



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ



ΔΙΕΘΝΕΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ

ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΗΣ

ΔΙΔΡΥΜΑΤΙΚΟ ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

στην

“Οικονομική Φυσική – Χρηματοοικονομικές Προβλέψεις”



ΒΟΛΟΣ, ΜΑΙΟΣ 2020

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ
ΕΡΓΑΣΙΑ:

ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΚΑΙ
ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΤΩΝ
ΔΕΙΚΤΩΝ CRUDE OIL
ΚΑΙ GOLD ΜΕ
ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΜΗ
ΓΡΑΜΜΙΚΗΣ
ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ

ΛΙΑΠΗΣ ΒΑΙΟΣ

Επιβλέπων Καθηγητής:
Λυκούργος Μαγκαφάς

Περίληψη

Ο χρυσός αποτελεί ένα αγαθό που έχει συνοδέψει τον άνθρωπο σε όλα τα χρόνια της ζωής του, από τα αρχαία μέχρι σήμερα. Ξεκίνησε σαν το υλικό από το οποίο κατασκευάστηκαν τα πρώτα ειδωλολατρικά αντικείμενα. Στη συνέχεια αποτέλεσε την πρώτη μορφή συναλλάγματος της ανθρωπότητας, και σήμερα συνεχίζει να διαδραματίζει βαρύνοντα ρόλο στην ζωή του ανθρώπου ως μια μορφή συναλλάγματος που δεν εξαρτάται από κανένα εθνικό νόμισμα αλλά και ως μια μορφή επένδυσης η οποία δείχνει να «προστατεύει» την περιουσία του ανθρώπου σε καιρούς ύφεσης και γεωπολιτικών αναταράξεων.

Το πετρέλαιο είναι άρρηκτα συνδεδεμένο με την παγκόσμια οικονομία. Από τα πιο απλά μέχρι τα πιο σύνθετα αντικείμενα που χρησιμοποιούμε στην καθημερινότητά μας, έχουν παρασκευαστεί από παράγωγα του πετρελαίου. Ακόμη, μετά την ανακάλυψη του, έχει κερδίσει επάξια την θέση του ως το κυρίαρχο κάυσιμο για τις ανάγκες της ανθρωπότητας σε κίνηση και θέρμανση. Αναμφίβολα η ζωή του ανθρώπου μέχρι και σήμερα θα φάνταζε πολύ διαφορετική αν δεν είχε ανακαλυφθεί το πετρέλαιο.

Η παρούσα εργασία δίνει έμφαση στο Χρυσό και στο Πετρέλαιο κυρίως ως χρηματιστηριακά προϊόντα. Σκοπός της εργασίας είναι να διερευνήσει την σχέση Πετρελαίου και Χρυσού, και να διαπιστώσει εάν υπάρχει κάποια σύνδεση μεταξύ των δύο, καθώς και να πραγματοποιήσει πρόβλεψη πάνω στις μελλοντικές τους τιμές.

Η συμβολή της παρούσης εργασίας έγκειται στο ότι αποσκοπεί να παρουσιάσει συγκεντρωμένα, στοιχεία για το Χρυσό και το Πετρέλαιο, και να εξάγει συμπεράσματα βασισμένα πάνω σε στατιστική ανάλυση, παλινδρόμηση και επεξεργασία των χρονοσειρών του Χρυσού και του Πετρελαίου με νευρωνικά δίκτυα. Η παρούσα εργασία στοχεύει να αποτελέσει ένα «εγχειρίδιο» για τον Χρυσό και το Πετρέλαιο, το οποίο θα περιέχει τις απαραίτητες πληροφορίες για τις δύο χρονοσειρές καθώς και μια πρότυπη ανάλυση με τα νευρωνικά δίκτυα. Με τον τρόπο αυτό, όποιος θέλει να ασχοληθεί με τις προαναφερθέντες χρονοσειρές ή και να προχωρήσει σε μια πιο βαθιά ανάλυση, μπορεί να διαβάσει την παρούσα εργασία και να καθοδηγηθεί για την συνέχεια της έρευνάς του.

