουν στην καλύτερη κατανόηση της διαδικασίας που θα ακολουθήσει.

3.1.1 Μαθηματικοί Ορισμοί

— Η **θεωρία του Χάους** μελετά τη συμπεριφορά ορισμένων μη γραμμικών δυναμικών συστημάτων, που είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα στις αρχικές συνθήκες. Μικρές διαφορές στις αρχικές συνθήκες (όπως αυτές που οφείλονται σε σφάλματα στρογγυλοποίησης σε αριθμητικούς υπολογισμούς) αποδίδουν πολύ διαφορετικά αποτελέσματα για τα δυναμικά συστήματα, καθιστώντας τη μακροπρόθεσμη πρόβλεψη αδύνατη σε γενικές γραμμές. Αυτό συμβαίνει παρ' όλο που αυτά τα συστήματα είναι αιτιοκρατικά ("ντετερμινιστικά"). Αυτό σημαίνει ότι η μελλοντική συμπεριφορά τους καθορίζεται πλήρως από τις αρχικές συνθήκες τους, χωρίς να εμπλέκονται τυχαίες παράμετροι. Με άλλα λόγια, η ντετερμινιστική φύση αυτών των συστημάτων δεν τα κάνει προβλέψιμα. Αυτή η συμπεριφορά είναι γνωστή ως ντετερμινιστικό χάος, ή απλά χάος. Αυτό συνοψίζεται από τον Edward Lorenz ως εξής: «*Χάος: Όταν το παρόν καθορίζει το μέλλον, αλλά η προσέγγιση του παρόντος δεν προσδιορίζει κατά προσέγγιση το μέλλον*». Χαστική συμπεριφορά μπορεί να παρατηρηθεί σε πολλά φυσικά συστήματα, όπως ο καιρός, η ατμόσφαιρα, το ηλιακό σύστημα, οι τεκτονικές πλάκες, τα οικονομικά συστήματα και η εξέλιξη (μεταβολή) των πληθυσμών.

— **Ευστάθεια**: είναι η βασική ιδιότητα που χαρακτηρίζει την λειτουργία ενός δυναμικού συστήματος. Όταν ένα σύστημα υποστεί μια διαταραχή και τείνει να επανέλθει σε μόνιμη κατάσταση λειτουργίας κοντά στην αρχική, χαρακτηρίζεται ως **ευσταθές**. Αντίθετα, χαρακτηρίζεται **ασταθές** όταν μετά από κάποια διαταραχή δεν επανέρχεται σε μόνιμη κατάσταση ή όταν η μόνιμη κατάσταση δεν είναι αποδεκτή.

— **Ελκυστής (attractor)** ονομάζεται το σταθερό σύνολο σημείων στο οποίο συγκλίνει η τροχιά με την πάροδο του χρόνου. Αν η τροχιά αποκλίνει από το σταθερό σύνολο, έχουμε **απωθητή (repellor)**. Είναι γνωστό ότι τα δυναμικά συστήματα μπορεί να έχουν περισσότερους από έναν ελκυστές.

— **Το διάγραμμα περιοχών σύγκλισης (basins of attraction)** είναι το σύνολο των αρχικών συνθηκών, που με την πάροδο του χρόνου, τείνουν στον ελκυστή (μετά από μία, δύο ή περισσότερες περιόδους). Έτσι, η ποιοτική συμπεριφορά με τη μεταβολή του χρόνου ενός δεδομένου συστήματος μπορεί να παρουσιάσει διαφορές ανάλογα με την αρχική κατάσταση της περιοχής σύγκλισης στην οποία βρίσκεται (π.χ. ελκυστές μπορεί να αντιστοιχούν σε περιοδικές, ημιπεριοδικές ή διαφορετικών τύπων χαοτικές συμπεριφορές). Όσον αφορά την περιοχή σύγκλισης, σαν περιοχή στον φασικό χώρο, έχει διαπιστωθεί ότι η βασική δομή των περιοχών αυτών μπορεί να διαφέρει σημαντικά από σύστημα σε σύστημα.

— Στα μαθηματικά, και συγκεκριμένα στα δυναμικά συστήματα, ένα **διάγραμμα διακλάδωσης (bifurcation diagram)** μας εμφανίζει τις πιθανές μακροπρόθεσμες τιμές ενός συστήματος ως συνάρτηση μιας παραμέτρου του συστήματος. Η παράμετρος αυτή που μεταβάλλουμε, ονομάζεται πaráμετρος διακλάδωσης. Επίσης, δείχνει τον τρόπο που οι ευσταθείς τροχιές αυξάνουν την περίοδό τους από 1 σε 2, από 2 σε 4, από 4 σε 8 κ.ο.κ. Δηλαδή κάθε ένα από αυτά τα σημεία αποτελεί ένα σημείο διακλάδωσης διπλασιασμού περιόδου και αντιστοιχεί στα μη υπερβολικά σημεία ισορροπίας. Στα σημεία διακλάδωσης, για μικρές μεταβολές της παραμέτρου, παρουσιάζονται ουσιώδεις μεταβολές των τροχιών στο χώρο καταστάσεων.

— Ένα **διάγραμμα φάσης (phase plot)**, για ένα συγκεκριμένο σύστημα, εξαρτάται από την αρχική κατάσταση του συστήματος, όπως και από αρκετές παραμέτρους. Σε ένα τέτοιο διάγραμμα παίρνουμε τροχιές που τείνουν να συναντηθούν σε ένα συγκεκριμένο σημείο, δηλαδή έναν ελκυστή. Όταν ένας ελκυστής καταλαμβάνει ολόκληρη επιφάνεια χωρίς συγκεκριμένη διάταξη, τότε λέμε ότι έχουμε την εμφάνιση ενός **παράξενου ελκυστή (strange attractor)**. Η ύπαρξη ενός παράξενου ελκυστή προκαλεί το απρόβλεπτο της συμπεριφοράς ενός συστήματος. Όσο η τιμή της παραμέτρου που επιδρά στο σύστημα αυξάνεται, η περίοδος διπλασιάζεται σε 4, μετά σε 8 και ο διπλασιασμός συνεχίζεται έως την εμφάνιση του χάους.

— Η μελέτη του φάσματος των **εκθετών Lyapunov** είναι από τα πλέον χρήσιμα εργαλεία για να αποφανθούμε αν ένα δυναμικό σύστημα είναι χαοτικό ή όχι. Εξ ορισμού ένα ντετερμινιστικό δυναμικό σύστημα είναι χαοτικό, όταν έχει τουλάχιστον ένα θετικό εκθέτη Lyapunov. Ένα δυναμικό σύστημα n -διαστάσεων έχει n εκθετες Lyapunov, που περιγράφουν την δράση της δυναμικής και προσδιορίζει την εξέλιξη των τροχιών στο χώρο των φάσεων. Οι εκθετες Lyapunov εκφράζουν τον μέσο ρυθμό σύγκλισης ή απόκλισης δυο γειτονικών τροχιών στο χώρο των φάσεων. Θετικός εκθέτης Lyapunov συνεπάγεται εκθετική απόκλιση δυο γειτονικών τροχιών και άρα απώλεια ικανότητας προβλεψιμότητας μετά από μικρό χρονικό διάστημα. Όσο μεγαλύτερος είναι ο εκθέτης Lyapunov σε μια περιοχή ενός δυναμικού συστήματος, τόσο μικρότερη είναι η προβλεψιμότητα σε αυτή την περιοχή.

3.2 Ανάλυση του μοντέλου μας με το πρόγραμμα E & F Chaos

Όπως είδαμε και στο δεύτερο μέρος, το μοντέλο ανταγωνιστικών εξοπλισμών του Saperstein για δύο χώρες X, Y αποτελείται από τις ακόλουθες δύο εξισώσεις:

$$X_{n+1} = 4aY_n(1 - Y_n)$$

$$Y_{n+1} = 4bX_n(1 - X_n)$$

όπου:

X_n : ο λόγος της προμήθειας εξοπλισμών της χώρας X προς το ΑΕΠ κατά το έτος n , δηλαδή η «αφοσίωση» της χώρας X στον πόλεμο κατά το έτος n και αντίστοιχα

Y_n : η «αφοσίωση» της χώρας Y στον πόλεμο κατά το έτος n

X_{n+1} : η «αφοσίωση» της χώρας X στον πόλεμο κατά το έτος $n+1$ και αντίστοιχα

Y_{n+1} : η «αφοσίωση» της χώρας Y στο πόλεμο κατά το έτος $n+1$

a, b : οι παράμετροι που καθορίζουν τον τρόπο που οι δύο ανταγωνιστικές χώρες αντιδρούν στις μεταξύ τους απειλητικές δραστηριότητες. Με άλλα λόγια, οι διαφορετικές πολιτικές που μπορούν να χρησιμοποιήσουν οι δύο χώρες X και Y . Για τις παραμέτρους a, b ισχύει: $0 < a, b < 1$. Από τον περιορισμό αυτό καταλαβαίνουμε ότι όσο πιο κοντά στο μηδέν είναι η παράμετρος, για παράδειγμα, a για τη χώρα X , τόσο πιο αμυντική πολιτική χρησιμοποιεί η χώρα X , ενώ όσο πιο κοντά στη μονάδα είναι η παράμετρος a , τόσο πιο επιθετική θα είναι η πολιτική της χώρας. Το ίδιο ισχύει και για την παράμετρο b της χώρας Y .

Θα πρέπει επίσης να ισχύει: $0 < X_n, Y_n, X_{n+1}, Y_{n+1} < 1$.

3.2.1 Αρχικές συνθήκες

Θέτουμε τις ακόλουθες αρχικές συνθήκες: $X_0 = 0,5, Y_0 = 0,5$. Με τη βοήθεια του προγράμματος *E & F Chaos*, αρχικά κατασκευάζουμε το διάγραμμα περιοχών σύγκλισης (basins of attraction) με τις παραμέτρους a και b να παίρνουν τιμές στο διάστημα $[0, 1]$. Πρώτο μας βήμα είναι να ορίσουμε τις διάφορες ζώνες με κώδικα χρωμάτων, όπως περιγράφεται στον Πίνακα 3-1.

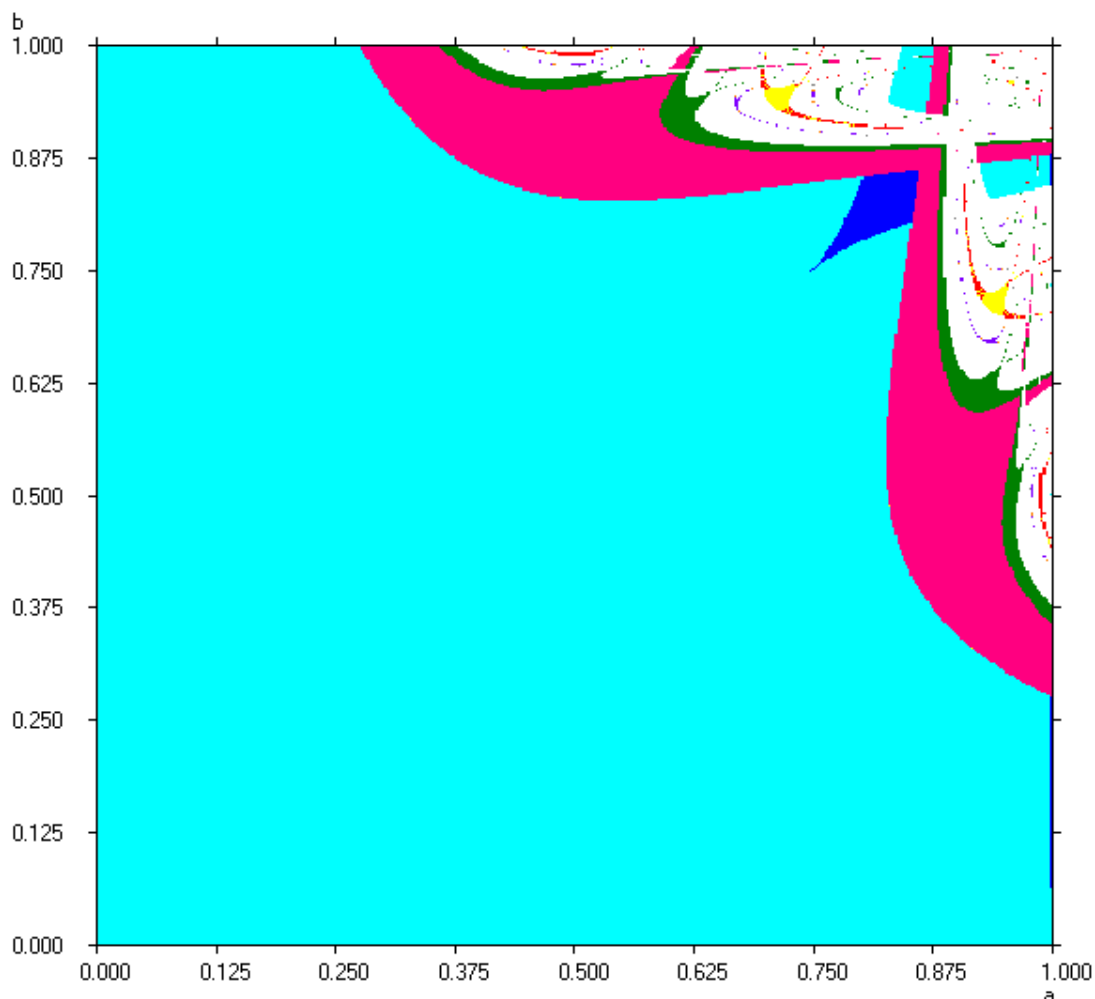
Χρώμα	Χαρακτηρισμός
Γαλάζιο	ελκυστής και σημείο ισορροπίας 1-περιόδου
Μπλε σκούρο	ελκυστής και σημείο ισορροπίας κύκλου 2-περιόδων
Κίτρινο	ελκυστής και σημείο ισορροπίας κύκλου 3-περιόδων
Ροζ	ελκυστής και σημείο ισορροπίας κύκλου 4-περιόδων
Πορτοκαλί	ελκυστής και σημείο ισορροπίας κύκλου 5-περιόδων
Κόκκινο	ελκυστής και σημείο ισορροπίας κύκλου 6-περιόδων
Ανοιχτό πράσινο	ελκυστής και σημείο ισορροπίας κύκλου 7-περιόδων
Σκούρο πράσινο	ελκυστής και σημείο ισορροπίας κύκλου 8-περιόδων
Γκρι	ελκυστής και σημείο ισορροπίας κύκλου 9-περιόδων
Μοβ	ελκυστής και σημείο ισορροπίας κύκλου 10-περιόδων
Λευκό	Μη περιοδικότητα
Μαύρο	Μη ρεαλιστικές περιοχές

Πίνακας 3-1 Κώδικας χρωμάτων περιοχών σύγκλισης.

Παρατηρούμε από το διάγραμμα που προκύπτει (Εικόνα 3-1), ότι:

- Για τιμές των a και b μεταξύ 0 και (περίπου) 0,75, βρισκόμαστε στη γαλάζια περιοχή που σημαίνει ότι υπάρχει ελκυστής και σημείο ισορροπίας πρώτης περιόδου.
- Για $0,75 < a < 0,83$ και για $0,75 < b < 0,83$ έχουμε μια μικρή περιοχή διπλάσιας περιόδου (μπλε σκούρο).
- Για $0,27 < a < 1$ και $0,83 < b < 1$ βλέπουμε ότι εμφανίζεται η περιοχή τετραπλάσιας περιόδου (ροζ) και στη συνέχεια έχουμε μια μικρή περιοχή οκταπλάσιας περιόδου (σκούρο πράσινο). Μετά από την περιοχή οκταπλάσιας περιόδου, εμφανίζεται η λευκή περιοχή όπου έχουμε μη περιοδική συμπεριφορά. Παράλληλα, εντός της λευκής περιοχής παρατηρούμε ότι υπάρχουν πολλές μικρές περιοχές ανώτερων περιόδων καθώς και μια μικρή περιοχή $1^{η}$ ς περιόδου.

Αξίζει να σημειωθεί ότι το διάγραμμα περιοχών σύγκλισης είναι συμμετρικό ως προς τη διαγώνιο, γι' αυτό και το σύστημα έχει παρόμοιες συμπεριφορές για αντίστοιχες τιμές των a και b .



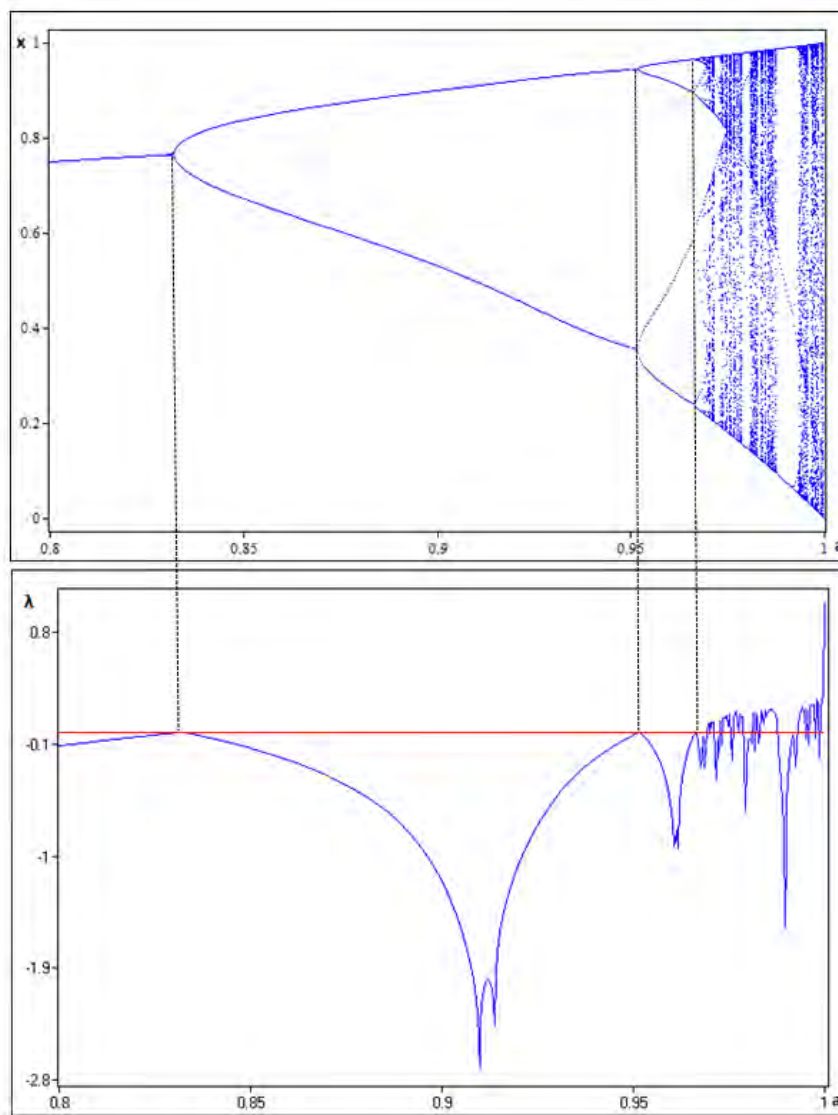
Εικόνα 3-1 Διάγραμμα περιοχών σύγκλισης στις αρχικές συνθήκες

Παρακάτω απεικονίζεται το διάγραμμα διακλάδωσης μαζί με το διάγραμμα του εκθέτη Lyapunov για διάφορες τιμές της παραμέτρου a στο διάστημα $0,8 < a < 1$ (Εικόνα 3-2). Από τα διαγράμματα αυτά παρατηρούμε ότι :

- Για $a < 0,83$ το σύστημα βρίσκεται σε ισορροπία (και γι' αυτό δεν απεικονίζεται στα διαγράμματα). Για την τιμή $a = 0,83$ εμφανίζεται διακλάδωση διπλάσιας περιόδου. Άρα στο σύστημα μας έχουμε δύο σημεία ισορροπίας και σε εκείνο το σημείο ο εκθέτης Lyapunov είναι ίσος με μηδέν. Για την τιμή $a = 0,95$ έχουμε διακλάδωση τέταρτης περιόδου (δηλαδή τέσσερα σημεία ισορροπίας) και για $a = 0,96$ διακλάδωση όγδοης περιόδου (οκτώ σημεία ισορροπίας). Για εκείνες τις τιμές της παραμέτρου για τις οποίες η συμπεριφορά των λύσεων του συστήματος δεν είναι χαοτική, ο εκθέτης Lyapunov είναι αρνητικός και οι τροχιές συγκλίνουν πάντα μεταξύ τους. Η προβλέψεις του συστή-

ματος για αυτές τις τιμές της παραμέτρου είναι εφικτές για άπειρο χρονικό διάστημα.

- Για τιμές του a για τις οποίες η συμπεριφορά των λύσεων είναι χαοτική, ο εκθέτης Lyapunov γίνεται θετικός. Για αυτές τις τιμές της παραμέτρου η προβλεψιμότητα του συστήματος γίνεται αδύνατη μετά από μικρό χρονικό διάστημα). Η μέγιστη τιμή του δείκτη Lyapunov είναι περίπου ίση με 1, για $a = 0,99$. Αυτό σημαίνει ότι για τη συγκεκριμένη τιμή της παραμέτρου έχουμε τη μικρότερη δυνατότητα προβλεψιμότητας για το σύστημα.



