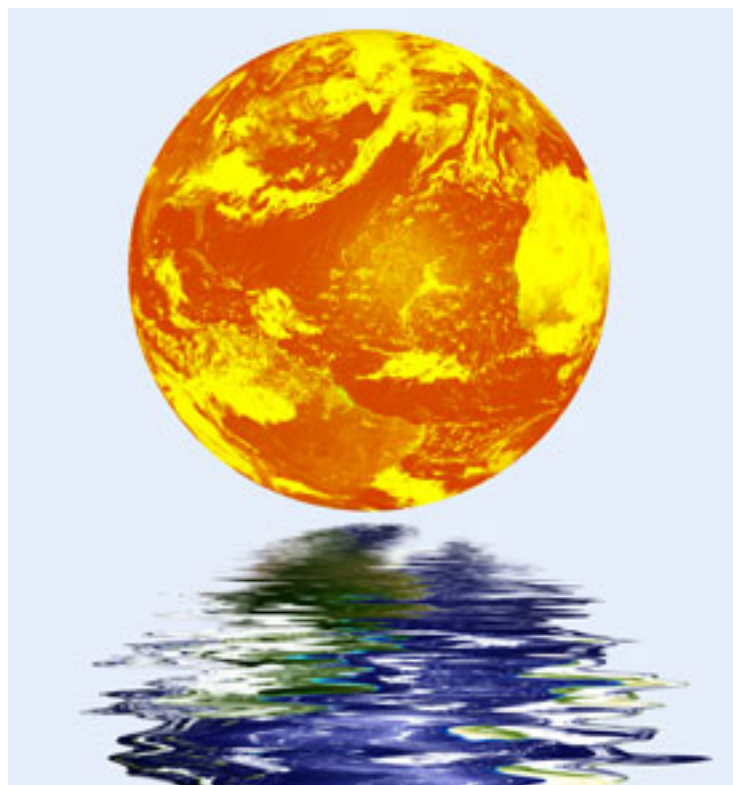




**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΧΡΗΣΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ
ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΤΗΣ
ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΣΕ ΤΕΧΝΗΤΕΣ ΛΙΜΝΕΣ ΑΝΑ
ΤΟΝ ΚΟΣΜΟ**



Διπλωματική Εργασία

Αικατερίνη Ζομπανάκη

Συνεπιβλέποντες:

Μαρία Παπαδοπούλου, Επ. Καθηγήτρια ΕΜΠ

Βασίλειος Ασημακόπουλος, Καθηγητής ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2012



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΧΡΗΣΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ
ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΤΗΣ
ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΣΕ ΤΕΧΝΗΤΕΣ ΛΙΜΝΕΣ ΑΝΑ
ΤΟΝ ΚΟΣΜΟ**

Διπλωματική Εργασία
Αικατερίνη Ζομπανάκη

Συνεπιβλέποντες:

Μαρία Παπαδοπούλου, Επ. Καθηγήτρια ΕΜΠ

Βασίλειος Ασημακόπουλος, Καθηγητής ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2012

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ:

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

Θα ήθελα, επίσης, να ευχαριστήσω την οικογένεια και τους φίλους μου που με στήριξαν σε αυτές τις δύσκολες ημέρες και, κυρίως, νύχτες, σε αυτά τα άτομα που με βοήθησαν, με δίδαξαν και με ανέχτηκαν.

Το μεγαλύτερο, όμως, ευχαριστώ το χρωστάω στο Φώτη, εξαιτίας του οποίου κατέληξα να κάνω αυτή τη μείξη, και κυρίως, εξαιτίας του οποίου κατάφερα να τελειώσω τόσο τη διπλωματική μου εργασία όσο και τη σχολή μου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ:

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	V
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	VII
ΠΙΝΑΚΕΣ.....	XIII
ΕΙΚΟΝΕΣ.....	XVI
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ.....	XVII
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	XXVII
ABSTRACT.....	XXIX

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ	1
1.1. Το Φαινόμενο της Κλιματικής Αλλαγής.....	3
1.2. Βροχόπτωση, Εξάτμιση, Εξατμισοδιαπνοή και κλιματική αλλαγή.....	4
1.3. Η Τήξη των Πάγων.....	6
1.4. Η άνοδος της Μέσης Στάθμης της Θάλασσας.....	7
1.5. Τα παγκόσμια μέτρα για την Κλιματική Αλλαγή.....	9
1.6. Σκοπός της Διπλωματικής Εργασίας.....	11
1.7. Η Διάρθρωση της Διπλωματικής Εργασίας.....	11
2. ΟΙ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	13
2.1. Οι Τεχνητές Λίμνες.....	15
2.2. Η Επιλογή των Τεχνητών Λιμνών.....	16
2.3. Η Κλιματική Αλλαγή ανά Ήπειρο.....	17
2.3.1 Αυστραλία.....	17
2.3.2 Αφρική.....	17
2.3.3 Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής.....	17
2.3.4 Νότιος Αμερική - Αργεντινή.....	18
2.3.5 Ευρώπη – Ολλανδία.....	19
2.3.6 Ασία - Κίνα.....	19
2.4. Η Υπάρχουσα Κατάσταση των Περιοχών Μελέτης.....	20
2.4.1 Αυστραλία – Αργκάιλ.....	20
Υδατικό Διαμέρισμα Περιοχής Μελέτης.....	20
Η Περιοχή της λίμνης Αργκάιλ.....	21
2.4.2 Αφρική – Βόλτα.....	22
Υδατικό Διαμέρισμα Περιοχής Μελέτης.....	22
Η Περιοχή της λίμνης Βόλτα.....	24
2.4.3 Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής – Σάλτον Σι.....	25
Υδατικό Διαμέρισμα Περιοχής Μελέτης.....	25
Η Περιοχή της λίμνης Σάλτον Σι.....	26
2.4.4 Αργεντινή – Σαν Ροκέ.....	27
Υδατικό Διαμέρισμα Περιοχής Μελέτης.....	27
Η Περιοχή της λίμνης Σαν Ροκέ.....	28
2.4.5 Ολλανδία – Άισελμεερ.....	29
Υδατικό Διαμέρισμα Περιοχής Μελέτης.....	29

2.4.6	Η Περιοχή της λίμνης Άισελμεερ.....	30
	Κίνα – Γκαόγιου.....	31
	Υδατικό Διαμέρισμα Περιοχής Μελέτης.....	31
	Η Περιοχή της λίμνης Γκαόγιου.....	32
3.	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗΣ	35
3.1.	Προβλέψεις σε Τεχνητές Λίμνες ως προς την Κλιματική Αλλαγή.....	37
3.2.	Δεδομένα.....	37
3.2.1.	Χρονοσειρές.....	37
3.2.2.	Εξίσωση Υδατικού Ισοζυγίου.....	38
3.2.3.	Υπολογισμός Παραμέτρων.....	38
	Εξάτμιση.....	39
	Εξατμισοδιαπνοή.....	41
	Απορροή.....	42
3.3.	Μοντέλα Πρόβλεψης.....	43
3.3.1.	Χρονικός Ορίζοντας Προβλέψεων.....	43
3.3.2.	Προετοιμασία Χρονοσειρών.....	44
	Βροχόπτωση.....	44
	Εξατμισοδιαπνοή.....	44
	Εξάτμιση.....	44
	Διαφορά Στάθμης.....	44
	Απορροή.....	44
3.3.3.	Κενές Τιμές.....	51
3.3.4.	Διαστήματα Εμπιστοσύνης.....	51
3.3.5.	Κλασσική Μέθοδος Αποσύνθεσης.....	52
3.3.6.	Μέθοδοι Στατιστικών Προβλέψεων.....	53
	Ναϊνε ή Αφελής Μέθοδος.....	53
	SES ή Απλή Εκθετική Εξομάλυνση Σταθερού Επιπέδου.....	54
	Holt ή Μοντέλο Γραμμικής Τάσης.....	55
	Damped ή Μοντέλο Φθίνουσας Τάσης.....	55
	Theta.....	56
3.3.7.	Κανονικοποίηση.....	57
4.	ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ.....	59
4.1.	Το Πρόγραμμα RStudio.....	61
4.2.	Οι Μέθοδοι Πρόβλεψης στο RStudio.....	61
	Ναϊνε ή Αφελής Μέθοδος.....	62
	SES ή Απλή Εκθετική Εξομάλυνση Σταθερού Επιπέδου.....	62
	Holt ή Μοντέλο Γραμμικής Τάσης.....	62
	Damped ή Μοντέλο Φθίνουσας Τάσης.....	63
	Theta.....	63
4.3.	Τα Σφάλματα.....	63
4.3.1.	Μέσο Τετραγωνικό Σφάλμα (MSE).....	63
4.3.2.	Ρίζα Μέσου Τετραγωνικού Σφάλματος (RMSE).....	64

4.3.3.	Μέσο Σφάλμα (ΜΕ).....	64
4.4.	Ανάλυση Ευαισθησίας των Περιοχών Μελέτης.....	65
4.4.1.	Η λίμνη Αργκάιλ.....	65
	Βροχόπτωση.....	65
	Εξάτμιση.....	66
	Εξατμισοδιαπνοή.....	67
	Απορροή.....	68
	Διαφορά Όγκου.....	69
4.4.2.	Η λίμνη Βόλτα.....	72
	Βροχόπτωση.....	72
	Εξάτμιση.....	73
	Εξατμισοδιαπνοή.....	74
	Απορροή.....	75
	Διαφορά Στάθμης.....	76
4.4.3.	Η λίμνη Σάλτον Σι.....	79
	Βροχόπτωση.....	79
	Εξάτμιση.....	80
	Εξατμισοδιαπνοή.....	81
	Απορροή.....	82
	Διαφορά Στάθμης.....	83
4.4.4.	Η λίμνη Σαν Ροκέ.....	86
	Βροχόπτωση.....	86
	Εξάτμιση.....	87
	Εξατμισοδιαπνοή.....	88
	Απορροή.....	89
	Διαφορά Στάθμης.....	90
4.4.5.	Η λίμνη Άισελμεερ.....	93
	Βροχόπτωση.....	93
	Εξάτμιση.....	94
	Εξατμισοδιαπνοή.....	95
	Απορροή.....	96
	Διαφορά Στάθμης.....	98
4.4.6.	Η λίμνη Γκαόγιου.....	102
	Βροχόπτωση.....	102
	Εξάτμιση.....	103
	Εξατμισοδιαπνοή.....	104
	Απορροή.....	105
	Διαφορά Στάθμης.....	107
4.5	Συμπεράσματα.....	110
5.	ΠΡΟΒΛΕΨΕΙΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	113
<hr/>		
5.1.	Η Διαδικασία των Προβλέψεων.....	115
5.2.	Η λίμνη Αργκάιλ.....	116
5.2.1.	Βροχόπτωση.....	116
5.2.2.	Εξάτμιση.....	118
5.2.3.	Εξατμισοδιαπνοή.....	119

5.2.4.	Απορροή.....	121
5.2.5.	Διαφορά Όγκου Ταμειυτήρα.....	123
	Επίλυση της Εξίσωσης του Υδατικού Ισοζυγίου.....	124
	Προέκταση της Χρονοσειράς ΔV με τη Μέθοδο Πρόβλεψης SES.....	125
	Προέκταση Κανονικοποιημένης Χρονοσειράς ΔV με τη Μέθοδο Theta.....	126
5.3.	Η λίμνη Βόλτα (Αφρική).....	128
5.3.1.	Βροχόπτωση.....	128
5.3.2.	Εξάτμιση.....	129
5.3.3.	Εξατμισοδιαπνοή.....	131
5.3.4.	Απορροή.....	132
5.3.5.	Διαφορά Στάθμης.....	134
	Επίλυση Εξίσωσης Υδατικού Ισοζυγίου.....	134
	Προέκταση Χρονοσειράς ΔS με τη Μέθοδο Πρόβλεψης Damped.....	135
	Προέκταση Κανονικοποιημένης Χρονοσειράς ΔS με τη Μέθοδο SES.....	136
5.4.	Η λίμνη Σάλτον Σι (ΗΠΑ).....	138
5.4.1.	Βροχόπτωση.....	138
5.4.2.	Εξάτμιση.....	139
5.4.3.	Εξατμισοδιαπνοή.....	141
5.4.4.	Απορροή.....	142
5.4.5.	Διαφορά Στάθμης.....	144
	Επίλυση Εξίσωσης Υδατικού Ισοζυγίου.....	145
	Προέκταση Χρονοσειράς ΔS με τη Μέθοδο Πρόβλεψης Holt.....	146
	Προέκταση Κανονικοποιημένης Χρονοσειράς ΔS με τη Μέθοδο Holt.....	147
5.5.	Η λίμνη Σαν Ροκέ (Αργεντινή).....	149
5.5.1.	Βροχόπτωση.....	149
5.5.2.	Εξάτμιση.....	151
5.5.3.	Εξατμισοδιαπνοή.....	152
5.5.4.	Απορροή.....	154
5.5.5.	Διαφορά Στάθμης.....	155
	Επίλυση της Εξίσωσης Υδατικού Ισοζυγίου.....	156
	Προέκταση Χρονοσειράς ΔS με τη Μέθοδο Πρόβλεψης Holt.....	156
	Προέκταση Κανονικοποιημένης Χρονοσειράς ΔS με τη Μέθοδο Holt.....	157
5.6	Η λίμνη Άισελμεερ.....	159
5.6.1.	Βροχόπτωση.....	159
5.6.2.	Εξάτμιση.....	160
5.6.3.	Εξατμισοδιαπνοή.....	162
5.6.4.	Απορροή.....	163
	Προέκταση Χρονοσειράς Απορροής με τη Μέθοδο Πρόβλεψης SES.....	164
	Προέκταση Κανονικοποιημένης Χρονοσειράς Απορροής με τη Μέθοδο SES.....	165
5.6.5.	Διαφορά Στάθμης.....	166
	Επίλυση της Εξίσωσης Υδατικού Ισοζυγίου.....	167
	Προέκταση Χρονοσειράς ΔS με τη Μέθοδο Πρόβλεψης Damped.....	167
	Προέκταση Κανονικοποιημένης Χρονοσειράς ΔS με τη Μέθοδο Theta.....	168
	Επίλυση της Εξίσωσης Υδατικού Ισοζυγίου με Κανονικοποιημένα Δεδομένα Απορροής.....	169
5.7	Η λίμνη Γκαόγιου.....	171
5.7.1.	Βροχόπτωση.....	171
5.7.2.	Εξάτμιση.....	172

5.7.3.	Εξαμισοδιαπνοή.....	174
5.7.4.	Απορροή.....	176
	Προέκταση Χρονοσειράς Απορροής με τη Μέθοδο Πρόβλεψης Damped.....	176
	Προέκταση Κανονικοποιημένης Χρονοσειρά Απορροής με τη Μέθοδο SES.....	178
5.7.5.	Διαφορά Στάθμης.....	179
	Επίλυση της Εξίσωσης Υδατικού Ισοζυγίου.....	179
	Προέκταση Χρονοσειράς ΔS με τη Μέθοδο Πρόβλεψης SES.....	180
	Προέκταση Κανονικοποιημένης Χρονοσειράς ΔS με τη Μέθοδο Holt.....	181
	Επίλυση της Εξίσωσης Υδατικού Ισοζυγίου με Κανονικοποιημένα Δεδομένα Απορροής.....	181
5.8	Συμπεράσματα.....	183
6.	ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	185
<hr/>		
6.1.	Οι Προβλέψεις και οι τάσεις της Κλιματικής Αλλαγής.....	187
6.1.1.	Αυστραλία – Η λίμνη Αργκάιλ.....	187
6.1.2.	Αφρική – Η λίμνη Βόλτα.....	188
6.1.3.	Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής – Η λίμνη Σάλτον Σι.....	190
6.1.4.	Αργεντινή – Η λίμνη Σαν Ροκέ.....	191
6.1.5.	Ολλανδία – Η λίμνη Άισελμεερ.....	193
6.1.6.	Κίνα – Η λίμνη Γκαόγιου.....	195
6.2.	Παραδοχές.....	196
7.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	199
<hr/>		
7.1	Το Πρόβλημα της Κλιματικής Αλλαγής ως προς τα Υδατικά Σώματα.....	201
7.2	Οι Γεωγραφικές Ιδιαιτερότητες των υπό μελέτη Λιμνών.....	201
7.2.1	Αυστραλία – Αργκάιλ.....	201
7.2.2	Αφρική – Βόλτα.....	202
7.2.3	Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής – Σάλτον Σι.....	202
7.2.4	Νότιος Αμερική – Σαν Ροκέ.....	202
7.2.5	Ευρώπη – Άισελμεερ.....	203
7.2.6	Ασία – Γκαόγιου.....	203
7.3	Η Μεθοδολογία των Μοντέλων Πρόβλεψης.....	204
7.4	Τα Αποτελέσματα της Μελέτης.....	205
7.4.1	Αυστραλία – Η λίμνη Αργκάιλ.....	205
7.4.2	Αφρική – Η λίμνη Βόλτα.....	205
7.4.3	Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής – Η λίμνη Σάλτον Σι.....	205
7.4.4	Αργεντινή – Η λίμνη Σαν Ροκέ.....	206
7.4.5	Ολλανδία – Η λίμνη Άισελμεερ.....	206
7.4.6	Κίνα – Η λίμνη Γκαόγιου.....	206
7.5	Συμπεράσματα.....	207
<hr/>		

7.6	Μελλοντικές Προτάσεις.....	207
------------	-----------------------------------	------------

	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	208
--	---------------------	------------

ΠΙΝΑΚΕΣ

Πίνακας: 4.1.	Τα μέσα σφάλματα των μεθόδων πρόβλεψης για τη βροχόπτωση της λίμνης Αργκάιλ.....	65
Πίνακας: 4.2.	Τα μέσα σφάλματα των μεθόδων πρόβλεψης για την εξάτμιση της λίμνης Αργκάιλ.....	66
Πίνακας: 4.3.	Τα μέσα σφάλματα των μεθόδων πρόβλεψης για την εξατμισοδιαπνοή της λίμνης Αργκάιλ.....	67
Πίνακας: 4.4.	Τα μέσα σφάλματα των μεθόδων πρόβλεψης για την απορροή της λίμνης Αργκάιλ.....	68
Πίνακας: 4.5.	Τα μέσα σφάλματα των μεθόδων πρόβλεψης για τη διαφορά όγκου της λίμνης Αργκάιλ.....	69
Πίνακας: 4.6.	Τα μέσα σφάλματα των μεθόδων πρόβλεψης για τα κανονικοποιημένα δεδομένα διαφοράς όγκου της λίμνης Αργκάιλ.....	70
Πίνακας: 4.7.	Τα μέσα σφάλματα των τελικών μεθόδων πρόβλεψης για τη διαφορά όγκου της λίμνης Αργκάιλ.....	71
Πίνακας: 4.8.	Τα μέσα σφάλματα των μεθόδων πρόβλεψης για τη βροχόπτωση της λίμνης Βόλτα.....	72
Πίνακας: 4.9.	Τα μέσα σφάλματα των μεθόδων πρόβλεψης για την εξάτμιση της λίμνης Βόλτα.....	73
Πίνακας: 4.10	Τα μέσα σφάλματα των μεθόδων πρόβλεψης για την εξατμισοδιαπνοή της λίμνης Βόλτα.....	74
Πίνακας: 4.11	Τα μέσα σφάλματα των μεθόδων πρόβλεψης για την απορροή της λίμνης Βόλτα.....	75
Πίνακας: 4.12	Τα μέσα σφάλματα των μεθόδων πρόβλεψης για τη διαφορά στάθμης της λίμνης Βόλτα.....	76
Πίνακας: 4.13	Τα μέσα σφάλματα των μεθόδων πρόβλεψης για τα κανονικοποιημένα δεδομένα διαφοράς στάθμης της λίμνης Βόλτα.....	77
Πίνακας: 4.14	Τα μέσα σφάλματα των τελικών μεθόδων πρόβλεψης για τη διαφορά στάθμης της λίμνης Βόλτα.....	78
Πίνακας: 4.15	Τα μέσα σφάλματα των μεθόδων πρόβλεψης για τη βροχόπτωση της λίμνης Σάλτον Σι.....	79
Πίνακας: 4.16	Τα μέσα σφάλματα των μεθόδων πρόβλεψης για την εξάτμιση της λίμνης Σάλτον Σι.....	80
Πίνακας: 4.17	Τα μέσα σφάλματα των μεθόδων πρόβλεψης για την εξατμισοδιαπνοή της	

	λίμνης Σάλτον Σι.....	81
Πίνακας: 4.18	Τα μέσα σφάλματα των μεθόδων πρόβλεψης για την απορροή της λίμνης Σάλτον Σι.....	82
Πίνακας: 4.19	Τα μέσα σφάλματα των μεθόδων πρόβλεψης για τη διαφορά στάθμης της λίμνης Σάλτον Σι.....	83
Πίνακας: 4.20	Τα μέσα σφάλματα των μεθόδων πρόβλεψης για τα κανονικοποιημένα δεδομένα της διαφορά στάθμης της λίμνης Σάλτον Σι.....	84
Πίνακας: 4.21	Τα μέσα σφάλματα των τελικών μεθόδων πρόβλεψης τη διαφορά στάθμης της λίμνης Σάλτον Σι.....	85
Πίνακας: 4.22	Τα μέσα σφάλματα των μεθόδων πρόβλεψης της βροχόπτωσης της λίμνης Σαν Ροκέ.....	86
Πίνακας: 4.23	Τα μέσα σφάλματα των μεθόδων πρόβλεψης της εξάτμισης της λίμνης Σαν Ροκέ.....	87
Πίνακας: 4.24	Τα μέσα σφάλματα των μεθόδων πρόβλεψης της εξατμισοδιαπνοής της λίμνης Σαν Ροκέ.....	88
Πίνακας: 4.25	Τα μέσα σφάλματα των μεθόδων πρόβλεψης της απορροής της λίμνης Σαν Ροκέ.....	89
Πίνακας: 4.26	Τα μέσα σφάλματα των μεθόδων πρόβλεψης της διαφοράς στάθμης της λίμνης Σαν Ροκέ.....	90
Πίνακας: 4.27	Τα μέσα σφάλματα των μεθόδων πρόβλεψης των κανονικοποιημένων δεδομένων της διαφοράς στάθμης της λίμνης Σαν Ροκέ.....	91
Πίνακας: 4.28	Τα μέσα σφάλματα των τελικών μεθόδων πρόβλεψης της διαφοράς στάθμης της λίμνης Σαν Ροκέ.....	92
Πίνακας: 4.29	Τα μέσα σφάλματα των μεθόδων πρόβλεψης της βροχόπτωσης της λίμνης Άισελμεερ.....	93
Πίνακας: 4.30	Τα μέσα σφάλματα των μεθόδων πρόβλεψης της εξάτμισης της λίμνης Άισελμεερ.....	94
Πίνακας: 4.31	Τα μέσα σφάλματα των μεθόδων πρόβλεψης της εξατμισοδιαπνοής της λίμνης Άισελμεερ.....	95
Πίνακας: 4.32	Τα μέσα σφάλματα των μεθόδων πρόβλεψης της απορροής της λίμνης Άισελμεερ.....	96
Πίνακας: 4.33	Τα μέσα σφάλματα των μεθόδων πρόβλεψης των κανονικοποιημένων δεδομένων της απορροής της λίμνης Άισελμεερ.....	97
Πίνακας: 4.34	Τα μέσα σφάλματα των μεθόδων πρόβλεψης της διαφοράς στάθμης της λίμνης Άισελμεερ.....	98
Πίνακας: 4.35	Τα μέσα σφάλματα των μεθόδων πρόβλεψης των κανονικοποιημένων	99

	δεδομένων της διαφοράς στάθμης της λίμνης Άισελμεερ.....	
Πίνακας: 4.36	Τα μέσα σφάλματα των τελικών μεθόδων πρόβλεψης της διαφοράς στάθμης της λίμνης Άισελμεερ.....	101
Πίνακας: 4.37	Τα μέσα σφάλματα των μεθόδων πρόβλεψης της βροχόπτωσης της λίμνης Γκαόγιου.....	102
Πίνακας: 4.38	Τα μέσα σφάλματα των μεθόδων πρόβλεψης της εξάτμισης της λίμνης Γκαόγιου.....	103
Πίνακας: 4.39	Τα μέσα σφάλματα των μεθόδων πρόβλεψης της εξατμισοδιαπνοής της λίμνης Γκαόγιου.....	104
Πίνακας: 4.40	Τα μέσα σφάλματα των μεθόδων πρόβλεψης της απορροής της λίμνης Γκαόγιου.....	105
Πίνακας: 4.41	Τα μέσα σφάλματα των μεθόδων πρόβλεψης των κανονικοποιημένων δεδομένων της απορροής της λίμνης Γκαόγιου.....	106
Πίνακας: 4.42	Τα μέσα σφάλματα των μεθόδων πρόβλεψης της διαφοράς στάθμης της λίμνης Γκαόγιου.....	107
Πίνακας: 4.43	Τα μέσα σφάλματα των μεθόδων πρόβλεψης των κανονικοποιημένων δεδομένων της διαφοράς στάθμης της λίμνης Γκαόγιου.....	108
Πίνακας: 4.44	Τα μέσα σφάλματα των τελικών μεθόδων της διαφοράς στάθμης της λίμνης Γκαόγιου.....	110
Πίνακας: 4.45	Οι μέθοδοι πρόβλεψης της κάθε παραμέτρου για την κάθε λίμνη συγκεντρωτικά.....	112

EΙΚΟΝΕΣ

Εικόνα: 2.1.	Αυστραλία – Η λίμνη Αργκάιλ.....	21
Εικόνα: 2.2.	Η λίμνη Αργκάιλ.....	22
Εικόνα: 2.3.	Αφρική - Η λίμνη Βόλτα.....	23
Εικόνα: 2.4.	Η λίμνη Βόλτα.....	24
Εικόνα: 2.5.	ΗΠΑ - Η λίμνη Σάλτον Σι.....	25
Εικόνα: 2.6.	Η λίμνη Σάλτον Σι.....	26
Εικόνα: 2.7.	Νότιος Αμερική - Η λίμνη Σαν Ροκέ.....	27
Εικόνα: 2.8.	Η λίμνη Σαν Ροκέ.....	28
Εικόνα: 2.9.	Ευρώπη - Η λίμνη Άισελμεερ.....	29
Εικόνα 2.10	Η λίμνη Άισελμεερ.....	30
Εικόνα 2.11	Ασία - Η λίμνη Γκαόγιου.....	32
Εικόνα 2.12	Η λίμνη Γκαόγιου.....	33
Εικόνα: 3.1.	Το λογισμικό Medbasin.....	42

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

Διάγραμμα: 3.1.	Οι χρονοσειρές αθροιστικής βροχόπτωσης των περιοχών μελέτης.....	45
Διάγραμμα: 3.2.	Οι χρονοσειρές αθροιστικής εξατμισοδιαπνοής των περιοχών μελέτης.....	46
Διάγραμμα: 3.3.	Οι χρονοσειρές αθροιστικής εξάτμισης των περιοχών μελέτης.....	47
Διάγραμμα: 3.4.	Οι χρονοσειρές διαφοράς στάθμης των περιοχών μελέτης.....	48
Διάγραμμα: 3.5.	Οι χρονοσειρές απορροής για τις λίμνες Γκαόγιου, Άισελμεερ, Σαν Ροκέ.....	49
Διάγραμμα: 3.6.	Οι χρονοσειρές απορροής για τις λίμνες Αργκάιλ, Σάλτον Σι, Βόλτα.....	50
Διάγραμμα: 4.1.	Η κατανομή των μέσων σφαλμάτων της βροχόπτωσης της λίμνης Αρκάιλ με τη μέθοδο Theta.....	65
Διάγραμμα: 4.2.	Η κατανομή των μέσων σφαλμάτων της εξάτμισης της λίμνης Αρκάιλ με τη μέθοδο Naïve.....	66
Διάγραμμα: 4.3.	Η κατανομή των μέσων σφαλμάτων της εξατμισοδιαπνοής της λίμνης Αρκάιλ με τη μέθοδο Naïve.....	67
Διάγραμμα: 4.4.	Η κατανομή των μέσων σφαλμάτων της απορροής της λίμνης Αρκάιλ με τη μέθοδο Naïve.....	68
Διάγραμμα: 4.5.	Η κατανομή των μέσων σφαλμάτων της διαφοράς όγκου της λίμνης Αρκάιλ με τη μέθοδο SES.....	69
Διάγραμμα: 4.6.	Η κατανομή των μέσων σφαλμάτων των κανονικοποιημένων δεδομένων διαφοράς όγκου της λίμνης Αρκάιλ με τη μέθοδο Theta.....	70
Διάγραμμα: 4.7.	Η κατανομή των μέσων σφαλμάτων της διαφοράς όγκου της λίμνης Αρκάιλ με την επίλυση της εξίσωσης του υδατικού ισοζυγίου.....	71
Διάγραμμα: 4.8.	Η κατανομή των μέσων σφαλμάτων της βροχόπτωσης της λίμνης Βόλτα με τη μέθοδο Holt.....	72
Διάγραμμα: 4.9.	Η κατανομή των μέσων σφαλμάτων της εξάτμισης της λίμνης Βόλτα με τη μέθοδο Theta.....	73
Διάγραμμα: 4.10	Η κατανομή των μέσων σφαλμάτων της εξατμισοδιαπνοής της λίμνης Βόλτα με τη μέθοδο Holt.....	74
Διάγραμμα: 4.11	Η κατανομή των μέσων σφαλμάτων της απορροής της λίμνης Βόλτα με τη μέθοδο Theta.....	75
Διάγραμμα: 4.12	Η κατανομή των μέσων σφαλμάτων της διαφοράς της στάθμης της λίμνης Βόλτα με τη μέθοδο Damped.....	76
Διάγραμμα: 4.13	Η κατανομή των μέσων σφαλμάτων των κανονικοποιημένων δεδομένων της διαφοράς της στάθμης της λίμνης Βόλτα με τη μέθοδο SES.....	77
Διάγραμμα: 4.14	Η κατανομή των μέσων σφαλμάτων της διαφοράς της στάθμης της λίμνης Βόλτα με την επίλυση της εξίσωσης του υδατικού ισοζυγίου.....	78

Διάγραμμα: 4.15	Η κατανομή των μέσων σφαλμάτων της βροχόπτωσης της λίμνης Σάλτον Σι με τη μέθοδο SES.....	79
Διάγραμμα: 4.16	Η κατανομή των μέσων σφαλμάτων της εξάτμισης της λίμνης Σάλτον Σι με τη μέθοδο SES.....	80
Διάγραμμα: 4.17	Η κατανομή των μέσων σφαλμάτων της εξατμισοδιαπνοής της λίμνης Σάλτον Σι με τη μέθοδο Holt.....	81
Διάγραμμα: 4.18	Η κατανομή των μέσων σφαλμάτων της απορροής της λίμνης Σάλτον Σι με τη μέθοδο SES.....	82
Διάγραμμα: 4.19	Η κατανομή των μέσων σφαλμάτων της διαφοράς στάθμης της λίμνης Σάλτον Σι με τη μέθοδο Holt.....	83
Διάγραμμα: 4.20	Η κατανομή των μέσων σφαλμάτων των κανονικοποιημένων δεδομένων της διαφοράς στάθμης της λίμνης Σάλτον Σι με τη μέθοδο Holt.....	84
Διάγραμμα: 4.21	Η κατανομή των μέσων σφαλμάτων της διαφοράς στάθμης με την επίλυση της εξίσωσης του υδατικού ισοζυγίου της λίμνης Σάλτον Σι.....	85
Διάγραμμα: 4.22	Η κατανομή των μέσων σφαλμάτων της βροχόπτωσης της λίμνης Σαν Ροκέ με τη μέθοδο Damped.....	86
Διάγραμμα: 4.23	Η κατανομή των μέσων σφαλμάτων της εξάτμισης της λίμνης Σαν Ροκέ με τη μέθοδο Holt.....	87
Διάγραμμα: 4.24	Η κατανομή των μέσων σφαλμάτων της εξατμισοδιαπνοής της λίμνης Σαν Ροκέ με τη μέθοδο Holt.....	88
Διάγραμμα: 4.25	Η κατανομή των μέσων σφαλμάτων της απορροής της λίμνης Σαν Ροκέ με τη μέθοδο Damped.....	89
Διάγραμμα: 4.26	Η κατανομή των μέσων σφαλμάτων της διαφοράς στάθμης της λίμνης Σαν Ροκέ με τη μέθοδο Holt.....	90
Διάγραμμα: 4.27	Η κατανομή των μέσων σφαλμάτων των κανονικοποιημένων δεδομένων της διαφοράς στάθμης της λίμνης Σαν Ροκέ με τη μέθοδο Holt.....	91
Διάγραμμα: 4.28	Η κατανομή των μέσων σφαλμάτων της διαφοράς στάθμης με την επίλυση της εξίσωσης του υδατικού ισοζυγίου της λίμνης Σαν Ροκέ.....	92
Διάγραμμα: 4.29	Η κατανομή των μέσων σφαλμάτων της βροχόπτωσης της λίμνης Άισελμεερ με τη μέθοδο Damped.....	93
Διάγραμμα: 4.30	Η κατανομή των μέσων σφαλμάτων της εξάτμισης της λίμνης Άισελμεερ με τη μέθοδο Naïve.....	94
Διάγραμμα: 4.31	Η κατανομή των μέσων σφαλμάτων της εξατμισοδιαπνοής της λίμνης Άισελμεερ με τη μέθοδο Theta.....	95
Διάγραμμα: 4.32	Η κατανομή των μέσων σφαλμάτων της απορροής της λίμνης Άισελμεερ με τη μέθοδο SES.....	96

Διάγραμμα: 4.33	Η κατανομή των μέσων σφαλμάτων των κανονικοποιημένων δεδομένων της απορροής της λίμνης Άισελμεερ με τη μέθοδο SES.....	97
Διάγραμμα: 4.34	Η κατανομή των μέσων της διαφοράς στάθμης της λίμνης Άισελμεερ με τη μέθοδο Damped.....	98
Διάγραμμα: 4.35	κατανομή των μέσων των κανονικοποιημένων δεδομένων της διαφοράς στάθμης της λίμνης Άισελμεερ με τη μέθοδο Theta.....	99
Διάγραμμα: 4.36	Η κατανομή των μέσων της διαφοράς στάθμης με την επίλυση της εξίσωσης υδατικού ισοζυγίου της λίμνης Άισελμεερ.....	100
Διάγραμμα: 4.37	Η κατανομή των μέσων της διαφοράς στάθμης με την επίλυση της εξίσωσης υδατικού ισοζυγίου για την κανονικοποιημένη απορροή της λίμνης Άισελμεερ.....	101
Διάγραμμα: 4.38	Η κατανομή των μέσων της βροχόπτωσης της λίμνης Γκαόγιου με τη μέθοδο Theta...	102
Διάγραμμα: 4.39	Η κατανομή των μέσων της εξάτμισης της λίμνης Γκαόγιου με τη μέθοδο Holt.....	103
Διάγραμμα: 4.40	Η κατανομή των μέσων της εξατμισοδιαπνοής της λίμνης Γκαόγιου με τη μέθοδο Holt.....	104
Διάγραμμα: 4.41	Η κατανομή των μέσων της απορροής της λίμνης Γκαόγιου με τη μέθοδο Damped...	105
Διάγραμμα: 4.42	Η κατανομή των μέσων των κανονικοποιημένων δεδομένων της απορροής της λίμνης Γκαόγιου με τη μέθοδο Damped.....	106
Διάγραμμα: 4.43	Η κατανομή των μέσων της διαφοράς στάθμης της λίμνης Γκαόγιου με τη μέθοδο SES.....	107
Διάγραμμα: 4.44	Η κατανομή των μέσων των κανονικοποιημένων δεδομένων της διαφοράς στάθμης της λίμνης Γκαόγιου με τη μέθοδο Holt.....	108
Διάγραμμα: 4.45	Η κατανομή των μέσων της διαφοράς στάθμης με την επίλυση της εξίσωσης του υδατικού ισοζυγίου της λίμνης Γκαόγιου.....	109
Διάγραμμα: 4.46	Η κατανομή των μέσων της διαφοράς στάθμης με την επίλυση της εξίσωσης του υδατικού ισοζυγίου με κανονικοποιημένη απορροή της λίμνης Γκαόγιου.....	109
Διάγραμμα: 5.1.	Τα δεδομένα της βροχόπτωσης για τα υδρολογικά έτη 1992-2011 της λίμνης Αργκάλι.....	116
Διάγραμμα: 5.2.	Οι προβλέψεις της βροχόπτωσης και τα διαστήματα εμπιστοσύνης για τα υδρολογικά έτη 2011-2015 της μεθόδου Theta για τη λίμνη Αργκάλι.....	116
Διάγραμμα: 5.3.	Τα τελικά δεδομένα της βροχόπτωσης για τα υδρολογικά έτη 1992-2015 της λίμνης Αργκάλι.....	117
Διάγραμμα: 5.4.	Τα δεδομένα της εξάτμισης για τα υδρολογικά έτη 1992-2011 της λίμνης Αργκάλι.....	118
Διάγραμμα: 5.5.	Οι προβλέψεις της εξάτμισης και τα διαστήματα εμπιστοσύνης για τα υδρολογικά έτη 2011-2015 της μεθόδου Naive για τη λίμνη Αργκάλι.....	118
Διάγραμμα: 5.6.	Τα τελικά δεδομένα της εξάτμισης για τα υδρολογικά έτη 1992-2015 της λίμνης Αργκάλι.....	119

Διάγραμμα: 5.7.	Τα δεδομένα της εξατμισοδιαπνοής για τα υδρολογικά έτη 1992-2011 της λίμνης Αργκάιλ.....	120
Διάγραμμα: 5.8.	Οι προβλέψεις της εξατμισοδιαπνοής και τα διαστήματα εμπιστοσύνης για τα υδρολογικά έτη 2011-2015 της μεθόδου Naive για τη λίμνη Αργκάιλ.....	120
Διάγραμμα: 5.9.	Τα τελικά δεδομένα της εξατμισοδιαπνοής για τα υδρολογικά έτη 1992-2015 της λίμνης Αργκάιλ.....	121
Διάγραμμα: 5.10	Τα δεδομένα της απορροής για τα υδρολογικά έτη 1992-2011 της λίμνης Αργκάιλ....	122
Διάγραμμα: 5.11	Οι προβλέψεις της απορροής και τα διαστήματα εμπιστοσύνης για τα υδρολογικά έτη 2011-2015 της μεθόδου Naive για τη λίμνη Αργκάιλ.....	122
Διάγραμμα: 5.12	Τα τελικά δεδομένα της απορροής για τα υδρολογικά έτη 1992-2015 της λίμνης Αργκάιλ.....	123
Διάγραμμα: 5.13	Τα δεδομένα της διαφοράς όγκου για τα υδρολογικά έτη 1992-2011 της λίμνης Αργκάιλ.....	123
Διάγραμμα: 5.14	Οι προβλέψεις της διαφοράς όγκου και τα διαστήματα εμπιστοσύνης για τα υδρολογικά έτη 2011-2015 της επίλυσης της εξίσωσης υδατικού ισοζυγίου για τη λίμνη Αργκάιλ.....	124
Διάγραμμα: 5.15	Οι προβλέψεις της διαφοράς όγκου και τα διαστήματα εμπιστοσύνης για τα υδρολογικά έτη 2011-2015 της μεθόδου SES για τη λίμνη Αργκάιλ.....	125
Διάγραμμα: 5.16	Οι προβλέψεις της διαφοράς όγκου και τα διαστήματα εμπιστοσύνης για τα υδρολογικά έτη 2011-2015 των κανονικοποιημένων δεδομένων με τη μέθοδο Theta για τη λίμνη Αργκάιλ.....	126
Διάγραμμα: 5.17	Τα δεδομένα και οι προβλέψεις όλων των μεθόδων της διαφοράς όγκου για τα υδρολογικά έτη 1992-2015 της λίμνης Αργκάιλ.....	127
Διάγραμμα: 5.18	Τα τελικά δεδομένα της διαφοράς όγκου για τα υδρολογικά έτη 1992-2015 της λίμνης Αργκάιλ.....	127
Διάγραμμα: 5.19	Τα δεδομένα της βροχόπτωσης για τα υδρολογικά έτη 1992-2011 της λίμνης Βόλτα..	128
Διάγραμμα: 5.20	Οι προβλέψεις της βροχόπτωσης και τα διαστήματα εμπιστοσύνης για τα υδρολογικά έτη 2011-2015 της μεθόδου Holt για τη λίμνη Βόλτα.....	128
Διάγραμμα: 5.21	Τα τελικά δεδομένα της βροχόπτωσης για τα υδρολογικά έτη 1992-2015 της λίμνης Βόλτα.....	129
Διάγραμμα: 5.22	Τα δεδομένα της εξάτμισης για τα υδρολογικά έτη 1992-2011 της λίμνης Βόλτα.....	129
Διάγραμμα: 5.23	Οι προβλέψεις της εξάτμισης και τα διαστήματα εμπιστοσύνης για τα υδρολογικά έτη 2011-2015 της μεθόδου Theta για τη λίμνη Βόλτα.....	130
Διάγραμμα: 5.24	Τα τελικά δεδομένα της εξάτμισης για τα υδρολογικά έτη 1992-2015 της λίμνης Βόλτα.....	130
Διάγραμμα: 5.25	Τα δεδομένα της εξατμισοδιαπνοής για τα υδρολογικά έτη 1992-2011 της λίμνης Βόλτα.....	131

Διάγραμμα: 5.26	Οι προβλέψεις της εξατμισοδιαπνοής και τα διαστήματα εμπιστοσύνης για τα υδρολογικά έτη 2011-2015 της μεθόδου Holt για τη λίμνη Βόλτα.....	131
Διάγραμμα: 5.27	Τα τελικά δεδομένα της εξατμισοδιαπνοής για τα υδρολογικά έτη 1992-2015 της λίμνης Βόλτα.....	132
Διάγραμμα: 5.28	Τα δεδομένα της απορροής για τα υδρολογικά έτη 1992-2011 της λίμνης Βόλτα.....	132
Διάγραμμα: 5.29	Οι προβλέψεις της απορροής και τα διαστήματα εμπιστοσύνης για τα υδρολογικά έτη 2011-2015 της μεθόδου Theta για τη λίμνη Βόλτα.....	133
Διάγραμμα: 5.30	Τα τελικά δεδομένα της απορροής για τα υδρολογικά έτη 1992-2015 της λίμνης Βόλτα.....	133
Διάγραμμα: 5.31	Τα δεδομένα της διαφοράς στάθμης για τα υδρολογικά έτη 1992-2011 της λίμνης Βόλτα.....	134
Διάγραμμα: 5.32	Οι προβλέψεις της διαφοράς στάθμης και τα διαστήματα εμπιστοσύνης για τα υδρολογικά έτη 2011-2015 της επίλυσης της εξίσωσης υδατικού ισοζυγίου για τη λίμνη Βόλτα.....	134
Διάγραμμα: 5.33	Οι προβλέψεις της διαφοράς στάθμης και τα διαστήματα εμπιστοσύνης για τα υδρολογικά έτη 2011-2015 της μεθόδου Damped για τη λίμνη Βόλτα.....	135
Διάγραμμα: 5.34	Οι προβλέψεις της διαφοράς στάθμης και τα διαστήματα εμπιστοσύνης για τα υδρολογικά έτη 2011-2015 των κανονικοποιημένων δεδομένων με τη μέθοδο SES για τη λίμνη Βόλτα.....	136
Διάγραμμα: 5.35	Τα δεδομένα και οι προβλέψεις όλων των μεθόδων της διαφοράς στάθμης για τα υδρολογικά έτη 1992-2015 της λίμνης Βόλτα.....	136
Διάγραμμα: 5.36	Τα τελικά δεδομένα της διαφοράς στάθμης για τα υδρολογικά έτη 1992-2015 της λίμνης Βόλτα.....	137
Διάγραμμα: 5.37	Τα δεδομένα της βροχόπτωσης για τα υδρολογικά έτη 1992-2011 της λίμνης Σάλτον Σι.....	138
Διάγραμμα: 5.38	Οι προβλέψεις της βροχόπτωσης και τα διαστήματα εμπιστοσύνης για τα υδρολογικά έτη 2011-2015 της μεθόδου SES για τη λίμνη Σάλτον Σι.....	138
Διάγραμμα: 5.39	Τα τελικά δεδομένα της βροχόπτωσης για τα υδρολογικά έτη 1992-2015 της λίμνης Σάλτον Σι.....	139
Διάγραμμα: 5.40	Τα δεδομένα της εξάτμισης για τα υδρολογικά έτη 1992-2011 της λίμνης Σάλτον Σι.....	139
Διάγραμμα: 5.41	Οι προβλέψεις της εξάτμισης και τα διαστήματα εμπιστοσύνης για τα υδρολογικά έτη 2011-2015 της μεθόδου SES για τη λίμνη Σάλτον Σι.....	140
Διάγραμμα: 5.42	Τα τελικά δεδομένα της εξάτμισης για τα υδρολογικά έτη 1992-2015 της λίμνης Σάλτον Σι.....	140
Διάγραμμα: 5.43	Τα δεδομένα της εξατμισοδιαπνοής για τα υδρολογικά έτη 1992-2011 της λίμνης Σάλτον Σι.....	141

Διάγραμμα: 5.44	Οι προβλέψεις της εξατμισοδιαπνοής και τα διαστήματα εμπιστοσύνης για τα υδρολογικά έτη 2011-2015 της μεθόδου Holt για τη λίμνη Σάλτον Σι.....	141
Διάγραμμα: 5.45	Τα τελικά δεδομένα της εξατμισοδιαπνοής για τα υδρολογικά έτη 1992-2015 της λίμνης Σάλτον Σι.....	142
Διάγραμμα: 5.46	Τα δεδομένα της απορροής για τα υδρολογικά έτη 1992-2011 της λίμνης Σάλτον Σι....	143
Διάγραμμα: 5.47	Οι προβλέψεις της απορροής και τα διαστήματα εμπιστοσύνης για τα υδρολογικά έτη 2011-2015 της μεθόδου SES για τη λίμνη Σάλτον Σι.....	143
Διάγραμμα: 5.48	Τα τελικά δεδομένα της απορροής για τα υδρολογικά έτη 1992-2015 της λίμνης Σάλτον Σι.....	144
Διάγραμμα: 5.49	Τα δεδομένα της διαφοράς στάθμης για τα υδρολογικά έτη 1992-2011 της λίμνης Σάλτον Σι.....	144
Διάγραμμα: 5.50	Οι προβλέψεις της διαφοράς στάθμης και τα διαστήματα εμπιστοσύνης για τα υδρολογικά έτη 2011-2015 της επίλυσης της εξίσωσης υδατικού ισοζυγίου για τη λίμνη Σάλτον Σι.....	145
Διάγραμμα: 5.51	Οι προβλέψεις της διαφοράς στάθμης και τα διαστήματα εμπιστοσύνης για τα υδρολογικά έτη 2011-2015 της μεθόδου Holt για τη λίμνη Σάλτον Σι.....	146
Διάγραμμα: 5.52	Οι προβλέψεις της διαφοράς στάθμης και τα διαστήματα εμπιστοσύνης για τα υδρολογικά έτη 2011-2015 των κανονικοποιημένων δεδομένων με τη μέθοδο Holt για τη λίμνη Σάλτον Σι.....	147
Διάγραμμα: 5.53	Τα δεδομένα και οι προβλέψεις όλων των μεθόδων της διαφοράς στάθμης για τα υδρολογικά έτη 1992-2015 της λίμνης Σάλτον Σι.....	148
Διάγραμμα: 5.54	Τα τελικά δεδομένα της διαφοράς στάθμης για τα υδρολογικά έτη 1992-2015 της λίμνης Σάλτον Σι.....	148
Διάγραμμα: 5.55	Τα δεδομένα της βροχόπτωσης για τα υδρολογικά έτη 1992-2011 της λίμνης Σαν Ροκέ.....	149
Διάγραμμα: 5.56	Οι προβλέψεις της βροχόπτωσης και τα διαστήματα εμπιστοσύνης για τα υδρολογικά έτη 2011-2015 της μεθόδου Damped για τη λίμνη Σαν Ροκέ.....	150
Διάγραμμα: 5.57	Τα τελικά δεδομένα της βροχόπτωσης για τα υδρολογικά έτη 1992-2015 της λίμνης Σαν Ροκέ.....	150
Διάγραμμα: 5.58	Τα δεδομένα της εξάτμισης για τα υδρολογικά έτη 1992-2011 της λίμνης Σαν Ροκέ.....	150
Διάγραμμα: 5.59	Οι προβλέψεις της εξάτμισης και τα διαστήματα εμπιστοσύνης για τα υδρολογικά έτη 2011-2015 της μεθόδου Holt για τη λίμνη Σαν Ροκέ.....	151
Διάγραμμα: 5.60	Τα τελικά δεδομένα της εξάτμισης για τα υδρολογικά έτη 1992-2015 της λίμνης Σαν Ροκέ.....	152
Διάγραμμα: 5.61	Τα δεδομένα της εξατμισοδιαπνοής για τα υδρολογικά έτη 1992-2011 της λίμνης Σαν Ροκέ.....	152

Διάγραμμα: 5.62	Οι προβλέψεις της εξατμισοδιαπνοής και τα διαστήματα εμπιστοσύνης για τα υδρολογικά έτη 2011-2015 της μεθόδου Holt για τη λίμνη Σαν Ροκέ.....	153
Διάγραμμα: 5.63	Τα τελικά δεδομένα της εξατμισοδιαπνοής για τα υδρολογικά έτη 1992-2015 της λίμνης Σαν Ροκέ.....	153
Διάγραμμα: 5.64	Τα δεδομένα της απορροής για τα υδρολογικά έτη 1992-2011 της λίμνης Σαν Ροκέ...	154
Διάγραμμα: 5.65	Οι προβλέψεις της απορροής και τα διαστήματα εμπιστοσύνης για τα υδρολογικά έτη 2011-2015 της μεθόδου Damped για τη λίμνη Σαν Ροκέ.....	154
Διάγραμμα: 5.66	Τα τελικά δεδομένα της απορροής για τα υδρολογικά έτη 1992-2015 της λίμνης Σαν Ροκέ.....	155
Διάγραμμα: 5.67	Τα δεδομένα της διαφοράς στάθμης για τα υδρολογικά έτη 1992-2011 της λίμνης Σαν Ροκέ.....	155
Διάγραμμα: 5.68	Οι προβλέψεις της διαφοράς στάθμης και τα διαστήματα εμπιστοσύνης για τα υδρολογικά έτη 2011-2015 της επίλυσης της εξίσωσης υδατικού ισοζυγίου για τη λίμνη Σαν Ροκέ.....	156
Διάγραμμα: 5.69	Οι προβλέψεις της διαφοράς στάθμης και τα διαστήματα εμπιστοσύνης για τα υδρολογικά έτη 2011-2015 της μεθόδου Holt για τη λίμνη Σαν Ροκέ.....	156
Διάγραμμα: 5.70	Οι προβλέψεις της διαφοράς στάθμης και τα διαστήματα εμπιστοσύνης για τα υδρολογικά έτη 2011-2015 των κανονικοποιημένων δεδομένων με τη μέθοδο Holt για τη λίμνη Σαν Ροκέ.....	157
Διάγραμμα: 5.71	Τα δεδομένα και οι προβλέψεις όλων των μεθόδων της διαφοράς στάθμης για τα υδρολογικά έτη 1992-2015 της λίμνης Σαν Ροκέ.....	158
Διάγραμμα: 5.72	Τα τελικά δεδομένα της διαφοράς στάθμης για τα υδρολογικά έτη 1992-2015 της λίμνης Σαν Ροκέ.....	158
Διάγραμμα: 5.73	Τα δεδομένα της βροχόπτωσης για τα υδρολογικά έτη 1992-2011 της λίμνης Άισελμεερ.....	159
Διάγραμμα: 5.74	Οι προβλέψεις της βροχόπτωσης και τα διαστήματα εμπιστοσύνης για τα υδρολογικά έτη 2011-2015 της μεθόδου Naive για τη λίμνη Άισελμεερ.....	159
Διάγραμμα: 5.75	Τα τελικά δεδομένα της βροχόπτωσης για τα υδρολογικά έτη 1992-2015 της λίμνης Άισελμεερ.....	160
Διάγραμμα: 5.76	Τα δεδομένα της εξάτμισης για τα υδρολογικά έτη 1992-2011 της λίμνης Άισελμεερ....	160
Διάγραμμα: 5.77	Οι προβλέψεις της εξάτμισης και τα διαστήματα εμπιστοσύνης για τα υδρολογικά έτη 2011-2015 της μεθόδου Naive για τη λίμνη Άισελμεερ.....	161
Διάγραμμα: 5.78	Τα τελικά δεδομένα της εξάτμισης για τα υδρολογικά έτη 1992-2015 της λίμνης Άισελμεερ.....	161
Διάγραμμα: 5.79	Τα δεδομένα της εξατμισοδιαπνοής για τα υδρολογικά έτη 1992-2011 της λίμνης Άισελμεερ.....	162

Διάγραμμα: 5.80	Οι προβλέψεις της εξατμισοδιαπνοής και τα διαστήματα εμπιστοσύνης για τα υδρολογικά έτη 2011-2015 της μεθόδου Theta για τη λίμνη Άισελμεερ.....	162
Διάγραμμα: 5.81	Τα τελικά δεδομένα της εξατμισοδιαπνοής για τα υδρολογικά έτη 1992-2015 της λίμνης Άισελμεερ.....	163
Διάγραμμα: 5.82	Τα δεδομένα της απορροής για τα υδρολογικά έτη 1992-2011 της λίμνης Άισελμεερ....	164
Διάγραμμα: 5.83	Οι προβλέψεις της απορροής και τα διαστήματα εμπιστοσύνης για τα υδρολογικά έτη 2011-2015 της μεθόδου SES για τη λίμνη Άισελμεερ.....	164
Διάγραμμα: 5.84	Τα τελικά δεδομένα της απορροής για τα υδρολογικά έτη 1992-2015 της λίμνης Άισελμεερ.....	165
Διάγραμμα: 5.85	Οι προβλέψεις των κανονικοποιημένων δεδομένων της απορροής και τα διαστήματα εμπιστοσύνης για τα υδρολογικά έτη 2011-2015 της μεθόδου SES για τη λίμνη Άισελμεερ.....	165
Διάγραμμα: 5.86	Τα τελικά δεδομένα από τα κανονικοποιημένα δεδομένα της απορροής για τα υδρολογικά έτη 1992-2015 της λίμνης Άισελμεερ.....	166
Διάγραμμα: 5.87	Τα δεδομένα της διαφοράς στάθμης για τα υδρολογικά έτη 1992-2011 της λίμνης Άισελμεερ.....	166
Διάγραμμα: 5.88	Οι προβλέψεις της διαφοράς στάθμης και τα διαστήματα εμπιστοσύνης για τα υδρολογικά έτη 2011-2015 της επίλυσης της εξίσωσης υδατικού ισοζυγίου για τη λίμνη Άισελμεερ.....	167
Διάγραμμα: 5.89	Οι προβλέψεις της διαφοράς στάθμης και τα διαστήματα εμπιστοσύνης για τα υδρολογικά έτη 2011-2015 της μεθόδου Damped για τη λίμνη Άισελμεερ.....	167
Διάγραμμα: 5.90	Οι προβλέψεις της διαφοράς στάθμης και τα διαστήματα εμπιστοσύνης για τα υδρολογικά έτη 2011-2015 των κανονικοποιημένων δεδομένων με τη μέθοδο Theta για τη λίμνη Άισελμεερ.....	168
Διάγραμμα: 5.91	Οι προβλέψεις της διαφοράς στάθμης και τα διαστήματα εμπιστοσύνης για τα υδρολογικά έτη 2011-2015 της επίλυσης της εξίσωσης υδατικού ισοζυγίου με κανονικοποιημένη απορροή για τη λίμνη Άισελμεερ.....	169
Διάγραμμα: 5.92	Τα δεδομένα και οι προβλέψεις όλων των μεθόδων της διαφοράς στάθμης για τα υδρολογικά έτη 1992-2015 της λίμνης Άισελμεερ.....	170
Διάγραμμα: 5.93	Τα τελικά δεδομένα της διαφοράς στάθμης για τα υδρολογικά έτη 1992-2015 της λίμνης Άισελμεερ.....	170
Διάγραμμα: 5.94	Τα δεδομένα της βροχόπτωσης για τα υδρολογικά έτη 1992-2011 της λίμνης Γκαόγιου.....	171
Διάγραμμα: 5.95	Οι προβλέψεις της βροχόπτωσης και τα διαστήματα εμπιστοσύνης για τα υδρολογικά έτη 2011-2015 της μεθόδου Theta για τη λίμνη Γκαόγιου.....	171

Διάγραμμα: 5.96	Τα τελικά δεδομένα της βροχόπτωσης για τα υδρολογικά έτη 1992-2015 της λίμνης Γκαόγιου.....	172
Διάγραμμα: 5.97	Τα δεδομένα της εξάτμισης για τα υδρολογικά έτη 1992-2011 της λίμνης Γκαόγιου.....	172
Διάγραμμα: 5.98	Οι προβλέψεις της εξάτμισης και τα διαστήματα εμπιστοσύνης για τα υδρολογικά έτη 2011-2015 της μεθόδου Holt για τη λίμνη Γκαόγιου.....	173
Διάγραμμα: 5.99	Τα τελικά δεδομένα της εξάτμισης για τα υδρολογικά έτη 1992-2015 της λίμνης Γκαόγιου.....	173
Διάγραμμα: 5.100	Τα δεδομένα της εξατμισοδιαπνοής για τα υδρολογικά έτη 1992-2011 της λίμνης Γκαόγιου.....	174
Διάγραμμα: 5.101	Οι προβλέψεις της εξατμισοδιαπνοής και τα διαστήματα εμπιστοσύνης για τα υδρολογικά έτη 2011-2015 της μεθόδου Holt για τη λίμνη Γκαόγιου.....	175
Διάγραμμα: 5.102	Τα τελικά δεδομένα της εξατμισοδιαπνοής για τα υδρολογικά έτη 1992-2015 της λίμνης Γκαόγιου.....	175
Διάγραμμα: 5.103	Τα δεδομένα της απορροής για τα υδρολογικά έτη 1992-2011 της λίμνης Γκαόγιου.....	176
Διάγραμμα: 5.104	Οι προβλέψεις της απορροής και τα διαστήματα εμπιστοσύνης για τα υδρολογικά έτη 2011-2015 της μεθόδου Damped για τη λίμνη Γκαόγιου.....	177
Διάγραμμα: 5.105	Τα τελικά δεδομένα της απορροής για τα υδρολογικά έτη 1992-2015 της λίμνης Γκαόγιου.....	177
Διάγραμμα: 5.106	Οι προβλέψεις των κανονικοποιημένων δεδομένων της απορροής και τα διαστήματα εμπιστοσύνης για τα υδρολογικά έτη 2011-2015 της μεθόδου SES για τη λίμνη Γκαόγιου.....	178
Διάγραμμα: 5.107	Τα τελικά δεδομένα από τα κανονικοποιημένα δεδομένα της απορροής για τα υδρολογικά έτη 1992-2015 της λίμνης Γκαόγιου.....	178
Διάγραμμα: 5.108	Τα δεδομένα της διαφοράς στάθμης για τα υδρολογικά έτη 1992-2011 της λίμνης Γκαόγιου.....	179
Διάγραμμα: 5.109	Οι προβλέψεις της διαφοράς στάθμης και τα διαστήματα εμπιστοσύνης για τα υδρολογικά έτη 2011-2015 της επίλυσης της εξίσωσης υδατικού ισοζυγίου για τη λίμνη Γκαόγιου.....	179
Διάγραμμα: 5.110	Οι προβλέψεις της διαφοράς στάθμης και τα διαστήματα εμπιστοσύνης για τα υδρολογικά έτη 2011-2015 της μεθόδου SES για τη λίμνη Γκαόγιου.....	180
Διάγραμμα: 5.111	Οι προβλέψεις της διαφοράς στάθμης και τα διαστήματα εμπιστοσύνης για τα υδρολογικά έτη 2011-2015 των κανονικοποιημένων δεδομένων με τη μέθοδο Holt για τη λίμνη Γκαόγιου.....	181

Διάγραμμα: 5.112	Οι προβλέψεις της διαφοράς στάθμης και τα διαστήματα εμπιστοσύνης για τα υδρολογικά έτη 2011-2015 της επίλυσης της εξίσωσης υδατικού ισοζυγίου με κανονικοποιημένη απορροή για τη λίμνη Γκαόγιου.....	181
Διάγραμμα: 5.113	Τα δεδομένα και οι προβλέψεις όλων των μεθόδων της διαφοράς στάθμης για τα υδρολογικά έτη 1992-2015 της λίμνης Γκαόγιου.....	182
Διάγραμμα: 5.114	Τα τελικά δεδομένα της διαφοράς στάθμης για τα υδρολογικά έτη 1992-2015 της λίμνης Γκαόγιου.....	183

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το πρόβλημα της κλιματικής αλλαγής έχει ενταθεί με γρηγορότερους από το αναμενόμενο ρυθμούς την πρώτη δεκαετία του 21ου 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 του 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. Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας έγιναν, αντίστοιχα, προβλέψεις για την εξέλιξη της στάθμης νερού σε έξι τεχνητές λίμνες ανά τον κόσμο. Σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι, να προβλεφθεί η εξέλιξη της στάθμης κάθε λίμνης, και να συγκριθούν οι επιπτώσεις ανάλογα με τη γεωγραφική θέση τους. Οι τεχνητές αυτές λίμνες είναι χωροθετημένες σε όλες τις ηπείρους και μελετώνται υπό τη μορφή χρονοσειρών με βάση υδρολογικά και μετεωρολογικά δεδομένα, ώστε να παραχθούν ακριβείς αριθμητικές προβλέψεις για την επόμενη τετραετία. Τα τελικά αποτελέσματα αυτών των προβλέψεων υποδεικνύουν ότι και στις έξι περιοχές μελέτης η κλιματική αλλαγή επηρεάζει σε άλλοτε διαφορετικό βαθμό τη στάθμη των λιμνών. Αν και οι επιπτώσεις του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής για την κάθε λίμνη είναι διαφορετικές και μικρής έντασης λόγω του περιορισμένου ορίζοντα πρόβλεψης της παρούσας διπλωματικής εργασίας, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι προκαλούνται από τα ίδια ακραία φαινόμενα ξηρασίας και πλημμύρων που ήδη πλήττουν τις περιοχές αυτές.

Abstract

The problem of climate change has progressed quicker than expected during the first decade of the 21st century. The effects of global warming in conjunction with extreme changes in the 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 are conducted in order to construct a realistic model of the planet under the influence of these changes. These studies aim to provide decision makers with the knowledge that is necessary to protect our planet. As part of this thesis we formulated models that predict the evolution of water levels in six artificial lakes over the world. Apart from the benefit of the predictions for each specific area, aim of the thesis is also the comparison of the effects, depending on the location of the lakes. These artificial lakes we chose are spread through out all continents and are analyzed in a timeline form based on hydrological and meteorological data, in order to produce accurate numerical predictions for a upcoming period of four hydrological years. The final results of these models indicate that in all six areas of study the levels of the lakes are affected by the climatic changes. Despite the fact that these effects are different for each lake and of low magnitude due to the short forecasting horizon, it is important to note that they all arise as a result of the same extreme events of drought and flooding that already affect these areas.

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή στην Κλιματική Αλλαγή

1. Εισαγωγή στην Κλιματική Αλλαγή

1.1 Το Φαινόμενο της Κλιματικής Αλλαγής

Η κλιματική αλλαγή είναι μια σημαντική και μόνιμη αλλαγή στη στατιστική κατανομή των καιρικών συνθηκών ανά περιόδους, από δεκαετίες έως 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, αλλά και τις ανθρωπογενείς αλλοιώσεις του φυσικού περιβάλλοντος. Αυτές οι ανθρωπογενείς αλλοιώσεις είναι που προκαλούν την υπερθέρμανση του πλανήτη σήμερα και έτσι 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 μια εικόνα για το γεωλογικό παρελθόν του πλανήτη έχουν γίνει με τα χρόνια καταγραφές των διαφόρων παραμέτρων του κλίματος, όπως είναι οι θερμοκρασίες γεωτρήσεων, αρχεία για τη χλωρίδα και την πανίδα, οι διαδικασίες εξέλιξης των παγετώνων, το επίπεδο της θάλασσας και αναλύσεις ιζημάτων. Τα πιο πρόσφατα δεδομένα καταγράφονται αυτόματα με τα διάφορα όργανα. Μοντέλα γενικής κυκλοφορίας 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 Reisinger, 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 δημιουργία βουνών και η κίνηση των ηπείρων, τα σύννεφα και οι αλλαγές στις συγκεντρώσεις των αερίων του θερμοκηπίου (Pachauri and Reisinger, 2007).

Υπάρχει μια 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. Η απόκριση του κλιματικού συστήματος

στον 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 ότι οι αλλαγές, για την παράμετρο των ατμοσφαιρικών κατακρημνίσεων, αφορούν την ποσότητα, την ένταση και το είδος τους. Αυτές οι πτυχές του φαινομένου των κατακρημνίσεων παρουσιάζουν γενικά μεγάλη μεταβλητότητα, και οι μικρότερες κλιματικές αλλαγές, όπως είναι οι αλλαγές στα μοντέλα ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας, το επηρεάζουν σημαντικά. Μακροπρόθεσμες παρατηρήσεις με βάση στατιστικά στοιχεία για τη βροχόπτωση της περιόδου από το 1900 έως και σήμερα, καταλήγουν σε διαφορετικά συμπεράσματα (IPCC). Για την Ανατολική Βόρεια και Νότια Αμερική, τη Βόρεια Ευρώπη και τη Βόρεια και Κεντρική Ασία το κλίμα έχει γίνει πολύ πιο υγρό, ενώ για την υποσαχάρια και Νότια Αφρική, τη Μεσόγειο και τη Νότια Ασία έχει γίνει πολύ πιο ξηρό. Οι κατακρημνίσεις πλέον λογίζονται σχεδόν αποκλειστικά ως βροχή και όχι ως χιόνι στις Βόρειες περιοχές. Άυξηση των εκτεταμένων ισχυρών βροχοπτώσεων έχει παρατηρηθεί ακόμα και σε μέρη που η μέση τιμή της βροχόπτωσης έχει μειωθεί. Οι αλλαγές αυτές συνδέονται με την αύξηση των υδρατμών στην ατμόσφαιρα, φαινόμενο το οποίο οφείλεται στην αύξηση της θερμοκρασίας τόσο στους ωκεανούς αλλά και σε περιοχές χαμηλότερων γεωγραφικών πλατών. Εντυπωσιακό είναι ότι σε ορισμένες περιοχές υπάρχει αύξηση τόσο στο φαινόμενο της ξηρασίας όσο και σ'αυτό των πλημμύρων (Meehl et al., 2007). Το φαινόμενο των κατακρημνίσεων είναι διακοπτόμενο και εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη θερμοκρασία και την κατάσταση του καιρού, όπως είναι η ένταση και η διεύθυνση των ανέμων, η υγρασία, κλπ. Ταυτόχρονα, η κατάσταση του καιρού, καθορίζει την παροχή της υγρασίας μέσω των ανέμων και την επιφανειακή εξατμισοδιαπνοή, και το πως συγκεντρώνονται αυτά σε σύννεφα και προκαλούν καταιγίδες. Η βροχόπτωση σχηματίζεται καθώς οι υδρατμοί υγροποιούνται, συνήθως κατά την άνοδο του αέρα όπου διαστέλλεται και ως εκ τούτου παγώνει. Καθώς οι παρατηρήσεις των κατακρημνίσεων τείνουν να είναι ανώμαλες, συνηθίζεται οι συνολικές τους τάσεις να υποδηλώνονται με το δείκτη Palmer, ο οποίος εκφράζει την ξηρασία. Ο δείκτης αυτός είναι ένα μέτρο εκτίμησης της υγρασίας του εδάφους με χρήση της ποσότητας των κατακρημνίσεων και των ανταλλαγών στην εξάτμιση (Field, 2012).

Μια συνέπεια της αύξησης της θερμοκρασίας είναι η αύξηση της εξάτμισης. Απαραίτητη προϋπόθεση για να συμβεί αυτό είναι να υπάρχει επαρκής διαθέσιμη επιφανειακή υγρασία, όπως συμβαίνει πάντα πάνω από ωκεανούς και άλλες υδάτινες επιφάνειες. Ως εκ τούτου, η επιφανειακή υγρασία ενεργεί στην πραγματικότητα ως «κλιματιστικό», καθώς η θερμότητα που χρησιμοποιείται για την εξάτμιση ενεργεί για να υγραίνει τον αέρα αντί να τον ζεσταίνει. Κατά την παρατήρηση αυτού του γεγονότος οι θερινοί μήνες τείνουν να είναι ζεστοί ξηροί ή ψυχροί υγροί. Στις περιοχές της Ανατολικής Βόρειας και Νότιας Αμερικής, όπου όπως προαναφέρθηκε έχει γίνει πιο υγρό το κλίμα, οι θερμοκρασίες έχουν αυξηθεί λιγότερο από ότι σε άλλες περιοχές. Σε περιοχές του Βόρειου Ημισφαιρίου, όμως,

κατά τη διάρκεια των χειμερινών μηνών η αύξηση των ατμοσφαιρικών κατακρημνίσεων συνδέεται με υψηλότερες θερμοκρασίες, καθώς η ικανότητα συγκράτησης του νερού από την ατμόσφαιρα αυξάνεται σε θερμότερες συνθήκες. Σε αυτές τις περιοχές, όπου οι κατακρημνίσεις έχουν αυξηθεί σε γενικές γραμμές, η άνοδος της θερμοκρασίας έχει αυξήσει και την ξηρασία (Hansen et al., 2006). Καθώς το κλίμα αλλάζει, αλλάζουν και η ποσότητα, η ένταση, η συχνότητα και το είδος των κατακρημνίσεων. Η αύξηση της θερμοκρασίας επιταχύνει την ξήρανση της επιφάνειας της Γης και αυξάνει τη συχνότητα εμφάνισης και της σοβαρότητα κρουσμάτων ξηρασίας. Ωστόσο, βάσει του φυσικού νόμου των Clausius-Clapeyron προσδιορίζεται ότι η ικανότητα συγκράτησης νερού στην ατμόσφαιρα αυξάνεται κατά περίπου 7% σε κάθε αύξηση της θερμοκρασίας κατά 1°C. Οι παρατηρήσεις της τάσης της σχετικής υγρασίας είναι αβέβαιες, αλλά υποδηλώνουν ότι σε γενικές γραμμές παραμένει η ίδια, από την επιφάνεια έως την τροπόσφαιρα, και συνεπώς οι αυξημένες θερμοκρασίες έχουν ως αποτέλεσμα και αυξημένο ποσοστό υδρατμών. Μέσα στον 20^ο αιώνα, με βάση τις αλλαγές της θερμοκρασίας στην επιφάνεια της θάλασσας, εκτιμάται ότι οι ατμοσφαιρικοί υδρατμοί αυξήθηκαν κατά περίπου 5% πάνω από τους ωκεανούς. Επειδή οι κατακρημνίσεις προέρχονται κυρίως από τα καιρικά συστήματα που τροφοδοτούνται από τους υδρατμούς που αποθηκεύονται στην ατμόσφαιρα, έχει αυξηθεί γενικά η ένταση των βροχοπτώσεων καθώς και ο κίνδυνος εμφάνισης ακραίων καιρικών φαινομένων. Η βασική θεωρία, με βάση τις προσομοιώσεις των κλιματικών μοντέλων (IPCC) καθώς και εμπειρικών στοιχείων, επιβεβαιώνει ότι τα θερμότερα κλίματα, λόγω των αυξανόμενων υδρατμών, θα οδηγηθούν σε εντονότερες βροχοπτώσεις, ακόμα και στις περιπτώσεις που η μέση τιμή της βροχόπτωσης μειωθεί ελαφρώς. Το θερμότερο κλίμα αυξάνει, επομένως, τους κινδύνους τόσο ξηρασίας όσο και πλημμύρας, για τις διαφορετικές χρονικές στιγμές (Bates et al., 2008).

Σε περιοχές όπου η αέρια ρύπανση καλύπτει το έδαφος από το άμεσο ηλιακό φως, η μείωση της εξάτμισης μειώνει και τη συνολική παροχή υγρασίας στην ατμόσφαιρα. Επομένως, καθώς η πιθανότητα για σοβαρότερες κατακρημνίσεις πηγάζει από αυξημένα ποσοστά υδρατμών, η διάρκεια και η συχνότητα των γεγονότων μπορεί να περιοριστεί, καθώς απαιτείται περισσότερος χρόνος για να επαναφορτιστεί η ατμόσφαιρα με υδρατμούς (Bates et al., 2008).

Με την αύξηση της θερμοκρασίας, η πιθανότητα οι κατακρημνίσεις να πέφτουν υπό τη μορφή βροχής και όχι χιονιού σε περιοχές με θερμοκρασία κοντά στο μηδέν αυξάνεται, ειδικά για τις εποχές της άνοιξη και του φθινοπώρου. Αυτές οι αλλαγές παρατηρούνται σε πολλά σημεία, ειδικά σε περιοχές με μέσο και μεγάλο γεωγραφικό πλάτος στο Βόρειο ημισφαίριο, με αποτέλεσμα την αύξηση των βροχών και τη μείωση των αποθεμάτων χιονιού, με συνέπεια, τη μείωση των υδάτινων πόρων τους θερινούς μήνες. Παρόλα αυτά, η ανώμαλη και συχνά διακοπτόμενη φύση των βροχοπτώσεων σημαίνει ότι τα παρατηρούμενα πρότυπα αλλαγής τους είναι πιο σύνθετα. Οι μακροπρόθεσμες καταγραφές τονίζουν ότι οι βροχοπτώσεις ποικίλουν από έτος σε έτος, ενώ, ακόμα και φαινόμενα παρατεταμένης πολυετούς ξηρασίας συνήθως διακόπτονται από ένα έτος με έντονες βροχοπτώσεις (Houghton et al., 1997).

1.3 Η τήξη των πάγων

Μια από τις πιο εμφανείς επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής είναι η τήξη των μαζών πάγου σε όλο τον κόσμο. Οι παγετώνες και τα στρώματα πάγου είναι μεγάλες και αργοκίνητες μάζες πάγου που καλύπτουν περίπου το 10% της χερσαίας έκτασης του πλανήτη και υπάρχουν σε όλες τις ηπείρους, εκτός από την Αυστραλία. Αποτελούν τη μεγαλύτερη δεξαμενή παγκοσμίως σε γλυκό νερό, σε ποσοστό 75%. Κατά τη διάρκεια του περασμένου αιώνα, οι περισσότεροι από τους παγετώνες του κόσμου και των μαζών πάγου στη Γροιλανδία και την Ανταρκτική, υπέστησαν απώλεια βάρους. Η υποχώρηση αυτή του πάγου εμφανίζεται όταν το ισοζύγιο της μάζας του είναι αρνητικό, όταν δηλαδή λιώνει περισσότερος πάγος από ότι αντικαθίσταται ετησίως (Meehl et al., 2007). Με την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στη θερμοκρασία και τις κατακρημνίσεις, οι οποίες είναι οι βασικοί παράγοντες της ικανότητας ανασύστασης του όγκου του πάγου, επηρεάζεται το ισοζύγιο της μάζας των παγετώνων και των πάγων. Όταν η θερμοκρασία υπερβεί ένα συγκεκριμένο επίπεδο, ή σε περιπτώσεις που οι υψηλές θερμοκρασίες διαρκούν για αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα και δεν υπάρχει επαρκής βροχόπτωση, οι παγετώνες και τα επίπεδα του πάγου χάνουν βάρος (Meehl et al., 2007). Ένα από τα πιο χαρακτηριστικά παραδείγματα της υποχώρησης των παγετώνων είναι στο όρος Κιλιμάντζαρο της Αφρικής. Αποτελεί την υψηλότερη κορυφή της ηπείρου, και έτσι, παρά το γεγονός ότι βρίσκεται στην τροπική ζώνη, είναι αρκετά υψηλή ώστε να διατηρούνται εκεί οι πάγοι εδώ και πολλούς αιώνες. Ωστόσο, κατά τη διάρκεια του περασμένου αιώνα, ο όγκος των πάγων του όρους έχει μειωθεί κατά περίπου 80%. Με αυτό το ρυθμό τήξης, οι παγετώνες κατά πάσα πιθανότητα θα εξαφανιστούν μέσα στην επόμενη δεκαετία, όπως συμβαίνει και στην Αλάσκα, τα Ιμαλάια και τις Άνδεις (Meehl et al., 2007).

Για την Ανταρκτική, πρόσφατες εκτιμήσεις δείχνουν έντονη αντίθεση μεταξύ του Ανατολικού και Δυτικού τμήματος. Η επιτάχυνση της απώλειας του πάγου από την επιφάνεια του Δυτικού τμήματος έχει διπλασιαστεί τα τελευταία χρόνια, όπως συνέβη και στη Γροιλανδία. Ο κύριος λόγος της αύξησης αυτής είναι ο επιταχυνόμενος ρυθμός με τον οποίο τα ρεύματα των παγετώνων ρέουν στον ωκεανό. Υπολογίζεται ότι για τη Δυτική Ανταρκτική η απώλεια πάγου είναι από 47 έως 148 km³ ανά έτος. Για το Ανατολικό τμήμα, το οποίο και είναι πολύ μεγαλύτερο από το Δυτικό, η μάζα αυξάνεται λόγω αυξημένης καταβύθισης. Ωστόσο, πρέπει να σημειωθεί ότι αυτή η αύξηση της μάζας των πάγων του Ανατολικού τμήματος είναι κατά πολύ μικρότερη της απώλειας από το Δυτικό κομμάτι. Ως εκ τούτου, το ισοζύγιο μάζας για ολόκληρη την επιφάνεια του πάγου της Ανταρκτικής είναι αρνητικό (Butt et al., 2002). Η τήξη αυτή των πάγων έχει δύο πολύ σημαντικές επιπτώσεις. Πρώτον, οι περιοχές που εξαρτώνται από την απορροή της τήξης των ορεινών παγετώνων είναι πιθανό να παρουσιάσουν σοβαρές ελλείψεις νερού καθώς εξαφανίζονται οι παγετώνες. Μικρότερη απορροή θα οδηγήσει σε μειωμένη ικανότητα άρδευσης των καλλιεργειών, ενώ το φαινόμενο στέρευσης φραγμάτων και ταμιευτήρων θα αυξηθεί. Η έλλειψη νερού θα μπορούσε να είναι ιδιαίτερα σοβαρή σε περιοχές της Νότιας Αμερικής και της Κεντρικής Ασίας, όπου η απορροή κατά τους θερινούς μήνες από τις Άνδεις και τα Ιμαλάια, αντίστοιχα, είναι ζωτικής σημασίας για την παροχή φρέσκου νερού. Επίσης, σε περιοχές της Βόρειας Αμερικής και της Ευρώπης, η απορροή των πάγων χρησιμεύει στην τροφοδότηση υδροηλεκτρικών σταθμών, στη διατήρηση των

αλιευμάτων και στην άρδευση των καλλιεργειών, καθώς επίσης, στην κάλυψη των οικιακών αναγκών μεγάλων μητροπολιτικών περιοχών. Καθώς ο όγκος της απορροής μειώνεται, τότε και η παροχή ενέργειας για τις αστικές και αγροτικές υποδομές αυτών των περιοχών είναι πιθανό να αντιμετωπίσει προβλήματα. Τέλος, η τήξη των παγετώνων και των πάγων επιβαρύνει με επιπλέον νερό τους ωκεανούς συμβάλλοντας στην άνοδο της στάθμης της θάλασσας (Confalonieri et al., 2007).

1.4 Η άνοδος της Μέσης Στάθμης της Θάλασσας

Οι περισσότερες από τις παράκτιες πόλεις του κόσμου έχουν δημιουργηθεί μέσα στην τελευταία χιλιετία, μια περίοδο κατά την οποία η στάθμη της θάλασσας θεωρείται σχεδόν σταθεροποιημένη. Από τα μέσα του 19^{ου} αιώνα, η στάθμη της θάλασσας έχει αρχίσει να αυξάνεται, κατά κύριο λόγο ως αποτέλεσμα της ανθρωπογενούς παρέμβασης στο κλίμα. Κατά τη διάρκεια του 20^{ου} αιώνα, η στάθμη της θάλασσας ανέβηκε περίπου 15-20 cm, με μεγαλύτερο ποσοστό στο τέλος του αιώνα από ότι στην αρχή του. Ωστόσο, δορυφορικές μετρήσεις που λαμβάνονται κατά την τελευταία δεκαετία δείχνουν ότι ο ρυθμός αύξησης έχει αυξηθεί σε περίπου 3,1mm/έτος, τιμή πολύ υψηλότερη από τη μέση τιμή για τον 20^ο αιώνα (IPCC). Οι προβλέψεις δείχνουν ότι ο ρυθμός ανόδου της στάθμης της θάλασσας αναμένεται να αυξηθεί ακόμα περισσότερο κατά τη διάρκεια του 21^{ου} αιώνα, αν και οι γνώμες διίστανται σχετικά με το μέγεθος της αύξησης. Αυτή η διχογνωμία προκύπτει κυρίως λόγω της αβεβαιότητας των διαδικασιών που είναι υπεύθυνες για την άνοδο αυτή της στάθμης: τη θερμική διαστολή, την τήξη των παγετώνων και των πάγων και την απώλεια πάγου από τη Γροιλανδία και τη Δυτική Ανταρκτική (Bindoff et al., 2007). Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η τήξη του θαλάσσιου πάγου δε θα συμβάλει άμεσα στην άνοδο της στάθμης της θάλασσας, δεδομένου ότι ο πάγος επιπλέει και ήδη εκτοπίζει τη μάζα του νερού. Ωστόσο, η τήξη αυτή μπορεί να οδηγήσει σε έμμεσες συνεισφορές στο επίπεδο της θάλασσας, μέσω της μείωσης της λευκαύγειας (ικανότητα ανάκλασης της επιφάνειας – albedo). Επιτρέπεται μεγαλύτερη απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας και κατ' επέκταση αύξηση της τήξης του χιονιού και του πάγου στην ξηρά. Επιπλέον, η συνεχιζόμενη τήξη των πλωτών παγόβουνων θα επιτρέψει την ταχύτερη ροή των πάγων της ξηράς στους ωκεανούς, παρέχοντας έτσι μια πρόσθετη συμβολή στην άνοδο της στάθμης της θάλασσας (Bindoff et al., 2007).

Οι τρεις κύριες διαδικασίες, οι οποίες έχουν ενεργοποιηθεί από επιβλαβείς ανθρωπογενείς δραστηριότητες για το κλίμα, και επεμβαίνουν άμεσα στο επίπεδο της θάλασσας, είναι οι ακόλουθες. Η διαστολή του νερού καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία του. Καθώς η κλιματική αλλαγή αυξάνει τις θερμοκρασίες των ωκεανών, πρώτα στην επιφάνεια και μετά στο βάθος τους, το νερό επεκτείνεται, συμβάλλοντας έτσι στην άνοδο της στάθμης της θάλασσας λόγω θερμικής διαστολής. Η θερμική διαστολή έχει συμβάλει στην άνοδο της στάθμης κατά 2,5 cm στη διάρκεια του δεύτερου μισού του 20^{ου} αιώνα, με το ποσοστό αυτό να τριπλασιάζεται στις αρχές του 21^{ου} αιώνα. Επειδή αυτή η συμβολή στην άνοδο της στάθμης της θάλασσας εξαρτάται κυρίως από τη θερμοκρασία του ωκεανού, προβάλλοντας την αύξηση στις ωκεάνιες θερμοκρασίες προκύπτουν εκτιμήσεις για τη μελλοντική άνοδο (Kennedy, 2012).

Μια δεύτερη διαδικασία που συμβάλλει στην άνοδο της στάθμης της θάλασσας είναι η τήξη των πάγων και τον παγετώνων. Εκτιμάται ότι κατά τη διάρκεια του δεύτερου μισού του 20^{ου} αιώνα, η τήξη των ορεινών πάγων οδήγησε σε αύξηση περίπου 2,5 cm της στάθμης της θάλασσας. Αυτό είναι πολύ μεγαλύτερο ποσοστό από ότι προκλήθηκε από την απώλεια πάγου της Γροιλανδία και της Ανταρκτική, κατά την οποία προστέθηκε περίπου 1 cm στο επίπεδο της θάλασσας. Για τον 21ο αιώνα προβλέπεται ότι η τήξη των πάγων και των παγετώνων θα συνεισφέρει κατά περίπου 10-12 cm στην άνοδο της στάθμης της θάλασσας (Nicholls, 2010).

Η τρίτη διαδικασία που προκαλεί άνοδο στη στάθμη της θάλασσας είναι η απώλεια μάζας πάγου από τη Γροιλανδία και την Ανταρκτική. Το τήξεο όλων των πάγων της Γροιλανδίας θα ισοδυναμούσε με άνοδο της στάθμης της θάλασσας κατά περίπου 7 m. Τα μοντέλα που χρησιμοποιούνται μέχρι σήμερα για την εκτίμηση πιθανών μεταβολών στη μάζα του πάγου είναι ικανά να προσδιορίσουν τις αλλαγές στη μάζα μόνο λόγω επιφανειακής εξάτμισης και χιονόπτωσης. Συνοψίζοντας τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων για τον 21^ο αιώνα, αναμένεται ότι η Γροιλανδία θα προκαλέσει αύξηση περίπου 2 cm στη στάθμη της θάλασσας, ενώ η Ανταρκτική, λόγω της αυξημένης συσσώρευσης χιονιού, πτώση περίπου 2 cm. Ωστόσο, είναι πολύ πιθανό να υπάρξουν προβλήματα ως προς τις εκτιμήσεις αυτές, δεδομένου ότι από τις πρόσφατες δορυφορικές παρατηρήσεις φαίνεται ότι τόσο η Γροιλανδία όσο και η Ανταρκτική χάνουν ήδη από την πρώτη δεκαετία του αιώνα μεγάλες μάζες πάγου (Edward et al., 2008).

Ενώ υπάρχουν πολλές δυσκολίες για την προβολή της ανόδου της στάθμης της θάλασσας, ακόμα και μια φαινομενικά μικρή αύξηση μπορεί να έχει δραματικές επιπτώσεις σε πολλές περιοχές. Πάνω από 600 εκατομμύρια άνθρωποι ζουν σε παράκτιες περιοχές που απέχουν λιγότερο από 10 km από την επιφάνεια της θάλασσας, ενώ τα δύο τρίτα των πόλεων του κόσμου με πληθυσμό πάνω από 5 εκατομμύρια βρίσκονται σε αυτές τις περιοχές που διατρέχουν κίνδυνο. Με τον κίνδυνο της αύξησης της στάθμης της θάλασσας, ένας πολύ μεγάλος αριθμός ανθρώπων σε ευαίσθητες περιοχές θα πρέπει να μετακινηθεί εγκαίρως, για να αποφευχθεί το φαινόμενο των περιβαλλοντικών πρόσφυγων (Nicholls et al., 1999). Ακόμα και τα πιο αισιόδοξα σενάρια υποδεικνύουν ότι μια άνοδος της στάθμης της θάλασσας θα έχει ευρύ φάσμα επιπτώσεων στις παράκτιες υποδομές και το περιβάλλον. Οι επιπτώσεις είναι πιθανό να περιλαμβάνουν τη διάβρωση των ακτών, των υδροτόπων και την πλημμύρα των παράκτιων πεδιάδων, την υφαλμύριση των υδροφορέων και των εδαφών, καθώς και την απώλεια οικοτόπων για τα ψάρια, τα πουλιά, τα φυτά και άλλα άγρια ζώα. Η Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος (OHE) υπολογίζει ότι 26.000 km² γης θα χαθούν αν η στάθμη της θάλασσας ανέβει κατά 0,66 m, ενώ θεωρείται πιθανό να χαθεί το 33% των παράκτιων εκτάσεων μέσα στα επόμενα εκατό χρόνια, αν η στάθμη του ωκεανού συνεχίσει να αυξάνεται με το σημερινό ρυθμό. Επιπλέον, πολλά από τα είδη των οποίων η επιβίωση εξαρτάται από την ύπαρξη πάγου στη θάλασσα, είναι πιθανό να επηρεαστούν καθώς η υποχώρηση επιταχύνεται, θέτοντας έτσι την απειλή της εξαφάνισής τους (Nicholls et al., 1999).

Δυστυχώς, πολλές από τις χώρες που είναι πιο ευάλωτες στην άνοδο της στάθμης της θάλασσας δεν έχουν τους πόρους για να προετοιμαστούν για αυτό. Πεδινές παράκτιες περιοχές σε αναπτυσσόμενες χώρες, όπως το Μπαγκλαντές, το Βιετνάμ, η

Ινδία και η Κίνα, έχουν μεγάλο μέρος του πληθυσμού τους σε επικίνδυνες παράκτιες περιοχές, όπως δέλτα ποταμών, των οποίων το σύστημα συνδέεται με τον ωκεανό. Δύο μεγάλα νησιωτικά έθνη, οι Φιλιππίνες και η Ινδονησία, βρίσκονται σε σοβαρό κίνδυνο, δεδομένου ότι δεν έχουν εκτάσεις σε μεγαλύτερα υψόμετρα για να υποστηρίξουν τους παράκτιους εκτοπισμένους πληθυσμούς. Ένα άλλο πρόβλημα για τα νησιωτικά έθνη είναι η απώλεια του διαθέσιμου γλυκού νερού, καθώς η άνοδος της στάθμης της θάλασσας ωθεί σε υφαλμύριση τα υπόγεια υδροφόρα στρώματά τους. Γι'αυτούς τους λόγους, οι κάτοικοι διαφόρων μικρών νησιωτικών κρατών είναι πιθανό να αναγκαστούν να εκκενώσουν τις χώρες τους μέσα στον 21^ο αιώνα (Nicholls et al., 1999).

1.5 Τα Παγκόσμια Μέτρα για την Κλιματική Αλλαγή

Το περιβαλλοντικό κίνημα θα μπορούσε να θεωρηθεί ότι έχει αρχίσει εδώ και αιώνες, ως απάντηση στην εκβιομηχάνιση. Μετά το Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο, η επερχόμενη πυρηνική εποχή εισήγαγε φόβους για ένα νέο είδος ρύπανσης από τη θανατηφόρα ακτινοβολία. Αποκορύφωμα ήταν η δεκαετία του 1960, όπου οι άνθρωποι άρχισαν να αντιλαμβάνονται τη σχέση αλληλεπίδρασής τους με το οικοσύστημα, με αφορμή τις πρώτες δορυφορικές απεικονίσεις του πλανήτη. Με το τέλος της ταραχώδους δεκαετίας του 1960, τα υψηλότερα ιδανικά για το περιβάλλον άρχισαν να παίρνουν πρακτική μορφή. Με αφορμή την παγκόσμια ανησυχία για την υγιή και βιώσιμη χρήση του πλανήτη και των πόρων του, ο Οργανισμός Ηνωμένων Εθνών συγκάλεσε το 1972 στη Στοκχόλμη τη Διάσκεψη των Ηνωμένων Εθνών για το Ανθρώπινο Περιβάλλον. Η διάσκεψη ήταν ένα γεγονός ορόσημο, και στην τελική της διακήρυξη περιλαμβάνει 19 αρχές αντιπροσωπεύοντας ένα περιβαλλοντικό μανιφέστο για την εποχή μας. Η βασική ιδέα ήταν η έμπνευση και η καθοδήγηση των λαών για τη διατήρηση και την ενίσχυση του ανθρώπινου περιβάλλοντος, η οποία και έθεσε τα θεμέλια για τη νέα περιβαλλοντική ατζέντα των Ηνωμένων Εθνών (Meyer, 2000).

Έχοντας ως υπόβαθρο το κίνημα που προκλήθηκε από τη Διάσκεψη, το Δεκέμβριο του 1972, η Γενική Συνέλευση των Ηνωμένων Εθνών ίδρυσε το Πρόγραμμα των Ηνωμένων Εθνών για το Περιβάλλον (United Nations Environment Programme – UNEP), το οποίο ηγείται των προσπάθειών των Ηνωμένων Εθνών για την αποκατάσταση του παγκόσμιου περιβάλλοντος. Οι προτεραιότητες του προγράμματος αφορούσαν τις περιβαλλοντικές πτυχές των καταστροφών και των συγκρούσεων, τη διαχείριση των οικοσυστημάτων, την περιβαλλοντική διαχείριση, τις επιβλαβείς ουσίες, την αποδοτικότητα των πόρων και, τέλος, την κλιματική αλλαγή (Gardiner, 2004).

Το 1983, με προτροπή του Γενικού Γραμματέα των Ηνωμένων Εθνών, δημιουργήθηκε η Παγκόσμια Επιτροπή για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη. Τον Απρίλιο του 1987, η Επιτροπή δημοσίευσε την πρωτοποριακή έκθεση «Το κοινό μας μέλλον», στην οποία για πρώτη φορά αναφέρθηκε η έννοια της βιώσιμης ανάπτυξης (Gardiner, 2004). Οι ευρείες συστάσεις που έγιναν από την Επιτροπή οδήγησαν άμεσα στη διεξαγωγή της Διάσκεψης των Ηνωμένων Εθνών για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη, στα οποία τοποθετήθηκε το θέμα ξεκάθαρα στη δημόσια ατζέντα, με

ένα τρόπο που δεν είχε ξαναγίνει. Η συνάντηση στο Ρίο ντε Τζανέιρο, το 1992, ή αλλιώς η «Διάσκεψη Κορυφής για τη Γη», υιοθέτησε την «Ατζέντα 21», ένα σχέδιο για την προστασία του πλανήτη και την αειφόρο ανάπτυξή του (Gardiner, 2004). Η «Ατζέντα 21» αντιπροσωπεύει το αποκορύφωμα των προσπαθειών για δύο δεκαετίες, οι οποίες ξεκίνησαν από τη διάσκεψη των Ηνωμένων Εθνών για το Ανθρώπινο Περιβάλλον στη Στοκχόλμη το 1972. Με βάση τα συμπεράσματά του, το Πρόγραμμα των Ηνωμένων Εθνών για το Περιβάλλον, δημιουργήθηκε για να καταστεί η κυριότερη περιβαλλοντική υπηρεσία του κόσμου. Μέχρι το έτος 1992 αναγνωρίστηκε παγκοσμίως η σύνδεση μεταξύ του περιβάλλοντος και της ανάπτυξης, καθώς και η επιτακτική ανάγκη για βιώσιμη ανάπτυξη (Gardiner, 2004).

Το 1988, τα Ηνωμένα Έθνη και ο Παγκόσμιος Μετεωρολογικός Οργανισμός (WMO) συνέστησαν τη Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος (IPCC), η οποία έχει γίνει η κατ' εξοχήν πηγή για επιστημονικές πληροφορίες σχετικά με την αλλαγή του κλίματος σε παγκόσμιο επίπεδο. Το κύριο διεθνές όργανο για το θέμα αυτό, το επονομαζόμενο πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή (UNFCCC), υιοθετήθηκε το 1992. Το 1997 εγκρίθηκε και το Πρωτόκολλο του Κιότο, το οποίο θέτει δεσμευτικούς στόχους, για 37 βιομηχανικές χώρες και για την Ευρωπαϊκή κοινότητα, για τη μείωση των εκπομπών αερίων του φαινομένου του θερμοκηπίου (Gardiner, 2004).

Το 2002, στην Παγκόσμια Διάσκεψη Κορυφής για την Αειφόρο Ανάπτυξη, που πραγματοποιήθηκε στο Γιοχάνεσμπουργκ της Νότιας Αφρικής, έγινε απολογισμός των επιτευγμάτων, των προκλήσεων και των θεμάτων που προέκυψαν από τη Διάσκεψη της Γης του 1992. Αυτή ήταν μια «εκτελεστική» Διάσκεψη, με σκοπό να μετατρέψει τους στόχους, τις υποσχέσεις και τις δεσμεύσεις της «Ατζέντα 21» σε συγκεκριμένες, απτές ενέργειες.

Τα κράτη μέλη συμφώνησαν, με τη Διακήρυξη του Γιοχάνεσμπουργκ, για την Αειφόρο Ανάπτυξη και το Σχέδιο Εφαρμογής, τα οποία διευκρίνιζαν τις προτεραιότητες της δράσης. Το τμήμα για την Αειφόρο Ανάπτυξη των Οικονομικών και Κοινωνικών Υποθέσεων του ΟΗΕ, άρχισε να κάνει το ίδιο με το Σχέδιο Εφαρμογής του Γιοχάνεσμπουργκ (The United Nations Framework Convention on Climate Change, 2005).

Τον Ιανουάριο του 2005, τα μέλη της διεθνούς κοινότητας συναντήθηκαν στο Μαυρίκιο για να διεξάγουν μια δεκαετή αναθεώρηση των Ηνωμένων Εθνών ως προς το πρόγραμμα Μπαρμπέντος, εγκρίνοντας μια ευρεία σειρά από συστάσεις για την περαιτέρω εφαρμογή του. Η Στρατηγική του Μαυρίκιου εξετάζει θέματα όπως η κλιματική αλλαγή και η άνοδος της στάθμης της θάλασσας, οι φυσικές και περιβαλλοντικές καταστροφές, η διαχείριση των αποβλήτων, η βιοποικιλότητα των πόρων, η βιώσιμη παραγωγή, κ.ά. Στη Διάσκεψη της Γης, είχε συμφωνηθεί ότι το μεγαλύτερο τμήμα της χρηματοδότησης για την εφαρμογή της «Ατζέντας 21» θα προερχόταν από τον εσωτερικό δημόσιο και ιδιωτικό τομέα της κάθε χώρας. Ωστόσο, πρόσθετα εξωτερικά κεφάλαια κρίθηκαν αναγκαία για την υποστήριξη των προσπαθειών των αναπτυσσόμενων χωρών ώστε να εφαρμόσουν τις πρακτικές της αειφόρου ανάπτυξης και να εντείνουν την προσπάθεια για την προστασία του παγκόσμιου περιβάλλοντος.

Η ανάγκη αυτή αντιμετωπίστηκε με την ίδρυση του Παγκόσμιου Ταμείου για το Περιβάλλον (GEF), το 1991, το οποίο αποσκοπούσε στο να βοηθήσει τις αναπτυσσόμενες χώρες χρηματοδοτώντας έργα που θα προστατεύουν το παγκόσμιο περιβάλλον και προωθώντας τη βιώσιμη διαβίωση στις τοπικές κοινότητες. Τα έργα του Παγκόσμιου Ταμείου για το Περιβάλλον αφορούν τη διατήρηση και την αειφόρο χρήση της βιολογικής ποικιλότητας, τη διεύθυνση της κλιματικής αλλαγής, την αντιστροφή της υποβάθμισης των διεθνών υδάτων, τη σταδιακή κατάργηση των ουσιών που καταστρέφουν τη στιβάδα του όζοντος, την καταπολέμηση της υποβάθμισης του εδάφους και της ξηρασίας και τη μείωση και σταδιακή εξάλειψη της παραγωγής και της χρήσης ορισμένων ανθεκτικών οργανικών ρύπων (The United Nations Framework Convention on Climate Change, 2005).

