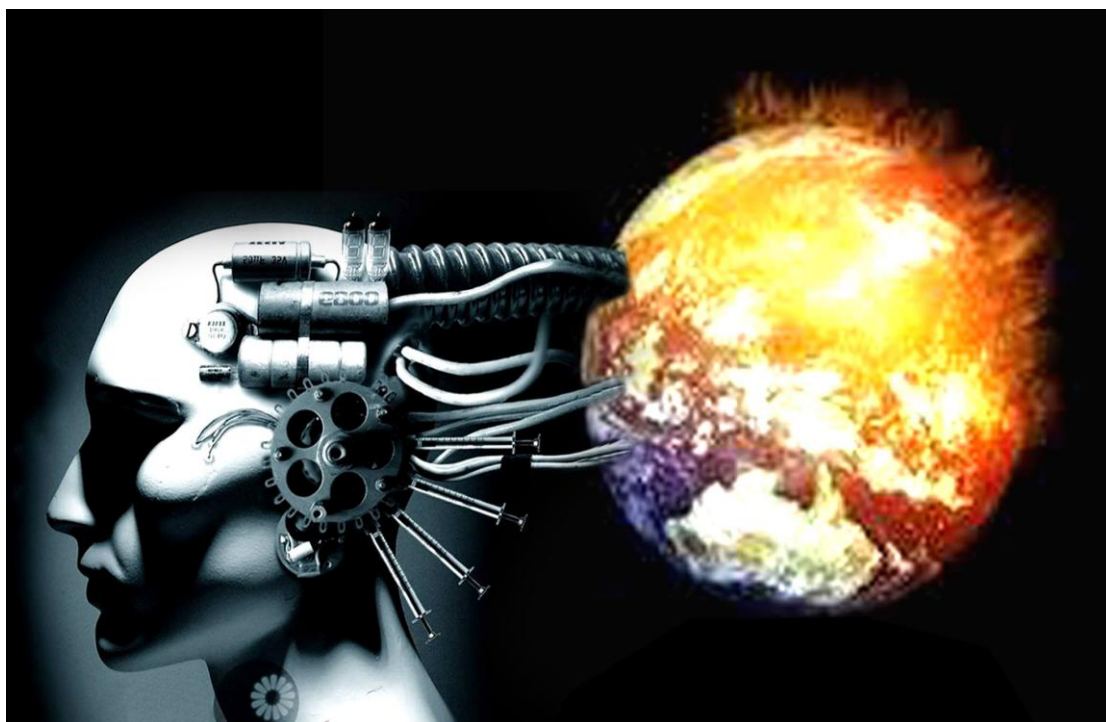




**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΧΡΗΣΗ ΝΕΥΡΩΝΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΤΗΣ  
ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ  
ΣΕ ΤΕΧΝΗΤΕΣ ΛΙΜΝΕΣ ΑΝΑ ΤΟΝ ΚΟΣΜΟ**



Διπλωματική Εργασία  
Παναγιώτης Παπαυγέρης

Επιβλέπουσα:  
Μαρία Παπαδοπούλου, Επ. Καθηγήτρια ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2014



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΧΡΗΣΗ ΝΕΥΡΩΝΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΤΗΣ  
ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ  
ΑΛΛΑΓΗΣ ΣΕ ΤΕΧΝΗΤΕΣ ΛΙΜΝΕΣ ΑΝΑ ΤΟΝ ΚΟΣΜΟ**

Διπλωματική Εργασία  
Παναγιώτης Παπαυγέρης

Επιβλέπουσα:  
Μαρία Παπαδοπούλου, Επ. Καθηγήτρια ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2014



## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στην Επίκουρη Καθηγήτρια της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών Μαρία Παπαδοπούλου επιβλέπουσα της παρούσας διπλωματικής εργασίας, για την ανταπόκρισή της στην επιθυμία μου να συνεργαστούμε στα πλαίσια της διπλωματικής. Η συνεργασία μου μαζί της αποτέλεσε μεγάλο σταθμό στις σπουδές μου και την ευχαριστώ γι' αυτό.

Θα ήθελα, επίσης, να ευχαριστήσω την οικογένεια και τους φίλους μου που με στήριξαν σε αυτές τις δύσκολες ημέρες και με βοήθησαν να ξεφεύγω από το άγχος μου.

Το μεγαλύτερο, όμως, ευχαριστώ το χρωστάω στην Κατερίνα Ζομπανάκη η οποία παρόλο που βρίσκεται σε άλλη ήπειρο και παρ' όλες τις δικές της υποχρεώσεις με βοήθησε σε ό,τι χρειάστηκα χωρίς να παραπονεθεί και πολλές φορές με έβγαζε από τις καταστάσεις φρίκης που με κατάκλυζαν. Εξαιτίας της Κατερίνας κατάφερα να τελειώσω τόσο τη διπλωματική μου εργασία όσο και τη σχολή μου.



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>1. Εισαγωγή στην Κλιματική Αλλαγή.....</b>	<b>3</b>
1.1 Το φαινόμενο της Κλιματικής Αλλαγής.....	3
1.2 Βροχόπτωση, Εξάτμιση, Εξατμισοδιαπνοή και Κλιματική Αλλαγή.....	4
1.3 Η τήξη των πάγων.....	5
1.4 Η άνοδος της Μέσης Στάθμης της Θάλασσας.....	6
1.5 Τα Παγκόσμια Μέτρα για την Κλιματική Αλλαγή.....	8
1.6 Σκοπός της Διπλωματικής Εργασίας.....	11
1.7 Διάρθρωση Διπλωματικής.....	12
<b>2. Περιοχές Μελέτης.....</b>	<b>15</b>
2.1 Τεχνητή Λίμνη.....	15
2.2 Κλιματική Αλλαγή ανά Ήπειρο μέχρι Σήμερα.....	16
2.2.1 Αυστραλία.....	16
2.2.2 Αφρική.....	16
2.2.3 Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής.....	16
2.2.4 Νότια Αμερική – Αργεντινή.....	17
2.2.5 Ευρώπη – Ολλανδία.....	17
2.2.6 Ασία - Κίνα.....	18
2.3 Υπάρχουσα Κατάσταση περιοχών Μελέτης.....	18
2.3.1 Περιοχές Μελέτης.....	18
2.3.2 Αυστραλία – Αργκάιλ.....	19
2.3.3 Αφρική – Βόλτα.....	20
2.3.4 Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής – Σάλτον Σι.....	21
2.3.5 Αργεντινή - Σαν Ρόκε.....	22
2.3.6 Ολλανδία – Αϊσέλμερ.....	23
2.3.7 Κίνα – Γκαόγιου.....	24
<b>3. Μεθοδολογία Προσέγγισης.....</b>	<b>27</b>
3.1 Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα και Προσέγγιση Προβλήματος.....	27
3.2 Νευρωνικά Δίκτυα.....	27
3.2.1 Βιολογικά Νευρωνικά Δίκτυα.....	27
3.2.2 Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα ΤΝΔ.....	28
3.3 Περιγραφή Απλού Τεχνητού Νευρώνα.....	29
3.3.1 Μοντέλο Απλού Τεχνητού Νευρώνα.....	29

3.3.2	Συναρτήσεις ενεργοποίησης νευρώνων.....	31
3.3.3	Αρχιτεκτονική Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων.....	34
3.3.4	Κανόνες Μάθησης .....	35
3.3.5	Εφαρμογές Νευρωνικών δικτύων.....	35
3.4	Νευρωνικά Δίκτυα και Υδρολογία .....	36
3.5	Προηγούμενη Μελέτη στις υπό Εξέταση Τεχνητές Λίμνες.....	37
3.6	Δεδομένα Μελέτης.....	38
3.6.1	Χρονοσειρές .....	38
3.6.2	Εξίσωση Υδατικού Ισοζυγίου .....	38
3.6.3	Παρουσίαση Δεδομένων .....	39
3.7	Μεθοδολογία Προσέγγισης του Αντικειμένου της Διπλωματικής.....	46
3.8	Κριτήρια Επιλογής Κατάλληλης Αρχιτεκτονικής Νευρωνικού Δικτύου.....	46
<b>4.</b>	<b>MATLAB – Αποτελέσματα .....</b>	<b>51</b>
4.1	Πρόβλεψη με Πλήρη Δεδομένα .....	51
4.1.1	Αρχιτεκτονική Δικτύου.....	51
4.1.2	Εκπαίδευση Δικτύου .....	51
4.1.3	Αποτελέσματα Εκπαίδευσης .....	53
4.1.4	Αποτελέσματα Πρόβλεψης.....	63
4.2	Πρόβλεψη με Ελλιπή Δεδομένα .....	67
4.2.1	Αρχιτεκτονική Δικτύου.....	67
4.2.2	Εκπαίδευση Δικτύου .....	67
4.2.3	Αποτελέσματα Εκπαίδευσης .....	68
4.2.4	Αποτελέσματα πρόβλεψης.....	77
4.2.5	Συνολικά διαγράμματα.....	84
4.3	Πρόβλεψη με Λιγότερες Μεταβλητές .....	88
4.3.1	Αρχιτεκτονική Δικτύου.....	88
4.3.2	Εκπαίδευση Δικτύου .....	88
4.3.3	Αποτελέσματα Εκπαίδευσης .....	88
<b>5.</b>	<b>Ανάλυση Αποτελεσμάτων .....</b>	<b>103</b>
5.1	Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής-Λίμνη Σάλτον Σι.....	103
5.2	Κίνα-Λίμνη Γκαόγιου .....	104
5.3	Ολλανδία-Λίμνη Αϊσέλμερ .....	105
5.4	Αργεντινή-Λίμνη Σαν Ρόκε .....	106
5.5	Αφρική-Λίμνη Βόλτα .....	107

5.6	Αυστραλία-Λίμνη Αργκάιλ .....	108
5.7	Ανάλυση Αποτελεσμάτων Εκπαίδευσης ΤΝΔ.....	109
<b>6.</b>	<b>Συζήτηση .....</b>	<b>113</b>
	<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>	<b>115</b>
	<b>Παράρτημα 1 (δεδομένα λιμνών) .....</b>	<b>125</b>





## ΠΙΝΑΚΕΣ

Πίνακας 4.1: Πίνακας τιμών του $R$ (πλήρη δεδομένα) Σάλτον Σι .....	54
Πίνακας 4.2: Πίνακας τιμών του $R$ (πλήρη δεδομένα) Γκαόγιου .....	56
Πίνακας 4.3: Πίνακας τιμών του $R$ (πλήρη δεδομένα) Αϊσέλμερ .....	58
Πίνακας 4.4: Πίνακας τιμών του $R$ (πλήρη δεδομένα) Σαν Ρόκε .....	59
Πίνακας 4.5: Πίνακας τιμών του $R$ (πλήρη δεδομένα) Βόλτα .....	61
Πίνακας 4.6: Πίνακας τιμών του $R$ (πλήρη δεδομένα) Αργκάιλ.....	62
Πίνακας 4.7: Ο συντελεστής συσχέτισης $R$ (ελλιπή δεδομένα) Σάλτον Σι.....	69
Πίνακας 4.8: Ο συντελεστής συσχέτισης $R$ (ελλιπή δεδομένα) Γκαόγιου.....	71
Πίνακας 4.9: Ο συντελεστής συσχέτισης $R$ (ελλιπή δεδομένα) Αϊσέλμερ.....	72
Πίνακας 4.10: Ο συντελεστής συσχέτισης $R$ (ελλιπή δεδομένα) Σαν Ρόκε.....	74
Πίνακας 4.11: Ο συντελεστής συσχέτισης $R$ (ελλιπή δεδομένα) Βόλτα .....	75
Πίνακας 4.12: Ο συντελεστής συσχέτισης $R$ (ελλιπή δεδομένα) Αργκάιλ.....	77
Πίνακας 4.13: Ο συντελεστής συσχέτισης $R$ ( $A, P, T$ ) Σάλτον Σι .....	89
Πίνακας 4.14: Ο συντελεστής συσχέτισης $R$ ( $A, P, T$ ) Γκαόγιου .....	90
Πίνακας 4.15: Ο συντελεστής συσχέτισης $R$ ( $A, P, T$ ) Αϊσέλμερ.....	91
Πίνακας 4.16: Ο συντελεστής συσχέτισης $R$ ( $A, P, T$ ) Σαν Ρόκε.....	92
Πίνακας 4.17: Ο συντελεστής συσχέτισης $R$ ( $A, P, T$ ) Βόλτα .....	93
Πίνακας 4.18: Ο συντελεστής συσχέτισης $R$ ( $A, P, T$ ) Αργκάιλ.....	94
Πίνακας 4.19: Ο συντελεστής συσχέτισης $R$ ( $P, T$ ) Σάλτον Σι .....	95
Πίνακας 4.20: Ο συντελεστής συσχέτισης $R$ ( $P, T$ ) Γκαόγιου .....	96
Πίνακας 4.21: Ο συντελεστής συσχέτισης $R$ ( $P, T$ ) Αϊσέλμερ .....	97
Πίνακας 4.22: Ο συντελεστής συσχέτισης $R$ ( $P, T$ ) Σαν Ρόκε.....	98
Πίνακας 4.23: Ο συντελεστής συσχέτισης $R$ ( $P, T$ ) Βόλτα .....	99
Πίνακας 4.24: Ο συντελεστής συσχέτισης $R$ ( $P, T$ ) Αργκάιλ.....	100

## ΕΙΚΟΝΕΣ

Εικόνα 2.1: Τοποθεσία επιλεγμένων λιμνών.....	19
Εικόνα 2.3 : Η λίμνη Αργκάιλ .....	19
Εικόνα 2.2 : Αυστραλία – Αργκάιλ .....	19
Εικόνα 2.4 : Αφρική - Η λίμνη Βόλτα .....	20
Εικόνα 2.5: Η λίμνη Βόλτα.....	20
Εικόνα 2.6 : ΗΠΑ - Η λίμνη Σάλτον Σι .....	21
Εικόνα 2.7: Η λίμνη Σάλτον Σι.....	21
Εικόνα 2.9: Η λίμνη Σαν Ροκέ.....	22
Εικόνα 2.8 : Νότιος Αμερική - Η λίμνη Σαν Ροκέ.....	22
Εικόνα 2.11 : Η λίμνη Αϊσέλμερ.....	23
Εικόνα 2.10 : Ευρώπη - Η λίμνη Αϊσέλμερ .....	23
Εικόνα 2.12 : Ασία - Η λίμνη Γκαόγιου .....	24
Εικόνα 2.13 : Η λίμνη Γκαόγιου.....	24
Εικόνα 3.1: Βιολογικός νευρώνας .....	28
Εικόνα 3.2: Μοντέλο τεχνητού νευρώνα .....	29
Εικόνα 3.3: Εγγενής μετασχηματισμός λόγω παρουσίας κατωφλιού .....	30
Εικόνα 3.4: Απεικόνιση στοιχείων τεχνητού νευρώνα .....	31
Εικόνα 3.5: Βηματική συνάρτηση .....	32
Εικόνα 3.6: Συνάρτηση πρόσημου .....	32
Εικόνα 3.7: Γραμμική συνάρτηση ενεργοποίησης .....	33
Εικόνα 3.8: Σιγμοειδής συνάρτηση .....	34
Εικόνα 4.1: Αρχιτεκτονική τεχνητού νευρωνικού δικτύου με πλήρη δεδομένα .....	51
Εικόνα 4.3: Αρχιτεκτονική νευρωνικού δικτύου με ελλιπή δεδομένα 1.....	67
Εικόνα 4.2: Αρχιτεκτονική νευρωνικού δικτύου με ελλιπή δεδομένα 2.....	67

## ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

Διάγραμμα 3.1: Η χρονοσειρά αθροιστικής βροχόπτωσης (mm/μήνα) – Ζομπανάκη 2012.....	39
Διάγραμμα 3.2: Η χρονοσειρά αθροιστικής εξατμισοδιαπνοής (m/μήνα) – Ζομπανάκη 2012.....	40
Διάγραμμα 3.3: Η χρονοσειρά αθροιστικής εξάτμισης (m/μήνα) – Ζομπανάκη 2012	41
Διάγραμμα 3.4: Η χρονοσειρά απορροής (m <sup>3</sup> /μήνα) – Ζομπανάκη 2012 .....	42
Διάγραμμα 3.5: Η χρονοσειρά διαφοράς στάθμης (m) – Ζομπανάκη 2012 .....	43
Διάγραμμα 4.1: Η επίδοση του νευρωνικού δικτύου σε σχέση με τις επαναλήψεις (πλήρη δεδομένα) ΑρΣάλτον Σι .....	53
Διάγραμμα 4.2: Ο συντελεστής συσχέτισης R (πλήρη δεδομένα) Σάλτον Σι .....	54
Διάγραμμα 4.3: Η επίδοση του νευρωνικού δικτύου σε σχέση με τις επαναλήψεις (πλήρη δεδομένα) Γκαόγιου .....	55
Διάγραμμα 4.4: Ο συντελεστής συσχέτισης R (πλήρη δεδομένα) Γκαόγιου .....	56
Διάγραμμα 4.5: Η επίδοση του νευρωνικού δικτύου σε σχέση με τις επαναλήψεις (πλήρη δεδομένα) Αϊσέλμερ.....	57
Διάγραμμα 4.6: Ο συντελεστής συσχέτισης R (πλήρη δεδομένα) Αϊσέλμερ.....	57
Διάγραμμα 4.7: Η επίδοση του νευρωνικού δικτύου σε σχέση με τις επαναλήψεις (πλήρη δεδομένα) Σαν Ρόκε.....	58
Διάγραμμα 4.8: Ο συντελεστής συσχέτισης R (πλήρη δεδομένα) Σαν Ρόκε.....	59
Διάγραμμα 4.10: Ο συντελεστής συσχέτισης R (πλήρη δεδομένα) Βόλτα .....	60
Διάγραμμα 4.9: Η επίδοση του νευρωνικού δικτύου σε σχέση με τις επαναλήψεις (πλήρη δεδομένα) Βόλτα .....	60
Διάγραμμα 4.11: Η επίδοση του νευρωνικού δικτύου σε σχέση με τις επαναλήψεις (πλήρη δεδομένα) Αργκάιλ .....	61
Διάγραμμα 4.12: Ο συντελεστής συσχέτισης R (πλήρη δεδομένα) Αργκάιλ.....	62
Διάγραμμα 4.13: Τιμές πρόβλεψης διαφοράς στάθμης ΔS με πλήρη δεδομένα για τη λίμνη Σάλτον Σι .....	63
Διάγραμμα 4.14: Τιμές πρόβλεψης διαφοράς στάθμης ΔS με πλήρη δεδομένα για τη λίμνη Γκαόγιου .....	64
Διάγραμμα 4.15: Τιμές πρόβλεψης διαφοράς στάθμης ΔS με πλήρη δεδομένα για τη λίμνη Αισέλμερ .....	64
Διάγραμμα 4.16: Τιμές πρόβλεψης διαφοράς στάθμης ΔS με πλήρη δεδομένα για τη λίμνη Σαν Ροκέ .....	65
Διάγραμμα 4.17: Τιμές πρόβλεψης διαφοράς στάθμης ΔS με πλήρη δεδομένα για τη λίμνη Βόλτα .....	65

Διάγραμμα 4.18: Τιμές πρόβλεψης διαφοράς όγκου $\Delta V$ με πλήρη δεδομένα για τη λίμνη Αργκάιλ.....	66
Διάγραμμα 4.19: Η επίδοση του νευρωνικού δικτύου σε σχέση με τις επαναλήψεις λίμνη Σάλτον Σι .....	68
Διάγραμμα 4.20: Ο συντελεστής συσχέτισης R (ελλιπή δεδομένα) Σάλτον Σι.....	69
Διάγραμμα 4.21: Η επίδοση του νευρωνικού δικτύου σε σχέση με τις επαναλήψεις λίμνη Γκαόγιου .....	70
Διάγραμμα 4.22: Ο συντελεστής συσχέτισης R (ελλιπή δεδομένα) Γκαόγιου.....	70
Διάγραμμα 4.23: Η επίδοση του νευρωνικού δικτύου σε σχέση με τις επαναλήψεις λίμνη Αϊσέλμερ .....	71
Διάγραμμα 4.24: Ο συντελεστής συσχέτισης R (ελλιπή δεδομένα) Αϊσέλμερ.....	72
Διάγραμμα 4.26: Ο συντελεστής συσχέτισης R (ελλιπή δεδομένα) Σαν Ρόκε.....	73
Διάγραμμα 4.25: Η επίδοση του νευρωνικού δικτύου σε σχέση με τις επαναλήψεις λίμνη Σαν Ρόκε .....	73
Διάγραμμα 4.27: Η επίδοση του νευρωνικού δικτύου σε σχέση με τις επαναλήψεις λίμνη Βόλτα .....	74
Διάγραμμα 4.28: Ο συντελεστής συσχέτισης R (ελλιπή δεδομένα) Βόλτα .....	75
Διάγραμμα 4.29: Η επίδοση του νευρωνικού δικτύου σε σχέση με τις επαναλήψεις λίμνη Αργκάιλ.....	76
Διάγραμμα 4.30: Ο συντελεστής συσχέτισης R (ελλιπή δεδομένα) Αργκάιλ .....	76
Διάγραμμα 4.32: Τιμές πρόβλεψης διαφοράς στάθμης $\Delta S$ για τη λίμνη Σάλτον Σι....	78
με πλήρη χρονοσειρα δεδομενων πρόβλεψης .....	78
Διάγραμμα 4. 31: Τιμές πρόβλεψης διαφοράς στάθμης $\Delta S$ για τη λίμνη Σάλτον Σι...	78
με ελλιπή χρονοσειρα δεδομενων πρόβλεψης .....	78
Διάγραμμα 4.33: Τιμές πρόβλεψης διαφοράς στάθμης $\Delta S$ για τη λίμνη Γκαόγιου.....	79
με ελλιπή χρονοσειρα δεδομενων πρόβλεψης .....	79
Διάγραμμα 4.34: Τιμές πρόβλεψης διαφοράς στάθμης $\Delta S$ για τη λίμνη Γκαόγιου.....	79
με πλήρη χρονοσειρα δεδομενων πρόβλεψης .....	79
Διάγραμμα 4.36: Τιμές πρόβλεψης διαφοράς στάθμης $\Delta S$ για τη λίμνη Αϊσέλμερ.....	80
με πλήρη χρονοσειρα δεδομενων πρόβλεψης .....	80
Διάγραμμα 4.35: Τιμές πρόβλεψης διαφοράς στάθμης $\Delta S$ για τη λίμνη Αισέλμερ.....	80
με ελλιπή χρονοσειρα δεδομενων πρόβλεψης .....	80
Διάγραμμα 4.38: Τιμές πρόβλεψης διαφοράς στάθμης $\Delta S$ για τη λίμνη Σαν Ροκέ.....	81
με πλήρη χρονοσειρα δεδομενων πρόβλεψης .....	81
Διάγραμμα 4.37: Τιμές πρόβλεψης διαφοράς στάθμης $\Delta S$ για τη λίμνη Σαν Ροκέ.....	81
με ελλιπή χρονοσειρα δεδομενων πρόβλεψης .....	81

Διάγραμμα 4.40: Τιμές πρόβλεψης διαφοράς στάθμης ΔS για τη λίμνη Βόλτα.....	82
με πλήρη χρονοσειρα δεδομενων πρόβλεψης .....	82
Διάγραμμα 4.39: Τιμές πρόβλεψης διαφοράς στάθμης ΔS για τη λίμνη Βόλτα.....	82
με ελλιπή χρονοσειρα δεδομενων πρόβλεψης .....	82
Διάγραμμα 4.41: Τιμές πρόβλεψης διαφοράς όγκου ΔV για τη λίμνη Αργκάιλ.....	83
με ελλιπή χρονοσειρα δεδομενων πρόβλεψης .....	83
Διάγραμμα 4.42: Τιμές πρόβλεψης διαφοράς όγκου ΔV για τη λίμνη Αργκάιλ.....	83
με πλήρη χρονοσειρα δεδομενων πρόβλεψης .....	83
Διάγραμμα 4.43: Συνολικό διάγραμμα προβλέψεων διαφοράς στάθμης ΔS για τη λίμνη Σάλτον Σι .....	84
Διάγραμμα 4.44: Συνολικό διάγραμμα προβλέψεων διαφοράς στάθμης ΔS για τη λίμνη Γκαόγιου .....	85
Διάγραμμα 4.45: Συνολικό διάγραμμα προβλέψεων διαφοράς στάθμης ΔS για τη λίμνη Αϊσέλμερ .....	85
Διάγραμμα 4.46: Συνολικό διάγραμμα προβλέψεων διαφοράς στάθμης ΔS για τη λίμνη Σαν Ροκέ .....	86
Διάγραμμα 4.47: Συνολικό διάγραμμα προβλέψεων διαφοράς στάθμης ΔS για τη λίμνη Βόλτα .....	86
Διάγραμμα 4.48: Συνολικό διάγραμμα προβλέψεων διαφοράς όγκου ΔV για τη λίμνη Αργκάιλ.....	87
Διάγραμμα 4.49: Ο συντελεστής συσχέτισης R (A, P, T) Σάλτον Σι .....	89
Διάγραμμα 4.50: Ο συντελεστής συσχέτισης R (A, P, T) Γκαόγιου .....	90
Διάγραμμα 4.51: Ο συντελεστής συσχέτισης R (A, P, T) Αϊσέλμερ.....	91
Διάγραμμα 4.52: Ο συντελεστής συσχέτισης R (A, P, T) Σαν Ρόκε.....	92
Διάγραμμα 4.53: Ο συντελεστής συσχέτισης R (A, P, T) Βόλτα .....	93
Διάγραμμα 4.54: Ο συντελεστής συσχέτισης R (A, P, T) Αργκάιλ.....	94
Διάγραμμα 4.56: Ο συντελεστής συσχέτισης R (P, T) Σάλτον Σι.....	95
Διάγραμμα 4.56: Ο συντελεστής συσχέτισης R (P, T) Γκαόγιου.....	96
Διάγραμμα 4.57: Ο συντελεστής συσχέτισης R (P, T) Αϊσέλμερ.....	97
Διάγραμμα 4.58: Ο συντελεστής συσχέτισης R (P, T) Σαν Ρόκε.....	98
Διάγραμμα 4.59: Ο συντελεστής συσχέτισης R (P, T) Βόλτα .....	99
Διάγραμμα 4.60: Ο συντελεστής συσχέτισης R (P,T) Αργκάιλ.....	100
Διάγραμμα 5.1: Πορεία διαφοράς στάθμης (m/μήνα) ανά τα χρόνια για τη λίμνη Σάλτον Σι.....	103
Διάγραμμα 5.2: Πορεία διαφοράς στάθμης (m/μήνα) ανά τα χρόνια για τη λίμνη Γκαόγιου.....	104

Διάγραμμα 5.3: Πορεία διαφοράς στάθμης (m/μήνα) ανά τα χρόνια για τη λίμνη Αϊσέλμερ.....	105
Διάγραμμα 5.4: Πορεία διαφοράς στάθμης (m/μήνα) ανά τα χρόνια για τη λίμνη Σαν Ροκέ.....	106
Διάγραμμα 5.5: Πορεία διαφοράς στάθμης (m/μήνα) ανά τα χρόνια για τη λίμνη Βόλτα.....	107
Διάγραμμα 5.6: Πορεία διαφοράς στάθμης (m/μήνα) ανά τα χρόνια για τη λίμνη Αργκάιλ.....	108
Διάγραμμα Π1: Η χρονοσειρά αθροιστικής βροχόπτωσης (mm/μήνα) λίμνη Γκαόγιου.....	125
Διάγραμμα Π2: Η χρονοσειρά αθροιστικής εξατμισοδιαπνοής (m/μήνα) λίμνη Γκαόγιου.....	126
Διάγραμμα Π3: Η χρονοσειρά αθροιστικής εξάτμισης (m/μήνα) λίμνη Γκαόγιου ....	122
Διάγραμμα Π4: Η χρονοσειρά απορροής (m <sup>3</sup> /μήνα) λίμνη Γκαόγιου.....	123
Διάγραμμα Π5: Η χρονοσειρά διαφοράς στάθμης (m) λίμνη Γκαόγιου.....	124
Διάγραμμα Π6: Η χρονοσειρά αθροιστικής βροχόπτωσης (mm/μήνα) λίμνη Αϊσέλμερ.....	125
Διάγραμμα Π7: Η χρονοσειρά αθροιστικής εξατμισοδιαπνοής (m/μήνα) λίμνη Αϊσέλμερ.....	126
Διάγραμμα Π8: Η χρονοσειρά αθροιστικής εξάτμισης (m/μήνα) λίμνη Αϊσέλμερ ....	127
Διάγραμμα Π9: Η χρονοσειρά απορροής (m <sup>3</sup> /μήνα) λίμνη Αϊσέλμερ.....	128
Διάγραμμα Π10: Η χρονοσειρά διαφοράς στάθμης (m) λίμνη Αϊσέλμερ.....	129
Διάγραμμα Π11: Η χρονοσειρά αθροιστικής βροχόπτωσης (mm/μήνα) λίμνη Σαν Ρόκε.....	130
Διάγραμμα Π12: Η χρονοσειρά αθροιστικής εξατμισοδιαπνοής (m/μήνα) λίμνη Σαν Ρόκε.....	131
Διάγραμμα Π13: Η χρονοσειρά αθροιστικής εξάτμισης (m/μήνα) λίμνη Σαν Ρόκε ..	132
Διάγραμμα Π14: Η χρονοσειρά απορροής (m <sup>3</sup> /μήνα) λίμνη Σαν Ρόκε.....	133
Διάγραμμα Π15: Η χρονοσειρά διαφοράς στάθμης (m) λίμνη Σαν Ρόκε.....	134
Διάγραμμα Π16: Η χρονοσειρά αθροιστικής βροχόπτωσης (mm/μήνα) λίμνη Βόλτα.....	135
Διάγραμμα Π17: Η χρονοσειρά αθροιστικής εξατμισοδιαπνοής (m/μήνα) λίμνη Βόλτα.....	136
Διάγραμμα Π18: Η χρονοσειρά αθροιστικής εξάτμισης (m/μήνα) λίμνη Βόλτα.....	137
Διάγραμμα Π19: Η χρονοσειρά απορροής (m <sup>3</sup> /μήνα) λίμνη Βόλτα.....	138
Διάγραμμα Π20: Η χρονοσειρά διαφοράς στάθμης (m) λίμνη Βόλτα.....	139

Διάγραμμα Π21: Η χρονοσειρά αθροιστικής βροχόπτωσης (mm/μήνα) λίμνη Αργκάιλ .....	140
Διάγραμμα Π22: Η χρονοσειρά αθροιστικής εξατμισοδιαπνοής (m/μήνα) λίμνη Αργκάιλ.....	141
Διάγραμμα Π23: Η χρονοσειρά αθροιστικής εξάτμισης (m/μήνα) λίμνη Αργκάιλ ....	142
Διάγραμμα Π24: Η χρονοσειρά απορροής (m <sup>3</sup> /μήνα) λίμνη Αργκάιλ .....	143
Διάγραμμα Π25: Η χρονοσειρά διαφοράς όγκου (m <sup>3</sup> /μήνα) λίμνη Αργκάιλ.....	144





## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το πρόβλημα της κλιματικής αλλαγής έχει ενταθεί με γρηγορότερους από το αναμενόμενο ρυθμούς την πρώτη δεκαετία του 21<sup>ου</sup> αιώνα. Η ραγδαία άνοδος της θερμοκρασίας και η ένταση των ακραίων καιρικών φαινομένων βροχόπτωσης και ξηρασίας οδηγούν στην αναγκαιότητα λήψης κατάλληλων αποφάσεων για την αποφυγή περιβαλλοντικών καταστροφών που θα θέσουν σε κίνδυνο την ανθρώπινη ύπαρξη στον πλανήτη. Η αλλαγή αυτή επηρεάζει σε πολύ μεγάλο βαθμό και τα υδατικά σώματα του πλανήτη, ειδικότερα τις λίμνες, τεχνητές και φυσικές, από τις οποίες εξαρτάται η επάρκειά του σε πόσιμο νερό. Τα τελευταία χρόνια γίνονται όλο και περισσότερες μελέτες για να σχηματιστεί μια εικόνα της διαμόρφωσης του πλανήτη υπό την επίδραση των αλλαγών αυτών. Οι μελέτες αυτές αποσκοπούν στο να αποκτήσουν οι λήπτες αποφάσεων τις απαραίτητες γνώσεις ώστε να κινηθούν ανάλογα και να προστατεύσουν, όπου είναι δυνατόν, την ανθρωπότητα. Στην παρούσα διπλωματική έγινε χρήση των τεχνητών νευρωνικών δικτύων, τα οποία αποτελούν ένα καινούριο εργαλείο στον τομέα της υδρολογίας, για πρόβλεψη της εξέλιξης της στάθμης έξι ταμιευτήρων ανά τον κόσμο. Οι τεχνητές αυτές λίμνες είναι χωροθετημένες σε όλες τις ηπείρους και μελετώνται υπό τη μορφή χρονοσειρών με βάση υδρολογικά και μετεωρολογικά δεδομένα. Τα τελικά αποτελέσματα υποδεικνύουν πως τα νευρωνικά δίκτυα μπορούν να χρησιμοποιηθούν, με τις κατάλληλες αρχιτεκτονικές, σαν εργαλείο πρόβλεψης και να εμφανίζουν μεγάλη αξιοπιστία όσον αφορά τα παραγόμενα από αυτά αποτελέσματα.



## **ABSTRACT**

The problem of climate change has progressed quicker than expected during the first decade of the 21<sup>st</sup> century. The effects of global warming in conjunction with extreme changes in precipitation patterns globally have underlined the importance of immediate decision making, in order to avoid environmental destructions that will jeopardize human existence on this planet. This change affects primarily lakes that are indispensable supplies of potable water. The past few years various studies were conducted in order to construct a realistic model of the planet under the influence of climate change. These studies aim at providing decision makers with knowledge that is necessary to protect our planet. As part of this thesis artificial neural networks were used, that it is considered a new tool in the area of hydrology, to predict the evolution of water levels in six artificial lakes over the world. The chosen artificial lakes are spread throughout all continents and are analyzed in a timeline form based on hydrological and meteorological data. The final results indicate that neural networks can be used, with appropriate architectures, as a prediction tool and exhibit high reliability regarding their derived results.



# **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1**

## **ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ**



## **1. Εισαγωγή στην Κλιματική Αλλαγή**

### **1.1 Το φαινόμενο της Κλιματικής Αλλαγής**

Η κλιματική αλλαγή αποτελεί μία μόνιμη και σημαντική αλλαγή στη στατιστική κατανομή των καιρικών συνθηκών ανά περιόδους, από δεκαετίες μέχρι και εκατομμύρια χρόνια. Με τον όρο αυτό γίνεται αναφορά σε αλλαγή στο μέσο όρο των καιρικών συνθηκών ή στην κατανομή των μέσων τιμών τους (Houghton et al. 2001). Η κλιματική αλλαγή προκαλείται από παράγοντες που περιλαμβάνουν τις ωκεάνιες διεργασίες, τις διακυμάνσεις της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στη Γη, τις τεκτονικές πλάκες και τις ηφαιστειακές εκρήξεις καθώς και τις ανθρωπογενείς αλλοιώσεις του φυσικού περιβάλλοντος. Αυτές οι ανθρωπογενείς αλλοιώσεις είναι που προκαλούν την υπερθέρμανση του πλανήτη σήμερα και συχνά ο όρος «κλιματική αλλαγή» χρησιμοποιείται για να περιγράψει την επίδραση του ανθρώπινου παράγοντα και μόνο (Houghton et al., 2001).

Πολλά μέλη της επιστημονικής κοινότητας εργάζονται εντατικά για να κατανοήσουν τη διαχρονική εξέλιξη του κλίματος κάνοντας χρήση παρατηρήσεων και διαφόρων θεωρητικών μοντέλων. Για να σχηματιστεί μία εικόνα για το γεωλογικό παρελθόν του πλανήτη με την έννοια των φυσικών του χαρακτηριστικών (ποσοστό ξηράς, νερού είτε αλμυρού είτε γλυκού, εντάσεις ποιότητα και ποσότητα φαινομένων) έχουν γίνει με τα χρόνια καταγραφές των διαφόρων παραμέτρων του κλίματος, όπως είναι οι θερμοκρασίες γεωτρήσεων, αρχεία για την χλωρίδα και την πανίδα, οι διαδικασίες εξέλιξης των παγετώνων, το επίπεδο της θάλασσας και αναλύσεις ιζημάτων. Τα πιο πρόσφατα δεδομένα των παραπάνω στοιχείων καταγράφονται αυτόματα με τα διάφορα όργανα που έχουν αναπτυχθεί όπως είναι οι δορυφόροι. Μοντέλα γενικής κυκλοφορίας του αέρα βασισμένα στους φυσικούς νόμους χρησιμοποιούνται συχνά σε θεωρητικές προσεγγίσεις των παραμέτρων του παρελθοντικού κλίματος με σκοπό να προεκταθούν σε μελλοντικές προβλέψεις, συνδέοντας με αυτόν τον τρόπο τα αίτια και τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής (Pachauri and Resinger, 2007). Ο ρυθμός με τον οποίο η Γη λαμβάνει ενέργεια από τον ήλιο και ο ρυθμός με τον οποίο η ενέργεια αυτή χάνεται στο διάστημα, καθορίζει τη θερμοκρασία ισορροπίας και το κλίμα της Γης. Αυτή η ενέργεια διανέμεται παγκοσμίως με τους ανέμους, τα ωκεάνια ρεύματα και άλλους μηχανισμούς και διαμορφώνει το κλίμα της κάθε περιοχής. Στους παράγοντες που διαμορφώνουν το κλίμα συμπεριλαμβάνονται διαδικασίες όπως οι διακυμάνσεις της ηλιακής ακτινοβολίας, οι μεταβολές της τροχιάς της Γης, η ύπαρξη βουνών και μετακίνηση των ηπείρων, τα σύννεφα και οι αλλαγές στις συγκεντρώσεις των αερίων του θερμοκηπίου (Pachauri and Resinger, 2007).

Υπάρχει μία ποικιλία από αποκρίσεις της κλιματικής αλλαγής, οι οποίες είτε ενισχύουν είτε μειώνουν τα αποτελέσματα των αρχικών μηχανισμών. Ορισμένα τμήματα του κλιματικού συστήματος, όπως είναι οι ωκεανοί και οι πάγοι, ανταποκρίνονται αργά στις διαταραχές του κλίματος, ενώ άλλα πιο γρήγορα. Οι μηχανισμοί αυτοί



χαρακτηρίζονται ως εσωτερικοί ή εξωτερικοί. Εσωτερικοί ονομάζονται οι φυσικές διεργασίες εντός του κλιματικού συστήματος, όπως είναι για παράδειγμα η κυκλοφορία της θερμότητας. Οι εξωτερικοί, από την άλλη, μπορεί να είναι είτε φυσικές διεργασίες, όπως στην περίπτωση των αλλαγών της ηλιακής ακτινοβολίας, είτε ανθρωπογενείς, με χαρακτηριστικό παράδειγμα την αύξηση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου κυρίως λόγω της ανθρώπινης δραστηριότητας. Η απόκριση του κλιματικού συστήματος σε κάθε μηχανισμό είναι είτε άμεση, είτε έμμεση, είτε και τα δύο. Ως εκ τούτου το κλιματικό σύστημα μπορεί να ανταποκριθεί απότομα, αλλά η πλήρης απόκριση του κάθε μηχανισμού μπορεί να μην αναπτυχθεί πλήρως για πολλά χρόνια (Solomon et al., 2007).

## **1.2 Βροχόπτωση, Εξάτμιση, Εξατμισοδιαπνοή και Κλιματική Αλλαγή**

Οι παρατηρήσεις δείχνουν πως οι αλλαγές, όσον αφορά την παράμετρο των ατμοσφαιρικών κατακρημνίσεων, επηρεάζουν την ποιότητα την ένταση καθώς και το είδος τους. Έχει παρατηρηθεί πως αυτές οι πτυχές του φαινομένου των κατακρημνίσεων παρουσιάζουν μεγάλη ευαισθησία και μεταβάλλονται πολύ εύκολα ακόμα και στις πιο μικρές κλιματικές αλλαγές όπως για παράδειγμα στις αλλαγές στα μοντέλα ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας. Τα στατιστικά στοιχεία καθώς και οι μακροχρόνιες παρατηρήσεις που αφορούν τη βροχόπτωση της περιόδου από το 1900 μέχρι και σήμερα έχουν οδηγήσει σε διαφορετικά συμπεράσματα (Houghton et al., 1997).

Στην ευρύτερη περιοχή της υποσαχάριας και Νότιας Αφρικής, της Μεσογείου και της Νότιας Ασίας το κλίμα έχει γίνει πιο ξηρό, ενώ στη Βόρεια Ευρώπη, στην Ανατολική Βόρεια και Νότια Αμερική, καθώς και στη Βόρεια και Κεντρική Ασία το κλίμα έχει γίνει πιο υγρό. Επίσης στις Βόρειες περιοχές, οι κατακρημνίσεις πλέον λογίζονται σχεδόν αποκλειστικά ως βροχή και όχι ως χιόνι. Ακόμη έχει παρατηρηθεί αύξηση του φαινομένου των έντονων βροχοπτώσεων σε περιοχές που η μέση τιμή της βροχόπτωσης είχε μειωθεί. Αυτές οι αλλαγές συνδέονται επίσης με την αύξηση της θερμοκρασίας τόσο στους ωκεανούς όσο και στις περιοχές χαμηλότερων γεωγραφικών πλατών και έχει ως απώτερη συνέπεια την αύξηση των υδρατμών στην ατμόσφαιρα. Ας σημειωθεί επίσης πως υπάρχει αύξηση του φαινομένου τόσο της ξηρασίας όσο και των πλημμυρών (Meehl et al., 2007). Το φαινόμενο των κατακρημνίσεων εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό από την κατάσταση του καιρού (π.χ. διεύθυνση και ένταση ανέμων, υγρασία κλπ.) καθώς και από τη θερμοκρασία. Σημαντικό ρόλο επίσης παίζει και η αύξηση της θερμοκρασίας παράγοντας ο οποίος αυξάνει την εξάτμιση. Προϋπόθεση για το παραπάνω είναι η επαρκής διαθέσιμη επιφανειακή υγρασία η οποία υπάρχει πάντα πάνω από τους ωκεανούς και άλλες υδάτινες επιφάνειες. Γενικά στις περιοχές όπου παρουσιάζεται αύξηση του φαινομένου των κατακρημνίσεων, η άνοδος της θερμοκρασίας έχει προκαλέσει την αύξηση της ξηρασίας. Καθώς αλλάζει το κλίμα, αλλάζουν η ποσότητα, η ένταση, η συχνότητα και το είδος των κατακρημνίσεων. Η εκτίμηση που έχει γίνει για τον 20<sup>ο</sup> αιώνα (αυτό παρατηρείται και κατά τη διάρκεια του τελευταίου αιώνα) βάσει των

αλλαγών της θερμοκρασίας είναι πως οι υδρατμοί στην ατμόσφαιρα έχουν αυξηθεί κατά 5% πάνω από τους ωκεανούς. Φυσικό επόμενο αποτελεί η αύξηση της έντασης των βροχοπτώσεων, αφού το φαινόμενο των βροχοπτώσεων εξαρτάται σημαντικά από την αποθηκευμένη ποσότητα υδρατμών στην ατμόσφαιρα, και γενικά τον κίνδυνο εμφάνισης ακραίων καιρικών φαινομένων, επιβεβαιώνοντας το γεγονός ότι στα θερμά κλίματα αυξάνεται η πιθανότητα πλημμυρών και ξηρασίας (Hansen et al., 2006).

Η αύξηση της θερμοκρασίας αυξάνει την πιθανότητα οι κατακρημνίσεις να αποτελούνται κατά κύριο λόγο από βροχές και όλο ένα και λιγότερο από χιόνι ακόμα και σε περιοχές που η θερμοκρασία είναι κοντά στο μηδέν κατά την περίοδο του χειμώνα και της άνοιξης. Αυτό έχει ως απόρροια τη μείωση των υδατικών αποθεμάτων κατά την περίοδο των θερινών μηνών. Αυτή η αλλαγή παρατηρείται σε πολλές περιοχές και ειδικότερα τις περιοχές με μέσο και μεγάλο γεωγραφικό πλάτος στο Βόρειο ημισφαίριο (Houghton et al., 1997).

### **1.3 Η τήξη των πάγων**

Η κλιματική αλλαγή έχει σημαντική επίπτωση στην τήξη των μαζών του πάγου σε όλον τον κόσμο. Η έκταση που καλύπτουν οι πάγοι στη χερσαία ζώνη είναι το 10% αυτής και απαντάται σε όλες τις ηπείρους εκτός από την Αυστραλία. Η ποσότητα του πάγου στον πλανήτη αποτελεί το μεγαλύτερο απόθεμα γλυκού νερού και είναι το 75% επί του συνόλου. Ο τρόπος εντοπισμού και μέτρησης της απώλειας των πάγων γίνεται με την παρατήρηση του ισοζυγίου, δηλαδή τη σύγκριση της ποσότητας του πάγου που λιώνει με αυτήν που αντικαθίσταται σε ετήσια βάση. Με βάση τα παραπάνω παρατηρείται ότι το ισοζύγιο βγαίνει αρνητικό και έχει διαπιστωθεί πως κατά τη διάρκεια του περασμένου αιώνα υπήρξε μεγάλη απώλεια μάζας στους περισσότερους από τους παγετώνες του πλανήτη καθώς και των μαζών του πάγου στην Γροιλανδία και στην Ανταρκτική. Η θερμοκρασία παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στον συγκεκριμένο τομέα αφού σε περίπτωση που υπερβεί ένα συγκεκριμένο σημείο ή σε περίπτωση που οι υψηλές θερμοκρασίες διαρκούν για αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα και σε συνδυασμό με την ανεπάρκεια ικανοποιητικών και αρκετών βροχοπτώσεων, οι παγετώνες και οι πάγοι χάνουν βάρος (Meehl et al., 2007).

Δεδομένα από δορυφόρους έχουν δείξει πως στις περιοχές οι οποίες ήταν καλυμμένες με χιόνι και πάγο, τα στοιχεία αυτά έχουν μειωθεί 10% σε σχέση με το 1960. Οι επίγειες παρατηρήσεις με τη σειρά τους έχουν οδηγήσει στο συμπέρασμα ότι τον 20<sup>ο</sup> αιώνα υπήρχε μία μείωση της τάξης των δύο εβδομάδων όσον αφορά τη χρονική διάρκεια που οι λίμνες και τα ποτάμια, στις περιοχές μέσου και μεγάλου γεωγραφικού πλάτους του Βόρειου ημισφαιρίου, είναι καλυμμένα με πάγο. Επίσης στο Βόρειο ημισφαίριο την άνοιξη και το καλοκαίρι η έκταση του θαλάσσιου πάγου έχει μειωθεί περίπου 10 με 15% (Pener et al., 2001). Χαρακτηριστικό αντίκτυπο της κλιματικής αλλαγής είναι η μείωση που παρατηρείται τις τελευταίες δεκαετίες στο πάχος του πάγου που καλύπτει την Αρκτική κατά 40% κατά τα τέλη του καλοκαιριού και στις

αρχές του φθινοπώρου καθώς επίσης διαπιστώνεται και μία μικρή μείωση κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Επίσης μεγάλη αλλαγή παρατηρείται όσον αφορά και τους παγετώνες με χαρακτηριστικό παράδειγμα την υποχώρηση των παγετώνων στο όρος Κιλιμάντζαρο. Το όρος Κιλιμάντζαρο βρίσκεται στην Αφρική και είναι η υψηλότερη κορυφή της ηπείρου και παρόλο που βρίσκεται στην τροπική ζώνη είναι αρκετά υψηλή ώστε να διατηρούνται οι πάγοι εδώ και αρκετούς αιώνες. Σύμφωνα με μελέτες οι παγετώνες αυτής της κορυφής έχουν μειωθεί κατά 80% τον τελευταίο αιώνα και εκφράζονται ανησυχίες πως με αυτούς τους ρυθμούς οι παγετώνες αυτοί θα εξαφανιστούν, όπως συμβαίνει στις Άνδεις, τα Ιμαλάια και την Αλάσκα (Meehl et al., 2007).

Γενικότερα ανησυχίες εκφράζονται για την περαιτέρω ραγδαία μείωση στο χιόνι στις περιοχές που καλύπτει στο Βόρειο ημισφαίριο, του πάγου και των παγόβουνων στις θαλάσσιες περιοχές καθώς και την υποχώρηση των παγετώνων κατά τη διάρκεια του 21<sup>ου</sup> αιώνα. Όσον αφορά την Ανταρκτική εκτιμάται πως το στρώμα πάγου θα κερδίσει λίγη μάζα λόγω της αύξησης των κατακρημνίσεων, ενώ στην Γροιλανδία θα μειωθεί λόγω της αυξημένης απορροής και των μειωμένων κατακρημνίσεων (Houghton et al., 2001).

#### **1.4 Η άνοδος της Μέσης Στάθμης της Θάλασσας**

Η μέση στάθμη της θάλασσας στις μέρες μας έχει απασχολήσει μεγάλη μερίδα επιστημόνων κυρίως σε σχέση με τον ανθρώπινο πληθυσμό που ζει στις παράκτιες και νησιωτικές περιοχές. Τα τελευταία 140 χρόνια εκτιμάται πως η στάθμη των ωκεανών έχει ανεβεί κατά 10-25 εκατοστά εξαιτίας της αύξησης της παγκόσμιας θερμοκρασίας του αέρα στην κατώτερη ατμόσφαιρα. Έχει διαπιστωθεί πως ο ρυθμός με τον οποίο ανεβαίνει η στάθμη έχει μεταβληθεί από 1,5 σε 2,5 χιλιοστά ανά έτος. Στα επόμενα 100 χρόνια εκτιμάται πως η άνοδος της στάθμης θα είναι της τάξης του μισού μέτρου. Ένας από τους κυριότερους παράγοντες που προκαλούν αυτήν την αύξηση είναι η τήξη των παγετώνων του Βόρειου ωκεανού και της Γροιλανδίας με την οποία χιλιάδες τόνοι πάγου μετατρέπονται σε νερό (Houghton et al., 2001).

Η στάθμη της θάλασσας καθορίζεται και επηρεάζεται από αρκετούς παράγοντες και σημαντικό ρόλο παίζει ο χρόνος. Η επιρροή της κλιματικής αλλαγής στη στάθμη είναι εμφανής σε βάθος χρόνου από μερικές δεκαετίες μέχρι μερικούς αιώνες. Ένας παράγοντας που επηρεάζει τη μέση στάθμη της θάλασσας είναι η ανταλλαγή υδρολογικών μαζών μεταξύ αυτής και εκείνων που είναι αποθηκευμένες στην ξηρά. Το μεγαλύτερο απόθεμα που συναντάται στη στεριά είναι αυτό των πάγων και των παγετώνων όπως έχει αναφερθεί και προηγουμένως. Πράγματι η μειωμένη στάθμη της θάλασσας την τελευταία ψυχρή περίοδο οφειλόταν στα μεγάλα στρώματα πάγου που είχαν δημιουργηθεί στις περιοχές του Βόρειου ημισφαιρίου. Μετά την αύξηση της θερμοκρασίας οι πάγοι καθώς και οι παγετώνες των ορεινών περιοχών άρχισαν να λιώνουν με αποτέλεσμα να συμβάλουν σημαντικά σε αυτό το φαινόμενο και εκτιμάται πως η όλη διαδικασία προκάλεσε την άνοδο της στάθμης της θάλασσας

κατά 2,5 εκατοστά στη διάρκεια του πρώτου μισού του 20<sup>ου</sup> αιώνα (Houghton et al., 2001). Καθοριστικό ρόλο διαδραμάτισαν και οι περιοχές της Γροιλανδίας και Ανταρκτικής όπου υπήρξε και ακόμα συνεχίζει να υπάρχει απώλεια μεγάλης μάζας από τους πάγους και το χιόνι που κάλυπταν αυτές τις περιοχές. Όσον αφορά τον 21<sup>ο</sup> αιώνα εκτιμάται πως η Ανταρκτική θα μειώσει τη συμβολή στην άνοδο της στάθμης σε μέγεθος της τάξης των 2 εκατοστών ενώ η Γροιλανδία θα συμβάλει στην αύξηση κατά 2 εκατοστά εάν και υπάρχει μεγάλη αβεβαιότητα λόγω του ότι πρόσφατες δορυφορικές παρατηρήσεις δείχνουν πως ήδη σε αυτές τις περιοχές υπάρχει μεγάλη απώλεια μεγάλων μαζών πάγου (Nicholls, 2010). Γενικά επιστημονικές έρευνες στηρίζουν πως ο συνολικός όγκος των πάγων της Γροιλανδίας μπορεί να προκαλέσουν αύξηση της στάθμης έως και 7 μέτρα. Επίσης λόγω της ανόδου της θερμοκρασίας των ωκεανών το νερό διαστέλλεται και αποτελεί ιστορικά έναν από τους πιο σημαντικούς παράγοντες για την αύξηση της στάθμης. Κατά τη διάρκεια του δεύτερου μισού του 20<sup>ου</sup> αιώνα η θερμική αυτή διαστολή του νερού έχει συμβάλει στην άνοδο της στάθμης κατά 2.5 εκατοστά ενώ παρατηρείται πως το ποσοστό αυτό τριπλασιάζεται στις αρχές του 21<sup>ου</sup> αιώνα. Από τη στιγμή που η άνοδος της στάθμης της θάλασσας εξαρτάται από τη θερμοκρασία των ωκεανών έρευνες και εκτιμήσεις δείχνουν πως αυτή η άνοδος θα συνεχιστεί και τα επόμενα χρόνια (Kennedy et al., 2012).

Η παγκόσμια μέση στάθμη της θάλασσας έχει αυξηθεί τουλάχιστον 10 εκατοστά κατά τη διάρκεια του δεύτερου μισού του 20<sup>ου</sup> αιώνα και συνεχίζει να αυξάνεται με ακόμα ταχύτερους ρυθμούς στις αρχές του 21<sup>ου</sup> λόγω της περαιτέρω κλιματικής αλλαγής. Το κυριότερο και σημαντικότερο αντίκτυπο που έχει είναι η απειλή για τις παράκτιες και νησιωτικές περιοχές όπου κατοικεί μεγάλη μερίδα ανθρώπων. Τα άτομα που ζουν κοντά στις ακτές (δηλαδή μέχρι 100 χιλιόμετρα κατά μήκος και μέχρι 100 μέτρα καθ' ύψος σε σχέση με την ακτογραμμή) είναι 1,2 δισεκατομμύρια εκ των οποίων τα 600 εκατομμύρια περίπου ζουν σε απόσταση λιγότερη των 10 χιλιομέτρων από αυτές (Nicholls, 2010). Περίπου τα 5 εκατομμύρια ζουν σε περιοχές όπου διατρέχουν σοβαρό και άμεσο κίνδυνο. Η ανησυχία για την ανάγκη μετακίνησης μεγάλου μέρους του πληθυσμού πριν επιδεινωθεί η κατάσταση ώστε να μην υπάρξει το φαινόμενο των περιβαλλοντικών μεταναστών είναι ιδιαίτερα έντονη. Μεγάλο πρόβλημα διαπιστώνεται επίσης όσον αφορά και την αντιμετώπιση της ανόδου της στάθμης της θάλασσας, διότι τα έργα και οι υποδομές που απαιτούνται είναι εξαιρετικά δαπανηρές. Λόγω αυτού του κόστους το συγκεκριμένο πρόβλημα γίνεται ιδιαίτερα αισθητό στις χώρες του τρίτου κόσμου. Αντίκτυπο θα έχει επίσης και στον τομέα της ναυσιπλοΐας. Ο κίνδυνος επίκειται στους σκοπέλους και στις βραχονησίδες αφού υπάρχει μεγάλη πιθανότητα να καλυφθούν (Nicholls et al., 1999).

Επίσης παρόμοιο πρόβλημα θα παρουσιαστεί και σε νησιά τα οποία αποτελούν τουριστικά θέρετρα ή χρησιμοποιούνται ως στρατιωτικές βάσεις. Ένας ακόμη τομέας ο οποίος θα πληγεί είναι τα θαλάσσια οικοσυστήματα. Πολλές παράκτιες περιοχές χρησιμοποιούνται ως βιότοποι πτηνών και ζώων, αλλά και από τον ίδιο τον άνθρωπο οι οποίοι εκμεταλλεύονται αυτές τις περιοχές για την παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων τροφίμων. Επιπροσθέτως σημαντικό κίνδυνο διατρέχουν κάποια θαλάσσια

οικοσυστήματα τα οποία παρουσιάζουν μεγάλη ευαισθησία στις αλλαγές της θερμοκρασίας της θάλασσας όπως είναι για παράδειγμα τα κοράλλια καθώς και άλλα είδη ζωής των οποίων η επιβίωση σχετίζεται με την ύπαρξη θαλάσσιων πάγων (Μελάς κ.α., 2000).

Σύμφωνα με έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί, όπως η Polar Research Board από το National Research Council και από διάφορες σχετικές έρευνες του IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), έχουν βγει αποτελέσματα τα οποία δείχνουν ποιες περιοχές παρουσιάζουν μεγαλύτερη ευαισθησία στην εν λόγω αύξηση της στάθμης της θάλασσας. Όσον αφορά τον κίνδυνο της απώλειας των υδροβιότοπων, που αποτελούν περιοχές που φιλοξενούν σημαντικά οικοσυστήματα και αρκετές φορές φιλοξενούν είδη χλωρίδας και πανίδας που βρίσκονται αυτή τη στιγμή υπό εξαφάνιση, οι περιοχές που εμφανίζουν μεγαλύτερη ευαισθησία η Νότια, Κεντρική και Βόρεια Αμερική, η Βόρεια και δυτική Ευρώπη καθώς και η περιοχή της Βόρειας Αφρικής που βρέχεται από τη Μεσόγειο. Αντίστοιχα στα νησιά της Καραϊβικής και του Ινδικού και Ειρηνικού ωκεανού, στη Βόρεια πλευρά της Μεσογείου, στη Δυτική και Ανατολική Αφρική, στη Βόρεια και Βορειοανατολική Ασία παρουσιάζεται ευαισθησία στον προαναφερθέντα τομέα αλλά παράλληλα και όσον αφορά στις πλημμύρες (Nicholls et al., 1999).

Γενικά η άνοδος της στάθμης αφορά όλον τον κόσμο και δεν μπορεί να εξετασθεί μεμονωμένα. Σίγουρα δεν είναι εμφανές το πρόβλημα στον ίδιο βαθμό σε όλες τις περιοχές και σε κάθε μία η προσέγγιση αυτού του προβλήματος είναι διαφορετική συμπερασματικά ο αντίκτυπος που έχει η άνοδος της στάθμης μεταξύ των περιοχών διαφέρει λόγω του εύρους των φυσικών, των θεσμικών, των κοινωνικοοικονομικών και των πολιτιστικών παραγόντων που υφίστανται. Είναι απαραίτητο να δοθεί έμφαση στο ότι δεν υπάρχουν νικητές η χαμένοι όσον αφορά το πρόβλημα απλώς στο ποιος είναι ο βαθμός που πλήττεται ο κάθε ένας (Nicholls et al., 1999).

## **1.5 Τα Παγκόσμια Μέτρα για την Κλιματική Αλλαγή**

Η ανησυχία για το περιβάλλον και για την ανάγκη προστασίας του δεν αποτελεί καθαρά ένα επίκαιρο γεγονός αλλά εντοπίζεται από πολύ παλιά. Μετά το πέρας του Δεύτερου Παγκοσμίου Πολέμου εισήχθη στις ανθρώπινες ζωές η πυρηνική ενέργεια οπότε άρχισε η επονομαζόμενη πυρηνική εποχή. Αυτή η πρωτοεμφανιζόμενη και επαναστατική καινοτομία αποτέλεσε θρυαλλίδα αντιδράσεων και γενικότερης ανησυχίας λόγω της φύσης της. Η συγκεκριμένη μορφή ενέργειας καθώς και η διαδικασία παραγωγής και εκμετάλλευσης της σε περίπτωση λάθος χειρισμού έχει καταστρεπτικές συνέπειες. Ταυτόχρονα το αίσθημα της προστασίας του περιβάλλοντος ήρθε ως απόρροια της εκβιομηχάνισης. Ο άνθρωπος άρχισε να παίρνει στα σοβαρά την ανάγκη για σωστή και βιώσιμη χρήση των πόρων του πλανήτη αφού μέσω των δορυφορικών απεικονίσεων κατάλαβε πραγματικά την επίδραση που έχουν οι ενέργειές του στο περιβάλλον. Από τότε άρχισαν να γίνονται διάφορες διασκέψεις για να γίνουν συζητήσεις για την αναγνώριση των προβλημάτων καθώς και για την

πρόληψη και αντιμετώπιση τους. Η πρώτη διάσκεψη που πραγματοποιήθηκε έλαβε χώρα στην Στοκχόλμη και συγκλήθηκε από τον Οργανισμό των Ηνωμένων Εθνών το 1972 για το ανθρώπινο περιβάλλον και η τελική διακήρυξη περιλαμβάνει 26 αρχές. Το θέμα της διάσκεψης ήταν η ευαισθητοποίηση των λαών σχετικά με το ανθρώπινο περιβάλλον. Μέσω αυτής της συνδιάσκεψης τέθηκαν τα θεμέλια της νέας περιβαλλοντικής ατζέντας των Ηνωμένων Εθνών (Meyer, 2000).

Μέσα από την παραπάνω διαδικασία δόθηκε το έναυσμα για την ίδρυση του Προγράμματος των Ηνωμένων Εθνών για το Περιβάλλον (United Nations Environment Programme - UNEP) το Δεκέμβριο 1972. Το συγκεκριμένο πρόγραμμα είχε ως βάση την αποκατάσταση του παγκόσμιου περιβάλλοντος. Κύριο μέλημά της αποτελεί η επαναφορά των κατεστραμμένων πτυχών του περιβάλλοντος, η σωστή και βιώσιμη διαχείρισή του, η αποτροπή κακής χρήσης του, η σωστή διαχείριση και προστασία των οικοσυστημάτων και των πόρων του, η μείωση των βλαβερών ουσιών καθώς και το φλέγον ζήτημα της κλιματικής αλλαγής (Gardiner, 2004).

Το Δεκέμβριο του 1983 ο Γενικός Γραμματέας των Ηνωμένων Εθνών ζήτησε από την πρωθυπουργό της Σουηδίας, Gro Harlem Bruntland, να ηγηθεί μίας ειδικής ανεξάρτητης επιτροπής, την επονομαζόμενη Παγκόσμια Επιτροπή για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη (WCED ή commission Bruntland), με στόχο την επανεξέταση των κρίσιμων περιβαλλοντικών ζητημάτων σε όλο τον κόσμο και τη διατυπώση ρεαλιστικών προτάσεων για την αντιμετώπιση τους. Ένας ακόμη κυρίαρχος στόχος που είχε ήταν να επιδιώξει την ενίσχυση της διεθνούς συνεργασίας σε θέματα περιβάλλοντος και ανάπτυξης. Τέλος η επιτροπή αυτή στόχευε στην κατανόηση και τη δέσμευση για βιώσιμη και αειφόρο ανάπτυξη από τη μεριά των ιδιωτών, των επιχειρήσεων, των οργανισμών και των κυβερνήσεων. Το 1987 η επιτροπή δημοσίευσε την έκθεση «Το κοινό μας μέλλον» στην οποία περιγράφεται η ανάγκη για την παγκόσμια βιώσιμη και αειφόρο ανάπτυξη. Η ευαισθητοποίηση για το εν λόγω θέμα είχε ως αποτέλεσμα την σύγκλιση μίας ακόμα συνάντησης τον Ιούνιο του 1992 στο Ρίο ντε Τζανέιρο η οποία αποτέλεσε τη δεύτερη μεγάλη συνδιάσκεψη UNCED (United Nations Conference on Environment and Development) όλων των κρατών για τα θέματα του περιβάλλοντος μετά από εκείνη στην Στοκχόλμη που είχε πραγματοποιηθεί 20 χρόνια πιο πριν.

Η Σύνοδος Κορυφής του Ρίο ήταν μεγαλύτερη τόσο στο βαθμό συμμετοχής των εθνών του κόσμου όσο και στο επίπεδο των θεμάτων που επεδίωξε να αντιμετωπίσει. Πάνω από εκατό αρχηγοί κρατών και κυβερνήσεων παρακολούθησαν τη Σύνοδο Κορυφής της Γης και 170 έθνη έστειλαν αντιπροσωπείες. Στο πλαίσιο αυτής της Διάσκεψης για τη Γη, οι εθνικοί ηγέτες είχαν την ευκαιρία να υπογράψουν διεθνείς συμβάσεις που αφορούσαν την αλλαγή του κλίματος και τη βιοποικιλότητα, όπως η «Διακήρυξη για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη» και το πρόγραμμα δράσης για τον 21<sup>ο</sup> αιώνα, που είναι γνωστό και ως Ατζέντα 21, η οποία επεδίωκε να δημιουργήσει μία συντονισμένη προσπάθεια να εκπαιδεύσει και να ενημερώσει τους ανθρώπους σχετικά με την κατάσταση του περιβάλλοντος και της ανάπτυξης και να τους βοηθήσει να πάρουν αποφάσεις που οδηγούν προς την αειφορία. Ο Γενικός

Γραμματέας του UNCED (United Nations Conference on Environment and Development), Maurice Strong, συνόψισε τη σημασία της Ατζέντα 21 δηλώνοντας πως πρόκειται για ένα πρόγραμμα δράσης για ένα αειφόρο μέλλον για τον άνθρωπο γένος και ένα πρώτο βήμα προς τη διασφάλιση ενός δίκαιου και ασφαλούς περιβάλλοντος για όλη την ανθρωπότητα.

Στην επέτειο της Διάσκεψης για τη Γη, τον Ιούνιο του 1993, ο Πρόεδρος Κλίντον υπέγραψε εκτελεστικό διάταγμα για την ίδρυση του Προεδρικού Συμβουλίου για την Αειφόρο Ανάπτυξη (PCSD, President's Council on Sustainable Development). Το Συμβούλιο ιδρύθηκε για να βοηθήσει στη δημιουργία αρχών στην Αμερική που θα ενθάρρυνε την οικονομική ανάπτυξη, τη δημιουργία θέσεων εργασίας καθώς και την προστασία του περιβάλλοντος. Το εν λόγω Συμβούλιο, που απαρτίζεται από 25 μέλη, δημιούργησε νέες συμπράξεις μεταξύ των εκπροσώπων της βιομηχανίας, της κυβέρνησης και των οργανισμών του περιβάλλοντος, των εργαζομένων και των πολιτικών δικαιωμάτων, προκειμένου να αναπτυχθούν νέες προσεγγίσεις για την ενσωμάτωση οικονομικών και περιβαλλοντικών πολιτικών. Το χρέος τους είναι να μετατρέψουν τα οράματά των Προέδρων για αειφόρο ανάπτυξη σε ένα συγκεκριμένο σχέδιο δράσης (Najam et al., 2003).

Η παγκόσμια κλιματική αλλαγή παρουσιάζει δυνητικά πρόβλημα όσον αφορά την αειφόρο ανάπτυξη που επηρεάζει τον κόσμο σε συλλογικό επίπεδο. Το Δεκέμβριο του 1997 περισσότερες από 150 χώρες υιοθέτησαν μία ιστορική συμφωνία, γνωστή και ως Πρωτόκολλο του Κιότο, για την προστασία του κλίματος και της ατμόσφαιρας της Γης. Αυτή η συμφωνία έλαβε χώρα στο Κιότο της Ιαπωνίας και τέθηκε σε ισχύ το 2005. Για πρώτη φορά τα έθνη συμφώνησαν να θέσουν νομικά δεσμευτικά όρια στις εκπομπές θερμότητας εμποδίζοντας τα αέρια του θερμοκηπίου. Τριανταοχτώ βιομηχανικές χώρες συμφώνησαν να μειώσουν τις εκπομπές έξι αερίων του θερμοκηπίου κατά 5% κάτω από τα επίπεδα του 1990 μέχρι το 2012. Παρόλο που οι Η.Π.Α. δεν είχαν υπογράψει το Πρωτόκολλο του Κιότο, ο πρόεδρος Μπους δεσμεύτηκε σε μία επιθετική στρατηγική εκ μέρους των Ηνωμένων Πολιτειών για τη μείωση της έντασης των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου κατά 18% στα επόμενα 10 χρόνια ([www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch)).

Από τον Απρίλιο του 2001 μέχρι την Παγκόσμια Σύνοδο στο Γιοχάνεσμπουργκ στη Βόρεια Αφρική το 2002 έγινε σειρά προκαταρκτικών συζητήσεων σε επίπεδο τοπικό και παγκόσμιο. Επιπλέον έγινε αναφορά σε θέματα που αφορούσαν όχι μόνο στην Ατζέντα 21 αλλά και σε σημαντικά ζητήματα που έχουν να κάνουν με την παγκοσμιοποίηση. Έγιναν τέσσερα παγκόσμια προκαταρκτικά συνέδρια πριν τη Παγκόσμια Σύνοδο για την Αειφόρο Ανάπτυξη η οποία σηματοδοτούσε τη 10<sup>η</sup> επέτειο από εκείνη στο Ρίο ντε Τζανέιρο στη Βραζιλία. Η εν λόγω Σύνοδος έλαβε χώρα από τις 26 Αυγούστου μέχρι τις 4 Σεπτεμβρίου του 2002 και ήταν μία καλή ευκαιρία για την παγκόσμια δέσμευση των εθνών για αειφόρο ανάπτυξη. Για τους ίδιους ακριβώς λόγους, δηλαδή περί εξασφάλισης της αειφόρου και βιώσιμης ανάπτυξης, συγκλήθηκε σύνοδος του UNEP (United Nations Environment Programme) ([www.unep.org](http://www.unep.org)).

