



ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΛΟΓΙΣΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΧΡΗΜΑΤΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ  
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΣΤΗ ΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΚΑΙ  
ΧΡΗΜΑΤΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ

Διπλωματική Εργασία

ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΤΟΥ ΚΑΙΡΟΥ ΓΙΑ ΤΙΜΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΚΑΙΡΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΩΝ

της

ΠΑΝΑΓΙΩΤΑΣ ΛΕΚΚΑ

Επιβλέπων Καθηγητής: Αντώνης Αλεξανδρίδης

Υποβλήθηκε ως απαιτούμενο για την απόκτηση του Μεταπτυχιακού Διπλώματος στη  
Λογιστική και Χρηματοοικονομική

Νοέμβριος 2022

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Θα ήθελα να εκφράσω ένα τεράστιο ευχαριστώ στον επιβλέποντα καθηγητή μου, τον κύριο Αντώνη Αλεξανδρίδη, για την πολύτιμη αρωγή του σε οτιδήποτε χρειάστηκα, τα επικοινωνιακά του σχόλια και την άψογη συνεργασία που είχαμε.

Ιδιαίτερα, θέλω να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και τους φίλους μου που έχουν σταθεί σπουδαία ερείσματα και άξιοι συνοδοιπόροι σε όλη τη μέχρι τώρα διαδρομή μου.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Παράγωγα του καιρού καλούνται τα χρηματοοικονομικά μέσα τα οποία συνιστούν μέρος μιας στρατηγικής διαχείρισης του κινδύνου που σχετίζεται με απρόοπτες ή δυσχερείς καιρικές συνθήκες. Τα καιρικά παράγωγα αποδίδουν προκαθορισμένες πληρωμές, οι οποίες εξαρτώνται από καιρικές μεταβλητές, όπως η θερμοκρασία, η βροχόπτωση, η χιονόπτωση και η υγρασία. Ως σημαντικότερη μεταβλητή θεωρείται η θερμοκρασία, καθώς ποσοστό της τάξης του 98% των διαπραγματευόμενων καιρικών παραγώγων στη συνολική αγορά του καιρού είναι γραμμένο στο δείκτη της συγκεκριμένης υποκείμενης μεταβλητής.

Η καινοτομία και συνάμα ιδιαιτερότητα των καιρικών παραγώγων είναι ότι τόσο οι αποδόσεις όσο και η τιμολόγησή τους καθορίζονται εξολοκλήρου από τις καιρικές εκβάσεις, καθώς οι υποκείμενες μεταβλητές δεν δύναται να εμπορευτούν, εξαιτίας της φύσης του καιρού. Κατά συνέπεια, η τιμολόγηση ενός καιρικού παραγώγου θεωρείται αξιόπιστη και κατάλληλη, όταν η πρόβλεψη της υποκείμενης μεταβλητής είναι όσο το δυνατόν περισσότερο ακριβής. Επομένως, το μείζον ζήτημα που προκύπτει αφορά στη σύσταση ενός κατάλληλου μοντέλου πρόβλεψης της εκάστοτε μεταβλητής, με στόχο τη βέλτιστη δυνατή τιμολόγηση των παραγώγων του καιρού.

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται η αγορά του καιρού, περιγράφεται η μεταβλητή της θερμοκρασίας, στην οποία και επικεντρώνεται κατ' ουσίαν η συνολική έρευνα, με απώτερο σκοπό τη σύσταση ενός ικανοποιητικού μοντέλου πρόβλεψης αυτής. Η μοντελοποίησή της πραγματοποιείται με τη χρήση νευρωνικών δικτύων και το μοντέλο στοιχειοθετείται με δεδομένα τριάντα πέντε ετών, που έχουν συλλεχθεί από τους μετεωρολογικούς σταθμούς των αεροδρομίων από τέσσερις πόλεις των ΗΠΑ, την Ατλάντα, το Σικάγο, τη Νέα Υόρκη και το Ντάλλας.

## **ABSTRACT**

Weather derivatives are called the financial instruments which constitute part of a risk management strategy related to unexpected and onerous weather conditions. Weather derivatives deliver predetermined payouts that depend on weather variables such as temperature, rainfall, snowfall, and humidity. Temperature is considered as the most important variable, as 98% of traded weather derivatives in the overall weather market is written on the index of this underlying variable.

The novelty and at the same time peculiarity of weather derivatives is that both their returns and pricing are entirely determined by weather exposures, as the underlying variables cannot be traded due to weather's nature. Consequently, the pricing of a weather derivative is considered reliable and appropriate when the prediction of the underlying variable is as accurate as possible. Therefore, the major issue that comes out concerns the establishment of an appropriate forecasting model for each variable, aiming for the best possible pricing of weather derivatives.

In this paper, the weather market is presented, the temperature variable is described, on which the overall research is focused, with the goal of establishing a satisfactory model for its prediction. To model temperature neural networks are used and the final model is validated on data from thirty-five years, collected from airport weather stations from four US cities, Atlanta, Chicago, New York, and Dallas.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>Ευχαριστίες</b> .....	2
<b>Περίληψη</b> .....	3
<b>Abstract</b> .....	4
<b>Περιεχόμενα</b> .....	5
<b>Κεφάλαιο 1</b> .....	7
<b>Εισαγωγή</b> .....	7
1.1 Εισαγωγή.....	7
1.2 Η Αγορά του Καιρού.....	8
1.2.1 Ο Σκοπός των Παραγωγών Καιρού.....	8
1.2.2 Η Ιστορία της Αγοράς του Καιρού.....	12
1.2.3 Συμμετέχοντες/ουσες στην Αγορά του Καιρού.....	17
1.2.4 Καιρικά Χρεόγραφα.....	19
1.2.5 Καιρικά Παράγωγα και Ασφαλιστικά Συμβόλαια.....	22
1.2.6 Κίνδυνος Βάσης.....	25
1.2.7 Τιμολόγηση των Παραγωγών Θερμοκρασίας.....	26
1.3 Συμπεράσματα.....	29
<b>Κεφάλαιο 2</b> .....	30
<b>Επισκόπηση Βιβλιογραφίας</b> .....	30
2.1 Εισαγωγή.....	30
2.2 Βασικές Μέθοδοι Τιμολόγησης.....	31
2.3 Ερευνητικά Συμπεράσματα.....	32
2.4 Ερευνητική Προσέγγιση Εργασίας.....	35
<b>Κεφάλαιο 3</b> .....	36
<b>Θερμοκρασία</b> .....	36
3.1 Ορισμός.....	36
3.2 Βαθμομημέρες Θέρμανσης και Ψύξης.....	36
3.3 Τα Συμβόλαια στο CME.....	38
3.4 Δικαιώματα Προαίρεσης.....	38
3.5 Συμφωνίες Ανταλλαγής.....	40

<b>Κεφάλαιο 4</b> .....	41
<b>Μοντελοποίηση της Θερμοκρασίας</b> .....	41
4.1 Εισαγωγή.....	41
4.2 Η Μέση Θερμοκρασία.....	43
4.3 Διαδικασία Μοντελοποίησης και Πρόβλεψης.....	44
4.3.1 Νευρωνικά Δίκτυα.....	45
4.3.2 Bayesian Regularization.....	48
4.3.3 Μοντελοποίηση της Θερμοκρασίας.....	49
4.3.4 Πρόβλεψη της Θερμοκρασίας.....	55
4.3.5 Διαδικασία Benchmark.....	58
<b>Κεφάλαιο 5</b> .....	60
<b>Συμπεράσματα</b> .....	60
<b>Βιβλιογραφία</b> .....	61

# 1<sup>ο</sup> Κεφάλαιο

## Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται η αγορά του καιρού, καταγράφονται οι διάφορες πτυχές της και καταγράφονται οι εφαρμογές και ο σκοπός των καιρικών παραγώγων. Απώτερος σκοπός είναι η ανάλυση της αγοράς, η μελέτη των λόγων που δεν επιτρέπουν την επιπλέον εξέλιξή της και τέλος η παρουσίαση του κεντρικού στόχου αυτής της εργασίας.

### 1.1 Εισαγωγή

Τα καιρικά παράγωγα είναι χρηματοπιστωτικά μέσα που αποτελούν μέρος μιας στρατηγικής διαχείρισης κινδύνου για τη μείωση του κινδύνου που σχετίζεται με δυσμενείς ή απροσδόκητες καιρικές συνθήκες από επιχειρήσεις ή από απλά άτομα που συναλλάσσονται στην αγορά. Τα παράγωγα του καιρού είναι γραμμένα πάνω σε δείκτες των οποίων η υποκείμενη μεταβλητή είναι κάποια καιρική μεταβλητή, όπως η βροχόπτωση, η θερμοκρασία, η υγρασία ή η χιονόπτωση και οι πληρωμές που αποδίδουν εξαρτώνται από αυτές τις μεταβλητές. Αυτό που αξίζει να σημειωθεί είναι ότι οι διαπραγματευόμενες υποκείμενες μεταβλητές δεν δύνανται να αποθηκευτούν ή να εμπορευτούν, εξαιτίας της φύσης του καιρού. Κατά συνέπεια, τα καιρικά παράγωγα καθίστανται διαφορετικά από τα κλασσικά παράγωγα, στα οποία η ανθρώπινη παρέμβαση μπορεί να επηρεάσει την αξία τους, ενώ συγχρόνως, θα πρέπει να ποσοτικοποιηθεί ο καιρός, προκειμένου να προκύψει το εκάστοτε παράγωγο.

Σήμερα, τα καιρικά παράγωγα χρησιμοποιούνται για σκοπούς αντιστάθμισης κινδύνου από εταιρείες και βιομηχανίες των οποίων τα έσοδα εξαρτώνται άμεσα από τον καιρό, όπως μια εταιρεία πετρελαίου, μια βιομηχανία φρούτων ή σιτηρών, αλλά και λιγότερο προφανείς, όπως ένα αεροδρόμιο ή μια κυβερνητική οργάνωση. Επιπλέον,

τα παράγωγα του καιρού διαπραγματεύονται και αποκλειστικά για λόγους κερδοσκοπίας από επενδυτές και από τρίτους που επιθυμούν την κεφαλαιοποίηση μέσω μιας ασταθούς αγοράς.

Σκοπός αυτής της εργασίας είναι να αναπτύξει ένα μοντέλο που να εξηγεί τη δυναμική της θερμοκρασίας και εν τέλει να την προβλέπει. Στοχεύουμε σε ένα μοντέλο που θα περιγράφει με ακρίβεια τα χαρακτηριστικά, την εξέλιξή της και στο τέλος θα αποδίδει προβλέψεις όσο πλησιέστερα είναι εφικτό στις πραγματικές τιμές, προκειμένου να επιτευχθεί ο απώτερος σκοπός μας, ο οποίος είναι η τιμολόγηση των παραγώγων θερμοκρασίας. Επικεντρωνόμαστε στη θερμοκρασία, καθώς σε αυτήν είναι γραμμένη η πλειονότητα των διαθέσιμων προς διαπραγμάτευση συμβολαίων τόσο εντός όσο και εκτός της χρηματιστηριακής αγοράς.

Το υπόλοιπο κεφάλαιο οργανώνεται ως εξής. Στην ενότητα 1.2 παρουσιάζονται οι βασικές πτυχές της αγορά του καιρού. Πιο συγκεκριμένα, στην ενότητα 1.2.1 παρουσιάζεται ο σκοπός των καιρικών παραγώγων. Το ιστορικό του δείκτη καιρού παρουσιάζεται στην ενότητα 1.2.2, ενώ στην ενότητα 1.2.3 περιγράφεται το είδος των επενδυτών που συμμετέχουν ενεργά στην αγορά. Στην ενότητα 1.2.4 παρουσιάζονται τα καιρικά χρεόγραφα και στην ενότητα 1.2.5 οι διαφορές μεταξύ παραγώγων καιρού και ασφάλισης. Η έννοια του κινδύνου βάσης εισάγεται στην ενότητα 1.2.6. και τέλος στην ενότητα 1.2.7 περιγράφονται οι κοινές προσεγγίσεις για την τιμολόγηση των παραγώγων θερμοκρασίας. Η ενότητα 1.3 περιλαμβάνει τα συμπεράσματα της εισαγωγής.

## **1.2 Η Αγορά του Καιρού**

### **1.2.1 Ο Σκοπός των Παραγώγων Καιρού**

Παράγωγα του καιρού καλούνται τα χρηματοοικονομικά μέσα των οποίων οι αποδόσεις εξαρτώνται από την αξία κάποιου υποκείμενου καιρικού δείκτη. Πρόκειται δηλαδή για χρηματοπιστωτικά μέσα τα οποία αποδίδουν προκαθορισμένες πληρωμές, όταν συμβαίνουν προκαθορισμένα καιρικά φαινόμενα. Τα παράγωγα του καιρού ως



παράγωγα πραγματεύονται τόσο στη χρηματιστηριακή όσο και στην εξωχρηματιστηριακή αγορά με τη μορφή συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης, δικαιωμάτων αγοράς και πώλησης, συμφωνιών ανταλλαγής και με οποιαδήποτε άλλη μορφή μπορεί να συναλλαχθεί ένα κλασσικό παράγωγο. Οι δείκτες καιρού στους οποίους είναι βασισμένες οι αποπληρωμές τους είναι η θερμοκρασία, η βροχόπτωση, η χιονόπτωση, η υγρασία και γενικότερα οποιαδήποτε άλλη καιρική μεταβλητή. Από την ίδρυσή της το 1996 έως και σήμερα, η αγορά του καιρού έχει σημειώσει ραγδαία και ολοένα και αυξανόμενη ανάπτυξη, μολονότι πρόκειται για μια πολύ σύγχρονη μορφή αγοράς. Σήμερα, τα καιρικά παράγωγα χρησιμοποιούνται για σκοπούς αντιστάθμισης και διαχείρισης του κινδύνου που πηγάζει από τον καιρό, καθώς επίσης και για λόγους κερδοσκοπίας.

Ορισμένες ενδιαφέρουσες εκτιμήσεις καθιστούν τα παράγωγα του καιρού διαφορετικά από τα κλασσικά παράγωγα. Καταρχάς, το υποκείμενο αντικείμενο διαπραγμάτευσης, δηλαδή ο καιρός, δεν μπορεί να διαπραγματευτεί σε μια spot αγορά. Εν αντιθέσει με τη μετοχή μιας εταιρείας, όπου η ανθρώπινη δραστηριότητα επηρεάζει άμεσα την τιμή της, ωθώντας την προς τα κάτω ή προς τα πάνω, αυτό είναι κάτι που δεν μπορεί να συμβεί σε καμία περίπτωση με τον καιρό, καθώς ο άνθρωπος δεν μπορεί να αναστρέψει μια ερχόμενη καιρική κατάσταση (π.χ. μια πλημμύρα). Επιπροσθέτως, ενώ ένα τυπικό παράγωγο είναι χρήσιμο για την αντιστάθμιση της τιμής και όχι της ποσότητας, ένα καιρικό παράγωγο είναι χρήσιμο για την αντιστάθμιση της ποσότητας και όχι απαραίτητα της τιμής, παρά το γεγονός ότι αυτά τα δύο είναι άμεσα συνδεδεμένα. Τέλος, ο καιρός είναι εκ φύσεως ένα πολύ συγκεκριμένο και μη τυποποιημένο εμπόρευμα και μάλιστα μια καιρική συνθήκη μπορεί να λάβει χώρα μία φορά, αλλά οι συνέπειές της για τη λειτουργία μιας εταιρείας να αποβούν μοιραίες για μεγάλο χρονικό διάστημα.

Ο λόγος που οδήγησε στη γέννηση αυτής της συναρπαστικής αγοράς είναι η ανάγκη για διαχείριση και αντιστάθμιση του κινδύνου που ελλοχεύει από τις καιρικές συνθήκες. Ο καιρός μπορεί να επηρεάσει με τεράστιο αντίκτυπο είτε άμεσα είτε έμμεσα τις επιχειρηματικές δραστηριότητες και τα έσοδα πολλών ειδών επιχειρήσεων. Η αξία και η σπουδαιότητα των καιρικών παραγώγων αντικατοπτρίζεται στο γεγονός ότι είναι κατασκευασμένα, ώστε να προστατεύουν από γεγονότα χαμηλού κινδύνου και υψηλής πιθανότητας να συμβούν, λόγου χάριν ένας ήπιος χειμώνας, και όχι, όπως εύλογα θα ήταν η πρώτη σκέψη κάποιου/ας, από γεγονότα υψηλού κινδύνου και

χαμηλής πιθανότητας να συμβούν, όπως ένας ισχυρός τυφώνας. Ο καιρικός κίνδυνος πηγάζει από την απρόβλεπτη συνιστώσα των καιρικών διακυμάνσεων ή αλλιώς, από τις «καιρικές εκπλήξεις», οι οποίες δεν είναι απαραίτητο ότι θα είναι σπάνιες ή καταστροφικές. Πρακτικά, δεν κινδυνεύουμε, επειδή ένα φαινόμενο είναι εκ φύσεως ακραίο, αλλά επειδή αδυνατούμε συνήθως να το προβλέψουμε εγκαίρως. Ακόμη και τα πιο ολέθρια καιρικά φαινόμενα θα προκαλούσαν μικρό κίνδυνο, εάν ήταν εξαιρετικά προβλέψιμα. Συνεπώς, το πρόβλημα εντοπίζεται στην αδυναμία ικανής και με εξαιρετική ακρίβεια πρόβλεψης του καιρού της επόμενης μέρας. Άλλωστε, οι επιχειρήσεις λειτουργούν όλο το χρόνο και πολλές φορές το αποτέλεσμα δεν τις δικαιώνει, όπως τα μειωμένα έσοδα που μπορεί να σημειώσει μια εταιρεία φυσικού αερίου, εξαιτίας ενός πολύ θερμού χειμώνα. Σε μια τέτοια περίπτωση, κανένα σπάνιο ή επικίνδυνο καιρικό φαινόμενο δεν έλαβε χώρα, αλλά η εταιρεία υπέστη οικονομικό πλήγμα από τις γενικότερες καθημερινές καιρικές συνθήκες.

Τα παράγωγα του καιρού χρησιμοποιούνται με σκοπό τη διαχείριση και την αντιστάθμιση του καιρικού κινδύνου, αλλά ταυτόχρονα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως κομμάτι της γενικότερης στρατηγικής που μπορεί να έχει μια εταιρεία. Ο καιρός μπορεί ταυτόχρονα να έχει θετική επιρροή σε μία εταιρεία και αρνητική σε κάποια άλλη. Ακόμη και αν ο καιρός είναι καλός σε μία περιοχή, ένας καλύτερος καιρός σε μια περιοχή που εδρεύει μια ανταγωνιστική βιομηχανία μπορεί να προκαλέσει έμμεσα ζημία, καθώς ο καλύτερος καιρός στην άλλη περιοχή ευνοεί την ποσότητα και την ποιότητα και άρα, την τιμή και τη ζήτηση του παραγόμενου προϊόντος. Τα παράγωγα του καιρού δηλαδή, έχουν τη μοναδική ικανότητα να παρέχουν αντιστάθμιση στον κίνδυνο που μπορεί να προέλθει ακόμη και αν οι καιρικές συνθήκες φαίνεται να είναι υπέρμαχες της λειτουργικής δράσης μιας επιχείρησης. Μια εταιρεία επομένως, μπορεί να εκμεταλλευτεί αυτή τη δυνατότητα, προκειμένου να αντισταθμίσει πιθανή εισοδηματική απώλεια.

Ως επιστέγασμα των όσων αναφέρθηκαν, εύλογα προκύπτει το πόρισμα για το σκοπό που εξυπηρετούν τα καιρικά παράγωγα, καθώς επίσης και για το κέρδος που μπορεί να αποκομίσει μια εταιρεία που χρησιμοποιεί τα καιρικά παράγωγα ως κομμάτι της γενικότερης στρατηγικής αντιστάθμισης του κινδύνου. Από τη μία πλευρά, για όλους τους προαναφερθέντες λόγους, τα καιρικά παράγωγα είναι η βέλτιστη δυνατή λύση στο πρόβλημα περί καιρικής πρόβλεψης και διαχείρισης των κινδύνων που απορρέουν από τον καιρό, προσφέροντας στον/στην κάτοχό τους εξασφάλιση και εγγυημένη

αντιστάθμιση του κινδύνου σε οποιαδήποτε καιρική έκβαση. Από την άλλη πλευρά, ενισχύεται η φερεγγυότητα της εταιρείας. Μια εταιρεία που χρησιμοποιεί καιρικά παράγωγα μπορεί να εξαλείψει τον καιρικό κίνδυνο και κατ' επέκταση τις εισοδηματικές της διακυμάνσεις. Συνεπώς, η μεταβλητότητα των κερδών της θα είναι μειωμένη, η σχετική σταθερότητα των εσόδων της θα μειώνει την πιθανότητα χρεοκοπίας και τέλος, η μεταβλητότητα της τιμής της μετοχής της εταιρείας θα μειώνεται την ίδια στιγμή που η τιμή της εταιρείας αυτή καθαυτή θα αυξάνεται, Αλεξανδρίδης (2010).

Η φύση των παραγώγων επιτρέπει και την κερδοσκοπική συμμετοχή στην αγορά του καιρού. Ένα πολύ μεγάλο ποσοστό των νέων επενδυτών που συναλλάσσονται καθημερινά στην αγορά αυτή επιδιώκουν απλώς το κέρδος και τίποτα περισσότερο. Άλλωστε, ένα ολόκληρο κομμάτι της αγοράς (η δευτερογενής αγορά) συνίσταται από κερδοσκόπους επενδυτές που συναλλάσσονται μεταξύ τους. Ένα χαρτοφυλάκιο που περιέχει παράγωγα καιρού μπορεί να επιτύχει υψηλές αποδόσεις, διατηρώντας συγχρόνως τον κίνδυνο σε χαμηλό επίπεδο. Εξαιτίας της έλλειψης συσχέτισης μεταξύ των καιρικών παραγώγων και των υπόλοιπων κλασσικών χρηματοπιστωτικών μέσων, η σύσταση ενός χαρτοφυλακίου και από καιρικά παράγωγα συμβάλει σε μεγάλο βαθμό στη μείωση του κινδύνου. Τέλος, η επίτευξη υψηλής απόδοσης και ταυτόχρονης διατήρησης χαμηλού κινδύνου μπορεί να προκληθεί και από τη σύσταση ενός χαρτοφυλακίου αποκλειστικά από καιρικά παράγωγα. Οι υποκείμενοι δείκτες καιρού δε συσχετίζονται μεταξύ τους, με αποτέλεσμα ένα χαρτοφυλάκιο που συνίσταται κατ' αυτόν τον τρόπο να είναι τελικά διαφοροποιημένο.

Κυβερνητικοί οργανισμοί που επιθυμούν αποφυγή της απροσδόκητης αύξησης του λειτουργικού κόστους τόσο σε τοπικό όσο και σε εθνικό επίπεδο, χιονοδρομικά κέντρα που επιδιώκουν εξασφάλιση σε περίπτωση ενός χειμώνα με έλλειψη χιονιού, εταιρείες ενέργειας που έχουν ως στόχο την αντιστάθμιση του κινδύνου των εσόδων τους, εξαιτίας ενός ήπιου χειμώνα, αγροτικές βιομηχανίες που μπορεί να υποστούν οικονομικό πλήγμα εξαιτίας διαρκούς ανομβρίας, κατασκευαστικές εταιρείες που αδυνατούν σε δύσκολες καιρικές συνθήκες το χειμώνα να διεκπεραιώνουν τα έργα που αναλαμβάνουν, ασφαλιστικές εταιρείες που αποζητούν απλώς επιπλέον κέρδος είναι μόνο μερικοί από τους συμμετέχοντες στην αγορά του καιρού. Το γεγονός ότι η οποιαδήποτε ανθρώπινη παρέμβαση καθίσταται ατελέσφορη να προκαλέσει την οποιαδήποτε αλλαγή στην καιρική έκβαση, γεννά την ανάγκη για πρόβλεψη και

διαχείριση του καιρού, γεγονός που σε συνδυασμό με τον ενθουσιασμό που προκαλεί η κερδοσκοπία, συνιστούν μια συναρπαστική αγορά, η οποία φαίνεται ότι ήρθε για να μείνει.