Στη διάσκεψη του Κανκούν του Μεξικό το 2010 αναγνωρίστηκε ότι οι τρέχουσες δεσμεύσεις σχετικά με τις εκπομπές είναι συλλογικά ανεπαρκείς για να συγκρατήσουν την αύξηση της θερμοκρασίας στους 2°C. Μετά την τελευταία Συνδιάσκεψη του Ντέρμπαν, το Δεκέμβριο του 2011, αποφασίστηκε τα κράτη να δεσμευτούν και για μια δεύτερη περίοδο με βάση το Πρωτόκολλο του Κιότο έως το 2020, ενώ στο ενδιάμεσο θα γίνονται διαπραγματεύσεις με σκοπό να υπάρξει συνολική συμφωνία το 2015 και αφού προηγουμένως καταγραφεί η ακριβής νομική φύση της συμφωνίας. Το ανησυχητικό κομμάτι είναι ότι από μόνο του το Πρωτόκολλο του Κιότο δεν επαρκεί πλέον, δεδομένου ότι απαιτεί να περιορίσουν τις εκπομπές τους μόνο οι ανεπτυγμένες χώρες. Με τις ΗΠΑ, την Ιαπωνία, τη Ρωσία και τον Καναδά να απέχουν από τη συμμετοχή τους στη δεύτερη περίοδο δέσμευσης είναι απίθανο το Πρωτόκολλο του Κιότο να είναι σε θέση να καλύψει ποσοστό πέραν του 16% των παγκόσμιων εκπομπών μετά το 2012 (The United Nations Framework Convention on Climate Change, 2012).

1.6 Σκοπός της Διπλωματικής Εργασίας

Στην παρούσα διπλωματική εργασία γίνονται προβλέψεις για την επερχόμενη άνοδο ή πτώση της στάθμης σε έξι ταμειωτήρες στον κόσμο. Οι προβλέψεις αυτές γίνονται με μαθηματικούς υπολογισμούς και μέσω δεδομένων χρονοσειρών μετεωρολογικών και υδρολογικών στοιχείων που είτε βρέθηκαν καταγεγραμμένα είτε υπολογίσθηκαν. Σκοπός των προβλέψεων είναι να βρεθεί η μελλοντική κατάσταση των περιοχών μελέτης, να εντοπισθούν τα προβλήματα που ενδέχεται να παρουσιαστούν στην κάθε ήπειρο, και να λειτουργήσει ως γνώμονας για τις μελλοντικές κινήσεις των οργάνων λήψης αποφάσεων για το περιβάλλον.

1.7 Η Διάρθρωση της Διπλωματικής Εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία είναι δομημένη σε 7 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 επηρεάζουν τα μεγέθη

αυτά. 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^ο 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. Στο τέλος του κεφαλαίου, παρουσιάζεται, 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.

Το κεφάλαιο 3 περιέχει αναλυτικά τις μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση των χρονοσειρών, καθώς και την ανάλυση του μοντέλου υδατικού ισοζυγίου που χρησιμοποιήθηκε. Αναλύεται, επίσης, η λειτουργία του κάθε μοντέλου πρόβλεψης που πήρε μέρος στις προβλέψεις, τα μεγέθη που υπολογίσθηκαν, καθώς και η συμπλήρωση των χρονοσειρών για την τελική εξαγωγή των προβλέψεων.

Στο 4^ο κεφάλαιο αρχικά γίνεται αναφορά στο πρόγραμμα ανάπτυξης των προβλέψεων καθώς και των μεθόδων που εφαρμόστηκαν. Γίνεται, επίσης, μια ανάλυση ευαισθησίας, όπου και εμφανίζονται τα εξαγόμενα σφάλματα των προβλέψεων του κάθε μεγέθους με την κάθε μέθοδο πρόβλεψης και για την κάθε λίμνη, ενώ παρουσιάζεται και η τάση της τελικής μεθόδου να ακολουθήσει την κανονική κατανομή.

Το 5^ο κεφάλαιο είναι το κεφάλαιο των τελικών προβλέψεων. Εδώ παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα των προβλέψεων του κάθε μεγέθους της εξίσωσης του υδατικού ισοζυγίου, όπως και τα τελικά αποτελέσματα για τη μεταβολή της στάθμης του κάθε ταμιευτήρα. Από τα διαγράμματα των παρελθοντικών και μελλοντικών χρονοσειρών, διαπιστώνεται η τάση του κάθε μεγέθους ως προς την κλιματική αλλαγή.

Το 6^ο κεφάλαιο περιλαμβάνει την ανάλυση των αποτελεσμάτων. Γίνεται έλεγχος των προβλέψεων που δίνουν παγκόσμιοι οργανισμοί που ασχολούνται με το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής σε σχέση με τα αποτελέσματα που υπολογίσθηκαν για την κάθε λίμνη και την κάθε περιοχή ξεχωριστά.

Τέλος, το 7^ο κεφάλαιο περιλαμβάνει τα συμπεράσματα της μελέτης. Παρουσιάζεται εν συντομία το πρόβλημα που αντιμετωπίστηκε, ως προς την κλιματική αλλαγή, η γεωγραφική ιδιαιτερότητα της κάθε περιοχής μελέτης, η μεθοδολογία των μοντέλων πρόβλεψης που χρησιμοποιήθηκαν και τέλος τα αποτελέσματα και οι αντίστοιχες προτάσεις για τα μέτρα αντιμετώπισης.

Κεφάλαιο 2

Οι Περιοχές Μελέτης

2. Οι Περιοχές Μελέτης

2.1 Οι Τεχνητές Λίμνες

Τεχνητές λίμνες (ή ταμιευτήρες) είναι ανοιχτοί φορείς νερού, κατασκευασμένες από τον άνθρωπο, οι οποίες χρησιμεύουν για την κάλυψη των αναγκών ύδρευσης αστικών περιοχών, την άρδευση καλλιεργιών κατά τις άνυδρες εποχές του έτους. Λειτουργούν ως ρυθμιστές πλημμύρων σε σχέση με τους τριγύρω ποταμούς ή ακόμα και για την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας. Χωροθετούνται συνήθως σε κοιλάδες ποταμών με την κατασκευή φραγμάτων ενώ μπορούν να κατασκευαστούν και με ανασκαφές στο έδαφος ή με συμβατικές μεθόδους κατασκευής, όπως χυτό σκυρόδεμα ή πλινθοδομή. Οι ταμιευτήρες υψιπέδων είναι γνωστοί και ως ταμιευτήρες ανάσχεσης, λόγω της θέσης τους στις κοιλάδες των εκάστοτε ποταμών. Αντίστοιχα, οι ταμιευτήρες στις πεδινές περιοχές είναι γνωστοί και ως ταμιευτήρες αποθήκευσης, δεδομένου ότι το νερό αντλείται από κάποια κοντινή πηγή του ποταμού, αντί να συμπληρώνεται φυσικά, όπως στην περίπτωση των ταμιευτήρων ανάσχεσης (Uhlmann and Paul, 2011). Η βασική διαφορά των ταμιευτήρων με τις φυσικές λίμνες έγκειται στις περιόδους ξηρασίας, όπου η άντληση νερού από τους ταμιευτήρες υπερβαίνει το ποσό συμπλήρωσής τους με νερό από τους τριγύρω ποταμούς και επομένως υπάρχει σημαντική μείωση στη στάθμη.

Σήμερα υπάρχουν περίπου 45.000 φράγματα παγκοσμίως, εκ των οποίων πάνω από το 70%, κατασκευάστηκαν τα τελευταία 50 έτη. Ο βαθμός ρύθμισης ενός ταμιευτήρα εκφράζει το ποσοστό της μέσης ετήσιας εκφόρτισης ενός ποταμού στη λίμνη. Οι περισσότεροι ταμιευτήρες έχουν ένα βαθμό ρύθμισης μικρότερο από 100%, ενώ εξαίρεση αποτελεί η λίμνη Βόλτα της Αφρικής με βαθμό ρύθμισης ίσο με 428% (Uhlmann and Paul, 2011). Οι απορροές στις τεχνητές λίμνες είναι σε μεγάλο βαθμό τυρβώδεις, περιστροφικές, πολλαπλών κατευθύνσεων και άτακτες, κάτι που φαίνεται χαρακτηριστικά και από τα δεδομένα των λιμνών της παρούσας μελέτης. Ροές στρωτές και μονής κατεύθυνσης μπορούν να παρατηρηθούν σε πολύ χαμηλές ταχύτητες και σε πολύ ήπιες μετεωρολογικές συνθήκες. Η ταχύτητα του ανέμου, η ηλιοφάνεια και οι απορροές είναι οι πιο σημαντικοί παράγοντες που επηρεάζουν την κίνηση του νερού (Uhlmann and Paul, 2011).

Ενόψει της αναμενόμενης υπερθέρμανσης του πλανήτη, οι τεχνητές λίμνες αναμένεται να γίνουν ακόμα πιο σημαντικές για τη διαχείριση των υδατικών πόρων μιας περιοχής κατά τη διάρκεια των ξηρών περιόδων. Έχει προβλεφθεί ότι η παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας θα είναι από έναν έως πέντε βαθμούς μέσα στα επόμενα 50 έτη και ενδέχεται να επηρεάσει τις τεχνητές, αλλά και φυσικές, λίμνες ως προς τέσσερις βασικές κατευθύνσεις. Αρχικά υπάρχει αναφορά στην αύξηση της θερμοκρασίας των υδάτων, με επιπτώσεις στη διάρκεια του πάγου που τα καλύπτει, ως προς τη χρονική διάρκεια και την ένταση της ανάμιξης και της διαστρωμάτωσης. Επιπλέον, η αύξηση της θερμοκρασίας των υδάτων επηρεάζει σημαντικά την ανταλλαγή αερίων μεταξύ ατμόσφαιρας και νερού καθώς και τη διαλυτότητα των αερίων στο νερό. Υπάρχουν, επίσης, μεταβολές της ροής ως προς την ποσότητα και τη δυναμική των υδάτων, καθώς και εισαγωγές αιωρούμενων ουσιών, όπως θρεπτικά συστατικά και διαλυμένη οργανική ύλη, με μεταβολές στο χρόνο

παραμονής τους στο νερό. Μια άλλη κατεύθυνση είναι οι διακυμάνσεις της στάθμης τους, με συνέπειες για τις μεταφορές των ιζημάτων, την επαναιώρηση και τη συσώρευσή τους. Σε αυτή περιλαμβάνεται και η ανταλλαγή ύλης μεταξύ ιζημάτων και νερού, με παράλληλη εξάντληση του οξυγόνου στα ύδατά τους και του ποσοστού ανταλλαγής φυσικών αερίων, ενώ είναι πιθανή και η ξήρανση και η εκ νέου ύγρανση των παράκτιων περιοχών τους. Η τελευταία κατεύθυνση αφορά τις μεταβολές της ακτινοβολίας και της υποβρύχιας έντασης του φωτός, αυξάνοντας ενδεχομένως την επίδραση της υπεριώδους ακτινοβολίας στους οργανισμούς (Grimaldi et al., 2011).

Παρόλα αυτά, οι επιπτώσεις του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής σε κάθε υδατικό σώμα είναι πιθανό να διαφέρει σημαντικά, ανάλογα με τη γεωγραφική του θέση (γεωγραφικό πλάτος, μήκος και υψόμετρο) καθώς και τη μορφολογία των επιφανειακών υδάτινων σωμάτων. Οι τοπικές επιδράσεις της κλιματικής αλλαγής είναι δύσκολο να προβλεφθούν και παραμένουν σε μεγάλο βαθμό αβέβαιες. Πολύ λίγα πράγματα είναι γνωστά για τις αλλαγές στην ποσότητα και το χρονοδιάγραμμα της εποχιακής απορροής που προέρχεται από τη βροχόπτωση και την τήξη του πάγου, καθώς και για τη συχνότητα των αιολικών διαταραχών στην κάθετη διάθρωση των υδάτινων σωμάτων (Grimaldi et al., 2011).

2.2 Η Επιλογή των Τεχνητών Λιμνών

Η παρούσα διπλωματική μελέτη ασχολείται με 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 που αναλύονται στην παρούσα μελέτη και παρουσιάζονται στη συνέχεια του κεφαλαίου.

2.3 Η Κλιματική Αλλαγή ανά Ήπειρο

2.3.1 Αυστραλία

Οι εως τώρα κλιματικές παρατηρήσεις για την Αυστραλία δείχνουν μείωση στη συχνότητα των δροσερών ημερών με ταυτόχρονη αύξηση της ζέστης, με αποτέλεσμα να πλήττεται κυρίως η Ανατολική μεριά της χώρας. Ως αποτέλεσμα της ανθρώπινης επίδρασης στο κλίμα, έχει παρατηρηθεί αύξηση των μέσων θερμοκρασιών κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού (Slingo et al., 2011). Σε ότι αφορά τις κατακρημνίσεις προβλέπεται μείωση κατά 5% για το μεγαλύτερο τμήμα της Δυτικής και Ανατολικής Αυστραλίας, ενώ ενδέχεται αύξηση της εμφάνισης ακραίων καιρικών φαινομένων. Προσομοιώσεις που γίνονται από τα διάφορα προγράμματα (IPCC) δείχνουν ότι η γη που καλλιεργείται σήμερα στην Αυστραλία θα πάψει να είναι τόσο ιδανική για την αγροτική παραγωγή, λόγω των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής. Τα παγκόσμια και εθνικά σενάρια (IPCC) δείχνουν μεγάλο βαθμό αβεβαιότητας όσον αφορά το πως θα επηρεαστεί η διαθεσιμότητα σε νερό λόγω της κλιματικής αλλαγής. Παρόλα αυτά, υπάρχουν σενάρια που θέλουν το τμήμα της Νοτιοανατολικής Αυστραλίας να γίνεται πιο ξηρό. Το γεγονός αυτό αυξάνει τις ανησυχίες για τη διαθεσιμότητα του νερού στην περιοχή, οι οποίες επιδεινώνονται με την αύξηση του πληθυσμού. Ως προς τις παράκτιες περιοχές, δεδομένου ότι εκεί συγκεντρώνεται το 80% του συνολικού πληθυσμού της, με τα μελλοντικά σενάρια που θέλουν τη μέση στάθμη της θάλασσας να αυξάνεται, υπάρχει μεγάλος κίνδυνος πλημμύρων. Παρόλα αυτά, σε απόλυτη τιμή, ο κίνδυνος αυτός των πλημμύρων για την Αυστραλία είναι σχετικά μικρός συγκριτικά με τις υπόλοιπες χώρες του κόσμου που το αντιμετωπίζουν (Slingo et al., 2011).

2.3.2 Αφρική

Για την περιοχή της Γκάνα στην Αφρική έχει παρατηρηθεί αύξηση της βροχόπτωσης, ιδιαίτερα το μήνα Αύγουστο, σε συνδυασμό με συνεχή και πολύ έντονη ηλιοφάνεια. Όσον αφορά τη θερμοκρασία η μέση ετήσια τιμή της έχει αυξηθεί κατά 1°C από το 1960, με το ρυθμό αύξησης να είναι υψηλότερος στις Βόρειες περιοχές της Γκάνα από ότι στις Νότιες. Τα ημερήσια δεδομένα δείχνουν ότι η συχνότητα των ζεστών ημερών έχει αυξηθεί σημαντικά για όλες τις εποχές, καθώς και οι ζεστές νύχτες, με ποσοστό 20% μεγαλύτερο από ότι το 1960. Αντίστοιχα, η συχνότητα τόσο των κρύων ημερών και νυχτών έχει μειωθεί κατά 15%. Σε ότι αφορά τη βροχόπτωση, σε ετήσια κλίμακα η Γκάνα έχει πολύ μεταβαλλόμενα δεδομένα, τόσο μέσα στο έτος όσο και ανά δεκαετίες (McSweeney et al., 2010).

2.3.3 Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής

Στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής έχει παρατηρηθεί εκτενής τάση αύξησης της θερμοκρασίας από το 1960 και μετά. Αντίστοιχα, έχει εμφανιστεί μείωση του αριθμού των κρύων νυχτών, με ιδιαίτερα έντονο αυτό το φαινόμενο στις παράκτιες περιοχές. Γενικότερα, έχει παρατηρηθεί αύξηση των θερινών και μείωση των χειμερινών θερμοκρασιών λόγω της ανθρώπινης παρέμβασης στο κλίμα. Με βάση τα μελλοντικά

σενάρια (IPCC) προβλέπεται αύξηση της θερμοκρασίας για το Κεντρικό και Νοτιοδυτικό κομμάτι των Ηνωμένων Πολιτειών, της τάξης των 4-4,5°C. Όσον αφορά το φαινόμενο των κατακρημνίσεων, για το Νοτιοδυτικό τμήμα, στο οποίο γίνεται και αναφορά στην παρούσα διπλωματική εργασία, προβλέπεται μείωση της τάξης του 20%, ενώ για το Βορειοανατολικό τμήμα αύξηση της τάξης του 10%. Αυτός ο τελευταίος διαχωρισμός των Ηνωμένων Πολιτειών σε Βόρειο και Νότιο τμήμα είναι που δημιουργεί μεγάλη αβεβαιότητα για τη μελλοντική τάση των κατακρημνίσεων στη χώρα, αφού βρίσκεται ανάμεσα στον Καναδά, όπου προβλέπεται σημαντική αύξηση, και στην Κεντρική Αμερική και την Καραϊβική, όπου προβλέπεται δραματική μείωση (Slingo et al., 2011). Αναλυτικότερα, όσον αφορά τις αποδόσεις των καλλιεργειών, παρατηρείται μείωση στην απόδοση, ειδικότερα για τις καλλιέργειες αραβοσίτου, σόγιας και σίτου, που είναι οι τρεις βασικές καλλιέργειες των Ηνωμένων Πολιτειών. Έγιναν, μάλιστα, έρευνες για την εξέλιξη της καταλληλότητας των καλλιεργούμενων εκτάσεων και προέκυψε ότι ένα σημαντικό ποσοστό θα υποστεί μείωση της καταλληλότητας παραγωγής, ενώ λίγες και μικρές εκτάσεις θα υποστούν αύξηση. Ήδη ένα μεγάλο ποσοστό του πληθυσμού των Ηνωμένων Πολιτειών, σύμφωνα με παγκόσμιες μελέτες (IPCC), εκτίθεται στο «άγχος του νερού». Πρόσφατες υποθέσεις καταλήγουν ότι οι μέσες ετήσιες κατακρημνίσεις θα μειωθούν στο Νοτιοδυτικό τμήμα της χώρας και ότι οι ξηρασίες θα γίνουν συχνότερες και πιο σοβαρές για το κομμάτι αυτό λόγω της κλιματικής αλλαγής. Το πιο απαισιόδοξο σενάριο θέλει αύξηση 7% του πληθυσμού με την αντίστοιχη πίεση ως προς το νερό, ενώ το πιο αισιόδοξο περιορίζει την αύξηση αυτή στο 5% για τον επόμενο αιώνα. Τέλος, όσον αφορά τις πλημμύρες των ποταμών, οι περισσότερες μελέτες έδειξαν αρκετή αβεβαιότητα στα μελλοντικά σενάρια. Παρόλα αυτά, παγκόσμια μοντέλα (IPCC) προβλέπουν σημαντική αύξηση της συχνότητας των πλημμύρων για το Νότιο, Ανατολικό και Βορειοδυτικό κομμάτι, κυρίως κατά το δεύτερο μισό του αιώνα (Slingo et al., 2011).

2.3.4 Νότιος Αμερική -Αργεντινή

Για την Αργεντινή, οι μελέτες καταλήγουν με βεβαιότητα να υποστηρίζουν ότι έχει αυξηθεί ο αριθμός των ζεστών νυχτών, και γενικότερα της θερμοκρασίας για τα Κεντρικά και Βόρεια τμήματά της. Τα ίδια κομμάτια της χώρας έχουν υποστεί μικρή αύξηση της ετήσιας βροχόπτωσης από το 1960 και μετά. Με βάση τα μελλοντικά σενάρια υπολογίζεται αύξηση κατά 2-2,5°C στο μεγαλύτερο μέρος της χώρας, με εξαίρεση το Βόρειο, όπου η αύξηση αυτή φτάνει στους 4°C. Όσον αφορά τις κατακρημνίσεις, για το Βόρειο τμήμα της προβλέπεται αύξηση έως και 20%, ενώ για το Νότιο μείωση από 5% έως και 20%. Στον αγροτικό τομέα, οι προβλέψεις δε μπόρεσαν να καταλήξουν σε ένα τελικό συμπέρασμα λόγω αβεβαιοτήτων των μοντέλων προσομοίωσης. Παρόλα αυτά, η πλειοψηφία των μελετών καταλήγει σε μείωση των καλλιεργειών ως προς το σύνολό τους. Να σημειωθεί ότι η Αργεντινή κατατάχθηκε στην 5^η θέση παγκοσμίως ως προς τον κίνδυνο να χάσει τεράστιες αγροτικές παράκτιες εκτάσεις λόγω της αναμενόμενης αύξησης της μέσης στάθμης της θάλασσας. Αντιθέτως, οι προβλέψεις έδειξαν πολύ μικρή επίδραση της κλιματικής αλλαγής στον τομέα της αλιείας, με μείωση κάτω από 5% στη μέγιστη αλιευτική ικανότητα για το δεύτερο μισό του αιώνα (Slingo et al., 2011).

Για τον τομέα των υδάτων, οι μελέτες έδειξαν ότι δεν επηρεάζεται λόγω της κλιματικής αλλαγής (IPCC). Παρόλα αυτά, ορισμένες από τις προβλέψεις θέλουν το Νοτιοδυτικό και Βόρειο κομμάτι της χώρας να υποφέρει από τη μείωση των διαθέσιμων υδατικών πόρων. Προσομοιώσεις που έγιναν επιβεβαιώνουν την άποψη αυτή, προβλέποντας ότι ο μέσος πληθυσμός που θα εκτεθεί σε αυτή τη λειψυδρία αυξάνεται κατά 5% μέχρι τα μισά του αιώνα. Τέλος, σχετικά με τις πλημμύρες των ποταμών υπάρχει μεγάλος βαθμός αβεβαιότητας για το μέλλον της Αργεντινής. Αυτό συμβαίνει λόγω της έλλειψης σεναρίων για τις πιθανές μεταβολές της χώρας ως προς την κλιματική αλλαγή. Πρόσφατες μελέτες, όμως, επιβεβαιώνουν την τάση για ακραία φαινόμενα κατακρημνίσεων και τον αυξανόμενο κίνδυνο για πλημμύρες, ειδικά για το δεύτερο μισό του αιώνα (Slingo et al., 2011).

2.3.5 Ευρώπη - Ολλανδία

Μέχρι σήμερα η κλιματική αλλαγή δεν έχει δημιουργήσει πολύ σοβαρά προβλήματα στην Ολλανδία. Το κλίμα έχει αλλάξει ως προς διάφορες παραμέτρους. Αρχικά, η θερμοκρασία της χώρας έχει αυξηθεί κατά 1°C μέσα στον τελευταίο αιώνα. Η στάθμη της θάλασσας κατά μήκος των Ολλανδικών ακτών έχει υποστεί αύξηση κατά 20 cm μέσα σε έναν αιώνα ως συνέπεια της τήξης των πάγων και της καθίζησης των εδαφών. Οι απορροές των ποταμών έχουν γίνει υψηλότερες κατά τους χειμερινούς μήνες και είναι αρκετά μειωμένες κατά τους θερινούς, ενώ οι ετήσιες κατακρημνίσεις της χώρας έχουν αυξηθεί και έχουν προκαλέσει αύξηση στη συχνότητα των ακραίων φαινομένων βροχόπτωσης. Επιπτώσεις στον αγροτικό τομέα δεν έχουν εμφανιστεί ακόμα (Bresser et al., 2005). Τα μελλοντικά σενάρια (IPCC) θέλουν τη χώρα της Ολλανδίας να πάσχει από εξαιρετικά ζεστούς και υγρούς θερινούς μήνες. Ακραία επεισόδια βροχόπτωσης θα συνοδεύονται από πλημμύρες, οι οποίες θα αυξήσουν τις ακραίες απορροές των ποταμών. Να σημειωθεί ότι αν οι σκανδιναβικές χώρες Βορειότερα της Ολλανδίας λάβουν μέτρα για να αποτρέψουν τις ακραίες πλημμύρες, τότε ο κίνδυνος των πλημμύρων για την Ολλανδία θα αυξηθεί. Ο βαθμός στον οποίο προβλέπεται να αυξηθεί η θερμοκρασία είναι πολύ υψηλός για να επιτρέψει στους διάφορους οργανισμούς να προσαρμοστούν ή να μεταναστεύσουν, με αποτέλεσμα να κινούνται προς εξαφάνιση πολλές κατηγορίες φυτών και ζώων στη χώρα. Τέλος, ο συνδυασμός της συνεχούς αύξησης της στάθμης της θάλασσας με την καθίζηση του εδάφους και την αυξανόμενη απορροή των ποταμών θα προκαλέσει μεγάλα προβλήματα για τις χαμηλότερες περιοχές της Ολλανδίας, κυρίως προς το τέλος του αιώνα, σχετικά με τις απορρίψεις των λυμάτων και την ασφάλεια των κατοίκων (Bresser et al., 2005).

2.3.6 Ασία - Κίνα

Η αύξηση της θερμοκρασίας στην Κίνα είναι σημαντική. Από το 1960 έως και σήμερα έχει παρουσιαστεί σοβαρή μείωση στη συχνότητα των δροσερών νυχτών και σημαντική αύξηση των θερμών. Αντίστοιχα έχει συμβεί για τις χειμερινές θερμοκρασίες κατά μήκος της χώρας, κάνοντας την εμφάνιση ήπιων θερμοκρασιών κατά τους χειμερινούς μήνες συχνότερη. Οι ετήσιες κατακρημνίσεις έχουν αυξηθεί σε

όλη την έκταση της χώρας, καθώς υπάρχουν ημέρες με πολύ έντονες κατακρημνίσεις (Slingo et al., 2011). Μελλοντικά σενάρια θέλουν στο Νοτιοανατολικό κομμάτι της Κίνας να αυξάνεται η θερμοκρασία κατά 3°C ενώ στο Βόρειο και Δυτικό κομμάτι κατά 4,5°C. Οι κατακρημνίσεις προβλέπεται να αυξηθούν έως και 20% σε όλη τη χώρα, με έμφαση στο Βορειοανατολικό κομμάτι της. Στον αγροτικό τομέα, παρά το γεγονός ότι οι απόψεις διαφέρουν, στη γενικότερη εικόνα όλοι συμφωνούν ότι η κλιματική αλλαγή θα μειώσει τις μεγάλες αγροτικές παραγωγές της Κίνας (ρύζι, αραβόσιτος, σιτάρι). Το Νοτιοανατολικό κομμάτι της χώρας πάσχει ήδη από έλλειψη νερού. Διάφορα μοντέλα προσομοίωσης (IPCC) προβλέπουν ότι κατά μέσο όρο το 6% του πληθυσμού θα εκτεθεί σε πίεση λόγω της αύξησης της στάθμης του νερού και το 20% λόγω έλλειψης νερού μέσα στον αιώνα. Τέλος, με βάση το σενάριο της αύξησης των κατακρημνήσεων για την Ανατολική Ασία και τμήματα της Κίνας, παρουσιάζεται ότι για ακόμα υψηλότερα ποσά εκπομπών οι κατακρημνίσεις θα αυξηθούν κι άλλο. Η συχνότητα των ακραίων φαινομένων των κατακρημνίσεων έχουν αυξηθεί σε ορισμένες λεκάνες απορροής ποταμών. Αν και η αβεβαιότητα για το αν κάτι τέτοιο θα συνεχιστεί είναι μεγάλη, τα διάφορα σενάρια και μοντέλα προσομοίωσης (IPCC) δείχνουν την τάση για αύξηση του κινδύνου των πλημμύρων στην Κίνα, ειδικά κατά το δεύτερο μισό του αιώνα. Επομένως, και το φαινόμενο της αύξησης της μέσης στάθμης της θάλασσας αναμένεται να επηρεάσει σε πολύ μεγάλο βαθμό τη χώρα (Slingo et al., 2011).

2.4 Η Υπάρχουσα Κατάσταση των Περιοχών Μελέτης

Για την καλύτερη κατανόηση της επιρροής του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής σε κάθε περιοχή και για τη συσχέτιση των προβλέψεων με τη φυσική σημασία των επιπτώσεων, έγινε διερεύνηση της υπάρχουσας κατάστασης της κάθε περιοχής μελέτης. Δεδομένου ότι η κλιματική αλλαγή είναι ένα φαινόμενο που επηρεάζει όλους τους κλάδους μιας κοινωνίας, θεωρήθηκε απαραίτητο να αναλυθεί και το κοινωνικό υπόβαθρο στο οποίο θα εμφανιστούν τα αποτελέσματα της κλιματικής αλλαγής. Τα αριθμητικά αποτελέσματα των προβλέψεων που εξάγονται μπορούν να μεταφραστούν σε επιπτώσεις με φυσική σημασία και να οδηγήσουν στη λήψη των σωστών αποφάσεων για τη διαχείριση μελλοντικών κρίσεων.

2.4.1 Αυστραλία - Αργκάιλ

ΥΔΑΤΙΚΟ ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η λίμνη Αργκάιλ είναι μια από τις μεγαλύτερες τεχνητές λίμνες της Αυστραλίας σε όγκο. Αποτελεί μέρος του συστήματος άρδευσης του ποταμού Ορντ και βρίσκεται ανατολικά της πόλης Κίμπερλεϊ της Κουνουνάρα, σε υψόμετρο 180 μέτρα, στη Δυτική Αυστραλία (εικόνα 2.1). Στα Ανατολικά της λίμνης βρίσκεται το Εθνικό Πάρκο Γκρέγκορι και στα Νότια το Εθνικό Πάρκο Πουρνουλούλου. Με την κατασκευή του φράγματος η λίμνη πλημμύρισε τμήματα του οροπεδίου Κίμπερλεϊ, περίπου 80 χιλιόμετρα μακριά από τον Κόλπο του Ιωσήφ Βοναπάρτη, κοντά στα σύνορα με τη Βόρεια Επικράτεια. Η λίμνη χρησιμεύει κυρίως για άρδευση και οικιακή χρήση, παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ επίσης χρησιμοποιείται και για ψυχαγωγικούς

σκοπούς. Η λίμνη παρέχει άρδευση σε περίπου 150 km² αγροτικής γης (Hale and Morgan, 2010). Παρά το γεγονός ότι η λίμνη δημιουργήθηκε αρχικά με σκοπό την άρδευση καλλιεργειών ρυζιού για εξαγωγή στην Κίνα, το σχέδιο δεν πραγματοποιήθηκε ποτέ και έτσι έμεινε από τις λίμνες με τις λιγότερες χρήσεις στην Αυστραλία, γεγονός στο οποίο συμβάλλει και η απομόνωση λόγω της γεωγραφικής της θέσης (Willacy, 2006).



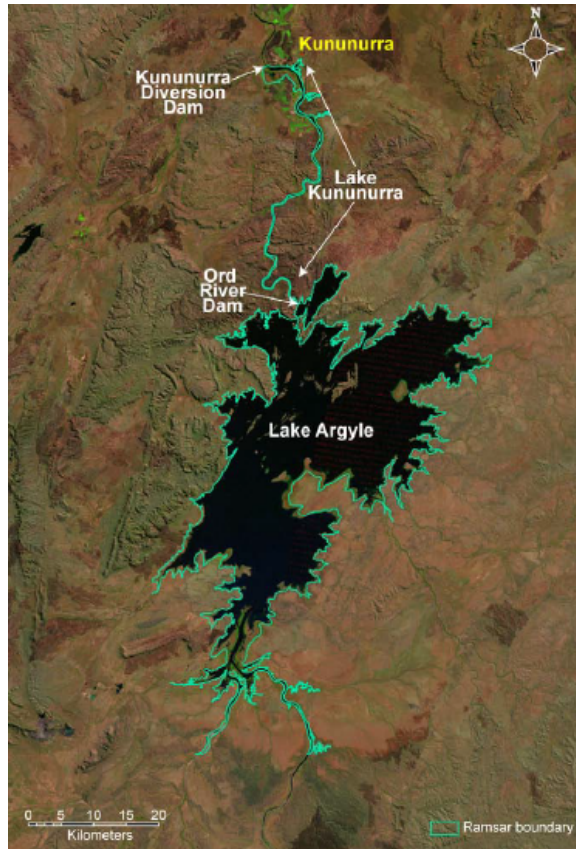
Εικόνα 2.1: Αυστραλία - Η λίμνη Αργκάλι

Πηγή: Google Maps

Οι τρεις βασικές ασχολίες των κατοίκων της περιοχής είναι οι καλλιέργειες, οι εξορύξεις και ο τουρισμός, από τις οποίες και προκύπτουν οι χρήσεις της λίμνης Αργκάλι. Η λίμνη δημιουργήθηκε το 1971, με τη δημιουργία του φράγματος στον ποταμό Ορντ, ο οποίος και αποτελεί την κύρια εισροή της. Παράλληλα με τον Ορντ, ο ποταμός Μπού μαζί με άλλα μικρότερα ρυάκια ρέουν επίσης μέσα στο φράγμα. Επιπλέον, η λίμνη έχει χαρακτηριστεί ως προστατευόμενος υγρότοπος με τη σύμβαση Ραμσάρ από το 1990 (Willacy, 2006).

Η ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΑΡΓΚΑΙΛ

Η επιφάνεια της λίμνης Αργκάλι είναι 703 km². Η αποθηκευτική ικανότητα, στην κορυφή του υπερχειλιστή, είναι 10.763.000 mL, ενώ ο συνηθέστερος όγκος αποθήκευσής της είναι 5.797.000 mL, γεγονός που την καθιστά το μεγαλύτερο ταμιευτήρα στην Αυστραλία (εικόνα 2.2). Η λεκάνη απορροής της λίμνης είναι 46.100 km² (Hale and Morgan 2010).



Εικόνα 2.2: Η λίμνη Αργκάλι

Πηγή: Lakes Argyle and Kununurra - Ramsar Site

Ως προς το κλίμα, η ξηρή περίοδος διαρκεί, για την περιοχή της λίμνης Αργκάλι, από το Μάιο έως τον Οκτώβριο. Αυτοί είναι οι άνετοι μήνες με ζεστές ξηρές ημέρες και θερμοκρασίες από 28-34 °C. Κατά τη διάρκεια αυτών των μηνών η βροχόπτωση είναι μηδενική αλλά δύναται να εμφανιστούν καταιγίδες. Οι θερμοκρασίες αυξάνονται προς το τέλος του Σεπτεμβρίου και μπορεί να φτάσουν έως και τους 40 °C, κατά τη διάρκεια της ημέρας. Το τροπικό καλοκαίρι διαρκεί από το Νοέμβριο μέχρι τον Απρίλιο, με υψηλή έως πολύ υψηλή υγρασία και μέσο όρο βροχόπτωσης 600 mm από τις τροπικές καταιγίδες και τους κυκλώνες. Τέλος, οι θερμοκρασίες μπορεί να είναι πολύ υψηλές από τον Οκτώβρη έως και το Δεκέμβριο, όπου κυμαίνονται από 35 έως 42 °C (Hale and Morgan, 2010).

2.4.2 Αφρική – Βόλτα

ΥΔΑΤΙΚΟ ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η λίμνη Βόλτα βρίσκεται στη Γκάνα της Αφρικής, και πιο συγκεκριμένα στη Δυτική Αφρική, ενώ οριοθετείται από την ακτή Ελεφαντοστού Δυτικά, τη Μπουργκίνα Φάσο Βόρεια, το Τογκό Ανατολικά και τον κόλπο της Γουινέας Νότια (εικόνα 2.3). Βρίσκεται πάνω στο μεσημβρινό του Γκρίνουιτς και μόνο 6 μοίρες γεωγραφικού πλάτους

Βόρεια του Ισημερινού. Το Βορειότερο σημείο της λίμνης είναι κοντά στην πόλη Γιαπέι και στο Νοτιότερο άκρο της βρίσκεται το φράγμα Ακοσόμπο, 520 χιλιόμετρα κατάντη της Γιαπέι. Καταλαμβάνει το κεντρικό τμήμα της Γκάνα και η λεκάνη απορροής της καλύπτει περίπου το 45% της συνολικής έκτασης του έθνους (Ghana Government, 1973).

Οι πεδιάδες Αφράμ, στη Νοτιοανατολική γωνία της λεκάνης, βρίσκονται σε αντίθεση με την υπόλοιπη περιοχή. Το μέσο υψόμετρο της περιοχής κυμαίνεται από 60 έως 150 m, και η ετήσια βροχόπτωση από 1.140 ως 1.400mm. Κοντά στον ποταμό Αφράμ, μεγάλο μέρος της περιβάλλουσας εξοχής, είναι πλημμυρισμένο ή βαλτώδες κατά τη διάρκεια της εποχής των βροχών. Με την κατασκευή της λίμνης Βόλτα (8.515 εκτάρια γης) στα μέσα του 1960, μεγάλο τμήμα των πεδιάδων Αφράμ βυθίστηκε. Παρά την κατασκευή δρόμων για να συνδεθούν οι κοινότητες που εκτοπίστηκαν από τη λίμνη, οι οδικές μεταφορές στην περιοχή παραμένουν φτωχές. Τα είδη υδατικών καταναλώσεων που απαντώνται στην περιοχή είναι για κυρίως για παραγωγή ενέργειας, ακολουθούν η οικιακή και βιομηχανική χρήση, ενώ τελευταία έρχεται η χρήση για άρδευση των γύρω περιοχών. Οι χρήσεις της λίμνης αφορούν σε μεγάλο βαθμό και τη μετακίνηση, τον τουρισμό και την αλιεία (Ghana Government, 1973).



Εικόνα 2.3: Αφρική - Η λίμνη Βόλτα

Πηγή: Google Maps

Η ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΒΟΛΤΑ

Η λίμνη Βόλτα δημιουργήθηκε με το φράγμα του Ακοσόμπο στον ποταμό Βόλτα. Το σχήμα της είναι δενδρικό και έχει γενικά προσανατολισμό Βορρά-Νότου, με μέσο μήκος 400 km και μέσο πλάτος 25 km (εικόνα 2.4). Η λεκάνη απορροής της έχει έκταση 385.185 km², ενώ η ίδια καταλαμβάνει μια έκταση 8.730 km². Η λίμνη δημιουργήθηκε για να αποθηκεύει νερό κυρίως για την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας. Το μέσο και μέγιστο βάθος της λίμνης είναι 18,8 m και 75 m αντίστοιχα (Obeng-Asamoah, 1977). Όσον αφορά το κλίμα της περιοχής του ταμιευτήρα, η μέση ετήσια θερμοκρασία είναι 33°C, με τις μέγιστες τιμές να εμφανίζονται κατά τους μήνες Νοέμβριο – Μάρτιο και τις ελάχιστες κατά τους Μάιο – Σεπτέμβριο. Παρόλα αυτά, οι θερμοκρασίες για όλη τη διάρκεια του έτους κινούνται από 30 έως 38 °C. Η μέση ετήσια βροχόπτωση είναι 1.321mm, με μέγιστες τιμές για τους μήνες Απρίλιο έως και Οκτώβριο και έντονη ξηρασία για όλους τους υπόλοιπους μήνες του έτους (Obeng-Asamoah, 1977).



Εικόνα 2.4: Η λίμνη Βόλτα

Πηγή: www.ghanaweb.com

Η λασπώδης περιοχή του δέλτα του ποταμού υδροδοτεί τις καλλιέργειες σε κρεμμύδι, καλαμπόκι και μανιόκα της περιοχής, ενώ τα αμμώδη εδάφη του δέλτα ώθησαν την ανάπτυξη της βιομηχανίας της καρύδας. Η παραγωγή αλατιού, από την υπερπροσφορά των αποξηραμένων περιοχών των λιμνών, παρέχει επιπλέον απασχόληση. Η κύρια απασχόληση των κατοίκων στην περιοχή του δέλτα του

ποταμού εξακολουθεί να είναι η αλιεία, μια βιομηχανία που παρέχει φρέσκα και παστά ψάρια σε άλλα τμήματα της χώρας.

2.4.3 Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής – Σάλτον Σι

ΥΔΑΤΙΚΟ ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η λίμνη Σάλτον Σι βρίσκεται ακριβώς πάνω στο ρήγμα του Αγίου Ανδρέα, στην κοιλάδα Ιμπέριαλ της Βορειοανατολικής Καλιφόρνια. Η λίμνη καταλαμβάνει τα χαμηλότερα υψόμετρα της περιοχής Σινκ Σάλτον, στην έρημο του Κολοράντο, στις κομητείες Ιμπέριαλ και Ρίβερσάιντ της Νότιας Καλιφόρνιας (εικόνα 2.5).

Η λίμνη Σάλτον Σι έχει οριστεί από την ομοσπονδιακή κυβέρνηση ως αποθήκη για τις γεωργικές αποστραγγίξεις. Χωρίς αυτή τη χρήση του ταμιευτήρα, η γη στις κοιλάδες Ιμπέριαλ και Κoaτσέγια θα περιείχε υπερβολικές ποσότητες νερού για τη γεωργία. Επιπλέον, στη δεκαετία του 1950 αποφασίστηκε να εφοδιαστεί η λίμνη με ποικιλία ψαριών σε μια επιτυχημένη προσπάθεια να αναπτυχθεί η αλιεία στην περιοχή. Η λίμνη αποτελεί βασική στάση του Ειρηνικού των μεταναστευτικών διαδρομών για πολλά είδη αποδημητικών πτηνών και, επομένως, η σημασία της έχει μεγεθυνθεί από την τεράστια απώλεια υγροτόπων στην Καλιφόρνια. (Metzler C. και Springer J., 2006)



Εικόνα 2.5: ΗΠΑ - Η λίμνη Σάλτον Σι

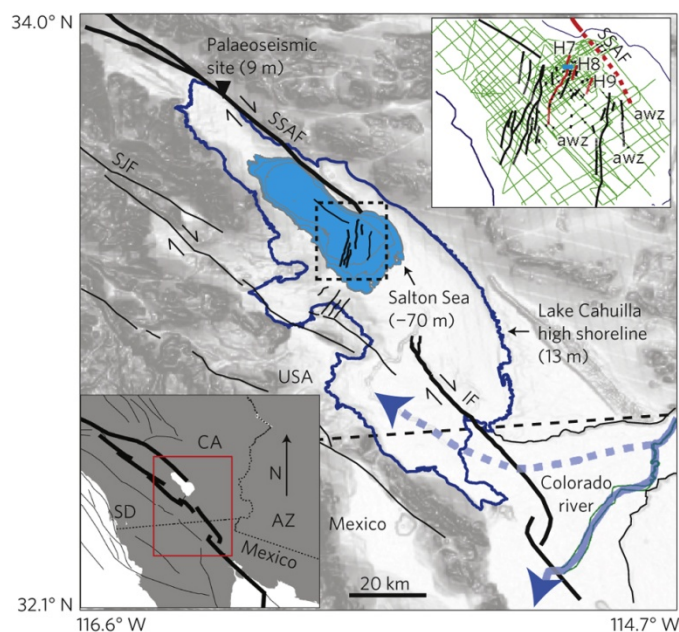
Πηγή: Google Maps

Τέλος, να σημειωθεί ότι λόγω της αλμυρότητάς της δε θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για άρδευση ή οικιακές καταναλώσεις της περιοχής.

Η λίμνη Σάλτον Σι δημιουργήθηκε το 1905, όταν μαζικές πλημμύρες προκάλεσαν τη ρήξη ενός καναλιού άρδευσης του ποταμού Κολοράντο και την ελεύθερη ροή στη λεκάνη Σάλτον για 18 μήνες. Από τότε η ύπαρξη της λίμνης έχει διατηρηθεί κατά κύριο λόγο από τις γεωργικές εισροές των κοιλάδων Ιμπέριαλ, Κοατσέγια και Μεξικάλι (Stevens, 1988). Η λίμνη, εκτός από τα γεωργικά συστήματα αποχεύσεως και απορροών, τροφοδοτείται και από τους ποταμούς Νιου, Γουάιτγουότερ και Άλαμο (Metzler and Springer, 2006).

Η ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΣΑΛΤΟΝ ΣΙ

Η λίμνη Σάλτον Σι βρίσκεται κάτω από τη μέση στάθμη της θάλασσας (εικόνα 2.6). Σήμερα, η επιφάνειά της βρίσκεται στα 69 m κάτω από τη μέση στάθμη της θάλασσας. Η βαθύτερη περιοχή της θάλασσας είναι 1,5 m υψηλότερα από το χαμηλότερο σημείο της κοιλάδας Ντεθ. Η έκταση της λεκάνης απορροής της είναι περίπου 21.700 km², ενώ η ίδια καταλαμβάνει 974 km², με μέγιστο βάθος στα 16 m και χωρητικότητα νερού 9,25 km³.



Εικόνα 2.6: Η λίμνη Σάλτον Σι

Πηγή: www.nature.com

Όσον αφορά το κλίμα της περιοχής, η μέση ετήσια βροχόπτωση είναι 7,1 cm, με μόνο 11 ημέρες βροχής κατά μέσο όρο ετησίως. Αντιθέτως, οι μέρες ηλιοφάνειας αγγίζουν τις 309 κατά μέσο όρο το χρόνο, με μέγιστες θερμοκρασίες στους 42°C για το μήνα Ιούλιο, και ελάχιστες στους 3,4°C για το μήνα Ιανουάριο (Metzler and Springer, 2006).

2.4.4 Αργεντινή – Σαν Ροκέ

ΥΔΑΤΙΚΟ ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η λίμνη Σαν Ροκέ βρίσκεται στην επαρχία της Κόρδοβα στην Αργεντινή (Βόρειο τμήμα της χώρας), και πιο συγκεκριμένα δίπλα στην πόλη Βίλα Κάρλος Παθ, περίπου 600 m πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας, στην κοιλάδα Πουνίγια (εικόνα 2.7). Η τεχνητή αυτή λίμνη δημιουργήθηκε από την κατασκευή φραγμάτων σε διάφορους ποταμούς, με κύριους τους ποταμούς Σουκία και Κόσκιν. Ανατολικά της λίμνης βρίσκεται η οροσειρά Σιέρρας Τσίκας και Δυτικά τα όρη Σιέρρας Γράνδες και η περιοχή Πάμπα δε Ατσάλα (Vicario, 2008).

Οι υδατικές καταναλώσεις που καλύπτει η λίμνη είναι στο μεγαλύτερο μέρος τους για άρδευση, ακολουθούν οι βιομηχανικές καταναλώσεις και τέλος μικρότερο ποσοστό έχει η κατανάλωση για οικιακή και άλλες χρήσεις (παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας, κάθ' όσον αφορά τις χρήσεις γης, στο μεγαλύτερο ποσοστό καλύπτεται από δασικές εκτάσεις (σχεδόν ένα 50%), εκτάσεις με βλάστηση και σχεδόν ένα 4% απομένει για τις αγροτικές χρήσεις (Nickson, 2001).



Εικόνα 2.7: Νότιος Αμερική - Η λίμνη Σαν Ροκέ

Πηγή: Google Maps

Η υδρολογική λεκάνη της περιοχής έχει μέτριο υποτροπικό κλίμα με μέσες ετήσιες κατακρημνίσεις 650 mm και μέση υγρασία 65%. Τα κυριότερα ποτάμια που εκβάλλουν στη λίμνη είναι οι ποταμοί Κόσκιν και Σαν Αντόνιο, καθώς επίσης και τα ρεύματα Μοχάρας και Τσορίγιος που απορρέουν από τον ποταμό Σουκία. Η λίμνη Σαν Ροκέ παίζει πολύ σημαντικό ρόλο ως πηγή νερού για οικιακή χρήση για την πόλη της Κόρδομπα καθώς και για τις βιομηχανίες και την άρδευση. Η σημασία της ως παραγωγό υδροηλεκτρικού ρεύματος εξαρτάται από τη ζήτηση του βιομηχανικού

και άλλων τομέων. Η ανάπτυξη ψυχαγωγικών δραστηριοτήτων στην περιοχή της Βίλα Κάρλος Παθ έχει καταφέρει να συγκεντρώσει πάνω από το 50% των τουριστικών εγκαταστάσεων της επαρχίας της Κόρδομπα (Nickson, 2001).

Το φράγμα κατασκευάστηκε αρχικά τη δεκαετία του 1880 και αντικαταστάθηκε από ένα νεότερο, 150 μέτρα μακρύτερα από το αρχικό, το 1944, έτσι ώστε να συγκρατεί μεγαλύτερες ποσότητες νερού. (Vicario L., 2008)

Η ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΣΑΝ ΡΟΚΕ

Η λίμνη Σαν Ροκέ έχει επιφάνεια 17 km², μέγιστη χωρητικότητα 0,21 km³ νερού, ελάχιστη στα 0,056 km³ νερού, μέγιστο βάθος στα 25 m, ελάχιστο βάθος στα 11 m και περιοχή της λεκάνης απορροής της έκτασης 1.750 km² (εικόνα 2.8). Από πλευράς κλιματολογικών συνθηκών, οι μέσες ετήσιες θερμοκρασίες είναι 7,7°C για την ψυχρότερη περίοδο του Ιουλίου και 21,5°C για τη θερμότερη περίοδο του Ιανουαρίου, με μέση ετήσια τους 16°C, όπως μετρήθηκαν στην πόλη Βίλα Κάρλος Παθ (Vicario, 2008).



Εικόνα 2.8: Η λίμνη Σαν Ροκέ

Πηγή: www.dayanabarrionuevo.com

Η χρονική περίοδος με τις μεγαλύτερες βροχοπτώσεις για την περιοχή είναι κατά τους μήνες Οκτώβρη έως και Μάη, με μέση βροχόπτωση 650mm (το ύψος των βροχοπτώσεων κυμαίνεται από 400mm έως 1100mm) και μέση υγρασία 65%. Οι κυρίαρχοι άνεμοι της περιοχής έρχονται από το Βορρά και το Νότο. Όσον αφορά τον πληθυσμό, η πιο πυκνοκατοικημένη έκταση γύρω από τη λεκάνη απορροής δεν

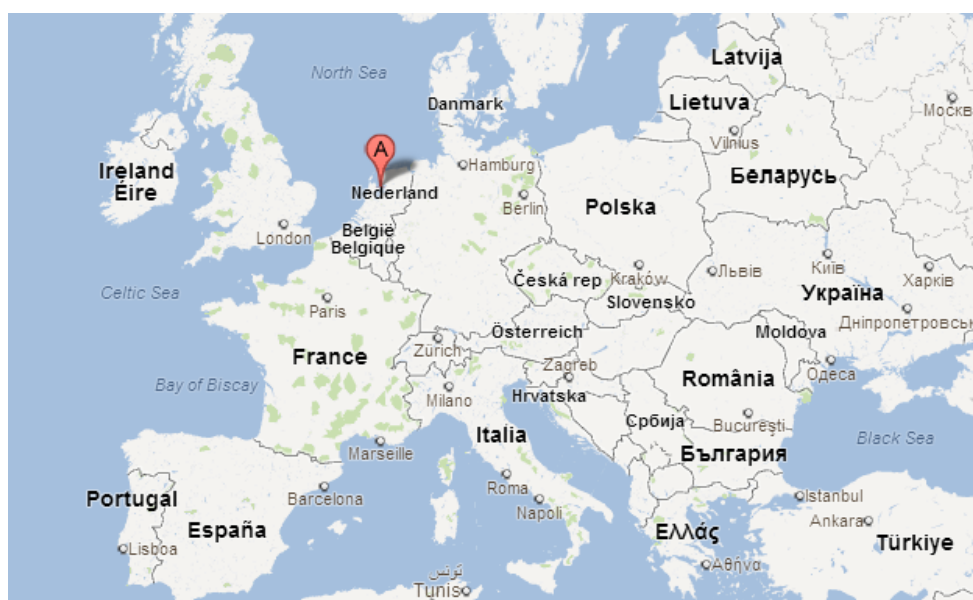
υπερβαίνει τους 30.000 κατοίκους, αν και κατά τους θερινούς μήνες σε ορισμένες περιοχές ο πληθυσμός διπλασιάζεται (Vicario, 2008).

2.4.5 Ολλανδία - Άισελμεερ

ΥΔΑΤΙΚΟ ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η λίμνη Άισελμεερ βρίσκεται στην κεντρική Ολλανδία και συνορεύει με τρεις επαρχίες της Ολλανδικής χερσονήσου, αυτή της Φλέβολαντ, του Φρίσλαντ και της Βόρειας Ολλανδίας (εικόνα 2.9). Η έκταση που περιβάλλει τη λίμνη είναι πεδινή και κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας, ενώ μεγάλο μέρος της αποτελείται από Πόλντερ (μέρη στεριάς που διεκδικήθηκαν από τη θάλασσα). Η περιοχή συγκεντρώνει όλα τα είδη υδατικών καταναλώσεων, δηλαδή άρδευση, ύδρευση και βιομηχανική χρήση. Οι ασχολίες του πληθυσμού περιορίζονται στο μεγαλύτερο βαθμό στον πρωτογενή τομέα, τη γεωργία και την αλιεία. Γι' αυτό οι αρδευτικές ανάγκες παίζουν πολύ μεγάλο ρόλο στα τεκταινόμενα της περιοχής, τόσο από οικονομική όσο και από κοινωνικοπολιτική άποψη (Bijlsma et al., 2011).

Το υδατικό διαμέρισμα της περιοχής Άισελμεερ περιλαμβάνει τις λίμνες Άισελμεερ, Μάρκεμεερ, Άισμεερ και Ράντμερεν. Το φράγμα Άφσλαουτνταϊκ μήκους 32 km, που κατασκευάστηκε το 1932, δημιούργησε τη λίμνη Άισελμεερ. Η λίμνη τροφοδοτείται κυρίως με νερό από τον ποταμό Άισελ (από τον οποίο πήρε και την ονομασία της), ο οποίος αποτελεί παραπόταμο του Ρήνου. Η λίμνη δημιουργήθηκε ως μέρος ενός τεράστιου υδραυλικού μηχανικού έργου με σκοπό την παροχή ασφαλατωμένου νερού για τις καλλιέργειες αλλά και την κάλυψη των καθημερινών αναγκών των κατοίκων. Επιπρόσθετα, στα πλαίσια της δημιουργίας της επωφελήθηκε και η ανάκτηση γης για καλλιέργειες και αστική ανάπτυξη (πόλντερ) (Bijlsma et al., 2011).



Εικόνα 2.9: Ευρώπη - Η λίμνη Άισελμεερ

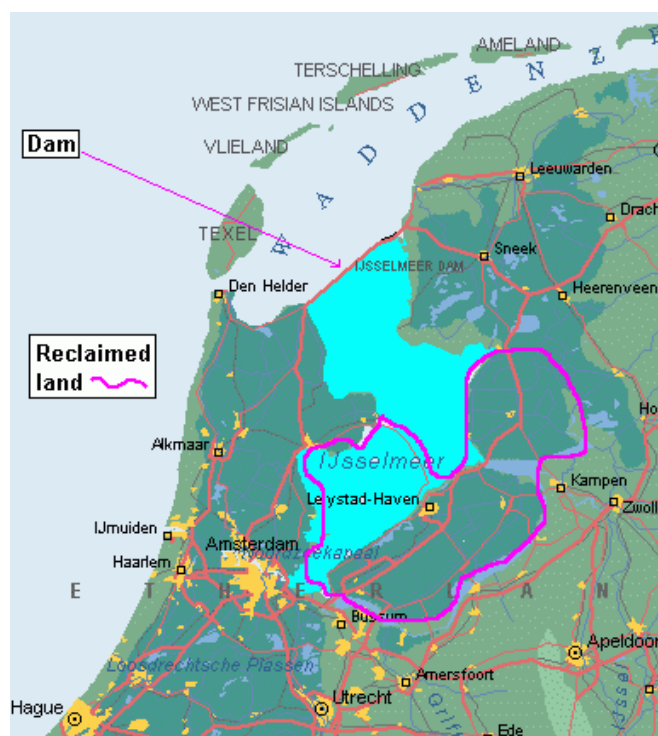
Πηγή: Google Maps

Το μέσο υψόμετρο της περιοχής της λίμνης Άισελμεερ κυμαίνεται στα 0,20 m κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας κατά τους μήνες Απρίλη έως Σεπτέμβρη, ενώ για τους υπόλοιπους μήνες του έτους διατηρείται στα 0,40 m κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας (Van de Berg and Coenen, 2010).

Η ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΑΙΣΕΛΜΕΕΡ

Η λίμνη αποτελεί μια από τις μεγαλύτερες λίμνες με φρέσκο νερό της Ευρώπης. Βρίσκεται στην καρδιά της Ολλανδίας και καλύπτει περίπου 1.200 km², ενώ περιβάλλεται από ακτή 600 km και έχει μέσο βάθος 5,5 m (εικόνα 2.10). Το φράγμα που τη δημιούργησε (φράγμα Άφσλαουτνταϊκ) αποτελεί ένα πολύ σημαντικό ανυψωμένο δρόμο της Ολλανδίας και φτάνει από την περιοχή Βίρινχεν της Βόρειας Ολλανδίας στο χωριό της Ζυρίχης της περιοχής Φρίεσλαντ, με μήκος 32 km, πλάτος 90 m και αρχικό ύψος στα 7,25 m πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας (Bijlsma et al., 2011).

Η κυρίαρχη διεύθυνση ανέμων στην Ολλανδία είναι Νοτιοδυτική που προκαλεί μέτριο ωκεάνιο κλίμα, με δροσερά καλοκαίρια και ήπιους χειμώνες. Η μέση μέγιστη θερμοκρασία φτάνει τους 14°C ενώ η μέση ελάχιστη τους 6°C. Το ετήσιο ποσό κατακρημνήσεων είναι 818 mm ετησίως και η μέση ετήσια ηλιοφάνεια 1.565 ώρες. Καλύπτοντας μια τόσο μεγάλη περιοχή και όντας τόσο κοντά σε μεγάλους πληθυσμούς η λίμνη καλύπτει πολλαπλές ανάγκες, τόσο ως προς την περιβάλλουσα γη όσο και για τη χρήση του νερού της. Συνοπτικά οι λειτουργίες που καλύπτει η λίμνη είναι οι ακόλουθες (Bijlsma et al., 2011).



Εικόνα 2.10: Η λίμνη Άισελμεερ

Πηγή: www.john-daly.com

Η λίμνη συμβάλλει σημαντικά στον έλεγχο των πλημμύρων, δεδομένου ότι αποτελεί τη λεκάνη κατακράτησης για τα υψηλά επίπεδα νερού της λεκάνης του ποταμού Άισελ, καθώς επίσης και των εισροών από τη Νότια Θάλασσα σε περιόδους υψηλής παλίρροιας. Θεωρείται και δυνητικός τόπος επέκτασης των αγροτικών εκτάσεων με τη δημιουργία Πόλντερ (μέρη διεκδικημένα από τη θάλασσα) (Van de Berg and Coenen, 2010). Όσον αφορά το φυσικό κομμάτι, η Άισελμεερ αποτελεί μέρος της Ecological Main Structure (κοινό δίκτυο των σημαντικών υφιστάμενων και νέων περιοχών φυσικού ενδιαφέροντος της Ολλανδίας), ενώ μεγάλα κομμάτια της προστατεύονται από πολιτικές διατήρησης του φυσικού περιβάλλοντος της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Habitat and Bird Directive), λόγω της παρουσίας προστατευόμενων ειδών σε πτηνά και ψάρια. Η παρουσία των ειδών αυτών απαιτεί την επίτευξη συγκεκριμένης ποιότητας νερού. Χρήση της λίμνης γίνεται και για την παραγωγή ενέργειας, αφού είναι εγκατεστημένοι ήδη δύο σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ενώ υπάρχουν σχέδια και για την εγκατάσταση ανεμομύλων (Bijlsma et al., 2011). Παρότι η λίμνη Άισελμεερ εδώ και χρόνια χαρακτηρίζεται ως ακόρεστη πηγή, πολλές από τις χρήσεις που περιγράφηκαν αλληλοσυγκρούονται αν όχι σε όλη την έκταση της λίμνης, σε ορισμένες περιοχές της.

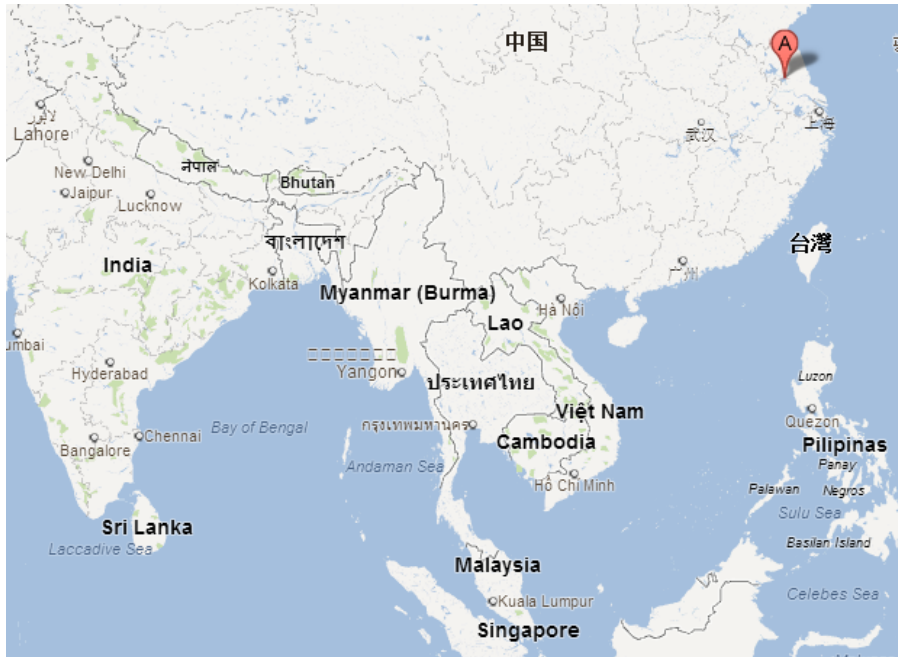
2.4.6 Κίνα - Γκαόγιου

ΥΔΑΤΙΚΟ ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η λίμνη Γκαόγιου είναι η έκτη μεγαλύτερη λίμνη γλυκού νερού στην Κίνα και βρίσκεται ανάμεσα στις επαρχίες Άνχουι και Τζιάνγκσου (εικόνα 2.11). Είναι μια τεχνητή λίμνη που δημιουργήθηκε για τον έλεγχο των πλημμύρων κατά την αρχαία Κίνα. Η ανύψωση του πυθμένα της λίμνης είναι 3-4 m και το ύψος των πεδιάδων Χουάι στα Ανατολικά της είναι 1-3 m χαμηλότερα. Η λίμνη σχηματίστηκε το 1600 μ.Χ. μετά από πλημμύρες του Κίτρινου ποταμού που προκάλεσαν τη συγχώνευση πολλών μικρότερων λιμνών. Κατά τη διάρκεια των θερινών βροχερών εποχών, μεγάλο τμήμα της περιοχής πλημμυρίζει, ενώ οι δρόμοι είναι κατασκευασμένοι έτσι ώστε να αντέχουν τις καθιζήσεις. Κατά τη διάρκεια των χειμερινών μηνών καλλιεργούνται σιτάρι και άλλα είδη στην περιοχή (Sumin and Hongshen, 1998).

Οι ασχολίες των κατοίκων περιορίζονται στον αγροτικό τομέα και στην κλωστοϋφαντουργία. Οι χρήσεις του νερού περιορίζονται στον αγροτικό και βιομηχανικό τομέα, συμπεριλαμβανομένης της οικιακής χρήσης και της παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος.

Η λίμνη επικοινωνεί με τη λίμνη Χόντζι, μέσω διαφόρων παραποτάμων και μικρότερων φραγμάτων, λόγω της προέλευσης και διεύρυνσης και των δύο από τις πλημμύρες του Κίτρινου ποταμού. Ο ποταμός Χουάι περνάει μέσα από τη λίμνη Χόντζι για να καταλήξει στον ταμιευτήρα Γκαόγιου και από εκεί να συνεχίσει την πορεία του (Sumin and Hongshen, 1998).



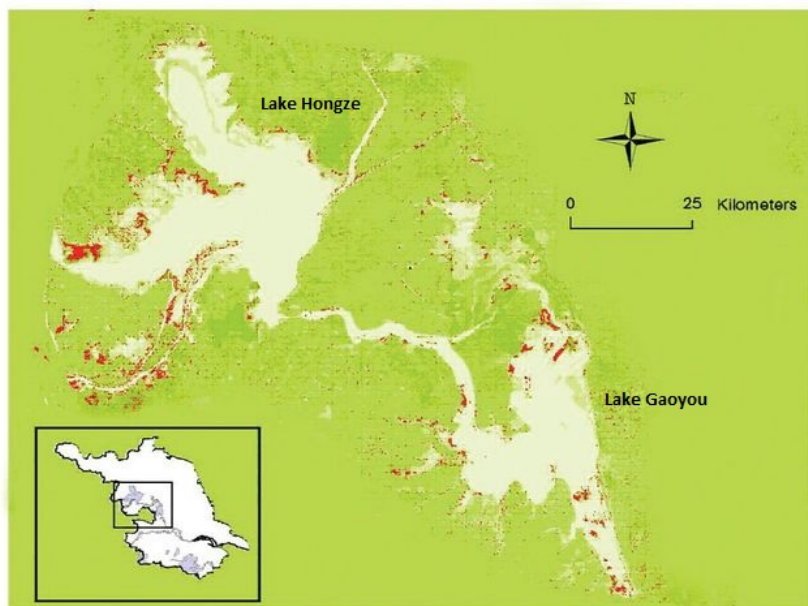
Εικόνα 2.11: Ασία - Η λίμνη Γκαόγιου

Πηγή: Google Maps

Το έδαφος της περιοχής της λίμνης είναι επίπεδο και η ανύψωση του εδάφους είναι 2 ως 3,3 m. Το έδαφος της περιοχής είναι παχύ και ανθεκτικό και αποτελείται κυρίως από πηλό. Λόγω της ανθεκτικότητάς του αντέχει αρκετά υψηλές πιέσεις, ενώ έχει πολύ καλή μηχανική συμπεριφορά στις αντίξοες γεωλογικές συνθήκες.

Η ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΓΚΑΟΓΙΟΥ

Η λίμνη καλύπτει περίπου 39 km σε μήκος και 30 km σε πλάτος, καταλαμβάνοντας συνολικά έκταση περίπου ίση με 674,7 km² (εικόνα 2.12). Η κανονική στάθμη του νερού είναι στα 1,4 m, ενώ το υψηλότερο επίπεδο, λόγω πλημμύρων, φτάνει τα 3,6 m. Το μέγιστο βάθος του νερού στη λίμνη είναι μόνο 2,4 m και ο μέσος όγκος νερού στον ταμιευτήρα είναι 9,716 km³ (Sumin and Hongshen, 1998). Το κλίμα είναι υγρό και υποτροπικό, ενώ κυρίαρχος άνεμος είναι ο Νοτιοανατολικός με μέση ταχύτητα τα 3,6 m/s. Η μέση ετήσια θερμοκρασία είναι 15°C και η μέση ετήσια βροχόπτωση 1030 mm. Τέλος, η μέση ετήσια σχετική υγρασία είναι 67% και ο αριθμός των ημερών χωρίς παγετό 217 το χρόνο (Sumin and Hongshen, 1998).



Εικόνα 2.12: Η λίμνη Γκαόγιου

Πηγή: www.geospatialhealth.unina.it

Κεφάλαιο 3

Μεθοδολογία Προσέγγισης

3. Μεθοδολογία Προσέγγισης

3.1 Προβλέψεις σε Τεχνητές Λίμνες ως προς την Κλιματική Αλλαγή

Στα πλαίσια της διαχείρισης υδάτινων πόρων εντάσσεται και η πρόβλεψη των υδατικών αποθεμάτων, τα οποία και αναλύονται στην παρούσα διπλωματική εργασία, προκειμένου να εκτιμηθούν οι επιπτώσεις του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής στα υδατικά συστήματα του πλανήτη. Για την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στις τεχνητές λίμνες έχουν γίνει μελέτες παγκοσμίως σε διαφορετικές κατευθύνσεις, όπως είναι η πρόβλεψη της ξηρασίας ή της μελλοντικής διαθέσιμης απολήψιμης ποσότητας νερού. Συγκεκριμένα, για τη λίμνη Σαν Ροκέ στην Αργεντινή έχει γίνει μελέτη εκτίμησης της ξηρασίας με χρήση του δείκτη Πάλμερ. Έχουν συσχετιστεί τα ακραία φαινόμενα ξηρασίας με μετεωρολογικούς και υδρολογικούς δείκτες έτσι ώστε να προβλεφθεί η μελλοντική εξέλιξη του ταμιευτήρα, ενώ έγινε και σύγκριση των αποτελεσμάτων με δύο μικρότερους ταμιευτήρες της περιοχής (Vicario, 2008). Αντίστοιχη μελέτη έχει πραγματοποιηθεί και από τον τομέα των Υδατικών Πόρων του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, για τον ταμιευτήρα Πλαστήρα. Με αντίστοιχα μετεωρολογικά και υδρολογικά δεδομένα, όπως και στη μελέτη της Αργεντινής, έγινε εκτίμηση του μελλοντικού εκμεταλλεύσιμου επιφανειακού υδατικού δυναμικού της λεκάνης του ταμιευτήρα για να παρουσιαστεί η επίδραση του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής στην περιοχή (Μαλλιαρός, 2010). Και στις δύο αυτές μελέτες, τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν της βροχόπτωσης, εξατμισοδιαπνοής και απορροής, για χρονικό ορίζοντα 30ετίας, ενώ οι προβλέψεις που εξάγονται αφορούν μέχρι και το τέλος του 21^{ου} αιώνα.

Η παρούσα διπλωματική εργασία εστιάζει στη μεταβολή του αποθηκευμένου όγκου νερού του κάθε ταμιευτήρα και προσαρμόζει τις επιπτώσεις ως προς τις ανάγκες και το βιωτικό επίπεδο της κάθε περιοχής μελέτης, δεδομένης της ανομοιομορφίας τους. Πιο συγκεκριμένα, σκοπός είναι η ποσοτικοποίηση των κινδύνων της κλιματικής αλλαγής έτσι ώστε να υπάρξει μελλοντικά μια κατεύθυνση ως προς την οποία να μπορούν να ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα ασφαλείας.

3.2 Δεδομένα

3.2.1 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 απαραίτητη ήταν η δημιουργία χρονοσειρών με βάση ιστορικά δεδομένα του κάθε ταμιευτήρα. Δεδομένου του γεωγραφικού εύρους κάλυψης των ταμιευτήρων, συλλέχθηκαν μηνιαία δεδομένα από το υδρολογικό έτος 1992-1993 έως και το 2010-2011 (Σεπτέμβρης-Αύγουστος). Βάσει της εξίσωσης υδατικού ισοζυγίου που χρησιμοποιήθηκε, ορισμένα από τα δεδομένα χρειάστηκε να

υπολογισθούν μέσω χρονοσειρών άλλων μετεωρολογικών και υδρολογικών παραμέτρων για την κάθε περιοχή μελέτης (εξατμισοδιαπνοή και εξάτμιση).

3.2.2 Εξίσωση Υδατικού Ισοζυγίου

Η εξίσωση υδατικού ισοζυγίου που χρησιμοποιήθηκε είναι η ακόλουθη:

$$P - ET_o - E + A = \Delta S \quad (3.1)$$

όπου,

P: μηνιαία αθροιστική βροχόπτωση

ET_o: μηνιαία αθροιστική εξατμισοδιαπνοή της λεκάνης απορροής

E: μηνιαία αθροιστική εξάτμιση του ταμιευτήρα

A: συνολική απορροή

ΔS: αλλαγή στη στάθμη του ταμιευτήρα

Με γνωστά όλα τα στοιχεία της παραπάνω εξίσωσης έγινε επίλυση και συμπληρώθηκε έτσι και η χρονοσειρά της απορροής. Να σημειωθεί ότι εξαίρεση αποτέλεσε ο ταμιευτήρας Σαν Ροκέ στην περιοχή της Κόρδομπα στην Αργεντινή, για τον οποίο δεν υπάρχουν διαθέσιμες μετρήσεις της στάθμης. Στην περίπτωση αυτή υπολογίστηκε η απορροή με χρήση του προγράμματος Medbasin (Τίγκας, 2003), το οποίο την υπολόγισε μέσω μοντέλων βροχόπτωσης-απορροής, με την εισαγωγή χρονοσειρών για τη βροχόπτωση και την εξατμισοδιαπνοή στο χρονικό διάστημα αναφοράς.

3.2.3 Υπολογισμός Παραμέτρων

Με βάση την εξίσωση του υδατικού ισοζυγίου που αναφέρθηκε, απαραίτητη ήταν η εύρεση χρονοσειρών βροχόπτωσης, εξατμισοδιαπνοής, εξάτμισης και απορροής, ώστε να μπορέσει να υπολογισθεί η διαφορά της στάθμης και κατ' επέκταση ο όγκος νερού του κάθε ταμιευτήρα. Από τα δεδομένα των διαφόρων μετεωρολογικών υπηρεσιών παγκοσμίως γνωστή ήταν μόνο η βροχόπτωση και σε ορισμένες περιπτώσεις η διαφορά της στάθμης κάθε ταμιευτήρα ανά μήνα. Εξαίρεση αποτέλεσαν για τη διαφορά στάθμης οι λίμνες Αργκάιλ της Αυστραλίας και Σαν Ροκέ της Αργεντινής, όπου στη μεν πρώτη έχει υπολογισθεί η διαφοράς όγκου απευθείας, και δε χρειάστηκε έτσι να γίνει αναγωγή με βάση το εμβαδό της επιφάνειας της λίμνης, ενώ για τη δεύτερη χρειάστηκε να υπολογισθεί η διαφορά της στάθμης με δεδομένη την απορροή. Για τον υπολογισμό εξατμισοδιαπνοής και εξάτμισης έγινε χρήση των εξισώσεων Penman-Monteith (1965) και Penman (1948) αντίστοιχα, ενώ με βάση τα δεδομένα της στάθμης υπολογίστηκε και η απορροή.

A) ΕΞΑΤΜΙΣΗ

«Το φαινόμενο μέσω του οποίου τα μόρια ενός σώματος μεταπίπτουν από την υγρή ή τη στερεά φάση στην αέρια.» (Μιμίκου και Μπαλτάς, 2003)

Για τον υπολογισμό της εξάτμισης για τον κάθε ταμιευτήρα χρησιμοποιήθηκε η εξίσωση Penman, η οποία φαίνεται παρακάτω:

$$E' = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \frac{R_n}{\lambda} + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} F(u) D \quad (3.2)$$

υπολογισμένη σε [kg/(m²d)] όπου:

Δ : η κλίση της καμπύλης κορεσμού των υδρατμών [hPa/°C]

γ : ο ψυχομετρικός συντελεστής [hPa/°C]

R_n : Η ολική καθαρή ενέργεια ακτινοβολίας [kJ/(m²d)]

λ : η λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης [kJ/kg]

$F(u)$: η συνάρτηση ταχύτητας του ανέμου [hPa kg/(m²d)]

D : το έλλειμα κορεσμού των υδρατμών [hPa]

Αναλυτικότερα, για τον υπολογισμό της κλίσης της καμπύλης κορεσμού των υδρατμών σε μηνιαία βάση για το χρονικό ορίζοντα μελέτης χρειάστηκε η χρονοσειρά της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας (°C) της κάθε περιοχής μελέτης. Η σχέση υπολογισμού δίνεται από την εξίσωση 3.3:

$$\Delta = \frac{4098 e_s}{(T + 237.3)^2} \quad (3.3)$$

όπου e_s η πίεση κορεσμού των υδρατμών σε hPa και δίνεται από τη σχέση 3.4:

$$e_s = 6.11 e^{\frac{17.27T}{T+273.3}} \quad (3.4)$$

Ο ψυχομετρικός συντελεστής γ υπολογίζεται με βάση την ατμοσφαιρική πίεση η οποία προκύπτει από το υψόμετρο της περιοχής μελέτης (hPa/°C):

$$P = 101.3 \left[\frac{293 - 0.0065z}{293} \right]^{5.26} \quad (3.5)$$

η ατμοσφαιρική πίεση σε hPa

$$\gamma = 0,665 * 10^{-3} P \quad (3.6)$$

Η λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης λ προκύπτει επίσης από τη μέση μηνιαία θερμοκρασία ως εξής:

$$\lambda = 2501 - 2,361 * T \quad (3.7)$$

Η ταχύτητα του ανέμου δίνεται από τη σχέση 3.8:

$$F(u) = 0.26(1 + .054u_2) \quad (3.8)$$

με u_2 τη χρονοσειρά της μέσης ταχύτητας του ανέμου σε ύψος 2m, μετρημένη επίσης σε m/sec.

Το έλλειμα κορεσμού των υδρατμών είναι ανάλογης της σχετικής υγρασίας U της κάθε περιοχής μελέτης και δίνεται:

$$D = e_s - U * e_s \quad (3.9)$$

Για να υπολογιστεί η ολική καθαρή ενέργεια ακτινοβολίας θα πρέπει να υπολογιστεί το αλγεβρικό άθροισμα των εισερχόμενων-εξερχόμενων ακτινοβολιών ($S_n - L_n$). Έτσι, για το αλγεβρικό άθροισμα της εισερχόμενης-ανακλώμενης μικροκυματικής ακτινοβολίας ισχύει:

$$S_n = (1 - r)S_o(0.29\cos\varphi + 0.55\frac{n}{N}) \quad (3.10)$$

Συγκεκριμένα, στον τύπο αυτό εμπεριέχονται τρεις σταθερές οι οποίες σχετίζονται με το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής μελέτης. Για κάθε μία περιοχή ξεχωριστά υπολογίστηκε ο συντελεστής ανάκλασης r (albedo), τον οποίο πήραμε σταθερό για όλο το χρόνο, η ακτινοβολία βραχέων κυμάτων στο εξωτερικό όριο της ατμόσφαιρας S_o , η οποία με βάση το γεωγραφικό πλάτος της κάθε περιοχής υπολογίστηκε σε μηνιαία βάση και τέλος το N που αποτελεί τις δυνατές ώρες ηλιοφάνειας της ημέρας και το οποίο επίσης μεταβάλλεται με βάση το μήνα. Τα άλλα δύο στοιχεία της εξίσωσης, φ και n , εκφράζουν το γεωγραφικό πλάτος και τις πραγματικές ώρες ηλιοφάνειας αντίστοιχα, επομένως, δεδομένου ότι όλα τα στοιχεία της εξίσωσης είναι σταθερά ή επαναλαμβανόμενα, με εξαίρεση το n , παρατηρείται ότι το S_n είναι ανάλογο της χρονοσειράς των ωρών ηλιοφάνειας.

Αντίστοιχα, για την καθαρή μακροκυματική ακτινοβολία L_n ο τύπος είναι:

$$L_n = \varepsilon_n f_L \sigma (T + 273)^4 \quad (3.11)$$

με σ τη σταθερά του νόμου θερμικής εκπομπής ίση με $4,9 \cdot 10^{-6} \text{ kJ}/(\text{m}^2\text{k}^4\text{d})$ και ο αδιάστατος συντελεστής ε_n παίρνει τιμή:

$$\varepsilon_n = 0,56 - 0,09e^{0.5} \quad (3.12)$$

όπου e η τιμή της μερικής πίεσης υδρατμών και δίνεται:

$$e = U * e_s \quad (3.13)$$

Ο τελευταίος άγνωστος συντελεστής για την εύρεση της μακροκυματικής ακτινοβολίας είναι ο συντελεστής επίδρασης της νέφωσης, όπου δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$f_L = 0.1 + 0.9\frac{n}{N} \quad (3.14)$$

Με τη διενέργεια των παραπάνω διαδοχικών διαδικασιών, τη μετατροπή των μονάδων και την αναγωγή σε μηνιαία δεδομένα συμπληρώθηκε η χρονοσειρά της εξάτμισης για την κάθε περιοχή μελέτης για τα υδρολογικά έτη 1992-2011.

B) ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗ

«Χρησιμοποιείται για να περιγράψει τη συνολική διαδικασία μεταφοράς νερού στην ατμόσφαιρα από φυτοκαλυμμένες επιφάνειες» (Μιμίκου και Μπαλλάς, 2003).

Για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής χρησιμοποιήθηκε η σχέση Penman-Monteith της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής.

$$ET_o' = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma'} \frac{R_n}{\lambda} + \frac{\gamma'}{\Delta + \gamma'} F(u) D \quad (3.15)$$

υπολογισμένη σε [kg/(m²d)] όπου:

Δ: η κλίση της καμπύλης κορεσμού των υδρατμών [hPa/°C]

γ': η τροποποιημένη έκφραση του ψυχομετρικού συντελεστή ώστε να λαμβάνει υπόψη την αντίσταση των στομάτων [hPa/°C]

R_n: Η ολική καθαρή ενέργεια ακτινοβολίας [kJ/(m²d)]

λ: η λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης [kJ/kg]

F(u): η συνάρτηση ταχύτητας του ανέμου [hPa kg/(m²d)]

D: το έλλειμα κορεσμού των υδρατμών [hPa]

Ο τύπος της εξατμισοδιαπνοής είναι σχεδόν ο ίδιος με αυτόν του Penman για την εξάτμιση, καθώς και τα βήματα της διαδικασίας υπολογισμού. Η διαφοροποίηση έγκειται στη χρήση της τροποποιημένης έκφρασης του ψυχομετρικού συντελεστή, σε χρήση επίσης τροποποιημένης έκφρασης της συνάρτησης του ανέμου και στο συντελεστή ανάκλασης α (albedo). Οι σχέσεις υπολογισμού των δύο πρώτων παραμέτρων δίνονται από τις παρακάτω σχέσεις:

$$\gamma' = (1 + 0.33u)\gamma \quad (3.16)$$

$$F(u) = \frac{90}{T+275} u \quad (3.17)$$

Αντίστοιχα, μετά το πέρας των διαδικασιών και με τις ανάλογες αναγωγές δημιουργήθηκαν οι χρονοσειρές για την εξατμισοδιαπνοή της λεκάνης απορροής της κάθε λίμνης.

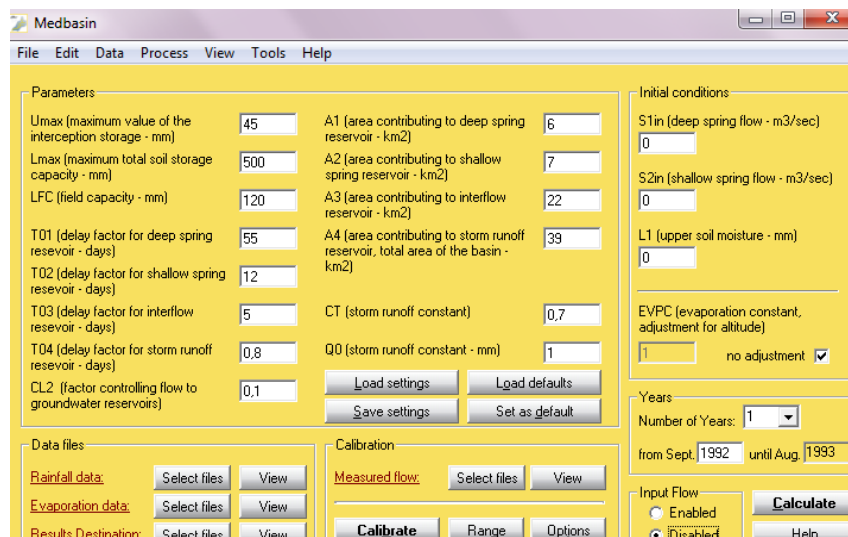
Γ) ΑΠΟΡΡΟΗ

Με δεδομένα για όλες τις λίμνες τις χρονοσειρές βροχόπτωσης, εξάτμισης και εξατμισοδιαπνοής, υπολογίσθηκε στη συνέχεια η απορροή από την εξίσωση υδατικού ισοζυγίου με τρεις τρόπους.

Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν οι λίμνες Βόλτα (Αφρική), Άϊσελμεερ (Ολλανδία), Σάλτον Σι (ΗΠΑ) και Γκαόγιου (Κίνα). Εδώ, με δεδομένα για τη μηνιαία αλλαγή της στάθμης των ταμιευτήρων έγινε υπολογισμός της μηνιαίας συνολικής απορροής της κάθε λίμνης από την επίλυση της εξίσωσης του υδατικού ισοζυγίου. Για την επίλυση αυτή, να σημειωθεί, ότι απαραίτητο ήταν να μετατραπούν όλες οι μονάδες μέτρησης σε μονάδες όγκου έτσι ώστε να εξαχθεί ο όγκος της απορροής ανά μήνα. Αυτή η μετατροπή έγινε πολλαπλασιάζοντας τα δεδομένα βροχόπτωσης, εξάτμισης, εξατμισοδιαπνοής και διαφοράς στάθμης με την έκταση στην οποία επιδρά το κάθε ένα. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι η εξάτμιση πολλαπλασιάστηκε για κάθε περίπτωση με την έκταση της κάθε λίμνης, ενώ η εξατμισοδιαπνοή με την έκταση της λεκάνης απορροής πλην αυτής της λίμνης.

Στη δεύτερη κατηγορία ανήκει η λίμνη Αρκάιλ (Αυστραλία) για την οποία βρέθηκαν δεδομένα μηνιαίας μεταβολής στον όγκο της λίμνης. Η διαφορά στον υπολογισμό ανάμεσα στις δύο περιπτώσεις ήταν πολύ μικρή, δεδομένου ότι απλά παραλήφθηκε το βήμα της αναγωγής των μονάδων μήκους σε μονάδες όγκου, κατά την επίλυση της εξίσωσης του υδατικού ισοζυγίου.

Τέλος, στην τρίτη κατηγορία ανήκει η λίμνη Σαν Ροκέ (Αργεντινή), για την οποία δεν ήταν γνωστά ούτε τα στοιχεία της απορροής, ούτε των διακυμάνσεων της στάθμης του ταμιευτήρα. Για το λόγο αυτό έγινε χρήση του λογισμικού Medbasin (Τίγκας, 2003) που χορηγήθηκε από τον τομέα Υδατικών Πόρων της σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του ΕΜΠ (εικόνα 3.1).



Εικόνα 3.1: Το λογισμικό Medbasin

Πηγή: www.ewra.net/medbasin

Το λογισμικό Medbasin είναι ένα πρόγραμμα κατασκευασμένο για περιβάλλον Windows και χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό ημερισίων και μηνιαίων υδρολογικών δεδομένων λεκάνων απορροής. Τα κύρια δεδομένα εισαγωγής είναι η μέση μηνιαία βροχόπτωση και η μηνιαία δυνητική εξατμισοδιαπνοή της λεκάνης. Το πρόγραμμα είναι προσανατολισμένο να εφάπτεται καλύτερα σε λεκάνες της Μεσογείου, αλλά δεδομένου ότι το κλίμα της περιοχής της Κόρδομπα της Αργεντινής είναι παρόμοιο με αυτό της Μεσογείου, θεωρήθηκε ότι μπορεί να γίνει αυτή η παραδοχή και να προχωρήσουν ως έχει οι υπολογισμοί της απορροής. Οι υπόλοιπες παράμετροι του μοντέλου που εισήχθησαν αντιπροσωπεύουν τα φυσικά χαρακτηριστικά της λεκάνης. Για να βρεθούν οι απαιτούμενες παράμετροι του μοντέλου έγινε βαθμονόμηση χρησιμοποιώντας παλαιότερες τιμές μετρημένης απορροής μέσω μιας ημιαυτόματης διαδικασίας.

3.3 Μοντέλα Πρόβλεψης

«Η ιδέα του μοντέλου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αναπαράσταση μιας οποιασδήποτε διαδικασίας, με τρόπο αφαιρετικό, στοχεύοντας όχι τόσο σε μια αναλυτική εξήγηση, όσο σε μια απλοϊκή προσέγγιση του μηχανισμού της. Ένα μοντέλο πρόβλεψης αντιπροσωπεύει τη διαδικασία που ακολουθείται προκειμένου να παραχθούν προβλέψεις» (Πετρόπουλος και Ασημακόπουλος, 2011).

Τα διαθέσιμα στοιχεία των κατασκευασμένων χρονοσειρών αφορούν τόσο παραμέτρους από τις οποίες μπορεί να υπολογισθεί η ζητούμενη μελλοντική αλλαγή στη στάθμη των ταμιευτήρων, όσο και δεδομένα για την ίδια τη στάθμη. Το μοντέλο των χρονοσειρών που χρησιμοποιήθηκε, βασίζεται στην υπόθεση ότι η μεταβολή της τιμής της στάθμης, για την παρούσα περίπτωση μελέτης, ακολουθεί ένα συγκεκριμένο λανθάνον πρότυπο που επαναλαμβάνεται στο χρόνο και μένει σταθερό.

3.3.1 Χρονικός Ορίζοντας Προβλέψεων

«Ο ορίζοντας πρόβλεψης (forecasting horizon) είναι ο δείκτης που δείχνει για πόσες μελλοντικές περιόδους της ζητούμενης χρονοσειράς καλούμαστε να δώσουμε εκτιμήσεις μέσω μεθοδολογιών πρόβλεψης» (Πετρόπουλος και Ασημακόπουλος, 2011).

Όπως προαναφέρθηκε, λόγω της γεωγραφικής ποικιλομορφίας των επιλεγμένων ταμιευτήρων, βρέθηκαν δεδομένα για 19 υδρολογικά έτη. Με κριτήριο αυτό και για να υπάρχει αξιοπιστία στα παραγόμενα δεδομένα, οι προβλέψεις περιορίστηκαν για την επόμενη τετραετία, έγιναν δηλαδή μεσοπρόθεσμες προβλέψεις, για τα υδρολογικά έτη 2011-2015 (Σεπτέμβρης-Αύγουστος).

3.3.2 Προετοιμασία Χρονοσειρών

Μετά τη συγκέντρωση των απαραίτητων μηνιαίων δεδομένων για κάθε υπό μελέτη λίμνη έγινε η κατάλληλη προετοιμασία των χρονοσειρών ώστε να είναι έτοιμες για την παραγωγή προβλέψεων στη συνέχεια. Κατά την προετοιμασία έγιναν διαγράμματα των δεδομένων για να φανούν τυχόν ανωμαλίες ή τάσεις που εμπεριείχονταν σε αυτά (Πετρόπουλος και Ασημακόπουλος, 2011).

ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ (mm/μήνα)

Από το διάγραμμα 3.1 της βροχόπτωσης και για τις 6 περιοχές μελέτης παρατηρούνται σε όλες μέγιστες τιμές κατά τους μήνες Οκτώβρη-Φεβρουάριο και ελάχιστες κατά τους μήνες Μάρτιος-Σεπτέμβρης.

ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗ (m/μήνα)

Στο διάγραμμα 3.2 της εξατμισοδιαπνοής, μαζί με την τάση λόγω εποχών, παρατηρούνται και 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 ένταση του ανέμου.

ΕΞΑΤΜΙΣΗ (m/μήνα)

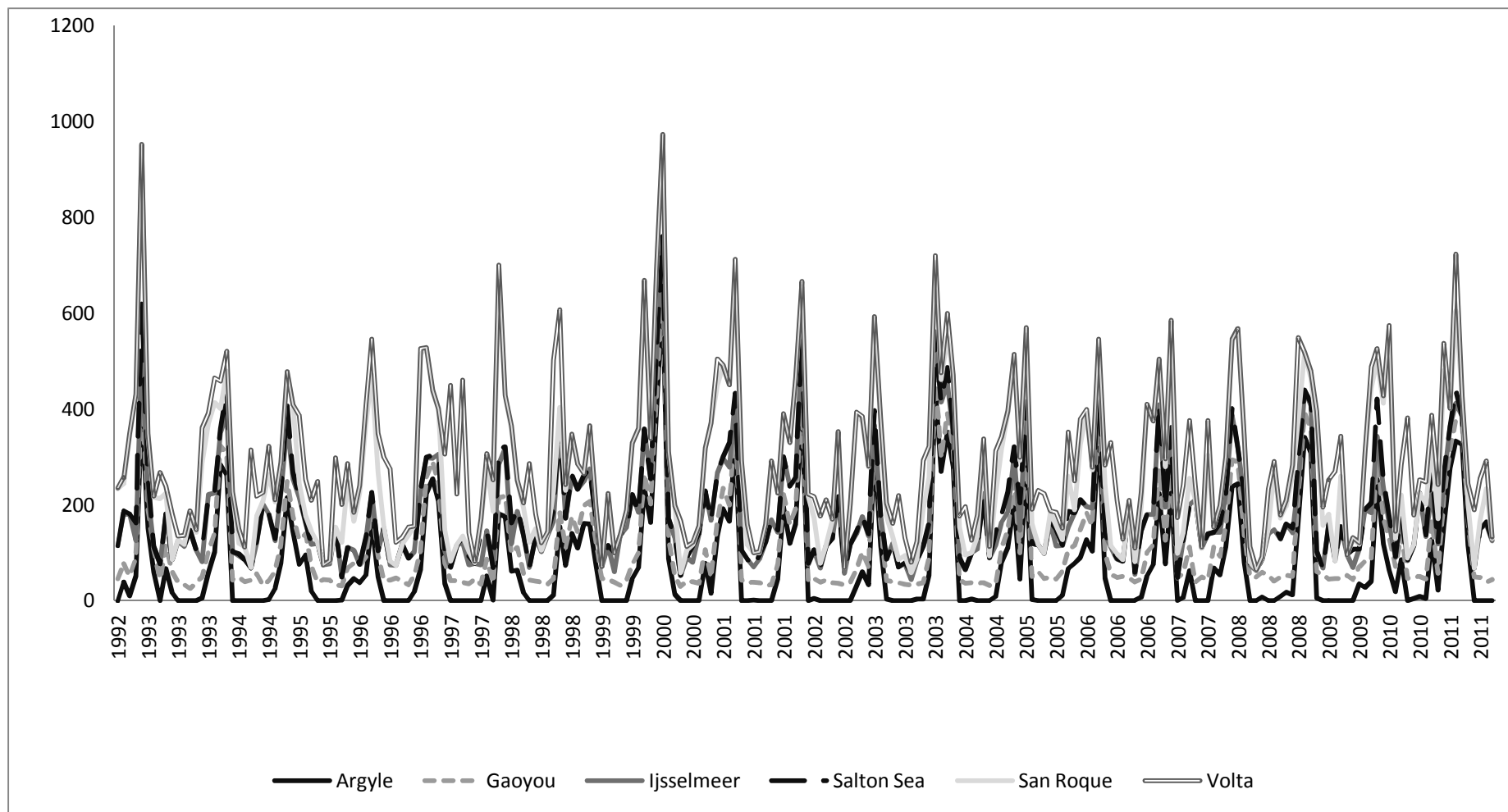
Στο διάγραμμα 3.3 της εξάτμισης παρατηρούνται ομοιότητες με αυτό της εξατμισοδιαπνοής, λόγω της ομοιότητας στον τύπο υπολογισμού (ίδιες μεταβλητές). Ένα άλλο ενδιαφέρον χαρακτηριστικό είναι η κλιμάκωση της εξάτμισης των ταμιευτήρων, ανάλογα με την περιοχή τοποθεσίας και το κλίμα. Έτσι, για το πιο τροπικό 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.

ΔΙΑΦΟΡΑ ΣΤΑΘΜΗΣ (m/μήνα)

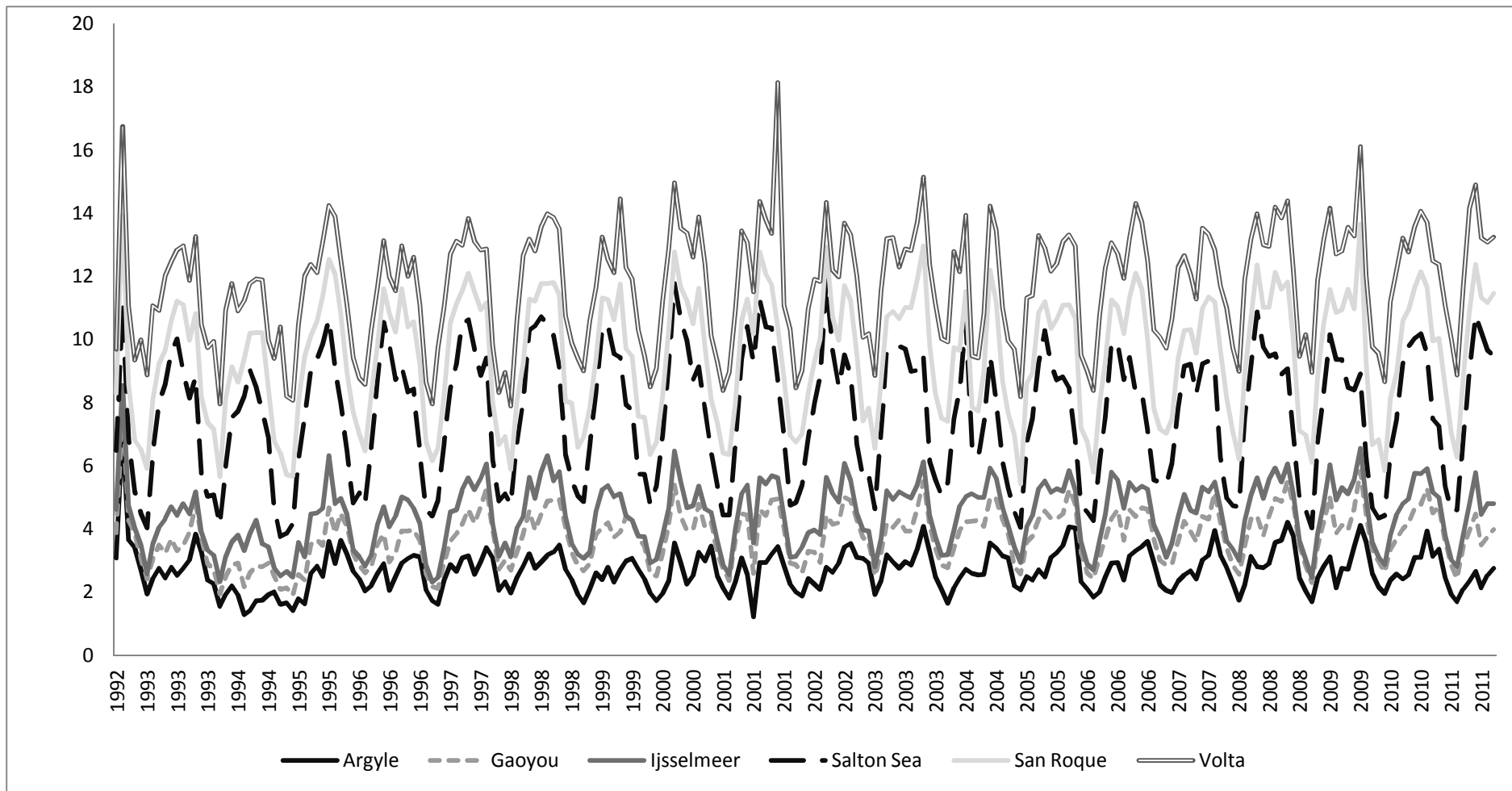
Το πιο σημαντικό από όλα τα διαγράμματα είναι αυτό της διαφοράς στάθμης, δεδομένου ότι αυτή είναι η ζητούμενη μεταβλητή προς πρόβλεψη στην παρούσα διπλωματική εργασία. Τα δεδομένα της διαφοράς στάθμης χαρακτηρίζονται από έντονη τυχαιότητα, παρατηρείται όμως μια τάση τόσο στη λίμνη Αργκάιλ (Αυστραλία) 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).