Το Δεκέμβριο του 2009 συγκλήθηκε η Διάσκεψη της Κοπεγχάγης όπου τα κυριότερα θέματα που συζητήθηκαν ήταν ότι η άνοδος της παγκόσμιας θερμοκρασίας δεν πρέπει να ξεπεράσει τους 2 βαθμούς της κλίμακας Κελσίου, η προστασία από την υλοτομία και γεωργία των δασικών περιοχών στις χώρες που διαθέτουν μεγάλες εκτάσεις, η δημιουργία διεθνούς ταμείου ενίσχυσης των αδύναμων οικονομικά χωρών από τις βιομηχανικές για να μπορέσουν να προσαρμοστούν στην πράσινη τεχνολογία και τέλος να τηρηθεί το Πρωτόκολλο του Κιότο το οποίο δεσμεύει τα πλούσια κράτη να λάβουν μέτρα περιορισμού εκπομπών ρύπων μέχρι το 2012. Τέλος το 2011 πραγματοποιήθηκε η Διάσκεψη του Ντέρμπαν στη Νότιο Αφρική η οποία άνοιξε το δρόμο για τη δέσμευση των εθνών για τη μείωση της αύξησης της θερμοκρασίας σε σχέση με το 1990. Μέχρι το 2015 θα πρέπει να έχει γίνει μία σύνοδος για να επιτευχθεί συμφωνία μεταξύ των εθνών σε σχέση με το περιβάλλον η οποία θα πρέπει να τηρηθεί μέχρι το 2020 (Bodansky, 2012).

Στα πλαίσια της γενικότερης ανησυχίας για την κλιματική αλλαγή καθώς και για την ανάγκη αντιμετώπισης των προβλημάτων που δημιουργεί, γίνεται η προσπάθεια για πρόβλεψη της υδρολογικής κατάστασης κάποιων ταμιευτήρων ανά τον κόσμο ώστε να μπορέσουν να ληφθούν εγκαίρως απαραίτητα μέτρα για τη διατήρηση της ισορροπίας.

## **1.6 Σκοπός της Διπλωματικής Εργασίας**

Στην παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιούνται προβλέψεις για την επερχόμενη άνοδο ή πτώση της στάθμης σε έξι ταμιευτήρες στον κόσμο. Οι προβλέψεις αυτές γίνονται με τη βοήθεια των τεχνητών νευρωνικών δικτύων και μέσω δεδομένων χρονοσειρών μετεωρολογικών και υδρολογικών στοιχείων που είτε βρέθηκαν καταγεγραμμένα είτε υπολογίσθηκαν. Σκοπός των προβλέψεων είναι να προσεγγισθεί η μελλοντική κατάσταση των περιοχών μελέτης, να εντοπισθούν τα προβλήματα που ενδέχεται να παρουσιαστούν στην κάθε ήπειρο, και κατ' επέκταση να λειτουργήσει ως γνώμονας για τις μελλοντικές κινήσεις των οργάνων λήψης αποφάσεων για το περιβάλλον. Δηλαδή δίνεται η δυνατότητα στις χώρες να δουν την πορεία της στάθμης των ταμιευτήρων και ανάλογα με την επικινδυνότητα σε κάθε περίπτωση είτε σε περίπτωση αύξησης είτε σε περίπτωση μείωσης της στάθμης μπορούν εγκαίρως οι αρμόδιοι να δράσουν εγκαίρως ανάλογα κάνοντας αντιπλημμυρικά έργα, φράγματα ή ελαττώνοντας την χρήση των υδατικών αποθεμάτων ή ακόμα και ενίσχυση των εισροών των λιμνών ώστε να αποφευχθούν οι δυσάρεστες συνέπειες.



## **1.7 Διάρθρωση Διπλωματικής**

Η παρούσα διπλωματική είναι δομημένη σε 6 κεφάλαια:

Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται μια πρώτη εισαγωγή στο πρόβλημα της κλιματικής αλλαγής σε παγκόσμια κλίμακα. Πιο συγκεκριμένα παρουσιάζεται η εξέλιξη των μετεωρολογικών και υδρολογικών μεγεθών που εμπλέκονται στη διεξαγωγή των προβλέψεων, καθώς ακόμα, αναλύονται τα φαινόμενα που τα επηρεάζουν. Τέλος, γίνεται αναφορά στα μέτρα που έχουν ληφθεί ως τώρα για την αντιμετώπιση του προβλήματος αλλά και στις μελλοντικές τάσεις που αυτά ενδέχεται να έχουν.

Στο 2<sup>ο</sup> κεφάλαιο γίνεται πιο συγκεκριμένη παρουσίαση των επιπτώσεων του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής ανά ήπειρο, και για την κάθε περιοχή που έχει μελετηθεί στην παρούσα διπλωματική εργασία. Επίσης, η υφιστάμενη κατάσταση των περιοχών μελέτης, ως προς το υδατικό διαμέρισμα, τα υδρολογικά, γεωμορφολογικά και φυσικά χαρακτηριστικά του καθενός, και ως προς τα μετεωρολογικά και άλλα χαρακτηριστικά της περιοχής του κάθε υπό μελέτη ταμιευτήρα.

Στο 3<sup>ο</sup> κεφάλαιο γίνεται η αναφορά στα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα (ΤΝΔ). Γίνεται παρουσίαση των βασικών εννοιών που σχετίζονται με τα ΤΝΔ. Επίσης γίνεται αναφορά στην εξίσωση του υδατικού ισοζυγίου που εφαρμόστηκε στην παρούσα εργασία καθώς και στις χρονοσειρές που χρησιμοποιήθηκαν ως δεδομένα (Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται οι χρονοσειρές της λίμνης Σάλτων Σι ενώ τα δεδομένα των υπόλοιπων ταμιευτήρων παρουσιάζονται στο παράρτημα). Τέλος στο εν λόγω κεφάλαιο γίνεται αναφορά στα κριτήρια αξιοπιστίας των τεχνητών νευρωνικών δικτύων που αναπτύχθηκαν για τη διεξαγωγή των προβλέψεων.

Το 4<sup>ο</sup> κεφάλαιο περιέχει αναλυτικά τις διάφορες μεθόδους τεχνικές και αρχιτεκτονικές τεχνικών νευρωνικών δικτύων που ακολουθήθηκαν για την ανάπτυξη ενός μοντέλου πρόβλεψης της στάθμης στους ταμιευτήρες. Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο αναλύονται τα αποτελέσματα των τεσσάρων διαφορετικών τρόπων προσέγγισης του θέματος όσον αφορά τη διαδικασία εκπαίδευσης και εκμάθησης των τεχνητών νευρωνικών δικτύων που χρησιμοποιήθηκαν.

Στο 5<sup>ο</sup> κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των προβλέψεων των διαφορών στάθμης (και διαφοράς όγκου στην περίπτωση της λίμνης Αργκάιλ) όπως αυτές εξήχθησαν από τη χρήση των τεχνητών νευρωνικών δικτύων καθώς και ο σχολιασμός τους.

Τέλος στο 6<sup>ο</sup> κεφάλαιο πραγματοποιείται η «συζήτηση» για την χρησιμότητα, ευχρηστία και αποτελεσματικότητα των τεχνητών νευρωνικών δικτύων για προβλήματα όπως αυτό που τίθεται στην παρούσα διπλωματική ή ακόμα και για προβλήματα παρόμοιας φύσεως.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2**

### **ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕΛΕΤΗΣ**



## 2. Περιοχές Μελέτης

### 2.1 Τεχνητή Λίμνη

Η ανάγκη για κάλυψη αναγκών ύδρευσης άρδευσης σε αστικές ή σε επαρχιακές περιοχές κυρίως κατά τις άνωδρες περιόδους του έτους οδήγησε τον άνθρωπο στη δημιουργία τεχνητών λιμνών (ταμιευτήρων). Οι τεχνητές λίμνες αποτελούν ανοιχτούς ταμιευτήρες νερού και παίζουν παράλληλα ρυθμιστικό ρόλο κατά τη διευθέτηση πλημμυρικών απορροών παρακείμενων ποταμών και πολλές φορές συμβάλουν και στην παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας. Μία επιπλέον χρησιμότητα των τεχνητών λιμνών συναντάται στη λειτουργία βιομηχανιών οι οποίες εκμεταλλεύονται στοιχεία όπως για παράδειγμα φυσικό αέριο το οποίο εντοπίζεται στην άμμο (π.χ. λίμνη Γκουλφ στο Μεξικό). Οι τεχνητές λίμνες είναι προϊόν ανθρώπινης παρέμβασης και μπορούν να δημιουργηθούν με διαφορετικούς τρόπους. Η χωροθέτησή τους γίνεται κατά κύριο λόγο σε κοιλάδες ποταμών και κατασκευάζονται με τη δημιουργία φραγμάτων είτε από χώμα είτε από οπλισμένο σκυρόδεμα. Συναντώνται δύο τύποι τεχνητών λιμνών όσον αφορά τη χωροθέτηση τους. Αυτές που βρίσκονται σε υψίπεδα και αυτές στις πεδιάδες. Οι ταμιευτήρες διαχωρίζονται σε επιμέρους κατηγορίες βάσει της χρήσης τους. Διακρίνονται δηλαδή σε ταμιευτήρες αποθήκευσης, ελέγχου πλημμυρών, πολλαπλών χρήσεων καθώς και σε ταμιευτήρες διανομής (Straskraba, 2005).

Οι ταμιευτήρες αποθήκευσης αποθηκεύουν το νερό σε περιόδους έντονης εισροής και το απελευθερώνει σταδιακά στις περιόδους μικρής εισροής σύμφωνα πάντα με τις ανάγκες που παρουσιάζονται. Η χρήση τους αφορά υδρευτικούς και αρδευτικούς σκοπούς καθώς και την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας. Όσον αφορά τους ταμιευτήρες ελέγχου πλημμυρών ο ρόλος τους είναι να ελέγχουν τη ροή των πλημμυρών ώστε να προστατέψουν τις περιοχές που βρίσκονται σε επικίνδυνες ζώνες. Αυτοί διαχωρίζονται σε δύο επιμέρους κατηγορίες στους αποθεματικούς και τους ταμιευτήρες επιβράδυνσης. Οι ταμιευτήρες πολλαπλών χρήσεων υπάρχουν για να εξυπηρετούν διάφορους σκοπούς όπως είναι η υδροηλεκτρική ενέργεια, η ύδρευση, η άρδευση, η πλοήγηση, ο έλεγχος πλημμυρών, η περιβαλλοντική διαχείριση, η διάβρωση καθώς και η ψυχαγωγία. Τέλος οι ταμιευτήρες διανομής είναι συνδεδεμένοι με αγωγούς ύδρευσης για να προμηθεύσει τους καταναλωτές με νερό ανάλογα με τις απαιτήσεις που υπάρχουν καθώς επίσης χρησιμεύει στην αποθήκευση νερού για χρήση σε έκτακτη ανάγκη ([www.britishdams.org](http://www.britishdams.org)).

Στη σωστή λειτουργία των ταμιευτήρων κύριο ρόλο διαδραματίζουν τα φράγματα. Το φράγμα είναι μία κατασκευή του ανθρώπου που εμποδίζει τη ροή του νερού. Κατά κύριο λόγο τα φράγματα κατασκευάζονται για τον έλεγχο των ποταμών. Ο αριθμός των φραγμάτων που υπάρχουν παγκοσμίως ανέρχεται στις 850 χιλιάδες εκ των οποίων πάνω από τις 40 χιλιάδες χαρακτηρίζονται ως μεγάλα φράγματα και πάνω από τα μισά ανήκουν στην Κίνα και στην Ινδία. Αξιοσημείωτο είναι πως το 70% αυτών

των μεγάλων φραγμάτων κατασκευάστηκε τα τελευταία 50 χρόνια. Επίσης όσον αφορά τη χρήση τους εκτιμάται πως 24 χώρες χρησιμοποιούν τα φράγματα για υδροηλεκτρική ενέργεια με αποτέλεσμα να παράγουν το 90% της ενέργειάς τους από αυτά ενώ 70 χώρες βασίζονται στα φράγματα για τον έλεγχο των πλημμυρών (Chair, 2000).

Ο σημαντικός ρόλος των ταμιευτήρων διαφαίνεται όλο και περισσότερο ειδικά με το θέμα της υπερθέρμανσης του πλανήτη. Προβλέπεται πως τα επόμενα 50 χρόνια θα αυξηθεί η θερμοκρασία από ένα μέχρι πέντε βαθμούς με αποτέλεσμα να καθίσταται αναγκαία η σωστή διαχείριση των υδατικών πόρων ειδικά σε περιόδους ξηρασίας. Επίσης λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας του πλανήτη είναι πιθανό να υπάρξει αύξηση της θερμοκρασίας του νερού και επομένως να αλλάξει η συμπεριφορά της ροής του ως προς την ποσότητα και τη δυναμική του. Πολλά φράγματα θα χρειαστούν στο έλεγχο ή ακόμα και επιπλέον έργα για να ανταποκριθούν στις νέες συνθήκες περιβάλλοντος λόγω παλαιότητας (Grimaldi et al., 2011).

## **2.2 Κλιματική Αλλαγή ανά Ήπειρο μέχρι Σήμερα**

### **2.2.1 Αυστραλία**

Μέχρι τώρα οι παρατηρήσεις δείχνουν μία μείωση των δροσερών ημερών καθώς και αύξηση της ζέστης. Η θερμοκρασία στην Αυστραλία έχει ανέβει τον τελευταίο αιώνα 0,8 °C. Έρευνες οδηγούν στο συμπέρασμα ότι υπάρχει μεγάλη πιθανότητα μείωσης κατά 5% των κατακρημνίσεων όσον αφορά το μεγαλύτερο μέρος της Δυτικής Αυστραλίας και ιδιαίτερα στο κομμάτι της Νοτιοανατολικής το κλίμα εκτιμάται πως θα γίνει πιο ξηρό οπότε εκφράζεται μεγάλη ανησυχία για τα αποθέματα νερού. Ακόμη μία μεγάλη ανησυχία παρουσιάζει το σενάριο της αύξησης της στάθμης της θάλασσας (Hughes, 2003).

### **2.2.2 Αφρική**

Στην Αφρική έχει παρατηρηθεί αύξηση της θερμοκρασίας κατά 1 °C σε σχέση με το 1960 και παρατηρούνται έντονες και συνεχείς ηλιοφάνειες. Επίσης στην περιοχή της Γκάνα παρατηρείται αύξηση των βροχοπτώσεων. Παράλληλα παρατηρείται αύξηση στον αριθμό από τις ζεστές νύχτες με το ποσοστό να αγγίζει το 20% ενώ μείωση της τάξης του 15% όσον αφορά τις κρύες νύχτες ([www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch)).

### **2.2.3 Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής**

Στις Ηνωμένες Πολιτείες οι τάσεις για αύξηση της θερμοκρασίας έχουν γίνει εμφανείς από το 1960 και μετά. Σύμφωνα με προβλέψεις για το μέλλον τα αποτελέσματα

δείχνουν πως θα υπάρξει σημαντική άνοδος της θερμοκρασίας κατά 4 °C περίπου, σε σχέση με αυτήν του παρόντος. Η αλλαγή της συμπεριφοράς των κατακρημνίσεων φαίνεται ότι διαφέρει σε κάθε μεριά των Ηνωμένων Πολιτειών και όσον αφορά την περιοχή στην οποία βρίσκεται η υπό εξέταση λίμνη, δηλαδή στο Νοτιοδυτικό κομμάτι, προβλέπεται να υπάρχει μείωση του φαινομένου των κατακρημνίσεων κατά 20%. Αυτό που έχει παρατηρηθεί μέχρι σήμερα είναι πως έχουν μειωθεί οι κρύες νύχτες και γενικότερα υπάρχει μία μείωση των θερμοκρασιών της χειμερινής περιόδου και αύξηση αντίστοιχα της θερινής (www.ipcc.ch).

#### **2.2.4 Νότια Αμερική – Αργεντινή**

Στην Αργεντινή η κλιματική αλλαγή σύμφωνα με μελέτες προβλέπεται να οδηγήσει σε σημαντικές αλλαγές όπως είναι η αύξηση της θερμοκρασίας στο μεγαλύτερο μέρος της κατά 2 με 2,5 °C ενώ στο Βόρειο τμήμα της παρατηρείται μεγαλύτερη αύξηση της τάξης των 4 °C. Όσον αφορά το φαινόμενο των κατακρημνίσεων στο Βόρειο τμήμα της οι προβλέψεις δείχνουν πως θα παρατηρηθεί αύξηση 20% ενώ αντίθετα στο νότιο κομμάτι οι κατακρημνίσεις προβλέπεται να μειωθούν κατά 5 με 20%. Μέχρι σήμερα οι έρευνες προβάλλουν μεγαλύτερη συχνότητα στις ζεστές νύχτες κυρίως στις κεντρικές και Βόρειες περιοχές. Επίσης έχει διαπιστωθεί πως υπάρχει γενική αύξηση της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου καθώς και της χειμερινής με αποτέλεσμα να μειώνεται η συχνότητα εμφάνισης χαμηλών εποχιακών θερμοκρασιών. Τέλος εκτιμάται πως υπάρχει μία μικρή αύξηση των κατακρημνίσεων στο διάστημα 1960 με 2003 (Slingo et al., 2011).

#### **2.2.5 Ευρώπη – Ολλανδία**

Η Ολλανδία στα πλαίσια της κλιματικής αλλαγής και των επιπτώσεων της φαίνεται να διαχειρίζεται την κατάσταση προς το παρόν. Όμως παρουσιάζεται μεγάλος κίνδυνος όσον αφορά τη διαχείριση πιθανής περαιτέρω αύξησης της συχνότητας και της έντασης των κατακρημνίσεων καθώς και των πλημμυρών κυρίως λόγω της γεωγραφικής της θέσης η ακόμα και την πιθανότητα ξηρασίας. Για το λόγο αυτό, η κυβέρνηση και οι αρχές της έχουν στρέψει την προσοχή τους στην έρευνα και στη μελέτη αντιμετώπισης των πιθανών προβλημάτων. Μέχρι σήμερα οι παρατηρήσεις δείχνουν πως υπάρχει αύξηση της μέσης θερμοκρασίας κατά 1,7 °C κατά τον περασμένο αιώνα και παρουσιάζεται παράλληλα μία αύξηση της τάξης των 20 ημερών όσον αφορά το σύνολο των καλοκαιρινών ημερών. Για το φαινόμενο των κατακρημνίσεων αναφέρεται πως παρατηρείται αύξηση κατά 20% και παράλληλα παρουσιάζεται αύξηση στις περιόδους έντονων βροχοπτώσεων. Τα μελλοντικά σενάρια που εξετάζουν οι επιστήμονες είναι δύο. Είτε θα παρουσιαστεί περαιτέρω αύξηση των βροχοπτώσεων (περίπου 5%) ή θα υπάρξει μεγάλη μείωση αυτών (περίπου 6%) τονίζοντας την πολυπλοκότητα του προβλήματος της κλιματικής αλλαγής (PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, 2012).

## **2.2.6 Ασία - Κίνα**

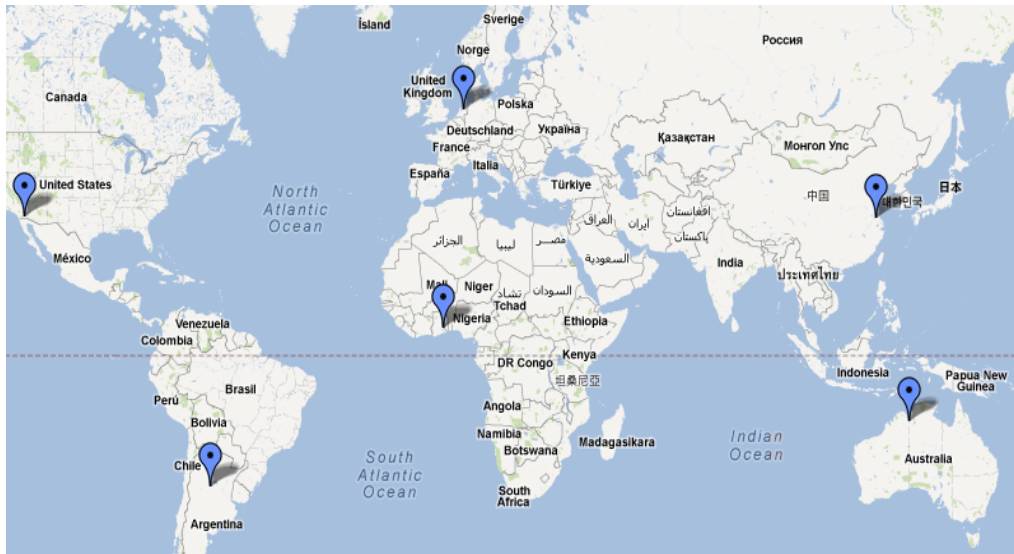
Στην περιοχή της Κίνας έχει παρατηρηθεί πως υπάρχει αύξηση της γενικής θερμοκρασίας κυρίως την περίοδο του χειμώνα αλλά και του καλοκαιριού στο διάστημα 1960 με 2010. Αυτό είχε ως συνέπεια τη σημαντική μείωση της συχνότητας εμφάνισης των δροσερών νυχτών και την αύξηση της εμφάνισης των ζεστών. Πρόσφατες έρευνες έχουν οδηγήσει στο συμπέρασμα πως οι ετήσιες κατακρημνίσεις αυξάνονται στην ευρύτερη περιοχή της Κίνας όπως επίσης οι μέρες έντονων κατακρημνίσεων. Οι προβλέψεις δείχνουν πως η θερμοκρασία της Κίνας στο Βόρειο και Δυτικό τμήμα της θα αυξηθεί κατά 4,5 °C ενώ στο Νοτιοανατολικό κατά 3 °C. Τέλος προβλέπεται η αύξηση των κατακρημνίσεων σε όλη την έκταση της Κίνας με μεγαλύτερη στο Βορειοανατολικό κομμάτι με ποσοστό 20% ενώ μικρότερη στο Νοτιοανατολικό με ποσοστό μέχρι 10% (Slingo et al., 2011).

## **2.3 Υπάρχουσα Κατάσταση περιοχών Μελέτης**

### **2.3.1 Περιοχές Μελέτης**

Η παρούσα διπλωματική μελέτη μελετά την επίδραση του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής σε τεχνητές λίμνες σε παγκόσμιο επίπεδο. Λόγω της ευρείας γεωγραφικής έκτασης και του μεγάλου αριθμού ταμιευτήρων παγκοσμίως, η τελική επιλογή συγκεκριμένων περιπτώσεων προς μελέτη δεν ήταν μια εύκολη διαδικασία. Η αρχική επιλογή έγινε με βάση τις ηπείρους. Στόχος ήταν να κατανεμηθούν με τέτοιο τρόπο οι λίμνες ώστε να καλύπτουν περιοχές διαφορετικές, τόσο ως προς το γεωγραφικό υπόβαθρο, όσο και ως προς το πολιτισμικό και πληθυσμιακό κομμάτι, το οποίο διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη φύση και την ποιότητα της κάθε λίμνης. Επιπλέον, ήταν επιθυμητό στην κατανομή να μελετηθούν λίμνες οι οποίες είναι χωροθετημένες σε περιοχές με έντονες επιδράσεις του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής. Οι επιδράσεις αυτές κινούνται σε δύο κατευθύνσεις, αναφερόμενοι πάντα σε ποσοτική επεξεργασία του προβλήματος και όχι ποιοτική. Ο πρώτος αφορά την πιθανή ξηρασία της εκάστοτε λίμνης και τις εναλλακτικές πηγές ύδρευσης και άρδευσης σε περιπτώσεις λειψυδρίας, ενώ ο δεύτερος την υπερχειλίση των ταμιευτήρων και την ανάγκη κατασκευής επιπλέον έργων ανάσχεσης των υδάτων στις κατάντη περιοχές. Τέλος, ένα τελευταίο κριτήριο που αποτέλεσε πολύ σημαντικό παράγοντα για την τελική επιλογή των τεχνητών λιμνών στον παγκόσμιο γεωγραφικό χάρτη ήταν η διαθεσιμότητα των δεδομένων. Ακριβώς επειδή η φύση της εργασίας είναι τέτοια που κινείται σε παγκόσμιο επίπεδο, μεγάλη δυσκολία προέκυψε κατά τη συλλογή των αντίστοιχων δεδομένων για την κάθε λίμνη για την ίδια χρονική περίοδο. Σε περιοχές, όπως η Αφρική και η Αργεντινή, είναι μετρημένες μόνο ορισμένες από τις ζητούμενες παραμέτρους υπολογισμού της τελικής εξίσωσης του υδατικού ισοζυγίου που χρησιμοποιείται, ενώ συχνά δεν ήταν διαθέσιμα ούτε στοιχεία για τον έμμεσο υπολογισμό τους. Με δεδομένα όλα τα παραπάνω κριτήρια έγινε η τελική επιλογή

των τεχνητών λιμνών Αργκάλι (Αυστραλία), Σάλτον Σι (Αμερική), Αϊσέλμερ (Ολλανδία), Βόλτα (Αφρική), Γκαόγιου (Κίνα) και Σαν Ροκέ (Αργεντινή) (Εικόνα 2.1).



**Εικόνα 2.1:** Τοποθεσία επιλεγμένων λιμνών (maps.google.com)

### 2.3.2 Αυστραλία – Αργκάλι

Η λίμνη Αργκάλι βρίσκεται στη Βόρεια και Δυτική πλευρά της Αυστραλίας σε υψόμετρο 180 μέτρα (Εικόνα 2.2). Κατασκευάστηκε το 1972 είναι μία από τις μεγαλύτερες τεχνητές λίμνες της Αυστραλίας και η επιφάνεια της καταλαμβάνει 703 km<sup>2</sup>, έχει δυνατότητα αποταμίευσης 6000 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> χρησιμοποιείται κυρίως για λόγους άρδευσης. Στην περιοχή της Λίμνης Αργκάλι η μέγιστη θερμοκρασία που φτάνει τις πιο θερμές περιόδους μπορεί να φτάσει μέχρι και τους 42 βαθμούς κελσίου (Εικόνα 2.3).



**Εικόνα 2.2 :** Αυστραλία – Αργκάλι (maps.google.com)



**Εικόνα 2.3 :** Η λίμνη Αργκάλι (Lakes Argyle and Kununurra - Ramsar Site)



### 2.3.3 Αφρική – Βόλτα

Η λίμνη Βόλτα η οποία σχηματίστηκε με την ολοκλήρωση του φράγματος Ακοσόμπο το 1965 αποτελεί μία από τις μεγαλύτερες λίμνες που φτιάχτηκαν από τον άνθρωπο με χωρητικότητα 150 km<sup>3</sup> με μήκος της τάξης των 400 km και επιφάνεια που καταλαμβάνει 87000 km<sup>2</sup>. Η λίμνη Βόλτα βρίσκεται στη Γκάνα και συγκεκριμένα στο Δυτικό τμήμα της Αφρικής και οριοθετείται στο Βορά από τη Μπουργκίνα Φάσο, από το Κονγκό Ανατολικά, στο Νότο από τον κόλπο της Γουινέας και Δυτικά από την ακτή Ελεφαντοστού (Εικόνες 2.4 και 2.5).



Εικόνα 2.4 : Αφρική - Η λίμνη Βόλτα (maps.google.com)



Εικόνα 2.5: Η λίμνη Βόλτα (www.ghanaweb.com)

### 2.3.4 Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής – Σάλτον Σι

Η λίμνη Σάλτον Σι κατασκευάστηκε το 1905 και επιφάνεια της βρίσκεται 69 m κάτω από τη μέση στάθμη της θάλασσας. Η επιφάνειά της καταλαμβάνει περίπου 21.700 km<sup>2</sup> με μέγιστο βάθος στα 16 m και έχει χωρητικότητα νερού 9,25 km<sup>3</sup>. Η λίμνη Σάλτον Σι τοποθετείται ακριβώς πάνω στο ρήγμα του Αγίου Ανδρέα στην κοιλάδα Ιμπίριαλ στη Βορειοανατολική Καλιφόρνια και χρησιμοποιείται για γεωργικές αποστραγγίξεις και όχι για άρδευση λόγω της αλμυρότητας του νερού (Εικόνες 2.6 και 2.7).



**Εικόνα 2.6 :** ΗΠΑ - Η λίμνη Σάλτον Σι (maps.google.com)



**Εικόνα 2.7:** Η λίμνη Σάλτον Σι(www.nature.com)

### 2.3.5 Αργεντινή - Σαν Ρόκε

Η λίμνη Σαν Ροκέ έχει επιφάνεια 17 km<sup>2</sup> και η χωρητικότητά του είναι 0,21 km<sup>3</sup> με μέγιστο βάθος στα 25 m και ελάχιστο στα 11 m. Η λίμνη αυτή τοποθετείται στην επαρχία της Κόρδοβα στο Βόρειο τμήμα της Αργεντινής και πιο συγκεκριμένα δίπλα στην πόλη Βίλα Κάρλος Παθ. Βρίσκεται περίπου 600 μέτρα πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας και δημιουργήθηκε από την κατασκευή φραγμάτων σε διάφορους ποταμούς και χρησιμοποιείται για γεωργικούς και βιομηχανικούς σκοπούς (Εικόνες 2.8 και 2.9).



Εικόνα 2.8 : Νότιος Αμερική - Η λίμνη Σαν Ροκέ (maps.google.com)



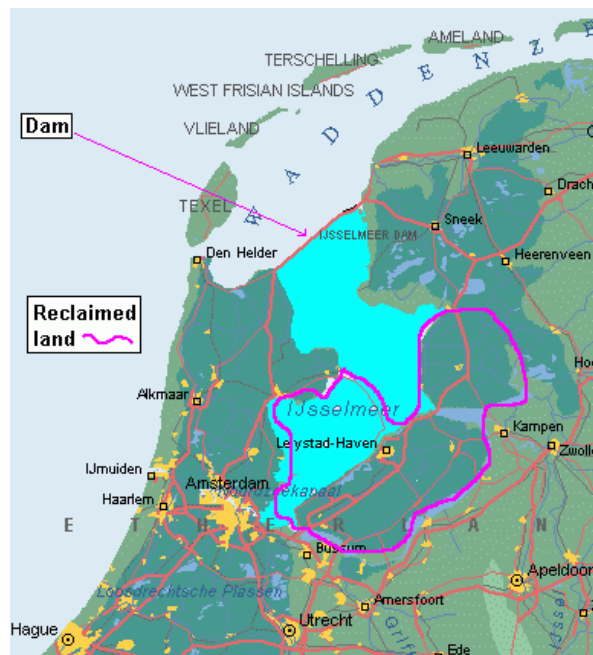
Εικόνα 2.9: Η λίμνη Σαν Ροκέ (www.dayanabarrionuevo.com)

### 2.3.6 Ολλανδία – Αϊσέλμερ

Η λίμνη Αϊσέλμερ αποτελεί μία από τις μεγαλύτερες λίμνες της Ευρώπης με φρέσκο νερό. Καλύπτει περίπου 1.200 km<sup>2</sup> και η χρήση της είναι κυρίως για αντιπλημμυρικούς, βιομηχανικούς, αλιευτικούς, αρδευτικούς και υδρευτικούς σκοπούς καθώς και για παραγωγή ενέργειας. Η λίμνη βρίσκεται κατά 0,20 με 0,40 μέτρα κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας και εξαρτάται από την περίοδο. Η λίμνη Αϊσέλμερ τοποθετείται στην κεντρική Ολλανδία (Εικόνες 2.10 και 2.11).



Εικόνα 2.10 : Ευρώπη - Η λίμνη Αϊσέλμερ (maps.google.com)



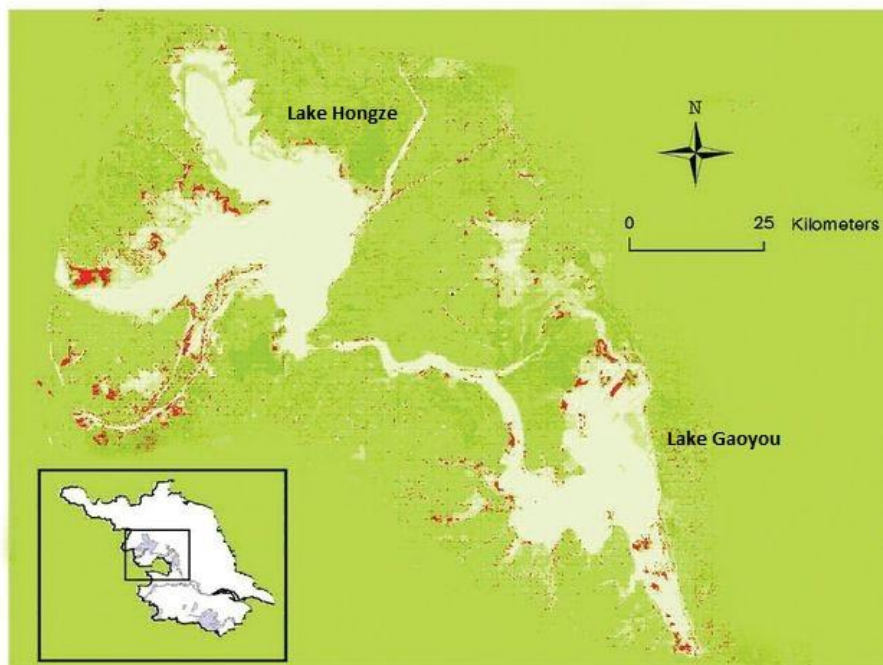
Εικόνα 2.11 : Η λίμνη Αϊσέλμερ (www.john-daly.com)

### 2.3.7 Κίνα – Γκαόγιου

Η λίμνη Γκαόγιου σχηματίστηκε μετά από πλημμύρες το 1600 και η χρήση της γίνεται για γεωργικούς κυρίως σκοπούς κατά κύριο λόγο ρυζιού. Η εν λόγω λίμνη έχει 39 χιλιόμετρα μήκος και 30 πλάτος. Η έκταση της είναι περίπου 674,7 km<sup>2</sup> με μέγιστο βάθος 2,4 μέτρα και μέσο όγκο νερού 9,716 km<sup>3</sup>. Η λίμνη Γκαόγιου είναι η 6<sup>η</sup> σε τάξη μεγέθους γλυκού νερού στην Κίνα και βρίσκεται ανάμεσα στις επαρχίες Τζιάνγκσου και Άνχουι στο Ανατολικό κομμάτι της (Εικόνες 2.12 και 2.13).



Εικόνα 2.12 : Ασία - Η λίμνη Γκαόγιου (maps.google.com)



Εικόνα 2.13 : Η λίμνη Γκαόγιου (www.geospatialhealth.unina.it)

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3**

### **ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΝΕΥΡΩΝΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ - ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ**



### **3. Μεθοδολογία Προσέγγισης**

#### **3.1 Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα και Προσέγγιση Προβλήματος**

Στην παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιείται ο συνδυασμός των τεχνητών νευρωνικών δικτύων (ΤΝΔ) και της εξίσωσης του υδατικού ισοζυγίου. Σε αυτήν την προσπάθεια έγινε αρχικά η εκπαίδευση των ΤΝΔ με τις μεταβλητές της εξίσωσης του υδατικού ισοζυγίου (P, ET<sub>o</sub>, E, A, ΔS) με σκοπό την ανάπτυξη μοντέλων πρόβλεψης. Στα ΤΝΔ που αναπτύχθηκαν τέθηκαν ως στοιχεία εισόδου η βροχόπτωση, η εξατμισοδιαπνοή, η εξάτμιση και η απορροή και ως στοιχεία εξόδου η διαφορά στάθμης των υπό μελέτη ταμιευτήρων (στην περίπτωση της λίμνης Αργκάιλ στην Αυστραλία λόγω αδυναμίας εύρεσης της χρονοσειράς της διαφοράς στάθμης, τέθηκε ως στοιχείο εξόδου η χρονοσειρά της διαφοράς όγκου).

#### **3.2 Νευρωνικά Δίκτυα**

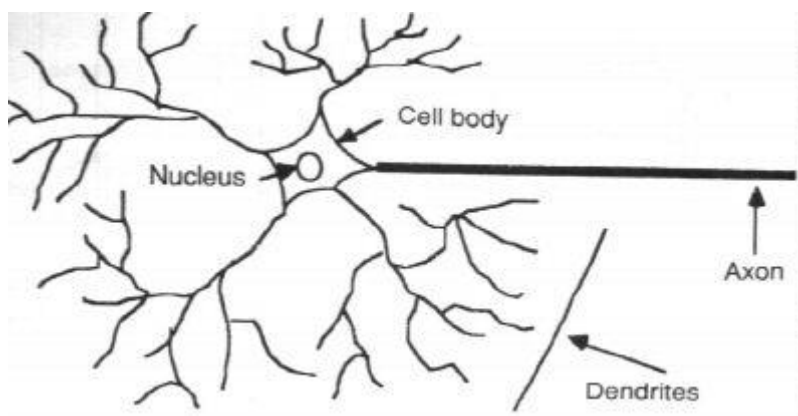
##### **3.2.1 Βιολογικά Νευρωνικά Δίκτυα**

Ο Ανθρώπινος εγκέφαλος είναι πολύ ευπροσάρμοστος. Το χαρακτηριστικό αυτό του δίνει τη δυνατότητα να κάνει διάφορα δύσκολα και πολύπλοκα πράγματα όπως είναι η κατανόηση και η εκμάθηση ξένων γλωσσών. Η σωστή λειτουργία του μπορεί να υφίσταται καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του ανθρώπου. Ακόμα και σε μεγάλες ηλικίες καθίσταται ικανός να μάθει καινούρια τεχνάσματα. Σε αντίθεση έρχεται η λειτουργία των σύγχρονων ρομπότ τα οποία είναι κατασκευασμένα να εκτελούν συγκεκριμένες εργασίες για τις οποίες έχουν σχεδιαστεί, όπως είναι η κατασκευή συγκεκριμένων εξαρτημάτων όπως είναι ενός μέρους ενός αυτοκινήτου με τη συνέπεια του να είναι λιγότερο ανθεκτικά σε περίπτωση που κάτι πάει λάθος κατά τη διαδικασία. Όμως οι συνάψεις, η συνδεσμολογία καθώς και η λειτουργία των τεχνητών νευρωνικών δικτύων δεν είναι τόσο περίπλοκες όσο των βιολογικών δικτύων, όμως η ταχύτητά διάδοσης του σήματος είναι πολύ μεγαλύτερη χωρίς να σημαίνει πως καλύπτεται με αυτόν τον τρόπο η διαφορά πολυπλοκότητας. Παρά το γεγονός αυτό, επιτυγχάνεται η προσέγγιση της δομής των βιολογικών νευρωνικών δικτύων σε μεγάλο βαθμό. Ένα παράδειγμα που οδηγεί σε αυτό το συμπέρασμα είναι πως τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα μαθαίνουν (εκπαιδεύονται) χρησιμοποιώντας εμπειρία την οποία έχουν συσσωρεύσει. Δηλαδή έχουν τη δυνατότητα της γενίκευσης από προηγούμενα παραδείγματα και παρατηρήσεις, όπως επίσης μπορούν να επεξεργαστούν ένα σύνολο δεδομένων και να ξεχωρίσουν τα πιο ουσιώδη από αυτά (Golden et al., 1996).

Ένας νευρώνας σύμφωνα με τη βιολογία αποτελείται από τρία βασικά μέρη τα οποία είναι το σώμα, ο άξονας και οι δενδρίτες. Αναλυτικότερα οι δενδρίτες, λαμβάνουν σήματα από γενικότερους νευρώνες. Τα σήματα αυτά είναι ηλεκτρονικοί παλμοί που διαδίδονται μεταξύ του άξονα του νευρώνα πομπού και των δενδριτών



του νευρώνα δέκτη με τη βοήθεια χημικών διεργασιών. Το σημείο των χημικών διεργασιών, όπου ένας άξονας ενός νευρώνα μεταδίδει το σήμα στους δενδρίτες του επόμενου λέγεται σύναψη. Στη συνέχεια το σώμα αθροίζει τα εισερχόμενα σήματα και όταν θεωρήσει πως είναι αρκετά, βγάζει ένα τελικό επεξεργασμένο σήματα και το αποστέλλει στους γειτονικούς νευρώνες μέσω του άξονα. Κάθε νευρώνας δέχεται πολλά σήματα ως είσοδο και μετά την επεξεργασία τους δίνει μόνο ένα σε όλους τους νευρώνες με τους οποίους συνδέεται (Golden et al., 1996).



**Εικόνα 3.1:** Βιολογικός νευρώνας (www.doc.ic.ac.uk)

### 3.2.2 Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα ΤΝΔ

Τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα αποτελούν μία γενικότερη προσπάθεια προσέγγισης της λειτουργίας του ανθρώπινου εγκεφάλου από μία μηχανή και έχουν την ικανότητα να εκτελούν υπολογισμούς με μαζικό παράλληλο τρόπο (Hopfield, 1985). Το τεχνητό νευρωνικό δίκτυο αποτελεί ένα μοντέλο επεξεργασίας πληροφοριών εμπνευσμένο από τον τρόπο που τα βιολογικά νευρικά συστήματα, όπως για παράδειγμα ο ανθρώπινος εγκέφαλος, επεξεργάζονται τις πληροφορίες. Το βασικό χαρακτηριστικό του μοντέλου αυτού είναι η πρότυπη δομή του συστήματος επεξεργασίας πληροφοριών. Τα ΤΝΔ είναι μία συλλογή μεγάλου αριθμού συνδεδεμένων στοιχείων επεξεργασίας που ονομάζονται νευρώνες οι οποίοι συνδέονται μεταξύ τους, λειτουργούν αρμονικά και είναι οργανωμένα σε στρώματα (layers). Κάθε νευρώνας συγκεκριμένα έχει πολλές εισόδους (inputs) αλλά μόνο μία έξοδο (output) η οποία με τη σειρά της μπορεί να αποτελεί είσοδο για άλλους νευρώνες. Οι συνδέσεις μεταξύ των νευρώνων διαφέρουν μεταξύ τους και η σπουδαιότητα τους προσδιορίζεται από τον συντελεστή βάρους για κάθε σύναψη. Η συνεργασία των νευρώνων καθορίζεται από τη συνάρτηση μεταφοράς η οποία καθορίζει την κάθε έξοδο σε σχέση με τις εισόδους και τους συντελεστές βάρους. Η επεξεργασία κάθε νευρώνα καθορίζεται από τη συνάρτηση ενεργοποίησης η οποία καθορίζει την έξοδο σε σχέση με τις εισόδους και τους συντελεστές βάρους (Vlamos and State, 2000).

Για να χρησιμοποιηθεί ένα δίκτυο πρέπει αρχικά να περάσει τη διαδικασία εκπαίδευσης. Η μάθηση περιλαμβάνει αλλαγές στις συναπτικές σχέσεις (βάρη) που περιέχονται μεταξύ των νευρώνων. Ένα μέρος αυτής της εκπαίδευσης αποτελείται από τη διαδικασία της επιλογής των κατάλληλων συντελεστών βάρους πράγμα που διεκπεραιώνεται με τη βοήθεια κατάλληλων αλγορίθμων. Ακολουθώντας μετά από την

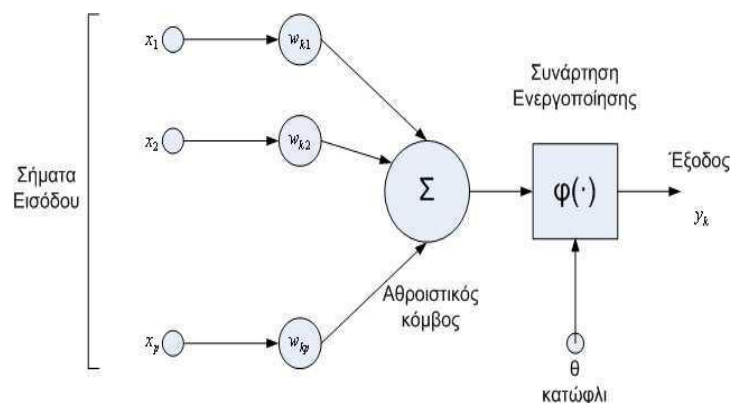
παραπάνω διαδικασία το τεχνητό νευρωνικό δίκτυο είναι σε θέση να εκτελέσει τις κατάλληλες υπολογιστικές διαδικασίες για τις οποίες εκπαιδεύτηκε, χρησιμοποιώντας την εμπειρική γνώση που απέκτησε. Ένα τεχνητό νευρωνικό δίκτυο ορίζεται ως ένας παράλληλος κατανεμημένος επεξεργαστής που έχει μία φυσική κλίση στην αποθήκευση και απόδοση της εμπειρικής γνώσης. Στα χαρακτηριστικά του παρουσιάζει ομοιότητες με τον ανθρώπινο εγκέφαλο ως προς τη γνώση που λαμβάνει από το δίκτυο μέσω μίας διαδικασίας εκπαίδευσης και την αποθήκευση της γνώσης που γίνεται μέσω βαρών που υπάρχουν στις συνδέσεις μεταξύ των νευρώνων (Aleksander, 1990).

### 3.3 Περιγραφή Απλού Τεχνητού Νευρώνα

#### 3.3.1 Μοντέλο Απλού Τεχνητού Νευρώνα

Ένας νευρώνας είναι μία μονάδα επεξεργασίας πληροφορίας, που είναι θεμελιακή για την λειτουργία ενός νευρωνικού δικτύου. Το μοντέλο του νευρώνα αποτελείται από τρία βασικά στοιχεία (Εικόνα3.2) (Haykin, 1994):

- Ένα σύνολο από συνάψεις ή συνδετικούς κρίκους. Κάθε μία από αυτές χαρακτηρίζεται από ένα βάρος. Πιο συγκεκριμένα, ένα σήμα  $x_j$  στην είσοδο της σύναψης  $j$  που συνδέεται με τον νευρώνα  $k$ , πολλαπλασιάζεται με το συναπτικό βάρος  $w_{kj}$ . Το βάρος  $w_{kj}$  είναι θετικό εάν η σύναψη είναι διεγερτική (δηλαδή ωθεί τον νευρώνα να αποκριθεί στη διέγερση) και αρνητικό σε περίπτωση που η σύναψη είναι απαγορευτική (δηλαδή αποτρέπει τον νευρώνα να παράγει μία απόκριση).
- Έναν αθροιστή για την πρόσθεση των σημάτων εισόδου, που παίρνουν βάρος από την αντίστοιχη σύναψη. Αυτές οι λειτουργίες αποτελούν το γραμμικό συνδυαστή  $u_k$  (σχέση 3.1).
- Μία συνάρτηση ενεργοποίησης για μείωση του εύρους της εξόδου του νευρώνα. Συνήθως το κανονικοποιημένο εύρος της εξόδου ενός νευρώνα είναι το κλειστό σύνολο  $[0,1]$  ή  $[-1,1]$ .



Εικόνα 3.2: Μοντέλο τεχνητού νευρώνα (Amit, 1989)

Το μοντέλο επίσης περιλαμβάνει μία εξωτερικά εφαρμοζόμενη τιμή, που έχει επίδραση στην ελάττωση της εισόδου στην εφαρμοζόμενη συνάρτηση ενεργοποίησης που ακολουθεί. Η τιμή αυτή, στη βιβλιογραφία, αναφέρεται ως πόλωση (κατώφλι)  $\theta_k$ . Σε αντίθετη περίπτωση, η είσοδος του δικτύου μπορεί να αυξηθεί με τη χρήση ενός όρο μεροληψίας, ο οποίος είναι αντίθετος από την πόλωση (bias).

Η μαθηματική έκφραση των παραπάνω είναι η εξής:

$$\mathbf{u}_k = \sum_{j=1}^p \mathbf{w}_{kj} \cdot \mathbf{x}_j \quad (3.1)$$

$$\mathbf{y}_k = \varphi(\mathbf{u}_k - \theta_k) \quad (3.2)$$

όπου:

$\mathbf{x}_j$ : τα σήματα εισόδου

$\mathbf{w}_{kj}$ : τα συναπτικά βάρη

$\mathbf{u}_k$ : η γραμμική συνδιαστική έξοδος του νευρώνα

$\theta_k$ : τιμή πόλωσης

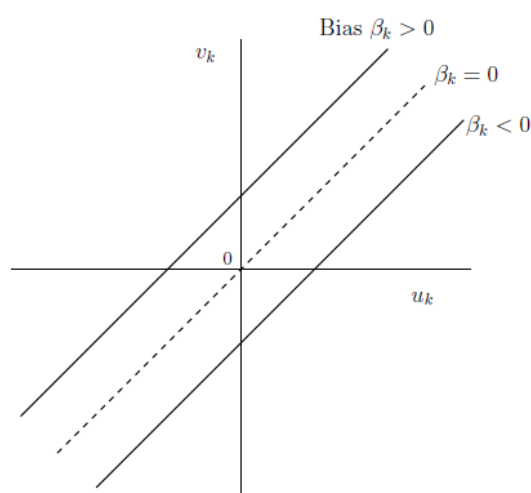
$\varphi(\cdot)$ : η συνάρτηση ενεργοποίησης

$\mathbf{y}_k$ : το σήμα εξόδου του νευρώνα, που αναφέρεται και σαν πραγματική έξοδος.

Η χρήση του  $\theta_k$  έχει σαν αποτέλεσμα την εφαρμογή ενός εγγενούς (affine) μετασχηματισμού της τιμής  $u_k$ , όπως φαίνεται και στην παρακάτω εξίσωση (3.3)

$$\mathbf{v}_k = \mathbf{u}_k - \theta_k \quad (3.3)$$

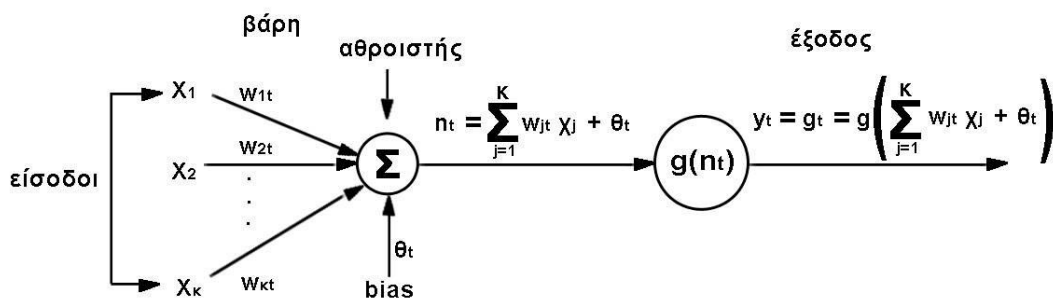
Η τιμή  $u_k$ , ανάλογα με το  $\theta_k$  αν είναι θετικό ή αρνητικό μεταβάλλεται όπως φαίνεται στην εικόνα 3.3.



**Εικόνα 3.3:** Εγγενής μετασχηματισμός λόγω παρουσίας κατωφλιού (mathworks.com)

Αξίζει να αναφερθεί πως ένα ΤΝΔ μπορεί να οριστεί από οκτώ βασικά στοιχεία:

- 1) το σύνολο των μονάδων επεξεργασίας.
- 2) την κατάσταση ενεργοποίησης κάθε μονάδας.
- 3) την παρουσία εξόδου για κάθε μονάδα.
- 4) την τοπολογία του δικτύου (τρόπος σύνδεσης μονάδων).
- 5) έναν κανόνα διάδοσης (συνάρτηση συνδυασμού), ο οποίος ορίζει τον τρόπο με τον οποίο οι τιμές εξόδου από άλλες μονάδες, συνδυάζονται για να δημιουργηθεί μία μόνο τιμή, που είναι η τελική είσοδος της μονάδας.
- 6) έναν κανόνα ενεργοποίησης για να αναπροσαρμόζει τις ενέργειες κάθε μονάδας χρησιμοποιώντας την τρέχουσα τιμή ενεργοποίησης και της εισόδους που έρχονται από άλλες μονάδες.
- 7) έναν κανόνα μάθησης για να τροποποιεί τα βάρη του δικτύου χρησιμοποιώντας πληροφορίες από το εξωτερικό περιβάλλον.
- 8) Το εξωτερικό περιβάλλον που δίνει πληροφορίες στο δίκτυο αλληλεπιδρώντας με αυτό.



**Εικόνα 3.4:** Απεικόνιση στοιχείων τεχνητού νευρώνα (Σταθοπούλου, 2010)

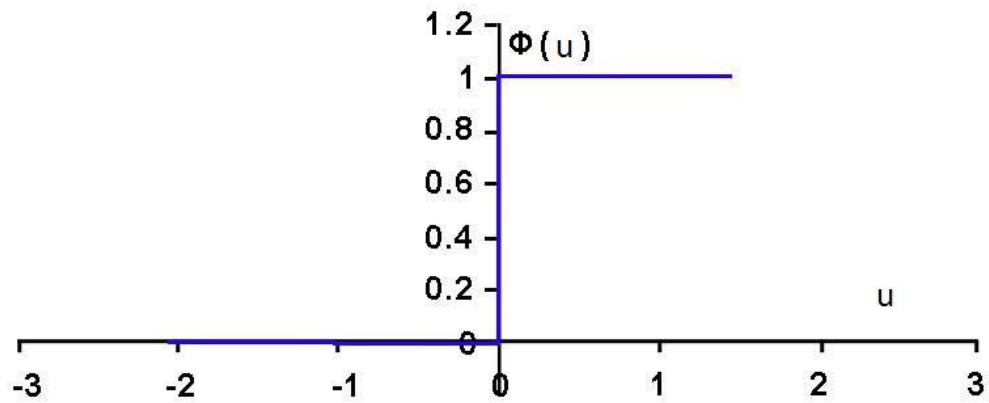
### 3.3.2 Συναρτήσεις ενεργοποίησης νευρώνα

Η συνάρτηση ενεργοποίησης  $\varphi(\cdot)$ , ορίζει την έξοδο ενός νευρώνα συναρτήσει του επιπέδου ενεργοποίησης της εισόδου (Haykin, 1994). Υπάρχουν τρεις βασικοί τύποι συναρτήσεων ενεργοποίησης:

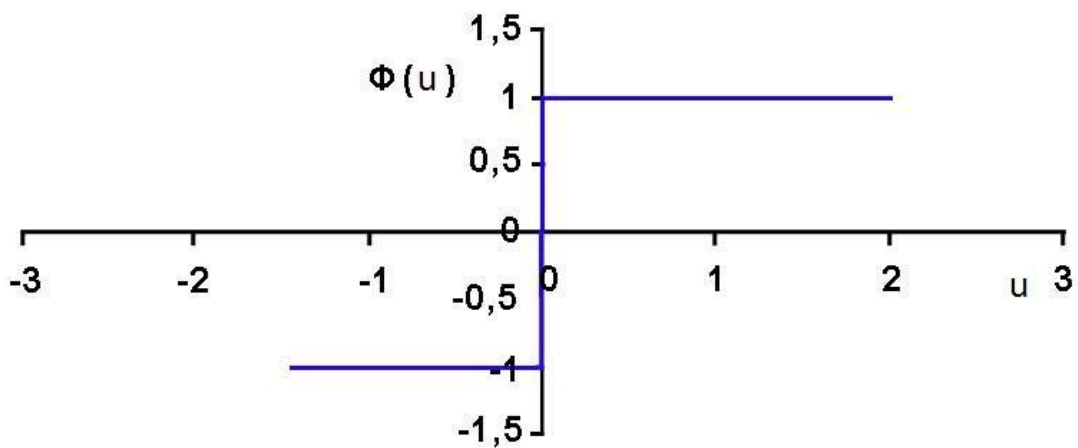
- **Διαδική Συνάρτηση Ενεργοποίησης**

Η διαδική συνάρτηση (ή βηματική) θέτει την έξοδο του νευρώνα ίση με το 0 αν το όρισμα της συνάρτησης είναι μικρότερο ή ίσο του 0 και 1 αν το όρισμα είναι μεγαλύτερο του 0. Η έξοδος δηλαδή του νευρώνα περιορίζεται στις δυαδικές τιμές 0 και 1. Η συνάρτηση χρησιμοποιείται για τη δημιουργία νευρώνων που διαχωρίζουν τις

εισόδους σε δύο διαφορετικές κατηγορίες. Παρομοίως και η συνάρτηση προσήμου έχει ως αποτέλεσμα η έξοδος του νευρώνα να παίρνει τις τιμές -1 και 1 και η λογιστική συνάρτηση περιορίζει το πεδίο τιμών της εξόδου του νευρώνα στο διάστημα (0,1) (Σταθοπούλου, 2010).



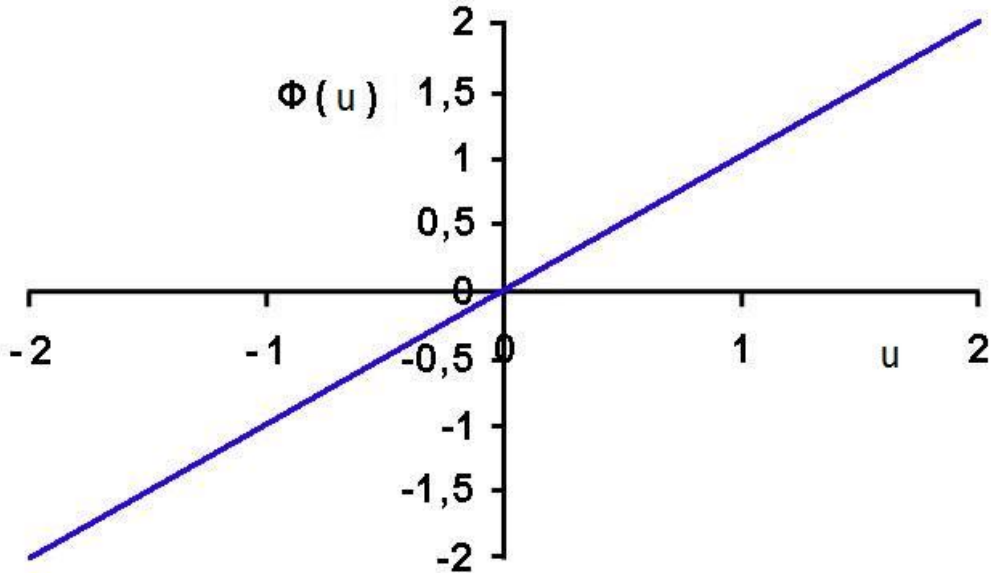
**Εικόνα 3.5:** Βηματική συνάρτηση (www.mathworks.com)



**Εικόνα 3.6:** Συνάρτηση πρόσημου (www.mathworks.com)

- **Γραμμική Συνάρτηση Ενεργοποίησης**

Η γραμμική συνάρτηση είναι η  $\phi(u)=u$ .



**Εικόνα 3.7:** Γραμμική συνάρτηση ενεργοποίησης (www.mathworks.com)

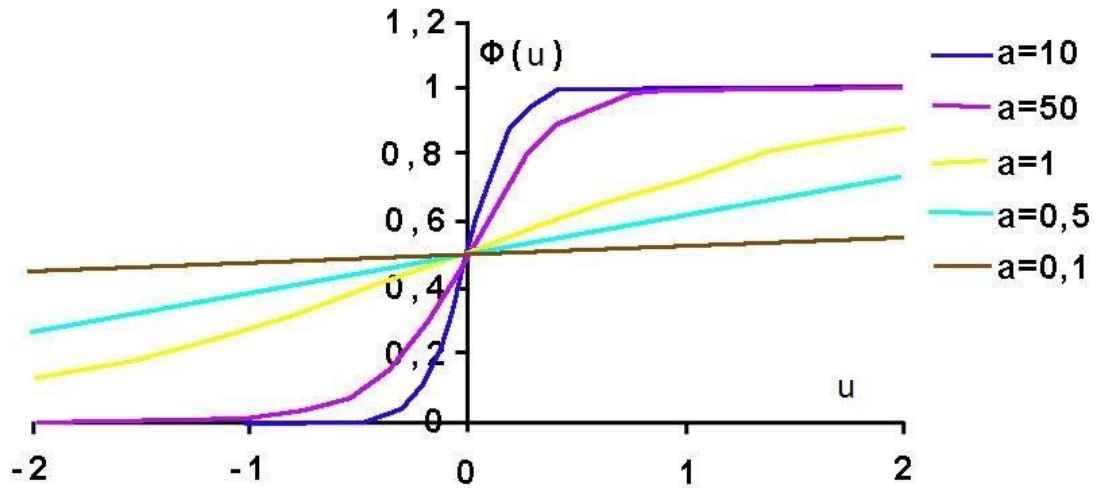
Αυτή η συνάρτηση ενεργοποίησης χρησιμοποιείται σε νευρώνες που προορίζονται για γραμμική προσέγγιση στα γραμμικά φίλτρα (Σταθοπούλου, 2010).

- **Σιγμοειδής Συνάρτηση Ενεργοποίησης**

Η σιγμοειδής συνάρτηση είναι η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη συνάρτηση ενεργοποίησης για την κατασκευή τεχνητών νευρωνικών δικτύων. Ορίζεται ως μία γνησίως αύξουσα συνάρτηση που είναι ομαλή και ασυμπτωτική. Ένα παράδειγμα σιγμοειδούς συνάρτησης είναι το ακόλουθο:

$$\Phi(u) = 1 / [1 + \exp(-au)] \quad (3.4)$$

με το  $a$  να αποτελεί την παράμετρο κλίσης της σιγμοειδούς συνάρτησης. Με τη μεταβολή του  $a$  μπορεί να μεταβληθεί η κλίση της καμπύλης. Αντίθετα με τη βηματική συνάρτηση που παίρνει τιμές 0 ή 1, η σιγμοειδής συνάρτηση μπορεί να πάρει όλες τις τιμές από το  $[0,1]$ . Επίσης η σιγμοειδής συνάρτηση είναι διαφορίσιμη ενώ η βηματική όχι (Σταθοπούλου, 2010).



Εικόνα 3.8: Σιγμοειδής συνάρτηση (www.mathworks.com)

### 3.3.3 Αρχιτεκτονική Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων

Η τοπολογική δομή είναι το κύριο χαρακτηριστικό των νευρωνικών δικτύων και αναφέρεται στην αρχιτεκτονική στην οποία διευθετούνται και διασυνδέονται πολλαπλοί νευρώνες. Οι δύο βασικές ιδιότητες που καθορίζουν την αρχιτεκτονική ενός νευρωνικού δικτύου είναι το πλήθος των επιπέδων (layers) και οι συνδέσεις μεταξύ των νευρώνων. Το τρίτο χαρακτηριστικό, το οποίο σχετίζεται με τον τρόπο με τον οποίο είναι δομημένοι οι νευρώνες, είναι ο αλγόριθμος μάθησης που χρησιμοποιείται για την εκπαίδευση του δικτύου. Οι βασικές αρχιτεκτονικές των δικτύων είναι οι εξής (Hecht-Nielsen, 1990):

- Μονοστρωματικά Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα (Single-layer Artificial Neural Networks)
- Πολυστρωματικά Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα (Multi-layer Artificial Neural Networks)

Στην κατηγορία των μονοστρωματικών υπάγονται τα δίκτυα με ένα στρώμα νευρώνων ή ακόμα και τα δίκτυα που αποτελούνται από ένα και μοναδικό νευρώνα. Όταν το δίκτυο αποτελείται από παραπάνω από ένα στρώμα νευρώνων, τότε ανήκει στην κατηγορία των πολυστρωματικών τεχνητών νευρωνικών δικτύων. Το δίκτυο διαμορφώνεται μέσω της ιδιότητας ότι τα στοιχεία εξόδου κάθε προηγούμενου επιπέδου νευρώνων, αποτελούν τα στοιχεία εισόδου του επόμενου επιπέδου. Βασική εξαίρεση αποτελεί το πρώτο στρώμα, αφού τα αρχικά στοιχεία εισόδου τα δίνει ο χρήστης. Τα επίπεδα που διαμορφώνουν το δίκτυο είναι δυνατόν να διαφέρουν όχι μόνο στον αριθμό των νευρώνων που τα απαρτίζουν αλλά και στην συνάρτηση ενεργοποίησης που χρησιμοποιούν. Οι νευρώνες όμως του ίδιου στρώματος απαιτείται να έχουν την ίδια συνάρτηση ενεργοποίησης.

### 3.3.4 Κανόνες Μάθησης

Μέσα σε όλες τις ιδιότητες ενός νευρωνικού δικτύου αυτή που έχει τη μεγαλύτερη σπουδαιότητα είναι η ικανότητα του να μαθαίνει από το περιβάλλον του και έτσι να βελτιώνει την απόδοση μέσω της μάθησης. Η βελτίωση αυτή γίνεται σταδιακά μέσω του χρόνου, σύμφωνα με κάποιο καθορισμένο μέτρο. Η μάθηση επαναλαμβάνεται μέσω της επανάληψης μίας διαδικασίας ρυθμίσεων της τιμής των συναπτικών βαρών και των πολώσεων. Θεωρητικά το δίκτυο αποκτά περιορισμένη γνώση για το περιβάλλον του μετά από κάθε επανάληψη της διαδικασίας μάθησης (Mendel, 1970).

Μάθηση είναι η διαδικασία σύμφωνα με την οποία προσαρμόζονται οι ελεύθεροι παράμετροι ενός νευρωνικού δικτύου μέσω μίας συνεχούς διαδικασίας ενεργοποίησης από το περιβάλλον στο οποίο βρίσκεται το δίκτυο. Το είδος της μάθησης καθορίζεται από τον τρόπο με τον οποίο πραγματοποιούνται οι αλλαγές των παραμέτρων (Viamos and State, 2000). Η μάθηση ακολουθεί τα εξής βήματα (Kohonen, 1989):

- Το νευρωνικό δίκτυο δέχεται πληροφορίες από το περιβάλλον και ενεργοποιείται
- Το νευρωνικό δίκτυο υφίσταται αλλαγές ως συνέπεια αυτής της ενεργοποίησης
- Το νευρωνικό δίκτυο απαντά με έναν καινούριο τρόπο στο περιβάλλον, λόγω των αλλαγών που έγιναν στην εσωτερική δομή

Ένα σύνολο από καλά ορισμένους κανόνες για τη λύση ενός προβλήματος μάθησης καλείται αλγόριθμος μάθησης. Όπως είναι λογικό δεν υπάρχει ένας μοναδικός τρόπος μάθησης για τον σχεδιασμό νευρωνικών δικτύων. Αντίθετα υπάρχει μία πληθώρα τρόπων εκπαίδευσης και μάθησης των νευρωνικών δικτύων και ο κάθε ένας από αυτούς παρουσιάζει τα δικά του πλεονεκτήματα. Κατά βάση οι αλγόριθμοι αυτοί διαφέρουν στον τρόπο με τον οποίο προσαρμόζεται το βάρος κάθε σύναψης αλλά και με τον τρόπο τον οποίο επικοινωνεί το νευρωνικό δίκτυο με το περιβάλλον. Ο αλγόριθμος που χρησιμοποιήθηκε στη συγκεκριμένη διπλωματική ήταν ο αλγόριθμος trainlm (Levenberg-Marquardt) ο οποίος θεωρείται από τους πιο αξιόπιστους αλγορίθμους γενικής χρήσης και αποτελεί μία από τις πιο γρήγορες μεθόδους μάθησης (Callan, 1999).

### 3.3.5 Εφαρμογές Νευρωνικών δικτύων

Τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα έχουν αναπτυχθεί σε διεθνές επίπεδο μόνο κατά τις τελευταίες δεκαετίες. Ένας μεγάλος αριθμός επιστημόνων ασχολείται με τη συγκεκριμένη ερευνητική περιοχή σημειώνοντας σημαντικά επιτεύγματα προωθώντας έτσι την εφαρμογή τους σε πολλά πεδία. Για παράδειγμα όσον αφορά τον τομέα της αεροπλοΐας έχουν δημιουργηθεί αυτόματοι πιλότοι, προγράμματα προσομοίωσης, συστήματα ελέγχου πτήσης καθώς ακόμα και ανίχνευση ελαττωμάτων σε τμήματα



αεροπλάνων. Όσον αφορά τη βιολογία και την ιατρική ο ρόλος των τεχνητών νευρωνικών δικτύων είναι καταλυτικός για την κατανόηση της λειτουργίας του εγκεφάλου και άλλων συστημάτων του ανθρώπινου οργανισμού καθώς και εξαγωγή ιατρικών διαγνώσεων και συμπερασμάτων από ακτινογραφίες. Επίσης σημαντικό ρόλο παίζουν και στην ανάπτυξη μοντέλων τεχνητών μελών και μηχανισμών όπως είναι ακουστικά. Στον τομέα της γεωργίας με τη βοήθεια των τεχνητών νευρωνικών δικτύων πραγματοποιείται ανάλυση πιθανότητας ύπαρξης πετρελαίου σε γεωλογικούς μετασχηματισμούς, ανάλυση πετρωμάτων σε ορυχεία καθώς και ανάλυση της μόλυνσης του περιβάλλοντος. Στο πεδίο των επιχειρήσεων δίνεται η δυνατότητα για αξιολόγηση υποψηφίων για κάποια θέση, για βελτιστοποίηση κρατήσεων σε μεταφορικά μέσα καθώς ακόμα και για την αναγνώριση του γραφικού χαρακτήρα. Στις κατασκευές, με τη βοήθεια των τεχνητών νευρωνικών δικτύων μπορεί να πραγματοποιηθεί αυτόματος έλεγχος όσον αφορά τον έλεγχο της γραμμής παραγωγής, τον έλεγχο ποιότητας καθώς και την επιλογή τμημάτων κατά το στάδιο της συναρμολόγησης. Στον τομέα της οικονομίας πραγματοποιείται υπολογισμός κινδύνου για δάνεια και υποθήκες, έλεγχος πλαστογραφιών, μετάφραση χειρόγραφων εντύπων, εκτίμηση τιμών μετοχών και συναλλάγματος (State et al., 2005).

Τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα συμμετέχουν ακόμα και στο πεδίο του περιβάλλοντος στην πρόγνωση του καιρού και στην ανάλυση των τάσεων των καιρικών συνθηκών. Σημαντικό ρόλο διαδραματίζουν και στην άμυνα μίας περιοχής με το χειρισμό επανδρωμένων οχημάτων, την αναγνώριση σημάτων από radar, με τα συστήματα ανίχνευσης εισβολής (IDS -Intrusion Detection Systems), με τη δημιουργία έξυπνων όπλων, με την αναγνώριση και σκόπευση στόχων καθώς και με τη βελτιστοποίηση και αξιοποίηση αποθεμάτων και κρυπτογραφία. Τέλος όσον αφορά τον τομέα των υπολογιστών η χρήση των τεχνητών νευρωνικών δικτύων αναφέρεται στην αναγνώριση ομιλίας, στο OCR (Optical Character Recognition, Οπτική Αναγνώριση Χαρακτήρων), στον εντοπισμός φωνηέντων φθόγγων, στη μετατροπή κειμένου σε ομιλία, στην ανίχνευση βλαβών στα επικοινωνιακά δίκτυα και στη δρομολόγηση πληροφοριών σε δίκτυα υπολογιστών (State et al., 2005).

### **3.4 Νευρωνικά Δίκτυα και Υδρολογία**

Όσον αφορά τον τομέα της υδρολογίας, γίνεται μια γενικότερη προσπάθεια να εφαρμοστούν τα νευρωνικά δίκτυα κυρίως στον τομέα που έχει να κάνει με την πρόβλεψη. Η ενασχόληση των επιστημόνων με την υδρολογία και τα νευρωνικά δίκτυα είναι σχετικά πρόσφατη αφού τις δύο τελευταίες δεκαετίες και κυρίως την τελευταία έχει στραφεί το ενδιαφέρον τους προς αυτόν τον τομέα κυρίως λόγω της κλιματικής αλλαγής. Επίσης όλες οι προσπάθειες προσέγγισης της υδρολογικής ανάλυσης ακόμα βρίσκεται σε πρώιμο στάδιο και χρήζει περαιτέρω έρευνας και ανάπτυξης. Όπως είναι γνωστό οι προβλέψεις για τα υδρολογικά στοιχεία αποτελούν ένα δύσκολο κομμάτι αφού υπάρχουν πολλοί αστάθμητοι παράγοντες που μπορεί να επηρεάσουν την μελλοντική τους πορεία και ειδικότερα στην εποχή μας που το κλίμα επιδέχεται μεγάλες και έντονες αλλαγές (Govindaraju et al., 2000).

Η εφαρμογή των νευρωνικών δικτύων έχει εισαχθεί στον τομέα που αφορά τα υδρολογικά στοιχεία γραμμικά και μη όπως είναι η βροχόπτωση η εξάτμιση η απορροή η ποιότητα του νερού και άλλα και έχει εξαχθεί το συμπέρασμα πως τα αποτελέσματα που παράγονται είναι αρκετά ικανοποιητικά όσον αφορά τον τομέα της πρόβλεψης. Για το πρόβλημα της πρόβλεψης της στάθμης των λιμνών έχουν γίνει διάφορες προσπάθειες με στόχο την πρόβλεψη σε διάφορα μέρη και με διαφορετικούς τρόπους. Τέτοιο παράδειγμα αποτελεί η λίμνη Ναιβάσα η οποία βρίσκεται στην Κένυα. Στη συγκεκριμένη λίμνη οι κύριες εισροές προέρχονται από τους ποταμούς Μαλέουα και Γκίγκιλ καθώς φυσικά και από τις βροχοπτώσεις. Αντίστοιχα οι απώλειες γίνονται μέσω της εξάτμισης από την επιφάνεια της και από την υπόγεια απορροή προς τον υδροφόρο ορίζοντα. Τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν για το σκοπό αυτής της έρευνας ήταν το επίπεδο της επιφάνειας του περασμένου μήνα της λίμνης, η βροχόπτωση, η εξάτμιση, η εισροή από τον ποταμό Μαλέουα καθώς και η εισροή από τον ποταμό Γκίγκιλ. Τα αποτελέσματα που εξήχθησαν έδειξαν πως μπορεί να γίνει πρόβλεψη για τους επόμενους τέσσερις μήνες αρκεί να έχουν χρησιμοποιηθεί τα παραπάνω δεδομένα για τους έξι προηγούμενους μήνες (Ondimu and Marase, 2006).

Ένα ακόμα σημαντικό παράδειγμα αποτελεί και η πρόβλεψη της στάθμης της λίμνης Ban στην Τουρκία. Αυτή η έρευνα ξεκίνησε επειδή παρατηρήθηκε έντονη και συνεχής αύξηση της στάθμης της εν λόγω λίμνης με συνέπεια οι περιοχές που βρίσκονταν κοντά σε αυτή να πλημμυρίζουν. Οι επιστήμονες σε αυτήν την περίπτωση χρησιμοποίησαν ως δεδομένα τη στάθμη των προηγούμενων χρόνων καθώς και την αντίστοιχη βροχόπτωση. Αυτή τη φορά χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικές αρχιτεκτονικές δικτύου ώστε να καταλήξουν στην καταλληλότερη. Η εκπαίδευση έγινε βάσει των δεδομένων 20 προηγούμενων χρόνων και στη συνέχεια εξήγαγαν αποτελέσματα για τα πέντε επόμενα έτη. Τέλος έγινε σύγκριση μεταξύ των εξαχθέντων αποτελεσμάτων κάθε ΤΝΔ. Τα αποτελέσματα ήταν αρκετά ικανοποιητικά και ήταν σχεδόν ίδια για όλες τις αρχιτεκτονικές που χρησιμοποιήθηκαν (Altunkaynak, 2006).

### **3.5 Προηγούμενη Μελέτη στις υπό Εξέταση Τεχνητές Λίμνες**

Στη διπλωματική εργασία της Κατερίνας Ζομπανάκη στη σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου με τίτλο «*Χρήση μοντέλων πρόβλεψης για τη μελέτη της επίδρασης του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής σε τεχνητές λίμνες ανά τον κόσμο*» έγινε χρήση στατιστικών μοντέλων και μεθόδων για την πρόβλεψη των υδατικών αποθεμάτων των ταμιευτήρων προκειμένου να εκτιμηθούν οι επιπτώσεις του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής στα υδατικά συστήματα της Γης. Η διαδικασία που ακολούθησε ήταν η σύγκριση των αποτελεσμάτων βάσει του σφάλματος που έβγαине ώστε να επιλεγεί η καλύτερη μέθοδος πρόβλεψης κάθε φορά. Για να επιτευχθεί ο σκοπός αυτός ξεκίνησε με την απευθείας πρόβλεψη της διαφοράς στάθμης των λιμνών με διάφορα μοντέλα. Στη συνέχεια επέλεξε την εξίσωση υδατικού ισοζυγίου και έκανε με τα ίδια μοντέλα πρόβλεψη για τα στοιχεία τα οποία περιλάμβανε η εν λόγω εξίσωσης και έπειτα βάσει

αυτής εξήγαγε το τελικό αποτέλεσμα (διαφορά στάθμης). Τέλος έκανε σύγκριση των αποτελεσμάτων της απευθείας πρόβλεψης με αυτήν του υδατικού ισοζυγίου για την εξαγωγή του τελικού αποτελέσματος. Μέσω όλης της παραπάνω διαδικασίας κατέληξε πως ο καλύτερος τρόπος πρόβλεψης αποτέλεσε η διαδικασία με άμεσο τρόπο για τις λίμνες Αργκάλι (Αυστραλία), Σάλτον Σι (Αμερική), και Άισελμερ (Ολλανδία), ενώ για τις λίμνες Βόλτα (Αφρική), Γκαόγιου (Κίνα) και Σαν Ροκέ (Αργεντινή) αποδείχτηκε καλύτερη η διαδικασία πρόβλεψης με τη χρήση της εξίσωσης υδατικού ισοζυγίου. Για να πραγματοποιηθεί αυτό χρησιμοποιήθηκαν κάποια υδρολογικά στοιχεία τα οποία παρουσιάζονται στη συνέχεια και τα οποία αξιοποιήθηκαν και στην παρούσα εργασία.

### **3.6 Δεδομένα Μελέτης**

#### **3.6.1 Χρονοσειρές**

*«Οι χρονοσειρές ή χρονολογικές σειρές αποτελούν ένα σύνολο διαδοχικών παρατηρήσεων της τιμής κάποιου φυσικού ή άλλου μεγέθους»* (Πετρόπουλος και Ασημακόπουλος, 2011). Για την εκπόνηση της μελέτης αυτής ήταν απαραίτητη η δημιουργία χρονοσειρών βάσει ιστορικών δεδομένων κάθε ταμειυτήρα. Οπότε συλλέχθηκαν μηνιαία δεδομένα για τα υδρολογικά έτη 1992-1993 έως 2010-2011 (Σεπτέμβριος-Αύγουστος). Η εξίσωση υδατικού ισοζυγίου που χρησιμοποιήθηκε κατέστησε αναγκαίο τον υπολογισμό ορισμένων δεδομένων με τη βοήθεια χρονοσειρών διαφορετικών υδρολογικών και μετεωρολογικών παραμέτρων για κάθε περιοχή μελέτης (εξατμισοδιαπνοή και εξάτμιση).

#### **3.6.2 Εξίσωση Υδατικού Ισοζυγίου**

Η εξίσωση υδατικού ισοζυγίου που χρησιμοποιήθηκε είναι η ακόλουθη:

$$P - ET_0 - E + A = \Delta S \quad (3.5)$$

όπου,

P: μηνιαία αθροιστική βροχόπτωση

ET<sub>0</sub>: μηνιαία αθροιστική εξατμισοδιαπνοή της λεκάνης απορροής

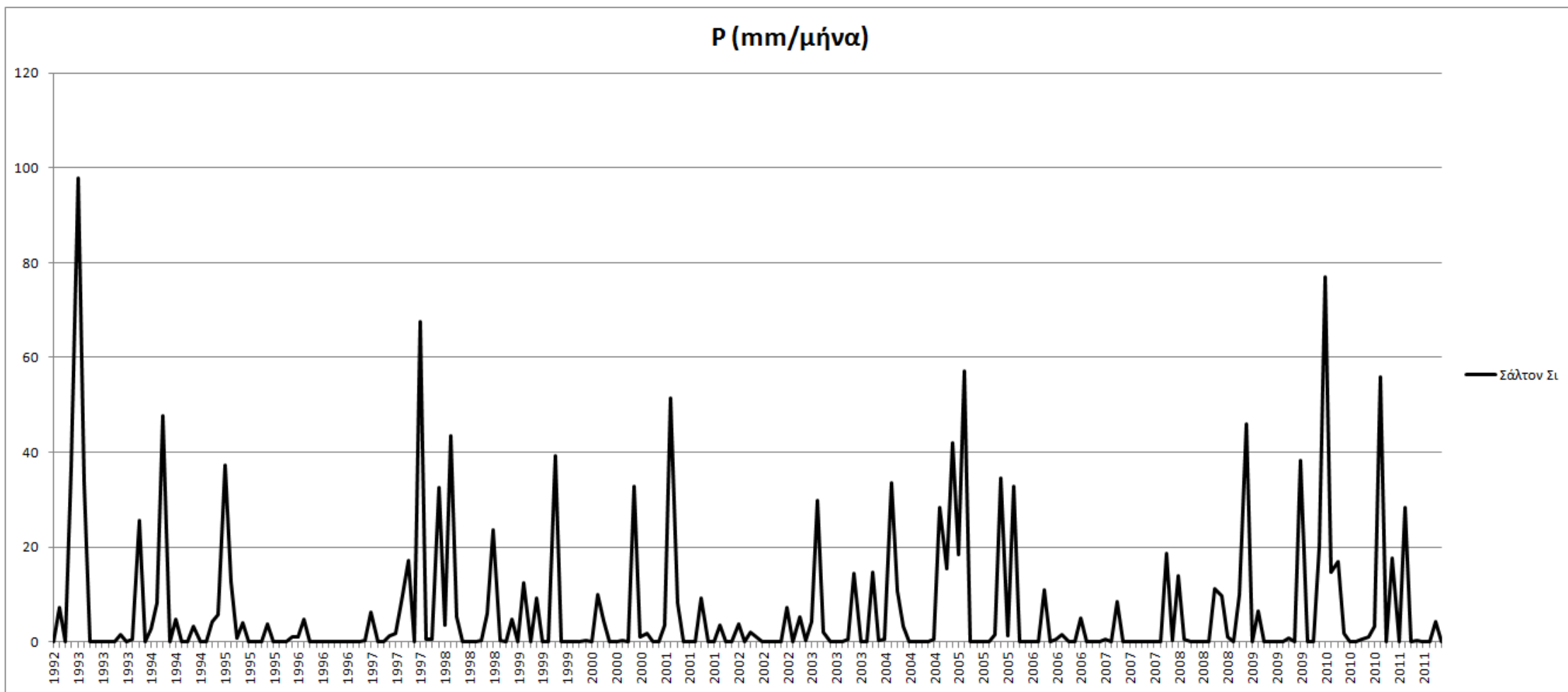
E: μηνιαία αθροιστική εξάτμιση του ταμειυτήρα

A: συνολική απορροή

ΔS: αλλαγή στη στάθμη του ταμειυτήρα

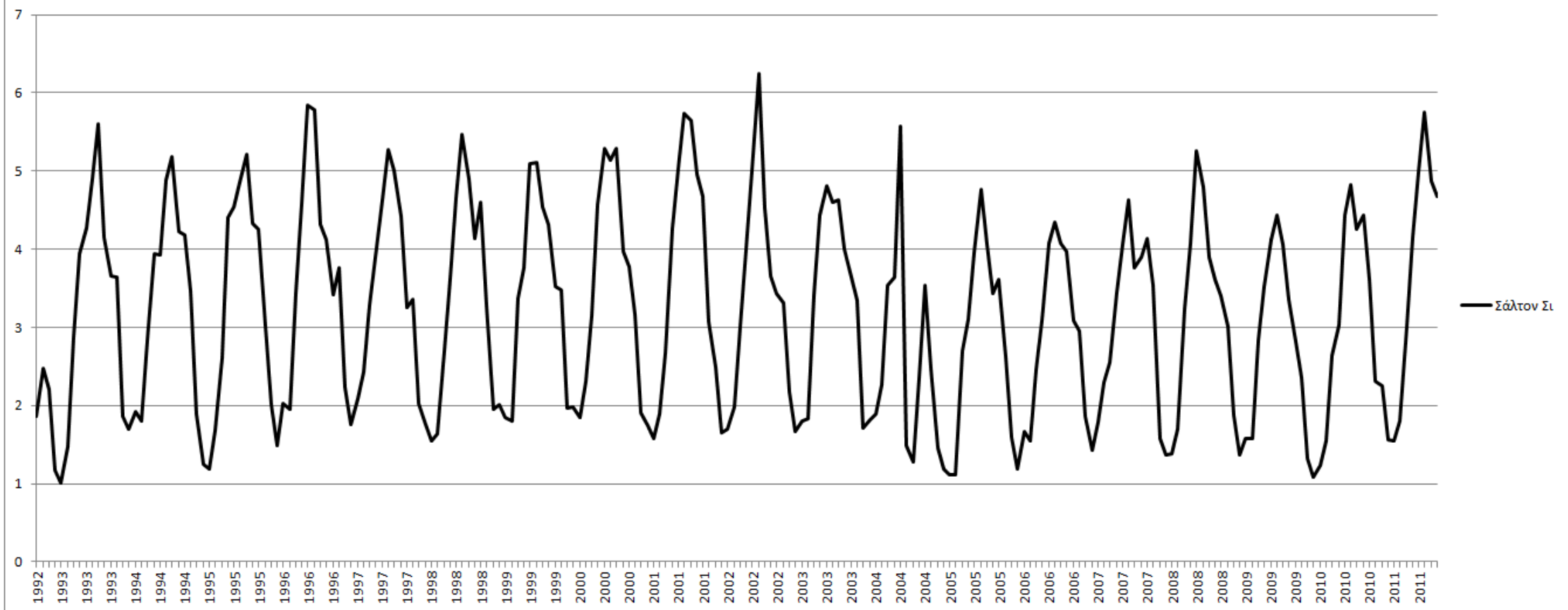
Για όλα τα παραπάνω στοιχεία της εξίσωσης υδατικού ισοζυγίου η Κατερίνα Ζομπανάκη στη διπλωματική της έβγαλε όλα τα αποτελέσματα μέσω προγραμμάτων και διάφορων υπολογισμών ώστε να δημιουργηθούν οι απαιτούμενες χρονοσειρές. Στα διαγράμματα που ακολουθούν έγινε ενδεικτικά η παρουσίαση των χρονοσειρών για μία μόνο λίμνη (Σάλτον Σι) και τα δεδομένα για τις υπόλοιπες παρατίθενται στο παράρτημα. Τα μεγέθη των μεταβλητών αφορούν τις μέσες μηνιαίες τιμές.

### 3.6.3 Παρουσίαση Δεδομένων

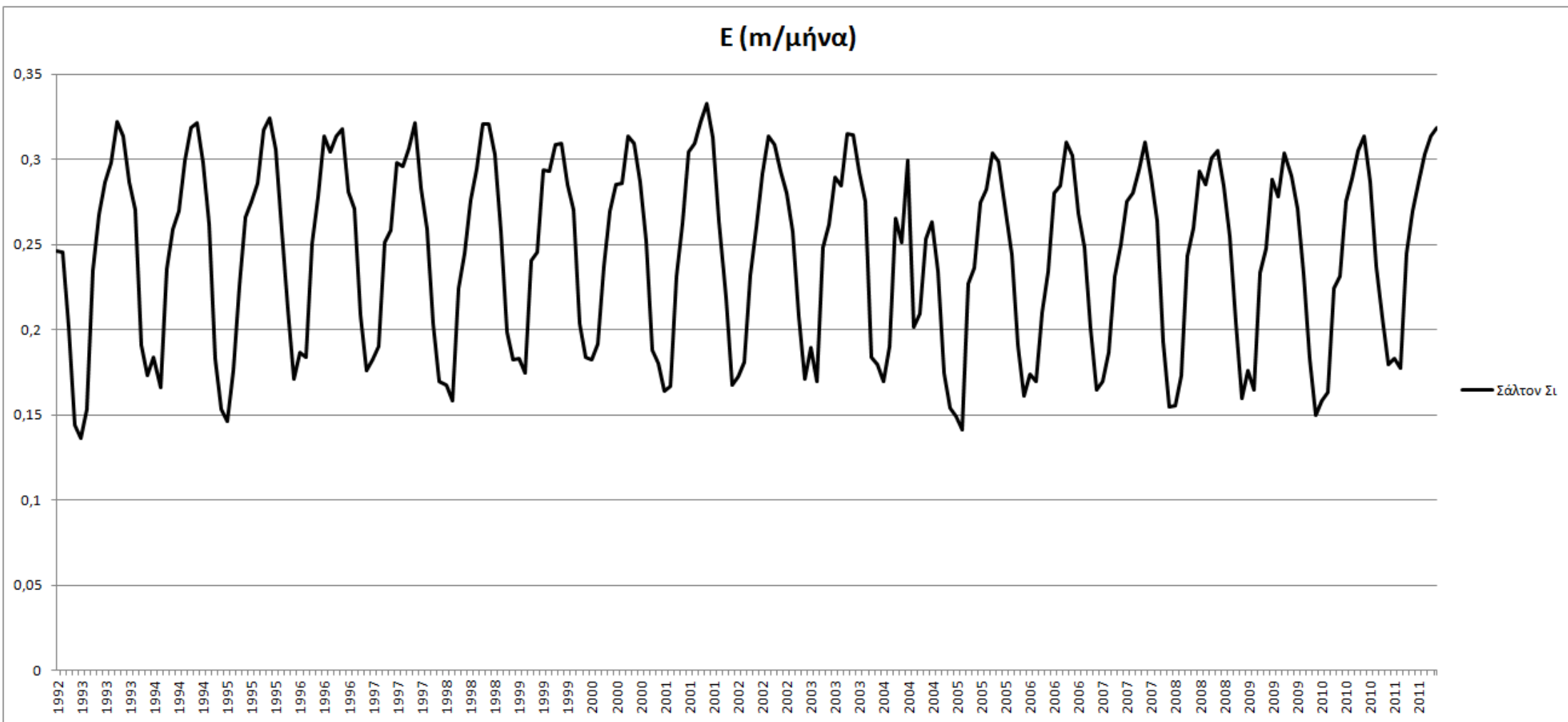


Διάγραμμα 3.1: Η χρονοσειρά αθροιστικής βροχόπτωσης (mm/μήνα) – Ζομπανάκη 2012

### ΕΤο (m/μήνα)

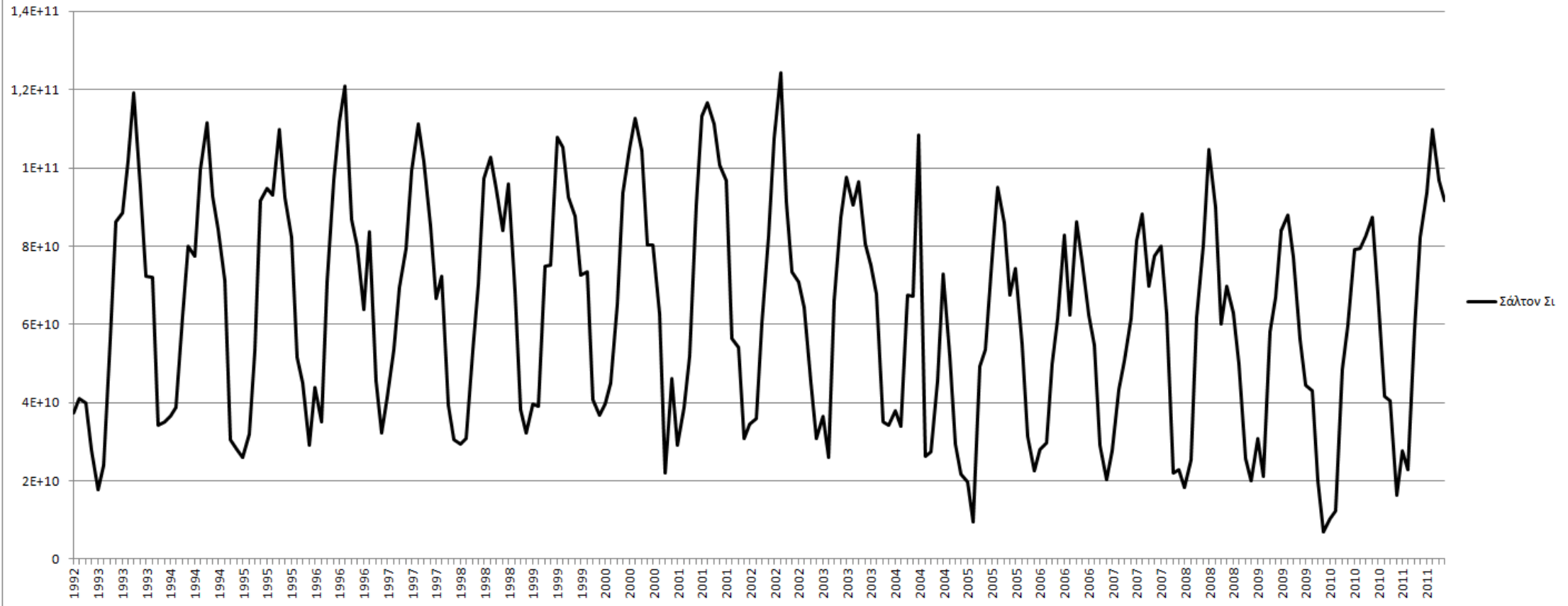


Διάγραμμα 3.2: Η χρονοσειρά αθροιστικής εξατμισοδιαπονοής (m/μήνα) – Ζομπανάκη 2012



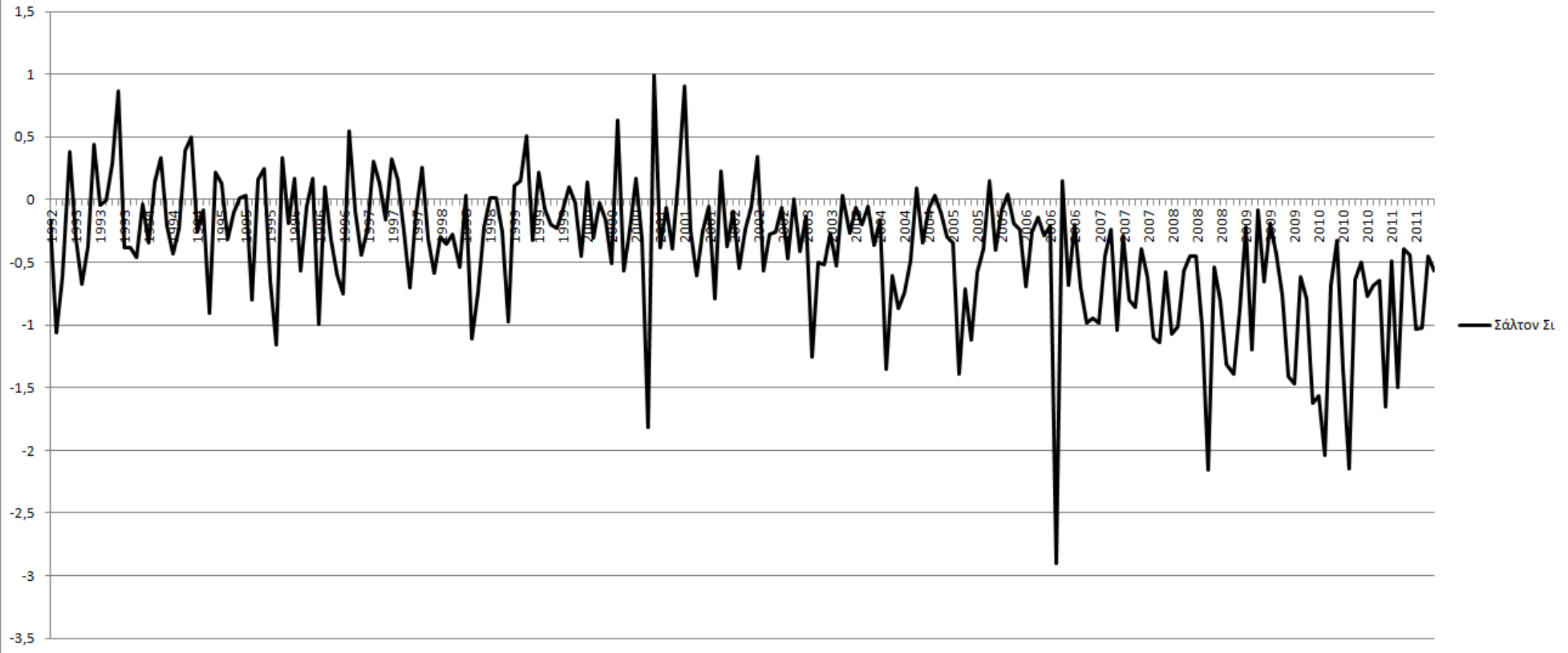
**Διάγραμμα 3.3:** Η χρονοσειρά αθροιστικής εξάτμισης (m/μήνα) – Ζομπανάκη 2012

A (m<sup>3</sup>/μήνα)



Διάγραμμα 3.4: Η χρονοσειρά απορροής (m<sup>3</sup>/μήνα) – Ζομπανάκη 2012

### ΔS (m/μήνα)



**Διάγραμμα 3.5:** Η χρονοσειρά διαφοράς στάθμης (m) – Ζομπανάκη 2012





### **ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ (mm/μήνα)**

Από το διάγραμμα 3.1 της βροχόπτωσης όπως και στα αντίστοιχα διαγράμματα και για τις υπόλοιπες 5 περιοχές μελέτης παρατηρούνται μέγιστες τιμές κατά τους μήνες Οκτώβρη-Φεβρουάριο και ελάχιστες κατά τους μήνες Μάρτιος-Σεπτέμβρης για τις λίμνες Αργκάιλ, Σάλτον Σι και Σαν Ροκέ ενώ η αντίθετη περίπτωση ισχύει για τις υπόλοιπες. Η διαφορά των βροχοπτώσεων μεταξύ των λιμνών οφείλεται στη διαφορά κλίματος των περιοχών στις οποίες ανήκουν.

### **ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗ (m/μήνα)**

Στο διάγραμμα 3.2 καθώς και στα αντίστοιχα διαγράμματα και για τις υπόλοιπες 5 περιοχές της εξατμισοδιαπνοής, μαζί με την τάση λόγω εποχών, παρατηρούνται ακραία φαινόμενα για τις λίμνες Βόλτα και Αργκάιλ κατά τα έτη 2002 και 1992 αντίστοιχα. Αυτό οφείλεται σε κάποιο ακραίο καιρικό φαινόμενο που συνέβη τις χρονικές αυτές περιόδους, ως προς τη θερμοκρασία, την υγρασία, την ηλιοφάνεια ή την ταχύτητα ανέμου.

### **ΕΞΑΤΜΙΣΗ (m/μήνα)**

Στο διάγραμμα 3.3 όπως και στα αντίστοιχα διαγράμματα και για τις υπόλοιπες 5 περιοχές μελέτης της εξάτμισης παρατηρούνται ομοιότητες με αυτό της εξατμισοδιαπνοής, λόγω της ομοιότητας στον τύπο υπολογισμού (ίδιες μεταβλητές). Ένα άλλο ενδιαφέρον χαρακτηριστικό είναι η κλιμάκωση της εξάτμισης των ταμιευτήρων, ανάλογα με την περιοχή τοποθεσίας και το κλίμα. Για το πιο τροπικό κλίμα (Αφρική), παρατηρούνται μεγάλες τιμές εξάτμισης, ενώ για το πιο ερημικό κλίμα (Αυστραλία) οι τιμές κυμαίνονται σε πολύ χαμηλότερα επίπεδα. Από το διάγραμμα παρατηρείται ότι οι λίμνες με τη μεγαλύτερη εξάτμιση είναι οι Σάλτον Σι (ΗΠΑ), Αρκάιλ (Αυστραλία) και Βόλτα (Αφρική), ενώ αυτή με τη μικρότερη εξάτμιση είναι η λίμνη Άισελμεερ της Ολλανδίας.

### **ΑΠΟΡΡΟΗ (m<sup>3</sup>/μήνα)**

Στο διάγραμμα απορροής 3.4 καθώς και στα αντίστοιχα των άλλων λιμνών παρουσιάζεται ομοιότητα με αυτό της βροχόπτωσης. Οι αυξομειώσεις της είναι ανάλογες με αυτές που παρατηρούνται στα αντίστοιχα διαγράμματα βροχόπτωσης.

### **ΔΙΑΦΟΡΑ ΣΤΑΘΜΗΣ (m/μήνα) ΚΑΙ ΌΓΚΟΥ (m<sup>3</sup>/μήνα)**

Το πιο σημαντικό από όλα τα διαγράμματα είναι αυτό της διαφοράς στάθμης, δεδομένου ότι αυτή είναι η ζητούμενη μεταβλητή προς πρόβλεψη στην παρούσα διπλωματική εργασία. Τα δεδομένα της διαφοράς στάθμης χαρακτηρίζονται από έντονη τυχαιότητα, παρατηρείται όμως μια τάση τόσο στη λίμνη Αργκάιλ (Αυστραλία) όσο και στη Βόλτα (Αφρική) για άνοδο της στάθμης. Σε μικρότερη κλίμακα, παρατηρείται αύξηση των ακραίων τιμών μεταβολής της στάθμης για τον ταμιευτήρα Γκαόγιου (Κίνα) και μείωση της στάθμης για τις λίμνες Σάλτον Σι (ΗΠΑ) και Σαν Ροκέ (Αργεντινή).

### 3.7 Μεθοδολογία Προσέγγισης του Αντικειμένου της Διπλωματικής

Στην παρούσα διπλωματική γίνεται προσπάθεια πρόβλεψης της στάθμης των συγκεκριμένων λιμνών ανά τον κόσμο με διαφορετικές μεθόδους μέσω των νευρωνικών δικτύων με την εφαρμογή της εργαλειοθήκης (toolbox) του λογισμικού MATLAB. Η ανάλυση των εργαλείων που χρησιμοποιήθηκαν θα γίνει εκτενέστερα στο επόμενο κεφάλαιο. Επιγραμματικά οι διαδικασίες που ακολουθήθηκαν ήταν οι εξής:

- Στην πρώτη και πιο απλή περίπτωση χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα και οι προβλέψεις των δεδομένων όπως αυτά περιγράφονται στη διπλωματική εργασία της Ζομπανάκη (2012) για να εξαχθεί αποτέλεσμα. αναπτύχθηκε ένα νευρωνικό δίκτυο με το εργαλείο nntool (neural networks tool) που εκπαιδεύτηκε με βάση την εξίσωση του υδατικού ισοζυγίου και στη συνέχεια κλήθηκε να εφαρμοστεί και με τις υπάρχουσες προβλέψεις των στοιχείων που ήταν απαραίτητα.
- Στη δεύτερη περίπτωση έγινε εφαρμογή της ίδιας διαδικασίας όμως αυτή τη φορά αρκετά από τα υπάρχοντα δεδομένα θεωρήθηκαν μηδενικά, δηλώνοντας έλλειψη στοιχείων και μετρήσεων, για να μπορέσει να εξετασθεί το ενδεχόμενο εύρεσης όλων των απαραίτητων δεδομένων ελλιπή στοιχεία.
- Τέλος έγινε προσπάθεια να στηθεί ένα δίκτυο που να μπορεί να εξαγει αποτελέσματα χωρίς τη χρήση και των πέντε στοιχείων της εξίσωσης του υδατικού ισοζυγίου. Σε αυτή τη διαδικασία υπήρξαν δύο διαφορετικές περιπτώσεις. Στη μία περίπτωση έγινε χρήση της απορροής, της θερμοκρασίας, της βροχόπτωσης καθώς και της διαφοράς στάθμης ενώ στην άλλη έγινε πάλι χρήση μόνο της θερμοκρασίας, της βροχόπτωσης και της διαφοράς στάθμης.

### 3.8 Κριτήρια Επιλογής Κατάλληλης Αρχιτεκτονικής Νευρωνικού Δικτύου

Κατά την παραπάνω διαδικασία έπρεπε να γίνει επιλογή των καταλληλότερων δικτύων για την επίλυση του ζητούμενου προβλήματος. Το κριτήριο με το οποίο έγινε η επιλογή της καταλληλότερης αρχιτεκτονικής του καταλληλότερου νευρωνικού δικτύου ήταν ο συντελεστής συσχέτισης R με το αντίστοιχο διάγραμμα του.

Ο συντελεστής συσχέτισης R δίνεται από τη σχέση (3.6) και συγκρίνει τις υπολογιζόμενες και τις πραγματικές τιμές και η τιμή του κυμαίνεται από -1 έως 1.

$$R = \frac{n \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[n \sum x^2 - (\sum x)^2][n \sum y^2 - (\sum y)^2]}} \quad (3.6)$$

όπου  $x$ ,  $y$  οι τιμές των αποτελεσμάτων του νευρωνικού δικτύου (τιμές πρόβλεψης) και οι πραγματικές τιμές αντίστοιχα και  $n$  το πλήθος των στοιχείων. Ο συντελεστής συσχέτισης  $R$  αποτελεί ένα δείκτη που εκφράζει τη σχέση των προβλεπόμενων τιμών με τις πραγματικές. Στην παρούσα διπλωματική εργασία γίνεται χρήση του διαγράμματος της τιμής του που κυμαίνεται μεταξύ των τιμών  $-1$  και  $1$ . Όσο πιο κοντά στην μονάδα είναι τόσο πιο έμπιστα είναι τα αποτελέσματα. Στην περίπτωση που είναι μηδέν σημαίνει πως δεν υπάρχει καμία συσχέτιση των αποτελεσμάτων και αποτελούν εντελώς τυχαίους αριθμούς. Τέλος στην περίπτωση που πλησιάζει η τιμή το  $-1$  σημαίνει πως υπάρχει αρνητική συσχέτιση. Ο συγκεκριμένος συντελεστής αποτέλεσε κριτήριο επιλογής της αρχιτεκτονικής των τεχνητών νευρωνικών δικτύων για να γίνει αποδεκτή η αρχιτεκτονική ενός νευρωνικού δικτύου θα πρέπει ο συντελεστής  $R$  να βρίσκεται στο διάστημα  $[0.75, 1]$  ώστε να υποδηλώνει την καλή σχέση μεταξύ των πραγματικών τιμών και των τιμών που παράγει το αντίστοιχο νευρωνικό δίκτυο. Όταν η τιμή του  $R$  βρίσκεται μεταξύ  $0.25$  και  $0.75$  το ΤΝΔ που έχει αναπτυχθεί παράγει αποτελέσματα των οποίων η συσχέτιση με τις πραγματικές τιμές είναι μέτριας δύναμης (Πετρόπουλος και Ασημακόπουλος, 2011).



## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4**

### **ΜΑΤΛΑΒ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ**



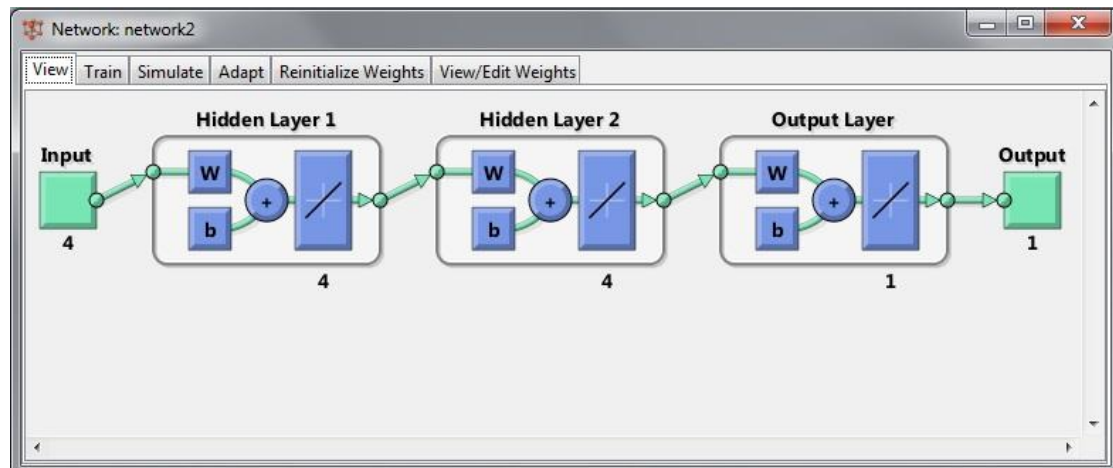
## 4. MATLAB – Αποτελέσματα

### 4.1 Πρόβλεψη με Πλήρη Δεδομένα

Στην περίπτωση αυτή γίνεται μία πολύ απλή διαδικασία πρόβλεψης της στάθμης των ταμιευτήρων που έχουν επιλεχθεί. Αρχικά πραγματοποιείται η εκπαίδευση του νευρωνικού δικτύου με τα δεδομένα της εξίσωσης του υδατικού ισοζυγίου με διάφορες αρχιτεκτονικές και στη συνέχεια επιλέχθηκε η καταλληλότερη. Στη συνέχεια για την διεξαγωγή των προβλέψεων εφαρμόστηκε το συγκεκριμένο δίκτυο με τις καλύτερες προβλέψεις των στοιχείων από τη διπλωματική εργασία της Ζομπανάκη (2012).

#### 4.1.1 Αρχιτεκτονική Δικτύου

Το νευρωνικό δίκτυο που χρησιμοποιήθηκε είχε δύο κρυφά στρώματα (hidden layers) με 4 νευρώνες το κάθε ένα. Η συνάρτηση ενεργοποίησης που χρησιμοποιήθηκε ήταν η γραμμική αφού τα αποτελέσματα προκύπτουν από μία απλή μαθηματική εξίσωση.



Εικόνα 4.1: Αρχιτεκτονική τεχνητού νευρωνικού δικτύου με πλήρη δεδομένα

#### 4.1.2 Εκπαίδευση Δικτύου

Στο στάδιο αυτό εισήχθησαν ως δεδομένα εισόδου στο εν λόγω δίκτυο οι τιμές για τη βροχόπτωση, την εξάτμιση, την εξατμισοδιαπνοή και την απορροή. Η διαδικασία εκπαίδευσης με τη σειρά της αποτελείται από τρία βασικά στάδια.

- Το στάδιο της εκπαίδευσης (training)
- Το στάδιο της επικύρωσης (validation)
- Το στάδιο του ελέγχου (testing)



Στο πρώτο στάδιο, της εκπαίδευσης, το νευρωνικό δίκτυο αυτόματα διαχωρίζει δύο ποσοστά της τάξης του 15% του συνολικού αριθμού των στοιχείων για επικύρωση και έλεγχο όμως για περαιτέρω επαλήθευση και σιγουριά των αποτελεσμάτων έγινε διαχωρισμός των δεδομένων αι ένα μέρος τους χρησιμοποιήθηκε ξεχωριστά για τις διαδικασίες που αναφέρονται παραπάνω. Για το κάθε στάδιο χρησιμοποιήθηκε συγκεκριμένος αριθμός από το σύνολο των δεδομένων των χρονοσειρών. Για το πρώτο στάδιο (εκπαίδευση) χρησιμοποιήθηκαν τα δέκα (10) από τα δεκαεννέα χρόνια, για το δεύτερο (επικύρωση) τέσσερα (4) και για το τρίτο (έλεγχος) πέντε (5). Η διαδικασία της επιπλέον επικύρωσης έγινε για την επιλογή της καταλληλότερης αρχιτεκτονικής των νευρωνικών δικτύων. Όσον αφορά τη διαδικασία του training το δίκτυο έτρεξε κάποιες επαναλήψεις ώστε να θέσει τα κατάλληλα βάρη στα δεδομένα για μπορέσει να βγάλει το συμπέρασμα (εξίσωση ενεργοποίησης) για τον τρόπο που βγαίνουν τα αποτελέσματα. Οι λόγοι που μπορεί να σταματήσουν τη διαδικασία εκπαίδευσης είναι δύο:

- α) Ο ένας αφορά την περίπτωση που το σφάλμα συνεχίζει να μειώνεται όπου φτάνει πολύ κοντά στο μηδέν έχοντας ως συνέπεια τη διακοπή της διαδικασίας επειδή δεν χρήζει περαιτέρω βελτίωσης.
- β) Ο δεύτερος λόγος που μπορεί το δίκτυο να παύσει τη λειτουργία του είναι όταν τα αποτελέσματα της επικύρωσης παύουν να βελτιώνονται για έναν συγκεκριμένο συνεχόμενο αριθμό επαναλήψεων, ο οποίος καθορίζεται από την αρχή ως παράμετρος του νευρωνικού δικτύου. Στα νευρωνικά δίκτυα που έχουν αναπτυχθεί στην παρούσα διπλωματική ο αριθμός συνεχόμενων αποτυχημένων επαναλήψεων είναι 6.

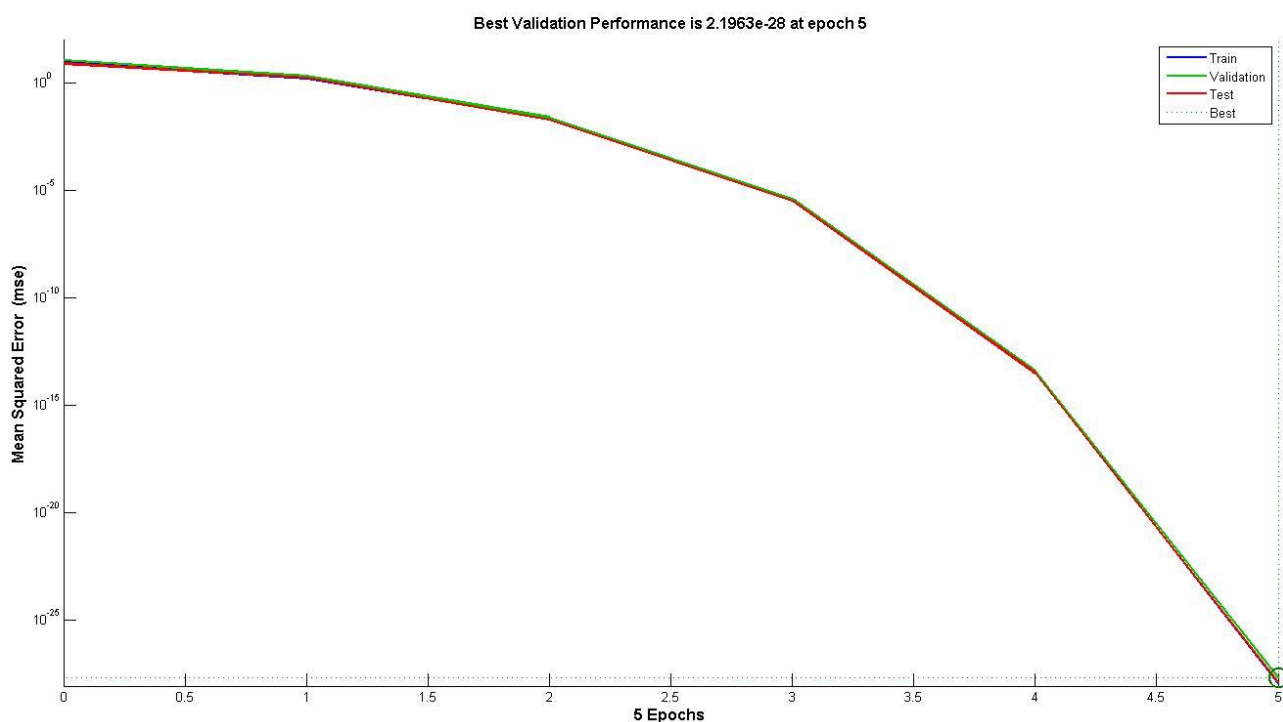
Έπειτα το δίκτυο εξήγαγε δικά του αποτελέσματα καθώς και τα σφάλματά τους σε σχέση με τα αρχικά για το ίδιο χρονικό διάστημα. Στη συνέχεια ακολουθήθηκε η διαδικασία του validation σύμφωνα με την οποία ελέγχεται να μην έχει γίνει γενίκευση (overfitting) στο δίκτυο για τη συγκεκριμένη περίοδο τιμών της εκπαίδευσης. Γενίκευση στο δίκτυο υπάρχει στην περίπτωση που κατά τη διάρκεια της εκπαίδευσης ενώ το σφάλμα του training set (του συνόλου που έχει ορισθεί για εκπαίδευση) μειώνεται, τα σφάλματα του validation και testing set (του συνόλου που έχει ορισθεί για επικύρωση και έλεγχο αντίστοιχα) αυξάνεται. Ένα τέτοιο δίκτυο δεν μπορεί να δώσει αξιόπιστες προβλέψεις.

Στη συνέχεια έγινε ο έλεγχος με κάποια δεδομένα για να διαπιστωθεί αν τα αποτελέσματα που βγαίνουν είναι ικανοποιητικά. Το κριτήριο, όπως έχει γίνει ήδη η αναφορά του στο υποκεφάλαιο 3.8, με τα οποία έγινε η επιλογή των κατάλληλων δικτύων ήταν ο συντελεστής συσχέτισης (R). Τέλος έγινε η εφαρμογή του νευρωνικού δικτύου με τις προβλέψεις των απαιτούμενων στοιχείων από την προηγούμενη μελέτη (Ζομπανάκη 2012). Στη συνέχεια παρατίθενται τα αποτελέσματα με τους συντελεστές συσχέτισης και τα διαγράμματα των αποτελεσμάτων των τριών σταδίων της εκπαίδευσης για όλες τις λίμνες.

### 4.1.3 Αποτελέσματα Εκπαίδευσης

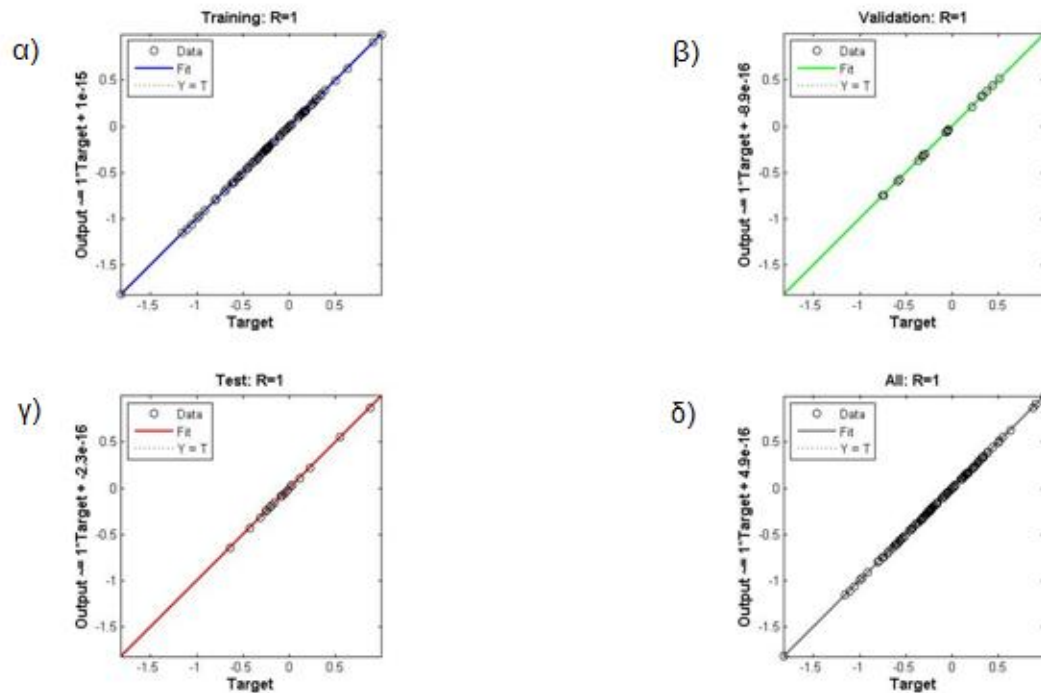
#### ➤ Σάλτον Σι - Η.Π.Α.

Το διάγραμμα 4.1 αφορά το πρώτο κομμάτι της διαδικασίας ολόκληρης, δηλαδή το κομμάτι της εκπαίδευσης και αποτελείται από δύο άξονες. Ο κατακόρυφος άξονας αφορά το σφάλμα και ο οριζόντιος αφορά τον αριθμό των επαναλήψεων που πραγματοποιούνται στο δίκτυο μέχρι να γίνει εκπαίδευσης. Τα τρία πρώτα είδη γραμμών που παρουσιάζονται αφορούν το στάδιο της εκπαίδευσης (μπλε γραμμή), το στάδιο της επικύρωσης (πράσινη γραμμή) και το στάδιο της επαλήθευσης (κόκκινη γραμμή) που πραγματοποιούνται αυτόματα μέσα στο νευρωνικό δίκτυο. Η διακεκομμένη γραμμή υποδηλώνει για ποια στιγμή το σύστημα είχε την καλύτερη απόδοση. Σύμφωνα με το διάγραμμα φαίνεται πώς σταδιακά με το πέρασμα των επαναλήψεων μειώνεται το σφάλμα και η διαδικασία της εκμάθησης σταματάει στην πέμπτη επανάληψη. Αυτό σημαίνει πως το νευρωνικό δίκτυο που έχει στηθεί έχει εντοπίσει την κατάλληλη εξίσωση που συνδέει τα δεδομένα που έχουν δώσει στο δίκτυο.



**Διάγραμμα 4.1:** Η επίδοση του νευρωνικού δικτύου σε σχέση με τις επαναλήψεις (πλήρη δεδομένα) ΑρΣάλτον Σι

Στο διάγραμμα 4.2 (όσον αφορά το κομμάτι του training) παρουσιάζεται ο συντελεστής συσχέτισης R ο οποίος όπως έχει αναφερθεί στο προηγούμενο κεφάλαιο δείχνει τι σχέση έχουν τα αποτελέσματα που βγάζει το δίκτυο σε σχέση με τα πραγματικά.



**Διάγραμμα 4.2:** Ο συντελεστής συσχέτισης R (πλήρη δεδομένα) Σάλτον Σι

Στο διάγραμμα 4.2 παρουσιάζονται τέσσερα διαφορετικά διαγράμματα. Το δίκτυο όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω κατά τη διαδικασία της εκπαίδευσης διαχωρίζει από μόνο του τα δεδομένα για training, validation και testing, ανεξάρτητα από το διαχωρισμό των δεδομένων που έχει αναφερθεί προηγουμένως από τον μελετητή. Στο 4.2α είναι το διάγραμμα που αφορά το κομμάτι του training, στο 4.2β του validation, 4.2γ του testing και τέλος στο 4.2δ βρίσκεται το συνολικό διάγραμμα και των τριών διαγραμμάτων. Τέλος στον πίνακα 4.1 παρουσιάζονται οι τιμές του συντελεστή προσδιορισμού (R) των άλλων διαδικασιών του συνόλου της διαδικασίας εκπαίδευσης (validation, testing).

Στάδιο	R
Training	1
Validation	1
Testing	1

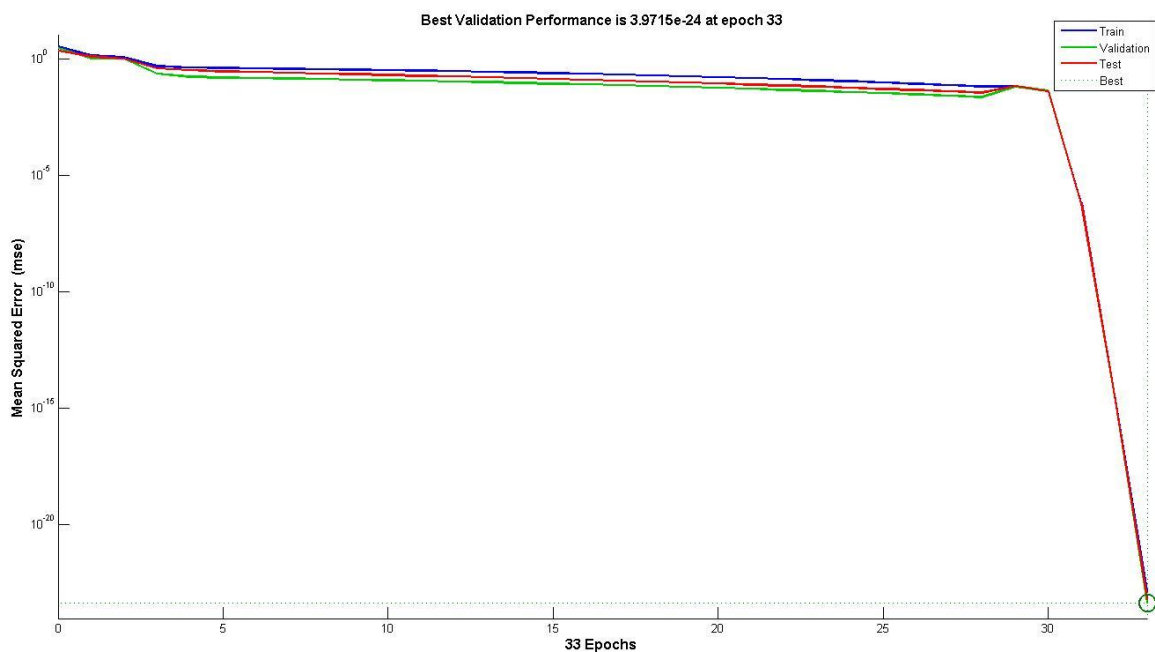
**Πίνακας 4.1:** Πίνακας τιμών του R (πλήρη δεδομένα) Σάλτον Σι

Σύμφωνα με τα παραπάνω χαρακτηριστικά το δίκτυο που έχει δημιουργηθεί φαίνεται να εντοπίζει ακριβώς τον τρόπο που συνδυάζονται τα δεδομένα ώστε να βγάλει το επιθυμητό αποτέλεσμα. Είναι λοιπόν έτοιμο προς χρήση ώστε να κάνει πρόβλεψη ανάλογα με τα στοιχεία που θα καθοριστούν ως είσοδοι.

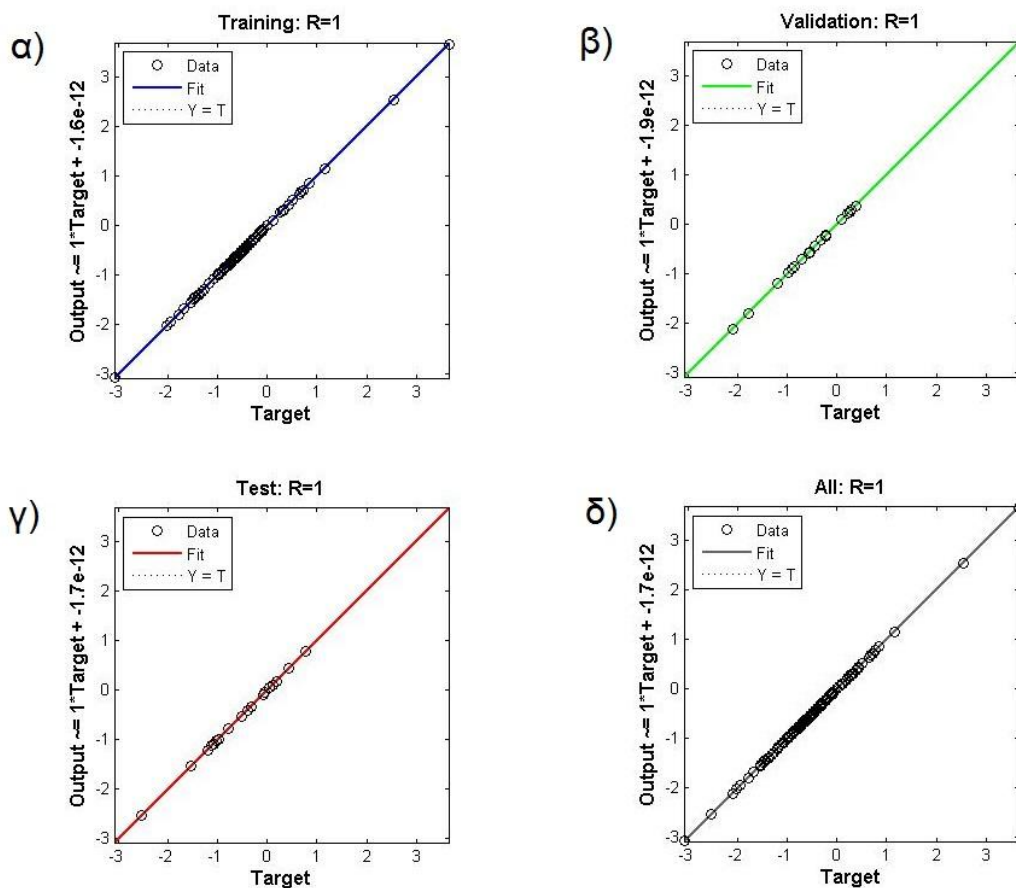
Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αντίστοιχα διαγράμματα και οι αντίστοιχοι πίνακες για τις υπόλοιπες λίμνες, για τις οποίες ισχύουν τα ίδια συμπεράσματα με τη λίμνη Σάλτον Σι.

### ➤ Γκαόγιου - Κίνα

**Διάγραμμα 4.3:** Η επίδοση του νευρωνικού δικτύου σε σχέση με τις επαναλήψεις (πλήρη δεδομένα) Γκαόγιου



Στο διάγραμμα 4.3 είναι εμφανές πως οι επαναλήψεις της διαδικασίας εκμάθησης σταμάτησαν στην 31<sup>η</sup> επανάληψη και αυτό συνέβη λόγω της μείωσης του σφάλματος όπως παρατηρήθηκε και στην λίμνη Σάλτον Σι.



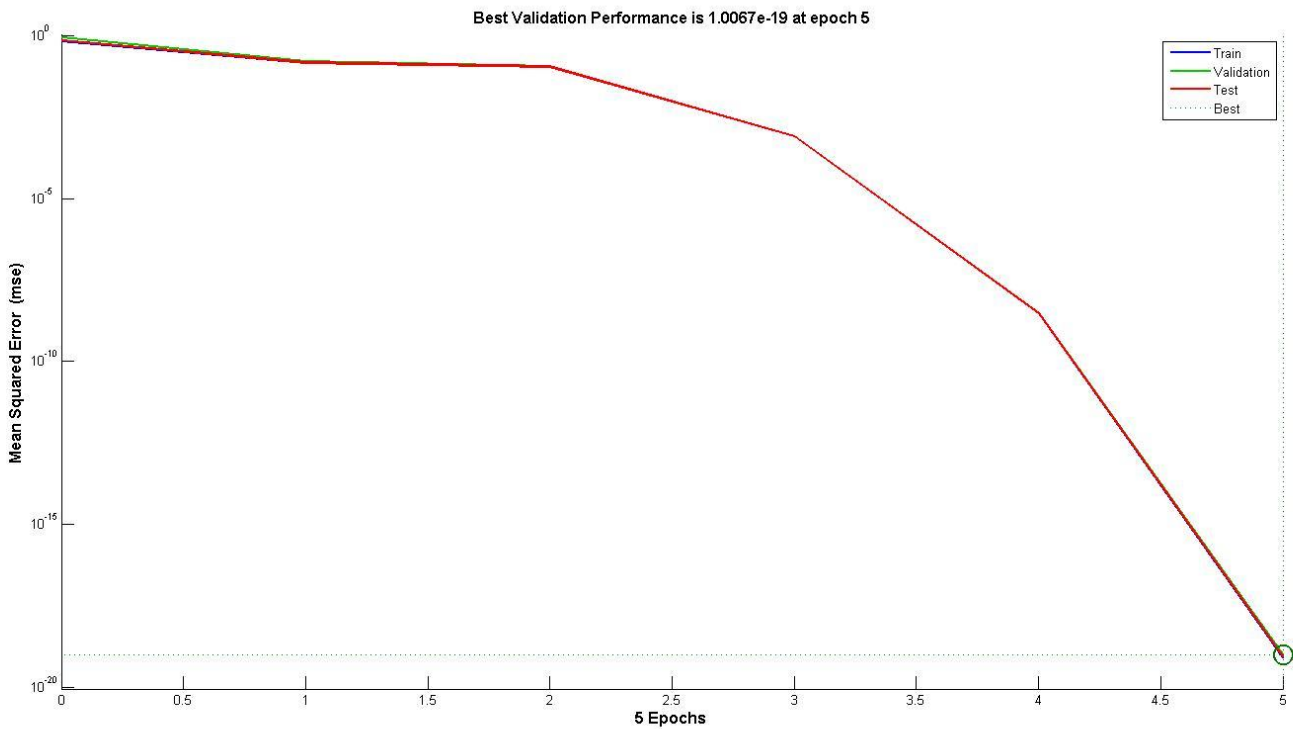
**Διάγραμμα 4.4:** Ο συντελεστής συσχέτισης R (πλήρη δεδομένα) Γκαόγιου

Στάδιο	R
Training	1
Validation	1
Testing	1

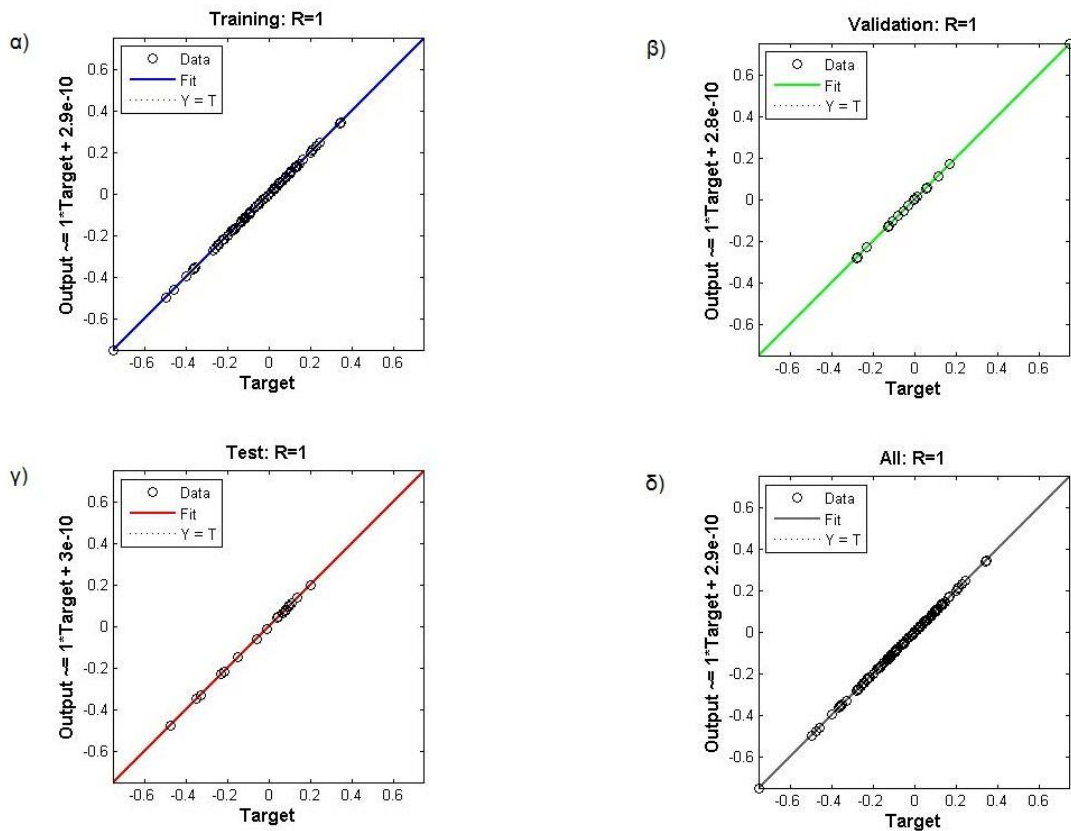
**Πίνακας 4.2:** Πίνακας τιμών του R (πλήρη δεδομένα) Γκαόγιου

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα του συντελεστή συσχέτισης 4.4 που παρήγαγε το νευρωνικό δίκτυο, καθώς και από τον πίνακα 4.2 που αφορά την επαλήθευσή τους, το νευρωνικό δίκτυο είναι έτοιμο για χρήση αφού τα αποτελέσματα που βγάζει έχουν απόλυτη συσχέτιση με τα πραγματικά.