### **1.2.2 Η Ιστορία της Αγοράς του Καιρού**

Η γέννηση της αγοράς του καιρού χρονολογείται στο έτος 1997, όπου συνέβη ο χειμώνας El Niño (Ελ Νίνιο), ένα από τα εντονότερα και πιο καταστροφικά φαινόμενα που έχουν καταγραφεί ποτέ, το οποίο συγκλόνισε τόσο την οικονομία όσο και την παγκόσμια κοινότητα: επιστημονική και μη. Το φαινόμενο El Niño λαμβάνει χώρα στον Ειρηνικό ωκεανό κάθε δύο με επτά χρόνια και διαρκεί από 12 έως 18 μήνες, επηρεάζοντας σε τελική ανάλυση το παγκόσμιο οικοσύστημα. Σε κανονικές συνθήκες, οι δυτικοί άνεμοι ωθούν τα θερμότερα ύδατα προς τις δυτικές ακτές του Ειρηνικού ωκεανού, προκαλώντας υγρασία και βροχοπτώσεις στις Φιλιππίνες, την Ινδονησία και τη Βόρεια Αυστραλία, ενώ συγχρόνως, αναδύονται τα ψυχρότερα ύδατα του ανατολικού Ειρηνικού, επιτρέποντας τη ζωή στο θαλάσσιο οικοσύστημα. Κατά τη διάρκεια του φαινομένου, τα θερμά θαλάσσια ρεύματα κινούνται προς τα ανατολικά του Ειρηνικού, με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας στην επιφάνεια της θάλασσας και ταυτόχρονα, τη μείωση της θερμοκλινούς ζώνης μακριά από τα όρια της ανάβλυσης. Οι συνέπειες του φαινομένου αντικατοπτρίζονται στις ξηρασίες που επικρατούν στις δυτικές ακτές του Ειρηνικού, στις απαγορευτικές θερμοκρασίες οι οποίες καταστρέφουν τους κοραλλιογενείς υφάλους και θανατώνουν τα ψάρια και τέλος στις πλημμύρες και στους τυφώνες που πλήττουν την κεντρική και τη βόρεια Αμερική.

Το φαινόμενο εκείνη τη χρονιά, εξαιτίας των καταστροφικών διαστάσεων, έλαβε μοναδική δημοσιότητα από τον αμερικανικό τύπο. Ο αντίκτυπος του El Niño ήταν ιδιαίτερα σοβαρός μεταξύ των φτωχών και ευάλωτων πληθυσμών, όπως οι αγροτικοί, όπου οι φυσικές καταστροφές μπορούν εύκολα να διαταράξουν τη διαβίωσή τους. Οι έντονες βροχοπτώσεις και οι πλημμύρες οδήγησαν σε χιλιάδες θανάτους, απώλεια περιουσιακών στοιχείων και καλλιεργειών των νοικοκυριών και προκάλεσαν εκτεταμένες ζημιές σε ζωτικής σημασίας υποδομές στο Εκουαδόρ, στο Περού, στη

Βολιβία, στη Σομαλία και στην Κένυα. Επιπλέον, οι ασθένειες που σχετίζονται με το νερό, όπως η χολέρα και η ελονοσία, αυξήθηκαν δραματικά σε περιοχές που επλήγησαν από ξηρασία και πλημμύρες στην Ανατολική Αφρική, τη Λατινική Αμερική και την Ασία. Το φαινόμενο είναι αποτέλεσμα της παγκόσμιας κλιματικής αλλαγής με την οποία καλούνται εδώ και χρόνια να συμβιώσουν οι άνθρωποι.

Οι επιπτώσεις των απρόβλεπτων εποχιακών καιρικών φαινομένων προκάλεσαν μεταξύ άλλων και μια «ανασφάλεια» στον επιχειρηματικό τομέα, με συνέπεια τη σύσταση μιας νέας αγοράς, της αγοράς του καιρού, η ανάπτυξη της οποίας ήταν ραγδαία. Το απορυθμισμένο περιβάλλον, εξαιτίας της αβεβαιότητας που προκάλεσε και που συνεχίζει να προκαλεί η κλιματική αλλαγή, δημιούργησε την ανάγκη για εξασφάλιση ενέργειας τόσο σε βραχυπρόθεσμο όσο και σε μακροπρόθεσμο επίπεδο. Οι πρώτοι που θα εκδώσουν καιρικά παράγωγα είναι εταιρείες ενέργειας, οι οποίες είναι και άμεσα εκτεθειμένες στον καιρικό κίνδυνο. Η πρώτη συναλλαγή πραγματοποιήθηκε μεταξύ 1996 και 1997 και εκτελέστηκε από την Aquila Energy, ως ένα δικαίωμα ενσωματωμένο σε συμβόλαιο ισχύος, Considine (2000). Η πρώτη δημόσια συναλλαγή παραγώγων συνήφθη μεταξύ της Koch Energy και της Enron το 1997, προκειμένου να μεταφερθούν οι κίνδυνοι των δυσμενών καιρικών συνθηκών. Η συμφωνία αφορούσε δείκτη θερμοκρασίας για το Milwaukee το χειμώνα 1997-1998, Cao & Wei (2003).

Το Σεπτέμβριο του 1999 το Chicago Mercantile Exchange (CME) πραγματοποίησε την πρώτη συναλλαγή μετεωρολογικών παραγώγων. Τα συμβόλαια στο CME αντιπροσωπεύουν τα πρώτα παράγωγα του καιρού που διαπραγματεύονται στο χρηματιστήριο με βάση τη θερμοκρασία, Αλεξανδρίδης (2010). Αρχικά, προσφέρθηκαν καιρικά παράγωγα σε δέκα πόλεις των ΗΠΑ, με βάση τον πληθυσμό, την ετήσια μεταβλητότητα των θερμοκρασιών και τη συνολική εξωχρηματιστηριακή δραστηριότητα. Με την πάροδο του χρόνου αρχίζουν να προσφέρονται παράγωγα καιρού σε περισσότερες πόλεις των ΗΠΑ, αλλά και σε πόλεις εκτός συνόρων σε άλλες ηπείρους. Το 2005 διαπραγματεύονται καιρικά παράγωγα σε 29 πόλεις σε ΗΠΑ, Ευρώπη και Ασία. Το 2006 ο αριθμός των πόλεων αυξάνεται σε 30, με την κορύφωση του πληθυσμού που πραγματεύεται καιρικά παράγωγα να σημειώνεται το 2009, όπου 46 πόλεις ανά την υφήλιο συμμετέχουν ενεργά στην αγορά του καιρού. Ωστόσο, η κρίση του 2008-2009 έρχεται να φέρει την κατιούσα, προκαλώντας ύφεση με αποτέλεσμα την αποχώρηση πολλών πόλεων. Σήμερα, στο χρηματιστήριο του Σικάγο

καιρικά παράγωγα διαπραγματεύονται σε 12 πόλεις, εκ των οποίων οι 9 βρίσκονται στις ΗΠΑ, οι 2 στη Γηραιά Ήπειρο και μόλις μία στην Ασία.

Το ρυθμιστικό σύστημα που προσφέρει ένα συντονισμένο χρηματιστήριο τεράστιων προδιαγραφών, όπως το CME, συνεισέφερε εξαιρετικά στην ταχεία εξέλιξη της αγοράς του καιρού, ενώ συγχρόνως, συνέβαλε στην εξάλειψη του κινδύνου αθέτησης των υποχρεώσεων. Οι συναλλαγές συνάπτονται με διαφάνεια, καθώς οι τιμές των συμβολαίων είναι δημόσιες, γεγονός, που σε συνδυασμό με την κερδοσκοπική φύση των παραγώγων, προσελκύει ολοένα και περισσότερους επενδυτές και νέους συμμετέχοντες.

Το 2004 η θεωρητική αξία των καιρικών παραγώγων ανήλθε σε 2,2 δισεκατομμύρια δολάρια και μέχρι το Σεπτέμβριο του 2005 σημείωσε αύξηση της τάξεως του 1000%, με open interest που ξεπέρασε τα 300.000 συμβόλαια και συνολικό όγκο συμβολαίων που υπερέβη τα 630.000, Αλεξανδρίδης (2010). Σε αυτό το σημείο αξίζει να σημειωθεί ότι η εξωχρηματιστηριακή δραστηριότητα σε καιρικά παράγωγα είναι κατά πολύ μεγαλύτερη από τη χρηματιστηριακή, με τη θεωρητική αξία των καιρικών παραγώγων που διαπραγματεύτηκαν το έτος 2005-2006 σύμφωνα με την ετήσια έρευνα του «Weather Risk Management Association (WRMA)» να ανέρχεται σε 45 δισεκατομμύρια δολάρια. Την επόμενη χρονιά σύμφωνα πάλι με την ετήσια έρευνα της WRMA η συνολική θεωρητική αξία των παραγώγων εξωχρηματιστηριακής δραστηριότητας ήταν 32 δισεκατομμύρια δολάρια, ενώ το έτος 2008-2009 η συνολική θεωρητική αξία άγγιξε μόλις τα 15 δισεκατομμύρια δολάρια. Η παρατηρούμενη πτώση, σύμφωνα με το CME, οφείλεται σε μία τάση προτίμησης των μηνιαίων συμβολαίων έναντι των εποχιακών.

Ο αριθμός των συνολικών συμβάσεων που διαπραγματεύονται μειώθηκε σε μεγάλο βαθμό κατά τη γενική πτώση των χρηματοπιστωτικών αγορών που σημειώθηκε στη διάρκεια της παγκόσμιας οικονομικής κρίσης το 2008. Εντούτοις, η αγορά του καιρού συνέχισε να ακμάζει και να αναπτύσσεται ολοένα και περισσότερο. Διευρύνθηκαν τα γεωγραφικά πλαίσια στα οποίαπραγματεύονται καιρικά παράγωγα, καθώς και οι πελατειακές βάσεις, με την αγορά του καιρού να συναλλάσσεται με διάφορες οικονομικές και ασφαλιστικές αγορές. Στην Ασία ο αριθμός των συμβάσεων αυξήθηκε κατά 250% το 2009 σε σύγκριση με το προηγούμενο έτος, ενώ στην Ευρώπη, για την ίδια χρονιά διαπραγματεύτηκαν 34.068 συμβόλαια, έναντι της προηγούμενης που ο

αντίστοιχος αριθμός είναι 25.290, WRMA (2010). Το έτος 2010-2011, η συνολική αγορά του καιρού σημείωσε αύξηση σε μέγεθος της τάξης του 20%, γεγονός που οφείλετε στον συνεχώς αυξανόμενο αριθμό νέων επενδυτών που βρίσκουν ενδιαφέρον σε αυτήν τη σύγχρονη αγορά. Στις 22 Μαΐου του 2011 η WRMA ανακοίνωσε αύξηση των προσαρμοσμένων παραγώγων κατά 30% σε σύγκριση με την περασμένη χρονιά, συνολική θεωρητική αξία των συμβολαίων κινδύνου που διαπραγματεύτηκαν εξωχρηματιστηριακά στα 2,4 δισεκατομμύρια δολάρια και τέλος θεωρητική αξία ολόκληρης της αγοράς καιρού στα 11,8 δισεκατομμύρια δολάρια.

Σύμφωνα με τα άνωθεν δεδομένα της έρευνας που δημοσιεύθηκε, σημειώνεται μια διαφορά 9,4 δισεκατομμυρίων δολαρίων μεταξύ της θεωρητικής αξίας της συνολικής αγοράς και αυτής των παραγώγων καιρού που αφορούν στην αντιστάθμιση του κινδύνου. Η διαφορά αυτή είναι σχεδόν τετραπλάσια από τη θεωρητική αξία των συμβολαίων κινδύνου, γεγονός που μαρτυρά πως οι επενδυτές που συμμετέχουν ενεργά στην προκείμενη αγορά, προσελκύονται γενικότερα από τις δυνατότητες που τους προσφέρει μια οργανωμένη χρηματοοικονομική αγορά και όχι μόνο από την ανάγκη για αντιστάθμιση του κινδύνου. Πράγματι, στην αγορά του καιρού συναλλάσσονται τόσο επιχειρήσεις που επιδιώκουν να αντισταθμίσουν τον κίνδυνο που μπορεί να διαταράξει τα έσοδα και την λειτουργία τους, οι λεγόμενοι «hedgers», όσο και τράπεζες, ασφαλιστικές εταιρείες και απλοί επενδυτές που εμπλέκονται στην αγορά με απώτερο σκοπό το κέρδος και τίποτα περισσότερο, οι λεγόμενοι κερδοσκόποι. Οι δύο αυτές πλευρές συναλλάσσονται μεταξύ τους στην πρωτογενή αγορά, ενώ μόνο οι κερδοσκόποι πραγματοποιούν συναλλαγές μεταξύ τους στη δευτερογενή αγορά.

Ενδιαφέρον διεγείρει και το είδος των διαπραγματεύσιμων καιρικών παραγώγων. Από την αρχή της σύστασής της, στην αγορά του καιρού διαπραγματεύονται κυρίως συμβόλαια και δικαιώματα πάνω σε δείκτες θερμοκρασίας. Τα παράγωγα του καιρού έχουν διάφορες υποκείμενες μεταβλητές, ωστόσο η θερμοκρασία είναι η σπουδαιότερη, καθώς ως καιρικός παράγοντας επηρεάζει το μεγαλύτερο ποσοστό των hedgers που διαπραγματεύονται καιρικά παράγωγα από οποιαδήποτε άλλη καιρική μεταβλητή. Εκτιμάται ότι περίπου το 98-99% των καιρικών παραγώγων που διαπραγματεύονται, είναι γραμμένα πάνω σε δείκτες θερμοκρασίας, Ζαπράνης & Αλεξανδρίδης (2009). Γενικά, τα καιρικά παράγωγα έχουν τη δυνατότητα να δομηθούν κατάλληλα, ώστε να καλύπτουν οποιαδήποτε καιρική μεταβλητή, όπως βροχόπτωση,

υγρασία, χιονόπτωση, αλλά και οποιαδήποτε χρονική περίοδο με κυμαινόμενη διάρκεια από εβδομάδα έως και χρόνια. Η WRMA στην έρευνα του 2011 σημειώνει ότι η θερμοκρασία εξακολουθεί να διατηρεί την πρωτοκαθεδρία, με τις συμβάσεις που αφορούν σε αυτήν παγκοσμίως να είναι οι περισσότερο εμπορεύσιμες, ωστόσο, επισημαίνει ότι κατά τη διάρκεια του 2010 αυξήθηκαν οι συναλλαγές συμβάσεων με υποκείμενες μεταβλητές τη βροχόπτωση, τη χιονόπτωση, τους ανέμους και τους τυφώνες. Η αύξηση αυτή η οποία παρατηρήθηκε σε όλον τον κόσμο, με τη μεγαλύτερη να καταγράφεται στην Ευρώπη, αντανακλά την ενεργή συμμετοχή νέων επενδυτών, όπως βιομηχανίες γεωργίας και κατασκευαστικές εταιρείες, των οποίων το κέρδος επηρεάζεται από μια συνισταμένη καιρικών συνθηκών πέραν της θερμοκρασίας αυτής καθαυτής. Πιο συγκεκριμένα, σημειώνεται αύξηση της συμμετοχής των κατασκευαστικών εταιρειών από 9% το 2009 σε 23% το 2011, των εταιρειών μεταφοράς από 2% σε 5% για την αντίστοιχη διετία, ενώ εν κατακλείδι, το χρηματιστήριο του Σικάγο συνεχίζει να διατηρεί τα ηνία σε συμβόλαια κινδύνου που αφορούν στη θερμοκρασία.

Ερχόμενοι/ες προς το σήμερα, το 2020 η εμπορική δραστηριότητα στο CME σημείωσε τεράστια αύξηση με το Σεπτέμβριο του ίδιου έτους να σηματοδοτεί τον υψηλότερο μήνα σε όγκο καιρικών προϊόντων που συναλλάχθηκαν για περισσότερο από δύο συναπτά έτη. Παράλληλα, το Δεκέμβριο το open interest ξεπέρασε τα 29.000 συμβόλαια καιρού, καταγράφοντας μια αύξηση της τάξης του 175%, WRMA (2021). Μολονότι ο πλανήτης πλήττεται από την πανδημία του Covid 19 και η αβεβαιότητα που προκάλεσε το πλήγμα στην παγκόσμια οικονομία είναι κάτι παραπάνω από βέβαιη, η αγορά του καιρού συνεχίζει να διατηρεί σε υψηλά επίπεδα τη δραστηριότητά της. Φυσικά, αυτό δεν αποτελεί έκπληξη, καθώς η κλιματική αλλαγή είναι το πλέον μείζον θέμα της εποχής και η εστίαση των ανθρώπων και των επιχειρήσεων σε αυτήν κρίνεται πιο απαραίτητη από ποτέ.

Εν έτη 2022 η ανθρωπότητα καλείται να αντιμετωπίσει και τον ενεργειακό πόλεμο. Από τη μία πλευρά, η κλιματική αλλαγή γέννησε την ανάγκη για εναλλακτικές μορφές ενέργειας, προκειμένου να μπορέσει η παγκόσμια κοινότητα να διαχειριστεί την εξασθένηση των μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, αλλά ταυτόχρονα και την ανάγκη για αλλαγή «ενεργειακών συνηθειών», με σκοπό μια πιο βιώσιμη καθημερινότητα. Από την άλλη πλευρά, η ενεργειακή κρίση που ξεκίνησε, με κάποιους να τη χαρακτηρίζουν ως «αρχή του τέλους της παγκοσμιοποίησης», έχει ήδη αρχίσει να



εγείρει ανησυχίες για το, αν μπορεί να υπάρξει βέλτιστος τρόπος χρήσης της ενέργειας και εν συνεχεία, ποιος είναι αυτός, μέσα στα πλαίσια ενός ενεργειακού και κατ' επέκταση οικονομικού πολέμου με τεράστιες και δυσμενείς συνέπειες, ιδίως για τους κατοίκους της Γηραιάς Ηπείρου. Ο συνδυασμός των δύο αυτών γεγονότων συνιστά μια καινούργια πραγματικότητα με πρωταγωνιστή την ενέργεια σε όλες τις εκφάνσεις. Η ανθρωπότητα καλείται να μάθει να ζει υπό το πρίσμα αυτής της νέας πραγματικότητας, αποζητώντας παράλληλα μια λύση στο πολυσύνθετο αυτό ενεργειακό πρόβλημα. Η ανάγκη για αντιστάθμιση των πολλαπλών κινδύνων· απρόβλεπτων και μη, που ελλοχεύουν είναι ίσως ζωτικότερη από οποιαδήποτε άλλη χρονική στιγμή. Εν κατακλείδι, καθώς το μέλλον έπεται και υπόνοια περί βεβαιότητας δεν μπορεί να υπάρξει, ας μας επιτραπεί τουλάχιστον η εικασία στο πέρας αυτής της σύντομης και πολύπλευρης ιστορικής αναφοράς να πιθανολογήσουμε και να στοιχηματίσουμε στο μέλλον που διαγράφεται για την αγορά του καιρού.

### **1.2.3 Συμμετέχοντες/ουσες στην Αγορά του Καιρού**

Σύμφωνα με τον Auer (2003), περίπου τα τέσσερα πέμπτα της συνολικής οικονομικής δραστηριότητας σε παγκόσμιο επίπεδο δέχονται επιρροές είτε άμεσα είτε έμμεσα από τον καιρό. Έχοντας λάβει υπόψιν τον ισχυρισμό αυτό, μπορεί κανείς εύλογα να αντιληφθεί τόσο την τεράστια δημοτικότητα που έχει γνωρίσει όσο και την ραγδαία ανάπτυξη που έχει σημειώσει η αγορά του καιρού σε μια εξωχρηματιστηριακή αγορά, μολονότι πρόκειται για μια πολύ σύγχρονη αγορά. Ακόμη, σύμφωνα με τους Challis (1999) και Hanley (1999), σχεδόν ένα τρισεκατομμύριο δολάρια της οικονομίας των ΗΠΑ είναι άμεσα εκτεθειμένο στον καιρικό κίνδυνο. Η πρόγνωση του καιρού καθίσταται ζωτικής σημασίας τόσο για τη ζήτηση όσο και την προσφορά της αγοράς των καιρικών παραγώγων, Campbell, Diebold (2005). Κάθε επιχείρηση είτε από την πλευρά του παραγωγού είτε από την πλευρά του πελάτη είναι πολύ πιθανό να προβεί στην αγορά και στη χρήση καιρικών παραγώγων.

Η ανάπτυξη της αγοράς του καιρού οφείλεται σε έναν πολύ μεγάλο βαθμό στην αγορά ενέργειας, η οποία είναι ιδιαίτερα εκτεθειμένη στον καιρό. Σε μία πλέον απελευθερωμένη, αλλά και αρκετά ανταγωνιστική αγορά, οι έμποροι ενέργειας

συνειδητοποίησαν γρήγορα πως είναι ατελέσφορο να προσπαθούν να καθορίσουν την τιμή και τη ζήτηση της ενέργειας, χωρίς να λαμβάνουν υπόψιν τους τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν, αφού αυτές είναι η κύρια πηγή της αβεβαιότητας των εσόδων τους. Ο καιρός μοιραία επηρεάζει τόσο τη βραχυπρόθεσμη όσο και τη μακροπρόθεσμη ανάγκη για ενέργεια, με σπουδαιότερο παράγοντα τη θερμοκρασία. Για παράδειγμα, η κλιματική αλλαγή με πρωταγωνιστή την υπερθέρμανση του πλανήτη έχει προκαλέσει μία αυξητική τάση της θερμοκρασίας ανά την υφήλιο και κατά συνέπεια, έχει ήδη γεννήσει την ανάγκη για επιπλέον ενέργεια με σκοπό την αντιστάθμιση της περίσσειας θέρμανσης που θα πλήττει μελλοντικά τον πλανήτη. Όπως έχει διαπιστωθεί στις ΗΠΑ, η τιμολόγηση και η ζήτηση της ηλεκτρικής ενέργειας και του φυσικού αερίου εξαρτώνται σε πολύ μεγάλο βαθμό από τη θερμοκρασία, Αλεξανδρίδης (2010). Παραδείγματος χάριν, ένας πολύ ήπιος χειμώνας καθίσταται πιο εύκολα «ενεργειακά» διαχειρίσιμος από έναν πολύ βαρύ, αφού οι καλύτερες θερμοκρασίες που θα επικρατούν, θα επιτρέπουν στους ανθρώπους να χρησιμοποιούν λιγότερη ενέργεια για να διατηρούν τα σπίτια τους ζεστά και οι ώρες που θα χρειάζονται επιπλέον ενέργεια θα είναι πιο συγκεκριμένες, όπως κατά τη διάρκεια της νύχτας. Συνεπώς, για μία εταιρεία φυσικού αερίου ή πετρελαίου ένας ήπιος χειμώνας μπορεί να αποβεί έως και καταστροφικός για τα έσοδά της και κατ' επέκταση για τη λειτουργία της γενικά, αφού η κύρια πηγή των εσόδων της σημειώνεται κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου. Τα καιρικά παράγωγα επομένως, έχουν γίνει ένας πολύ ελκυστικός τρόπος αντιστάθμισης του κινδύνου για τις εταιρείες ενέργειας.

Το 2004 το 69% των μελών της αγοράς του καιρού συνιστούν οι εταιρείες ενέργειας. Καθώς η αγορά αρχίζει να διευρύνεται και να προσελκύει διάφορες εταιρείες, η αγορά της ενέργειας, αν και διατηρεί την πρωτοκαθεδρία, την επόμενη χρονιά σημειώνει ποσοστό της τάξης του 46% στη συνολική αγορά, ποσοστό κατά πολύ μειωμένο από το αντίστοιχο της προηγούμενης χρονιάς, Αλεξανδρίδης (2010). Οι αγροτικές επιχειρήσεις αρχίζουν δειλά δειλά να διεκδικούν μια θέση μέσα στην αγορά του καιρού, καθώς και από την πλευρά της ποσότητας, αλλά και από την πλευρά της ποιότητας, η παραγωγή εξαρτάται κατά κόρον από τον καιρό. Ο καιρός έχει αντίκτυπο σε μια παραγωγή καθ' όλη τη διάρκεια του ημερολογιακού έτους. Ένας τρόπος αντιστάθμισης του κινδύνου αυτού είναι η αγορά παραγώγων με υποκείμενη μεταβλητή τη βροχόπτωση. Ακόμη και αν ο καιρός δεν έχει δυσχερείς συνέπειες για την παραγωγή μιας γεωργικής βιομηχανίας, ένας «καλύτερος» καιρός σε μία περιοχή

που εδρεύει μια ανταγωνιστική βιομηχανία αυτής, μπορεί έμμεσα να επηρεάσει αρνητικά την έκβαση της ζήτησης και της τιμολόγησης του παραγόμενου προϊόντος.