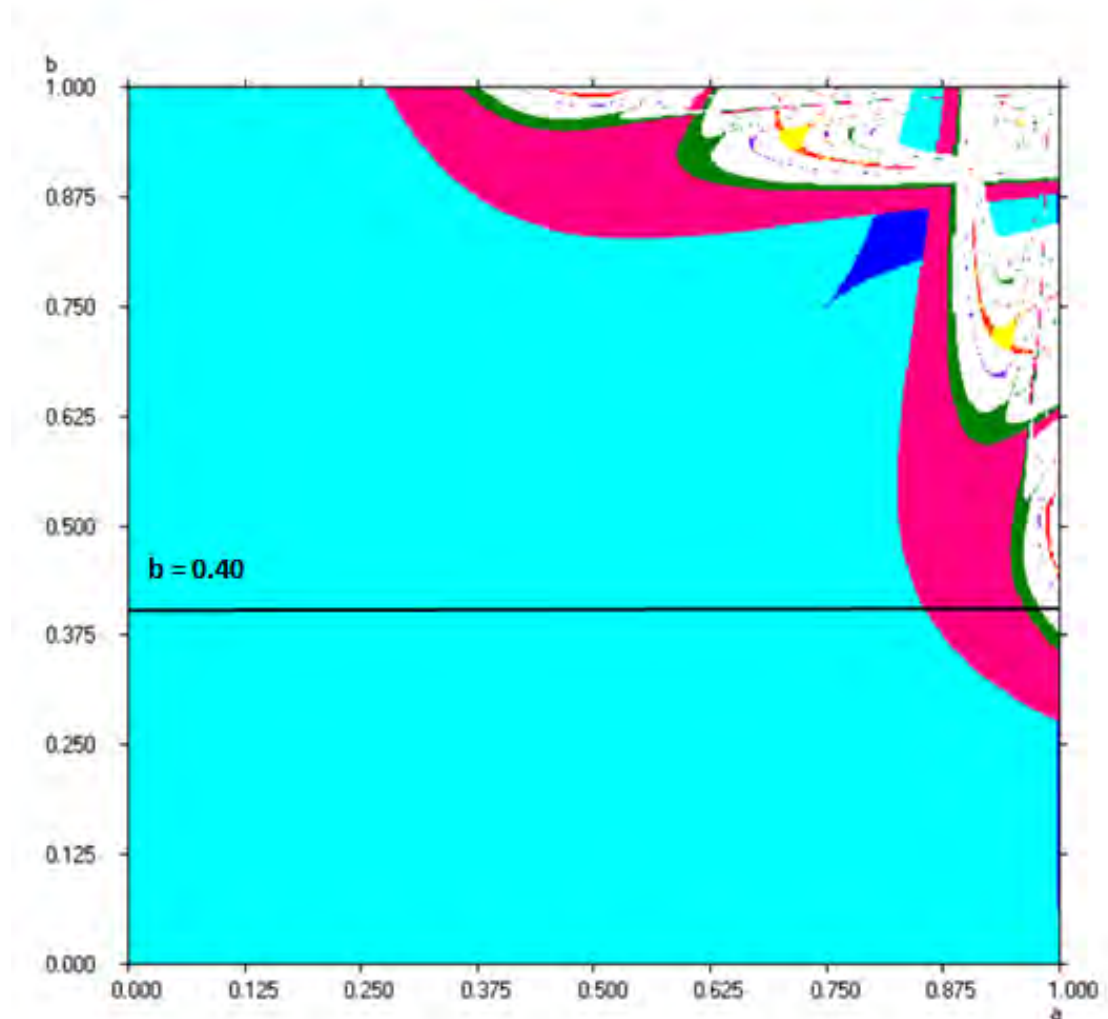
Εικόνα 3-2 Διάγραμμα διακλάδωσης (άνω) και διάγραμμα του εκθέτη Lyapunov (κάτω) για $0 < a < 1$.

Από τα παραπάνω διαγράμματα συμπεραίνουμε, ότι όταν οι παράμετροι a και b , που αντιπροσωπεύουν τις πολιτικές των δύο χωρών, παίρνουν τιμές που βρίσκονται στη

γαλάζια περιοχή (περιοχή ευστάθειας), οι δύο χώρες συνυπάρχουν χωρίς να υπάρχει ο κίνδυνος ενός ενδεχόμενου πολέμου, γιατί εδώ η δυνατότητα προβλεψιμότητας είναι αρκετά υψηλή. Το ίδιο συμβαίνει στην μικρή μπλε περιοχή, στη ροζ και στην πράσινη. Σε όλες αυτές τις περιοχές, οι πολιτικές των δύο χωρών είναι είτε αμυντικές, είτε επιθετικές, και δεν υπάρχει ο κίνδυνος να ξεσπάσει πόλεμος.

Δεν συμβαίνει όμως το ίδιο για τιμές του a και b που βρίσκονται μέσα στη λευκή περιοχή (περιοχή μη περιοδικότητας). Όταν βρισκόμαστε μέσα στη λευκή περιοχή, υπάρχει μεγάλη πιθανότητα για τις δύο χώρες να καταλήξουν σε πόλεμο. Αυτό συμβαίνει γιατί, όπως μπορούμε να δούμε και από το διάγραμμα του δείκτη Lyapunov στη συγκεκριμένη περιοχή, ο δείκτης είναι θετικός, άρα στο σύστημα μας επικρατεί χαοτική συμπεριφορά, η δυνατότητα προβλεψιμότητας δεν είναι υψηλή. Οι χώρες βρίσκονται λίγο πριν το σημείο όπου μπορεί να ξεσπάσει ο πόλεμος γιατί δεν μπορεί να γίνει καμία ασφαλής πρόβλεψη για τους εξοπλισμούς. Αυτή η κατάσταση είναι αποτέλεσμα, είτε επειδή μια από τις δύο χώρες χρησιμοποιεί ακραία επιθετική πολιτική (a ή b πολύ κοντά στη μονάδα), είτε χρησιμοποιούν και οι δύο (a και b πολύ κοντά στη μονάδα).

Στη συνέχεια, επιλέξαμε κάποιες χαρακτηριστικές τιμές για την παράμετρο b (που τη διατηρούμε σταθερή) με σκοπό να δούμε τι συμβαίνει στο σύστημα καθώς μεταβάλλεται μόνο η παράμετρος a .

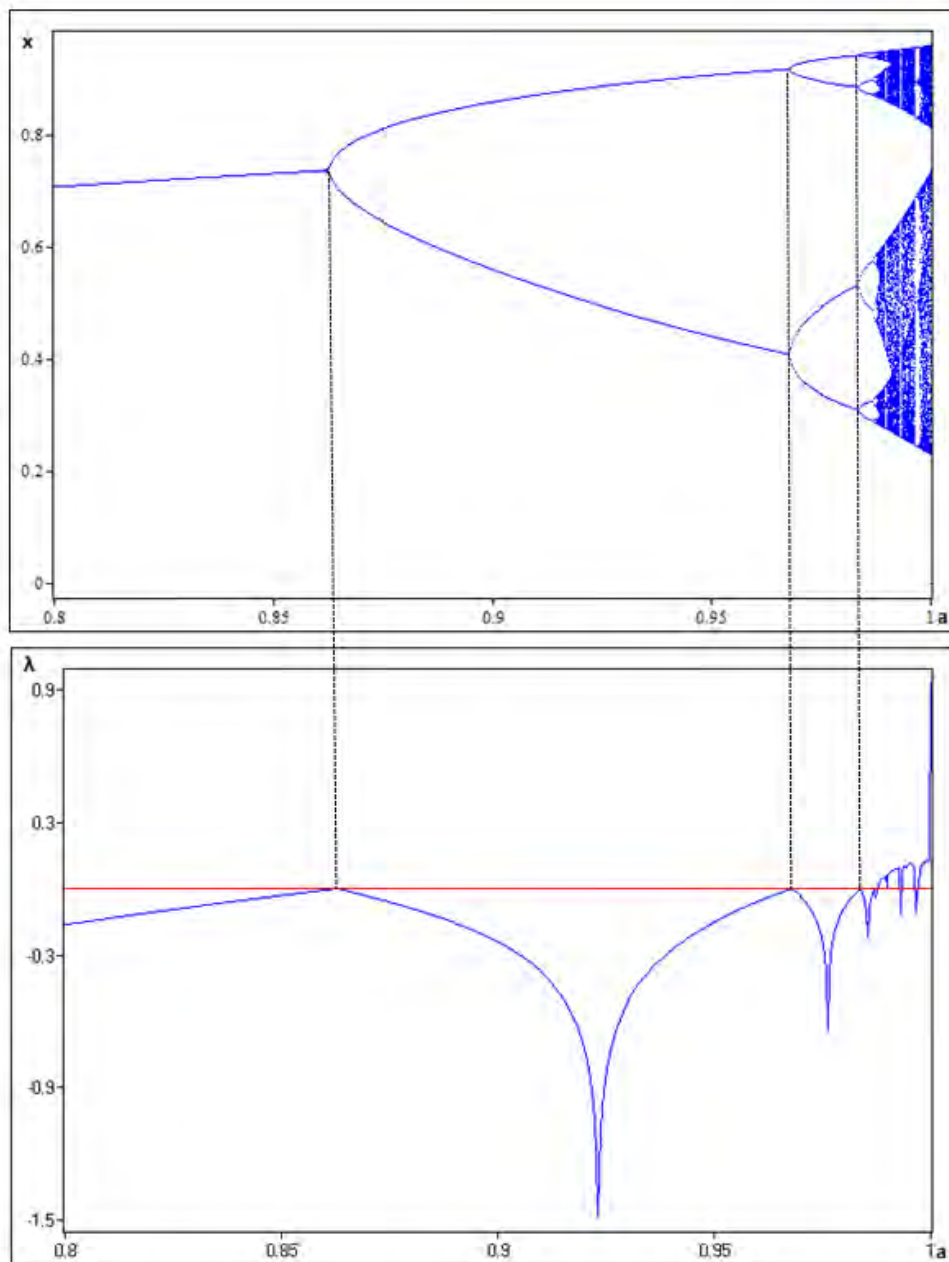
3.2.2 1^η περίπτωση: $b = 0,4$ 

Εικόνα 3-3 Διάγραμμα περιοχών σύγκλισης και η ευθεία $b = 0,40$

Σε αυτή την περίπτωση παρατηρούμε ότι καθώς αυξάνεται η τιμή της παραμέτρου a , εκτός από τη γαλάζια περιοχή (σημεία πρώτης περιόδου), εμφανίζεται και η ροζ περιοχή τέταρτης περιόδου, καθώς και μια μικρή περιοχή όγδοης περιόδου. Για τιμές του a πάρα πολύ κοντά στη μονάδα έχουμε τη λευκή περιοχή μη περιοδικότητας. Πιο συγκεκριμένα, όταν η παράμετρος a ισούται με 0,96 έχουμε τετραπλασιασμό της περιόδου και όταν το a ισούται με 0,98 έχουμε την εμφάνιση περιοχής όγδοης περιόδου. Σε αυτές τις τιμές ο δείκτης Lyapunov είναι ίσος με το μηδέν. Η μέγιστη τιμή του εκθέτη Lyapunov σε αυτή την περίπτωση είναι 0,95 όταν $a = 0,99$ που σημαίνει και πάλι ότι σε αυτό το σημείο έχουμε τη λιγότερη προβλεψιμότητα. Τα παραπάνω μπο-

ρούμε να τα δούμε και γραφικά στα διαγράμματα διακλάδωσης και του εκθέτη Lyapunov.

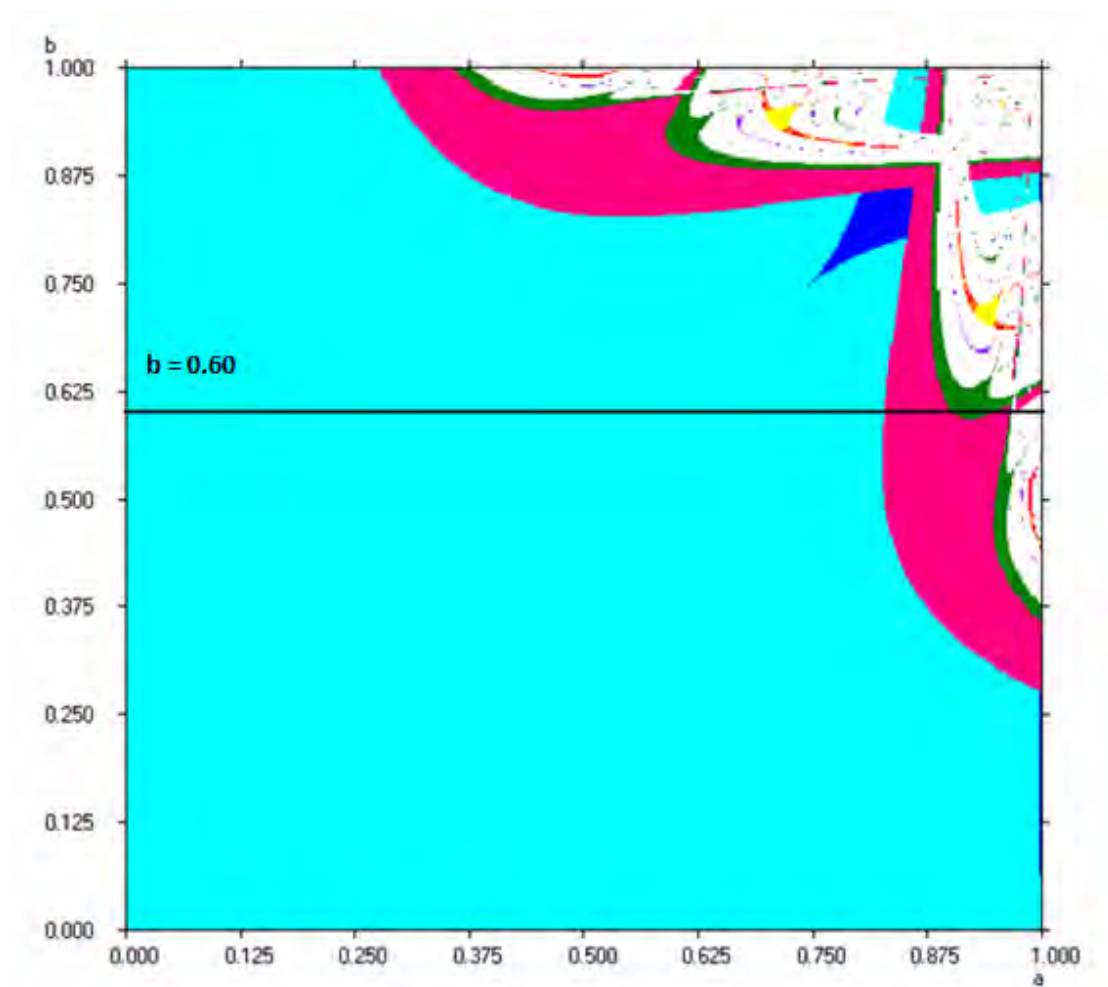
Εδώ η πολιτική της χώρας Y παραμένει η ίδια (αμυντική) ακόμα και αν η πολιτική της χώρας X αλλάζει. Έτσι οι δύο χώρες για αρκετές διαφορετικές πολιτικές της χώρας X , παρουσιάζουν μη χαοτική συμπεριφορά, που σημαίνει ότι δεν υπάρχει κίνδυνος να ξεσπάσει πόλεμος. Μόνο για τιμές της παραμέτρου a πολύ κοντά στη μονάδα (ακραία επιθετική πολιτική) υπάρχει ο κίνδυνος να ξεσπάσει πόλεμος.



Εικόνα 3-4 Διάγραμμα διακλάδωσης (άνω) και διάγραμμα εκθέτη Lyapunov (κάτω) για $0,80 < a < 1$.

3.2.3 2^η περίπτωση: $b = 0,60$

Όταν η παράμετρος b είναι ίση με 0,60 βλέπουμε ότι για τιμές της παραμέτρου a από 0 έως 0,83 βρισκόμαστε στη γαλάζια περιοχή πρώτης περιόδου, όπου το σύστημα βρίσκεται σε ισορροπία. Για $a > 0,83$, παρατηρούμε ότι εμφανίζεται η ροζ περιοχή την τέταρτης περιόδου, έπειτα μια πολύ μικρή περιοχή όγδοης περιόδου, που συνεχίζεται ξανά με μια μικρή περιοχή τέταρτης περιόδου και τέλος πάλι μια αρκετά μικρή περιοχή όγδοης περιόδου, που καταλήγει στη λευκή περιοχή μη περιοδικότητας, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα περιοχών σύγκλισης.

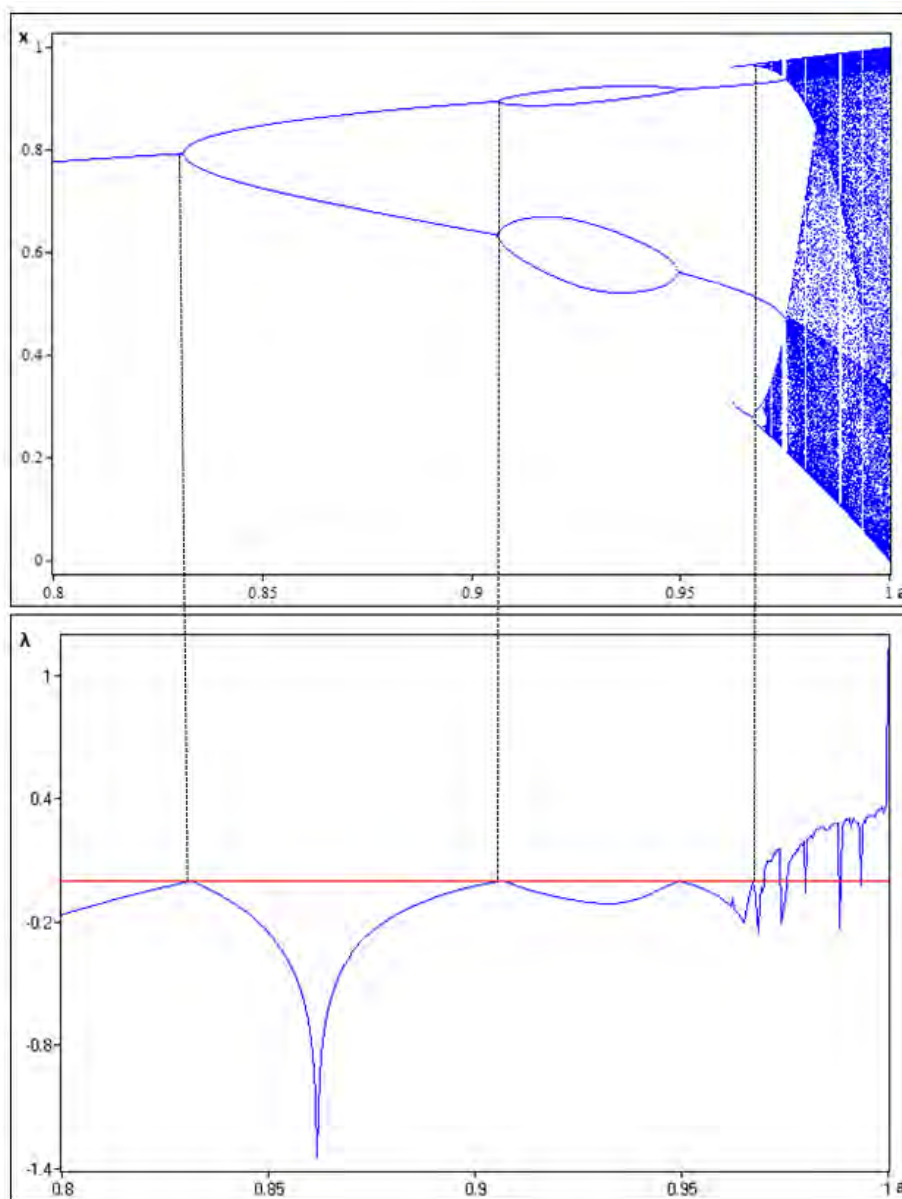


Εικόνα 3-5 Διάγραμμα περιοχών σύγκλισης και η ευθεία $b = 0,60$.

Από τα διαγράμματα διακλάδωσης και του εκθέτη Lyapunov (Εικόνα 3-6) παρατηρούμε ότι όταν $a < 0,83$ το σύστημα παρουσιάζει μη χαοτική συμπεριφορά και ο δείκτης Lyapunov είναι αρνητικός. Όταν $a = 0,83$, τότε έχουμε διακλάδωση και διπλασιασμό της περιόδου και ο δείκτης Lyapunov ισούται με το μηδέν. Όταν $a = 0,90$ έχουμε την περιοχή της τέταρτης περιόδου, για $a = 0,94$ εμφανίζεται ξανά η περιοχή

δεύτερης περιόδου και για $a = 0,96$ έχουμε και πάλι περιοχή τέταρτης περιόδου. Για $a \geq 0,97$ έχουμε μη-περιοδικότητα και οδηγούμαστε σε χάος. Εδώ, η μέγιστη τιμή του δείκτη Lyapunov, όπου έχουμε και τη μικρότερη δυνατότητα προβλεψιμότητας, είναι 1,15 για $a = 0,99$.

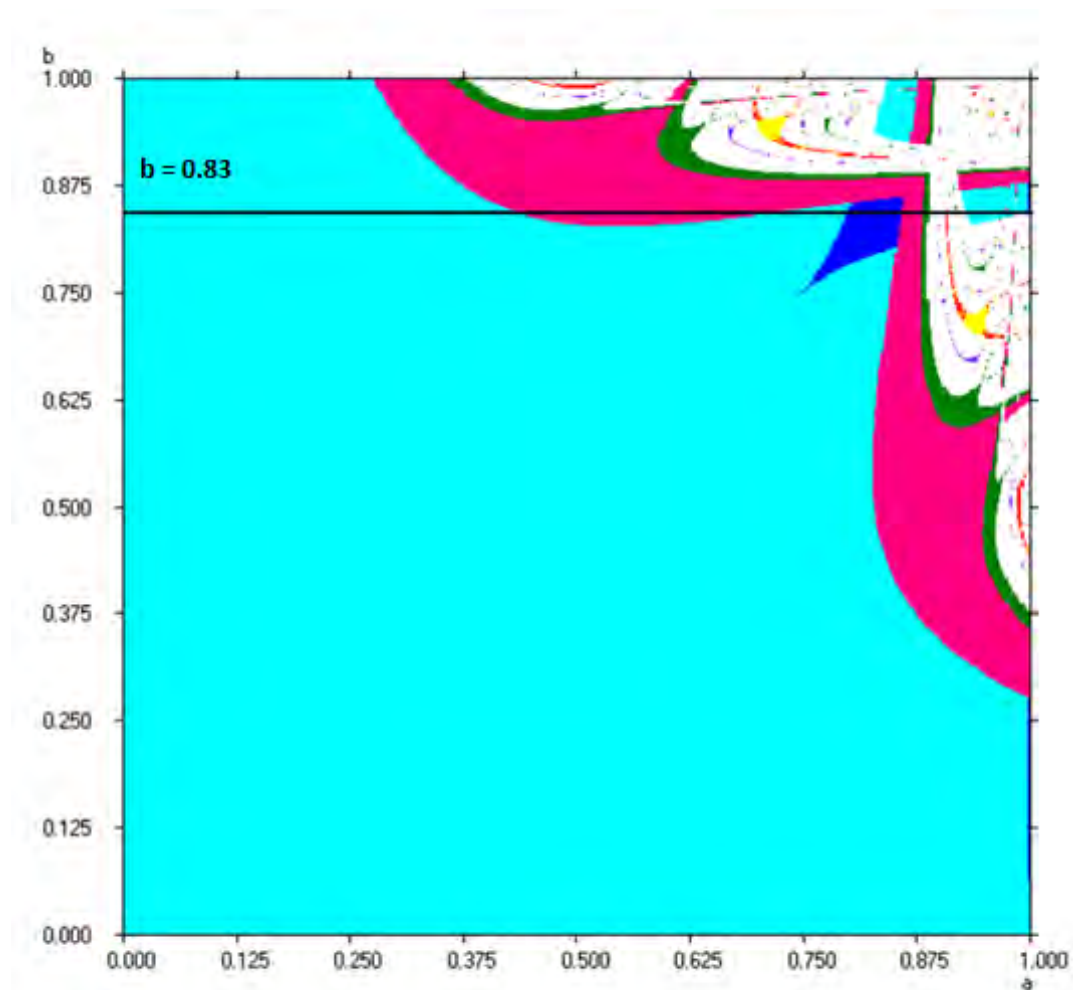
Σε αυτήν την περίπτωση, που έχουμε σταθερή την πολιτική της χώρας Y (μερικώς επιθετική), μπορούμε και πάλι να πούμε ότι οι δύο χώρες συνυπάρχουν χωρίς να υπάρχει κάποια ένδειξη ότι μπορεί να ξεσπάσει πόλεμος. Μόνο όταν η πολιτική της χώρας X γίνει ακραία επιθετική ($a \geq 0,97$) τότε είμαστε πάρα πολύ κοντά στο να ξεσπάσει πόλεμος μεταξύ των δύο χωρών.