➤ **Αϊσέλμερ - Ολλανδία**



**Διάγραμμα 4.5:** Η επίδοση του νευρωνικού δικτύου σε σχέση με τις επαναλήψεις (πλήρη δεδομένα) Αϊσέλμερ



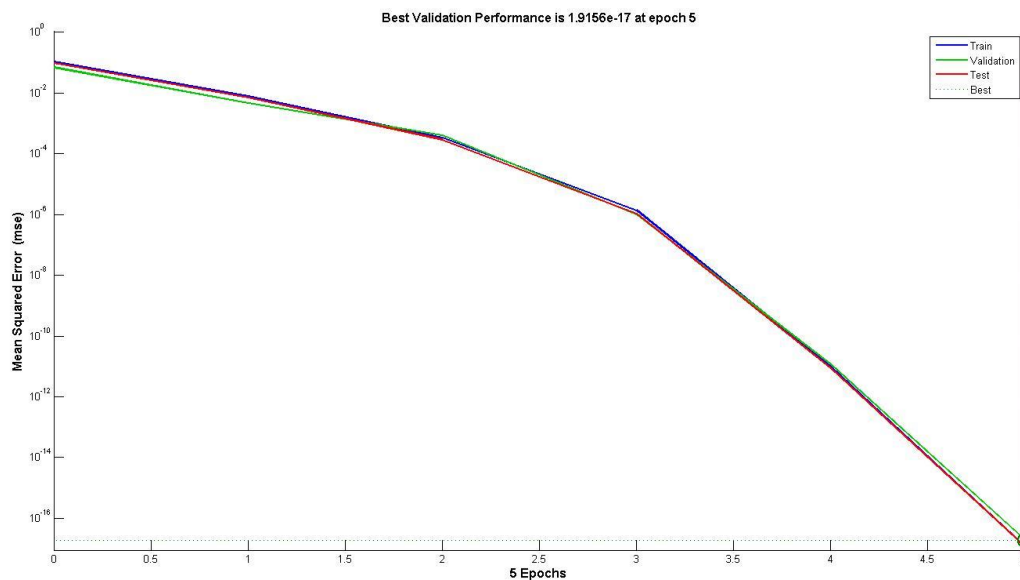
**Διάγραμμα 4.6:** Ο συντελεστής συσχέτισης R (πλήρη δεδομένα) Αϊσέλμερ

Στάδιο	R
Training	1
Validation	1
Testing	1

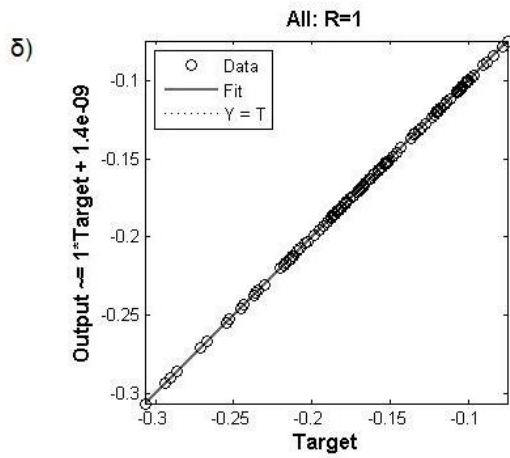
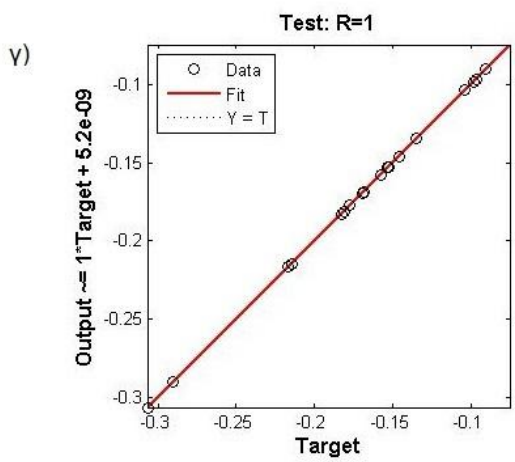
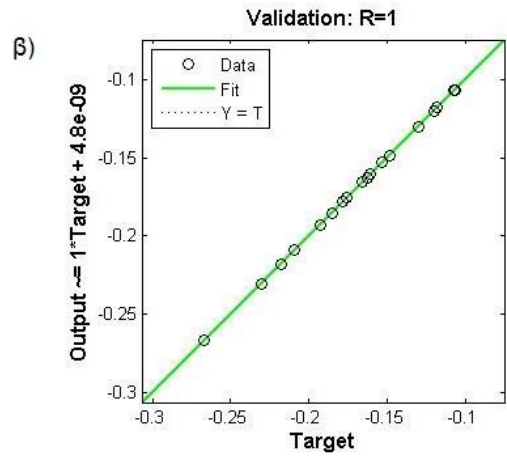
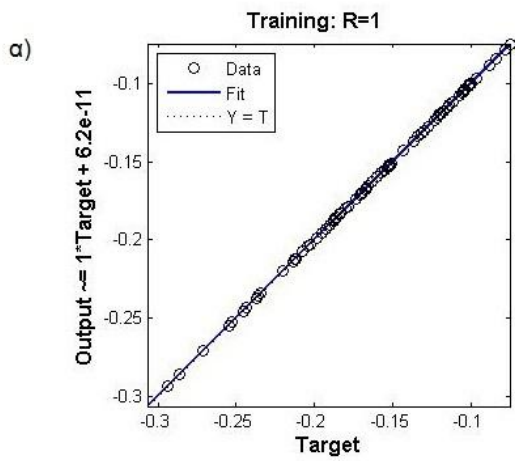
**Πίνακας 4.3:** Πίνακας τιμών του R (πλήρη δεδομένα) Αϊσέλμερ

### ➤ Σαν Ρόκε - Αργεντινή

Όπως και στις λίμνες Σάλτον Σι και Αϊσέλμερ οι επαναλήψεις κατά τη διαδικασία της εκπαίδευσης σταμάτησαν στην πέμπτη επανάληψη λόγω της μείωσης του σφάλματος



**Διάγραμμα 4.7:** Η επίδοση του νευρωνικού δικτύου σε σχέση με τις επαναλήψεις (πλήρη δεδομένα) Σαν Ρόκε σε σημείο που φτάνει το μηδέν. Στο διάγραμμα 4.8 και στον πίνακα 4.4, που ακολουθούν, διαπιστώνεται η αξιοπιστία της αρχιτεκτονικής του νευρωνικού δικτύου αφού υπάρχει απόλυτη συσχέτιση των αποτελεσμάτων που παράγονται από το νευρωνικό δίκτυο σε σχέση με τα ήδη υπάρχοντα αποτελέσματα.



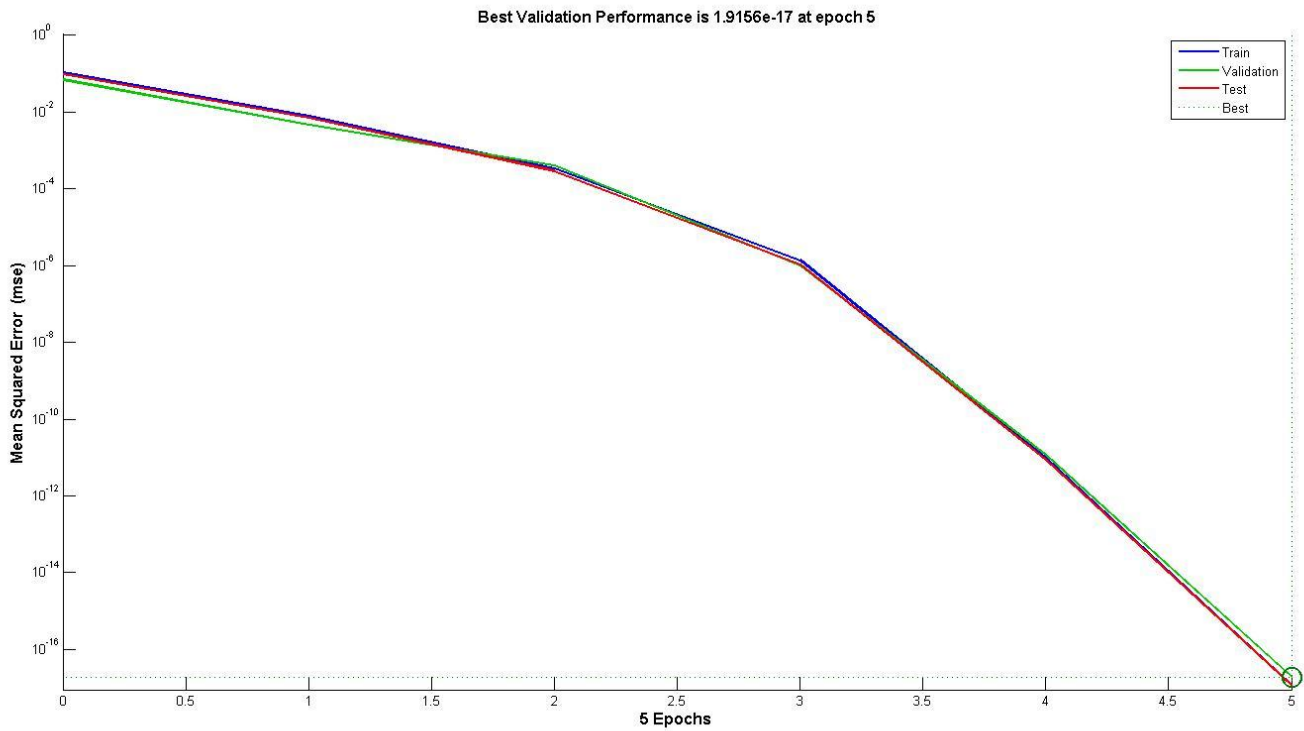
**Διάγραμμα 4.8:** Ο συντελεστής συσχέτισης R (πλήρη δεδομένα) Σαν Ρόκε

Στάδιο	R
Training	1
Validation	1
Testing	1

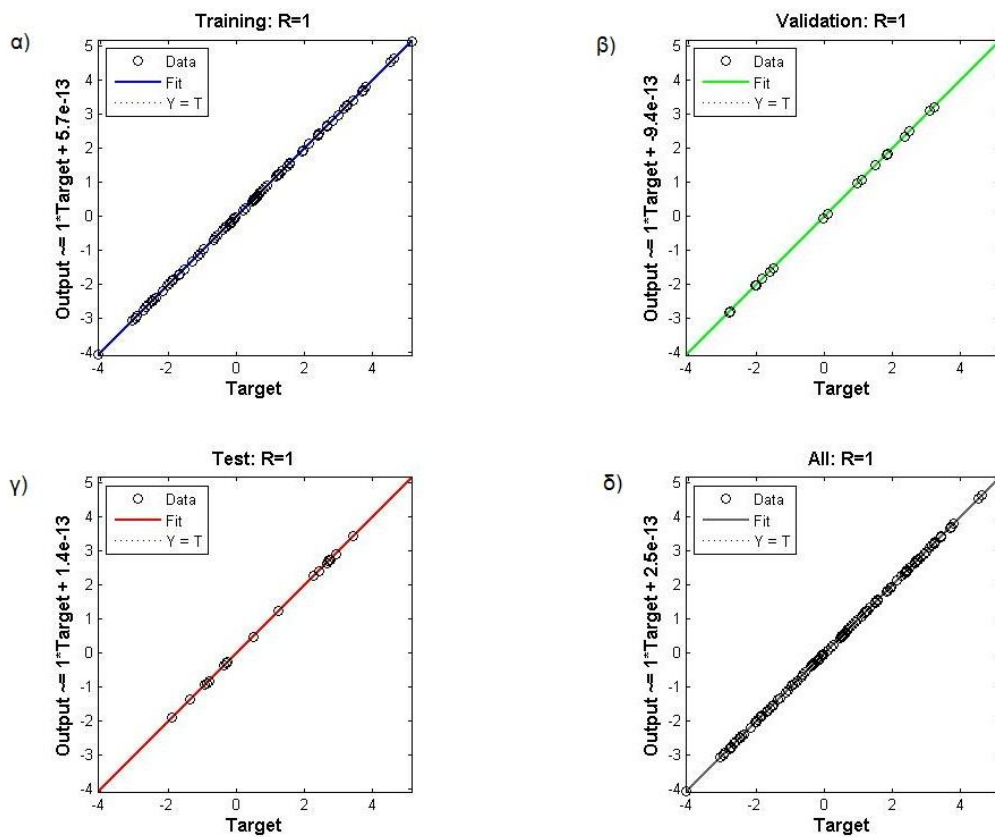
**Πίνακας 4.4:** Πίνακας τιμών του R (πλήρη δεδομένα) Σαν Ρόκε



➤ Βόλτα - Αφρική



Διάγραμμα 4.9: Η επίδοση του νευρωνικού δικτύου σε σχέση με τις επαναλήψεις (πλήρη δεδομένα) Βόλτα

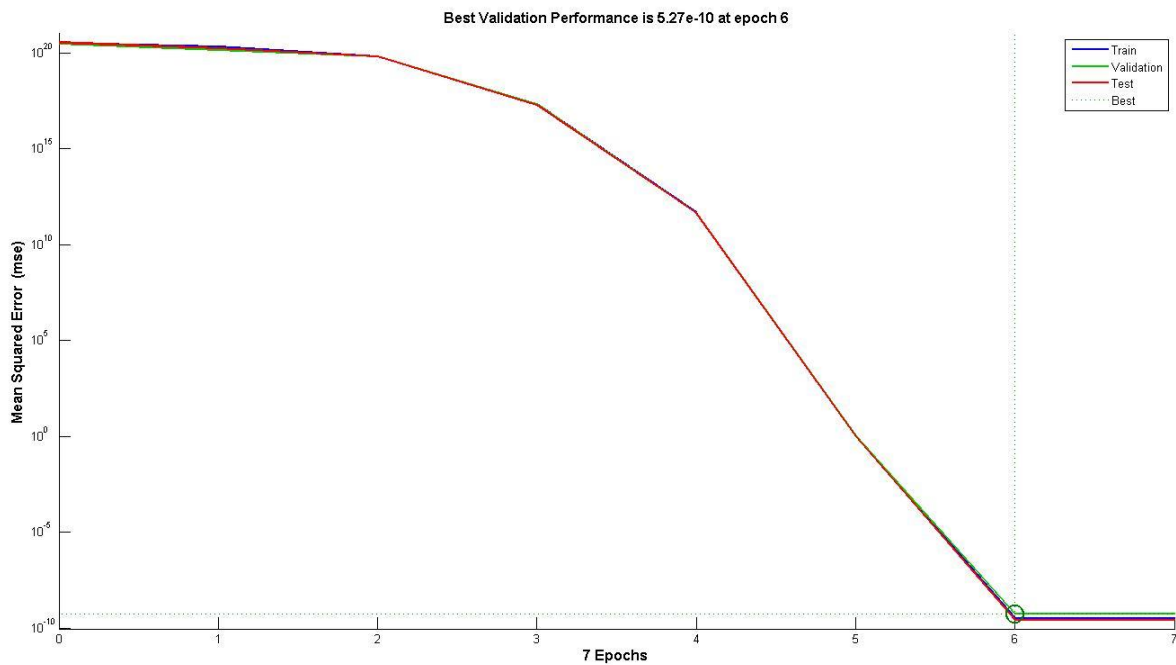


Διάγραμμα 4.10: Ο συντελεστής συσχέτισης R (πλήρη δεδομένα) Βόλτα

Στάδιο	R
Training	1
Validation	1
Testing	1

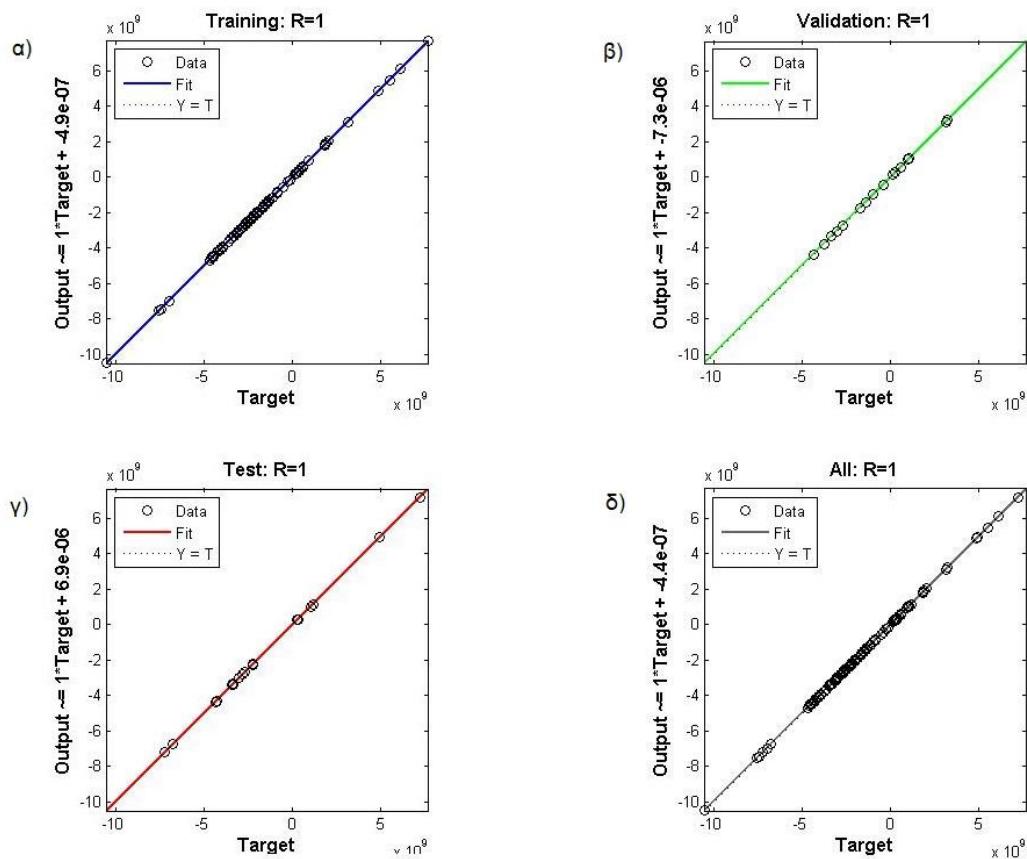
**Πίνακας 4.5:** Πίνακας τιμών του R (πλήρη δεδομένα) Βόλτα

### ➤ Αργκάλι - Αυστραλία



**Διάγραμμα 4.11:** Η επίδοση του νευρωνικού δικτύου σε σχέση με τις επαναλήψεις (πλήρη δεδομένα) Αργκάλι

Στην συγκεκριμένη λίμνη λόγω αδυναμίας εύρεσης της διαφοράς στάθμης, χρησιμοποιήθηκε η διαφορά όγκου. Ο αριθμός των επαναλήψεων που ολοκληρώθηκε πριν το πέρας της διαδικασίας εκπαίδευσης όπως φαίνεται και στο διάγραμμα 4.11 ήταν 7. Ο λόγος παύσης της διαδικασίας δεν διαφέρει από το λόγω που σταμάτησε και στις προηγούμενες λίμνες.



**Διάγραμμα 4.12:** Ο συντελεστής συσχέτισης R (πλήρη δεδομένα) Αργκάιλ

Στάδιο	R
Training	1
Validation	1
Testing	1

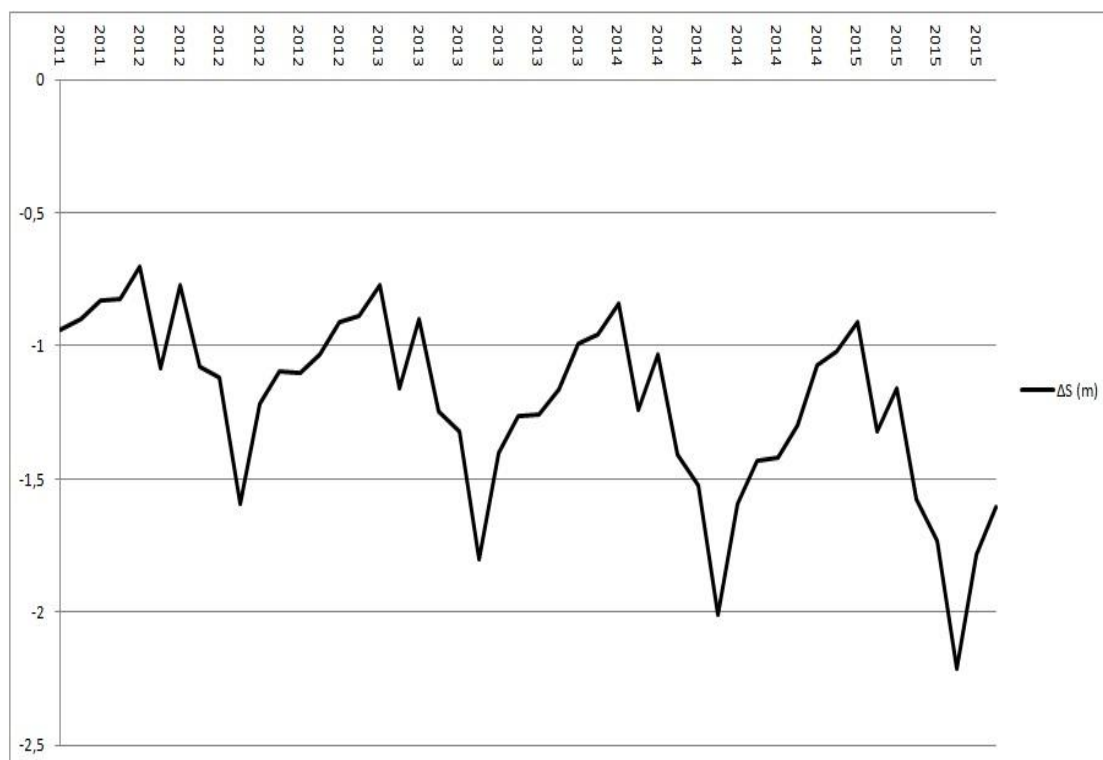
**Πίνακας 4.6:** Πίνακας τιμών του R (πλήρη δεδομένα) Αργκάιλ

Τα συμπεράσματα που διεξάγονται από το διάγραμμα 4.12 και τον πίνακα 4.3 είναι αντίστοιχα με αυτά που εξήχθησαν και με τις άλλες λίμνες. η συσχέτιση των παρατηρήσεων με τα αποτελέσματα του νευρωνικού δικτύου παρουσιάζουν απόλυτη συσχέτιση, γεγονός το οποίο καθιστά το δίκτυο κατάλληλο και αξιόπιστο για χρήση.

#### 4.1.4 Αποτελέσματα Πρόβλεψης

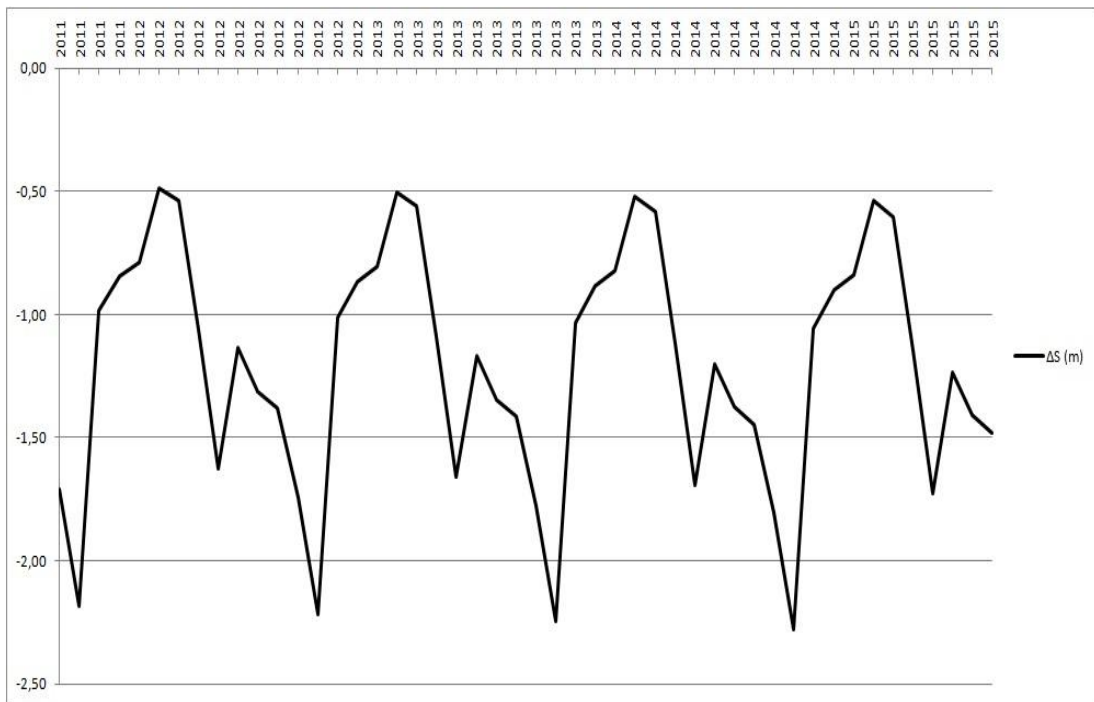
Τα αποτελέσματα που προκύπτουν ως προβλέψεις έχουν να κάνουν καθαρά με την ακρίβεια των προβλέψεων των χρονοσειρών που χρησιμοποιούνται για δεδομένα εισόδου στο δίκτυο που έχει επιλεχθεί ώστε να βγουν τα αποτελέσματα. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από το συγκεκριμένο νευρωνικό δίκτυο για κάθε λίμνη για τα υδρολογικά έτη 2011-2015 παρουσιάζονται στη συνέχεια.

➤ **Σάλτων Σι – Η.Π.Α.**



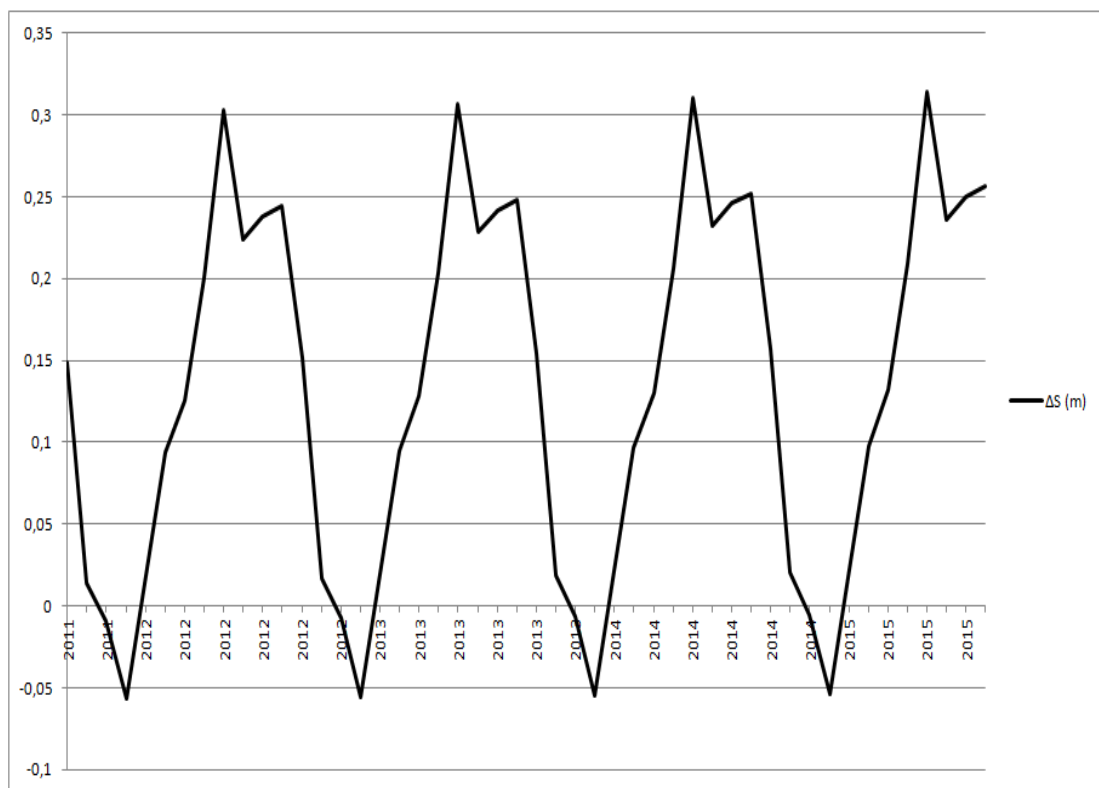
**Διάγραμμα 4.13:** Τιμές πρόβλεψης διαφοράς στάθμης  $\Delta S$  με πλήρη δεδομένα για τη λίμνη Σάλτων Σι

➤ **Γκαόγιου - Κίνα**



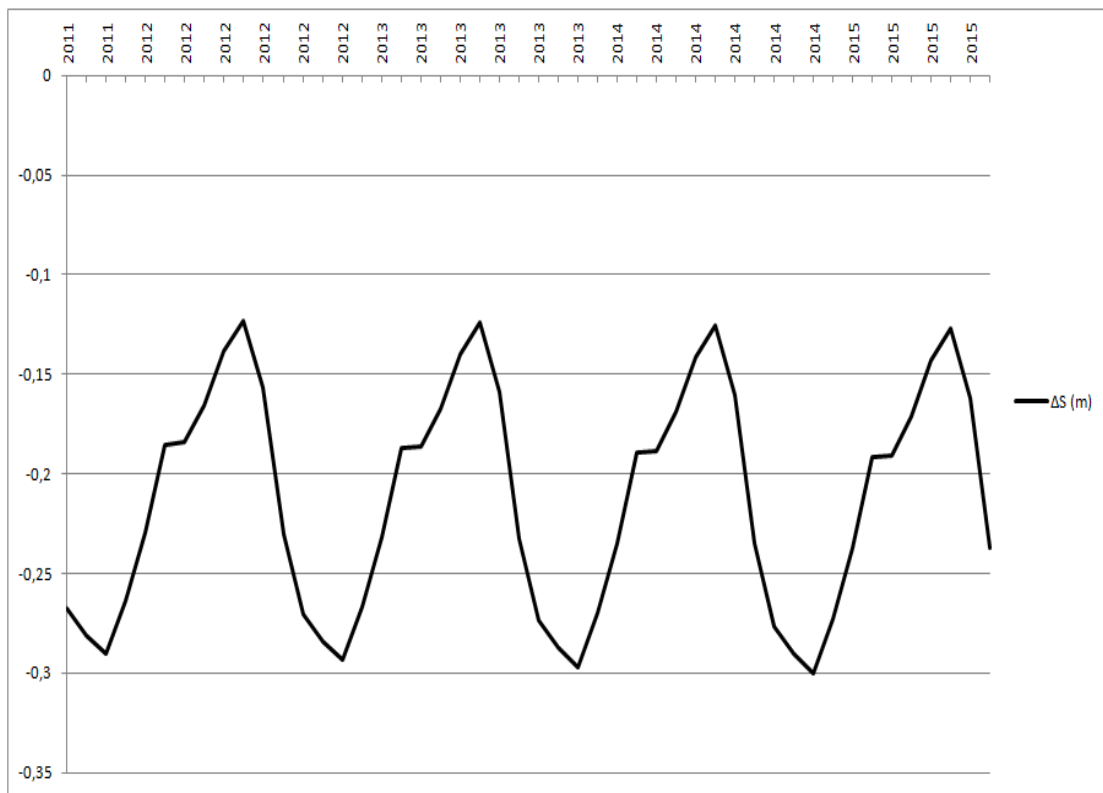
**Διάγραμμα 4.14:** Τιμές πρόβλεψης διαφοράς στάθμης ΔS με πλήρη δεδομένα για τη λίμνη Γκαόγιου

➤ **Αϊσέλμερ - Ολλανδία**



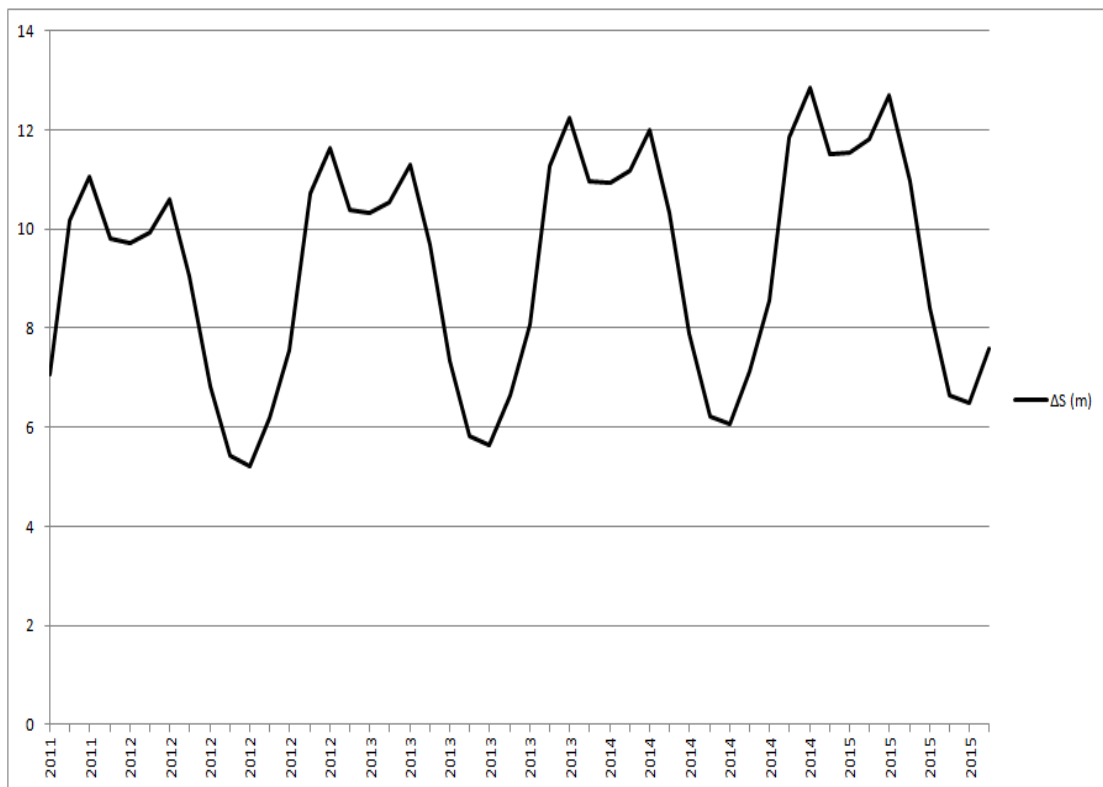
**Διάγραμμα 4.15:** Τιμές πρόβλεψης διαφοράς στάθμης ΔS με πλήρη δεδομένα για τη λίμνη Αϊσέλμερ

### ➤ Σαν Ρόκε – Αργεντινή



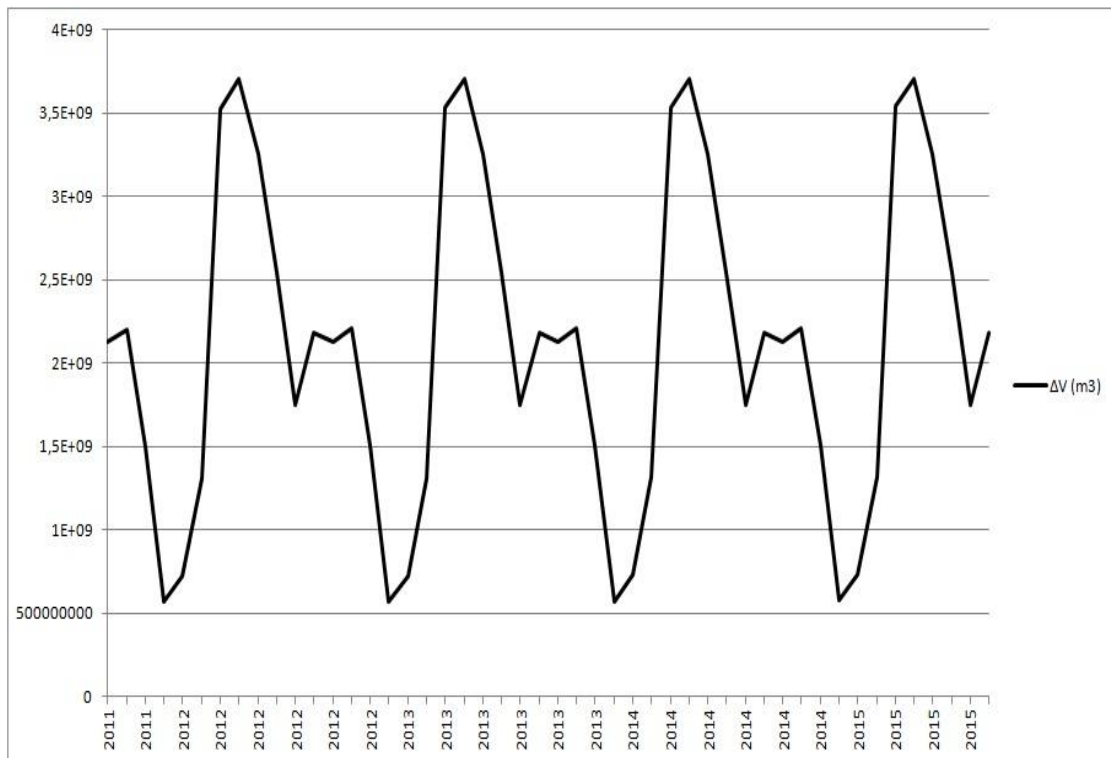
**Διάγραμμα 4.16:** Τιμές πρόβλεψης διαφορας στάθμης ΔS με πλήρη δεδομένα για τη λίμνη Σαν Ροκέ

### ➤ Βόλτα - Αφρική



**Διάγραμμα 4.17:** Τιμές πρόβλεψης διαφορας στάθμης ΔS με πλήρη δεδομένα για τη λίμνη Βόλτα

➤ **Αργκάιλ - Αυστραλία**



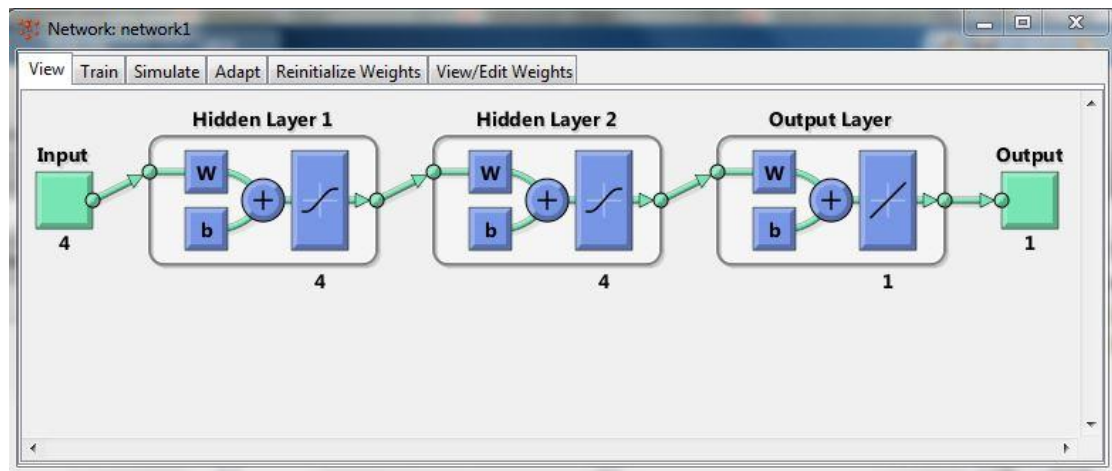
**Διάγραμμα 4.18:** Τιμές πρόβλεψης διαφοράς όγκου ΔV με πλήρη δεδομένα για τη λίμνη Αργκάιλ

## 4.2 Πρόβλεψη με Ελλιπή Δεδομένα

Σε αυτήν τη περίπτωση έγινε πείραμα σχετικά με την περίπτωση που δεν υπήρχαν όλα τα δεδομένα. Είναι γεγονός πως υπάρχει μεγάλη δυσκολία όσον αφορά την εύρεση των δεδομένων που αφορούν κατά κύριο λόγο φυσικά φαινόμενα γιατί μπορεί ανά περιόδους να μην έχουν γίνει καταγραφές για τα στοιχεία που κάποιος επιθυμεί να βρει. Έτσι επιλέχθηκαν τυχαίες θέσεις από τις χρονοσειρές δεδομένων και στη θέση τους τέθηκε ο αριθμός μηδέν ως ένδειξη απουσίας του στοιχείου για τη συγκεκριμένη περίοδο.

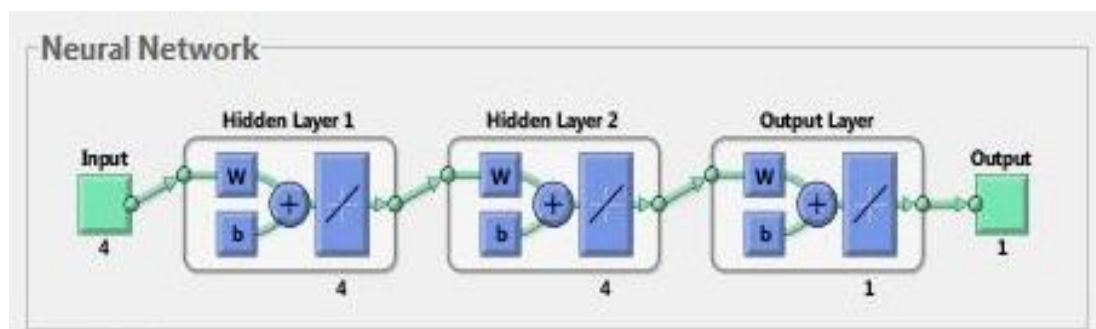
### 4.2.1 Αρχιτεκτονική Δικτύου

Σε αυτήν την περίπτωση το νευρωνικό δίκτυο που χρησιμοποιήθηκε για όλες τις λίμνες εκτός από την Αργκάιλ είχε δύο κρυφά στρώματα (hidden layers) με 4 νευρώνες το κάθε ένα και συνάρτηση ενεργοποίησης που χρησιμοποιήθηκε στα κρυφά στρώματα ήταν η σιγμοειδής όπως φαίνεται και στην εικόνα 4.2. Στην περίπτωση της λίμνης Αργκάιλ καλύτερα αποτελέσματα έδινε το νευρωνικό δίκτυο της εικόνας 4.3 όπου κι αυτό διαθέτει δύο κρυφά στρώματα με τέσσερις νευρώνες το κάθε ένα όμως σε αυτήν την περίπτωση η συνάρτηση ενεργοποίησης ήταν η γραμμική.



Εικόνα 4.2: Αρχιτεκτονική νευρωνικού δικτύου με ελλιπή δεδομένα 1

### 4.2.2 Εκπαίδευση Δικτύου



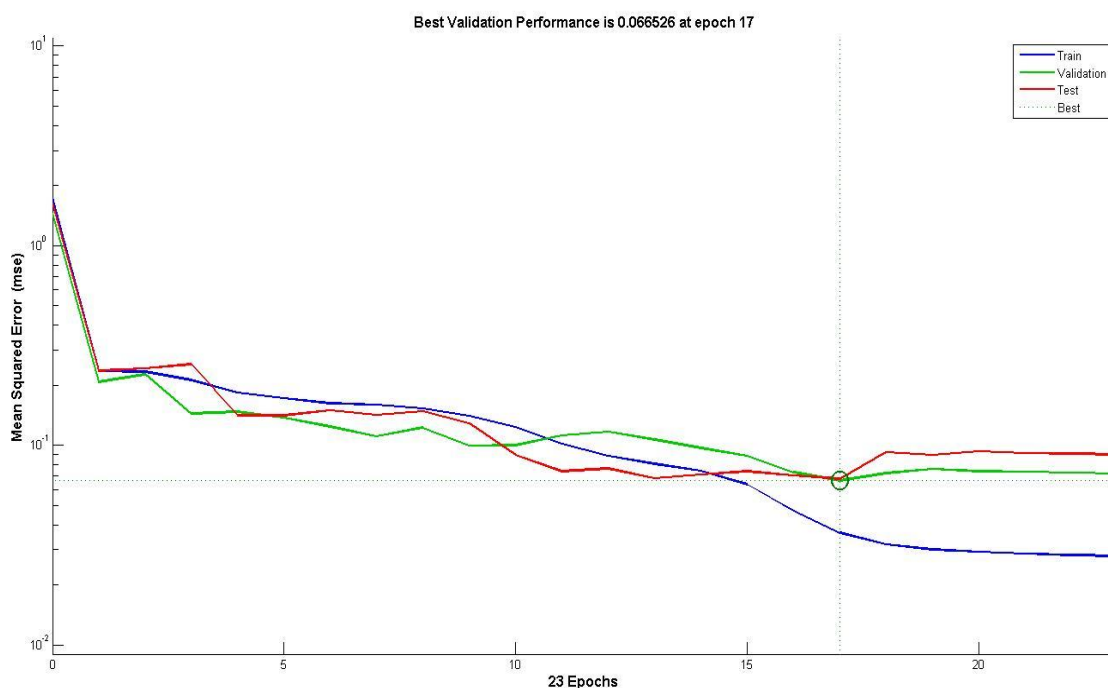
Εικόνα 4.3: Αρχιτεκτονική νευρωνικού δικτύου με ελλιπή δεδομένα 2



Όπως και στην προηγούμενη περίπτωση η διαδικασία εκπαίδευσης περιλάμβανε τρία στάδια καθώς και με τον ίδιο διαχωρισμό των δεδομένων. Όσον αφορά τα στάδια του validation και του testing που έγιναν μετά την εκπαίδευση του συστήματος για επαλήθευση δεν χρησιμοποιήθηκαν ελλιπή δεδομένα ώστε να συγκριθούν τα αποτελέσματα που βγάξει το νευρωνικό δίκτυο με τις κανονικές τιμές.

### 4.2.3 Αποτελέσματα Εκπαίδευσης

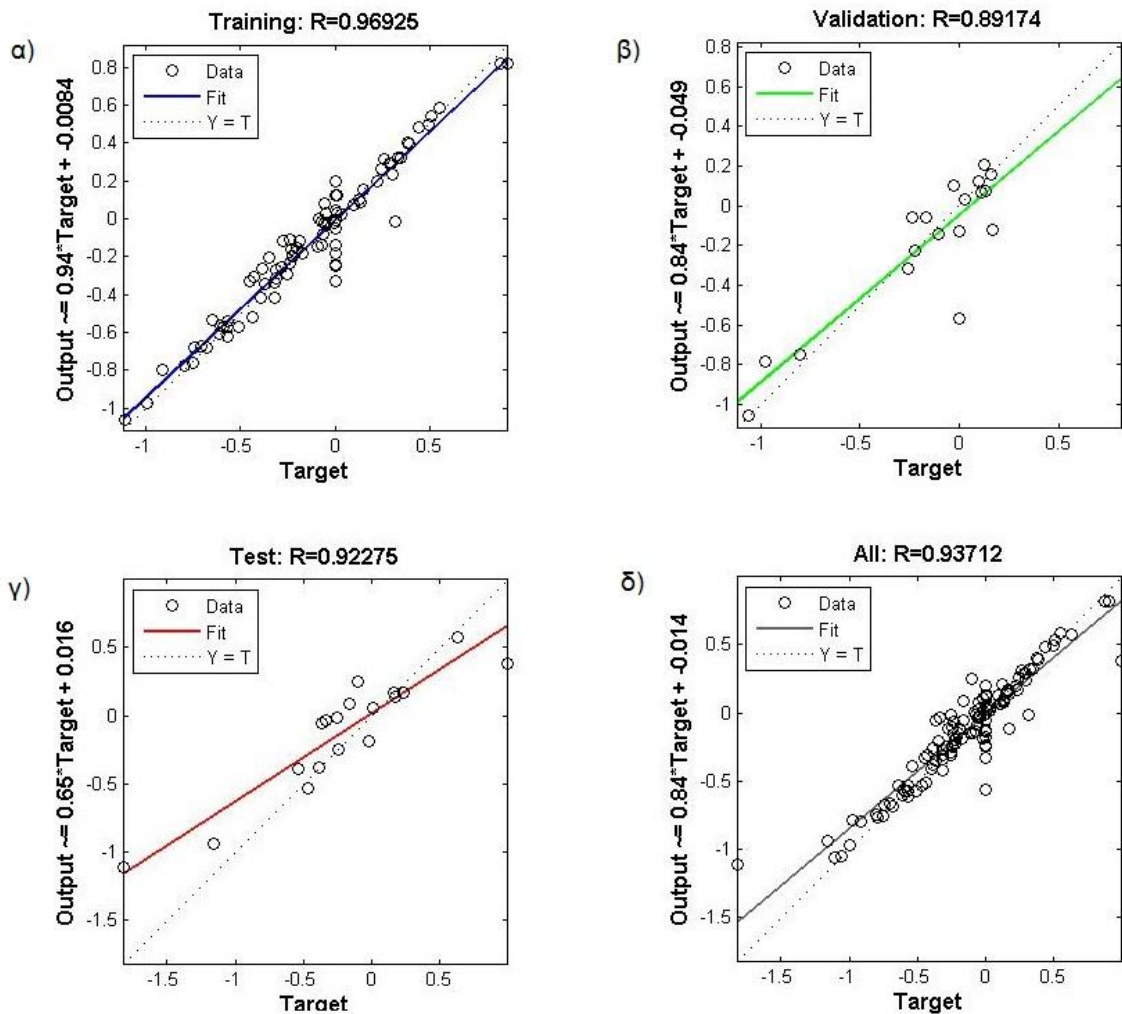
#### ➤ Σάλτον Σι – Η.Π.Α.



**Διάγραμμα 4.19:** Η επίδοση του νευρωνικού δικτύου σε σχέση με τις επαναλήψεις λίμνη Σάλτον Σι

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα 4.19 η διαδικασία εκπαίδευσης σταμάτησε στην 23<sup>η</sup> επανάληψη. Αυτό συνέβη λόγω της αποτυχίας της διαδικασίας της επικύρωσης για έξι συνεχόμενες επαναλήψεις. Αυτό σημαίνει πως το ΤΝΔ από εκεί κι έπειτα δεν μπορούσε να εξάγει αποτέλεσμα με μικρότερο σφάλμα.

Στο διάγραμμα 4.20 παρουσιάζονται τα γραφήματα των συντελεστών των 3 αυτόματων διαδικασιών του νευρωνικού δικτύου και στη συνέχεια στον πίνακα 4.7 παρατίθενται οι τιμές των συντελεστών για τον περαιτέρω έλεγχο.



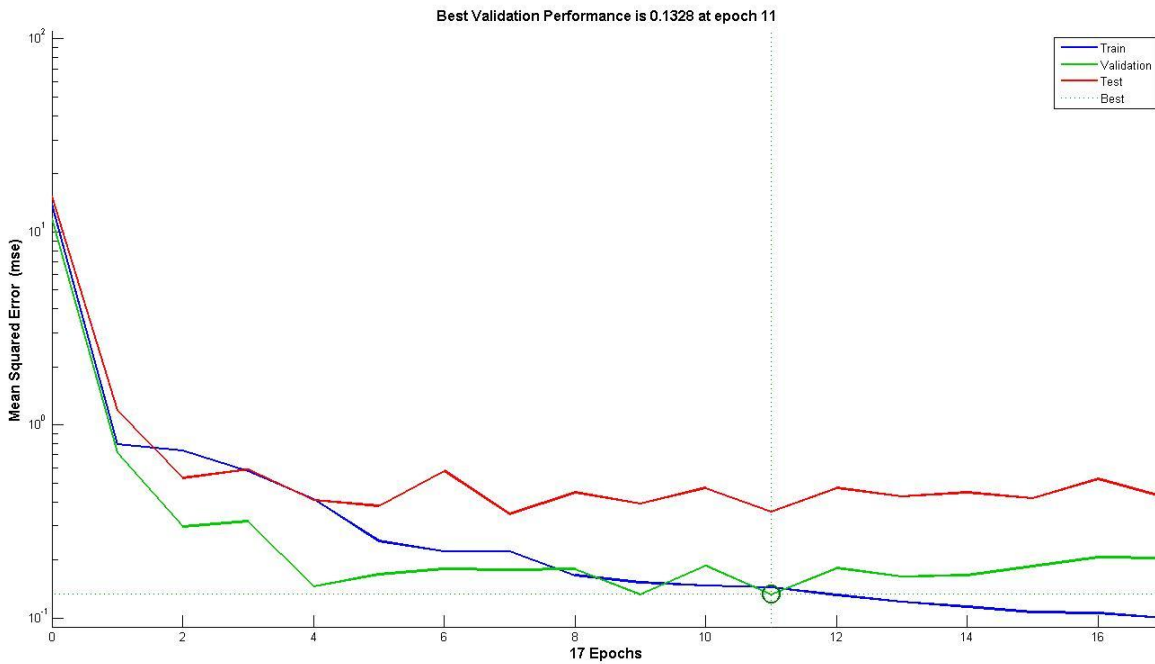
**Διάγραμμα 4.20:** Ο συντελεστής συσχέτισης R (ελλιπή δεδομένα) Σάλτον Σι

Στάδιο	R
Training	0,9463
Validation	0,8518
Testing	0,9265

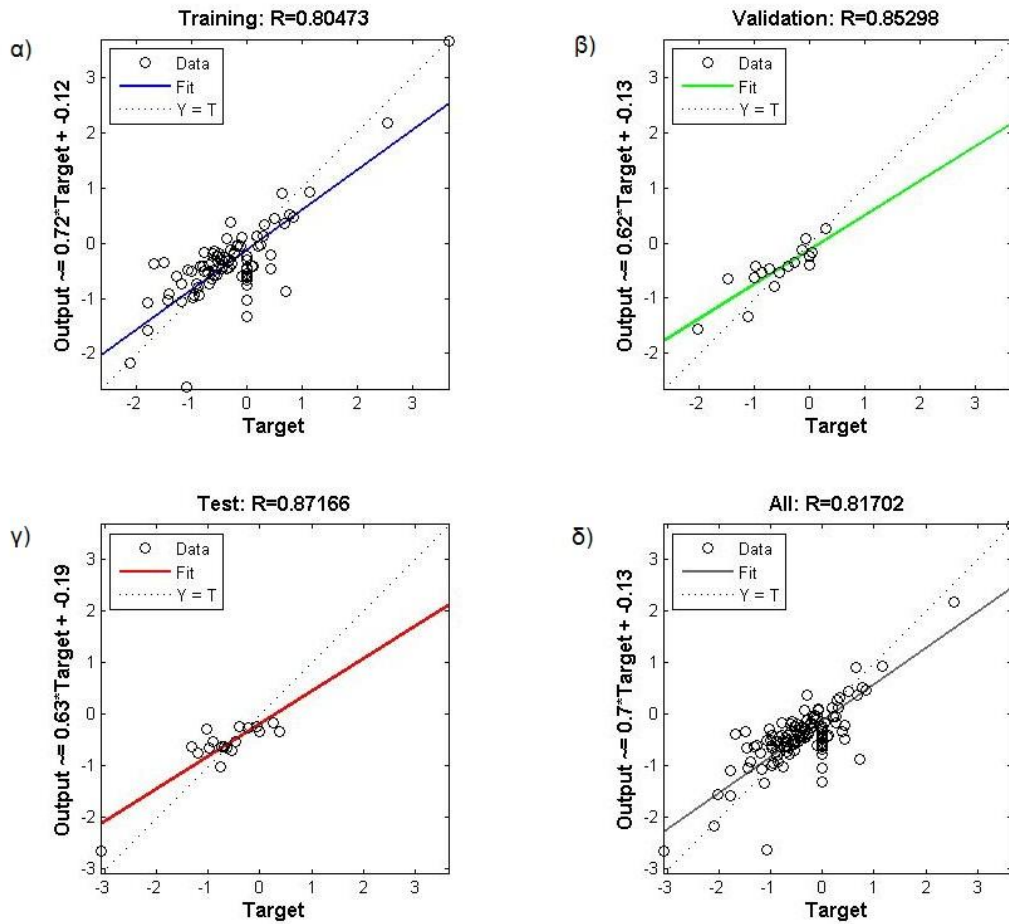
**Πίνακας 4.7:** Ο συντελεστής συσχέτισης R (ελλιπή δεδομένα) Σάλτον Σι

Σύμφωνα με τα παραπάνω χαρακτηριστικά το δίκτυο που έχει δημιουργηθεί κρίνεται αξιόπιστο αφού οι συντελεστές συσχέτισης καθώς φαίνεται από τα διαγράμματα 4.20 και τον πίνακα 4.7 είναι μέσα στα όρια του αποδεκτού ( $[0.75, 1]$ ) και μάλιστα αρκετά κοντά στη μονάδα το οποίο δείχνει την πολύ καλή συσχέτιση αποτελεσμάτων με πραγματικές τιμές. Το συγκεκριμένο δίκτυο κρίνεται έτοιμο για χρήση ώστε να κάνει πρόβλεψη ανάλογα με τα στοιχεία που θα καθοριστούν ως εισοδοί.

➤ Γκαόγιου - Κίνα



**Διάγραμμα 4.21:** Η επίδοση του νευρωνικού δικτύου σε σχέση με τις επαναλήψεις λίμνη Γκαόγιου



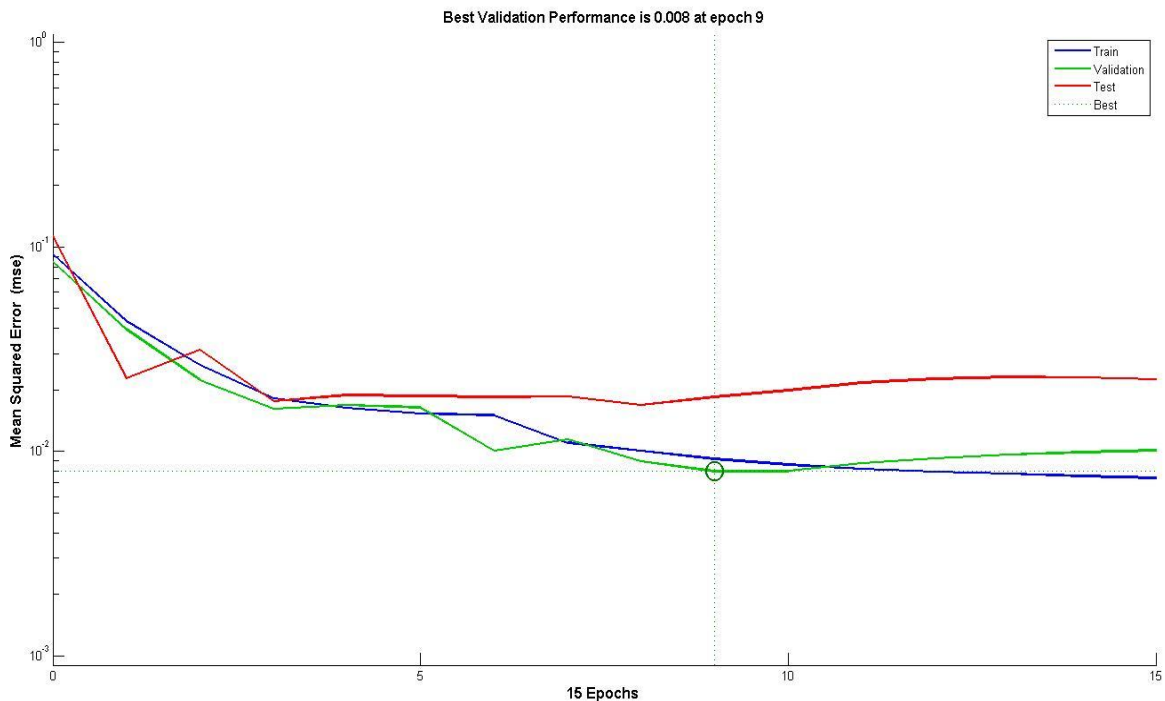
**Διάγραμμα 4.22:** Ο συντελεστής συσχέτισης R (ελλιπή δεδομένα) Γκαόγιου

Στάδιο	R
Training	0,8926
Validation	0,9274
Testing	0,9127

**Πίνακας 4.8:** Ο συντελεστής συσχέτισης R (ελλιπή δεδομένα) Γκαόγιου

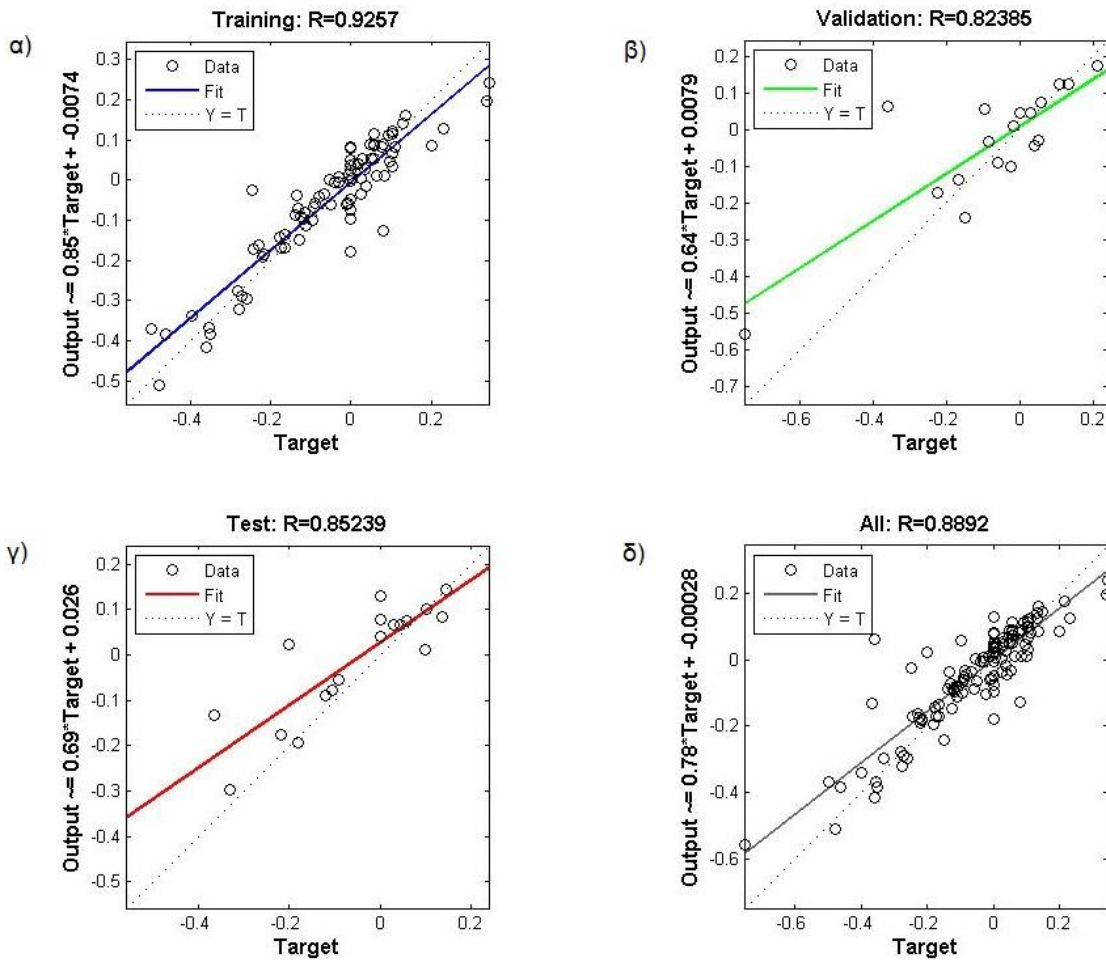
Τα συμπεράσματα που διεξάγονται από τα αποτελέσματα της εκπαίδευσης όσον αφορά την λίμνη Γκαόγιου είναι πως το δίκτυο είναι αρκετά ικανοποιητικό και μπορεί να γίνει η χρήση του ώστε να παράχθει ένα αξιόπιστο αποτέλεσμα.

### ➤ Αϊσέλμερ - Ολλανδία



**Διάγραμμα 4.23:** Η επίδοση του νευρωνικού δικτύου σε σχέση με τις επαναλήψεις λίμνη Αϊσέλμερ

Στη λίμνη Αϊσέλμερ από το διάγραμμα της επίδοσης της εκπαίδευσης του τεχνητού νευρωνικού δικτύου που στήθηκε διαπιστώνεται πως η εκπαιδευτική διαδικασία σταμάτησε στην 15<sup>η</sup> επανάληψη λόγω της αποτυχίας της επικύρωσης για 6 συνεχόμενες επαναλήψεις όπως αυτό είχε συμβεί και στις περιπτώσεις των λιμνών Σάλτον Σι και Γκαόγιου.



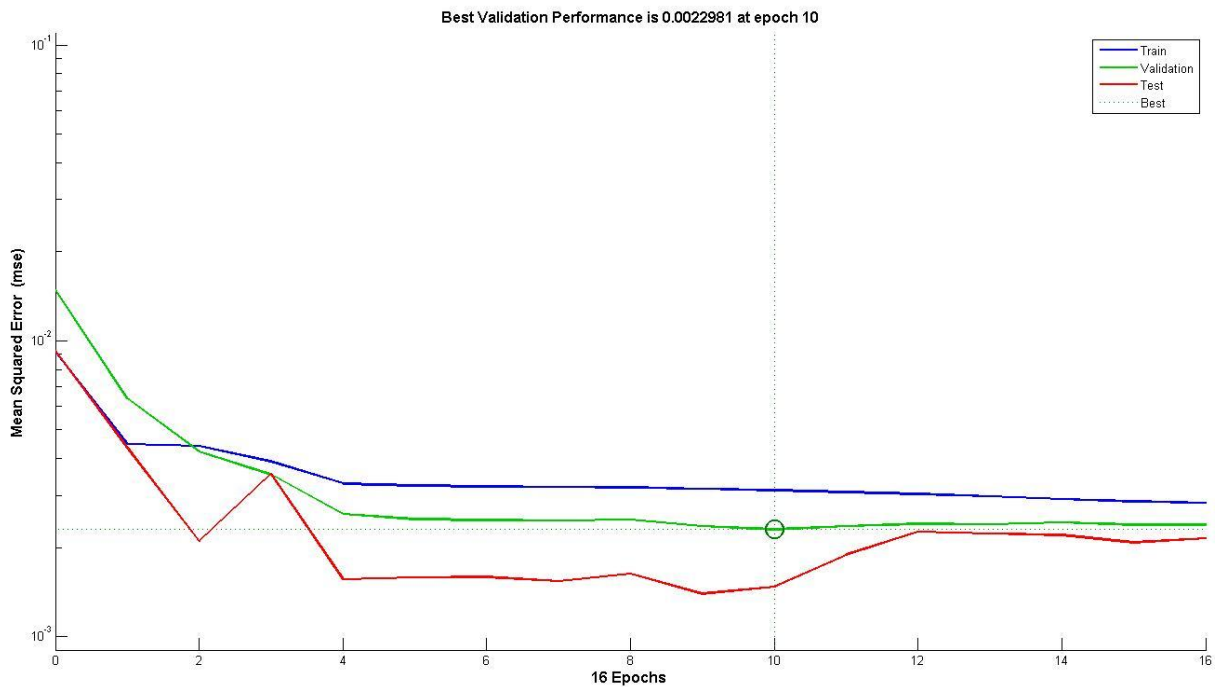
**Διάγραμμα 4.24:** Ο συντελεστής συσχέτισης R (ελλιπή δεδομένα) Αϊσέλμερ

Στάδιο	R
Training	0,9266
Validation	0,9423
Testing	0,8770

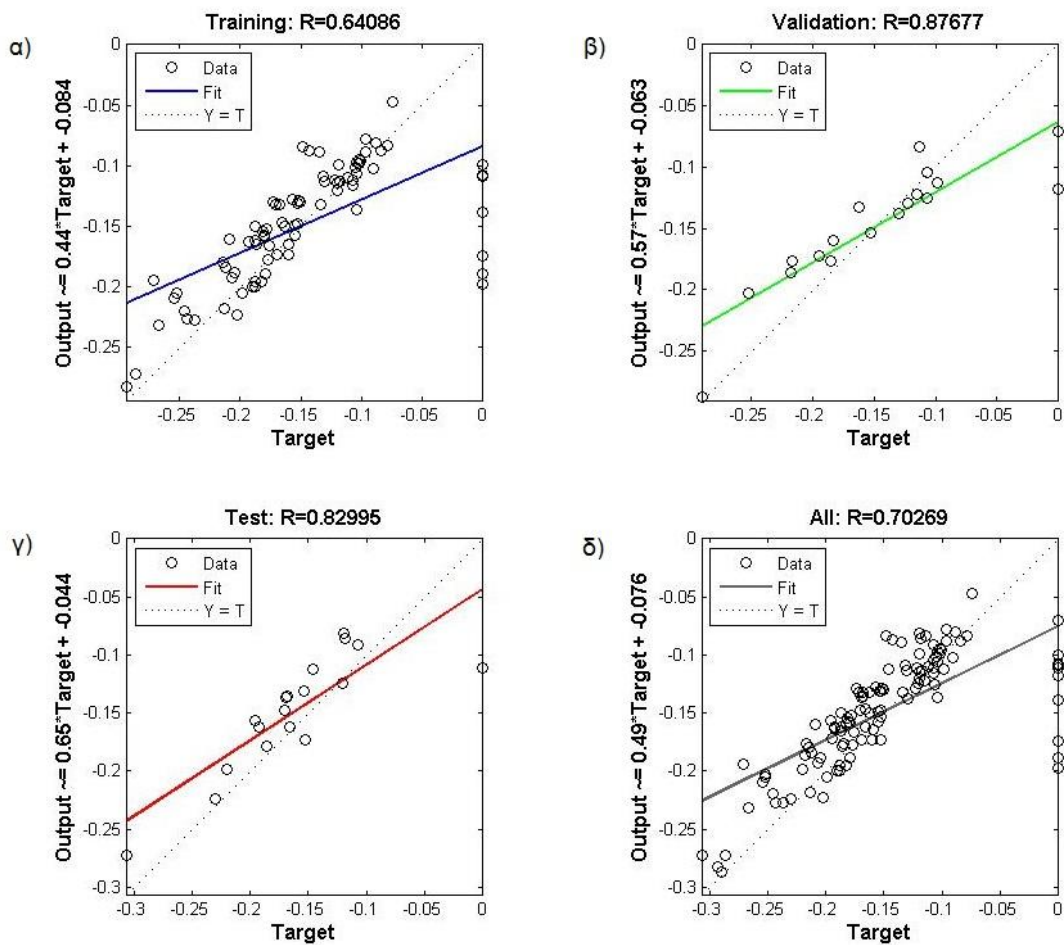
**Πίνακας 4.9:** Ο συντελεστής συσχέτισης R (ελλιπή δεδομένα) Αϊσέλμερ

Οι διαφορές που εντοπίζονται στις τιμές του συντελεστή συσχέτισης (R) του διαγράμματος 4.24 με τον πίνακα 4.9 είναι λόγω της διαφοράς που είχαν τα δεδομένα εξόδου που δόθηκαν στο νευρωνικό δίκτυο. Στο τεχνητό νευρωνικό δίκτυο δόθηκαν ως δεδομένα εξόδου, όπως αναφέρθηκε και στην αρχή, ελλιπή δεδομένα που στις υποτιθέμενες θέσεις απουσίας τέθηκε η τιμή μηδέν. Στον πίνακα 4.6 όπου παρουσιάζονται οι συντελεστές συσχέτισης της επαλήθευσης έγινε σε σχέση με τις πραγματικές τιμές.