ΑΠΟΡΡΟΗ (m³/μήνα)

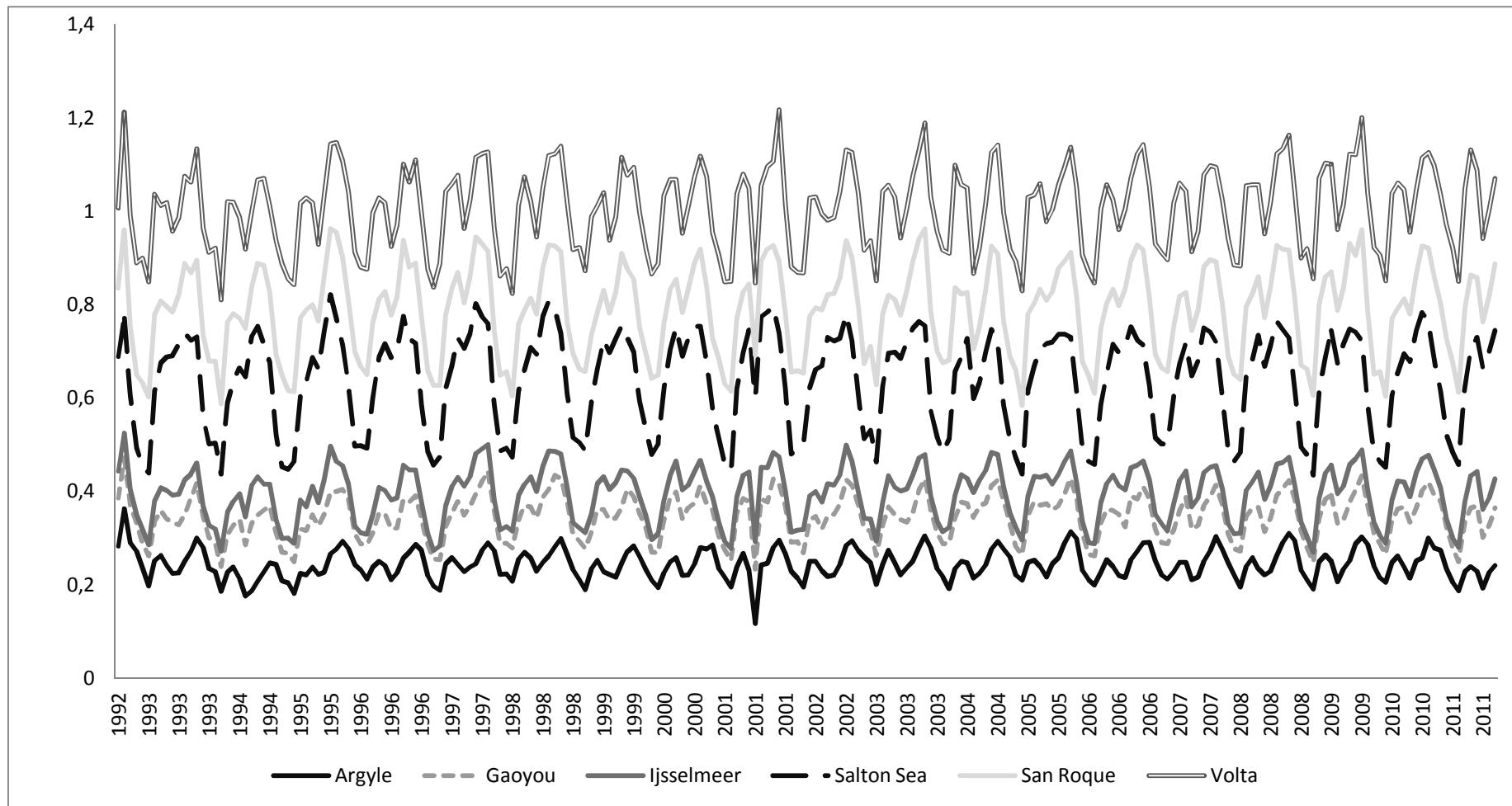
Για την απορροή, το εννιαίο διάγραμμα που κατασκευάστηκε δεν ήταν ευανάγνωστο, δεδομένης της μεγάλης διακύμανσης των δεδομένων, και έτσι επιλέχθηκε να κατασκευαστούν επί μέρους διαγράμματα (3.5 και 3.6) έχοντας διαχωρισμένους τους ταμιευτήρες ανάλογα με το μέγεθος της απορροής.



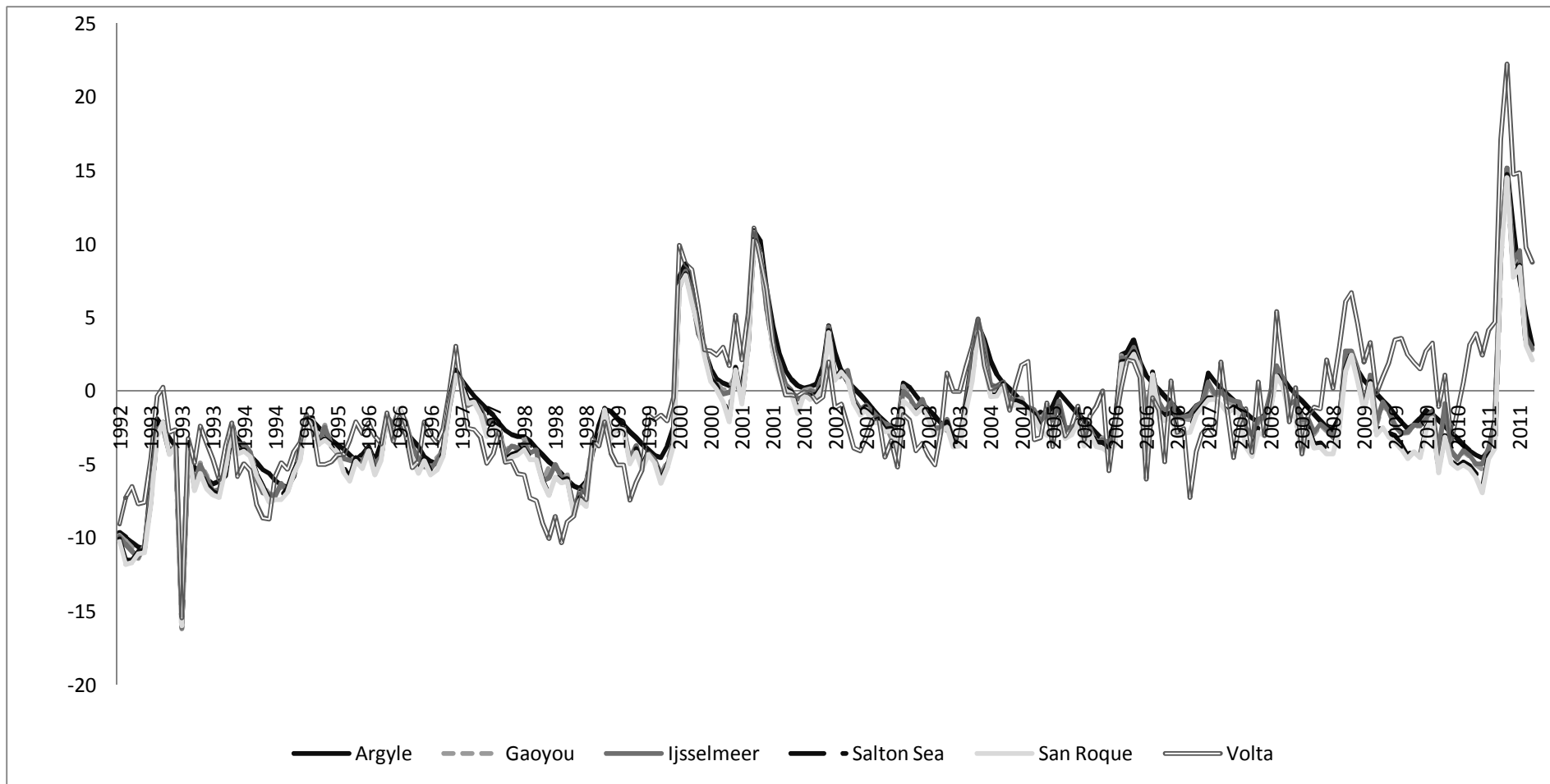
Διάγραμμα 3.1: Οι χρονοσειρές αθροιστικής βροχόπτωσης των περιοχών μελέτης (mm/μήνα)



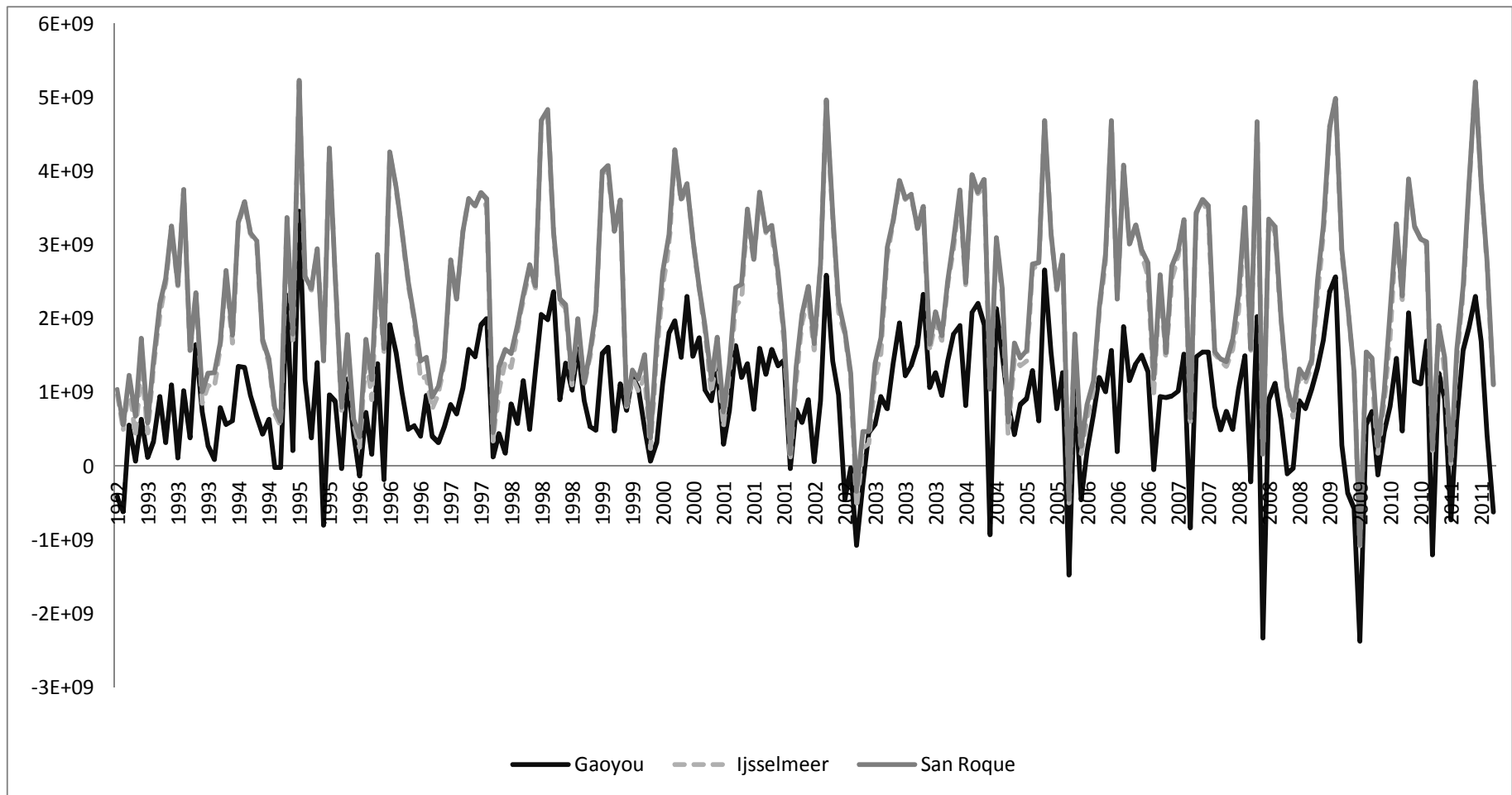
Διάγραμμα 3.2: Οι χρονοσειρές αθροιστικής εξατμισοδιαπνοής των περιοχών μελέτης (mm/μήνα)



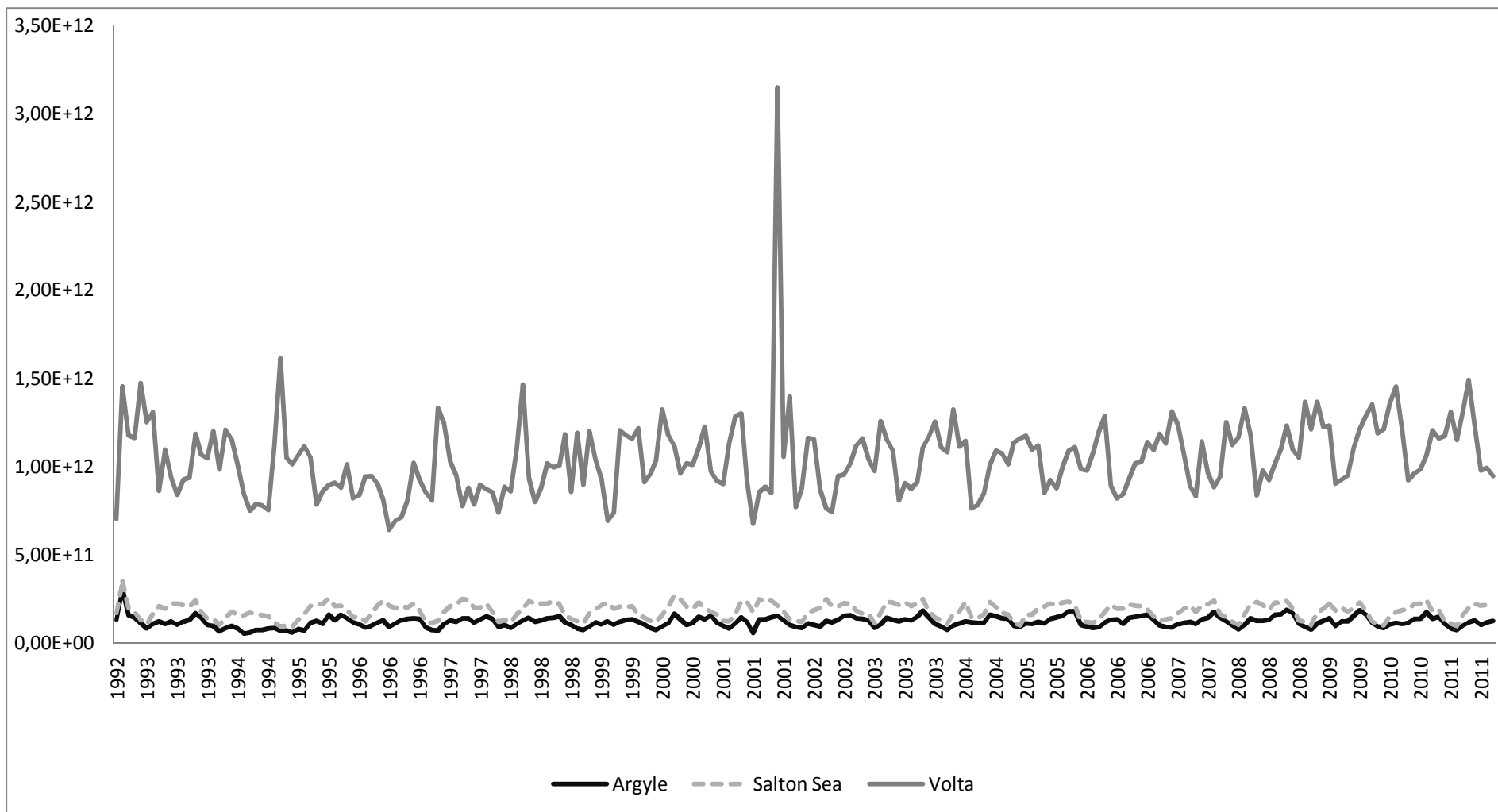
Διάγραμμα 3.3: Οι χρονοσειρές αθροιστικής εξάτμισης των περιοχών μελέτης (m/μήνα)



Διάγραμμα 3.4: Οι χρονοσειρές διαφοράς στάθμης των λιμνών (m)



Διάγραμμα 3.5: Οι χρονοσειρές απορροής για τις λίμνες Γκαόγιου, Άισελμεερ, Σαν Ροκέ (m³/μήνα)



Διάγραμμα 3.6: Οι χρονοσειρές απορροής για τις λίμνες Αρκάιλ, Σάλτον Σι, Βόλτα (m³/μήνα)

3.3.3 Κενές Τιμές

Κατά την κατασκευή των χρονοσειρών εμφανίστηκαν αρκετές κενές τιμές στη ροή των δεδομένων, δυσκολεύοντας την επεξεργασία τους για την εξαγωγή των ζητούμενων προβλέψεων. Η χρονοσειρά με τις μεγαλύτερες ελλείψεις ήταν αυτή της διαφοράς στάθμης των λιμνών. Δεδομένου ότι οι τιμές για τη διαφορά στη στάθμη δόθηκαν από τηλεπισκοπικές μετρήσεις είναι λογικό να υπάρχουν ελλείψεις κατά την καταγραφή ανά περιόδους όπου τα καιρικά φαινόμενα εμπόδιζαν τις λήψεις δορυφορικών πληροφοριών. Για να αντιμετωπιστεί αυτό το πρόβλημα συμπληρώθηκαν οι κενές τιμές με το μέσο όρο των τιμών του προηγούμενου και του επόμενου έτους για το ζητούμενο μήνα.

3.3.4 Διαστήματα Εμπιστοσύνης

Το διάστημα εμπιστοσύνης εκφράζει το διάστημα πιθανότητας για την κάθε παράμετρο πρόβλεψης. Χρησιμοποιείται για να περιγράψει την εγκυρότητα των προβλέψεων και επηρεάζεται από το εύρος των τιμών της κάθε χρονοσειράς. Στην παρούσα εργασία τα διαστήματα εμπιστοσύνης χρησιμοποιήθηκαν στα διαγράμματα των αποτελεσμάτων των προβλέψεων της κάθε μεθόδου. Για τα κλιματικά και υδρολογικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν, τα διαστήματα εμπιστοσύνης χρησίμευσαν περισσότερο για να εκφράσουν την πιθανότητα εμφάνισης κάποιου ακραίου φαινομένου το οποίο και αλλοιώνει σε μεγάλο βαθμό τις προβλέψεις. (Πετρόπουλος και Ασημακόπουλος, 2011)

Ο υπολογισμός του διαστήματος εμπιστοσύνης δίνεται από τη ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος και από το γραμμικό πίνακα των υπολογισμένων τιμών, με τις ακόλουθες σχέσεις:

$$RMSE = \sqrt{MSE} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - F_i)^2} \quad (3.19)$$

$$F_i = F_i \pm t * RMSE * \sqrt{i - n} \quad (3.20)$$

Όπου

F: ο γραμμικός πίνακας των υπολογισμένων βάσει του μοντέλου σημειακών προβλέψεων

t: η παράμετρος εμπιστοσύνης

RMSE: η ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος

n: το σύνολο των διαθέσιμων παρατηρήσεων

Να σημειωθεί ότι οι τιμές του t δίνονται από τον αντίστοιχο πίνακα με τα επίπεδα εμπιστοσύνης.

3.3.5 Κλασσική Μέθοδος Αποσύνθεσης

«Οι μέθοδοι αποσύνθεσης εφαρμόζουν απλές μαθηματικές σχέσεις με σκοπό την απομόνωση των τεσσάρων βασικών συνιστωσών των χρονοσειρών: τάση, κύκλος, εποχιακότητα και τυχαιότητα» (Πετρόπουλος και Ασημακόπουλος, 2011).

Οι χρονοσειρές που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία χρήζουν έντονης τάσης και εποχιακότητας, αφού αφορούν μετεωρολογικά και υδρολογικά δεδομένα. Για το λόγο αυτό, έγινε χρήση της κλασσικής μεθόδου αποσύνθεσης, μέσω του προγράμματος Rstudio, όπου και υπολογίσθηκαν αυτόματα οι δείκτες εποχιακότητας, με αφαίρεση της τυχαιότητας στα δεδομένα, για κάθε παράμετρο του κάθε ταμιευτήρα ξεχωριστά. Η λειτουργία της κλασσικής μεθόδου αποσύνθεσης χωρίζεται σε ορισμένα απλά βήματα, τα οποία και εκτελούνται αυτόματα στο RStudio.

Αρχικά υπολογίζεται ο κεντρικός κινητός μέσος όρος με βάση το μήκος της εποχιακότητας (εδώ είναι διαθέσιμα μηνιαία δεδομένα επομένως είναι κεντρικός κινητός μέσος όρος 12). Γίνεται χρήση του κεντρικού κινητού μέσου όρου έναντι του απλού κινητού μέσου όρου διότι στη δεύτερη περίπτωση ο αριθμός των τιμών n πρέπει να είναι περιττός προκειμένου να διατηρείται η συμμετρία στους υπολογισμούς. Ο κεντρικός κινητός μέσος όρος υπολογίζεται σε δύο φάσεις. Πρώτα βρίσκεται ο κινητός μέσος όρος για το ζητούμενο μήκος των 12 παρατηρήσεων με τις τιμές να αντιστοιχούν στο ενδιάμεσο των πραγματικών παρατηρήσεων. Στη δεύτερη φάση βρίσκεται ο απλός κινητός μέσος όρος των σειρών που προέκυψαν και έτσι στη συνέχεια υπολογίζεται ο κεντρικός κινητός μέσος όρος, ο οποίος ισοδυναμεί με ένα διπλό κινητό μέσο όρο $2n$. Στόχος του κεντρικού κινητού μέσου όρου είναι η εκτίμηση της τιμής τάσης-κύκλου για κάθε παρατήρηση της κάθε χρονοσειράς, όπου ως παρατήρηση θεωρείται η μηνιαία τιμή του μεγέθους. Αυτό επιτυγχάνεται με την εύρεση του μέσου όρου των τιμών των γειτονικών παρατηρήσεων της τιμής που αναζητείται η τάση και η κυκλικότητα. Ο κεντρικός κινητός μέσος όρος δεν πρέπει να περιέχει εποχιακότητα και η τυχαιότητά του να είναι ελάχιστη έως μηδενική. Από τις τιμές του ο χρήστης παίρνει μια καλή εκτίμηση της συμπεριφοράς της χρονοσειράς ως προς την τάση και την κυκλικότητα (Πετρόπουλος και Ασημακόπουλος, 2011). Ο υπολογισμός γίνεται όπως φαίνεται στη σχέση 3.21:

$$KKMO(n) = T \times C \quad (3.21)$$

όπου:

n : μήκος κεντρικού κινητού μέσου όρου

T : συνιστώσα τάσης

C : συνιστώσα κύκλου

Στη συνέχεια διαιρούνται τα πραγματικά δεδομένα με τα δεδομένα του κεντρικού κινητού μέσου όρου που βρέθηκαν και δίνονται οι λόγοι εποχιακότητας συμπεριλαμβανόμενης όμως και της τυχαιότητας, όπως φαίνεται παρακάτω:

$$\frac{Y}{KKMO(n)} = \frac{T \times C \times S \times R}{T \times C} = S \times R \quad (3.22)$$

Y: δεδομένα χρονοσειράς

S: συνιστώσα εποχιακότητας

R: συνιστώσα τυχαιότητας

Σε επόμενο βήμα βρίσκεται η μέση τιμή των λόγων εποχιακότητας για κάθε μήνα, δεδομένου ότι οι χρονοσειρές είναι μηνιαίες, από όπου και προκύπτουν οι δείκτες εποχιακότητας της αρχικής χρονοσειράς. Από τους λόγους της εποχιακότητας απαλείφεται και η τυχαιότητα των δεδομένων. Αυτό γίνεται με διαίρεση των πραγματικών δεδομένων με τους δείκτες της εποχιακότητας όπου και προκύπτει η αποεποχικοποιημένη σειρά, με τις συνιστώσες όμως τάσης, κύκλου και τυχαιότητας:

$$\frac{Y}{S} = \frac{T \times C \times S \times R}{S} = T \times C \times R \quad (3.23)$$

Τέλος, γίνεται χρήση του διπλού κινητού μέσου όρου 3x3 για βέλτιστη εξομάλυνση και απαλοιφή της τυχαιότητας, αφού δεν είναι απαραίτητος ο διαχωρισμός των συνιστωσών της τάσης και της κυκλικότητας:

$$\frac{T \times C \times R}{KMO(3 \times 3)} = \frac{T \times C \times R}{T \times C} = R \quad (3.24)$$

3.3.6 Μέθοδοι Στατιστικών Προβλέψεων

«Οι στατιστικές προβλέψεις αναφέρονται στην εφαρμογή στατιστικών μοντέλων χρονοσειρών ή αιτιοκρατικών μοντέλων επί μιας σειράς δεδομένων με σκοπό την αυτοματοποιημένη και συστηματική παραγωγή προβλέψεων» (Πετρόπουλος και Ασημακόπουλος, 2011).

Οι λειτουργίες των μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν και με τις οποίες επεξεργάστηκαν οι κατασκευασμένες χρονοσειρές παρουσιάζονται συνοπτικά στη συνέχεια:

ΝΑΪΒΕ ή ΑΦΕΛΗΣ ΜΕΘΟΔΟΣ

Η μέθοδος πρόβλεψης Naïve είναι μια ειδική περίπτωση του μοντέλου πρόβλεψης των κινητών μέσων όρων, όπου ο αριθμός των περιόδων που χρησιμοποιούνται για εξομάλυνση είναι 1. Κατ' επέκταση, η πρόβλεψη για την κάθε χρονική περίοδο t είναι απλά η παρατηρούμενη τιμή της προηγούμενης περιόδου t-1. Λόγω της απλοποιημένης φύσης της μεθόδου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την πρόβλεψη έως και μιας περιόδου στο μέλλον και επομένως δεν είναι καθόλου χρήσιμη ως εργαλείο για μακροπρόθεσμες προβλέψεις, αλλά μπορεί κάλλιστα να χρησιμοποιηθεί ως σημείο αναφοράς για άλλες πιο πολύπλοκες μεθόδους. Η εξίσωση που ακολουθούν οι προβλέψεις της μεθόδου δίνεται από τη σχέση 3.25:

$$F_t = Y_{t-1} \quad (3.25)$$

SES (SIMPLE EXPONENTIAL SMOOTHING) ή ΑΠΛΗ ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΕΞΟΜΑΛΥΝΣΗ ΣΤΑΘΕΡΟΥ ΕΠΙΠΕΔΟΥ

Το μοντέλο αυτό αποτελεί ένα μοντέλο σταθερού επιπέδου. Στην κατηγορία αυτή χρησιμοποιούνται μοντέλα χρονοσειρών για τα οποία θεωρείται ότι δεν υπάρχει τάση και ότι ο μέσος όρος των χρονοσειρών είναι σχετικά σταθερός. Το όνομα της μεθόδου προκύπτει από το γεγονός ότι οι συντελεστές των ιστορικών δεδομένων μειώνονται εκθετικά. Ουσιαστικά οι προβλέψεις γίνονται με προέκταση μιας οριζόντιας ευθείας και είναι ιδιαίτερα δημοφιλή ως μοντέλο σε δεδομένα με έντονο θόρυβο ή τυχαιότητα. Οι εξισώσεις που το περιγράφουν είναι οι εξής:

$$e_t = Y_t - F_t \quad (3.26)$$

$$S_t = S_{t-1} + ae_t \quad (3.27)$$

$$F_{t+1} = S_t \quad (3.28)$$

όπου:

t: η χρονική περίοδος

e_t: το σφάλμα(απόκλιση πραγματικότητας από πρόβλεψη)

a: ο συντελεστής εξομάλυνσης της μεθόδου, με τιμές από 0 έως και 1

S: το επίπεδο

F: η πρόβλεψη

Η δυσκολία της μεθόδου έγκειται στη σωστή επιλογή του συντελεστή εξομάλυνσης α, ο οποίος και εξαρτάται από δύο παράγοντες, το ποσοστό του θορύβου και τη σταθερότητα του μέσου όρου της χρονοσειράς. Στην πρώτη περίπτωση όσο μεγαλύτερο το ποσοστό τόσο μικρότερος ο συντελεστής, για να μην υπάρχει μεγάλη αντίδραση στο θόρυβο για τα τελικά δεδομένα, και στη δεύτερη όσο περισσότερο μεταβάλλεται ο μέσος όρος, τόσο μεγαλύτερο και το α, ώστε να μη χάνονται τυχόν αλλαγές στα δεδομένα. Γενικότερα οι προβλέψεις της μεθόδου είναι γραμμικοί συνδυασμοί των προηγούμενων παρατηρήσεων και των προβλέψεων, με τα αντίστοιχα βάρη από την παράμετρο εξομάλυνσης. Κάθε πρόβλεψη, δηλαδή, εξαρτάται από την αρχική πρόβλεψη αλλά και από όλες τις προηγούμενες της παρατηρήσεις με βάρη που φθίνουν εκθετικά. Γι'αυτό, όσο μικρότερη η τιμή του α, τόσο μεγαλύτερο ρόλο παίζει η πρώτη τιμή που θα επιλεγεί, ενώ όσο περισσότερα δεδομένα έχει η κάθε χρονοσειρά, τόσο μικρότερο ρόλο παίζει (Πετρόπουλος και Ασημακόπουλος, 2011).

Αρχική πρόβλεψη χρησιμοποιείται από το πρόγραμμα επεξεργασίας ένα σταθερό επίπεδο από μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης, με υπολογισμούς που γίνονται παράλληλα με τους υπολογισμούς των υπολοίπων προβλέψεων, ενώ για τον υπολογισμό του α γίνονται επεξεργασίες από μη γραμμικό αλγόριθμο βελτιστοποίησης με τον ίδιο τρόπο.

HOLT (HOLT EXPONENTIAL SMOOTHING) ΜΟΝΤΕΛΟ ΓΡΑΜΜΙΚΗΣ ΤΑΣΗΣ

Τα μοντέλα γραμμικής τάσης προκύπτουν από προέκταση μιας ευθείας για οποιαδήποτε χρονική περίοδο στο μέλλον. Ουσιαστικά αποτελούν μια επέκταση της απλής εκθετικής εξομάλυνσης με τη διαφορά ότι χειρίζονται επιπλέον τη συνιστώσα της τάσης. Οι εξισώσεις που την περιγράφουν είναι:

$$e_t = Y_t - F_t \quad (3.29)$$

$$S_t = S_{t-1} + T_{t-1} + \alpha e_t \quad (3.30)$$

$$T_t = T_{t-1} + \beta e_t \quad (3.31)$$

$$F_{t+m} = S_t + mT_t \quad (3.32)$$

όπου για τους νέους συντελεστές ισχύει:

T: η τάση

α : ο συντελεστής εξομάλυνσης για το επίπεδο

β : ο συντελεστής εξομάλυνσης της τάσης

m: ο χρονικός ορίζοντας πρόβλεψης

Να σημειωθεί ότι οι συντελεστές α και β παίρνουν τιμές από 0 έως και 1 και υπολογίζονται με τέτοιο τρόπο ώστε να ελαχιστοποιείται το μέσο τετραγωνικό σφάλμα. Τα μοντέλα αυτά αν και ιδιαίτερα διαδεδομένα μπορεί να εγκυμονούν κινδύνους, δεδομένου ότι ακολουθούν την τάση που εμφανίζεται στο πρώτο διάστημα του χρονικού ορίζοντα των χρονοσειρών, και σε αυτό συχνά μπορεί να εμφανίζεται κάποιο ακραίο γεγονός. Γι' αυτό το λόγο απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή στην αρχικοποίηση του μοντέλου, από όπου με την εκτέλεση πάλι μιας γραμμικής παλινδρόμησης, ορίζονται το αρχικό επίπεδο και η αρχική τάση της προβλεπόμενης χρονοσειράς. Η γραμμική αυτή παλινδρόμηση είναι της μορφής:

$$X = A + B * t \quad (3.33)$$

όπου το A ορίζει το αρχικό επίπεδο και το B την αρχική τάση, με t να εκφράζει την ανεξάρτητη μεταβλητή του χρόνου.

DAMPED (DAMPED EXPONENTIAL SMOOTHING) ή ΜΟΝΤΕΛΟ ΦΘΙΝΟΥΣΑΣ ΤΑΣΗΣ

Το μοντέλο αυτό είναι ένα μοντέλο μη γραμμικής τάσης. Τα μοντέλα αυτά προέκυψαν αρχικά για να αποφευχθεί η υπερεκτίμηση που αναφέρθηκε παραπάνω των μοντέλων γραμμικής τάσης. Έτσι, έχει προσαρμοστεί το μοντέλο γραμμικής τάσης και σε μη γραμμικές τάσεις με παραμέτρους ελέγχου του ρυθμού αύξησης των τιμών των χρονοσειρών. Η παράμετρος διόρθωσης της τάσης συμβολίζεται με το γράμμα ϕ . Οι τιμές που μπορεί να πάρει η παράμετρος καθορίζουν και το είδος του μοντέλου

πρόβλεψης που θα ακολουθήσει η κάθε μη εποχιακή χρονοσειρά, δηλαδή για $\varphi=0$ είναι σταθερού επιπέδου, για $\varphi<1$ είναι φθίνουσας τάσης, για $\varphi=1$ είναι γραμμικής τάσης και τέλος για $\varphi>1$ είναι εκθετικής τάσης. Με τον τρόπο αυτό το μοντέλο της μη γραμμικής τάσης χρησιμοποιείται σαν ένα αυτόματο μοντέλο για κάθε μη εποχιακή χρονοσειρά. Οι σχέσεις υπολογισμού των δεδομένων με τη μέθοδο Damped φαίνονται παρακάτω:

$$e_t = Y_t - F_t \quad (3.34)$$

$$S_t = S_{t-1} + \varphi T_{t-1} + \alpha e_t \quad (3.35)$$

$$T_t = \varphi T_{t-1} + \beta e_t \quad (3.36)$$

$$F_{t+m} = S_t + \sum_{i=1}^m \varphi^i T_t \quad (3.37)$$

όπου ισχύει:

T: η τάση

α : ο συντελεστής εξομάλυνσης για το επίπεδο

β : ο συντελεστής εξομάλυνσης της τάσης

m: ο χρονικός ορίζοντας πρόβλεψης

φ : η παράμετρος εξομάλυνσης

Παρατηρείται από την τελευταία σχέση ότι εδώ ο υπολογισμός της τάσης δεν είναι γραμμικός, πράγμα που οφείλεται στην παράμετρο εξομάλυνσης φ . Οι τρεις παράμετροι, α , β και φ , πρέπει να υπολογίζονται με τέτοιο τρόπο ώστε να ελαχιστοποιείται το μέσο τετραγωνικό σφάλμα. Ομοίως και εδώ, για την αρχικοποίηση του μοντέλου και τον υπολογισμό του αρχικού επιπέδου και της αρχικής τάσης, γίνεται η εκτέλεση μιας γραμμικής παλινδρόμησης, ίδιας μορφής με αυτό που εκτελείται στη μέθοδο Holt, και με συντελεστές A για το αρχικό επίπεδο και B για την αρχική τάση. Τέλος, να σημειωθεί ότι για τις μεσοπρόθεσμες προβλέψεις στις οποίες κινείται και η παρούσα διπλωματική εργασία, ενδείκνυται.

THETA

Η μέθοδος Theta είναι μια μονοδιάστατη μέθοδος πρόβλεψης, η οποία βασίστηκε σε μια διαφορετική προσέγγιση της αποσύνθεσης. Κατά τη διάρκεια των επεξεργασιών με τη μέθοδο αυτή γίνεται μεταβολή των τοπικών καμπυλοτήτων της κάθε χρονοσειράς μέσω της παραμέτρου θ . Η καμπύλη της κάθε χρονοσειράς παραμένει ίδια ως προς τη μέση τιμή και την κλίση, αλλάζουν όμως οι τοπικές διακυμάνσεις της. Η μέθοδος Theta ανάλογα με τις τιμές της παραμέτρου θ αποσυνθέτει την κάθε

χρονοσειρά σε 2 ή περισσότερες γραμμές Theta, οι οποίες προεκτίνονται ξεχωριστά και συνδυάζονται για να δώσουν την τελική πρόβλεψη. Η παράμετρος θ εφαρμόζεται πολλαπλασιαστικά στις διαφορές δευτέρας τάξης των δεδομένων, όπως φαίνεται παρακάτω:

$$Y_t^\theta = \theta Y''_t \quad (3.38)$$

$$Y''_t = Y_t - 2Y_{t-1} + Y_{t-2} \quad (3.39)$$

Η γενικότερη διαδικασία πρόβλεψης με τη μέθοδο Theta ακολουθεί τα βήματα και των υπόλοιπων διαδικασιών, με διαφορά στο βήμα της αποσύνθεσης, όπου και η χρονοσειρά αποσυντίθεται σε 2 ή περισσότερες γραμμές Theta για να συνδυαστούν στη συνέχεια με τα αντίστοιχα βάρη και αφού εποχικοποιηθούν και πάλι να δώσουν τις τελικές προβλέψεις.

3.3.7 Κανονικοποίηση

«Κανονικοποίηση των όρων ορίζεται ως η προσαρμογή των μετρημένων τιμών σε διαφορετικές κλίμακες σε μια πλασματικά κοινή κλίμακα. Η κανονικοποίηση αναφέρεται στη δημιουργία μετατοπισμένων και κλιμακωμένων εκδοχών της στατιστικής, όπου σκοπός είναι αυτές οι κανονικοποιημένες τιμές να επιτρέπουν τη σύγκριση με αντίστοιχες κανονικοποιημένες τιμές διαφορετικών βάσεων δεδομένων με τέτοιο τρόπο που να εξαλείφεται η επίδραση ακαθόριστων επιρροών, όπως σε μια μη ομαλή χρονοσειρά» (Dodge, 2003)

Η διαδικασία της κανονικοποίησης χρησιμοποιήθηκε στα δεδομένα σε δύο στάδια, στις περιπτώσεις που εμφανίστηκαν αρνητικές τιμές στις μεταβλητές της εξίσωσης του υδατικού ισοζυγίου. Στο πρώτο στάδιο, έγινε κανονικοποίηση για τα δεδομένα της διαφοράς στάθμης και όγκου στις έξι λίμνες με σκοπό να εξαχθεί άλλη μια χρονοσειρά προβλέψεων για αυτές και κατ' επέκταση άλλο ένα πιθανό σενάριο εξέλιξης. Τα δεδομένα κάθε χρονοσειράς για τα έτη 1992-2011 ανάχθηκαν σε μια κλίμακα από 0 έως 1, η οποία στη συνέχεια επεξεργάστηκε όπως οι κανονικές χρονοσειρές, επιλέχθηκε η καταλληλότερη μέθοδος πρόβλεψης και τέλος έγινε η αντιστροφή των τιμών από κανονικοποιημένες σε πραγματικές, ακολουθώντας την ίδια διαδικασία αντίστροφα.

Στο δεύτερο στάδιο, και μόνο για τις λίμνες Άισελμεερ και Γκαόγιου, έγινε κανονικοποίηση των δεδομένων της απορροής, δεδομένου ότι είναι οι μόνες λίμνες που εμφάνισαν αρνητικές τιμές στις αντίστοιχες χρονοσειρές τους. Στην περίπτωση αυτή, αφού έγινε κανονικοποίηση των χρονοσειρών της απορροής και επιλογή της καταλληλότερης μεθόδου πρόβλεψης, όπως ακριβώς και για τα δεδομένα της διαφοράς στάθμης, οι νέες αυτές προβλέψεις απορροής αντικατέστησαν τα απλά δεδομένα στην εξίσωση υδατικού ισοζυγίου και έγινε εκ νέου επίλυσή της. Να σημειωθεί ότι όπως είναι λογικό, για τις δύο αυτές λίμνες τα τελικά αποτελέσματα των διαφορών των στάθμεων χωρίζονται σε τέσσερα διαφορετικά σενάρια, έναντι των τριών που είναι για όλες τις υπόλοιπες.

Κεφάλαιο 4

Ανάλυση Ευαισθησίας

4. Ανάλυση Ευαισθησίας

4.1 Το πρόγραμμα RStudio

Για την επεξεργασία των χρονοσειρών έγινε χρήση του προγράμματος RStudio. Το πρόγραμμα αυτό είναι βασισμένο στη γλώσσα προγραμματισμού R και είναι ένα λογισμικό στατιστικών υπολογισμών και γραφικών. Είναι ένα σχέδιο του GNU, το οποίο είναι ελεύθερο λογισμικό και παρόμοιο με Unix λειτουργικό σύστημα. Το RStudio είναι ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης για R το οποίο λειτουργεί με την κλασική έκδοση της R. (www.rstudio.org)

Δημιουργήθηκε στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας ο κατάλληλος κώδικας σε πλατφόρμα της R έτσι ώστε να αυτοματοποιηθούν όλες οι διαδικασίες υπολογισμού. Για να λειτουργήσει ο κώδικας απαραίτητη ήταν η εγκατάσταση των πακέτων «forecast» και «tseries», πέρα από τα πακέτα που εγκαθίστανται αυτόματα με το πρόγραμμα RStudio. Το πρώτο πακέτο προβλέπει συναρτήσεις για χρονοσειρές και γραμμικά μοντέλα ενώ το δεύτερο αναλύει τις χρονοσειρές και υπολογίζει οικονομικά δεδομένα. Με τη βοήθεια του κώδικα παράγονται προβλέψεις για έναν ορίζοντα πρόβλεψης 48 περιόδων, με χρονικό βήμα ένα μήνα. Τα δεδομένα που εισάγονται για την εξαγωγή της κάθε πρόβλεψης είναι αυτά της κάθε παραμέτρου για κάθε λίμνη σε 2 στάδια. Στο πρώτο στάδιο τα δεδομένα που εισάγονται είναι για τα υδρολογικά έτη 1992-2007, κατά το οποίο γίνονται προβλέψεις της κάθε χρονοσειράς με την κάθε μέθοδο πρόβλεψης ξεχωριστά. Σκοπός είναι να βρεθεί η καταλληλότερη μέθοδος για την κάθε παράμετρο, ενώ μέτρο σύγκρισης ανάμεσα στις προβλέψεις αποτελεί το μέσο τετραγωνικό σφάλμα (MSE) για τα έτη 2007-2011 όπου και υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα. Στο δεύτερο στάδιο, εισάγονται όλα τα διαθέσιμα δεδομένα της κάθε χρονοσειράς και γίνεται πρόβλεψη για την κάθε παράμετρο της κάθε λίμνης μόνο με τη μέθοδο που έδωσε το μικρότερο σφάλμα. Μέσα στον κώδικα περιλαμβάνονται και συναρτήσεις για την εποχιακότητα, δεδομένου ότι όλα τα δεδομένα είναι μετεωρολογικά και υδρολογικά. Εμπεριέχονται με τον τρόπο αυτό στα αποτελέσματα και οι δείκτες εποχιακότητας, με την κλασική μέθοδο αποσύνθεσης.

4.2 Οι μέθοδοι Πρόβλεψης στο RStudio

Στο κεφάλαιο 3 έγινε η περιγραφή των μεθόδων πρόβλεψης που χρησιμοποιήθηκαν ως προς τη γενικότερη λειτουργία τους. Στη συνέχεια αναφέρεται η λειτουργία της κάθε μεθόδου στο περιβάλλον RStudio. Γίνεται επομένως αναλυτική επεξήγηση των διαδικασιών που ακολουθεί το πρόγραμμα όταν επεξεργάζεται τα δεδομένα των χρονοσειρών με την κάθε μια από αυτές τις μεθόδους.

ΝΑΪΒΕ Η ΑΦΕΛΗΣ ΜΕΘΟΔΟΣ

Τα μοντέλα ARIMA (AutoRegressive Integrated Moving Average) ή αλλιώς Ολοκληρωμένα Αυτοπαλινδρομικά Μοντέλα Κινητών Μέσων Όρων, είναι στοχαστικά μαθηματικά μοντέλα που περιγράφουν τη διαχρονική εξέλιξη ενός φυσικού μεγέθους. Τα στοχαστικά μοντέλα, κυρίως όταν βρίσκουν εφαρμογή στο κλίμα και άλλους απρόβλεπτους κλάδους, μπορούν να περιγράψουν πολύ καλύτερα από τα ντετερμινιστικά τα φυσικά μεγέθη, δεδομένου ότι υπολογίζουν την πιθανότητα η προβλεπόμενη τιμή να βρίσκεται σε ένα συγκεκριμένο διάστημα. Η βασική λειτουργία τους έγκειται σε ένα γραμμικό συνδυασμό του παράγοντα τύχη, των τιμών των δεδομένων των χρονοσειρών και ίσως και επιπλέον στοχαστικούς παράγοντες.

Η μέθοδος Naïve δίνει προβλέψεις και διαστήματα εμπιστοσύνης για ένα μοντέλο ARIMA (0,1,0) τυχαίου βήματος το οποίο εφαρμόζεται στην κάθε παράμετρο εισαγωγής. Η συνάρτηση snaiive του κώδικα επιστρέφει τις προβλέψεις και τα διαστήματα εμπιστοσύνης από ένα άλλο μοντέλο ARIMA (0,0,0)(0,1,0) m , όπου ως m συμβολίζεται η εποχιακή περίοδος. Μέσα στην κάθε συνάρτηση snaiive περιέχονται στοιχεία που αφορούν την παράμετρο της χρονοσειράς, το νούμερο των περιόδων για τις οποίες θα γίνει η πρόβλεψη και τα διαστήματα εμπιστοσύνης της συχνότητας πρόβλεψης. Να σημειωθεί ότι οι λειτουργίες της συνάρτησης snaiive αποτελούν μια εύκολη προσέγγιση των μοντέλων ARIMA, οι οποίες τηρούν όλες τις προϋποθέσεις για να παράγουν τις ζητούμενες προβλέψεις της μεθόδου Naive.

SES (SIMPLE EXPONENTIAL SMOOTHING) Η ΑΠΛΗ ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΕΞΟΜΑΛΥΝΣΗ ΣΤΑΘΕΡΟΥ ΕΠΙΠΕΔΟΥ

Η λειτουργία της μεθόδου SES με τον αλγόριθμο του προγράμματος RStudio έγκειται στη δημιουργία προβλέψεων και την εξαγωγή άλλων πληροφοριών για τις προβλέψεις εκθετικής εξομάλυνσης που εφαρμόζονται στις εισαγόμενες παραμέτρους x του κάθε μεγέθους για την κάθε λίμνη.

Στη συνάρτηση περιλαμβάνονται τα στοιχεία x των παραμέτρων εισαγωγής, ο αριθμός των περιόδων πρόβλεψης, ο τύπος της εποχιακότητας και το διάστημα εμπιστοσύνης της συχνότητας πρόβλεψης.

HOLT (HOLT EXPONENTIAL SMOOTHING) Η ΜΟΝΤΕΛΟ ΓΡΑΜΜΙΚΗΣ ΤΑΣΗΣ

Ομοίως με τη συνάρτηση της μεθόδου SES λειτουργεί και η γενική μορφή της συνάρτησης της μεθόδου Holt, η οποία επιστρέφει προβλέψεις με βάση την εκθετική εξομάλυνση που εφαρμόζεται στην κάθε παράμετρο x .

Τα στοιχεία, επίσης που περιλαμβάνει η συνάρτησή της είναι τα ίδια με της μεθόδου SES, με επιπλέον δυνατότητα εισαγωγής και άλλων επιχειρημάτων που είναι αναγκαία για τις προβλέψεις.

DAMPED (DAMPED EXPONENTIAL SMOOTHING) Η ΜΟΝΤΕΛΟ ΦΘΙΝΟΥΣΑΣ ΤΑΣΗΣ

Η μέθοδος Damped, δεν έχει δικιά της συνάρτηση στο πρόγραμμα RStudio, αλλά αποτελεί υποεντολή της συνάρτησης της μεθόδου Holt. Εμφανίζεται, δηλαδή, ως επιπλέον τάση η οποία εφαρμόζεται στην επίλυση του μοντέλου γραμμικής τάσης. Να σημειωθεί ότι τόσο η συνάρτηση της μεθόδου SES όσο και αυτή της Holt αποτελούν μια εύκολη προσέγγιση για προβλέψεις μοντέλων εκθετικής εξομάλυνσης state space. Τα μοντέλα αυτά περιλαμβάνουν όλους τους συντελεστές που αναφέρθηκαν στις αντίστοιχες μεθόδους στο 3^ο κεφάλαιο, μαζί με μέγιστα και ελάχιστα όρια για τον καθένα και το κριτήριο βελτιστοποίησης (μέσο τετραγωνικό σφάλμα). Είναι εντελώς αυτοματοποιημένα, υπολογίζουν όλες τις παραμέτρους αυτόματα και ως μοναδικό δεδομένο εισαγωγής έχουν την ίδια τη χρονοσειρά των δεδομένων.

THETA

Η συνάρτηση του προγράμματος RStudio για τη μέθοδο Theta, δίνει τις προβλέψεις και τα διαστήματα εμπιστοσύνης της μεθόδου και περιλαμβάνει τις παραμέτρους της κάθε χρονοσειράς, τον αριθμό των περιόδων πρόβλεψης και το διάστημα εμπιστοσύνης της συχνότητας πρόβλεψης. Λειτουργεί όπως η εξίσωση της απλής εκθετικής εξομάλυνσης συμπεριλαμβανόμενης και της τάσης. Τέλος, τα διαστήματα εμπιστοσύνης για τη συνάρτηση αυτή υπολογίζονται με χρήση του υποκείμενου μοντέλου state space.

4.3 Τα Σφάλματα

4.3.1 Μέσο Τετραγωνικό Σφάλμα (MSE- Mean Square Error)

Αποτελεί ένα μέτρο ακρίβειας των εξαγόμενων προβλέψεων, δίνοντας μεγαλύτερη βαρύτητα στις μεγάλες αποκλίσεις έναντι των μικρών, δεδομένου ότι τετραγωνίζεται. Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του σφάλματος, τόσο μικρότερη είναι η ακρίβεια της μεθόδου πρόβλεψης με την οποία εξάχθηκε αυτό. Χρησιμοποιείται ευρέως για την επιλογή των καταλληλότερων παραμέτρων εξομάλυνσης, ενώ υπολογίζεται από τη σχέση 4.1:

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - F_i)^2 \quad (4.1)$$

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε για τη σύγκριση και την τελική επιλογή των αποτελεσμάτων των προβλέψεων της κάθε μεθόδου. Στο κείμενο που ακολουθεί γίνεται εκτενής ανάλυση των σφαλμάτων της κάθε μεθόδου για όλες τις παραμέτρους στην κάθε περιοχή μελέτης για να διαπιστωθεί σε ποιες περιπτώσεις τα σφάλματα αυτά ακολουθούν την κανονική κατανομή. Για τα σφάλματα των προβλέψεων γίνεται συνήθως η υπόθεση ότι ακολουθείται η κανονική κατανομή. Στην περίπτωση που δε συμβαδίζουν τα σφάλματα με την κανονική κατανομή πρέπει να αλλάξει η μέθοδος πρόβλεψης, γιατί αυτό σημαίνει ότι οι συγκεκριμένες τιμές με τη συγκεκριμένη

μέθοδο είναι προκατειλημμένες (Tibben-Lembke, 2006). Οι τιμές που αποκλείουν από το μοντέλο της κανονικής κατανομής αντιπροσωπεύουν την επίδραση ενός μεγάλου αριθμού παραγόντων στην τιμή της κάθε μεταβλητής. (Πετρόπουλος και Ασημακόπουλος, 2011)

4.3.2 Ρίζα Μέσου Τετραγωνικού Σφάλματος (RMSE- Root Mean Squared Error)

Ο υπολογισμός του σφάλματος αυτού βρίσκεται απλά με τον υπολογισμό της ρίζας του μέσου τετραγωνικού σφάλματος. Η διαφορά τους έγκειται στο ότι στην περίπτωση της ρίζας του μέσου τετραγωνικού σφάλματος μιας παραμέτρου οι μονάδες μέτρησης είναι ίδιες με αυτές της παραμέτρου.

4.3.3 Μέσο Σφάλμα (ME- Mean Error)

Για τις ανάγκες αναπαράστασης των δεδομένων σε διαγράμματα, χρησιμοποιήθηκε το απλό σφάλμα, δηλαδή η διαφορά μεταξύ πραγματικής τιμής και πρόβλεψης (e). Το μέσο σφάλμα εκφράζει ένα μέτρο συστηματικότητας του σφάλματος. Η χρήση του για την κατασκευή των διαγραμμάτων έγινε για να διατηρηθούν οι αρνητικές τιμές των δεδομένων και να υπάρχει μια καλύτερη οπτική αντίληψη της κάθε χρονοσειράς ως προς τα πραγματικά δεδομένα αλλά και ως προς την κανονική κατανομή. Ο τύπος υπολογισμού του μέσου σφάλματος δίνεται από τη σχέση 4.2:

$$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - F_i) \quad (4.2)$$

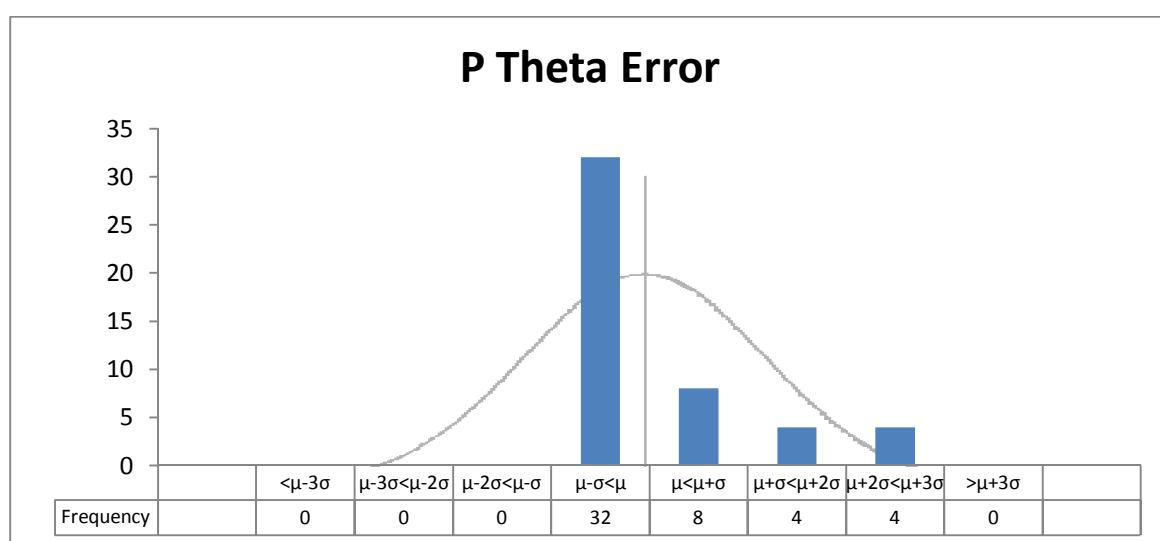
Να σημειωθεί ότι το απλό σφάλμα δε χρησιμοποιήθηκε σε καμία άλλη περίπτωση σύγκρισης των μεθόδων.

4.4 Ανάλυση Ευαισθησίας των Περιοχών Μελέτης

Στην παράγραφο που ακολουθεί γίνεται για την κάθε παράμετρο της κάθε λίμνης ανάλυση των αποτελεσμάτων της κάθε μεθόδου πρόβλεψης. Συγκεκριμένα, παρατείνεται για όλες τις παραμέτρους της εξίσωσης του υδατικού ισοζυγίου ένας πίνακας με τα μέσα σφάλματα και τα μέσα τετραγωνικά σφάλματα της κάθε μεθόδου πρόβλεψης, ενώ παρουσιάζεται και σε ένα συγκεντρωτικό διάγραμμα η κατανομή των σφαλμάτων της μεθόδου που έδωσε τα καλύτερα αποτελέσματα.

4.4.1 Η λίμνη Αργκάιλ (Αυστραλία)

ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ (P)



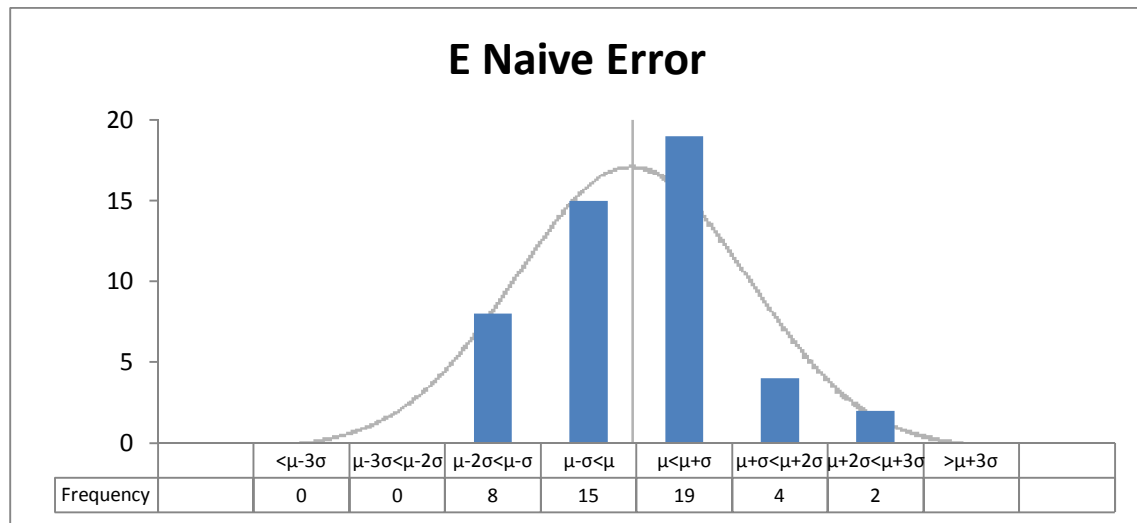
Διάγραμμα 4.1: Η κατανομή των μέσων σφαλμάτων της βροχόπτωσης της λίμνης Αργκάιλ με τη μέθοδο Theta

Η μέθοδος Theta δίνει για τα δεδομένα της βροχόπτωσης της λίμνης Αργκάιλ το μικρότερο μέσο τετραγωνικό σφάλμα. Από το διάγραμμα 4.1 φαίνεται ότι η κατανομή των σφαλμάτων έχει μεγάλη απόκλιση από την κανονική, όπως και για όλες τις υπόλοιπες τις μεθόδους πρόβλεψης, ενώ στον πίνακα 4.1 φαίνεται η σύγκριση των μεθόδων ως προς τα μέσα και μέσα τετραγωνικά σφάλματα της καθεμιάς.

	Naïve	SES	Holt	Damped	Theta
ME	76,73	76,731	139,1759	75,70886093	72,35055
MSE	17174,134	17174,134	53821,4	16815,09875	15570,24

Πίνακας 4.1: Τα μέσα σφάλματα των μεθόδων πρόβλεψης για τη βροχόπτωση της λίμνης Αργκάιλ

ΕΞΑΤΜΙΣΗ (E)



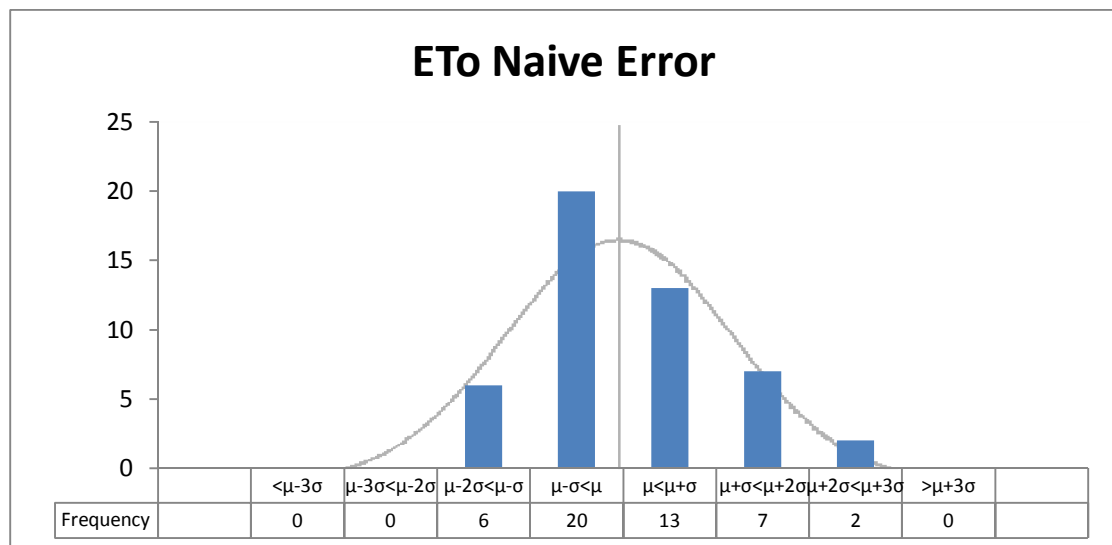
Διάγραμμα 4.2: Η κατανομή των μέσων σφαλμάτων της εξάτμισης της λίμνης Αργκάλ με τη μέθοδο Naive

Για την παράμετρο της εξάτμισης η μέθοδος Naive είναι αυτή που έδωσε το μικρότερο σφάλμα. Από το διάγραμμα 4.2 όμως φαίνεται ότι δεν ακολουθεί την κανονική κατανομή.

	Naive	SES	Holt	Damped	Theta
ME	0,000633	0,003654	0,005488661	0,003450107	0,003172231
MSE	0,000103	0,000119	0,000130826	0,000116886	0,000116865

Πίνακας 4.2: Τα μέσα σφάλματα των μεθόδων πρόβλεψης για την εξάτμιση της λίμνης Αργκάλ

ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗ (ΕΤο)



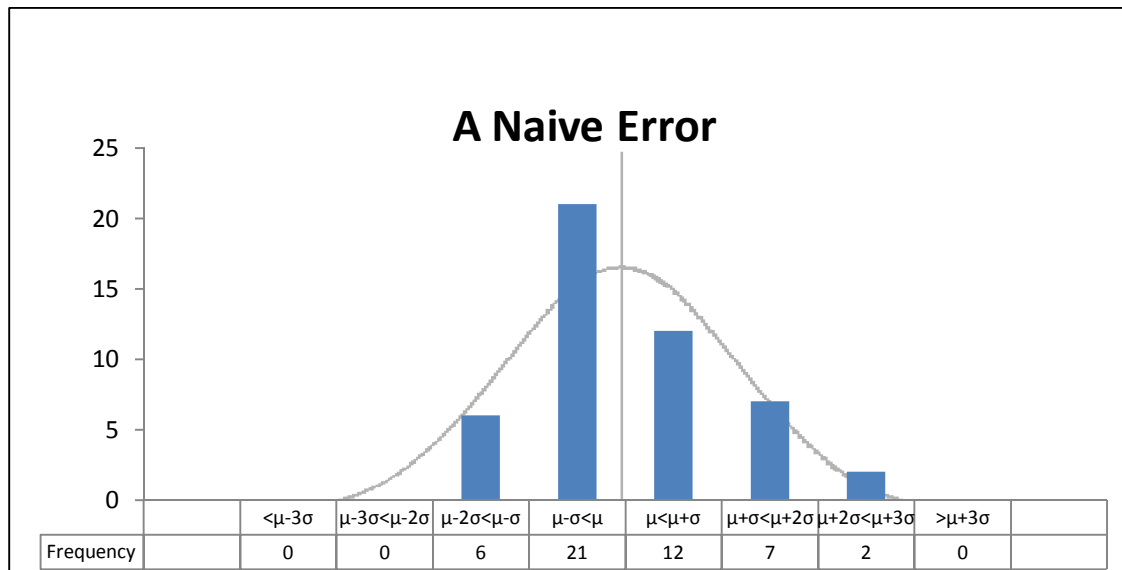
Διάγραμμα 4.3: Η κατανομή των μέσων σφαλμάτων της εξατμισοδιαπνοής της λίμνης Αργκάλ με τη μέθοδο Naive

Ομοίως και για την εξατμισοδιαπνοή, η μέθοδος Naive προέκυψε ως η καταλληλότερη για την περιγραφή των τιμών, τείνοντας, όπως φαίνεται στο διάγραμμα 4.3, προς την κανονική κατανομή.

	Naive	SES	Holt	Damped	Theta
ME	-0,012	0,128	0,185691	0,12818	0,109534
MSE	0,089	0,111	0,125647	0,111083	0,10822

Πίνακας 4.3: Τα μέσα σφάλματα των μεθόδων πρόβλεψης για την εξατμισοδιαπνοή της λίμνης Αργκάλ

ΑΠΟΡΡΟΗ (A)



Διάγραμμα 4.4: Η κατανομή των μέσων σφαλμάτων της απορροής της λίμνης Αργκάιλ με τη μέθοδο Naive

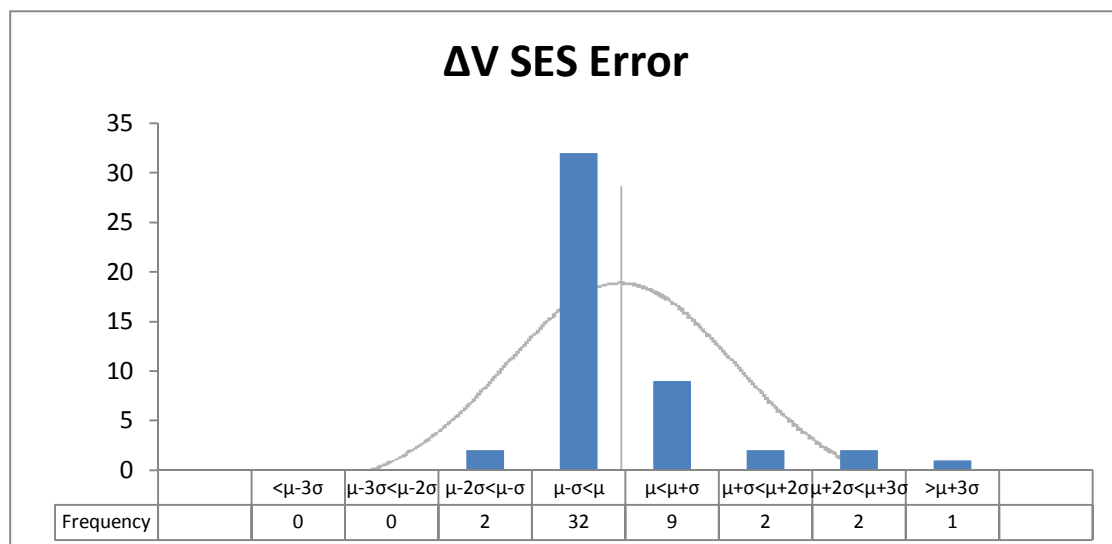
Η απορροή της λίμνης Αργκάιλ περιγράφεται καλύτερα από τη μέθοδο Naive, ενώ δεν είναι διακριτή η κανονική κατανομή των σφαλμάτων για κάποια από τις μεθόδους.

	Naive	SES	Holt	Damped	Theta
ME	-4,04E+08	6,02E+09	1,23E+10	6,06E+09	4,82E+09
MSE	1,69E+20	2,18E+20	3,27E+20	2,18E+20	2,09E+20

Πίνακας 4.4: Τα μέσα σφάλματα των μεθόδων πρόβλεψης για την απορροή της λίμνης Αργκάιλ

ΔΙΑΦΟΡΑ ΟΓΚΟΥ (ΔV)

Τα σφάλματα για τη διαφορά στην εκτίμηση της διαφοράς του όγκου του νερού του ταμειευτήρα έγιναν σε τρία στάδια. Στο πρώτο, έγινε η εκτίμηση της καταλληλότερης μεθόδου πρόβλεψης, όπως και στις υπόλοιπες παραμέτρους.



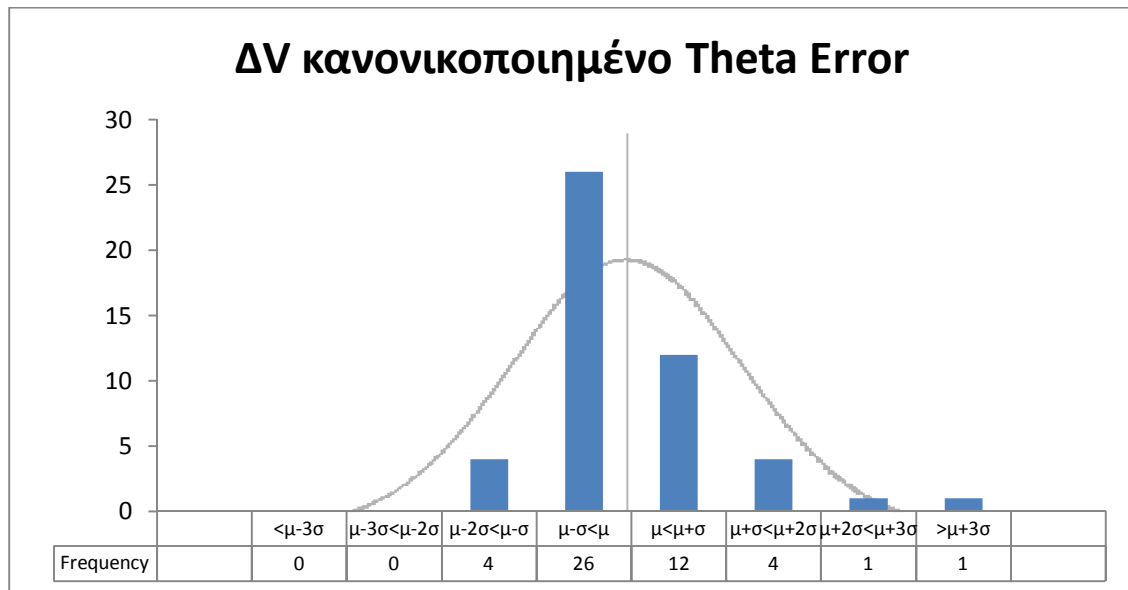
Διάγραμμα 4.5: Η κατανομή των μέσων σφαλμάτων της διαφοράς όγκου της λίμνης Αρκάιλ με τη μέθοδο SES

Καλύτερη μέθοδος εδώ προέκυψε η μέθοδος πρόβλεψης SES. Κανονική κατανομή των σφαλμάτων δε διακρίνεται, όπως φαίνεται από το διάγραμμα 4.5.

	Naïve	SES	Holt	Damped	Theta
ME	1,58E+09	-3,46E+07	1,99E+09	-4,37E+07	-1,18E+09
MSE	1,15E+19	7,60E+18	1,61E+19	7,60E+18	9,16E+18

Πίνακας 4.5: Τα μέσα σφάλματα των μεθόδων πρόβλεψης για τη διαφορά όγκου της λίμνης Αρκάιλ

Στο δεύτερο στάδιο ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία για τα κανονικοποιημένα δεδομένα της διαφοράς του όγκου, με τις ακόλουθες συχνότητες σφαλμάτων.



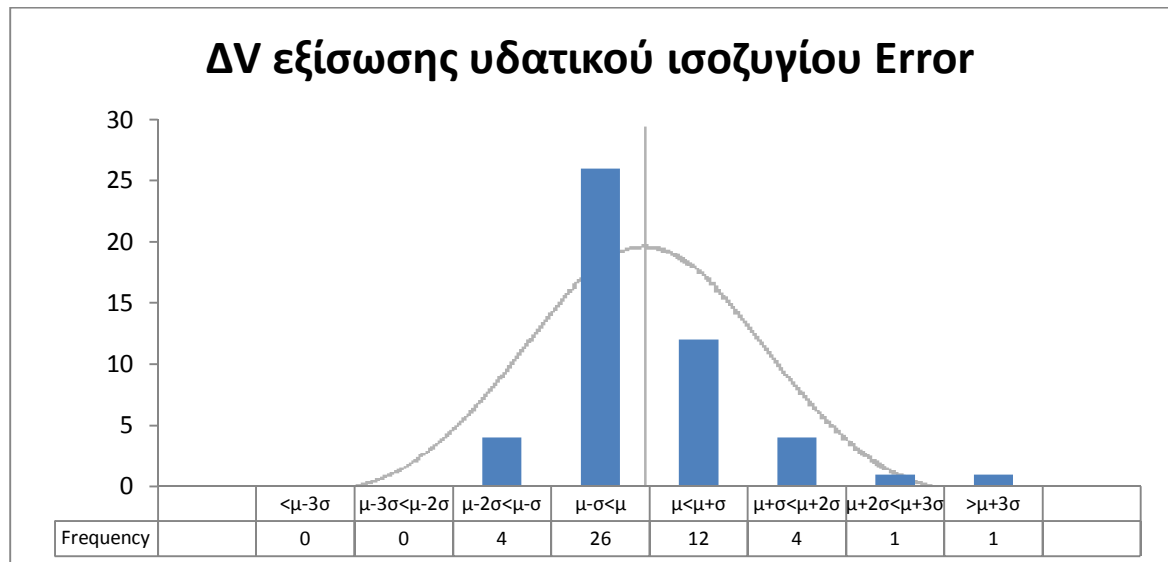
Διάγραμμα 4.6: Η κατανομή των μέσων σφαλμάτων των κανονικοποιημένων δεδομένων διαφοράς όγκου της λίμνης Αργκάιλ με τη μέθοδο Theta

Για τα κανονικοποιημένα δεδομένα της διαφοράς του όγκου του νερού του ταμειυτήρα καλύτερη μέθοδος αποδείχθηκε η μέθοδος Theta. Όπως φαίνεται και από το διάγραμμα 4.6, η κανονικοποιημένη χρονοσειρά πλησιάζει περισσότερο από την απλή χρονοσειρά στην κανονική κατανομή. Να σημειωθεί ότι όλες οι μέθοδοι έδωσαν αρκετά καλές προσεγγίσεις, δεδομένου ότι τα κανονικοποιημένα δεδομένα έχουν ήδη υποστεί μια πρώτη επεξεργασία.

	Naïve	SES	Holt	Damped	Theta
ME	0,000578	-0,003872	-0,038951	-0,003684	-0,019565
MSE	0,011194	0,011194	0,011581	0,011193	0,010962

Πίνακας 4.6: Τα μέσα σφάλματα των μεθόδων πρόβλεψης για τα κανονικοποιημένα δεδομένα διαφοράς όγκου της λίμνης Αργκάιλ

Τέλος, το τρίτο στάδιο στο οποίο εφαρμόστηκε η σύγκριση μεθόδων ήταν για την τελική επιλογή της καταλληλότερης προέκτασης της χρονοσειράς της διαφοράς του όγκου, ανάμεσα στην επίλυση της εξίσωσης του υδατικού ισοζυγίου, στην προέκταση της απλής χρονοσειράς με τη μέθοδο SES και στην προέκταση της κανονικοποιημένης χρονοσειράς με τη μέθοδο Theta.



Διάγραμμα 4.7: Η κατανομή των μέσων σφαλμάτων της διαφοράς όγκου της λίμνης Αργκάιλ με την επίλυση της εξίσωσης του υδατικού ισοζυγίου

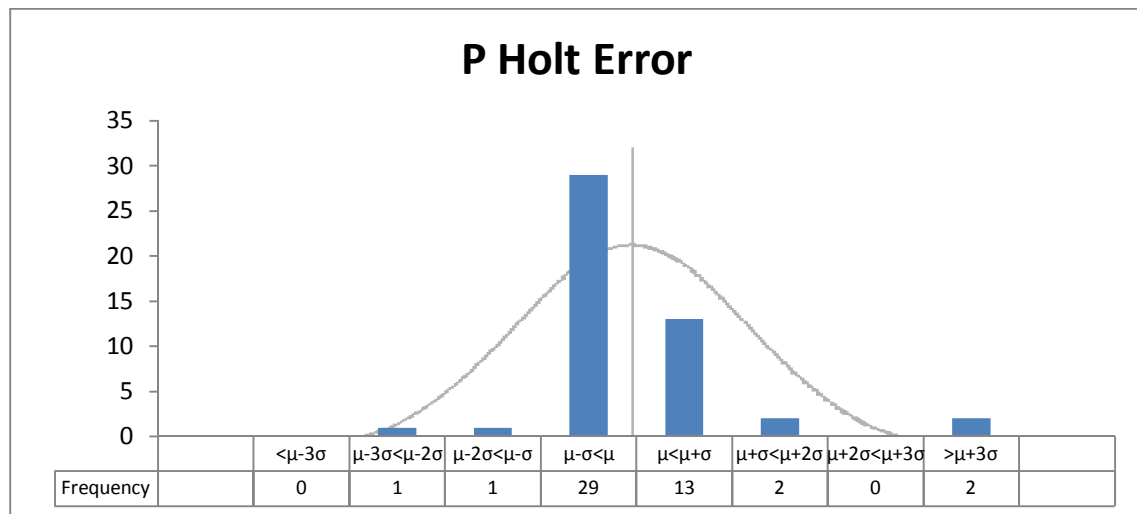
	Εξίσωση υδατικού ισοζυγίου	Μέθοδος πρόβλεψης SES	Κανονικοποίηση μέθοδος Theta
ME	0,000578	-0,003872	-0,038951
MSE	5,3E+18	7,6E+18	5,14E+18
RMSE	2,3E+09	2,76E+09	2,27E+09

Πίνακας 4.7: Τα μέσα σφάλματα των τελικών μεθόδων πρόβλεψης για τη διαφορά όγκου της λίμνης Αργκάιλ

Στην περίπτωση αυτή οι προβλέψεις της κανονικοποιημένης χρονοσειράς στα τέσσερα χρόνια ελέγχου με τη μέθοδο Theta έδωσαν τα ικανοποιητικότερα αποτελέσματα. Το διάγραμμα 4.7 αντιπροσωπεύει τα δεδομένα των σφαλμάτων της επίλυσης της εξίσωσης του υδατικού ισοζυγίου. Δεν παρουσιάζεται το διάγραμμα των απλών σφαλμάτων από την επεξεργασία της κανονικοποιημένης χρονοσειράς με τη μέθοδο Theta, δεδομένου ότι δίνει πανομοιότυπο διάγραμμα με τα δεδομένα στα οποία έχει αντιστραφεί η διαδικασία της κανονικοποίησης, με διαφορά μόνο στις τιμές του εύρους των σφαλμάτων (κανονικοποιημένες και μη κανονικοποιημένες τιμές). Για τη δυνατότητα, επομένως, οπτικής αντιπαράθεσης των τριών μεθόδων, επιλέχθηκε εδώ να παρουσιαστεί στο διάγραμμα η τρίτη και τελευταία μέθοδος πρόβλεψης της διαφοράς του όγκου της λίμνης Αργκάιλ, αυτή της επίλυσης της εξίσωσης του υδατικού ισοζυγίου.

4.4.2 Η λίμνη Βόλτα (Αφρική)

ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ (P)



Διάγραμμα 4.8: Η κατανομή των μέσων σφαλμάτων της βροχόπτωσης της λίμνης Βόλτα με τη μέθοδο Holt

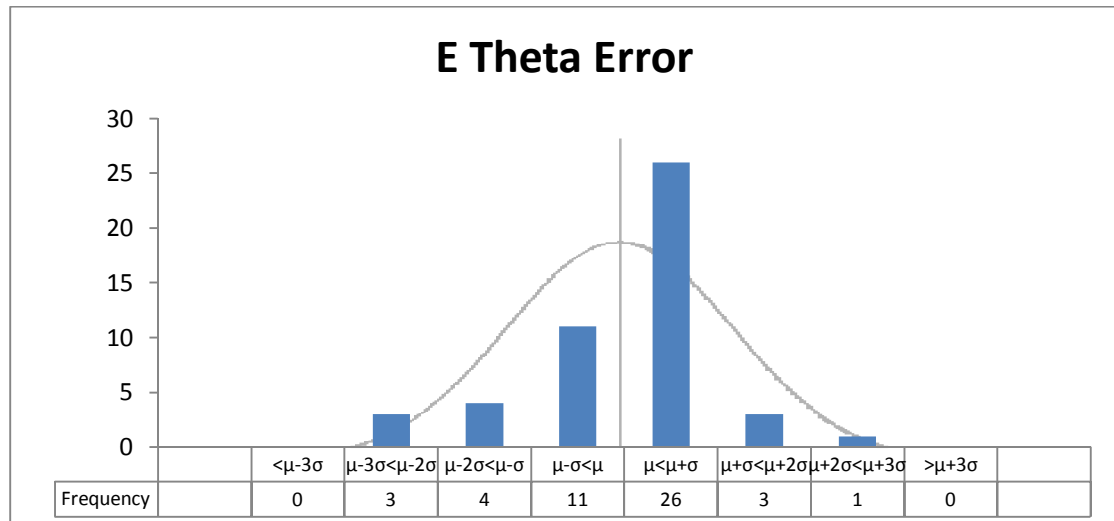
Για τη βροχόπτωση της λίμνης Βόλτα η μέθοδος με το μικρότερο σφάλμα προέκυψε η μέθοδος Holt, ενώ, η μέθοδος Naïve έδωσε τα χειρότερα αποτελέσματα. Παρά το μικρό της σφάλμα, η μέθοδος Holt, όπως και όλες οι υπόλοιπες, δε φαίνεται να ακολουθεί την κανονική κατανομή (διάγραμμα 4.8).

	Naïve	SES	Holt	Damped	Theta
ME	39,192	10,650	7,992	10,641	12,589
MSE	4586,780	2725,320	2621,848	2725,792	2798,491

Πίνακας 4.8: Τα μέσα σφάλματα των μεθόδων πρόβλεψης για τη βροχόπτωση της λίμνης Βόλτα

ΕΞΑΤΜΙΣΗ (E)

Με εξαίρεση τη μέθοδο Naïve, οι υπόλοιπες μέθοδοι δίνουν αρκετά παρόμοια αποτελέσματα ως προς το μέσο τετραγωνικό σφάλμα για την εξάτμιση. Παρακάτω φαίνεται χαρακτηριστικά η κατανομή των σφαλμάτων για τη μέθοδο Theta.



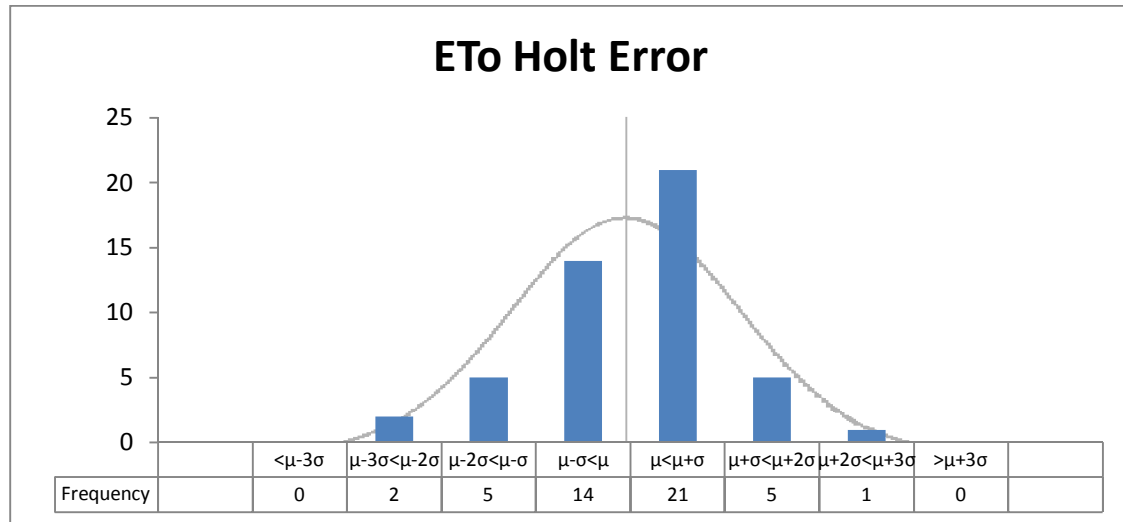
Διάγραμμα 4.9: Η κατανομή των μέσων σφαλμάτων της εξάτμισης της λίμνης Βόλτα με τη μέθοδο Theta

Η μέθοδος Theta, ήταν αυτή που τελικά έδωσε και τα καλύτερα αποτελέσματα και η οποία χρησιμοποιήθηκε για την προέκταση της χρονοσειράς της εξάτμισης στη συνέχεια. Παρατηρείται ότι η τάση προς την κανονική κατανομή είναι πολύ μικρή (διάγραμμα 4.9).

	Naïve	SES	Holt	Damped	Theta
ME	-0,0068171	0,0058051	0,0053078	0,0060092	0,0052252
MSE	0,0002028	0,0001811	0,0001744	0,0001834	0,0001731

Πίνακας 4.9: Τα μέσα σφάλματα των μεθόδων πρόβλεψης για την εξάτμιση της λίμνης Βόλτα

ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗ (ΕΤο)



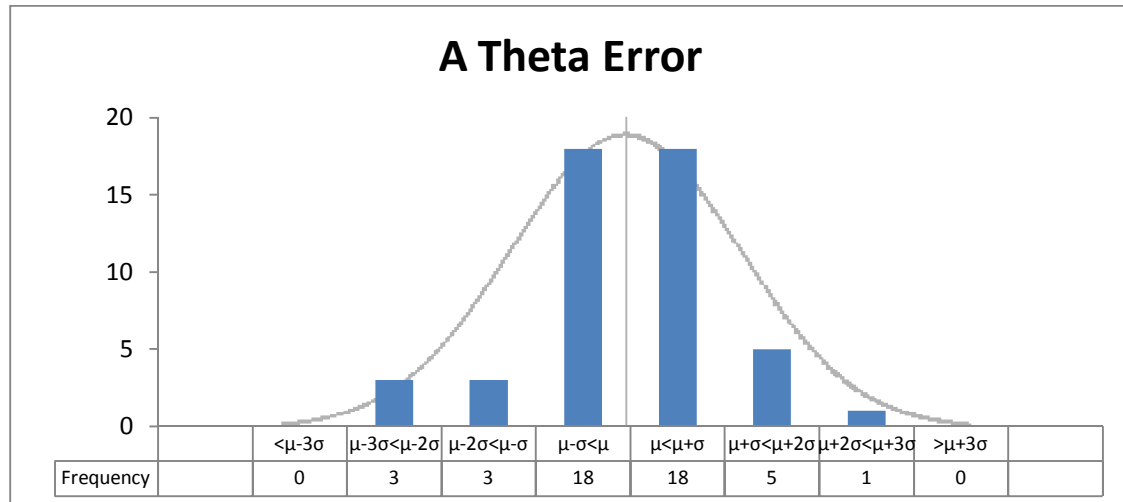
Διάγραμμα 4.10: Η κατανομή των μέσων σφαλμάτων της εξατμισοδιαπνοής της λίμνης Βόλτα με τη μέθοδο Holt

Για την εξατμισοδιαπνοή της λίμνης Βόλτα, η χειρότερη μέθοδος, όπως διαπιστώθηκε από τα αποτελέσματα των σφαλμάτων, ήταν η Naïve, με ένα σφάλμα διπλάσιο από τις υπόλοιπες μεθόδους. Η καλύτερη μέθοδος προέκυψε η μέθοδος Holt, ενώ εδώ εμφανίζεται μια μικρή τάση προς την κανονική κατανομή των σφαλμάτων (διάγραμμα 4.10).

	Naïve	SES	Holt	Damped	Theta
ME	-0,4802486	-0,0233316	-0,0418483	-0,0242594	-0,0430267
MSE	0,3221734	0,0854080	0,0850704	0,0854391	0,0853917

Πίνακας 4.10: Τα μέσα σφάλματα των μεθόδων πρόβλεψης για την εξατμισοδιαπνοή της λίμνης Βόλτα

ΑΠΟΡΡΟΗ (Α)



Διάγραμμα 4.11: Η κατανομή των μέσων σφαλμάτων της απορροής της λίμνης Βόλτα με τη μέθοδο Theta

Τα σφάλματα για τα δεδομένα της απορροής είναι αρκετά μεγάλα για όλες τις μεθόδους (πίνακας 4.11), γεγονός που οφείλεται στη φύση του τετραγωνικού σφάλματος να γιγαντώνει τις μεγάλες αποκλίσεις. Οι αποκλίσεις στις απορροές είναι μεγάλες δεδομένου ότι το μηνιαίο μέγεθος της απορροής, συγκριτικά με τις υπόλοιπες παραμέτρους που μετρώνται, είναι πολύ μεγάλο. Παρόλα αυτά, η μέθοδος που έδωσε το μικρότερο σφάλμα είναι η μέθοδος Theta, η οποία και χρησιμοποιήθηκε στη συνέχεια. Ομοίως και εδώ, παρατηρείται για τη μέθοδο Theta η τάση για κανονική κατανομή, ειδικά για τις τιμές στα διαστήματα $\mu - \sigma$ και $\mu + \sigma$ (διάγραμμα 4.11).

	Naïve	SES	Holt	Damped	Theta
ME	-1,245E+11	2,653E+10	-1,085E+11	2,152E+10	1,995E+10
MSE	3,056E+22	1,497E+22	2,406E+22	1,474E+22	1,436E+22

Πίνακας 4.11: Τα μέσα σφάλματα των μεθόδων πρόβλεψης για την απορροή της λίμνης Βόλτα

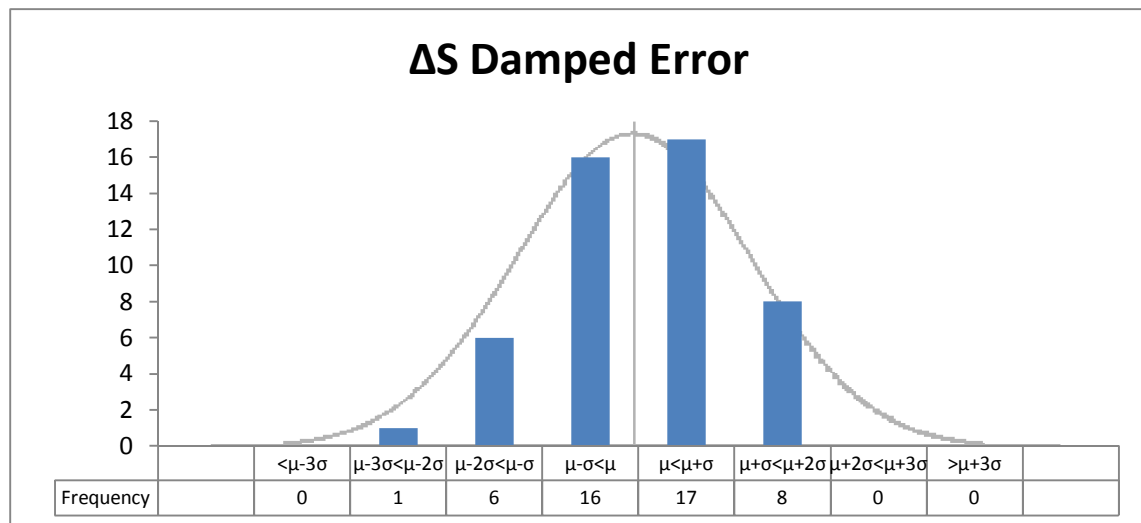
ΔΙΑΦΟΡΑ ΣΤΑΘΜΗΣ (ΔS)

Όπως και για τη λίμνη Αργκάιλ, έτσι κι εδώ οι διαδικασίες σύγκρισης των σφαλμάτων έγιναν σε τρία στάδια.

Στο πρώτο έγινε η σύγκριση των σφαλμάτων για τις διάφορες μεθόδους πρόβλεψης ως προς την προέκταση της απλής χρονοσειράς της διαφοράς της στάθμης της λίμνης, από όπου και προέκυψε η μέθοδος Damped ως η πιο αξιόπιστη. Στον πίνακα 4.12. Αρκετά μεγάλη προσαρμογή, συγκριτικά με τα υπόλοιπα αποτελέσματα που έχουν εξετασθεί ως τώρα, των τιμών των απλών σφαλμάτων στην κατανομική κατανομή, παρατηρείται στο διάγραμμα 4.12.

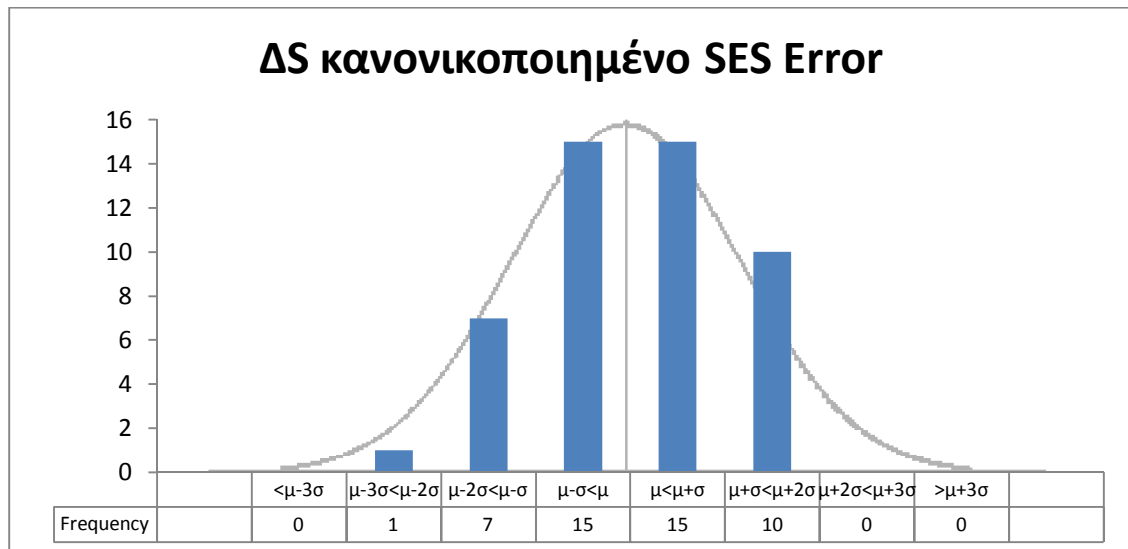
	Naïve	SES	Holt	Damped	Theta
ME	4,810	3,997	3,374	4,153	3,835
MSE	30,455	31,880	47,092	29,727	34,501

Πίνακας 4.12: Τα μέσα σφάλματα των μεθόδων πρόβλεψης για τη διαφορά στάθμης της λίμνης Βόλτα



Διάγραμμα 4.12: Η κατανομή των μέσων σφαλμάτων της διαφοράς της στάθμης της λίμνης Βόλτα με τη μέθοδο Damped

Για το δεύτερο στάδιο, έγιναν οι ίδιες διαδικασίες για τα κανονικοποιημένα δεδομένα της χρονοσειράς της διαφοράς της στάθμης. Αν και αρκετά κοντά τα αποτελέσματα των σφαλμάτων, ειδικά για τις μεθόδους Damped, SES και Theta, η μέθοδος που τελικά έδωσε συνολικά το μικρότερο μέσο τετραγωνικό σφάλμα ήταν η SES. Η μέθοδος Naïve είναι αυτή που και πάλι ξεφεύγει εντελώς από τα αποδεκτά πλαίσια των σφαλμάτων, με σφάλματα να κινούνται αρκετά υψηλότερα από όλες τις υπόλοιπες (πίνακας 4.13).



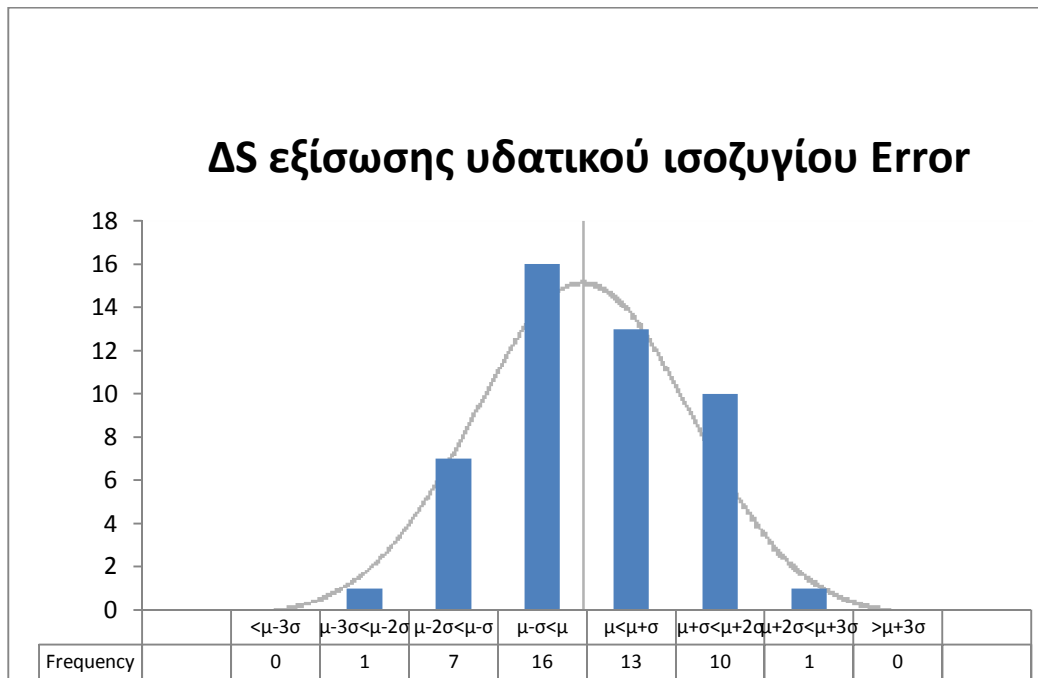
Διάγραμμα 4.13: Η κατανομή των μέσων σφαλμάτων των κανονικοποιημένων δεδομένων της διαφοράς της στάθμης της λίμνης Βόλτα με τη μέθοδο SES

Ως προς την κατανομή των δεδομένων των σφαλμάτων, ομοίως με την απλή χρονοσειρά έτσι κι εδώ παρατηρείται πολύ καλή προσαρμογή στην κανονική κατανομή, με σφάλματα όμως περισσότερο συγκεντρωμένα στα διαστήματα $\mu-2\sigma$, $\mu-\sigma$, $\mu+\sigma$ και $\mu+2\sigma$ από πριν (διάγραμμα 4.13).

	Naïve	SES	Holt	Damped	Theta
ME	0,49657	0,34489	0,37467	0,34550	0,34993
MSE	0,27805	0,14993	0,17550	0,15035	0,15433

Πίνακας 4.13: Τα μέσα σφάλματα των μεθόδων πρόβλεψης για τα κανονικοποιημένα δεδομένα διαφοράς στάθμης της λίμνης Βόλτα

Τέλος, για το τελευταίο στάδιο της διαδικασίας της σύγκρισης μεταξύ των μεθόδων, προέκυψε ότι η επίλυση της εξίσωσης του υδατικού ισοζυγίου δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα, παρά το γεγονός ότι τα δεδομένα των σφαλμάτων της δεν ακολουθούν σε τόσο μεγάλο βαθμό την κανονική κατανομή (διάγραμμα 4.14).