Για την πρόβλεψη των μελλοντικών τιμών του Πετρελαίου και του Χρυσού χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Weka και συγκεκριμένα το νευρωνικό δίκτυο του Πολυεπίπεδου Αισθητήρα (Multilayer Perceptron). Πρόκειται για το κλασικό νευρωνικό δίκτυο του αισθητήρα, το οποίο μπορεί να έχει παραπάνω από ένα Hidden Layer όπου γίνεται η επεξεργασία των δεδομένων που του εισάγουμε. Η ανάλυση του συγκεκριμένου νευρωνικού δικτύου γίνεται σε επόμενο κεφάλαιο της παρούσης εργασίας.



Abstract

Gold and Petroleum have had a crucial impact on humanity. Gold has accompanied humans throughout their history, either as the first form of currency or the material with which the first pagan objects were made of. Today it still has the form of a currency, one which everybody resorts to in the face of major geopolitical shifts and economic recessions. Nowadays, investing in gold offers hedging against all forms of a currency's value deterioration.

On the other hand, Petroleum ever since its discovery, has revolutionized the socio-economic culture worldwide. From the simplest of products to the most intricate of them, Petroleum and its derivatives have been used in the past few decades as the quintessential component for their manufacturing. Ever since its discovery, Petroleum has earned its place as the number one fuel as far as human needs are concerned. It has without a doubt changed the human lives dramatically.

Over the last few decades, the aforementioned commodities have caught investor's interest as they have fluctuated wildly in the face of worldwide geopolitical shifts, yielding immense profit to those who invested correctly.

The present paper emphasizes on Petroleum and Gold as financial products. Our aim is to investigate the relationship between Gold and Petroleum as well as forecast their future prices using non linear dynamics.

Through this paper, we aim at presenting in an understandable way, key information about the time series of Gold and Petroleum that are scattered throughout the Internet, as well as assimilate them coherently. In order to analyze the time series we have performed statistical tests, regressions as well as forecasts using the Multilayer Perceptron neural network of the machine learning program, Weka.



Ευχαριστίες

Ευχαριστώ θερμά τον καθηγητή και επιβλέποντα στην παρούσα εργασία κ.Λυκούργο Μαγκαφά για την προσπάθεια καθώς και τις πολύτιμες συμβουλές του κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας.

Ευχαριστώ επίσης την Εύη για τη βοήθειά της καθ'όλη τη διάρκεια των μεταπτυχιακών μου σπουδών.