➤ Σαν Ρόκε - Αργεντινή



**Διάγραμμα 4.25:** Η επίδοση του νευρωνικού δικτύου σε σχέση με τις επαναλήψεις λίμνη Σαν Ρόκε



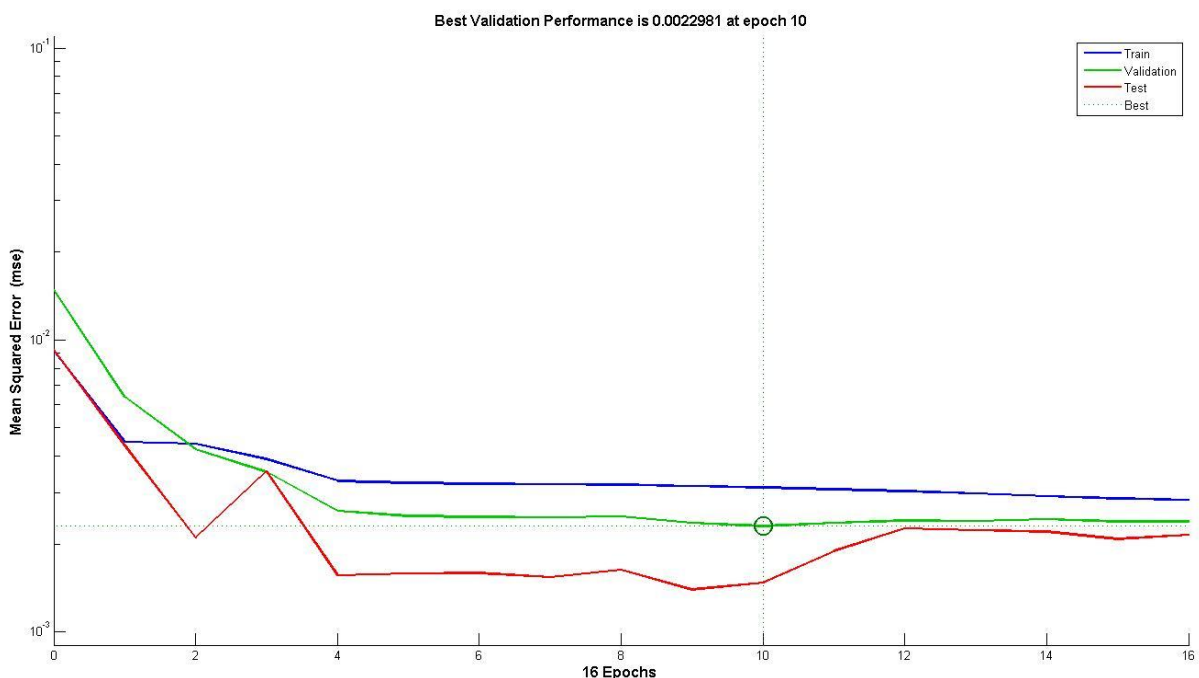
**Διάγραμμα 4.26:** Ο συντελεστής συσχέτισης R (ελλιπή δεδομένα) Σαν Ρόκε

Στάδιο	R
Training	0,9209
Validation	0,9702
Testing	0,9718

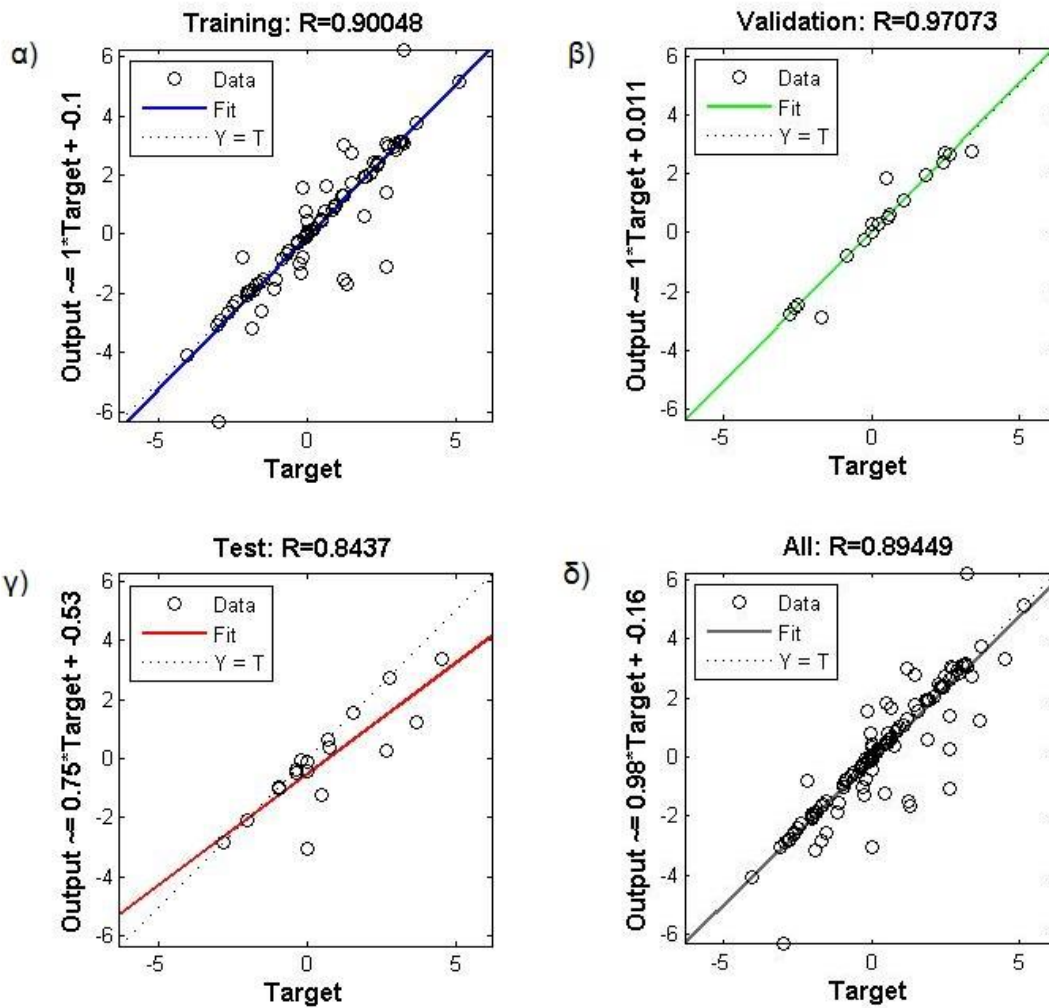
**Πίνακας 4.10:** Ο συντελεστής συσχέτισης R (ελλιπή δεδομένα) Σαν Ρόκε

Στις τιμές του συντελεστή συσχέτισης στο διάγραμμα 4.26 και σε αυτές του πίνακα 4.10 εντοπίζονται κάποιες διαφορές. Αυτό οφείλεται, όπως έχει αναφερθεί προηγουμένως, στις διαφορετικές τιμές με τις οποίες συγκρίνεται το αποτέλεσμα που παράγεται από το νευρωνικό δίκτυο. Στην περίπτωση του διαγράμματος 4.26 γίνεται σύγκριση των εξαγόμενων αποτελεσμάτων με τα ελλιπή δεδομένα που δίνονται στο σύστημα ως πραγματικές τιμές. Από την άλλη στην περίπτωση του πίνακα 4.7 γίνεται η σύγκριση με τις πραγματικές τιμές. Ο λόγος που υπάρχει απόκλιση στις τιμές του συντελεστή συσχέτισης στη διαδικασία εκπαίδευσης είναι πως το δίκτυο εντοπίζει το συνδυασμό των δεδομένων όμως δυσκολεύεται στις τιμές που έχει τεθεί ο όρος μηδέν ως έλλειψη του συγκεκριμένου δεδομένου. Αυτό φαίνεται κυρίως από τα διαγράμματα 4.26α και 4.26δ όπου ενώ η πλειοψηφία των σημείων βρίσκεται γύρω από τη βέλτιστη τιμή της ευθείας συσχέτισης ( $45^\circ$ ) κάποιες τιμές βρίσκονται στη δεξιά πλευρά των διαγραμμάτων (τιμή μηδέν για τον οριζόντιο άξονα) που σημαίνει πως το επιθυμητό αποτέλεσμα που έχει ορισθεί είναι μηδέν. Επομένως ο συντελεστής συσχέτισης έχει υπολογισθεί με βάση τα ελλιπή δεδομένα. Όμως σύμφωνα με την επαλήθευση που έγινε στη συνέχεια με τα πραγματικά και πλήρη δεδομένα διαπιστώνεται πως το νευρωνικό δίκτυο που έχει στηθεί είναι αξιόπιστο αφού οι συντελεστές συσχέτισης, όπως φαίνεται στον πίνακα 4.7, είναι κοντά στη μονάδα.

### ➤ Βόλτα - Αφρική



**Διάγραμμα 4.27:** Η επίδοση του νευρωνικού δικτύου σε σχέση με τις επαναλήψεις λίμνη Βόλτα



**Διάγραμμα 4.28:** Ο συντελεστής συσχέτισης R (ελλιπή δεδομένα) Βόλτα

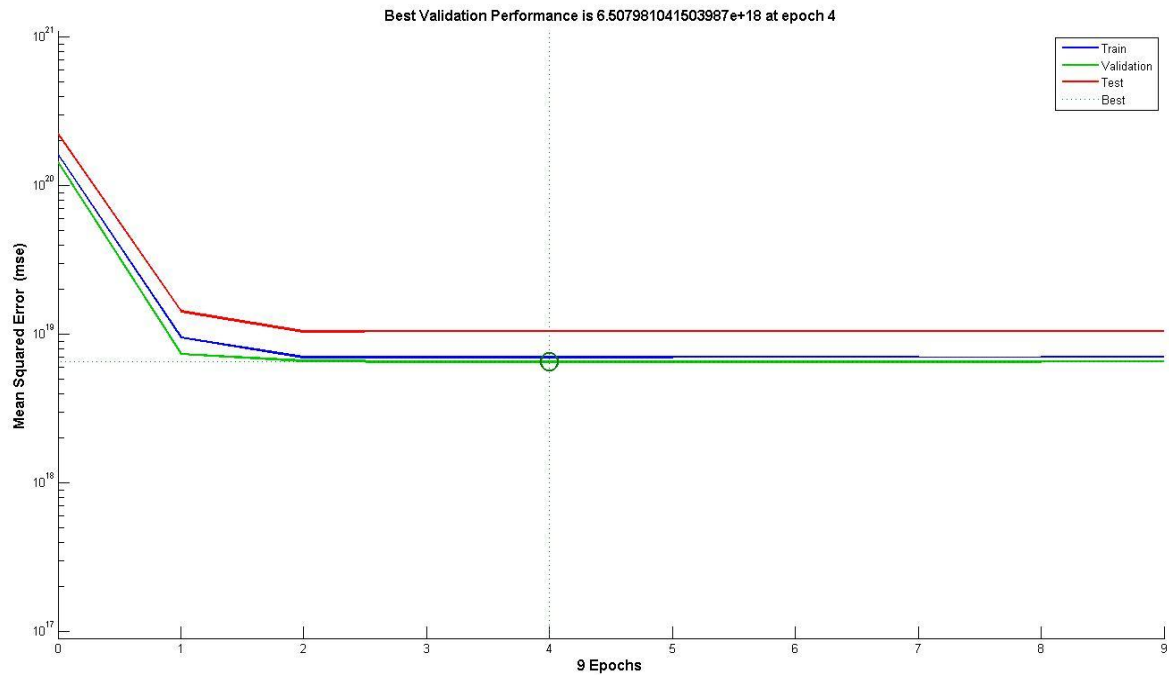
Στάδιο	R
Training	0,9020
Validation	0,9282
Testing	0,9726

**Πίνακας 4.11:** Ο συντελεστής συσχέτισης R (ελλιπή δεδομένα) Βόλτα

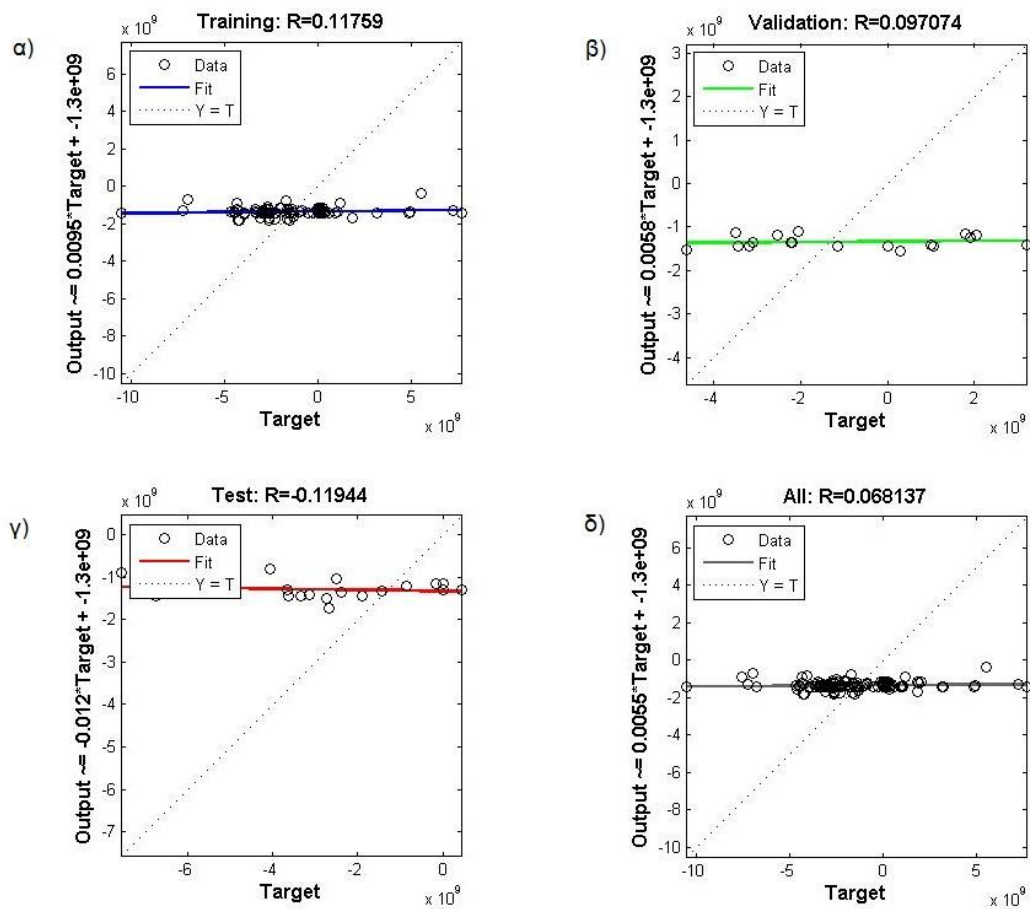
Όπως διαπιστώνεται από το διάγραμμα 4.27 οι επαναλήψεις σταμάτησαν την 16<sup>η</sup> φορά. Τα αποτελέσματα που εξήγαγε η συνολική διαδικασία εκπαίδευσης, καθώς φαίνεται στο διάγραμμα 4.28 και στον πίνακα 4.11, είναι πολύ καλά αφού οι συντελεστές συσχέτισης είναι μέσα στα όρια που έχουν θεωρηθεί αποδεκτά.



## ➤ Αργκάιλ - Αυστραλία



**Διάγραμμα 4.29:** Η επίδοση του νευρωνικού δικτύου σε σχέση με τις επαναλήψεις λίμνη Αργκάιλ



**Διάγραμμα 4.30:** Ο συντελεστής συσχέτισης R (ελλιπή δεδομένα) Αργκάιλ

<b>Στάδιο</b>	<b>R</b>
Training	0,0447
Validation	0,0748
Testing	0,0173

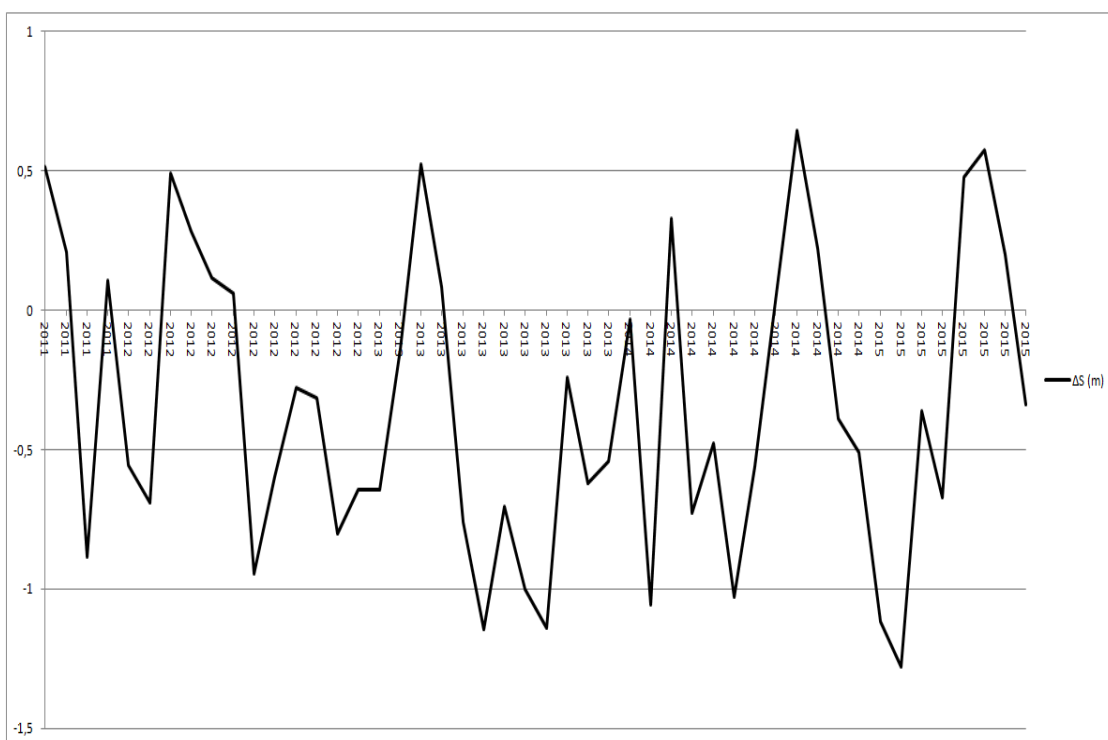
**Πίνακας 4.12:** Ο συντελεστής συσχέτισης R (ελλιπή δεδομένα) Αργκάιλ

Στη συγκεκριμένη λίμνη η δοκιμές που έγιναν με ελλιπή δεδομένα δεν είχαν καθόλου καλό αποτέλεσμα. Στη λίμνη Αργκάιλ όπως φαίνεται στο διάγραμμα 4.29 η επαναληπτική διαδικασία της εκπαίδευσης σταμάτησε την 9<sup>η</sup> φορά για τον ίδιο λόγο που σταμάτησε και στις υπόλοιπες λίμνες επειδή η επικύρωση απέτυχε για 6 συνεχόμενες επαναλήψεις. Σύμφωνα με το διάγραμμα 4.30 και τον πίνακα 4.12 το νευρωνικό δίκτυο κρίνεται εντελώς αναξιόπιστο αφού οι συντελεστές συσχέτισης είναι πολύ κοντά στο μηδέν γεγονός που δηλώνει τυχαιότητα δηλαδή τα εξαγόμενα αποτελέσματα δεν έχουν καμία σχέση με τις πραγματικές τιμές. Να αναφερθεί πως η εκπαίδευση του ΤΝΔ έγινε με δεδομένα της διαφοράς όγκου και όχι της διαφοράς στάθμης όπως πραγματοποιήθηκε στις υπόλοιπες λίμνες.

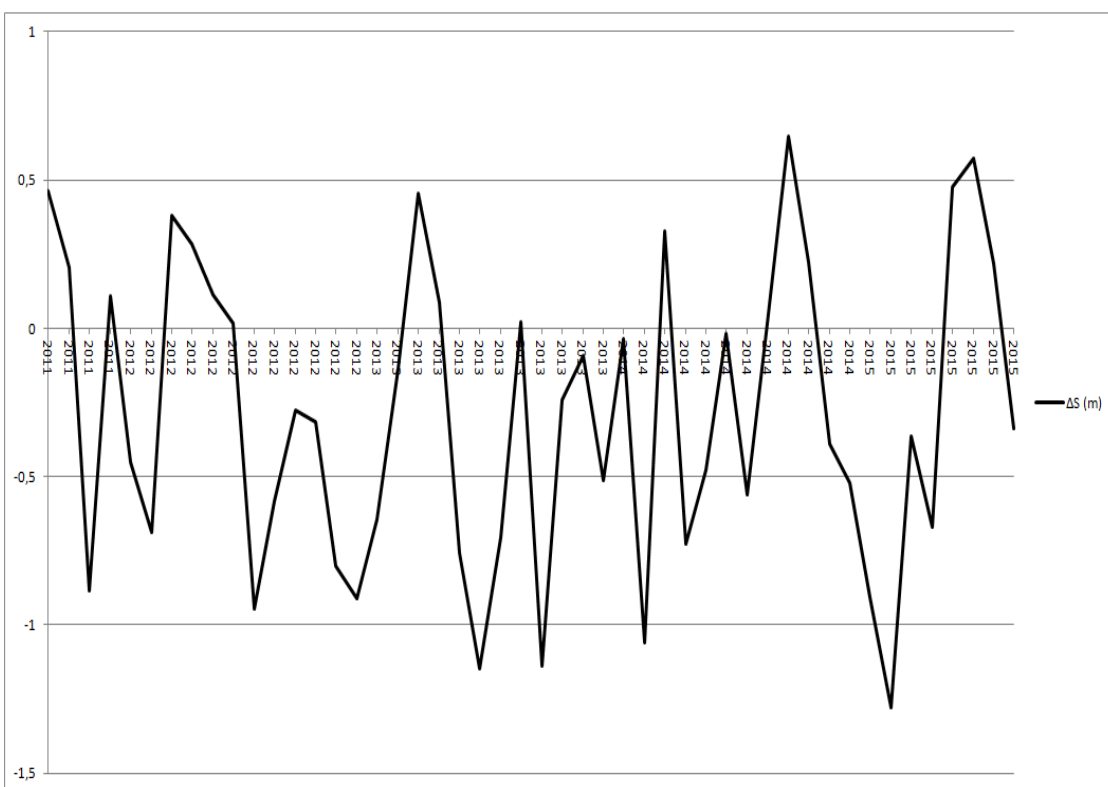
#### **4.2.4 Αποτελέσματα πρόβλεψης**

Τα αποτελέσματα που βγαίνουν για τις προβλέψεις έχουν να κάνουν καθαρά με την ακρίβεια των προβλέψεων των χρονοσειρών που χρησιμοποιούνται για δεδομένα εισόδου στο δίκτυο που έχει επιλεχθεί ώστε να εξαχθούν κάποια αποτέλεσμα. Κατά τη διαδικασία εξαγωγής των αποτελεσμάτων έγινε προσομοίωση του νευρωνικού δικτύου με δύο διαφορετικές χρονοσειρές των στοιχείων. Στη μία περίπτωση χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα όπως και στην αρχική περίπτωση του υποκεφαλαίου 4.1 ενώ στη άλλη τέθηκαν αρκετά στοιχεία από τις χρονοσειρές που εισήχθησαν μηδενικά δηλώνοντας την έλλειψη τους. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από το προτεινόμενο νευρωνικό δίκτυο και για τις δύο περιπτώσεις παρουσιάζονται στα διαγράμματα 4.31 έως 4.45.

➤ **Σάλτον Σι – Η.Π.Α.**

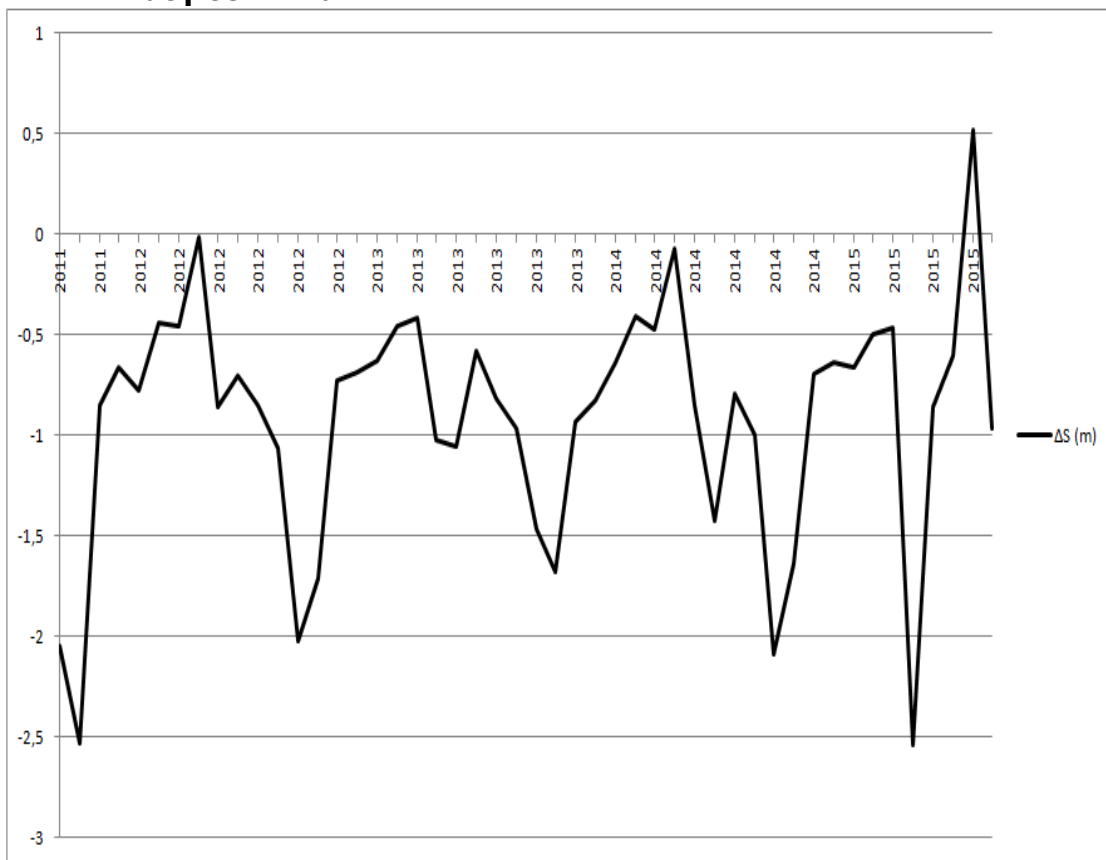


**Διάγραμμα 4. 31:** Τιμές πρόβλεψης διαφορας στάθμης ΔS για τη λίμνη Σάλτον Σι με ελλιπή χρονοσειρα δεδομενων πρόβλεψης

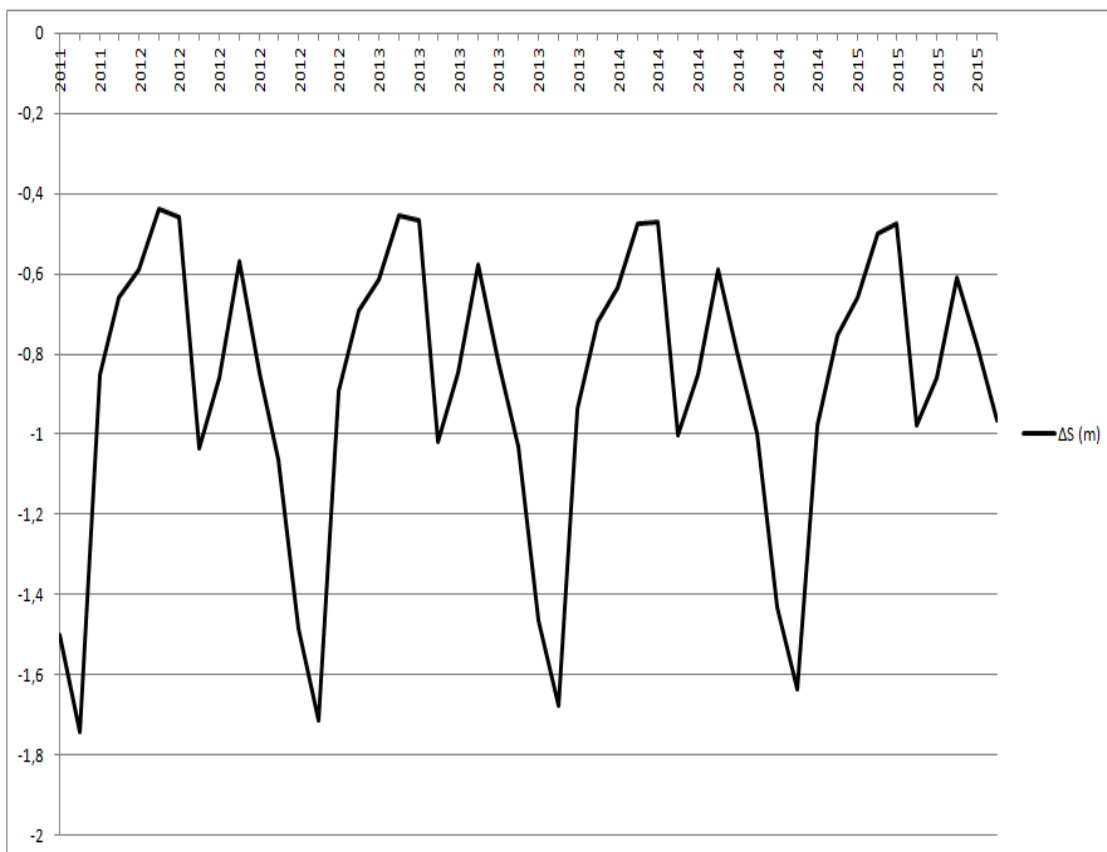


**Διάγραμμα 4.32:** Τιμές πρόβλεψης διαφορας στάθμης ΔS για τη λίμνη Σάλτον Σι με πλήρη χρονοσειρα δεδομενων πρόβλεψης

➤ Γκαόγιου - Κίνα

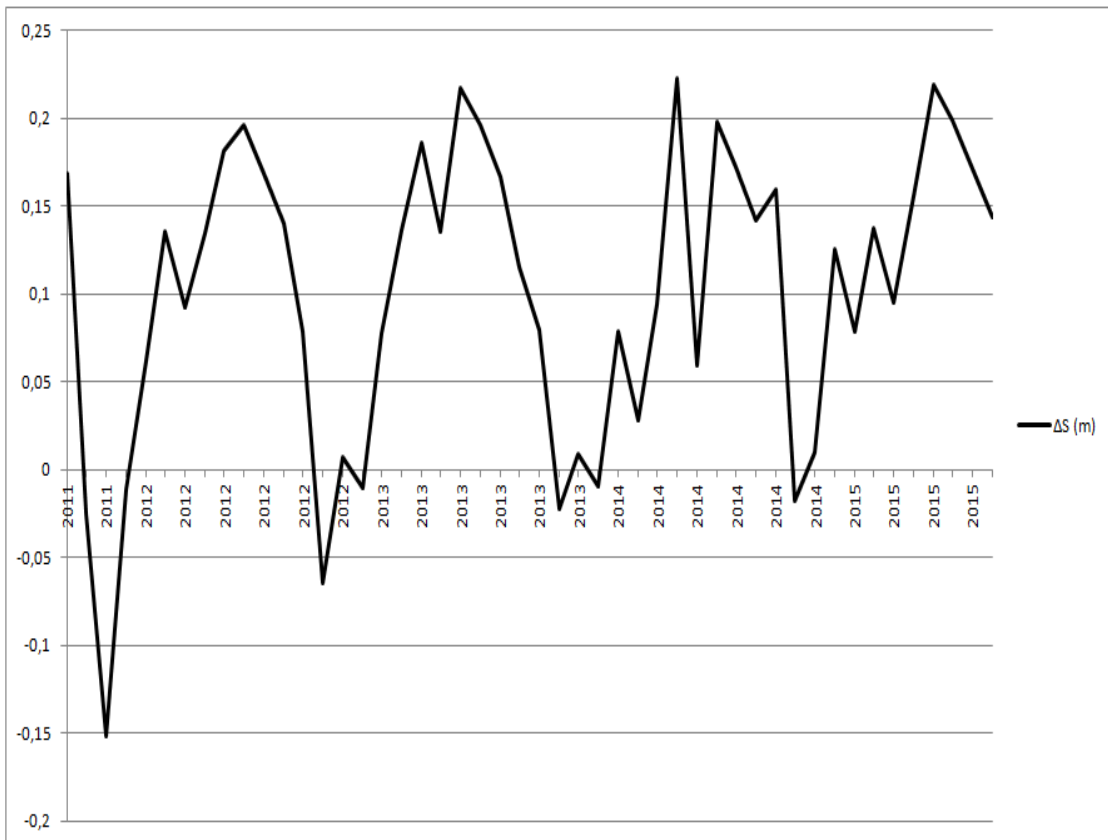


**Διάγραμμα 4.33:** Τιμές πρόβλεψης διαφοράς στάθμης  $\Delta S$  για τη λίμνη Γκαόγιου με ελλειπή χρονοσειρα δεδομενων πρόβλεψης

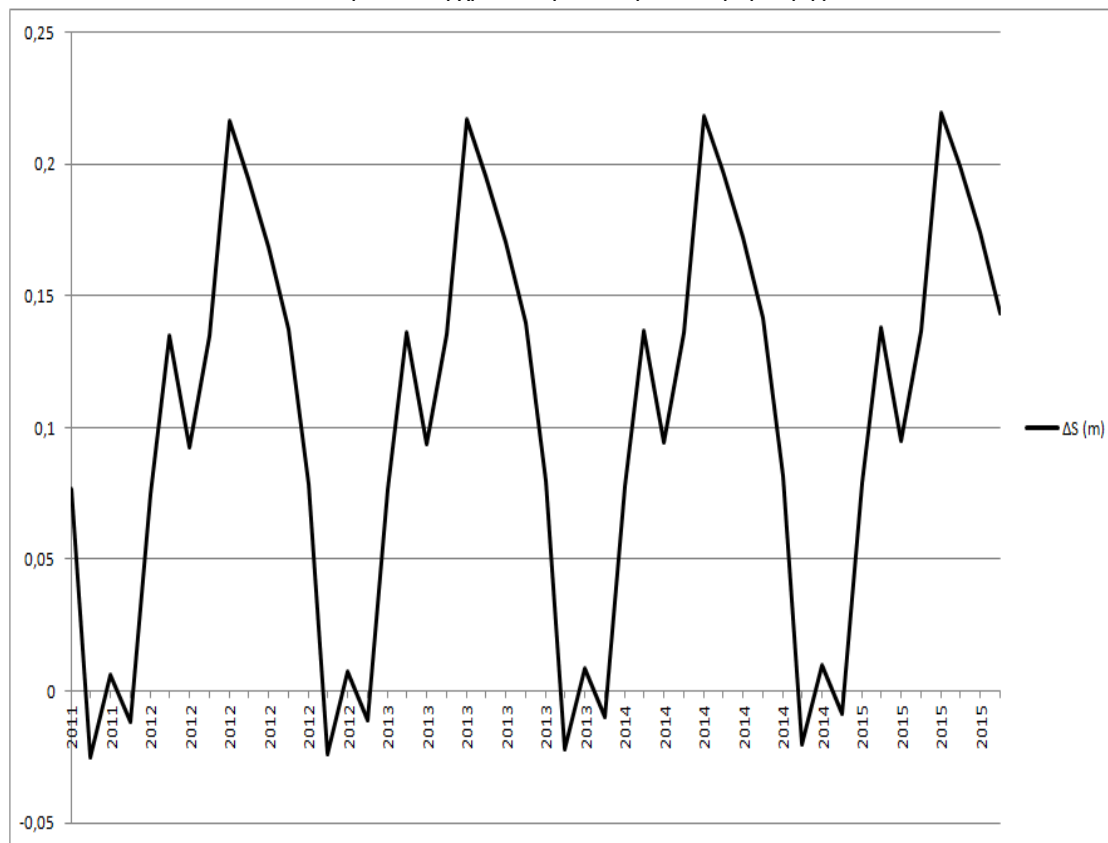


**Διάγραμμα 4.34:** Τιμές πρόβλεψης διαφοράς στάθμης  $\Delta S$  για τη λίμνη Γκαόγιου με πλήρη χρονοσειρα δεδομενων πρόβλεψης

➤ **Αϊσέλμερ - Ολλανδία**

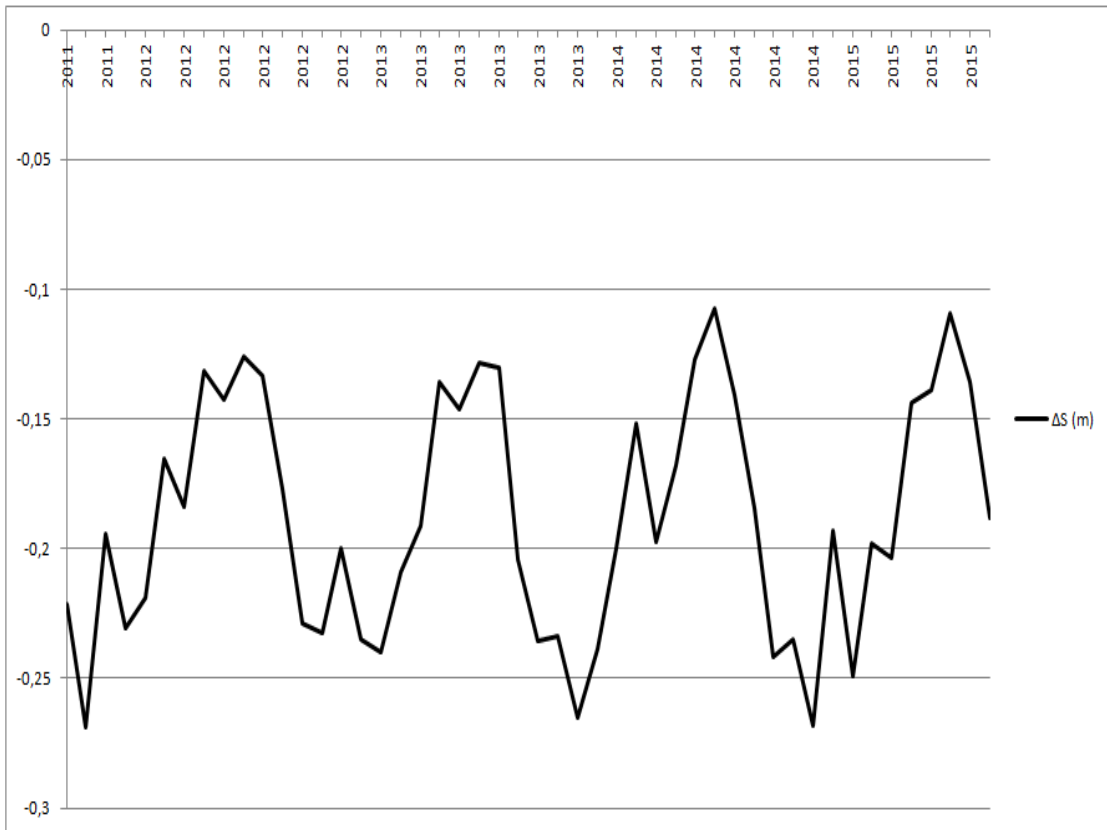


**Διάγραμμα 4.35:** Τιμές πρόβλεψης διαφοράς στάθμης ΔS για τη λίμνη Αϊσέλμερ με ελλιπή χρονοσειρα δεδομενων πρόβλεψης

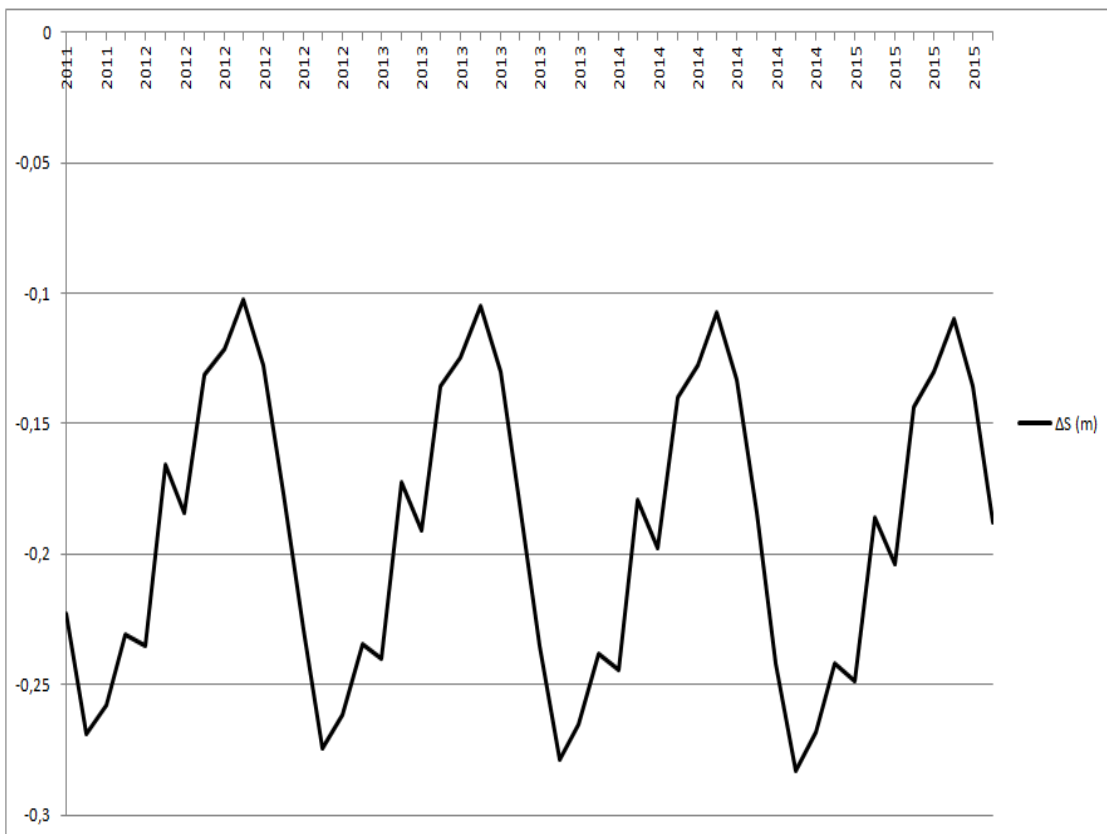


**Διάγραμμα 4.36:** Τιμές πρόβλεψης διαφοράς στάθμης ΔS για τη λίμνη Αϊσέλμερ με πλήρη χρονοσειρα δεδομενων πρόβλεψης

➤ Σαν Ρόκε - Αργεντινή

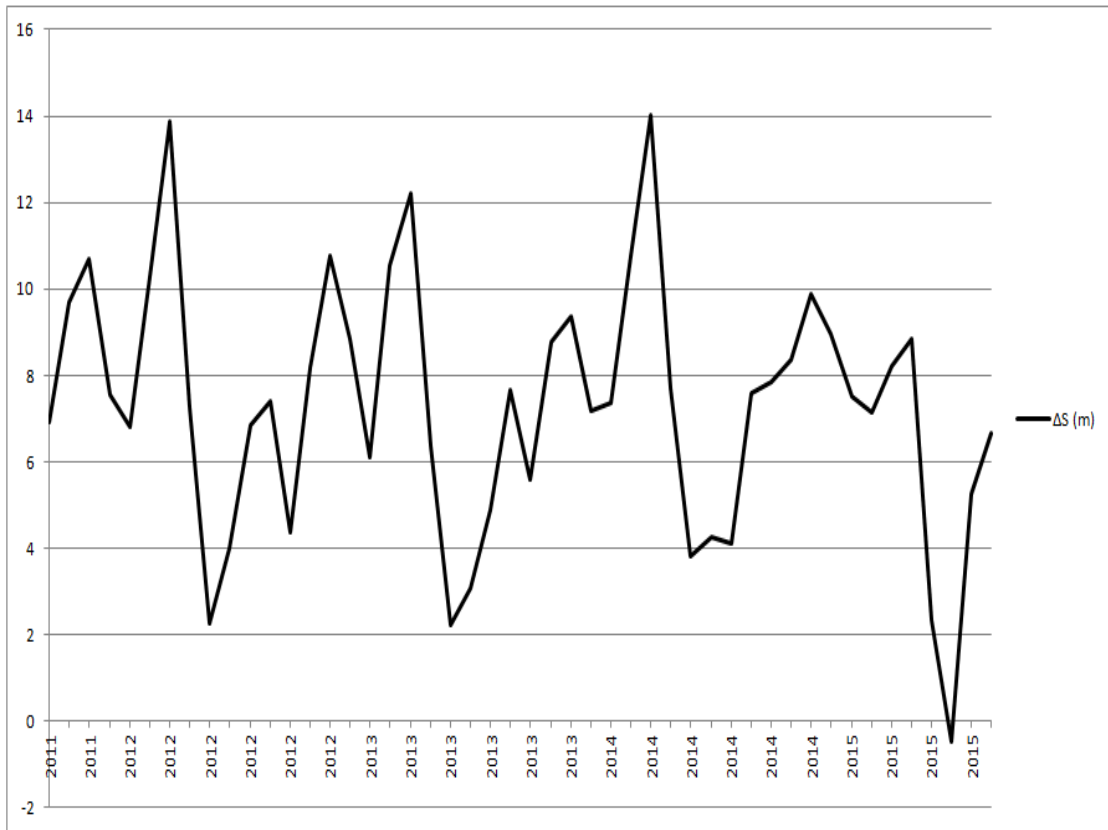


**Διάγραμμα 4.37:** Τιμές πρόβλεψης διαφοράς στάθμης ΔS για τη λίμνη Σαν Ροκέ με ελλιπή χρονοσειρα δεδομενων πρόβλεψης

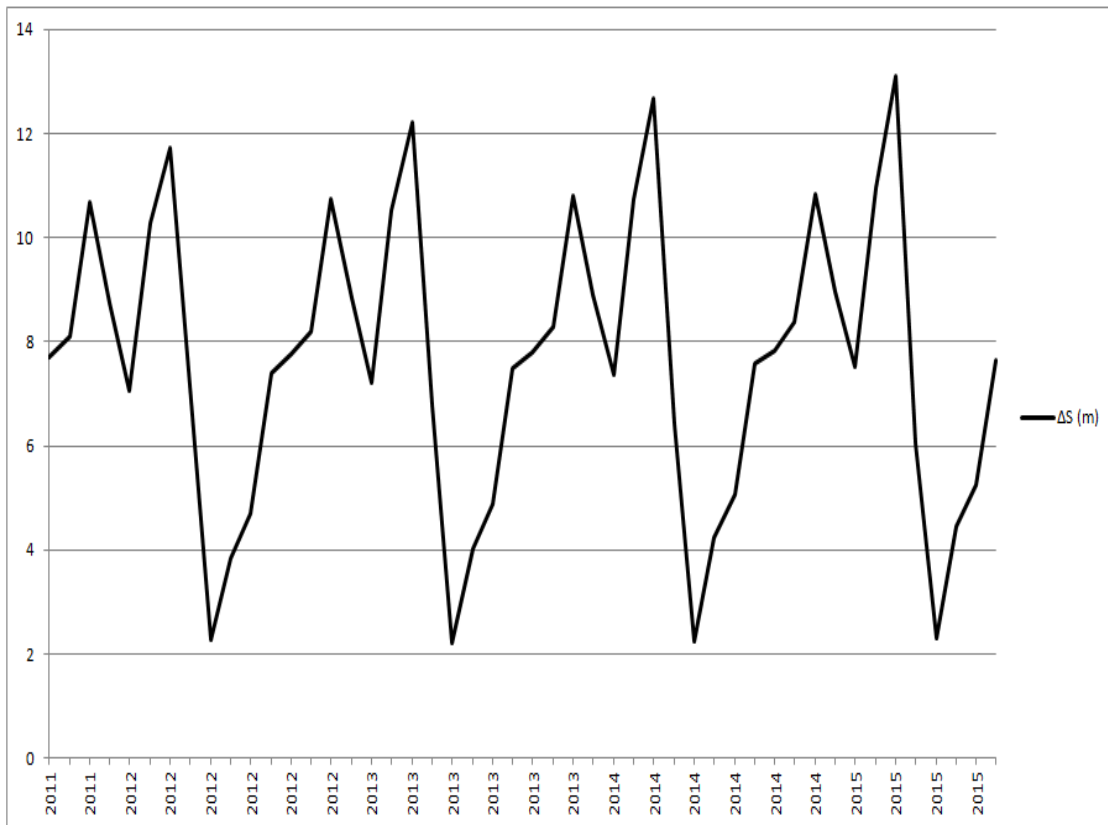


**Διάγραμμα 4.38:** Τιμές πρόβλεψης διαφοράς στάθμης ΔS για τη λίμνη Σαν Ροκέ με πλήρη χρονοσειρα δεδομενων πρόβλεψης

➤ **Βόλτα - Αφρική**

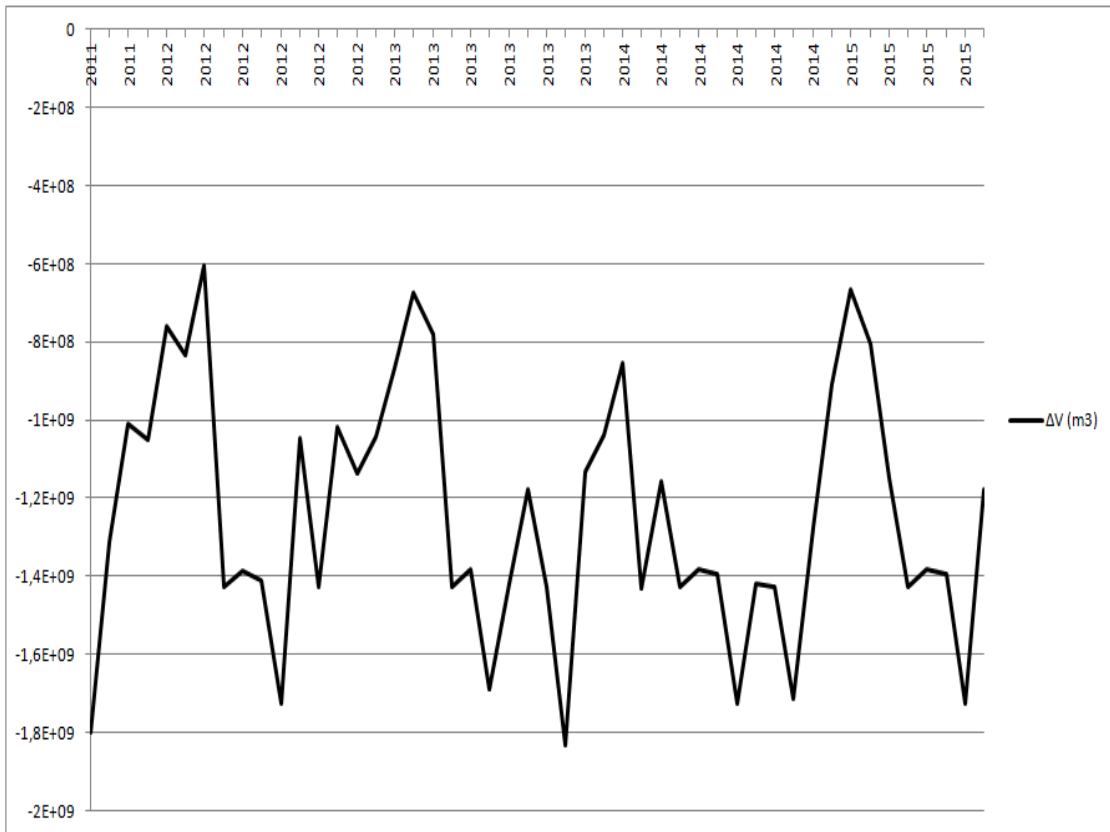


**Διάγραμμα 4.39:** Τιμές πρόβλεψης διαφοράς στάθμης ΔS για τη λίμνη Βόλτα με ελλιπή χρονοσειρα δεδομενων πρόβλεψης

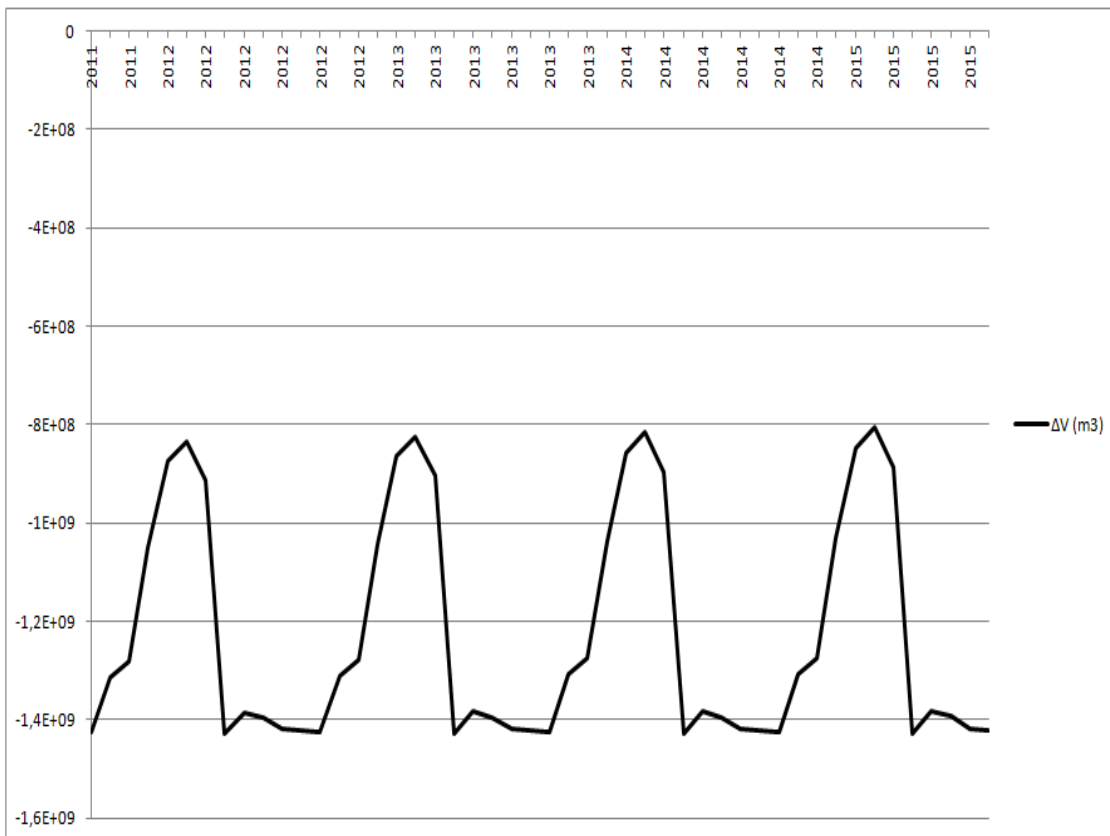


**Διάγραμμα 4.40:** Τιμές πρόβλεψης διαφοράς στάθμης ΔS για τη λίμνη Βόλτα με πλήρη χρονοσειρα δεδομενων πρόβλεψης

➤ **Αργκάιλ - Αυστραλία**



**Διάγραμμα 4.41:** Τιμές πρόβλεψης διαφοράς όγκου  $\Delta V$  για τη λίμνη Αργκάιλ με ελλιπή χρονοσειρά δεδομενων πρόβλεψης



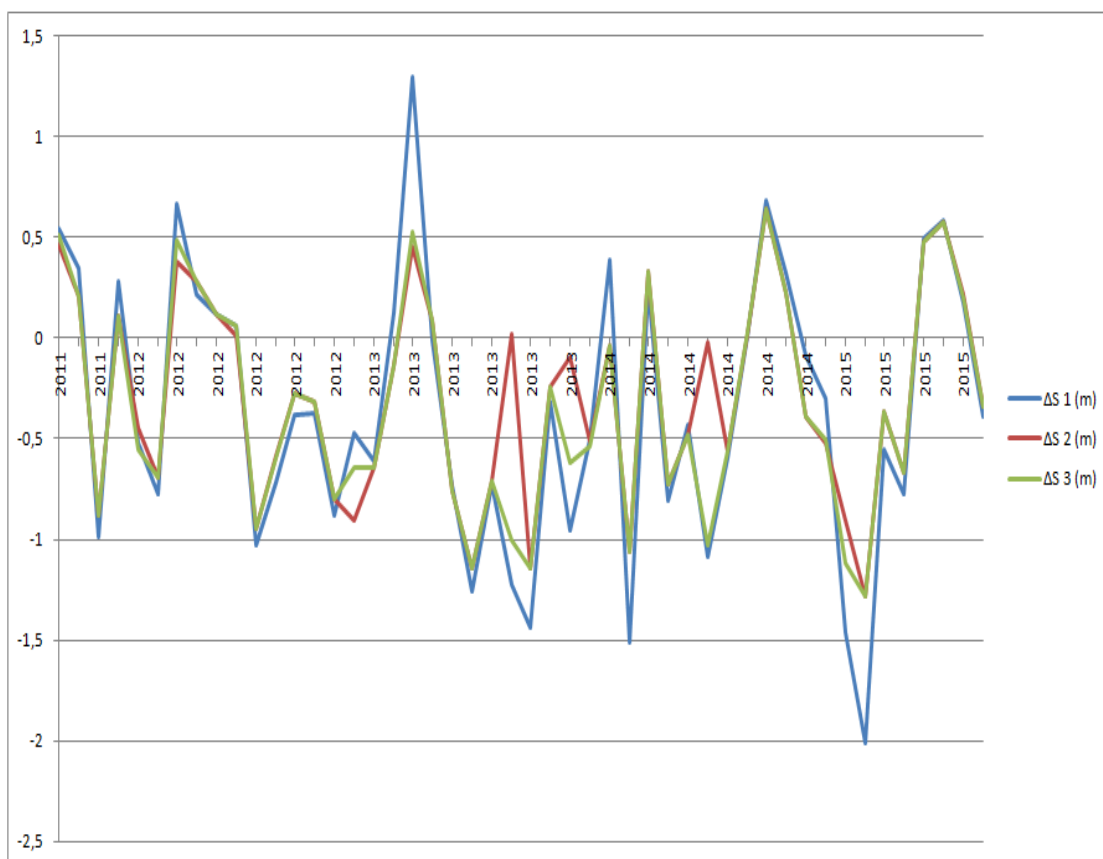
**Διάγραμμα 4.42:** Τιμές πρόβλεψης διαφοράς όγκου  $\Delta V$  για τη λίμνη Αργκάιλ με πλήρη χρονοσειρά δεδομενων πρόβλεψης



#### 4.2.5 Συνολικά διαγράμματα

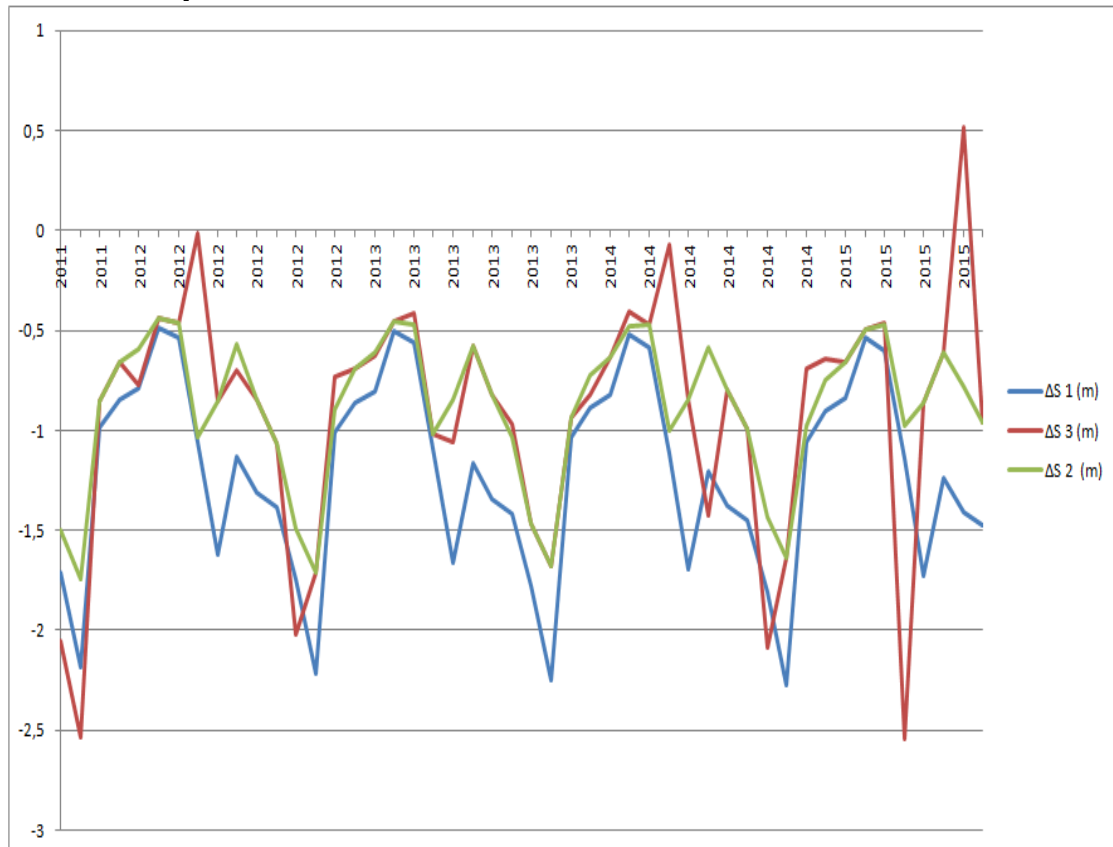
Στο παρόν υποκεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των προβλέψεων για κάθε διαδικασία σε ένα συνολικό διάγραμμα για κάθε λίμνη. Στα διαγράμματα η μπλε γραμμή (ΔS1) απεικονίζει τα αποτελέσματα της πρώτης διαδικασίας (κεφάλαιο 4.1) στην οποία η διαδικασία εκπαίδευσης είχε γίνει με τα πλήρη δεδομένα. Οι άλλες δύο γραμμές απεικονίζουν τις προβλέψεις που έγιναν με το ΤΝΔ που εκπαιδεύτηκε με ελλιπή δεδομένα και χωρίστηκαν δύο περιπτώσεις. Στη μία περίπτωση τέθηκαν στις επεκτάσεις το χρονοσειρών (που εισήχθησαν στο ΤΝΔ) μηδενικές τιμές για να γίνει προσομοίωση αστοχίας κάποιων δεδομένων των επεκτάσεων των χρονοσειρών και στην άλλη περίπτωση εισήχθησαν στο εκπαιδευμένο δίκτυο κανονικά οι πλήρεις προεκτάσεις των χρονοσειρών. Η κόκκινη (ΔS2) απεικονίζει τα αποτελέσματα της δεύτερης διαδικασίας (κεφάλαιο 4.2) με τη χρήση των ελλιπών δεδομένων και η πράσινη γραμμή (ΔS3) απεικονίζει τα αποτελέσματα της δεύτερης διαδικασίας (κεφάλαιο 4.2) με τα πλήρη δεδομένα.