Διάγραμμα 4.14: Η κατανομή των μέσων σφαλμάτων της διαφοράς της στάθμης της λίμνης Βόλτα με την επίλυση της εξίσωσης του υδατικού ισοζυγίου

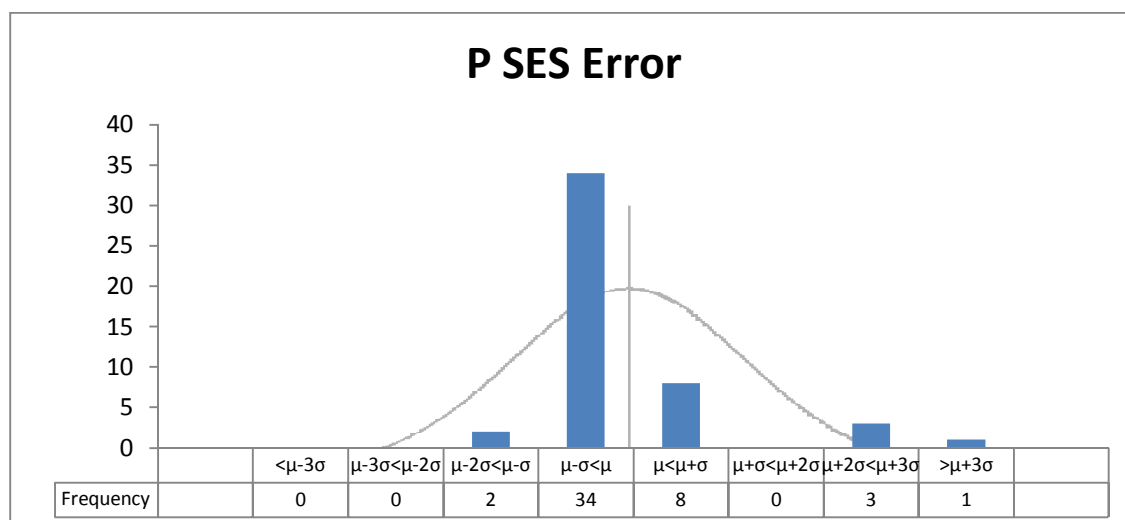
Να σημειωθεί ότι οι άλλες δύο μέθοδοι δίνουν το διπλάσιο μέσο τετραγωνικό σφάλμα από αυτό της εξίσωσης του υδατικού ισοζυγίου (πίνακας 4.14).

	Εξίσωση υδατικού ισοζυγίου	Μέθοδος πρόβλεψης Damped	Κανονικοποίηση μέθοδος SES
ME	1,180634	4,152766	5,10265
MSE	14,31993	29,72712	32,81761
RMSE	3,784169	29,72712	32,81761

Πίνακας 4.14: Τα μέσα σφάλματα των τελικών μεθόδων πρόβλεψης για τη διαφορά στάθμης της λίμνης Βόλτα

4.4.3 Η λίμνη Σάλτον Σι (ΗΠΑ)

ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ (P)



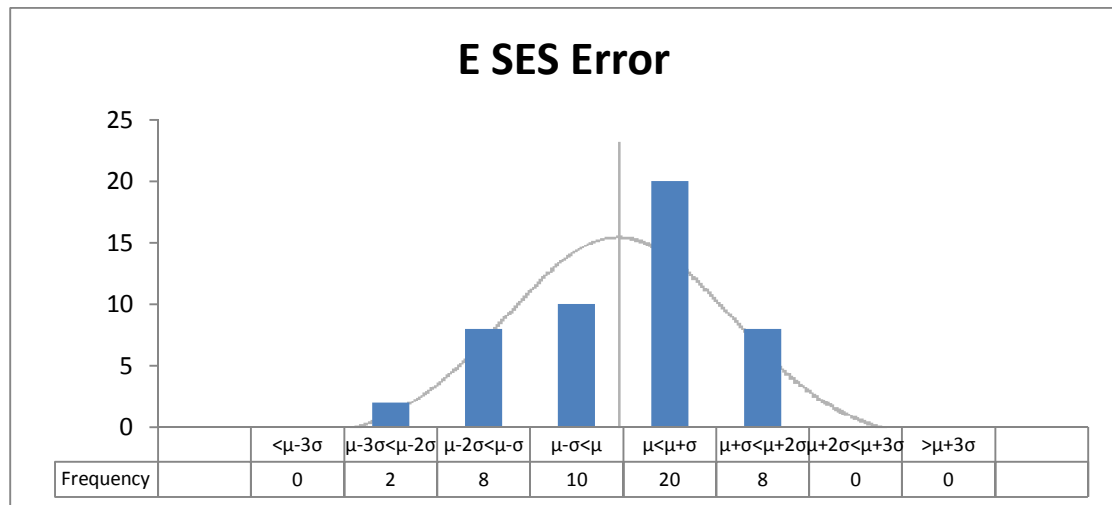
Διάγραμμα 4.15: Η κατανομή των μέσων σφαλμάτων της βροχόπτωσης της λίμνης Σάλτον Σι με τη μέθοδο SES

Για τη βροχόπτωση, η μέθοδος που έδωσε το μικρότερο μέσο τετραγωνικό σφάλμα ήταν η μέθοδος SES (πίνακας 4.15). Η κατανομή παρόλα αυτά καμίας από τις μεθόδους δεν ακολουθεί την κανονική, γεγονός που φαίνεται χαρακτηριστικά για τη μέθοδο SES στο διάγραμμα 4.15.

	Naïve	SES	Holt	Damped	Theta
ME	8,313	4,511	8,956	7,463	6,152
MSE	325,185	269,462	355,583	304,317	282,936

Πίνακας 4.15: Τα μέσα σφάλματα των μεθόδων πρόβλεψης για τη βροχόπτωση της λίμνης Σάλτον Σι

ΕΞΑΤΜΙΣΗ (Ε)



Διάγραμμα 4.16: Η κατανομή των μέσων σφαλμάτων της εξάτμισης της λίμνης Σάλτον Σι με τη μέθοδο SES

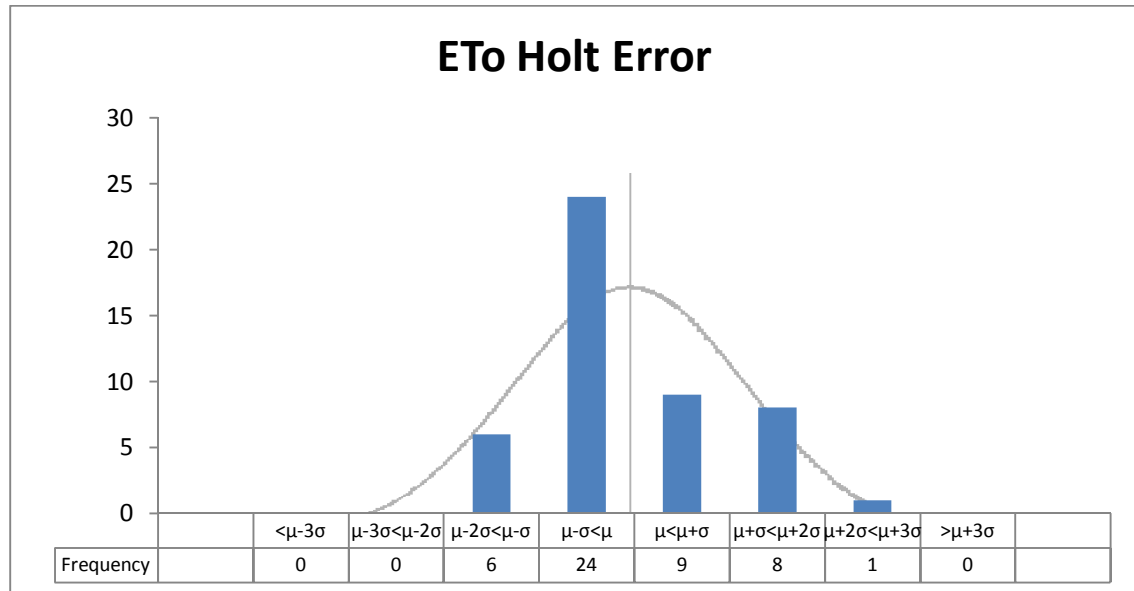
Τα σφάλματα των δεδομένων της εξάτμισης της λίμνης Σάλτον Σι δεν ακολουθούν την κανονική κατανομή για καμία από τις μεθόδους πρόβλεψης (διάγραμμα 4.16). Παρόλα αυτά, ομοίως με τα δεδομένα της βροχόπτωσης, καλύτερη μέθοδος πρόβλεψης προέκυψε η μέθοδος SES με το μικρότερο αθροιστικό σφάλμα, ενώ τα αποτελέσματα των μεθόδων Damped και Theta είναι αρκετά κοντά (πίνακας 4.16).

	Naïve	SES	Holt	Damped	Theta
ME	-0,004612	0,000352	-0,003085	0,000474	0,001074
MSE	0,000128	0,000111	0,000114	0,000111	0,000114

Πίνακας 4.16: Τα μέσα σφάλματα των μεθόδων πρόβλεψης για την εξάτμιση της λίμνης Σάλτον Σι

ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗ (ΕΤο)

Για την εξατμισοδιαπνοή στις πρώτες τιμές των προβλέψεων η μέθοδος Naïve δίνει τις καλύτερες τιμές. Αθροιστικά όμως η μέθοδος Holt είναι αυτή που προσεγγίζει καλύτερα την πραγματικότητα (πίνακας 4.17). Ούτε και σε αυτή την περίπτωση υπάρχει προσαρμογή των δεδομένων των σφαλμάτων στην κανονική κατανομή (διάγραμμα 4.17).



Διάγραμμα 4.17: Η κατανομή των μέσων σφαλμάτων της εξατμισοδιαπνοής της λίμνης Σάλτον Σι με τη μέθοδο Holt

	Naïve	SES	Holt	Damped	Theta
ME	-0,122	0,073	-0,021	0,071	0,101
MSE	0,187	0,194	0,173	0,194	0,206

Πίνακας 4.17: Τα μέσα σφάλματα των μεθόδων πρόβλεψης για την εξατμισοδιαπνοή της λίμνης Σάλτον Σι

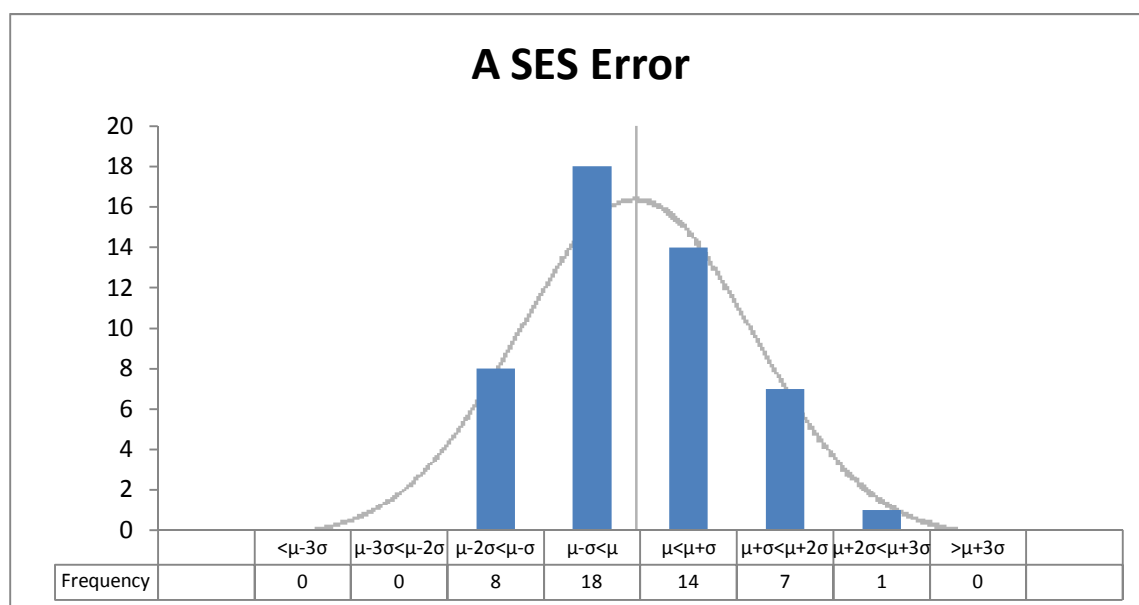
ΑΠΟΡΡΟΗ (Α)

Για τα δεδομένα της απορροής του ταμειευτήρα, καλύτερη μέθοδος προέκυψε η μέθοδος SES (πίνακας 4.18). Ενώ για το χρονικό διάστημα του υδρολογικού έτους 2010-2011 οι τιμές της μεθόδου Holt είναι αρκετά καλύτερες, συνολικά η μέθοδος SES είναι αυτή που έδωσε τη μικρότερη απόκλιση, ενώ αρκετά παραπλήσιες τιμές έδωσε και η μέθοδος Damped.

	Naïve	SES	Holt	Damped	Theta
ME	-7,25E+09	-1,50E+09	-6,11E+09	-1,07E+09	-4,69E+08
MSE	1,70E+20	1,37E+20	1,53E+20	1,37E+20	1,42E+20

Πίνακας 4.18: Τα μέσα σφάλματα των μεθόδων πρόβλεψης για την απορροή της λίμνης Σάλτον Σι

Για την απορροή τα δεδομένα των σφαλμάτων ακολουθούν σε μεγάλο βαθμό την κανονική κατανομή, ενώ χαρακτηριστικά αυτό φαίνεται παρακάτω για τα δεδομένα της μεθόδου που ξεχώρισε ως προς τις προβλέψεις της, της μεθόδου SES (διάγραμμα 4.18).



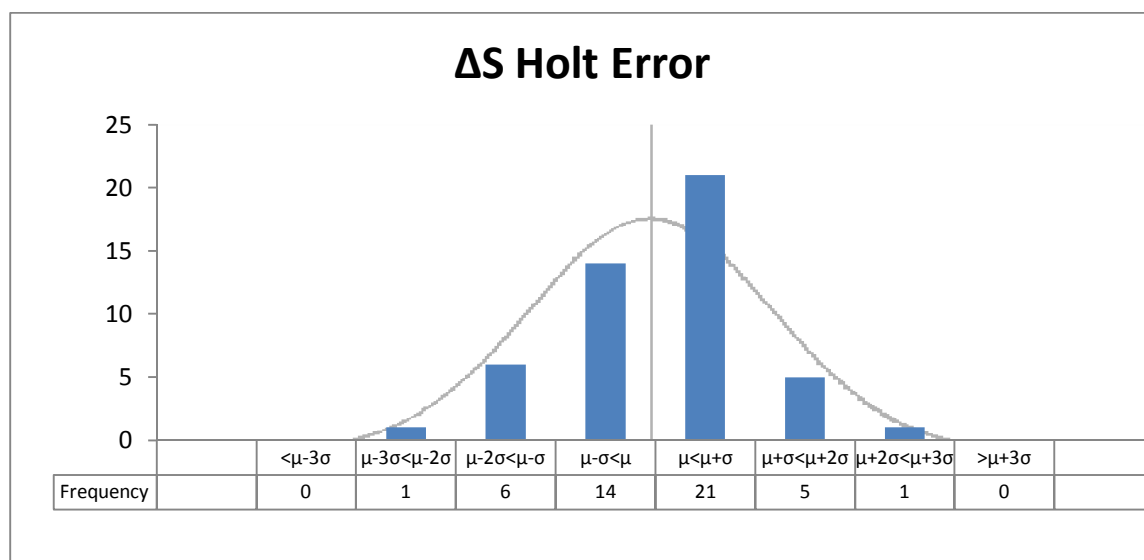
Διάγραμμα 4.18: Η κατανομή των μέσων σφαλμάτων της απορροής της λίμνης Σάλτον Σι με τη μέθοδο SES

ΔΙΑΦΟΡΑ ΣΤΑΘΜΗΣ (ΔS)

Στο πρώτο στάδιο της μελέτης της διαφοράς της στάθμης του ταμιευτήρα, έγιναν οι γνωστές διαδικασίες της προέκτασης της χρονοσειράς στα τέσσερα έτη ελέγχου με όλες τις μεθόδους για να ξεχωρίσει η καταλληλότερη. Όπως φάνηκε στα δεδομένα η μέθοδος που έχει σχεδόν μηδενικές τιμές για όλο το χρονικό ορίζοντα είναι η μέθοδος Holt, ενώ η μέθοδος Naïve για άλλη μια φορά δίνει στο μεγαλύτερο διάστημα εντελώς ανακριβή αποτελέσματα (πίνακας 4.19).

	Naïve	SES	Holt	Damped	Theta
ME	-0,835	-0,917	-0,936	-0,917	-0,924
MSE	13,533	1,463	1,303	1,472	2,543

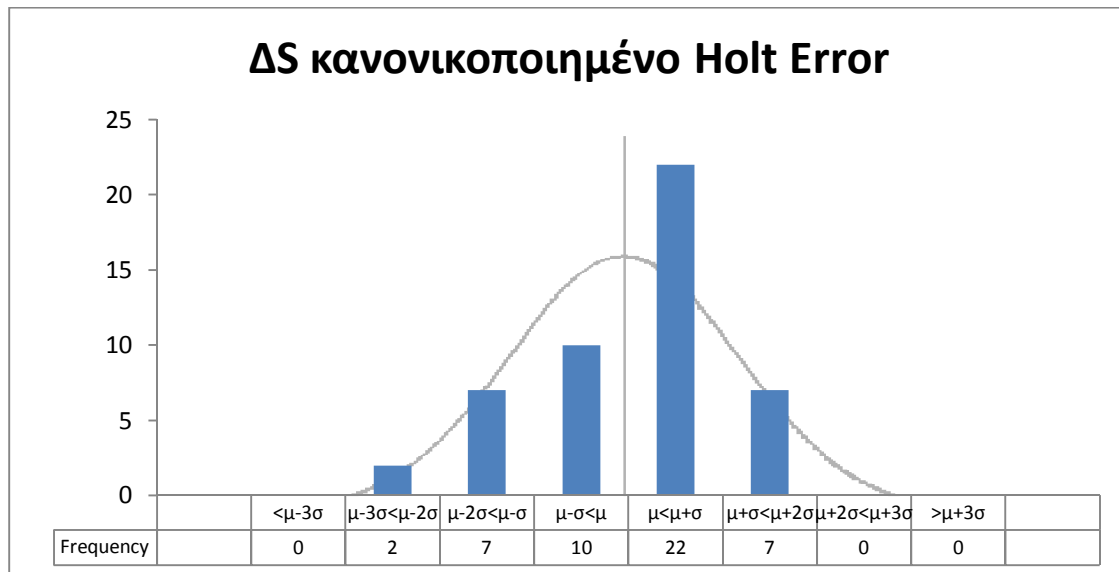
Πίνακας 4.19: Τα μέσα σφάλματα των μεθόδων πρόβλεψης για τη διαφορά στάθμης της λίμνης Σάλτον Σι



Διάγραμμα 4.19: Η κατανομή των μέσων σφαλμάτων της διαφοράς στάθμης της λίμνης Σάλτον Σι με τη μέθοδο Holt

Με εξαίρεση την απόκλιση του ποσοστού των σφαλμάτων για το διάστημα $\mu-\sigma$, τα δεδομένα έχουν μια αρκετά καλή προσέγγιση στην κανονική κατανομή (διάγραμμα 4.19).

Για το δεύτερο στάδιο, της προέκτασης της κανονικοποιημένης χρονοσειράς της διαφοράς της στάθμης, τα αποτελέσματα της μεθόδου πρόβλεψης Holt που ξεχώρισε, φαίνονται στο διάγραμμα 4.20.



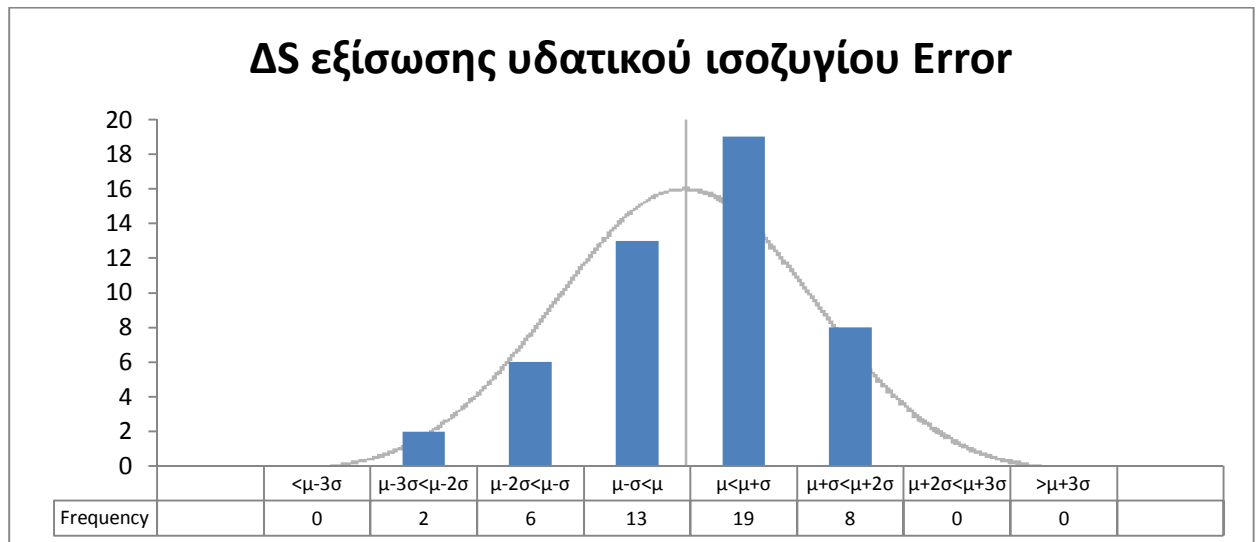
Διάγραμμα 4.20: Η κατανομή των μέσων σφαλμάτων των κανονικοποιημένων δεδομένων της διαφοράς στάθμης της λίμνης Σάλτον Σι με τη μέθοδο Holt

Η μέθοδος Holt έδωσε τα καλύτερα αποτελέσματα, αν και οι αποκλίσεις της σε αυτή τη χρονοσειρά ήταν μεγαλύτερες από ότι στην απλή χρονοσειρά της διαφοράς της στάθμης. Αξίζει να παρατηρηθεί ότι στα κανονικοποιημένα δεδομένα προσαρμόζεται καλύτερα ακόμα και η μέθοδος Naïve, αν και εξακολουθεί να δίνει το μεγαλύτερο σφάλμα από τις υπόλοιπες (διάγραμμα 4.20). Αντίστοιχα, ως προς την κατανομή των δεδομένων, το πρόβλημα της προσαρμογής για το διάστημα μ-σ εξακολουθεί να υφίσταται (διάγραμμα 4.20).

	Naïve	SES	Holt	Damped	Theta
ME	-0,114	-0,093	-0,041	-0,072	-0,078
MSE	0,028	0,023	0,017	0,020	0,021

Πίνακας 4.20: Τα μέσα σφάλματα των μεθόδων πρόβλεψης για τα κανονικοποιημένα δεδομένα της διαφοράς στάθμης της λίμνης Σάλτον Σι

Ως προς την τελική σύγκριση των διαφορών στάθμης, το διάγραμμα για την κατανομή των σφαλμάτων της εξίσωσης του υδατικού ισοζυγίου είναι το ακόλουθο:



Διάγραμμα 4.21: Η κατανομή των μέσων σφαλμάτων της διαφοράς στάθμης με την επίλυση της εξίσωσης του υδατικού ισοζυγίου της λίμνης Σάλτον Σι

Από τα τρία διαγράμματα 4.19, 4.20, 4.21, δίνοντας έμφαση στις τιμές του εύρους όπου υπάρχει μεγαλύτερη συγκέντρωση είναι εμφανές ότι η μέθοδος με την καλύτερη προσέγγιση είναι αυτή της προέκτασης της κανονικοποιημένης χρονοσειράς της διαφοράς της στάθμης με τη μέθοδο Holt, ενώ τα σφάλματα της επίλυσης της εξίσωσης του υδατικού ισοζυγίου είναι αρκετά κοντά. Στην περίπτωση της εξίσωσης του υδατικού ισοζυγίου, παρατηρείται, στο τελευταίο διάγραμμα, ότι το διάστημα $\mu+\sigma$ είναι αυτό που κάνει την κατανομή να αποκλίνει από την κανονική, ενώ όλες οι υπόλοιπες συχνότητες είναι ομαλά κατανεμημένες.

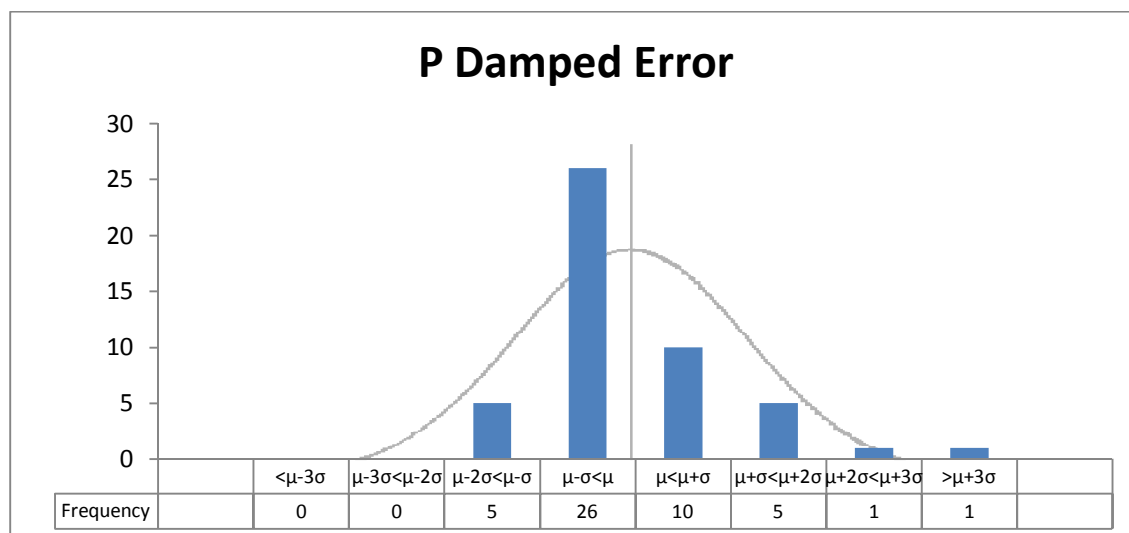
	Εξίσωση υδατικού ισοζυγίου	Μέθοδος πρόβλεψης Damped	Κανονικοποίηση μέθοδος Holt
ME	-0,10883	-0,9363	-0,16496
MSE	0,334532	1,302562	0,266832
RMSE	0,578388	1,302562	0,266832

Πίνακας 4.21: Τα μέσα σφάλματα των τελικών μεθόδων πρόβλεψης τη διαφορά στάθμης της λίμνης Σάλτον Σι

4.4.4 Η λίμνη Σαν Ροκέ (Αργεντινή)

ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ (P)

Όπως και για τις υπόλοιπες λίμνες που μελετήθηκαν ως τώρα, έτσι και για τη λίμνη Σαν Ροκέ για τα δεδομένα της βροχόπτωσης τα σφάλματα δεν τείνουν ιδιαίτερα προς την κανονική κατανομή (διάγραμμα 4.22).



Διάγραμμα 4.22: Η κατανομή των μέσων σφαλμάτων της βροχόπτωσης της λίμνης Σαν Ροκέ με τη μέθοδο Damped

Η μέθοδος με το μικρότερο συνολικό σφάλμα είναι η μέθοδος Damped (πίνακας 4.22). Στο διάγραμμα 4.22 παρουσιάζεται η κατανομή και οι αντίστοιχες συχνότητες των σφαλμάτων που δίνει για τη βροχόπτωση της λίμνης Σαν Ροκέ.

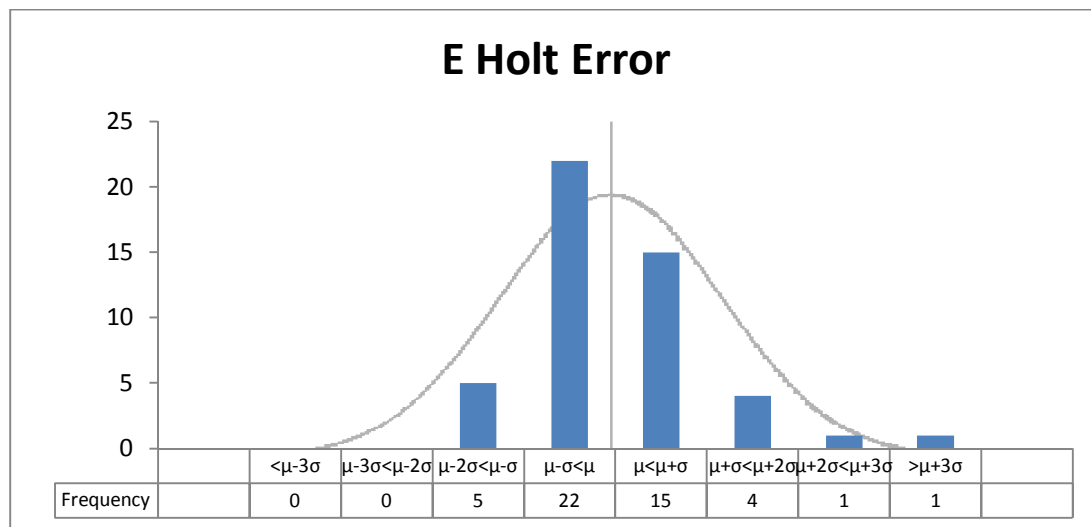
	Naïve	SES	Holt	Damped	Theta
ME	75,238	-5,138	23,483	6,856	-5,592
MSE	12391,739	5165,745	5658,555	5021,803	5179,321

Πίνακας 4.22: Τα μέσα σφάλματα των μεθόδων πρόβλεψης της βροχόπτωσης της λίμνης Σαν Ροκέ

ΕΞΑΤΜΙΣΗ (E)

	Naïve	SES	Holt	Damped	Theta
ME	0,022645	0,011611	0,010801	0,011335	0,011095
MSE	0,000702	0,000317	0,000299	0,000310	0,000305

Πίνακας 4.23: Τα μέσα σφάλματα των μεθόδων πρόβλεψης της εξάτμισης της λίμνης Σαν Ροκέ

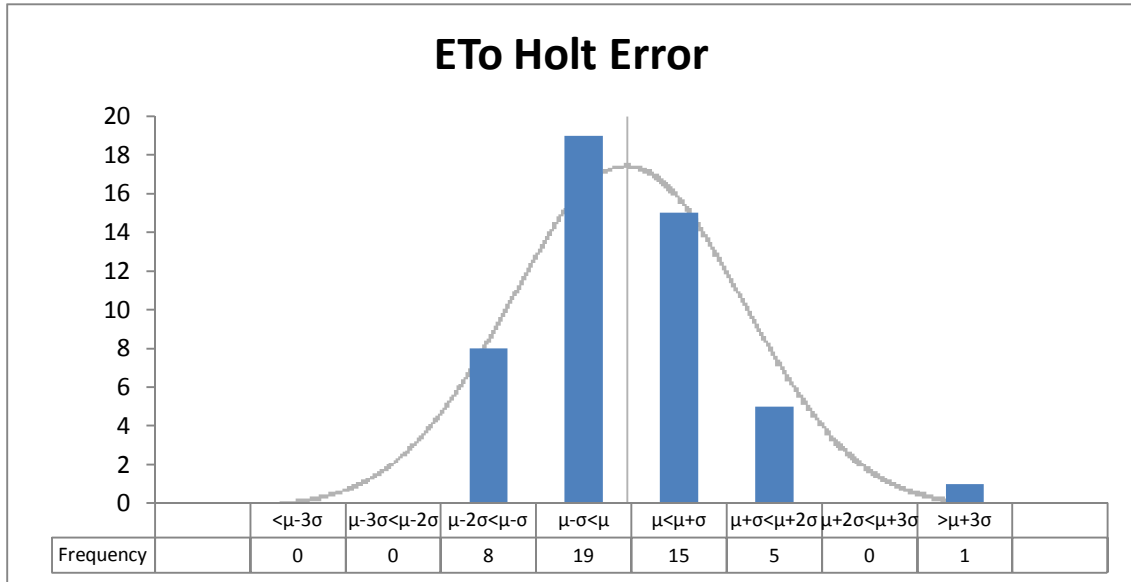


Διάγραμμα 4.23: Η κατανομή των μέσων σφαλμάτων της εξάτμισης της λίμνης Σαν Ροκέ με τη μέθοδο Holt

Η μέθοδος που προσαρμόζεται καλύτερα στα δεδομένα της εξάτμισης της λίμνης Σαν Ροκέ είναι η μέθοδος Holt, παρότι τα αποτελέσματα που δίνει ως προς το τετραγωνικό σφάλμα ανά χρονικό βήμα έχουν μικρή απόκλιση με αυτά των υπόλοιπων μεθόδων (πίνακας 4.23). Η απόκλιση είναι της τάξης του 0,000001, με εξαίρεση την απόκλιση από τα αποτελέσματα της μεθόδου Naïve που είναι, όπως και είναι λογικό, μεγαλύτερη. Ομοίως για την εξάτμιση, τα δεδομένα των απλών σφαλμάτων δεν ακολουθούν την κανονική κατανομή για καμία από τις μεθόδους (διάγραμμα 4.23).

ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗ (ΕΤο)

Για την εξατμισοδιαπνοή, καλύτερη μέθοδος είναι η μέθοδος Holt, η οποία και σε αυτή την περίπτωση δίνει τετραγωνικά σφάλματα με ελάχιστη απόκλιση από τις μεθόδους που δεν επιλέχθηκαν (πίνακας 4.24).



Διάγραμμα 4.24: Η κατανομή των μέσων σφαλμάτων της εξατμισοδιαπνοής της λίμνης Σαν Ροκέ με τη μέθοδο Holt

Από το διάγραμμα 4.24 όμως της κατανομής των σφαλμάτων της εξατμισοδιαπνοής για τη μέθοδο Holt παρατηρείται ότι πλησιάζει αρκετά την κανονική κατανομή, ενώ είναι η πρώτη περίπτωση λίμνης όπου υπάρχουν δεδομένα σε εύρος μεγαλύτερο από $\mu + 3\sigma$.

	Naïve	SES	Holt	Damped	Theta
ME	0,444	0,261	0,227	0,267	0,242
MSE	0,406	0,269	0,252	0,273	0,259

Πίνακας 4.24: Τα μέσα σφάλματα των μεθόδων πρόβλεψης της εξατμισοδιαπνοής της λίμνης Σαν Ροκέ

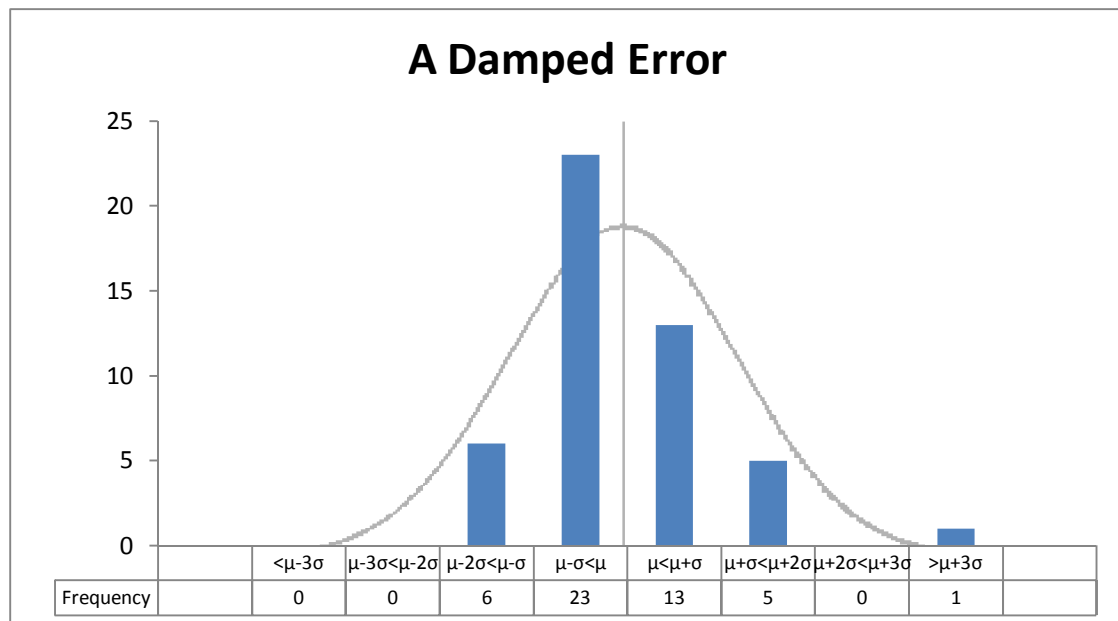
ΑΠΟΡΡΟΗ (Α)

Τα σφάλματα της απορροής πλησιάζουν αρκετά την κανονική κατανομή σε όλες τις μεθόδους πρόβλεψης. Η μέθοδος Naïve δίνει και πάλι τα χειρότερα αποτελέσματα από τις μεθόδους, διότι παρερμηνεύει τις ακραίες τιμές, ενώ στα σταθερά διαστήματα δίνει μηδενικά σφάλματα. Καλύτερη μέθοδος για τα δεδομένα της απορροής προκύπτει η μέθοδος Damped, η οποία δίνει αρκετά παραπλήσια σφάλματα με αυτά της μεθόδου Theta (πίνακας 4.25).

	Naïve	SES	Holt	Damped	Theta
ME	5,57E+07	2,32E+04	-4,54E+06	2,83E+06	8,68E+04
MSE	7,52E+15	3,78E+15	3,85E+15	3,76E+15	3,78E+15

Πίνακας 4.25: Τα μέσα σφάλματα των μεθόδων πρόβλεψης της απορροής της λίμνης Σαν Ροκέ

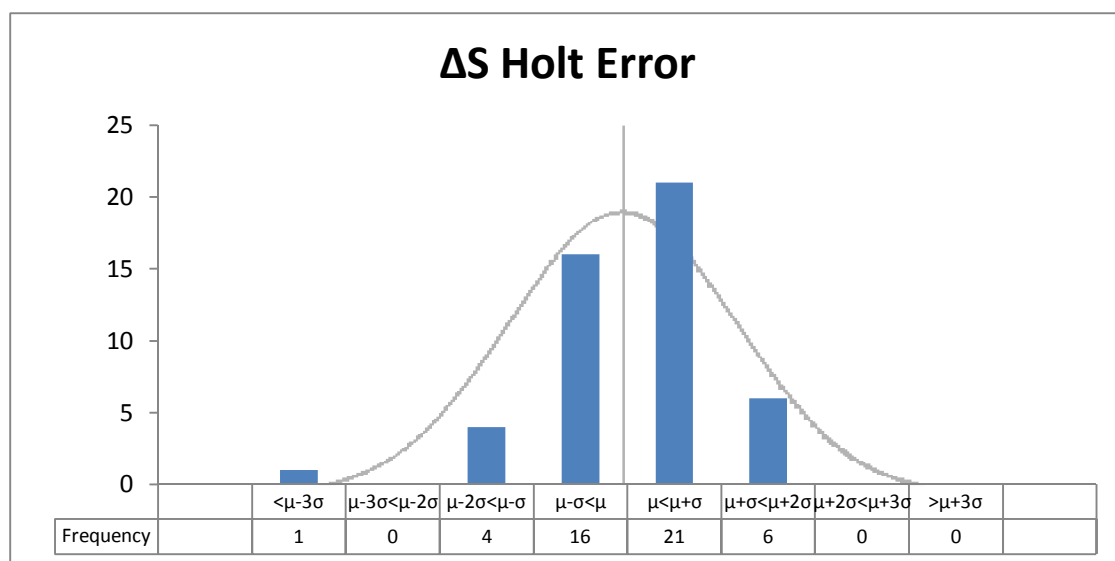
Σ το διάγραμμα 4.25 των σφαλμάτων της απορροής με τη μέθοδο Damped, φαίνεται η απόκλιση από την κανονική κατανομή για το διάστημα $\mu+\sigma$.



Διάγραμμα 4.25: Η κατανομή των μέσων σφαλμάτων της απορροής της λίμνης Σαν Ροκέ με τη μέθοδο Damped

ΔΙΑΦΟΡΑ ΣΤΑΘΜΗΣ (ΔS)

Τα αποτελέσματα για την απλή προέκταση της χρονοσειράς της διαφοράς της στάθμης φαίνονται στο διάγραμμα 4.26.



Διάγραμμα 4.26: Η κατανομή των μέσων σφαλμάτων της διαφοράς στάθμης της λίμνης Σαν Ροκέ με τη μέθοδο Holt

Διακρίνεται στα δεδομένα για τα έτη 2010-2011 η διαφορά της μεθόδου Holt με τη μέθοδο Theta, όπου και γι'αυτή τη διαφορά προκύπτει τελικά καλύτερη η μέθοδος Holt (πίνακας 4.26). Η κατανομή των σφαλμάτων με τη μέθοδο Holt πλησιάζει την κανονική, όπως και για τις μεθόδους πρόβλεψης, ενώ εδώ παρατηρείται η απόκλιση που προαναφέρθηκε για εύρος μεγαλύτερο του $\mu+3\sigma$ στο εύρος $\mu-3\sigma$.

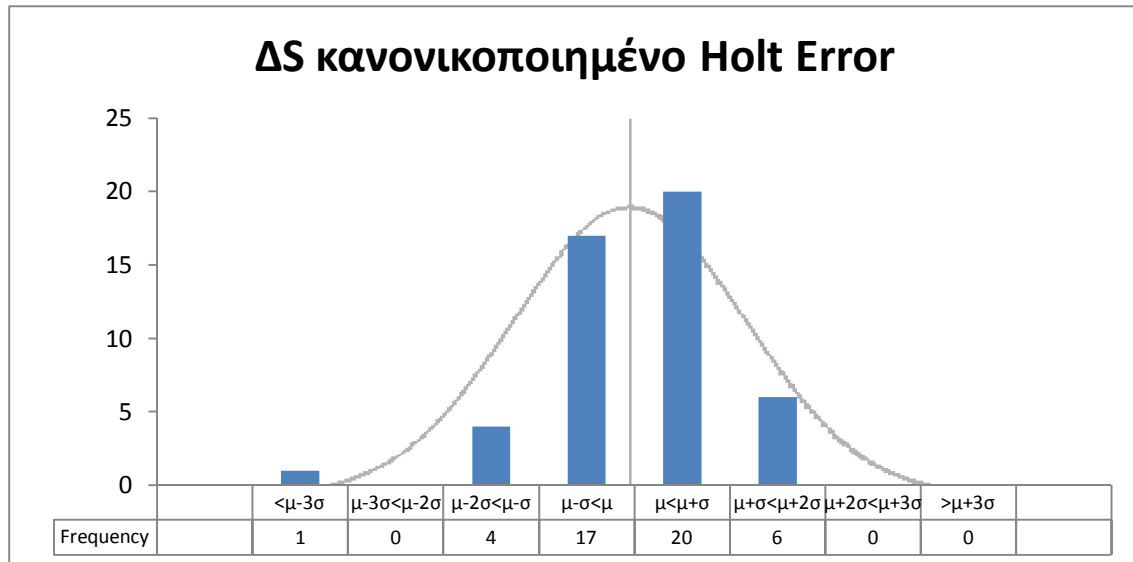
	Naïve	SES	Holt	Damped	Theta
ME	-0,040	-0,025	-0,018	-0,032	-0,023
MSE	0,003	0,002	0,002	0,003	0,002

Πίνακας 4.26: Τα μέσα σφάλματα των μεθόδων πρόβλεψης της διαφοράς στάθμης της λίμνης Σαν Ροκέ

Για τα σφάλματα των κανονικοποιημένων δεδομένων της χρονοσειράς της διαφοράς της στάθμης του ταμιευτήρα δημιουργήθηκαν ο πίνακας 4.27 με τα συνολικά σφάλματα των μεθόδων και το διάγραμμα 4.27 της βέλτιστης μεθόδου πρόβλεψης.

	Naïve	SES	Holt	Damped	Theta
ME	-0,088	-0,050	-0,038	-0,047	-0,044
MSE	0,017	0,012	0,011	0,012	0,012

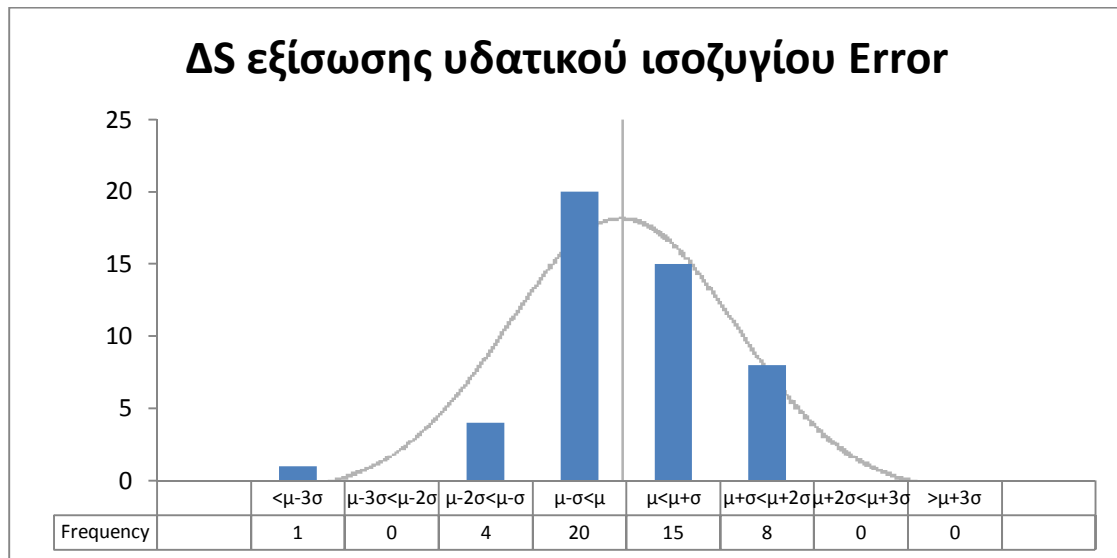
Πίνακας 4.27: Τα μέσα σφάλματα των μεθόδων πρόβλεψης των κανονικοποιημένων δεδομένων της διαφοράς στάθμης της λίμνης Σαν Ροκέ



Διάγραμμα 4.27: Η κατανομή των μέσων σφαλμάτων των κανονικοποιημένων δεδομένων της διαφοράς στάθμης της λίμνης Σαν Ροκέ με τη μέθοδο Holt

Τα δύο διαγράμματα, 4.26 και 4.27, είναι πανομοιότυπα και γι'αυτό είναι επόμενο που προκύπτει και πάλι η μέθοδος Holt ως η μέθοδος με το μικρότερο μέσο τετραγωνικό σφάλμα, ενώ και πάλι δεύτερη έρχεται η μέθοδος Theta (πίνακας 4.27). Όπως είναι επόμενο και λόγω της ομοιότητας, και εδώ υπάρχει μια κλίση των δεδομένων των απλών σφαλμάτων προς την κανονική κατανομή.

Τέλος, ακολουθεί η τελευταία εφαρμογή του μέσου τετραγωνικού σφάλματος στα δεδομένα της λίμνης Σαν Ροκέ, για την τελική επιλογή της καταλληλότερης μεθόδου πρόβλεψης στην πρόβλεψη των δεδομένων της διαφοράς της στάθμης.



Διάγραμμα 4.28: Η κατανομή των μέσων σφαλμάτων της διαφοράς στάθμης με την επίλυση της εξίσωσης του υδατικού ισοζυγίου της λίμνης Σαν Ροκέ

	Εξίσωση υδατικού ισοζυγίου	Μέθοδος πρόβλεψης Holt	Κανονικοποίηση μέθοδος Holt
ME	-0,00269	-0,01824	-0,01664
MSE	0,001775	0,002128	0,00211
RMSE	0,042135	0,002128	0,00211

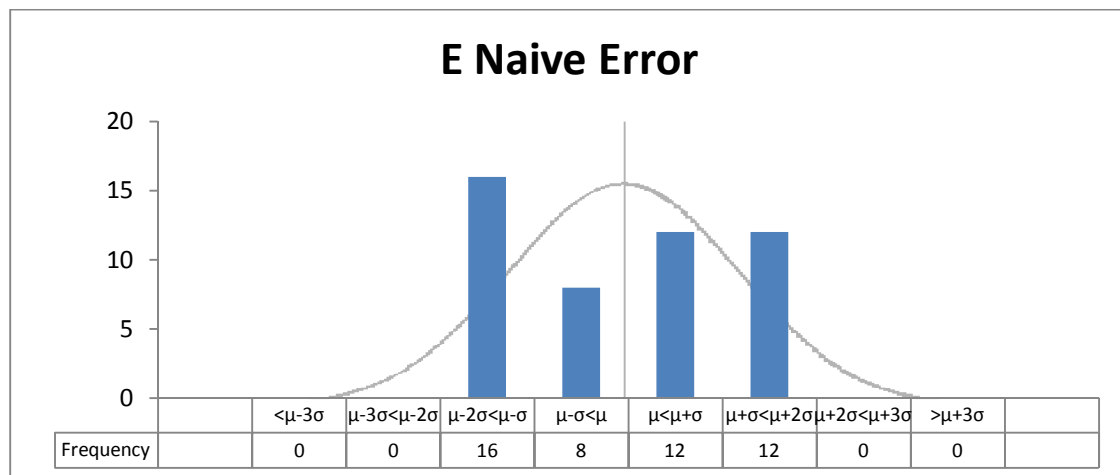
Πίνακας 4.28: Τα μέσα σφάλματα των τελικών μεθόδων πρόβλεψης της διαφοράς στάθμης της λίμνης Σαν Ροκέ

Η επίλυση της εξίσωσης του υδατικού ισοζυγίου δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα, ενώ χειρότερα αποτελέσματα δίνει η προέκταση της απλής χρονοσειράς με τη μέθοδο Holt (πίνακας 4.28). Ως προς την κατανομή των σφαλμάτων, στην περίπτωση της εξίσωσης του υδατικού ισοζυγίου παρατηρείται ακόμα μεγαλύτερη απόκλιση από την κανονική, όπως φαίνεται στο διάγραμμα 4.28.

ΕΞΑΤΜΙΣΗ (E)

	Naïve	SES	Holt	Damped	Theta
ME	-0,528	-0,627	-0,609	-0,627	-0,620
MSE	0,332	0,467	0,441	0,467	0,457

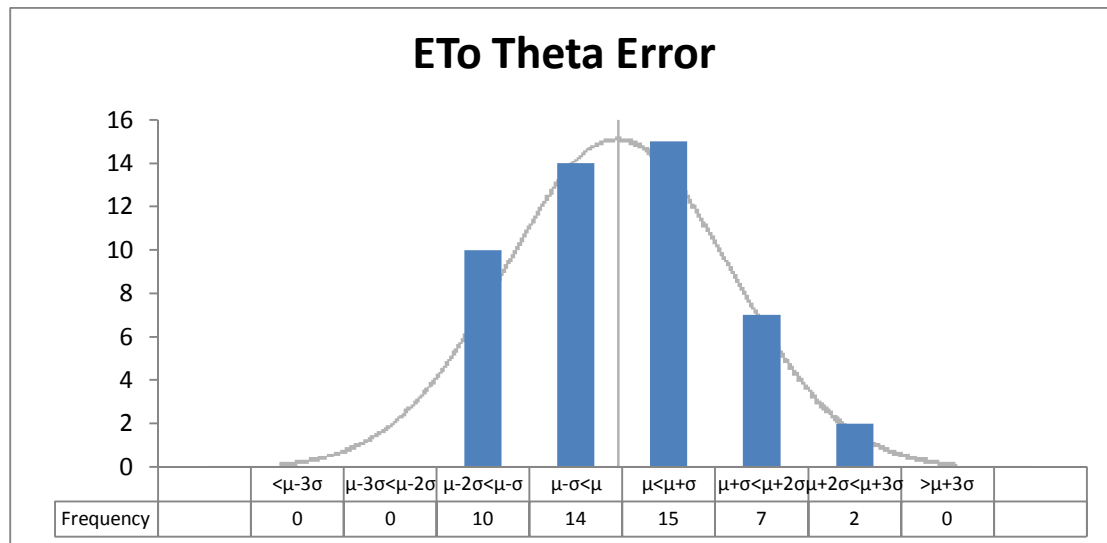
Πίνακας 4.30: Τα μέσα σφάλματα των μεθόδων πρόβλεψης της εξάτμισης της λίμνης Άισελμεερ



Διάγραμμα 4.30: Η κατανομή των μέσων σφαλμάτων της εξάτμισης της λίμνης Άισελμεερ με τη μέθοδο Naïve

Η εξάτμιση για τη λίμνη Άισελμεερ αποτελεί μια από τις ελάχιστες περιπτώσεις όπου μικρότερο σφάλμα δίνει η μέθοδος Naïve (πίνακας 4.30). Επίσης, αποτελεί μια από τις περιπτώσεις που η κατανομή δεν πλησιάζει ούτε στο ελάχιστο την κανονική, ενώ τα σφάλματα ισομοιράζονται στα διαστήματα $\mu-2\sigma$ ως και $\mu+2\sigma$, χωρίς καθόλου αποκλίσεις (διάγραμμα 4.30).

ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗ (ΕΤο)



Διάγραμμα 4.31: Η κατανομή των μέσων σφαλμάτων της εξατμισοδιαπνοής της λίμνης Άισελμεερ με τη μέθοδο Theta

Για τα δεδομένα της χρονοσειράς της εξατμισοδιαπνοής της λίμνης Άισελμεερ το μικρότερο σφάλμα το δίνει η μέθοδος Theta (πίνακας 4.31), ενώ τα αποτελέσματα των σφαλμάτων εφάπτονται σχεδόν σε όλα τα διαστήματα στην καμπύλη της κανονικής κατανομής. Εξάιρεση αποτελεί το διάστημα $\mu - 3\sigma$ που δεν περιλαμβάνει καθόλου τιμές και το διάστημα $\mu - 2\sigma$ όπου περιέχει λίγες παραπάνω τιμές από τις επιθυμητές (διάγραμμα 4.31).

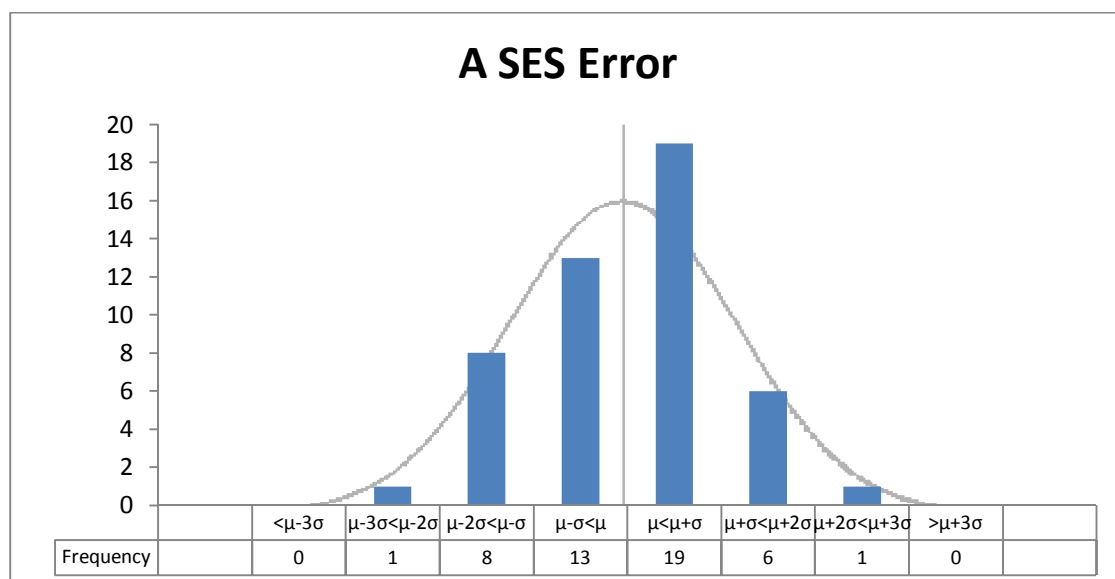
	Naïve	SES	Holt	Damped	Theta
ME	0,082	-0,016	0,001	-0,017	-0,010
MSE	0,033	0,022	0,022	0,022	0,022

Πίνακας 4.31: Τα μέσα σφάλματα των μεθόδων πρόβλεψης της εξατμισοδιαπνοής της λίμνης Άισελμεερ

ΑΠΟΡΡΟΗ (Α)

Για την απορροή της λίμνης Άισελμεερ και της επόμενης λίμνης, της λίμνης Γκαόγιου, έχουν γίνει διπλές διαδικασίες. Αυτό συνέβη διότι εμφανίστηκαν αρνητικές τιμές στα αποτελέσματα της απορροής και επομένως κρίθηκε σκόπιμο να διεξαχθούν επιπλέον επεξεργασίες και να γίνει κανονικοποίηση και αυτών των χρονοσειρών. Μετά την κανονικοποίηση των χρονοσειρών της απορροής έγινε και πάλι επίλυση της εξίσωσης του υδατικού ισοζυγίου για να βρεθούν επιπλέον αποτελέσματα για τη διαφορά της στάθμης, διατηρώντας τις υπόλοιπες παραμέτρους σταθερές ως προς τις προβλέψεις με τις προαναφερθείσες μεθόδους.

Στην περίπτωση της απλής χρονοσειράς των προβλέψεων της απορροής για τις διάφορες μεθόδους, εντυπωσιακό είναι ότι το μεγαλύτερο σφάλμα δεν το δίνει η μέθοδος Naïve, αλλά η μέθοδος Holt (πίνακας 4.32). Ειδικά για το έτος 2010 η μέθοδος Naïve δίνει μηδενικό σφάλμα, πολύ μικρότερο από αυτό των υπόλοιπων μεθόδων. Τελικά καλύτερη από όλες τις μεθόδους προκύπτει η μέθοδος SES, η οποία δίνει αποτελέσματα λίγο μικρότερα από αυτά της μεθόδου Theta.



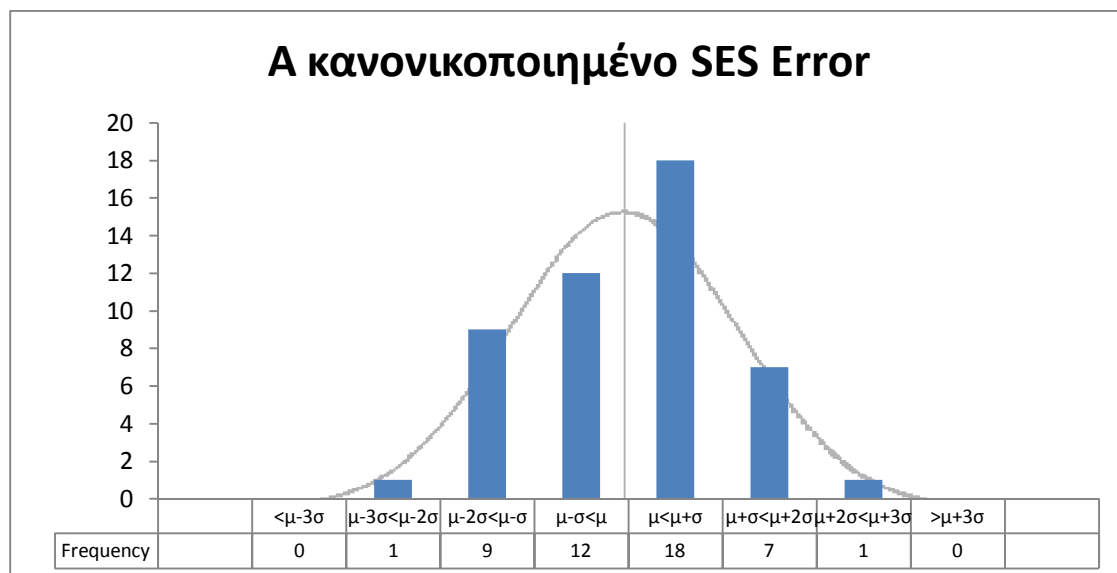
Διάγραμμα 4.32: Η κατανομή των μέσων σφαλμάτων της απορροής της λίμνης Άισελμεερ με τη μέθοδο SES

Από το διάγραμμα των σφαλμάτων της απορροής με τη μέθοδο SES παρατηρείται ότι τα δεδομένα προσαρμόζονται αρκετά καλά στην κανονική κατανομή, με μια απόκλιση της τάξης των 4 μετρήσεων στο διάστημα $\mu-\sigma$ (διάγραμμα 4.32).

	Naïve	SES	Holt	Damped	Theta
ME	1,93E+08	-1,03E+08	-3,68E+08	-1,07E+08	-1,10E+08
MSE	1,33E+17	1,16E+17	3,19E+17	1,17E+17	1,19E+17

Πίνακας 4.32: Τα μέσα σφάλματα των μεθόδων πρόβλεψης της απορροής της λίμνης Άισελμεερ

Η κανονικοποιημένη χρονοσειρά της απορροής δίνει το διάγραμμα 4.33 σφαλμάτων, για τη μέθοδο SES, που προέκυψε ως η καταλληλότερη για τις προβλέψεις αυτής της μεταβλητής (πίνακας 4.33). Στα αποτελέσματα των προβλέψεων παρατηρείται ότι τόσο η μέθοδος Holt όσο και η Naïve ξεφεύγουν αρκετά από τη ροή των υπολοίπων, σε διαφορετικά σημεία η καθεμία. Όσο για την κατανομή, εμφανίζει περίπου τις ίδιες αδυναμίες με τα σφάλματα των απλών δεδομένων της απορροής αλλά εφάπτεται αρκετά καλά στο μοντέλο της κανονικής κατανομής.



Διάγραμμα 4.33: Η κατανομή των μέσων σφαλμάτων των κανονικοποιημένων δεδομένων της απορροής της λίμνης Αισελμεερ με τη μέθοδο SES

	Naïve	SES	Holt	Damped	Theta
ME	0,052626	-0,007383	-0,033209	-0,015319	-0,008300
MSE	0,009516	0,006833	0,008624	0,007088	0,006870

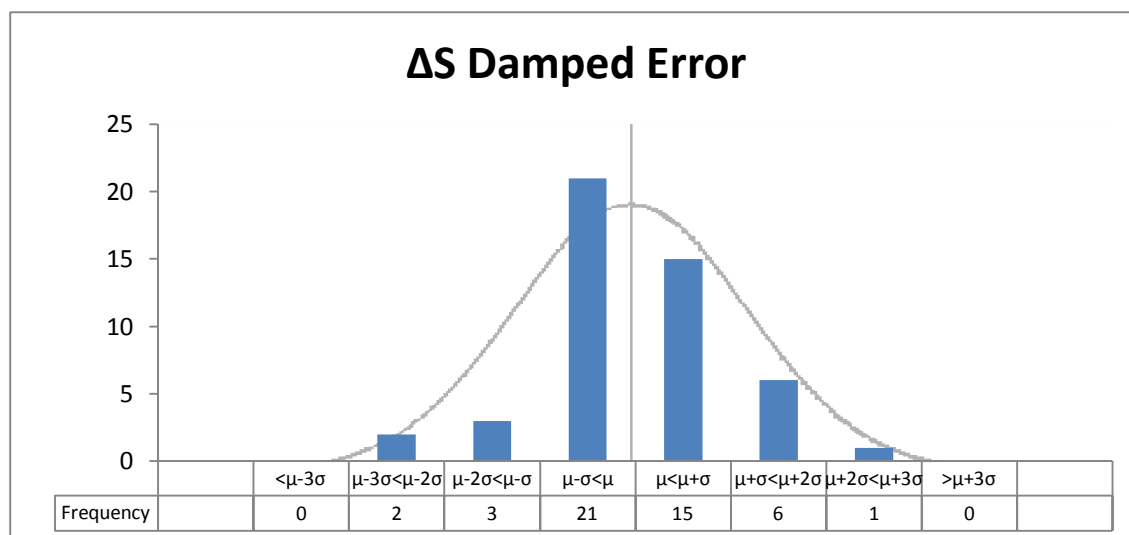
Πίνακας 4.33: Τα μέσα σφάλματα των μεθόδων πρόβλεψης των κανονικοποιημένων δεδομένων της απορροής της λίμνης Αισελμεερ

ΔΙΑΦΟΡΑ ΣΤΑΘΜΗΣ (ΔS)

Το διάγραμμα 4.34 της κατηγορίας αυτής είναι το διάγραμμα των σφαλμάτων της προέκτασης στο χρόνο της απλής χρονοσειράς της διαφοράς της στάθμης για τη λίμνη Άισελμεερ με τη μέθοδο Damped.

	Naïve	SES	Holt	Damped	Theta
ME	0,054	0,112	0,188	0,102	-0,023
MSE	0,026	0,024	0,061	0,023	0,067

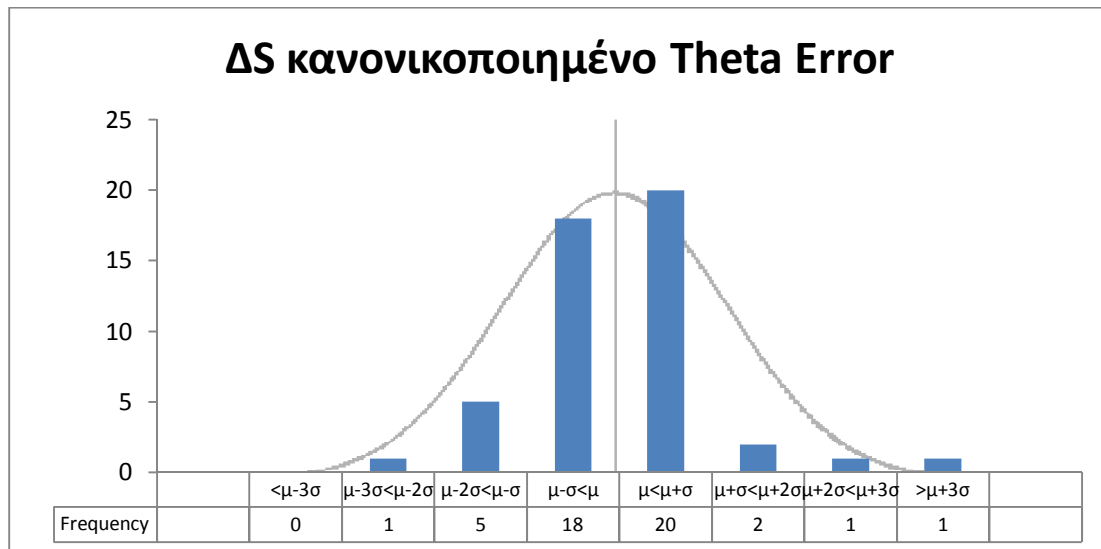
Πίνακας 4.34: Τα μέσα σφάλματα των μεθόδων πρόβλεψης της διαφοράς στάθμης της λίμνης Άισελμεερ



Διάγραμμα 4.34: Η κατανομή των μέσων της διαφοράς στάθμης της λίμνης Άισελμεερ με τη μέθοδο Damped

Φαίνεται αρκετά ευδιάκριτα στο διάγραμμα 4.34 ότι αν και η μέθοδος Damped προσαρμόζεται καλύτερα στα κρυμμένα δεδομένα της τετραετίας αυτής προσαρμόζεται ελάχιστα στην καμπύλη της κανονικής κατανομής. Οι μέθοδοι που αποκλίνουν περισσότερο είναι οι μέθοδοι Holt και Theta για τη διαφορά της στάθμης, γεγονός που προκαλεί εντύπωση (πίνακας 4.34).

Ως προς την κανονικοποιημένη χρονοσειρά, τα δεδομένα των σφαλμάτων που προκύπτουν από τις προβλέψεις της μεθόδου Theta δίνονται στον πίνακα 4.35.



Διάγραμμα 4.35: Η κατανομή των μέσων των κανονικοποιημένων δεδομένων της διαφοράς στάθμης της λίμνης Άισελμεερ με τη μέθοδο Theta

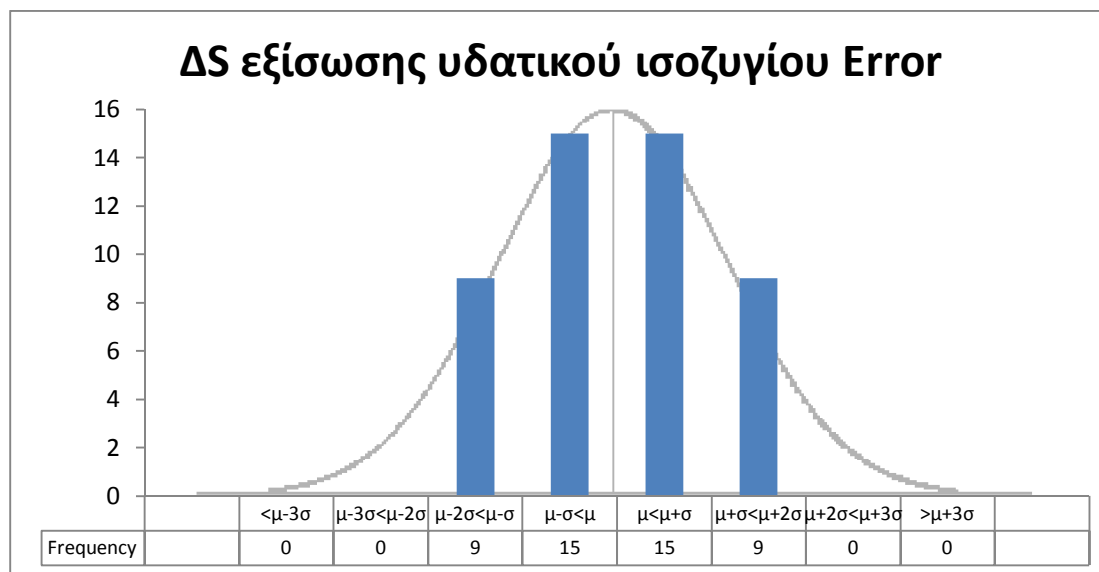
Αντίθετα με την απλή χρονοσειρά της διαφοράς της στάθμης, για την κανονικοποιημένη χρονοσειρά τις μικρότερες τιμές στα σφάλματα δίνει η μέθοδος Theta, ενώ σε αυτή την περίπτωση η μέθοδος Damped δίνει από τα μεγαλύτερα σφάλματα (πίνακας 4.35). Εντυπωσιακό είναι επίσης ότι τα κανονικοποιημένα δεδομένα προσαρμόζονται πολύ καλύτερα από τα απλά στην καμπύλη της κανονικής κατανομής, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα παραπάνω.

	Naïve	SES	Holt	Damped	Theta
ME	-0,0200115	0,0256861	-0,0079324	0,0277068	0,0197852
MSE	0,0053869	0,0054218	0,0058521	0,0055207	0,0051923

Πίνακας 4.35: Τα μέσα σφάλματα των μεθόδων πρόβλεψης των κανονικοποιημένων δεδομένων της διαφοράς στάθμης της λίμνης Άισελμεερ

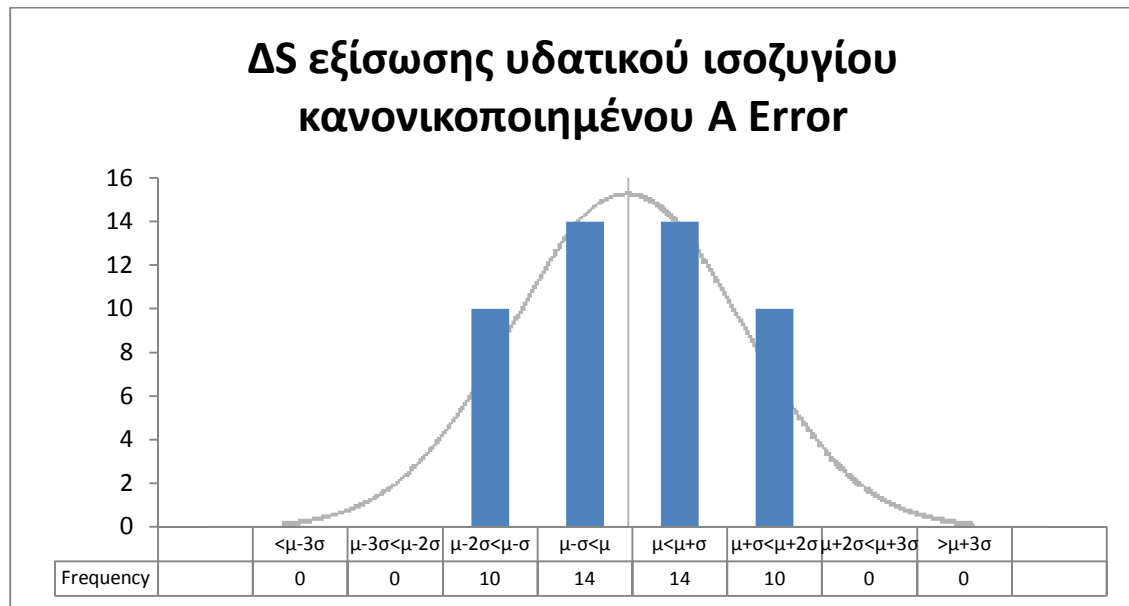
Για τη συνολική εκτίμηση των μεθόδων πρόβλεψης της διαφοράς της στάθμης, που είναι και το μείζον θέμα της παρούσας διπλωματικής εργασίας, απαραίτητη είναι η εκτίμηση των σφαλμάτων της κάθε μεθόδου πρόβλεψης ως προς το τελικό αποτέλεσμα της στάθμης. Όπως προαναφέρθηκε, για τη διαφορά της στάθμης της λίμνης Άισελμεερ και της επόμενης λίμνης, έχει προστεθεί μια επιπλέον χρονοσειρά προβλεπόμενων δεδομένων για τη στάθμη, αυτή της επίλυσης της εξίσωσης του υδατικού ισοζυγίου με προβλέψεις από τα κανονικοποιημένα δεδομένα της απορροής, και επομένως θα υπάρχει ένα παραπάνω διάγραμμα για την επιλογή της καταλληλότερης μεθόδου για την πρόβλεψη της παραμέτρου αυτής.

Στο διάγραμμα 4.36 φαίνεται η συγκέντρωση των σφαλμάτων για την επίλυση της εξίσωσης του υδατικού ισοζυγίου.



Διάγραμμα 4.36: Η κατανομή των μέσων της διαφοράς στάθμης με την επίλυση της εξίσωσης υδατικού ισοζυγίου της λίμνης Άισελμεερ

Παρά το γεγονός ότι η μέθοδος επίλυσης της απλής εξίσωσης του υδατικού ισοζυγίου προσαρμόζεται πάρα πολύ καλά στην καμπύλη της κανονικής κατανομής, δεν είναι η μέθοδος που έδωσε τα καλύτερα αποτελέσματα για τις προβλέψεις της στάθμης τα 4 χρόνια ελέγχου. Αντίστοιχα παρατηρείται και για το συγκεντρωτικό διάγραμμα της επίλυσης της εξίσωσης του υδατικού ισοζυγίου με την κανονικοποιημένη απορροή, ότι υπάρχει πολύ καλή προσαρμογή στην κανονική κατανομή, παρά το γεγονός ότι τα απλά σφάλματα που δίνει συγκεντρώνονται σε εύρος από $\mu-2\sigma$ έως $\mu+2\sigma$ και παρά το ότι τελικά έδωσε τις χειρότερες προβλέψεις.



Διάγραμμα 4.37: Η κατανομή των μέσων της διαφοράς στάθμης με την επίλυση της εξίσωσης υδατικού ισοζυγίου για την κανονικοποιημένη απορροή της λίμνης Άισελμεερ

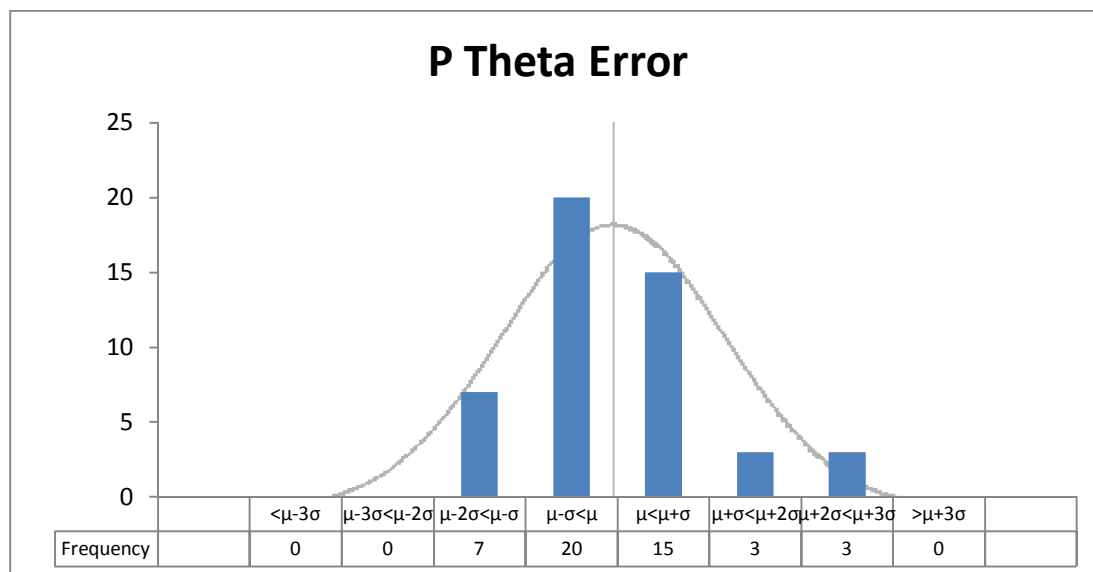
Η μέθοδος που τελικά περιγράφει καλύτερα τα δεδομένα της διαφοράς της στάθμης είναι αυτή της προέκτασης της κανονικοποιημένης χρονοσειράς με τη μέθοδο Theta.

	Εξίσωση υδατικού ισοζυγίου	Μέθοδος πρόβλεψης Holt	Κανονικοποίηση μέθοδος Holt	Εξίσωση υδατικού ισοζυγίου με κανονικοποιημένη απορροή (μέθοδο SES)
ME	0,459092	0,102434	0,034558	0,51361
MSE	0,235707	0,022921	0,015841	0,299073
RMSE	0,485497	0,022921	0,015841	0,546876

Πίνακας 4.36: Τα μέσα σφάλματα των τελικών μεθόδων πρόβλεψης της διαφοράς στάθμης της λίμνης Άισελμεερ

4.4.6 Η λίμνη Γκαόγιου (Κίνα)

ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ (P)



Διάγραμμα 4.38: Η κατανομή των μέσων της βροχόπτωσης της λίμνης Γκαόγιου με τη μέθοδο Theta

Από τις μεθόδους πρόβλεψης για τη χρονοσειρά της βροχόπτωσης της λίμνης Γκαόγιου αυτή που έδωσε το μικρότερο σφάλμα ήταν η μέθοδος Theta (πίνακας 4.37). Στη γενικότερη εικόνα, καμία από τις μεθόδους δεν ακολουθεί κανονική κατανομή, όπως και σχεδόν σε όλες τις λίμνες που έχουν μελετηθεί για την παράμετρο της βροχόπτωσης (διάγραμμα 4.38).

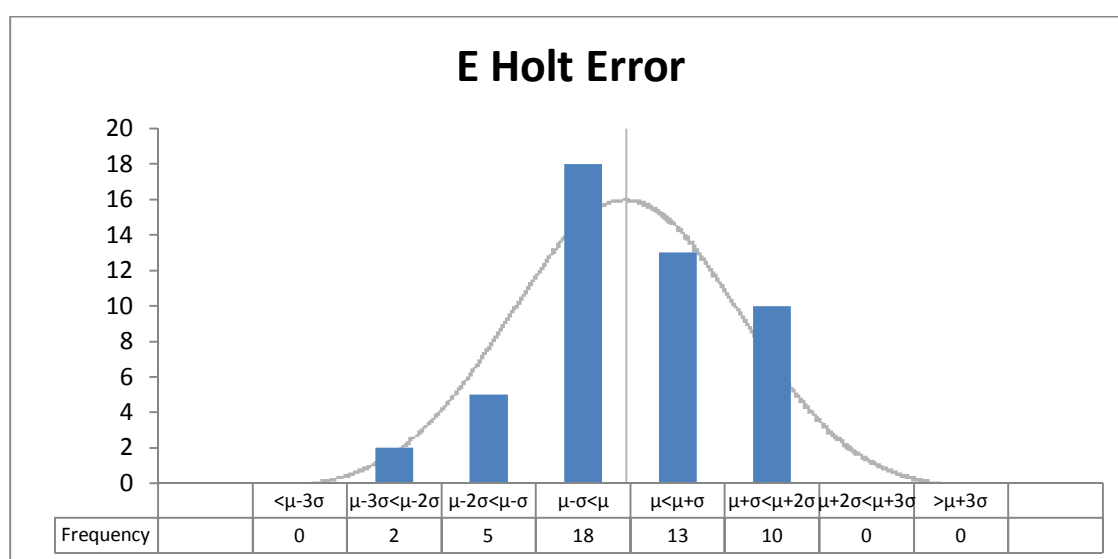
	Naïve	SES	Holt	Damped	Theta
ME	-20,691	14,367	18,555	14,458	11,263
MSE	3335,851	3057,566	3159,559	3059,904	3017,250

Πίνακας 4.37: Τα μέσα σφάλματα των μεθόδων πρόβλεψης της βροχόπτωσης της λίμνης Γκαόγιου

ΕΞΑΤΜΙΣΗ (E)

	Naïve	SES	Holt	Damped	Theta
ME	6,904612E-03	2,919174E-03	1,426287E-03	4,983615E-03	1,998645E-03
MSE	1,896085E-04	1,538651E-04	1,468259E-04	1,677132E-04	1,488207E-04

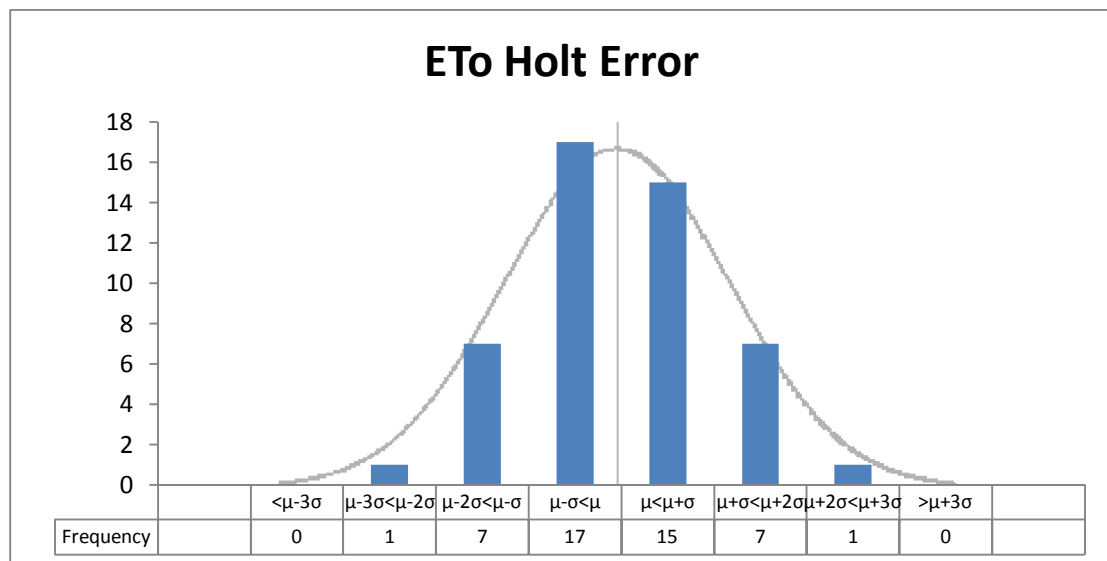
Πίνακας 4.38: Τα μέσα σφάλματα των μεθόδων πρόβλεψης της εξάτμισης της λίμνης Γκαόγιου



Διάγραμμα 4.39: Η κατανομή των μέσων της εξάτμισης της λίμνης Γκαόγιου με τη μέθοδο Holt

Για τα σφάλματα στην εξάτμιση, παρά το γεγονός ότι όλες οι μέθοδοι έδωσαν πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα, για τα έτη 2010 και 2011 η μέθοδος Holt δίνει τις μικρότερες τιμές (πίνακας 4.38). Από το συγκεντρωτικό διάγραμμα των τιμών των σφαλμάτων της, φαίνεται ότι τείνει προς την κανονική κατανομή με αποκλίσεις στα διαστήματα $\mu - 2\sigma$ και $\mu + \sigma$ (διάγραμμα 4.39).

ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗ (ΕΤο)



Διάγραμμα 4.40: Η κατανομή των μέσων της εξατμισοδιαπνοής της λίμνης Γκαόγιου με τη μέθοδο Holt

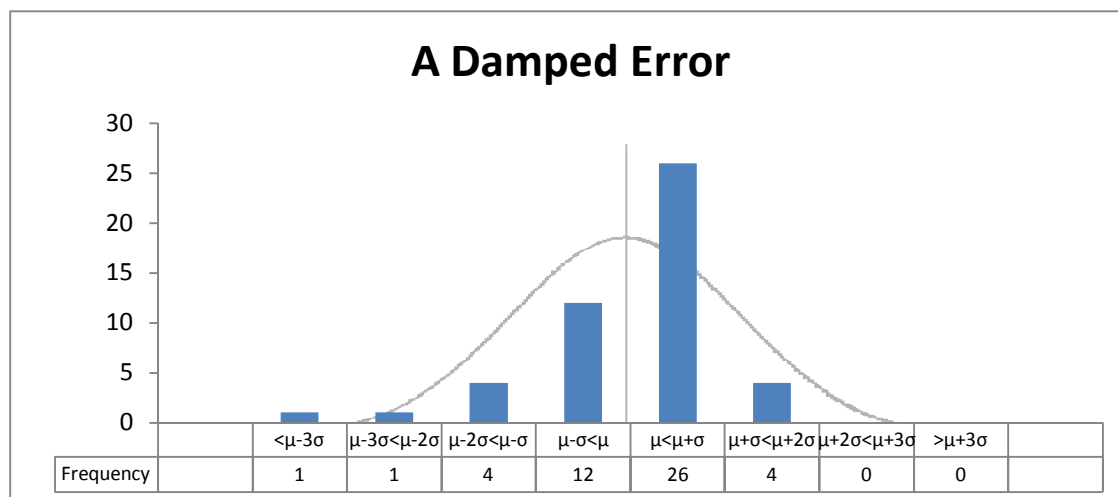
Ομοίως με τα δεδομένα της εξατμησης κινούνται και τα δεδομένα της εξατμισοδιαπνοής, με ακόμα καλύτερη προσαρμογή στην καμπύλη της κανονικής κατανομής και μικρότερες τιμές για τα σφάλματα της μεθόδου Holt (πίνακας 4.39).

	Naïve	SES	Holt	Damped	Theta
ME	0,084	0,110	0,057	0,117	0,071
MSE	0,049	0,054	0,043	0,056	0,045

Πίνακας 4.39: Τα μέσα σφάλματα των μεθόδων πρόβλεψης της εξατμισοδιαπνοής της λίμνης Γκαόγιου

ΑΠΟΡΡΟΗ (Α)

Για την απορροή οι εργασίες έγιναν πάλι σε δύο στάδια, όπως και για την προηγούμενη λίμνη. Στο πρώτο στάδιο των εργασιών, εμφανίζεται το διάγραμμα 4.41 των σφαλμάτων της απλής χρονοσειράς της απορροή.



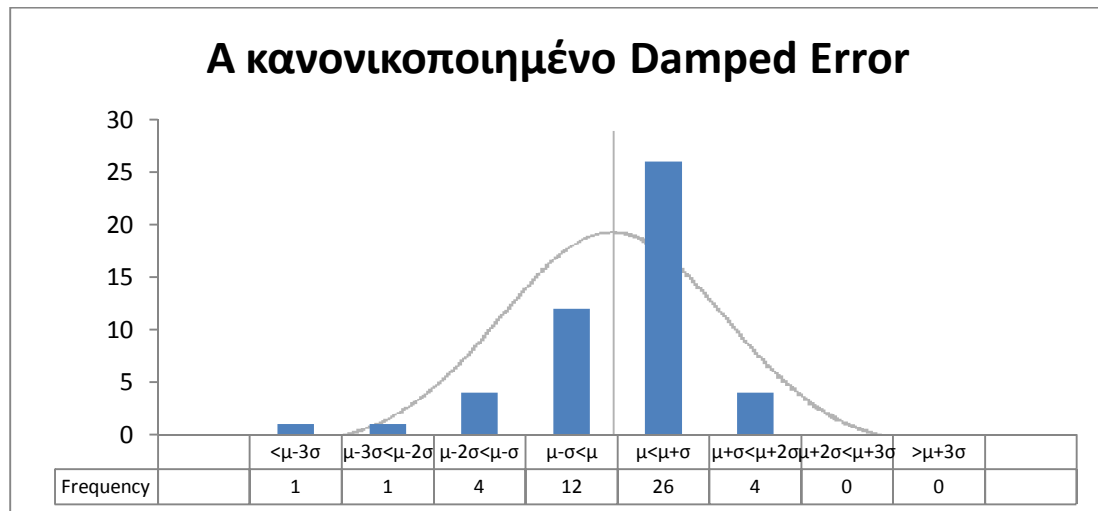
Διάγραμμα 4.41: Η κατανομή των μέσων της απορροής της λίμνης Γκαόγιου με τη μέθοδο Damped

Στην περίπτωση της απλής χρονοσειράς της απορροής τα καλύτερα αποτελέσματα στις προβλέψεις έδωσε η μέθοδος Damped, χωρίς όμως να τείνει σε κανονική κατανομή. Παρόλα αυτά οι τιμές των σφαλμάτων της είναι αρκετά κοντά στις τιμές της μεθόδου Theta (πίνακας 4.40).

	Naïve	SES	Holt	Damped	Theta
ME	-5,28E+08	-2,96E+08	-5,03E+08	-2,95E+08	-3,21E+08
MSE	1,37E+18	1,15E+18	1,32E+18	1,15E+18	1,16E+18

Πίνακας 4.40: Τα μέσα σφάλματα των μεθόδων πρόβλεψης της απορροής της λίμνης Γκαόγιου

Για το δεύτερο στάδιο, της κανονικοποιημένης χρονοσειράς της απορροής, παρουσιάζονται τα δεδομένα των σφαλμάτων στο διάγραμμα 4.42.

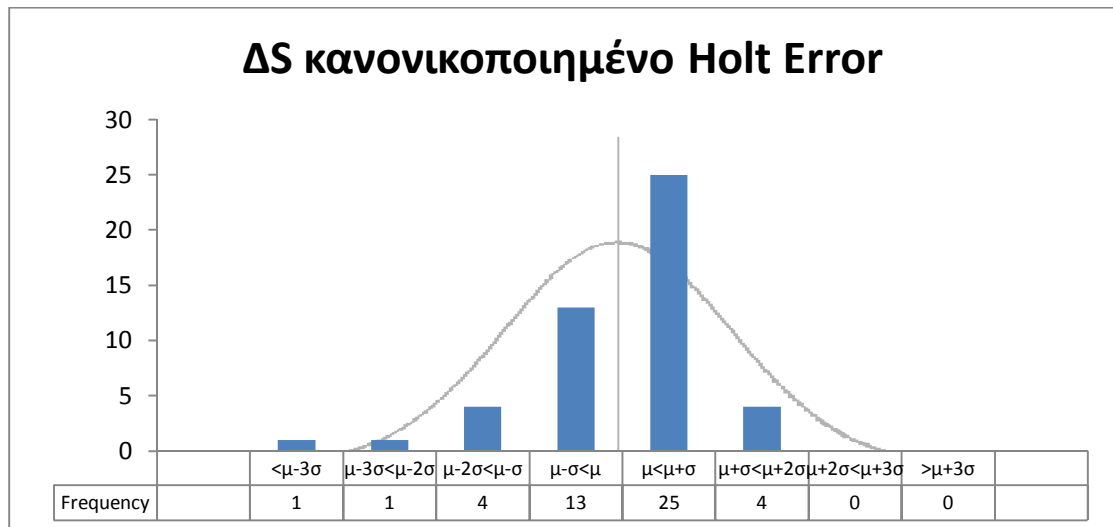


Διάγραμμα 4.42: Η κατανομή των μέσων των κανονικοποιημένων δεδομένων της απορροής της λίμνης Γκαόγιου με τη μέθοδο Damped

Η μέθοδος Damped παρουσιάζει τις μικρότερες αποκλίσεις από τις πραγματικές τιμές της απορροής για τα υδρολογικά έτη 2007-2011, ενώ τα δύο διαγράμματα παρουσιάζονται πανομοιότυπα και ως προς την απόκλιση από την κανονική κατανομή (διάγραμμα 4.42).

	Naïve	SES	Holt	Damped	Theta
ME	-0,10444	-0,04416	-0,06175	-0,04261	-0,04983
MSE	0,04259	0,03341	0,03532	0,03327	0,03393

Πίνακας 4.41: Τα μέσα σφάλματα των μεθόδων πρόβλεψης των κανονικοποιημένων δεδομένων της απορροής της λίμνης Γκαόγιου



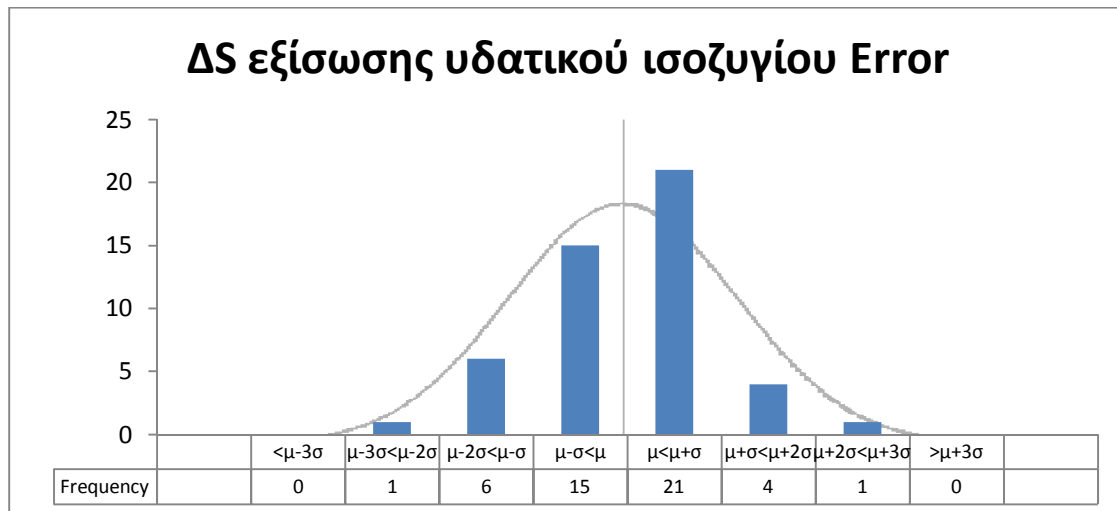
Διάγραμμα 4.44: Η κατανομή των μέσων των κανονικοποιημένων δεδομένων της διαφοράς στάθμης της λίμνης Γκαόγιου με τη μέθοδο Holt

Αντίθετα, η μέθοδος Holt είναι αυτή με τα καλύτερα αποτελέσματα και το μικρότερο τετραγωνικό σφάλμα κατά μήκος των προβλέψεών της, ενώ και πάλι σε καμία από τις μεθόδους τα σφάλματα δε φαίνεται να τείνουν να ακολουθήσουν την κανονική κατανομή (πίνακας 4.43).

	Naïve	SES	Holt	Damped	Theta
ME	-0,1000118	-0,0480705	-0,0228426	-0,0663637	-0,0386081
MSE	0,0292791	0,0217211	0,0199722	0,0237663	0,0209081

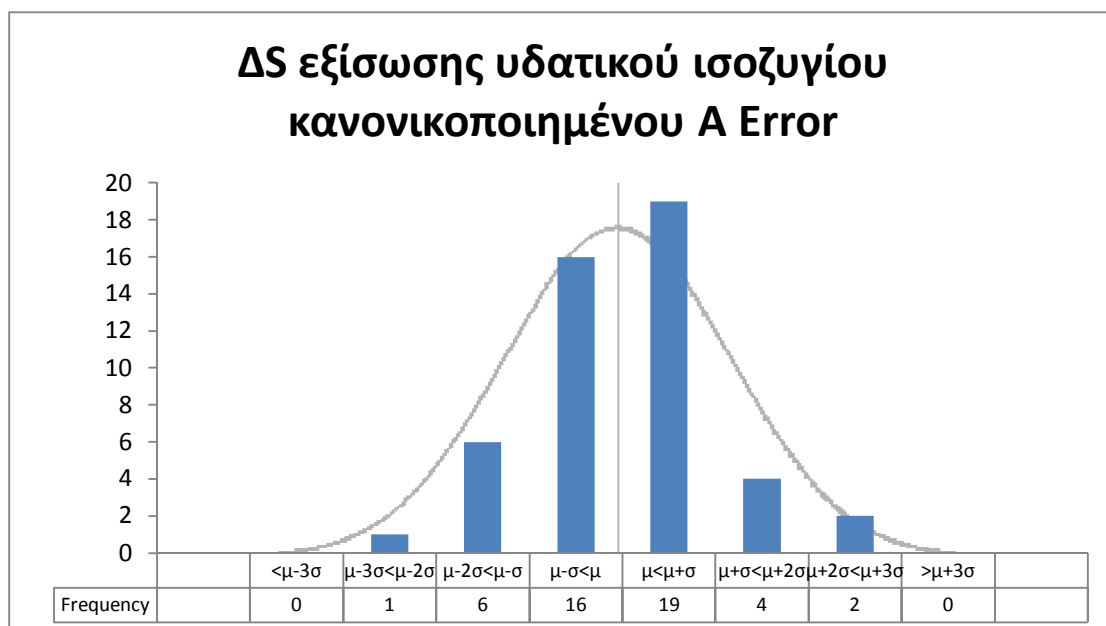
Πίνακας 4.43: Τα μέσα σφάλματα των μεθόδων πρόβλεψης των κανονικοποιημένων δεδομένων της διαφοράς στάθμης της λίμνης Γκαόγιου

Για το τελευταίο στάδιο των επεξεργασιών των δεδομένων της διαφοράς της στάθμης, υπάρχει και εδώ, όπως και στη λίμνη Άισελμεερ, άλλη μια μέθοδο πρόβλεψης για την τελική επιλογή των προβλέψεων στη στάθμη της λίμνης, αυτή της επίλυσης της εξίσωσης του υδατικού ισοζυγίου με την κανονικοποιημένη χρονοσειρά της απορροής. Τα αποτελέσματα των σφαλμάτων τόσο για την απλή επίλυση της εξίσωσης του υδατικού ισοζυγίου όσο και για την επίλυση της εξίσωσης με την κανονικοποιημένη απορροή φαίνονται στο διάγραμμα 4.45.