Εικόνα 3-6 Διάγραμμα διακλάδωσης (άνω) και διάγραμμα εκθέτη Lyapunov (κάτω) για $0,80 < a < 1$.

3.2.4 3^η περίπτωση: $b = 0,83$

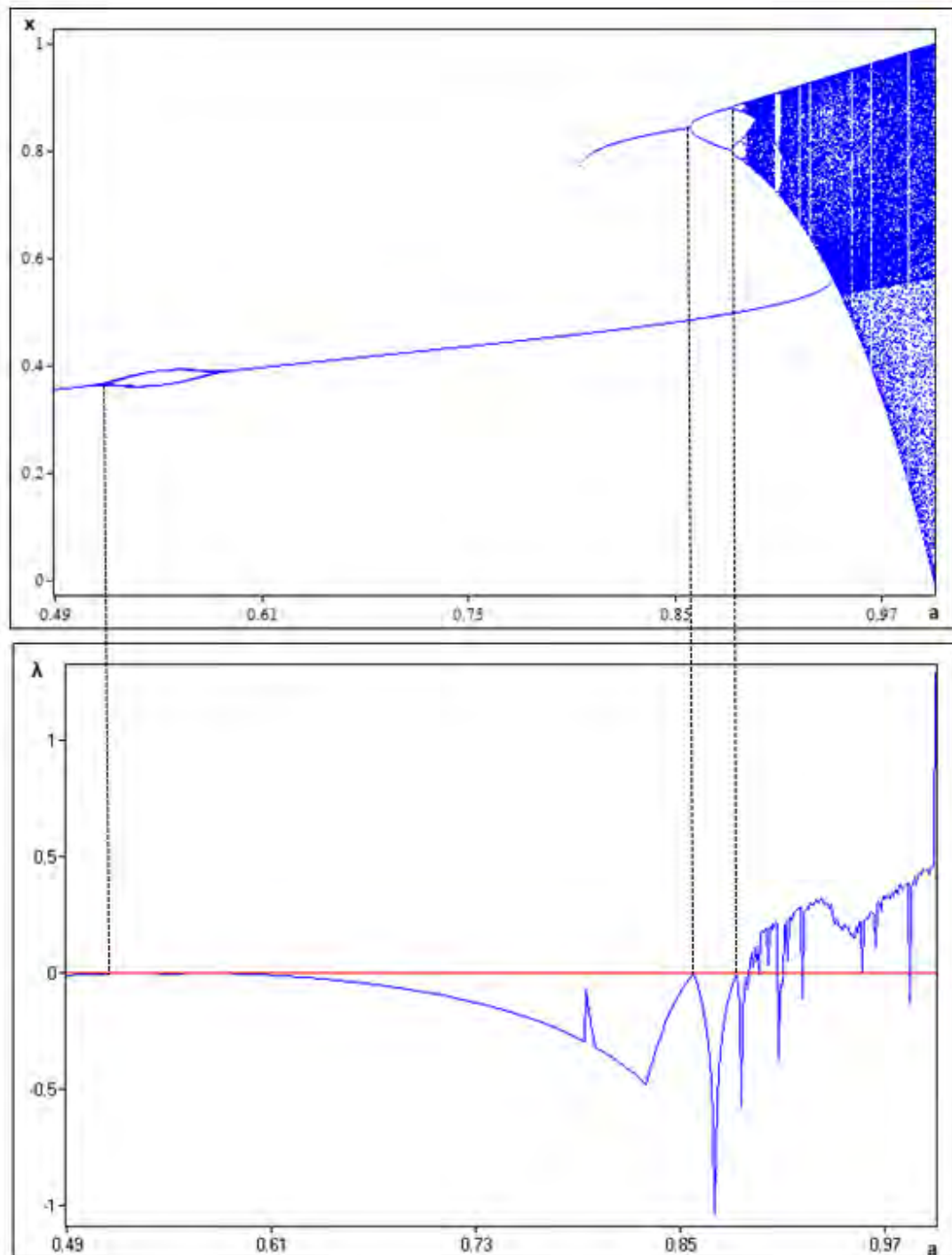
Όταν η παράμετρος b παίρνει μεγάλες τιμές, όπως συμβαίνει στη συγκεκριμένη περίπτωση, παρατηρούμε ότι το διάστημα τιμών της παραμέτρου a , όπου δεν έχουμε χαοτική συμπεριφορά, γίνεται όλο και πιο μικρό (γαλάζια περιοχή). Μετά τη γαλάζια περιοχή, παρατηρούμε ότι μπαίνουμε για ένα μικρό διάστημα στην περιοχή τέταρτης περιόδου. Αμέσως μετά έχουμε ένα πολύ μικρό διάστημα στην περιοχή πρώτης περιόδου, που ακολουθείται από μια περιοχή διπλάσιας περιόδου (μπλε περιοχή). Έπειτα εμφανίζεται πάλι η περιοχή τέταρτης περιόδου και μετά από μια πολύ μικρή περιοχή όγδοης περιόδου, εμφανίζεται η λευκή περιοχή μη περιοδικότητας.



Εικόνα 3-7 Διάγραμμα περιοχών σύγκλισης και η ευθεία $b = 0,83$.

Πιο συγκεκριμένα από το διάγραμμα διακλάδωσης και το διάγραμμα του εκθέτη Lyapunov, βλέπουμε ότι καθώς αυξάνεται η παράμετρος a στην τιμή $a = 0,5$ εμφανίζεται η δεύτερη περίοδος. Όταν $a = 0,85$ έχουμε την εμφάνιση της περιοχής τρίτης

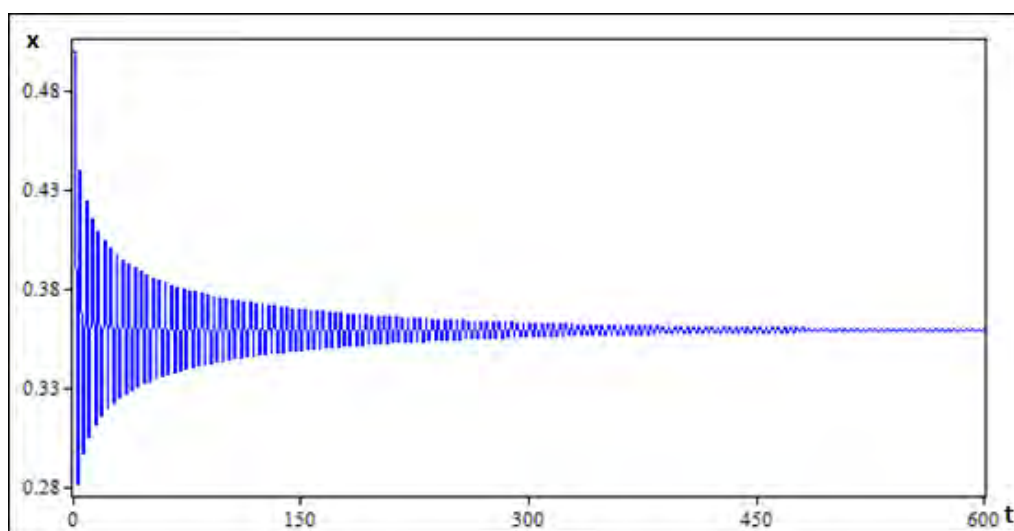
περιόδου. Για $a = 0,88$ εμφανίζεται η περιοχή τέταρτης περιόδου. Η μέγιστη τιμή του εκθέτη Lyapunov σε αυτή την περίπτωση είναι 1,3 για $a = 0,99$.



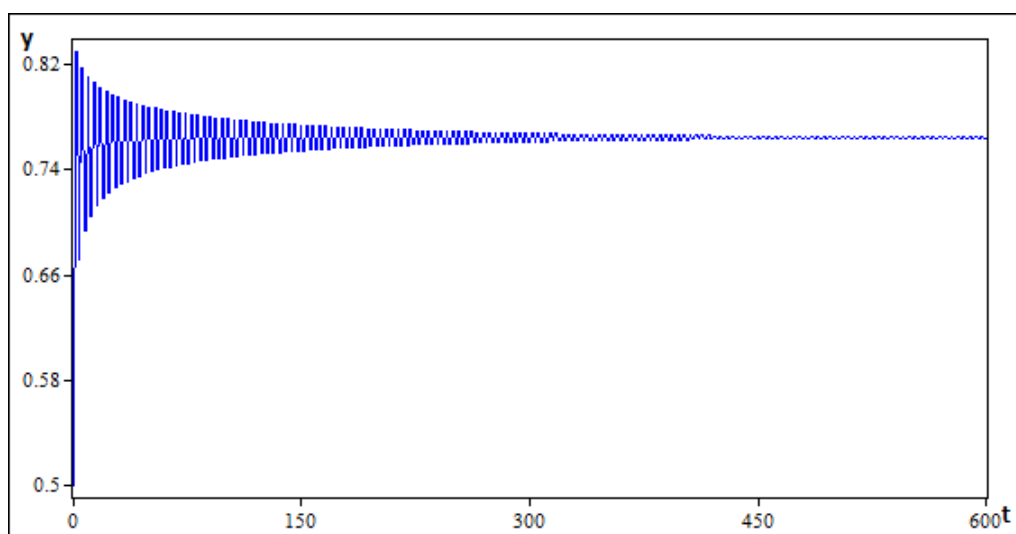
Εικόνα 3-8 Διάγραμμα διακλάδωσης (άνω) και διάγραμμα εκθέτη Lyapunov (κάτω) για $0,49 < a < 1$.

Όταν $b = 0,83$ η χώρα Y χρησιμοποιεί επιθετική πολιτική για τη χώρα X . Σε αυτή την περίπτωση, η λευκή περιοχή μη περιοδικότητας είναι μεγαλύτερη, που σημαίνει ότι για περισσότερες, διαφορετικές, επιθετικές πολιτικές της χώρας X , το σύστημα βρίσκεται σε χαοτική συμπεριφορά και υπάρχει κίνδυνος να ξεσπάσει πόλεμος.

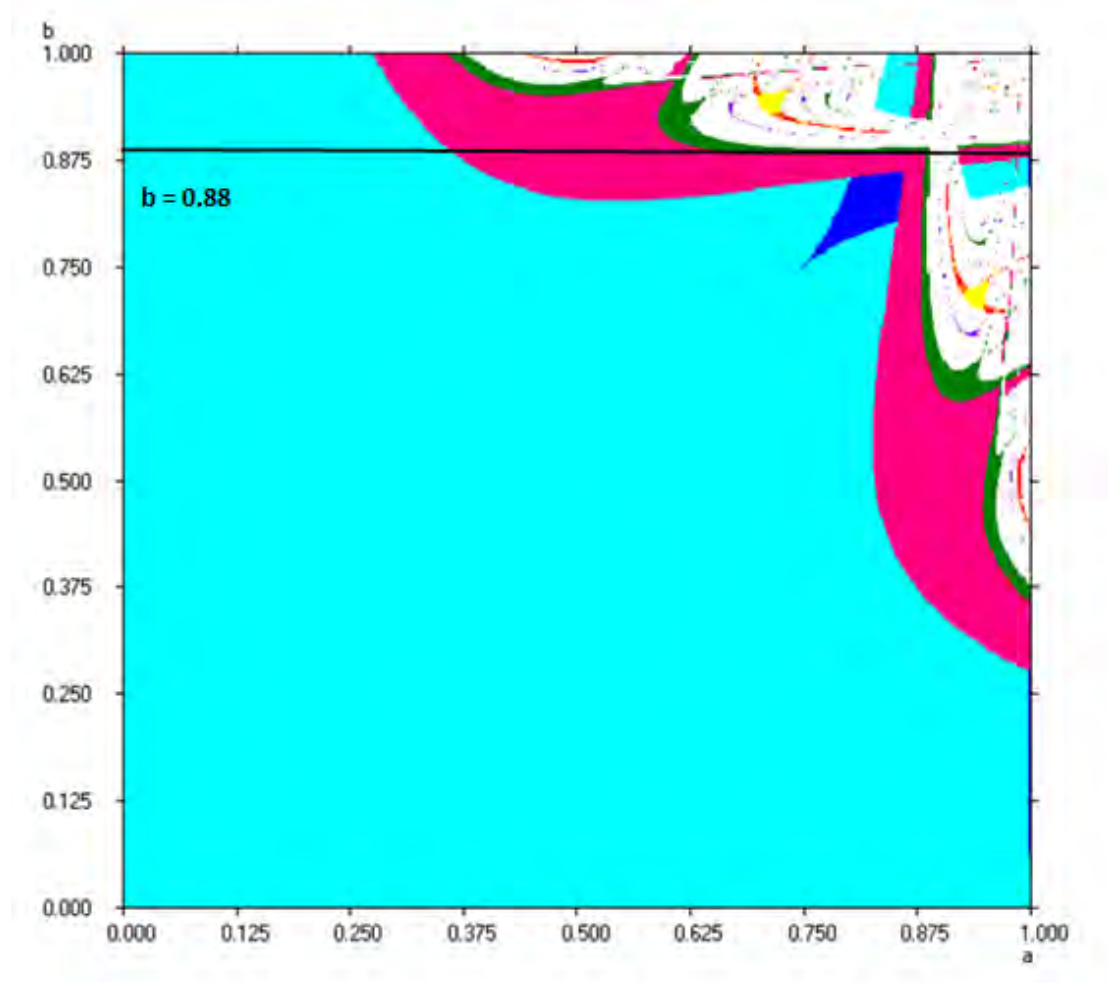
Παρακάτω παρουσιάζουμε και το διάγραμμα χρονολογικών σειρών του x και y για $b = 0,83$ και $a = 0,50$ (Εικόνες 3-9 και 3-10). Παρατηρούμε ότι σε αυτή την περίπτωση, καθώς ο χρόνος αυξάνεται, το σύστημα μας τείνει σε ένα σημείο ισορροπίας ($x = 0,36$, $y = 0,77$). Το σημείο αυτό είναι ο ελκυστής, όπου το σύστημά μας φτάνει σε αυτό το σημείο και παραμένει εκεί.



Εικόνα 3-9 Διάγραμμα χρονολογικών σειρών για τη χώρα X



Εικόνα 3-10 Διάγραμμα χρονολογικών σειρών για τη χώρα Y

3.2.5 4^η περίπτωση: $b = 0,88$ 

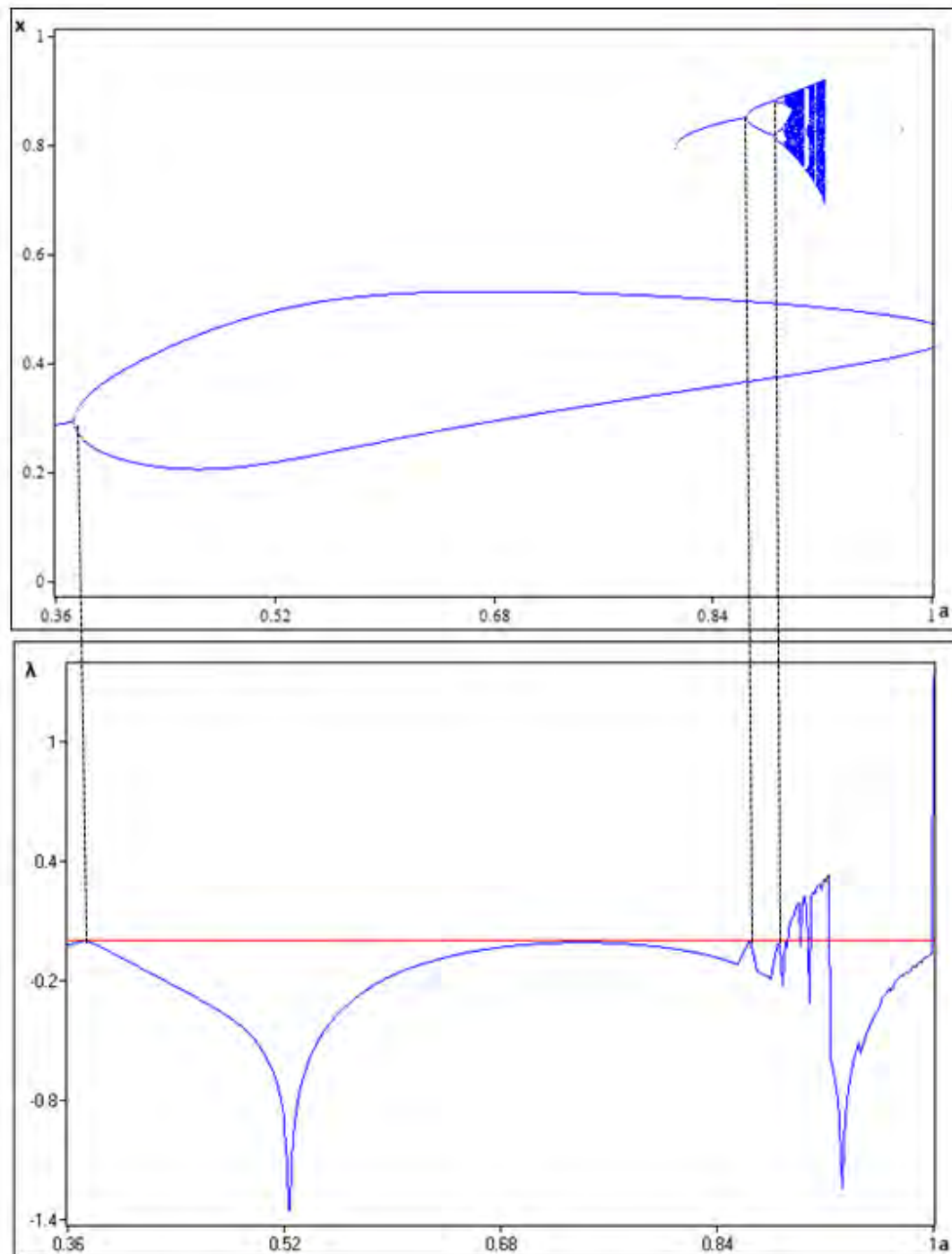
Εικόνα 3-11 Διάγραμμα περιοχών σύγκλισης και η ευθεία $b = 0,88$.

Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά που παρατηρήσαμε στην 3^η περίπτωση τα συναντάμε, σε γενικές γραμμές, και σε αυτή την περίπτωση, που η παράμετρος b παίρνει μια αρκετά υψηλή τιμή (Εικόνα 3-11).

Συνοπτικά, βλέπουμε ότι η περιοχή που το σύστημα παρουσιάζει μη χαοτική συμπεριφορά μικραίνει. Στη συνέχεια έχουμε την περιοχή τέταρτης περιόδου (ροζ χρώμα) που ακολουθείται από την περιοχή όγδοης περιόδου (πράσινο χρώμα) και τέλος από τη λευκή περιοχή, όπου υπάρχουν μικρές περιοχές ανώτερων περιόδων.

Από τα διαγράμματα διακλάδωσης και εκθέτη Lyapunov (Εικόνα 3-12) παρατηρούμε ότι όταν $a = 0,37$ έχουμε την εμφάνιση της δεύτερης περιόδου, όταν $a = 0,86$ εμφανίζεται η τέταρτη περίοδος και όταν $a = 0,88$ έχουμε μη περιοδικότητα. Στα σημεία αυ-

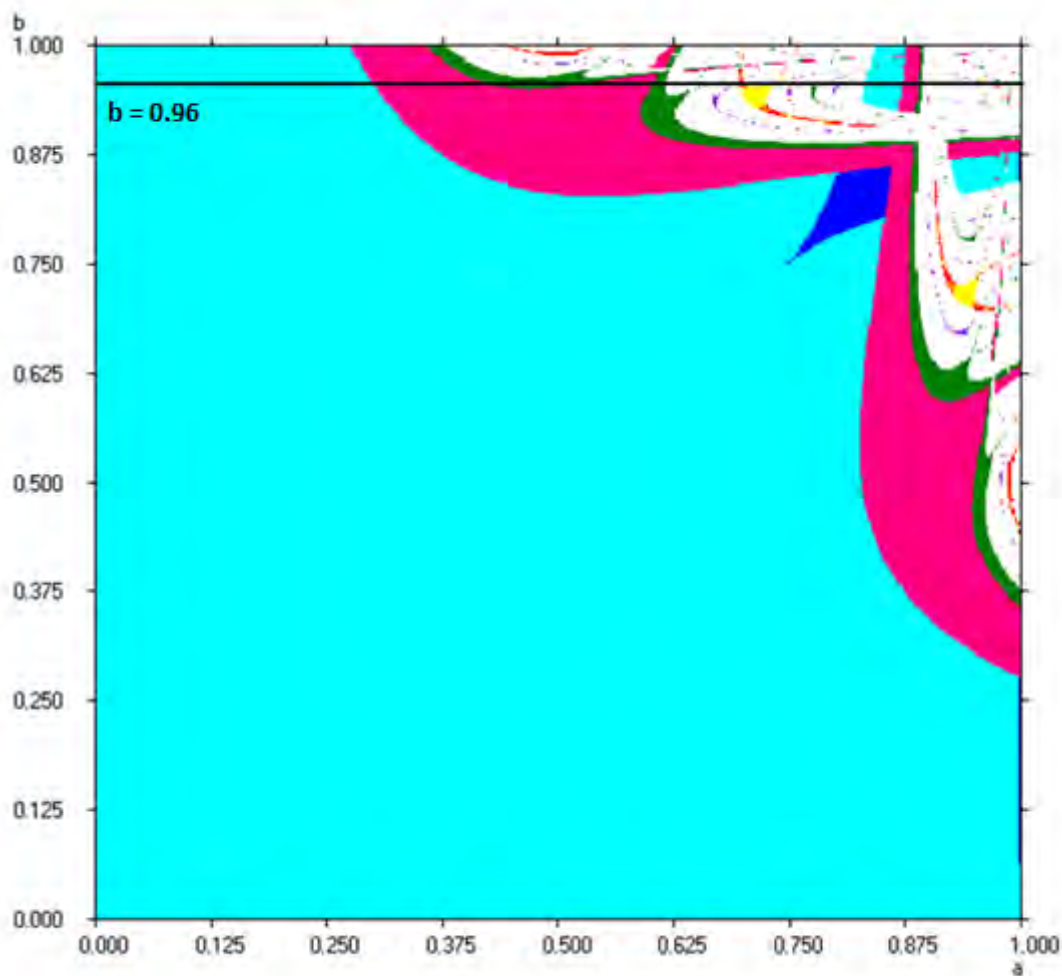
τά ο εκθέτης Lyapunov είναι ίσος με το μηδέν. Η μέγιστη τιμή του εκθέτη Lyapunov είναι 1,3 για $a = 0,99$.