##### ➤ Σάλτον Σι – Η.Π.Α.



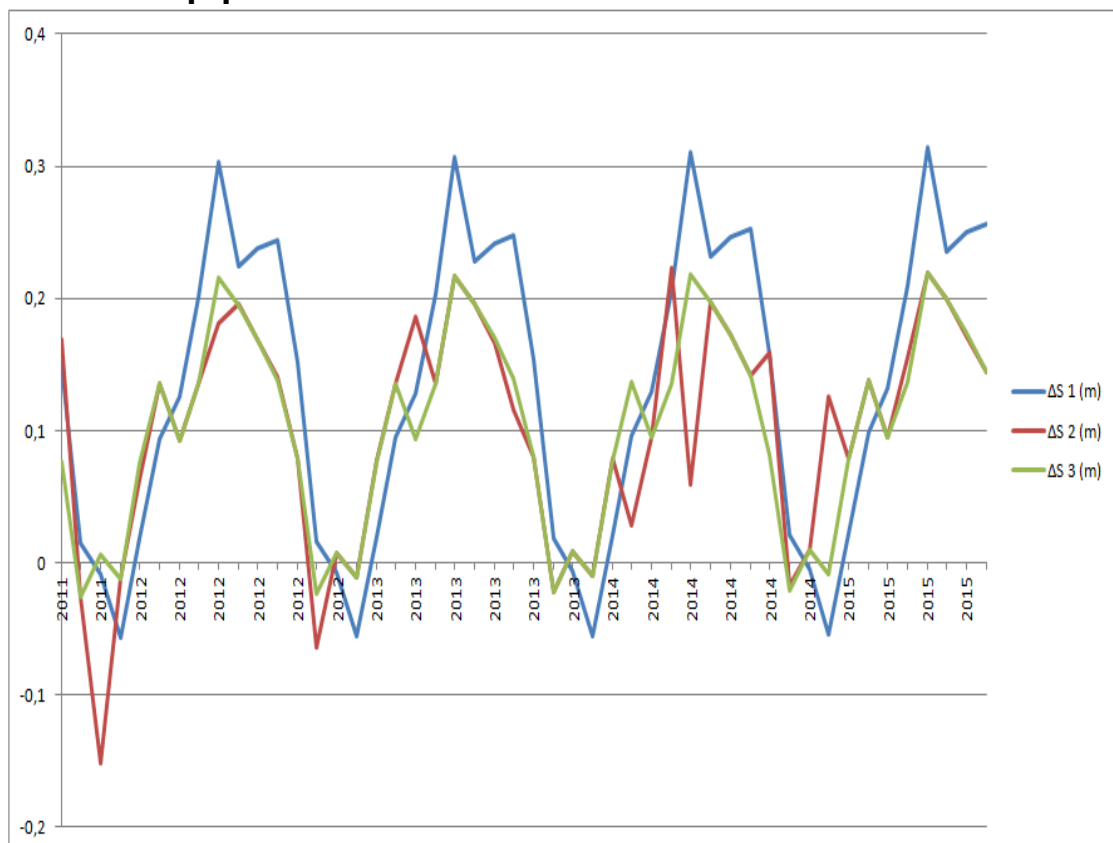
Διάγραμμα 4.43: Συνολικό διάγραμμα προβλέψεων διαφοράς στάθμης ΔS για τη λίμνη Σάλτον Σι

➤ **Γκαόγιου - Κίνα**



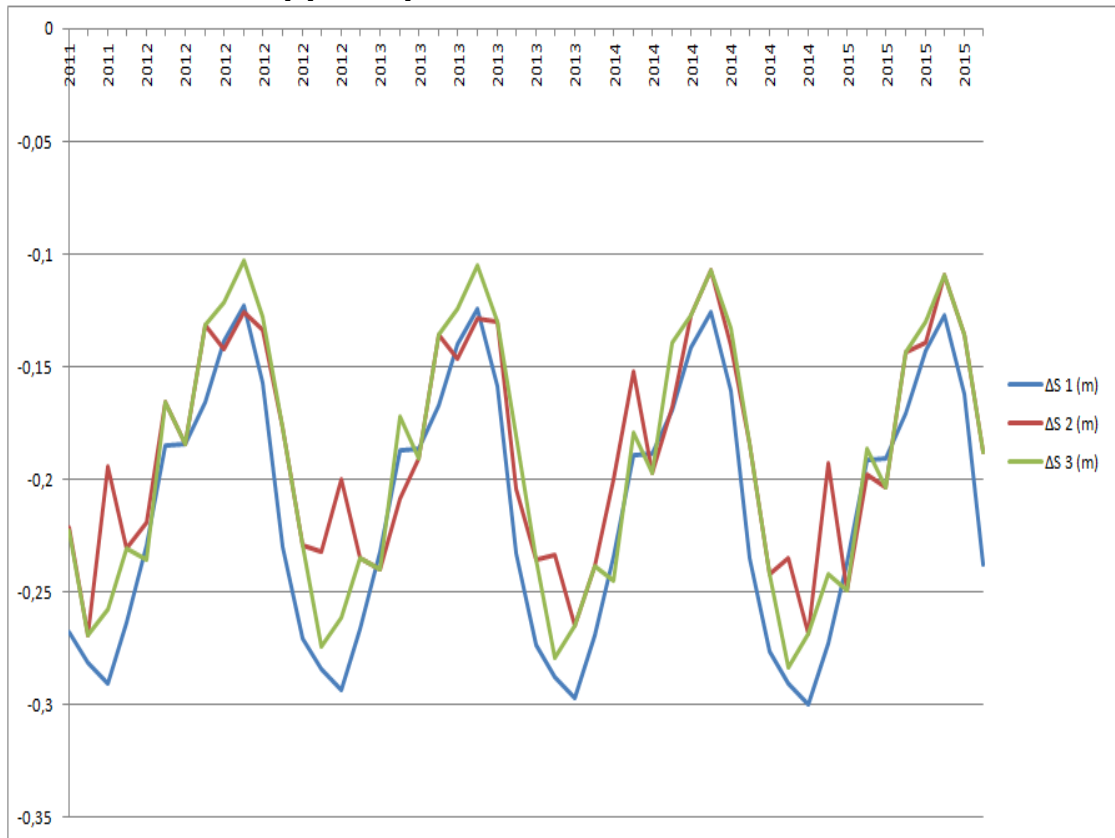
**Διάγραμμα 4.44:** Συνολικό διάγραμμα προβλέψεων διαφορας στάθμης ΔS για τη λίμνη Γκαόγιου

➤ **Αϊσέλμερ - Ολλανδία**



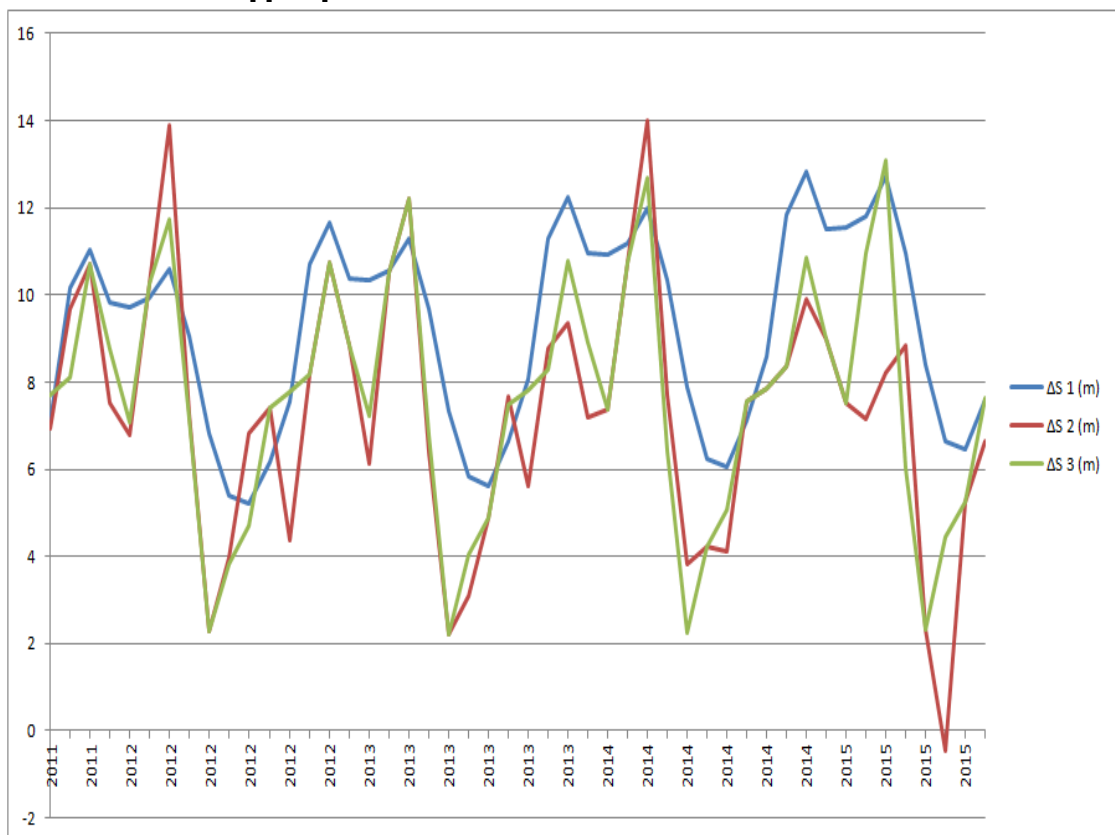
**Διάγραμμα 4.45:** Συνολικό διάγραμμα προβλέψεων διαφορας στάθμης ΔS για τη λίμνη Αϊσέλμερ

➤ **Σαν Ρόκε - Αργεντινή**



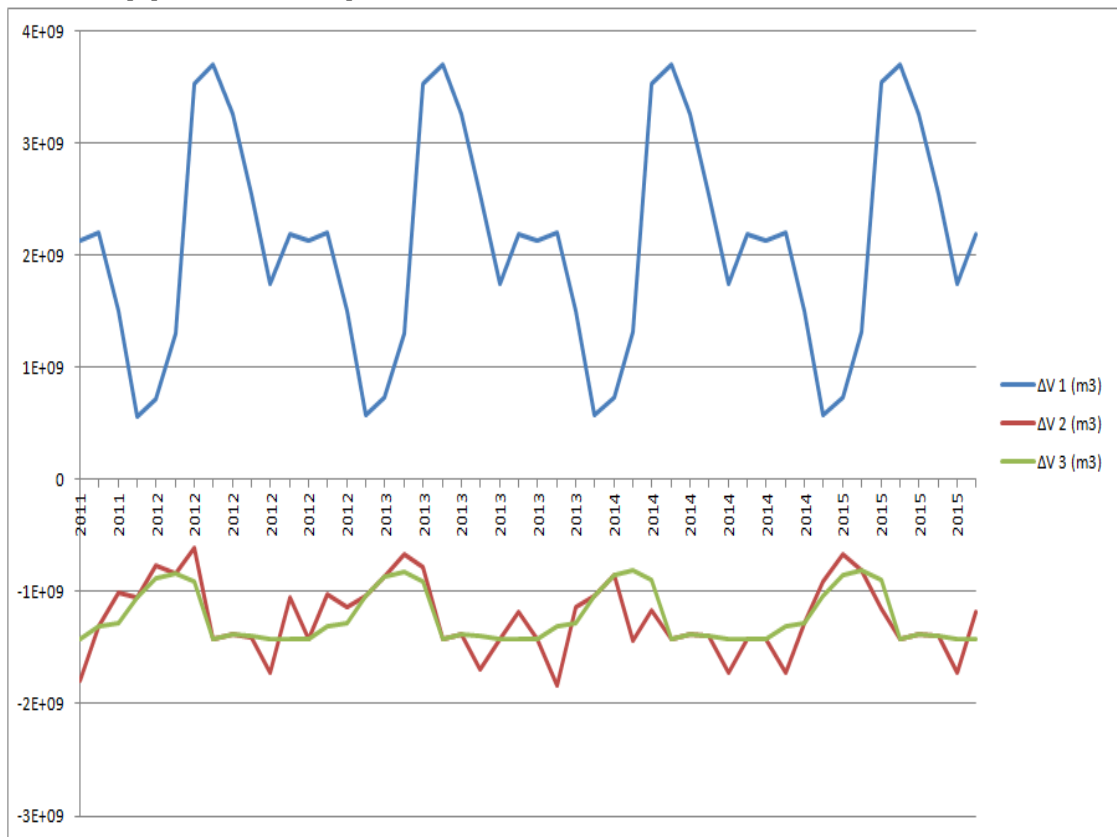
**Διάγραμμα 4.46:** Συνολικό διάγραμμα προβλέψεων διαφορας στάθμης ΔS για τη λίμνη Σαν Ροκέ

➤ **Βόλτα - Αφρική**



**Διάγραμμα 4.47:** Συνολικό διάγραμμα προβλέψεων διαφορας στάθμης ΔS για τη λίμνη Βόλτα

➤ **Αργκάιλ - Αυστραλία**



**Διάγραμμα 4.48:** Συνολικό διάγραμμα προβλέψεων διαφορας όγκου ΔV για τη λίμνη Αργκάιλ

### **4.3 Πρόβλεψη με Λιγότερες Μεταβλητές**

Σκοπός των τεχνητών νευρωνικών δικτύων είναι να μειώσουν την πολυπλοκότητα κάποιων διαδικασιών και να κάνουν πιο εύκολη την επίλυση ακόμα και των πιο δύσκολων προβλημάτων. Οπότε στη συγκεκριμένη διαδικασία έγιναν δύο διαφορετικές προσπάθειες να εξαχθεί το αποτέλεσμα χωρίς τη χρήση όλων των παραμέτρων της εξίσωσης του υδατικού ισοζυγίου. Στη μία προσπάθεια έγινε χρήση της θερμοκρασίας, της απορροής και της βροχόπτωσης ως στοιχεία εισόδου ενώ στην άλλη μόνο της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης. Όσον αφορά στο κομμάτι των αποτελεσμάτων πρόβλεψης, δεν ήταν δυνατή η εξαγωγή τους αφού δεν υπήρχε η επέκταση της χρονοσειράς της θερμοκρασίας ώστε να εισαχθεί στο εκπαιδευμένο δίκτυο για να δώσει μαζί με τα άλλα δεδομένα αποτέλεσμα.

#### **4.3.1 Αρχιτεκτονική Δικτύου**

Για τις δύο αυτές περιπτώσεις χρησιμοποιήθηκε η ίδια αρχιτεκτονική νευρωνικού δικτύου αφού αυτή έδινε τα καλύτερα αποτελέσματα εκτός από εκείνο που χρησιμοποιήθηκε στη λίμνη Αργκάιλ. Το δίκτυο που χρησιμοποιήθηκε για τις πέντε από τις έξι λίμνες αποτελείται από ένα κρυφά στρώμα (hidden layer) το οποίο περιέχει 84 νευρώνες και συνάρτηση ενεργοποίησης που χρησιμοποιήθηκε στο κρυφό στρώματα ήταν η σιγμοειδής. Στην περίπτωση της λίμνης Αργκάιλ το νευρωνικό δίκτυο διέθετε 2 κρυφά στρώματα με το πρώτο να περιέχει 48 νευρώνες και το δεύτερο 12, με σιγμοειδής συναρτήσεις ενεργοποίησης

#### **4.3.2 Εκπαίδευση Δικτύου**

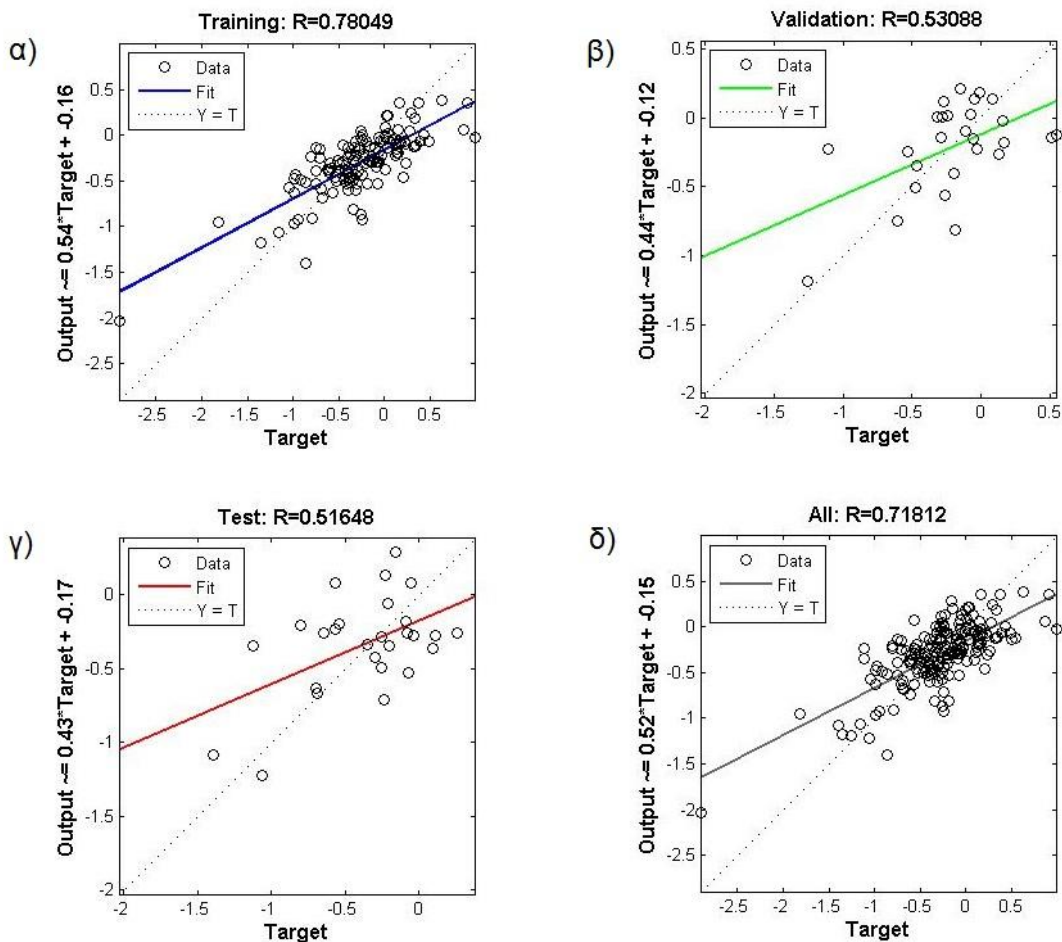
Στις συγκεκριμένες περιπτώσεις κατά τη διαδικασία της εκπαίδευσης έγινε διαχωρισμός των χρονοσειρών σε δύο μέρη. Δεκαπέντε χρόνια χρησιμοποιήθηκαν για το κομμάτι του training και τέσσερα για το κομμάτι του testing. Δηλαδή δεν ακολουθήθηκε καθόλου η πρόσθετη διαδικασία του validation όπως έγινε στις προηγούμενες διαδικασίες. Αυτό ήταν αναγκαίο λόγω των περιορισμένων χρονοσειρών των δεδομένων, καθιστώντας δύσκολο να γίνει σωστά η εκπαίδευση και να βγουν αξιόπιστα συμπεράσματα με λιγότερους συντελεστές και μικρές χρονοσειρές.

#### **4.3.3 Αποτελέσματα Εκπαίδευσης**

Στις περιπτώσεις αυτές η επαναληπτική διαδικασία σταματούσε λόγω της αποτυχίας της επικύρωσης (validation) για έξι συνεχόμενες επαναλήψεις. Στη συνέχεια παρατίθενται τα διαγράμματα του συντελεστή συσχέτισης (R) του σταδίου της εκπαίδευσης (training). Σε αυτήν την περίπτωση δεν χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα για το επιπλέον στάδιο επικύρωσης (validation) ώστε να χρησιμοποιηθούν περισσότερα δεδομένα για την εκπαίδευση του νευρωνικού δικτύου.

➤ **Θερμοκρασία, Βροχόπτωση και Απορροή**

➤ **Σάλτον Σι – Η.Π.Α.**



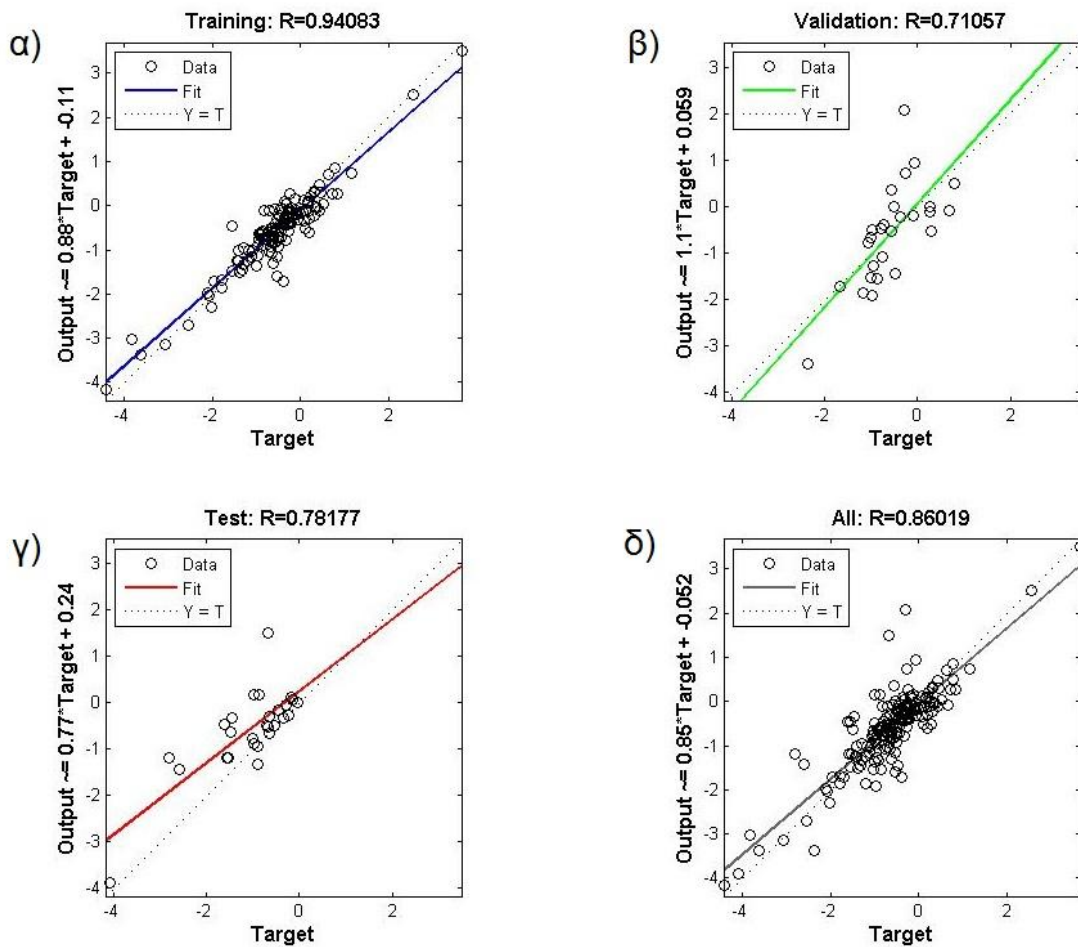
**Διάγραμμα 4.49:** Ο συντελεστής συσχέτισης R (A, P, T) Σάλτον Σι

Στάδιο	R
Training	0,7181
Testing	0,5535

**Πίνακας 4.13:** Ο συντελεστής συσχέτισης R (A, P, T) Σάλτον Σι

Σύμφωνα με αυτά τα χαρακτηριστικά βγαίνει το συμπέρασμα πως δεν μπορεί κάποιος να εμπιστευτεί εύκολα ένα τέτοιο δίκτυο. Παρόλα αυτά είναι αξιοσημείωτο πως η συσχέτιση των τιμών που παράγονται από το στάδιο του training και των πραγματικών δεν είναι τελείως τυχαία. Η αδυναμία του δικτύου έγκειται στις μικρές σε έκταση χρονοσειρές που χρησιμοποιούνται για την εκπαίδευση, γεγονός το οποίο δεν δίνει τη δυνατότητα στο συγκριμένο δίκτυο να καταλάβει τον τρόπο «σκέψης» και να εξάγει αξιόπιστα αποτελέσματα.

➤ Γκαόγιου - Κίνα



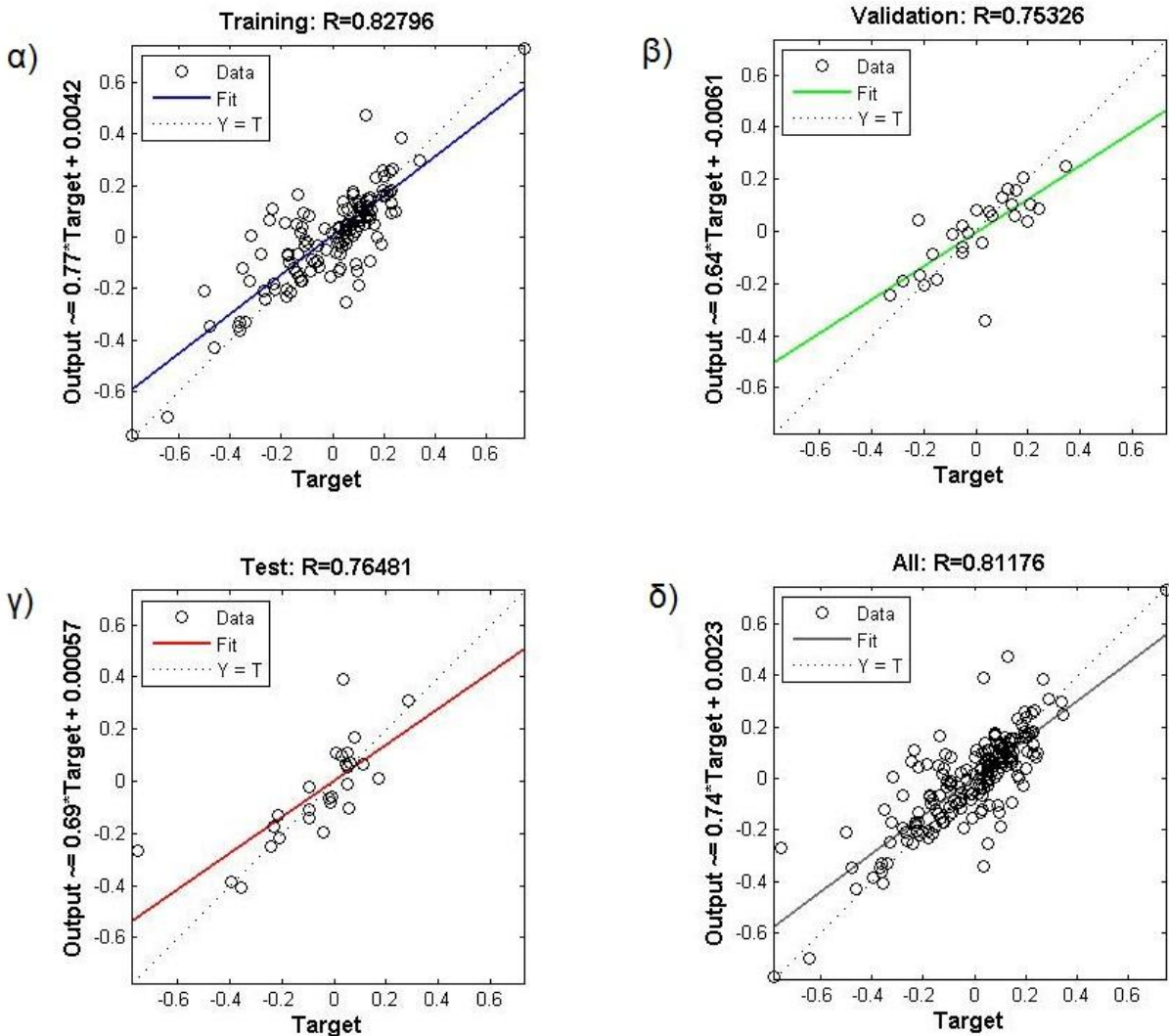
**Διάγραμμα 4.50:** Ο συντελεστής συσχέτισης R (A, P, T) Γκαόγιου

Στάδιο	R
Training	0,8602
Testing	0,8780

**Πίνακας 4.14:** Ο συντελεστής συσχέτισης R (A, P, T) Γκαόγιου

Στη συγκεκριμένη λίμνη το νευρωνικό δίκτυο εξήγαγε πολύ καλά αποτελέσματα όπως παρουσιάζονται στο διάγραμμα 4.50 και στον πίνακα 4.14. αυτό σημαίνει πως το νευρωνικό δίκτυο που έχει δημιουργηθεί είναι αρκετά αξιόπιστο για τη χρήση του ως εργαλείο πρόβλεψης για τα δεδομένα της συγκεκριμένης λίμνης.

➤ Αϊσέλμερ - Ολλανδία



**Διάγραμμα 4.51:** Ο συντελεστής συσχέτισης R (A, P, T) Αϊσέλμερ

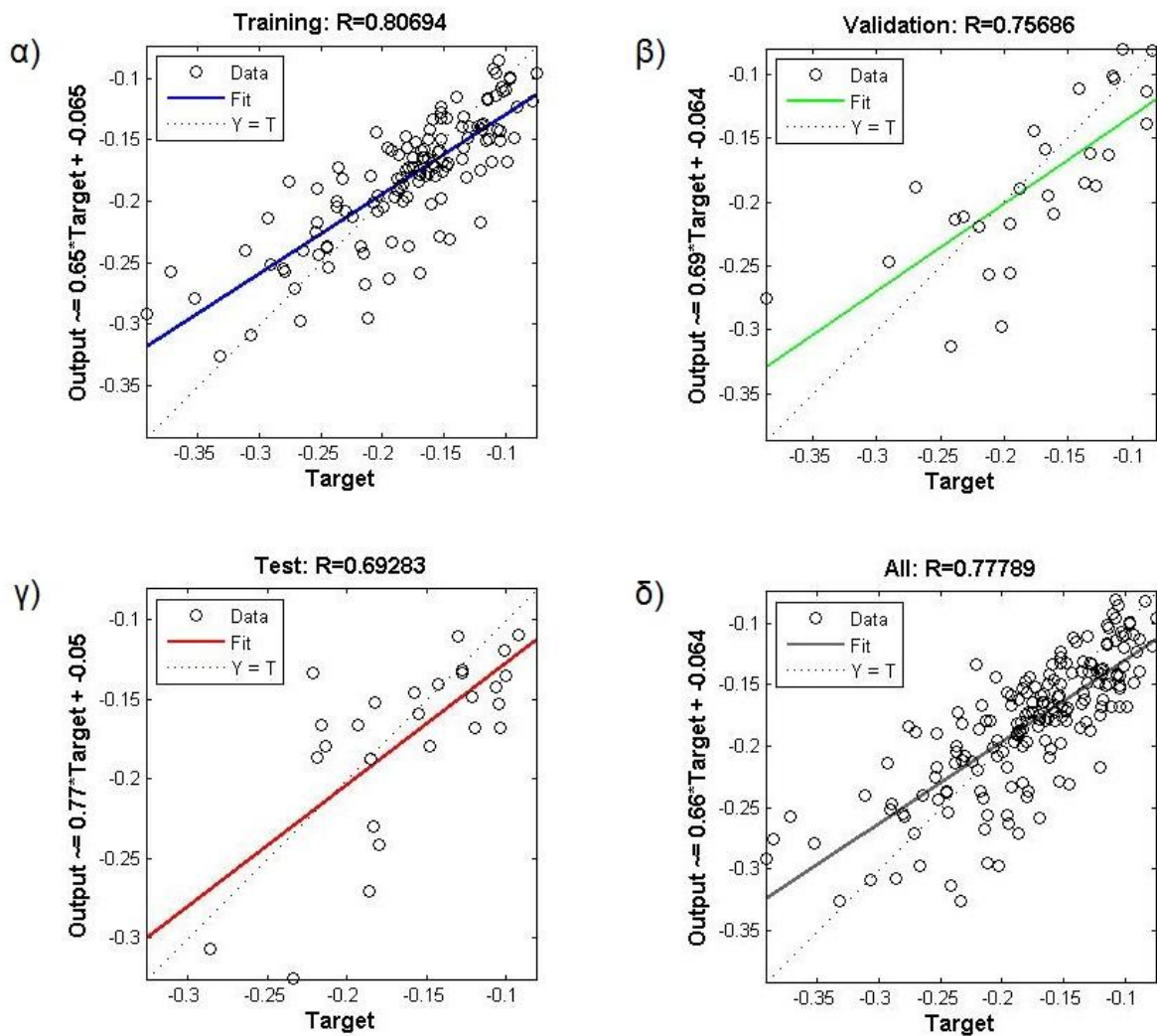
Στάδιο	R
Training	0,8117
Testing	0,5696

**Πίνακας 4.15:** Ο συντελεστής συσχέτισης R (A, P, T) Αϊσέλμερ

Στην περίπτωση αυτή ενώ το σύστημα εξάγει καλά αποτελέσματα στην περαιτέρω διαδικασία επαλήθευσης στο κομμάτι της δοκιμής (testing) υπάρχει μεγάλη διαφορά. Αυτό οφείλεται στο γεγονός πως μπορεί το κομμάτι που χρησιμοποιήθηκε για την περαιτέρω διαδικασία ελέγχου η ακρίβεια των μετρήσεων να ήταν περιορισμένη ή ακόμα να είχε τυχαία κακή ανταπόκριση στο δίκτυο. Το εν λόγω νευρωνικό δίκτυο παρουσιάζει εν γένει καλά αποτελέσματα γεγονός που δεν το χρήζει εντελώς ακατάλληλο για χρήση.



➤ Σαν Ρόκε - Αργεντινή



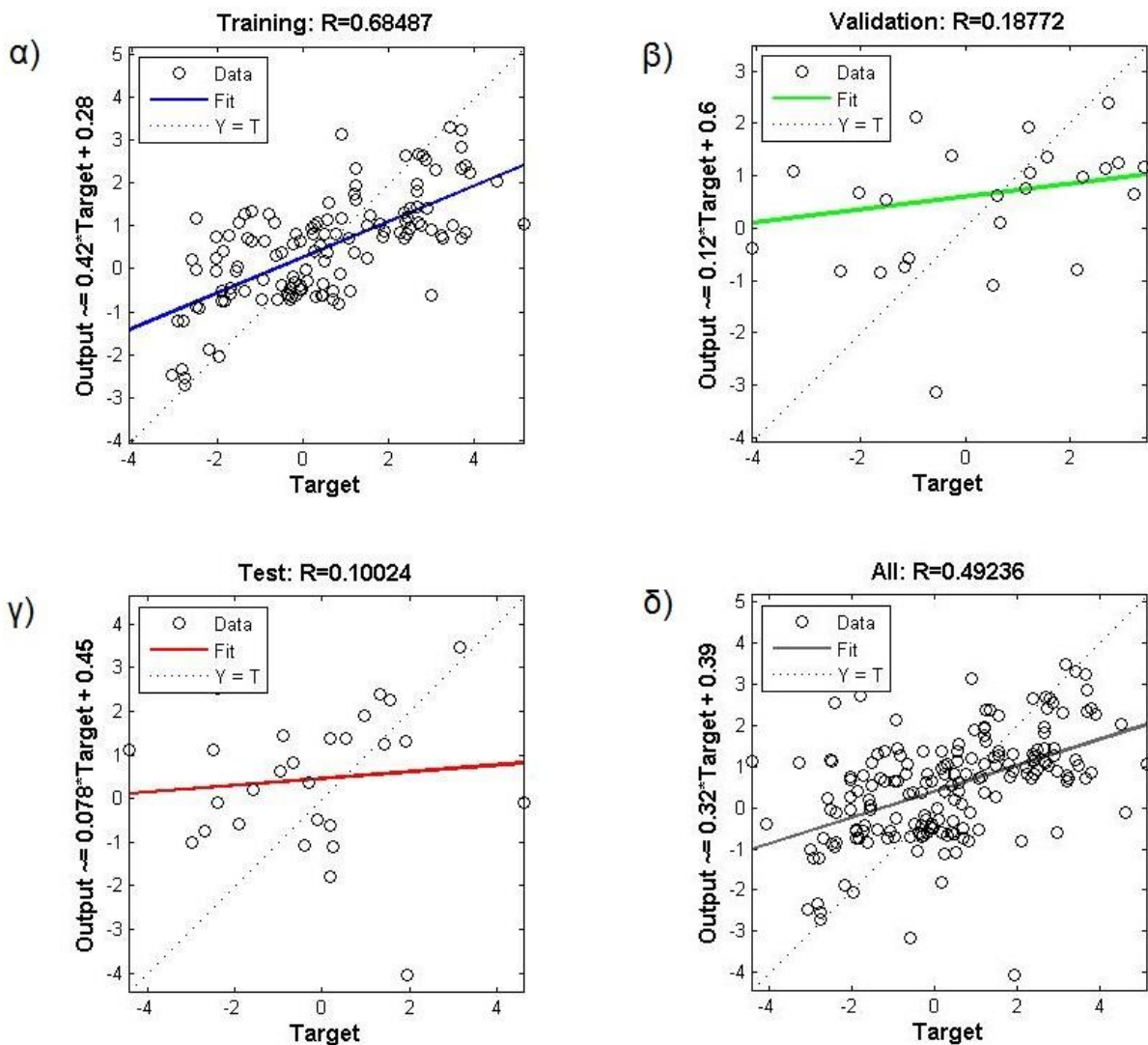
**Διάγραμμα 4.52:** Ο συντελεστής συσχέτισης R (A, P, T) Σαν Ρόκε

Στάδιο	R
Training	0,7779
Testing	0,6739

**Πίνακας 4.16:** Ο συντελεστής συσχέτισης R (A, P, T) Σαν Ρόκε

Στην περίπτωση αυτή, όπως και στην περίπτωση της λίμνης Αϊσέλμερ, ενώ το σύστημα εξάγει καλά αποτελέσματα στην περαιτέρω διαδικασία επαλήθευσης στο κομμάτι της δοκιμής (testing) υπάρχει κάποια διαφορά. Αυτό μπορεί να οφείλεται στους λόγους που αναφέρθηκαν για τα αποτελέσματα της λίμνης Αϊσέλμερ. Το εν λόγω νευρωνικό δίκτυο παρουσιάζει εν γένει καλά αποτελέσματα γεγονός που δεν το χρήζει ακατάλληλο και αναξιόπιστο.

➤ **Βόλτα - Αφρική**



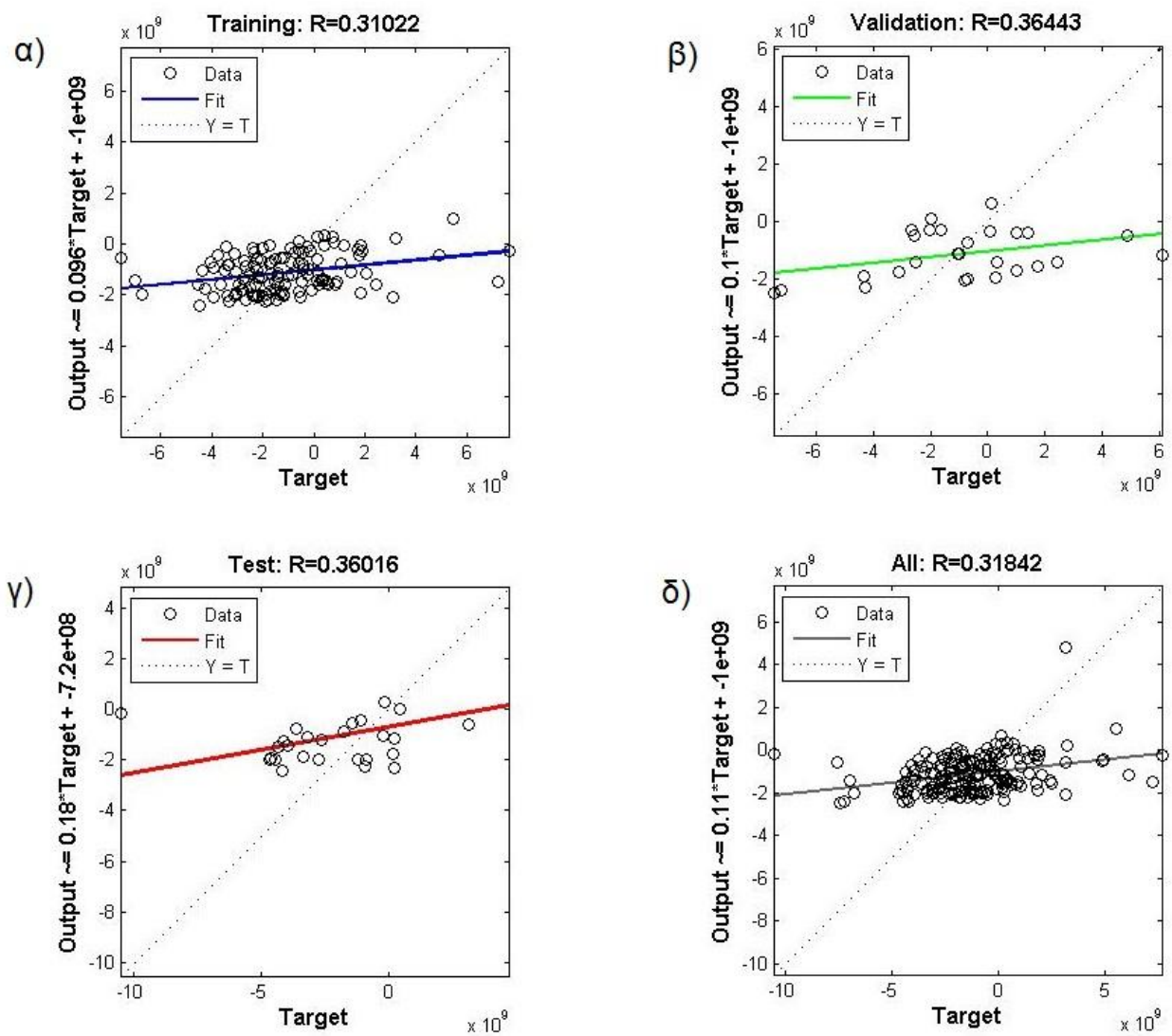
**Διάγραμμα 4.53:** Ο συντελεστής συσχέτισης R (A, P, T) Βόλτα

Στάδιο	R
Training	0,4924
Testing	0,1783

**Πίνακας 4.17:** Ο συντελεστής συσχέτισης R (A, P, T) Βόλτα

Στην περίπτωση της λίμνης Βόλτα τα αποτελέσματα που εξήχθησαν, όπως φαίνονται και από το διάγραμμα 4.53 και τον πίνακα 4.17 δεν ήταν καθόλου καλά με αποτέλεσμα το εν λόγω δίκτυο να θεωρηθεί ακατάλληλο. Η αστοχία των αποτελεσμάτων μπορεί να οφείλεται στην έλλειψη ακρίβειας των δεδομένων ή ακόμα ο αριθμό των δεδομένων εκπαίδευσης που μπορεί να είναι μικρός.

➤ **Αργκάιλ - Αυστραλία**



**Διάγραμμα 4.54:** Ο συντελεστής συσχέτισης R (A, P, T) Αργκάιλ

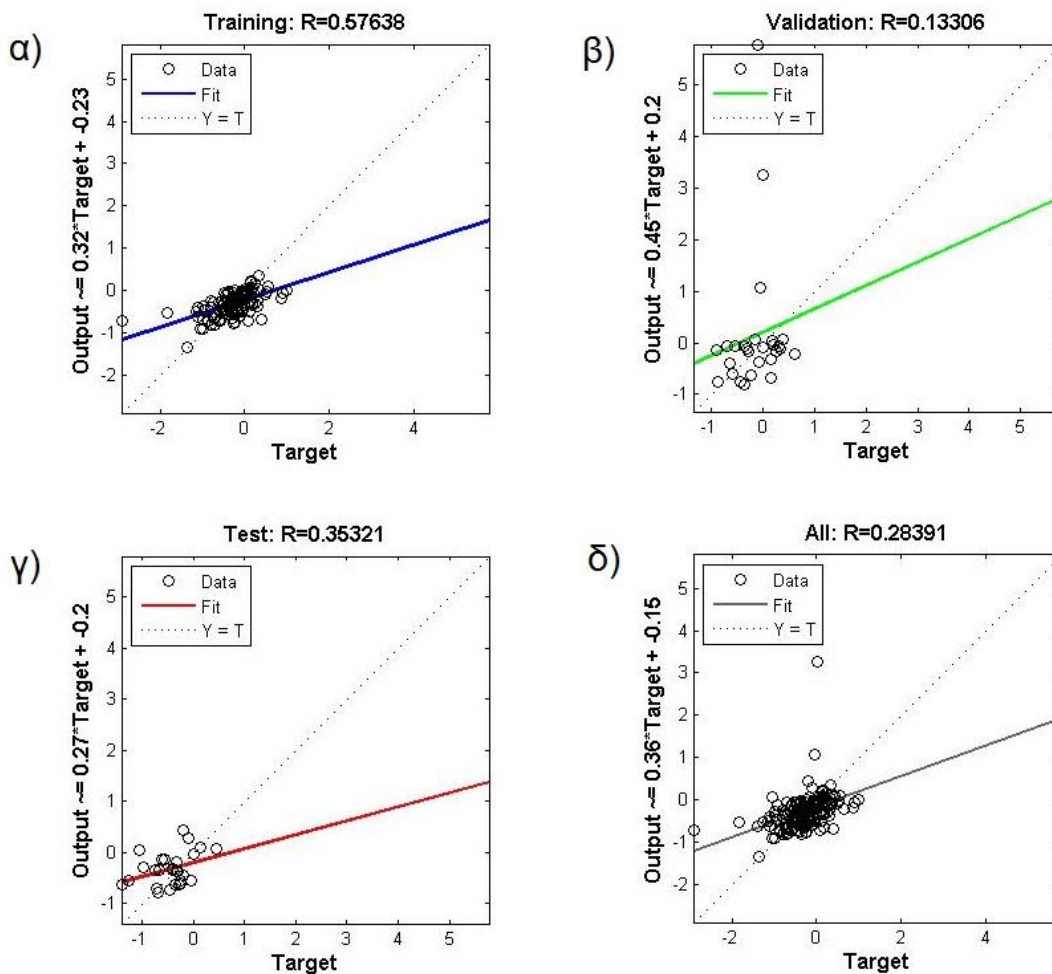
Στάδιο	R
Training	0,4924
Testing	0,1783

**Πίνακας 4.18:** Ο συντελεστής συσχέτισης R (A, P, T) Αργκάιλ

Τα αποτελέσματα στην περίπτωση αυτή τα αποτελέσματα δεν ήταν ικανοποιητικά το οποίο καθιστά το δίκτυο αναξιόπιστο.

➤ **Θερμοκρασία και Βροχόπτωση**

➤ **Σάλτον Σι – Η.Π.Α.**



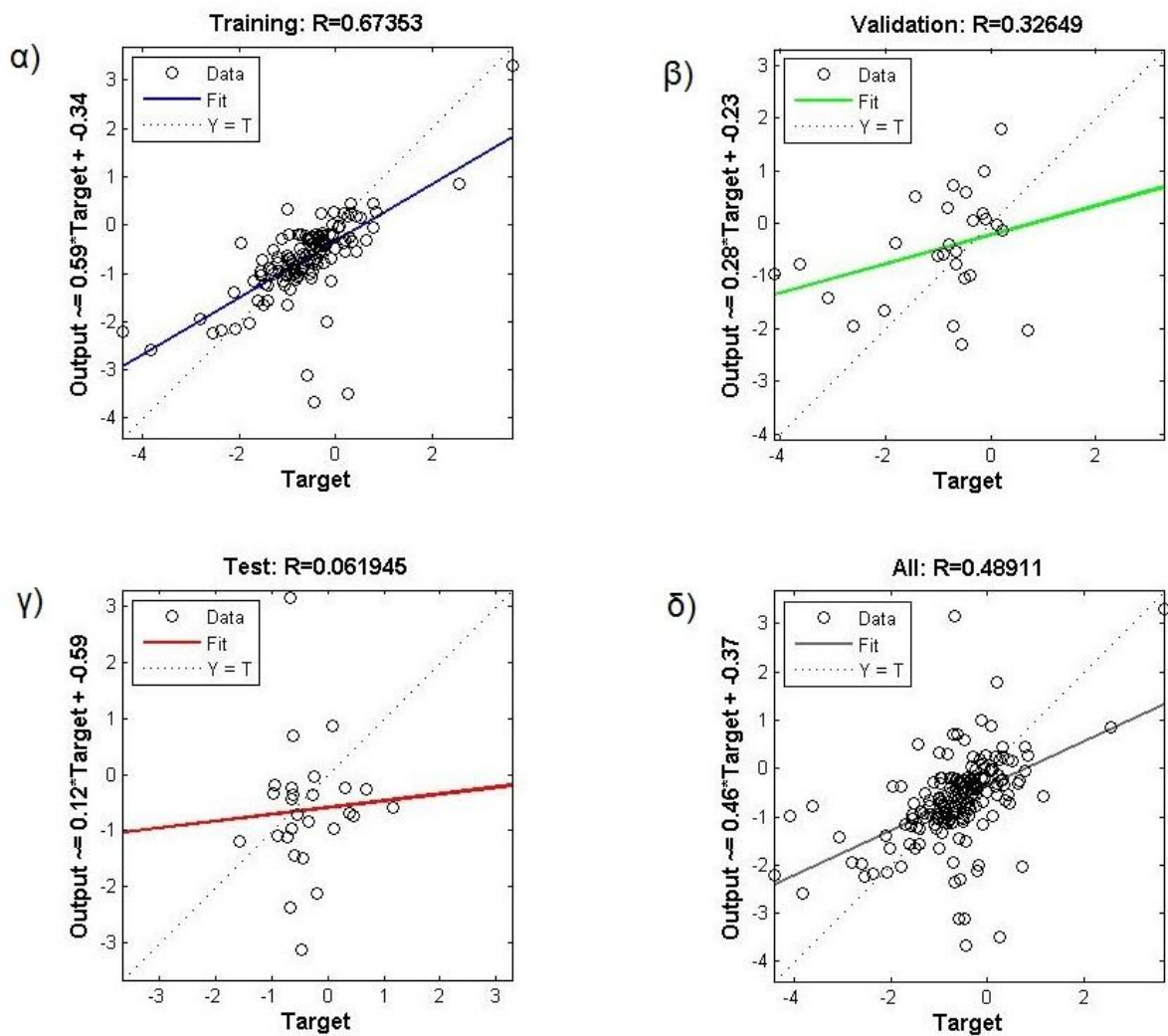
**Διάγραμμα 4.56:** Ο συντελεστής συσχέτισης R (P, T) Σάλτον Σι

Στάδιο	R
Training	0,2839
Testing	0,3219

**Πίνακας 4.19:** Ο συντελεστής συσχέτισης R (P, T) Σάλτον Σι

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του πίνακα 4.19 και του διαγράμματος 4.55 παράγεται το συμπέρασμα πως δεν μπορεί κάποιος να εμπιστευτεί ένα τέτοιο δίκτυο. Παρόλα αυτά είναι αξιοσημείωτο πως η συσχέτιση των τιμών που παράγονται από το στάδιο του training και των πραγματικών μετρήσεων χαρακτηρίζονται από μία αδύναμη συσχέτιση. Η αδυναμία του δικτύου έγκειται στις μικρές σε έκταση χρονοσειρές που χρησιμοποιούνται για την εκπαίδευση, γεγονός το οποίο δεν δίνει τη δυνατότητα στο παρόν δίκτυο να καταλάβει τον τρόπο υπολογισμού και να εξάγει αξιόπιστα αποτελέσματα.

➤ Γκαόγιου - Κίνα



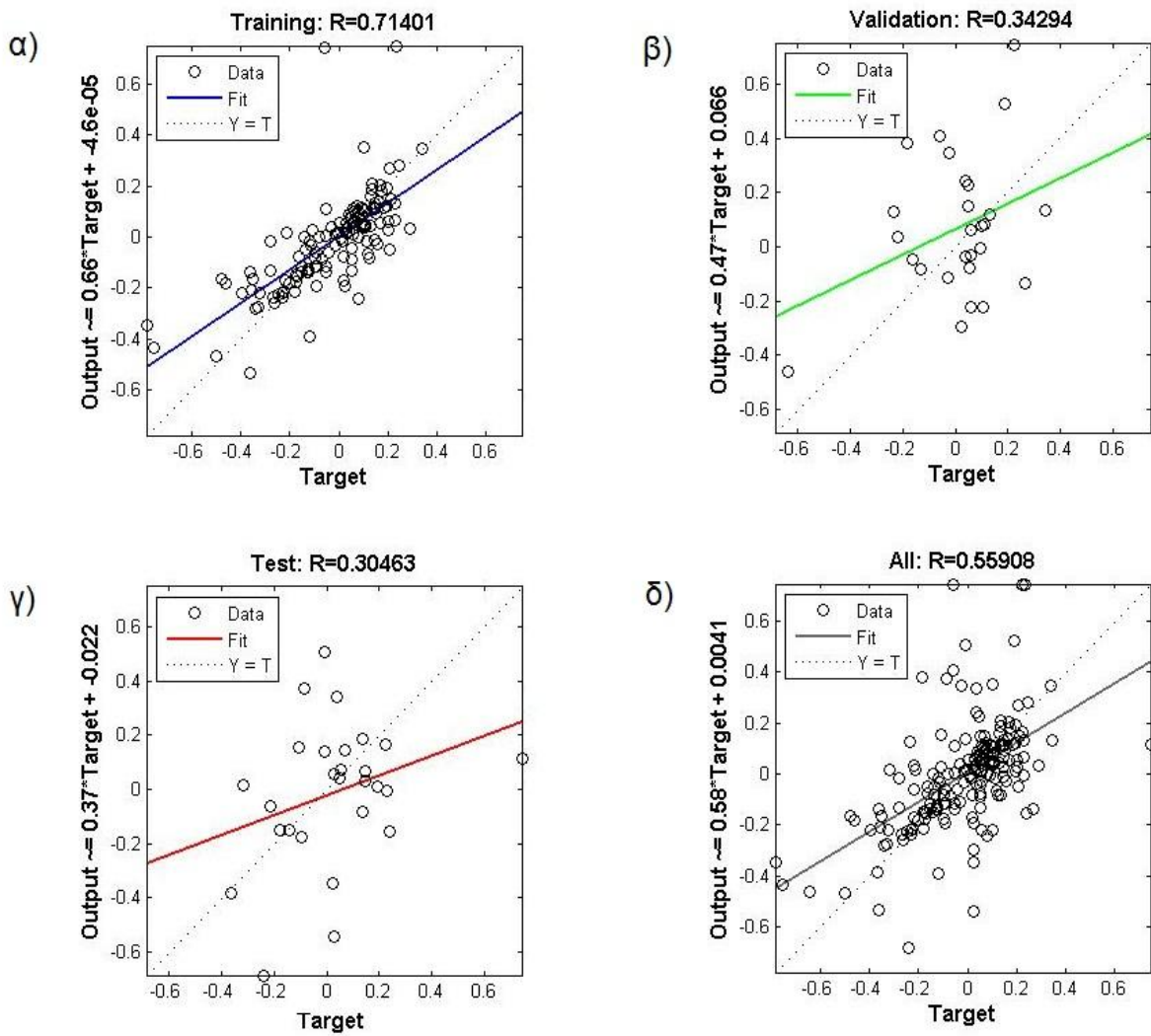
**Διάγραμμα 4.56:** Ο συντελεστής συσχέτισης R (P, T) Γκαόγιου

Στάδιο	R
Training	0,4891
Testing	0,2565

**Πίνακας 4.20:** Ο συντελεστής συσχέτισης R (P, T) Γκαόγιου

Τα αποτελέσματα και στη συγκεκριμένη λίμνη οδηγούν στο συμπέρασμα πως δεν μπορεί να γίνει χρήση του τεχνητού νευρωνικού δικτύου για τη διεξαγωγή προβλέψεων όμως διαπιστώνεται μία μέτρια συσχέτιση των αποτελεσμάτων σε σχέση με τα μετρημένα μεγέθη.

➤ **Αϊσέλμερ - Ολλανδία**



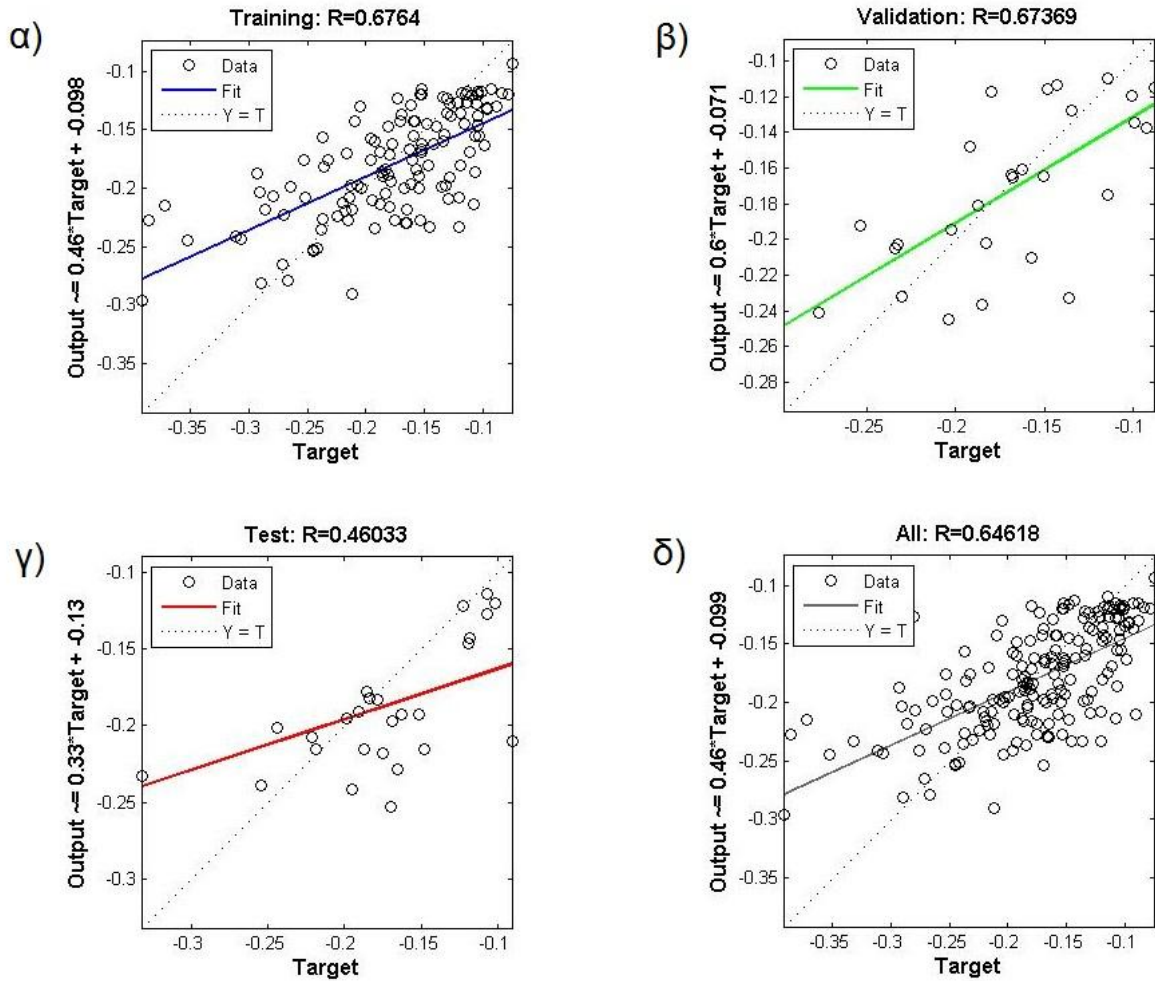
**Διάγραμμα 4.57:** Ο συντελεστής συσχέτισης R (P, T) Αϊσέλμερ

Στάδιο	R
Training	0,5591
Testing	0,2695

**Πίνακας 4.21:** Ο συντελεστής συσχέτισης R (P, T) Αϊσέλμερ

Το ίδιο που ισχύει για τη λίμνη Γκαόγιου διαπιστώνεται και για τη λίμνη Αϊσέλμερ.

➤ Σαν Ρόκε - Αργεντινή



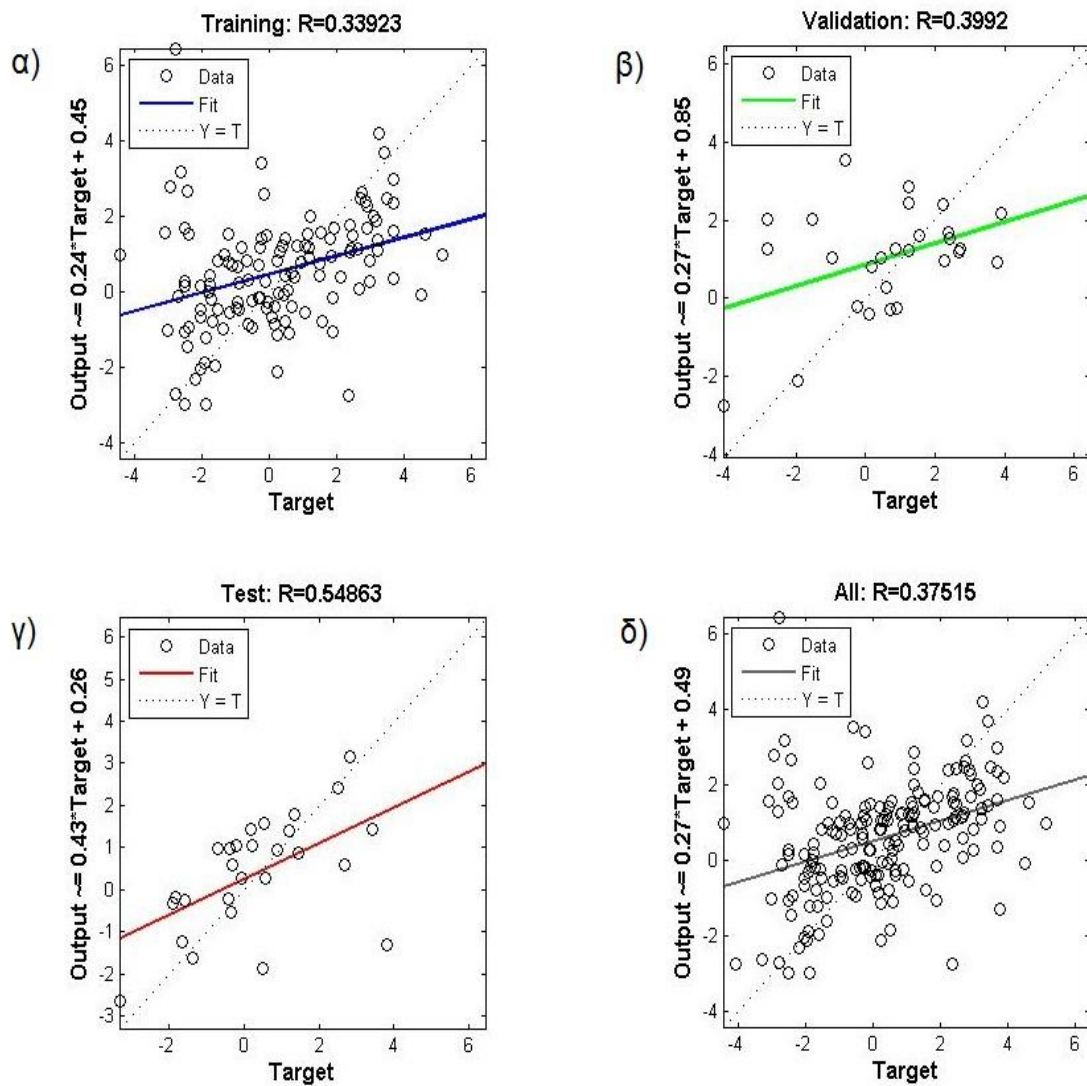
**Διάγραμμα 4.58:** Ο συντελεστής συσχέτισης R (P, T) Σαν Ρόκε

Στάδιο	R
Training	0,6418
Testing	0,5297

**Πίνακας 4.22:** Ο συντελεστής συσχέτισης R (P, T) Σαν Ρόκε

Στη λίμνη Σαν Ροκέ το τεχνητό νευρωνικό δίκτυο απέδωσε σχετικά ικανοποιητικά αποτελέσματα αφού όπως φαίνεται και στο αντίστοιχο διάγραμμα και στον αντίστοιχο πίνακα 4.22 υπάρχει μια σχετικά καλή συσχέτιση χωρίς αυτό να σημαίνει πως το δίκτυο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να βγάλει απολύτως αξιόπιστες προβλέψεις.

➤ **Βόλτα - Αφρική**



**Διάγραμμα 4.59:** Ο συντελεστής συσχέτισης R (P, T) Βόλτα

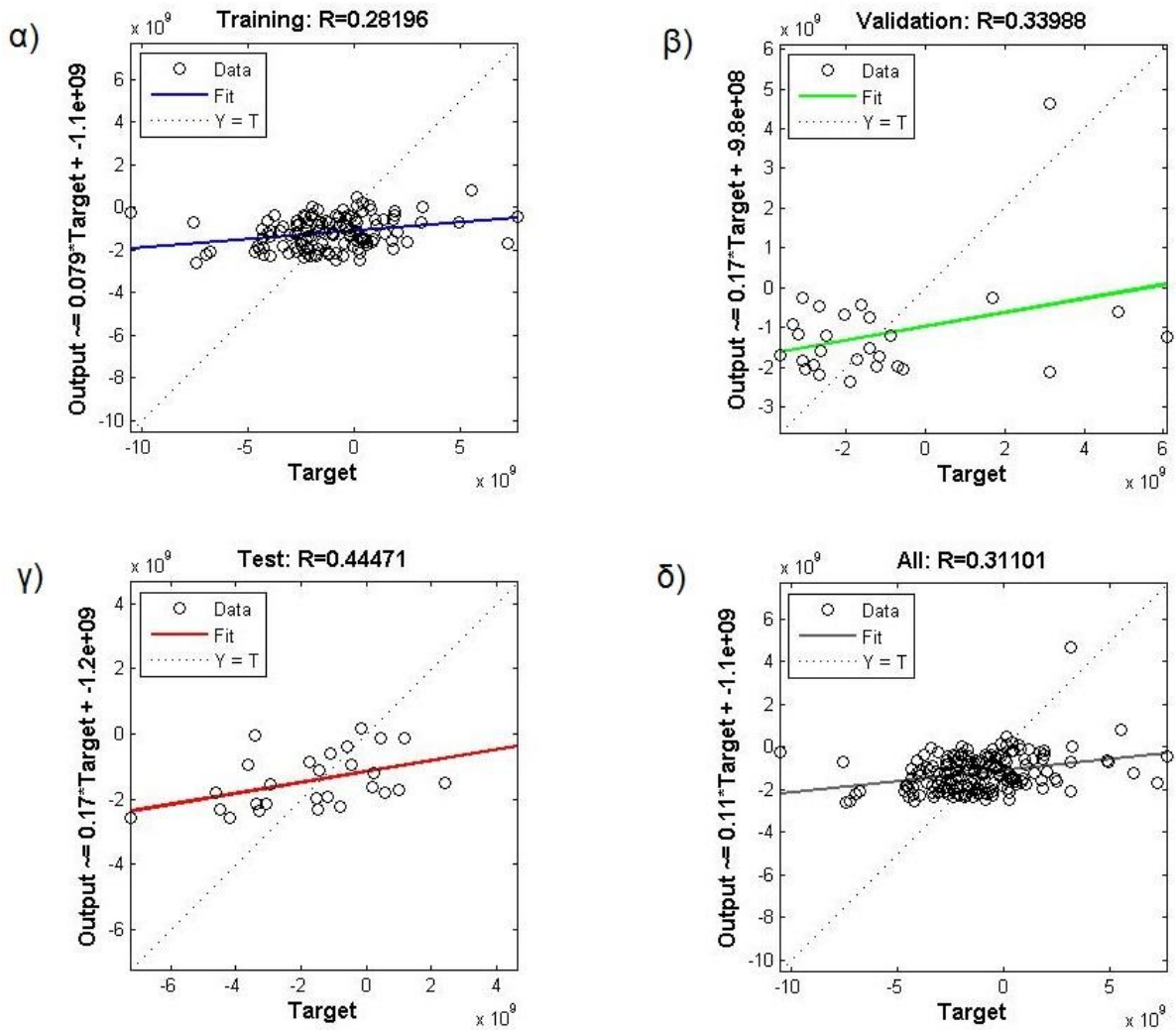
Στάδιο	R
Training	0,3752
Testing	0,1784

**Πίνακας 4.23:** Ο συντελεστής συσχέτισης R (P, T) Βόλτα

Στην περίπτωση της λίμνης Βόλτα τα αποτελέσματα δείχνουν, καθώς φαίνονται στο διάγραμμα 4.59 και στον πίνακα 4.23, πως υπάρχει μία αδύναμη συσχέτιση. Επίσης στην περαιτέρω επαλήθευση το αποτέλεσμα στο στάδιο της δοκιμής (testing, πίνακας 4.23) είναι πολύ πιο μικρό που υποδηλώνει την τυχαιότητα των αποτελεσμάτων.



➤ **Αργκάιλ - Αυστραλία**



**Διάγραμμα 4.60:** Ο συντελεστής συσχέτισης R (P,T) Αργκάιλ

**Πίνακας 4.24:** Ο συντελεστής συσχέτισης R (P, T) Αργκάιλ

Στάδιο	R
Training	0,3110
Testing	0,4298

Στην περίπτωση της λίμνης Αργκάιλ τα αποτελέσματα δείχνουν μία καλύτερη σχετικά συσχέτιση που σημαίνει πως τα αποτελέσματα δεν είναι εντελώς τυχαία.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5**

### **ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ**

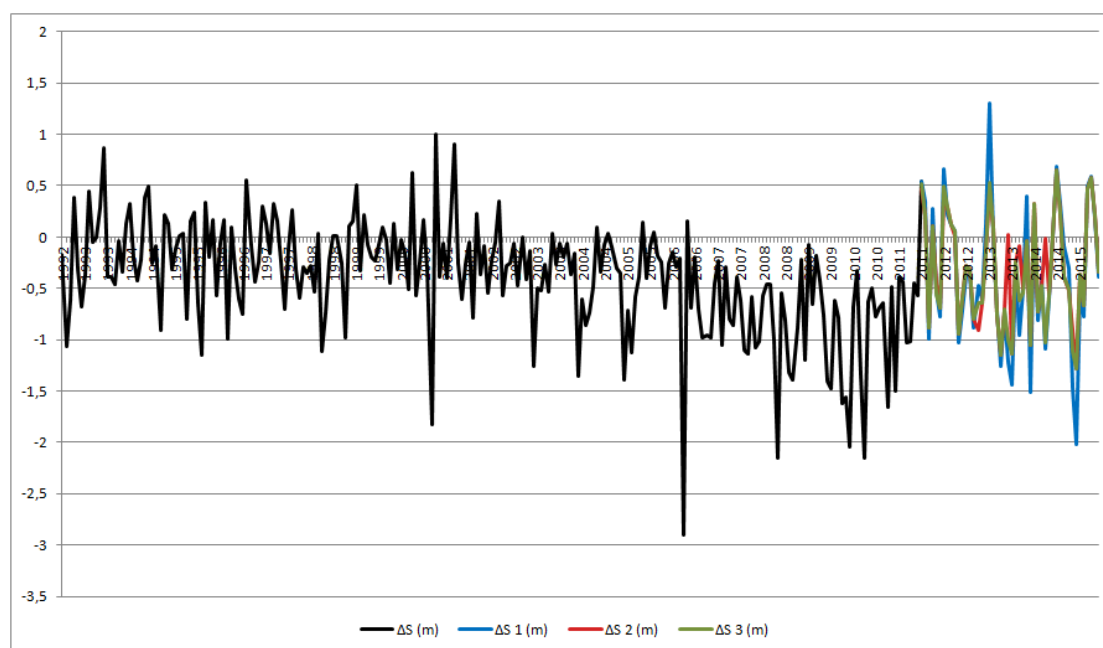


## 5. Ανάλυση Αποτελεσμάτων

### 5.1 Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής-Λίμνη Σάλτον Σι

Στην περιοχή της Καλιφόρνια, και πιο συγκεκριμένα στην περιοχή της κοιλάδας Ιμπιρίαλ και της λίμνης Σάλτον Σι, προβλέπεται αύξηση της θερμοκρασίας κατά 4°C και μείωση των βροχοπτώσεων κατά 20%. Η μείωση αυτή των βροχοπτώσεων αφορά το αθροιστικό μέγεθος και όχι τα μεμονωμένα γεγονότα, καθώς προβλέπεται αύξηση στη συχνότητα των ακραίων φαινομένων, τα οποία θα οδηγήσουν σε φαινόμενα πλημμύρας και σε φαινόμενα ξηρασίας, για το διάστημα όπου δεν θα υπάρχει ενίσχυση των εισαγόμενων υδάτων στην περιοχή (Slingo and Huhne, 2011).

Η διαφορά στη στάθμη για τη λίμνη Σάλτον Σι μειώνεται σημαντικά κατά το χρονικό διάστημα μελέτης (διάγραμμα 5.1) γεγονός που συμβαδίζει με τις ανησυχίες για την εξαφάνιση της λίμνης (κεφάλαιο 2). Η αύξηση της θερμοκρασίας της περιοχής, σε συνδυασμό με τη μείωση των βροχοπτώσεων και το γεγονός ότι οι εισροές στη λίμνη γίνονται μόνο από νερά που απορρέουν από τα τριγύρω εδάφη, προκαλούν έντονο πρόβλημα στην περιοχή μελέτης με κίνδυνο την εξαφάνιση του υπάρχοντος υγρότοπου. Άμεσες αποφάσεις είναι απαραίτητο να ληφθούν άμεσα με στόχο την ενίσχυση των υδάτων της λίμνης, δεδομένου ότι μια εξαφάνισή της από το χάρτη θα προκαλέσει σοβαρή αλλαγή στο μικροκλίμα της περιοχής.