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1 : Εισαγωγή	6
1.1 Ο Χρυσός.....	6
1.1.1 Αποθέματα Χρυσού σε Κεντρικές Τράπεζες.....	7
1.1.2 Ο Χρυσός ως επένδυση	7
1.2 Το πετρέλαιο	9
1.2.1 Ιστορική Αναδρομή.....	9
1.2.2 Το πετρέλαιο στη σύγχρονη Ιστορία	9
1.2.3 Η τιμή του Πετρελαίου ανά τα Χρόνια	10
1.3 Γιατί επιλέξαμε το Χρυσό και το Πετρέλαιο?	12
1.3.1 Γιατί το Πετρέλαιο?	12
1.3.2 Γιατί το Χρυσό?	12
1.4 Αντικείμενο και Σκοπός της Εργασίας.....	14
1.4.1 Αντικείμενο της Εργασίας.....	14
1.4.2 Σκοπός της Εργασίας.....	14
Κεφάλαιο 2: Μαθηματική Εισαγωγή	15
2.1 Νευρωνικά Δίκτυα	15
2.1.1 Τί είναι ένα νευρωνικό δίκτυο?	15
2.1.2 Πώς δημιουργήθηκαν?	15
2.1.3 Πώς λειτουργεί ένα νευρωνικό δίκτυο?.....	15
2.1.4 Εκπαίδευση νευρωνικού δικτύου	15
2.2 Το πρόγραμμα νευρωνικών δικτύων Weka	17
2.2.1 Εισαγωγικά στοιχεία.....	17
2.2.2 Περιγραφή των παραμέτρων του Weka	18
2.2.3 Πλεονεκτήματα του Weka.....	19
2.3 Περιγραφικά Στατιστικά Στοιχεία	20
2.4 Αιτιότητα κατά Granger	22
2.5 Νευρωνικά δίκτυα και Weka	23
Κεφάλαιο 3: Ανάλυση των δεδομένων	25
3.1 Περιγραφικά Στατιστικά Στοιχεία.....	26
3.2 Πρόβλεψη της Χρονοσειράς του Χρυσού στο Weka.....	36
3.3 Πρόβλεψη της Χρονοσειράς του Πετρελαίου στο Weka.....	41
3.4 Αιτιότητα κατά Granger	46
3.5 Συμπεράσματα.....	56
3.5.1 Πρόβλεψη των Χρονοσειρών	56
3.5.2 Αιτιότητα κατά Granger	56
3.5.3 Περιγραφικά Στατιστικά Στοιχεία.....	57
Κεφάλαιο 4: Συγκεντρωτικά Διαγράμματα	58
Βιβλιογραφία-Αναφορές	59

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

1.1 Ο Χρυσός

Ο χρυσός είναι αδιαμφισβήτητα ένα από τα πολυτιμότερα μέταλλα καθώς επίσης και ένα από τα πιο δημοφιλή commodities (εμπορεύματα) κυρίως για επένδυση αλλά και για λόγους αντιστάθμισης κινδύνου [1]. Οι τρόποι παραγωγής του είναι είτε στα ορυχεία είτε μέσω της διαδικασίας της επανάτηξης. Η τιμή του δεν υπολογίζεται βάσει κάποιου εθνικού νομίσματος αλλά εξαρτάται από το πόσο ποθητός είναι την δεδομένη χρονική στιγμή, με την τιμή του να ανεβαίνει όταν κυριαρχεί μια οικονομική αβεβαιότητα λόγω πολέμων, πανδημιών και γενικότερα γεωπολιτικών αναταράξεων.

Με την συνθήκη Breton Woods, ο χρυσός είχε συνδεθεί με την ισοτιμία του δολλαρίου [2] σε τιμή ίση με 35\$ ανά ουγκιά (μία ουγκιά Troy είναι σήμερα 31 γραμμάρια) μέχρι και το 1971. Σταδιακά και με την πάροδο των χρόνων η σύνδεση των νομισμάτων με το χρυσό φάνηκε ότι δεν αποδίδει, και όλα τα έθνη ξεκίνησαν να αποσυνδέουν το νόμισμά τους με το Χρυσό, με την Ελβετία να είναι η τελευταία χώρα που αποσύνδεσε τη ισοτιμία του νομίσματος της (ελβετικό φράγκο).

Ο χρυσός πάντα υπήρξε πηγή «ψυχολογικής» υποστήριξης προς τον άνθρωπο, κυρίως σε επερχόμενους καιρούς αβεβαιότητας [3]. Οι μορφές που μπορεί να πάρει ο χρυσός είναι ποικίλες: από χρυσά κοσμήματα μέχρι ράβδους και άλλα χρηματοπιστωτικά προϊόντα.

Ο χρυσός διαπραγματεύεται στη Αγορά Ράβδων Χρυσού του Λονδίνου (London Bullion Market [4]). Μέχρι να αποσυνδεθεί από την ισοτιμία του δολλαρίου, η τιμή του δεν παρουσίαζε ιδιαίτερες διακυμάνσεις. Το χρονικό αυτό διάστημα, η τιμή του κυμαινόταν από 18,96\$ μέχρι 36,02\$. Μετά την αποσύνδεση του από το δολλάριο, οι τιμή του έφτασε το 1974 στα 154,00\$.