Εικόνα 3-12 Διάγραμμα διακλάδωσης (άνω) και διάγραμμα εκθέτη Lyapunov (κάτω) για $0,36 < a < 1$.

Συμπερασματικά, σε αυτή την περίπτωση που έχουμε μια επιθετική πολιτική από τη μεριά της χώρας Y , τα πράγματα είναι παρόμοια με την προηγούμενη περίπτωση. Η λευκή περιοχή μη περιοδικότητας ξεκινά πάλι από το $a = 0,88$ που σημαίνει ότι έχουμε και από τη μεριά της χώρας X επιθετική πολιτική. Το σύστημα από το σημείο αυτό και μετά παρουσιάζει χαοτική συμπεριφορά, η δυνατότητα προβλεψιμότητας είναι αρκετά μικρή και το ενδεχόμενο να ξεσπάσει πόλεμος είναι πιθανό.

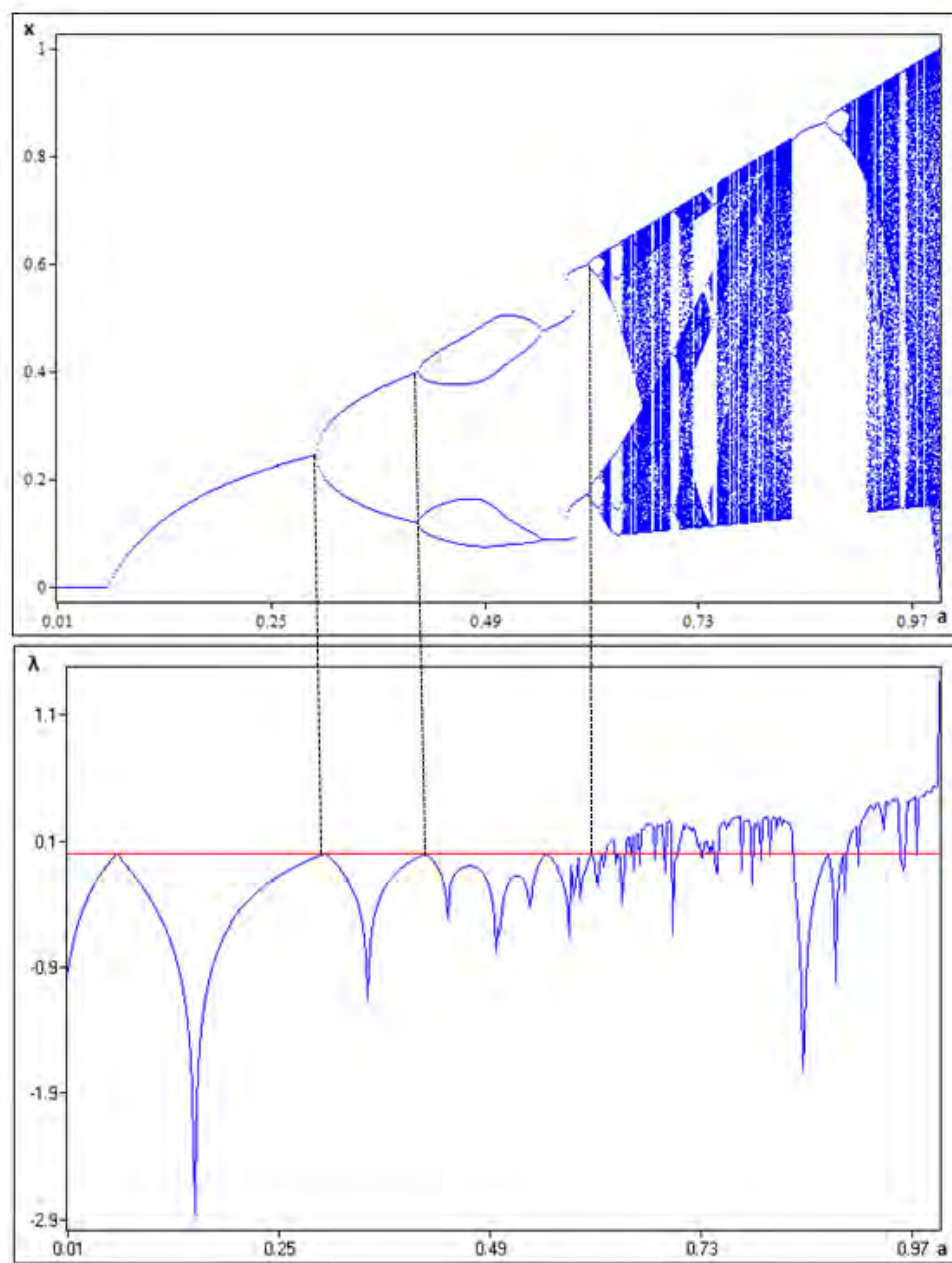
3.2.6 5^η περίπτωση: $b = 0,96$



Εικόνα 3-13 Διάγραμμα περιοχών σύγκλισης και η ευθεία $b = 0,96$.

Όταν $b=0,96$, δηλαδή μια τιμή πολύ κοντά στη μονάδα, η περιοχή, όπου το σύστημα δεν παρουσιάζει χαοτική συμπεριφορά (γαλάζια περιοχή), γίνεται ακόμα πιο μικρή. Συνεχίζει να υπάρχει μια περιοχή τέταρτης περιόδου, καθώς και μια μικρή περιοχή όγδοης περιόδου. Αυτό που είναι σημαντικό να παρατηρήσουμε είναι ότι η λευκή περιοχή της μη περιοδικότητας είναι ακόμα πιο μεγάλη, καθώς αυξάνεται και η τιμή της

παραμέτρου a . Μπορούμε να δούμε στο διάγραμμα διακλάδωσης και στο διάγραμμα του εκθέτη Lyapunov, ότι για $a = 0,30$ έχουμε διακλάδωση δεύτερης περιόδου, για $a = 0,41$ διακλάδωση τέταρτης περιόδου και για $a = 0,60$ διακλάδωση όγδοης περιόδου. Ακολουθεί η περιοχή μη περιοδικότητας μέσα στη οποία εκτός από περιοχές ανώτατων περιόδων έχουμε και μια μικρή περιοχή μη χασοτικής συμπεριφοράς.

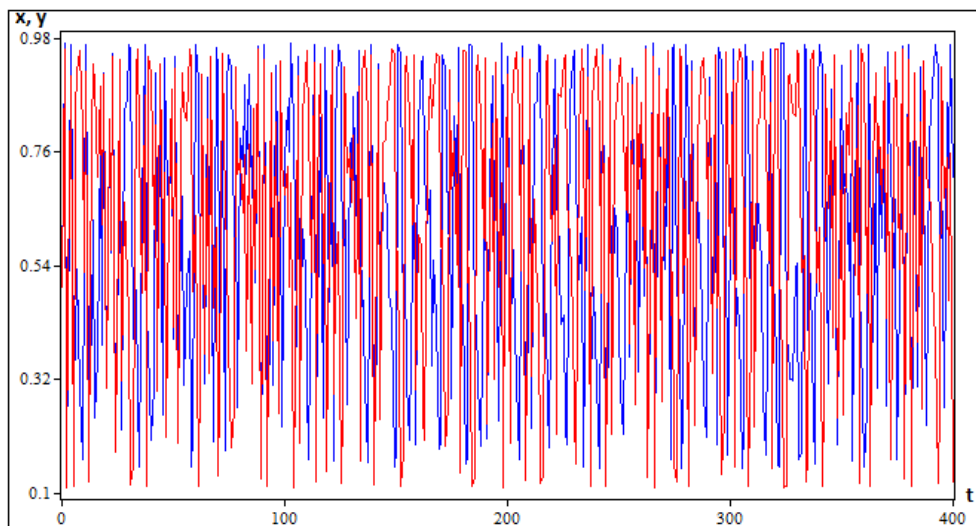


Εικόνα 3-14 Διάγραμμα διακλάδωσης (άνω) και διάγραμμα εκθέτη Lyapunov (κάτω) για $0 < a < 1$.

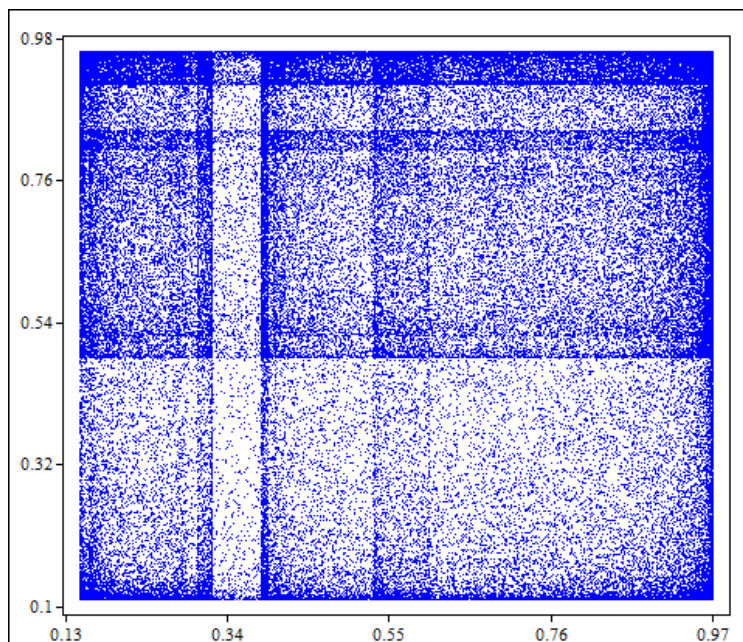
Σε αυτή την περίπτωση, που έχουμε μια ακραία επιθετική πολιτική από τη μεριά της χώρας Y , παρατηρούμε ότι το σύστημα μας βρίσκεται σε αστάθεια, όχι μόνο όταν και η χώρα X χρησιμοποιεί μια ακραία επιθετική πολιτική. Έτσι για αρκετές διαφορετικές

πολιτικές της χώρας X , υπάρχει πιθανότητα να οδηγηθούν οι δύο χώρες σε πόλεμο και δεν υπάρχει δυνατότητα προβλεψιμότητας.

Παρακάτω στην Εικόνα 3-15 παρουσιάζεται το διάγραμμα χρονολογικών σειρών για x, y όταν $b = 0,96$ και $a = 0,97$, καθώς και το διάγραμμα φάσης στην Εικόνα 3-16. Τα δύο αυτά διαγράμματα μας δείχνουν ότι οδηγούμαστε στο χάος, δηλαδή στο ξέσπασμα του πολέμου.



Εικόνα 3-15 Διάγραμμα χρονολογικών σειρών για τις χώρες X και Y , για $a = 0,97$ και $b = 0,96$.



Εικόνα 3-16 Διάγραμμα φασικού χώρου για τις χώρες X και Y , για $a = 0,97$ και $b = 0,96$.

3.3 Τροποποιημένο μοντέλο του Saperstein

Παίρνουμε το μοντέλο των ανταγωνιστικών εξοπλισμών του Saperstein και το τροποποιούμε προσθέτοντας έναν επιπλέον όρο και στις δύο εξισώσεις. Το μοντέλο μας πλέον έχει την εξής μορφή:

$$X_{n+1} = 4aY_n(1 - Y_n) + mxy$$

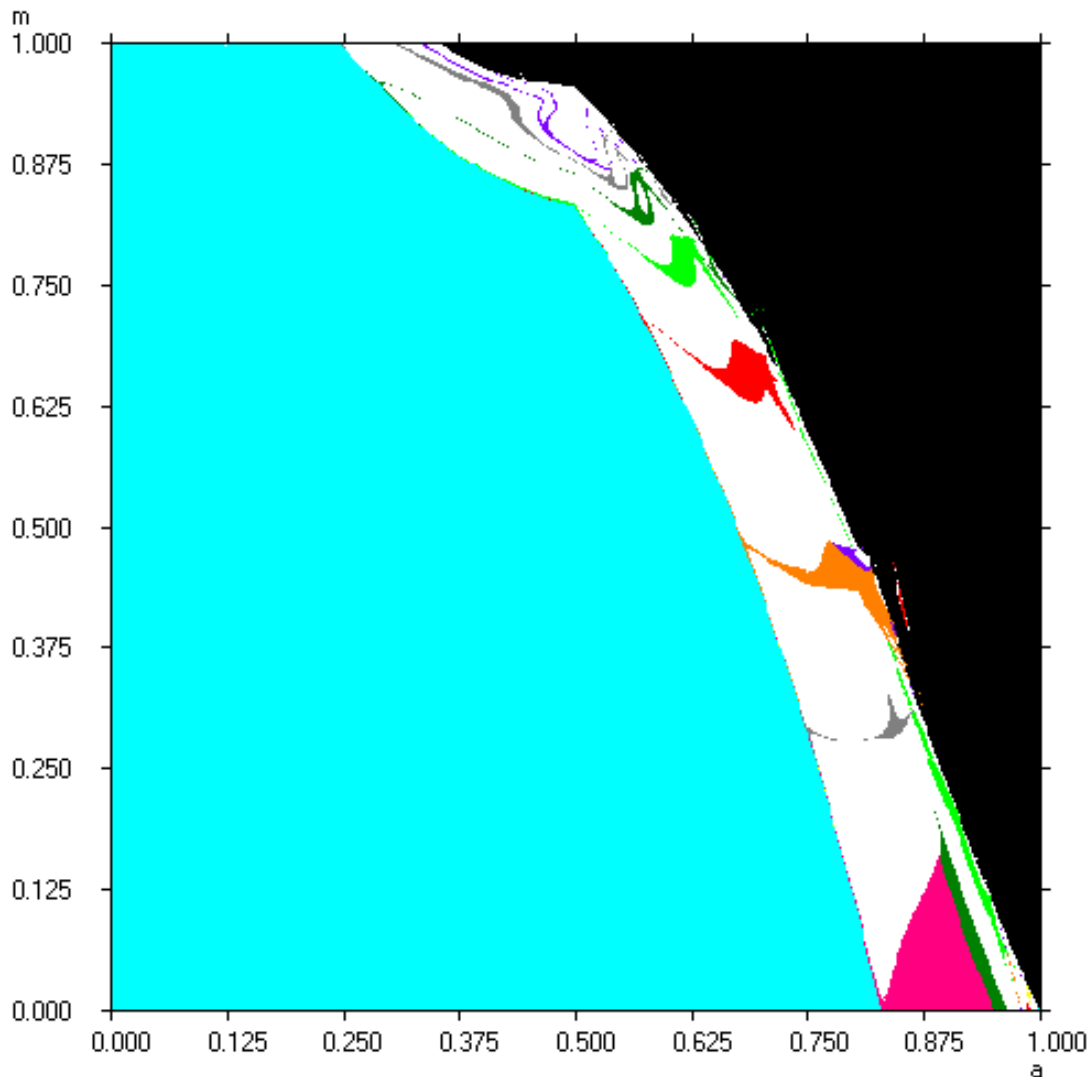
$$Y_{n+1} = 4bX_n(1 - X_n) + mxy$$

Ο συντελεστής m ορίζεται ως ο συντελεστής που μας δείχνει την αύξηση του ανταγωνισμού μεταξύ των δύο χωρών X και Y και παίρνει και αυτός τιμές στο διάστημα $[0,1]$, δηλαδή $0 < m < 1$. Ο όρος xy ορίζεται ως ο παράγοντας επιτάχυνσης των διαδικασιών μεταξύ των δύο χωρών. Πιστεύουμε ότι αυτός ο παράγοντας, καθώς αυξάνεται ο εξοπλισμός των χωρών, δίνει ακόμη μεγαλύτερη πολυπλοκότητα, αλλά και ρεαλιστικότητα στο μοντέλο μας.

Όπως στο αρχικό μοντέλο έτσι και σε αυτή την περίπτωση, θέτουμε ως αρχικές συνθήκες $X_0 = 0,5$, $Y_0 = 0,5$. Θα μελετήσουμε το μοντέλο μας σε τρεις περιπτώσεις: (α) όταν η πολιτική της χώρας Y παραμένει ουδέτερη (ούτε αμυντική, ούτε επιθετική), (β) όταν είναι επιθετική και (γ) όταν είναι ακραία επιθετική. Δηλαδή όταν $b = 0,5$, $b = 0,83$ και $b = 0,96$.

3.3.1 1^η περίπτωση: $b = 0,5$

Με την ίδια διαδικασία που κάναμε και προηγουμένως, «τρέχουμε» το μοντέλο μας στο πρόγραμμα *E & F Chaos* και υπολογίζουμε αρχικά το διάγραμμα περιοχών σύγκλισης (basins of attraction) για τις παραμέτρους a και m του μοντέλου μας. Το διάγραμμα που προκύπτει είναι το εξής:



Εικόνα 3-17 Διάγραμμα περιοχών σύγκλισης ($b = 0,5$).

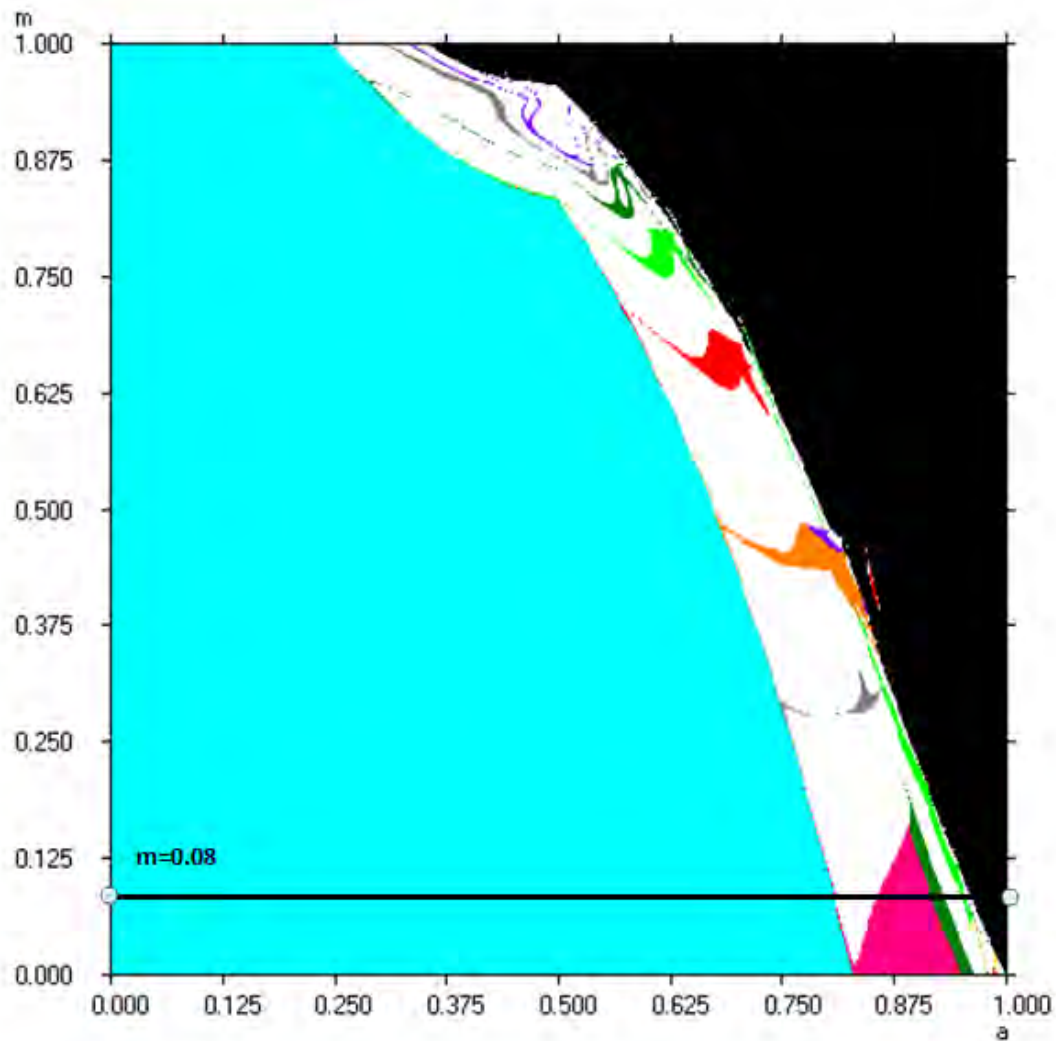
Όπως παρατηρούμε από το διάγραμμα περιοχών σύγκλισης, για ένα μεγάλο εύρος τιμών της παραμέτρου a εμφανίζεται η γαλάζια περιοχή. Πιο συγκεκριμένα, στην περιοχή $0 < a < 0,82$ ($m = 0$) έχουμε ελκυστή και σημείο ισορροπίας πρώτης περιόδου. Στην περιοχή $0,82 < a < 1$ και καθώς αυξάνεται ο συντελεστής m και φτάνει στη μονάδα, για $0,25 < a < 0,35$, παρατηρούμε μια λωρίδα λευκής περιοχής που σημαίνει ότι το σύστημα μας εμφανίζει μη περιοδικότητα. Μέσα σε αυτή τη λωρίδα μη περιοδικότητας παρατηρούμε και μικρότερες περιοχές τετραπλάσιας περιόδου, πενταπλάσιας, εξαπλάσιας αλλά και άλλες περιοχές ανώτερων περιόδων. Μετά από αυτή τη λωρίδα βλέπουμε ότι επικρατεί η μαύρη περιοχή μη ρεαλιστικών τιμών.

Στην συγκεκριμένη περίπτωση, όπου έχουμε κρατήσει σταθερή την πολιτική της χώρας Y , παρατηρούμε ότι για αρκετές τιμές των παραμέτρων a και m το σύστημα μας βρίσκεται σε ισορροπία χωρίς να υπάρχει κίνδυνος να ξεσπάσει πόλεμος. Υπάρχουν και αρκετές τιμές όπου το σύστημα μας παρουσιάζει μη περιοδικότητα και μη ρεαλιστικές τιμές, με αποτέλεσμα η πιθανότητα να ξεσπάσει πόλεμος να είναι αρκετά μεγάλη. Για την καλύτερη ανάλυση του συστήματος μας παίρνουμε δύο υποπεριπτώσεις. Η πρώτη είναι ο συντελεστής $m = 0,08$, δηλαδή να έχουμε μια πολύ μικρή αύξηση του ανταγωνισμού μεταξύ των δύο χωρών και η δεύτερη είναι ο συντελεστής $m = 0,5$ όπου έχουμε μια μεγαλύτερη αύξηση του ανταγωνισμού μεταξύ των δύο χωρών.