Διάγραμμα 4.45: Η κατανομή των μέσων της διαφοράς στάθμης με την επίλυση της εξίσωσης του υδατικού ισοζυγίου της λίμνης Γκαόγιου

Τα σφάλματα που δίνει η απλή επίλυση της εξίσωσης του υδατικού ισοζυγίου, όπως φαίνεται, ακολουθούν αρκετά καλά το μοντέλο της κανονικής κατανομής, με ορισμένες ανωμαλίες στη συχνότητα των δεδομένων για τα διαστήματα $\mu-\sigma$ και $\mu+\sigma$ (διάγραμμα 4.45).



Διάγραμμα 4.46: Η κατανομή των μέσων της διαφοράς στάθμης με την επίλυση της εξίσωσης του υδατικού ισοζυγίου με κανονικοποιημένη απορροή της λίμνης Γκαόγιου

Ομοίως και η επίλυση της εξίσωσης υδατικού ισοζυγίου με κανονικοποιημένη απορροή, πλησιάζει πολύ την κανονική κατανομή των δεδομένων, ενώ εδώ οι αποκλίσεις έχουν μετατοπιστεί στο διάστημα $\mu+\sigma$ και $\mu+2\sigma$ (διάγραμμα 4.46).

Από τα αποτελέσματα στο μέσο τετραγωνικό σφάλμα διακρίνεται ξεκάθαρα ότι η καλύτερη μέθοδος πρόβλεψης για τα δεδομένα της διαφοράς της στάθμης στη λίμνη Γκαόγιου είναι η μέθοδος της επίλυσης της απλής εξίσωσης του υδατικού ισοζυγίου, ενώ αμέσως κλύτερη έρχεται η επίλυσή της με τα κανονικοποιημένα δεδομένα απορροής. Τη μεγαλύτερη απόκλιση από τα δεδομένα ελέγχου δίνει η προέκταση της απλής χρονοσειράς της διαφοράς της στάθμης με τη μέθοδο SES (πίνακας 4.44).

	Εξίσωση υδατικού ισοζυγίου	Μέθοδος πρόβλεψης SES	Κανονικοποίηση μέθοδος Holt	Εξίσωση υδατικού ισοζυγίου με κανονικοποιημένα απορροή (μέθοδο Damped)
ME	0,028521	-0,44451	0,285884	0,054649
MSE	0,711284	0,934265	0,832987	0,756685
RMSE	0,843377	0,966574	0,912681	0,869877

Πίνακας 4.44: Τα μέσα σφάλματα των τελικών μεθόδων της διαφοράς στάθμης της λίμνης Γκαόγιου

4.5 Συμπεράσματα

Από την εκτενή ανάλυση των σφαλμάτων που προηγήθηκε είναι εμφανές ότι ανάλογα με το είδος της παραμέτρου και την περιοχή μελέτης διαφορετική μέθοδος πρόβλεψης προσαρμόζεται καλύτερα στην κάθε περίπτωση.

Συγκεντρωτικά, όπως φαίνεται και από τον πίνακα 4.45, ισχύει ότι για την παράμετρο της βροχόπτωσης γίνεται δύο φορές χρήση της μεθόδου Theta, δύο της μεθόδου Damped, μία της μεθόδου Holt και μία της μεθόδου SES, ενώ η μέθοδος Naïve δεν έχει επιλεγεί σε καμία περίπτωση. Για τα δεδομένα της εξάτμισης, έχει επιλεγεί, αντίστοιχα, δύο φορές η μέθοδος Naïve όπως και η μέθοδος Holt, ενώ οι μέθοδοι Theta και SES από μία φορά έκαστη. Στην περίπτωση της εξάτμισης η μέθοδος που δεν εμφανίστηκε κατάλληλη σε καμία περίπτωση ήταν η μέθοδος Damped. Η εξατμισοδιαπνοή προβλέφθηκε σε τέσσερις περιπτώσεις με τη μέθοδο Holt, γεγονός που ερμηνεύεται από τη σταθερή τάση που εμφανίζεται στις περισσότερες περιπτώσεις στις χρονοσειρές της. Για δύο μόνο από τις λίμνες (Αργκάιλ – Αυστραλία, Άϊσελμεερ – Ολλανδία) έγινε χρήση των μεθόδων Naïve και Theta, αντίστοιχα. Για τα δεδομένα της απορροής χρησιμοποιήθηκε μία φορά η μέθοδος Naïve, μία η μέθοδος Theta, ενώ από δύο φορές έκαστη χρησιμοποιήθηκαν οι μέθοδοι SES και Damped. Στην περίπτωση της απορροής η μέθοδος που δεν επιλέχθηκε για να δώσει προβλέψεις ήταν η μέθοδος Holt. Για την απλή προέκταση των χρονοσειρών της διαφοράς στάθμης, επιλέχθηκαν από δύο φορές έκαστη οι μέθοδοι Damped, SES και Holt. Όπως και ήταν αναμενόμενο, η μέθοδος Naïve δε χρησιμοποιήθηκε σε καμία λίμνη, γεγονός που οφείλεται στην έντονη ανωμαλία που παρουσιάζεται στα δεδομένα διαφοράς στάθμης (διάγραμμα 3.4). Τέλος, για την τελική επιλογή της καταλληλότερης μεθόδου πρόβλεψης της διαφοράς στάθμης των ταμιευτήρων τα καλύτερα αποτελέσματα εξάχθηκαν σε τρεις περιπτώσεις από προέκταση των κανονικοποιημένων δεδομένων διαφοράς στάθμης, με την αντίστοιχη

μέθοδο πρόβλεψης κάθε φορά, και σε άλλες τρεις περιπτώσεις από την επίλυση της εξίσωσης του υδατικού ισοζυγίου.

Στο 5^ο κεφάλαιο που ακολουθεί, έχοντας υπόψη τη φύση της κάθε μεθόδου πρόβλεψης και σε ποιες περιπτώσεις προσαρμόζεται καλύτερα η κάθε μία, φαίνεται από το συγκεντρωτικό διάγραμμα της κάθε παραμέτρου η τάση σύμφωνα με την οποία επιλέγονται οι αντίστοιχες μέθοδοι. Σε ορισμένες περιπτώσεις οι αποκλίσεις των μεθόδων είναι αδύνατο να συγκριθούν οπτικά και για το λόγο αυτό γίνεται στο παρόν κεφάλαιο ανάλυση ευαισθησίας των σφαλμάτων, ώστε να παρουσιαστεί η σύγκριση αναλυτικά.

Τέλος, να αναφερθεί ότι, όπως φαίνεται και στον πίνακα 4.45, οι τελικές επιλογές μεθόδων διαφέρουν για την κάθε λίμνη. Μοναδική εξαίρεση αποτελούν οι λίμνες Σαν Ροκέ (Αργεντινή) και Γκαόγιου (Κίνα), για τις οποίες συμπίπτουν οι μέθοδοι πρόβλεψης για τις τέσσερις από τις πέντε παραμέτρους.

	Αυστραλία - Αργκάιλ	Αφρική - Βόλτα	ΗΠΑ - Σάλτον Σι	Αργεντινή - Σαν Ροκέ	Ολλανδία - Άισελμεερ	Κίνα - Γκαόγιου
Βροχόπτωση	Theta	Holt	SES	Damped	Damped	Theta
Εξάτμιση	Naïve	Theta	SES	Holt	Naïve	Holt
Εξατμισοδιαπνοή	Naïve	Holt	Holt	Holt	Theta	Holt
Απορροή	Naïve	Theta	SES	Damped	SES	Damped
Κανονικοποιημένη Απορροή	-	-	-	-	SES	Damped
Διαφορά Στάθμης	SES	Damped	Holt	Holt	Damped	SES
Κανονικοποιημένη Διαφορά Στάθμης	Theta	SES	Holt	Holt	Theta	Holt
Τελική Επιλογή Διαφοράς Στάθμης	Κανονικοποιημένη Theta	Εξίσωση Υδατικού Ισοζυγίου	Κανονικοποιημένη Holt	Εξίσωση Υδατικού Ισοζυγίου	Κανονικοποιημένη Theta	Εξίσωση Υδατικού Ισοζυγίου

Πίνακας 4.45: Οι μέθοδοι πρόβλεψης της κάθε παραμέτρου για την κάθε λίμνη συγκεντρωτικά.

Κεφάλαιο 5

Προβλέψεις για τις Περιοχές Μελέτης

5. Προβλέψεις για τις Περιοχές Μελέτης

5.1 Η Διαδικασία των Προβλέψεων

Για να καταλήξουν τα αρχικά δεδομένα της κάθε λίμνης στο επιθυμητό αποτέλεσμα των προβλέψεων, ήταν απαραίτητη μια διαδικασία επεξεργασίας των δεδομένων. Οι διαδικασίες διαχωρίστηκαν σε δύο επίπεδα, αυτό της αξιολόγησης των μεθόδων πρόβλεψης για την κάθε χρονοσειρά της κάθε λίμνης ξεχωριστά, και σε δεύτερη φάση της ίδιας της πρόβλεψης της κάθε παραμέτρου και της συνολικής επίλυση του προβλήματος με βάση τη δοσμένη εξίσωση υδατικού ισοζυγίου.

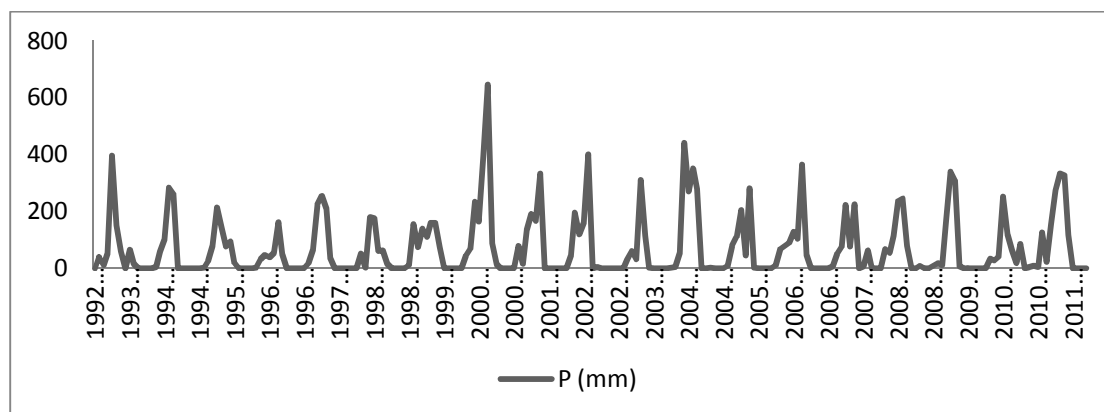
Κατά την πρώτη φάση, έγινε αρχικά εισαγωγή των δεδομένων της κάθε χρονοσειράς μέχρι και για το υδρολογικό έτος 2006-2007 στο πρόγραμμα RStudio. Για κάθε χρονοσειρά ο κώδικας υπολόγισε για την κάθε μέθοδο πρόβλεψης τα μεγέθη των παραμέτρων και μαζί με τις πραγματικές τιμές της περιόδου αυτής. Με κριτήριο το μέσο τετραγωνικό σφάλμα ($mse - mean\ square\ error$) επιλέχθηκε για την κάθε χρονοσειρά η μέθοδος που προσαρμόστηκε καλύτερα στα δεδομένα της και επομένως δίνει το μικρότερο μέσο τετραγωνικό σφάλμα για τις τιμές των υδρολογικών ετών 2007-2011.

Στη δεύτερη φάση, γνωρίζοντας την καλύτερη μέθοδο πρόβλεψης για την κάθε παράμετρο, έγινε εισαγωγή όλων των δεδομένων της κάθε παραμέτρου στο πρόγραμμα RStudio και αυτή τη φορά τα αποτελέσματα των προβλέψεων αφορούσαν τα υδρολογικά έτη 2011-2015. Να σημειωθεί ότι και στις δύο φάσεις ο ορίζοντας πρόβλεψης παρέμεινε ο ίδιος, για 48 δηλαδή περιόδους, όπως επίσης και το χρονικό βήμα στην κλίμακα του ενός μήνα. Με βάση τα αποτελέσματα της κάθε χρονοσειράς για την καλύτερη μόνο μέθοδο, με βάση την ανάλυση που προηγήθηκε στο κεφάλαιο 4, βρέθηκαν οι προβλέψεις για τα ζητούμενα υδρολογικά έτη και στη συνέχεια έγινε εισαγωγή τους στην εξίσωση υδατικού ισοζυγίου, από όπου και υπολογίστηκε η ζητούμενη διαφορά στάθμης. Παράλληλα με την εξίσωση υδατικού ισοζυγίου, δεδομένα για τη διαφορά της στάθμης του κάθε ταμιευτήρα υπάρχουν και από την προέκταση της ίδιας της χρονοσειράς ΔS , αφού οι διαδικασίες που αναφέρθηκαν παραπάνω έγιναν για όλες τις διαθέσιμες χρονοσειρές του κάθε ταμιευτήρα. Επομένως, στο τέλος των διαδικασιών έγινε και σύγκριση των δύο μοντέλων για την εγκυρότητα των αποτελεσμάτων τους.

5.2 Η λίμνη Αργκάιλ (Αυστραλία)

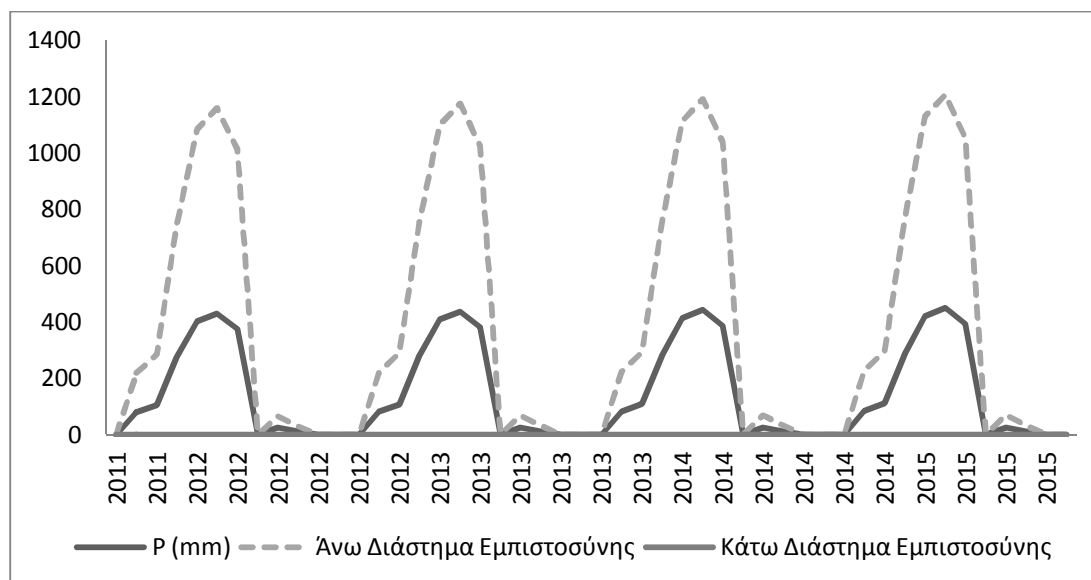
5.2.1 Βροχόπτωση (P)

Για τη λίμνη Αργκάιλ παρατηρείται από το διάγραμμα 5.1 της βροχόπτωσης των δεδομένων για τα υδρολογικά έτη 1992-2011 μια ελαφρά άνοδο της αθροιστικής μηνιαίας βροχόπτωσης, για τους μήνες Οκτώβρη-Απρίλη.



Διάγραμμα 5.1: Τα δεδομένα της βροχόπτωσης για τα υδρολογικά έτη 1992-2011 της λίμνης Αργκάιλ

Με κρυμμένα, τώρα, τα δεδομένα για τα 4 τελευταία υδρολογικά έτη, η μέθοδος που έδωσε το μικρότερο μέσο τετραγωνικό σφάλμα ως προς τις πραγματικές τιμές της περιόδου αυτής ήταν η μέθοδος Theta (διάγραμμα 5.2).

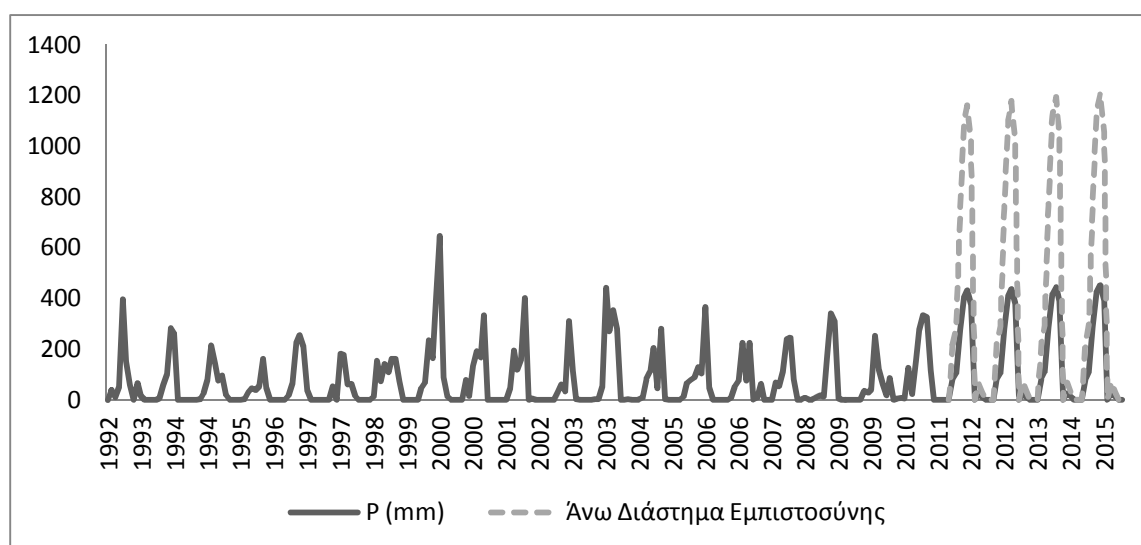


Διάγραμμα 5.2: Οι προβλέψεις της βροχόπτωσης και τα διαστήματα εμπιστοσύνης για τα υδρολογικά έτη 2011-2015 της μεθόδου Theta για τη λίμνη Αργκάιλ

Το πρόβλημα με τις τιμές της βροχόπτωσης για τη συγκεκριμένη λίμνη ήταν η παρουσία πολλών μηδενικών τιμών, λόγω της έντονης ξηρασίας της περιοχής κατά τους υπόλοιπους μήνες. Για παράδειγμα, η μέθοδος Naïve έδωσε μόνο μηδενικές τιμές στις προβλέψεις της, ενώ η μέθοδος Holt ένα σφάλμα διπλάσιο από τις υπόλοιπες μεθόδους.

Ένα άλλο σημείο που αξίζει να αναφερθεί αφορά τα διαστήματα εμπιστοσύνης. Δεδομένου ότι για το κάτω διάστημα εμπιστοσύνης ως αποτέλεσμα εμφανίστηκαν διαστήματα με αρνητικές τιμές, οι οποίες δεν έχουν κάποια φυσική σημασία για την παράμετρο της βροχόπτωσης, οι τιμές αυτές μηδενίστηκαν και τελικά η ευθεία αναπαράστασης του κάτω διαστήματος συνέπεσε με τον άξονα χ. Η τελική πρόβλεψη της βροχόπτωσης για τη λίμνη Αρκάιλ έγινε, επομένως, με τη μέθοδο Theta, ενώ τα τελικά αποτελέσματα, τα οποία φαίνονται στο διάγραμμα 5.3, συμφωνούν με την αρχική παρατήρηση ως προς την ανοδική τάση της.

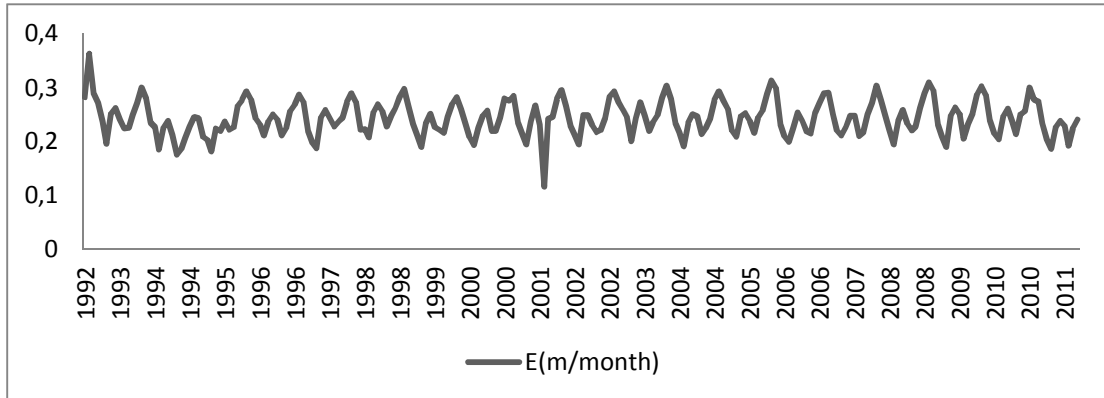
Τέλος, να σημειωθεί ότι στο διάγραμμα 5.3 που ακολουθεί απεικονίζεται η συνολική χρονοσειρά της βροχόπτωσης, μαζί με της παραγόμενες προβλέψεις και τα αντίστοιχα διαστήματα εμπιστοσύνης. Το σημείο του διαγράμματος από όπου ξεκινάει η διακοπτόμενη καμπύλη είναι το σημείο του χρονικού ορίζοντα από όπου ξεκινάνε οι προβλέψεις και τα διαστήματα εμπιστοσύνης.



Διάγραμμα 5.3: Τα τελικά δεδομένα της βροχόπτωσης για τα υδρολογικά έτη 1992-2015 της λίμνης Αρκάιλ

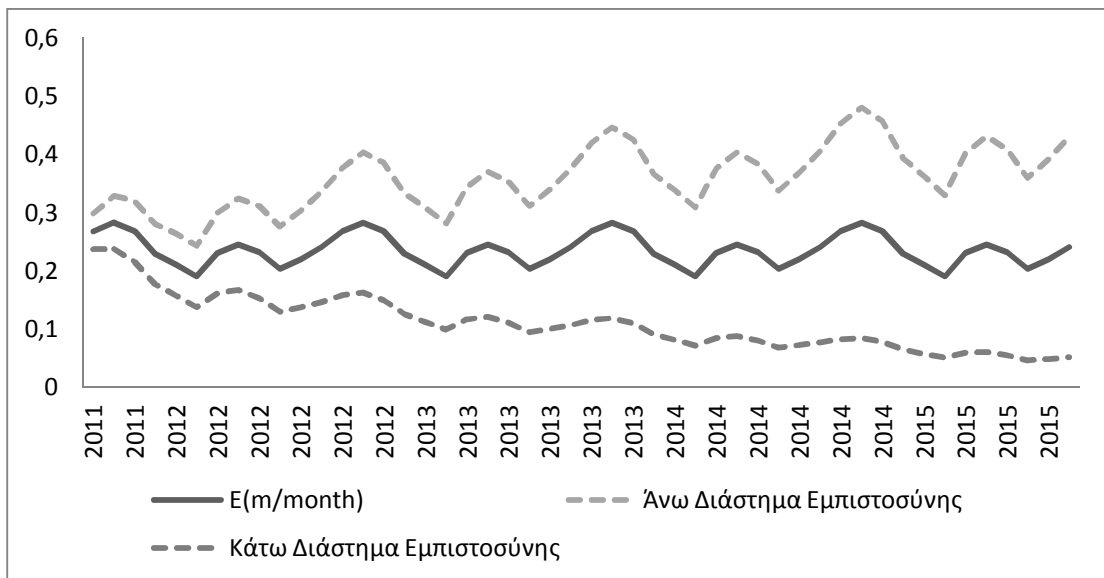
5.2.2 Εξάτμιση (E)

Για την εξάτμιση της λίμνης Αργκάιλ παρατηρείται μια σταθερή πορεία, με μέγιστες τιμές κατά τους μήνες Σεπτέμβρη-Νοέμβρη και ελάχιστες για τους μήνες Ιανουάριος-Φεβρουάριος (διάγραμμα 5.4).



Διάγραμμα 5.4: Τα δεδομένα της εξάτμισης για τα υδρολογικά έτη 1992-2011 της λίμνης Αργκάιλ

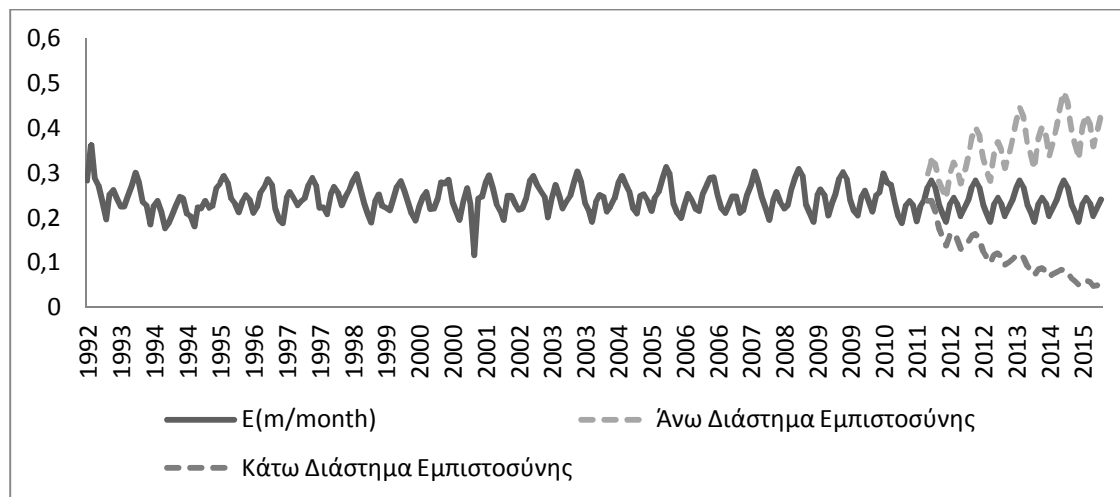
Μετά την επεξεργασία των δεδομένων από το RStudio, η μέθοδος που ξεχώρισε για το μικρότερο σφάλμα της ήταν η μέθοδος Naïve. Κάτι τέτοιο ήταν αναμενόμενο, δεδομένου ότι αν αφαιρεθεί η εποχιακότητα, οι τιμές σε γενικές γραμμές φαίνεται να κινούνται γύρω από μια οριζόντια ευθεία γραμμή (διάγραμμα 5.5).



Διάγραμμα 5.5: Οι προβλέψεις της εξάτμισης και τα διαστήματα εμπιστοσύνης για τα υδρολογικά έτη 2011-2015 της μεθόδου Naïve για τη λίμνη Αργκάιλ

Όπως και στα δεδομένα της βροχόπτωσης για τη συγκεκριμένη λίμνη, η μέθοδος με το μεγαλύτερο σφάλμα ήταν η μέθοδος Holt. Αυτό οφείλεται στην υπερεκτίμηση που

χαρακτηρίζει τη μέθοδο αυτή ως προς τις αρχικές τιμές της χρονοσειράς, οι οποίες, όπως φαίνεται και από τα διαγράμματα 5.4 και 5.6, είναι αρκετά υψηλές, λόγω της ύπαρξης ίσως κάποιου ακραίου φαινομένου για τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Τελικά οι τιμές της εξάτμισης για τον οριζοντα πρόβλεψης κινούνται όπως φαίνεται στο διάγραμμα 5.6:

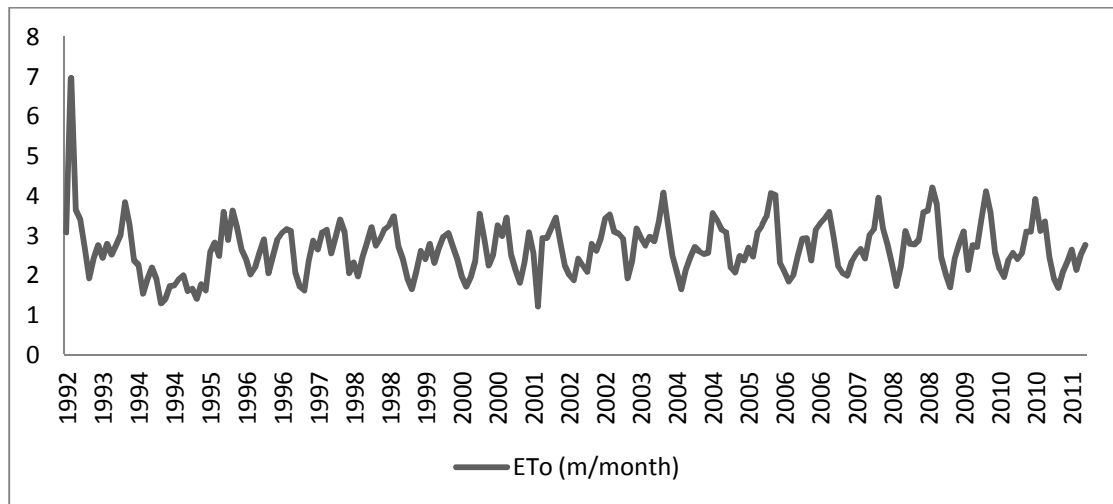


Διάγραμμα 5.6: Τα τελικά δεδομένα της εξάτμισης για τα υδρολογικά έτη 1992-2015 της λίμνης Αργκάιλ

Παρατηρείται ότι εκτός από τα δύο ακραία φαινόμενα που εμφανίζονται τα έτη 1992 και 2001 οι τιμές κινούνται ομαλά. Για το ενδεχόμενο όμως επανεμφάνισης τέτοιων φαινομένων, προσαρμόστηκε ανάλογα και το διάστημα εμπιστοσύνης, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα.

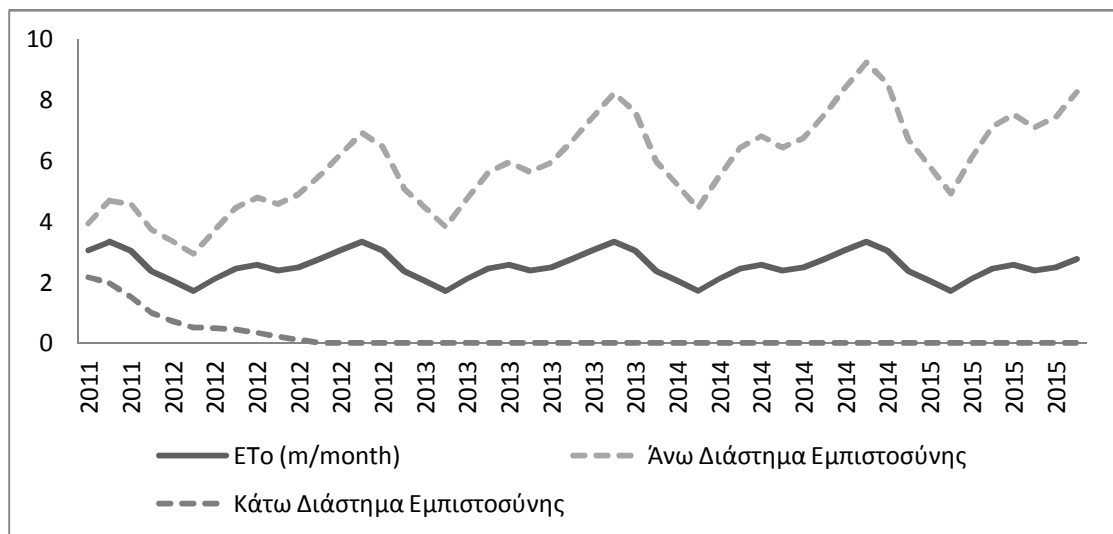
5.2.3 Εξατμισοδιαπνοή (ΕΤο)

Σχεδόν αντίστοιχα με την εξάτμιση κινείται και η εξατμισοδιαπνοή για τη λίμνη Αρκάιλ, σε λίγο μεγαλύτερη όμως μηνιαία κλίμακα τιμών. Όπως φαίνεται και στο διάγραμμα 5.7, το ακραίο φαινόμενο του υδρολογικού έτους 1992-1993 παραμένει και επηρεάζει και την εξατμισοδιαπνοή, ενώ η γενικότερη ροή των τιμών κινείται και πάλι σε μία νοητή οριζόντια ευθεία, αν αφαιρεθεί ο δείκτης της εποχιακότητας.



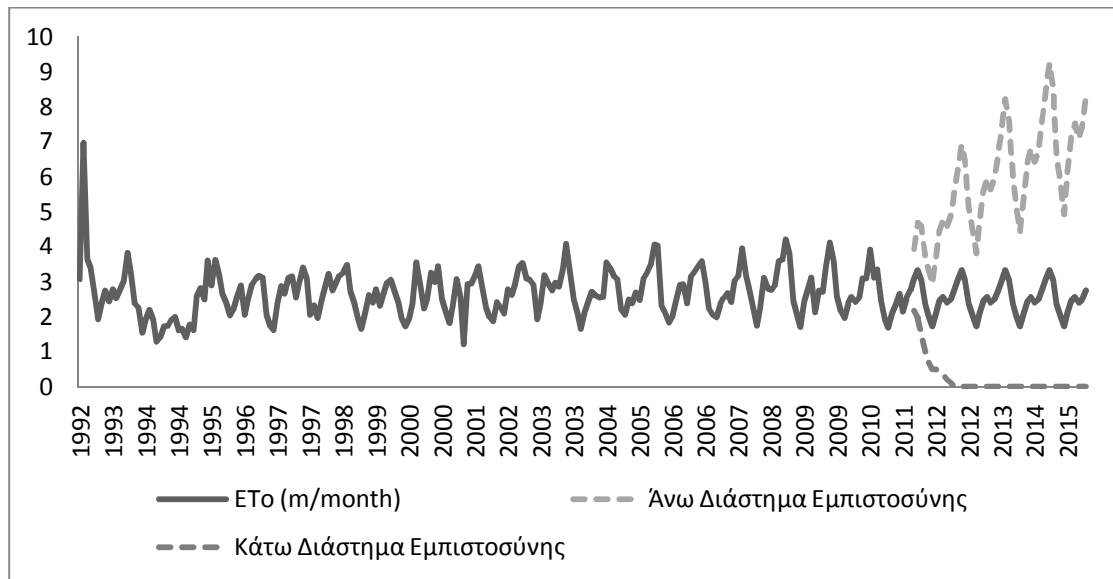
Διάγραμμα 5.7: Τα δεδομένα της εξατμισοδιαπνοής για τα υδρολογικά έτη 1992-2011 της λίμνης Αργκάιλ

Επομένως, αντίστοιχα κι εδώ, μετά την επεξεργασία των τιμών με όλες τις μεθόδους, ξεχώρισε και πάλι η μέθοδος Naïve, δίνοντας το μικρότερο σφάλμα, ενώ η μέθοδος Holt εξακολούθησε να δίνει το μεγαλύτερο.



Διάγραμμα 5.8: Οι προβλέψεις της εξατμισοδιαπνοής και τα διαστήματα εμπιστοσύνης για τα υδρολογικά έτη 2011-2015 της μεθόδου Naïve για τη λίμνη Αργκάιλ

Οι υπόλοιπες τρεις μέθοδοι που εφαρμόστηκαν, SES, Damped, Theta, δίνουν μια αρκετά καλή προσέγγιση της πραγματικότητας, αλλά η απόκλισή τους από την πραγματικότητα είναι λίγο μεγαλύτερη από αυτή της μεθόδου Naïve, η οποία και εφαρμόστηκε για τις τελικές προβλέψεις. Ομοίως με τα δεδομένα για το διάστημα εμπιστοσύνης της βροχόπτωσης, έτσι κι εδώ χρειάστηκε να μηδενιστούν οι τιμές από το υδρολογικό έτος 2012-2013 και μετά διότι αρνητικές τιμές στην εξατμισοδιαπνοή δεν έχουν κάποια φυσική σημασία.

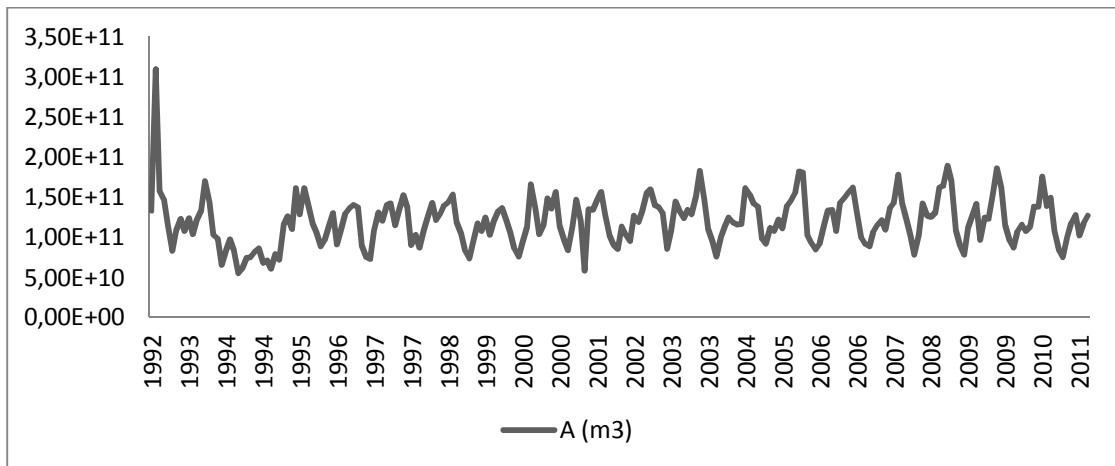


Διάγραμμα 5.9: Τα τελικά δεδομένα της εξατμισοδιαπνοής για τα υδρολογικά έτη 1992-2015 της λίμνης Αργκάλι

Ομοίως με την εξάτμιση και εδώ παρατηρείται ένα διάστημα εμπιστοσύνης των προβλέψεων αρκετά ευρύ ώστε να καλύψει τυχόν ακρότητες που μπορεί να εμφανιστούν μελλοντικά, όπως εμφανίστηκαν και στην αρχή της χρονοσειράς (διάγραμμα 5.9).

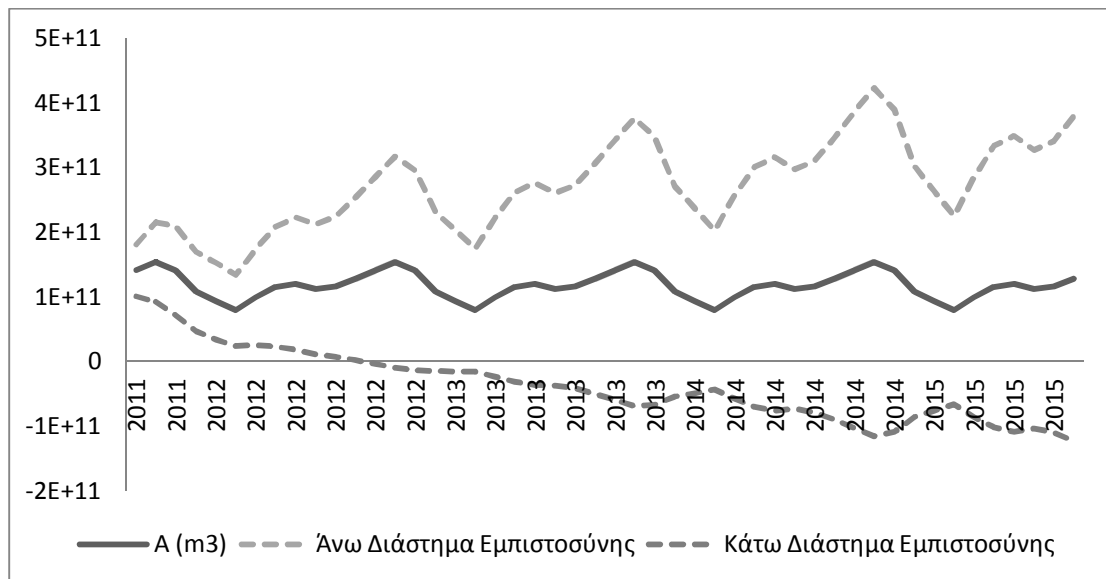
5.2.4 Απορροή (Α)

Τα δεδομένα της απορροής για το συγκεκριμένο ταμιευτήρα παρατηρείται ότι κινούνται σε μεγάλο βαθμό όπως η καμπύλη της εξατμισοδιαπνοής (διάγραμμα 5.10). Αυτό θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως αρκετά αναμενόμενο, δεδομένου ότι η χρονοσειρά της απορροής υπολογίζεται από τα υπόλοιπα διαθέσιμα δεδομένα, βροχόπτωσης, εξάτμισης, εξατμισοδιαπνοής και διαφοράς στάθμης (για τη συγκεκριμένη λίμνη διαφορά όγκου), μέσω της εξίσωσης υδατικού ισοζυγίου, με διαφορετικά βάρη στην κάθε παράμετρο. Η παράμετρος με το μεγαλύτερο βάρος είναι αυτή της εξατμισοδιαπνοής, δεδομένου ότι δρα σε όλη την έκταση της λεκάνης απορροής του ταμιευτήρα, η οποία και είναι συνήθως τουλάχιστον διπλάσια σε έκταση από την έκταση του ίδιου του ταμιευτήρα.



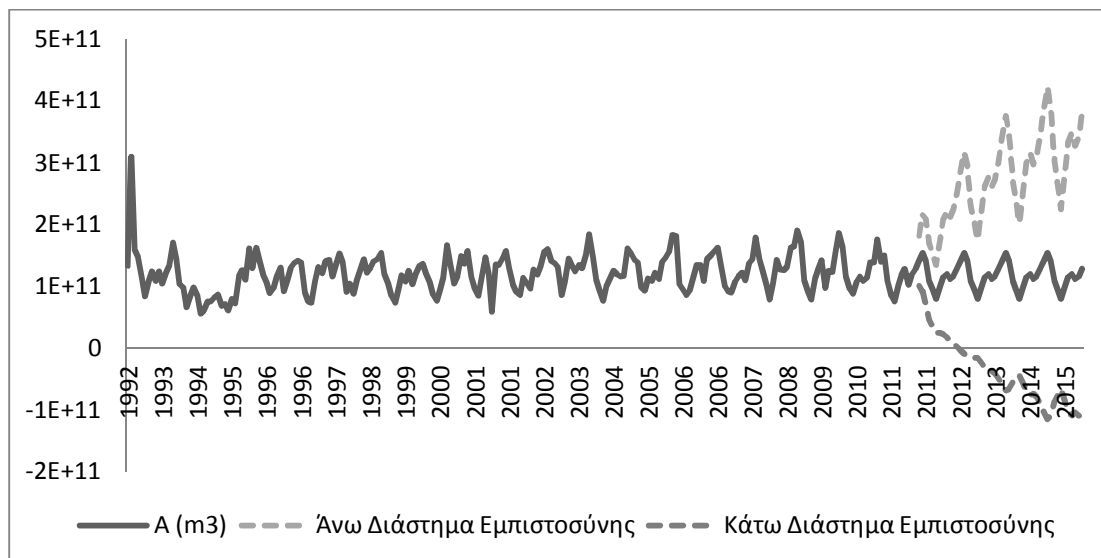
Διάγραμμα 5.10: Τα δεδομένα της απορροής για τα υδρολογικά έτη 1992-2011 της λίμνης Αργκάιλ

Επομένως, αντίστοιχα αναμενόμενο ήταν η μέθοδος που θα προσαρμοστεί καλύτερα στα δεδομένα της απορροής να είναι και πάλι η μέθοδος Naïve, που χρησιμοποιήθηκε τόσο για τα δεδομένα της εξάτμισης, όσο και της εξατμισοδιαπνοής για τη λίμνη Αργκάιλ, ενώ για άλλη μια φορά η μέθοδος με τη μεγαλύτερη απόκλιση ήταν η Holt.



Διάγραμμα 5.11: Οι προβλέψεις της απορροής και τα διαστήματα εμπιστοσύνης για τα υδρολογικά έτη 2011-2015 της μεθόδου Naïve για τη λίμνη Αργκάιλ

Παρατηρείται, επίσης, ότι ενώ η μέθοδος Naïve δεν προσαρμόζεται στο μέγιστο βαθμό στις προϋπάρχουσες ανωμαλίες της χρονοσειράς, δίνει και πάλι το μικρότερο σφάλμα συγκριτικά με άλλες μεθόδους, όπως η Theta, η οποία τείνει να προσαρμοστεί πολύ καλύτερα στις τοπικές καμπυλότητες (διάγραμμα 5.11).

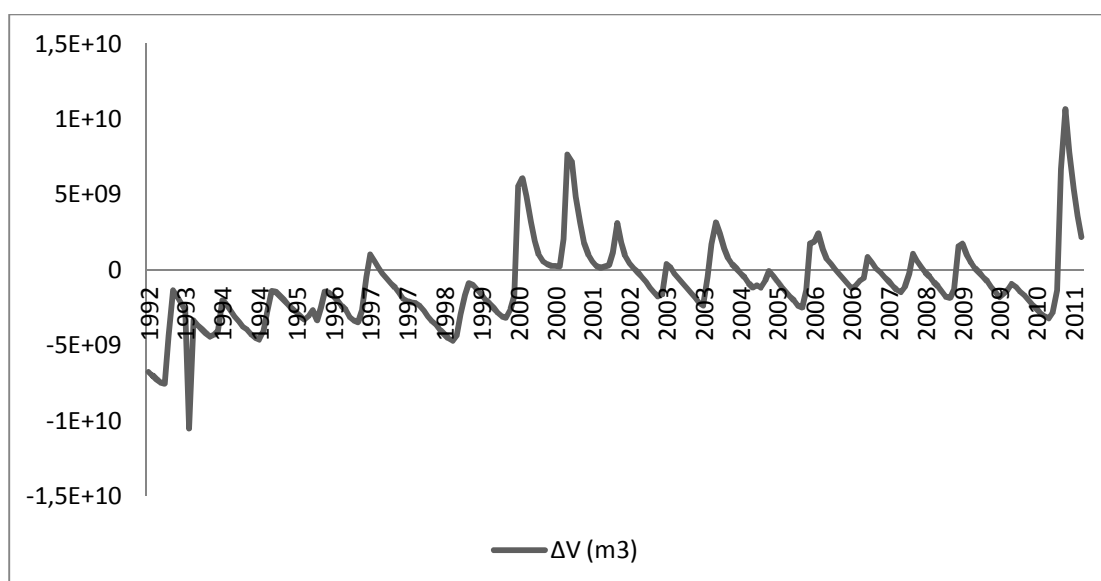


Διάγραμμα 5.12: Τα τελικά δεδομένα της απορροής για τα υδρολογικά έτη 1992-2015 της λίμνης Αργκάιλ

Τέλος, παρατηρείται και εδώ ένα διάστημα εμπιστοσύνης αντίστοιχου εύρους, το οποίο περιλαμβάνει και τις πιθανές ακρότητες (διάγραμμα 5.12).

5.2.5 Διαφορά Όγκου Ταμιευτήρα (ΔV)

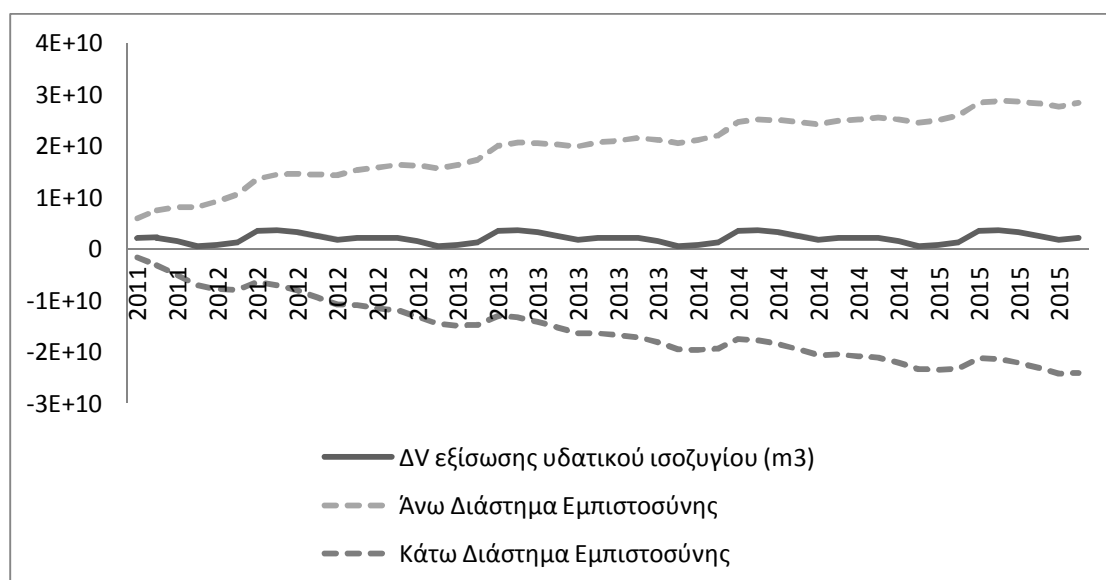
Οι υπολογισμοί όσον αφορά τη διαφορά όγκου, και γενικότερα τη διαφορά στάθμης στις υπόλοιπες λίμνες, ήταν λίγο πιο πολύπλοκες. Η αρχική κατανομή της χρονοσειράς που δίνει μια εντύπωση για τις μελλοντικές της τάσεις φαίνεται στο διάγραμμα 5.13:



Διάγραμμα 5.13: Τα δεδομένα της διαφοράς όγκου για τα υδρολογικά έτη 1992-2011 της λίμνης Αργκάιλ

Είναι εμφανής από το διάγραμμα 5.13 η τάση της αύξησης του όγκου του ταμιευτήρα, επομένως από τις προβλέψεις αναμένεται κάτι ανάλογο. Τα δεδομένα για το πως θα κινηθεί η στάθμη της λίμνης στον ορίζοντα πρόβλεψης χωρίστηκαν σε 3 κατηγορίες. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν τα υπολογισμένα δεδομένα από τις μελλοντικές προεκτάσεις των υπόλοιπων παραμέτρων της εξίσωσης του υδατικού ισοζυγίου. Γίνεται δηλαδή αναφορά στη μελλοντική τάση της στάθμης του ταμιευτήρα με βάση τους παράγοντες που την επηρεάζουν. Στη δεύτερη κατηγορία ανήκει η απλή προέκταση της χρονοσειράς της διαφοράς όγκου με το πρόγραμμα RStudio, όπως έγινε και με τις υπόλοιπες παραμέτρους. Τέλος, στην τρίτη κατηγορία ανήκει η προέκταση της χρονοσειράς των κανονικοποιημένων δεδομένων της και η μετέπειτα αναγωγή της στην πραγματικότητα (αντίστροφη διαδικασία κανονικοποίησης). Για τις τρεις μεθόδους θεωρήθηκε το μέσο τετραγωνικό σφάλμα ως βασικό κριτήριο αξιοπιστίας.

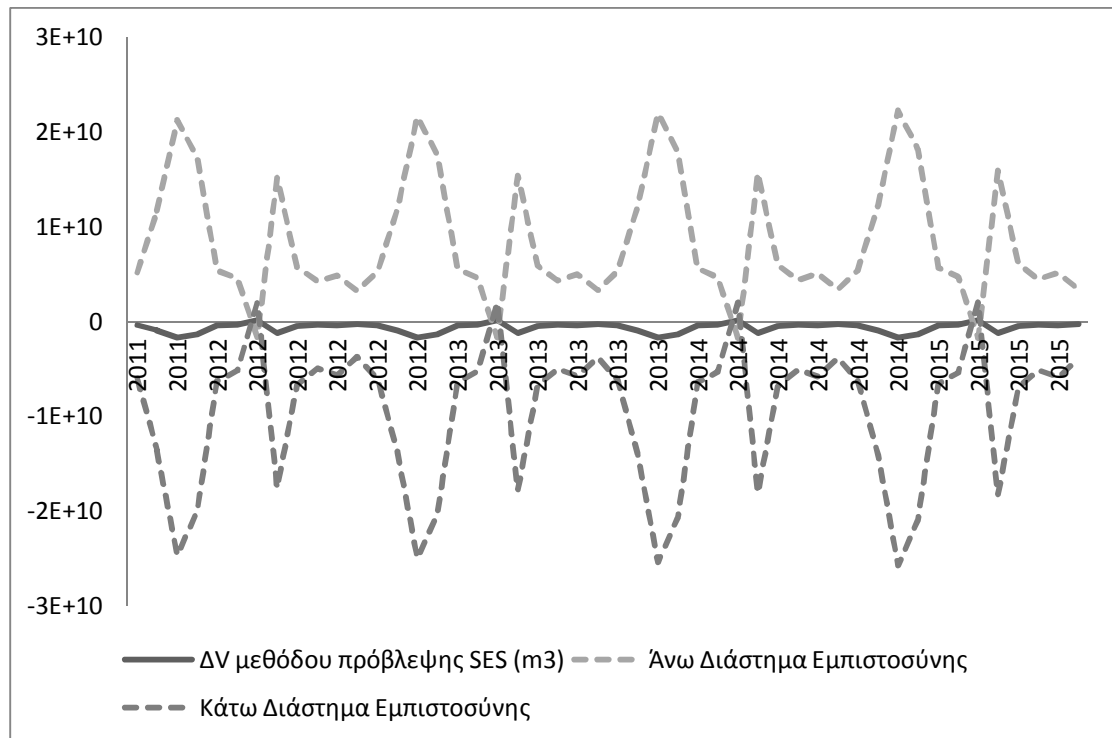
ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΗΣ ΕΞΙΣΩΣΗΣ ΤΟΥ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ



Διάγραμμα 5.14: Οι προβλέψεις της διαφοράς όγκου και τα διαστήματα εμπιστοσύνης για τα υδρολογικά έτη 2011-2015 της επίλυσης της εξίσωσης υδατικού ισοζυγίου για τη λίμνη Αργκάιλ

Από την εφαρμογή του μέσου τετραγωνικού σφάλματος η επίλυση της εξίσωσης του υδατικού ισοζυγίου προέκυψε ως δεύτερη καλύτερη μέθοδος με βάση τις προβλέψεις για τα τέσσερα έτη ελέγχου. Το σχετικά καλό αποτέλεσμα της μεθόδου οφείλεται στην ανάμειξη πολλών μεταβλητών για την προέκτασή της στο χρόνο, δεδομένου ότι είναι μια αρκετά απρόβλεπτη μεταβλητή, εξαρτώμενη από πολλούς παράγοντες. Δεδομένου ότι οι προβλέψεις υπολογίζονται με την επίλυση της εξίσωσης του υδατικού ισοζυγίου, για την περίπτωση αυτή, όπως και για τα αποτελέσματα και στις ακόλουθες λίμνες, αντίστοιχα υπολογίστηκαν και τα διαστήματα εμπιστοσύνης.

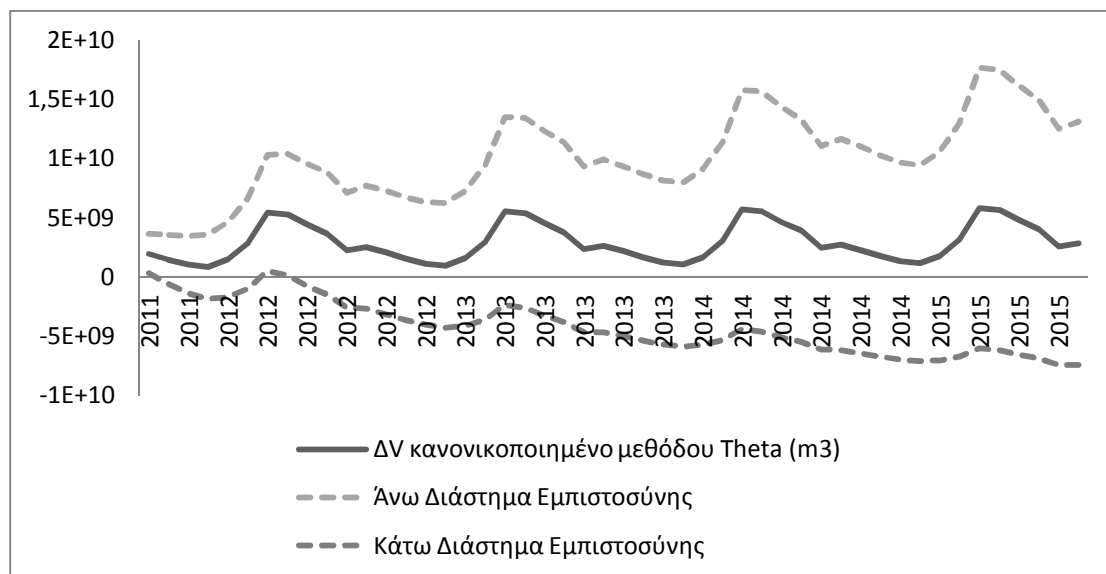
ΠΡΟΕΚΤΑΣΗ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑΣ ΔV ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ SES



Διάγραμμα 5.15: Οι προβλέψεις της διαφοράς όγκου και τα διαστήματα εμπιστοσύνης για τα υδρολογικά έτη 2011-2015 της μεθόδου SES για τη λίμνη Αργκάιλ

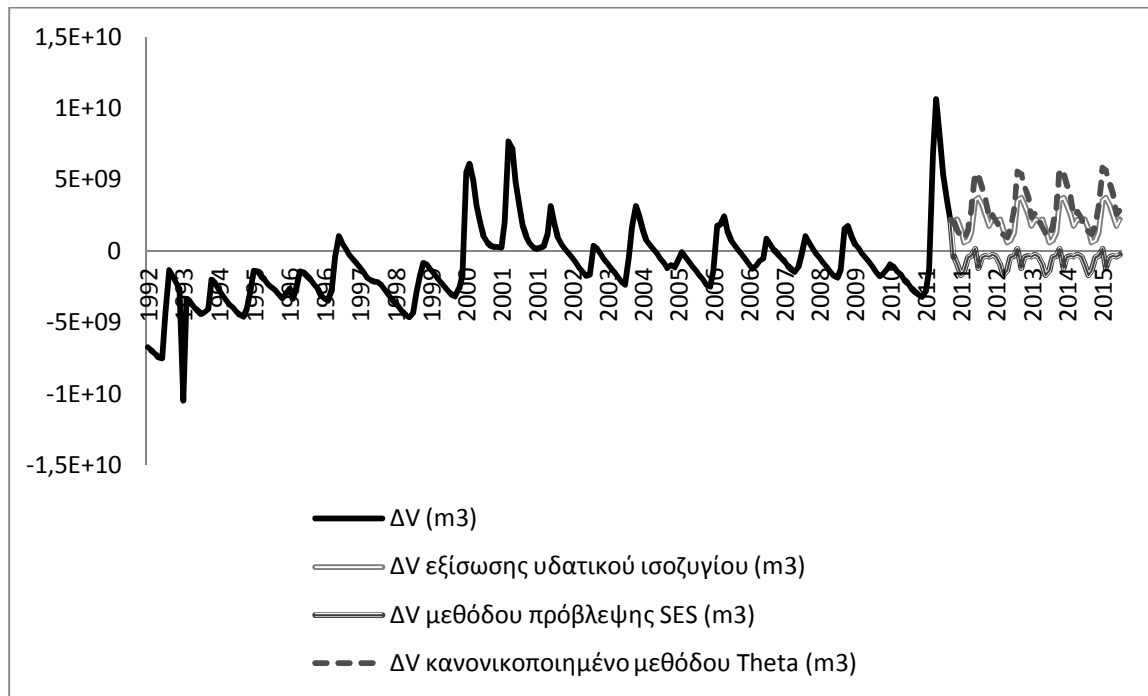
Είναι εμφανές ότι η προέκταση στο χρόνο με τη μέθοδο SES αποκλίνει τόσο από τα παρελθοντικά δεδομένα, όσο και από τις προσδοκίες του χρήστη, με βάση την αρχική τάση της χρονοσειράς. Κάτι τέτοιο είναι λογικό αφού παρά το γεγονός ότι η μέθοδος αυτή έδωσε το μικρότερο σφάλμα συγκριτικά με τις υπόλοιπες, δεν εφάπτεται καλά σε μοντέλα με τάση. Να σημειωθεί ότι για το διάγραμμα 5.15 τα διαστήματα εμπιστοσύνης δεν συμπίπτουν, όπως είναι ορατό, αλλά δεδομένου ότι το εύρος των τιμών της διαφοράς όγκου είναι πολύ μεγάλο και έτσι οι μικρές τιμές χάνονται, η διαφορά αυτή μπορεί να διακριθεί αναλυτικά και όχι οπτικά.

ΠΡΟΕΚΤΑΣΗ ΚΑΝΟΝΙΚΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑΣ ΔV ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΘΗΤΑ



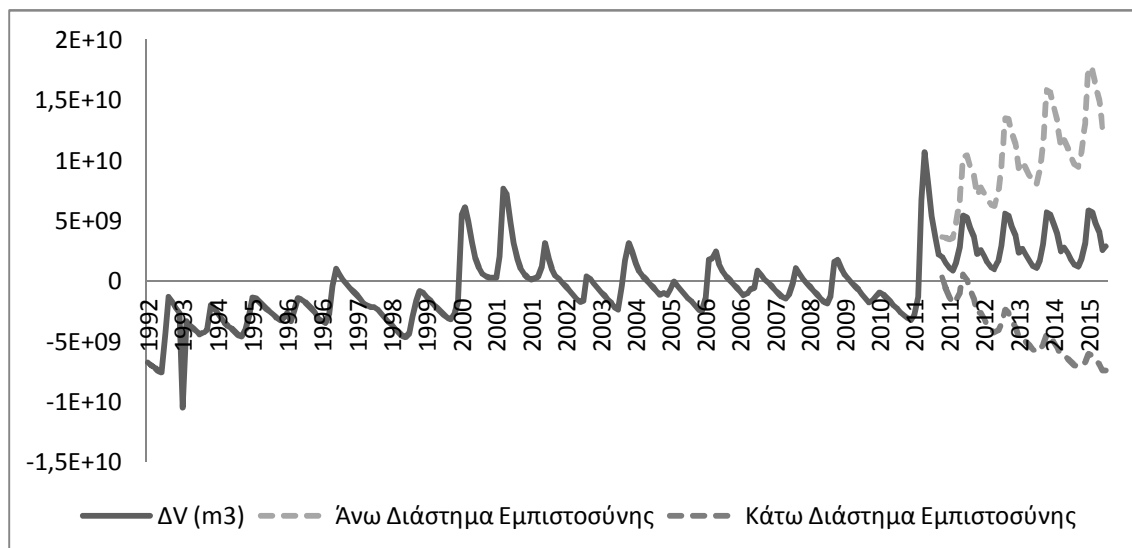
Διάγραμμα 5.16: Οι προβλέψεις της διαφοράς όγκου και τα διαστήματα εμπιστοσύνης για τα υδρολογικά έτη 2011-2015 των κανονικοποιημένων δεδομένων με τη μέθοδο Theta για τη λίμνη Αργκάιλ

Μετά την κανονικοποίηση της χρονοσειράς της διαφοράς του όγκου του ταμιευτήρα και την εφαρμογή των διαδικασιών επιλογής της κατάλληλης μεθόδου πρόβλεψης, προέκυψε ότι η καταλληλότερη μέθοδος για τα κανονικοποιημένα αυτά στοιχεία διέφερε από το απλό μοντέλο. Με καλύτερη πλέον τη μέθοδο Theta, έγινε προέκταση των δεδομένων στο χρονικό ορίζοντα πρόβλεψης και προέκυψαν τα δεδομένα του διαγράμματος 5.16. Η μέθοδος αυτή έδωσε το μικρότερο σφάλμα από τις τρεις που εφαρμόστηκαν στα δεδομένα, ενώ και οπτικά φαίνεται να προσαρμόζεται πολύ καλύτερα από τις άλλες δύο στις προσδοκίες του χειριστή. Στο διάγραμμα 5.17 συγκεντρωτικά παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των τριών μεθόδων.



Διάγραμμα 5.17: Τα δεδομένα και οι προβλέψεις όλων των μεθόδων της διαφοράς όγκου για τα υδρολογικά έτη 1992-2015 της λίμνης Αργκάιλ

Επομένως, η τελική προέκταση της χρονοσειράς της διαφοράς του όγκου της λίμνης Αργκάιλ, με την ακριβέστερη μέθοδο Theta στα κανονικοποιημένα δεδομένα της διαφοράς όγκου φαίνεται στο διάγραμμα 5.18:



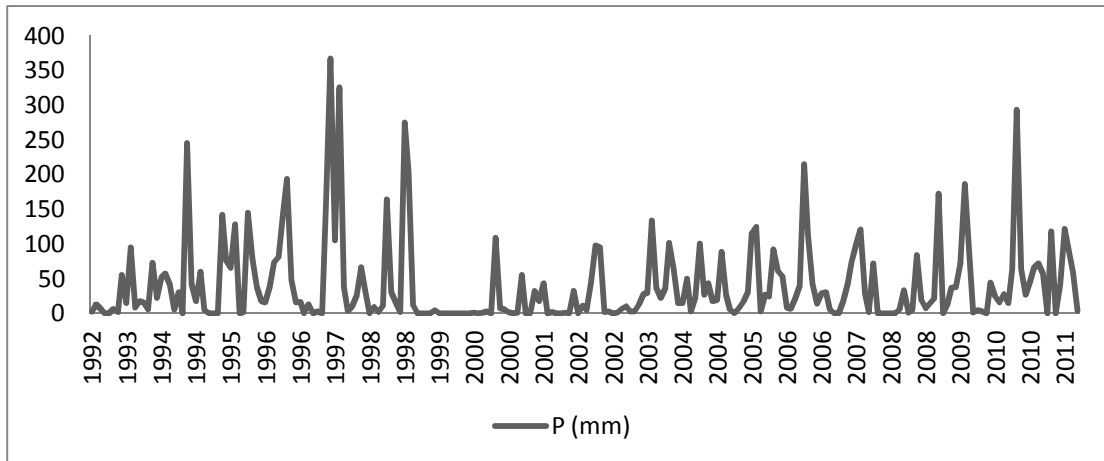
Διάγραμμα 5.18: Τα τελικά δεδομένα της διαφοράς όγκου για τα υδρολογικά έτη 1992-2015 της λίμνης Αργκάιλ

Αυτή η ανοδική πορεία της στάθμης του ταμιευτήρα συμβαδίζει με τα δεδομένα των χρονοσειρών όπως παρατηρήθηκαν (πχ. αύξηση αθροιστικής βροχόπτωσης).

5.3 Η λίμνη Βόλτα (Αφρική)

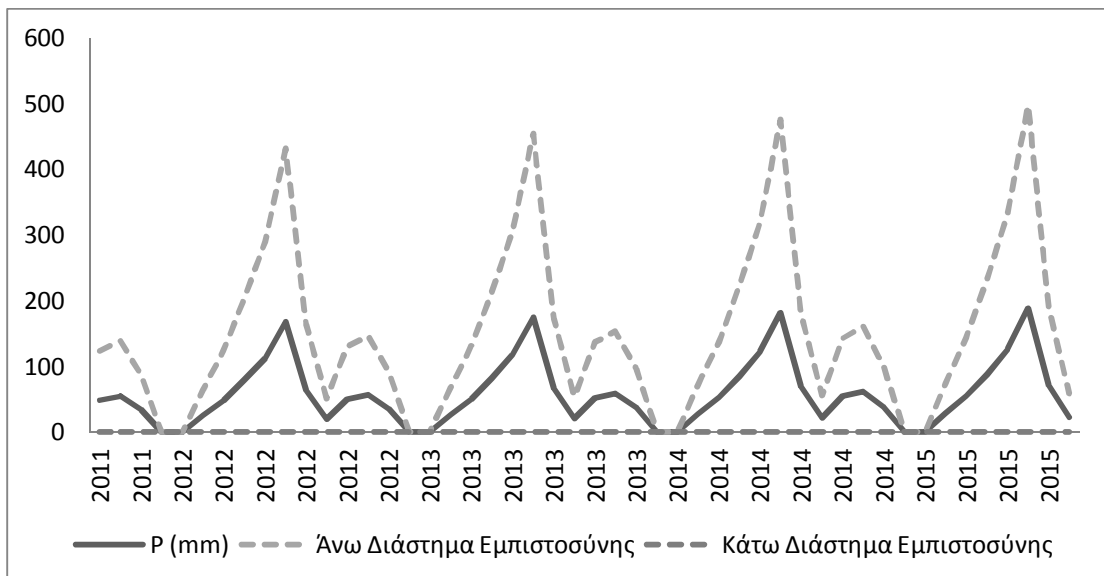
5.3.1 Βροχόπτωση (P)

Για την εύρεση των δεδομένων της βροχόπτωσης στην περιοχή της λίμνης Βόλτα αντιμετωπίστηκαν αρκετές δυσκολίες, λόγω της έλλειψης μετρήσεων των μετεωρολογικών σταθμών στην ευρύτερη περιοχή της Γκάνα. Παρόλα αυτά, συνδυαστικά με μετρήσεις πολλών σταθμών στη γύρω περιοχή, βρέθηκαν τα παρακάτω δεδομένα για τα υδρολογικά έτη μελέτης (διάγραμμα 5.19).



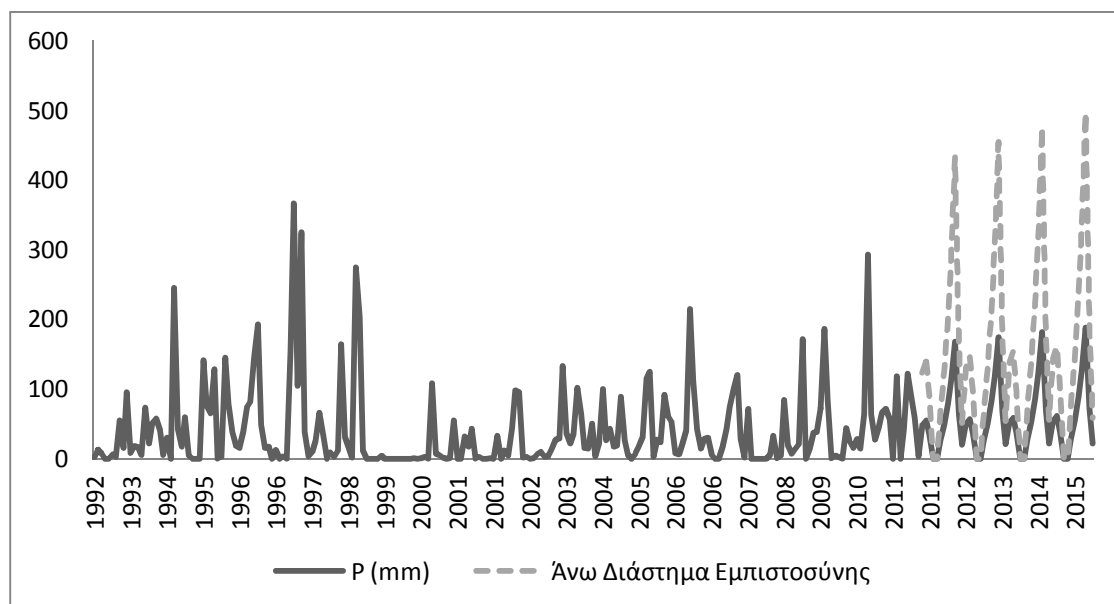
Διάγραμμα 5.19: Τα δεδομένα της βροχόπτωσης για τα υδρολογικά έτη 1992-2011 της λίμνης Βόλτα

Με βάση την τάση που παρατηρείται στα τελευταία έτη των δεδομένων, ήταν λογικό να προκύψει η μέθοδος πρόβλεψης Holt ως η καταλληλότερα προσαρμοσίμη σε αυτά (διάγραμμα 5.20).



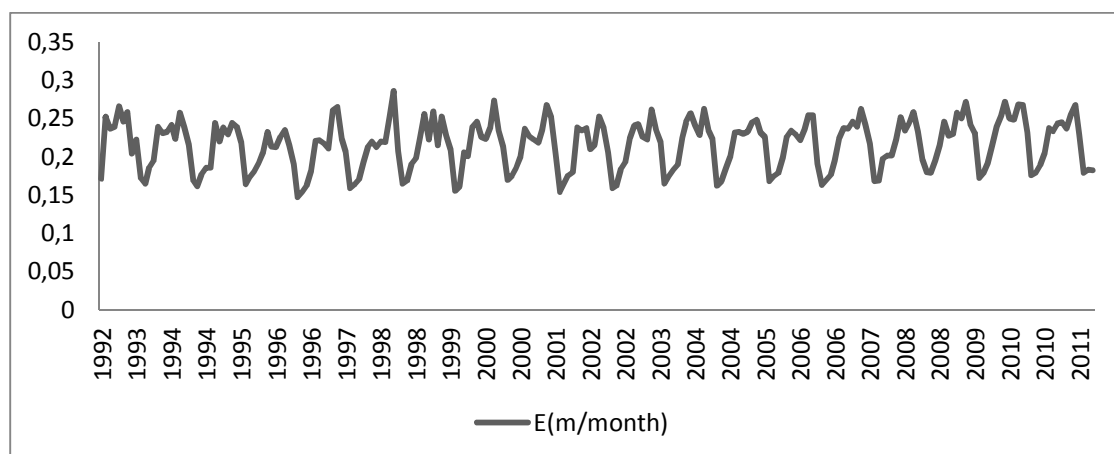
Διάγραμμα 5.20: Οι προβλέψεις της βροχόπτωσης και τα διαστήματα εμπιστοσύνης για τα υδρολογικά έτη 2011-2015 της μεθόδου Holt για τη λίμνη Βόλτα

Στις τελικές προβλέψεις για το χρονικό ορίζοντα πρόβλεψης, υπολογίζονται τα παρακάτω δεδομένα, τα οποία εμφανίζουν τιμές με εντονότερα ακρότατα τα έτη 2007-2011, λόγω των τελευταίων ακραίων τιμών που συμπεριλήφθηκαν εδώ.



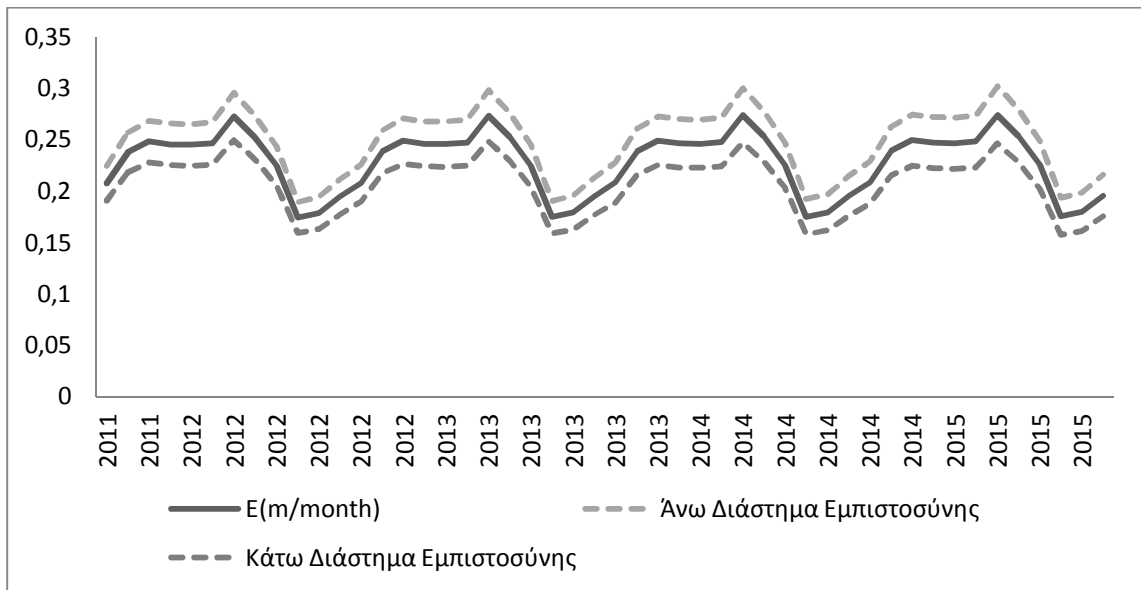
Διάγραμμα 5.21: Τα τελικά δεδομένα της βροχόπτωσης για τα υδρολογικά έτη 1992-2015 της λίμνης Βόλτα

5.3.2 Εξάτμιση (E)



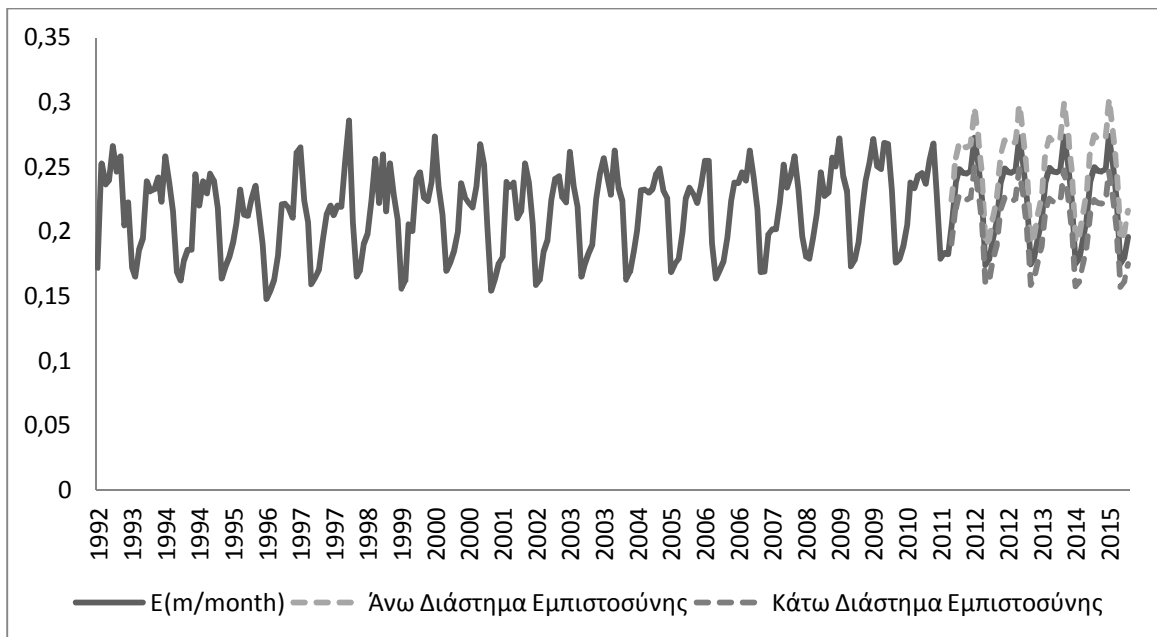
Διάγραμμα 5.22: Τα δεδομένα της εξάτμισης για τα υδρολογικά έτη 1992-2011 της λίμνης Βόλτα

Η εξάτμιση της λίμνης Βόλτα έχει αρκετά σταθερά κατανεμημένα δεδομένα, αλλά έντονες ορισμένες τοπικές καμπυλότητες. Η μέθοδος που αφομοιώνει καλύτερα τέτοιες τοπικές καμπυλότητες, και που εδώ έδωσε το μικρότερο μέσο τετραγωνικό σφάλμα είναι η μέθοδος πρόβλεψης Theta, με αποτελέσματα που φαίνονται στο διάγραμμα 5.23.



Διάγραμμα 5.23: Οι προβλέψεις της εξάτμισης και τα διαστήματα εμπιστοσύνης για τα υδρολογικά έτη 2011-2015 της μεθόδου Theta για τη λίμνη Βόλτα

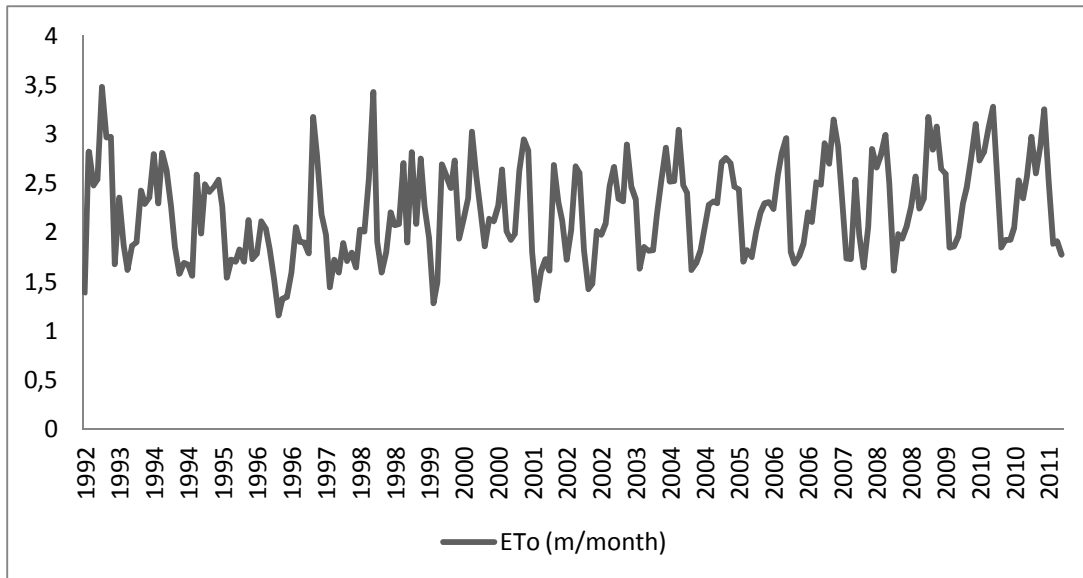
Αντίστοιχα είναι και τα αποτελέσματα των προβλέψεων που δίνει στο χρονικό ορίζοντα πρόβλεψης, με πολύ ικανοποιητικά διαστήματα εμπιστοσύνης (διάγραμμα 5.29).



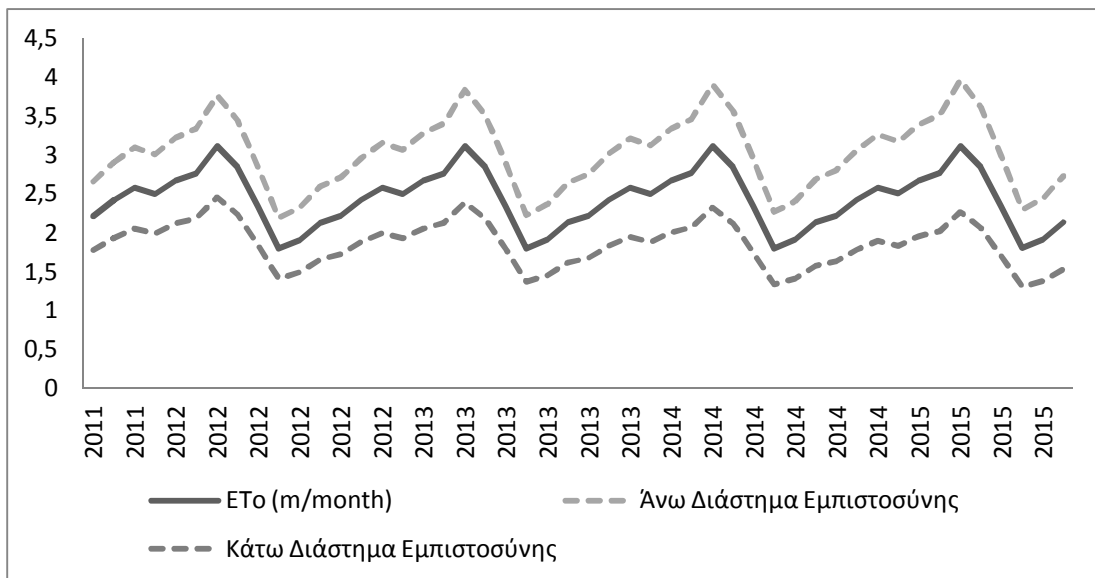
Διάγραμμα 5.24: Τα τελικά δεδομένα της εξάτμισης για τα υδρολογικά έτη 1992-2015 της λίμνης Βόλτα

5.3.3 Εξατμισοδιαπνοή (ETo)

Τα δεδομένα της εξατμισοδιαπνοής για τη λεκάνη απορροή του ταμειυτήρα έχουν, όπως φαίνεται παρακάτω, μια ανοδική τάση (διάγραμμα 5.25).



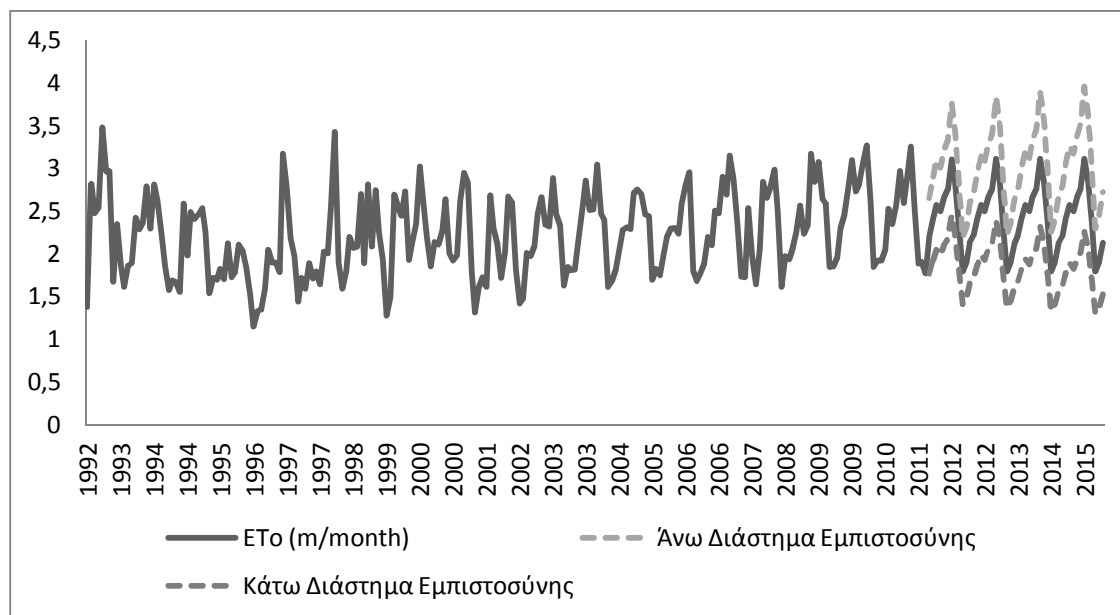
Διάγραμμα 5.25: Τα δεδομένα της εξατμισοδιαπνοής για τα υδρολογικά έτη 1992-2011 της λίμνης Βόλτα



Διάγραμμα 5.26: Οι προβλέψεις της εξατμισοδιαπνοής και τα διαστήματα εμπιστοσύνης για τα υδρολογικά έτη 2011-2015 της μεθόδου Holt για τη λίμνη Βόλτα

Όπως είναι επόμενο, την τάση αυτή την περιγράφει καλύτερα η μέθοδος Holt, αφού η τάση της χρονοσειράς αν αποεποχικοποιηθεί κινείται σε μια ευθεία γραμμή στο χρόνο για τα υδρολογικά έτη από το 2004-2005 και μετά. Για τις ανωμαλίες που

παρουσιάζονται στο διάγραμμα για τα προηγούμενα έτη λαμβάνονται υπόψη οι τιμές στο διάστημα εμπιστοσύνης (διάγραμμα 5.27).

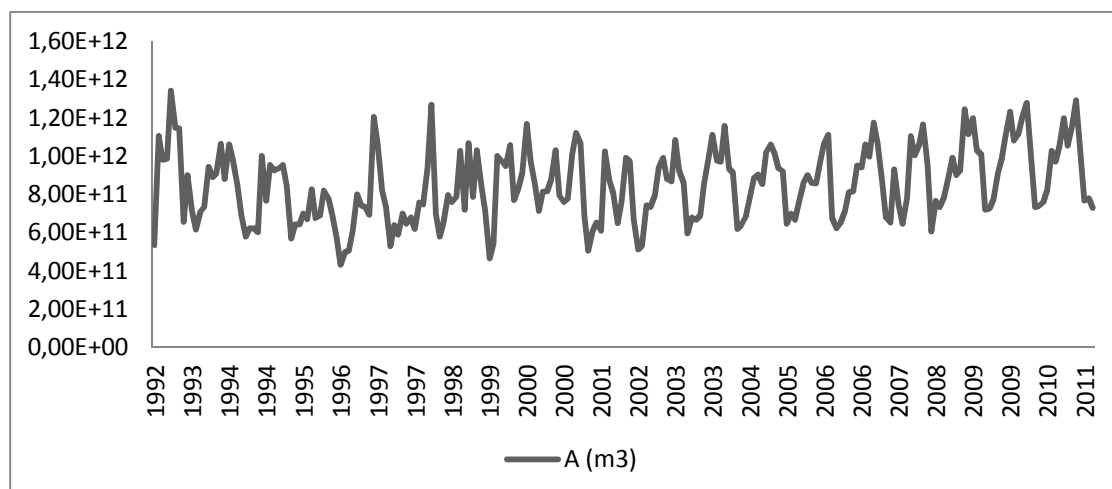


Διάγραμμα 5.27: Τα τελικά δεδομένα της εξατμισοδιαπνοής για τα υδρολογικά έτη 1992-2015 της λίμνης Βόλτα

Επομένως, οι τελικές προβλέψεις που φαίνονται παραπάνω κινούνται στον ίδιο άξονα, με μετριασμένα ελαφρώς τα τοπικά μέγιστα (διάγραμμα 5.27).

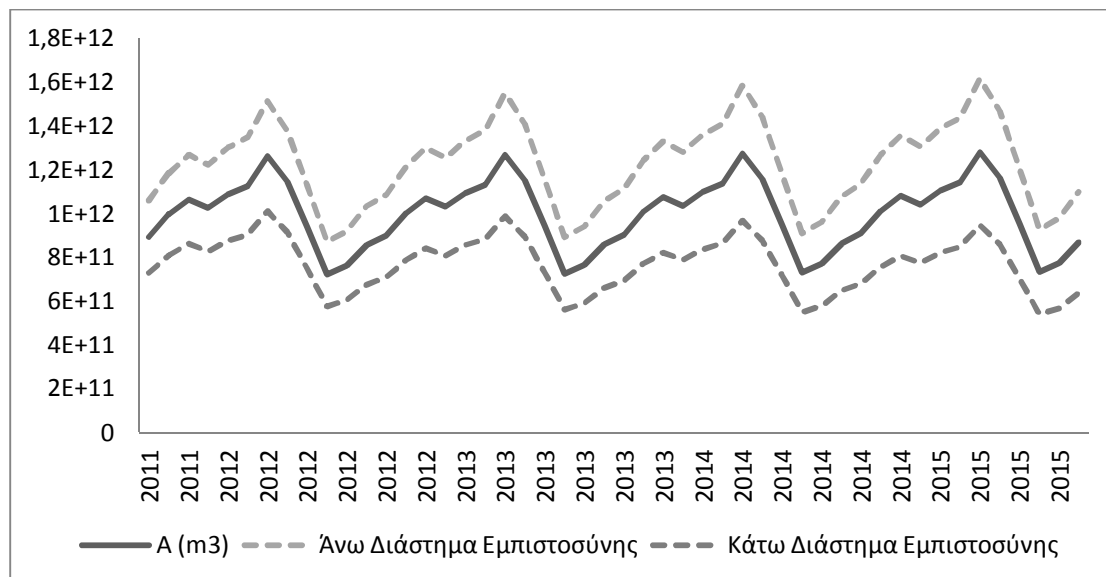
5.3.4 Απορροή (A)

Τα δεδομένα της απορροής του ταμειυτήρα, όπως και τα δεδομένα της εξατμισοδιαπνοής, έχουν ανοδική τάση και ένα αρκετά σταθερό πρότυπο.



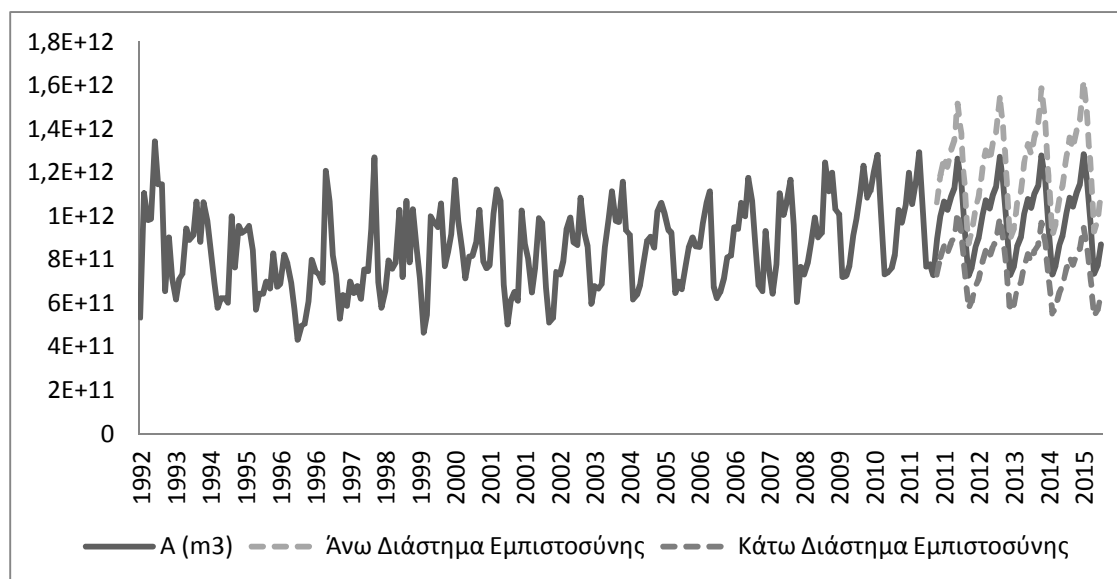
Διάγραμμα 5.28: Τα δεδομένα της απορροής για τα υδρολογικά έτη 1992-2011 της λίμνης Βόλτα

Μια τέτοια τάση συνήθως περιγράφεται καλύτερα από το μοντέλο πρόβλεψης Holt. Στην υπάρχουσα περίπτωση όμως, το αποτέλεσμα ήταν η υπερενίσχυση της τάσης και η εξαγωγή πολύ ακραίων αποτελεσμάτων. Η μέθοδος που τελικά κατάφερε να πλησιάσει αρκετά τις πραγματικές τιμές της απορροής για τα ζητούμενα υδρολογικά έτη ήταν η μέθοδος Theta (διάγραμμα 5.29).



Διάγραμμα 5.29: Οι προβλέψεις της απορροής και τα διαστήματα εμπιστοσύνης για τα υδρολογικά έτη 2011-2015 της μεθόδου Theta για τη λίμνη Βόλτα

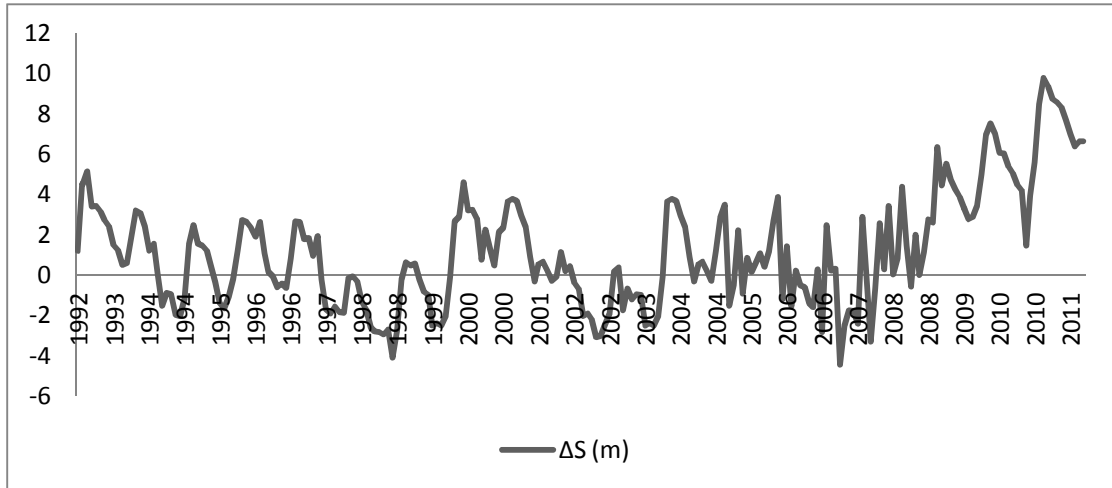
Η μέθοδος Theta παρατηρείται ότι διατηρεί την ανοδική τάση της χρονοσειράς της απορροής χωρίς να την υπερενισχύει, και δίνει τα αποτελέσματα όπως φαίνονται στο διάγραμμα 5.30.



Διάγραμμα 5.30: Τα τελικά δεδομένα της απορροής για τα υδρολογικά έτη 1992-2015 της λίμνης Βόλτα

5.3.5 Διαφορά Στάθμης (ΔS)

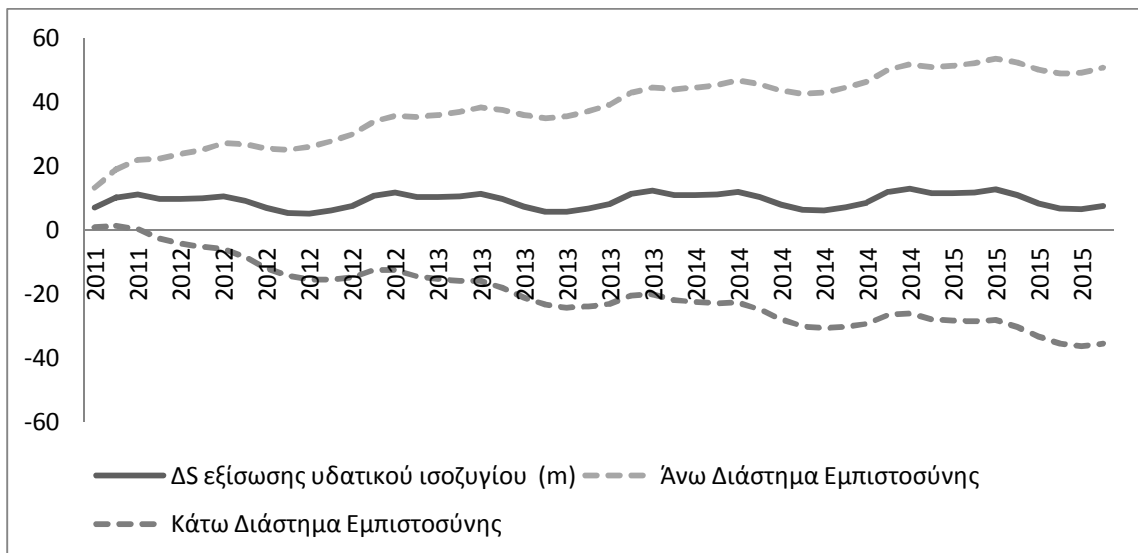
Η στάθμη της λίμνης Βόλτα είναι αρκετά ακανόνιστη και εμπεριέχει μεγάλο βαθμό τυχαιότητας, όπως φαίνεται παρακάτω (διάγραμμα 5.31). Ειδικά τα τελευταία έτη όμως, παρατηρείται μεγάλη άνοδο στη στάθμη.