Πέραν από τους παραπάνω ενδιαφερόμενους, που είναι και οι σημαντικότεροι, υπάρχουν και οι λιγότερο προφανείς που, ωστόσο, η συμμετοχή τους στην αγορά καιρού είναι μια πραγματικότητα, λόγω χάριν κυβερνητικοί οργανισμοί, αεροδρόμια, χιονοδρομικά κέντρα και μύλοι σιτηρών. Επιπλέον, ενδιαφέρον στην αγορά του καιρού βρίσκουν και πόλεις που αντιμετωπίζουν κόστη μετακίνησης και απομάκρυνσης εξαιτίας του χιονιού ή απλώς καταναλωτές που επιθυμούν σταθερούς λογαριασμούς θέρμανσης και κλιματισμού, ανεξαρτήτως των καιρικών συνθηκών που λαμβάνουν χώρα. Ακόμη, η ανάπτυξη της αγοράς του καιρού διεγείρει και επενδυτές ή εταιρείες των οποίων τα έσοδα δεν εξαρτώνται από τον καιρό, όπως ασφαλιστικές εταιρείες και επενδυτικές τράπεζες. Τα παράγωγα του καιρού ως χρηματοοικονομικό προϊόν προσφέρουν στον/στην κάτοχό τους την ευκαιρία για κερδοσκοπία μέσω της χρήσης τους. Τέλος, ορισμένοι έμποροι αντιλήφθηκαν τη δυνατότητα να ανταλλάξουν σε μια κερδοσκοπική βάση ή να επωφεληθούν από ευκαιρίες arbitrage σε σχέση με κάποια ενεργειακά ή γεωργικά προϊόντα, Αλεξανδρίδης (2010).

#### **1.2.4 Καιρικά Χρεόγραφα**

Ίσως το σπουδαιότερο αντικείμενο που αξίζει να μελετήσει κανείς να αφορά στα καιρικά χρεόγραφα. Με τον όρο καιρικά χρεόγραφα αναφερόμαστε στα είδη των διαπραγματεύσιμων συμβολαίων που μπορεί κανείς να συναντήσει και να συναλλάξει στην αγορά του καιρού. Ο κατάλογος των διαπραγματεύσιμων συμβολαίων είναι εκτενής και διαρκώς εξελίσσεται.

Καταρχάς, πρόκειται για προϊόντα που είναι βασισμένα και γραμμένα πάνω σε δείκτες διάφορων υποκείμενων καιρικών μεταβλητών και προσαρμόζονται στις διάφορες μέσες εποχιακές καιρικές συνθήκες στις διάφορες πόλεις πουπραγματεύονται. Το 2005 καιρικά συμβόλαια διαπραγματεύονταν σε 29 πόλεις παγκοσμίως, το 2006 σε 30 και το 2009 σε 46 πόλεις. Το 2009 σημειώθηκε η εντονότερη δραστηριότητα, καθώς πρόκειται για το μεγαλύτερο αριθμό πόλεων που συμμετείχαν ποτέ στην αγορά του καιρού, με τις 24 να βρίσκονται στις ΗΠΑ –

Ατλάντα, Βαλτιμόρη, Βοστώνη, Κάνσας Σίτι, Κολοράντο Σπρινγκς, Λας Βέγκας, Λιτλ Ροκ, Λος Άντζελες, Μινεάπολη – Σαιντ Πωλ, Νέα Υόρκη, Ντάλας, Ντε Μόιν, Ντιτρόιτ, Ουάσιγκτον, Πόρτλαντ, Ράλεϊ, Σακραμέντο, Σικάγο, Σινσινάτι, Σολτ Λέικ Σίτι, Τζάκσονβιλ, Τούσον, Φιλαδέλφεια και Χιούστον – 10 να βρίσκονται στην Ευρώπη – Άμστερνταμ, Βαρκελώνη, Βερολίνο, Έσσην, Λονδίνο, Μαδρίτη, Όσλο, Παρίσι, Ρώμη και Στοκχόλμη – 6 να βρίσκονται στον Καναδά – Βανκούβερ, Γουίνιπεγκ, Έντμοντον, Κάλγκαρι, Μόντρεαλ και Τορόντο – 3 να βρίσκονται στην Ιαπωνία – Οσάκα, Τόκιο και Χιροσίμα – και τέλος 3 να βρίσκονται στην Αυστραλία – Μελβούρνη, Μπρίσμπεϊν και Σίδνεϋ. Εν έτη 2022, το CME προσφέρει μια ποικιλία σε δικαιώματα και συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης σε πλέον 12 πόλεις παγκοσμίως, όπου οι 9 βρίσκονται στις ΗΠΑ – Ατλάντα, Λας Βέγκας, Μινεάπολη – Σαιντ Πωλ, Νέα Υόρκη, Ντάλας, Πόρτλαντ, Σακραμέντο, Σικάγο και Σινσινάτι – οι 2 βρίσκονται στη Γηραιά Ήπειρο – Άμστερνταμ και Λονδίνο – και τέλος μόλις μία στην Ασία, το Τόκιο.

Η μείωση των πόλεων που διαπραγματεύονται τα καιρικά παράγωγα είναι εμφανής και μάλιστα αξιοπρόσεκτη. Η παγκόσμια οικονομική κρίση του 2008 ανάγκασε πολλές πόλεις να αποχωρήσουν από τη συγκεκριμένη χρηματοοικονομική αγορά· εντούτοις, η διεύρυνση τής δεν έπαψε ποτέ. Η αγορά εξελίχθηκε και ανέπτυξε νέες πτυχές, άρχισε να συναλλάσσεται με άλλου τύπου αγορές, όπως οι ασφαλιστικές, και άρχισαν με την πάροδο των ετών να προσελκύνονται όλο και περισσότεροι νέοι επενδυτές. Τα διαπραγματεύσιμα παράγωγα καιρού περιλαμβάνουν τις ανταλλαγές καιρού, τα δικαιώματα και τα συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης. Οι αποπληρωμές αυτών των μέσων μπορούν να συνδεθούν με διάφορες υποκείμενες μεταβλητές που σχετίζονται με τον καιρό. Αυτές είναι η θερμοκρασία, η μέση θερμοκρασία, η μέγιστη θερμοκρασία, η ελάχιστη θερμοκρασία, η βροχόπτωση, η χιονόπτωση, η ηλιοφάνεια, η υγρασία, ακόμη και η πρόβλεψη της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας της θερμοκρασίας για την επόμενη εβδομάδα, Campbell (2005). Τα περισσότερα παράγωγα του καιρού είναι γραμμένα στο δείκτη της θερμοκρασίας.

Ποσοστό μεγαλύτερο του 95% των συμβολαίων με βάση τη θερμοκρασία σχετίζονται με τις βαθμομέρες θέρμανσης (HDD), τις βαθμομέρες ψύξης (CDD), τον αθροιστικό μέσο όρο του δείκτη θερμοκρασίας (CAT), καθώς και με το περιθώριο του ειρηνικού αθροιστικού μέσου όρου του δείκτη θερμοκρασίας (Pacific Rim CAT). Τέλος, υπάρχει και η μεταβλητή των βαθμομέρων ανάπτυξης (GDD), που χρησιμοποιείται κατά κόρον στη γεωργία και την κηπουρική.

Στις ΗΠΑ, στον Καναδά και στην Αυστραλία τα παράγωγα του καιρού βασίζονται στο δείκτη των βαθμοημέρων θέρμανσης και ψύξης. Μια βαθμοημέρα θέρμανσης ή ψύξης αντίστοιχα αναφέρεται σε μια συγκεκριμένη ημέρα και ορίζεται ως ο αριθμός των βαθμών κατά τους οποίους η θερμοκρασία της ημέρα στην οποία αφορά αποκλίνει από ένα συγκεκριμένο επίπεδο αναφοράς. Στις χώρες αυτές το επίπεδο αναφοράς έχει καθιερωθεί στους 65 βαθμούς Φαρενάιτ, ενώ στην Ευρώπη και την Ασία στους 18 βαθμούς Κελσίου. Την ονομασία τους την οφείλουν στον ενεργειακό τομέα των ΗΠΑ. Επειδή τα συμβόλαια αφορούν ως επί τον πλείστο σε προκαθορισμένες περιόδους, τα παράγωγα γενικά βασίζονται στη συσσώρευση αυτών για τη συμφωνημένη περίοδο, με αποτέλεσμα να μην μπορούν ποτέ οι βαθμοημέρες θέρμανσης και ψύξης αντίστοιχα να λάβουν αρνητικές τιμές. Το χρηματιστήριο του Σικάγο εμπορεύεται και συναλλάσσει συμβόλαια βαθμοημέρων θέρμανσης με την Ευρώπη για τους χειμερινούς μήνες. Ωστόσο, όσον αφορά τους καλοκαιρινούς, τα συμβόλαια βασίζονται στο δείκτη CAT, ο οποίος ορίζεται ως το άθροισμα όλων των μέσων ημερήσιων θερμοκρασιών για τη διάρκεια της διαπραγματεύσιμης περιόδου. Η μέση θερμοκρασία υπολογίζεται ως ο μέσος όρος της μέγιστης και της ελάχιστης θερμοκρασίας για έκαστην ημέρα. Τέλος, για το Τόκιο υπάρχουν παράγωγα γραμμένα στον αντίστοιχο δείκτη του CAT, τον Pacific Rim CAT.

Σύμφωνα με τον Alaton (2002) ένα παράγωγο καιρού εξαρτάται από το είδος της σύμβασης, την τιμή strike, καθώς και τη μελλοντική τιμή, το μέγεθος του κρότωνα, το ασφάλιστρο που καταβάλλεται από τον αγοραστή στον πωλητή του συμβολαίου, τη μέγιστη αποπληρωμή του συμβολαίου στη λήξη της συμφωνημένης περιόδου, τη συμφωνημένη περίοδο φυσικά, τον υποκείμενο δείκτη στον οποίο είναι βασισμένο το παράγωγο και τελευταίο αλλά εξίσου σημαντικό, το μετεωρολογικό σταθμό από τον οποίο λαμβάνονται τα δεδομένα. Όπως και τα κλασσικά παράγωγα έτσι και τα καιρικά βασίζονται σε αντίστοιχες τυπικές δομές παραγώγων, Αλεξανδρίδης (2010). Οι κανόνες της αγοράς του καιρού δε διαφέρουν σε γενικές γραμμές από αυτών των κλασσικών χρηματοοικονομικών αγορών, καθώς συνήθως η μέγιστη αποπληρωμή είναι περιορισμένη, η πληρωμή των συμβάσεων εξαρτάται από την τιμή εξάσκησης, ο ένας αντισυμβαλλόμενος πληρώνει στον άλλον ένα ασφάλιστρο και φυσικά η περίοδος είναι προκαθορισμένη και έχει ημερομηνία έναρξης και ημερομηνία λήξης, η οποία κυμαίνεται από μία εβδομάδα έως και αρκετά χρόνια, Αλεξανδρίδης (2010).

Τα περισσότερα συμβόλαια που διατίθενται προς διαπραγμάτευση εντός της χρηματιστηριακής αγοράς αφορούν στους δείκτες βαθμομερών θέρμανσης και ψύξης. Υπάρχουν και κάποια συμβόλαια τα οποία αποδίδουν πληρωμές, εάν για παράδειγμα η θερμοκρασία ξεπεράσει ένα συγκεκριμένο όριο ή, εάν το επίπεδο βροχόπτωσης και χιονόπτωσης υπερβούν ένα προκαθορισμένο επίπεδο. Όλα τα συμβόλαια που συναλλάσσονται εξαρτώνται από πραγματικές παρατηρήσεις οι οποίες καταγράφονται σε συγκεκριμένο μετεωρολογικό σταθμό. Οι περισσότερες συναλλαγές βασίζονται στα δεδομένα που προκύπτουν από έναν σταθμό, όμως σε γενικές περιπτώσεις υπάρχει και ένας εφεδρικός σταθμός, σε περίπτωση που ο κύριος σταθμός αποτύχει, Αλεξανδρίδης (2010).

### **1.2.5 Καιρικά Παράγωγα και Ασφαλιστικά Συμβόλαια**

Μία από τις ζωτικότερες· αν όχι η ζωτικότερη, δυνατότητα που προσφέρουν τα κλασσικά παράγωγα στον/στην κάτοχό τους αφορά στην αντιστάθμιση του κινδύνου, δηλαδή, στη διαδικασία μέσω της οποίας ο/η κάτοχος τού μπορεί να εξασφαλίσει μια προστασία της περιουσίας του/της έναντι της μελλοντικής έκβασης μιας κατάστασης, που μπορεί να μην αποφέρει τα επιθυμητά αποτελέσματα. Καθώς τα παράγωγα καιρού είναι και αυτά παράγωγα, θα εκπληρώνουν τον ίδιο σκοπό με τα κλασσικά παράγωγα. Η διαφορά έγκειται στο ότι τα καιρικά παράγωγα παρέχουν ασφάλεια έναντι των διακυμάνσεων των καιρικών συνθηκών. Στο παρελθόν, δηλαδή πριν τη δημιουργία μιας συντονισμένης αγοράς καιρού, εταιρείες εκτεθειμένες στον καιρό χρησιμοποιούσαν ασφαλιστικά συμβόλαια και ομόλογα καταστροφής, προκειμένου να αντισταθμίσουν τον κίνδυνο που ελλοχεύει τόσο από μια απρόβλεπτη όσο και από μια προβλεπόμενη μεν, καταστροφική δε μελλοντική καιρική συνθήκη. Εύλογα επομένως, γεννάται το εξής ερώτημα. Γιατί κάποιος/α να καταφύγει στην αγορά του καιρού, προκειμένου να διασφαλίσει τη ζητούμενη προστασία, εφόσον υπάρχουν ήδη τρόποι που χρήζουν ευρείας χρήσης και εξυπηρετούν εδώ και χρόνια τον ίδιο σκοπό;

Με μια πιο προσεκτική μελέτη και εξέταση τόσο των ασφαλιστικών συμβολαίων όσο και των καιρικών παραγώγων αποκαλύπτονται πολλές διαφορές. Καταρχάς, η πρώτη διαφορά εντοπίζεται στα καιρικά φαινόμενα που πραγματεύεται έκαστο εργαλείο. Τα ασφαλιστικά συμβόλαια είναι γραμμένα σε σπάνια καιρικά φαινόμενα και κατά

συνέπεια, είναι σχεδιασμένα για να προστατεύουν τον/την κάτοχό τους από ακραίες καιρικές συνθήκες. Τέτοια φαινόμενα είναι οι τυφώνες, οι πλημμύρες, ένας πολύ κρύος χειμώνας ή ένα πολύ θερμό καλοκαίρι, δηλαδή φαινόμενα που μπορούν να προκαλέσουν μεγάλες καταστροφές με τεράστιο αντίκτυπο στα έσοδα μιας εταιρείας. Αντίθετα, τα καιρικά παράγωγα μπορούν να σχεδιαστούν έτσι, ώστε να αποδίδουν πληρωμές σε οποιαδήποτε καιρική κατάσταση. Έχουν την ικανότητα να προστατεύουν μια εταιρεία τόσο από γεγονότα υψηλού κινδύνου και χαμηλής πιθανότητας να συμβούν όσο και από επαναλαμβανόμενες συνθήκες χαμηλού κινδύνου με υψηλή πιθανότητα εμφάνισης, όπως είναι για παράδειγμα ένας ήπιος ή ένας φυσιολογικός χειμώνας. Δηλαδή, μπορεί κανείς να αγοράσει ένα καιρικό παράγωγο και να εκμεταλλευτεί τον καιρό σε οποιαδήποτε έκφασή του, κάτι που δεν μπορεί να συμβεί με ένα ασφαλιστικό συμβόλαιο.

Επιπροσθέτως, μια ακόμη διαφορά έγκειται στις συνθήκες υπό τις οποίες αποδίδεται η πληρωμή. Από τη μία πλευρά, μία ασφαλιστική εταιρεία αποδίδει αποζημίωση μόνο σε περίπτωση που έχει σημειωθεί πράγματι κάποια ζημία οικονομική ή υλική για μια εταιρεία και φυσικά υπό το πρίσμα ότι ο/η ασφαλισμένος/η θα μπορέσει να αποδείξει και να τεκμηριώσει τη ζημία που υπέστη, καθώς, αν δεν μπορέσει να την αποδείξει, δεν πρόκειται και να αποζημιωθεί. Ακόμη, η διεκδίκηση της αποζημίωσης είναι μια διαδικασία χρονοβόρα και με μεγάλο κόστος για τον/την ασφαλισμένο/η. Από την άλλη πλευρά, η αγορά του καιρού πληρώνει τα πρέποντα σε άμεσο χρόνο στον/στην κάτοχο του παραγώγου, καθώς το μόνο πράγμα που την ενδιαφέρει είναι η πραγματική έκβαση του καιρού είτε αυτή επηρεάζει στην πραγματικότητα τον/την κάτοχο είτε όχι. Με άλλα λόγια, η αγορά του καιρού δεν υπάρχει για να αποζημιώνει σε περίπτωση καταστροφής, αλλά για να αποδίδει τα συμφωνημένα υπό οποιαδήποτε έκβαση και αυτό, διότι τα καιρικά παράγωγα συντάσσονται πάνω σε αντικειμενικές μεταβλητές, όπως ο δείκτης της θερμοκρασίας, της βροχόπτωσης, της χιονόπτωσης ή γενικότερα ένας οποιοσδήποτε υποκείμενος δείκτης που καταγράφεται με ακρίβεια σε έναν προκαθορισμένο μετεωρολογικό σταθμό, Αλεξανδρίδης (2010).

Ένα επιπλέον πλεονέκτημα που παρουσιάζουν τα παράγωγα του καιρού έναντι των ασφαλιστικών συμβολαίων είναι η πρόσθετη ελευθερία που προσφέρουν στον/στην κάτοχο τους, Αλεξανδρίδης, (2010). Μια εταιρεία μπορεί να αντιμετωπίσει οικονομικές δυσχέρειες όχι εξαιτίας των δυσμενών καιρικών συνθηκών στην περιοχή της, αλλά εξαιτίας των ευνοϊκών ή ευνοϊκότερων των δικών της καιρικών συνθηκών σε μια περιοχή στην οποία έχει εγκαταστάσεις μια ανταγωνιστική εταιρεία.

Παραδείγματος χάριν, έστω μια γεωργική βιομηχανία στη Φλόριντα και μία ανταγωνιστική αυτής στην Καλιφόρνια. Ευνοϊκές καιρικές συνθήκες στην Καλιφόρνια, θα έχουν ως αποτέλεσμα μεγαλύτερη ποσότητα παραγωγής και καλύτερη ποιότητα προϊόντος και κατ' επέκταση αυξημένη τιμή και ζήτηση για το προϊόν της βιομηχανίας αυτής. Συνεπώς, είναι πολύ πιθανό η βιομηχανία στη Φλόριντα να αντιμετωπίσει οικονομικές απώλειες, αφού η προτίμηση του αγαθού της ανταγωνιστικής βιομηχανίας θα είναι μεγαλύτερη. Αυτό το παράδειγμα είναι μόνο ένα από όλα τα παραδείγματα που έχουν φυσική υπόσταση και συμβαίνουν καθημερινά. Επομένως, μια εταιρεία μπορεί να χρησιμοποιήσει τα παράγωγα του καιρού με σκοπό να αντισταθμίσει έναν τέτοιου είδους κίνδυνο, δηλαδή όχι έναν άμεσο, αλλά έναν έμμεσο κίνδυνο.

Μια ακόμη πολύ σημαντική δυνατότητα που παρέχουν τα παράγωγα του καιρού είναι η δυνατότητα σύναψης μιας συμφωνίας ανταλλαγής μεταξύ δύο παραγόντων στην αγορά, οι οποίοι θα έχουν έκαστος κέρδος και αντίστοιχα απώλεια από την ακριβώς αντίθετη καιρική συνθήκη. Δηλαδή, το κέρδος του ενός, για παράδειγμα ένας πολύ θερμός χειμώνας, είναι η απώλεια του άλλου. Στην αγορά του καιρού οι δύο αυτοί παράγοντες μπορούν να συναντηθούν και να συνάψουν μια συμφωνία ανταλλαγής (swap), με αιώτερο σκοπό ο ένας να αντισταθμίσει τον κίνδυνο του άλλου. Στην ασφαλιστική αγορά αυτή η δυνατότητα δεν παρέχεται. Συνεπώς, εάν μία εταιρεία επιθυμεί να εξασφαλίσει προστασία της παραγωγής της, μπορεί να το πετύχει μόνο μέσω σύναψης συμβολαίου με την ίδια την ασφαλιστική αγορά.

Τελευταίο αλλά εξίσου σημαντικό, όπως έχει προαναφερθεί, τα παράγωγα του καιρού είναι κατεξοχήν παράγωγα. Επομένως, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για όλους τους λόγους που χρησιμοποιούνται και τα κλασσικά παράγωγα. Ένας εξ αυτών είναι η κερδοσκοπία. Ένας/μία επενδυτής/τρια ή και μια εταιρεία μπορεί να επιθυμεί απλώς να εκμεταλλευτεί τον καιρό για να αποκομίσει κέρδος. Η αγορά του καιρού είναι φτιαγμένη, ώστε να είναι σύμφωνη με μια τέτοια επιθυμία, αφού άλλωστε τα καιρικά παράγωγα είναι χρηματοοικονομικά μέσα. Επίσης, ένα παράγωγο καιρού μπορεί αργότερα να πωληθεί/μεταβιβαστεί σε κάποιον/α άλλον/η αντισυμβαλλόμενος/η λίγο πριν την ημέρα λήξης του συμβολαίου απλώς και μόνο και για κερδοσκοπικούς λόγους, κάτι που δε δύναται να συμβεί στα πλαίσια λειτουργίας της ασφαλιστικής αγοράς.



### 1.2.6 Κίνδυνος Βάσης

Μολονότι η επιστήμη της μετεωρολογίας έχει σημειώσει τεράστια πρόοδο στο πέρας του χρόνου, ο κίνδυνος των καιρικών συνθηκών που ελλοχεύει εξακολουθεί να μην μπορεί προβλεφθεί στο έπακρο. Ακόμη και στην περίπτωση που θα μπορούσε ο άνθρωπος να πετύχει την ακριβέστατη πρόβλεψη, θα εξακολουθούσε να είναι αδύνατο να προβλεφθεί ο καιρός σε κάθε γεωγραφική συντεταγμένη που υπάρχει, αφενός, διότι δεν υπάρχουν μετεωρολογικοί σταθμοί καταγραφής του καιρού σε κάθε τοποθεσία, αφετέρου, διότι ένα από τα κύρια γνωρίσματα του καιρού είναι ότι μπορεί να διαφέρει μεταξύ δύο τοποθεσιών, ακόμη και κοντινών μεταξύ τους.

Εξαιτίας των άνωθεν συνθηκών, ένας/μία επενδυτής/τρια που επιθυμεί να αντισταθμίσει τον κίνδυνο του καιρού σε μια περιοχή εκτός της λίστας των διαπραγματεύσιμων περιοχών στο CME, αντιμετωπίζει χωροταξικό κίνδυνο. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι ένα συμβόλαιο συντάσσεται με βάση τις συνθήκες που θα καταγραφούν σε έναν συγκεκριμένο μετεωρολογικό σταθμό, οι οποίες μοιραία θα διαφέρουν από τις συνθήκες σε κοντινές περιοχές. Συγχρόνως, η αποπληρωμή ενός καιρικού παραγώγου εξαρτάται από το δείκτη στον οποίο είναι γραμμένο και σε καμία περίπτωση δεν ενδέχεται να αντισταθμίσει ολόκληρη τη χρηματική απώλεια. Λόγου χάριν, έστω μια εταιρεία η οποία εδρεύει στο Σπρίνγκφιλντ και έχει αγοράσει ένα παράγωγο καιρού που είναι γραμμένο στο δείκτη καιρού του Σικάγο. Η περίπτωση που πληρούνται οι συνθήκες για τις οποίες αποδίδει πληρωμή το αγορασμένο παράγωγο στο Σικάγο δεν είναι ικανή να αντισταθμίσει την απώλεια λόγω καιρού στο Σπρίνγκφιλντ, καθώς η θερμοκρασία που θα καταγραφεί εκεί μπορεί να διαφέρει από αυτήν για την οποία εξασφαλίζεται ο/η κάτοχος του συμβολαίου, με συνέπεια ο/η κάτοχος να έχει απώλειες και από τον καιρό και από τα χρήματα που πλήρωσε για να αγοράσει το παράγωγο.