Year	Gold USD/ ozt ^[6]	DJIA		World GDP		US Debt		Debt per capita		Trade-weighted US dollar index ^[7]
		USD ^[8]	XAU	USD (trillions) ^[9]	XAU (billions)	USD (billions) ^[10]	XAU (billions)	USD ^[11]	XAU	
1970	37	839	22.7	3.3	89.2	370	10.0	1,874	50.6	
1975	140	852	6.1	6.4	45.7	533	3.8	2,525	18.0	33.0
1980	590	964	1.6	11.8	20.0	908	1.5	4,013	6.8	35.7
1985	327	1,547	4.7	13.0	39.8	1,823	5.6	7,657	23.4	68.2
1990	391	2,634	6.7	22.2	56.8	3,233	8.3	12,892	33.0	73.2
1995	387	5,117	13.2	29.8	77.0	4,974	12.9	18,599	48.1	90.3
2000	273	10,787	39.5	31.9	116.8	5,662	20.7	20,001	73.3	118.6
2005	513	10,718	20.9	45.1	87.9	8,170	15.9	26,752	52.1	111.6
2010	1,410	11,578	8.2	63.2	44.8	14,025	9.9	43,792	31.1	99.9
1970 to 2010 net change, %										
	3,792	1,280	...	...	...	3,691	...	2,237	...	...
1975 (post US off gold standard) to 2010 net change, %										
	929	1,259	...	...	...	2,531	...	1,634	...	...

Εικόνα 1: Η τιμή του Χρυσού στο διάστημα 1970-2010. (Πηγή : "Gold Price USA". Daily Gold Pro. August 3, 2013. Archived from the original on January 11, 2014. Retrieved February 12, 2014.)

Η τιμή του χρυσού την τελευταία δεκαετία είναι συνεχώς ανοδική. Μεταξύ 5^{ης} και 6^{ης} Σεπτεμβρίου του 2011, η τιμή του έφτασε στο ιστορικά υψηλό επίπεδο των 1895,00\$ ανά ουγκιά. Σήμερα, ο χρυσός διαπραγματεύεται σε τιμή λίγο πάνω από τα 1700,00\$.

1.1.1 Αποθέματα χρυσού σε Κεντρικές Τράπεζες

Ο λόγος που οι Κεντρικές Τράπεζες ξεκίνησαν να έχουν αποθέματα χρυσού στα κεντρικά τους χρηματοκιβώτια ήταν προκειμένου να εξασφαλίσουν τις καταθέσεις των πελατών τους ή για να υποστηρίξουν την αξία του νομίσματος τους [\[5\]](#), ειδικά κατά τα χρόνια της συνθήκης Bretton Woods.

Σύμφωνα με το Παγκόσμιο Συμβούλιο Χρυσού (World Gold Council) έχουν εξορυχθεί [\[6\]](#) περίπου 190.040 τόνοι χρυσού. Με τιμή 1700\$ ανά ουγκιά Troy (η τιμή του Χρυσού το 2020), η συνολική αξία του πολύτιμου μετάλλου υπολογίζεται περίπου στα 12,2 τρισεκατομμύρια δολάρια [\[7\]](#).

1.1.2 Ο χρυσός ως επένδυση

Ο χρυσός εμφανίζεται σε διάφορες μορφές επένδυσης, κάθε μια από τις οποίες εμφανίζει τις δικές τις ιδιαιτερότητες. Οι μορφές επένδυσης σε χρυσό είναι οι εξής:

1) Ράβδοι

Είναι η πιο συνηθισμένη μορφή του προς πώληση χρυσού με τα βάρη να ποικίλουν από 12 kg μέχρι και 10 gr [\[8\]](#).