3.3.1.1 1η Υποπερίπτωση: $m = 0,08$

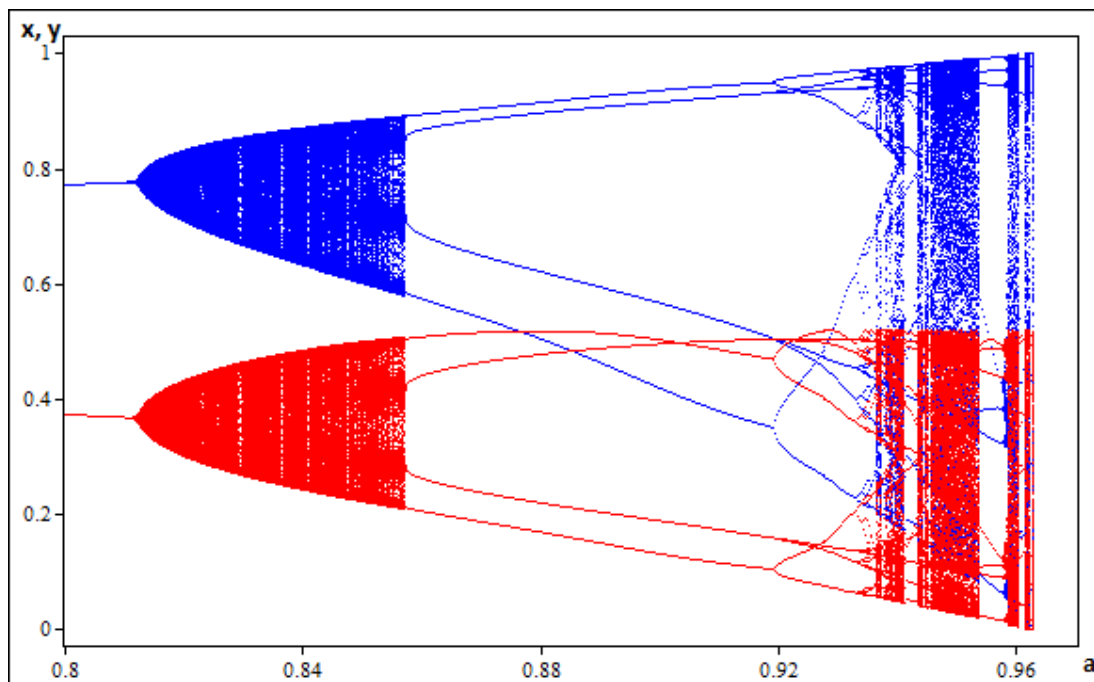
Παρατηρούμε το διάγραμμα περιοχών σύγκλισης για τη συγκεκριμένη τιμή του συντελεστή m , που απεικονίζεται παρακάτω.

- Για τιμές της παραμέτρου a μεταξύ $0 < a < 0,81$ στο σύστημα μας έχουμε ελκυστή και σημείο ισορροπίας πρώτης περιόδου (γαλάζια περιοχή).
- Για τιμές $0,81 < a < 0,85$ εμφανίζεται η λευκή περιοχή μη περιοδικότητας.
- Για $0,85 < a < 0,91$ έχουμε ελκυστή και σημείο ισορροπίας τέταρτης περιόδου (ροζ περιοχή).
- Για $0,91 < a < 0,93$ έχουμε ελκυστή και σημείο ισορροπίας όγδοης περιόδου. Για $0,93 < a < 0,96$ έχουμε και πάλι μια λευκή περιοχή μη περιοδικότητας καθώς και μια μικρή περιοχή έβδομης περιόδου.
- Για $a > 0,96$ έχουμε τη μαύρη περιοχή μη ρεαλιστικών τιμών.



Εικόνα 3-18 Διάγραμμα περιοχών σύγκλισης και η ευθεία $m = 0,08$ ($b = 0,50$)

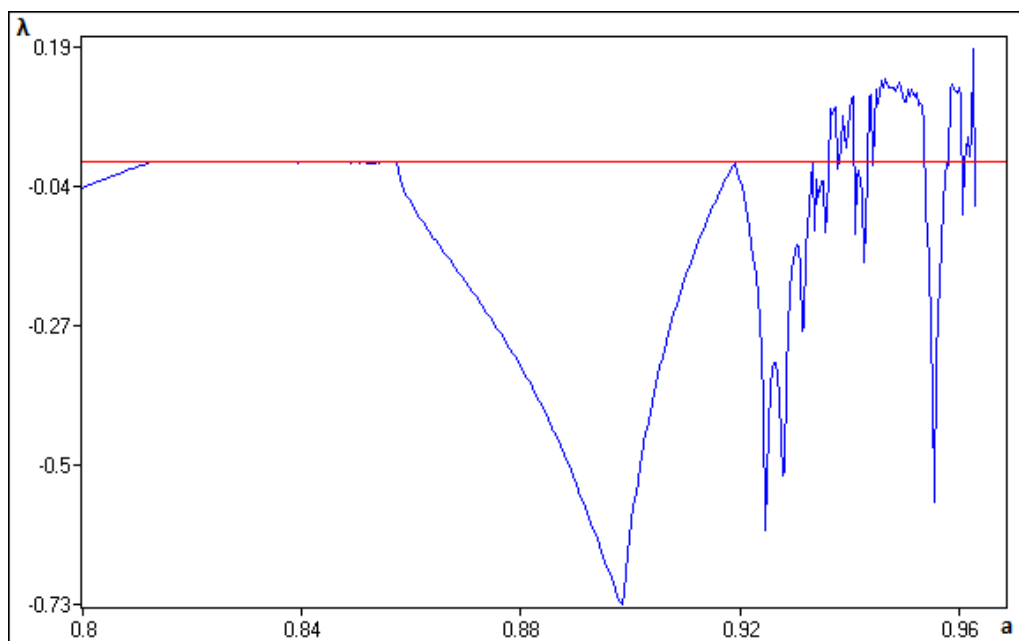
Το διάγραμμα διακλάδωσης στη συγκεκριμένη περίπτωση και για τις δύο χώρες X και Y για $0,80 < a < 0,97$ είναι το εξής:



Εικόνα 3-19 Διάγραμμα διακλάδωσης για τις χώρες X και Y για $0,80 < a < 0,97$.

- Στην περιοχή $0,81 < a < 0,85$ έχουμε διακλάδωση Neimark-Sacker. Η συγκεκριμένη διακλάδωση εμφανίζεται όταν από το σημείο ισορροπίας διακλαδίζεται σε κύκλο (invariant cycle).
- Στην περιοχή $0,85 < a < 0,91$ εμφανίζεται διακλάδωση τέταρτης περιόδου.
- Στην περιοχή $0,91 < a < 0,93$ εμφανίζεται διακλάδωση όγδοης περιόδου.
- Στην περιοχή $0,93 < a < 0,96$ εμφανίζεται και πάλι διακλάδωση Neimark-Sacker (με μια παρεμβολή έβδομης περιόδου) και στη συνέχεια οδηγούμαστε στο χάος.

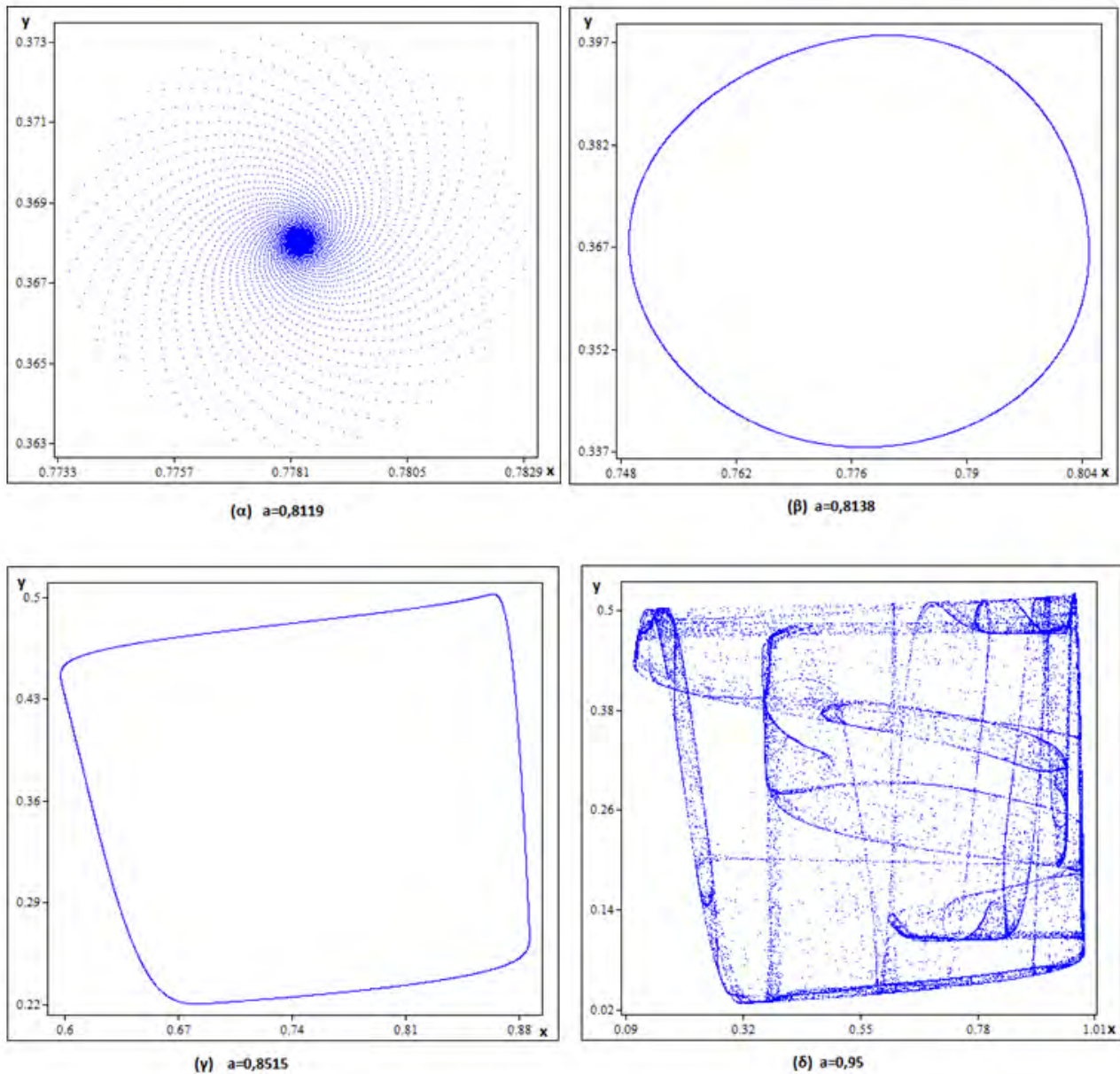
Στο διάγραμμα του εκθέτη Lyapunov (Εικόνα 3-20) παρατηρούμε τη μεταβολή του εκθέτη, καθώς η παράμετρος a αυξάνεται από 0,80 σε 0,97. Για $a = 0,96$ έχουμε τη μέγιστη τιμή του εκθέτη 0,19. Για αυτή την τιμή της παραμέτρου a , το σύστημα μας είναι πιο χαοτικό και λιγότερο προβλέψιμο.



Εικόνα 3-20 Διάγραμμα εκθέτη Lyapunov για $0,80 < a < 0,97$.

Ας παρακολουθήσουμε τι συμβαίνει στο φασικό διάγραμμα του δυναμικού μας συστήματος (Εικόνα 3-21), καθώς μεταβάλλεται η τιμή της παραμέτρου a , ενώ η παράμετρος b και ο συντελεστής m παραμένουν σταθεροί ($b = 0,5$, $m = 0,08$).

- Στο σχήμα (α), βλέπουμε ότι εμφανίζεται ένα ελκυστικό σημείο ισορροπίας για $a = 0,8119$ με $x^* = 0,36$ και $y^* = 0,77$.
- Στο σχήμα (β), παρατηρούμε ότι αυξάνοντας το a στην τιμή $0,8138$, το σταθερό σημείο μέσω της διακλάδωσης Neimark-Sacker δίνει την θέση του σε ένα οριακό κύκλο γύρω από το σημείο ισορροπίας.
- Στο σχήμα (γ), βλέπουμε ότι όσο αυξάνεται και άλλο το a , ο οριακός κύκλος αρχίζει να παραμορφώνεται και να σπάει.
- Και τέλος στο σχήμα (δ) μας δείχνει ότι μια περαιτέρω αύξηση του a οδηγεί σε μια μορφή παράξενου ελκυστή.

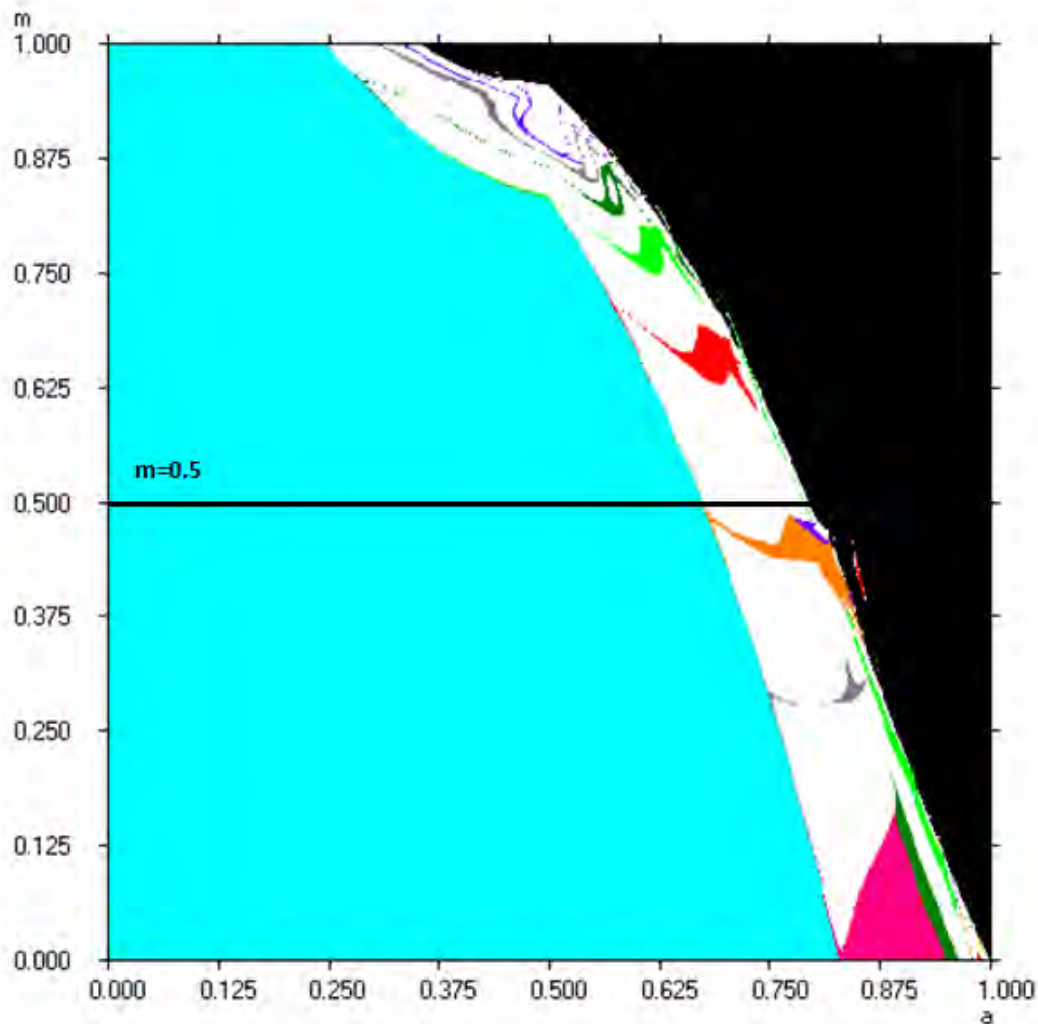


Εικόνα 3-21 Διαγράμματα φάσης για (α) $a = 0,8119$, (β) $a = 0,8138$, (γ) $a = 0,8515$ και (δ) $a = 0,95$

Με βάση τα παραπάνω, καταλαβαίνουμε ότι με σταθερή την ουδέτερη πολιτική της χώρας Y ($b = 0,5$) και με πολύ μικρό συντελεστή της ανταγωνιστικότητας των δύο χωρών ($m = 0,08$), για αρκετές πολιτικές της χώρας X , οι δύο χώρες δεν αντιμετωπίζουν τον κίνδυνο να ξεσπάσει πόλεμος μεταξύ τους. Μόνο όταν η πολιτική της χώρας X γίνει αρκετά επιθετική, τότε πλέον δεν μπορεί να γίνει καμία πρόβλεψη για τους εξοπλισμούς των δύο χωρών και υπάρχει μεγάλη πιθανότητα να οδηγηθούν σε πόλεμο.

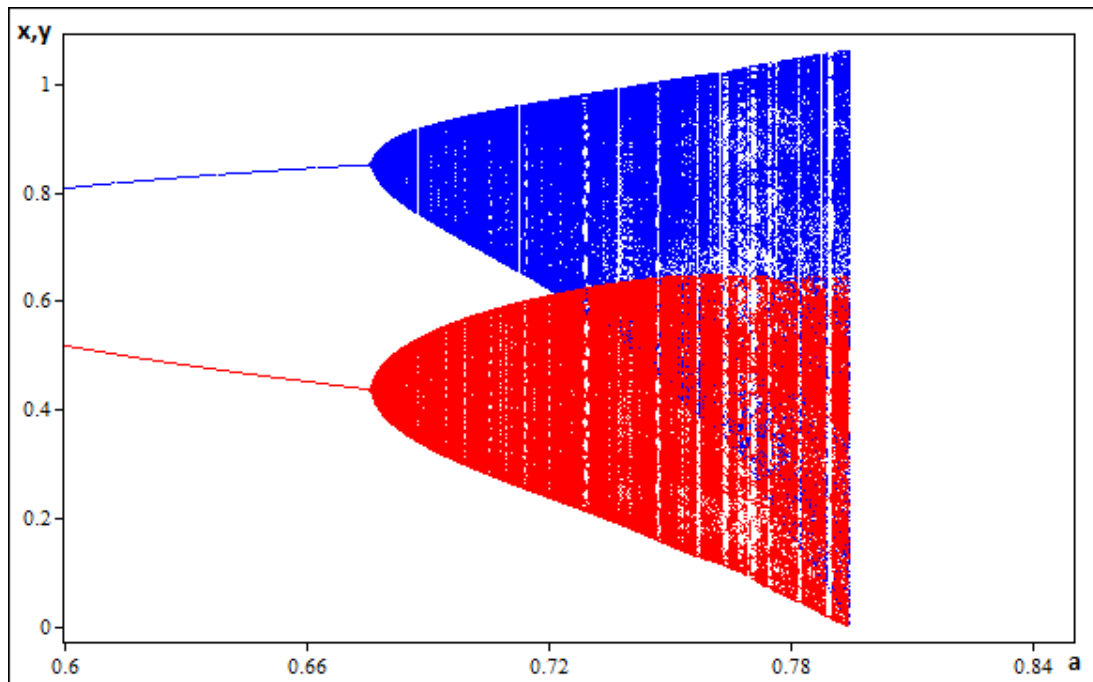
3.3.1.2 2^η Υποπερίπτωση: $m = 0,5$

Για αυτή την περίπτωση το διάγραμμα περιοχών σύγκλισης, παρουσιάζεται στην Εικόνα 3-22. Παρατηρούμε ότι για $0 < a < 0,67$ βρισκόμαστε στη γαλάζια περιοχή, άρα έχουμε ελκυστή και σημείο ισορροπίας πρώτης περιόδου. Για $0,67 < a < 0,79$ βρισκόμαστε στη λευκή περιοχή μη περιοδικότητας. Για τιμές $a > 0,79$ το σύστημα μας βρίσκεται στη μαύρη περιοχή μη ρεαλιστικών τιμών.



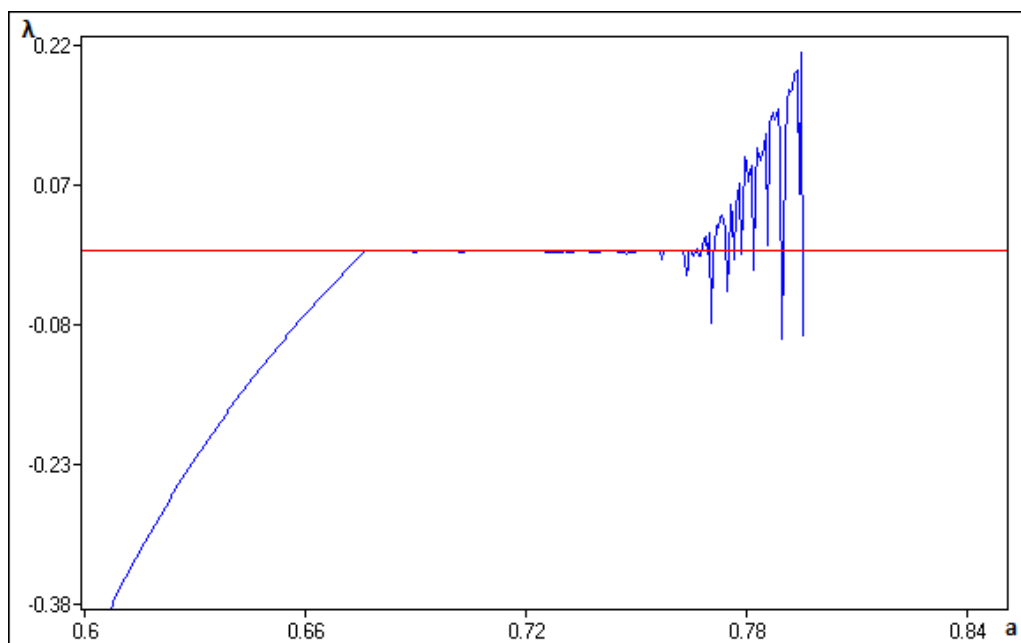
Εικόνα 3-22 Διάγραμμα περιοχών σύγκλισης ($b=0,50$) και η ευθεία $m = 0,5$.

Από το διάγραμμα διακλάδωσης και για τις δύο χώρες για $0,6 < a < 0,85$ παρατηρούμε ότι για τιμές $0,67 < a < 0,79$ εμφανίζεται μια διακλάδωση Neimark-Sacker που οδηγείται σε χάος.



Εικόνα 3-23 Διάγραμμα διακλάδωσης για τις χώρες X και Y για $0,6 < a < 0,85$.