Συμπερασματικά, γεννάται ένας καινούριος κίνδυνος που αφορά στην αντιστάθμιση του καιρικού κινδύνου, ο οποίος καλείται κίνδυνος γεωγραφικής βάσης ή κίνδυνος βάσης. Στην πρώτη περίπτωση αναφερόμαστε στον κίνδυνο που προκύπτει από την απόσταση μεταξύ της εταιρείας αντιστάθμισης και του σταθμού στον οποίο γίνεται η καταγραφή του καιρού, ενώ στη δεύτερη αναφερόμαστε στον κίνδυνο που αφορά στη σχέση μεταξύ του αντισταθμιζόμενου όγκου και του υποκείμενου δείκτη καιρού, Αλεξανδρίδης (2010). Καθώς ο χωρικός κίνδυνος αναμένεται να είναι πάντα θετικός,

η αύξηση της απόστασης θα προκαλεί μείωση της ζήτησης. Φυσικά, αυτό δεν πρέπει να λειτουργήσει αποτρεπτικά, καθώς σε κάθε περίπτωση η αντιστάθμιση του κινδύνου κρίνεται ζωτικής σημασίας. Εντούτοις, είναι φρόνιμο για έναν/μία επενδυτή/τρια να μη λησμονήσει το γεγονός ότι ο σκοπός των παραγώγων είναι η εξασφάλιση της μέγιστης δυνατής και όχι της απόλυτης αντιστάθμισης, καθώς η πρόβλεψη του καιρού είναι κάτι παραπάνω από μια σύνθετη διαδικασία και η απόλυτα συνεπής πρόβλεψη της «επόμενης μέρας» είναι για ευνόητους λόγους ανέφικτη.

### **1.2.7 Τιμολόγηση των Παραγώγων Θερμοκρασίας**

Ένα παράγωγο καιρού είναι ένα χρηματοοικονομικό μέσο, το οποίο αποδίδει μια πληρωμή προερχόμενη από καιρικές μεταβλητές, όπως η θερμοκρασία, η βροχόπτωση, η χιονόπτωση και η υγρασία. Ωστόσο, εκτιμάται ότι ποσοστό μεγαλύτερο της τάξης του 95% των καιρικών παραγώγων που διαπραγματεύονται είναι γραμμένα στο δείκτη της θερμοκρασίας. Το γεγονός αυτό δεν προκαλεί αίσθηση, καθώς το ένα τρίτο περίπου της οικονομίας των ΗΠΑ εξαρτάται από τη θερμοκρασία. Αυτό όμως που εγείρει το ενδιαφέρον είναι ο τρόπος που τιμολογούνται τα καιρικά παράγωγα.

Δεδομένου ότι τα καιρικά παράγωγα διαφέρουν από τα κλασσικά παράγωγα, προσδοκούμε διαφορές και στην τιμολόγησή τους. Καταρχάς, προκειμένου να τιμολογήσουμε κατάλληλα ένα καιρικό παράγωγο, χρειαζόμαστε ένα μηχανισμό πρόβλεψης της θερμοκρασίας. Όπως έχει προαναφερθεί, δεν είναι δυνατή η διαπραγμάτευση του υποκείμενου δείκτη στην τρέχουσα αγορά (HDD, CDD, CAT) εξαιτίας της φύσης της θερμοκρασίας, ενώ συγχρόνως, η αγορά του καιρού είναι σχετικά με ρευστοποιήσιμη. Επομένως, τα καιρικά παράγωγα δε συναλλάσσονται οικονομικά με άλλα καιρικά παράγωγα, καθιστώντας την τιμολόγηση – arbitrage μη εφαρμόσιμη άμεσα στην αγορά. Η αγορά των παραγώγων είναι μία κλασσικά ελλιπής αγορά, καθώς οι υποκείμενες μεταβλητές καιρού δεν είναι εμπορεύσιμες.

Μια αρχική σκέψη που ευσταθεί είναι η τιμολόγηση με βάση την προσέγγιση Black and Scholes. Το μοντέλο που προτάθηκε από τους προαναφερθέντες είναι μοντέλο τιμολόγησης και αποτελεί την κλασσική μέθοδο αποτίμησης των δικαιωμάτων προαίρεσης. Σύμφωνα με τους Black and Scholes η απόδοση καθορίζεται από την αξία

του υποκείμενου δείκτη ακριβώς στην ημερομηνία λήξης της εκάστοτε σύμβασης, όπως ακριβώς συμβαίνει με τα ευρωπαϊκά δικαιώματα. Επίσης, η υπόθεση αυτή προϋποθέτει ότι οι διαπραγματευόμενοι δείκτες θα ακολουθούν τυχαίους περιπάτους. Στην περίπτωση των καιρικών παραγώγων, αυτό είναι κάτι που δεν υφίσταται και ταυτόχρονα, οι αποπληρωμές τους καθορίζονται από δείκτες οι οποίοι συνίστανται από μέσες τιμές. Συνεπώς, η υπόθεση αυτή δεν είναι η πλέον κατάλληλη για την τιμολόγησή τους. Ένας τρόπος να αντιμετωπιστεί η φύση μιας ημιτελούς αγοράς είναι η εισαγωγή της αγοραίας τιμής του κινδύνου.

Μια μεθοδολογία τιμολόγησης η οποία χρησιμοποιείται ευρέως είναι η αναλογιστική/ ασφαλιστική μέθοδος. Πρόκειται για μέθοδο η οποία χρησιμοποιεί στατιστική ανάλυση και δεν εφαρμόζεται παρά σε συμβόλαια που ακολουθούν μη επαναλαμβανόμενα μοτίβα. Καθώς η θερμοκρασία ακολουθεί επαναλαμβανόμενα και μέχρι ενός σημείου προβλέψιμα μοτίβα, η μέθοδος αυτή δεν επιλέγεται, εκτός και αν πρόκειται για σύμβαση γραμμένη σε κάποιο σπάνιο καιρικό φαινόμενο που μπορεί να προκαλέσει μια σπάνια θερμοκρασία, Αλεξανδρίδης (2010). Μία ακόμη μέθοδος που αξίζει να αναφερθεί είναι η «Historical Burn Analysis (HBA)». Στη συγκεκριμένη μέθοδο υπολογίζονται οι μέσες αποδόσεις του πραγματευόμενου καιρικού παραγώγου για κάποιο δοθέν έστω  $n$ , πλήθος προγενέστερων ετών. Η συγκεκριμένη διαδικασία δεν ενσωματώνει την πρόβλεψη, οπότε καθώς βασίζεται σε προγενέστερες αποδόσεις, είναι βέβαιο ότι θα παρέχει προκατειλημμένες και μη ακριβείς αποδόσεις, Jewson (2005). Η κεντρική ιδέα είναι αρκετά έξυπνη και λογική και θεωρείται η απλούστερη μέθοδος για την τιμολόγηση των παραγώγων, εξαιτίας του εύκολου υπολογισμού που απαιτεί. Εντούτοις, θεωρείται πολύ πιθανό να προκληθούν σφάλματα και μάλιστα μεγάλα στην τελική τιμολόγηση.

Εν αντιθέσει με τις προαναφερθείσες μεθόδους, έχουν προταθεί πολλά δυναμικά μοντέλα τα οποία θα περιγράφουν τη δυναμική μιας διαδικασίας θερμοκρασίας. Για αυτού του τύπου τα μοντέλα έχουν γίνει πολλές κοινές παραδοχές. Αρχικά, η θερμοκρασία ακολουθεί έναν προκαθορισμένο κύκλο (τέσσερις εποχές) και φαίνεται σε κάθε εποχή να κινείται γύρω από έναν εποχιακό μέσο όρο. Ακόμη, φαίνεται να έχει μια αυτοπαλινδρομική μεταβολή, ενώ η μεταβλητότητα που σημειώνει είναι μεγαλύτερη κατά τη διάρκεια του χειμώνα από την αντίστοιχη στη διάρκεια του καλοκαιριού. Τέλος, τα τελευταία έτη έχει παρατηρηθεί η επιρροή που δέχεται από την υπερθέρμανση του πλανήτη, η οποία δημιουργεί μια αυξητική τάση σε όλα της τα

χαρακτηριστικά, όπως η μέση θερμοκρασία. Εξαιτίας αυτών, φαίνεται να μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα δυναμικό μοντέλο, το οποίο να μπορεί να προσομοιώνει τη μελλοντική συμπεριφορά της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας. Μέσα σε ένα εικοσιτετράωρο η θερμοκρασία μεταβάλλεται κάθε δευτερόλεπτο, με αποτέλεσμα να καθίσταται ανέφικτη η διαχείριση τόσης πληροφορίας. Η χρήση μοντέλων που έχουν ως βάση τη μέση θερμοκρασία θεωρείται γενικά καταλληλότερη από τη μοντελοποίηση του δείκτη της θερμοκρασίας.

Η μοντελοποίηση με βάση τη μέση θερμοκρασία οδηγεί σε ακριβέστερη τιμολόγηση, καθώς στην περίπτωση του δείκτη, η διαδικασία που ακολουθείται συνήθως είναι κανονική ή λογαριθμική, με αποτέλεσμα πολλές πληροφορίες να χάνονται. Λόγου χάριν, οι βαθμοήμερες ψύξης ορίζονται ως η διαφορά της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας από ένα συγκεκριμένο επίπεδο θερμοκρασίας. Δεν υπάρχει κάποια περαιτέρω διάκριση μεταξύ των θερμοκρασιών που βρίσκονται πολύ κάτω ή ακριβώς κάτω από το επίπεδο θερμοκρασίας, αφού όλα αντικατοπτρίζονται στην τιμή μηδέν, Bellini (2005). Τέλος, οι προγνώσεις του καιρού μπορούν να εφαρμοστούν με ευκολία σε ένα ημερήσιο μοντέλο, Αλεξανδρίδης (2010). Ωστόσο, η εξαγωγή ενός τέτοιου μοντέλου κρίνεται πολύ δυσκολότερη διαδικασία από όσο φαίνεται. Οι καταγεγραμμένες θερμοκρασίες εμφανίζουν εποχικότητα στο μέσο όρο, στη διακύμανση, στην κατανομή και στις αυτοσυσχετίσεις. Ο κίνδυνος που ελλοχεύει στη μοντελοποίηση της καθημερινής θερμοκρασίας έγκειται στο γεγονός ότι μικρές εσφαλμένες προδιαγραφές στο μοντέλο είναι ικανές να οδηγήσουν σε μεγάλες λανθασμένες τιμολογήσεις των συμβολαίων.

Τέλος, υπάρχουν οι συνεχείς διαδικασίες που χρησιμοποιούνται για την ημερησία μοντελοποίηση της θερμοκρασίας. Οι διαδικασίες αυτές χρησιμοποιούν μια μορφή αναστροφής του μέσου όρου. Μόλις εκτιμηθεί η διαδικασία, μπορεί να αποτιμηθεί οποιαδήποτε πιθανή απαίτηση, λαμβάνοντας υπόψιν την προσδοκία της μελλοντικής αποπληρωμής. Η εξάρτηση από τη φύση της διαδρομής των περισσότερων κερδών οδηγεί σε τιμολογήσεις που δεν έχουν κλειστή μορφή, Αλεξανδρίδης (2010). Σε μια τέτοια περίπτωση, χρησιμοποιούνται οι προσομοιώσεις «Monte – Carlo». Η προσέγγισή τους απαιτεί τη δημιουργία μεγάλου αριθμού προσομοιωμένων σεναρίων των καιρικών δεικτών. Έκαστο σενάριο θα έχει και μια διαφορετική πιθανή απολαβή, προκειμένου να οριστεί εν κατακλείδι η δίκαιη τιμή του παραγώγου ως ο μέσος όρος όλων των προσομοιωμένων μέσω της προσέγγισης κερδών.

Γενικότερα, παρά τις έρευνες που έχουν διεξαχθεί και των μοντέλων που χρησιμοποιούνται, δεν υπάρχει κάποιο συγκεκριμένο μοντέλο ειδικών προδιαγραφών, όπως αυτό των Black and Scholes που να επιτρέπει την κατάλληλη τιμολόγηση των παραγώγων. Επίσης, πολλοί ερευνητές μελετούν διεξοδικά τη φύση θερμοκρασίας, σε θεωρητικό πάντα επίπεδο, χωρίς να προβαίνουν στην απόπειρα σύστασης κάποιου μοντέλου. Στην έρευνα που θα εκτυλιχθεί κάτωθεν, θα προσπαθήσουμε να κατασκευάσουμε ένα μοντέλο πρόβλεψης της θερμοκρασίας με τη χρήση νευρωνικών δικτύων, προκειμένου να καταλήξουμε στον τρόπο τιμολόγησης των καιρικών παραγώγων.

### 1.3 Συμπεράσματα

Επιγραμματικά, τα καιρικά παράγωγα είναι χρηματοοικονομικά μέσα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε από οργανισμούς είτε από απλούς επενδυτές ως μέρος μιας στρατηγικής διαχείρισης κινδύνου, με σκοπό τη μείωση του κινδύνου που σχετίζεται με δυσμενείς ή απροσδόκητες καιρικές συνθήκες. Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάστηκε η φύση της νέας αυτής αγοράς, η ιδέα και οι λόγοι που οδήγησαν στη σύστασή της και τα γενικότερα χαρακτηριστικά που η συνοδεύουν, όπως ο κίνδυνος βάσης. Εν κατακλείδι, θα παρουσιαστεί ο σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Αρχικά, παρουσιάστηκαν οι διάφορες πτυχές της αγοράς του καιρού και συζητήθηκαν διεξοδικά. Μέσω της θεωρητικής έρευνας που πραγματοποιήθηκε προκύπτει το πόρισμα περί έλλειψης ενός γενικά αποδεκτού μοντέλου για την τιμολόγηση των παραγώγων θερμοκρασίας. Σκοπός της συγκεκριμένης έρευνας είναι να αναπτύξει ένα μοντέλο που να εξηγεί τη δυναμική της θερμοκρασίας και να την προβλέπει όσο ακριβέστερα είναι εφικτό. Ούσα η υποκείμενη μεταβλητή που συγκεντρώνει την πλειοψηφία των συμβολαίων γραμμένη σε αυτήν, η θερμοκρασία και η πρόβλεψή της θα αποτελέσει το επίκεντρο αυτής της έρευνας.

## 2<sup>ο</sup> Κεφάλαιο

### Επισκόπηση Βιβλιογραφίας:

Σε αυτό το κεφάλαιο παρατίθενται και μελετώνται με λεπτομέρεια και συνέπεια τα πιο σημαντικά και πιο συχνά προτεινόμενα ως κατάλληλα από τη βιβλιογραφία μοντέλα αναπαράστασης μιας διαδικασίας της θερμοκρασίας. Θα αναλυθούν τα πιο δυνατά και τα πιο αδύναμα σημεία προγενέστερων ερευνών που έχουν εκπονηθεί στο παρελθόν, με απώτερο σκοπό τον προσδιορισμό ενός κατάλληλου και επαρκούς μοντέλου που θα επιτρέπει την καλύτερη δυνατή τιμολόγηση των διάφορων παραγώγων θερμοκρασίας.

#### 2.1 Εισαγωγή

Απώτερος σκοπός της παρούσας έρευνας, καθώς επίσης και όλων όσων έχουν προηγηθεί, είναι η εύρεση ενός κατάλληλου μοντέλου πρόβλεψης της θερμοκρασίας, προκειμένου να τιμολογηθούν σωστά τα καιρικά παράγωγα. Ωστόσο, στην πραγματικότητα, η διαδικασία αυτή είναι πολύ δύσκολο να διεκπεραιωθεί. Δεν υπάρχει μέθοδος που έχει θεωρηθεί ως η πλέον κατάλληλη, ώστε να είναι ικανή να προβλέπει τη θερμοκρασία με απόλυτη ακρίβεια και να οδηγεί σε ακριβή τιμολόγηση. Το μεγαλύτερο μέρος της υπάρχουσας ερευνητικής βιβλιογραφίας εμβαθύνει στο θεωρητικό υπόβαθρο των καιρικών παραγώγων, με τους ερευνητές να προτείνουν μεθόδους και εργαλεία που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για εντατικότερη έρευνα, χωρίς να προβαίνουν απαραίτητα σε κάποια απόπειρα μοντελοποίησης. Σε αυτό το κεφάλαιο της έρευνας που πραγματοποιείται, θα καταγραφούν κάποιες προτεινόμενες μέθοδοι τιμολόγησης, καθώς και οι απόπειρες κάποιων ερευνητών με τα δεδομένα που χρησιμοποίησαν και τα συμπεράσματα που εξήγαγαν.

## 2.2 Βασικές Μέθοδοι Τιμολόγησης

Από τις πιο πρώιμες μεθόδους που έχουν χρησιμοποιηθεί είναι η αναλογιστική μέθοδος και η μέθοδος HBA και αφορούν στην τιμολόγηση ενός παραγώγου θερμοκρασίας. Οι συγκεκριμένες μέθοδοι δεν απαιτούν ούτε προτείνουν τη μοντελοποίηση της θερμοκρασίας, καθώς στηρίζονται και οι δύο στο παρελθόν και στον τρόπο εκτέλεσης που ακολουθήθηκε τα προηγούμενα χρόνια. Δηλαδή, η αποπληρωμή του παραγώγου στο σήμερα είναι η μέση προεξοφλημένη απόδοση του εκάστοτε παραγώγου στο παρελθόν. Αυτές οι μέθοδοι πραγματεύονται την τιμολόγηση ενός παραγώγου και όχι του δείκτη. Θα μπορούσε κανείς να επιθυμεί να μοντελοποιήσει κατευθείαν ολόκληρο το δείκτη, όπως για παράδειγμα στην περίπτωση του δείκτη βαθμομερών ψύξης. Σε αυτήν όμως την περίπτωση, κάθε δείκτης απαιτεί διαφορετική μοντελοποίηση και στην υπάρχουσα βιβλιογραφία λίγοι ερευνητές εκτιμούν τη μοντελοποίηση του δείκτη ως την καταλληλότερη, Davis (2001), Dorfleitner & Wimmer (2010), Geman & Leonardi (2005), Jewson et al. (2005).

Οι περισσότεροι ερευνητές προτείνουν τη μοντελοποίηση της δυναμικής της θερμοκρασίας, η οποία επιτυγχάνεται με τη χρήση μοντέλων με βάση τις ημερήσιες θερμοκρασίες. Στην περίπτωση μοντελοποίησης του δείκτη, η διαδικασία που ακολουθείται είναι κυρίως κανονική ή λογαριθμική και ένα κομμάτι της πληροφορίας χάνεται και δεν αξιοποιείται επαρκώς. Από την άλλη πλευρά, αν και δύσκολη διαδικασία, η μοντελοποίηση της ημερήσιας θερμοκρασίας εξασφαλίζει ακριβέστερα αποτελέσματα, Jewson et al. (2005). Η εξασφάλιση ενός μοντέλου ικανού να διαχειρίζεται την καθημερινή πληροφορία για τη θερμοκρασία και να επιστρέφει τη σωστή πρόβλεψη που θα οδηγεί με τη σειρά της σε ακριβή τιμολόγηση δεν είναι απλή υπόθεση. Ωστόσο, η χρηστικότητα και ο αντίκτυπος που θα έχει υπέρ των χρηστών των παραγώγων είναι τεράστια.

Το μεγάλο πρόβλημα που καλούνται οι ερευνητές να αντιμετωπίσουν είναι η εποχικότητα της θερμοκρασίας σε όλες τις εκφάνσεις. Για τη μοντελοποίηση της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας η βιβλιογραφία προτείνει δύο τρόπους: τη χρήση μιας διακριτής και τη χρήση μιας συνεχούς διαδικασίας. Ερευνητές όπως ο Moreno (2000) τάσσονται υπέρ της διακριτής μεθόδου, καθώς η θερμοκρασία ως μεταβλητή στη διάρκεια της ημέρας λαμβάνει διακριτές τιμές και άρα, μια διακριτή διαδικασία θα εξυπηρετούσε καλύτερα. Επιπλέον, ερευνητές όπως οι Caballero & Jewson (2002),

Caballero et al. (2002), Campbell & Diebold (2005), Cao et al. (2004b), Cao & Wei (1999), (2000), (2003), (2004), Carmona (1999), Franses et al. (2001), Jewson & Caballero (2003a), (2003b), Moreno (2000), Roustant et al. (2003a), (2003b), Svec & Stevenson (2007), Taylor & Buizza (2002), (2004), Tol (1996) προτείνουν τη χρήση ενός μοντέλου ARMA, δηλαδή εξαρτούν σε κάποιο βαθμό υστερήσεων τη θερμοκρασία με το παρελθόν. Τέλος, οι ερευνητές Alaton et al. (2002), Bellini (2005), Benth (2003), Benth & Saltyte-Benth (2005), (2007), Benth et al. (2007), (2008), Bhowan (2003), Brody et al. (2002), Dischel (1998a), (1998b), (1999), Dornier & Queruel (2000), Geman & Leonardi (2005), Hamisultane (2006a), (2006b), (2007), (2008), McIntyre & Doherty (1999), Oetomo & Stevenson (2005), Richards et al. (2004), Schiller et al. (2008), Torro et al. (2003), Yoo (2003), Ζαπράνης & Αλεξανδρίδης (2006), (2007), (2008), (2009a), (2009b) εν αντιθέσει με τους προαναφερθέντες, προτείνουν μια στοχαστική διαφορική εξίσωση διάχυσης της θερμοκρασίας.

Η χρήση μιας συνεχούς διαδικασίας χρησιμοποιεί μια μορφή αντιστροφής του μέσου όρου, η οποία στο τέλος πρέπει να διακριτοποιηθεί, προκειμένου να υπολογιστούν οι ζητούμενες παράμετροι. Στις τιμολογήσεις των καιρικών παραγώγων γενικά δεν υπάρχουν λύσεις κλειστής μορφής. Το πρόβλημα σε μια τέτοια περίπτωση επιλύουν οι προσεγγίσεις Monte – Carlo, στις οποίες έχουν προσφύγει πολλοί ερευνητές. Οι προσομοιώσεις αυτές υπαγορεύουν τη δημιουργία μιας πληθώρας υποθετικών σεναρίων των καιρικών δεικτών για τον προσδιορισμό όλων των πιθανών απολαβών του καιρικού παραγώγου. Η τελική αποπληρωμή θα προκύπτει με κατάλληλο τρόπο ως ο μέσος όρος όλων των πιθανών τελικών κερδών που έχουν προσδιοριστεί. Η μέθοδος χρήζει ευρείας χρήσης, με την προϋπόθεση ότι επιλέγεται η περίοδος ανασκόπησης των διαθέσιμων καιρικών δεδομένων.

### **2.3 Ερευνητικά Συμπεράσματα**

Το αντικείμενο της τιμολόγησης των καιρικών παραγώγων έχει προσελκύσει κατά καιρούς την επιστημονική κοινότητα, με κάποιους ερευνητές να προχωρούν στη χρήση κάποιων μοντέλων και στην εξαγωγή κάποιων χρήσιμων συμπερασμάτων. Σε μία



αρκετά εισαγωγική απόπειρα, ο Considine προτείνει τη χρήση μιας κατανομής πιθανοτήτων προσαρμοσμένη σε ένα σύνολο ιστορικών δεδομένων που θα αφορούν ολόκληρο το δείκτη των HDDs και CDDs, ενσωματώνοντας την τιμή του δικαιώματος προαίρεσης. Σε δεύτερο χρόνο, προτείνει τη χρήση του γκαουσιανού μοντέλου για τα μεμονωμένα δικαιώματα. Επισημαίνει επίσης, ότι ο μέσος όρος και η τυπική απόκλιση της θερμοκρασίας εξελίσσονται με το πέρασ του χρόνου, καθώς το κλίμα δεν παραμένει στάσιμο.

Το 2000, οι Dornier και Querel χρησιμοποίησαν διαχύσεις  $It\hat{\delta}$  με μέση αναστροφή βασισμένη σε μια τυπική κίνηση Brown για να μοντελοποιήσουν τα δεδομένα θερμοκρασίας στο Σικάγο. Το 2002, οι Alaton, Djehiche και Stillberger ερεύνησαν το θέμα της μοντελοποίησης της θερμοκρασίας για τα δεδομένα του αεροδρομίου Bromma στη Στοκχόλμη. Παρατήρησαν ότι στη διάρκεια σαράντα ετών η θερμοκρασία εμφανίζει έντονη εποχιακή διακύμανση, καθώς και μια αυξητική τάση στη γενική της συμπεριφορά, εξαιτίας της υπερθέρμανσης του πλανήτη, την οποία και φρόντισαν να συμπεριλάβουν στο νετερμινιστικό τους μοντέλο. Στο πέρασ της έρευνάς τους έκριναν ως κατάλληλες τη στοχαστική διαδικασία η οποία θα επιλύει τη διαφορική εξίσωση  $dT_t = a(T_t^m - T_t)dt + \sigma_t dW_t$ , δηλαδή μια διαδικασία "Ornstein – Uhlenbeck" με μηνιαία διακύμανση και τις προσομοιώσεις Monte – Carlo.