Η Βρετανική πρωτεύουσα, κατέχει τα σκήπτρα στις απευθείας αγοραπωλησίες χρυσού παγκοσμίως. Η ποιότητα του χρυσού καθορίζεται από την λεγόμενη «Λίστα Ορθής Παράδοσης» (Good Delivery List), η οποία αναγνωρίζεται ως το πρότυπο για την ποιότητα των ράβδων χρυσού και αργύρου.

Οι ράβδοι χρυσού είναι γενικά πολύ επιρρεπείς σε νοθεύσεις, σε σύγκριση με άλλες μορφές χρυσού όπως τα νομίσματα [\[9\]](#). Αυτό διότι, αφενός είναι δυσκολότερο να ζυγιστούν και αφετέρου, ο μεγάλος όγκος τους τις καθιστά επιρρεπής στο να νοθευτούν με βολφράμιο οι κοιλότητες επί του εσωτερικού τους.

2) Νομίσματα

Τα νομίσματα είναι ακόμη μια μορφή με την οποία συναλλάσσεται ο χρυσός. Η αξία τους διαφέρει ανάλογα με την σπανιότητα [\[10\]](#) τους καθώς επίσης και από την κατάσταση στην οποία βρίσκονται.

Η επένδυση σε νομίσματα παρουσιάζει κάποια πλεονεκτήματα σε σύγκριση με τις ράβδους. Αρχικά, είναι ευκολότερα ρευστοποιήσιμα λόγω του μικρότερου μεγέθους τους, συνεπώς περισσότεροι επενδυτές ενδιαφέρονται για περισσότερες μονάδες. Επίσης, είναι πολύ ευκολότερο να διαπιστωθεί νοθεία [\[11\]](#).

3) Κοσμήματα

Τα 2/3 της παγκόσμιας ζήτησης χρυσού προέρχονται από τον τομέα των κοσμημάτων με την Ινδία να έχει τα πρωτεία στην παγκόσμια «κατανάλωση» χρυσού για κοσμήματα [\[13\]](#). Τα τελευταία χρόνια έχει παρατηρηθεί ραγδαία αύξηση των εταιρειών ανακύκλωσης χρυσού και παλαιών χρυσών και κοσμημάτων. Ωστόσο δεν λείπουν και τα κρούσματα εξαπατήσεων, καθώς οι συγκεκριμένες εταιρείες αγοράζουν τον χρυσό σε πολύ χαμηλότερη τιμή από τους πελάτες τους, με την πρόφαση ότι έχει «χάσει» την αξία του [\[14\]](#).



4) Εταιρείες Εξόρυξης Χρυσού

Η συγκεκριμένη επένδυση αποτελεί ακόμη μια μορφή επένδυση στο πολύτιμο μέταλλο. Οι εταιρείες αυτές προφανώς και θα ακολουθούν την τιμή του χρυσού αλλά όχι πάντοτε. Συγκεκριμένα, οι διακυμάνσεις των μετοχών τους μπορεί να είναι μη γραμμικές σε σχέση με την αντίστοιχη διακύμανση του χρυσού. Αυτό συμβαίνει διότι, η τιμή της μετοχής τους δεν εξαρτάται μόνο από την τιμή του χρυσού αλλά και από άλλους παράγοντες, όπως η ρευστότητα της εταιρείας την δεδομένη χρονική στιγμή, η διοίκηση της και γενικά παράγοντες που επηρεάζουν την μετοχή μια οποιασδήποτε εταιρείας.

5) Πιστοποιητικά κατοχής χρυσού

Αποτελούν επίσημες βεβαιώσεις από κάποιο πιστοποιημένο χρηματοπιστωτικό φορέα ότι ο αγοραστής πράγματι κατέχει τον καταγεγραμμένο στο πιστοποιητικό χρυσό [\[15\]](#). Ο επενδυτής μπορεί να αγοράσει του τίτλους για οποιαδήποτε ποσότητα χρυσού του ιδρύματος, ωστόσο δεν μπορεί να αποσύρει από τα χρηματοκιβώτια την ποσότητα του μετάλλου που αναγράφεται στους τίτλους κατοχής του.