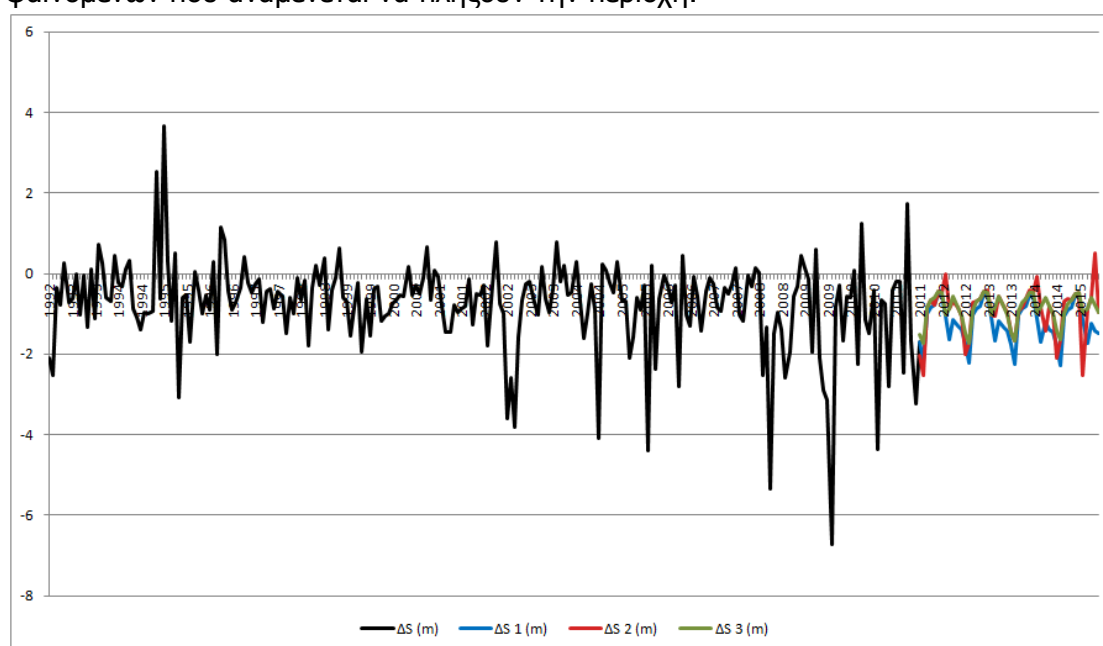
**Διάγραμμα 5.1:** Πορεία διαφοράς στάθμης (m/μήνα) ανά τα χρόνια για τη λίμνη Σάλτον Σι

Στο διάγραμμα 5.1 με μαύρη γραμμή παρουσιάζεται η πορεία της διαφοράς στάθμης μέχρι το υδρολογικό έτος 2010-2011, και με τα άλλα τρία χρώματα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των προβλέψεων και με τις τρεις διαδικασίες όπου η αντιστοιχία τους είναι ίδια με αυτήν του κεφαλαίου 4 σελίδα 82 (το ίδιο ισχύει για όλα τα διαγράμματα που παρουσιάζονται στο παρόν κεφάλαιο).

## 5.2 Κίνα-Λίμνη Γκαόγιου

Η Κίνα είναι από τις χώρες που αναμένεται να υποφέρει σε πολύ μεγάλο βαθμό από την κλιματική αλλαγή (www.ipcc.ch). Για την ευρύτερη περιοχή της λίμνης Γκαόγιου αναμένεται αύξηση της θερμοκρασίας από 3 έως 4oC, αύξηση της βροχόπτωσης κατά 20%, αύξηση των εκπομπών των αερίων των θερμοκηπίων και αύξηση των πλημμυρών, λόγω της αύξησης της μέσης στάθμης της θάλασσας. Η επίδραση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής εντείνεται και από τη χαμηλή οικονομική κατάσταση των κατοίκων, οι οποίοι δε θα είναι σε θέση να ανακάμψουν από τυχόν μετεωρολογικές καταστροφές που θα πλήξουν τις περιοχές εργασίας και διαβίωσης (Slingo and Huihne, 2011). Από την καμπύλη των δεδομένων της βροχόπτωσης (Διάγραμμα Π1, στο παράρτημα) είναι εμφανές ότι από το υδρολογικό έτος 2004-2005 και μετά τα επίπεδα της βροχόπτωσης έχουν ανέβει σε σχέση με πριν. Η απορροή του ταμιευτήρα παρουσιάζει τα τελευταία επτά υδρολογικά έτη πολύ πιο ακραίες μέγιστες και ελάχιστες τιμές από ότι για τον υπόλοιπο χρονικό ορίζοντα μελέτης.

Για τη διαφορά της στάθμης της λίμνης Γκαόγιου, παρατηρείται σταδιακή μείωση κατά τα υδρολογικά έτη 1992-2011, η οποία συνεχίζεται από τις προβλέψεις των νευρωνικών δικτύων και για τα επόμενα τέσσερα υδρολογικά έτη. Το μελλοντικό αυτό σενάριο των παραγόμενων προβλέψεων ακολουθεί τα διεθνή σενάρια που θέλουν την περιοχή να πάσχει από έλλειψη γλυκού νερού. Αυτό οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στην αύξηση της μέσης στάθμης της θάλασσας, η οποία είναι και σε επικοινωνία με τη λίμνη Γκαόγιου (διάγραμμα 5.2). Είναι πολύ σημαντικό, ειδικά για την ευρύτερη περιοχή της λίμνης αυτής, να παρθούν αρκετά άμεσα αποφάσεις και να ληφθούν τα απαραίτητα μέτρα μετρίασης των επιπτώσεων που προαναφέρθηκαν. Η Κίνα, και ιδιαίτερα οι κάτοικοι της συγκεκριμένης περιοχής, απειλούνται σε πολύ μεγάλο βαθμό από τον κίνδυνο των περιβαλλοντικών προσφύγων, λόγω των ακραίων φαινομένων που αναμένεται να πλήξουν την περιοχή.

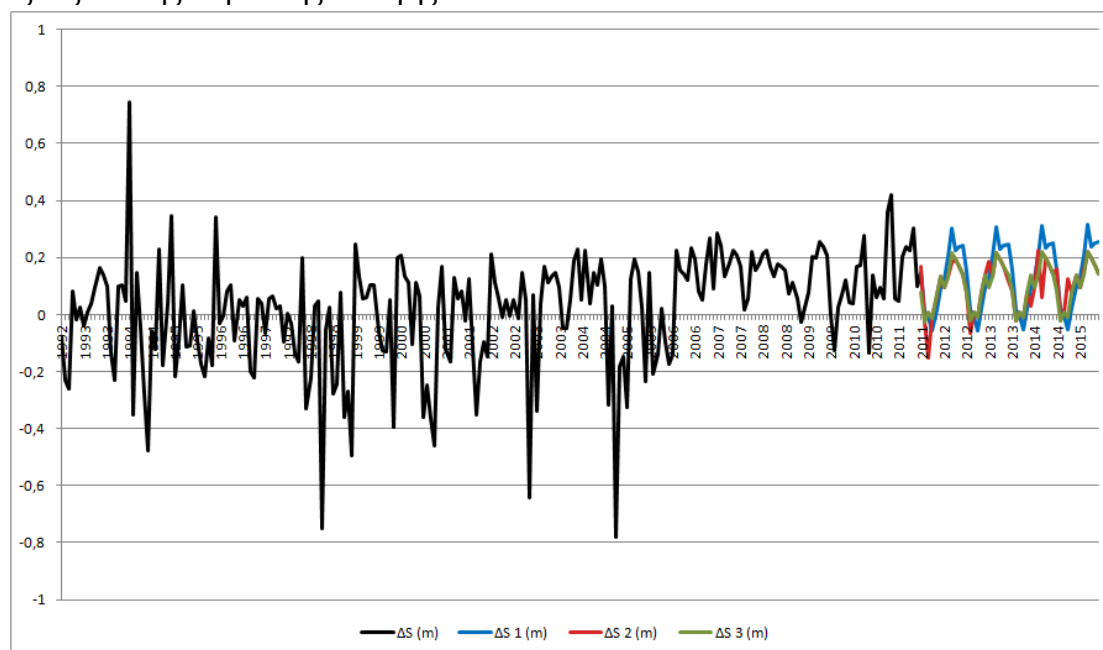


**Διάγραμμα 5.2:** Πορεία διαφοράς στάθμης (m/μήνα) ανά τα χρόνια για τη λίμνη Γκαόγιου

### 5.3 Ολλανδία-Λίμνη Αϊσέλμερ

Τα μελλοντικά σενάρια προβλέπουν ότι η θερμοκρασία θα ανέβει στην Ολλανδία, ενώ αύξηση παρατηρείται και στη στάθμη της θάλασσας στην περιοχή της λίμνης Αϊσέλμερ. Οι απορροές αναμένεται να αυξηθούν κατά τους χειμερινούς μήνες και να μειωθούν κατά τους θερινούς. Ως εξαιρετικά ζεστοί και υγροί προβλέπεται να εξελιχθούν οι θερινοί μήνες. Τέλος, από τα διεθνή βιβλιογραφικά σενάρια προβλέπεται μεγάλη αύξηση των βροχοπτώσεων και κυρίως των ακραίων φαινομένων βροχής για την Ολλανδία μέσα στον επόμενο αιώνα (Bresser et al., 2005).

Η διαφορά της στάθμης του ταμιευτήρα, αν και εμφανίζεται με αρκετά ανώμαλη καμπύλη για το χρονικό ορίζοντα μελέτης, είναι εμφανές ότι τα τελευταία πέντε υδρολογικά έτη κινείται σε πολύ υψηλότερα επίπεδα τιμών, με μικρότερες εποχιακές διακυμάνσεις (διάγραμμα 5.3). Σύμφωνα με τις προβλέψεις των τεχνητών νευρωνικών δικτύων φαίνεται να συνεχίζεται αυτή η ανοδική πορεία της διαφοράς στάθμης. Η λίμνη, δημιουργήθηκε με την κατασκευή φράγματος στη θάλασσα της Βόρειας Ολλανδίας και υφαλμύριση των υδάτων της. Ενδεχόμενη αύξηση της μέσης στάθμης της θάλασσας αλλά και των υδάτων της λίμνης, μπορεί να φέρει τα δύο αυτά υδάτινα σώματα σε επαφή και να συμβάλλει στην υφαλμύριση των υδάτων της λίμνης, κάτι που θα αποβεί καταστροφικό τόσο για την άρδευση όσο και για την οικιακή χρήση των γύρω περιοχών. Επιπλέον, οικισμοί και αγροτικές καλλιέργειες των περιοχών γύρω από τη λίμνη ενδέχεται να πλημμυρίσουν, όπως επίσης, και να διαλυθεί η υδατική ισορροπία με άλλα υδάτινα σώματα της περιοχής (λίμνη Μαρκέμερ). Ακριβώς επειδή η Ολλανδία ως χώρα επηρεάζεται σε μέγιστο βαθμό από την τήξη των πάγων, είναι απαραίτητο να ληφθούν άμεσα τα μέτρα για την αντιμετώπιση των προαναφερθέντων κινδύνων, δεδομένης της αστάθειας των εξελίξεων της κλιματικής αλλαγής.

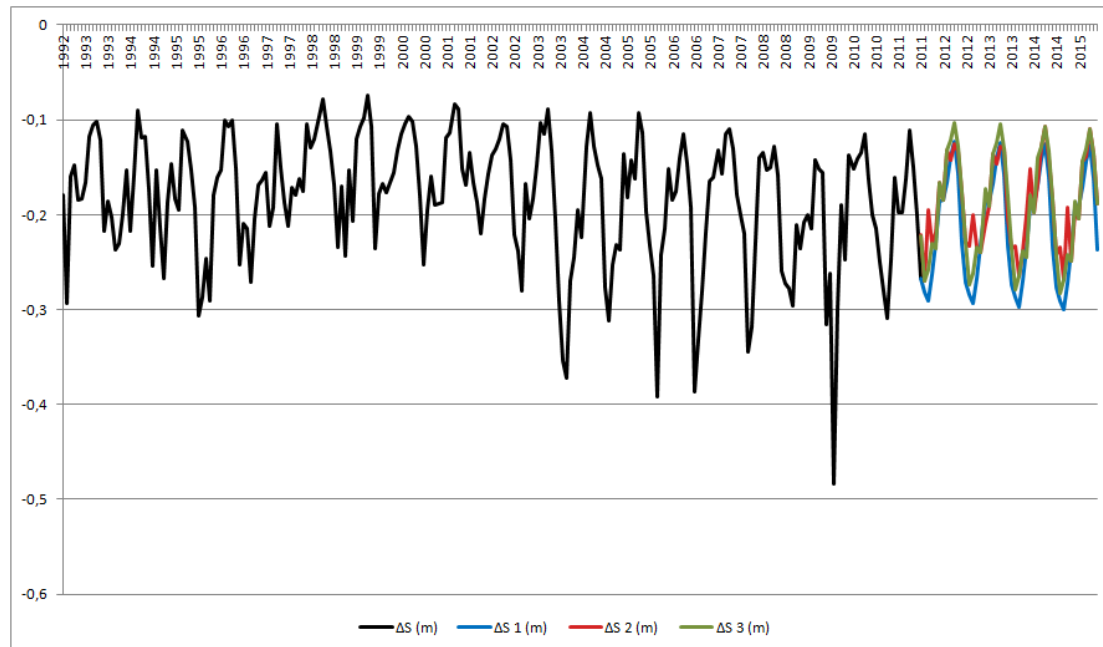


Διάγραμμα 5.3: Πορεία διαφοράς στάθμης (m/μήνα) ανά τα χρόνια για τη λίμνη Αϊσέλμερ

## 5.4 Αργεντινή-Λίμνη Σαν Ρόκε

Από τα διάφορα σενάρια που έχουν αναπτυχθεί για την κλιματική αλλαγή προκύπτει ότι στην περιοχή της Κόρδομπα της Αργεντινής αναμένεται αύξηση της θερμοκρασίας από 2 έως 4οC, αλλά και αύξηση του φαινομένου των βροχοπτώσεων κατά 20%. Το πρόβλημα με την αύξηση αναμένεται να ενισχύσει την αθροιστική της τιμή από ακραία φαινόμενα και μόνο, γεγονός που θα επιφέρει στην περιοχή περιόδους με έντονη ξηρασία και περιόδους με έντονες πλημμύρες. Η άνιση αυτή κατανομή της βροχόπτωσης μπορεί να προκαλέσει σημαντικά προβλήματα στην ομαλή διαβίωση των κατοίκων της περιοχής (Slingo and Huhne, 2011).

Η διαφορά στη στάθμη του ταμιευτήρα έχει καθοδική πορεία, όπως φαίνεται και από την καμπύλη του ορίζοντα μελέτης, ειδικά για τα τελευταία οκτώ υδρολογικά έτη(διάγραμμα 5.4). Ανησυχητικό είναι ότι εμφανίζονται όλο και πιο ακραίες ελάχιστες τιμές στη διαφορά της στάθμης. Τα νευρωνικά δίκτυα παρουσιάζουν την πορεία της στάθμης να συνεχίζει την καθοδική της τάση, με πιο ήπιο ρυθμό. Με βάση τόσο τα εθνικά σενάρια της κλιματικής αλλαγής για την περιοχή (www.ipcc.ch), όσο και αντίστοιχες μελέτες που έχουν γίνει για τη συγκεκριμένη περιοχή μελέτης (Vicario L., 2008), ο κίνδυνος της ξηρασίας στην περιοχή αυτή είναι αρκετά μεγάλος. Επομένως, είναι απαραίτητο να ληφθούν άμεσα τα κατάλληλα μέτρα ενίσχυσης της απορροής στη λίμνη γιατί τα προσεχή έτη αναμένεται να παρουσιαστούν προβλήματα λιψυδρίας στην περιοχή (Slingo et al., 2011).

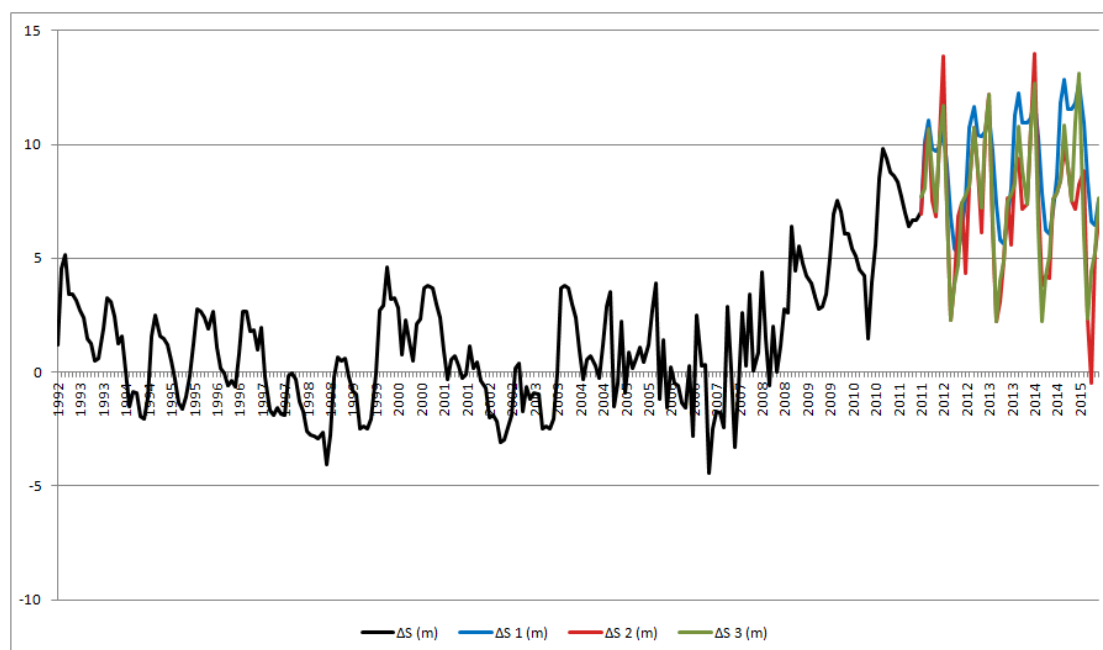


**Διάγραμμα 5.4:** Πορεία διαφοράς στάθμης (m/μήνα) ανά τα χρόνια για τη λίμνη Σαν Ροκέ

## 5.5 Αφρική-Λίμνη Βόλτα

Στη Γκάνα της Αφρικής, και συγκεκριμένα στην περιοχή της λίμνης Βόλτα, έχει προβλεφθεί από τις υπηρεσίες με βάση τις ως τώρα τάσεις της κλιματικής αλλαγής, αύξηση στις ώρες ηλιοφάνειας, αύξηση στη θερμοκρασία κατά 1oC, και πιθανή αύξηση στην εξάτμιση και την εξατμισοδιαπνοή. Παρά το γεγονός ότι η βροχόπτωση της περιοχής θεωρείται αρκετά απρόβλεπτη, έχει παρατηρηθεί αύξησή της για το μήνα Αύγουστο, φαινόμενο το οποίο και αναμένεται να συνεχιστεί στα μελλοντικά έτη (McSweeney et al., 2010).

Τα νευρωνικό δίκτυο που αναπτύχθηκε προβλέπει την αύξηση της διαφοράς στάθμης της λίμνης (διάγραμμα 5.5). Τα προβλήματα των πλημμυρών τείνουν να έχουν εντονότερες επιπτώσεις στις υπό ανάπτυξη περιοχές για τους κατοίκους, γεγονός που θα έπρεπε να αφυπνίσει τις κυβερνήσεις να λάβουν άμεσα τις απαραίτητες αποφάσεις για την αποφυγή των δραματικών επιπτώσεων που θα μπορούσαν να συμβούν υπό αυτές τις συνθήκες.



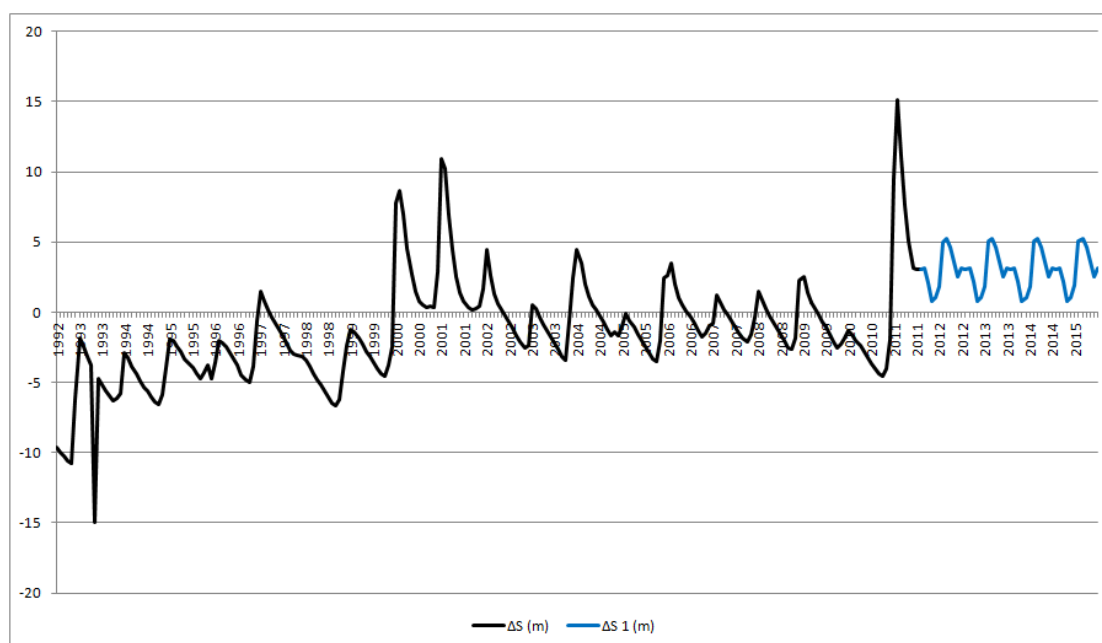
**Διάγραμμα 5.5:** Πορεία διαφοράς στάθμης (m/μήνα) ανά τα χρόνια για τη λίμνη Βόλτα



## 5.6 Αυστραλία-Λίμνη Αργκάιλ

Για την περιοχή της λίμνης Αργκάιλ στην Αυστραλία προβλέπεται από τα παγκόσμια σενάρια της κλιματικής αλλαγής ([www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch)) σημαντική αύξηση της ζέστης και μείωση των βροχοπτώσεων της τάξης του 5%. Επίσης, προβλέπεται αύξηση των ακραίων φαινομένων, δηλαδή της αύξησης της συχνότητας των έντονων περιόδων ξηρασίας και πλημμυρών (Slingo and Huhne, 2011).

Η διαφορά στον όγκο και τη στάθμη της λίμνης Αργκάιλ παρουσιάζει μια αύξηση κατά τα τελευταία χρόνια της περιόδου μελέτης (διάγραμμα 5.6). από τις τρεις διαδικασίες που πραγματοποιήθηκαν μόνο μια έδινε αποτέλεσμα αξιόπιστο ενώ οι άλλες κρίθηκαν ακατάλληλες για χρήση ως εργαλείο πρόβλεψης. Αυτό συνεπάγεται αύξηση του κινδύνου των πλημμυρών, δεδομένου ότι η προβλεπόμενη στάθμη κινείται σε αρκετά υψηλότερα επίπεδα από τα συνηθισμένα. Μία τέτοια πρόβλεψη θα έπρεπε να αφυπνίσει τα όργανα λήψης αποφάσεων της περιοχής ώστε να ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα για την ενίσχυση του υπάρχοντος φράγματος και για μια πιθανή εκκένωση των τριγύρω κατοικημένων περιοχών εγκαίρως, και να αποφευχθεί η απότομη εγκατάλειψη των περιοχών και η εμφάνιση περιβαλλοντικών προσφύγων.



**Διάγραμμα 5.6:** Πορεία διαφοράς στάθμης (m/μήνα) ανά τα χρόνια για τη λίμνη Αργκάιλ

## 5.7 Ανάλυση Αποτελεσμάτων Εκπαίδευσης ΤΝΔ

Κατά τη διαδικασία εκπαίδευσης αναπτύχθηκαν ΤΝΔ που εκπαιδεύτηκαν με διαφορετικές χρονοσειρές κάθε φορά. Τα αποτελέσματα δεν ήταν τα ίδια για όλες τις λίμνες. Κάθε λίμνη αντέδρασε διαφορετικά στα διάφορα ΤΝΔ που αναπτύχθηκαν. Η γενική εντύπωση που δόθηκε ήταν πως όσο μειώνονταν οι μεταβλητές που τέθηκαν ως στοιχεία εισαγωγής στα δίκτυα η αξιοπιστία των ΤΝΔ μειωνόταν.

Οι λίμνες Σάλτον Σι και Βόλτα είχαν καλή συμπεριφορά όσον αφορά τις δύο πρώτες προσπάθειες (εκπαίδευση με πλήρεις και με ελλιπείς χρονοσειρές). Στην περίπτωση που αντικαταστάθηκαν η εξάτμιση και εξατμισοδιαπνοή με τη μέση μηνιαία θερμοκρασία παρουσιάζουν μέτριο βαθμό αξιοπιστίας χωρίς αυτό να σημαίνει πως το συγκεκριμένο δίκτυο είναι ασφαλές να χρησιμοποιηθεί. Τέλος στην περίπτωση της εκπαίδευσης του ΤΝΔ με την επιπλέον απουσία της απορροής το αποτέλεσμα χαρακτηρίζονται από πολύ αδύναμη συσχέτιση γεγονός που καθιστά το δίκτυο αναξιόπιστο.

Όσον αφορά τις λίμνες Γκαόγιου, Αϊσέλμερ και Σαν Ρόκε όπως και στην περίπτωση της λίμνης Σάλτον Σι στις δύο πρώτες περιπτώσεις τα αποτελέσματα της εκπαίδευσης ήταν επαρκή για να κριθούν τα αντίστοιχα νευρωνικά δίκτυα αξιόπιστα για χρήση προβλέψεων. Στις εν λόγω λίμνες το ΤΝΔ που εκπαιδεύτηκε με την αντικατάσταση εξάτμισης και εξατμισοδιαπνοής με τη μέση μηνιαία θερμοκρασία είχε αρκετά καλά αποτελέσματα που οδηγούν στο συμπέρασμα πως το συγκεκριμένο ΤΝΔ είναι αρκετά αξιόπιστο όσον αφορά στη χρήση για πρόβλεψη. Αυτό συμβαίνει επειδή τα συγκεκριμένα δεδομένα συνδυάζονται καλύτερα σε σχέση με τις άλλες λίμνες. Τέλος στην περίπτωση που το δίκτυο εκπαιδεύτηκε μόνο με βροχόπτωση και θερμοκρασία, ενώ το συμπέρασμα που πηγάζει είναι πως το δίκτυο δεν είναι αξιόπιστο για χρήση, το αποτέλεσμα δείχνει πως υπάρχει μία μέτρια συσχέτιση με των μετρημένων τιμών με τις παραγόμενες από το δίκτυο.

Τέλος στην περίπτωση της λίμνης Αργκάιλ καλά αποτελέσματα είχε μόνο στην εκπαίδευση του ΤΝΔ με πλήρη δεδομένα. Στην περίπτωση με των ελλিপών δεδομένων τα αποτελέσματα χαρακτηρίζονται από πλήρη τυχαιότητα γεγονός που σηματοδοτεί την αναξιόπιστία του εν λόγω ΤΝΔ. Στις άλλες δύο περιπτώσεις αν και υπάρχει μία αδύναμη συσχέτιση τα εκπαιδευμένα δίκτυα κρίνονται επίσης αναξιόπιστα όσον αφορά τη χρήση τους για πρόβλεψη.



## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6**

### **ΣΥΖΗΤΗΣΗ**



## 6. Συζήτηση

Στην παρούσα διπλωματική εργασία σκοπός είναι να γίνει πρόβλεψη μέσω των νευρωνικών δικτύων. Η εφαρμογή τους στον τομέα της υδρολογίας είναι σχετικά καινούρια. Τα νευρωνικά δίκτυα δημιουργήθηκαν με σκοπό την επίλυση πολύπλοκων προβλημάτων. Ένας από τους σκοπούς είναι να εξαχθεί αποτέλεσμα μεγάλης αξιοπιστίας και ακρίβειας με τις λιγότερες δυνατές ενέργειες σε ότι αφορά στη συλλογή δεδομένων. Ένα πρόβλημα πολύπλοκο αποτελεί και το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής. Η πολυπλοκότητα του εν λόγω προβλήματος έγκειται στη δυσκολία ανάκτησης όλων των απαιτούμενων δεδομένων ώστε να συνδυαστούν για τη διεξαγωγή αποτελέσματος. Οι δυσκολίες αυτές αφορούν είτε την ανεπάρκεια σε όργανα μέτρησης είτε τη δύσκολη προσβασιμότητα σε περιοχές ενδιαφέροντος είτε ακόμα και στο κόστος εξοπλισμού και της διαδικασίας καταγραφής των δεδομένων.

Η αξιοπιστία των τεχνητών νευρωνικών δικτύων και η καταλληλότητα χρήσης τους εξαρτάται από τα αποτελέσματα της διαδικασίας εκπαίδευσης. Για να χρησιμοποιηθεί ένα νευρωνικό δίκτυο, όπως στην προκείμενη περίπτωση, για την παραγωγή πρόβλεψης θα πρέπει να υπάρχουν και τα κατάλληλα δεδομένα που θα χρησιμοποιηθούν ως στοιχεία εισόδου στο δίκτυο. Οπότε η ακρίβεια των αποτελεσμάτων εξαρτάται από τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται τόσο στη διαδικασία της εκπαίδευσης ενός τεχνητού νευρωνικού δικτύου όσο και μετέπειτα στη χρήση του για την παραγωγή αποτελέσματος πρόβλεψης.

Η πρώτη προσέγγιση του προβλήματος με τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα απετέλεσε μία απλή διαδικασία. Δηλαδή όλη η διαδικασία ήταν βασισμένη σε μία μαθηματική εξίσωση την οποία κατά τη διάρκεια της εκπαίδευσης το νευρωνικό δίκτυο αντιλαμβανόταν εύκολα οπότε εξήγαγε αποτέλεσμα με μεγάλη ακρίβεια και ευκολία. Στη συνέχεια για να βγουν συμπεράσματα για το τι απόκριση θα έχει ένα νευρωνικό δίκτυο, έγινε προσπάθεια εξαγωγής αξιόπιστων προβλέψεων με χρήση ελλειπών δεδομένων. Όπως διαπιστώθηκε τα αποτελέσματα ήταν αρκετά ικανοποιητικά για όλες τις λίμνες εκτός από τη λίμνη Αργκάιλ της Αυστραλίας όπου οι προβλεψεις του τεχνητού νευρωνικού δικτύου χαρακτηρίζονταν από τυχαιότητα.

Τέλος έγινε μία προσπάθεια για τη δημιουργία τεχνητών νευρωνικών δικτύων για να εκπαιδευτούν με λιγότερα στοιχεία εισόδου. Δηλαδή αντί για 5 στοιχεία (4 εισοδοί και 1 έξοδος) χρησιμοποιήθηκαν τη μία φορά 4 (3 εισοδοί και 1 έξοδος) και την άλλη 3 (2 εισοδοί και 1 έξοδος). Η προσπάθεια αυτή έγινε για να διαπιστωθεί εάν τα νευρωνικά δίκτυα μπορούν με λιγότερα δεδομένα εισόδου να δώσουν το επιθυμητό αποτέλεσμα. Η αξία αυτής της προσέγγισης έγκειται στην ταχύτητα και στην ευκολία εξαγωγής αποτελέσματος. Πολλές φορές για τη χρήση περισσότερων στοιχείων απαιτούνται περισσότερες και ίσως πιο πολύπλοκες ενέργειες για την ανάκτηση τους. Στην πρώτη περίπτωση αντί για εξάτμιση και εξατμισοδιαπνοή χρησιμοποιήθηκε η μέση μηνιαία θερμοκρασία η οποία σχετίζεται με αυτά. Στην δεύτερη περίπτωση δεν χρησιμοποιήθηκε ούτε η απορροή στοιχείο το οποίο για να ανακτηθεί απαιτείται χρονοβόρα και δύσκολη διαδικασία. Τα αποτελέσματα δεν ήταν αρκετά

ικανοποιητικά. Αυτό οφείλεται και στο γεγονός πως οι χρονοσειρές που χρησιμοποιήθηκαν ήταν μικρές με αποτέλεσμα το νευρωνικό δίκτυο να μην έχει καλή απόκριση. Είναι δύσκολο για ένα τεχνητό νευρωνικό δίκτυο να εκπαιδευτεί με μικρές χρονοσειρές ειδικά στην περίπτωση που τα στοιχεία που χρησιμοποιούνται είναι απρόβλεπτα και χαρακτηρίζονται από έντονες διακυμάνσεις. Παρόλη τη δυσκολία αξιοσημείωτο είναι πως τα αποτελέσματα της εκπαίδευσης αυτής δεν χαρακτηρίζονταν από πλήρη τυχαιότητα.

Το συμπέρασμα που πηγάζει από το σύνολο της διαδικασίας είναι πως τα νευρωνικά δίκτυα μπορούν να αποτελέσουν ένα αξιόπιστο και εύχρηστο εργαλείο προβλέψεων ακόμα και για αρκετά πολύπλοκα ζητήματα. Αυτό που είναι κρίνεται σημαντικό είναι να υπάρχει επαρκής αριθμός χρονοσειρών και αυτές με τη σειρά τους να έχουν καλή ακρίβεια.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**





## **Βιβλία – Άρθρα - Δημοσιεύσεις:**

### **Ελληνική Βιβλιογραφία:**

Ζομπανάκη Κ., 2012, *Χρήση Μοντέλων Πρόβλεψης για τη Μελέτη της Επίδρασης του Φαινομένου της Κλιματικής Αλλαγής σε Τεχνητές Λίμνες ανά τον Κόσμο*, Διπλωματική Εργασία, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, ΕΜΠ

Μελάς Δ., Ασωνίτης Γ., Αμοιρίδης Β., 2000, *Κλιματική Αλλαγή*, Οδηγός Εκπαιδευτικών, Υπουργείο Παιδείας και Θρησκευμάτων, εκδόσεις Αθηνά

Πετρόπουλος Φ., Ασημακόπουλος Β., 2011, *Επιχειρησιακές Προβλέψεις*, Εκδόσεις Συμμετρία

Σταθοπούλου Δ., 2010, *Σύγκριση Μεθόδων Εκπαίδευσης Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων*, Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Μαθηματικών, Σχολή Θετικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Πάτρας

### **Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία:**

Aleksander I., 1990, *An Introduction to Neural Computing*, the University of Michigan

Altunkaynak A., Şen Z., 2006, *Fuzzy logic model of lake water level fluctuations in Lake Van, Turkey*, International Journal of Farming and Allied Sciences, Volume 90, Issue 3-4, pp 227-233

Amit J., 1991, *Quantitative study of attractor neural network retrieving at low spike rates: I. substrate spikes, rates and neuronal gain*, Racah Institute of Physics, Hebrew University, Jerusalem, Israel, Vol. 2, Pages 259-273

Bodansky D., 2012, *The Durban Platform: Issues and Options for a 2015 agreement*, Sandra Day O'Connor College of Law Arizona State University

Bresser A., Berk M., Van den Born G., Van Bree L., Witmer M., 2005, *The Effects of Climatic Change in the Netherlands*, Netherlands Environmental Assessment Agency

Callan A., Rieko K., Masaki S., 1999, *Learning-induced neural plasticity associated with improved identification performance after training of a difficult second-language phonetic contrast*, NeuroImage, Volume 19, Issue 1, May 2003, Pages 113–124

Chair, Climate change 2000: mitigation: contribution of Working Group III to the third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change

Gardiner S., 2004, *Ethics and Global Climate Change*, University of Chicago, Ethics 114, pp.555-600

Golden R., 1996, *Mathematical Methods for Neural Network Analysis and Design*, MIT Press

Govindaraju R., Zhang B., 2000, *Prediction of watershed runoff using Bayesian concepts and modular neural networks*, Modelling and Simulation in Engineering, Volume 36, Issue 3, pages 753–762

Grimaldi S., Kao S-C., Castellarin A., Papalexiou S-M., Viglione A., Laio F., Aksoy H., Gedikli A., 2011, *Statistical Hydrology*, Elsevier B.V.

Hansen, J., Sato Mki., Ruedy R., Lo K., Lea D.W., Medina-Elizade M., 2006, *Global temperature change*, Proc. Natl. Acad. Sci.,103, 14288-14293

Haykin S., 1994, *Neural Networks: A Comprehensive Foundation*, Internat. Thomson Computer Press, 1995 - Computers - 284 pages

Hecht-Nielsen R., 1990, *On the Geometry of Feedforward Neural Network Error Surfaces*, MIT press Journals, Vol. 5, No. 6, Pages 910-927

Hopfield J., 1985, "Neural" computation of decisions in optimization problems, Biological Cybernetics, Volume 52, Issue 3, pp 141-152

Hughes T. P., A. H. Baird, D. R. Bellwood, M. Card, S. R. Connolly, C. Folke, R. Grosberg, O. Hoegh-Guldberg, J. B. C. Jackson, J. Kleypas, J. M. Lough, P. Marshall, M. Nyström, S. R. Palumbi, J. M. Pandolfi, B. Rosen, J. Roughgarden, 2003, *Climate Change, Human Impacts, and the Resilience of Coral Reefs*

Houghton J.T., Ding Y., Griggs D.J., Noguera M., Van der Linden P.J., Dai X., Maskell K., Johnson C.A., 2001, *Climate Change 2001: The Scientific Basis*, Cambridge University Press

Houghton J. T., 1997, *Global Warming: The Complete Briefing*, Cambridge University Press, pp.251

Huntington T. G., 2005, *Evidence for Intensification of the Global Water Cycle: Review and Synthesis*, Journal of Hydrology., 319: pp. 83-95

Kennedy C., 2012, *State of the Climate: 2011 Global Sea Level*, Climate Watch Magazine, NOAA Climate Services Portal

Kohonen T., 1989, *Patternizing communities by using an artificial neural network*, Proceedings of the IEEE, Volume 90, Issue 1, September 1996, Pages 69–78

McSweeney C., New M., Lizcano G., 2010, *Ghana*, UNDP Climate Change Climate Profile, School Of Geography And Environment, University Of Oxford

Meehl G.A., Stocker T.F., Collins W.D., Friedlingstein P., Gaye A.T., Gregory J.M., Kitoh A., Knutti R., Murphy J.M., Noda A., Raper S.C.B., Watterson I.G., Weaver A.J., Zhao Z.C., 2007, *Climate Change 2007: Working Group I: The Physical Science Basis*, IPCC, Geneva, Switzerland

Mendel J., 1970, *Generating fuzzy rules by learning from examples*, Systems, Man and Cybernetics, IEEE Transactions, Volume 22, Issue 6

Meyer A., 2000, *Contraction and Convergence: The Global Solution to Climate Change*, Schumacher Briefings 5, Green Books

Najam A., S Huq, Y Sokona, 2003, *Climate Policy, Climate negotiations beyond Kyoto: developing countries concerns and interests*-Taylor & Francis

Nicholls R.J., Cazenave A., 2010, *Sea-Level Rise and Its Impact on Coastal Zones*, Science Magazine 328 (5985), pp.1517–1520

Nicholls, R.J., Hoozemans F.M.J., Marchand M., 1999, *Increasing flood risk and wetland losses due to global sealevel rise: regional and global analyses - The science of climate change*, Global Environmental Change, 9, pp.69-87.

Ondimu S., Murase H., 2006, Reservoir Level Forecasting using Neural Networks: Lake Naivasha, Biosystems Engineering, Volume 96, Issue 1, Pages 135–138

Pachauri R.K., Reisinger A., 2007, *Climate Change 2007: Synthesis Report*, IPCC, Geneva, Switzerland, pp.104

PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, 2012, *Trends in global CO2 emissions*, technical report, PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, pp.11-48

Penner J.E., *Climate Change 2001: The Scientific Basis*, Journal of Geophysical Research: Atmospheres (1984–2012) Volume 108, Issue D21

Slingo J., Huhne C., 2011, *Climate: Observations, Projections and Impacts (Australia, China, Argentina, USA)*, Met Office

Solomon S., Qin D., Manning M., Chen Z., Marquis M., Averyt K.B., Tignor M., Miller H.L., 2007, *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

State L., Cocianu C., Vlamos P., 2005, *Learning schemes in using PCA neural networks for image restoration purposes*, WSEAS Transactions on Information Science and Applications, Volume 5 Issue 7, Pages 1149-1159

Straskraba M., Jorgensen S.E., Heinz Löffler, Walter Rast, 2005, *Lake and Reservoir Management*, Book, Elsevier, 512 pages

The United Nations Framework Convention on Climate Change, 2012, *Article 2*

Vicario L., 2008, *Evaluación de las Sequías Hidro-Meteorológicas en la Cuenca del Dique San Roque*, University of Cordoba

Vlamos P., State L., 2000, "*The POMDP modeling in the Analysis of Genetic Algorithms*"; The Annals of Bucharest University XLIX, pages 123-133

## Ηλεκτρονική Βιβλιογραφία:

Climate: observations, projections and impacts- <http://eprints.nottingham.ac.uk/2040>  
(τελευταία πρόσβαση 12/02/2014)

Intergovernmental Panel on Climate change- <http://www.ipcc.ch/> (τελευταία επίσκεψη 01/07/2014)

Βιολογικός Νευρώνας- <http://www.doc.ic.ac.uk/> (τελευταία πρόσβαση 12/01/2014)

Εγχειρίδιο MTLAB- <http://www.mathworks.com/> (τελευταία πρόσβαση 22/05/2014)

Είδη τεχνητών λιμνών- <http://www.slideshare.net/HitenChauhan/types-of-reservoir>  
(τελευταία πρόσβαση 25/3/2014)

Εικόνα λίμνης Αϊσέλμερ- <http://www.john-daly.com/> (τελευταία πρόσβαση 07/11/2013)

Εικόνα λίμνης Βόλτα- <http://www.ghanaweb.com/> (τελευταία πρόσβαση 06/11/2013)

Εικόνα λίμνης Γκαόγιου- <http://www.geospatialhealth.com/> (τελευταία πρόσβαση 08/11/2013)

Εικόνα λίμνης Σαν Ρόκε- <http://www.dayanabarrionuevo.com/> (τελευταία πρόσβαση 06/11/2013)

Πληροφορίες φραγμάτων- <http://britishdams.org/> (τελευταία πρόσβαση 29/12/2013)

Χάρτες- <https://www.google.com/maps/> (τελευταία πρόσβαση 08/04/2014)



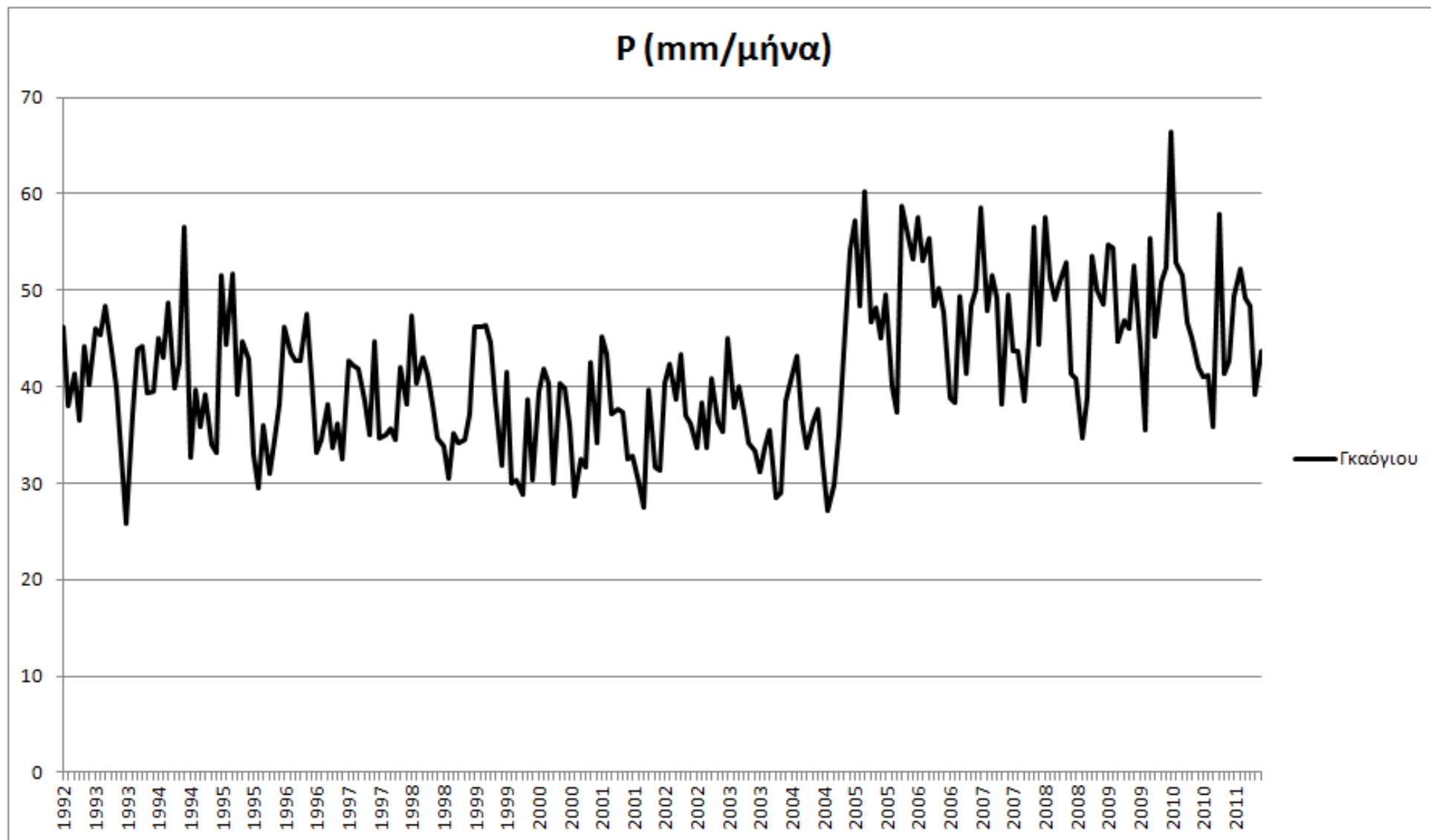
## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ**



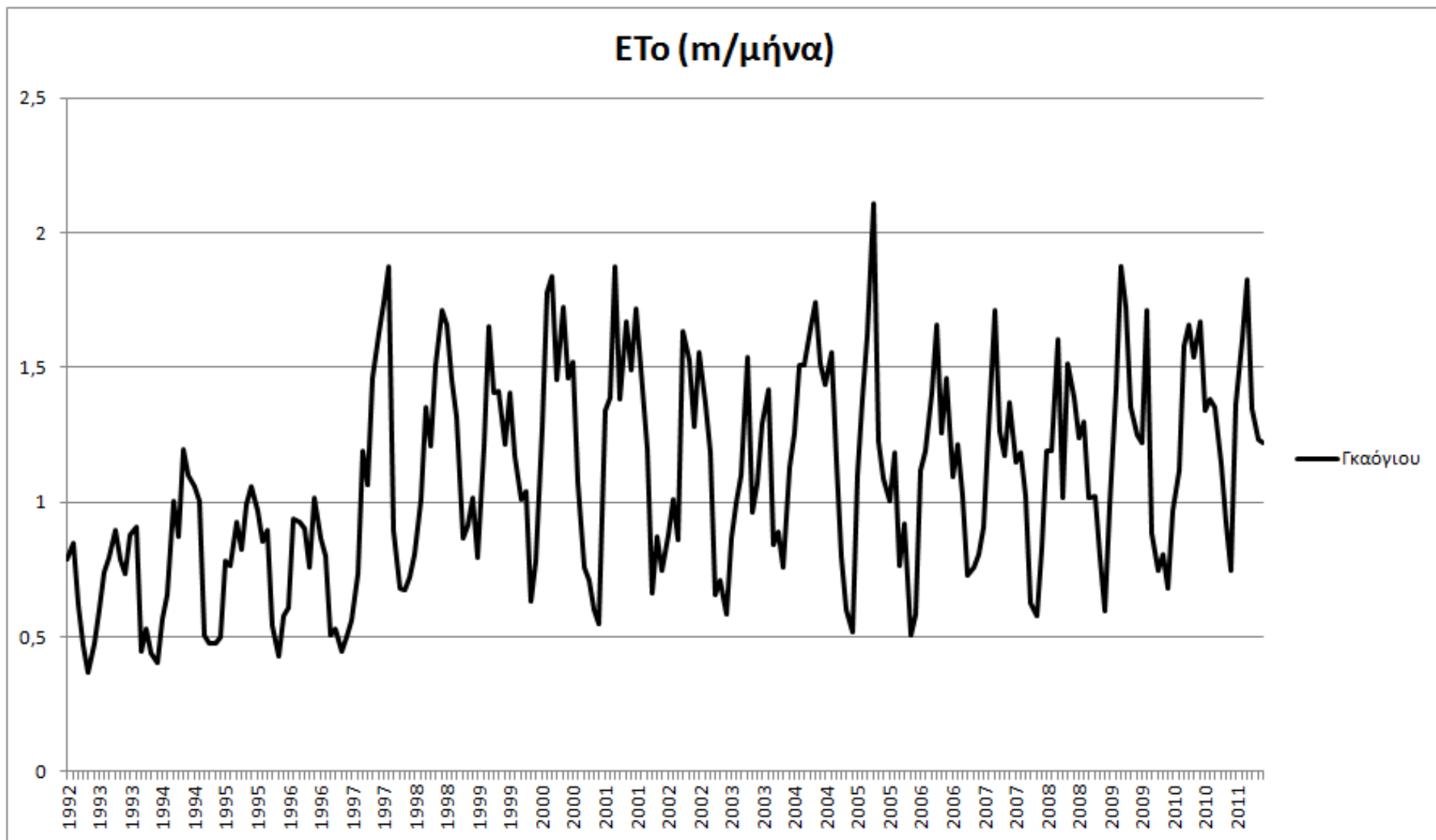


## Παράρτημα 1 (δεδομένα λιμνών)

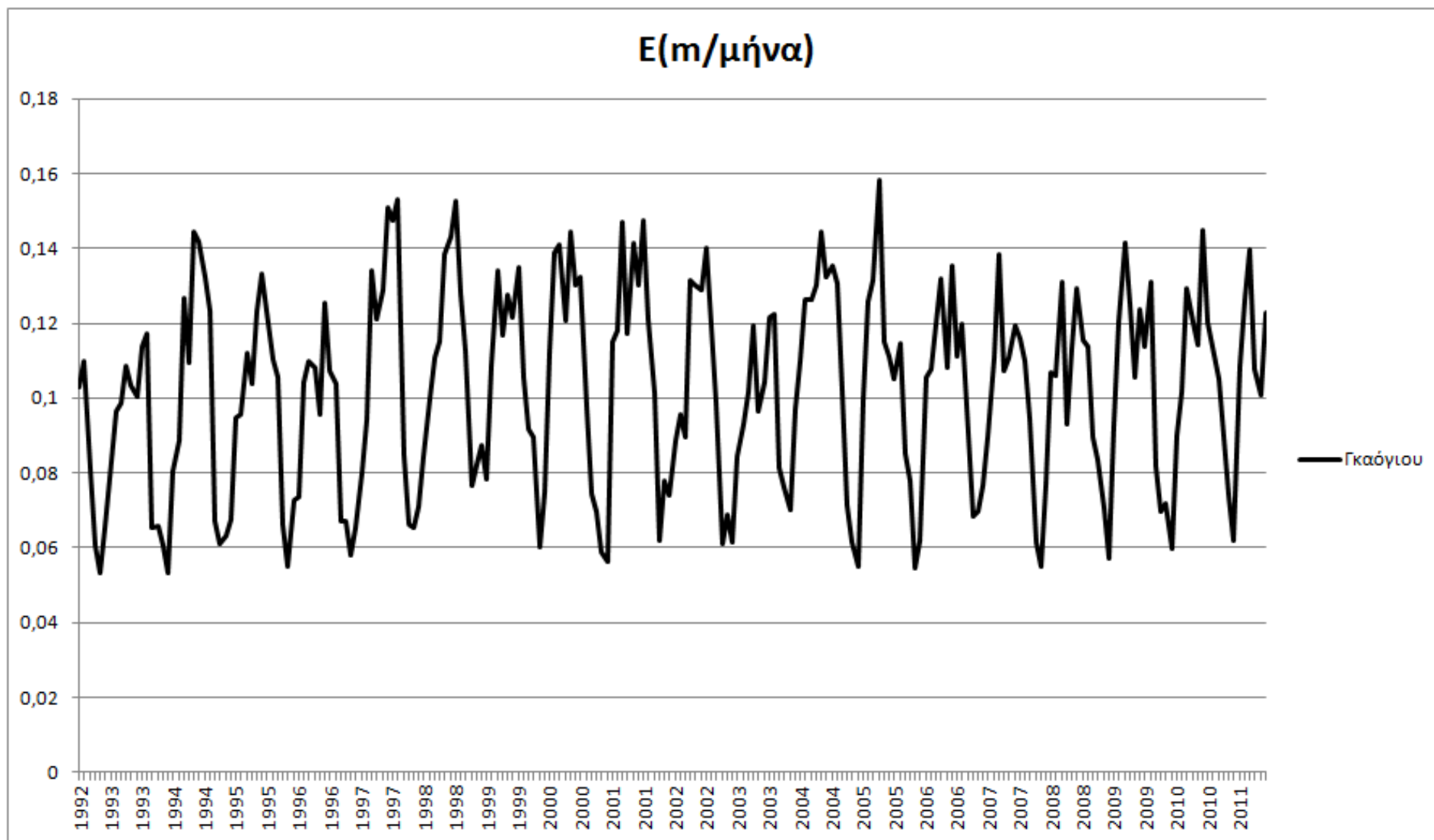
➤ Γκαόγιου



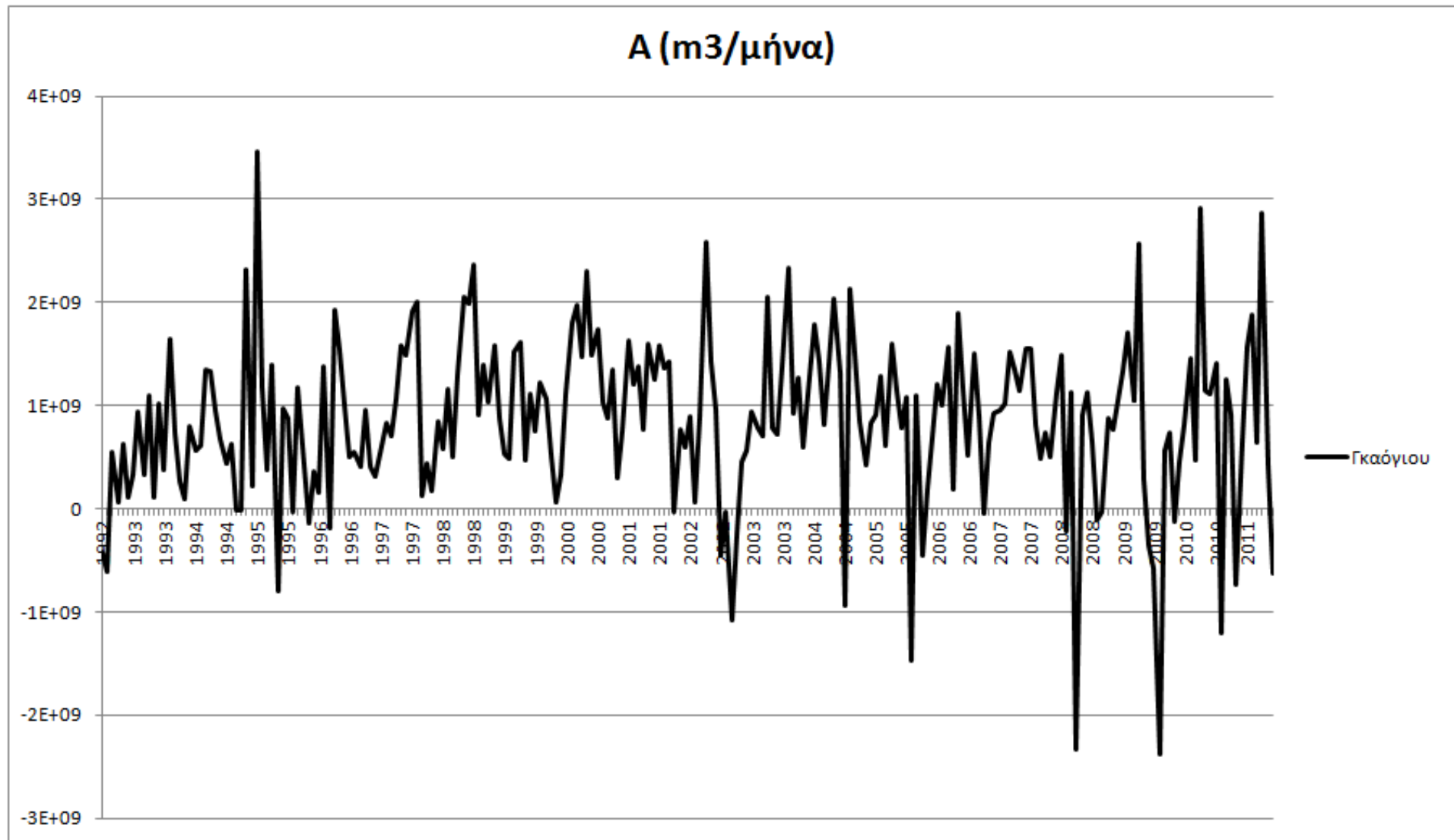
Διάγραμμα Π1: Η χρονοσειρά αθροιστικής βροχόπτωσης (mm/μήνα) λίμνη Γκαόγιου



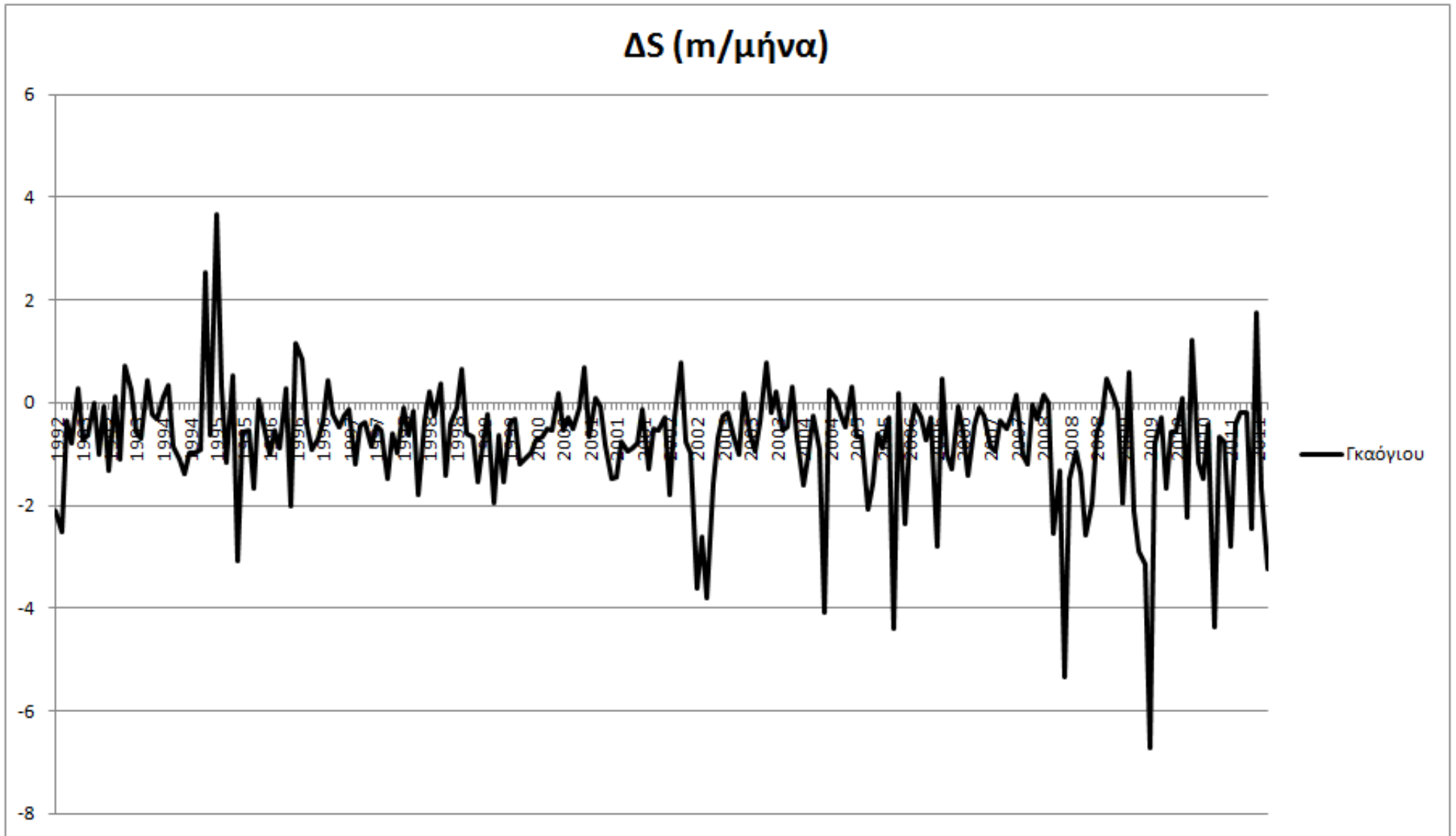
**Διάγραμμα Π2:** Η χρονοσειρά αθροιστικής εξατμισοδιαποής (m/μήνα) λίμνη Γκαόγιου