Οι Diebold και Campbell το 2002 και οι Cao και Wei το 2003 προτείνουν διακριτές διαδικασίες. Επιπλέον, το 2003 οι Cao και Wei σημειώνουν ότι η θερμοκρασία έχει τρία βασικά χαρακτηριστικά. Αρχικά, έχει δύο συνιστώσες, με την πρώτη να είναι ένα εποχιακό μοτίβο αθροισμένο με μία τάση υπερθέρμανσης και τη δεύτερη να είναι μια τυχαία καινοτομία. Ακόμη, η καινοτομία αυτή σχετίζεται σειριακά και τέλος η τυπική απόκλιση που παρατηρήθηκε είναι υψηλότερη το χειμώνα και χαμηλότερη το καλοκαίρι, ενώ συγχρόνως καταγράφεται από μια συνάρτηση ημιτονοειδούς κύματος. Προτείνουν μια διμεταβλητή διεργασία σειριακής συσχέτισης για τη θερμοκρασία και τη συνολική παραγωγή και τέλος διαπιστώνουν ότι η αγοραία τιμή του κινδύνου επηρεάζει τις αξίες των δικαιωμάτων προαίρεσης πολύ περισσότερο από τις προθεσμιακές τιμές, εξαιτίας της έλλειψης γραμμικότητας των αποδόσεων των δικαιωμάτων αυτών.

Το 2005 ο Campbell διεξάγει μια εκτεταμένη έρευνα για δεδομένα θερμοκρασίας σε διάφορες πόλεις των ΗΠΑ. Σε πρώτη φάση, εντοπίζει στον πυρήνα του προβλήματος

την απρόβλεπτη συνιστώσα των καιρικών διακυμάνσεων, δηλαδή τον καιρικό θόρυβο, και επισημαίνει ότι δεν μπορούν να εφαρμοστούν συνθήκες arbitrage στα καιρικά παράγωγα. Για τον Campbell ο μόνος τρόπος να υπάρξει αξιόπιστη τιμολόγηση των δικαιωμάτων προαίρεσης είναι μέσω της πρόβλεψης της υποκείμενης μεταβλητής. Επιπροσθέτως, τονίζει την αξία της πλήρους πρόβλεψης πυκνότητας έναντι της σημειακής, ιδανικά για ορίζοντες πολύ μεγαλύτερους από αυτούς που τονίζουν οι μετεωρολόγοι, προκειμένου να τιμολογούνται με μεγαλύτερη ακρίβεια παράγωγα με ημερομηνία λήξης στο μακροπρόθεσμο μέλλον. Καταλήγει στο συμπέρασμα ότι η βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη είναι και η καλύτερη είτε μας ενδιαφέρει το προσεχές είτε το μακρινό μέλλον, μολονότι αυτό δεν είναι προφανές. Όσον αφορά τη μοντελοποίηση της θερμοκρασίας, παρατηρεί ότι δημιουργείται ένα εποχιακό μοτίβο, το οποίο συμφωνεί με τη διαίσθηση ότι η εξέλιξη των διάφορων εποχών είναι μια σταδιακή και όχι μια ασυνεχής διαδικασία και ταυτόχρονα, προτείνει την εκτιμώμενη υπό όρους συνάρτηση διακύμανσης που ορίζεται ως εξής:

$$\sigma_t^2 = \sum_{q=1}^Q \left( \gamma_{c,q} \cos \left( 2\pi q \frac{d(t)}{365} \right) \gamma_{s,q} \sin \left( 2\pi q \frac{d(t)}{365} \right) \right) + \sum_{r=1}^R a_r (\sigma_{t-r} \varepsilon_{t-r})^2 + \sum_{s=1}^S \beta_s \sigma_{t-s}^2$$

Η εκτιμώμενη συνάρτηση συνίσταται από ένα τμήμα Fourier χαμηλής τάξης, το οποίο συλλαμβάνει επαρκώς όλη την εποχικότητα της μεταβλητότητας και από ένα τμήμα GARCH που συλλαμβάνει την υπόλοιπη μη εποχιακή εμμονή της μεταβλητότητας.

Το 2007 ο Benth γενικεύει την προσέγγιση των Dornier και Querel, χρησιμοποιώντας συνεχή αυτοπαλίνδρομα μοντέλα για την ανάλυση των δεδομένων θερμοκρασίας στη Στοκχόλμη. Οι Härdle και Cabrera εφάρμοσαν και αυτοί το 2009 αυτοπαλίνδρομα μοντέλα σε δεδομένα θερμοκρασίας που συλλέξανε από το Βερολίνο, θεωρώντας μη μηδενική την αγοραία τιμή του κινδύνου.

Την ίδια χρονιά οι Ζαπράνης και Αλεξανδρίδης χρησιμοποιούν νευρωνικά δίκτυα με σκοπό τη μοντελοποίηση της εποχιακής συνιστώσας της υπολειμματικής διακύμανσης μιας διαδικασίας θερμοκρασίας Ornstein – Uhlenbeck με μέση αναστροφή και με εποχικότητα στο επίπεδο και της μεταβλητότητας. Χρησιμοποιούν επίσης, ανάλυση κυματιδίων για να προσδιορίσουν την εποχιακή συνιστώσα στη διαδικασία θερμοκρασίας και τη μεταβλητότητα των ανωμαλιών της θερμοκρασίας. Σκοπός αυτής

της προσέγγισης είναι να αφαιρεθεί από τη σειρά θερμοκρασιών η (πιθανή) τάση και ο μη στάσιμος εποχιακός κύκλος, με την προσδοκία ότι αυτό που θα μείνει θα είναι στάσιμο. Όπως υποστηρίζουν, αυτό συνήθως επιτυγχάνεται με τη μοντελοποίηση των εποχιακών διακυμάνσεων ως ντετερμινιστικών. Για τη μοντελοποίηση γενικά του εποχιακού κύκλου προτείνουν τρεις βασικές προσεγγίσεις: αυτή του μέσου όρου, αυτή του διακριτού μετασχηματισμού Fourier και τέλος τη μέθοδο της παλινδρόμησης. Το μοντέλο που κατασκευάζουν γίνεται με τη χρήση νευρωνικών δικτύων, επικυρώνεται για δεδομένα άνω των εκατό χρόνων που συλλέχθηκαν από το Παρίσι και τα αποτελέσματά του αντανακλούν μια σημαντική βελτίωση σε σχέση με τα αποτελέσματα των παραδοσιακών μεθόδων. Η διαδικασία θερμοκρασίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί και στο πλαίσιο των προσομοιώσεων Monte Carlo για την τιμολόγηση των παραγώγων καιρού.

## 2.4 Ερευνητική Προσέγγιση Εργασίας

Στην παρούσα έρευνα θα αποπειραθούμε να κατασκευάσουμε ένα μοντέλο πρόβλεψης της θερμοκρασίας με νευρωνικά δίκτυα. Στον όρο «νευρωνικά δίκτυα» αποδίδονται τα κυκλώματα διασυνδεδεμένων νευρώνων. Στην περίπτωση των βιολογικών νευρώνων, πρόκειται για ένα τμήμα νευρικού ιστού. Στην περίπτωση των τεχνητών νευρώνων, πρόκειται για ένα αφηρημένο αλγοριθμικό κατασκεύασμα το οποίο εμπίπτει στον τομέα της υπολογιστικής νοημοσύνης. Τα νευρωνικά δίκτυα «αντιγράφουν» τη φιλοσοφία της λειτουργίας του ανθρώπινου εγκεφάλου, ο οποίος λαμβάνει συγχρόνως πολλαπλά και διαφορετικά μεταξύ τους ερεθίσματα, τα επεξεργάζεται ταυτόχρονα και εξάγει πολλαπλά και διαφορετικά αποτελέσματα, τα οποία στην πορεία συναντούν καινούργια ερεθίσματα και η διαδικασία επαναλαμβάνεται. Υπάρχουν πολλαπλοί τύποι νευρωνικών δικτύων που εξυπηρετούν, ανάλογα με τη φύση της υπό επεξεργασία μεταβλητής. Εν προκειμένω, καθώς η θερμοκρασία είναι στην πραγματικότητα μια χρονοσειρά, θα χρησιμοποιήσουμε τα νευρωνικά δίκτυα "Long Short Term Memory (LSTM)". Πρόκειται για μια τροποποιημένη έκδοση των επαναλαμβανόμενων νευρωνικών δικτύων, που διευκολύνει την απομνημόνευση προηγούμενων δεδομένων στη μνήμη.

## Κεφάλαιο 3

### Θερμοκρασία

#### 3.1 Ορισμός

Ο απώτερος σκοπός της υπό μελέτης εργασίας αφορά στην εύρεση ενός κατάλληλου μοντέλου τιμολόγησης των καιρικών παραγώγων με πληρωμές που εξαρτώνται από τη θερμοκρασία. Προκειμένου να διεκπεραιωθεί ο σκοπός αυτός, πρέπει να ορίσουμε ένα μοντέλο με ικανή προβλεπτική ικανότητα της θερμοκρασίας αυτής καθαυτής. Καταρχάς, πρέπει να ορίσουμε τη θερμοκρασία. Κάθε μέρα σε ένα συγκεκριμένο μετεωρολογικό σταθμό καταγράφονται όλες οι θερμοκρασίες που σημειώνονται μέσα στη μέρα. Έστω ότι για την ημέρα  $i$  καταγράφεται η μέγιστη θερμοκρασία της και η ελάχιστη, τις οποίες συμβολίζουμε με  $T_i^{max}$  και  $T_i^{min}$  αντίστοιχα. Ορίζουμε τη μέση ημερήσια θερμοκρασία της  $i$  ημέρας ως το μέσο όρο των δύο αυτών θερμοκρασιών, δηλαδή:

$$T_i \equiv \frac{T_i^{max} + T_i^{min}}{2}$$

#### 3.2 Βαθμομέρες Θέρμανσης και Ψύξης

Για την ημέρα  $i$  με μέση ημερήσια θερμοκρασία  $T_i$  ορίζονται οι βαθμομέρες θέρμανσης και ψύξης ως εξής:

$$HDD_i \equiv \max\{65^\circ F - T_i, 0\}$$

και

$$CDD_i \equiv \min\{T_i - 65^\circ F, 0\}$$

Σύμφωνα με τους άνωθεν ορισμούς τόσο οι βαθμοημέρες θέρμανσης (HDDs) όσο και οι βαθμοημέρες ψύξης (CDDs) ουσιαστικά είναι απλώς εκείνος ο αριθμός των βαθμών που η θερμοκρασία αποκλίνει από ένα συγκεκριμένο επίπεδο αναφοράς. Πρακτικά, οι δύο έννοιες εκφράζουν πόσους βαθμούς θα χρειαζόταν κανείς, προκειμένου να βρίσκεται ακριβώς στο επίπεδο αναφοράς. Οι βαθμοημέρες θέρμανσης αφορούν στη χειμερινή περίοδο, ενώ οι βαθμοημέρες ψύξης αφορούν στη θερινή περίοδο. Σε μια ημέρα αντιστοιχεί ένας αριθμός και βαθμοημέρων θέρμανσης και βαθμοημέρων ψύξης. Παραδείγματος χάριν, έστω μια μέρα του Δεκεμβρίου, στην οποία η μέση ημερήσια θερμοκρασία είναι  $45^{\circ}F$ . Οι βαθμοημέρες θέρμανσης σύμφωνα με τον παραπάνω ορισμό είναι η μέγιστη τιμή μεταξύ της διαφοράς από το επίπεδο αναφοράς και του μηδέν, δηλαδή εν προκειμένω  $20^{\circ}F$ . Αυτό σημαίνει ότι η θερμοκρασία της συγκεκριμένης μέρα είναι  $20^{\circ}F$  κάτω από το επίπεδο αναφοράς ή, εναλλακτικά, κάποιος/α χρειάζεται επιπλέον  $20^{\circ}F$  και θα φτάσει το επίπεδο αναφοράς. Αντίστοιχα, για την ίδια ημέρα οι βαθμοημέρες ψύξης είναι μηδέν. Δεν προκαλεί εντύπωση, αν αναλογιστεί κανείς ότι το χειμώνα έχουμε ανάγκη από επιπλέον θέρμανση και όχι από επιπλέον ψύξη. Εξαιτίας του τρόπου με τον οποίο έχουν οριστεί οι δύο έννοιες, δεν λαμβάνουν ποτέ αρνητικές τιμές.

Το επίπεδο αναφοράς είναι το ίδιο παγκοσμίως, απλώς εκφράζεται σε διαφορετική κλίμακα μέτρησης. Στην Ευρώπη το επίπεδο αναφοράς έχει καθιερωθεί ως  $18^{\circ}C$ . Οι ονομασίες των δύο εννοιών προέρχονται από τον ενεργειακό τομέα των ΗΠΑ. Ο λόγος που έχουν επιλεγεί τα συγκεκριμένα επίπεδα αναφοράς οφείλεται στο γεγονός ότι οι άνθρωποι τείνουν να χρησιμοποιούν περισσότερη ενέργεια με σκοπό να θερμάνουν τα σπίτια τους, όταν η θερμοκρασία είναι μικρότερη από τους  $65^{\circ}F$  και αντίστοιχα, τείνουν να χρησιμοποιούν περισσότερη ενέργεια με σκοπό να τα ψύξουν, όταν η θερμοκρασία υπερβαίνει τους  $65^{\circ}F$ , Alaton (2002). Μια μεγάλη μερίδα των παραγώγων καιρού με υποκείμενη μεταβλητή τη θερμοκρασία βασίζεται στη συσσώρευση των βαθμοημέρων θέρμανσης ή ψύξης κατά της διάρκεια μιας συγκεκριμένης περιόδου. Γενικά, η περίοδος των HDDs περιλαμβάνει τους χειμερινούς μήνες από το Νοέμβριο έως και το Μάρτιο και η αντίστοιχη περίοδος των CDDs περιλαμβάνει τους καλοκαιρινούς μήνες από το Μάιο έως και το Σεπτέμβριο. Ο Απρίλιος και ο Οκτώβριος αναφέρονται ως ενδιάμεσοι μήνες. Ένα συμβόλαιο γενικά, εκτός από ολόκληρη τη χειμερινή ή την καλοκαιρινή περίοδο μπορεί και να είναι γραμμένο μόνο για έναν ημερολογιακό μήνα.

### 3.3 Τα Συμβόλαια στο CME

Στο Chicago Mercantile Exchange προσφέρεται η δυνατότητα συναλλαγών με συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης, τα οποία είναι γραμμένα πάνω στο δείκτη της θερμοκρασίας. Πρόκειται για το δείκτη Degree Day Index, ο οποίος είναι το σωρευτικό άθροισμα των βαθμοημέρων θέρμανσης ή ψύξης της αναγραφόμενης περιόδου. Τα συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης του δείκτη HDD ή CDD είναι συμφωνίες που υποχρεώνουν τον/την κάτοχο να προβεί στην αγορά ή στην πώληση του εκάστοτε δείκτη σε συγκεκριμένη μελλοντική ημερομηνία. Τα συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης διακανονίζονται με μετρητά, γεγονός που συνεπάγεται καθημερινή αποτίμηση της αγοράς με βάση το δείκτη, το κέρδος ή τη ζημία που σημειώνεται στο λογαριασμό του πελάτη, Alaton (2002). Η ονομαστική αξία του συμβολαίου ορίζεται ως ένα ποσό επί των συνολικών βαθμοημέρων είτε θέρμανσης είτε ψύξης. Για παράδειγμα, έστω η περίοδος ενός μήνα που αποτελείται από τριάντα μία ημέρες. Υποθέτουμε ότι η μέση ημερήσια θερμοκρασία είναι  $45^{\circ}F$  για κάθε μέρα. Τότε, οι σωρευτικές βαθμοημέρες θέρμανσης ( $45^{\circ}F < 65^{\circ}F$ ) είναι ίσες με:

$$HDDs = 31 * HDD = 31 * \max\{65^{\circ}F - 45^{\circ}F, 0\} = 31 * 20 = 620$$

Συνεπώς, αν για κάθε βαθμοημέρα θέρμανσης που θα καταγραφεί στο σωρευτικό άθροισμα του δείκτη στο τέλος του μήνα έχει οριστεί αξία \$20, τότε η ονομαστική αξία ολόκληρου του δείκτη για το συγκεκριμένο μήνα είναι ίση με το γινόμενο:

$$20 * 620 = \$12.400, \text{ CME (2016).}$$

### 3.4 Δικαιώματα Προαίρεσης

Στην εξωχρηματιστηριακή αγορά, η οποία έχει αναπτυχθεί αρκετά τα τελευταία χρόνια, διαπραγματεύονται καιρικά παράγωγα, όπως τα δικαιώματα προαίρεσης. Υπάρχουν δύο τύποι δικαιωμάτων προαίρεσης: το δικαίωμα αγοράς και το δικαίωμα πώλησης. Λειτουργούν με αρκετά συναφή τρόπο σε σχέση με τα κλασσικά δικαιώματα. Ο/Η κάτοχος του δικαιώματος, προβαίνοντας στην αγορά του δικαιώματος, αγοράζει το δικαίωμα και όχι την υποχρέωση να αναλάβει την ευθύνη που ορίζει η σύμβαση. Συνεπώς, επιλέγει εκείνος/η, αν επιθυμεί ή όχι να ασκήσει το

δικαίωμα. Με την απόκτηση του δικαιώματος, δηλαδή με την αγορά, ο αγοραστής καταβάλλει στον πωλητή ένα ασφάλιστρο (premium) στην αρχή της σύμβασης. Σε αντάλλαγμα, εάν λόγω χάριν ο αριθμός των βαθμοημέρων θέρμανσης για μια προκαθορισμένη περίοδο υπερβεί το ορισμένο επίπεδο άσκησης (strike level), δηλαδή αν η θερμοκρασίες που σημειώνονται είναι εξαιρετικά χαμηλές, ο αγοραστής τότε λαμβάνει μια πληρωμή.

Η πληρωμή αυτή ορίζεται με βάση συμφωνημένο επίπεδο και το μέγεθος του tick. Με τον όρο tick ορίζεται το χρηματικό ποσό που θα λάβει ο/η κάτοχος του δικαιώματος για κάθε μία βαθμοημέρα που σημειώνεται πάνω από το επίπεδο άσκησης για τη συμφωνημένη περίοδο. Προκειμένου να ορίσουμε τον τύπο που θα αποδίδει τις πληρωμές, δηλώνουμε ως  $K$  το επίπεδο άσκησης και ως  $a$  το μέγεθος του tick. Για μια περίοδο  $n$  ημερών, το σωρευτικό άθροισμα των βαθμοημέρων θέρμανσης και ψύξης αντίστοιχα ορίζονται ως:

$$H_n = \sum_{i=1}^n HDD_i$$

και

$$C_n = \sum_{i=1}^n CDD_i$$

Ο/Η κάτοχος του δικαιώματος λαμβάνει πληρωμή μόνο για τις βαθμοημέρες που υπερβαίνουν το συμφωνηθέν όριο, επομένως, η συνολική αποπληρωμή των δικαιωμάτων προαίρεσης ισούται με:

$$P = a * \max\{H_n - K, 0\} \quad \text{ή} \quad P = a * \max\{C_n - K, 0\}$$

Εν αντιθέσει με τα κλασσικά δικαιώματα, τα δικαιώματα προαίρεσης έχουν συνήθως ένα ανώτατο όριο στην πληρωμή.

### 3.5 Συμφωνίες Ανταλλαγής

Μια συμφωνία ανταλλαγής (swap) αποτελεί μία σύμβαση στην οποία συνυπογράφουν δύο μέρη και συμφωνούν να ανταλλάξουν μεταξύ τους τους κινδύνους που καλούνται να διαχειριστούν για τη διάρκεια μιας προκαθορισμένης περιόδου. Ως επί το πλείστο, στις συμφωνίες ανταλλαγής οι δύο μεριές πραγματοποιούν πληρωμές εκατέρωθεν, όπου η μία πλευρά καταβάλλει μια σταθερή τιμή και η άλλη πλευρά καταβάλλει μια κυμαινόμενη τιμή. Όσον αφορά τις καιρικές ανταλλαγές, υπάρχει μόνο μία ημερομηνία στην οποία μπορούν οι δύο πλευρές να συναλλαχθούν, εν αντιθέσει με τις παραδοσιακές συμφωνίες ανταλλαγής επιτοκίων που παρέχονται διάφορες ημερομηνίες ανταλλαγής για τις δύο πλευρές. Συχνά οι περίοδοι των συμβάσεων αυτών είναι ένας ημερολογιακός μήνας ή και περισσότεροι, π.χ. από τον Ιανουάριο έως το Μάρτιο. Σε μια τυπική ανταλλαγή, τα μέρη συμφωνούν σε μια συγκεκριμένη ποσότητα προς ένα προκαθορισμένο ποσό πληρωμής μακριά από μία συγκεκριμένη προσυμφωνημένη τιμή. Στις περισσότερες περιπτώσεις ορίζεται μια μέγιστη αποπληρωμή που αντιστοιχεί στις διακόσιες βαθμοημέρες.