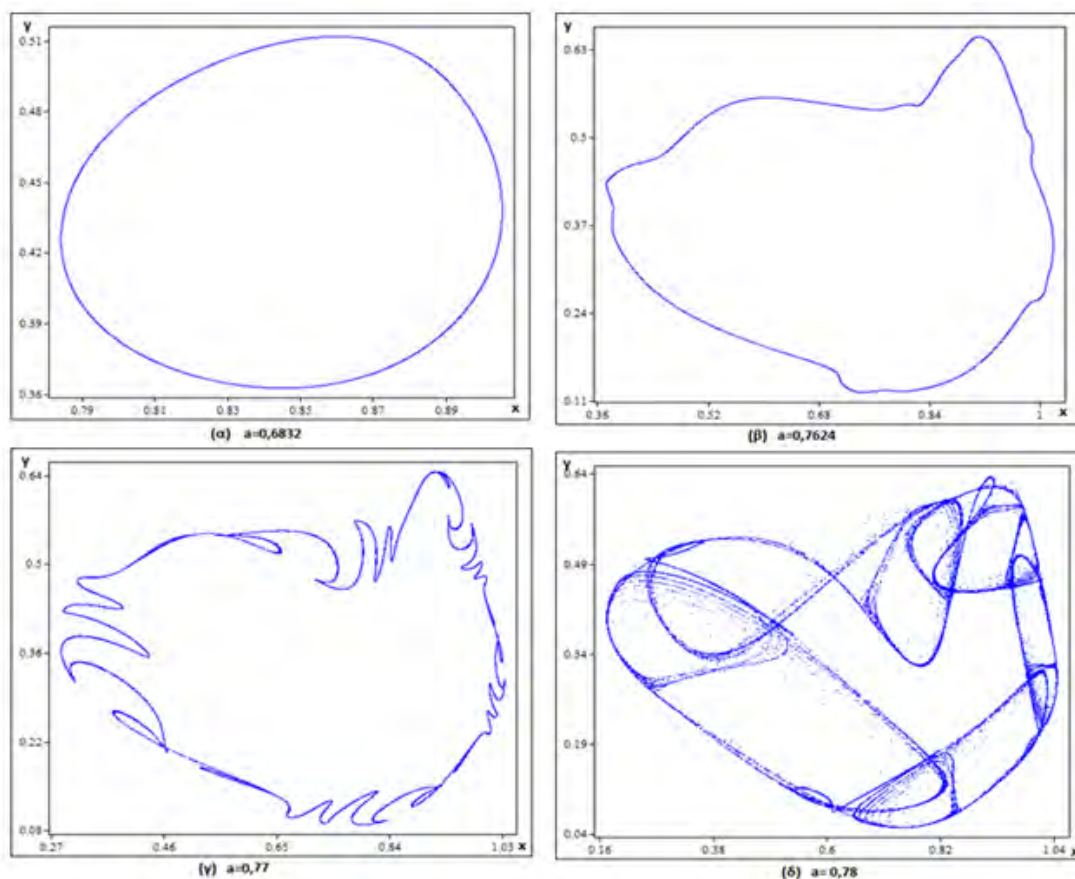
Από το διάγραμμα του εκθέτη Lyapunov μπορούμε να παρατηρήσουμε τη μεταβολή του, καθώς αυξάνεται η παράμετρος a από 0,67 σε 0,79. Για $a = 0,79$ έχουμε τη μέγιστη τιμή του εκθέτη Lyapunov 0,217. Σε αυτή την τιμή έχουμε τη μικρότερη δυνατότητα προβλεψιμότητας για το σύστημα μας.



Εικόνα 3-24 Διάγραμμα του εκθέτη Lyapunov για $0,6 < a < 0,85$.

Από το φασικό διάγραμμα (Εικόνα 3-25) μπορούμε να δούμε για διάφορες τιμές της παραμέτρου a τι συμβαίνει στο σύστημα μας. Έτσι:

- Στο σχήμα (α), για $a = 0,6832$ βλέπουμε τον οριακό κύκλο που έχει δημιουργηθεί γύρω από το σημείο ισορροπίας μέσω της διακλάδωσης Neimark-Sacker.
- Στο σχήμα (β), όταν $a = 0,7624$ παρατηρούμε ότι αυξάνοντας το a , ο κύκλος αρχίζει και «σπάει» και να αλλάζει μορφή σε ένα ακανόνιστο σχήμα.
- Στο σχήμα (γ), βλέπουμε ότι η αύξηση του a μας παρουσιάζει ένα ακανόνιστο σχήμα με πολύπλοκη δομή fractal, που η δυναμική του είναι χαοτική.
- Τέλος, στο σχήμα (δ), με τη συνεχή αύξηση του a , έχουμε την εμφάνιση ενός παράξενου ελκυστή για $a = 0,78$.



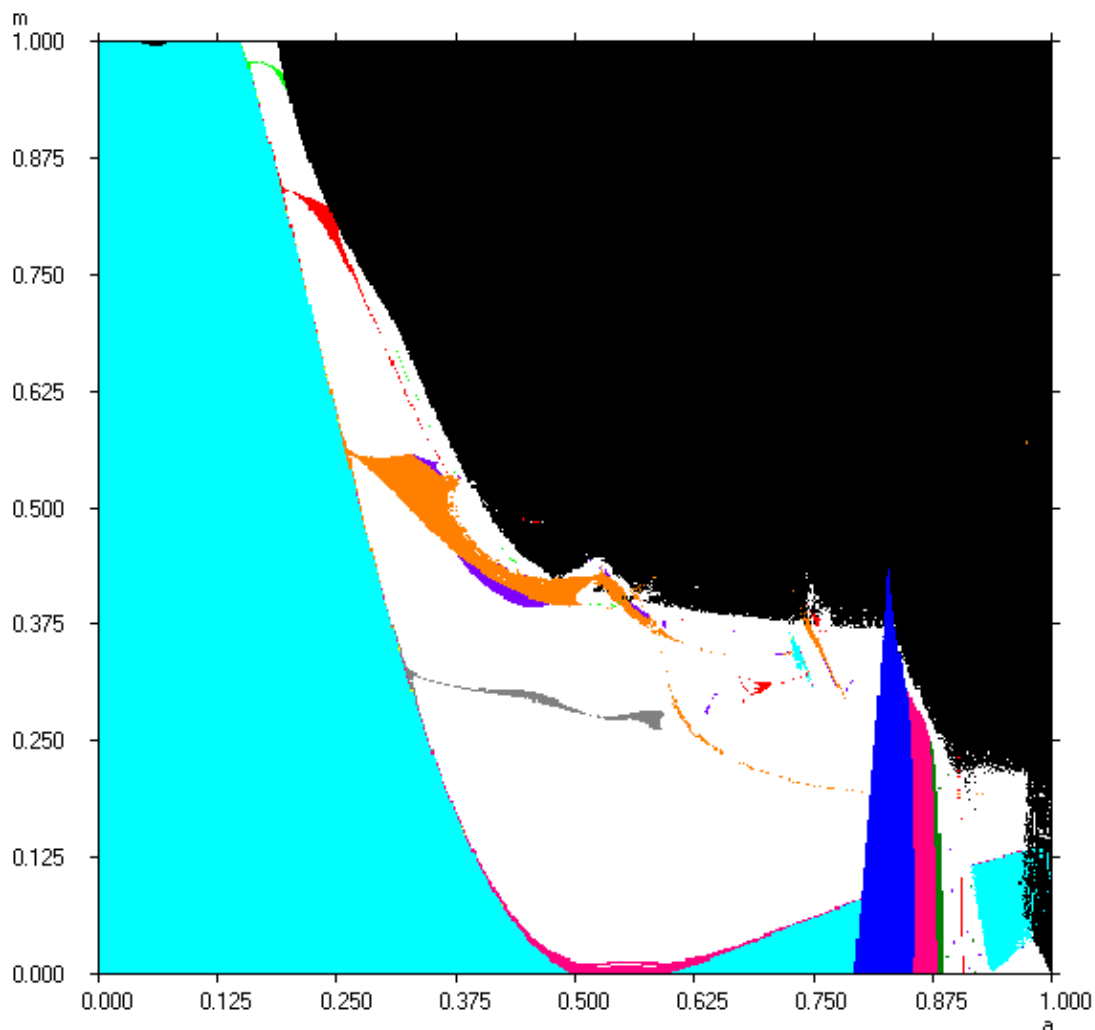
Εικόνα 3-25 Διαγράμματα φάσης για (α) $a = 0,6832$, (β) $a = 0,7624$, (γ) $a = 0,77$, (δ) $a = 0,78$.

Παρατηρούμε σε αυτή την υποπερίπτωση, ότι κρατήσαμε και εδώ την πολιτική της χώρας Y σταθερή και τον συντελεστή της ανταγωνιστικότητας μεταξύ των χωρών

σταθερό. Σε σχέση με την προηγούμενη υποπερίπτωση, ο συντελεστής ανταγωνιστικότητας είναι μεγαλύτερος. Αυτό όπως είδαμε και παραπάνω έχει ως αποτέλεσμα να μεγαλώνει το διάστημα της παραμέτρου a στο οποίο το σύστημα παρουσιάζει χαστική συμπεριφορά. Με άλλα λόγια, ο αριθμός των εναλλακτικών επιθετικών πολιτικών της χώρας X που μπορεί να οδηγήσει σε πόλεμο είναι μεγαλύτερος.

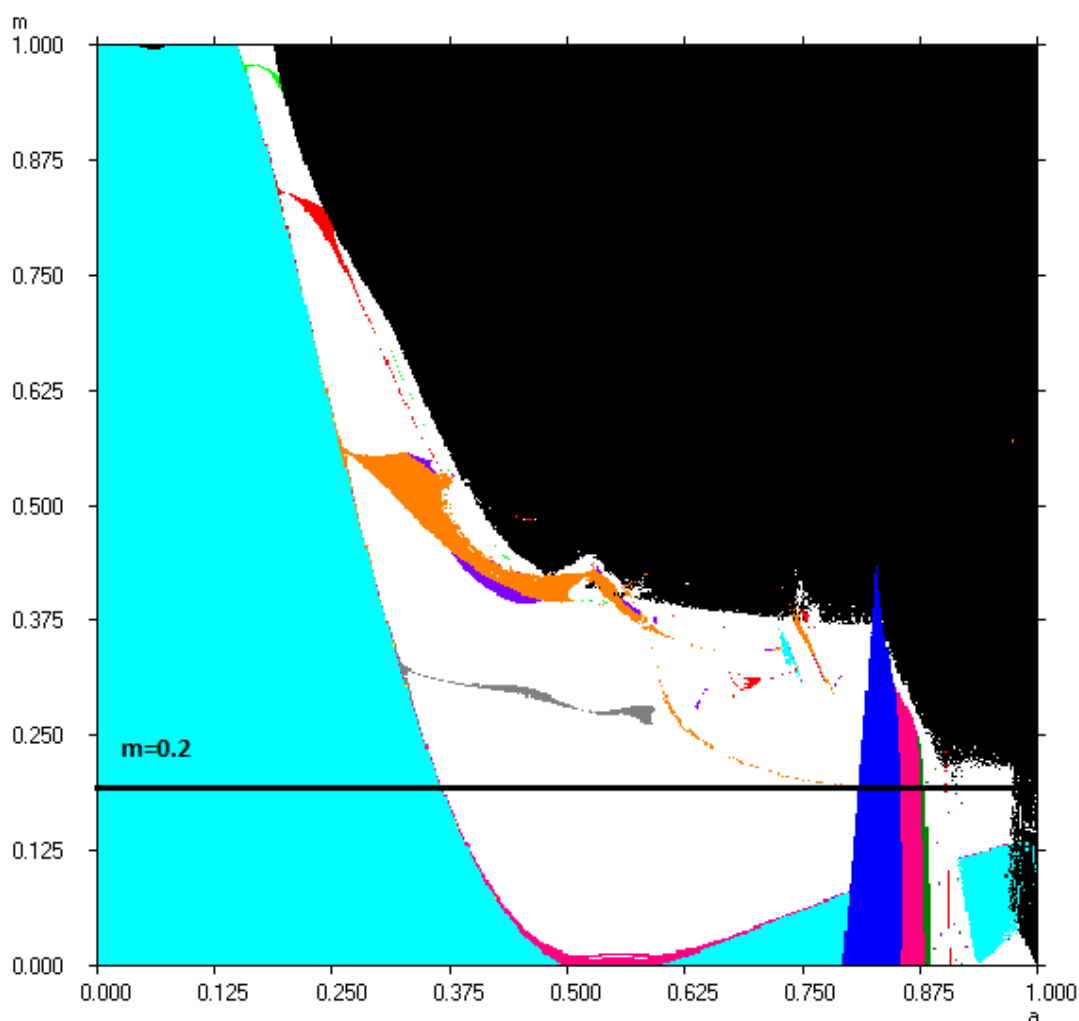
3.3.2 2^η περίπτωση: $b = 0,83$

Σε αυτή την περίπτωση που έχουμε κρατήσει την παράμετρο b σταθερή στην τιμή 0,83, το διάγραμμα περιοχών σύγκλισης είναι το παρακάτω:



Εικόνα 3-26 Διάγραμμα περιοχών σύγκλισης για $b = 0,83$.

Όπως και στην περίπτωση $b = 0,5$, έτσι και σε αυτή την περίπτωση, θα αναλύσουμε δύο υποπεριπτώσεις, η πρώτη είναι για $m = 0,2$ και η δεύτερη είναι για $m = 0,5$.

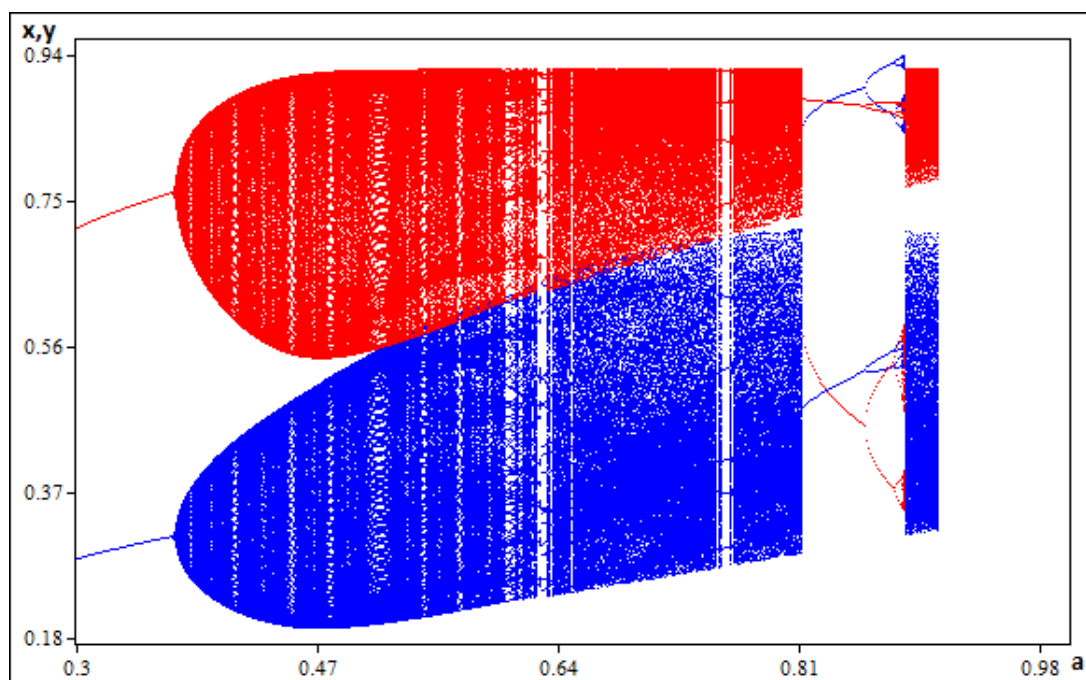
3.3.2.1 1^η υποπερίπτωση: $m = 0,2$ 

Εικόνα 3-27 Διάγραμμα περιοχών σύγκλισης ($b = 0,83$) και η ευθεία $m = 0,2$.

Για τη συγκεκριμένη τιμή του συντελεστή m , από το διάγραμμα περιοχών σύγκλισης παρατηρούμε ότι για τιμές $0 < a < 0,36$ είμαστε στη γαλάζια περιοχή, άρα έχουμε ελκυστή και σημείο ισορροπίας πρώτης περιόδου. Για $0,36 < a < 0,80$ βρισκόμαστε στη λευκή περιοχή μη περιοδικότητας μέσα στη οποία εμφανίζεται μια αχνή περιοχή πέμπτης περιόδου. Για $0,80 < a < 0,88$ εμφανίζονται οι περιοχές διπλάσιας περιόδου (μπλε), τετραπλάσιας περιόδου (ροζ) και μια μικρή περιοχή όγδοης περιόδου (πράσινο σκούρο). Για $0,88 < a < 0,97$ έχουμε και πάλι μια λευκή περιοχή μη περιοδικότητας και τέλος για $a > 0,97$ εμφανίζεται η μαύρη περιοχή μη ρεαλιστικών τιμών.

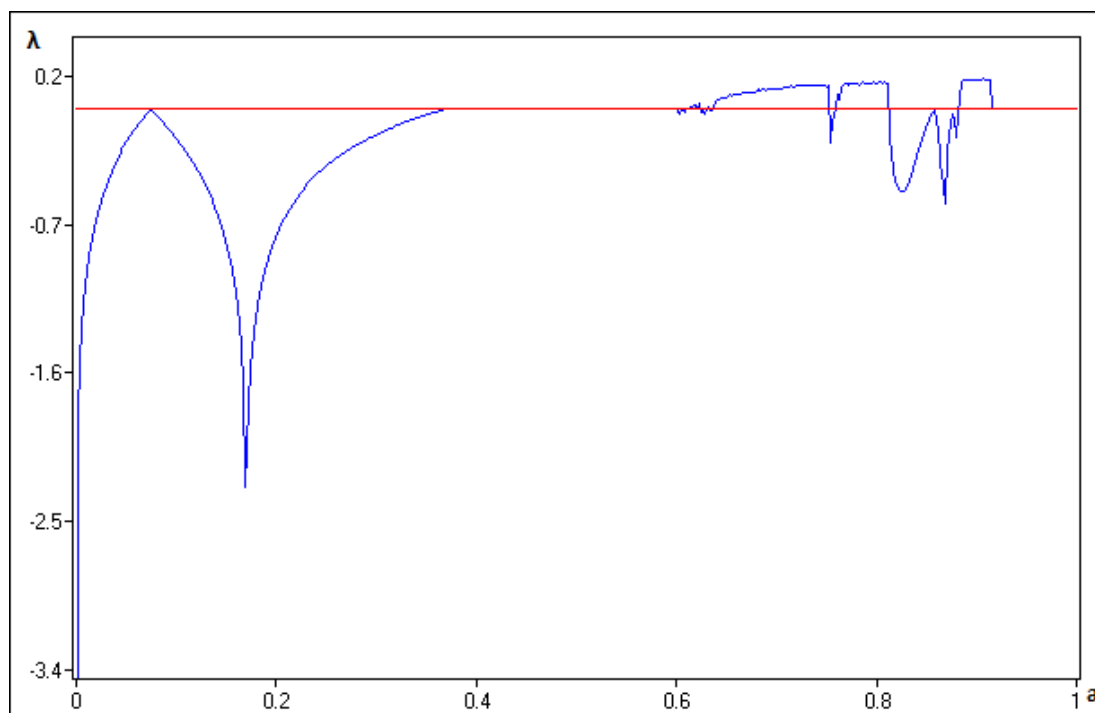
Όπως παρατηρούμε από το διάγραμμα διακλάδωσης και για τις δύο χώρες X και Y , για $0,30 < a < 1$, συμπεραίνουμε τα εξής:

- Στην περιοχή $0,36 < a < 0,80$ εμφανίζεται διακλάδωση Neimark-Sacker.
- Στην περιοχή $0,80 < a < 0,85$ έχουμε διπλασιασμό της περιόδου.
- Στην περιοχή $0,85 < a < 0,87$ έχουμε τετραπλασιασμό της περιόδου.
- Στην περιοχή $0,87 < a < 0,88$ έχουμε διακλάδωση οκτώ περιόδων.
- Στην περιοχή $0,89 < a < 0,90$ εμφανίζεται και πάλι διακλάδωση Neimark-Sacker.



Εικόνα 3-28 Διάγραμμα διακλάδωσης για τις χώρες X και Y για $0,30 < a < 1$.

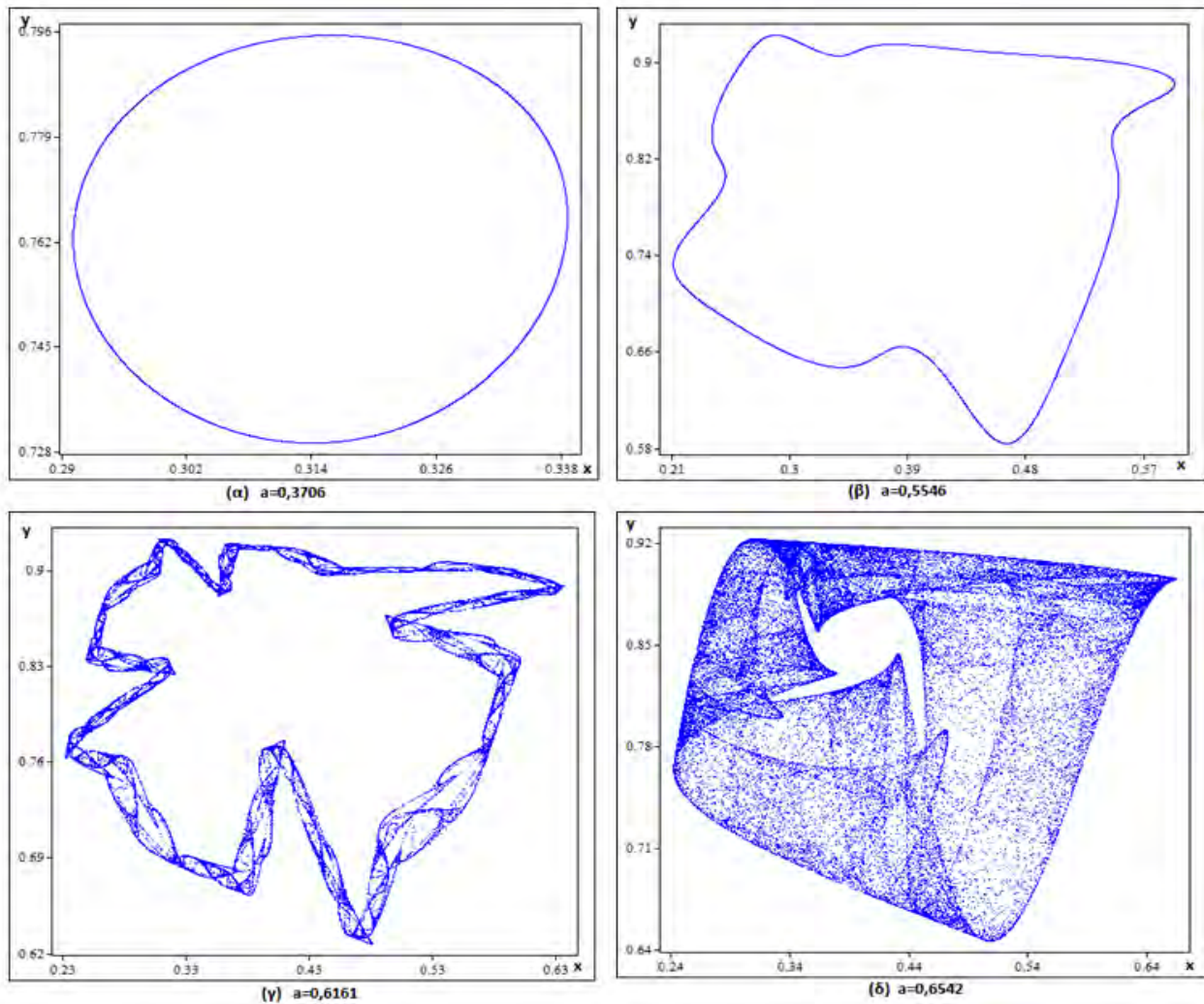
Οι μεταβολές του εκθέτη Lyapunov καθώς αυξάνεται η παράμετρος a φαίνονται στο παρακάτω διάγραμμα (Εικόνα 3-29). Εδώ η μέγιστη τιμή του εκθέτη Lyapunov είναι 0,19 για $a = 0,90$, όπου έχουμε και τη μικρότερη δυνατότητα προβλεψιμότητας στο σύστημα μας.