**Διάγραμμα Π3:** Η χρονοσειρά αθροιστικής εξάτμισης (m/μήνα) λίμνη Γκαόγιου

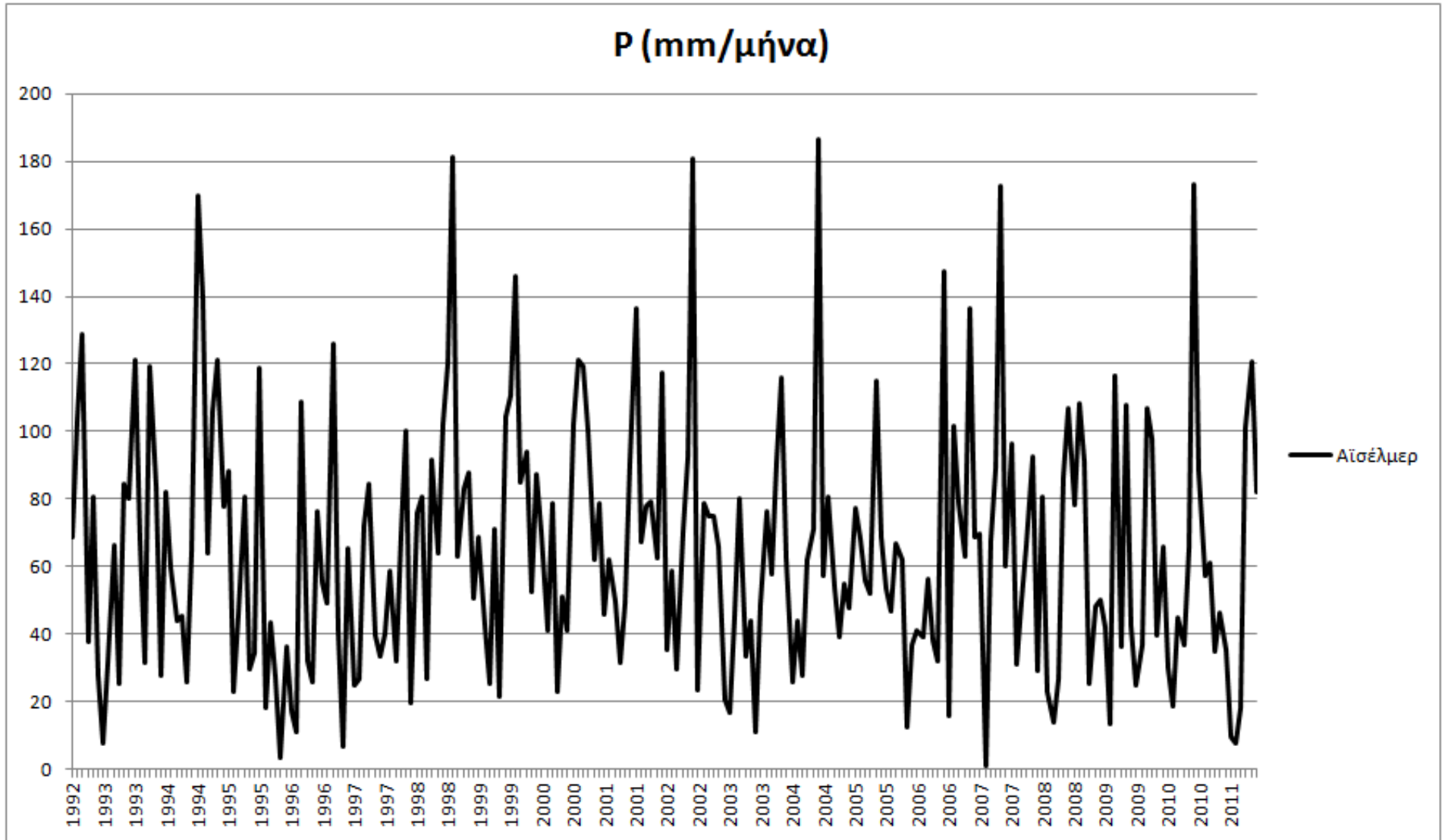


**Διάγραμμα Π4:** Η χρονοσειρά απορροής (m<sup>3</sup>/μήνα) λίμνη Γκαόγιου

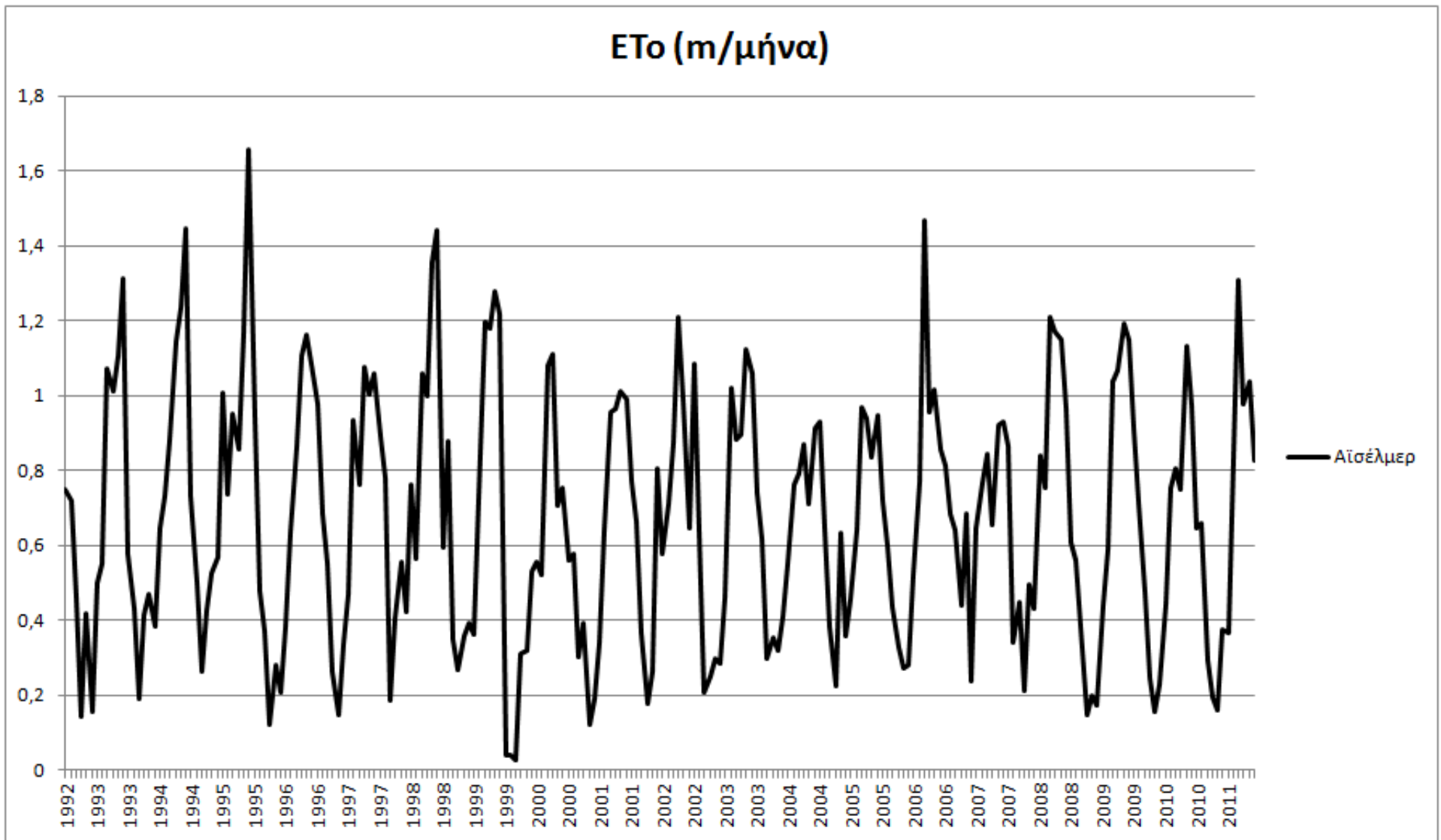


Διάγραμμα Π5: Η χρονοσειρά διαφοράς στάθμης (m) λίμνη Γκαόγιου

➤ Αϊσέλμερ

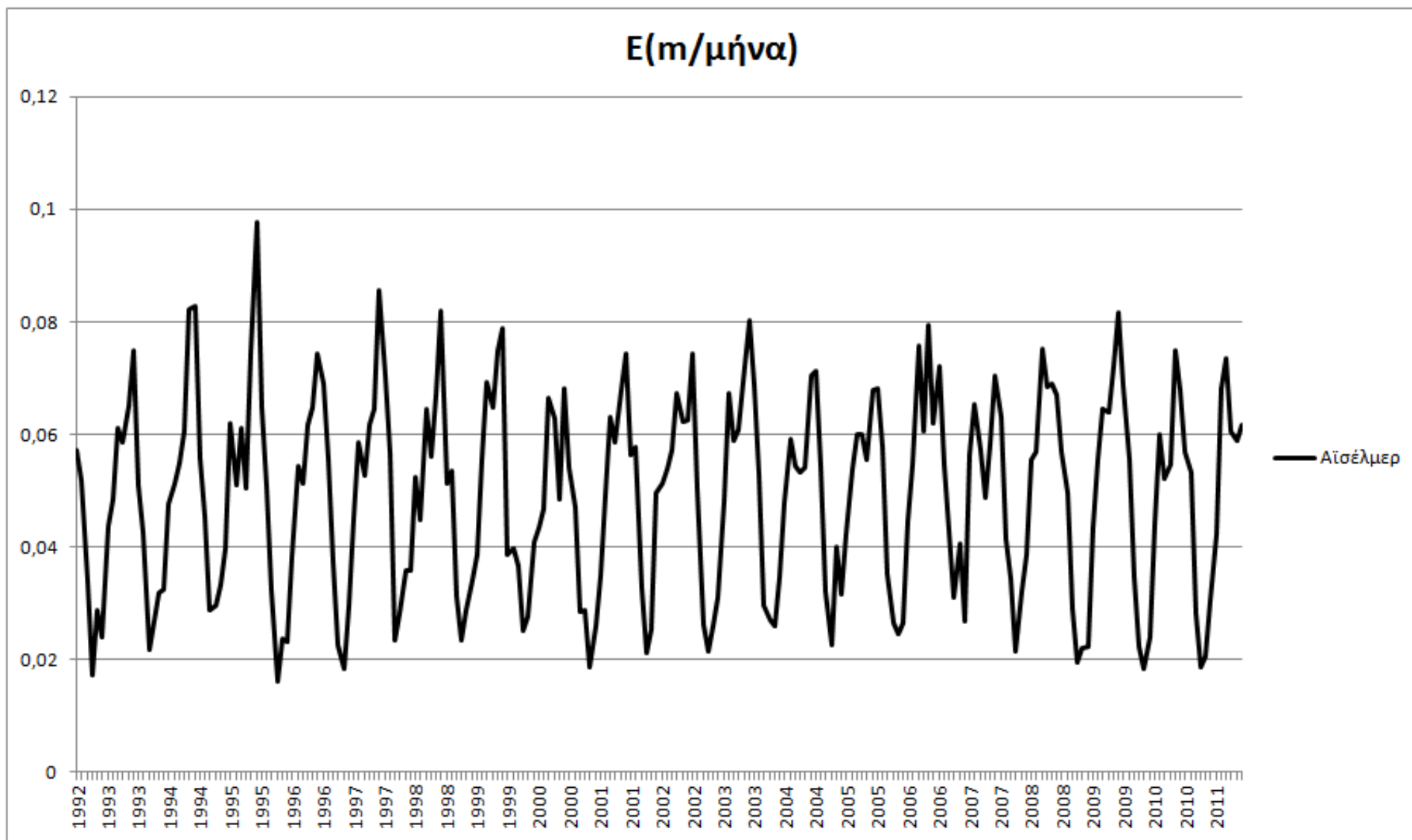


Διάγραμμα Π6: Η χρονοσειρά αθροιστικής βροχόπτωσης (mm/μήνα) λίμνη Αϊσέλμερ

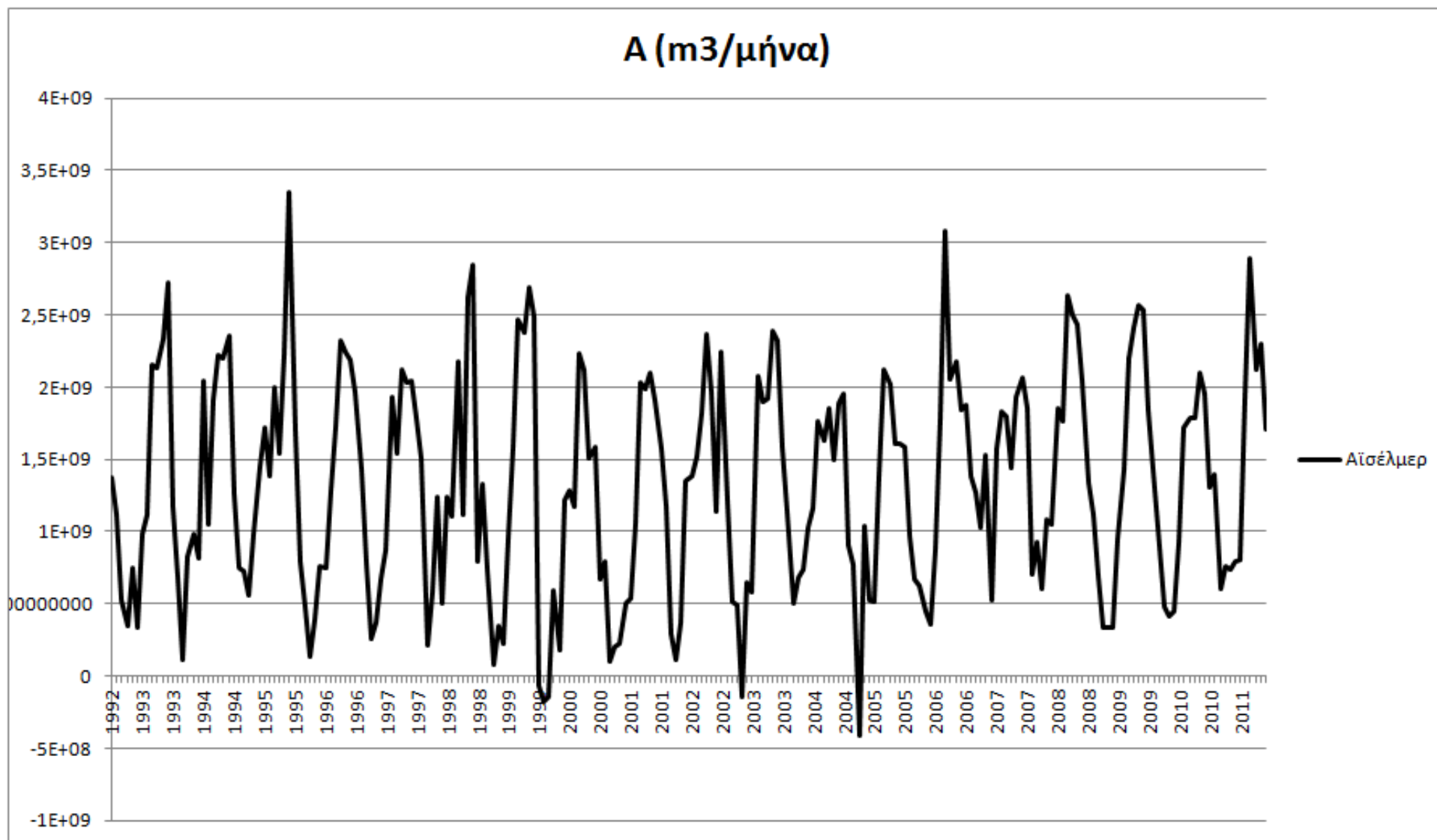


**Διάγραμμα Π7:** Η χρονοσειρά αθροιστικής εξατμισοδιαπνοής (m/μήνα) λίμνη Αϊσέμερ

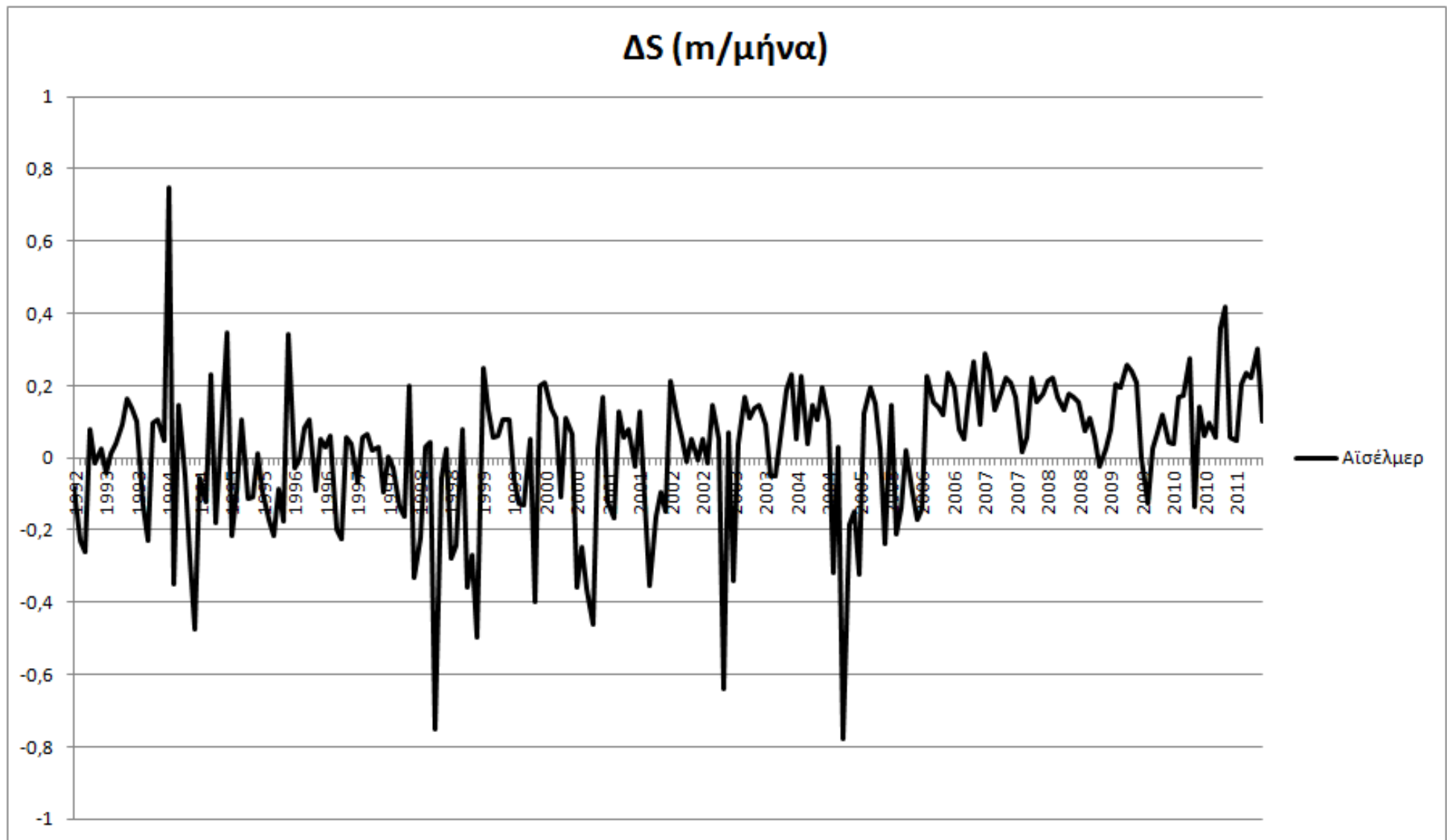




Διάγραμμα Π8: Η χρονοσειρά αθροιστικής εξάτμισης (m/μήνα) λίμνη Αϊσέλμερ

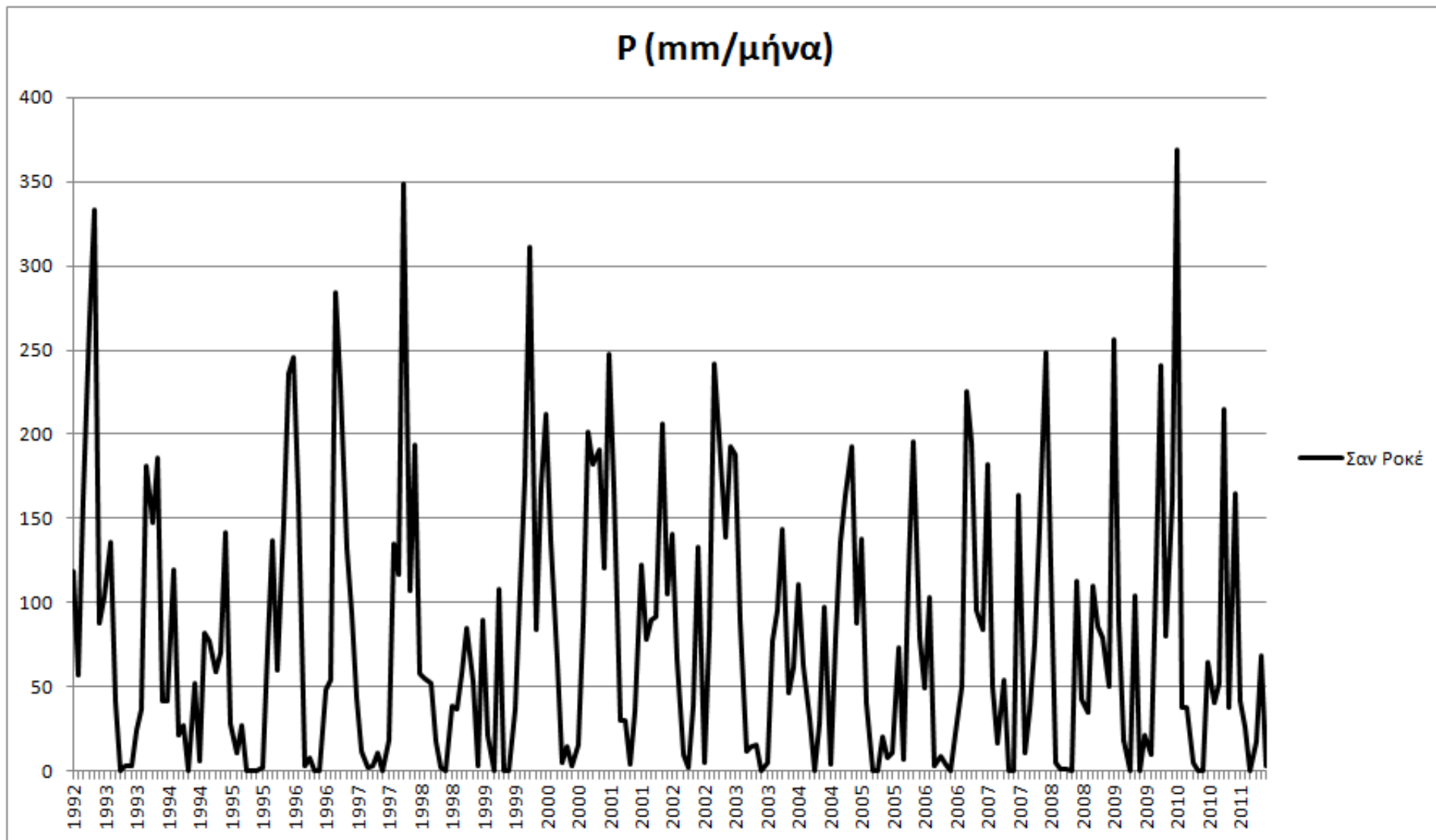


Διάγραμμα Π9: Η χρονοσειρά απορροής (m³/μήνα) λιμνη Αϊσέλμερ

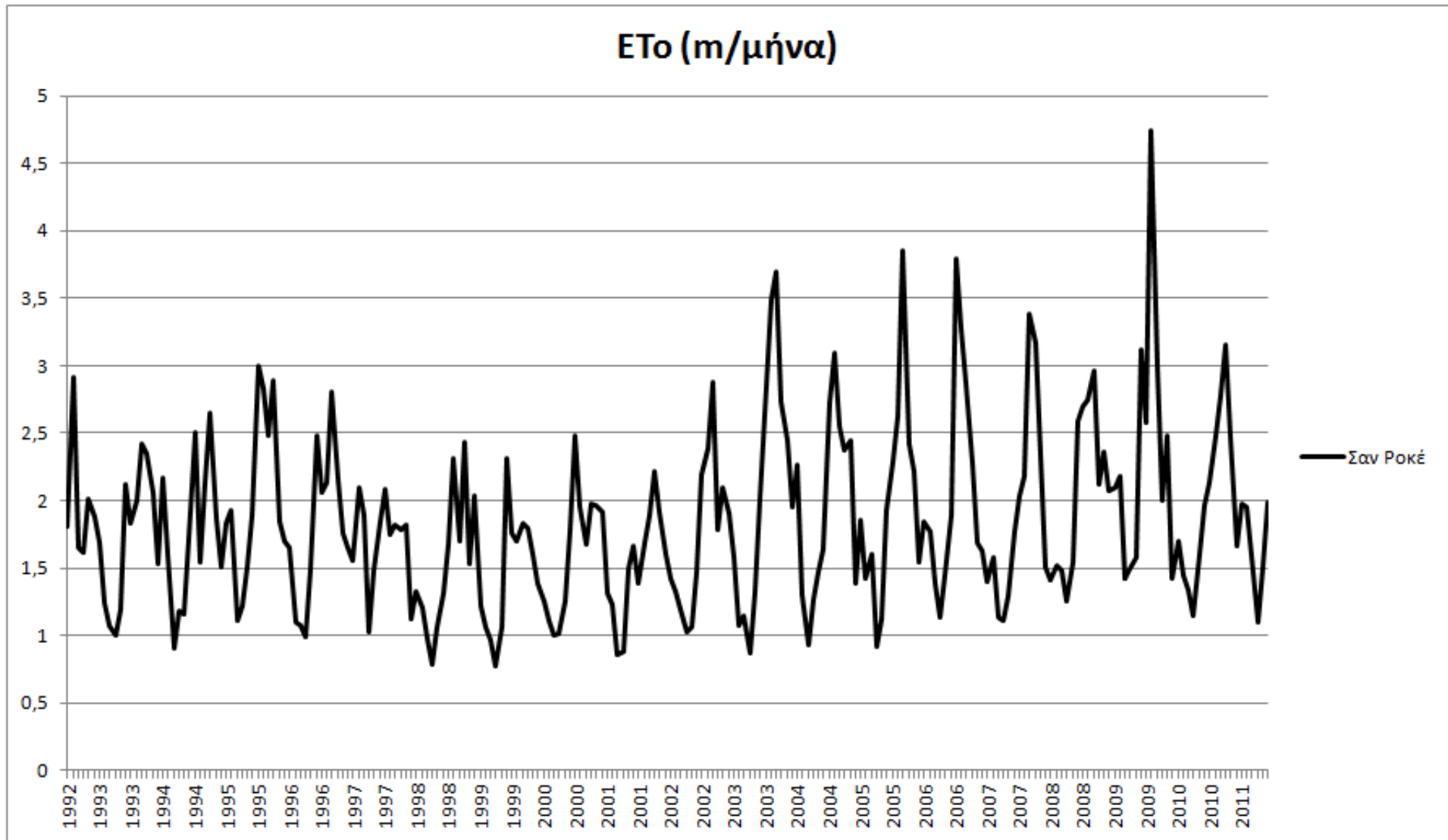


**Διάγραμμα Π10:** Η χρονοσειρά διαφοράς στάθμης (m) λίμνη Αϊσέλμερ

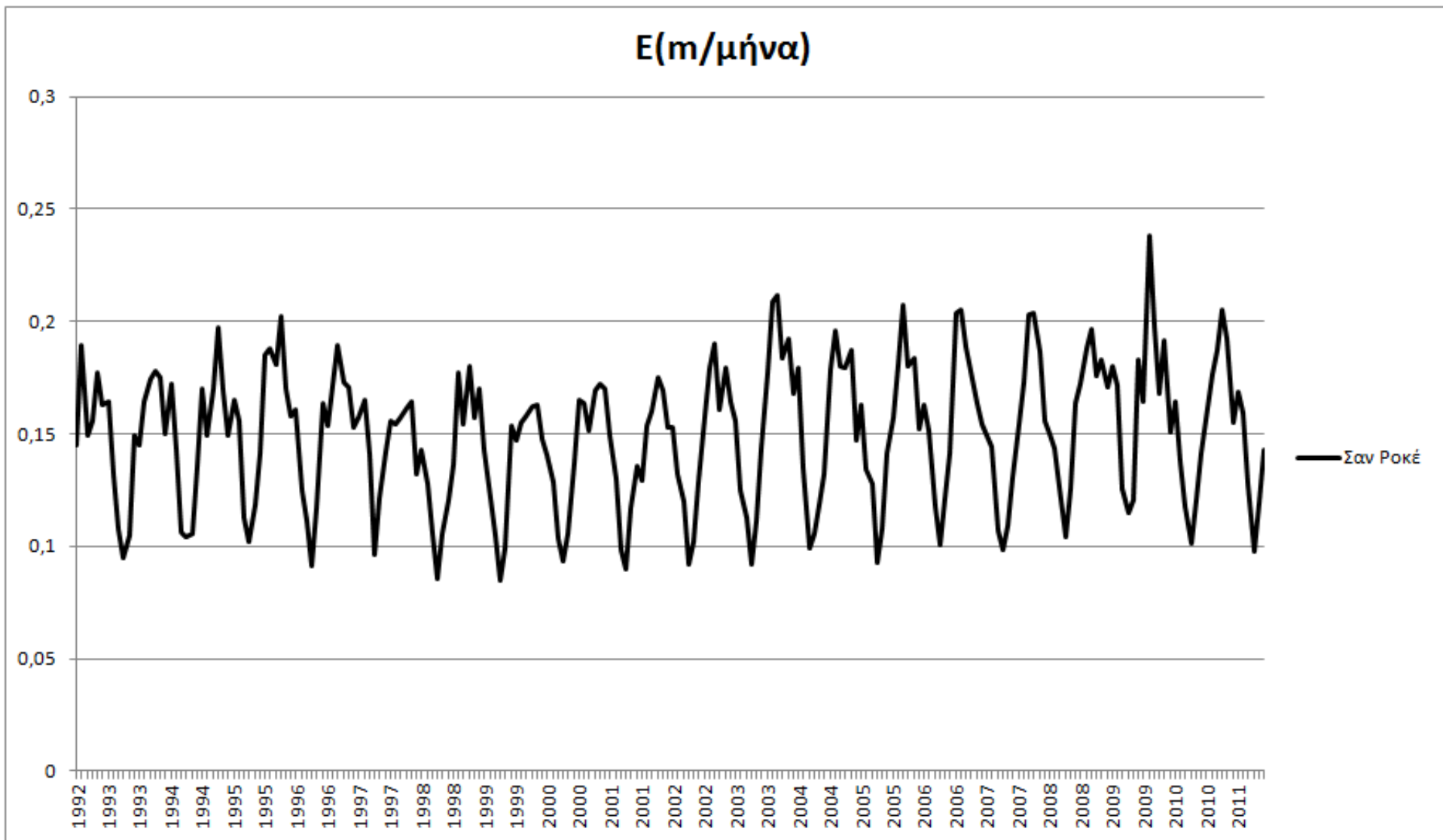
➤ Σαν Ρόκε



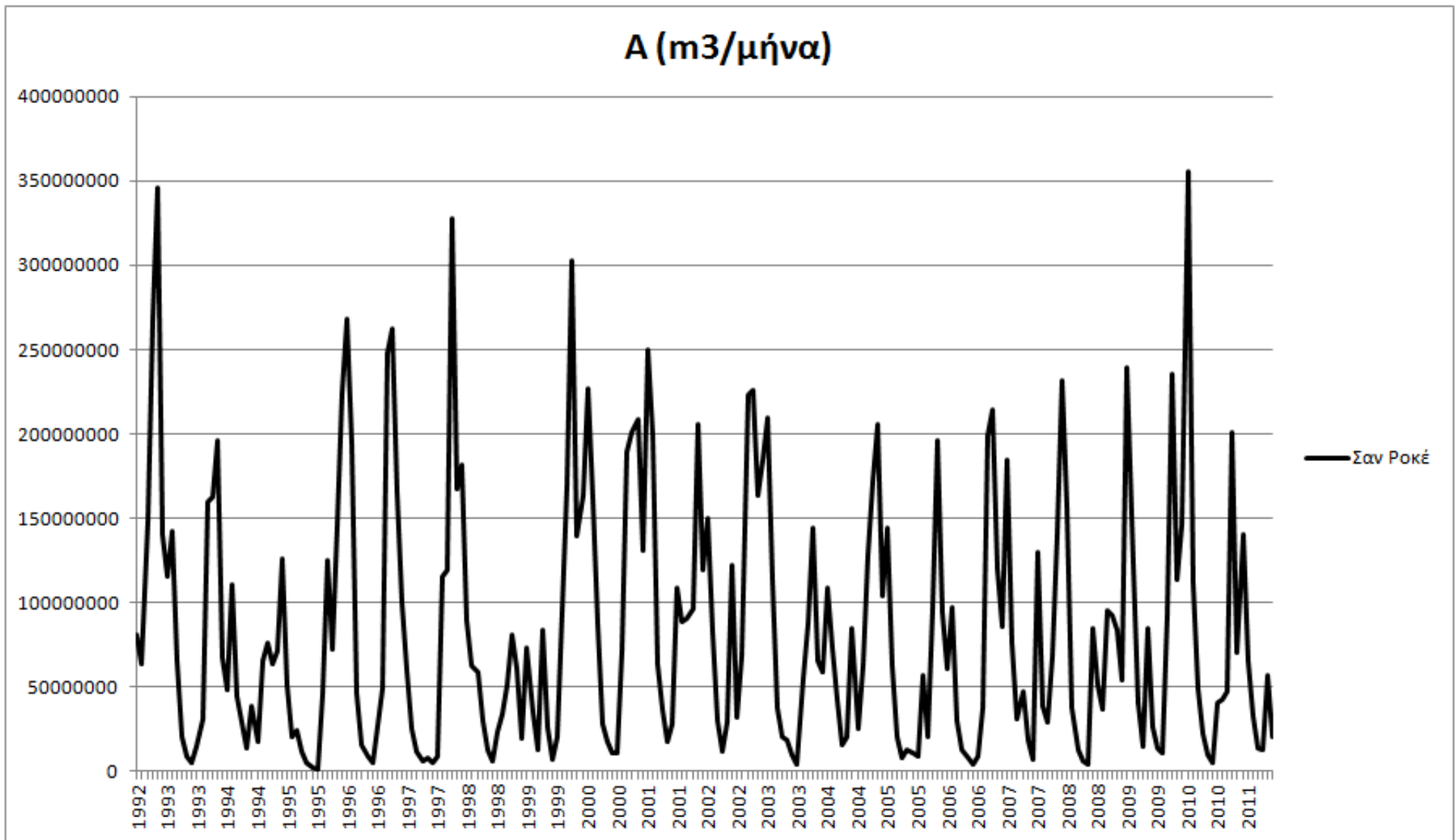
Διάγραμμα Π11: Η χρονοσειρά αθροιστικής βροχόπτωσης (mm/μήνα) λίμνη Σαν Ρόκε



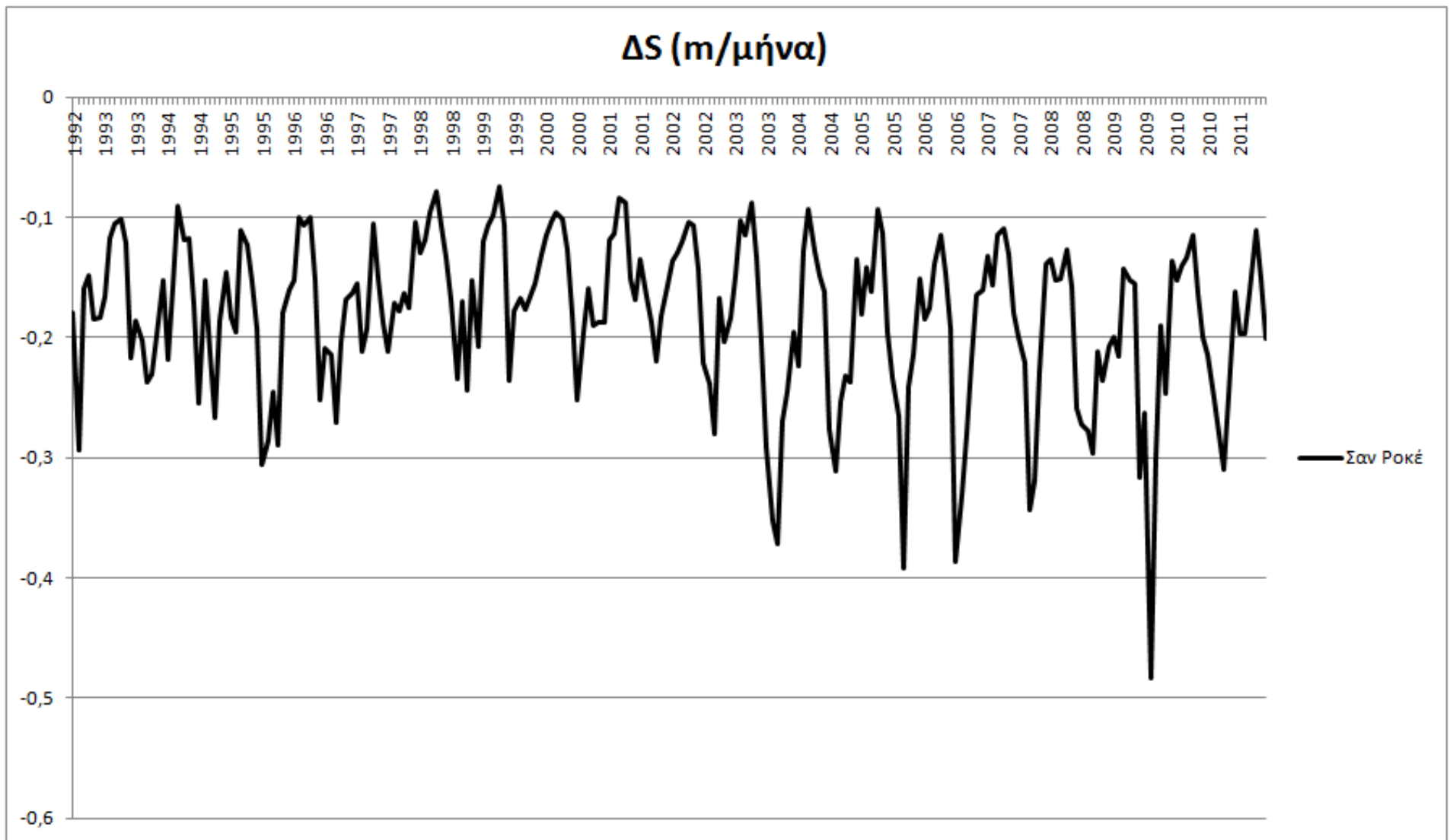
**Διάγραμμα Π12:** Η χρονοσειρά αθροιστικής εξατμισοδιαποχής (m/μήνα) λίμνη Σαν Ροκέ



**Διάγραμμα Π13:** Η χρονοσειρά αθροιστικής εξάτμισης (m/μήνα) λίμνη Σαν Ροκέ



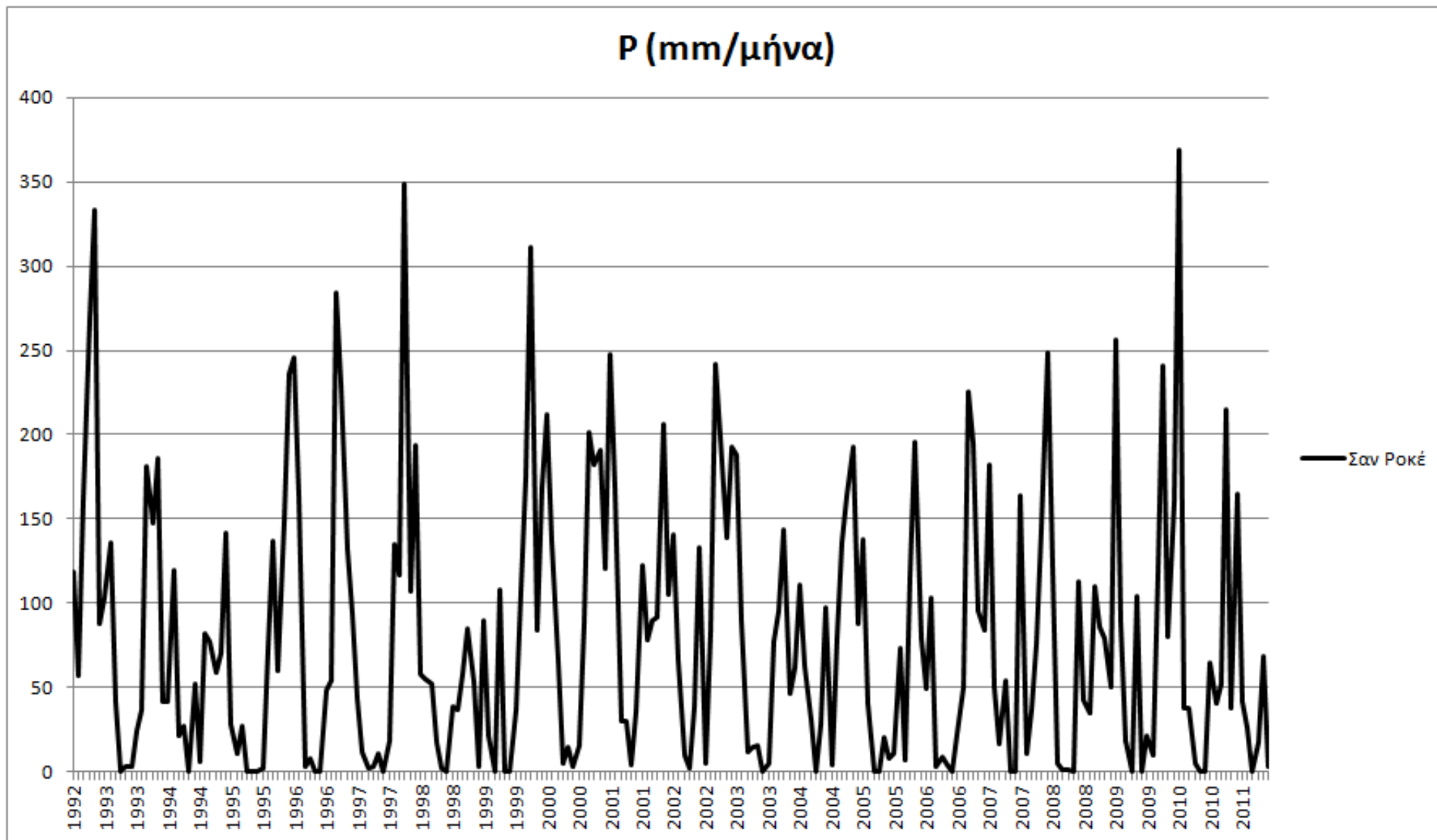
**Διάγραμμα Π14:** Η χρονοσειρά απορροής (m<sup>3</sup>/μήνα) λίμνη Σαν Ροκέ



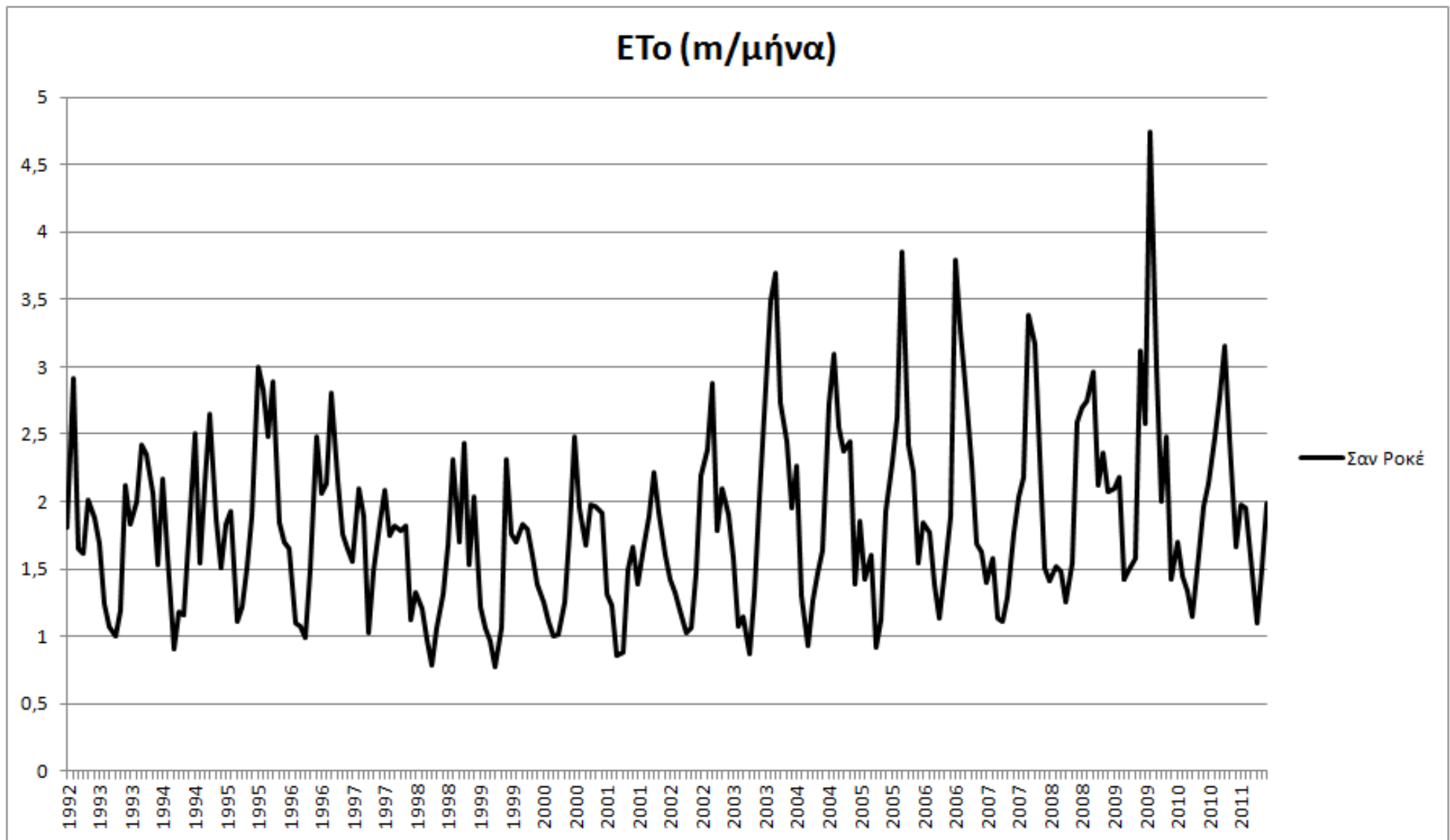
**Διάγραμμα Π15:** Η χρονοσειρά διαφοράς στάθμης (m) λίμνη Σαν Ρόκε



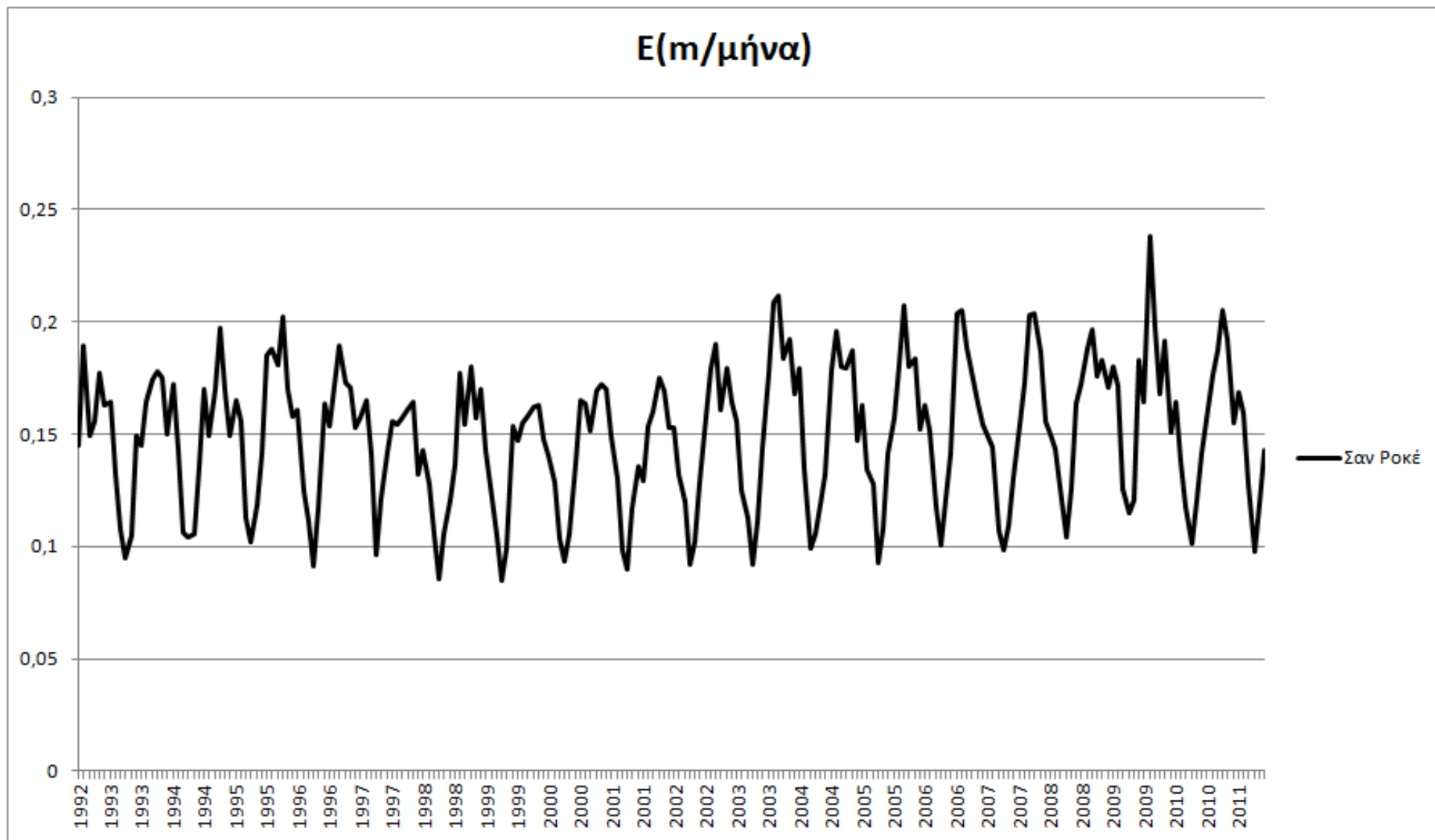
➤ Βόλτα



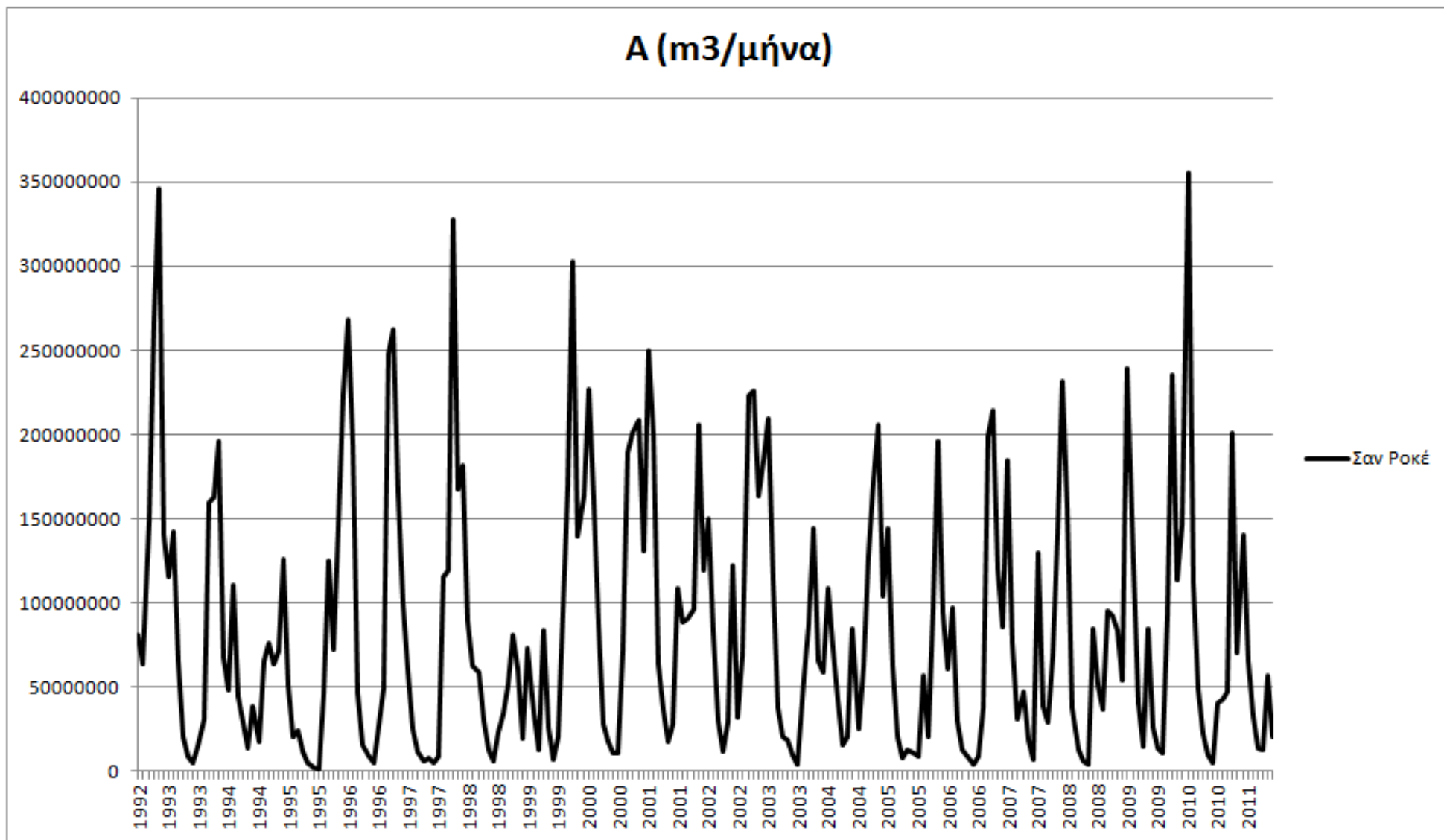
Διάγραμμα Π16: Η χρονοσειρά αθροιστικής βροχόπτωσης (mm/μήνα) λίμνη Βόλτα



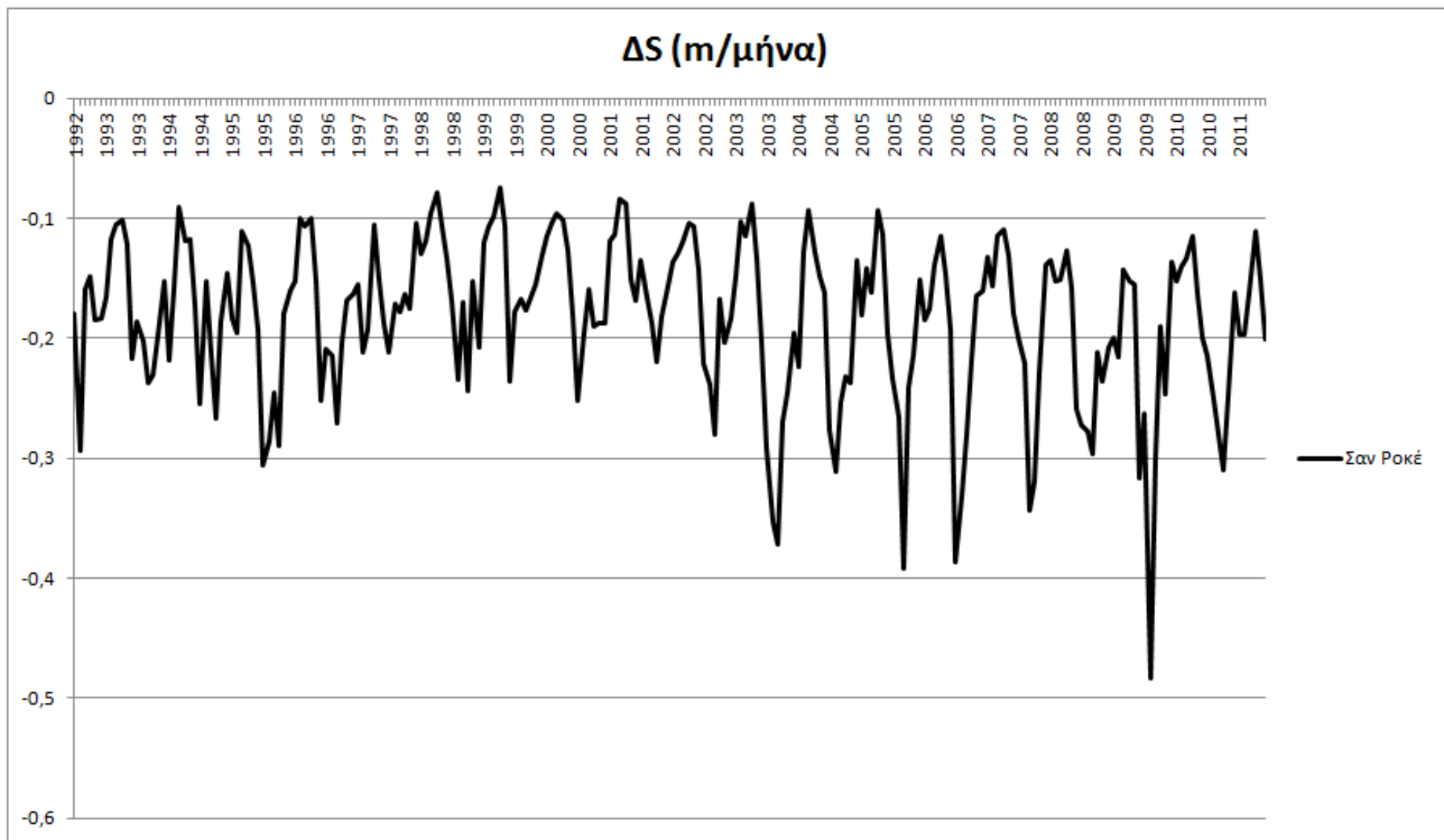
**Διάγραμμα Π17:** Η χρονοσειρά αθροιστικής εξατμισοδιαπνοής (m/μήνα) λίμνη Βόλτα



**Διάγραμμα Π18:** Η χρονοσειρά αθροιστικής εξάτμισης (m/μήνα) λίμνη Βόλτα

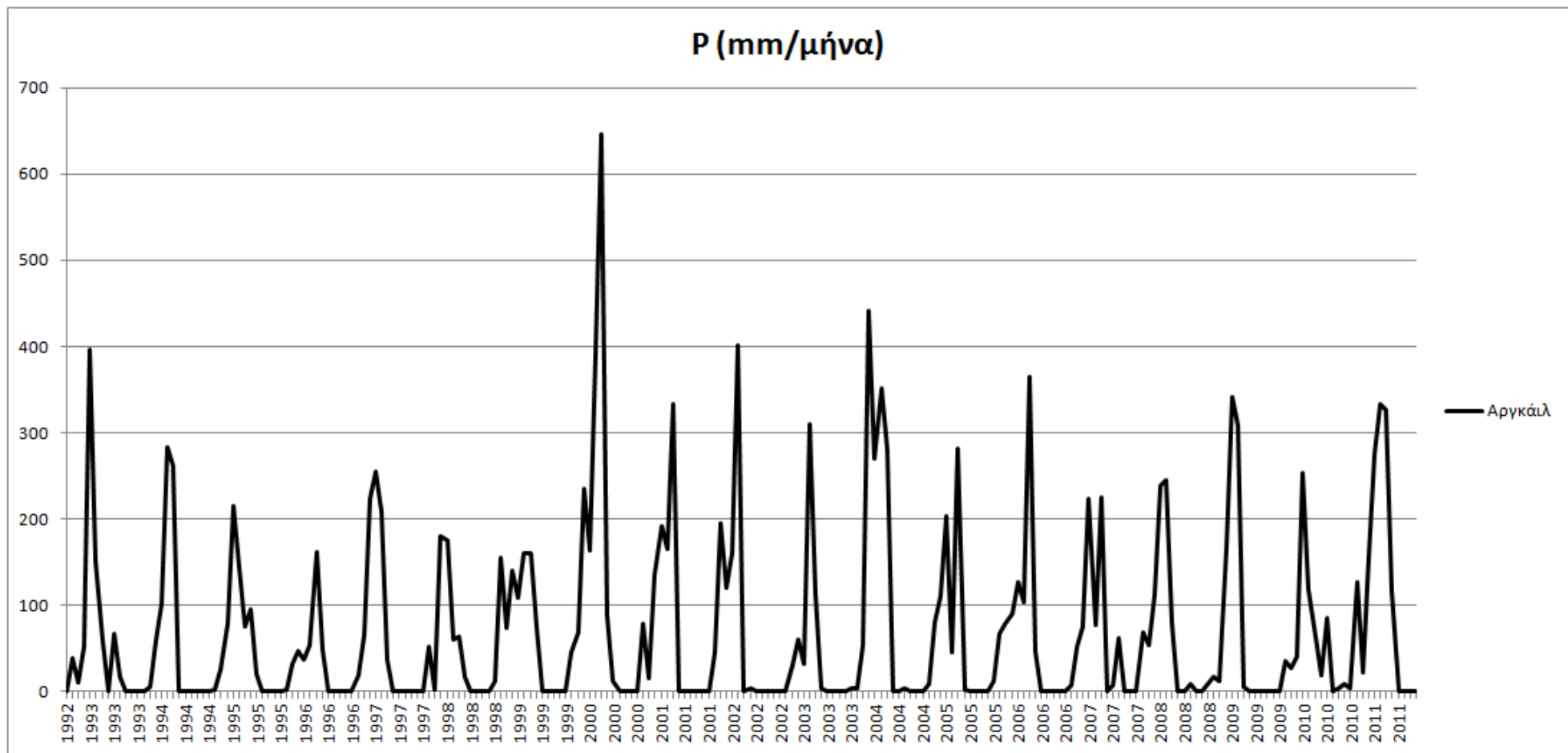


**Διάγραμμα Π19:** Η χρονοσειρά απορροής (m<sup>3</sup>/μήνα) λίμνη Βόλτα

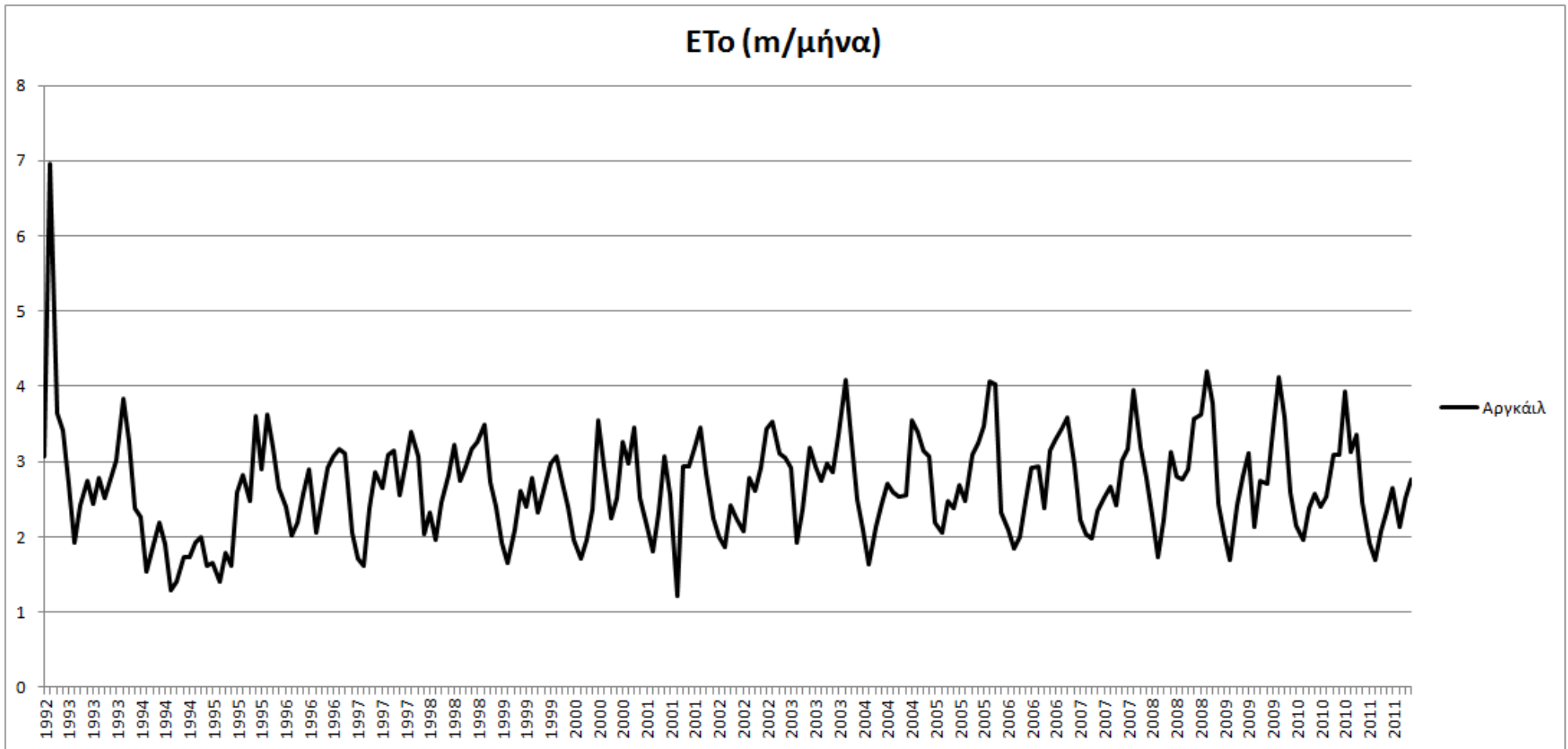


**Διάγραμμα Π20:** Η χρονοσειρά διαφοράς στάθμης (m) λίμνη Βόλτα

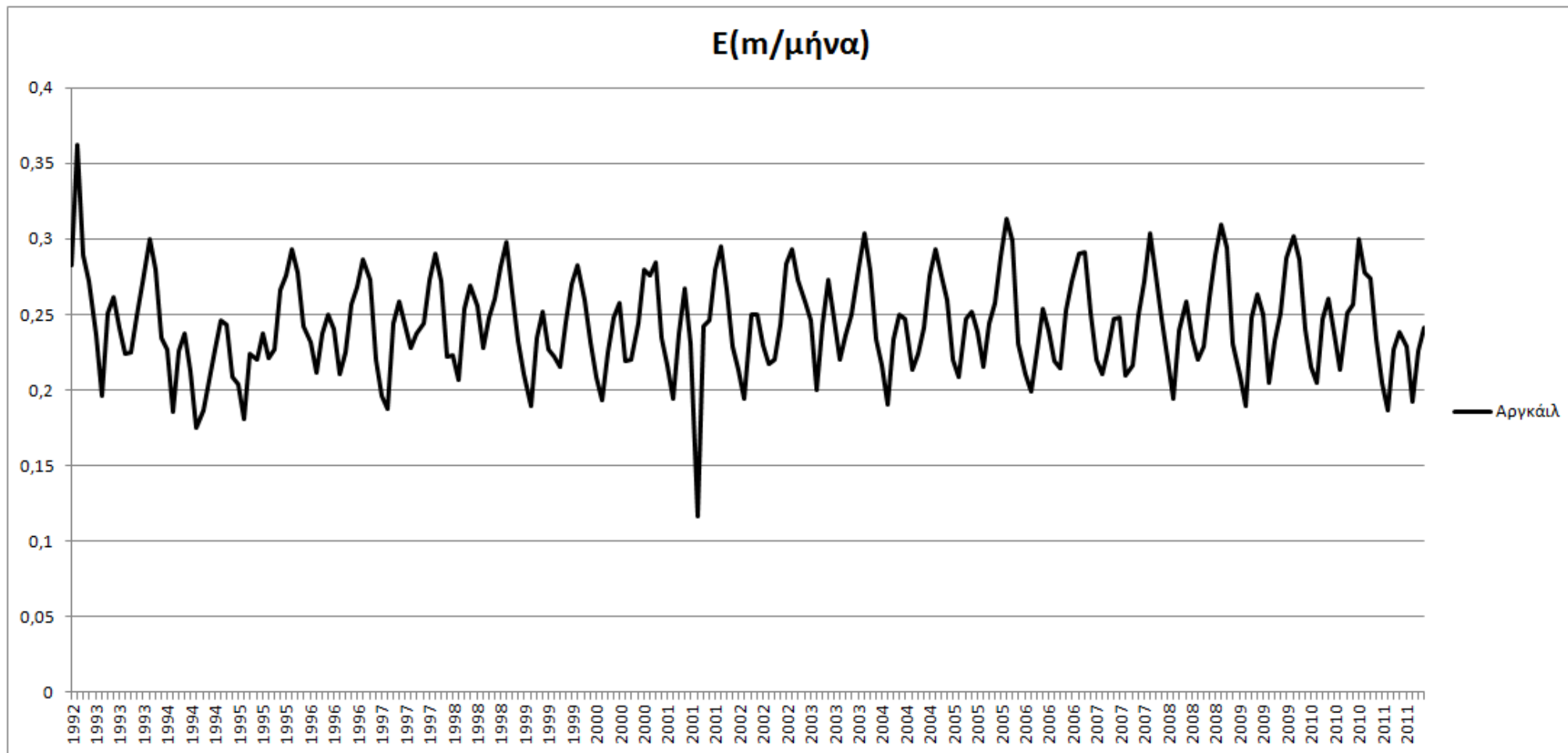
➤ Αργκάιλ



Διάγραμμα Π21: Η χρονοσειρά αθροιστικής βροχόπτωσης (mm/μήνα) λίμνη Αργκάιλ



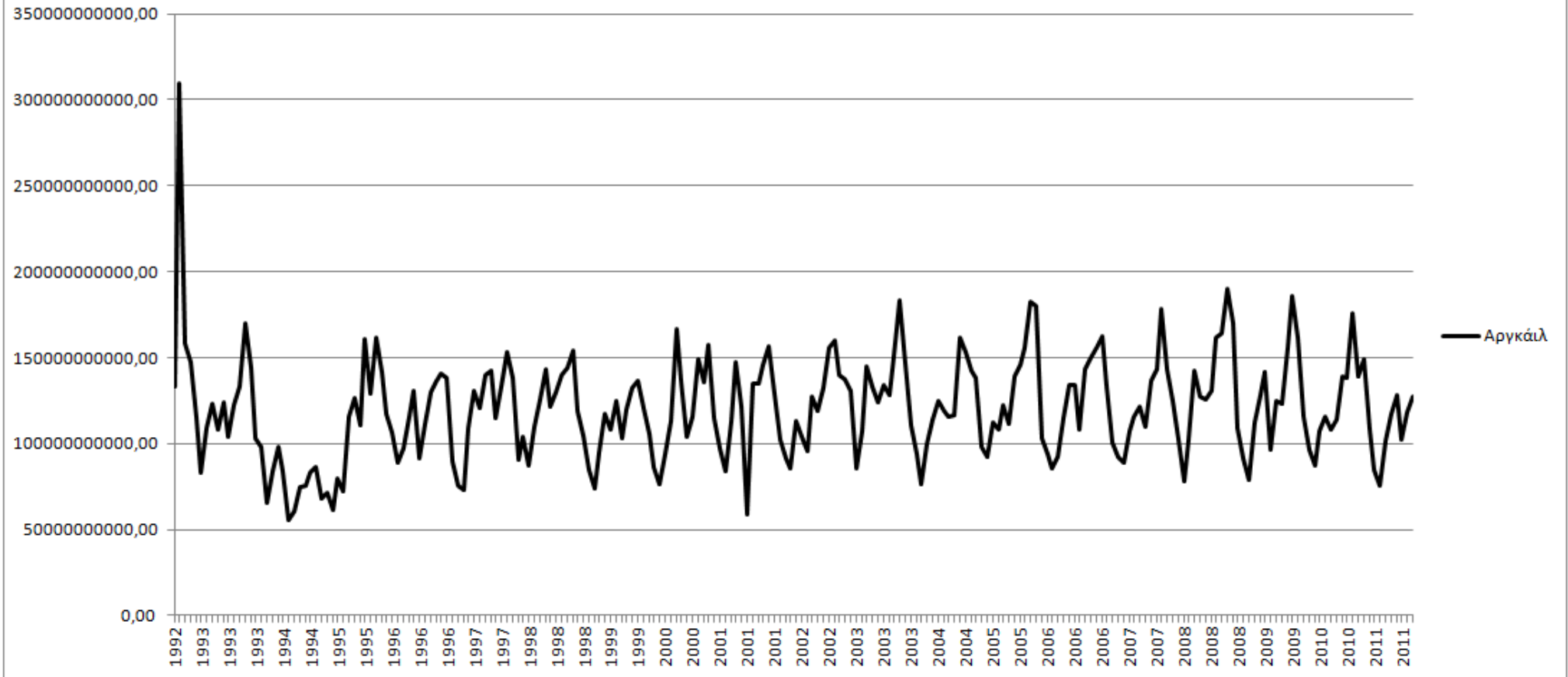
**Διάγραμμα Π22:** Η χρονοσειρά αθροιστικής εξατμισοδιαποχής (m/μήνα) λίμνη Αργκάιλ



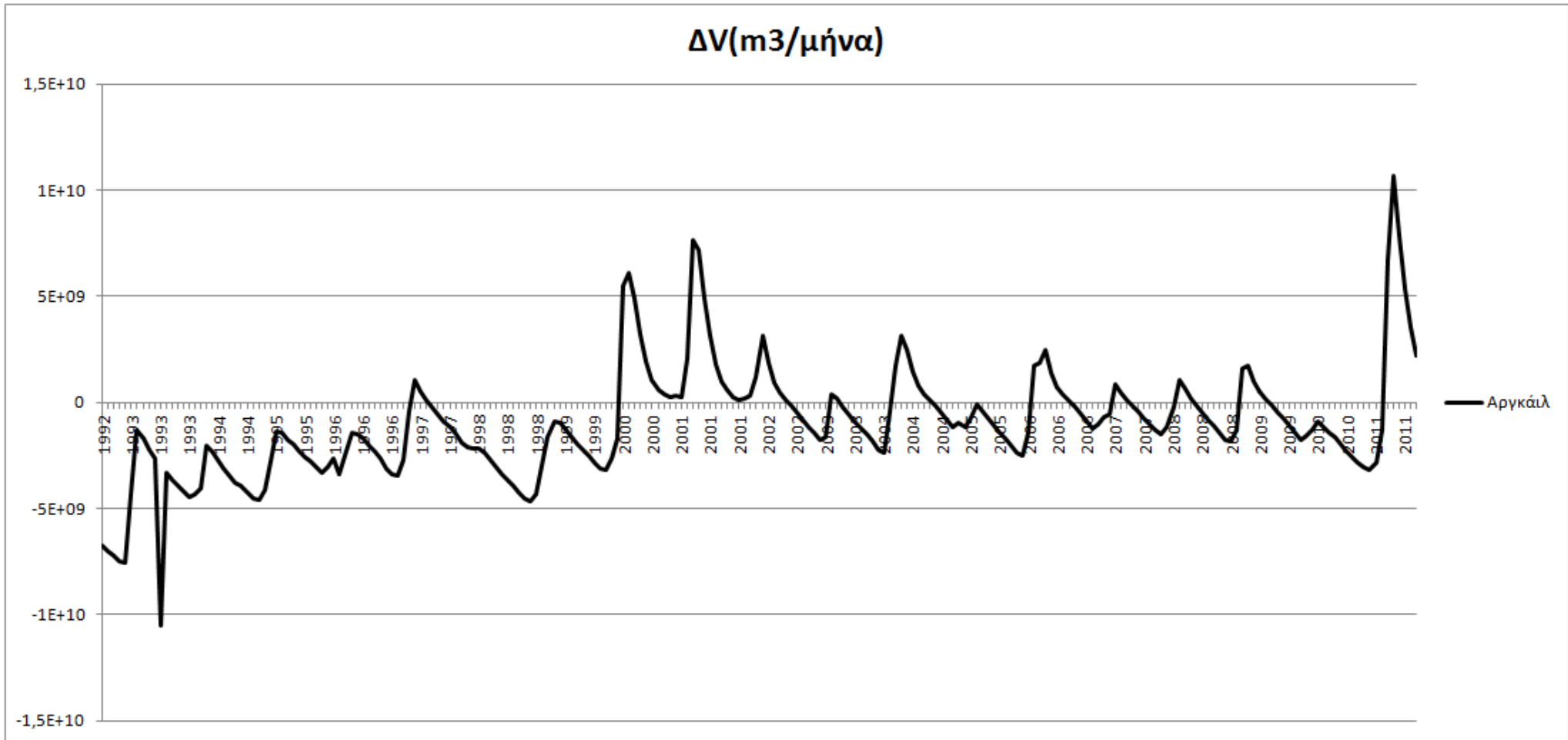
**Διάγραμμα Π23:** Η χρονοσειρά αθροιστικής εξατμίσης (m/μήνα) λίμνη Αργκάιλ



### A (m<sup>3</sup>/μήνα)



**Διάγραμμα Π24:** Η χρονοσειρά απορροής (m<sup>3</sup>/μήνα) λίμνη Αργκάιλ



**Διάγραμμα Π25:** Η χρονοσειρά διαφοράς όγκου (m<sup>3</sup>/μήνα) λίμνη Αργκάιλ