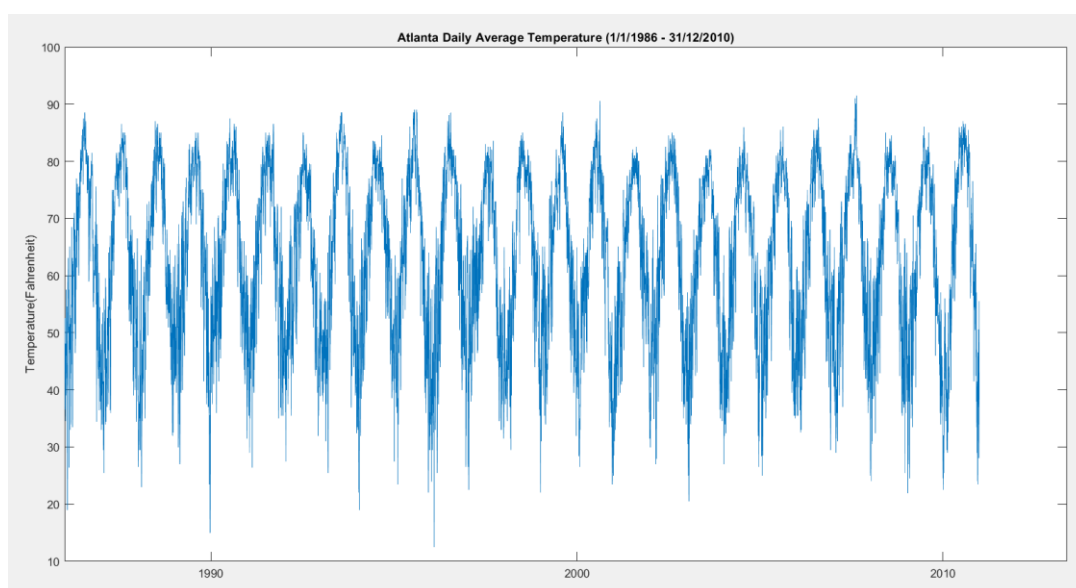


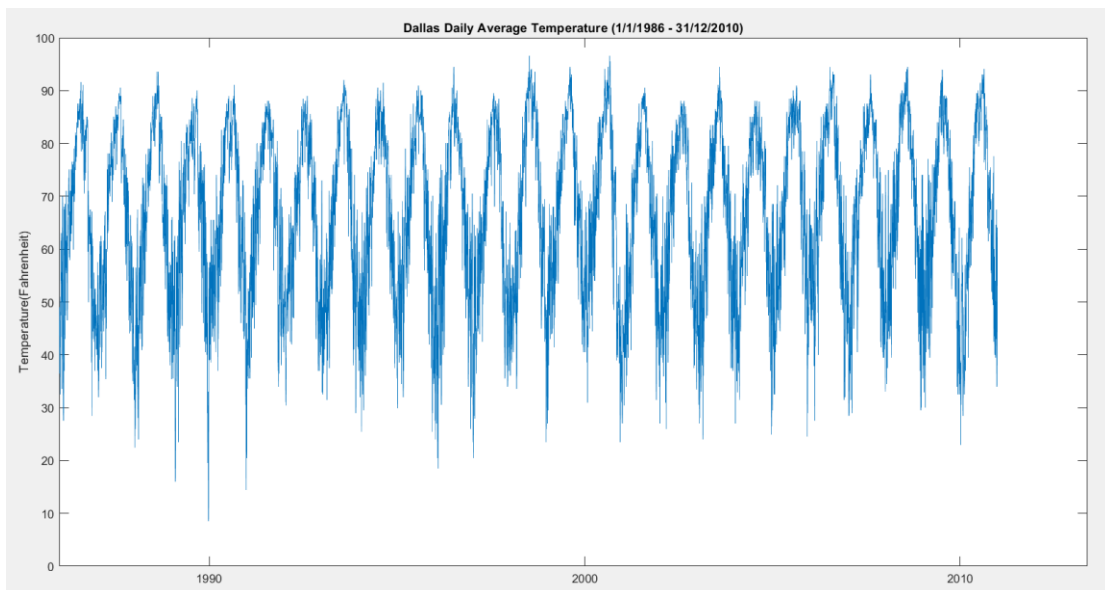
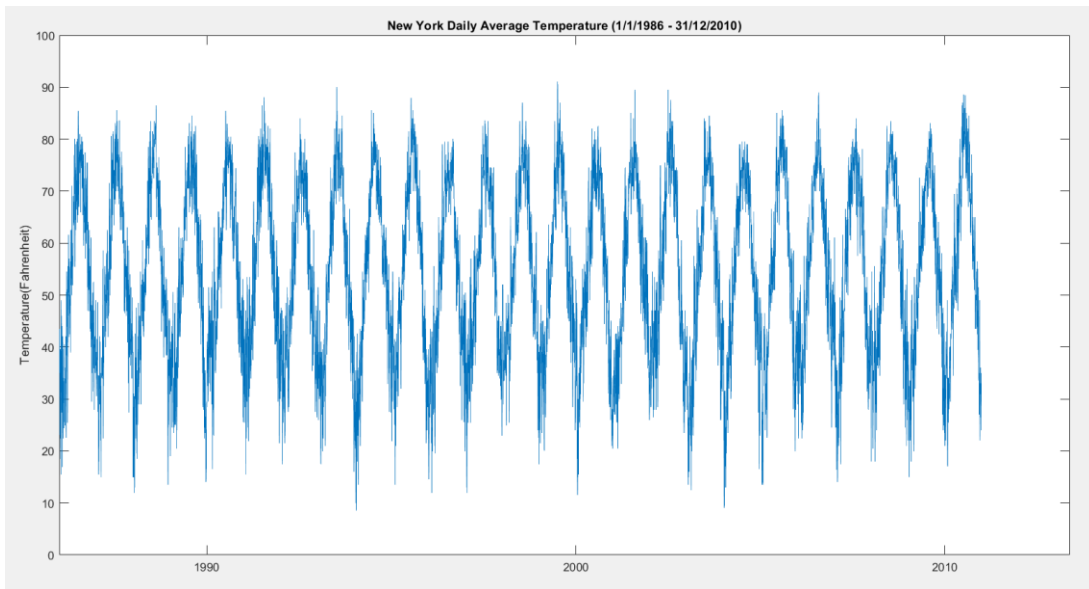
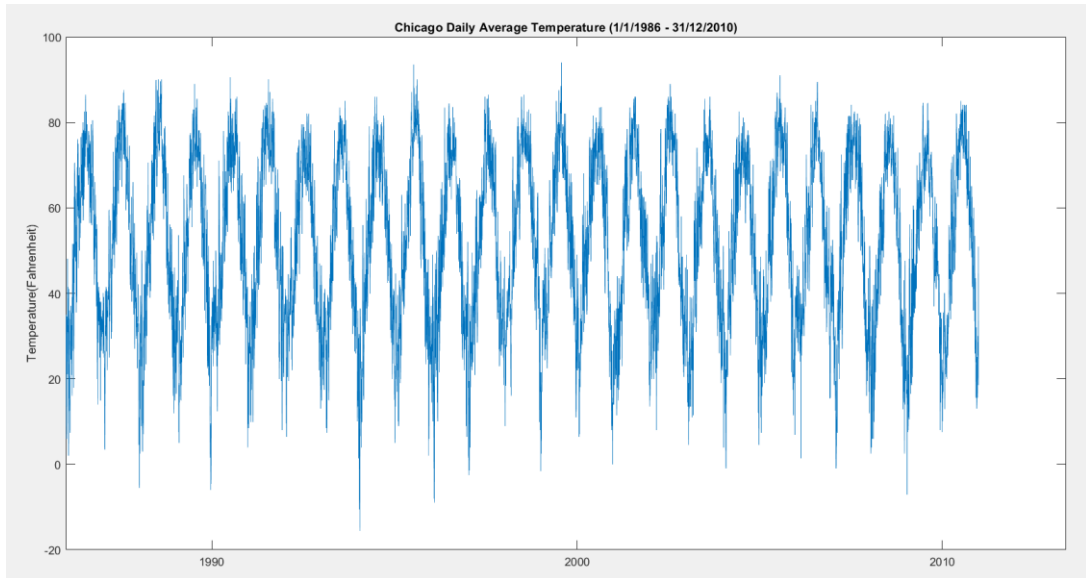
## Κεφάλαιο 4

### Μοντελοποίηση της Θερμοκρασίας

#### 4.1 Εισαγωγή

Έχοντας ορίσει τη βασική μας μεταβλητή, τη θερμοκρασία, θα αποπειραθούμε στο παρόν κεφάλαιο να κατασκευάσουμε ένα μοντέλο για την πρόβλεψή της. Καθώς ο τελικός σκοπός μας είναι η τιμολόγηση των παραγώγων αυτής, θα μας εξυπηρετήσει να γνωρίζουμε σε γενικά πλαίσια πώς συμπεριφέρεται η διαδικασία της θερμοκρασίας. Ξεκινάμε την όλη απόπειρα, έχοντας μια βάση δεδομένων με θερμοκρασίες είκοσι πέντε ετών για τέσσερις πόλεις των ΗΠΑ: την Ατλάντα, το Σικάγο, τη Νέα Υόρκη και το Ντάλλας. Η βάση δεδομένων για έκαστην πόλη συνίσταται από τις μέσες ημερήσιες θερμοκρασίες, οι οποίες έχουν υπολογισθεί σύμφωνα με τον τρόπο που ορίστηκε η μέση ημερήσια θερμοκρασία στο κεφάλαιο 3. Τα δεδομένα έχουν καταγραφεί στα βασικά αεροδρόμια των τεσσάρων πόλεων και είναι εγκεκριμένα από τον οργανισμό «National Centers for Environmental Information (NCEI)». Τα δεδομένα αφορούν στα έτη από το 1986 έως και το 2010. Κάτωθεν στο σχήμα 1 απεικονίζονται στα διαγράμματα οι μέσες ημερήσιες θερμοκρασίες των σαράντα αυτών ετών για κάθε πόλη ξεχωριστά.





Σχήμα 1 : Οι μέσες ημερήσιες θερμοκρασίες για κάθε πόλη στη διάρκεια των 25 ετών

## 4.2 Η Μέση Θερμοκρασία

Παρατηρώντας τα τέσσερα διαγράμματα, μπορεί κανείς να εντοπίσει έντονη εποχική διακύμανση, ενώ μελετώντας τα προσεκτικά, φαίνεται ότι η διαδικασία της θερμοκρασίας έχει τη μορφή ημιτονοειδούς συνάρτησης. Αυτό φυσικά δεν αποτελεί έκπληξη, καθώς η θερμοκρασία στη διάρκεια του έτους ξεκινάει από πολύ χαμηλές τιμές, τείνει να αυξάνεται σταδιακά έως το πέρας του καλοκαιριού, στη διάρκεια του οποίου λαμβάνει και τις μέγιστες τιμές της, οι οποίες δεν υπερβαίνουν κάποια τιμή, έπειτα από την οποία ξεκινάει πάλι να φθίνει, μέχρι να ολοκληρωθεί το έτος, όπου λαμβάνει πάλι χαμηλές τιμές και η διαδικασία ουσιαστικά θα επαναληφθεί την επόμενη χρονιά. Με έναν εξαιρετικά παρόμοιο τρόπο λειτουργεί η συνάρτηση του ημιτόνου, η οποία ως φραγμένη επιστρέφει τιμές μεταξύ ενός συγκεκριμένου διαστήματος. Επιπροσθέτως, η θερμοκρασία φαίνεται να λαμβάνει κάποιες ακραίες τιμές, οι οποίες σημειώνονται στη διάρκεια του χειμώνα και στη διάρκεια του καλοκαιριού. Εντούτοις, τείνει σε κάθε περίπτωση να επιστρέφει κοντά σε κάποια συγκεκριμένη τιμή, δηλαδή δεν μπορεί να ξεπεράσει κάποια συγκεκριμένα όρια. Και στις τέσσερις πόλεις σημειώνεται ακριβώς το ίδιο πράγμα. Συνεπώς, η συνάρτηση αυτή θα είχε τη μορφή

$$\sin(\omega t + \varphi),$$

όπου η μεταβλητή  $t$  μετράει το χρόνο. Στη διαδικασία που ακολουθούμε μετράμε το χρόνο σε ημέρες, δηλαδή  $t = 1, 2, \dots, 365$ , αγνοώντας τα δίσεκτα έτη. Γνωρίζουμε επίσης ότι η περίοδος ενός έτους είναι 365 ημέρες, οπότε  $\omega = \frac{2\pi}{365}$ . Τέλος, παρότι προσμένουμε συνήθως τις ετήσιες ελάχιστες και μέγιστες θερμοκρασίες από 1<sup>η</sup> έως την 4<sup>η</sup> Ιανουαρίου και από την 1<sup>η</sup> έως την 4<sup>η</sup> Ιουλίου αντίστοιχα, αυτό δε συμβαίνει πάντα εντός αυτών των διαστημάτων. Έτσι, εισάγουμε στη συνάρτηση μια γωνία φάσης  $\varphi$ .

Μια πιο προσεκτική εξέταση των διαγραμμάτων προκαλεί ενδιαφέρον, καθώς αποκαλύπτει την ύπαρξη μιας θετικής τάσης στα δεδομένα της θερμοκρασίας. Μολονότι σχετικά αδύναμη, είναι υπαρκτή. Ειδικότερα στην Νέα Υόρκη και στο Ντάλλας, η τάση αυτή είναι ακόμη πιο εμφανής. Η ύπαρξη θετικής τάσης υποδηλώνει

αύξηση της μέσης θερμοκρασίας σε ετήσιο επίπεδο, δηλαδή ολοένα και θερμότεροι χειμώνες και ολοένα και θερμότερα καλοκαίρια. Ίσως η σπουδαιότερη αιτία που προκαλεί αυτήν την τάση είναι η υπερθέρμανση του πλανήτη, η οποία είναι μια πραγματικότητα πια για όλη την υφήλιο. Εκτός όμως από την προφανή αιτία, φαίνεται επιρροή να ασκεί και το «φαινόμενο της αστικής θέρμανσης». Το συγκεκριμένο φαινόμενο σημειώνεται κυρίως σε μεγάλα αστικά κέντρα, όπου υπάρχουν βιομηχανίες, εργοστάσια και φυσικά κυκλοφοριακές συμφορήσεις, παράγοντες οι οποίοι θερμαίνουν επιπλέον το περιβάλλον της πόλης. Το φαινόμενο αυτό επηρεάζει και τις περιοχές που βρίσκονται κοντά στα μεγάλα αστικά κέντρα.

Τη θετική αυτή τάση πρέπει να τη συμπεριλάβουμε στη συνάρτηση της μέσης θερμοκρασίας, αλλά με σύνεση, καθώς υπάρχει, αλλά είναι ασθενής. Ο καταλληλότερος τρόπος να συλληφθεί χωρίς να δημιουργεί προβληματικά αποτελέσματα είναι με τη χρήση μιας γραμμικής συνάρτησης. Άλλωστε, και από τα διαγράμματα φαίνεται η θετική αυτή τάση να σχηματίζει μια ευθεία γραμμή. Θα μπορούσε κανείς να χρησιμοποιήσει και μια πολυωνυμική συνάρτηση, προκειμένου να την εκφράσει, ωστόσο λόγω της ασθενούς επίδρασης που έχει στη συνολική δυναμική της μέσης θερμοκρασίας, εν κατακλείδι θα υπερισχύσει ούτως ή άλλως μόνο ο γραμμικός όρος της πολυωνυμικής συνάρτησης, Alaton (2002).

Συνοψίζοντας τις άνωθεν σκέψεις και παρατηρήσεις, καταλήγουμε σε ένα ντετερμινιστικό μοντέλο της μορφής:

$$T_t^m = A + Bt + C\sin(\omega t + \varphi).$$

### 4.3 Διαδικασία Μοντελοποίησης και Πρόβλεψης

Η παραπάνω εξίσωση φαίνεται να αποδίδει ξεκάθαρα το θεωρητικό υπόβαθρο της υπό μελέτης μεταβλητής και η φιλοσοφία πίσω από τη σύστασή της θα σταθεί αρωγός μας στη διεκπεραίωση της προβλεπτικής διαδικασίας. Στην παρούσα εργασία θα

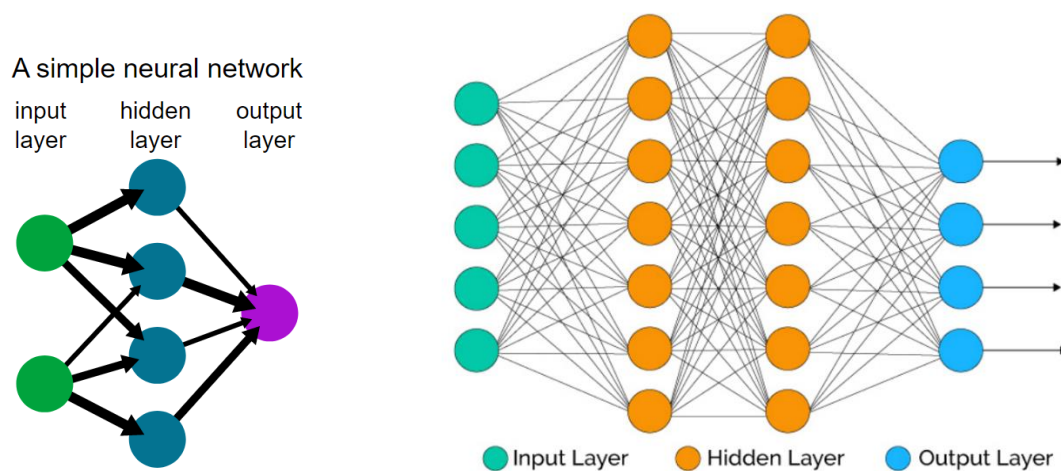
προσπαθήσουμε να μοντελοποιήσουμε τη διαδικασία της θερμοκρασίας με μία εξαιρετικά σύγχρονη και αποδοτική μέθοδο πρόβλεψης, τα νευρωνικά δίκτυα και συγκεκριμένα τα νευρωνικά δίκτυα οπίσθιας διάδοσης, τα οποία είναι κατάλληλα για τη μοντελοποίηση χρονοσειρών.

### 4.3.1 Νευρωνικά Δίκτυα

Στον όρο «νευρωνικά δίκτυα» αποδίδονται τα κυκλώματα διασυνδεδεμένων μονάδων επεξεργασίας, που καλούνται νευρώνες. Στην περίπτωση των βιολογικών νευρώνων, πρόκειται για ένα τμήμα νευρικού ιστού. Στην περίπτωση των τεχνητών νευρώνων, πρόκειται για ένα αφηρημένο αλγοριθμικό κατασκεύασμα το οποίο εμπίπτει στον τομέα της υπολογιστικής νοημοσύνης. Τα νευρωνικά δίκτυα «αντιγράφουν» τη φιλοσοφία της λειτουργίας του ανθρώπινου εγκεφάλου. Ο νευρώνας έχει τη δυνατότητα της απόκρισης στο σύνολο των εισόδων, που αθροίζονται μέσα σε ένα μικρό χρονικό διάστημα. Πρακτικά, έχει την ικανότητα να λαμβάνει συγχρόνως πολλαπλά και διαφορετικά μεταξύ τους ερεθίσματα, να τα επεξεργάζεται ταυτόχρονα και να εξάγει πολλαπλά και διαφορετικά αποτελέσματα, τα οποία στην πορεία προς τον επόμενο νευρώνα συναντούν καινούργια ερεθίσματα και η διαδικασία ουσιαστικά επαναλαμβάνεται.

Η βασική αρχιτεκτονική ενός νευρωνικού δικτύου συνίσταται από τρία βασικά επίπεδα: το επίπεδο εισόδου, τα κρυφά στρώματα και τέλος το επίπεδο εξόδου. Στο επίπεδο εισόδου λαμβάνεται η πληροφορία, η οποία στη συνέχεια επεξεργάζεται στο επόμενο επίπεδο και τέλος εξέρχεται από το επίπεδο εξόδου, προκειμένου να συναντήσει μια άλλη πληροφορία και να προχωρήσει τη διαδρομή της στο δίκτυο. Το επίπεδο των κρυφών στρωμάτων είναι ζωτικής σημασίας, καθώς νευρωνικά δίκτυα χωρίς κρυφά στρώματα χαρακτηρίζονται από σοβαρούς περιορισμούς, ενώ συγχρόνως, το σύνολο των προβλημάτων που μπορούν να επιλύσουν είναι εξαιρετικά συγκεκριμένο, Ζαπράνης (1999). Οι νευρώνες μέσα στο δίκτυο συνδέονται μεταξύ τους, προκειμένου να μεταφέρονται οι πληροφορίες. Η σύνδεσή τους πραγματοποιείται με την αρωγή των βαρών. Πρόκειται για συγκεκριμένες, αποθηκευμένες τιμές οι οποίες ενώνουν δύο κόμβους. Τα βάρη διακρίνονται σε σταθερά και σε προσαρμοστικά. Τα

μεν καθορίζονται εκ των προτέρων και δεν αλλάζουν καθόλου μέχρι το πέρας της διαδικασίας; τα δε ενημερώνονται και αλλάζουν κατά τη διάρκεια της εκπαίδευσης.



Σχήμα 2 : Απλό Νευρωνικό Δίκτυο και Σύνθετο Νευρωνικό Δίκτυο

Ίσως η σπουδαιότερη ιδιότητα των νευρωνικών δικτύων είναι η ικανότητά τους για εκπαίδευση. Η εκπαίδευση επιτυγχάνεται μέσω της ανταλλαγής τιμών και βαρών, μέσω της οποίας συλλαμβάνεται και επεξεργάζεται καλύτερα η πληροφορία. Σε ένα απλό νευρωνικό δίκτυο η διεκπεραίωση της πρόβλεψης δεν είναι ιδιαίτερα απαιτητική. Ωστόσο, για ευνόητους λόγους ένα απλό δίκτυο θα κρίνεται ακατάλληλο, προκειμένου να επιλύσει πολυσύνθετα προβλήματα. Η αξία λοιπόν αυτής της ιδιότητας αντανακλάται στα σύνθετα νευρωνικά δίκτυα, τα οποία συνήθως περιλαμβάνουν πολλά κρυφά στρώματα.

Η εκπαίδευση ενός νευρωνικού δικτύου απαρτίζεται από τρία βασικά στάδια. Η γενική πρακτική του δικτύου προτού ξεκινήσει η διαδικασία, είναι ο διαχωρισμός των δεδομένων επεξεργασίας σε τρία διαφορετικά υποσύνολα, όπου, έκαστο χρησιμοποιείται σε κάθε ένα από τα τρία στάδια. Το πρώτο υποσύνολο πληροφορίας, που είναι συνήθως και το μεγαλύτερο, χρησιμοποιείται στο πρώτο στάδιο, το στάδιο της εκπαίδευσης. Είναι το στάδιο στο οποίο διαμορφώνεται το δίκτυο, καθορίζονται τα βάρη και οι πολώσεις του. Εκεί το δίκτυο επεξεργάζεται τα δεδομένα, προκειμένου να

αντιληφθεί τον τρόπο λειτουργίας τους. Το δεύτερο υποσύνολο δεδομένων, χρησιμοποιείται στο δεύτερο στάδιο, το στάδιο της επικύρωσης. Μολονότι δε θα ήταν η πρώτη σκέψη κάποιου/ας ως ενδιάμεσο στάδιο, το στάδιο της επικύρωσης είναι ζωτικής σημασίας, καθώς σε αυτό το στάδιο, το δίκτυο πραγματοποιεί προβλέψεις για «τον εαυτό του». Δηλαδή, παρακολουθεί την εκπαίδευση, προβλέπει και ελέγχει τα σφάλματα που προκύπτουν, προσπαθώντας στη συνέχεια να τα ελαττώσει. Το τρίτο και τελευταίο υποσύνολο δεδομένων χρησιμοποιείται στο τρίτο και τελευταίο στάδιο, αυτό της πρόβλεψης. Πρόκειται για δεδομένα, που ενώ παρέχονται στο δίκτυο, αυτά αγνοεί, προκειμένου να τα προβλέψει.

Μαζί με την πρόβλεψή του, το δίκτυο επιστρέφει και τα σφάλματα, δηλαδή τις διαφορές των πραγματικών τιμών από τις προβλέψεις αυτών και κάποια βασικά χαρακτηριστικά των προβλέψεων, όπως ο δείκτης  $R$  και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα. Σε περίπτωση που τα αποτελέσματα δεν μας ικανοποιήσουν, μπορούμε να επανεκπαιδεύουμε το δίκτυο και να επαναλάβει τη διαδικασία από την αρχή. Το δίκτυο «θυμάται» τα βάρη που χρησιμοποίησε, οπότε τα αλλάζει, προκειμένου να βρει εκείνα που θα οδηγούν σε μικρότερα σφάλματα. Η διαδικασία μπορεί να επαναληφθεί αρκετές φορές, έως ότου προκύψουν οι καλύτερες δυνατές προβλέψεις. Τα νευρωνικά δίκτυα χρειάζονται μια συνάρτηση ενεργοποίησης. Ως η πλέον κατάλληλη και κυρίως χρησιμοποιούμενη χαρακτηρίζεται η «σιγμοειδής συνάρτηση», δηλαδή η

$$f(x) = \frac{e^x}{e^x + 1} = \frac{1}{1 + e^{-x}}$$

Η σιγμοειδής συνάρτηση πληροί σημαντικές προδιαγραφές ως συνάρτηση, καθώς είναι πραγματική συνάρτηση, συνεχής και φραγμένη, με θετική παράγωγο. Το πεδίο ορισμού της μπορεί θεωρητικά να είναι όλο το σύνολο των πραγματικών αριθμών, αλλά στην πράξη μπορεί να περιοριστεί, θέτοντας όρια στις τιμές των βαρών. Το σύνολο τιμών είναι συνήθως το διάστημα  $[0,1]$  ή  $[-1,1]$ . Ωστόσο, θα μπορούσε κανείς να αναρωτηθεί και εύλογα μάλιστα, κατά πόσο είναι εφικτό να προπονούμε συνεχώς το δίκτυο χωρίς αυτό να «κουράζεται», δηλαδή κατά πόσο είναι εφικτό το δίκτυο να διατηρεί την προβλεπτική του ικανότητα σε βάθος χρόνου.

### 4.3.2 Bayesian Regularization

Τα νευρωνικά δίκτυα οπίσθιας διάδοσης συνιστούν μία σύγχρονη τεχνική πρόβλεψης, η οποία χαίρει ευρείας χρήσης και δημοτικότητας. Πρόκειται για τεχνική που βασίζεται στην επιβλεπόμενη μάθηση, με σκοπό τη μείωση των παραγόμενων σφαλμάτων μέσω επιλεγμένης συνάρτησης: λόγου χάριν το μέσο τετραγωνικό σφάλμα. Η γενική αρχιτεκτονική ενός νευρωνικού δικτύου τροφοδότησης περιλαμβάνει τρία κύρια επίπεδα: την είσοδο, τα κρυφά στρώματα και την έξοδο. Η σύνδεση μεταξύ των νευρώνων σε κάθε στρώμα καθορίζεται από ένα «βάρος», δηλαδή από μια αποθηκευμένη σταθμισμένη τιμή, η οποία εξυπηρετεί τη σύνδεση μεταξύ δύο κόμβων. Το νευρωνικό δίκτυο μπορεί να επανεκπαιδευτεί, αλλάζοντας τα βάρη που χρησιμοποιεί κάθε φορά, με απώτερο σκοπό τη μέγιστη δυνατή ελαχιστοποίηση των σφαλμάτων και τη βελτιστοποίηση του δικτύου για χρήση σε άγνωστα δείγματα. Το ερώτημα που τίθεται είναι κατά πόσο ένα δίκτυο διατηρεί την προβλεπτική του ικανότητα και αντοχή, έπειτα από υπερβολική προπόνηση.