Εικόνα 3-29 Διάγραμμα του εκθέτη Lyapunov για $0,30 < a < 1$.

Από το φασικό διάγραμμα, που παρουσιάζουμε παρακάτω (Εικόνα 3-30) μπορούμε να δούμε τα εξής:

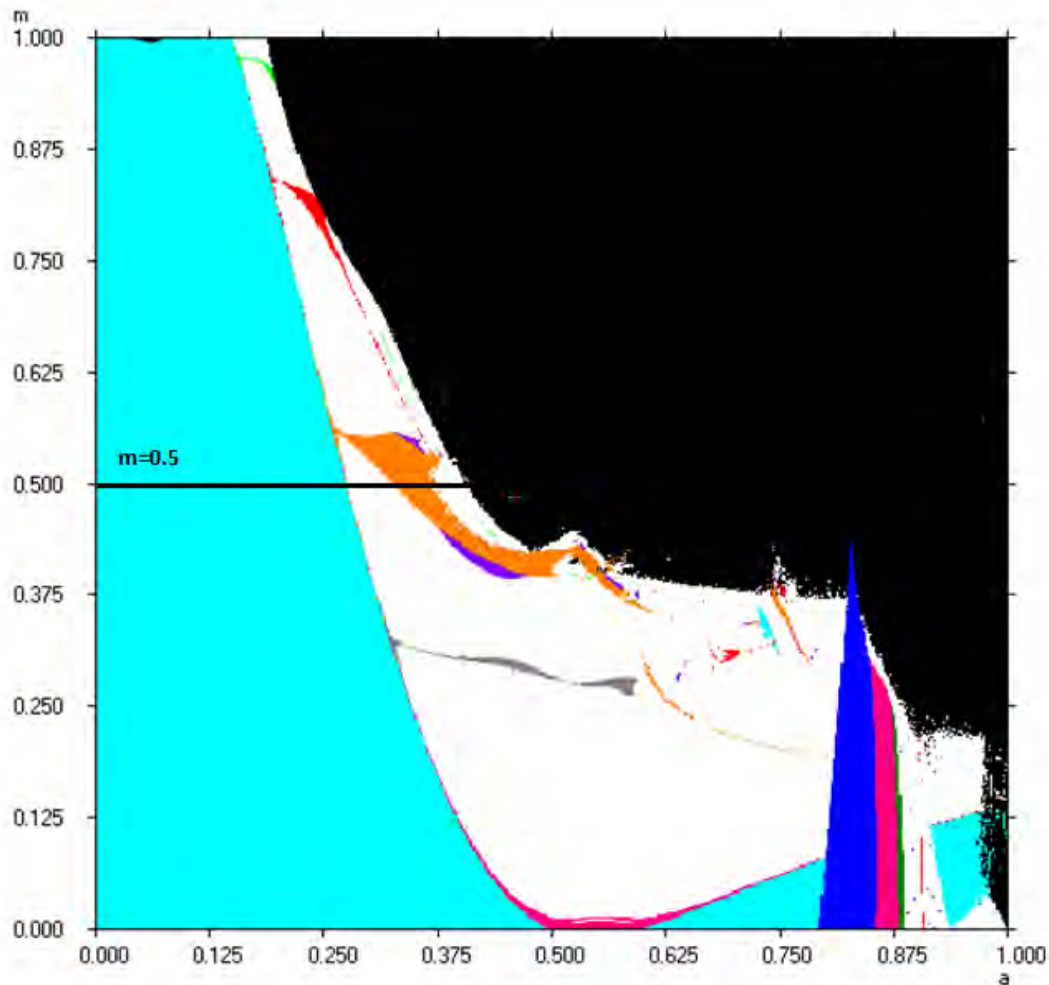
- Στο σχήμα (α), για $a = 0,3706$ παρατηρούμε τον οριακό κύκλο που έχει δημιουργηθεί γύρω από το σημείο ισορροπίας λόγω της διακλάδωσης Neimark-Sacker.
- Στο σχήμα (β), για $a = 0,5546$ βλέπουμε ότι αρχίζει και «σπάει» ο οριακός κύκλος και παίρνει ένα ακανόνιστο σχήμα.
- Στο σχήμα (γ), για $a = 0,6161$ παρατηρούμε ακόμα καλύτερα καθώς έχει αυξηθεί και άλλο η παράμετρος a , το ακανόνιστο σχήμα και την πολύπλοκη fractal δομή του.
- Τέλος, στο σχήμα (δ), για $a = 0,6542$ βλέπουμε την εμφάνιση ενός παράξενου ελκυστή.



Εικόνα 3-30 Διαγράμματα φασικού χώρου για (α) $a = 0,3706$, (β) $a = 0,5546$, (γ) $a = 0,6161$, (δ) $a = 0,6542$.

3.3.2.2 2^η Υπο περίπτωση: $m = 0,5$

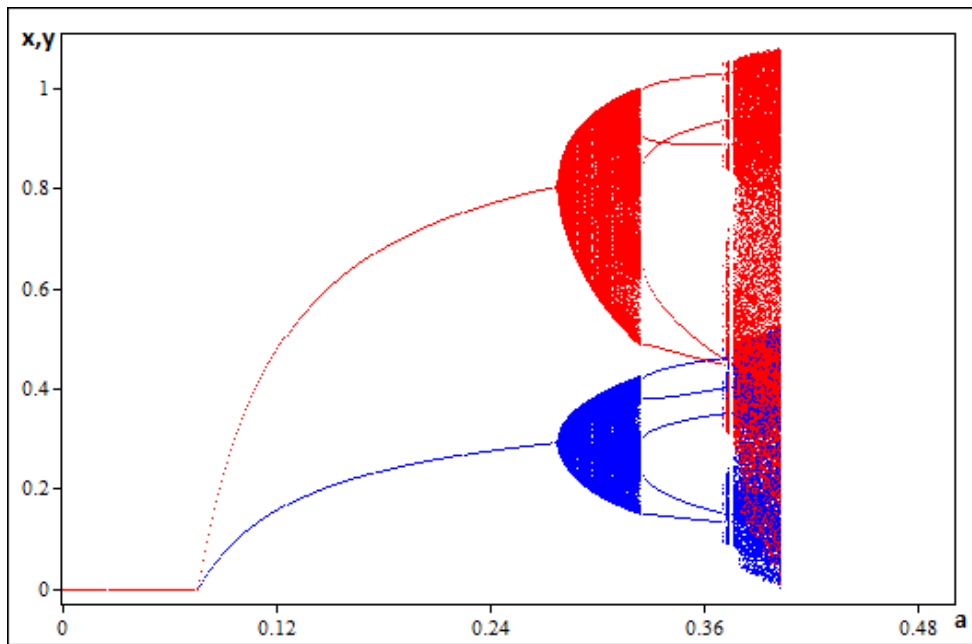
Από το διάγραμμα περιοχών σύγκλισης για $m = 0,5$ παρατηρούμε ότι για $0 < a < 0,27$ έχουμε ελκυστή και σημείο ισορροπίας πρώτης περιόδου (γαλάζια περιοχή), για $0,29 < a < 0,32$ έχουμε μη περιοδικότητα, γιατί βρισκόμαστε εντός της λευκής περιοχής, για $0,32 < a < 0,36$ έχουμε ελκυστή και ισορροπία πέμπτης περιόδου, για $0,36 < a < 0,40$ εμφανίζεται και πάλι η λευκή περιοχή μη περιοδικότητας και για $0,40 < a < 1$ εμφανίζεται η μαύρη περιοχή μη ρεαλιστικών τιμών.



Εικόνα 3-31 Διάγραμμα περιοχών σύγκλισης ($b = 0,83$) και η ευθεία $m = 0,50$.

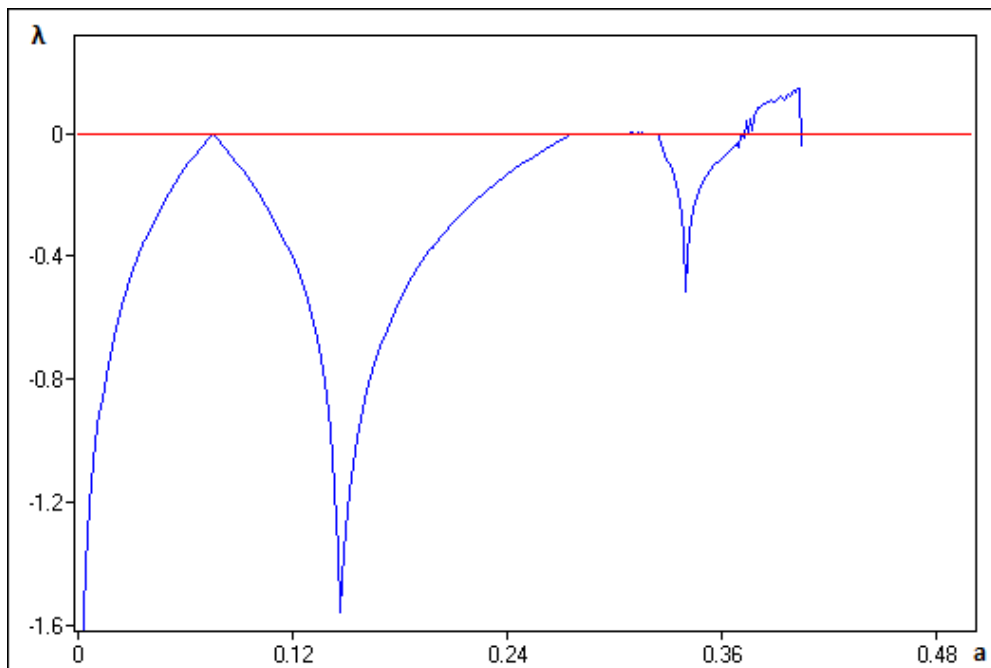
Στο διάγραμμα διακλάδωσης για $0 < a < 0,5$ παρατηρούμε τα εξής:

- Στην περιοχή $0,27 < a < 0,32$ εμφανίζεται διακλάδωση Neimark-Sacker.
- Στην περιοχή $0,32 < a < 0,37$ εμφανίζεται διακλάδωση πέμπτης περιόδου.
- Στην περιοχή $0,37 < a < 0,40$ εμφανίζεται και πάλι διακλάδωση Neimark-Sacker.



Εικόνα 3-32 Διάγραμμα διακλάδωσης για τις χώρες X και Y για $0 < a < 0,5$.

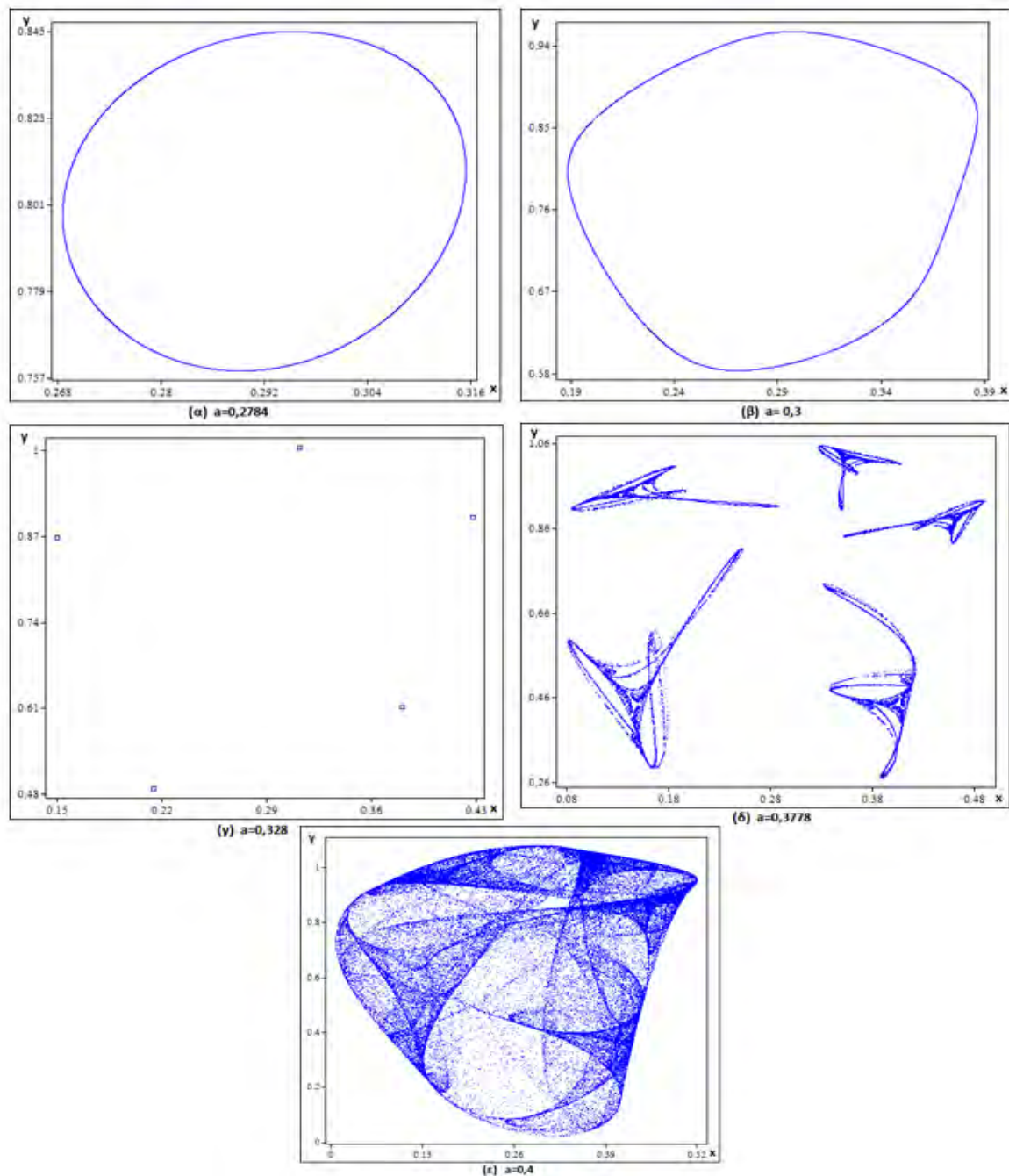
Στο διάγραμμα του εκθέτη Lyapunov παρατηρούμε τις μεταβολές του εκθέτη καθώς η παράμετρος a αυξάνεται για τιμές στο διάστημα $0 < a < 0,5$. Η μέγιστη τιμή του εκθέτη Lyapunov είναι 0,151 για $a = 0,40$. Σε αυτή την τιμή το σύστημά μας παρουσιάζει την πιο χαοτική συμπεριφορά και έχουμε τη μικρότερη δυνατότητα προβλεψιμότητας.



Εικόνα 3-33 Διάγραμμα εκθέτη Lyapunov για $0 < a < 0,5$.

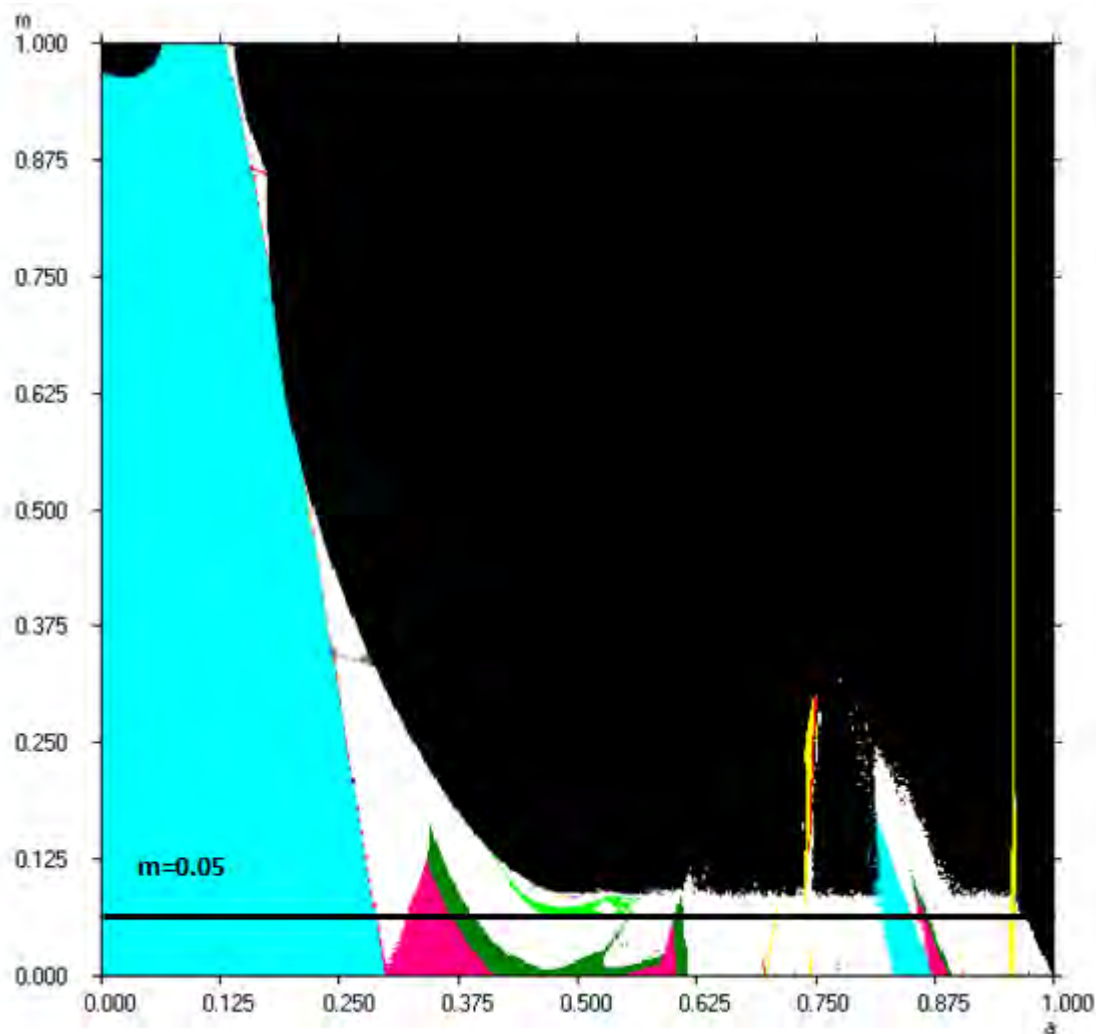
Στην Εικόνα 3-34 μπορούμε να δούμε κάποιες χαρακτηριστικές διαγραμματικές φάσεις, καθώς αυξάνεται η παράμετρος a . Έτσι:

- Στο σχήμα (α), για $a = 0,2784$ βλέπουμε τον οριακό κύκλο που δημιουργήθηκε γύρω από το σημείο ισορροπίας μέσω μια διακλάδωσης Neimark-Sacker.
- Στο σχήμα (β), για $a = 0,3$ παρατηρούμε ότι ο κύκλος σιγά-σιγά ανοίγει και «σπάει».
- Στο σχήμα (γ), για $a = 0,328$ βλέπουμε τα πέντε σημεία ισορροπίας, που αντιστοιχούν σε κύκλο πέντε περιόδων.
- Στο σχήμα (δ), για $a = 0,3778$ παρατηρούμε ότι με αυτή την αύξηση του a , τα πέντε σημεία ισορροπίας έχουν πάρει το καθένα τη μορφή ενός παράξενου ελκυστή.
- Στο σχήμα (ε), για $a = 0,40$ εμφανίζεται πλέον ένας ενοποιημένος παράξενος ελκυστής, που οδηγεί σε χαοτική συμπεριφορά.



Εικόνα 3-34 Διαγράμματα φάσης για (α) $a = 0,2784$, (β) $a = 0,3$, (γ) $a = 0,328$, (δ) $a = 0,3778$

Σε αυτή την υποπερίπτωση παρατηρούμε ότι για μεγαλύτερη ανταγωνιστικότητα μεταξύ των δύο χωρών ($m = 0,5$) και την πολιτική της χώρας Y να παραμένει επιθετική ($b = 0,83$), παρατηρούμε ότι ο αριθμός εναλλακτικών πολιτικών της χώρας X για τις οποίες μπορεί να ξεσπάσει πόλεμος είναι μεγαλύτερος. Ακόμα και όταν η χώρα X έχει μια αμυντική πολιτική ($a = 0,40$), τότε υπάρχει μεγάλος κίνδυνος οι δύο χώρες να οδηγηθούν σε πόλεμο.

3.3.3 3^η περίπτωση: $b = 0,96$ 

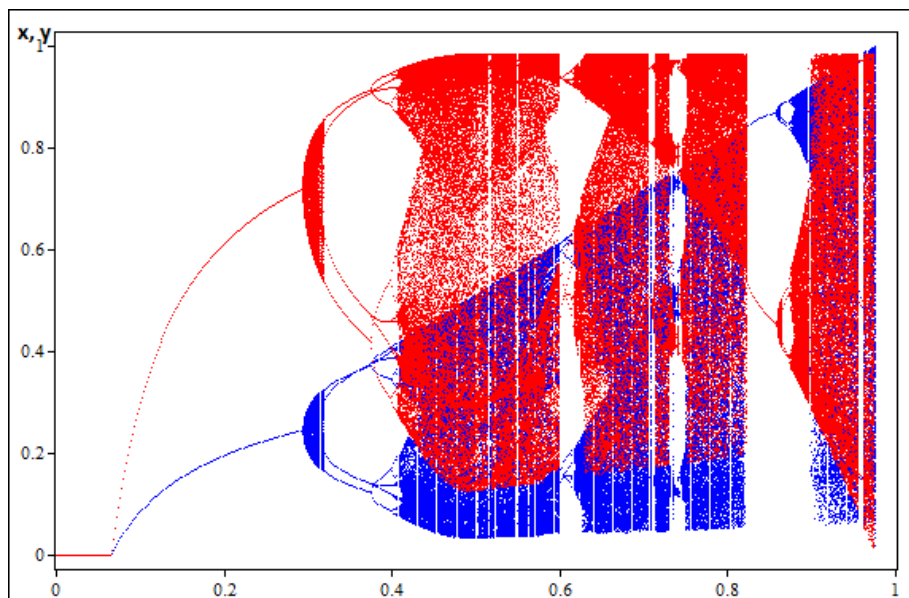
Εικόνα 3-35 Διάγραμμα περιοχών σύγκλισης ($b = 0,96$) και η ευθεία $m = 0,05$.