Διάγραμμα 5.31: Τα δεδομένα της διαφοράς στάθμης για τα υδρολογικά έτη 1992-2011 της λίμνης Βόλτα

Οι εργασίες για την πρόβλεψη της στάθμης ακολουθούν το πρότυπο της προηγούμενης λίμνης και είναι οι ακόλουθες.

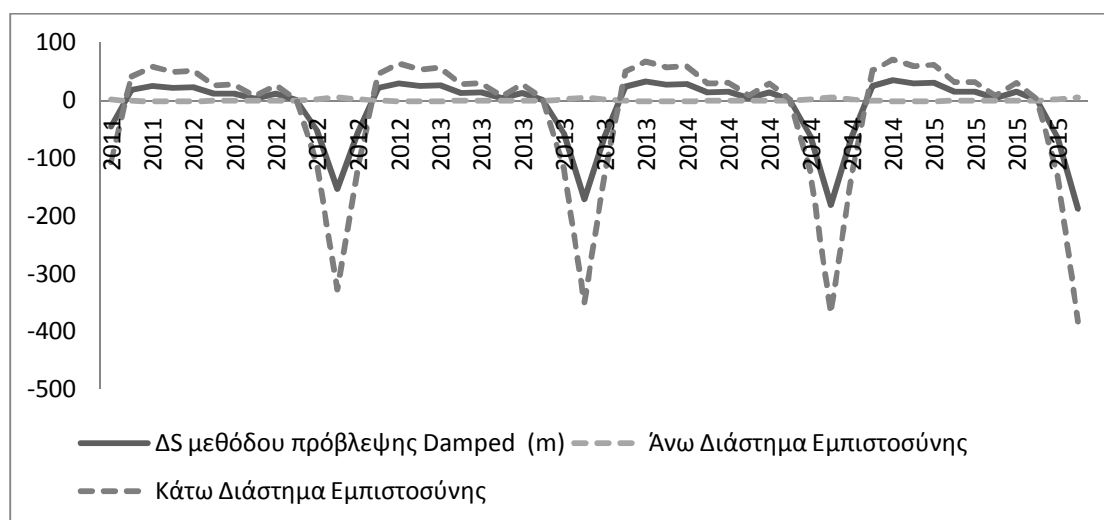
ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΗΣ ΕΞΙΣΩΣΗΣ ΤΟΥ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ



Διάγραμμα 5.32: Οι προβλέψεις της διαφοράς στάθμης και τα διαστήματα εμπιστοσύνης για τα υδρολογικά έτη 2011-2015 της επίλυσης της εξίσωσης υδατικού ισοζυγίου για τη λίμνη Βόλτα

Η μέθοδος της επίλυσης της εξίσωσης του υδατικού ισοζυγίου ήταν η μέθοδος που έδωσε τα καλύτερα αποτελέσματα ως προς την εξέλιξη της στάθμης του ταμιευτήρα, με μεγάλη διαφορά από τις άλλες δύο μεθόδους ως προς το μέσο τετραγωνικό σφάλμα (διάγραμμα 5.32). Αυτό οφείλεται στο μεγάλο βαθμό τυχαιότητας ο οποίος εμπειρεύεται στη χρονοσειρά της διαφοράς της στάθμης και το κάνει εξαιρετικά δύσκολο σε ένα μαθηματικό μοντέλο πρόβλεψης να την περιγράψει και να την προεκτείνει μονοδιάστατα, χωρίς καμία εξάρτηση από άλλες μεταβλητές. Από τα δεδομένα στο διάγραμμα 5.32, φαίνεται ότι ακολουθείται η ανοδική πορεία της στάθμης, με ένα πιο σταθερό βήμα όμως.

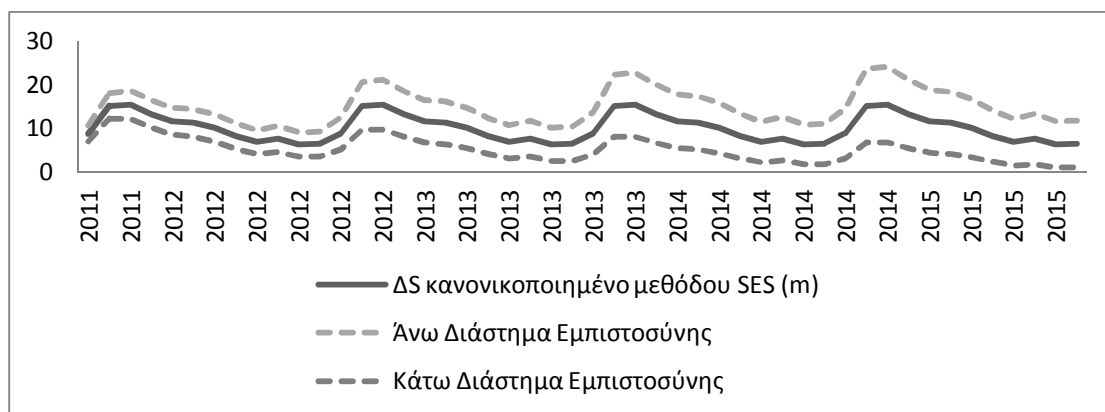
ΠΡΟΕΚΤΑΣΗ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑΣ ΔΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ DAMPED



Διάγραμμα 5.33: Οι προβλέψεις της διαφοράς στάθμης και τα διαστήματα εμπιστοσύνης για τα υδρολογικά έτη 2011-2015 της μεθόδου Damped για τη λίμνη Βόλτα

Η μέθοδος Damped, αν και φαίνεται να προσαρμόζεται πολύ καλά στις τιμές για το διάστημα 2007-2011, στη συνέχεια αποκλείει δραματικά από το μοντέλο και δίνει τιμές οι οποίες αντικειμενικά δε γίνεται να υπάρξουν για τις διάφορες στάθμεις της λίμνης Βόλτα, επομένως αποκλείεται ως μέθοδο πρόβλεψης.

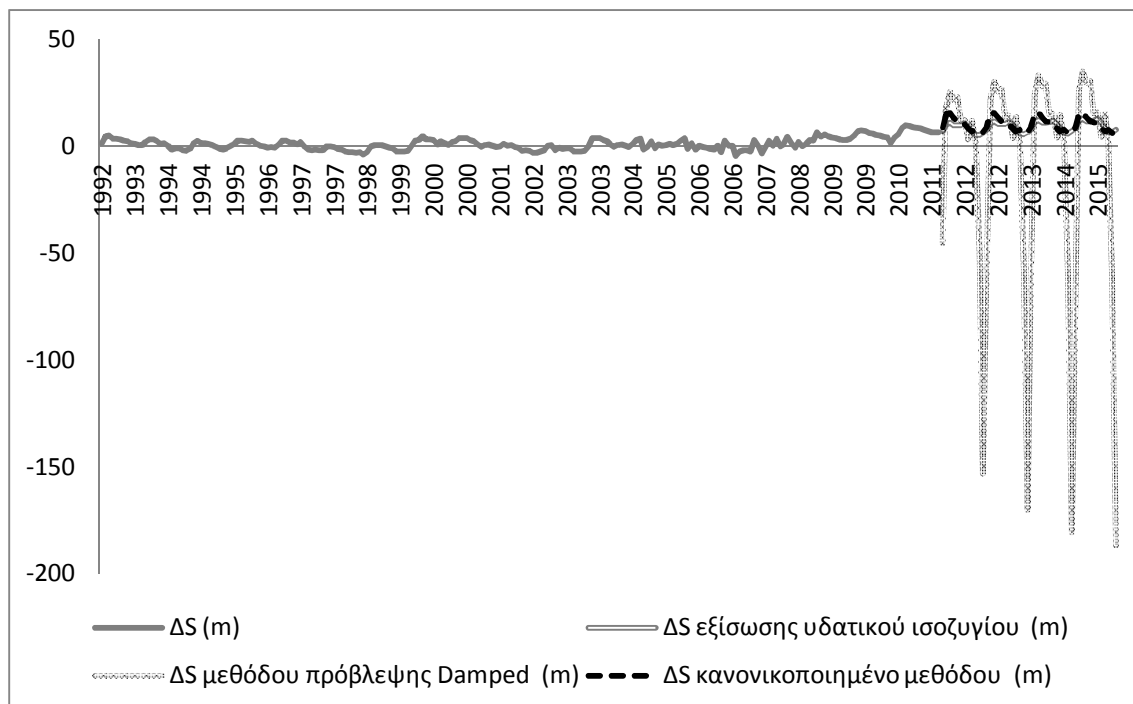
ΠΡΟΕΚΤΑΣΗ ΚΑΝΟΝΙΚΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑΣ ΔΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ SES



Διάγραμμα 5.34: Οι προβλέψεις της διαφοράς στάθμης και τα διαστήματα εμπιστοσύνης για τα υδρολογικά έτη 2011-2015 των κανονικοποιημένων δεδομένων με τη μέθοδο SES για τη λίμνη Βόλτα

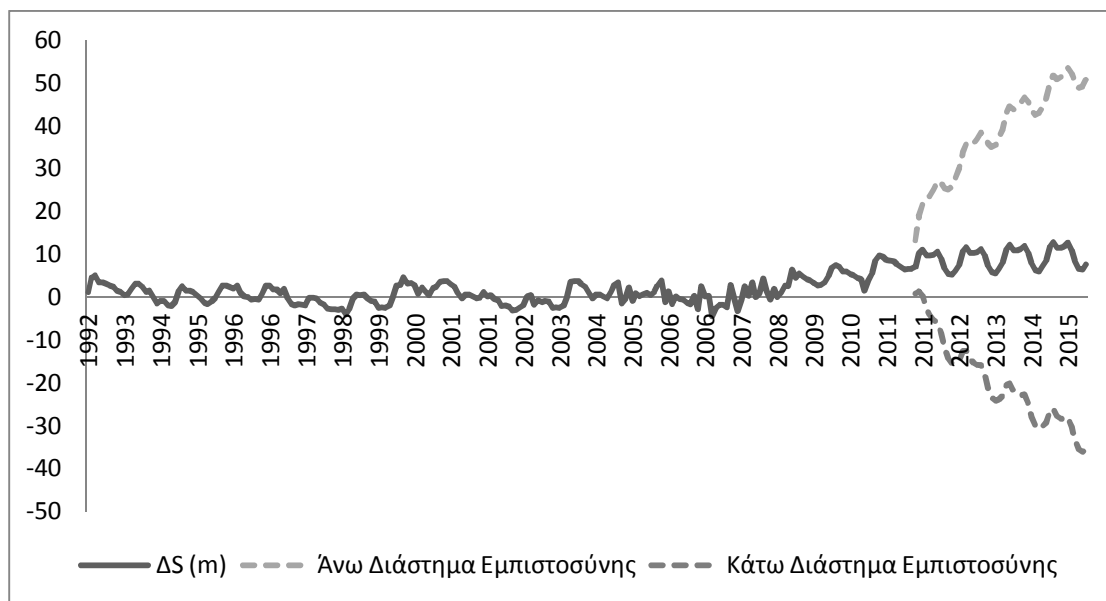
Η κανονικοποιημένη χρονοσειρά της διαφοράς της στάθμης, αν και δίνει αρκετά πιο ικανοποιητικές τιμές από αυτές της απλής χρονοσειράς, έχει και πάλι αρκετά μεγάλη απόκλιση από την πραγματικότητα για τους λόγους που αναφέρθηκαν στην αρχή.

Συγκεντρωτικά, φαίνονται και οι 3 προεκτάσεις τις διαφοράς της στάθμης για τη λίμνη Βόλτα, όπου σε μια απλή λογική συνέχεια μπορεί να διακρίνει ο παρατηρητής γιατί τα αποτελέσματα της εξίσωσης του υδατικού ισοζυγίου είναι αυτά που προσαρμόζονται καλύτερα (διάγραμμα 5.35).



Διάγραμμα 5.35: Τα δεδομένα και οι προβλέψεις όλων των μεθόδων της διαφοράς στάθμης για τα υδρολογικά έτη 1992-2015 της λίμνης Βόλτα

Επομένως η χρονοσειρά της διαφοράς της στάθμης εξελίσσεται όπως φαίνεται στο διάγραμμα 5.36:

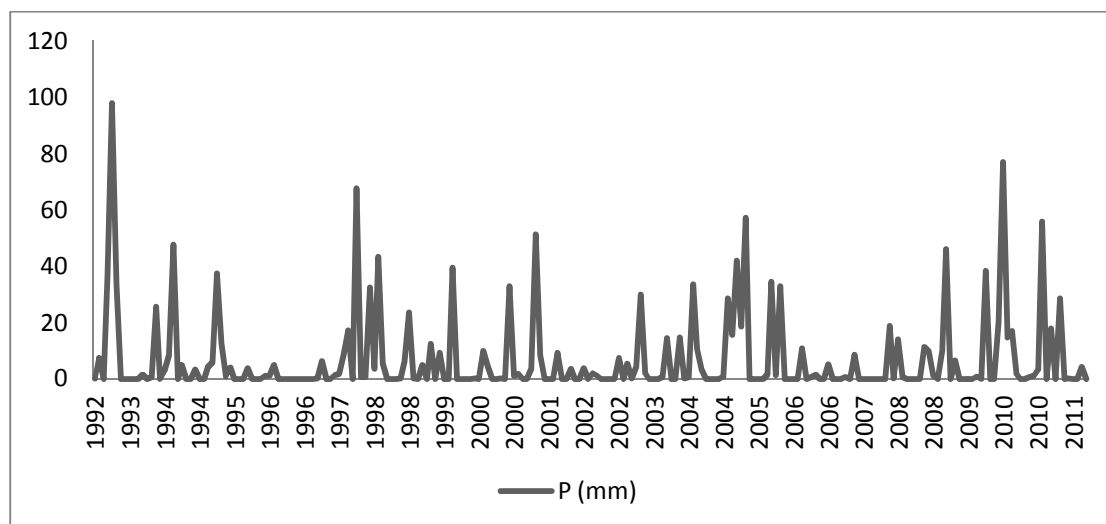


Διάγραμμα 5.36: Τα τελικά δεδομένα της διαφοράς στάθμης για τα υδρολογικά έτη 1992-2015 της λίμνης Βόλτα

5.4 Η λίμνη Σάλτον Σι (ΗΠΑ)

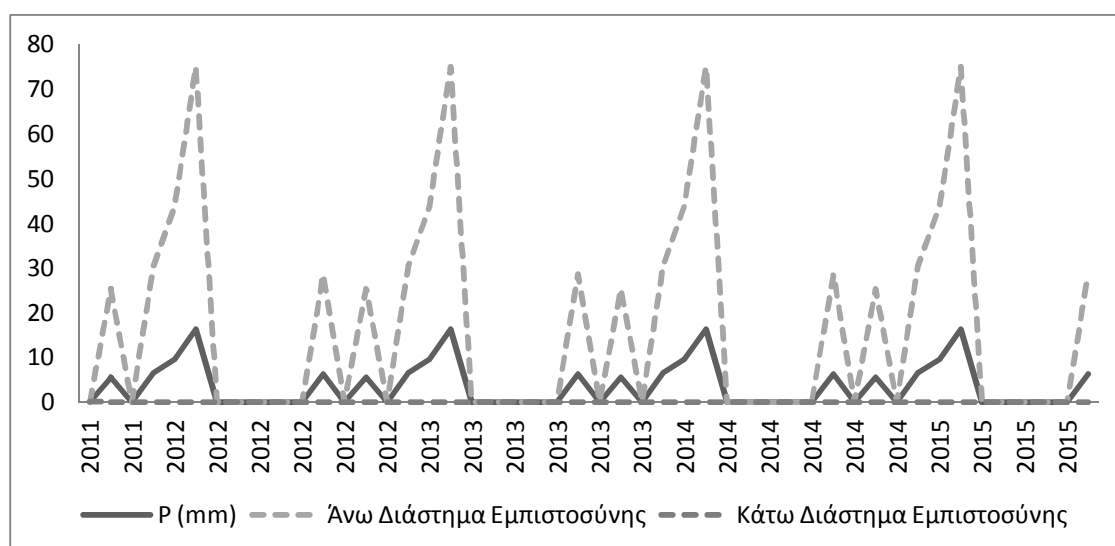
5.4.1 Βροχόπτωση (P)

Τα δεδομένα της βροχόπτωσης για τη λίμνη Σάλτον Σι παρουσιάζουν, στη γενικότερη διάρκεια του χρονικού ορίζοντα, εντονότερες τιμές για τους μήνες Οκτώβρη-Μάρτη (διάγραμμα 5.37).



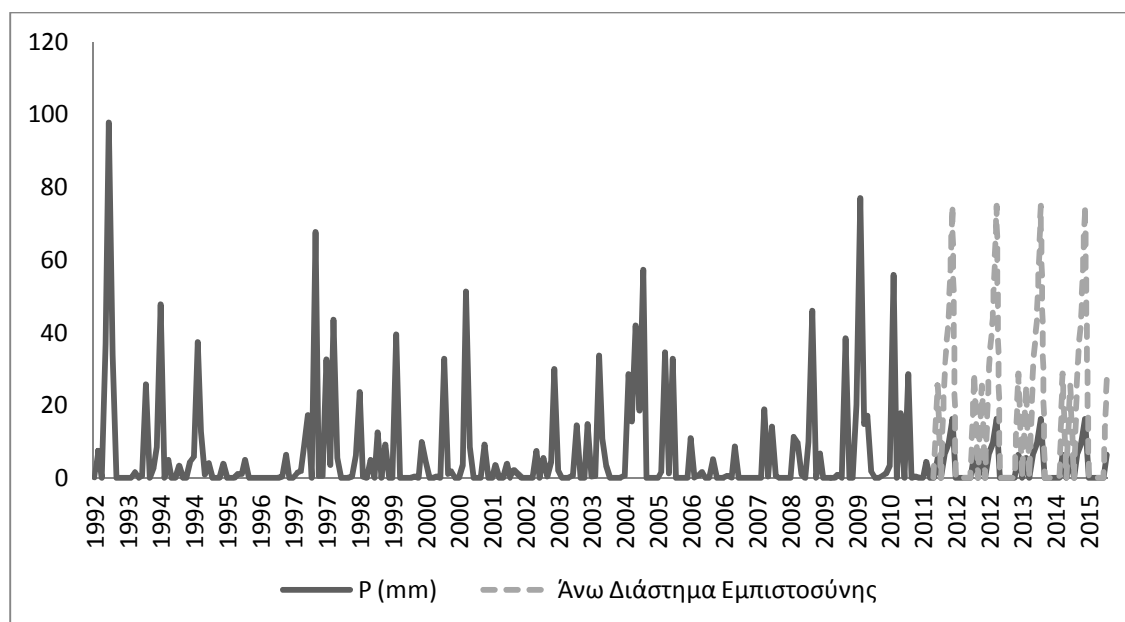
Διάγραμμα 5.37: Τα δεδομένα της βροχόπτωσης για τα υδρολογικά έτη 1992-2011 της λίμνης Σάλτον Σι

Η τάση που θα μπορούσε να θεωρηθεί ότι ακολουθείται, είναι αυτή της αύξησης των μέγιστων τιμών για τους μήνες που προαναφέρθηκαν. Το βασικό πρόβλημα, όμως με τη συγκεκριμένη χρονοσειρά βροχόπτωσης είναι η ύπαρξη πολλών μηδενικών τιμών στα δεδομένα της, πράγμα που δυσχεραίνει τις προβλέψεις (διάγραμμα 5.38).



Διάγραμμα 5.38: Οι προβλέψεις της βροχόπτωσης και τα διαστήματα εμπιστοσύνης για τα υδρολογικά έτη 2011-2015 της μεθόδου SES για τη λίμνη Σάλτον Σι

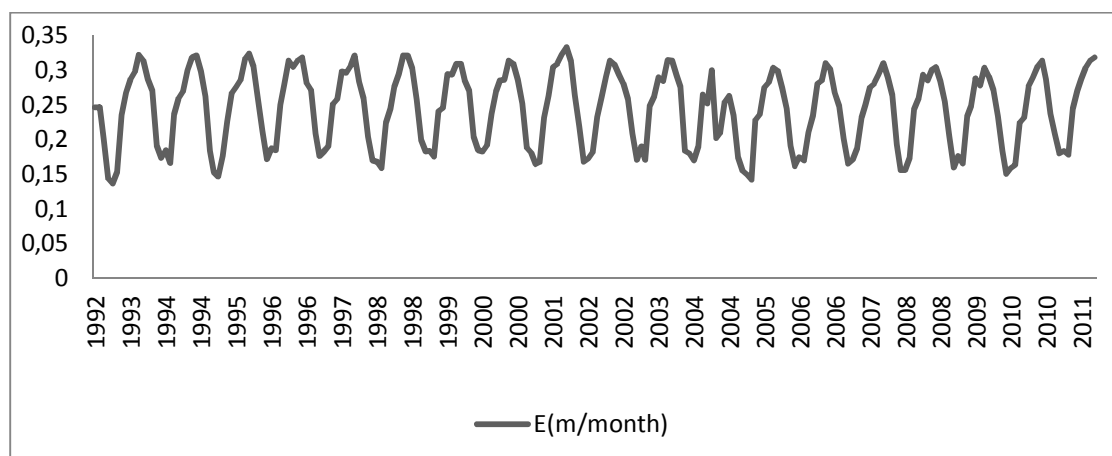
Η μέθοδος που έδωσε τα ακριβέστερα αποτελέσματα για το χρονικό διάστημα 2007-2011 ήταν αυτή της SES, πράγμα το οποίο ερμηνεύεται από την απουσία τάσης στη χρονοσειρά. Οι μελλοντικές τιμές της βροχόπτωσης με τη μέθοδο πρόβλεψης SES βρέθηκαν οι ακόλουθες (διάγραμμα 5.39):



Διάγραμμα 5.39: Τα τελικά δεδομένα της βροχόπτωσης για τα υδρολογικά έτη 1992-2015 της λίμνης Σάλτον Σι

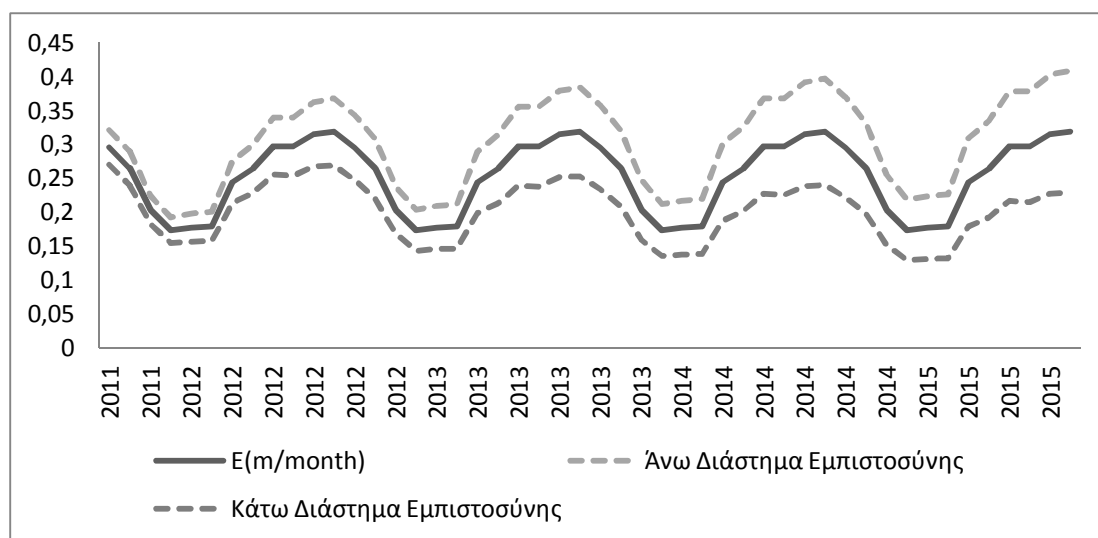
5.4.2 Εξάτμιση (E)

Η εξάτμιση του ταμιευτήρα Σάλτον Σι ακολουθεί ένα σταθερό πρότυπο, επομένως αν αποεποχικοποιηθούν τα δεδομένα της χρονοσειράς της εξάτμισης, θα παραμείνει μια οριζόντια ευθεία γραμμή. Εδώ τα μέγιστα παρατηρούνται για τους μήνες Απρίλιος-Σεπτέμβριος ενώ τα ελάχιστα για τους χειμερινούς μήνες (διάγραμμα 5.40).



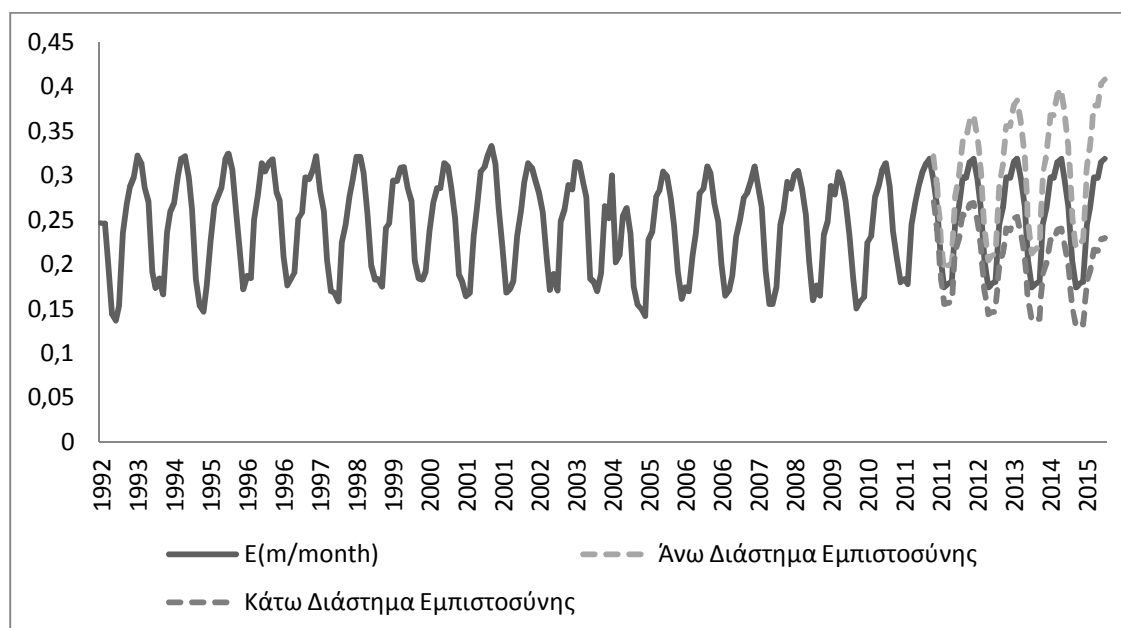
Διάγραμμα 5.40: Τα δεδομένα της εξάτμισης για τα υδρολογικά έτη 1992-2011 της λίμνης Σάλτον Σι

Η μέθοδος που απέδωσε καλύτερα τη συνέχεια αυτής της διακύμανσης ήταν η μέθοδος SES, με προβλέψεις που φαίνονται στο διάγραμμα 5.41:



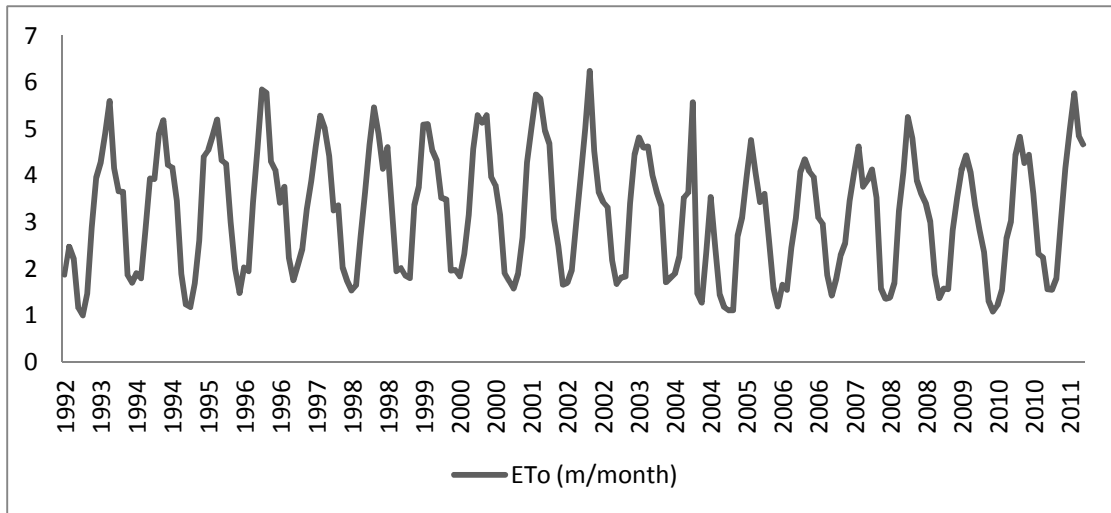
Διάγραμμα 5.41: Οι προβλέψεις της εξάτμισης και τα διαστήματα εμπιστοσύνης για τα υδρολογικά έτη 2011-2015 της μεθόδου SES για τη λίμνη Σάλτον Σι

Το μοντέλο που ακολουθεί η μέθοδος SES περιγράφει ακριβώς την οπτικά και λογικά σωστή συνέχεια για τη χρονοσειρά της εξάτμισης της λίμνης Σάλτον Σι και οι προβλέψεις που δίνει για το χρονικό ορίζοντα πρόβλεψης, δίνουν αντίστοιχες διακυμάνσεις, με ένα επίπεδο εμπιστοσύνης κοντά στις προβλεπόμενες τιμές που όμως να περιέχει και τις ακρότητες (διάγραμμα 5.42).



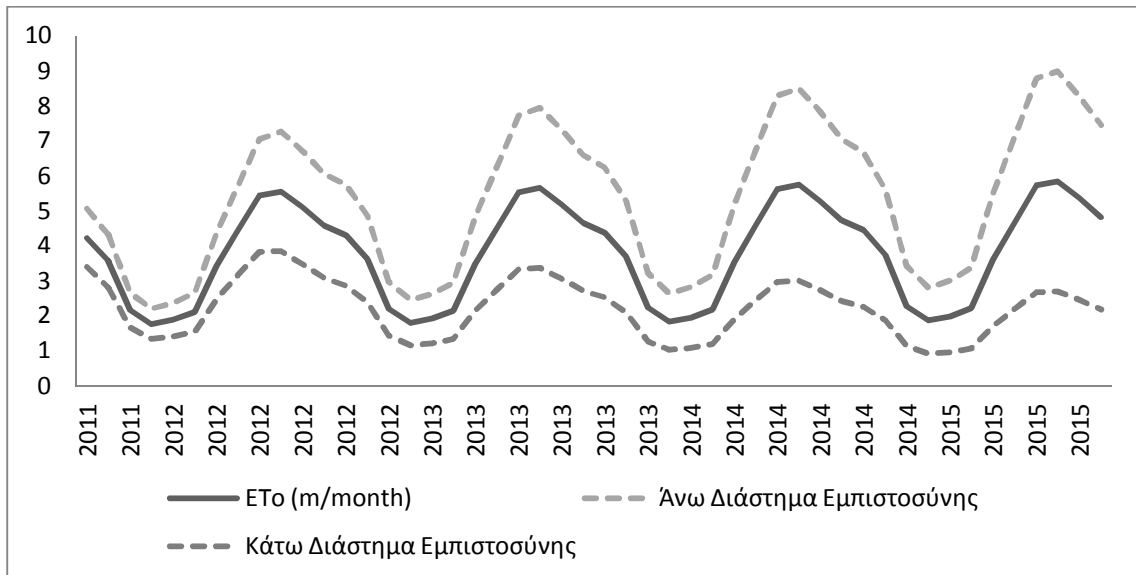
5.4.3 Εξατμισοδιαπνοή (ETo)

Το μοντέλο της εξατμισοδιαπνοής είναι αρκετά παρόμοιο με αυτό της εξάτμισης για τη συγκεκριμένη λίμνη.



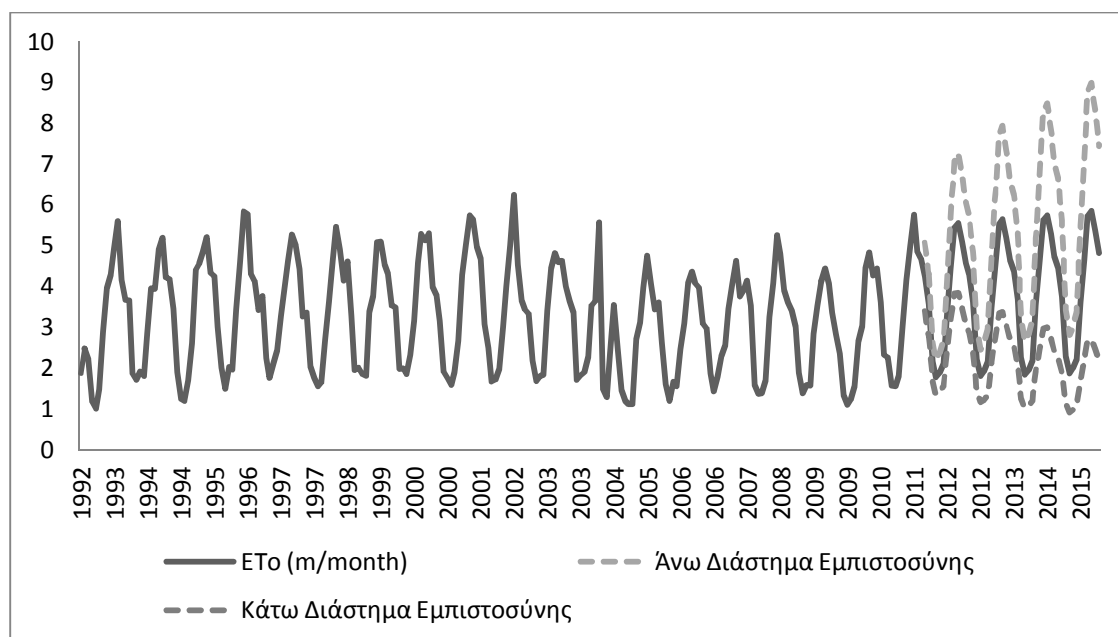
Διάγραμμα 5.43: Τα δεδομένα της εξατμισοδιαπνοής για τα υδρολογικά έτη 1992-2011 της λίμνης Σάλτον Σι

Παρουσιάζεται, όπως φαίνεται και από το διάγραμμα 5.43, ίδια μορφή ροής των δεδομένων και ίδιες ανωμαλίες, στις ίδιες χρονικές στιγμές, γεγονός που οφείλεται στον υπολογισμό των δεδομένων των δύο παραμέτρων από τα ίδια μετεωρολογικά στοιχεία.



Διάγραμμα 5.44: Οι προβλέψεις της εξατμισοδιαπνοής και τα διαστήματα εμπιστοσύνης για τα υδρολογικά έτη 2011-2015 της μεθόδου Holt για τη λίμνη Σάλτον Σι

Η μέθοδος που παρουσίασε τη μικρότερη απόκλιση από τα πραγματικά δεδομένα των υδρολογικών ετών που κρύφθηκαν ήταν η μέθοδος Holt. Στο διάγραμμα 5.44 όπου παρουσιάζονται τα αποτελέσματα φαίνεται ότι ακολουθεί πιστά τον τύπο της ροής, με ένα διάστημα εμπιστοσύνης όμως που τείνει στην υπερεκτίμηση.

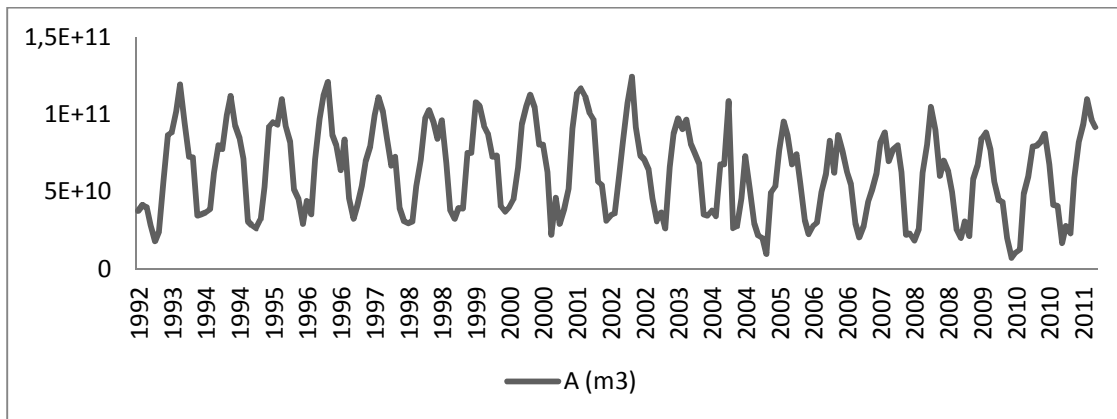


Διάγραμμα 5.45: Τα τελικά δεδομένα της εξατμισοδιαπνοής για τα υδρολογικά έτη 1992-2015 της λίμνης Σάλτων Σι

Δεν εντυπωσιάζει το γεγονός ότι οι τελικές προβλέψεις της μεθόδου είναι ενισχυμένες ως προς το αποτέλεσμα αλλά και ως προς το τελικό διάστημα εμπιστοσύνης, όπως φαίνεται στο διάγραμμα 5.45, δεδομένου ότι εμπεριέχονται στις αρχικές χρονοσειρές κυρίως ανώτατες ακραίες τιμές (2001-2002) οι οποίες και επηρεάζουν το τελικό αποτέλεσμα.

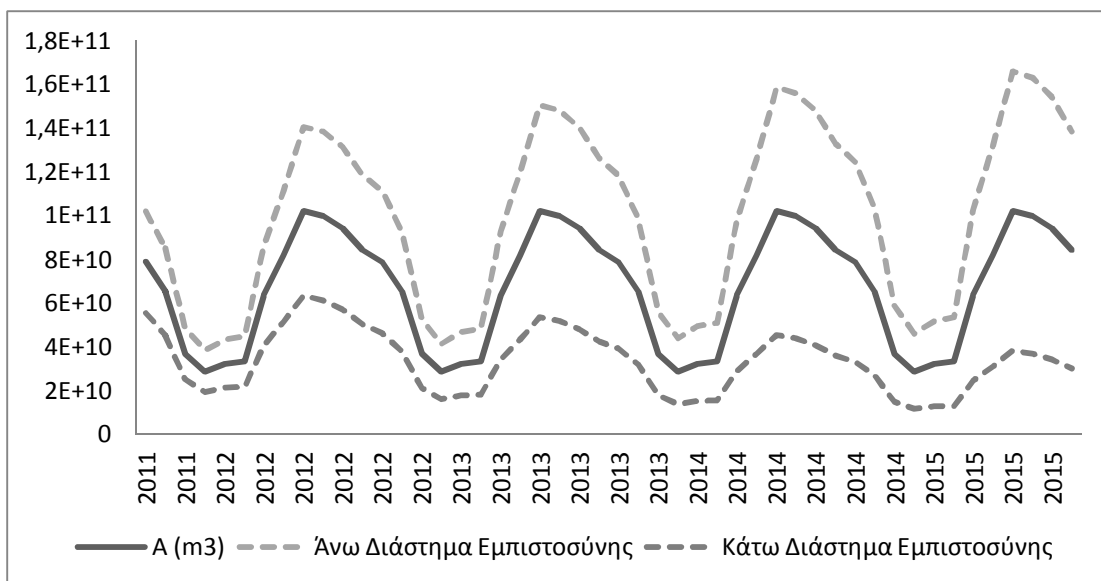
5.4.4 Απορροή (A)

Ομοίως με τις προηγούμενες παραμέτρους και η απορροή δεν παρουσιάζει έντονες τάσεις. Διαφοροποιείται σε μια ελαφριά τάση πτώσης που έχει ως προς τις τιμές της αλλά και τα μέγιστα και τα ελάχιστα στα τελευταία 6 υδρολογικά έτη. Κάτι τέτοιο γίνεται εύκολο διακριτό από το διάγραμμα 5.46 της συνολικής απορροής.



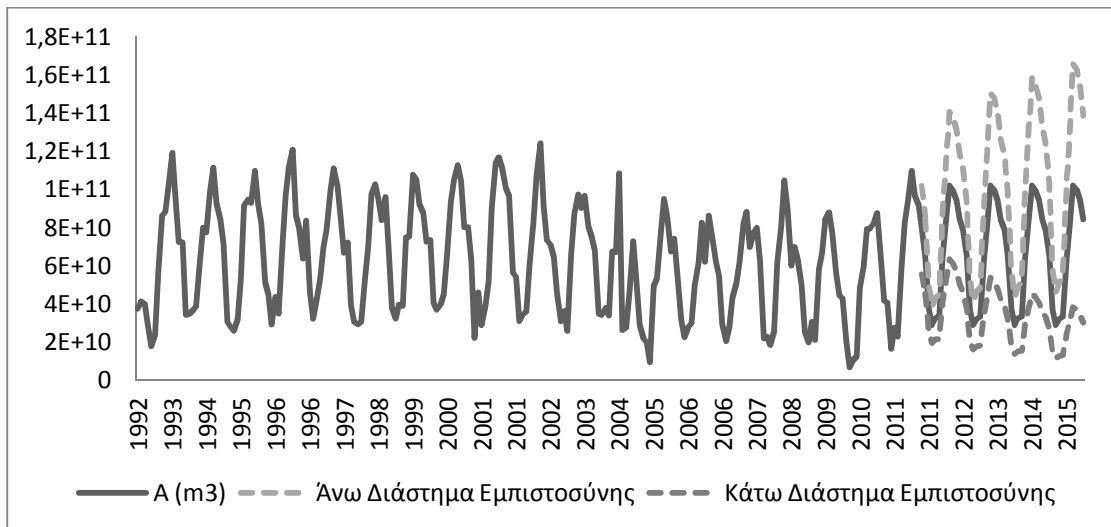
Διάγραμμα 5.46: Τα δεδομένα της απορροής για τα υδρολογικά έτη 1992-2011 της λίμνης Σάλτον Σι

Η μέθοδος που τελικά έδειξε να προσαρμόζεται καλύτερα στα δεδομένα αυτά ήταν η μέθοδος SES, παρά το γεγονός ότι δεν προσαρμόζεται καλά στην τάση (διάγραμμα 5.47).



Διάγραμμα 5.47: Οι προβλέψεις της απορροής και τα διαστήματα εμπιστοσύνης για τα υδρολογικά έτη 2011-2015 της μεθόδου SES για τη λίμνη Σάλτον Σι

Από τα αποτελέσματα που έδωσε είναι εύκολα διακριτό ότι η μέθοδος αυτή δίνει μια σταθερή συνέχεια της χρονοσειράς της απορροής για τα υδρολογικά έτη στα οποία γίνεται ο έλεγχος, αγνοώντας εντελώς την τάση που φαίνεται στο διάγραμμα 5.45 των δεδομένων.

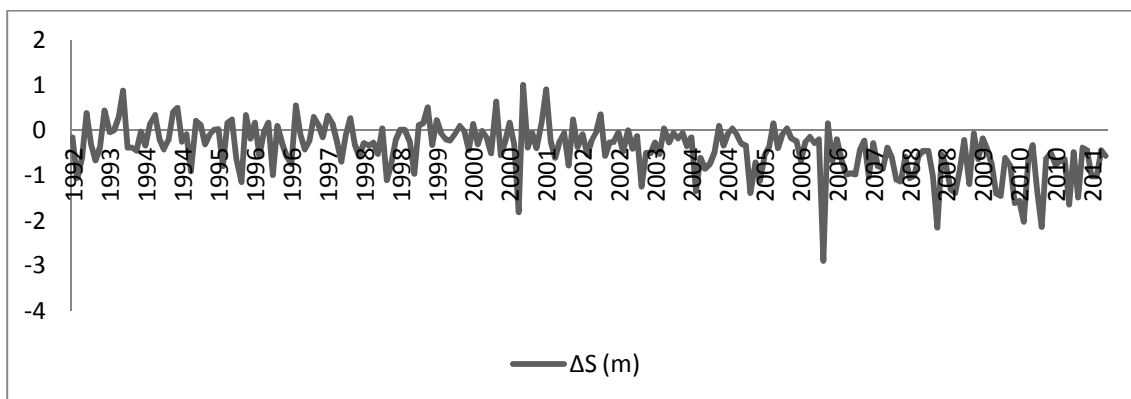


Διάγραμμα 5.48: Τα τελικά δεδομένα της απορροής για τα υδρολογικά έτη 1992-2015 της λίμνης Σάλτον Σι

Επομένως, και τα αποτελέσματα κινούνται σε αντίστοιχο μήκος, καλύπτοντας μεν τη χρονοσειρά για τις κεντρικές τιμές αλλά αποκλίνοντας στα άκρα και στην μεσοπρόθεσμη τάση. Να σημειωθεί ότι και τα δύο αυτά χαρακτηριστικά καλύπτονται παρόλα αυτά από το διάστημα εμπιστοσύνης των προβλέψεων (διάγραμμα 5.48).

5.4.5 Διαφορά Στάθμης (ΔS)

Η μεταβολή της στάθμης της λίμνης Σάλτον Σι για το χρονικό ορίζοντα μελέτης φαίνεται στο διάγραμμα 5.49.

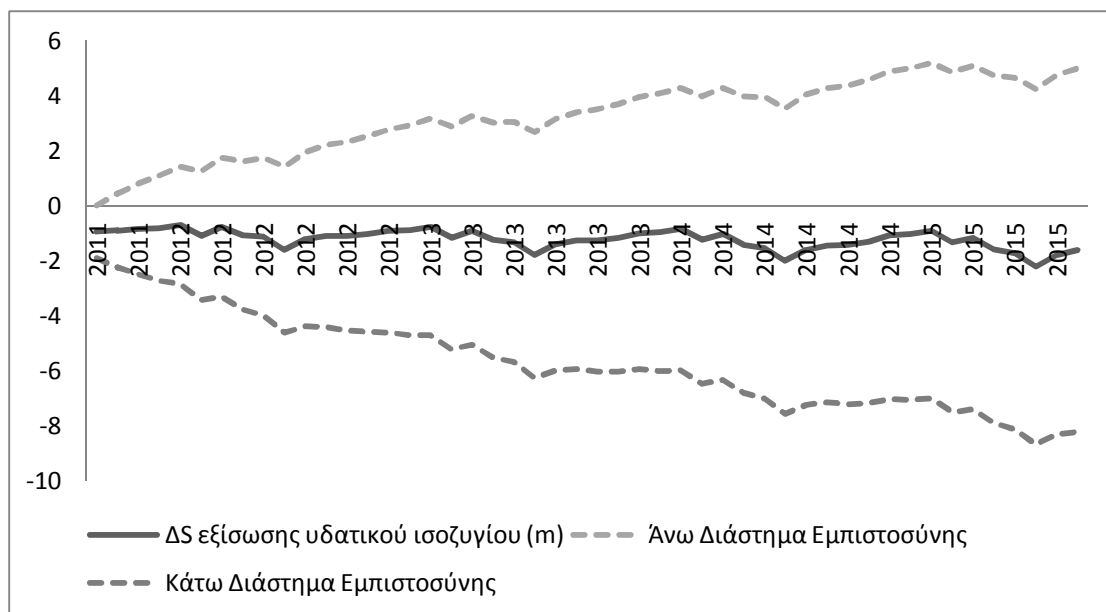


Διάγραμμα 5.49: Τα δεδομένα της διαφοράς στάθμης για τα υδρολογικά έτη 1992-2011 της λίμνης Σάλτον Σι

Είναι φανερό ότι η στάθμη του ταμιευτήρα έχει καθοδική πορεία, και στη συνέχεια, με τις τρεις διαδικασίες πρόβλεψης, θα βρεθεί ποια πλησιάζει περισσότερο στο να δώσει μια σωστότερη εκτίμηση της μελλοντικής αυτής τάσης.

ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΗΣ ΕΞΙΣΩΣΗΣ ΤΟΥ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ

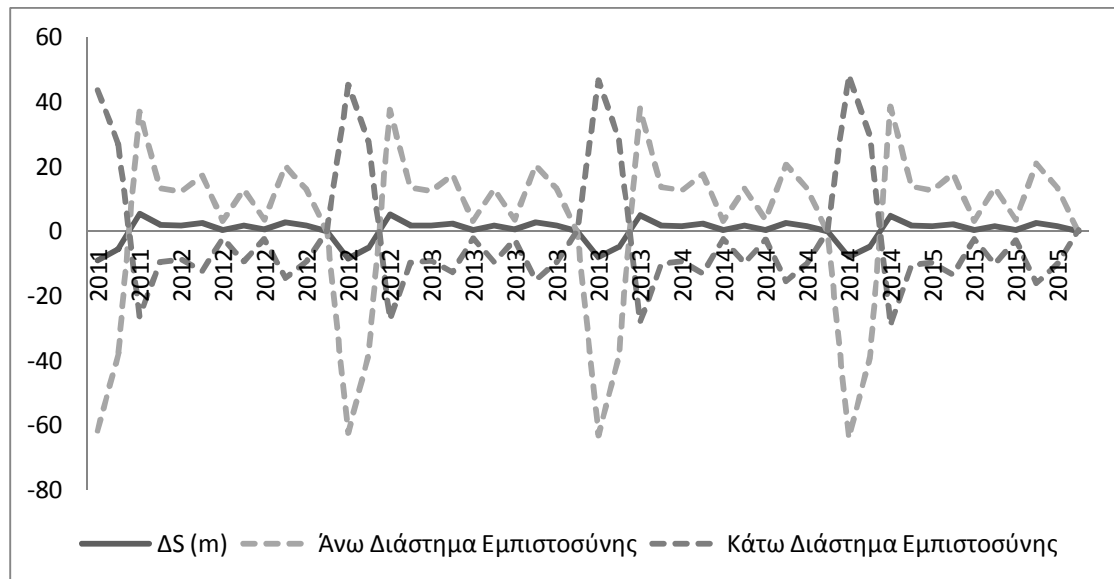
Μετά την επίλυση της εξίσωσης του υδατικού ισοζυγίου βρέθηκαν οι ακόλουθες στάθμες για τον ταμιευτήρα (διάγραμμα 5.50).



Διάγραμμα 5.50: Οι προβλέψεις της διαφοράς στάθμης και τα διαστήματα εμπιστοσύνης για τα υδρολογικά έτη 2011-2015 της επίλυσης της εξίσωσης υδατικού ισοζυγίου για τη λίμνη Σάλτον Σι

Παρά το γεγονός ότι οι τιμές αυτές είναι αρκετά κοντά στην πραγματικότητα, δεν αποτελούν τη βέλτιστη λύση ως προς τις ζητούμενες προβλέψεις, με βάση την τετραετία για την οποία υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα. Αυτό πιθανώς οφείλεται σε παραδοχές που έχουν γίνει για τις βασικές παραμέτρους υπολογισμού που εμποδίζουν τη σωστή προέκταση των δεδομένων στο χρονικό ορίζοντα πρόβλεψης.

ΠΡΟΕΚΤΑΣΗ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑΣ ΔΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ HOLT

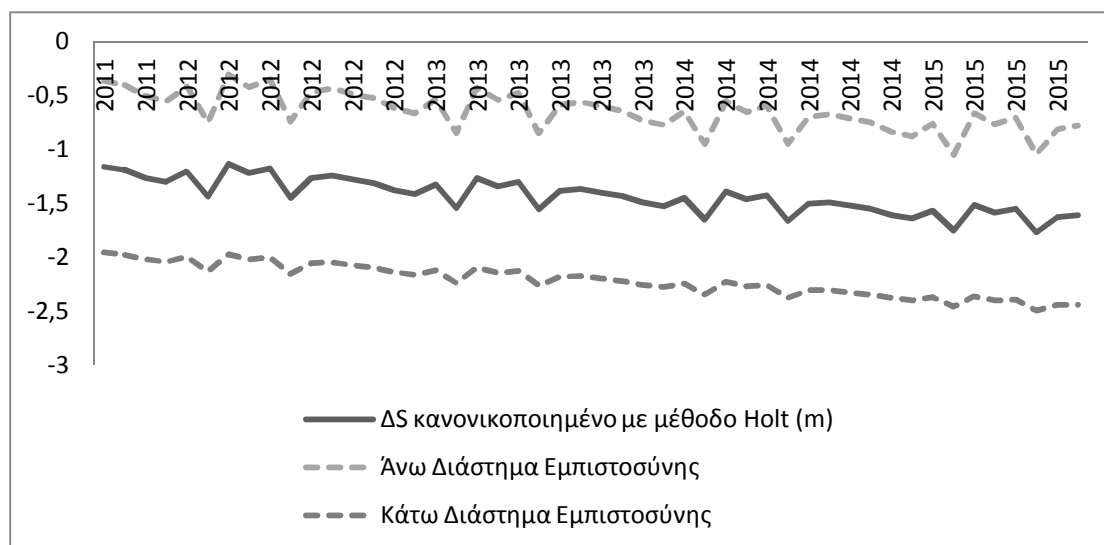


Διάγραμμα 5.51: Οι προβλέψεις της διαφοράς στάθμης και τα διαστήματα εμπιστοσύνης για τα υδρολογικά έτη 2011-2015 της μεθόδου Holt για τη λίμνη Σάλτον
Σι

Η απλά προέκταση της χρονοσειράς με τη μέθοδο πρόβλεψης Holt είναι η μέθοδος που έδωσε το μεγαλύτερο σφάλμα ως προς τα δεδομένα. Όπως αναφέρθηκε και για δεδομένα της λίμνης Αργκάιλ, δεν είναι δυνατός ο οπτικός διαχωρισμός των διαστημάτων εμπιστοσύνης σε σημεία λόγω του εύρους των τιμών και της περιορισμένης έκτασης του διαγράμματος.

ΠΡΟΕΚΤΑΣΗ ΚΑΝΟΝΙΚΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑΣ ΔΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ HOLT

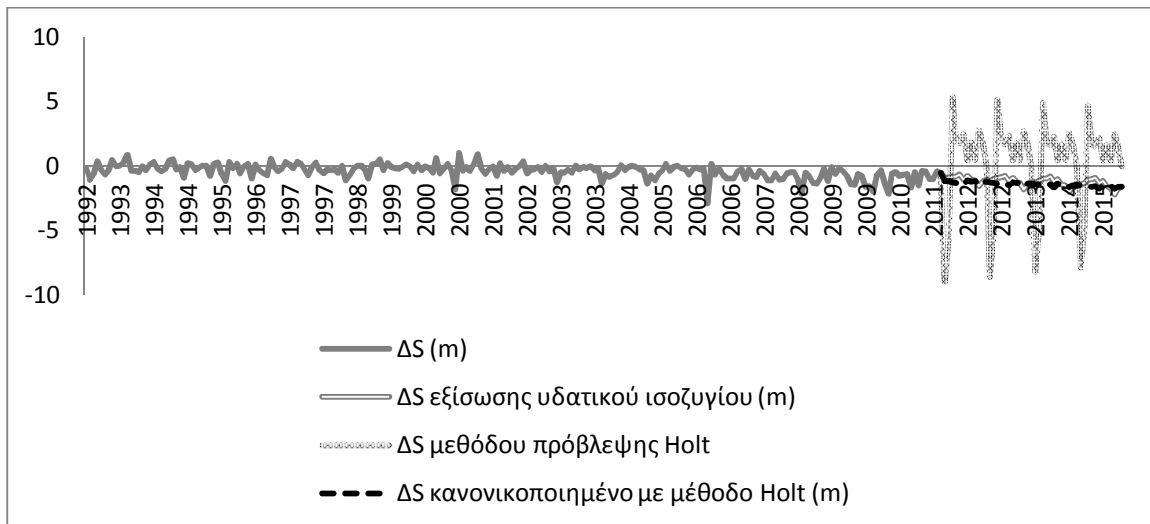
Μετά την κανονικοποίηση της χρονοσειράς της διαφοράς της στάθμης, έγιναν και πάλι οι γνωστές διεργασίες με το πρόγραμμα RStudio για την επιλογή της μεθόδου πρόβλεψης που δίνει το μικρότερο μέσο τετραγωνικό σφάλμα για τα δεδομένα των ετών 2007-2011. Καταλληλότερη κρίθηκε η μέθοδος Holt, όπως και για τη μη κανονικοποιημένη χρονοσειρά των δεδομένων. Στη συνέχεια, εντάχθηκαν τα δεδομένα της σε ενιαίο αρχείο με των υπόλοιπων μεθόδων (διάγραμμα 5.54) για να γίνει η τελική σύγκριση.



Διάγραμμα 5.52: Οι προβλέψεις της διαφοράς στάθμης και τα διαστήματα εμπιστοσύνης για τα υδρολογικά έτη 2011-2015 των κανονικοποιημένων δεδομένων με τη μέθοδο Holt για τη λίμνη Σάλτον Σι

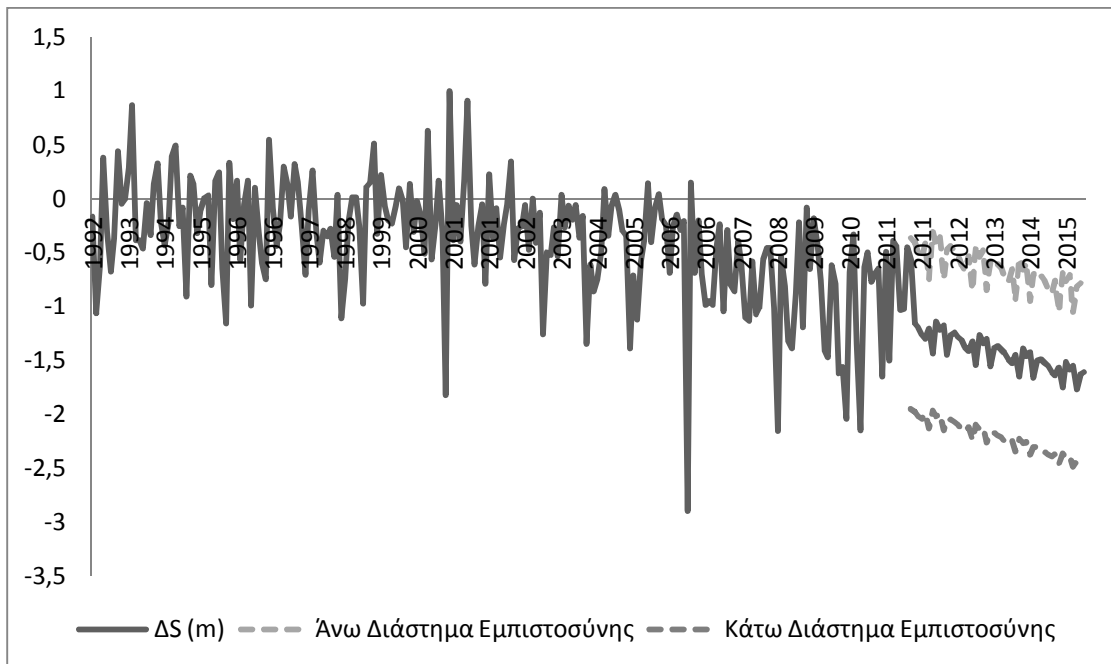
Η κανονικοποιημένη χρονοσειρά της διαφοράς της στάθμης έδωσε το μικρότερο μέσο τετραγωνικό σφάλμα συγκριτικά με τις άλλες δύο μεθόδους που αναφέρθηκαν. Αυτό οφείλεται στο ότι τα κανονικοποιημένα δεδομένα επεξεργάζονται καλύτερα με τις μεθόδους πρόβλεψης. Χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα της συγκεκριμένης περίπτωσης που η προέκταση και της απλής χρονοσειράς και της κανονικοποιημένης έγιναν με την ίδια μέθοδο πρόβλεψης και έδωσαν τόσο μεγάλη απόκλιση σε σφάλμα (διάγραμμα 5.52).

Τέλος, διαπιστώνονται και οπτικά από το ακόλουθο συγκεντρωτικό διάγραμμα 5.53 των χρονοσειρών για τις διάφορες στάθμεις ότι τα δεδομένα της κανονικοποιημένης χρονοσειράς προσαρμόζονται καλύτερα στη ροή των δεδομένων.



Διάγραμμα 5.53: Τα δεδομένα και οι προβλέψεις όλων των μεθόδων της διαφοράς στάθμης για τα υδρολογικά έτη 1992-2015 της λίμνης Σάλτον Σι

Η συνολική χρονοσειρά της διαφοράς στάθμης για τη λίμνη Σάλτον Σι θα είναι:

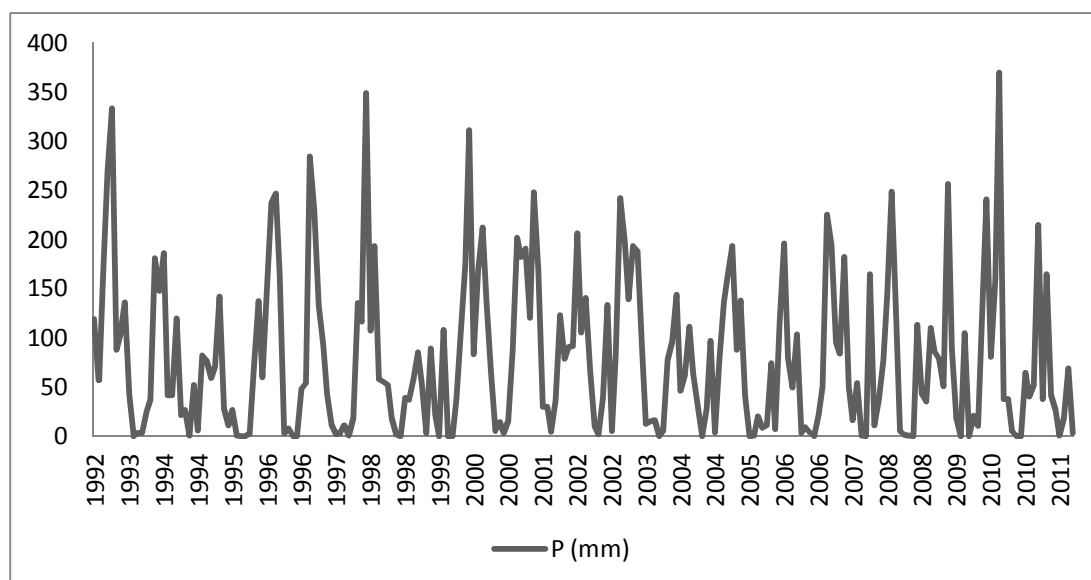


Διάγραμμα 5.54: Τα τελικά δεδομένα της διαφοράς στάθμης για τα υδρολογικά έτη 1992-2015 της λίμνης Σάλτον Σι

5.5 Η λίμνη Σαν Ροκέ (Αργεντινή)

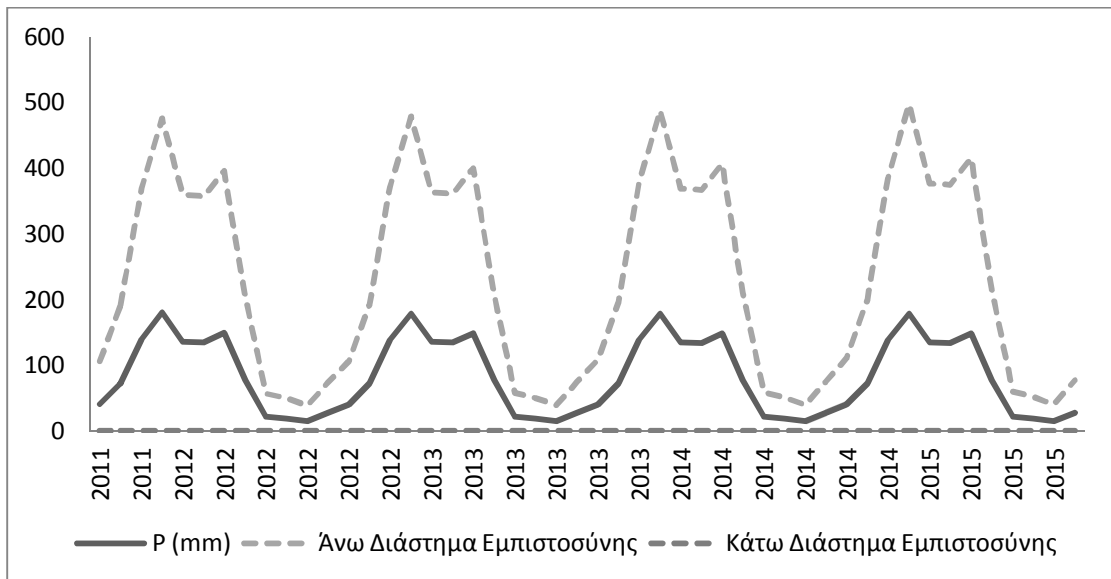
5.5.1 Βροχόπτωση (P)

Από τα δεδομένα και το αντίστοιχο διάγραμμα 5.55 για τη λίμνη Σαν Ροκέ παρατηρείται ότι τα μέγιστα ακραία δεδομένα εμφανίζονται κατά τους μήνες Οκτώβρη-Μάρτιο. Από το διάγραμμα δε μπορεί κανείς να καταλήξει εύκολα σε κάποια τάση της χρονοσειράς, επομένως η επεξεργασία αναμένεται να δείξει κάτι περισσότερο.



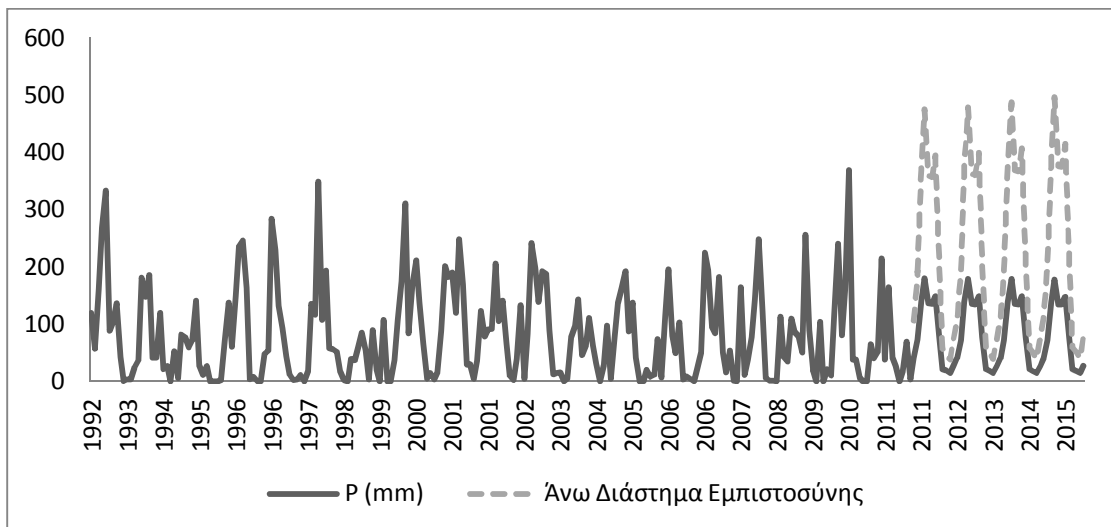
Διάγραμμα 5.55: Τα δεδομένα της βροχόπτωσης για τα υδρολογικά έτη 1992-2011 της λίμνης Σαν Ροκέ

Μετά την επεξεργασία των δεδομένων με το πρόγραμμα RStudio, προέκυψε ως η καταλληλότερη μέθοδος πρόβλεψης για τη βροχόπτωση της λίμνης Σαν Ροκέ η μέθοδος Damped, δίνοντας τα ποτελέσματα που φαίνονται παρακάτω για τα υδρολογικά έτη 2007-2011. Αν και οι τιμές των προβλέψεων απέχουν αρκετά από τα πραγματικά δεδομένα, τα διαστήματα εμπιστοσύνης έχουν συμπεριλάβει τις ακρότητες που εμφανίστηκαν εκείνο το χρονικό διάστημα. Να σημειωθεί ότι τα χειρότερα αποτελέσματα, όπως και ήταν αναμενόμενο, τα έδωσε η μέθοδος Naive για τη συγκεκριμένη χρονοσειρά (διάγραμμα 5.56).



Διάγραμμα 5.56: Οι προβλέψεις της βροχόπτωσης και τα διαστήματα εμπιστοσύνης για τα υδρολογικά έτη 2011-2015 της μεθόδου Dampred για τη λίμνη Σαν Ροκέ

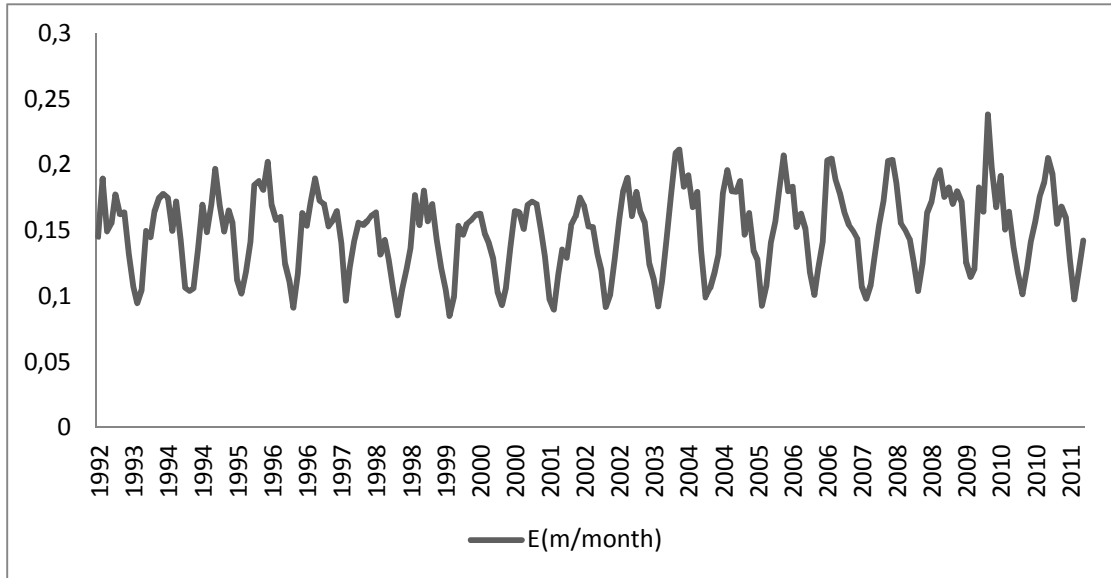
Τα δεδομένα της βροχόπτωσης για τον ορίζοντα πρόβλεψης των τεσσάρων ετών, σύμφωνα με τη μέθοδο Dampred, είναι αυτά που φαίνονται στο διάγραμμα 5.57.



Διάγραμμα 5.57: Τα τελικά δεδομένα της βροχόπτωσης για τα υδρολογικά έτη 1992-2015 της λίμνης Σαν Ροκέ

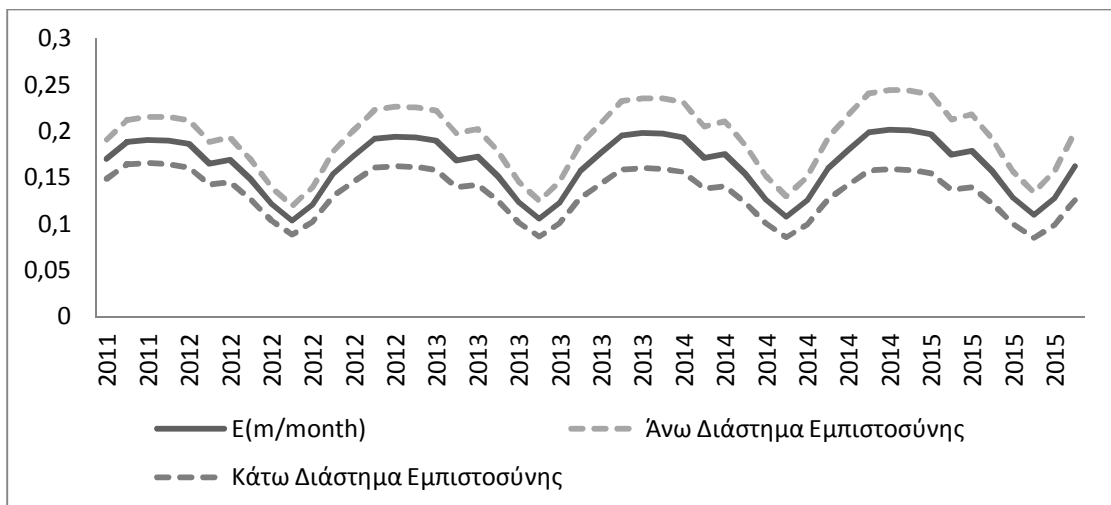
5.5.2 Εξάτμιση (E)

Για την εξάτμιση του ταμιευτήρα η κατανομή των δεδομένων είναι παρόμοια με τις υπόλοιπες λίμνες που μελετήθηκαν ως τώρα, ακολουθούν δηλαδή μια ευθεία οριζόντια γραμμή, όταν τα δεδομένα αποεποχικοποιηθούν.



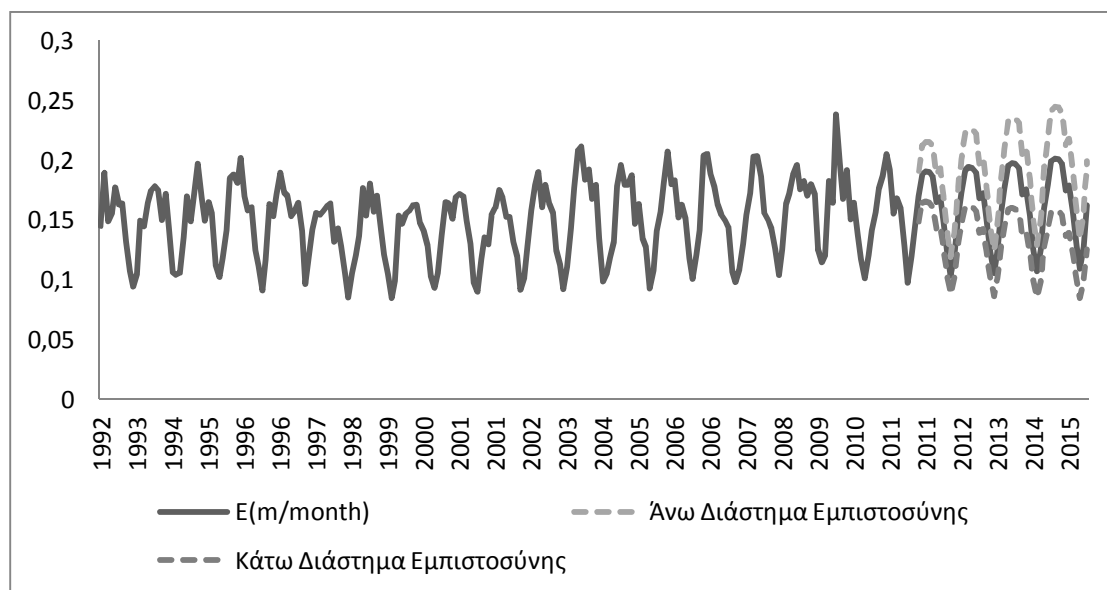
Διάγραμμα 5.58: Τα δεδομένα της εξάτμισης για τα υδρολογικά έτη 1992-2011 της λίμνης Σαν Ροκέ

Από τη στιγμή, λοιπόν, που δεν παρατηρούνται ιδιαίτερες ακρότητες στα δεδομένα, παρά μια ελαφριά τάση, αναμενόμενη είναι η ανάδειξη της μεθόδου πρόβλεψης Holt, ως η ιδανικότερη για την πρόβλεψη των δεδομένων της εξάτμισης. Από το διάγραμμα 5.59 φαίνεται μια αρκετά καλή προσαρμογή της μεθόδου στα δεδομένα της τελευταίας τετραετίας της χρονοσειράς της εξάτμισης. Πάλι εδώ, η μέθοδος που έδωσε το μεγαλύτερο σφάλμα ήταν η μέθοδος Naïve.



Διάγραμμα 5.59: Οι προβλέψεις της εξάτμισης και τα διαστήματα εμπιστοσύνης για τα υδρολογικά έτη 2011-2015 της μεθόδου Holt για τη λίμνη Σαν Ροκέ

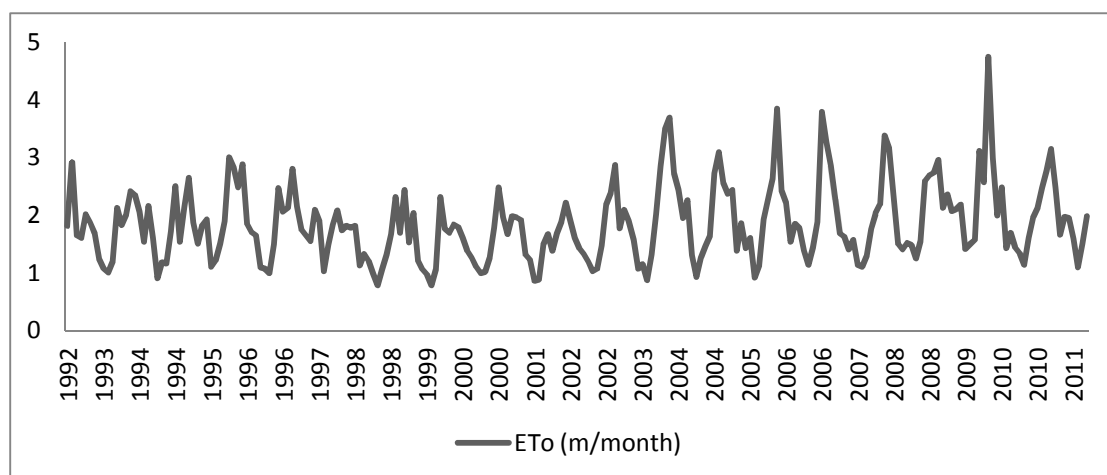
Οι προβλέψεις για τον ορίζοντα πρόβλεψης παρουσιάζουν ανάλογη κατανομή, με μοναδική παρατήρηση ότι συμπεριλαμβάνουν και την ανοδική τάση στη ροή των δεδομένων (διάγραμμα 5.60).



Διάγραμμα 5.60: Τα τελικά δεδομένα της εξάτμισης για τα υδρολογικά έτη 1992-2015 της λίμνης Σαν Ροκέ

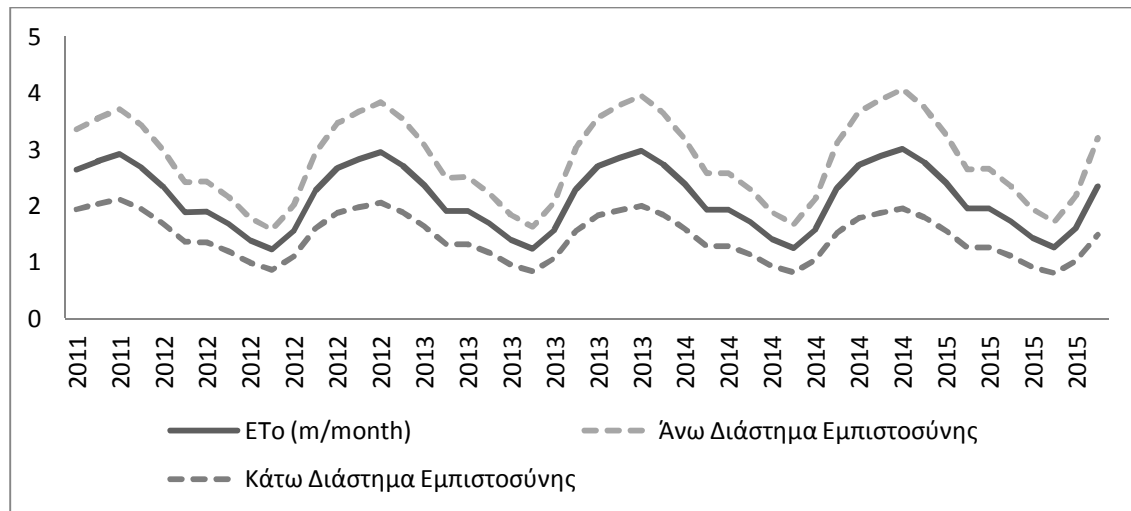
5.5.3 Εξατμισοδιαπνοή (ETo)

Το διάγραμμα 5.61 της εξατμισοδιαπνοής για τη λεκάνη απορροής της λίμνης Σαν Ροκέ παρουσιάζει άνοδο στις μέγιστες τιμές της χρονοσειράς για τα τελευταία έτη. Η διαφορά αυτή από την εξάτμιση, όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενη λίμνη οφείλεται κυρίως στο διαφορετικό ψυχομετρικό συντελεστή και στη μέση μηνιαία ταχύτητα του ανέμου.



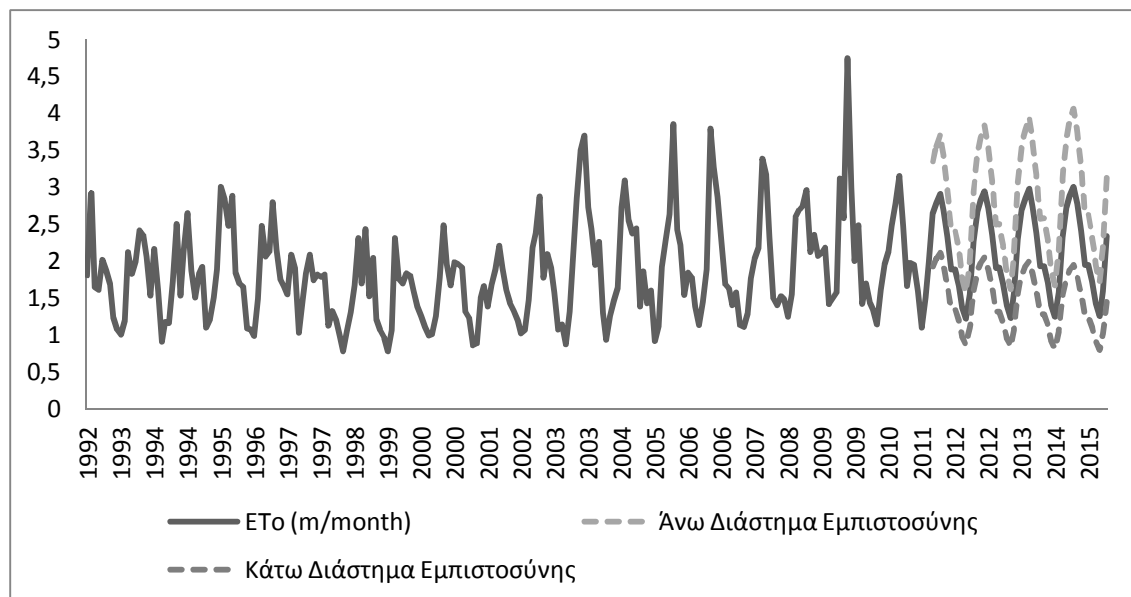
Διάγραμμα 5.61: Τα δεδομένα της εξατμισοδιαπνοής για τα υδρολογικά έτη 1992-2011 της λίμνης Σαν Ροκέ

Στην περίπτωση της εξατμισοδιαπνοής, η μέθοδος Holt είναι αυτή που προβλέπει καλύτερα τα δεδομένα της χρονοσειράς, αν και με σύγκριση των δύο διαγραμμάτων, εύκολα διακρίνεται ότι οι ακραίες τιμές για τα υδρολογικά έτη 2009-2011 χάνονται (διάγραμμα 5.62).



Διάγραμμα 5.62: Οι προβλέψεις της εξατμισοδιαπνοής και τα διαστήματα εμπιστοσύνης για τα υδρολογικά έτη 2011-2015 της μεθόδου Holt για τη λίμνη Σαν Ροκέ

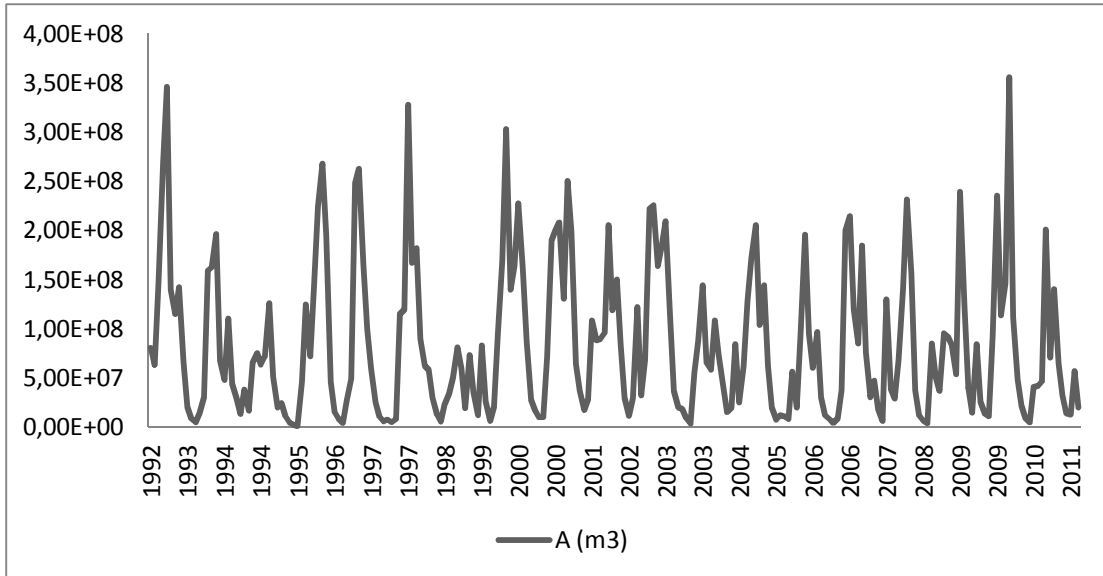
Τελικά αποδίδονται οι μελλοντικές τιμές ως πιο σταθερές από το παροντικό μοντέλο, με ένα διάστημα εμπιστοσύνης που καλύπτει τυχόν αποκλίσεις.



Διάγραμμα 5.63: Τα τελικά δεδομένα της εξατμισοδιαπνοής για τα υδρολογικά έτη 1992-2015 της λίμνης Σαν Ροκέ

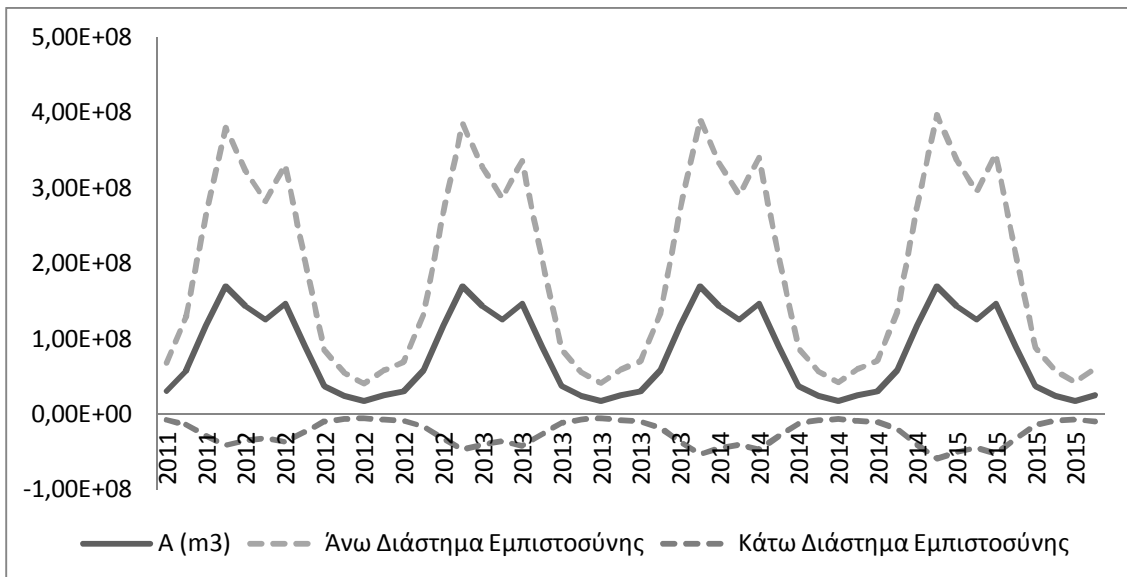
5.5.4 Απορροή (A)

Η απορροή είναι μια αρκετά απρόβλεπτη χρονοσειρά για τη λίμνη Σαν Ροκέ, όπως φαίνεται παρακάτω (διάγραμμα 5.64).



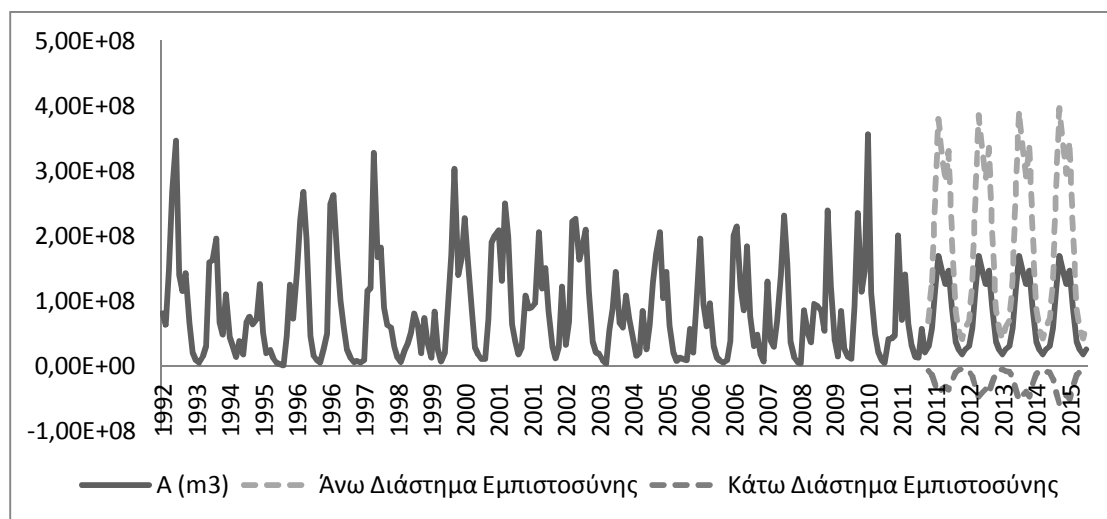
Διάγραμμα 5.64: Τα δεδομένα της απορροής για τα υδρολογικά έτη 1992-2011 της λίμνης Σαν Ροκέ

Ακριβώς επειδή στα κρυμμένα δεδομένα ελέγχου βρίσκεται η τελευταία τετραετία όπου οι ακραίες τιμές της χρονοσειράς ανεβαίνουν, το μοντέλο που προσαρμόστηκε καλύτερα ήταν αυτό της μεθόδου Damped. Παρά το γεγονός ότι η απόκλιση του ήταν αρκετά μεγάλη όσον αφορά τα μέγιστα άκρα, ήταν αυτή που έδωσε το μικρότερο μέσο τετραγωνικό σφάλμα από τις υπόλοιπες (διάγραμμα 5.65).



Διάγραμμα 5.65: Οι προβλέψεις της απορροής και τα διαστήματα εμπιστοσύνης για τα υδρολογικά έτη 2011-2015 της μεθόδου Damped για τη λίμνη Σαν Ροκέ

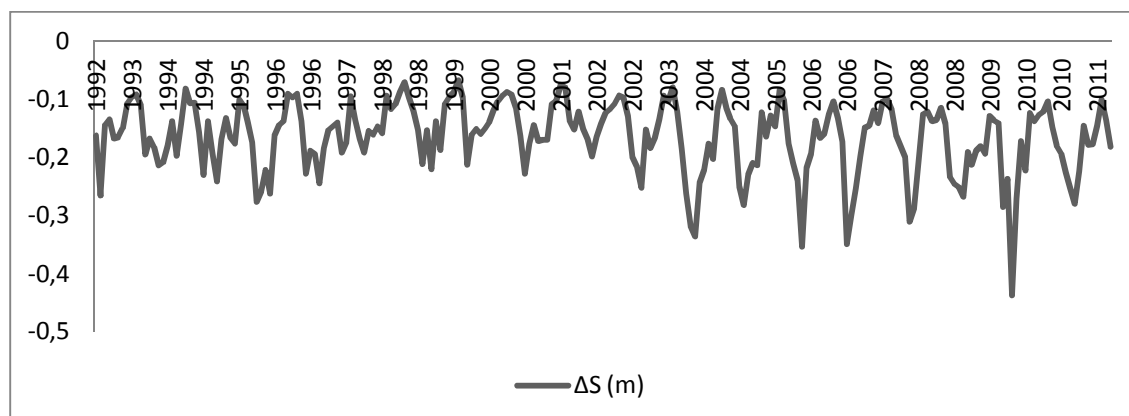
Στα τελικά δεδομένα των προβλέψεων, δεδομένου ότι εμπεριέχονται και οι ακραίες τιμές των υδρολογικών ετών 2007-2011, παρατηρείται ότι ενώ διατηρείται η καθοδική πορεία του μοντέλου, οι αρχικές τιμές είναι αρκετά μεγαλύτερες (διάγραμμα 5.66).



Διάγραμμα 5.66: Τα τελικά δεδομένα της απορροής για τα υδρολογικά έτη 1992-2015 της λίμνης Σαν Ροκέ

5.5.5 Διαφορά Στάθμης (ΔS)

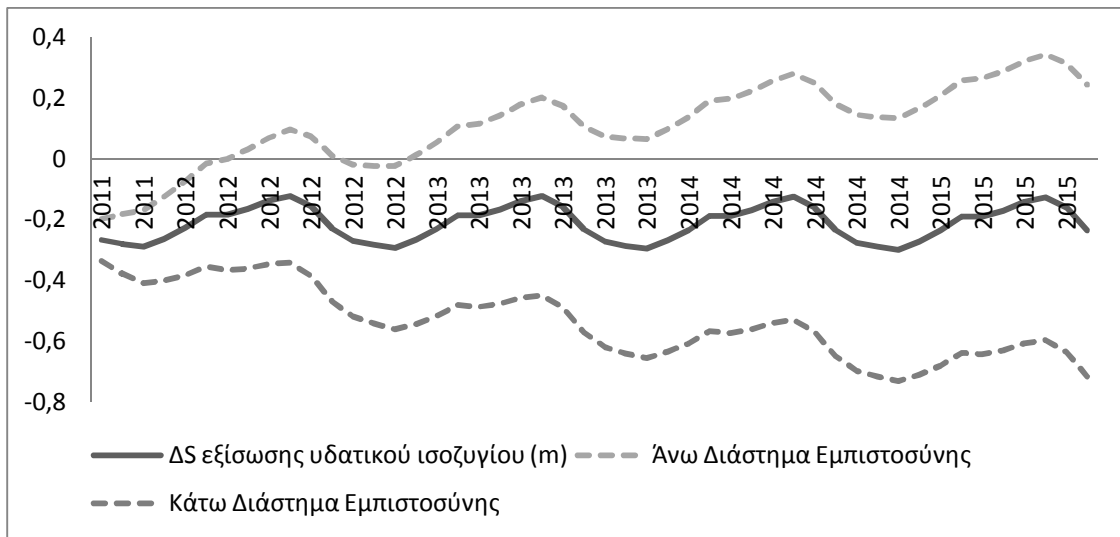
Η διαφορά στη στάθμη του ταμιευτήρα Σαν Ροκέ, όπως και φαίνεται και στο διάγραμμα παρακάτω, έχει καθοδική πορεία, ειδικά για τα τελευταία 6 υδρολογικά έτη (διάγραμμα 5.67).



Διάγραμμα 5.67: Τα δεδομένα της διαφοράς στάθμης για τα υδρολογικά έτη 1992-2011 της λίμνης Σαν Ροκέ

Τα δεδομένα προεκτάθηκαν με τις 3 διαφορετικές μεθόδους και έδωσαν τα ακόλουθα αποτελέσματα (διάγραμμα 5.71).

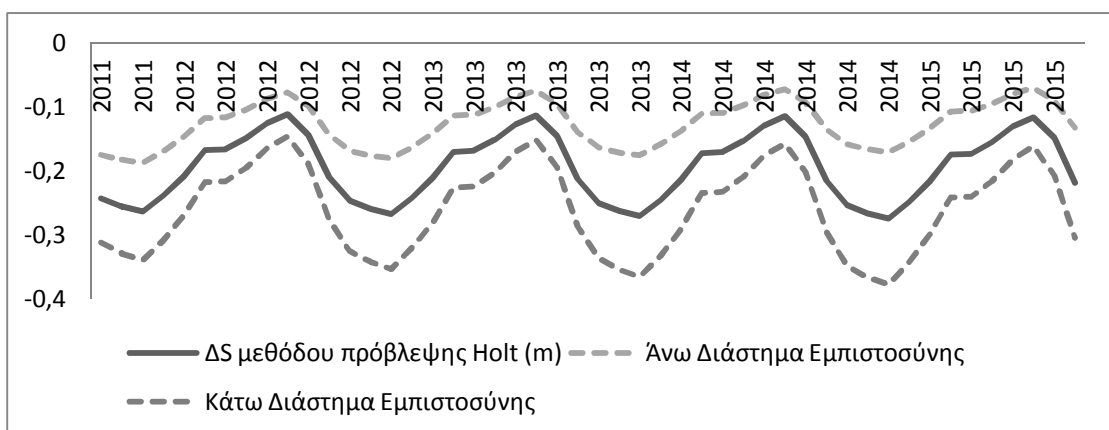
ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΗΣ ΕΞΙΣΩΣΗΣ ΤΟΥ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ



Διάγραμμα 5.68: Οι προβλέψεις της διαφοράς στάθμης και τα διαστήματα εμπιστοσύνης για τα υδρολογικά έτη 2011-2015 της επίλυσης της εξίσωσης υδατικού ισοζυγίου για τη λίμνη Σαν Ροκέ

Όπως είναι αναμενόμενο, η επίλυση της εξίσωσης του υδατικού ισοζυγίου έδωσε τα καλύτερα αποτελέσματα στις προβλέψεις των κρυμμένων παρατηρήσεων (διάγραμμα 5.68). Παρόλα αυτά, παρατηρώντας τα διαγράμματα είναι εμφανές ότι τα δεδομένα δεν αποκλίνουν ιδιαίτερα μεταξύ τους γεγονός που σημαίνει ότι και οι τρεις μέθοδοι έχουν δώσει αρκετά καλές προβλέψεις.