Για να μειωθεί μια δυνητική υπερπροσαρμογή, μια μαθηματική τεχνική γνωστή ως Bayesian Regularization έχει αναπτυχθεί, προκειμένου μη γραμμικά συστήματα να μετατρέπονται σε «καλώς τοποθετημένα» προβλήματα, Burden & Winkler (2008), Mackay (1992). Το νευρωνικό δίκτυο χρησιμοποιεί ένα κομμάτι του δείγματος (συνήθως το μεγαλύτερο) στο πρώτο στάδιο της διαδικασίας, το στάδιο της εκπαίδευσης, ένα δεύτερο κομμάτι στο στάδιο της επικύρωσης και ένα τελευταίο κομμάτι στο τελικό στάδιο, αυτό της πρόβλεψης. Γενικά, το βήμα της εκπαίδευσης στοχεύει στη μείωση του αθροίσματος των τετραγωνικών σφαλμάτων στην έξοδο του μοντέλου, με αποτέλεσμα πρόβλεψη κοντά στην τιμή στόχο. Όταν δημιουργούμε ένα νευρωνικό δίκτυο, πρέπει να επιλέξουμε και τη διαδικασία με την οποία θέλουμε να πραγματοποιήσει την κανονικοποίηση, προτού μας επιστρέψει την πρόβλεψη. Η διαδικασία αυτή προσθέτει έναν ακόμη όρο στην κάτωθεν αντικειμενική συνάρτηση:

$$F = \beta E_D + \alpha E_W$$

Ως  $E_D$  συμβολίζουμε το άθροισμα των τετραγωνικών σφαλμάτων, ως  $E_W$  το άθροισμα των τετραγώνων των βαρών του δικτύου και τέλος, ως  $\alpha$  και  $\beta$  τις παραμέτρους της αντικειμενικής συνάρτησης.

Η καινοτομία αυτής της τεχνικής είναι ουσιαστικά η επίτευξη συσχέτισης μεταξύ των βαρών του δικτύου με τα δεδομένα με τα οποία τροφοδοτείται το δίκτυο και τη δομή



του μοντέλου. Τα βάρη του νευρωνικού δικτύου επιλέγονται με κάποια τυχαιότητα, με αποτέλεσμα, αυτή η πιθανολογική φύση τους να διεγείρει κινδύνους. Καθώς αυξάνεται ένα νευρωνικό δίκτυο σε μέγεθος μέσω πρόσθετων νευρώνων, προκειμένου να εξυπηρετηθούν πολυπλοκότερα προβλήματα, αυξάνεται και η ανάγκη βαρών του δικτύου. Η συνθήκη αυτή τροφοδοτεί την πιθανότητα υπερεκτίμησης, η οποία μπορεί να δημιουργήσει δραματικά προβλήματα. Επομένως, γεννάται η ανάγκη για ένα σύνολο επικύρωσης που θα προσδιορίζει ένα σημείο διακοπής, προκειμένου να διατηρείται η ικανότητα γενίκευσης του δικτύου. Η τεχνική αυτή «τιμωρεί» τα υπερβολικά πολύπλοκα μοντέλα, οδηγώντας τα περιττά βάρη σύνδεσης ουσιαστικά στο μηδέν. Έτσι, το δίκτυο υπολογίζει και εκπαιδεύεται στα μη τετριμμένα βάρη, γνωστά και ως αποτελεσματικός αριθμός παραμέτρων, ο οποίος θα συγκλίνει σε μία σταθερά, καθώς το δίκτυο μεγαλώνει.

### 4.3.3 Μοντελοποίηση της Θερμοκρασίας

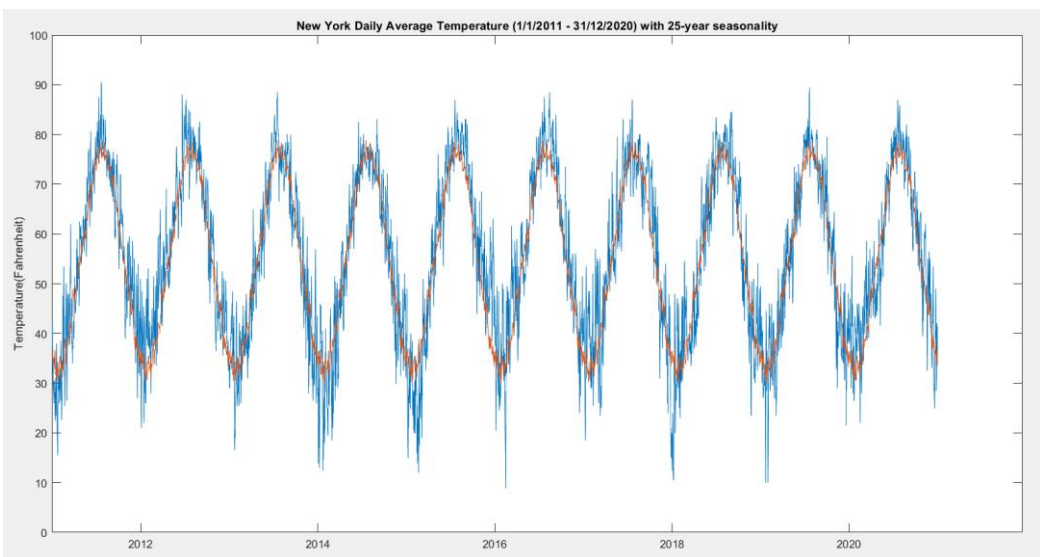
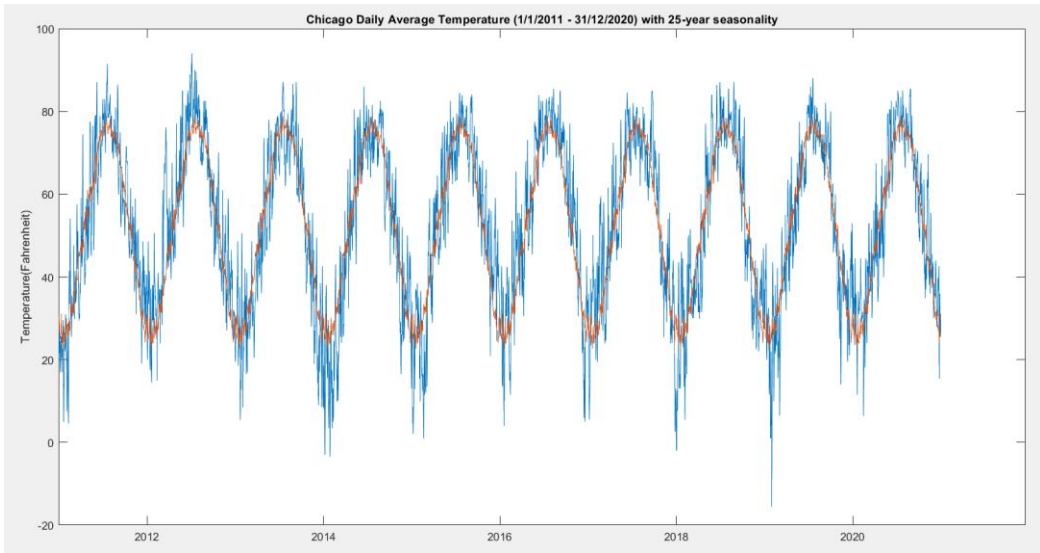
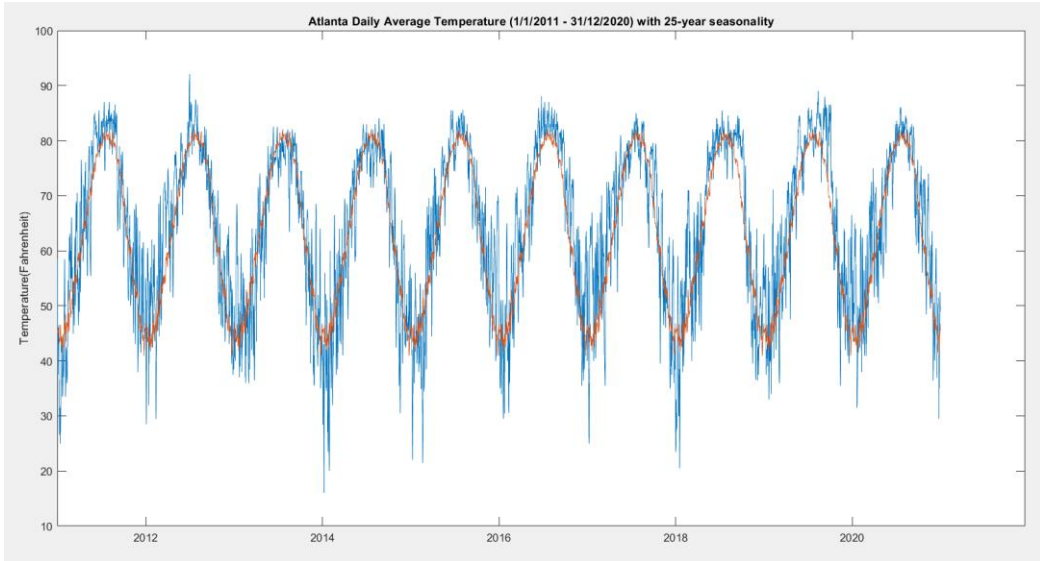
Η θερμοκρασία από τη φύση της πληροί τις προδιαγραφές μιας χρονοσειράς, καθώς οι επόμενες τιμές εξαρτώνται αναγκαστικά από τις προηγούμενες, ενώ συγχρόνως, οι μέσες τιμές που λαμβάνει η συγκεκριμένη μεταβλητή, όπως έχει προαναφερθεί, τείνουν να κινούνται εντός κάποιων ορίων, αποζητώντας μια τιμή γύρω από την οποία θα πραγματοποιεί τη λειτουργία της. Τα διαγράμματα στο σχήμα 1 μαρτυρούν μια κάποια περιοδικότητα ή εποχικότητα. Η ύπαρξη εποχικότητας εμποδίζει την ομαλή ανάλυση της χρονοσειράς, για αυτό και θέλουμε σε πρώτο στάδιο να την αφαιρέσουμε από τα δεδομένα μας. Ουσιαστικά, πρόκειται για το μέσο όρο θερμοκρασίας που έχει καταγραφεί για έκαστην μέρα του χρόνου εντός ενός συγκεκριμένου χρονικού διαστήματος.

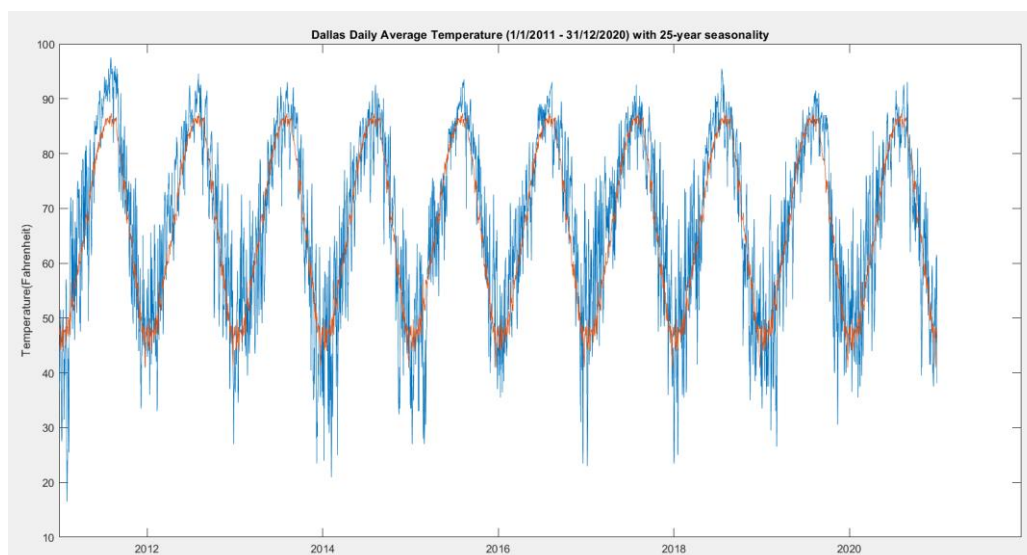
Με τον όρο εποχικότητα καλούμε το μέσο όρο των καταγεγραμμένων θερμοκρασιών των προγενέστερων ετών. Η ύπαρξή της στα δεδομένα δε μας επιτρέπει να εξάγουμε εύκολα και εύλογα κάποια συμπεράσματα, καθώς δεν είναι το ίδιο αντιληπτά κάποια πράγματα, όσο αυτή υπάρχει. Επίσης, το νευρωνικό δίκτυο μετατρέπει τις τιμές που του δίνονται σε τιμές μεταξύ του διαστήματος  $[0,1]$  ή  $[-1,1]$ . Αφαιρώντας την εποχικότητα, δηλαδή αφαιρώντας από τις πραγματικές τιμές το μέσο όρο που έχουμε υπολογίσει πετυχαίνουμε ταυτόχρονα δύο πράγματα. Από τη μία πλευρά, οι διαφορές μας επιτρέπουν εκ των προτέρων να εικάζουμε το μέγεθος των σφαλμάτων, αλλά και

να διακρίνουμε κάποια τάση. Για παράδειγμα, οι μεγάλες διαφορές κυρίως στους χειμερινούς μήνες μαρτυρούν μια γενική θετική τάση της θερμοκρασίας, η οποία είναι και αλήθεια. Από την άλλη πλευρά, είναι πιο λειτουργικές για το νευρωνικό δίκτυο.

Η κεντρική ιδέα βασίζεται στη συλλογή πραγματικών δεδομένων κάποιων ετών συνολικά, με σκοπό την εύρεση της υπάρχουσας εποχικότητας, και στη συλλογή πραγματικών δεδομένων των δέκα επόμενων ετών για τη διαδικασία της εκπαίδευσης και τελικά της πρόβλεψης. Σε αυτό το σημείο να αναφέρουμε ότι έχει αφαιρεθεί από όλα τα δεδομένα η 29<sup>η</sup> Φεβρουαρίου των δίσεκτων ετών, προκειμένου όλα τα έτη να περιλαμβάνουν 365 μέρες ημερήσιες θερμοκρασίες. Τα έτη που θα χρησιμοποιηθούν τελικά από το μοντέλο είναι από το 2011 έως το 2020. Σε μια πρώτη απόπειρα, χρησιμοποιήθηκαν για την εύρεση της εποχικότητας δεδομένα σαράντα ετών από το 1971 έως το 2010. Ωστόσο, η εποχικότητα που προέκυψε δε φαίνεται να συνάδει με τη διαδικασία της θερμοκρασίας στην υπό μελέτη δεκαετία. Η αδυναμία ικανοποιητικής ταύτισης εγείρει το ενδιαφέρον μας. Η υπερθέρμανση του πλανήτη είναι μια πραγματικότητα η οποία έχει προκαλέσει ολοένα και αυξανόμενες θερμοκρασίες, οι οποίες με τη σειρά τους έχουν αλλάξει αρκετά την εικόνα των τεσσάρων εποχών. Οι θερμοκρασίες που έχουν καταγραφεί στην υπό μελέτη δεκαετία διαφέρουν σημαντικά από αυτές των προγενέστερων ετών και καθώς προχωράμε προς το παρελθόν, η διαφορές αυτές είναι όλο και μεγαλύτερες. Συνεπώς, στους μέσους όρους που προέκυψαν υπάρχουν θερμοκρασίες που δεν ανταποκρίνονται πλέον στο σήμερα.

Η συνθήκη αυτή λειτούργησε ευεργετικά, οδηγώντας μας στην εκκίνηση της διαδικασίας ξανά, αυτή τη φορά όμως με λιγότερα έτη, προκειμένου να βρισκόμαστε πιο κοντά στο σήμερα. Η συνολική διαδικασία από την αρχή έως και το πέρας που είναι οι προβλέψεις με τα αντίστοιχα σφάλματα, έπειτα από πολλές δοκιμές, επιβεβαιώνει ως πλέον κατάλληλο το δείγμα που απαρτίζεται από τα δεδομένα είκοσι πέντε ετών, από το 1986 έως και το 2010. Η εποχικότητα που προκύπτει από αυτά τα δεδομένα ακολουθεί μια εξαιρετικά παρόμοια διαδικασία με αυτήν της θερμοκρασίας που καταγράφηκε σε όλη τη δεκαετία που μελετούμε. Στα παρακάτω διαγράμματα παρατίθενται ακριβώς οι εποχικότητες των είκοσι πέντε ετών του δείγματος στο ίδιο διάγραμμα με τη διαδικασία της θερμοκρασίας από την 1/1/2011 έως και την 31/12/2020.



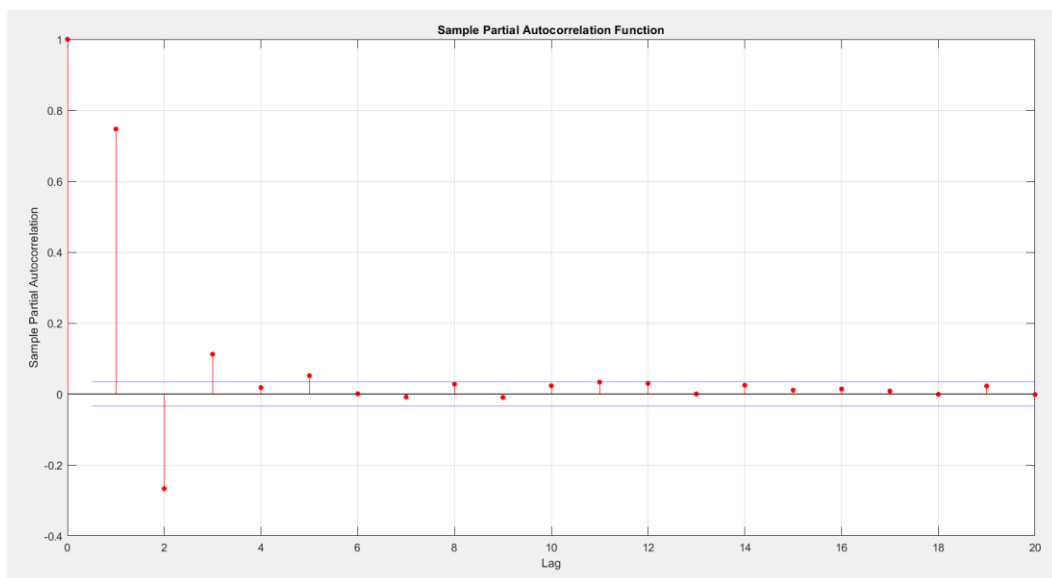


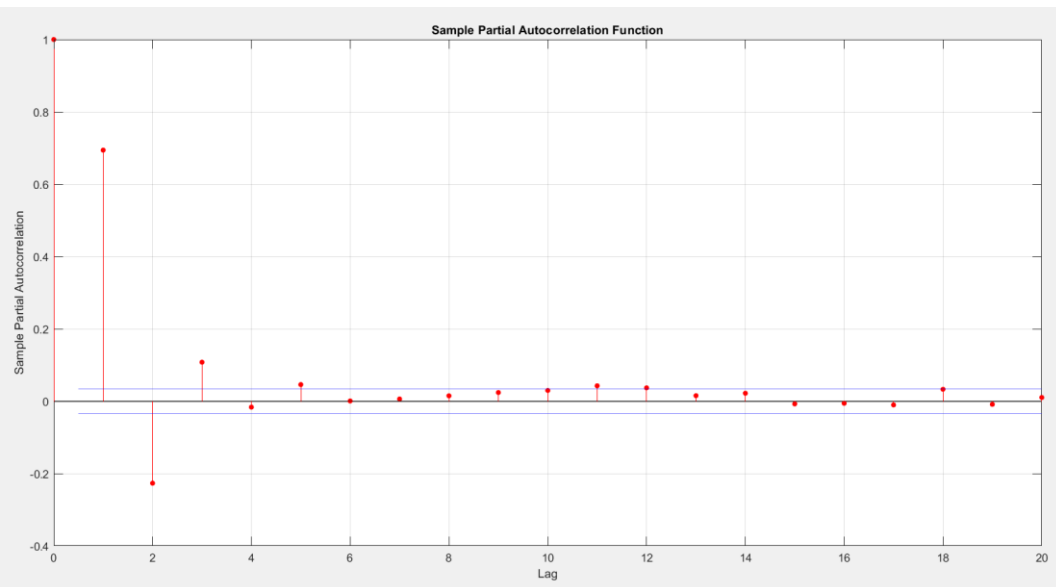
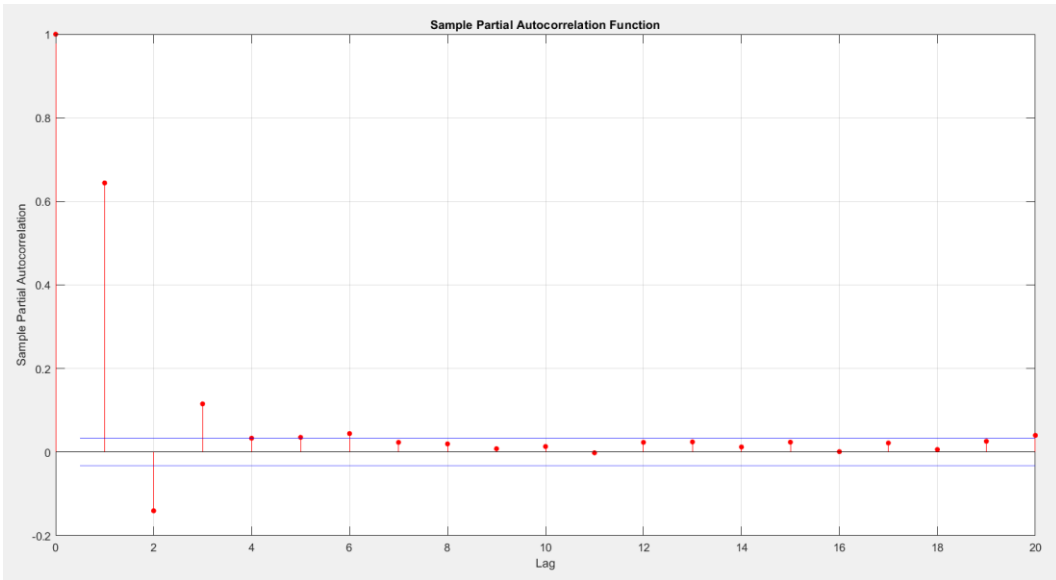
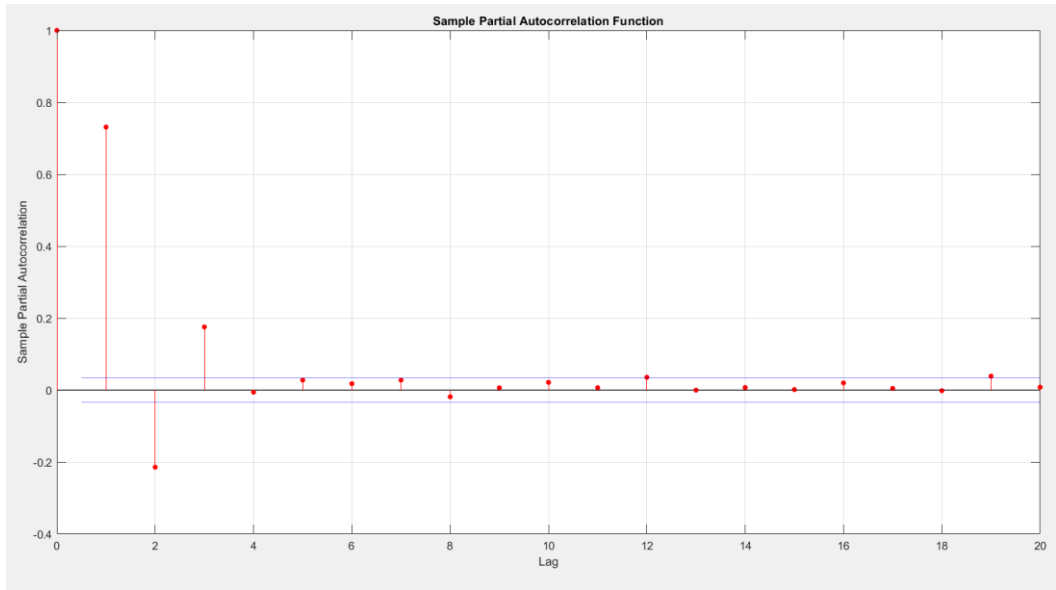
Σχήμα 3 : Μέσες ημερήσιες θερμοκρασίες από την 1/1/2011 έως την 31/12/2020  
με την εποχικότητα 25 ετών από την 1/1/1986 έως την 31/12/2010

Προτού συνεχίσουμε τη διαδικασία, παραθέτουμε κάποια βασικά περιγραφικά στατιστικά των δεδομένων είκοσι πέντε ετών της θερμοκρασίας για κάθε μία από τις τέσσερις πόλεις.