Σε αυτή την περίπτωση, που έχουμε μια ακραία επιθετική πολιτική από τη χώρα Y ($b = 0,96$), παρατηρούμε στο διάγραμμα περιοχών σύγκλισης επικρατεί μαύρη περιοχή μη ρεαλιστικών τιμών. Για τιμές $0 < a < 0,30$, $0 < m < 1$ εμφανίζεται ένα τραπέζιο σχήμα γαλάζιας περιοχής όπου έχουμε ελκυστή και σημείο ισορροπίας πρώτης περιόδου. Μέσα σε αυτή τη γαλάζια περιοχή παρατηρούμε επάνω αριστερά μια μικρή μαύρη περιοχή μη ρεαλιστικών τιμών που εμφανίζεται για αρκετά μεγάλες τιμές του m . Για πολύ μικρές τιμές του m και καθώς αυξάνεται η παράμετρος a , παρατηρούμε και μια λευκή περιοχή μη περιοδικότητας μέσα στην οποία βλέπουμε και περιοχές άλλων περιόδων. Πιο συγκεκριμένα εμείς θα αναλύσουμε την περιοχή που αυξάνεται η παράμετρος a , όταν ο συντελεστής m παραμένει σταθερός και είναι ίσος με $m = 0,05$. Έτσι παρατηρούμε για τιμές $0 < a < 0,29$ έχουμε ελκυστή και σημείο ισορροπίας

ας, γιατί βρισκόμαστε στη γαλάζια περιοχή. Για τιμές $0,29 < a < 0,97$ έχουμε λευκές περιοχές μη περιοδικότητας, περιοχές τετραπλάσιας περιόδου, περιοχές της όγδοης περιόδου, μια μικρή περιοχή πρώτης περιόδου και τέλος μια πάρα πολύ μικρή περιοχή πέμπτης περιόδου. Για $0,97 < a < 1$ έχουμε μαύρη περιοχή μη ρεαλιστικών τιμών.

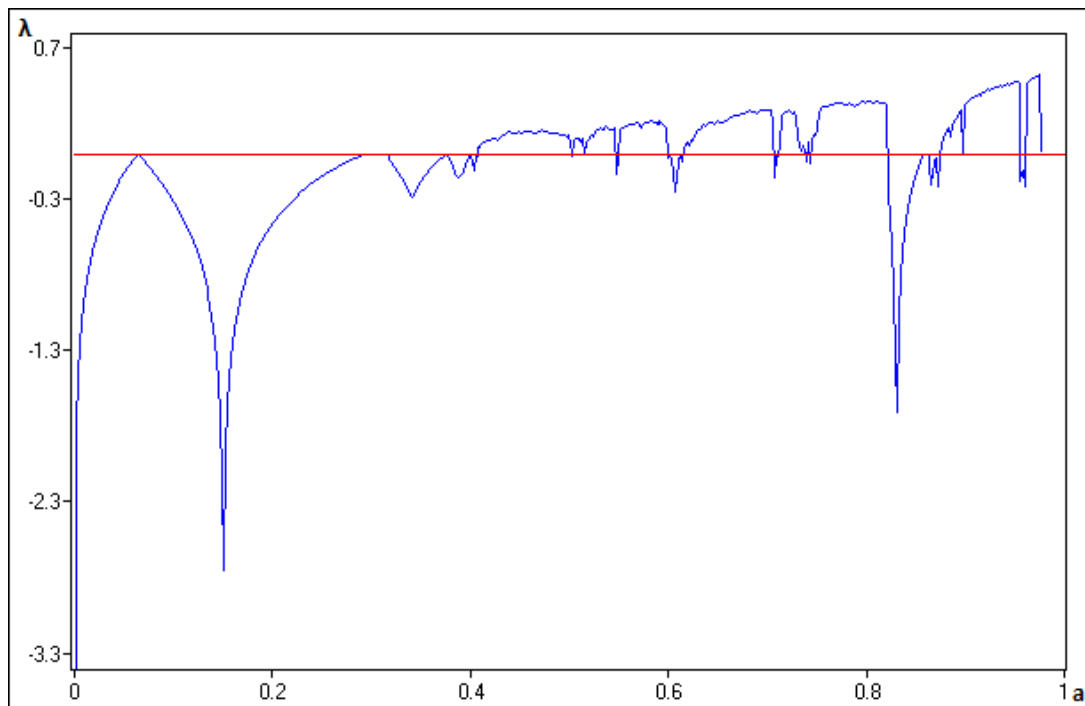
Από το διάγραμμα διακλάδωσης και για τις δύο χώρες, καθώς η παράμετρος a αυξάνεται για $0 < a < 1$ παρατηρούμε τα εξής (Εικόνα 3-36):

- Για την περιοχή $0,29 < a < 0,31$ εμφανίζεται διακλάδωση Neimark-Sacker.
- Για την περιοχή $0,31 < a < 0,37$ έχουμε διακλάδωση τεσσάρων περιόδων.
- Για την περιοχή $0,37 < a < 0,40$ έχουμε διακλάδωση οχτώ περιόδων.
- Για την περιοχή $0,40 < a < 0,60$ εμφανίζεται ξανά διακλάδωση Neimark-Sacker.
- Για την περιοχή $0,60 < a < 0,61$ έχουμε διακλάδωση οχτώ περιόδων.
- Για την περιοχή $0,61 < a < 0,81$ έχουμε και πάλι την εμφάνιση μιας διακλάδωσης Neimark-Sacker.
- Για την περιοχή $0,81 < a < 0,87$ έχω διακλάδωση πρώτης περιόδου που συνεχίζει μέχρι τετραπλασιασμό της περιόδου.
- Τέλος, για την περιοχή $0,87 < a < 0,97$ εμφανίζεται και πάλι μια διακλάδωση Neimark-Sacker, που τείνει σε χαοτική συμπεριφορά.



Εικόνα 3-36 Διάγραμμα διακλάδωσης για τις χώρες X και Y για $0 < a < 1$.

Τις μεταβολές του εκθέτη Lyapunov, καθώς αυξάνεται η παράμετρος a μπορούμε να τις δούμε διαγραμματικά στο σχήμα που απεικονίζεται παρακάτω (Εικόνα 3-37). Εδώ, η μέγιστη τιμή του εκθέτη Lyapunov είναι 0,57 για $a = 0,97$ και το σύστημα μας παρουσιάζει την πιο χαοτική συμπεριφορά από όσες έχουμε παρουσιάσει.

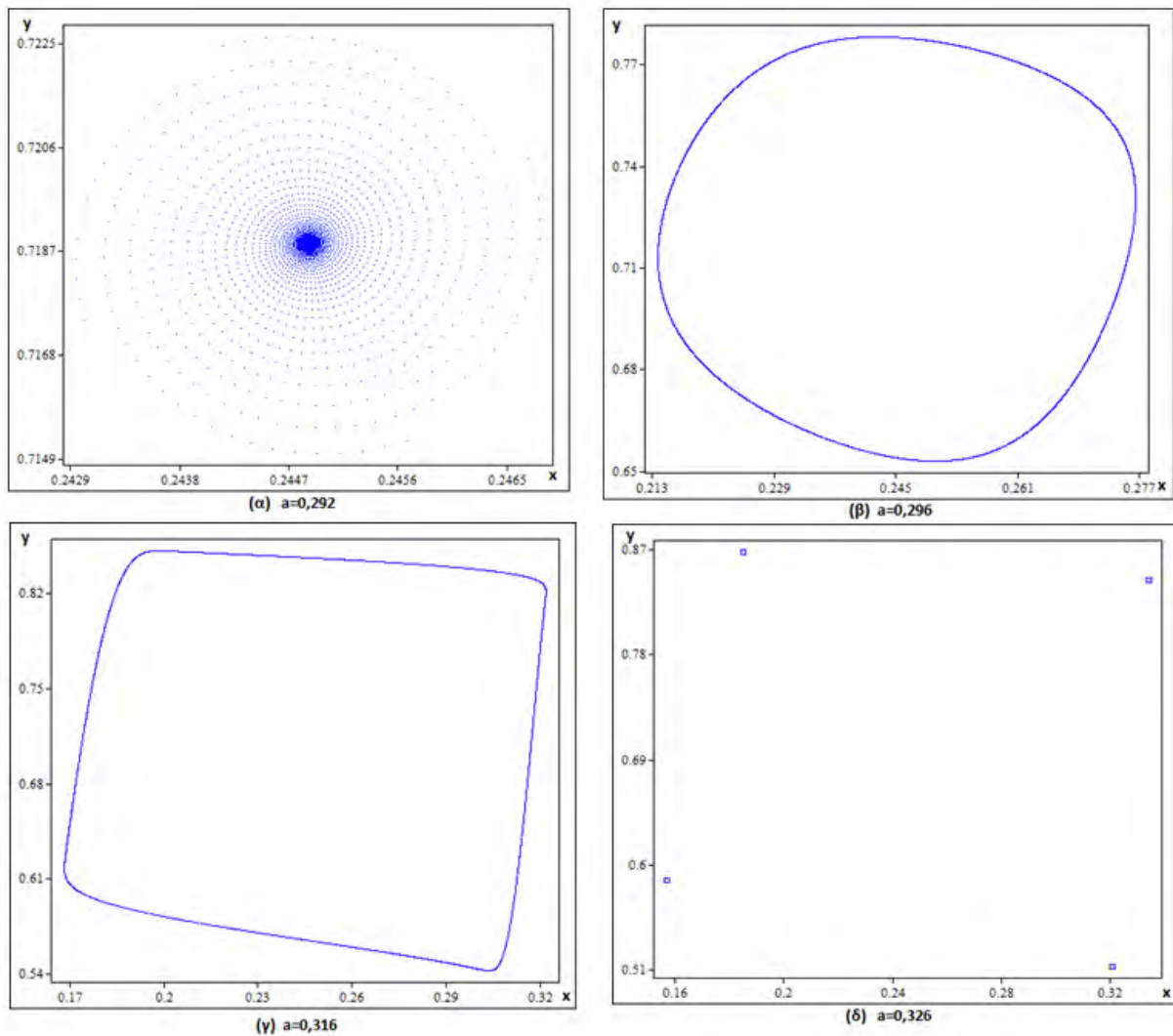


Εικόνα 3-37 Διάγραμμα εκθέτη Lyapunov για $0 < a < 1$.

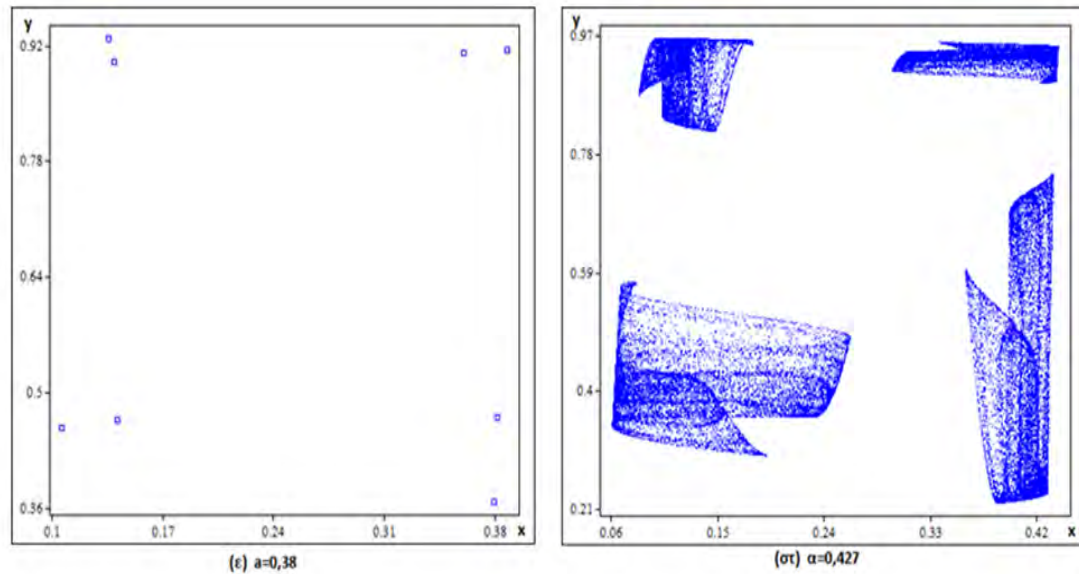
Για κάποιες τιμές της παραμέτρου a το διάγραμμα φάσης μας δίνει τις εξής πληροφορίες (Εικόνες 3-38, 3-39):

- Στο σχήμα (α), για $a = 0,292$ βλέπουμε ένα ελκυστικό σημείο ισορροπίας ($x^* = 0,24$, $y^* = 0,77$) που παρουσιάζεται με τη μορφή σπείρας.
- Στο σχήμα (β), για $a = 0,296$, έχουμε την εμφάνιση ενός οριακού κύκλου γύρω από το σημείο ισορροπίας μέσω της διακλάδωσης Neimark-Sacker.
- Στο σχήμα (γ), για $a = 0,316$, παρατηρούμε ότι ο οριακός κύκλος αρχίζει να «σπάει» και να αλλάζει σχήμα.
- Στο σχήμα (δ), για $a = 0,326$ βλέπουμε τα τέσσερα σημεία ισορροπίας για την τέταρτη περίοδο.
- Στο σχήμα (ε), για $a = 0,38$ εμφανίζονται πλέον τα οχτώ σημεία ισορροπίας αφού βρισκόμαστε σε κύκλο οχτώ περιόδων.

- Στο σχήμα (στ), για $a = 0,427$ παρατηρούμε ότι τα οχτώ σημεία δημιουργούν ανά δύο παράξενους ελκυστές, που εμφανίζουν χαοτική συμπεριφορά.



Εικόνα 3-38 Διαγράμματα φάσης για (α) $a = 0,292$, (β) $a = 0,296$, (γ) $a = 0,316$, (δ) $a = 0,326$



Εικόνα 3-39 Διαγράμματα φασικού χώρου για $(\varepsilon) \alpha = 0,38$, $(\sigma\tau) \alpha = 0,427$.

Σε αυτήν εδώ την περίπτωση παρατηρούμε ότι για μια ακραία επιθετική πολιτική της χώρας Y , υπάρχει μεγάλος κίνδυνος να ξεσπάσει πόλεμος μεταξύ των χωρών X και Y . Ακόμα και για έναν πολύ μικρό συντελεστή ανταγωνιστικότητας μεταξύ των χωρών ($m = 0,05$), για αρκετές εναλλακτικές πολιτικές της χώρας X υπάρχει ο κίνδυνος του πολέμου.

3.4 ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Αναφορικά με τη μελέτη του μοντέλου ανταγωνιστικών εξοπλισμών του Saperstein προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

- Όταν η πολιτική της χώρας Y είναι αμυντική, τότε οι δύο χώρες δεν αντιμετωπίζουν τον κίνδυνο του πολέμου για αρκετές πολιτικές της χώρας X . Μόνο όταν η πολιτική της χώρας X είναι ακραία επιθετική και αυξάνει πάρα πολύ τους εξοπλισμούς της, μόνο τότε αντιμετωπίζουν τον κίνδυνο ενός επικείμενου πολέμου.
- Όταν η πολιτική της χώρας Y είναι επιθετική, τότε οι δύο χώρες για αρκετές πολιτικές της χώρας X δεν αντιμετωπίζουν τον κίνδυνο του πολέμου. Η μόνη διαφορά με την περίπτωση που η πολιτική της χώρας Y είναι αμυντική, είναι ότι ο αριθμός των εναλλακτικών πολιτικών της χώρας X για τις οποίες υπάρχει ο κίνδυνος να ξεσπάσει πόλεμος, είναι μεγαλύτερος.
- Τέλος, όταν η πολιτική της χώρας Y είναι ακραία επιθετική, τότε ακόμα και για αμυντικές πολιτικές της χώρας X , υπάρχει ο κίνδυνος να ξεσπάσει πόλεμος ανάμεσα στις δύο χώρες.

Από τη μελέτη του τροποποιημένου μας μοντέλου τα συμπεράσματα που προκύπτουν είναι τα εξής:

- Από την εισαγωγή του συντελεστή αύξησης της ανταγωνιστικότητας και του παράγοντα επιτάχυνσης των διαδικασιών προκύπτει μεγαλύτερη πολυπλοκότητα.
- Όταν έχουμε μια ουδέτερη πολιτική της χώρας Y , παρατηρούμε ότι καθώς αυξάνεται ο συντελεστής ανταγωνιστικότητας μεταξύ των δύο χωρών, όσο πιο επιθετική είναι η πολιτική της χώρας X τόσο μεγαλύτερος είναι ο κίνδυνος να ξεσπάσει πόλεμος μεταξύ των δύο χωρών.
- Όταν έχουμε μια επιθετική πολιτική της χώρας Y , ο αριθμός των εναλλακτικών πολιτικών της χώρας X , για τις οποίες μπορεί να ξεσπάσει πόλεμος, είναι ακόμα μεγαλύτερος. Η σχέση μεταξύ των δύο χωρών γίνεται ακόμα χειρότερη όσο αυξάνεται ο συντελεστής ανταγωνιστικότητας.
- Τέλος, όταν η πολιτική της χώρας Y είναι ακραία επιθετική, τότε ακόμα και αν ο συντελεστής ανταγωνιστικότητας μεταξύ των δύο χωρών είναι

πολύ μικρός, ακόμα και αν η πολιτική της χώρας είναι αμυντική, υπάρχει μεγάλος κίνδυνος να ξεσπάσει πόλεμος μεταξύ τους.

Βιβλιογραφία

- ANDERTON, H. C. (1989). “*Arms Race Modeling: Problems and Prospects*”, The Journal of Conflict Resolution, Vol. 33, No. 2, pp. 346-367.
- BALIGA, S. and SJOSTROM, T. (2004). “*Arms Races and Negotiations*”, The Review of Economic Studies, Vol. 71, pp. 351-369.
- BIOSCI, J. (2002). “*Warring ants: Lessons from Lanchester’s laws of combat?*”, Indian Academy of Sciences, Vol. 27, No. 2, pp. 75-78.
- CASPARY, R. W. (1967). “*Richardson’s Model of Arms Races: Description, Critique and an Alternative Model*”, International Studies Quarterly, Vol. 11, No. 1, pp. 63-88.
- DIEHL, F. P. (1983). “*Arms Races and Escalation: A Closer Look*”, Journal of Peace Research, Vol. 20, No. 3, pp. 205-212.
- DIKS, C., HOMMES, C., PANCHENKO, V., VAN DER WEIDE, R. (2008). “*E&F Chaos: A user-friendly software package for nonlinear economic dynamics*”, Comput. Econ., **32**(1-2), pp. 221-244.
- ENGEL, J. H. (1954). “*A Verification of Lanchester’s Law*”, Journal of the Operations Research Society of America, Vol. 2, No. 2, pp.163-171.
- ETCHESON, C. (1989). “*Arms race theory: Strategy and structure of behavior*”, New York: Greenwood.
- GRAY, S. C. (1971). “*The Arms Race Phenomenon*”, World Politics, Vol. 24, No.1, pp. 39-79.
- GROSSMANN, S. and MAYER-KRESS, G. (1989). “*Chaos in the international arms race*”, NATURE, VOL. 337, No. 23, pp. 701-704.
- HOU, N. (2009). “*Arms Race, Military Expenditure and Economic Growth in India*”, Department of Economics, Business School, The University of Birmingham.
- INTRILIGATOR, M. D. (1975). “*Strategic Considerations in the Richardson Model of Arms Race*”, Journal of Political Economy, 83 (2), 339-353.
- INTRILIGATOR, M. D. and BRITO, D. L. (1984). “*Can Arms Races Lead to the Outbreak of War?*”, Journal of Conflict Resolution, Vol. 28, No. 1, pp. 63-84.
- INTRILIGATOR, M. D. and BRITO, D. L. (2000). “*ARMS RACES*”, Defence and Peace Economics, Vol. 11, No. 1.
- JERVIS, R. (1976). *Perception and Misperception in International Politics*, (Princeton, NJ: Princeton University Press).
- JERVIS, R. (1978). “*Cooperation under the Security Dilemma*”, World Politics, Vol. 30, pp. 167-214.
- LEPINGWELL, W. R. J. (1987). “*The Laws of Combat?*”, *Lanchester Reexamined*, International Security, Vol. 12, No. 1, pp. 89-134.
- MAYER, F. T. (1986). “*Arms Races and War Initiation: Some Alternatives to the Intriligator-Brito Model*”, The Journal of Conflict Resolution, Vol. 30, No. 1, pp. 3-28.

- MCGINNIS, D. M. (1991). “*Richardson, Rationality, and Restrictive Models of Arms Races*”, The Journal of Conflict Resolution, Vol. 35, No. 3, pp. 443-473.
- MOLL, D. K. and LUEBBERT, M. G.(1980). “*Arms Race and Military Expenditure Models: A Review*”, The Journal of Conflict Resolution, Vol. 24, No. 1, pp. 153-185.
- OLSEN, A. E. (1986). “*The Arms Race on the Korean Peninsula*”, Asian Survey, Vol. 26, No. 8, pp. 851-867.
- PARK, W. T. (1980). “*The Korean Arms Race: Implications in the International Politics of Northeast Asia*”, Asian Survey, Vol. 20, No. 6, pp. 648-660.
- PENTEK, A. et al. (2001). “*A time-integrated Richardson model*”, European Journal of Operational Research, Vol. 129, pp. 518-538.
- RICHARDSON, L. F. (1960). *Arms and Insecurity: A Mathematical Study of Causes and Origins of War*, Pittsburgh: Boxwood Press.
- SAPERSTEIN, M. A. (1984). “*Chaos - a model for the outbreak of war*”, Nature, Vol. 309, pp.303-305.
- SAPERSTEIN, M. A. (1991). “*The "Long Peace" - Result of a Bipolar Competitive World?*”, The Journal of Conflict Resolution, Vol. 35, No. 1, pp. 68-79.
- SAPERSTEIN, M. A. (1999). *Dynamical modeling of the onset of war*, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.
- SAPERSTEIN, M. A. (2007). “*Chaos in Models of Arms Races and the Initiation of War*”, Wiley Periodicals Inc., Vol. 12, No. 3, pp. 22-26.
- SCHELLING, T. C. (1960). *The Strategy of Conflict*, Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Internet: <http://www.history.com/>
- Internet: Wikipedia, <http://www.wikipedia.org/>