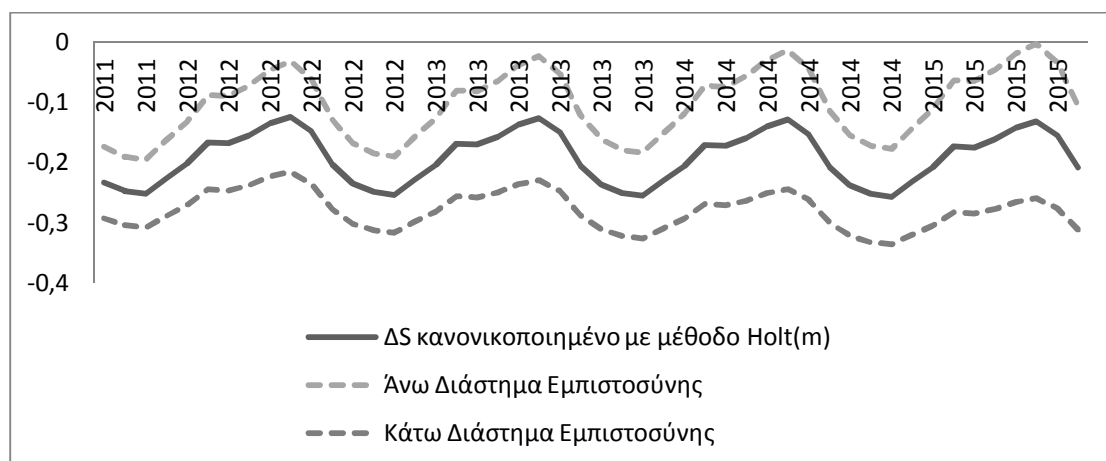
ΠΡΟΕΚΤΑΣΗ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑΣ ΔS ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ HOLT



Διάγραμμα 5.69: Οι προβλέψεις της διαφοράς στάθμης και τα διαστήματα εμπιστοσύνης για τα υδρολογικά έτη 2011-2015 της μεθόδου Holt για τη λίμνη Σαν Ροκέ

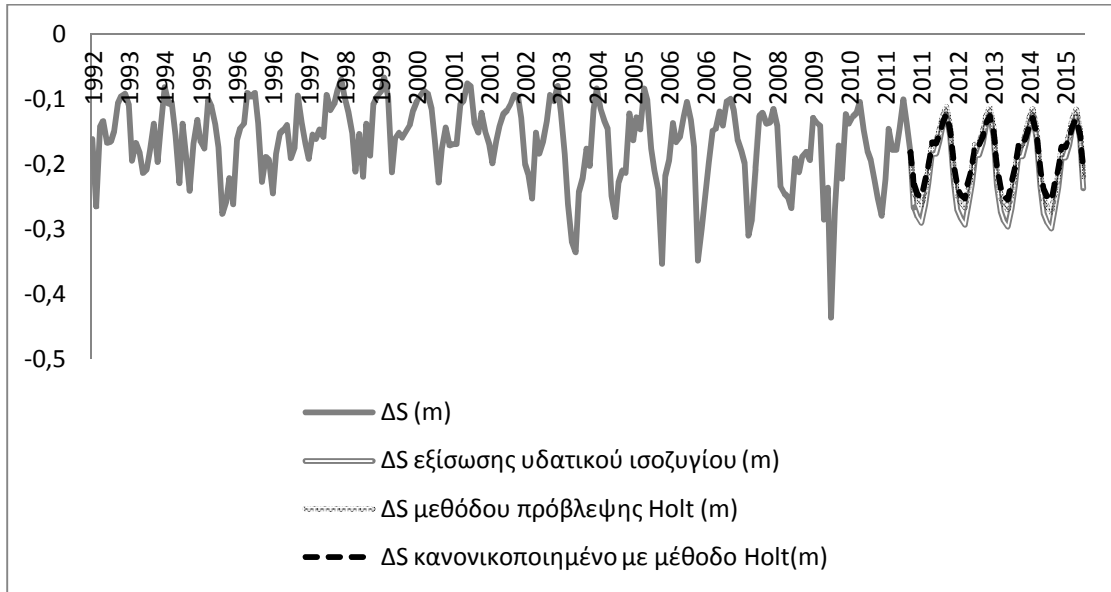
Η προέκταση της χρονοσειράς της διαφοράς της στάθμης με τη μέθοδο Holt, παρά το γεγονός ότι δίνει αποτελέσματα αρκετά παρόμοια με αυτά της επίλυσης της εξίσωσης του υδατικού ισοζυγίου, είναι η μέθοδος που εμφάνισε το μεγαλύτερο μέσο τετραγωνικό σφάλμα. Όπως έχει αναφερθεί και για τις μελέτες σε προηγούμενους ταμειυτήρες, αυτή η απόκλιση χαρακτηρίζεται ως λογική, δεδομένου ότι η προέκταση γίνεται μονοδιάστατα και χωρίς να συμπεριλαμβάνονται στον υπολογισμό άλλοι μεταβαλλόμενοι παράγοντες που επηρεάζουν τη στάθμη (διάγραμμα 5.69).

ΠΡΟΕΚΤΑΣΗ ΚΑΝΟΝΙΚΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑΣ ΔS ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ HOLT



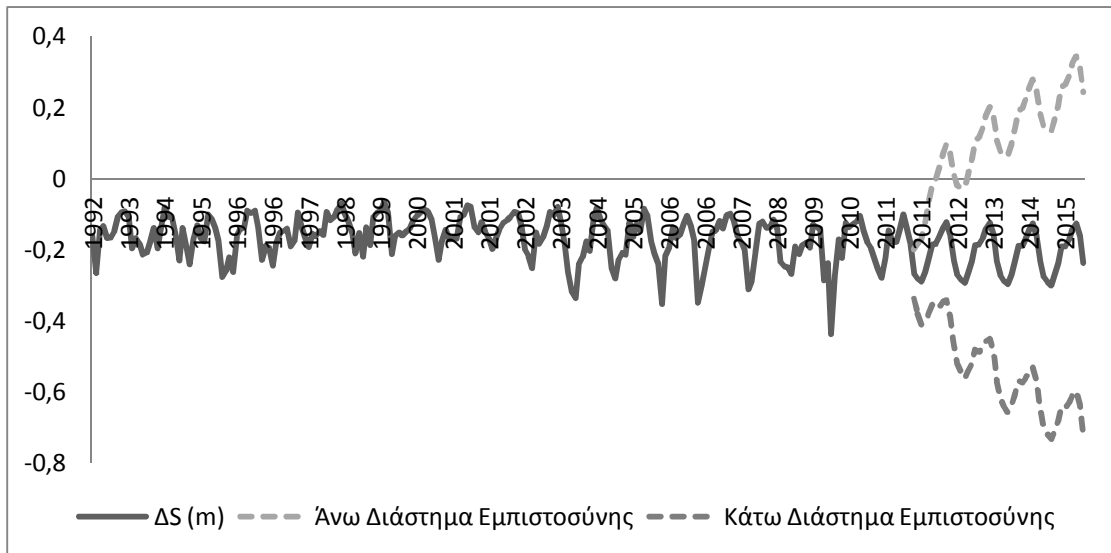
Διάγραμμα 5.70: Οι προβλέψεις της διαφοράς στάθμης και τα διαστήματα εμπιστοσύνης για τα υδρολογικά έτη 2011-2015 των κανονικοποιημένων δεδομένων με τη μέθοδο Holt για τη λίμνη Σαν Ροκέ

Η κανονικοποιημένη χρονοσειρά για τη στάθμη έδωσε τα δεύτερα καλύτερα αποτελέσματα στις προβλέψεις της διαφοράς της στάθμης. Τα δεδομένα όπως φαίνεται δεν αποκλίνουν μεταξύ τους (διάγραμμα 5.70). Αυτό διακρίνεται καθαρά στο συγκεντρωτικό διάγραμμα 5.71.



Διάγραμμα 5.71: Τα δεδομένα και οι προβλέψεις όλων των μεθόδων της διαφοράς στάθμης για τα υδρολογικά έτη 1992-2015 της λίμνης Σαν Ροκέ

Τέλος, η πλήρης χρονοσειρά της διαφοράς στάθμης, συμπεριλαμβανομένων των προβλέψεων για τα υδρολογικά έτη 2011-2015, εξελίσσεται όπως φαίνεται παρακάτω (διάγραμμα 5.72), με τις τιμές της επίλυσης της εξίσωσης υδατικού ισοζυγίου.

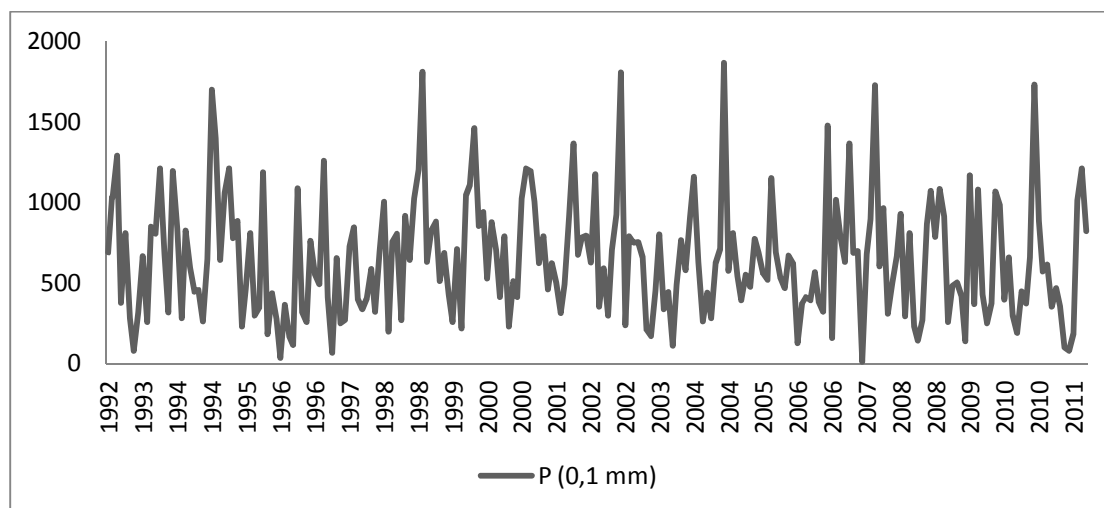


Διάγραμμα 5.72: Τα τελικά δεδομένα της διαφοράς στάθμης για τα υδρολογικά έτη 1992-2015 της λίμνης Σαν Ροκέ

5.6 Η λίμνη Άισελμεερ (Ολλανδία)

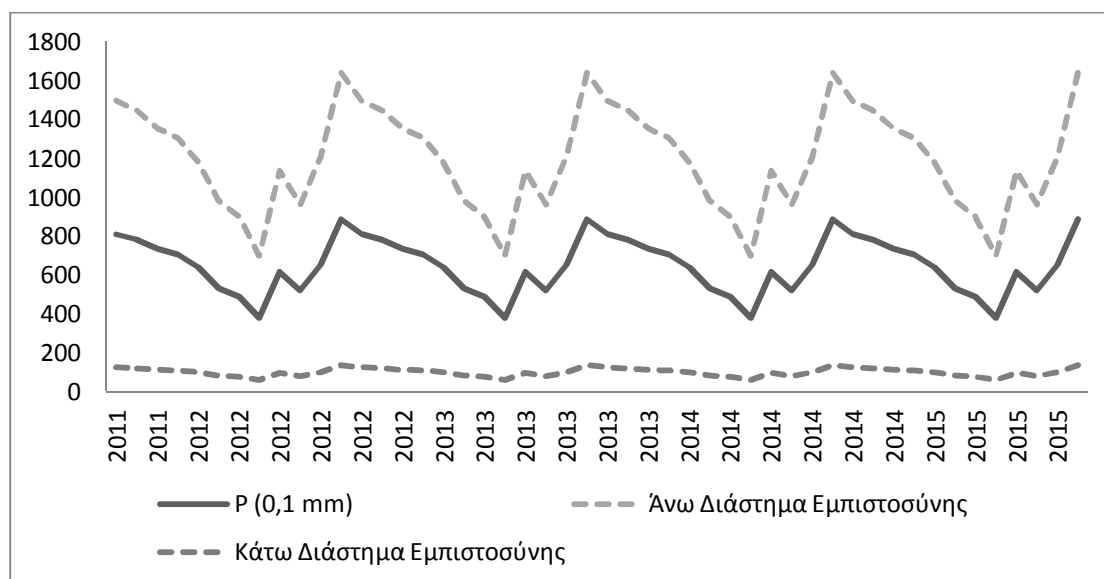
5.6.1 Βροχόπτωση (P)

Η βροχόπτωση για την περιοχή της λίμνης Άισελμεερ παρουσιάζει μια πυκνότητα στις μέγιστες τιμές της για τα τελευταία υδρολογικά έτη που έχουν καταγραφεί, χωρίς όμως αυτό να της προσδίδει κάποια ιδιαίτερη τάση (διάγραμμα 5.73).

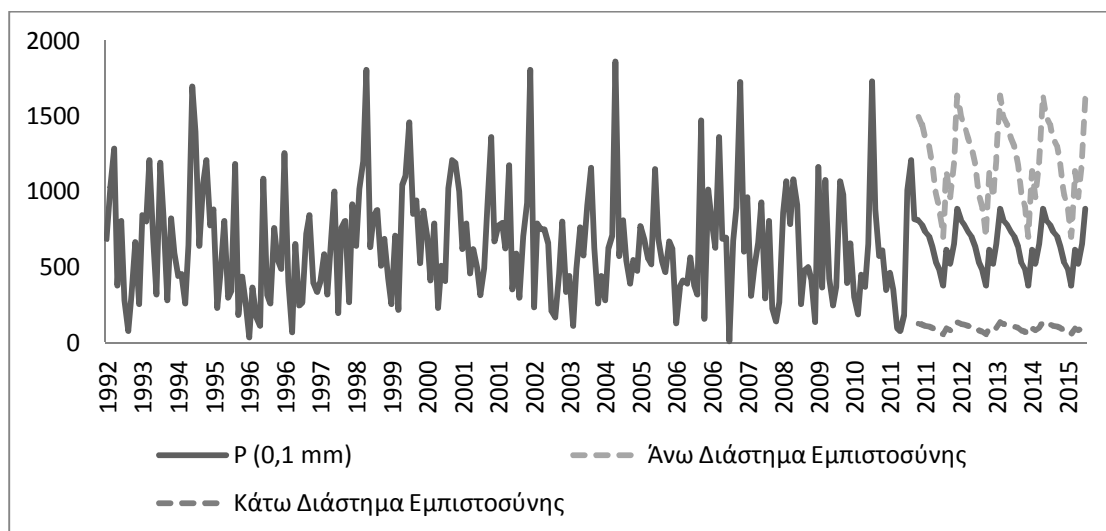


Διάγραμμα 5.73: Τα δεδομένα της βροχόπτωσης για τα υδρολογικά έτη 1992-2011 της λίμνης Άισελμεερ

Η μέθοδος που πλησιάζει περισσότερο στην εκτίμηση των πραγματικών δεδομένων για τα υδρολογικά έτη 2007-2011 είναι η μέθοδος Naïve, με τιμές να αποκλίνουν αρκετά από τα πραγματικά άκρα όπως φαίνεται από το διάγραμμα 5.74, αλλά με ένα διάστημα εμπιστοσύνης αρκετά ικανοποιητικό.



Διάγραμμα 5.74: Οι προβλέψεις της βροχόπτωσης και τα διαστήματα εμπιστοσύνης για τα υδρολογικά έτη 2011-2015 της μεθόδου Naïve για τη λίμνη Άισελμεερ

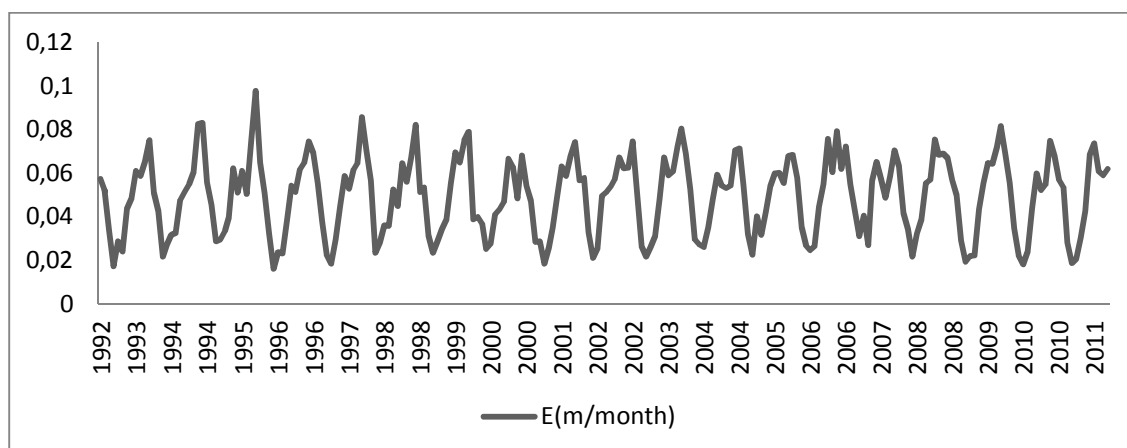


Διάγραμμα 5.75: Τα τελικά δεδομένα της βροχόπτωσης για τα υδρολογικά έτη 1992-2015 της λίμνης Αϊσελμεερ

Ομοίως παρατηρείται και για τις προβλεπόμενες τιμές για τον ορίζοντα πρόβλεψης, που όμως η μέθοδος Naïve έχει δώσει λίγο πιο ακραίες τιμές, έχοντας ως δεδομένα και τις τιμές για τα κρυμμένα υδρολογικά έτη (διάγραμμα 5.75).

5.6.2 Εξάτμιση (E)

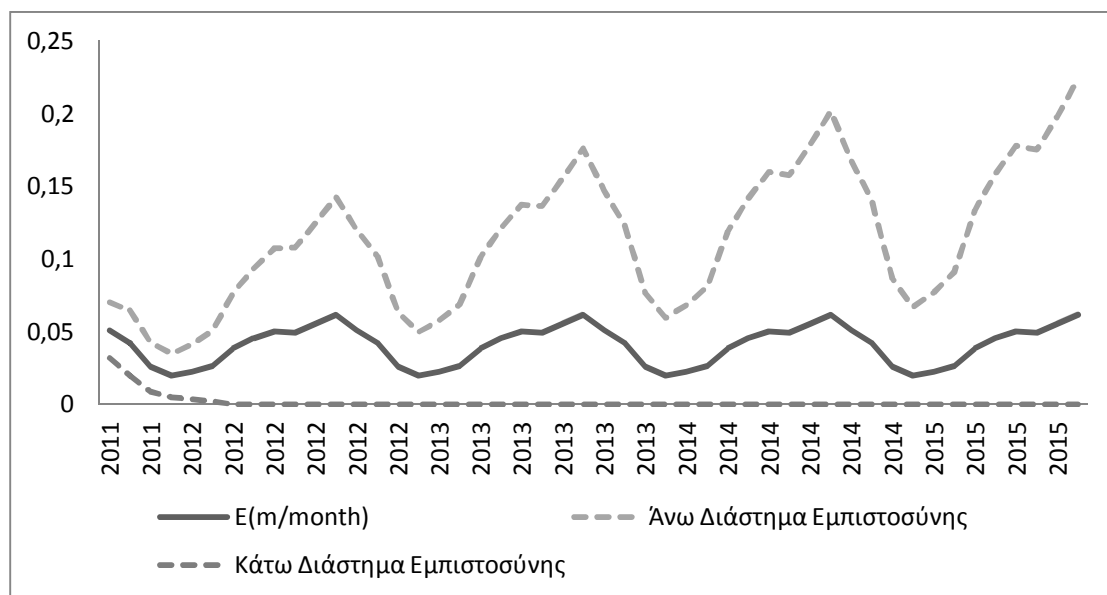
Ομοίως και για την εξάτμιση του ταμιευτήρα, από τα ακόλουθα δεδομένα δεν παρατηρείται κάποια ιδιαίτερη τάση με την πάροδο των ετών (διάγραμμα 5.76).



Διάγραμμα 5.76: Τα δεδομένα της εξάτμισης για τα υδρολογικά έτη 1992-2011 της λίμνης Αϊσελμεερ

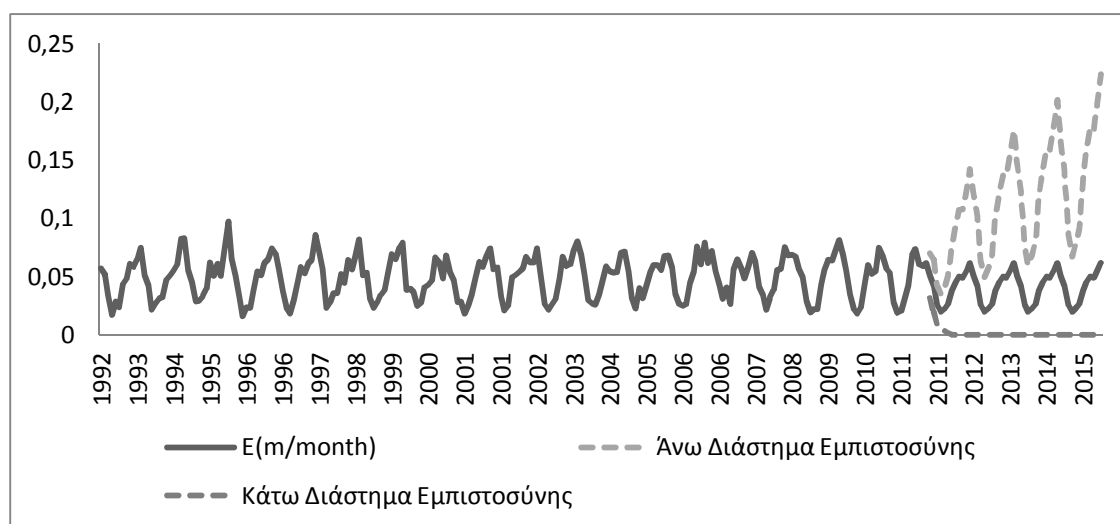
Επομένως, δεν προκαλεί καμία έκπληξη το γεγονός ότι και σε αυτή τη μεταβλητή, καλύτερη μέθοδος πρόβλεψης προκύπτει η μέθοδος Naïve, δίνοντας τις τιμές που

φαίνονται παρακάτω. Η μέθοδος με τη μεγαλύτερη απόκλιση για την εξάτμιση στη λίμνη Άισελμεερ ήταν η μέθοδος SES, γεγονός που αιτιολογείται από το ότι η χρονοσειρά έχει έλλειψη τόσο σε θόρυβο, όσο και σε τυχαιότητα.



Διάγραμμα 5.77: Οι προβλέψεις της εξάτμισης και τα διαστήματα εμπιστοσύνης για τα υδρολογικά έτη 2011-2015 της μεθόδου Naive για τη λίμνη Άισελμεερ

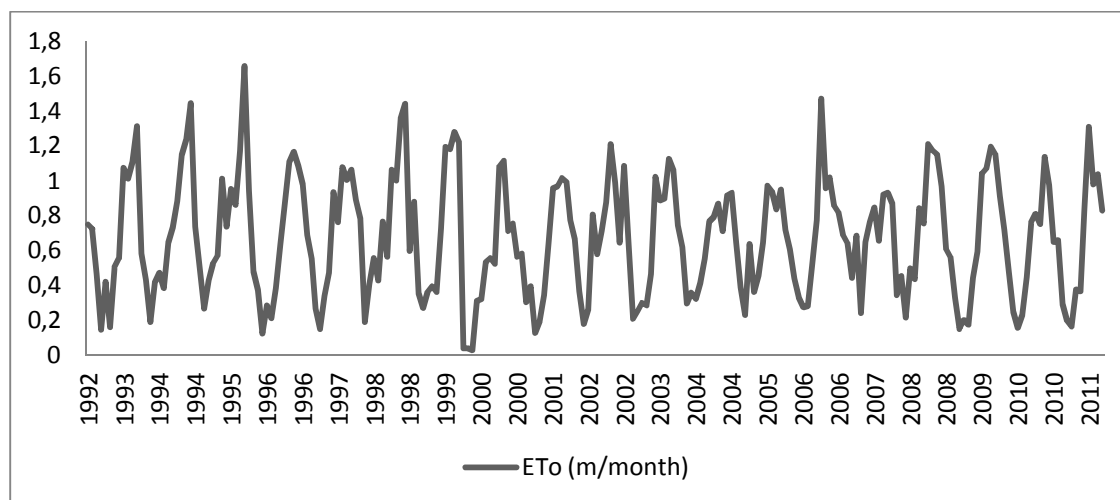
Για τα δεδομένα της εξάτμισης χρειάστηκε να γίνει εξομάλυνση του κάτω διαστήματος εμπιστοσύνης ως προς τις αρνητικές τιμές που εμφανίστηκαν στις προβλέψεις. Τα αποτελέσματα των προβλέψεων με τη μέθοδο Naive φαίνονται στο διάγραμμα 5.78:



Διάγραμμα 5.78: Τα τελικά δεδομένα της εξάτμισης για τα υδρολογικά έτη 1992-2015 της λίμνης Άισελμεερ

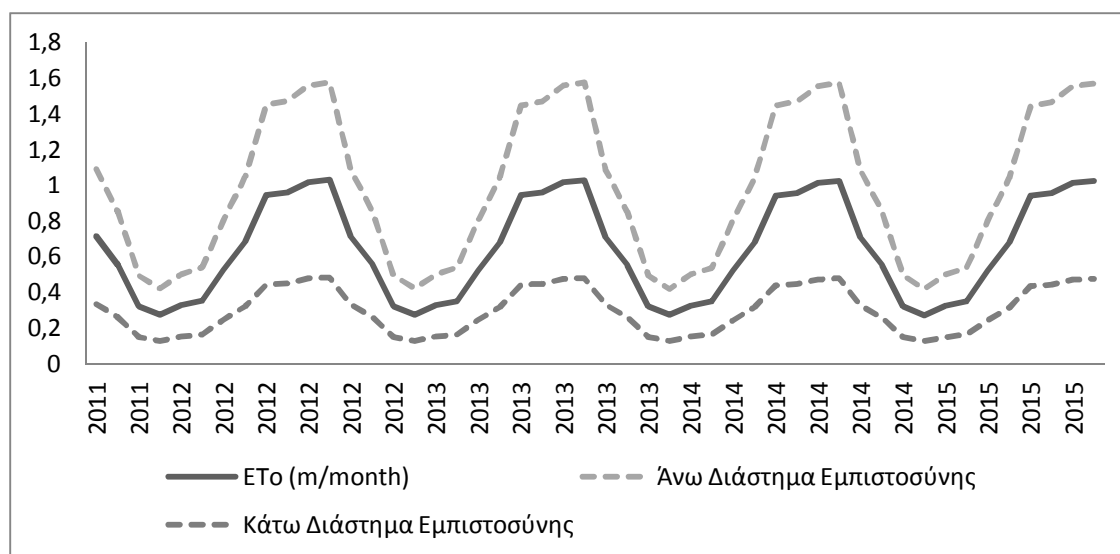
Όπως φαίνεται και από το διάγραμμα 5.78, οι προβλέψεις δίνουν μια πολύ καλή λογική και οπτική συνέχεια στα δεδομένα, ενώ τα διαστήματα εμπιστοσύνης περιλαμβάνουν και τυχόν ακρότητες που δε γίνεται να προβλεφθούν ακριβώς.

5.6.3 Εξατμισοδιαπνοή (ETo)



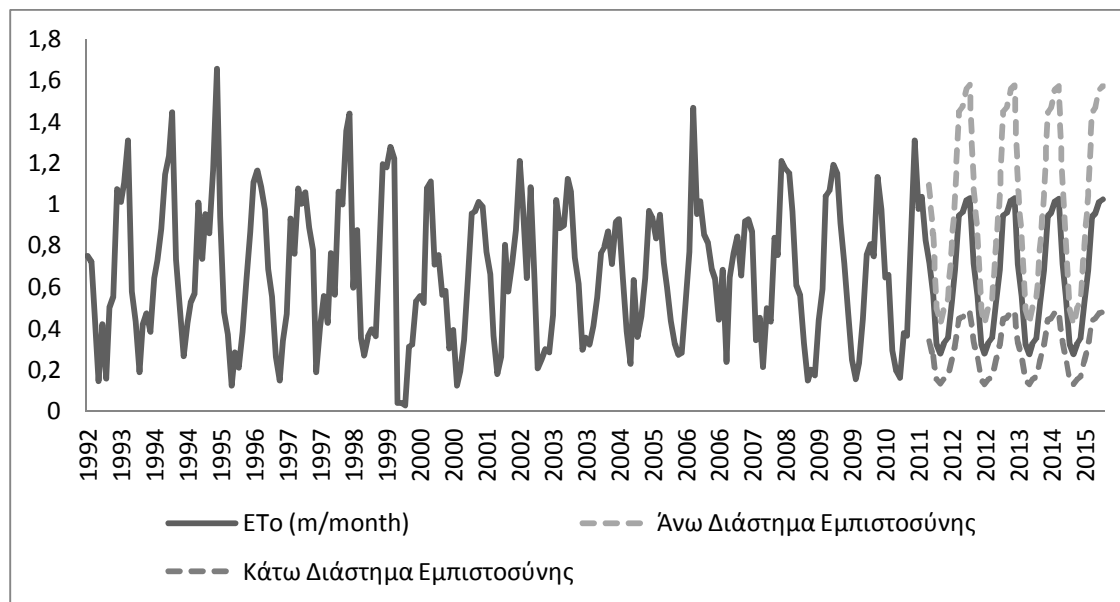
Διάγραμμα 5.79: Τα δεδομένα της εξατμισοδιαπνοής για τα υδρολογικά έτη 1992-2011 της λίμνης Άισελμεερ

Τα στοιχεία της εξατμισοδιαπνοής για τη λίμνη Άισελμεερ θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν ως πιο ακανόνιστα από αυτά των δύο προηγούμενων παραμέτρων, με μεγαλύτερο εύρος από την εξάτμιση και με μια ελαφρά κυκλικότητα ως προς τα ελάχιστα και τα μέγιστα για το χρονικό διάστημα των δεδομένων.



Διάγραμμα 5.80: Οι προβλέψεις της εξατμισοδιαπνοής και τα διαστήματα εμπιστοσύνης για τα υδρολογικά έτη 2011-2015 της μεθόδου Theta για τη λίμνη Άισελμεερ

Η μέθοδος που κατάφερε να καλύψει καλύτερα αυτές τις ανωμαλίες της χρονοσειράς ήταν η μέθοδος Theta, δίνοντας τις προβλέψεις του διαγράμματος 5.80 για το χρονικό διάστημα 2007-2011. Επομένως, και οι μελλοντικές προβλέψεις της μεθόδου Theta για την εξατμισοδιαπνοή της λίμνης Άισελμεερ, κινούνται αντίστοιχα με αυτές του χρονικού διαστήματος που έγινε ο έλεγχος, και τα αποτελέσματα φαίνονται στο διάγραμμα 5.81.

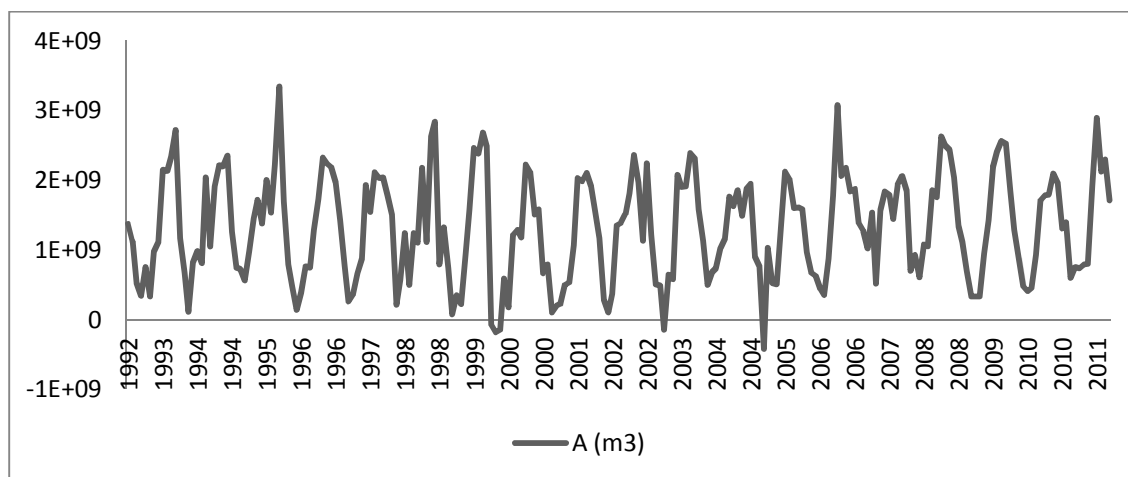


Διάγραμμα 5.81: Τα τελικά δεδομένα της εξατμισοδιαπνοής για τα υδρολογικά έτη 1992-2015 της λίμνης Άισελμεερ

5.6.4 Απορροή (A)

Για την απορροή της λίμνης Άισελμεερ, όπως και για την επόμενη λίμνη Γκαόγιου της Κίνας, παρατηρούνται και αρνητικές τιμές στα δεδομένα της απορροής. Αυτό εκφράζει ότι για το συγκεκριμένο χρονικό βήμα (μήνας), η απορροή που εξέρχεται από τον ταμιευτήρα είναι μικρότερη από αυτή που υπεισέρχεται σε αυτόν και επομένως είναι άμεσα συσχετιζόμενο με ακρότητες που ενδεχομένως να εμφανίζονται λόγω του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής. Το φαινόμενο αυτό για τις δύο τελευταίες λίμνες αναλύεται ακόμα παραπάνω και βρίσκεται διαφορά στη στάθμη και από τα κανονικοποιημένα δεδομένα της κάθε λίμνης με νέα επίλυση της εξίσωσης του υδατικού ισοζυγίου.

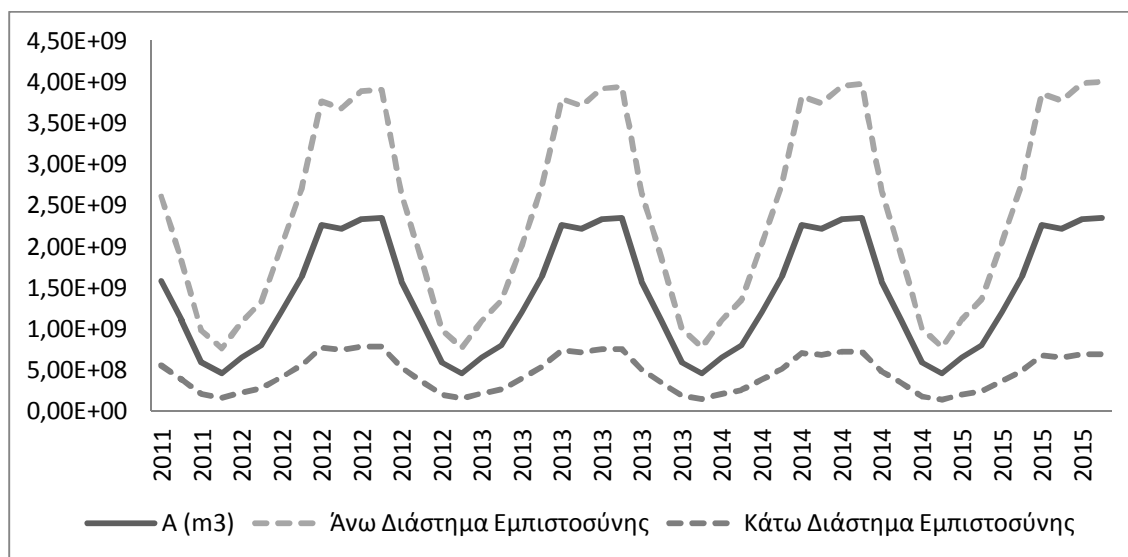
Στη γενικότερη εικόνα της, η χρονοσειρά της απορροής έχει σταθερή εξέλιξη και, με εξαιρέσεις τις τοπικές καμπυλότητες που εμφανίζει στις ελάχιστες κι μέγιστες τιμές της, αν αποεποχικοποιηθεί κινείται και αυτή σε μια οριζόντια ευθεία γραμμή (διάγραμμα 5.82).



Διάγραμμα 5.82: Τα δεδομένα της απορροής για τα υδρολογικά έτη 1992-2011 της λίμνης Αϊσελμεερ

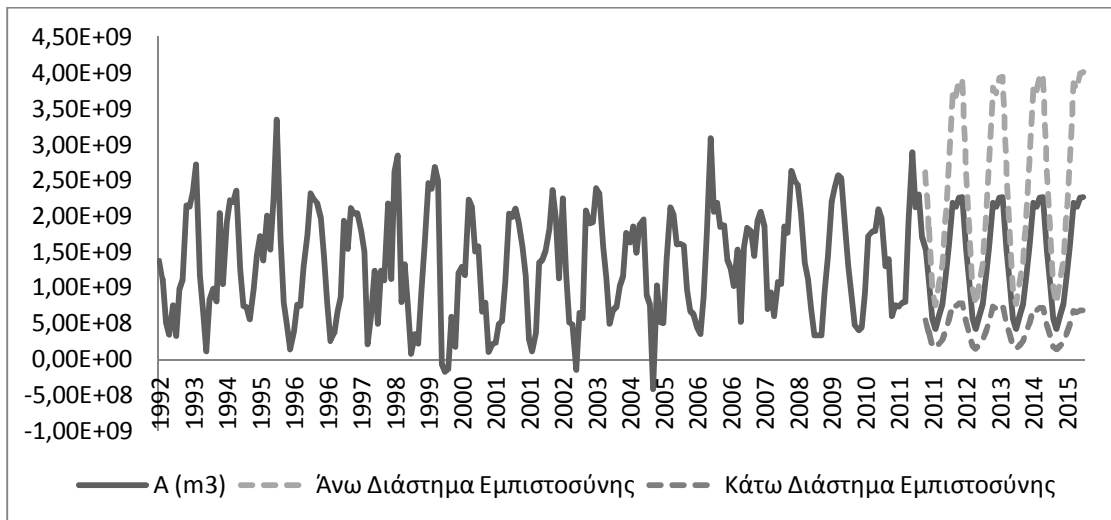
ΠΡΟΕΚΤΑΣΗ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ SES

Η απλή προέκταση της χρονοσειράς της απορροής περιγράφεται καλύτερα με τη μέθοδο πρόβλεψης SES, γεγονός που εξηγείται από την απουσία τάσης στα δεδομένα της, ενώ τα αποτελέσματα που δίνει φαίνονται στο διάγραμμα 5.83.



Διάγραμμα 5.83: Οι προβλέψεις της απορροής και τα διαστήματα εμπιστοσύνης για τα υδρολογικά έτη 2011-2015 της μεθόδου SES για τη λίμνη Αϊσελμεερ

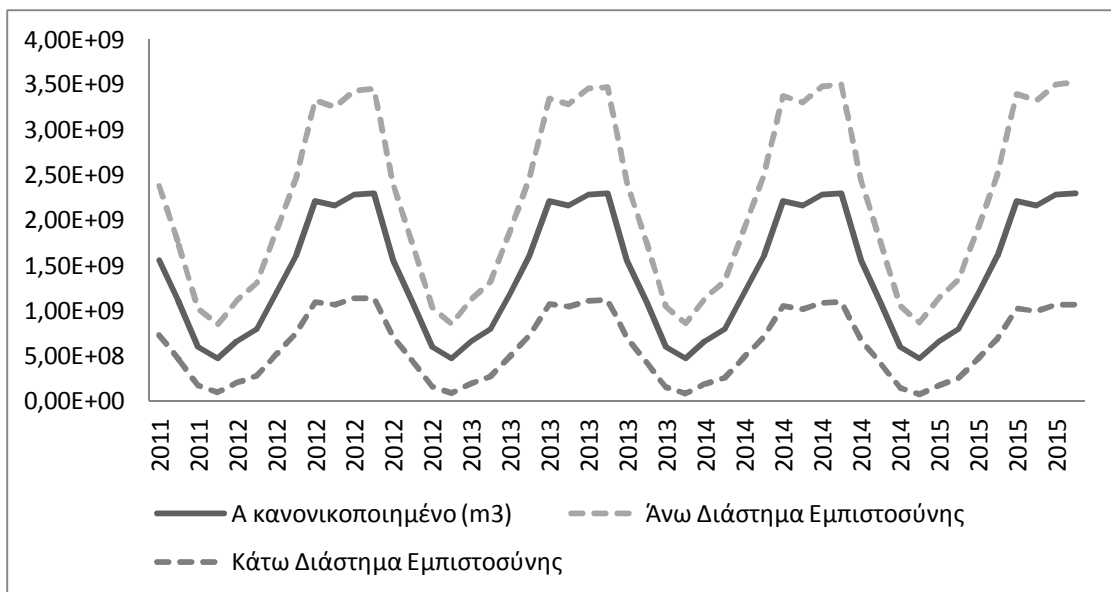
Αντίστοιχες είναι και οι τιμές που δίνει για τα υδρολογικά έτη στα οποία έγινε ο έλεγχος. Να σημειωθεί ότι αν και η μέθοδος καλύπτει επαρκώς τα μέγιστα ακρότατα με το διάστημα εμπιστοσύνης, δε συμβαίνει το ίδιο και για τα ελάχιστα (διάγραμμα 5.84).



Διάγραμμα 5.84: Τα τελικά δεδομένα της απορροής για τα υδρολογικά έτη 1992-2015 της λίμνης Άισελμεερ

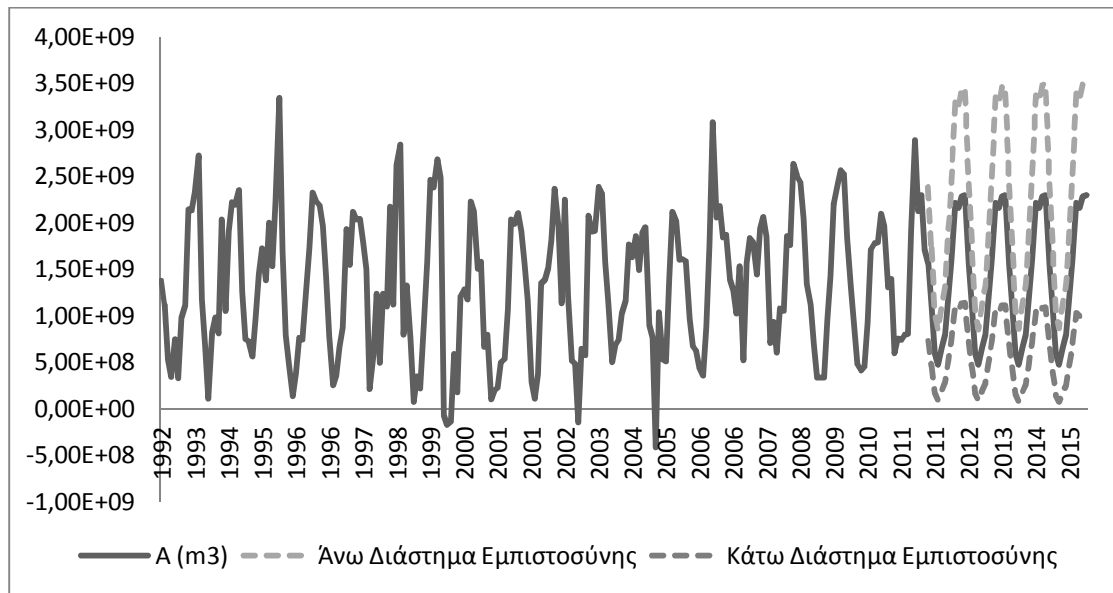
ΠΡΟΕΚΤΑΣΗ ΚΑΝΟΝΙΚΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ SES

Με την κανονικοποίηση της χρονοσειράς της απορροής, οι προβλέψεις, και πάλι με τη μέθοδο SES, κινήθηκαν όπως φαίνεται στην καμπύλη (διάγραμμα 5.85).



Διάγραμμα 5.85: Οι προβλέψεις των κανονικοποιημένων δεδομένων της απορροής και τα διαστήματα εμπιστοσύνης για τα υδρολογικά έτη 2011-2015 της μεθόδου SES για τη λίμνη Άισελμεερ

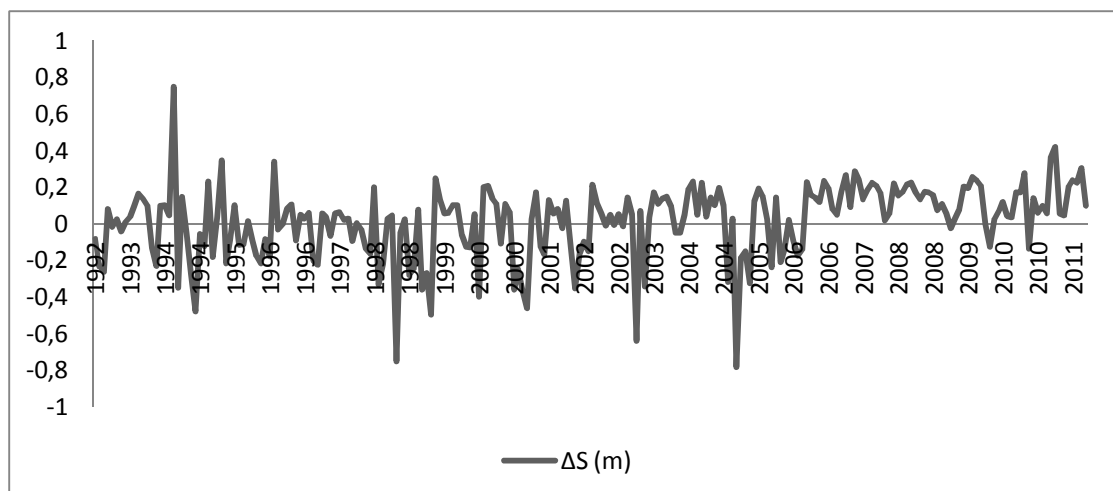
Ενώ η τελική καμπύλη της απορροής για τη λίμνης Άισελμεερ με τις κανονικοποιημένες προβλέψεις της μεθόδου SES φαίνονται στο διάγραμμα 5.86:



Διάγραμμα 5.86: Τα τελικά δεδομένα από τα κανονικοποιημένα δεδομένα της απορροής για τα υδρολογικά έτη 1992-2015 της λίμνης Αισελμεερ

5.6.5 Διαφορά Στάθμης (ΔS)

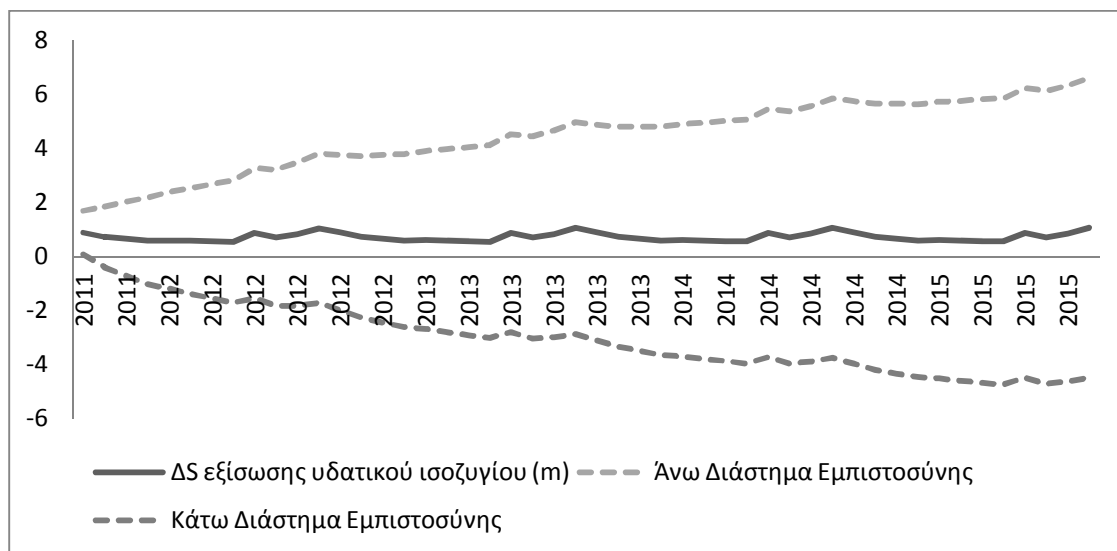
Όπως προαναφέρθηκε, για τη διαφορά της στάθμης στη λίμνη Αισελμεερ και την επόμενη λίμνη, Γκαόγιου, πραγματοποιούνται επιπλέον διεργασίες για την εύρεση εναλλακτικών τιμών στις διαφορές στάθμης. Οι τρεις πρώτες μέθοδοι, όμως, παραμένουν οι ίδιες με τις προηγούμενες λίμνης. Τα δεδομένα της χρονοσειράς της στάθμης, όπως φαίνονται στο διάγραμμα 5.87, έχουν μια ανοδική τάση και μια εξομάλυνση των ακραίων τιμών την τελευταία πενταετία. Επομένως, αναμένεται κάτι αντίστοιχο από τις προβλέψεις των διαφόρων μεθόδων.



Διάγραμμα 5.87: Τα δεδομένα της διαφοράς στάθμης για τα υδρολογικά έτη 1992-2011 της λίμνης Αισελμεερ

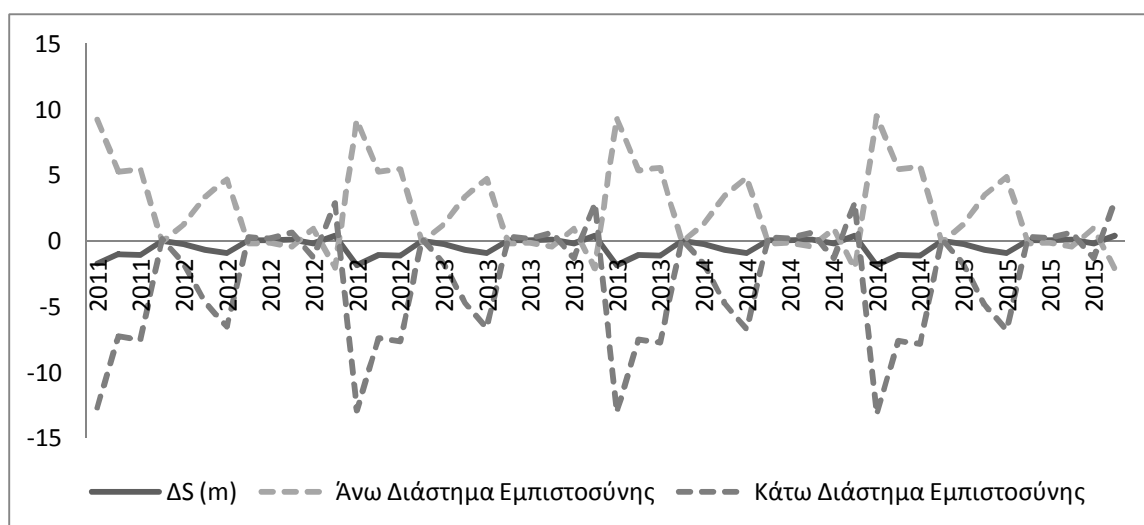
ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΗΣ ΕΞΙΣΩΣΗΣ ΤΟΥ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ

Η επίλυση της εξίσωσης του υδατικού ισοζυγίου έδωσε από τις μεγαλύτερες αποκλίσεις για τις εξεταζόμενες μεθόδους. Η απόκλισή της, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα, ξεκινάει ήδη από τα τέσσερα έτη ελέγχου, όπου οι τιμές που προβλέπει είναι αποκλειστικά αρνητικές. Για τα προβλεπόμενα έτη, όμως, οι τιμές που δίνει θα μπορούσαν να είναι μια καλή προσέγγιση της πραγματικότητας, δεδομένου ότι αναμένεται ανοδική πορεία της στάθμης (διάγραμμα 5.88).



Διάγραμμα 5.88: Οι προβλέψεις της διαφοράς στάθμης και τα διαστήματα εμπιστοσύνης για τα υδρολογικά έτη 2011-2015 της επίλυσης της εξίσωσης υδατικού ισοζυγίου για τη λίμνη Αϊσελμεερ

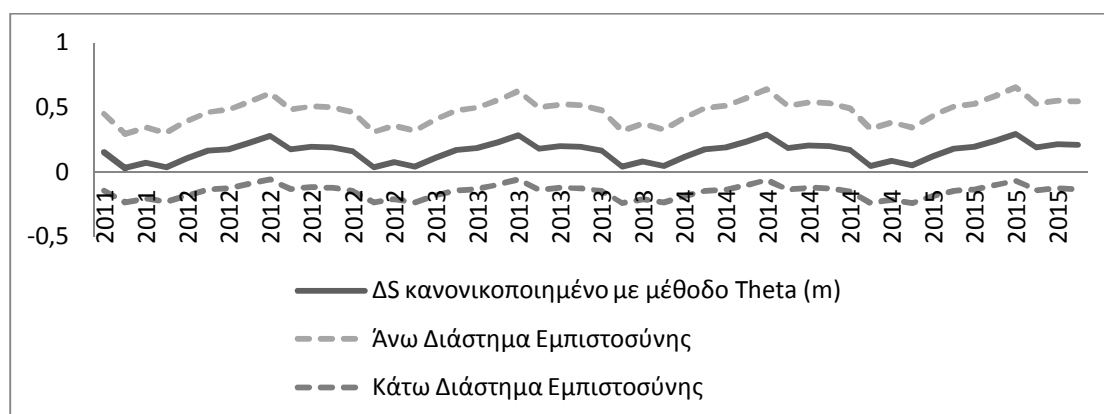
ΠΡΟΕΚΤΑΣΗ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑΣ ΔS ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ DAMPED



Διάγραμμα 5.89: Οι προβλέψεις της διαφοράς στάθμης και τα διαστήματα εμπιστοσύνης για τα υδρολογικά έτη 2011-2015 της μεθόδου Damped για τη λίμνη Αϊσελμεερ

Η μέθοδος Damped, ενώ προσαρμόζεται καλά στα δεδομένα των τεσσάρων υδρολογικών ετών ελέγχου, στη συνέχεια οι τιμές της δίνουν μια έντονα καθοδική πορεία η οποία λογικά και οπτικά, όπως φαίνεται παρακάτω στο συγκεντρωτικό διάγραμμα όλων των μεθόδων, δεν καλύπτει τις προσδοκίες. Παρόλα αυτά, για το διάστημα που ελέγχθηκε έδωσε το δεύτερο μικρότερο σφάλμα, συγκριτικά με τις υπόλοιπες μεθόδους (διάγραμμα 5.89). Ομοίως και σε αυτή την περίπτωση, οι διαφορές στα διαστήματα εμπιστοσύνης φαίνονται μόνο αναλυτικά από τις αντίστοιχες τιμές και όχι οπτικά στο διάγραμμα 5.89.

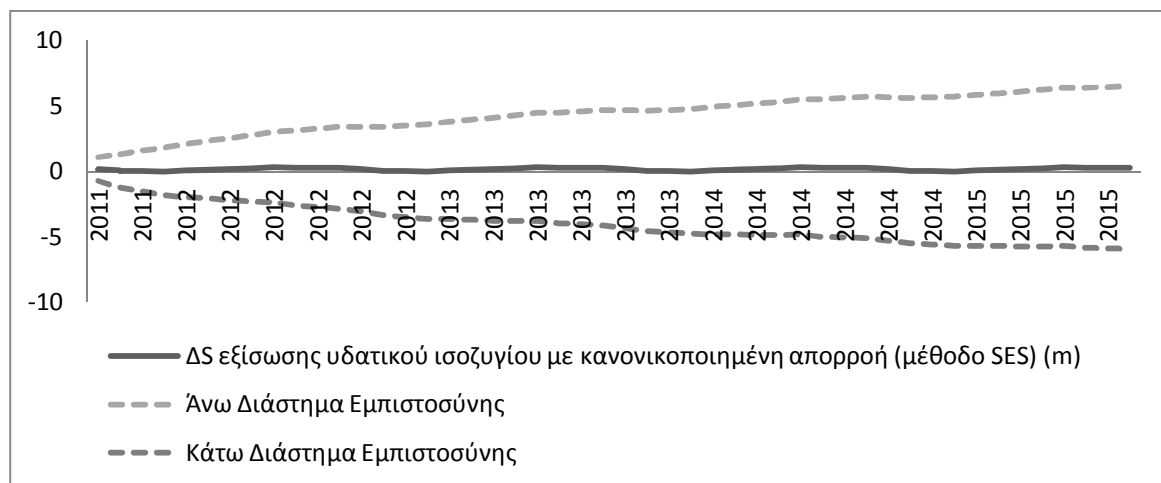
ΠΡΟΕΚΤΑΣΗ ΚΑΝΟΝΙΚΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑΣ ΔΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΘΗΤΑ

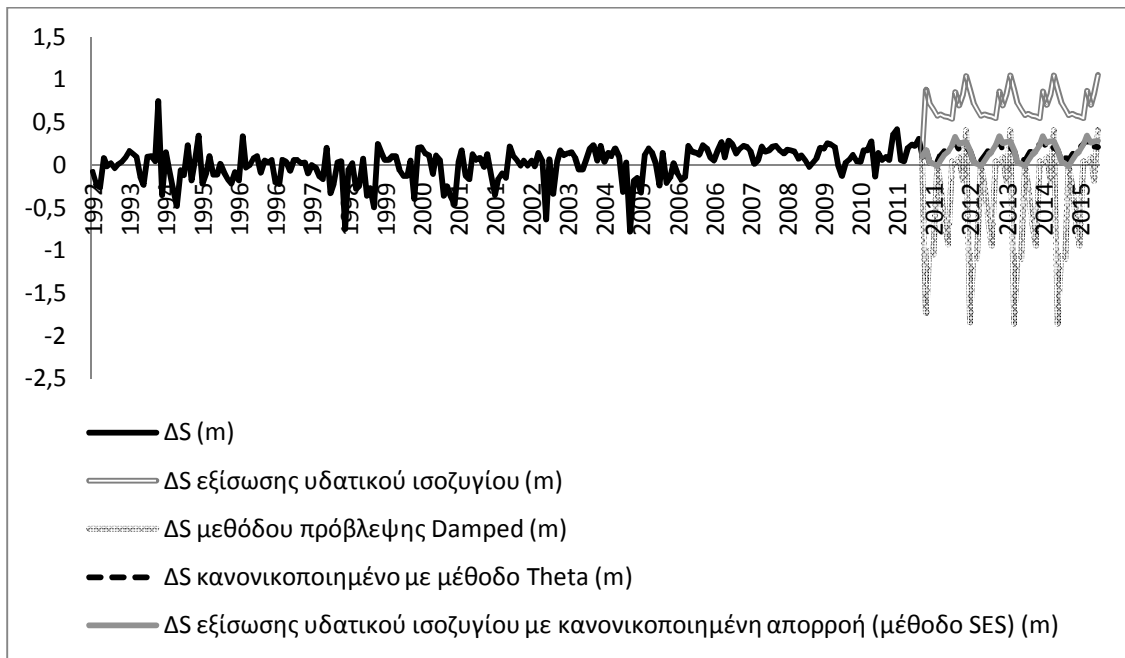


Διάγραμμα 5.90: Οι προβλέψεις της διαφοράς στάθμης και τα διαστήματα εμπιστοσύνης για τα υδρολογικά έτη 2011-2015 των κανονικοποιημένων δεδομένων με τη μέθοδο Theta για τη λίμνη Αισελμεερ

Η μέθοδος Theta στα κανονικοποιημένα δεδομένα είναι αυτή που έδωσε την καλύτερη προσέγγιση της πραγματικότητας και επομένως το μικρότερο μέσο τετραγωνικό σφάλμα. Τόσο η κανονικοποίηση των δεδομένων της χρονοσειράς, όσο και η μέθοδος Theta από μόνη της, καταφέρνουν να προσαρμοστούν σε ανωμαλίες των δεδομένων, ενώ παρατηρείται ότι από τις μεθόδους που εξετάστηκαν ως τώρα, είναι το μόνο διάγραμμα (5.90) που συμφωνεί με την ανοδική πορεία της στάθμης που σημειώθηκε στην αρχή.

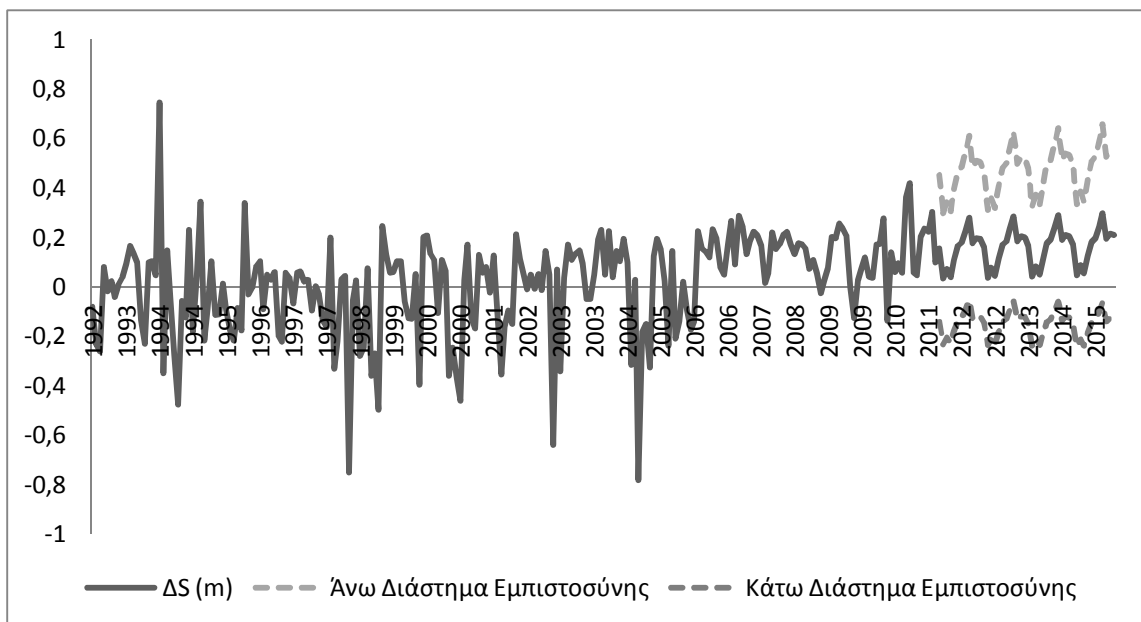
ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΗΣ ΕΞΙΣΩΣΗΣ ΤΟΥ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ ΜΕ ΚΑΝΟΝΙΚΟΠΟΙΗΜΕΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΑΠΟΡΡΟΗΣ (ΜΕΘΟΔΟ SES)





Διάγραμμα 5.92: Τα δεδομένα και οι προβλέψεις όλων των μεθόδων της διαφοράς στάθμης για τα υδρολογικά έτη 1992-2015 της λίμνης Άισελμεερ

Τέλος, η τελική χρονοσειρά της διαφοράς της στάθμης έχει την ακόλουθη εξέλιξη, με τις προβλέψεις της μεθόδου Theta για την κανονικοποιημένη χρονοσειρά (διάγραμμα 5.93).

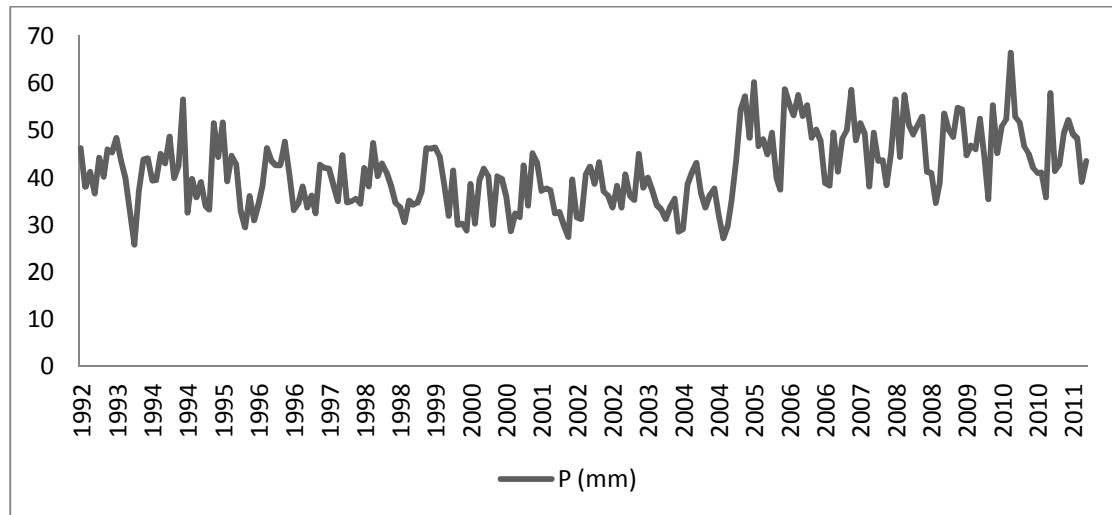


Διάγραμμα 5.93: Τα τελικά δεδομένα της διαφοράς στάθμης για τα υδρολογικά έτη 1992-2015 της λίμνης Άισελμεερ

5.7 Η λίμνη Γκαόγιου (Κίνα)

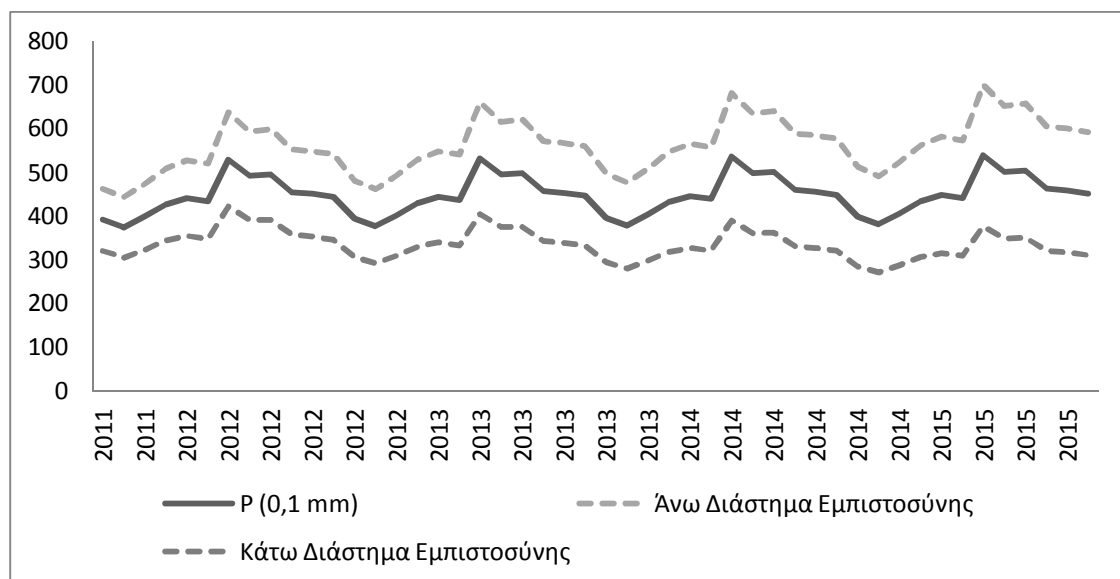
5.7.1 Βροχόπτωση (P)

Για τα δεδομένα της βροχόπτωσης της περιοχής της λίμνης Γκαόγιου στην Κίνα παρατηρείται μια τάση ανόδου για τα τελευταία 6 υδρολογικά έτη, όπως φαίνεται στο διάγραμμα 5.94.



Διάγραμμα 5.94: Τα δεδομένα της βροχόπτωσης για τα υδρολογικά έτη 1992-2011 της λίμνης Γκαόγιου

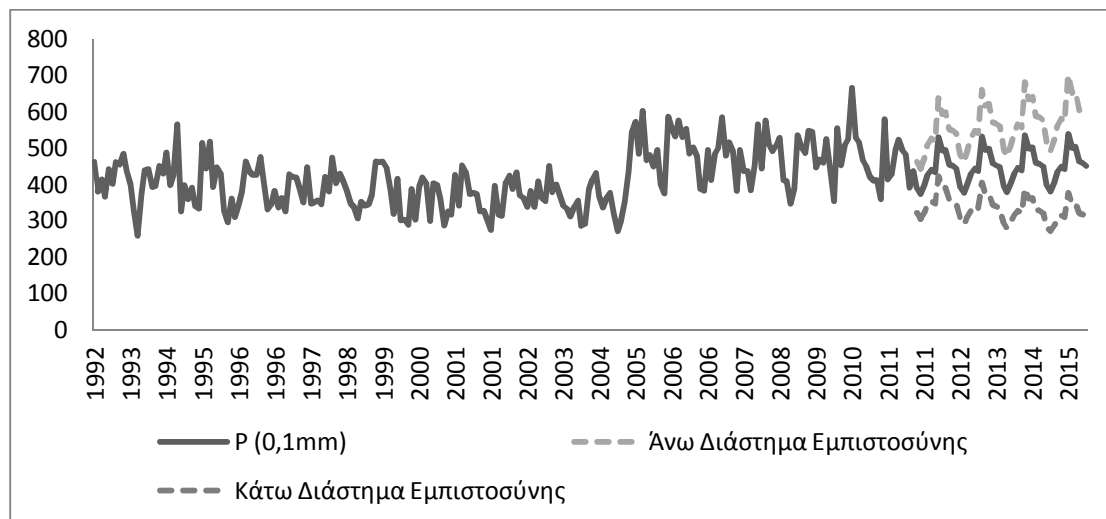
Μετά την επεξεργασία των δεδομένων με το πρόγραμμα RStudio, ως μέθοδος πρόβλεψης που εφαρμόζει καλύτερα ξεχώρισε η μέθοδος Theta, με τις ακόλουθες προβλέψεις για την κρυμμένη τετραετία 2007-2011, οι οποίες όπως φαίνεται πλησιάζουν αρκετά την πραγματικότητα (διάγραμμα 5.95).



Διάγραμμα 5.95: Οι προβλέψεις της βροχόπτωσης και τα διαστήματα εμπιστοσύνης για τα υδρολογικά έτη 2011-2015 της μεθόδου Theta για τη λίμνη Γκαόγιου

Παρά το γεγονός ότι τα ακραία γεγονότα, όπως η ακραία τιμή της βροχόπτωσης για το μήνα Μάρτιο του 2012, δε μπορούν να προβλεφθούν με ακρίβεια, εμπεριέχονται και πάλι στο διάστημα εμπιστοσύνης.

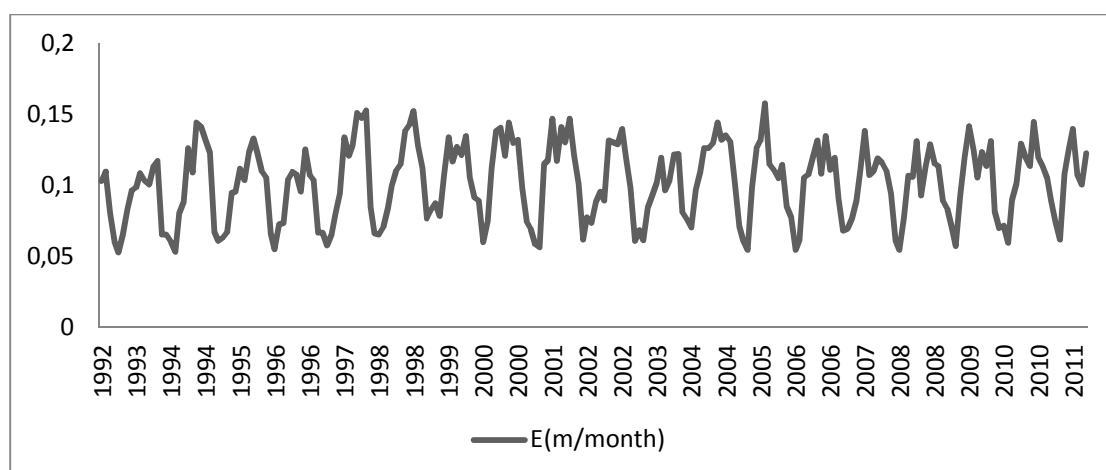
Με προέκταση των προβλέψεων στο χρονικό ορίζοντα πρόβλεψης, τα δεδομένα της βροχόπτωσης κινούνται όπως φαίνεται στο διάγραμμα 5.96, με μια σταθερή αλλά ελαφρώς ανοδική πορεία.



Διάγραμμα 5.96: Τα τελικά δεδομένα της βροχόπτωσης για τα υδρολογικά έτη 1992-2015 της λίμνης Γκαόγιου

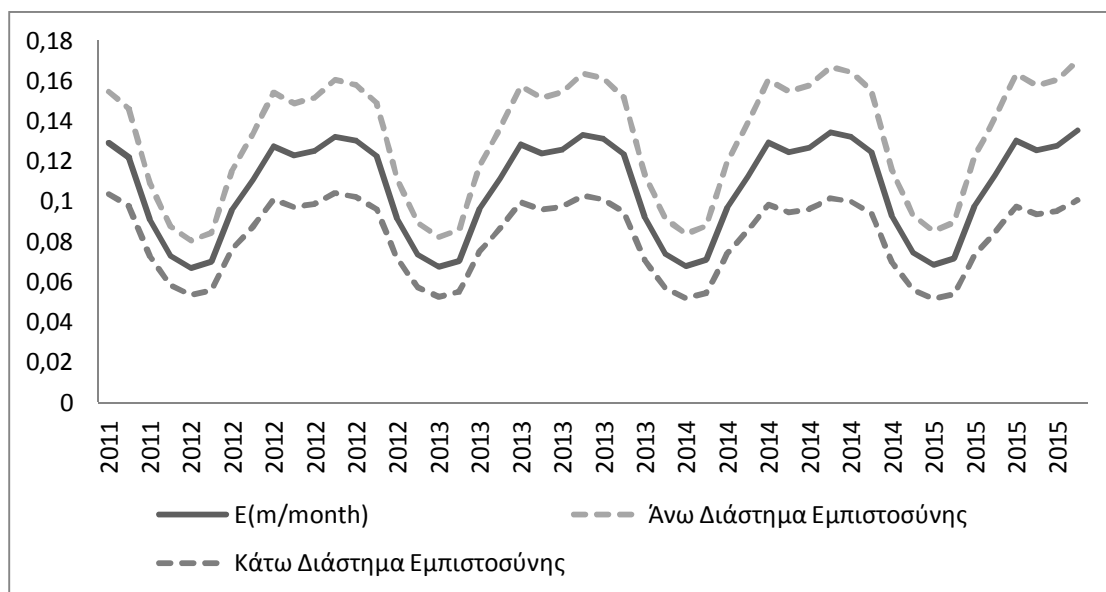
5.7.2 Εξάτμιση (E)

Για την εξάτμιση, με αποεποχικοποίηση των δεδομένων παρατηρείται ότι και πάλι, όπως και για τη λίμνη Αρκάιλ, τα δεδομένα κινούνται σε μια οριζόντια ευθεία γραμμή.



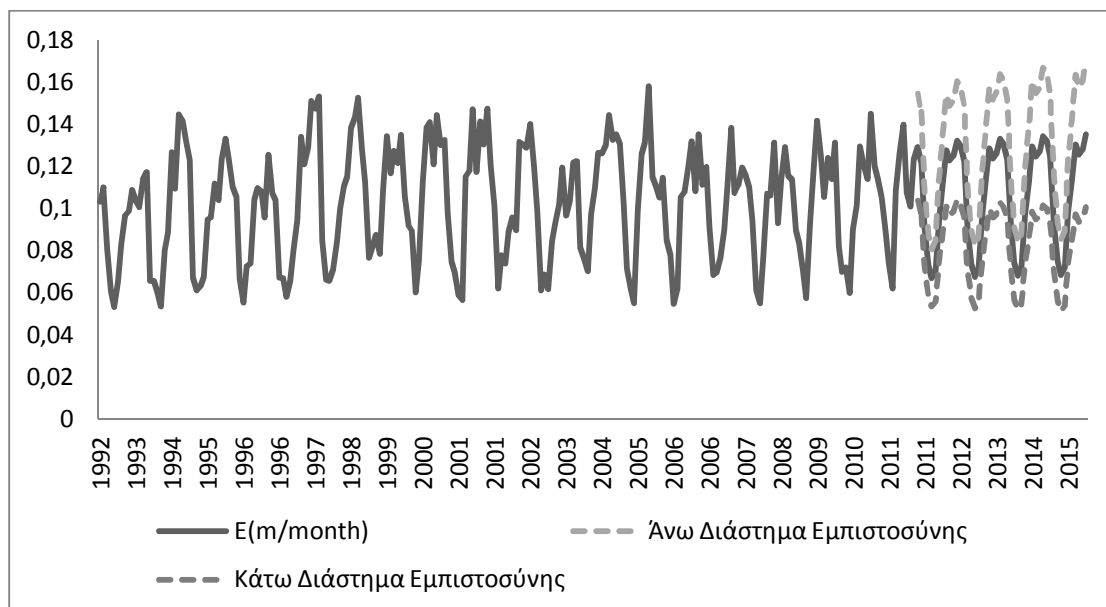
Διάγραμμα 5.97: Τα δεδομένα της εξάτμισης για τα υδρολογικά έτη 1992-2011 της λίμνης Γκαόγιου

Δεν αποτελεί, λοιπόν, έκπληξη από τη στιγμή που δεν παρατηρείται κάποιο ακραίο φαινόμενο στην αρχή της χρονοσειράς, ότι η μέθοδος που έδωσε τα καλύτερα αποτελέσματα πρόβλεψης ήταν η μέθοδος Holt (διάγραμμα 5.98).



Διάγραμμα 5.98: Οι προβλέψεις της εξάτμισης και τα διαστήματα εμπιστοσύνης για τα υδρολογικά έτη 2011-2015 της μεθόδου Holt για τη λίμνη Γκαόγιου

Όπως φαίνεται και στα δύο διαγράμματα 5.97 και 5.98, οι χρονοσειρές δεν εμπειριέχουν σχεδόν καθόλου τάση, παρά μόνο τυχαιότητα στις ακραίες τιμές.

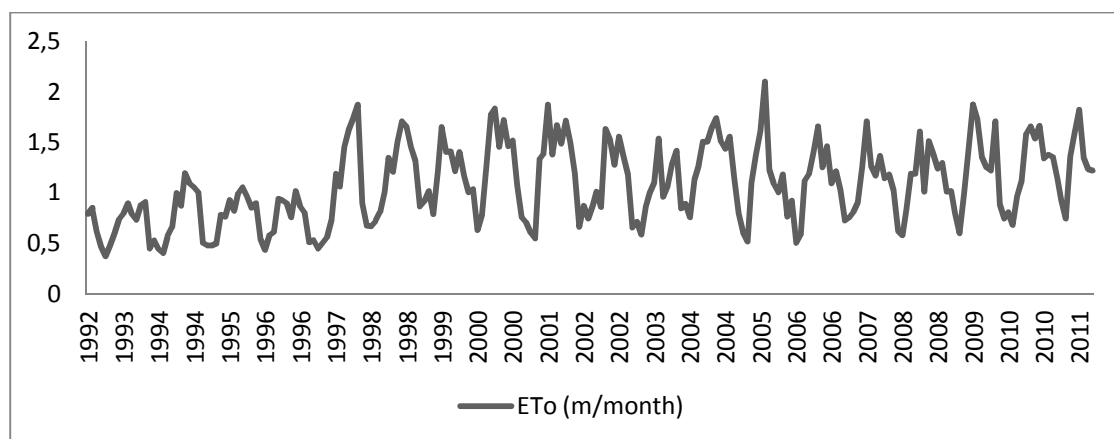


Διάγραμμα 5.99: Τα τελικά δεδομένα της εξάτμισης για τα υδρολογικά έτη 1992-2015 της λίμνης Γκαόγιου

Επομένως, οι προβλέψεις είναι αρκετά αναμενόμενο να ακολουθήσουν την καμπύλη που φαίνεται στο διάγραμμα 5.99.

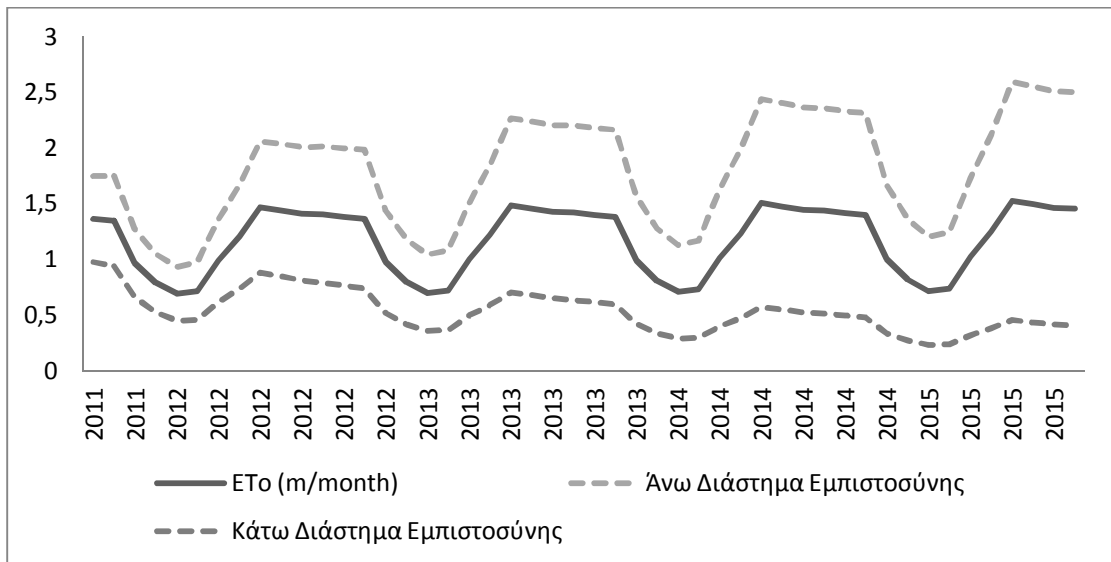
5.7.3 Εξατμισοδιαπνοή (ETo)

Στο μοντέλο της εξατμισοδιαπνοής, από την άλλη, παρατηρείται μια ανοδική τάση, η οποία οφείλεται στην τροποποιημένη έκφραση του ψυχομετρικού συντελεστή και περιλαμβάνει και τη μέση μηνιαία ταχύτητα του ανέμου. Παρόλα αυτά, εξακολουθούν να μην παρατηρούνται ακραία φαινόμενα στην αρχή των δεδομένων της χρονοσειράς της εξατμισοδιαπνοής, επομένως η προσαρμογή ενός μοντέλου γραμμικής τάσης φαίνεται αρκετά ιδανική (διάγραμμα 5.100).



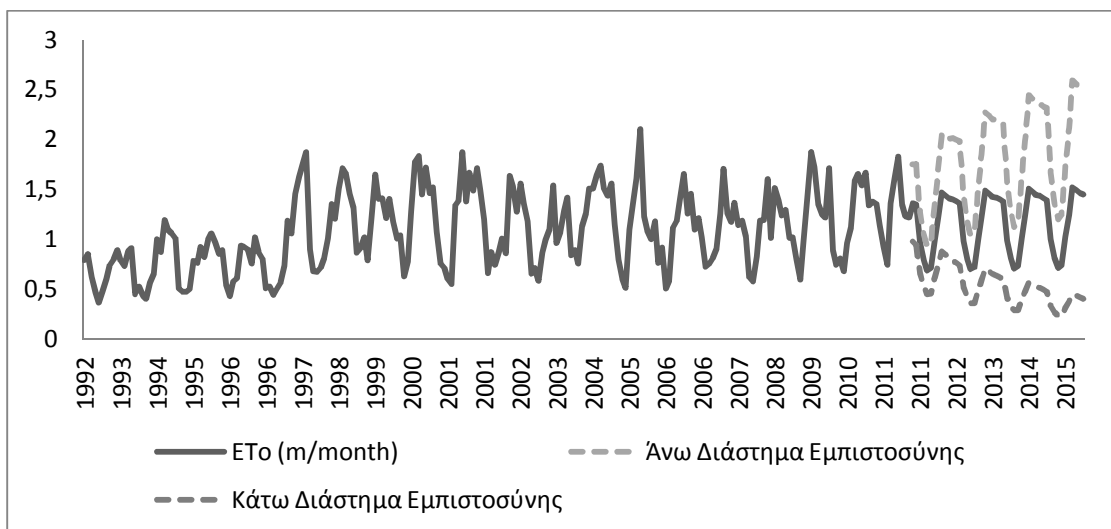
Διάγραμμα 5.100: Τα δεδομένα της εξατμισοδιαπνοής για τα υδρολογικά έτη 1992-2011 της λίμνης Γκαόγιου

Το μοντέλο πρόβλεψης Holt έδωσε και εδώ το μικρότερο μέσο τετραγωνικό σφάλμα, ενώ το μοντέλο Theta πλησίασε αρκετά τα αποτελέσματα, με πολύ μικρή απόκλιση από την πρώτη. Οι δύο μέθοδοι που τόσο στην εξάτμιση όσο και στην εξατμισοδιαπνοή αποκλίνουν περισσότερο είναι αυτές της Naïve και της Damped.



Διάγραμμα 5.101: Οι προβλέψεις της εξατμισοδιαπνοής και τα διαστήματα εμπιστοσύνης για τα υδρολογικά έτη 2011-2015 της μεθόδου Holt για τη λίμνη Γκαόγιου

Συγκρίνοντας τα δύο διαγράμματα, 5.100 και 5.101, μπορεί κανείς να παρατηρήσει ότι ενώ η μέθοδος Holt ακολουθεί με αρκετή ακρίβεια την τάση της εξατμισοδιαπνοής, αποφεύγει να λάβει ακραίες τιμές για τα άκρα, ενώ περιλαμβάνει όλα τα ενδεχόμενα εμφάνισης κάποιου ακραίου γεγονότος στο διάστημα εμπιστοσύνης των προβλεπόμενων τιμών.

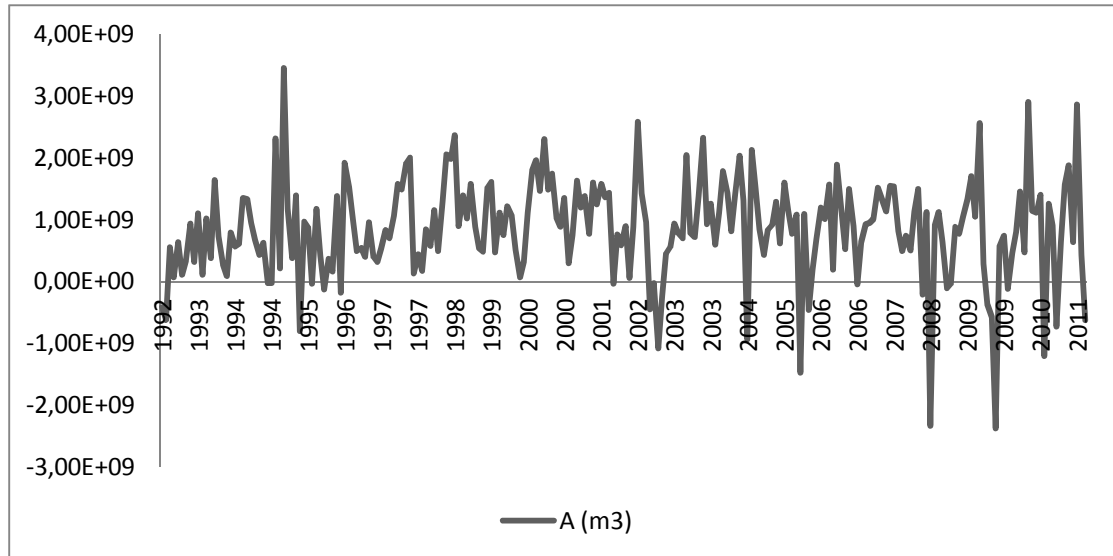


Διάγραμμα 5.102: Τα τελικά δεδομένα της εξατμισοδιαπνοής για τα υδρολογικά έτη 1992-2015 της λίμνης Γκαόγιου

Επομένως, και στις τελικές προβλέψεις που δίνει και φαίνονται στο διάγραμμα 5.102, αυτή η τάση της είναι εμφανής, ενώ διατηρείται πάντα η ανοδική πορεία των δεδομένων

5.7.4 Απορροή (A)

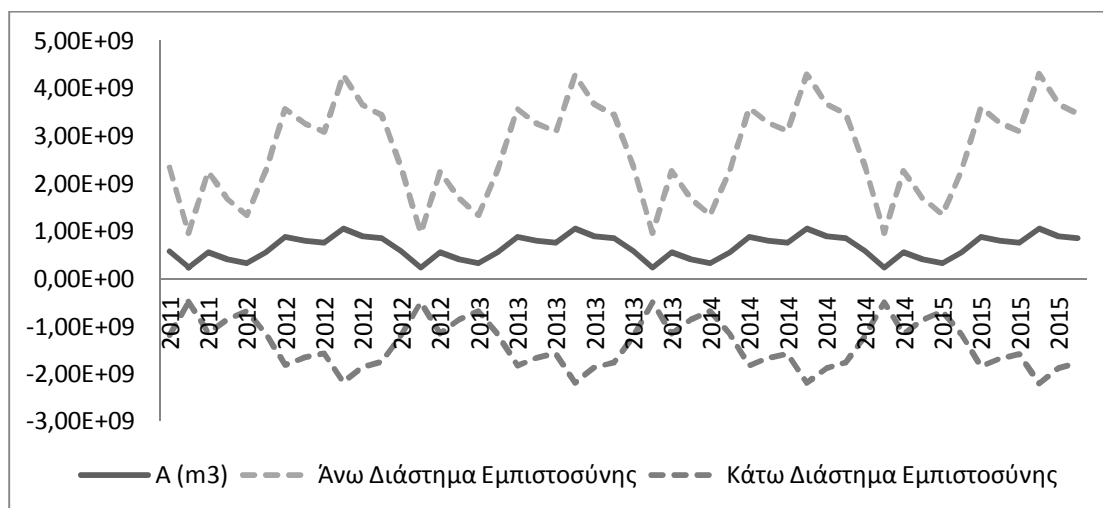
Τα δεδομένα της απορροής για τη λίμνη Γκαόγιου παρουσιάζουν μια άνοδο μέσα στο χρονικό ορίζοντα μελέτης, ενώ παρατηρούνται όλο και περισσότερες ακραίες τιμές, ειδικά για τα υδρολογικά έτη 2006-2011 όπου παρατηρούνται και αρνητικές τιμές. Αυτό αναμένεται να δυσκολέψει αρκετά τις μεθόδους πρόβλεψης, ενώ οι ακραίες τιμές δε θα περιλαμβάνονται με βεβαιότητα στις προβλεπόμενες. Επιπλέον, όπως αναφέρθηκε από τη λίμνη Άισελμεερ, η ύπαρξη αρνητικών τιμών στην απορροή θα οδηγήσει σε επιπλέον επεξεργασίες στη συνέχεια για την εύρεση εναλλακτικών τιμών στη διαφορά στάθμης (5.103).



Διάγραμμα 5.103: Τα δεδομένα της απορροής για τα υδρολογικά έτη 1992-2011 της λίμνης Γκαόγιου

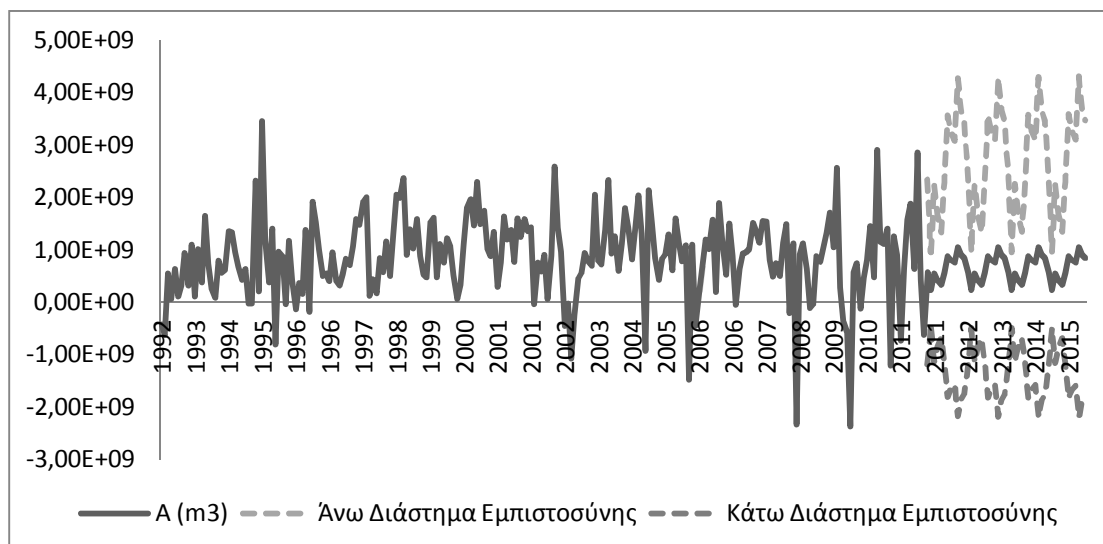
ΠΡΟΕΚΤΑΣΗ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ DAMPED

Η μέθοδος που πλησίασε αρκετά στην πραγματικότητα για τα δεδομένα της απλής χρονοσειράς της απορροής ήταν η μέθοδος Damped, ενώ αυτή με τη μεγαλύτερη απόκλιση η μέθοδος Naïve. Τα αποτελέσματα που έδωσε η μέθοδος Damped φαίνονται στο διάγραμμα 5.104.



Διάγραμμα 5.104: Οι προβλέψεις της απορροής και τα διαστήματα εμπιστοσύνης για τα υδρολογικά έτη 2011-2015 της μεθόδου Damped για τη λίμνη Γκαόγιου

Όπως φαίνεται και με τη σύγκριση των δύο διαγραμμάτων, 5.103 και 5.104, η μέθοδος Damped καλύπτει μόνο ένα μικρό και σταθερό τμήμα των τιμών, ενώ οι ακραίες αρνητικές τιμές που εμφανίζονται δεν εμπεριέχονται ούτε στο διάστημα εμπιστοσύνης. Παρόλα αυτά, έδωσε το μικρότερο μέσο τετραγωνικό σφάλμα συγκριτικά με τις υπόλοιπες μεθόδους και έτσι, συνεχίζοντας με την ίδια μέθοδο τα τελικά αποτελέσματα του ορίζοντα πρόβλεψης είναι τα εξής:

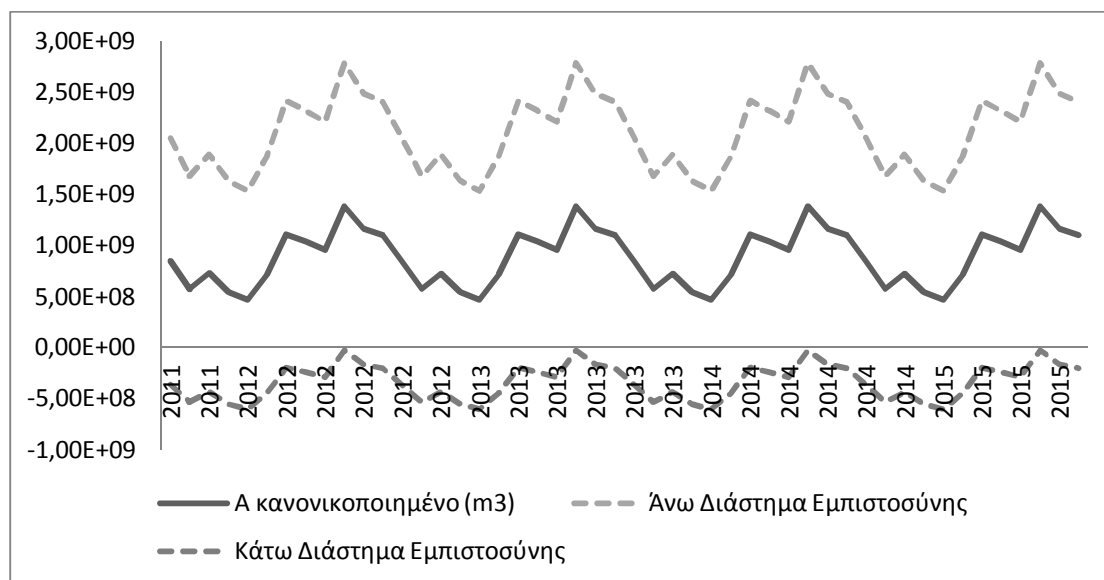


Διάγραμμα 5.105: Τα τελικά δεδομένα της απορροής για τα υδρολογικά έτη 1992-2015 της λίμνης Γκαόγιου

Από το διάγραμμα 5.105 φαίνεται ότι η μέθοδος Damped επηρεάστηκε από τα νέα δεδομένα που εισήχθησαν στη χρονοσειρά, κυρίως ως προς τη διέγερση των διαστημάτων εμπιστοσύνης, και πως οι τιμές των προβλέψεων ακολουθούν μια πιο συγκροτημένη πορεία.

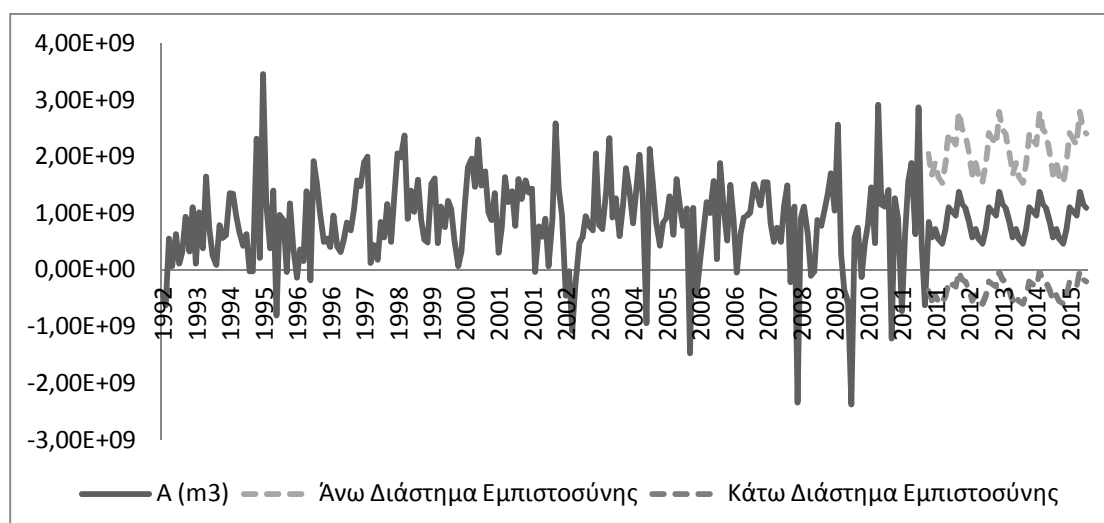
ΠΡΟΕΚΤΑΣΗ ΚΑΝΟΝΙΚΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ SES

Τα δεδομένα της κανονικοποιημένης χρονοσειράς της απορροής επίσης παρουσίασαν την καλύτερη μελλοντική συμπεριφορά με τη μέθοδο πρόβλεψης SES (διάγραμμα 5.106).