	Ατλάντα	Σικάγο	Νέα Υόρκη	Ντάλλας
Ελάχιστη Τιμή	12,5°F	-15,5°F	8,5°F	8,5°F
Μέγιστη Τιμή	91,5°F	94°F	91°F	96,5°F
Μέσος Όρος	62,9377°F	51,9780°F	54,4678°F	66,5757°F
Τυπική Απόκλιση	14,7950	19,6871	16,5177	15,9860
Κύρτωση	2,1574	2,1698	2,0598	2,2008
Ασυμμετρία	-0,3750	-0,2588	-0,1485	-0,3609

Το τελευταίο, αλλά εξαιρετικά σημαντικό κομμάτι που έμεινε να οριστεί, προκειμένου να ολοκληρωθεί το κομμάτι της μοντελοποίησης και να περάσουμε στην πρόβλεψη, αφορά στις υστερήσεις που θα ορίσουμε στο μοντέλο για κάθε πόλη, καθώς και στον αριθμό των κρυφών . Η υστέρηση μας υπαγορεύει από πόσες προγενέστερες μέσες ημερήσιες θερμοκρασίες εξαρτάται η θερμοκρασία, προκειμένου να προκύψει πρόβλεψη κοντά στην τιμή στόχο. Ο κατάλληλος αριθμός προκύπτει μέσω της μερικής αυτοσυσχέτισης των δεδομένων. Η διαδικασία της πρόβλεψης γίνεται με τη χρήση του εργαλείου MATLAB. Σε κάθε πόλη χρησιμοποιήσαμε διαφορετικό αριθμό υστερήσεων, σύμφωνα πάντα με τη μερική αυτοσυσχέτιση των δεδομένων της κάθε μίας, αλλά ίδιο αριθμό κρυφών νευρώνων, ο οποίος έπειτα από μεγάλο αριθμό δοκιμών κρίθηκε κατάλληλος ο αριθμός 10. Για την Ατλάντα χρησιμοποιήσαμε πέντε υστερήσεις, για το Σικάγο μόλις τρεις, για τη Νέα Υόρκη έξι υστερήσεις και τέλος για το Ντάλλας πέντε.





Σχήμα 4 : Μερικές Αυτοσυσχετίσεις των δεδομένων 25 ετών χωρίς εποχικότητα  
για κάθε πόλη







4<sup>α</sup> για την Ατλάντα, 4<sup>β</sup> για το Σικάγο, 4<sup>γ</sup> για τη Νέα Υόρκη, 4<sup>δ</sup> για το Ντάλλας

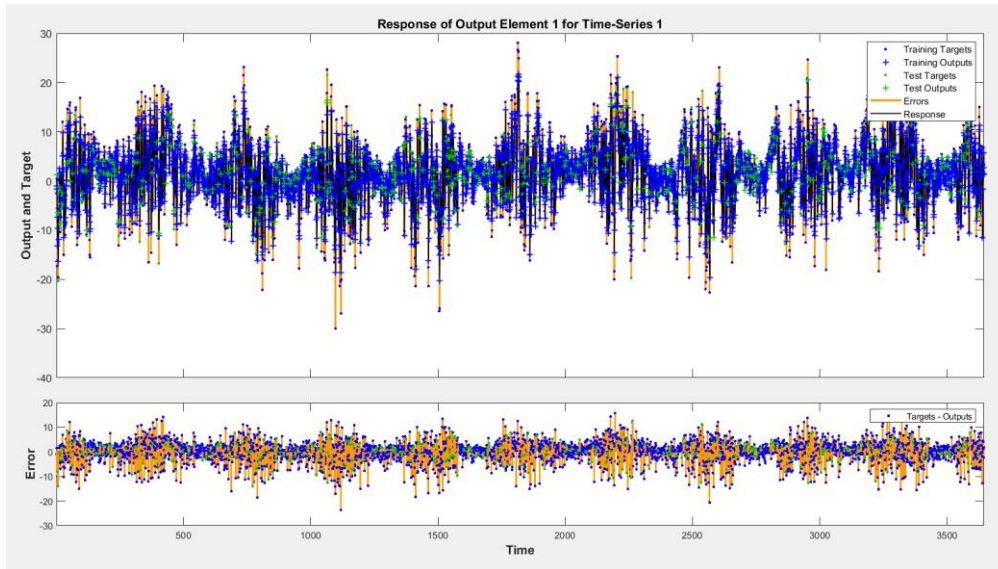
#### 4.3.4 Πρόβλεψη της Θερμοκρασίας

Το νευρωνικό δίκτυο που έχει συσταθεί επανεκπαιδεύτηκε πολλές φορές, προκειμένου να προκύψουν οι βέλτιστες δυνατές προβλέψεις. Άλλωστε, η διαδικασία της κανονικοποίησης που έχει επιλεγεί (Bayesian Regularization) είναι η πλέον κατάλληλη, αφού και σε μεγάλο αριθμό προπονήσεων του νευρωνικού δικτύου διασφαλίζει ότι το δίκτυο δεν παρεκκλίνει από τη γενική προβλεπτική του ικανότητα. Ως βέλτιστες προβλέψεις κρίνονται αυτές με τα μικρότερα δυνατά μέσα τετραγωνικά σφάλματα και δείκτη  $R$  όσο πλησιέστερα στη μονάδα είναι εφικτό. Για τη συνολική διαδικασία χρησιμοποιήσαμε, όπως έχει αναφερθεί, τα πραγματικά δεδομένα των ετών από το 2011 έως το 2020.

Στο στάδιο της εκπαίδευσης χρησιμοποιήθηκε το 70% του δείγματος, δηλαδή οι μέσες ημερήσιες θερμοκρασίες των πρώτων επτά ετών (από το 2011 έως το 2017 συνολικού πλήθους 2.555). Στο στάδιο της επικύρωσης χρησιμοποιήθηκε το 20% του δείγματος, δηλαδή δύο έτη (το 2018 και το 2019 με συνολικό πλήθος παρατηρήσεων 730). Τέλος, στο στάδιο της πρόβλεψης χρησιμοποιήθηκε το 10% του δείγματος, δηλαδή το έτος 2020 που είναι και το τελευταίο του δείγματος. Στα κάτωθεν διαγράμματα παρατίθενται οι πληροφορίες των δεικτών που χρήζουν ενδιαφέροντος, καθώς και οι προβλέψεις του δικτύου και για κάθε πόλη.

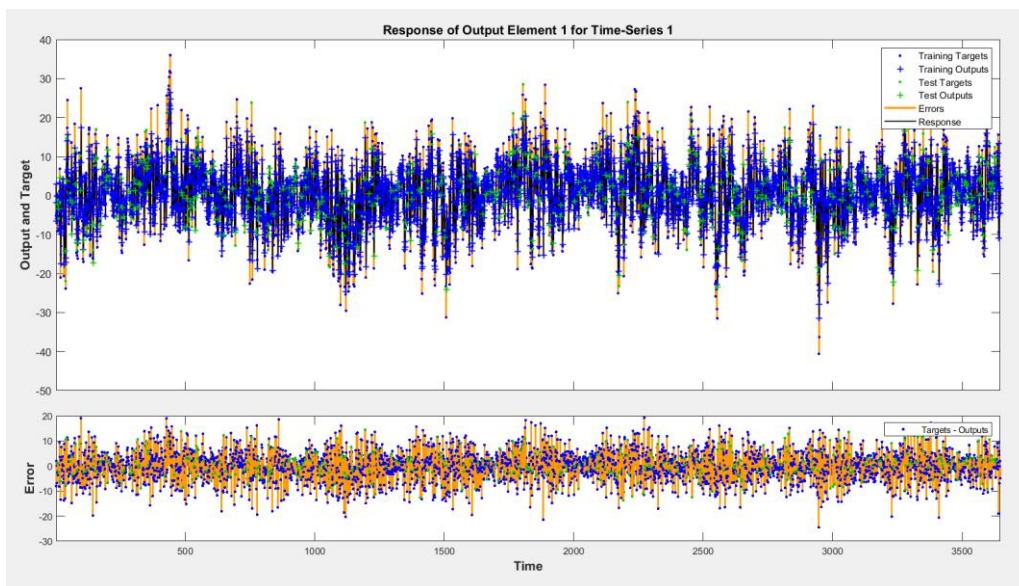
#### Η Καλύτερη Πρόβλεψη για την Ατλάντα:

Results			
	 Target Values	 MSE	 R
 Training:	2555	20.24936e-0	7.76352e-1
 Validation:	730	0.00000e-0	0.00000e-0
 Testing:	365	17.45693e-0	7.82647e-1



### Η Καλύτερη Πρόβλεψη για το Σικάγο:

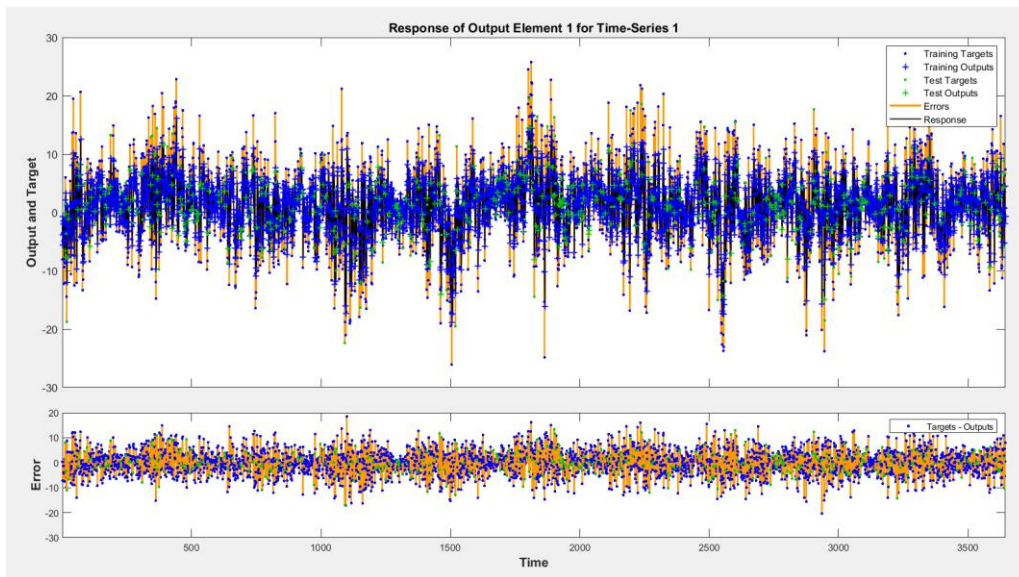
Results			
	Target Values	MSE	R
Training:	2555	34.73622e-0	7.55402e-1
Validation:	730	0.00000e-0	0.00000e-0
Testing:	365	27.63817e-0	7.98677e-1





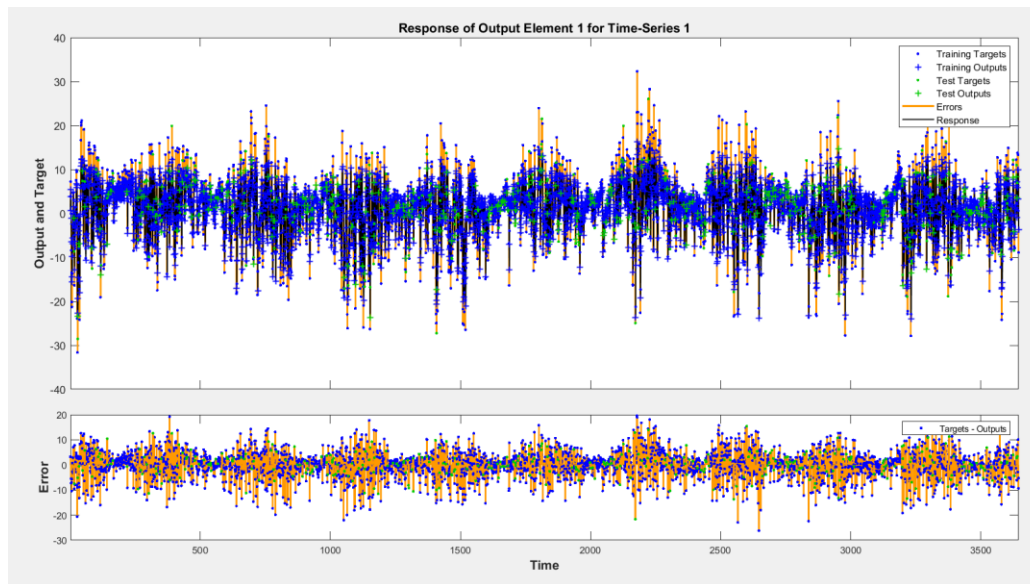
## Η Καλύτερη Πρόβλεψη για τη Νέα Υόρκη:

Results			
	Target Values	MSE	R
Training:	2555	24.62275e-0	6.68494e-1
Validation:	730	0.00000e-0	0.00000e-0
Testing:	365	21.89377e-0	6.78049e-1



## Η Καλύτερη Πρόβλεψη για το Ντάλλας:

Results			
	Target Values	MSE	R
Training:	2555	29.07872e-0	7.18254e-1
Validation:	730	0.00000e-0	0.00000e-0
Testing:	365	24.20671e-0	7.76899e-1



### 4.3.5 Διαδικασία Benchmark

Τα αποτελέσματα των προβλέψεων είναι εκ πρώτης όψεως αρκετά ενθαρρυντικά και φαίνεται και όσον αφορά τα σφάλματα που προκύπτουν, αλλά και όσον αφορά τη γενικότερη χρήση των νευρωνικών δικτύων στη διαδικασία της μοντελοποίησης. Ωστόσο, κρίνεται απαραίτητη μια σύγκριση των αποτελεσμάτων μας με κάποια ακόμη τεχνική, προκειμένου να μπορούμε να αποφανθούμε εντονότερα την αξιοπιστία τους. Μια πολύ αξιόπιστη και αρκετά λογική τεχνική είναι η εύρεση των μέσων τετραγωνικών σφαλμάτων, η οποία εξασφαλίζει πολύ καλά αποτελέσματα και είναι εξαιρετικά απλή στον υπολογισμό της. Θα αφαιρέσουμε για έκαστη ημέρα του έτους πρόβλεψης, δηλαδή του 2020, την εποχικότητα, δηλαδή το συνολικό μέσο όρο κάθε ημέρας του χρόνου των ακριβώς εννέα προηγούμενων ετών (2011 έως 2019), από την πραγματική μέση ημερήσια θερμοκρασία που έχουμε υπολογίσει. Τις διαφορές που προκύπτουν, θα τις αθροίσουμε υψωμένες στο τετράγωνο και τέλος θα υπολογίσουμε το μέσο όρο τους. Η στατιστική αυτή διαδικασία θα μας δώσει το μέσο τετραγωνικό σφάλμα με την πιο απλή μορφή που μπορούμε να το υπολογίσουμε, προκειμένου να το συγκρίνουμε με τα αποτελέσματα του νευρωνικού δικτύου. Ο τύπος εύρεσης είναι ο εξής:

$$MSE = \sum_{i=1}^{365} (T_i - MT_i)^2$$

όπου  $T_i$  η μέση ημερήσια θερμοκρασία της κάθε ημέρας και  $MT_i$  η εποχικότητα, δηλαδή ο μέσος όρος των εννέα ετών. Ολοκληρώνοντας τη διαδικασία εύρεσης των μέσων τετραγωνικών σφαλμάτων προκύπτουν τα εξής:

	Ατλάντα	Σικάγο	Νέα Υόρκη	Ντάλλας
MSE Ν.Δ.	17,45693	27,63817	21,89377	24,20671
MSE Στ.Τ.	57,4671	64,9423	42,4887	62,5896

Συγκρίνοντας τις δύο τιμές για κάθε πόλη προκύπτει ότι το σφάλμα με τη χρήση του στατιστικού τύπου είναι τουλάχιστον τριπλάσιο από αυτό του νευρωνικού δικτύου για την Ατλάντα, παραπάνω από διπλάσιο για το Σικάγο και το Ντάλλας και τέλος σχεδόν διπλάσιο για τη Νέα Υόρκη. Και στις τέσσερις περιπτώσεις, το νευρωνικό δίκτυο μας εξασφάλισε σφάλματα μειωμένα τουλάχιστον κατά το ήμισυ. Συνεπώς, οι προβλέψεις μας είναι πολύ καλές και ενθαρρυντικές, γεγονός που αντικατοπτρίζεται και στα σφάλματα που φαίνονται στα διαγράμματα.

## 5<sup>ο</sup> Κεφάλαιο

### Συμπεράσματα

Η τιμολόγηση ενός καιρικού παραγώγου εξαρτάται από την τιμή της θερμοκρασίας, προκειμένου να είναι κατάλληλη. Άρα, αυτό που χρειαζόμαστε στην πραγματικότητα είναι μια πρόβλεψη της υποκείμενης μεταβλητής όσο το δυνατόν ακριβέστερη είναι εφικτό. Εάν εξασφαλίσουμε μια διαδικασία που θα βελτιστοποιεί τις προβλέψεις, εξασφαλίζουμε σωστές και αξιόπιστες τιμολογήσεις στα παράγωγά μας. Η εξέλιξη και η τεχνογνωσία πίσω από τα νευρωνικά δίκτυα έχουν καταστήσει το συγκεκριμένο εργαλείο άξιο εμπιστοσύνης, καθώς δίνει τη δυνατότητα πραγματοποίησης μεγάλου αριθμού προβλέψεων σε ελάχιστο χρόνο. Η όλη σύσταση των νευρωνικών δικτύων φαίνεται κατάλληλη και για την υπό μελέτη μεταβλητή, τη θερμοκρασία, αφού η θεωρία που την περιγράφει συγκλίνει με τη φιλοσοφία των νευρωνικών δικτύων.

Οι προβλέψεις μας είναι για κάποιες μέρες του έτους εξαιρετικά κοντά στις πραγματικές τιμές που έχουν καταγραφεί. Μερικά από τα σφάλματα τείνουν σε τιμές πολύ κοντά στο μηδέν, ενώ για κάθε πόλη τα σφάλματα πρόβλεψης ακολουθούν, όπως και ήταν αναμενόμενο, κανονική κατανομή. Η καλύτερη πρόβλεψη από τις τέσσερις είναι αυτή για την Ατλάντα, όπου και έχει σημειωθεί το μικρότερο μέσο τετραγωνικό σφάλμα, ενώ η λιγότερο καλή είναι αυτή για το Σικάγο, παραμένοντας ωστόσο μια πολύ καλή πρόβλεψη.

Η ικανότητα επανεκπαίδευσης των νευρωνικών δικτύων μας επιφυλάσσει ίσως και οριακά κάποιες καλύτερες προβλέψεις. Επιπροσθέτως, ο αριθμός των υστερήσεων που έχουμε χρησιμοποιήσει σε κάθε πόλη, μολονότι ξεφεύγει από τις μία και δύο ημέρες, που ίσως κάποιος/α προσδοκούσε, εντούτοις, μας ταιριάζει με την όλη πορεία της διαδικασίας της θερμοκρασίας των τελευταίων ετών. Συνεπώς, θεωρείται αναμενόμενο μία μόνο ημέρα να μην είναι κατάλληλη για επαρκή πρόβλεψη. Άλλωστε, οι απότομες μεταβάσεις της θερμοκρασίας που σημειώθηκαν στην υπό μελέτη δεκαετία επιβεβαιώνουν την ανάγκη για περισσότερες υστερήσεις, καθώς περισσότερες υστερήσεις εξασφαλίζουν πιο συγκρατημένες προβλέψεις. Ενδιαφέρον εγείρει και προτείνεται για μελλοντική έρευνα η προσπάθεια πρόβλεψης με ανάλογο τρόπο, υπό το πρίσμα εύρεσης του καταλλήλου χρονικού διαστήματος για τον υπολογισμό της

εποχικότητας, σε χρονική στιγμή στο μέλλον που η θετική τάση της θερμοκρασίας, όπως υπολογίζεται, θα είναι μεγαλύτερη.

## **Βιβλιογραφία:**

### **Άρθρα:**

1. Αλεξανδρίδης, Α. (2010). Modelling and pricing temperature derivatives using wavelet networks and wavelet analysis.
2. Considine, G. (2000). Introduction to weather derivatives. *Weather derivatives group, Aquila energy*, 1-10.
3. Ticknor, J. L. (2013). A Bayesian regularized artificial neural network for stock market forecasting. *Expert systems with applications*, 40(14), 5501-5506.
4. Alexandridis, A., & Zapranis, A. D. (2012). *Weather derivatives: modeling and pricing weather-related risk*. Springer Science & Business Media.
5. Alexandridis, A., & Zapranis, A. (2013). Wind derivatives: Modeling and pricing. *Computational Economics*, 41(3), 299-326.
6. Alexandridis, A. K., & Zapranis, A. D. (2013). Wavelet neural networks: A practical guide. *Neural Networks*, 42, 1-27.
7. Benth, F. E., & Šaltytė-Benth, J. (2005). Stochastic modelling of temperature variations with a view towards weather derivatives. *Applied Mathematical Finance*, 12(1), 53-85.
8. Benth, F. E., & Saltyte-Benth, J. (2012). *Modeling and pricing in financial markets for weather derivatives* (Vol. 17). World Scientific.
9. Brockett, P. L., Wang, M., & Yang, C. (2005). Weather derivatives and weather risk management. *Risk Management and Insurance Review*, 8(1), 127-140.
10. Campbell, S. D., & Diebold, F. X. (2005). Weather forecasting for weather derivatives. *Journal of the American Statistical Association*, 100(469), 6-16.
11. Cao, M., & Wei, J. (2004). Weather derivatives valuation and market price of weather risk. *Journal of Futures Markets: Futures, Options, and Other Derivative Products*, 24(11), 1065-1089.

12. Müller, A., & Grandi, M. (2000). Weather derivatives: a risk management tool for weather-sensitive industries. *The Geneva Papers on Risk and Insurance. Issues and Practice*, 25(2), 273-287.
13. Taştan, B., & Hayfavi, A. (2017). Modeling temperature and pricing weather derivatives based on temperature. *Advances in Meteorology*, 2017.
14. Vedenov, D. V., & Barnett, B. J. (2004). Efficiency of weather derivatives as primary crop insurance instruments. *Journal of Agricultural and Resource Economics*, 387-403.
15. Zapranis, A., & Alexandridis, A. (2006). Weather analysis & weather derivative pricing.
16. Zapranis, A., & Alexandridis, A. (2007). Modeling Temperature Time-Dependent Mean Reversion with Neural Networks in the Context of Weather Derivatives Pricing.
17. Zapranis, A., & Alexandridis, A. (2007). Wavelet neural networks for weather derivatives pricing.
18. Zapranis, A., & Alexandridis, A. (2008). Modelling the temperature time-dependent speed of mean reversion in the context of weather derivatives pricing. *Applied Mathematical Finance*, 15(4), 355-386.
19. Zapranis, A., & Alexandridis, A. (2009). Weather derivatives pricing: Modeling the seasonal residual variance of an Ornstein–Uhlenbeck temperature process with neural networks. *Neurocomputing*, 73(1-3), 37-48.
20. Zapranis, A., & Alexandridis, A. (2011). Modeling and forecasting cumulative average temperature and heating degree day indices for weather derivative pricing. *Neural Computing and Applications*, 20(6), 787-801.
21. Alaton, P., Djehiche, B., & Stillberger, D. (2002). On modelling and pricing weather derivatives. *Applied mathematical finance*, 9(1), 1-20.
22. Cao, M., Li, A., & Wei, J. Z. (2003). Weather derivatives: A new class of financial instruments. *Available at SSRN 1016123*.
23. Cao, M., Li, A., & Wei, J. Z. (2004). Precipitation modeling and contract valuation: A frontier in weather derivatives. *The Journal of Alternative Investments*, 7(2), 93-99.
24. Kim, J., Sheen, D., & Shin, S. (2012). Option pricing of weather derivatives for Seoul. *East Asian Journal on Applied Mathematics*, 2(4), 309-325.
25. Richards, T. J., Manfredo, M. R., & Sanders, D. R. (2004). Pricing weather derivatives. *American Journal of Agricultural Economics*, 86(4), 1005-1017.
26. Van Lennep, D., Oetomo, T. N., Stevenson, M., & De Vries, A. (2004). Weather derivatives: An attractive additional asset class. *The Journal of Alternative Investments*, 7(2), 65-74.

**Βιβλία:**

Zapranis, A., & Refenes, A. P. N. (1999). *Principles of neural model identification, selection, and adequacy: with applications to financial econometrics*. Springer Science & Business Media.