Διάγραμμα 5.106: Οι προβλέψεις των κανονικοποιημένων δεδομένων της απορροής και τα διαστήματα εμπιστοσύνης για τα υδρολογικά έτη 2011-2015 της μεθόδου SES για τη λίμνη Γκαόγιου

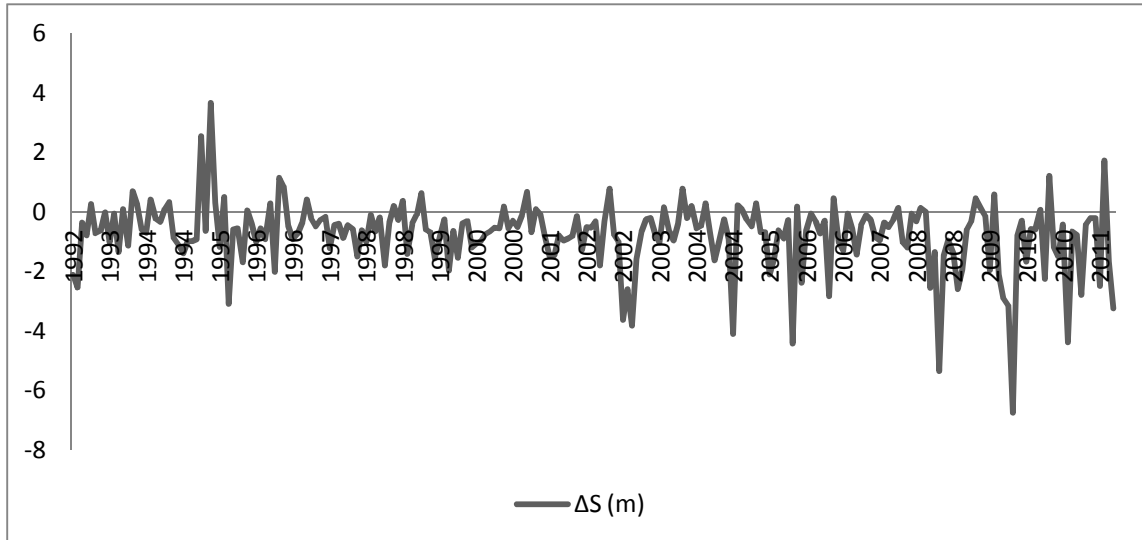
Με τα δεδομένα από τις κανονικοποιημένες προβλέψεις της απορροής η χρονοσειρά εξελίσσεται ως εξής (διάγραμμα 5.107):



Διάγραμμα 5.107: Τα τελικά δεδομένα από τα κανονικοποιημένα δεδομένα της απορροής για τα υδρολογικά έτη 1992-2015 της λίμνης Γκαόγιου

5.7.5 Διαφορά Στάθμης (ΔS)

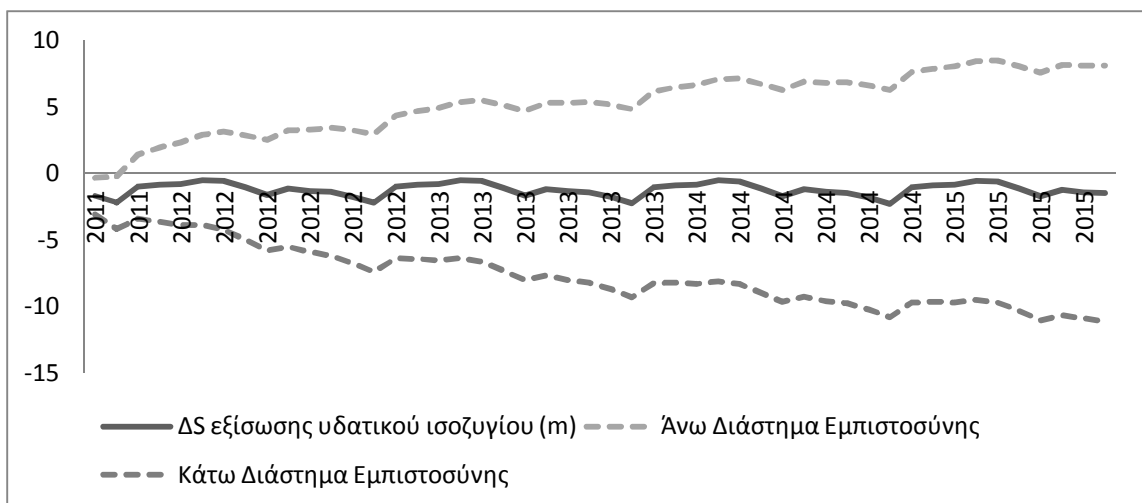
Για τη διαφορά στάθμης οι εργασίες έγιναν, όπως και για τη λίμνη Άισελμεερ, σε τέσσερα επίπεδα. Τα αρχικά δεδομένα της στάθμης του ταμιευτήρα φαίνονται στο διάγραμμα 5.108:



Διάγραμμα 5.108: Τα δεδομένα της διαφοράς στάθμης για τα υδρολογικά έτη 1992-2011 της λίμνης Γκαόγιου

Είναι εμφανής η καθοδική πορεία της στάθμης της λίμνης Γκαόγιου, επομένως ανάλογα αποτελέσματα αναμένονται και από τις προβλέψεις.

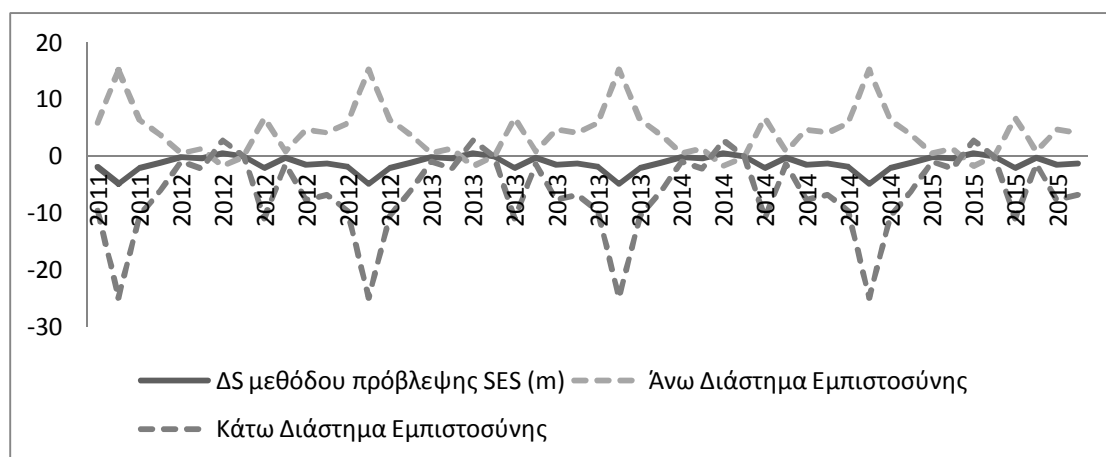
ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΗΣ ΕΞΙΣΩΣΗΣ ΤΟΥ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ



Διάγραμμα 5.109: Οι προβλέψεις της διαφοράς στάθμης και τα διαστήματα εμπιστοσύνης για τα υδρολογικά έτη 2011-2015 της επίλυσης της εξίσωσης υδατικού ισοζυγίου για τη λίμνη Γκαόγιου

Στην περίπτωση της λίμνης Γκαόγιου η εξίσωση του υδατικού ισοζυγίου είναι αυτή με το μικρότερο σφάλμα ως προς τις προβλέψεις για τα τέσσερα κρυμμένα υδρολογικά έτη. Με την επίλυση της εξίσωσης διατηρείται η καθοδική πορεία των τιμών της χρονοσειράς, ενώ περιλαμβάνει ακόμα και μερικά αρνητικά ακρότατα που παρατηρούνται στις τιμές των υδρολογικών ετών ελέγχου (διάγραμμα 5.109).

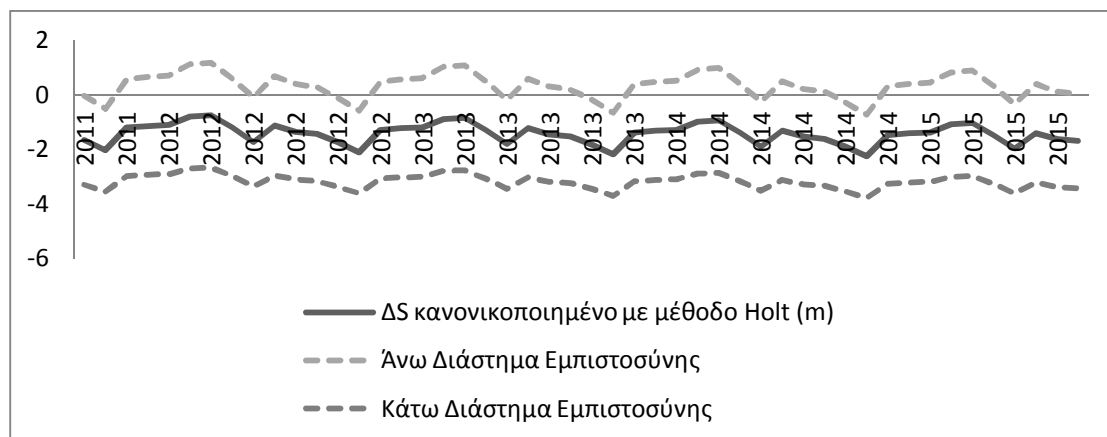
ΠΡΟΕΚΤΑΣΗ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑΣ ΔΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ SES



Διάγραμμα 5.110: Οι προβλέψεις της διαφοράς στάθμης και τα διαστήματα εμπιστοσύνης για τα υδρολογικά έτη 2011-2015 της μεθόδου SES για τη λίμνη Γκαόγιου

Η προέκταση της απλής χρονοσειράς διαφοράς στάθμης με τη μέθοδο SES είναι αυτή που έδωσε το μεγαλύτερο μέσο τετραγωνικό σφάλμα ως προς τις προβλέψεις για τα υδρολογικά έτη 2007-2011 (διάγραμμα 5.110). Αυτό οφείλεται στο ότι η χρονοσειρά, όπως παρατηρείται και στο διάγραμμα 5.108 στην αρχή της παραγράφου, είναι αρκετά απρόβλεπτη και με αρκετές ακραίες τιμές, γεγονός που την κάνει δύσκολα ερμηνεύσιμη ως προς μια διάσταση.

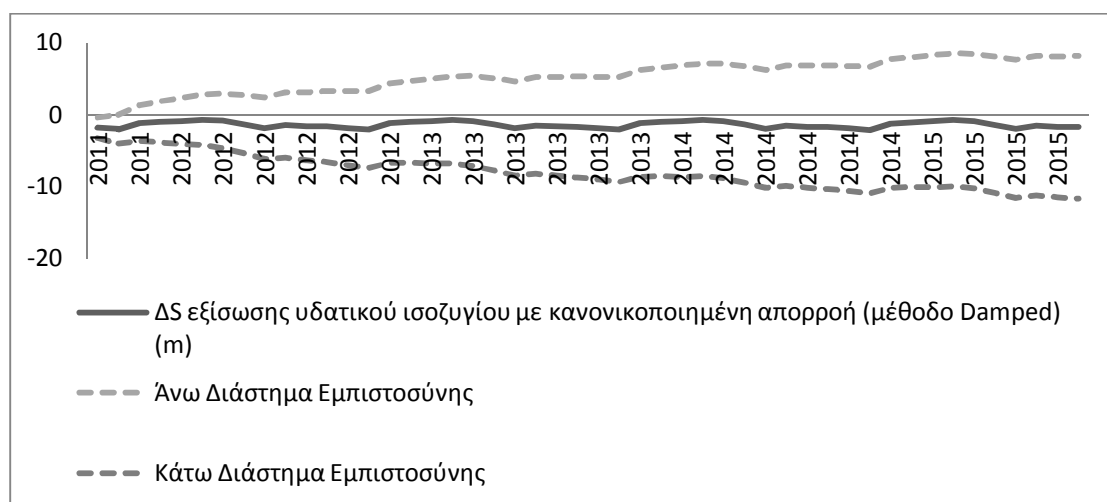
ΠΡΟΕΚΤΑΣΗ ΚΑΝΟΝΙΚΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑΣ ΔΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ HOLT



Διάγραμμα 5.111: Οι προβλέψεις της διαφοράς στάθμης και τα διαστήματα εμπιστοσύνης για τα υδρολογικά έτη 2011-2015 των κανονικοποιημένων δεδομένων με τη μέθοδο Holt για τη λίμνη Γκαόγιου

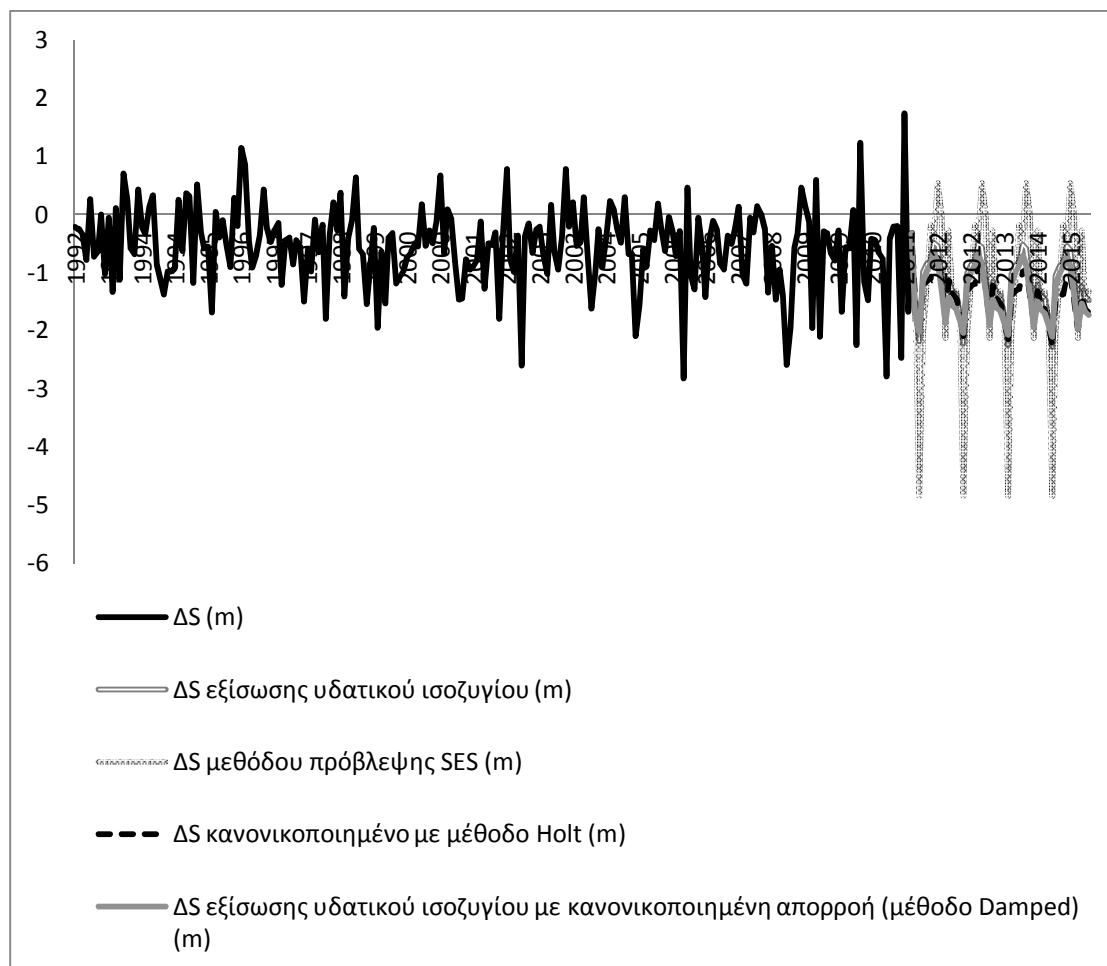
Μετά την επεξεργασία των δεδομένων της στάθμης, την κανονικοποίησή τους και τη διεργασία τους μέσω του προγράμματος RStudio, κρίθηκε ότι η μέθοδος που δίνει το μικρότερο μέσο τετραγωνικό σφάλμα για τα κανονικοποιημένα αυτά δεδομένα είναι η μέθοδος Holt (διάγραμμα 5.111). Παρά το γεγονός ότι η κανονικοποίηση δίνει συχνά καλύτερες μελλοντικές προβλέψεις, δεν παρατηρείται κάτι τέτοιο ούτε στα δεδομένα αυτής της λίμνης.

ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΗΣ ΕΞΙΣΩΣΗΣ ΤΟΥ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ ΜΕ ΚΑΝΟΝΙΚΟΠΟΙΗΜΕΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΑΠΟΡΡΟΗΣ (ΜΕΘΟΔΟ DAMPED)



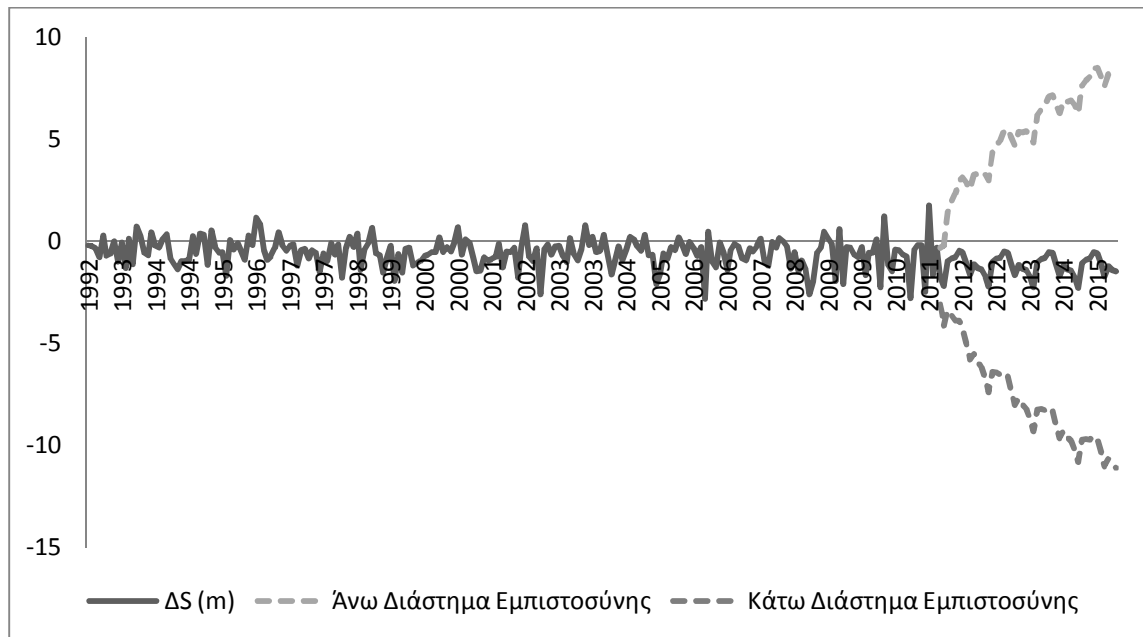
Διάγραμμα 5.112: Οι προβλέψεις της διαφοράς στάθμης και τα διαστήματα εμπιστοσύνης για τα υδρολογικά έτη 2011-2015 της επίλυσης της εξίσωσης υδατικού ισοζυγίου με κανονικοποιημένη απορροή για τη λίμνη Γκαόγιου

Η μέθοδος επίλυσης της εξίσωσης του υδατικού ισοζυγίου με κανονικοποιημένα δεδομένα απορροής δίνει το δεύτερο μικρότερο σφάλμα για τα δεδομένα, γεγονός που είναι αναμενόμενο αφού η προσέγγιση της απλής επίλυσης της εξίσωσης ήταν αρκετά πετυχημένη, όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Παρόλα αυτά, τα κανονικοποιημένα δεδομένα της απορροής δε βελτίωσαν το αποτέλεσμα όπως ίσως θα αναμενόταν (διάγραμμα 5.112). Μια συνολική εικόνα των στάθμεων φαίνεται στο διάγραμμα 5.113.



Διάγραμμα 5.113: Τα δεδομένα και οι προβλέψεις όλων των μεθόδων της διαφοράς στάθμης για τα υδρολογικά έτη 1992-2015 της λίμνης Γκαόγιου

Στο διάγραμμα 5.113 φαίνεται η σύγκριση των δεδομένων για τις τέσσερις διαφορετικές προβλέψεις χρονοσειρών που έγιναν. Η απόκλιση της μεθόδου πρόβλεψης SES φαίνεται καθαρά στο συγκεντρωτικό διάγραμμα, ενώ οι υπόλοιπες τρεις μέθοδοι δίνουν αρκετά ικανοποιητικά αποτελέσματα. Επομένως, τελικά για τη διαφορά στάθμης με τη μέθοδο της επίλυσης της εξίσωσης του υδατικού ισοζυγίου, θα ισχύει (διάγραμμα 5.114):



Διάγραμμα 5.114: Τα τελικά δεδομένα της διαφοράς στάθμης για τα υδρολογικά έτη 1992-2015 της λίμνης Γκαλόγιου

5.8 Συμπεράσματα

Τα ζητούμενα αποτελέσματα των προβλέψεων για τις ανάγκες της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι αυτά της διαφοράς στάθμης των ταμειυτήρων. Όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 4, οι μέθοδοι που ξεχώρισαν για τις τελικές προβλέψεις ήταν της επίλυσης του υδατικού ισοζυγίου και της προέκτασης της κανονικοποιημένης χρονοσειράς διαφοράς στάθμης σε ορισμένες. Η επίλυση του υδατικού ισοζυγίου έδωσε σε τρεις περιπτώσεις τα καλύτερα αποτελέσματα, δεδομένου ότι δεν αποτελεί μονοδιάστατη διαδικασία, αλλά εμπεριέχονται προβλέψεις που έγιναν για όλες τις παραμέτρους της εξίσωσης. Η ανάλυση, επομένως, της κάθε λίμνης ως προς την κάθε παράμετρο αποσκοπεί στην εξαγωγή των καταλληλότερων αποτελεσμάτων για τη μετέπειτα επίλυση της εξίσωσης υδατικού ισοζυγίου. Στην περίπτωση όπου η κανονικοποιημένη χρονοσειρά δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα, όλοι οι υπολογισμοί των παραμέτρων είναι περιττοί. Τα μοντέλα πρόβλεψης προσαρμόζονται καλύτερα σε κανονικοποιημένες χρονοσειρές, δεδομένου ότι το εύρος των τιμών είναι συγκεκριμένο και με μικρές αποκλίσεις. Τα διαστήματα εμπιστοσύνης, και στις δύο περιπτώσεις, εκτίνονται σε αρκετά ευρύ φάσμα, αφού όλες οι χρονοσειρές διαφοράς στάθμης εμπεριέχουν μεγάλο βαθμό τυχαιότητας. Επομένως, υπάρχει ανάγκη να συμπεριληφθούν στο τελικό αποτέλεσμα πιθανές ακραίες, μέγιστες και ελάχιστες, τιμές που είτε έχουν εμφανισθεί στο παρελθόν είτε τείνουν να εμφανιστούν λόγω τάσης στο μέλλον.

Κεφάλαιο 6

Ανάλυση Αποτελεσμάτων

6. Ανάλυση Αποτελεσμάτων

6.1 Οι Προβλέψεις και οι τάσεις της Κλιματικής Αλλαγής

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται η σύγκριση μεταξύ της προβλεπόμενης εξέλιξης του κλίματος για την κάθε περιοχή μελέτης από μετεωρολογικές υπηρεσίες και τους οργανισμούς που ασχολούνται με το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής, και των προβλέψεων της μεταβολής της στάθμης για τις υπό μελέτη τεχνητές λίμνες, που υπολογίστηκαν στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Σκοπός της σύγκρισης είναι να διαπιστωθεί αν τα αποτελέσματα των δύο συμβαδίζουν σε ένα κοινό μελλοντικό σενάριο για τον κάθε ταμιευτήρα και κατ' επέκταση αν μπορεί αυτό το μελλοντικό σενάριο να τεθεί ως γνώμονας για τη λήψη των κατάλληλων μέτρων και αποφάσεων που θα μετριάσουν τις αρνητικές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής ως προς την υδροδότηση των περιοχών.

6.1.1 Αυστραλία – Η λίμνη Αργκάλι

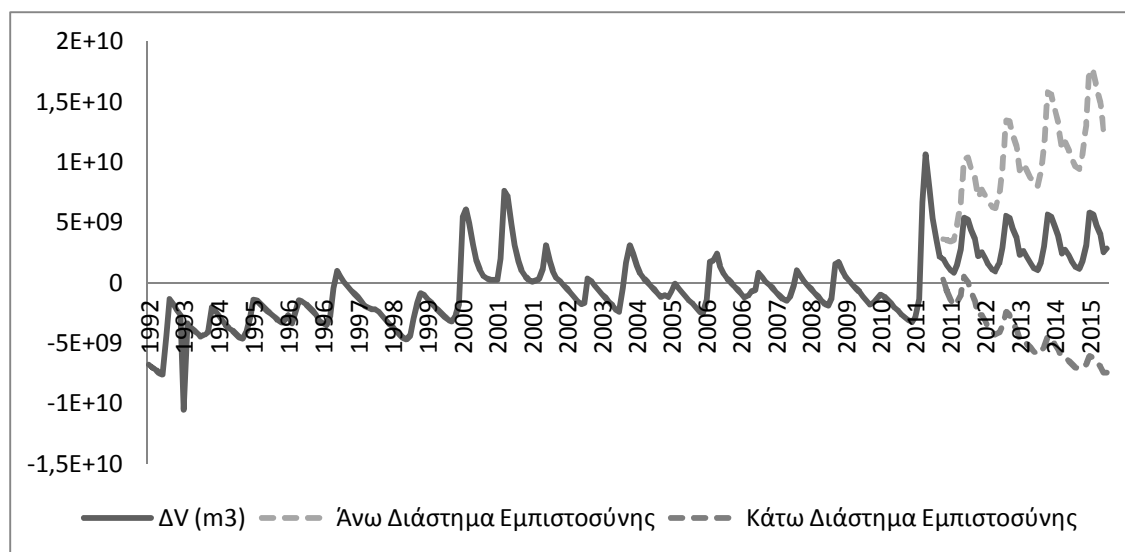
Για την περιοχή της λίμνης Αργκάλι στην Αυστραλία προβλέπεται από τα παγκόσμια σενάρια της κλιματικής αλλαγής (IPCC) σημαντική αύξηση της ζέστης και μείωση των βροχοπτώσεων της τάξης του 5%. Επίσης, προβλέπεται αύξηση των ακραίων φαινομένων, δηλαδή της αύξησης της συχνότητας των έντονων περιόδων ξηρασίας και πλημμύρων (Slingo et al., 2011). Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν και ομαδοποιήθηκαν στο διάγραμμα της μηνιαίας αθροιστικής βροχόπτωσης της περιοχής της λίμνης έδειξαν ότι τα τελευταία χρόνια υπάρχει αύξηση των ακραίων φαινομένων κατά τους χειμερινούς μήνες (διάγραμμα 5.3). Από τις παραγόμενες προβλέψεις, για τον τομέα της βροχόπτωσης, τα αποτελέσματα της μεθόδου Theta έδειξαν ότι αυτά τα ακραία φαινόμενα εντείνονται, όπως και οι αθροιστικές τιμές της βροχόπτωσης, ενώ τα διαστήματα εμπιστοσύνης εκτείνονται σε πολύ μεγαλύτερες ακραίες τιμές από αυτές που έχουν εμφανιστεί μέχρι σήμερα.

Το φαινόμενο της αύξησης της θερμοκρασίας, δεδομένου ότι οι χρονοσειρές της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας χρησιμοποιήθηκαν εμμέσως σε όλες τις περιοχές μελέτης για τον υπολογισμό εξάτμισης και εξατμισοδιαπνοής, επηρεάζει τις δύο αυτές παραμέτρους. Όπως αναφέρθηκε, όμως, και στο πρώτο κεφάλαιο, η εξέλιξη των δεδομένων της εξάτμισης και της εξατμισοδιαπνοής δεν είναι κάτι που προβλέπεται με ακρίβεια, γιατί επηρεάζεται και αντίστροφα από την αύξηση της θερμοκρασίας. Με βάση την ομαλή και σταθερή χρονοσειρά τόσο της εξάτμισης όσο και της εξατμισοδιαπνοής για τα δεδομένα από 1992 έως το 2011, η μέθοδος Naive προέβλεψε και για τις δύο παραμέτρους σταθερή εξέλιξη στο χρόνο, με τα διαστήματα εμπιστοσύνης, και για τις δύο περιπτώσεις, να κινούνται σε μεγάλο εύρος, κυρίως όσον αφορά την εξατμισοδιαπνοή.

Για το φαινόμενο της απορροής, στον τομέα των υδάτων, και κυρίως όσον αφορά την επίδραση του φαινομένου της αύξησης της μέσης στάθμης της θάλασσας, χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι η Αυστραλία είναι η ήπειρος που επηρεάζεται λιγότερο από το φαινόμενο. Δεδομένου ότι η υπολογισμένη χρονοσειρά της

απορροής για τα υδρολογικά έτη 1992-2011 δεν έχει συγκεκριμένη τάση, δεν αποτελεί έκπληξη το γεγονός ότι η μέθοδος Naïve δίνει αρκετά σταθερό αποτέλεσμα, ως συνέχεια των εισαγόμενων δεδομένων. Παρόλα αυτά, το διάστημα εμπιστοσύνης που δίνει, περιλαμβάνει ευρεία γκάμα τιμών σε ανώτατες και κατώτατες ακραίες απορροές, με αρκετή απόκλιση σε σχέση με τις αντίστοιχες που εμφανίζονται στα ως τώρα δεδομένα.

Τέλος, η διαφορά στον όγκο και τη στάθμη της λίμνης Αργκάιλ παρουσιάζει μια αύξηση κατά τα τελευταία χρόνια της περιόδου μελέτης (διάγραμμα 5.18). Η τάση αυτή δεν εμπεριέχεται στις προβλέψεις των κανονικοποιημένων δεδομένων με τη μέθοδο Theta, αλλά παρόλα αυτά τα μελλοντικά δεδομένα που δίνει η μέθοδος κινούνται σε αρκετά υψηλότερο επίπεδο τιμών, με τα διαστήματα εμπιστοσύνης να περιλαμβάνουν και τις ακραίες τιμές που φαίνεται να εμφανίζονται ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Αυτό συνεπάγεται αύξηση του κινδύνου των πλημμύρων, δεδομένου ότι η προβλεπόμενη στάθμη κινείται σε αρκετά υψηλότερα επίπεδα από τα συνηθισμένα. Μια τέτοια πρόβλεψη θα έπρεπε να εφαγρυνήσει 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.



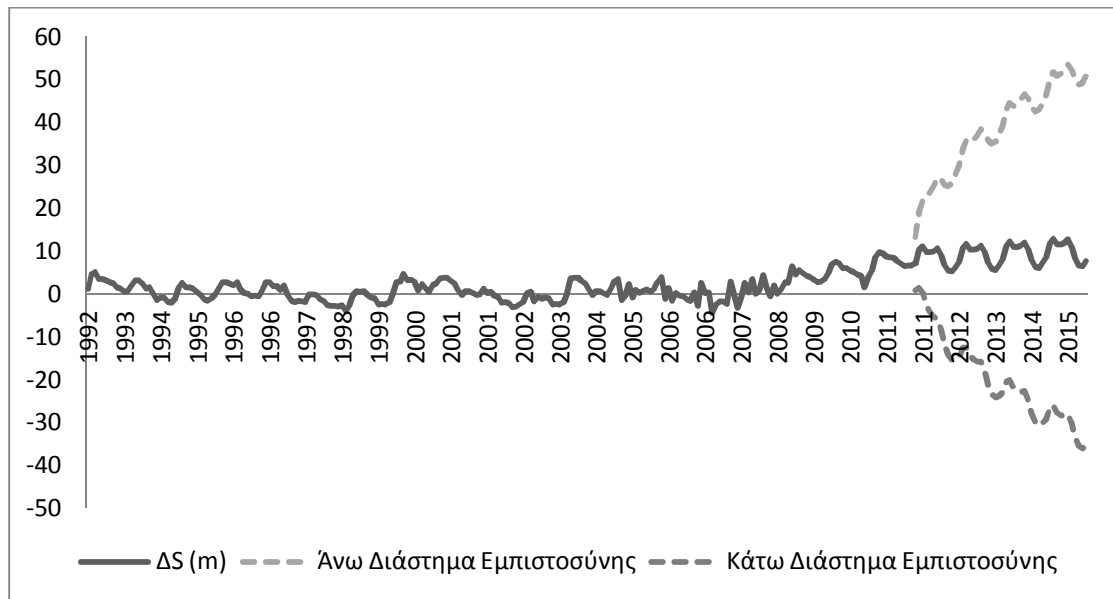
Διάγραμμα 5.18: Τα τελικά δεδομένα της διαφοράς όγκου για τα υδρολογικά έτη 1992-2015 της λίμνης Αργκάιλ

6.1.2 Αφρική – Η λίμνη Βόλτα

Για τη Γκάνα της Αφρικής, και συγκεκριμένα για την 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 1°C, 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). Το φαινόμενο της βροχόπτωσης, όπως μελετήθηκε εδώ, εμφανίζεται με αρκετές ακραίες τιμές στη χρονοσειρά για τα υδρολογικά έτη 1992-2011. Η μέθοδος Holt, όμως, παρήγαγε προβλέψεις οι οποίες υποδηλώνουν αύξηση στη συχνότητα των ακραίων τιμών της βροχόπτωσης για το χρονικό ορίζοντα πρόβλεψης, ενώ το διάστημα εμπιστοσύνης κινείται σε ακόμα υψηλότερες τιμές για το μήνα Αύγουστο, υψηλότερα από ότι έχει εμφανιστεί ως το έτος 2011. Η εξάτμιση και η εξατμισοδιαπνοή, δεδομένου ότι κινούνται πολύ σταθερά στον υπό μελέτη χρονικό ορίζοντα, έδωσαν και τις αντίστοιχες σταθερές προβλέψεις. Η μέθοδος Theta για την εξάτμιση, παρήγαγε τιμές οι οποίες ακολουθούν το πρότυπο των αρχικών δεδομένων, ενώ το διάστημα εμπιστοσύνης σχεδόν συμπίπτει με την καμπύλη των τιμών. Αντίστοιχα κινείται και η καμπύλη που παρήγαγε η μέθοδος Holt για την εξατμισοδιαπνοή, με τη διαφορά ότι σε αυτή το διάστημα εμπιστοσύνης έχει μεγαλύτερο εύρος τιμών, χωρίς όμως να εμφανίζει έντονες διαφορές στις ακραίες τιμές. Η κίνηση αυτή των δύο παραμέτρων περιγράφεται από την προβλεπόμενη αύξηση της θερμοκρασίας, δεδομένου ότι ο χρονικός ορίζοντας για τον οποίο γίνονται οι προβλέψεις είναι η τετραετία, ενώ το χρονικό διάστημα στο οποίο εμφανίστηκε αύξηση της θερμοκρασίας κατά 1°C είναι ο τελευταίος αιώνας. Για την απορροή από τα δεδομένα για τα υδρολογικά έτη 1992-2011 υπάρχει αύξηση στις κατώτερες τιμές, γεγονός που κάνει τις προβλέψεις της μεθόδου Theta να κινούνται σε ένα υψηλότερο επίπεδο τιμών, χωρίς όμως να επηρεάζονται ιδιαίτερα τα μέγιστα ακρότατα. Επειδή η χρονοσειρά είναι αρκετά σταθερή, το διάστημα εμπιστοσύνης δεν αποκλίνει ιδιαίτερα από τις προβλεπόμενες τιμές. Η αύξηση της βροχόπτωσης, όπως αναμένεται από τις υπηρεσίες που μελετούν την κλιματική αλλαγή, συμβαδίζει με τα παραγόμενα αποτελέσματα της απορροής, δεδομένου ότι τα ύδατα της βροχόπτωσης καταλήγουν στους τριγύρω ποταμούς της λίμνης και στη συνέχεια στην ίδια τη λίμνη, αυξάνοντας έτσι τη συνολική της απορροή.

Τελικά, το γεγονός ότι η διαφορά της στάθμης του ταμιευτήρα αυξάνεται, είναι λογική συνέπεια της εξέλιξης των υπολοίπων παραμέτρων που λαμβάνουν μέρος στο υδατικό ισοζύγιο. Αν και αρκετά ανώμαλο το διάγραμμα των τιμών της διαφοράς της στάθμης για τα υδρολογικά έτη της χρονοσειράς, γίνεται άμεσα εμφανές ότι υπάρχει αύξηση της στάθμης τα τρία τελευταία υδρολογικά έτη. Η επίλυση της εξίσωσης του υδατικού ισοζυγίου, που δίνει τις καλύτερες προβλέψεις για το χρονικό ορίζοντα πρόβλεψης, κινείται με σταθερό ρυθμό και μια ανοδική τάση, ενώ τα διαστήματα εμπιστοσύνης αγγίζουν ένα μεγάλο εύρος ανώτατων και κατώτατων τιμών, ώστε να καλυφθεί η ανωμαλία του φαινομένου. Η κίνηση αυτή της διαφοράς της στάθμης συμβαδίζει με την προβλεπόμενη αύξηση της βροχής και κατ' επέκταση της απορροής στη λίμνη Βόλτα, αλλά προϊδεάζει για σοβαρά προβλήματα πλημμύρων που ενδέχεται να αντιμετωπίσει η περιοχή μέσα στην επόμενη τετραετία (διάγραμμα 5.36). Τα προβλήματα των πλημμύρων και της ξηρασίας τείνουν να έχουν εντονότερες επιπτώσεις στις υπό ανάπτυξη περιοχές για τους κατοίκους, γεγονός που θα έπρεπε να επαγρυπνήσει τις κυβερνήσεις να λάβουν άμεσα τις απαραίτητες αποφάσεις για την αποφυγή των δραματικών επιπτώσεων που θα μπορούσαν να συμβούν υπό αυτές τις συνθήκες.



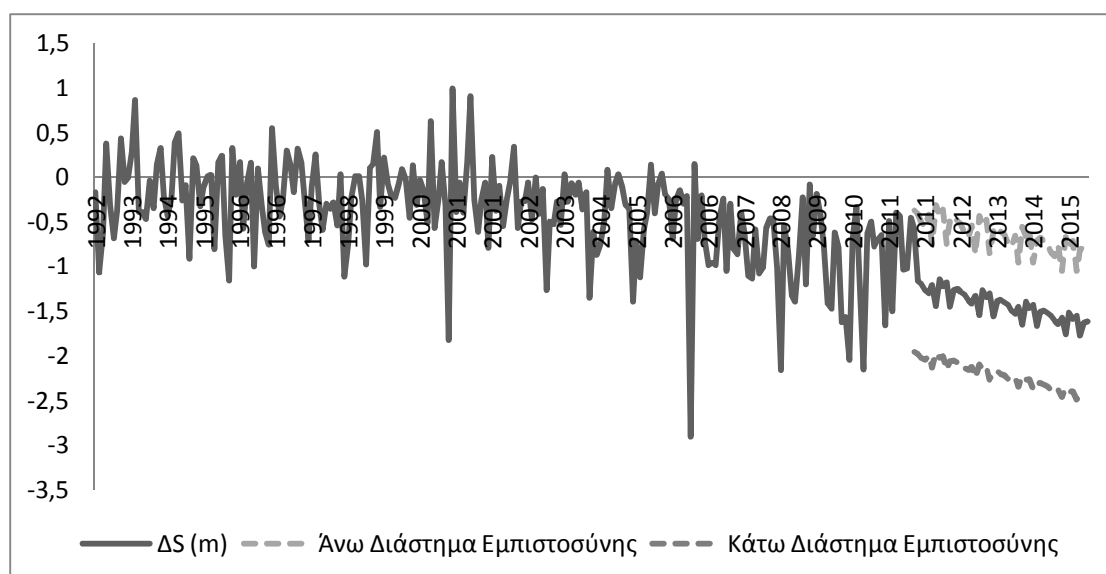
Διάγραμμα 5.36: Τα τελικά δεδομένα της διαφοράς στάθμης για τα υδρολογικά έτη 1992-2015 της λίμνης Βόλτα

6.1.3 Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής – Η λίμνη Σάλτον Σι

Στην περιοχή της Καλιφόρνια, και πιο συγκεκριμένα στην περιοχή της κοιλάδας Ιμπρίαλ 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 et al., 2011). Στην παρούσα διπλωματική εργασία, παρατηρήθηκαν για τα δεδομένα της χρονοσειράς της βροχόπτωσης έντονα ακρότητα για τους μήνες Οκτώβρη έως και Μάρτη. Οι προβλέψεις της μεθόδου SES παρουσίασαν μείωση του φαινομένου των αθροιστικών βροχοπτώσεων σε πολύ μεγάλο βαθμό για τα τέσσερα επερχόμενα υδρολογικά έτη, εμφανίζοντας, όμως, το διάστημα εμπιστοσύνης με αρκετά υψηλές τιμές, στις οποίες μπορούν να αποδοθούν τα ακραία φαινόμενα βροχόπτωσης που ενδεχομένως να εμφανιστούν. Οι προβλέψεις της μεθόδου SES συμβαδίζουν με το σενάριο της έντονης μείωσης των βροχοπτώσεων μέσα στον επόμενο αιώνα, αλλά αυτό που είναι πραγματικά ανησυχητικό είναι ότι η μείωση αυτή εμφανίζεται ήδη από το πρώτο τέταρτο του αιώνα, στο οποίο και γίνεται η παρούσα μελέτη. Η εξάτμιση και η εξατμισοδιαπνοή παρουσιάζουν σταθερές τιμές στις χρονοσειρές τους για τα υδρολογικά έτη 1992-2011. Όπως προαναφέρθηκε, τα δύο αυτά φαινόμενα δεν είναι απολύτως εξαρτημένα από τη μέση θερμοκρασία, καθώς στον υπολογισμό τους εμπιρεύονται και άλλες παράμετροι οι οποίες επηρεάζονται και από αλλαγές στη βροχόπτωση και άλλα μετεωρολογικά φαινόμενα. Για την εξάτμιση η μέθοδος SES έδωσε αρκετά σταθερές προβλέψεις, στο ίδιο επίπεδο με αυτό των προηγούμενων ετών, ενώ το διάστημα εμπιστοσύνης κινείται αρκετά κοντά στις προβλεπόμενες τιμές, παίρνοντας πιο ακραίες μέγιστες τιμές. Το φαινόμενο αυτό ερμηνεύεται και από

την αύξηση της θερμοκρασίας. Ομοίως κινούνται και οι προβλέψεις της μεθόδου Holt για την εξατμισοδιαπνοή, καθώς και το διάστημα εμπιστοσύνης που αυτή δίνει. Η απορροή παρουσιάζεται αρχικά με αρκετά σταθερή καμπύλη χρονοσειράς, η οποία συνεχίζεται σταθερά από τις προβλέψεις της μεθόδου SES. Το αυξημένο διάστημα εμπιστοσύνης στις ακραίες θετικές τιμές ερμηνεύεται από τα ακραία φαινόμενα βροχόπτωσης που αναμένεται να πλήξουν την περιοχή της λίμνης, ενώ η σταθερότητα των τιμών της απορροής ερμηνεύεται από τις σταθερές τιμές εξάτμισης και εξατμισοδιαπνοής.

Η διαφορά στη στάθμη για τη λίμνη Σάλτον Σι μειώνεται σημαντικά κατά το χρονικό διάστημα μελέτης (διάγραμμα 5.54). Οι προβλέψεις της κανονικοποιημένης χρονοσειράς της μεθόδου Holt εντείνουν ακόμα περισσότερο αυτή τη μείωση της στάθμης, 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 εισφορές 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 βιοκλίμα της περιοχής.

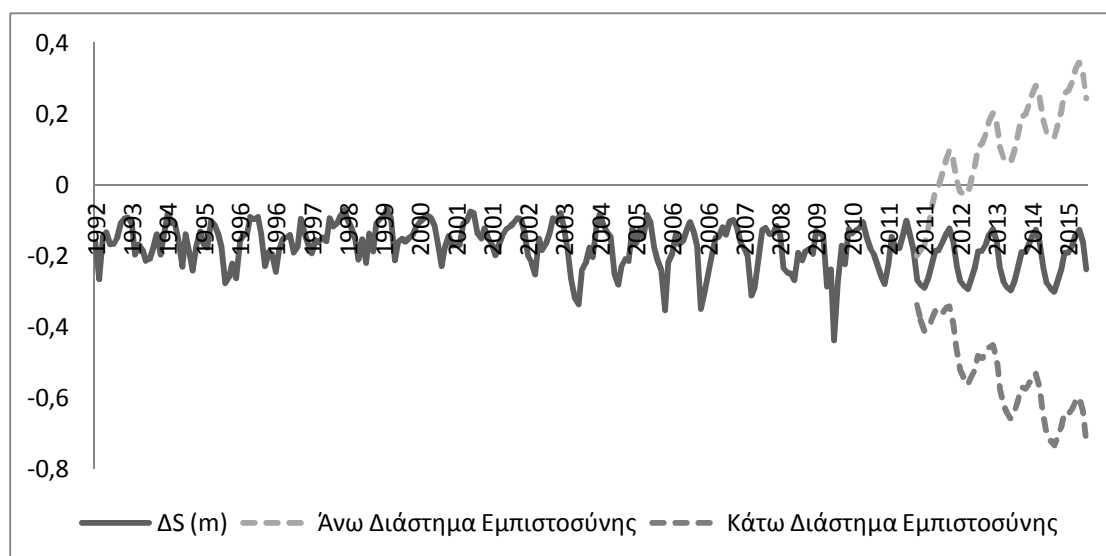


Διάγραμμα 5.54: Τα τελικά δεδομένα της διαφοράς στάθμης για τα υδρολογικά έτη 1992-2015 της λίμνης Σάλτον Σι

6.1.4 Αργεντινή – Η λίμνη Σαν Ροκέ

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 4°C, αλλά και αύξηση του φαινομένου των βροχοπτώσεων κατά 20%. Το πρόβλημα με την αύξηση των βροχοπτώσεων αναμένεται να είναι η ενίσχυση της αθροιστικής της τιμής 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 et al., 2011). Η χρονοσειρά της βροχόπτωσης τα τελευταία πέντε υδρολογικά έτη μελέτης παρουσιάζει αύξηση και πύκνωση των ακραίων τιμών της. Παρόλα αυτά, η μέθοδος Damped παράγει εξομαλυμένες και μέτριες τιμές για το χρονικό ορίζοντα πρόβλεψης, περιλαμβάνοντας την πιθανότητα αύξησης των ακροτήτων στα διαστήματα εμπιστοσύνης της. Να σημειωθεί ότι τα μέγιστα άκρα του άνω διαστήματος εμπιστοσύνης είναι πολύ υψηλότερα από αυτά που έχουν παρατηρηθεί από την καμπύλη του χρονικού ορίζοντα μελέτης. Στη συγκεκριμένη λίμνη το φαινόμενο της εξάτμισης δε συμβαδίζει με αυτό της εξατμισοδιαπνοής, γεγονός που οφείλεται στην αύξηση της ετήσιας αθροιστικής βροχόπτωσης. Η καμπύλη της εξάτμισης παρουσιάζεται σταθερή τόσο για τον ορίζοντα μελέτης όσο και για τις προβλέψεις της μεθόδου Holt, ενώ το διάστημα εμπιστοσύνης συμπίπτει σχεδόν με της προβλεπόμενες τιμές. Αντιθέτως, στην εξατμισοδιαπνοή εμφανίζεται αύξηση των μέγιστων ακραίων τιμών για τα τελευταία επτά υδρολογικά έτ. Ομοίως συνεχίζουν και οι προβλέψεις της μεθόδου Holt, οι οποίες κινούνται σε ένα σταθερό μεν, αλλά υψηλότερο επίπεδο τιμών στον ορίζοντα πρόβλεψης, με το άνω διάστημα εμπιστοσύνης να εμπεριέχει ακόμα μεγαλύτερα πιθανά ακρότατα. Οι παρατηρήσεις αυτές για τα δύο μεγέθη συμβαδίζουν με τις προβλέψεις των διεθνών οργανισμών για αύξηση της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης (IPCC). Η εξάτμιση εξισορροπείται από τη θερμοκρασία και τη βροχόπτωση, ενώ η εξατμισοδιαπνοή επηρεάζεται εντονότερα από τη βροχόπτωση και αυξάνεται. Για την απορροή της λίμνης Σαν Ροκέ, εμφανίζεται πύκνωση των μέγιστων ακραίων τιμών την τελευταία δεκαετία. Η μέθοδος Damped έδωσε προβλέψεις οι οποίες ισομοιράζουν τις τιμές σε ένα πιο μέτριο επίπεδο, με το διάστημα εμπιστοσύνης όμως να ξεπερνάει ακόμα και τις πιο ακραίες τιμές του ορίζοντα μελέτης, τόσο στα μέγιστα όσο και στα ελάχιστα. Ένα τέτοιο διάστημα εμπιστοσύνης ακολουθεί τα σενάρια που θέλουν την εμφάνιση ακραίων φαινομένων στην περιοχή, με έντονες ξηρασίες ή πλημμύρες, γεγονός που όμως δε θα μπορούσε να εμφανιστεί επακριβώς στις προβλέψεις.



Διάγραμμα 5.72: Τα τελικά δεδομένα της διαφοράς στάθμης για τα υδρολογικά έτη 1992-2015 της λίμνης Σαν Ροκέ

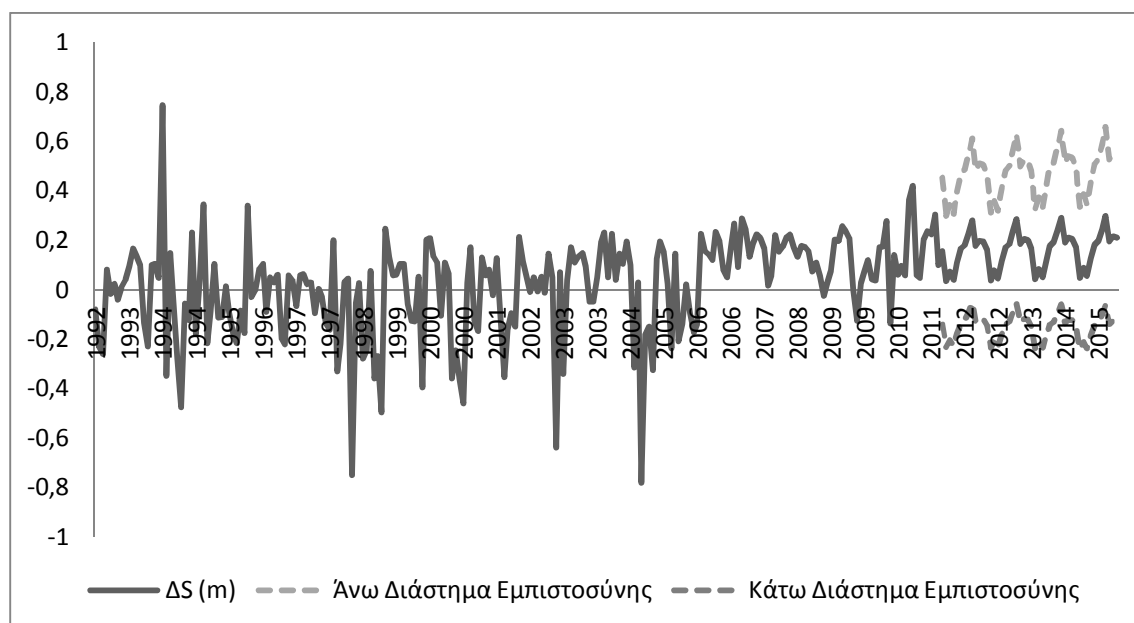
Η διαφορά στη στάθμη του ταμιευτήρα έχει καθοδική πορεία, όπως φαίνεται και από την καμπύλη του ορίζοντα μελέτης, ειδικά για τα τελευταία οκτώ υδρολογικά έτη (διάγραμμα 5.72). Ανησυχητικό είναι ότι εμφανίζονται όλο και πιο ακραίες ελάχιστες τιμές στη διαφορά της στάθμης. Η επίλυση της εξίσωσης του υδατικού ισοζυγίου, που έδωσε τις ακριβέστερες προβλέψεις, παρουσιάζει την πορεία της στάθμης να συνεχίζει την καθοδική της τάση, με πιο ήπιο ρυθμό, αλλά στο διάστημα εμπιστοσύνης εμπεριέχει ακόμα και πιθανή ακραία αύξησή της. Με βάση τόσο τα εθνικά σενάρια της κλιματικής αλλαγής στην περιοχή (IPCC), 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 λειψυδρίας στην περιοχή (Slingo et al., 2011).

6.1.5 Ολλανδία – Η λίμνη Άισελμεερ

Τα μελλοντικά σενάρια προβλέπουν ότι η θερμοκρασία θα ανέβει στην Ολλανδία, ενώ αύξηση παρατηρείται και στη στάθμη της θάλασσας της περιοχής της λίμνης Άισελμεερ. 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).

Από την καμπύλη του ορίζοντα μελέτης εμφανίζεται πυκνότητα στις μέγιστες τιμές βροχόπτωσης για τα τελευταία επτά υδρολογικά έτη και εμφάνιση ακόμα μικρότερων αθροιστικών τιμών για τους άνυδρους μήνες. Οι προβλέψεις της μεθόδου Naive απέδωσαν τιμές στη μέσο όρο των τιμών των προηγούμενων ετών, οι οποίες αποκλίνουν από τα ήδη υπάρχοντα μελλοντικά σενάρια και διάστημα εμπιστοσύνης το οποίο συμπίπτει με τις ακρότητες που έχουν προβλεφθεί ήδη για το μέλλον (Bresser et al., 2005). Οι χρονοσειρές της εξάτμισης και της εξατμισοδιαπνοής είναι αρκετά σταθερές για τα υδρολογικά έτη μελέτης. Οι προβλέψεις της μεθόδου Naive για την εξάτμιση, συνεχίζουν στο μοντέλο της προϋπάρχουσας καμπύλης, με ελαφρώς μειωμένες τιμές στα μέγιστα, όπως και η μέθοδος Theta για την εξατμισοδιαπνοή. Τα διαστήματα εμπιστοσύνης, και στις δύο περιπτώσεις, κινούνται μακρύτερα από τις προβλεπόμενες τιμές όσον αφορά το άνω όριο και τις αντίστοιχες μέγιστες τιμές, ενώ το κάτω όριο και στις δύο περιπτώσεις, είναι αρκετά κοντά στις τιμές των προβλέψεων. Για τις δύο περιπτώσεις, το κύριο αίτιο είναι η αύξηση του νερού του ταμιευτήρα και της ευρύτερης περιοχής και η αύξηση της στάθμης της θάλασσας, η οποία χωρίζεται από τη λίμνη μόνο με το φράγμα. Η απορροή της λίμνης Άισελμεερ έχει μια αρκετά σταθερή καμπύλη χρονοσειράς, την οποία ακολουθούν οι προβλέψεις της μεθόδου SES. Ενδιαφέρον παρουσιάζει το άνω διάστημα εμπιστοσύνης των προβλέψεων, το οποίο εμφανίζει πολύ μεγαλύτερα ακρότατα από ότι το κάτω διάστημα. Τα δεδομένα αυτά των διαστημάτων εμπιστοσύνης συμβαδίζουν με τα μελλοντικά σενάρια που θέλουν αύξηση της απορροής κατά τους χειμερινούς μήνες και αύξηση των ακραίων φαινομένων

βροχόπτωσης, αλλά αποκλίνουν όσον αφορά τη δραματική μείωση της απορροής για τους θερινούς μήνες.



Διάγραμμα 5.93: Τα τελικά δεδομένα της διαφοράς στάθμης για τα υδρολογικά έτη 1992-2015 της λίμνης Άϊσελμεερ

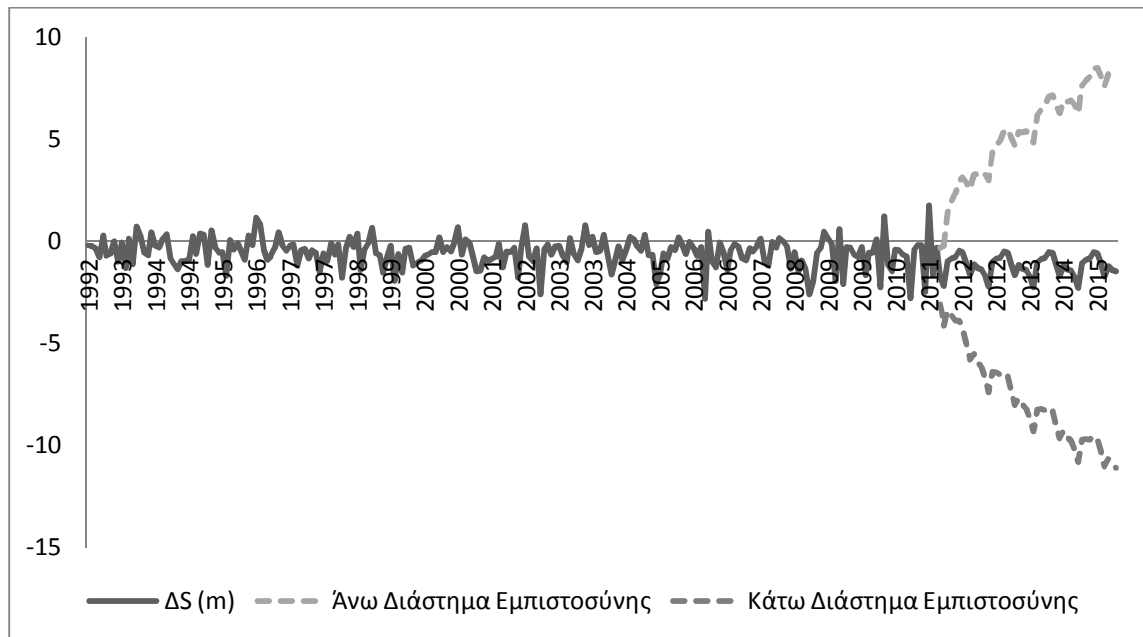
Τέλος, η διαφορά της στάθμης του ταμιευτήρα, αν και εμφανίζεται με αρκετά ανώμαλη καμπύλη για το χρονικό ορίζοντα μελέτης, είναι εμφανές ότι τα τελευταία πέντε υδρολογικά έτη κινείται σε πολύ υψηλότερα επίπεδα τιμών, με μικρότερες εποχιακές διακυμάνσεις (διάγραμμα 5.93). Οι προβλέψεις της κανονικοποιημένης χρονοσειράς με τη μέθοδο Theta ακολούθησαν το μοντέλο της τελευταίας υδρολογικής πενταετίας και κινήθηκαν σε υψηλότερα επίπεδα τιμών από τα παρελθοντικά, με μικρές εποχιακές διακυμάνσεις και αρκετά μεγάλο εύρος τιμών στο διάστημα εμπιστοσύνης. Η άνοδος της στάθμης της λίμνης Άϊσελμεερ, είναι πιθανό να προκαλέσει πολύ σοβαρά προβλήματα στην ευρύτερη περιοχή αλλά και γενικότερα στην χώρα. 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 συμβάλει στην υφαλμύρωση 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 Μάρκεμεερ). 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.

6.1.6 Κίνα – Η λίμνη Γκαόγιου

Η Κίνα είναι απο τις χώρες που αναμένεται να υποφέρει σε πολύ μεγάλο βαθμό από την κλιματική αλλαγή (IPCC). Για την ευρύτερη περιοχή της λίμνης Γκαόγιου αναμένεται αύξηση της θερμοκρασίας από 3 έως 4°C, αύξηση της βροχόπτωσης κατά 20%, αύξηση των εκπομπών των αερίων των θερμοκηπίων και αύξηση των πλημμύρων, λόγω της αύξησης της μέσης στάθμης της θάλασσας. Την επίδραση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής εντείνει και η υποανάπτυκτη 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 et al., 2011).

Από την καμπύλη των δεδομένων της βροχόπτωσης είναι εμφανές ότι από το υδρολογικό έτος 2004-2005 και μετά τα επίπεδα της βροχόπτωσης έχουν ανέβει σε σχέση με πριν, τάση την οποία ακολουθούν οι προβλέψεις της μεθόδου Theta για το χρονικό ορίζοντα πρόβλεψης. Τέτοιες προβλέψεις συνάδουν με το σενάριο της αύξησης των βροχοπτώσεων, αλλά σε ποσοστό ακόμα μεγαλύτερο από το προβλεπόμενο. Για την εξάτμιση και την εξατμισοδιαπνοή τα δεδομένα παρουσιάζουν αρκετά σταθερές καμπύλες, οι οποίες και ακολουθούνται από τις προβλέψεις της μεθόδου Holt και στις δύο περιπτώσεις. Η διαφορά στις δύο παραμέτρους είναι ότι τα διαστήματα εμπιστοσύνης απέχουν πολύ λιγότερο για την εξάτμιση από τις προβλέψεις, κυρίως σε ότι αφορά το άνω όριο, ενώ στην περίπτωση της εξατμισοδιαπνοής τα όρια των διαστημάτων ανοίγουν περισσότερο, λόγω της ανοδικής τάσης που έχει η αρχική καμπύλη και οι προβλέψεις της. Τα δύο αυτά μεγέθη έχει προβλεφθεί από τα μελλοντικά σενάρια ότι θα αυξηθούν. Η απορροή του ταμειυτήρα παρουσιάζει τα τελευταία επτά υδρολογικά έτη πολύ πιο ακραίες μέγιστες και ελάχιστες τιμές από ότι για τον υπόλοιπο χρονικό ορίζοντα μελέτης. Παρόλα αυτά, οι προβλέψεις της μεθόδου SES είναι εξομαλυμένες και στο μέσο όρο των ακραίων φαινομένων, ενώ μόνο το άνω διάστημα εμπιστοσύνης περιλαμβάνει τιμές από τις μέγιστες τιμές που έχουν εμφανιστεί ως τώρα στην περιοχή αυτή. Αυτό ακολουθεί το σενάριο που θέλει αύξηση των πλημμύρων της περιοχής, γεγονός που οφείλεται και στη δραματική αύξηση των ακραίων φαινομένων βροχόπτωσης.

Τέλος, για τη διαφορά της στάθμης της λίμνης Γκαόγιου, παρατηρείται σταδιακή μείωση κατά τα υδρολογικά έτη 1992-2011, η οποία συνεχίζεται από τις προβλέψεις της επίλυσης της εξίσωσης του υδατικού ισοζυγίου 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 5.114). Είναι πολύ σημαντικό, ειδικά για την ευρύτερη περιοχή της λίμνης αυτής, να παρθούν αρκετά άμεσα αποφάσεις και να ληφθούν τα απαραίτητα μέτρα μετρίωσης 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 5.114: Τα τελικά δεδομένα της διαφοράς στάθμης για τα υδρολογικά έτη 1992-2015 της λίμνης Γκαλόγιου

6.2 Παραδοχές

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματική μελέτης έγιναν ορισμένες παραδοχές για τη διευκόλυνση των απαιτούμενων υπολογισμών και για τον περιορισμό της έκτασης της μελέτης. Δεδομένης της γεωγραφικής έκτασης της μελέτης, οι παραδοχές αυτές ήταν απαραίτητες, αλλά και δεν κρίθηκαν καθοριστικές όσον αφορά τα τελικά αποτελέσματα. Αυτό φαίνεται και στις προηγούμενες παραγράφους από το γεγονός ότι οι προβλέψεις ακολουθούν τα μελλοντικά σενάρια των παγκόσμιων οργανισμών που ασχολούνται αποκλειστικά με την κλιματική αλλαγή και τις επιπτώσεις της.

Η πρώτη παραδοχή έγινε για την επιλογή της εξίσωσης του υδατικού ισοζυγίου, όπου επιλέχθηκε η πιο απλουστευμένη μορφή της, χωρίς να λαμβάνονται υπόψη απώλειες του υπόγειου υδατικού υδροφορέα.

Στην εξίσωση του υδατικού ισοζυγίου, επιπλέον, για τον υπολογισμό της συνολικής απορροής, έγινε παραδοχή ως προς το σχήμα της λίμνης, στο επίπεδο όπου μετριέται η διαφορά της στάθμης, ότι είναι παραλληλεπίπεδο, για την αναγωγή των μονάδων μέτρησης.

Επιπρόσθετα, σε ορισμένες περιοχές και χρονοσειρές έγιναν παραδοχές για ορισμένα δεδομένα για τα οποία δεν υπήρχαν διαθέσιμες τιμές, όπως οι ώρες ηλιοφάνειας. Οι τιμές αυτές συμπληρώθηκαν είτε με τους μηνιαίους μέσους όρους των τιμών, είτε με τη μέθοδο αντιμετώπισης των κενών τιμών, όπως αναφέρθηκε στο τρίτο κεφάλαιο.

Στο πλαίσιο των παραδοχών αναφέρεται και ο χρονικός ορίζοντας πρόβλεψης. Λόγω του μικρού χρονικού ορίζοντα διαθέσιμης πληροφορίας για τις λίμνες, δεν ήταν δυνατό να πραγματοποιηθούν προβλέψεις για περισσότερο από τέσσερα έτη. Η

επιλογή αυτή του ορίζοντα πρόβλεψης γίνεται εμπειρικά από το χρήστη των χρονοσειρών, δεδομένου ότι το σφάλμα για περισσότερα έτη αυξάνεται σε μεγάλο βαθμό. Η αξιοπιστία των μεθόδων ως προς τις παραγόμενες προβλέψεις παρουσιάζεται στο 4^ο κεφάλαιο, με τις τιμές των αντίστοιχων σφαλμάτων. Ως βασικό κριτήριο για τις τελικές προβλέψεις διαφοράς στάθμης έχει θεωρηθεί η ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (RMSE).

Κεφάλαιο 7

Συμπεράσματα - Προτάσεις

7. Συμπεράσματα – Προτάσεις

7.1 Το Πρόβλημα της Κλιματικής Αλλαγής ως προς τα Υδατικά Σώματα

Η συνειδητοποίηση των ενδεχόμενων επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στα υδατικά σώματα έχει αρχίσει να εδραιώνεται παγκοσμίως. Η περιφερειακή αύξηση της θερμοκρασίας αναμένεται να προκαλέσει μείωση των αποθεμάτων πάγου, με αποτέλεσμα να ενταθούν οι πλημμύρες κατά τους χειμερινούς μήνες, η μείωση της απορροής των υδάτων κατά τους θερινούς μήνες, η ξηρασία στις Νοτιοδυτικές περιοχές του πλανήτη (Huntington, 2005) και κατ' επέκταση ο ανταγωνισμός για τη διαχείριση των επιφανειακών υδάτων αποθεμάτων (IPCC, 2007). Παράλληλα, έχουν ενταθεί οι ανησυχίες για τις τοπικές επιπτώσεις λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας και τις αλλαγές των κατακρημνίσεων. Η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος (IPCC, 2007) αναφέρει ότι ορισμένες χώρες έχουν ήδη ξεκινήσει να λαμβάνονται τα απαραίτητα μέτρα για την αντιμετώπιση των πιθανών μεταβολών λόγω της «κρίσης» του νερού, και ακόμα περισσότερο οι παράκτιες χώρες.

Η υπερθέρμανση του πλανήτη ενδέχεται να επηρεάσει τις τεχνητές, αλλά και φυσικές, λίμνες. Οι επιδράσεις αυτές προβλέπεται να αφορούν την αύξηση της θερμοκρασίας των υδάτων, μεταβολές της ροής ως προς την ποσότητα και τη δυναμική των υδάτων, διακυμάνσεις στη στάθμη των λιμνών και μεταβολές της ακτινοβολίας και της υποβρύχιας έντασης του φωτός (IPCC, 2007). Παρόλα αυτά, οι επιπτώσεις του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής σε κάθε υδατικό σώμα είναι πιθανό να διαφέρει σημαντικά, ανάλογα με τη γεωγραφική τους θέση καθώς και τη μορφολογία των επιφανειακών υδατινών σωμάτων. Οι τοπικές επιδράσεις της κλιματικής αλλαγής είναι δύσκολο να προβλεφθούν και παραμένουν σε μεγάλο βαθμό αβέβαιες.

7.2 Οι Γεωγραφικές Ιδιαιτερότητες των υπό μελέτη Λιμνών

7.2.1 Αυστραλία - Αργκάλιλ

Η λίμνη Αργκάλιλ είναι μια από τις μεγαλύτερες τεχνητές λίμνες της Αυστραλίας σε όγκο. Η λίμνη χρησιμεύει κυρίως για άρδευση και οικιακή χρήση, παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ επίσης χρησιμοποιείται και για ψυχαγωγικούς σκοπούς.

Οι κλιματικές παρατηρήσεις για την Αυστραλία δείχνουν αύξηση της θερμοκρασίας, γεγονός που πλήττει κυρίως την Ανατολική μεριά της χώρας. Σε ότι αφορά τις κατακρημνίσεις προβλέπεται μείωση της τάξης του 5% για το μεγαλύτερο τμήμα της Δυτικής και Ανατολικής Αυστραλίας, ενώ ενδέχεται η εμφάνιση αύξησης ακραίων καιρικών φαινομένων. Τα παγκόσμια και εθνικά σενάρια δείχνουν ένα μεγάλο βαθμό αβεβαιότητας όσον αφορά το πως θα επηρεαστεί η διαθεσιμότητα σε νερό λόγω της κλιματικής αλλαγής. Ως προς τις παράκτιες περιοχές, δεδομένου ότι στην Αυστραλία συγκεντρώνεται το 80% του συνολικού πληθυσμού της και με τα μελλοντικά σενάρια που θέλουν τη μέση στάθμη της θάλασσας να αυξάνεται, υπάρχει μεγάλος κίνδυνος πλημμύρων.

7.2.2 Αφρική - Βόλτα

Η λίμνη Βόλτα βρίσκεται στη Γκάνα της Αφρικής, και πιο συγκεκριμένα στη Δυτική Αφρική. Οι χρήσεις της λίμνης σε ένα μεγάλο βαθμό αφορούν τη μετακίνηση, τον τουρισμό και την αλιεία.

Για την περιοχή της Γκάνα στην Αφρική έχει παρατηρηθεί αύξηση της βροχόπτωσης, ιδιαίτερα το μήνα Αύγουστο, σε συνδυασμό με συνεχή και πολύ έντονη ηλιοφάνεια. Η μέση ετήσια τιμή της θερμοκρασίας έχει αυξηθεί κατά 1°C από το 1960 και συνεχίζει να αυξάνεται σημαντικά. Σε ό,τι αφορά τη βροχόπτωση, σε ετήσια κλίμακα η Γκάνα έχει πολύ μεταβαλλόμενα δεδομένα τόσο μέσα στο έτος όσο και ανά δεκαετίες, γεγονός που καθιστά δύσκολο την αναγνώριση κάποιας τάσης στα δεδομένα αυτά.

7.2.3 Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής – Σάλτον Σι

Η λίμνη Σάλτον Σι βρίσκεται ακριβώς πάνω στο ρήγμα του Αγίου Ανδρέα, στην κοιλάδα Ιμπέριαλ της Βορειοανατολικής Καλιφόρνια. Η λίμνη Σάλτον Σι έχει οριστεί από την ομοσπονδιακή κυβέρνηση ως αποθήκη για τις γεωργικές αποστραγγίξεις. Επιπλέον, μετά τη δεκαετία του 1950 εφοδιάστηκε με ποικιλία ψαριών σε μια επιτυχημένη προσπάθεια να αναπτυχθεί η αλιεία στην περιοχή. Να σημειωθεί ότι λόγω της αλμυρότητάς της δε θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για άρδευση ή οικιακές καταναλώσεις της περιοχής.

Στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής έχει παρατηρηθεί μια εκτενής τάση αύξησης της θερμοκρασίας από το 1960 και μετά. Με βάση τα μελλοντικά σενάρια προβλέπεται αύξηση της θερμοκρασίας για το Κεντρικό και Νοτιοδυτικό κομμάτι των Ηνωμένων Πολιτειών, της τάξης των 4-4,5°C. Όσον αφορά το φαινόμενο των κατακρημνίσεων, για το Νοτιοδυτικό τμήμα προβλέπεται μείωση της τάξης του 20% ενώ παράλληλα μεγάλη αύξηση σε ξηρασίες.

7.2.4 Νότιος Αμερική – Σαν Ροκέ

Η λίμνη Σαν Ροκέ βρίσκεται στην επαρχία της Κόρδοβα στην Αργεντινή (Βόρειο τμήμα της χώρας). Οι υδατικές καταναλώσεις που καλύπτει η λίμνη είναι στο μεγαλύτερο μέρος τους για άρδευση, ακολουθούν οι βιομηχανικές καταναλώσεις και τέλος μικρότερο ποσοστό έχει η κατανάλωση για οικιακή και άλλες χρήσεις (παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας, κ.ά.).

Για την Αργεντινή, οι μελέτες καταλήγουν με βεβαιότητα να υποστηρίζουν ότι έχει αυξηθεί η θερμοκρασία για τα Κεντρικά και Βόρεια τμήματά της. Τα ίδια κομμάτια της χώρας έχουν υποστεί μια μικρή αύξηση της ετήσιας βροχόπτωσης από το 1960 και μετά. Με βάση τα μελλοντικά σενάρια υπολογίζεται μια αύξηση της τάξης των 2-2,5°C για το μεγαλύτερο μέρος της χώρας, με εξαίρεση το Βόρειο, όπου η αύξηση αυτή φτάνει τους 4°C. Όσον αφορά τις κατακρημνίσεις, για το Βόρειο τμήμα της προβλέπεται αύξηση έως και 20%, ενώ για το νότιο μείωση από 5% έως και 20%.

7.2.5 Ευρώπη – Άισελμεερ

Η λίμνη Άισελμεερ βρίσκεται στην κεντρική Ολλανδία και συνορεύει με τρεις επαρχίες της Ολλανδικής χερσονήσου, αυτή της Φλέβολαντ, του Φρίσλαντ και της Βόρειας Ολλανδίας. Η λίμνη συμβάλλει σημαντικά στον έλεγχο των πλημμύρων, δεδομένου ότι αποτελεί τη λεκάνη κατακράτησης για τα υψηλά επίπεδα νερού της λεκάνης του ποταμού Άισελ, καθώς επίσης και των εισροών από τη Νότια Θάλασσα σε περιόδους υψηλής παλίρροιας. Να σημειωθεί ότι θεωρείται και δυνητικός τόπος επέκτασης των αγροτικών εκτάσεων με τη δημιουργία Πόλντερ. Χρήση της λίμνης γίνεται και για την παραγωγή ενέργειας, αφού είναι εγκατεστημένοι ήδη δύο σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ενώ υπάρχουν σχέδια και για την εγκατάσταση ανεμομύλων.

Μέχρι σήμερα η κλιματική αλλαγή δεν έχει δημιουργήσει πολύ σοβαρά προβλήματα στην Ολλανδία. Παρόλα αυτά το κλίμα έχει αλλάξει ως προς διάφορες παραμέτρους. Η θερμοκρασία της χώρας έχει αυξηθεί κατά 1°C μέσα στον τελευταίο αιώνα, ενώ η στάθμη της θάλασσας κατά μήκος των Ολλανδικών ακτών έχει υποστεί αύξηση 20 εκατοστών μέσα σε έναν αιώνα λόγω της τήξης των πάγων και της καθίζησης των εδαφών. Οι απορροές των ποταμών έχουν γίνει υψηλότερες κατά τους χειμερινούς μήνες και ενώ είναι αρκετά μειωμένες κατά τους θερινούς, ενώ και οι ετήσιες κατακρημνίσεις της χώρας έχουν αυξηθεί και έχουν, κατ' επέκταση, προκαλέσει αύξηση στη συχνότητα των ακραίων φαινομένων βροχόπτωσης.

7.2.6 Ασία - Γκαόγιου

Η λίμνη Γκαόγιου είναι η έκτη μεγαλύτερη λίμνη γλυκού νερού στην Κίνα και βρίσκεται ανάμεσα στις επαρχίες Άνχουι και Τζιάνγκσου. Οι χρήσεις του νερού περιορίζονται στην άρδευση, τη βιομηχανία της κλωστοϋφαντουργίας, την οικιακή χρήση και την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος.

Η αύξηση της θερμοκρασίας στην Κίνα είναι σημαντική από το 1960 έως και σήμερα. Αντίστοιχα έχουν αυξηθεί και οι ετήσιες κατακρημνίσεις. Μελλοντικά σενάρια θέλουν στο νοτιοανατολικό κομμάτι της Κίνας να αυξάνεται η θερμοκρασία κατά 3°C ενώ το βόρειο και δυτικό κομμάτι κατά 4,5 °C. Οι κατακρημνίσεις προβλέπεται να αυξάνεται κατά έως και 20% σε όλη τη χώρα, με έμφαση στο βορειοανατολικό κομμάτι της. Παγκόσμιες μελέτες (IPCC, 2007) κατέληξαν στο ότι το νοτιοανατολικό κομμάτι της χώρας πάσχει από έλλειψη νερού για τη δεδομένη χρονική στιγμή. Διάφορα μοντέλα προσομοίωσης θέλουν ένα μέσο όρο 6% του πληθυσμού να εκτεθεί σε πίεση λόγω της αύξησης της στάθμης του νερού και ένα 20% λόγω έλλειψης νερού μέσα στον αιώνα. Σύμφωνα με παρατηρήσεις, η συχνότητα των ακραίων φαινομένων των κατακρημνίσεων έχουν αυξηθεί σε ορισμένες λεκάνες απορροής διαφόρων ποταμών. Κατά αντιστοιχία και το φαινόμενο της αύξησης της μέσης στάθμης της θάλασσας αναμένεται να επηρεάσει σε πολύ μεγάλο βαθμό τη χώρα.

7.3 Η Μεθοδολογία των Μοντέλων Πρόβλεψης

Η εξίσωση υδατικού ισοζυγίου που χρησιμοποιήθηκε είναι η ακόλουθη:

$$P - ET_o - E + A = \Delta S \quad (3.1)$$

Με βάση το μοντέλο υδατικού ισοζυγίου απαραίτητη ήταν η δημιουργία χρονοσειρών βροχόπτωσης, εξατμισοδιαπνοής, εξάτμισης και απορροής, ώστε να μπορέσει να υπολογισθεί η διαφορά στη στάθμη και κατ' επέκταση ο όγκος του κάθε ταμιευτήρα. Κατά την επίλυση της εξίσωσης ως δεδομένα θεωρήθηκαν οι παράμετροι της βροχόπτωσης, της εξατμισοδιαπνοής, της εξάτμισης και της διαφοράς στάθμης, ενώ η ζητούμενη παράμετρος προς υπολογισμό ήταν η απορροή. Εξαιρέση αποτέλεσαν για τη διαφορά στάθμης οι λίμνες Αργκάλ της Αυστραλίας και Σαν Ροκέ της Αργεντινής, όπου στη μεν πρώτη υπήρχαν διαθέσιμα δεδομένα διαφοράς όγκου, ενώ για τη δεύτερη χρειάστηκε να υπολογισθεί η διαφορά της στάθμης με δεδομένη την απορροή.

Τα διαθέσιμα στοιχεία των κατασκευασμένων χρονοσειρών αφορούν τόσο παραμέτρους από τις οποίες μπορεί να υπολογισθεί η ζητούμενη μελλοντική αλλαγή στη στάθμη των ταμιευτήρων, όσο και δεδομένα για την ίδια τη στάθμη. Το μοντέλο των χρονοσειρών που χρησιμοποιήθηκε, βασίζεται στην υπόθεση ότι η μεταβολή της τιμής της στάθμης, για την παρούσα περίπτωση μελέτης, ακολουθεί ένα συγκεκριμένο λανθάνον πρότυπο που επαναλαμβάνεται στο χρόνο και μένει σταθερό.

Τα διαστήματα εμπιστοσύνης που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία εμφανίζονται στα διαγράμματα των αποτελεσμάτων των προβλέψεων της κάθε μεθόδου. Για τα κλιματικά και υδρολογικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν, τα διαστήματα εμπιστοσύνης χρησίμευσαν περισσότερο για να εκφράσουν την πιθανότητα εμφάνισης κάποιου ακραίου φαινομένου το οποίο και αλλοιώνει σε μεγάλο βαθμό τις προβλέψεις.

Για τη διεξαγωγή των προβλέψεων έγινε χρήση στατιστικών μεθόδων πρόβλεψης, και πιο συγκεκριμένα εφαρμογή στατιστικών μοντέλων χρονοσειρών για την παραγωγή των ζητούμενων προβλέψεων. Με τη βοήθεια του προγράμματος RStudio και συγκεκριμένου κώδικα παράγονται προβλέψεις για έναν ορίζοντα πρόβλεψης 48 περιόδων, με χρονικό βήμα ένα μήνα. Τα δεδομένα που εισάγονται για την εξαγωγή της κάθε πρόβλεψης είναι αυτά της κάθε παραμέτρου για κάθε λίμνη σε 2 στάδια. Στο πρώτο στάδιο τα δεδομένα που εισάγονται είναι για τα υδρολογικά έτη 1992-2007, κατά το οποίο γίνονται προβλέψεις της κάθε χρονοσειράς με την κάθε μέθοδο πρόβλεψης ξεχωριστά. Σκοπός είναι να βρεθεί η καταλληλότερη μέθοδος για την κάθε παράμετρο, ενώ μέτρο σύγκρισης ανάμεσα στις προβλέψεις αποτελεί το μέσο τετραγωνικό σφάλμα (mse) για τα έτη 2007-2011 όπου και υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα. Στο δεύτερο στάδιο, εισάγονται όλα τα διαθέσιμα δεδομένα της κάθε χρονοσειράς και γίνεται πρόβλεψη για την κάθε παράμετρο της κάθε λίμνης μόνο με τη μέθοδο που έδωσε το μικρότερο σφάλμα.

Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα που χρησιμοποιήθηκε για την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων αποτελεί ένα μέτρο ακρίβειας των εξαγόμενων προβλέψεων, δίνοντας μεγαλύτερη βαρύτητα στις μεγάλες αποκλίσεις έναντι των μικρών. Στην

παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε για τη σύγκριση και την τελική επιλογή των αποτελεσμάτων των προβλέψεων της κάθε μεθόδου.

7.4 Τα Αποτελέσματα της Μελέτης

7.4.1 Αυστραλία – Η λίμνη Αργκάιλ

Για την περιοχή της λίμνης Αργκάιλ στην Αυστραλία έχει προβλεφθεί σημαντική αύξηση της θερμοκρασίας και μείωση των βροχοπτώσεων κατά 5%. Επίσης, αναφέρεται ότι προβλέπεται αύξηση των ακραίων φαινομένων, δηλαδή των περιόδων έντονης ξηρασίας ή πλημμύρων.

Η διαφορά στον όγκο και τη στάθμη της λίμνης Αργκάιλ παρουσιάζει αύξηση κατά τα τελευταία χρόνια της περιόδου μελέτης. Οι μελλοντικές προβλέψεις που παράγει η μέθοδος Theta κινούνται σε ένα αρκετά υψηλότερο επίπεδο τιμών, με τα διαστήματα εμπιστοσύνης να περιλαμβάνουν και τις ακραίες τιμές που φαίνεται να εμφανίζονται ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Αυτό συνεπάγεται αύξηση του κινδύνου των πλημμύρων, δεδομένου ότι η προβλεπόμενη στάθμη, κινείται σε αρκετά υψηλότερα επίπεδα από τα συνηθισμένα.

7.4.2 Αφρική – Η λίμνη Βόλτα

Για τη Γκάνα της Αφρικής και συγκεκριμένα για την περιοχή της λίμνης Βόλτα, έχει προβλεφθεί αύξηση στη θερμοκρασία κατά 1°C, και πιθανή αύξηση στην εξάτμιση και την εξατμισοδιαπνοή. Έχει παρατηρηθεί αύξηση της βροχόπτωσης για το μήνα Αύγουστο, φαινόμενο το οποίο και αναμένεται να συνεχιστεί στα μελλοντικά έτη.

Η διαφορά της στάθμης του ταμιευτήρα αυξάνεται, ως συνέπεια της αντίστοιχης εξέλιξης των υπολοίπων παραμέτρων που λαμβάνουν μέρος στο υδατικό ισοζύγιο. Η κίνηση αυτή της διαφοράς της στάθμης συμβαδίζει με την προβλεπόμενη αύξηση της βροχής και κατ' επέκταση της απορροής στη λίμνη Βόλτα, αλλά προιδεάζει για σοβαρά προβλήματα πλημμύρων που ενδέχεται να αντιμετωπίσει η περιοχή μέσα στην επόμενη τετραετία. Τα προβλήματα των πλημμύρων και της ξηρασίας τείνουν να έχουν εντονότερες επιπτώσεις στις υπό ανάπτυξη περιοχές για τους κατοίκους.

7.4.3 Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής – Η λίμνη Σάλτον Σι

Στην περιοχή 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 μεμονωμένα γεγονότα, καθώς προβλέπεται αύξηση στη συχνότητα των ακραίων φαινομένων, τα οποία θα οδηγήσουν είτε σε φαινόμενα πλημμύρας είτε σε φαινόμενα ξηρασίας, για το υπόλοιπο διάστημα όπου δεν θα υπάρχει ενίσχυση των εισαγόμενων υδάτων στην περιοχή.

Η διαφορά στη στάθμη για τη λίμνη Σάλτον Σι μειώνεται φανερά κατά το χρονικό διάστημα μελέτης. Οι προβλέψεις της κανονικοποιημένης χρονοσειράς της μεθόδου

Holt εντείνουν ακόμα περισσότερο αυτή τη μείωση της στάθμης, γεγονός που συμβαδίζει με τις ανησυχίες για την εξαφάνιση της λίμνης, όπως αναφέρθηκε στο δεύτερο κεφάλαιο.

7.4.4 Αργεντινή – Η λίμνη Σαν Ροκέ

Προβλέπεται ότι για την περιοχή της Κόρδομπα της Αργεντινής θα αυξηθεί η θερμοκρασία από 2 έως 4°C και το φαινόμενο των βροχοπτώσεων κατά 20%. Το πρόβλημα της αύξησης των βροχοπτώσεων αφορά την αύξηση της συχνότητας ακραίων φαινομένων. Η άνιση αυτή κατανομή της βροχόπτωσης μπορεί να προκαλέσει σημαντικά προβλήματα στην ομαλή διαβίωση των κατοίκων της περιοχής.

Η διαφορά στη στάθμη του ταμιευτήρα έχει σοβαρά καθοδική πορεία, όπως φαίνεται και από την καμπύλη του ορίζοντα μελέτης, ειδικά για τα τελευταία οκτώ υδρολογικά έτη. Οι προβλέψεις που παρήχθησαν συνεχίζουν την καθοδική πορεία της στάθμης, με πιο ήπιο ρυθμό, αλλά δίνουν ένα διάστημα εμπιστοσύνης που εμπεριέχει ακόμα και πιθανή ακραία αύξησή της.

7.4.5 Ολλανδία – Η λίμνη Άισελμεερ

Η θερμοκρασία προβλέπεται να αυξηθεί στην Ολλανδία, ενώ αύξηση παρατηρείται και στη στάθμη της θάλασσας στην περιοχή της λίμνης Άισελμεερ. Οι απορροές αναμένεται να αυξηθούν κατά τους χειμερινούς μήνες και να μειωθούν κατά τους θερινούς. Τέλος, προβλέπεται μεγάλη αύξηση των βροχοπτώσεων και κυρίως των ακραίων φαινομένων βροχής μέσα στον επόμενο αιώνα.

Τέλος, η διαφορά της στάθμης του ταμιευτήρα τα τελευταία πέντε υδρολογικά έτη κινείται σε πολύ υψηλότερα επίπεδα τιμών, με μικρότερες εποχιακές διακυμάνσεις. Οι προβλέψεις της κανονικοποιημένης χρονοσειράς με τη μέθοδο Theta ακολούθησαν το μοντέλο της τελευταίας υδρολογικής πενταετίας και κινήθηκαν σε υψηλότερα επίπεδα τιμών από τα παρελθοντικά, με μικρές εποχιακές διακυμάνσεις, αλλά αρκετά μεγάλο εύρος τιμών όσον αφορά το διάστημα εμπιστοσύνης.

6.1.6 Κίνα – Η λίμνη Γκαόγιου

Η Κίνα αναμένεται να υποφέρει σε πολύ μεγάλο βαθμό από την κλιματική αλλαγή. Συγκεκριμένα, για την ευρύτερη περιοχή της λίμνης Γκαόγιου αναμένεται αύξηση της θερμοκρασίας από 3 έως 4°C, αύξηση της βροχόπτωσης κατά 20%, αύξηση των εκπομπών των αερίων των θερμοκηπίων και αύξηση των πλημμύρων.

Τέλος, για τη διαφορά της στάθμης της λίμνης Γκαόγιου, παρατηρείται σταδιακή μείωση κατά τα υδρολογικά έτη 1992-2011, η οποία και συνεχίζεται και από τις προβλέψεις της επίλυσης της εξίσωσης του υδατικού ισοζυγίου για τα επόμενα τέσσερα υδρολογικά έτη.

7.5 Συμπεράσματα

Στο σύνολό τους οι προβλέψεις της επίδρασης της κλιματικής αλλαγής παγκοσμίως θέλουν τη Γη να πάσχει από ακραία καιρικά φαινόμενα βροχόπτωσης και ξηρασίας λόγω της συνεχούς αύξησης της θερμοκρασίας του πλανήτη. Στην παρούσα διπλωματική εργασία δύο από τις έξι υπό μελέτη λίμνες (Σαν Ροκέ – Αργεντινή και Σάλτον Σι – ΗΠΑ) απειλούνται με αφανισμό, μία με υφαλμύρωση (Γκαόγιου – Κίνα) ενώ οι υπόλοιπες τρεις (Αργκάλι – Αυστραλία, Βόλτα – Αφρική και Άισελμερ – Ολλανδία) κινδυνεύουν από υπερχειλίση. Σε όλες τις περιπτώσεις που μελετήθηκαν, είναι κοινή παρατήρηση η ανικανότητα ανταπόκρισης των φραγμάτων στα προβλεπόμενα ακραία φαινόμενα. Την όλη κατάσταση δυσχεραίνει ακόμα περισσότερο η οικονομική κατάσταση των περιοχών που πλήττονται, και οι οποίες δε θα είναι σε θέση να λάβουν τα κατάλληλα μέτρα αντιμετώπισης του προβλήματος.

7.6 Μελλοντικές Προτάσεις

Η βασική ιδέα που θα έπρεπε να κινηθούν τα όργανα λήψης αποφάσεων είναι η πιο φιλική προσέγγιση του περιβάλλοντος και η μείωση των εκπομπών ρύπων για τα επόμενα έτη. Δυστυχώς, αυτή είναι μια πραγματικότητα που όλο και περισσότερο απομακρύνεται από την πραγματική, όπως φάνηκε και από τη συνθήκη του Ντέρμπαν.

Οι μελλοντικές κατευθύνσεις για τις περιοχές που κινδυνεύουν από υπερχειλίση των ταμιευτήρων θα έπρεπε να αφορούν την ενίσχυση των φραγμάτων, καθώς και την εκκένωση των τριγύρω περιοχών. Για τις περιοχές που τείνουν να εξαφανισθούν οι λίμνες, θα πρέπει να βρεθεί ένας τρόπος ενίσχυσης των υδάτων, για να αποφευχθεί η λειψυδρία αλλά και η αλλοίωση του μικροκλίματος των περιοχών. Τέλος, για τη λίμνη Γκαόγιου που κινδυνεύει από υφαλμύρωση θα πρέπει να γίνουν έργα να απομονωθεί η επικοινωνία με τη θάλασσα και τα υφάλμυρα υπόγεια ύδατα, καθώς και έργα για να περιοριστούν οι πλημμύρες.

Κλείνοντας, σε επόμενο στάδιο η παρούσα μελέτη θα μπορούσε να επεκταθεί ως προς ποικίλες κατευθύνσεις. Η πρώτη είναι να διευρυνθεί ο γεωγραφικός ορίζοντας μελέτης και να επεξεργαστούν δύο αντιδιαμετρικά χωροθετημένες λίμνες για την κάθε ήπειρο, ώστε να υπάρξει σύγκριση των αποτελεσμάτων και ως προς διαφορετικά κοινωνικά και οικονομικά υπόβαθρα. Άλλη κατεύθυνση θα μπορούσε να είναι η μελέτη των ίδιων περιοχών, λαμβάνοντας υπόψη περισσότερες παραμέτρους στην εξίσωση του υδατικού ισοζυγίου, όπως είναι η απορροή των υπογείων υδάτων. Τέλος, θα μπορούσαν να μελετηθούν οι ίδιες λίμνες με διαφορετικές μεθόδους πρόβλεψης, όπως είναι τα αιτιοκρατικά μοντέλα.

Βιβλιογραφία

Βιβλία – Άρθρα - Δημοσιεύσεις:

Ελληνική Βιβλιογραφία:

Μακρυδάκης Σ., Wheelwright S., 1998, *Forecasting: methods and applications*, John Wiley and Sons Ltd

Μαλλιαρός Α., 2010, *Διαχείριση Υδατικών Αποθεμάτων σε Συνθήκες Κλιματικής Αλλαγής*, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Μιμίκου Μ., Μπαλτάς Ε., 2006, *Τεχνική Υδρολογία*, Εκδόσεις Παπασωτηρίου

Ναλμπάντης Ι., 2007, *Προστασία και Διαχείριση Υδατικών Πόρων*, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

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

Τίγκας Δ., Τσακίρης Γ., 2004. *Medbasin: A Mediterranean rainfall - runoff software package*, *European Water*, 5-6: 3-11

Τσακίρης Γ., 2006, *Υδραυλικά Έργα – Σχεδιασμός και Διαχείριση – Τόμος II*, Εκδόσεις Συμμετρία

Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία:

Alles D., 2011, *Geology of the Salton Trough*

Andah W., Van de Giesen N., Biney C., 2010, *Water, Climate, Food and Environment in the Volta Basin*, project ADAPT

Armstrong J. S., Collopy F., 1992, *Error measures for generalizing about forecasting methods: Empirical comparisons*, *International Journal of Forecasting*, Vol. 8, pp.69-80

Authority Salton Sea, US Department of Interior Bureau of Reclamation, 2000, *Salton Sea Restoration Project*

Bates B.C., Kundzewicz Z.W., Wu S., Palutikof J.P., 2008, *Climate Change and Water*, IPCC Secretariat, Geneva

Bijlsma L., 2011, *Water Management in the Netherlands*, Rijkswaterstaat

Bindoff N.L., Willebrand J., Artale V., Cazenave A., Gregory J.M., Gulev S., Hanawa K., Le Quéré C., Levitus S., Nojiri Y., Shum C.K., Talley L.D., Unnikrishnan A.S., 2007, *Climate Change 2007: Working Group I: The Physical Science Basis, Chapter 5: Observations: Oceanic Climate Change and Sea Level*, IPCC

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

Breukers C., 2001, *Creating water management strategies for the northern part of Holland using a collaborative planning process*, Integrated Water Resources Management, IAHS Publ. no.272

Butt, F.A., Drange H., Elverhoi A., Ottera O.H., Solheim A. , 2002, *The Sensitivity of the North Atlantic Arctic Climate System to Isostatic Elevation Changes, Freshwater and Solar Forcings*, 21, Quaternary Science Reviews, pp.1643–1660.

Chen C., Wang E., Yu Q., 2009, *Modelling the effects of climate variability and water management on crop water productivity and water balance in the North China Side*, Elsevier B.V

Confalonieri U., Bierbaum R., Holdren J., MacCracken M., Richard H., Moss P.R., Dubois J., 2007, *Confronting climate change : avoiding the unmanageable and managing the unavoidable : executive summary*, United Nations Foundation

Dastgheib A., Roelvink J., 2012, *Zuiderzee is now called IJsselmeer: Process-based Modeling*, Jubilee Conference Proceedings

Day C., 2007, *Gaoyou: Visitor's Guide*

De Jong C., 1966, *The IJssel Lake as a Multi-Purpose Reservoir*

Dodge Y., 2003, *The Oxford Dictionary of Statistical Terms*

Field C.B., Barros V., Stocker T.F., Qin D., Dokken D.J., Ebi K.L., Mastrandrea M.D., Mach K.J., Plattner G.-K., Allen S.K., Tignor M., Midgley P.M., 2012, *Summary for Policymakers: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation, A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

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

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

Hale J., Morgan, D., 2010, *Ecological Character Description for the Lakes Argyle and Kununurra Ramsar Site. Report to the Department of Sustainability, Environment, Water, Population and Communities*, Canberra

Hamilton J., 1994, *Time Series Analysis*, Cloth

Hanna E., Huybrechts P., Steffen K., Cappelen J., Huf R., Shuman C., Irvine-Fynn T., Wise S., Griffiths M., 2008, *Increased runoff from melt from the Greenland Ice Sheet: a response to global warming*, Journal of Climate, 21(2), pp.331-341

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

- Hely A., Peck E., 1964, *Precipitation, Runoff and Water Loss in the Lower Colorado River – Salton Sea Area*, Geological Survey Professional Paper 486-B
- 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*, ClimateWatch Magazine, NOAA Climate Services Portal
- McSweeney C., New M., Lizcano G., 2010, *Ghana*, UNDP Climate Change Climate Profile
- 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
- Metzler C., Springer J., 2006, *Plagues & Pleasures on the Salton Sea*, Tilapia
- Meyer A., 2000, *Contraction and Convergence: The Global Solution to Climate Change*, Schumacher Briefings 5, Green Books
- Ministry of Infrastructure and the Environment, 2011, *Water Management in the Netherlands*, Rijkswaterstaat
- 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.
- Nickson A., 2001, *The Cordoba Water Concession in Argentina*, GHK
- Obeng-Asamoah E. K., 1977, *A limnological survey of the Afram Arm of Volta Lake*, Hydrobiologia, 55, pp.257-264
- Pachauri R.K., Reisinger A., 2007, *Climate Change 2007: Synthesis Report*, IPCC, Geneva, Switzerland, pp.104
- Quirós R., Drago E., 1999, *The Environmental State of Argentinean Lakes, Lakes & Reservoirs: Research and Management*, pp.55-64
- Stevens J., 1988, *Hoover Dam*, University of Oklahoma Press

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.

Sumin W., Hongshen D., 1998, *Lakes in China*, Beijing: Science Press. p.279

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

Uhlmann D., Paul L., 2011, *Lakes and Reservoirs*, Germany, Elsevier B.V.

Van Asselt M., Middelkoop H., Van Klooster S., Van Deursen W., 2001, *Integrated water management strategies for the Rhine and Meuse basins in a changing environment*

Van de Berg M., Coenen F., 2010, *Civil protection and climate change impacts in the Netherlands: Local risk perceptions and actions*, International Conference: Climate Adaptation in the Nordic Countries: Science, Practice, Policy

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

Volta Lake Research Project, UNDP/FAO/Ghana Government, 1973, *Quarterly Progress Report*, Phase II

Willacy M., 2006, *Fears for second stage of Ord Irrigation Scheme*, Landline, Australian Broadcasting Corporation

Ηλεκτρονική Βιβλιογραφία:

Μετεωρολογική Υπηρεσία Ολλανδίας - <http://www.knmi.nl>

(τελευταία πρόσβαση 9.10.2012)

Μετεωρολογική Υπηρεσία Κίνας: <http://cdc.cma.gov.cn>

(τελευταία πρόσβαση 9.10.2012)

National Climatic Data Center - <http://www.ncdc.noaa.gov>

(τελευταία πρόσβαση 9.10.2012)

Foreign Agricultural Service (Διαφορές στάθμης) - <http://www.pecad.fas.usda.gov>

(τελευταία πρόσβαση 9.10.2012)

Υπηρεσία Παγκοσμίων Μετεωρολογικών Δεδομένων - <http://www.tutiempo.net/>

(τελευταία πρόσβαση 9.10.2012)

Το πρόγραμμα RStudio – www.rstudio.org

(τελευταία πρόσβαση 9.10.2012)