Το βασικό μειονέκτημα είναι η απουσία κατοχής του πραγματικού μετάλλου. Στην πραγματικότητα δηλαδή ο επενδυτής δεν μπορεί να «αλληλεπιδράσει» με την περιουσία του.

1.2 Το Πετρέλαιο

1.2.1 Ιστορική αναδρομή

Σύμφωνα με τον Ηρόδοτο, οι πρώτες αναφορές του πετρελαίου εμφανίζονται πριν από 4000 χρόνια όταν φυσική άσφαλτος χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή των τοιχών και των πύργων της Βαβυλώνας [16].

Στην Κίνα, το πετρέλαιο χρησιμοποιήθηκε [17] για πρώτη φορά πριν 2000 χρόνια, ενώ σαν καύσιμο οι Κινέζοι πρωτοχρησιμοποίησαν το πετρέλαιο τον 4^ο αιώνα μ.Χ.

Τα πρώτα γνωστά κοιτάσματα πετρελαίου εντοπίζονται το 347 μ.Χ στην Κίνα [18]. Είχαν βάθος περί τα 240 μ και είχαν εκσκαφτεί χρησιμοποιώντας μπαμπού τα οποία αποτελούσαν και την πρώτη μορφή τρυπανιού στην ιστορία [19]. Σύμφωνα με αναφορές, οι Κίνα και η Ιαπωνία είναι οι πρώτες χώρες που χρησιμοποίησαν το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο για παραγωγή θερμότητας και φωτισμού [20].

Οι πρώτοι δρόμοι που ασφαλτοστρώθηκαν με πίσσα (παράγωγο του πετρελαίου) ήταν στη Βαγδάτη. Τον 9^ο αιώνα εντοπίζονται τα πρώτα κοιτάσματα πετρελαίου στο Μπακού του Αζερμπαϊτζάν ενώ Αραβες και Πέρσες χημικοί [21] πραγματοποιούσαν απόσταξη στο πετρέλαιο προκειμένου να παράξουν εύφλεκτα υλικά για στατιωτική χρήση. Μέσω της Ισλαμικής Ισπανίας, η απόσταξη έγινε γνωστή στη Δυτική Ευρώπη μέχρι τα τέλη του 12^{ου} αιώνα [22].

Στην Αμερική οι πρώτες αναφορές για πετρέλαιο έγιναν από τον Sir Walter Raleigh [20], ο οποίος αναφέρεται σε έναν τεράστιο κοιτάσμα πετρελαίου στην περιοχή του Τρινιντάντ.

1.2.2 Το πετρέλαιο στη σύγχρονη ιστορία

Στη σύγχρονη ιστορία το πετρέλαιο εμφανίζεται τον 19^ο αιώνα με την διύλιση της παραφίνης από το ακατέργαστο πετρέλαιο [23]. Η αξιοποίηση της παραφίνης οδήγησε στην δημιουργία των πρώτων προϊόντων πετρελαίου όπως είναι το κερί.

Περί τα 1850, ανακλύφθηκε η κηροζίνη από έναν Καναδό γεωλόγο ονόματι Abraham Pineo Gesner [24]. Η κηροζίνη είχε καλύτερες ιδιότητες από τα μέχρι τότε παράγωγα του πετρελαίου και ήταν αρκετά φθηνότερη από όλα τα ανταγωνιστικά προϊόντα όπως το λάδι φάλαινας.

Το 1846 λένε ότι δημιουργήθηκε η πρώτη μοντέρνα πετρελαιοπηγή [25] στην περιοχή του βόρειου Καυκάσου στην Ρωσική Αυτοκρατορία.

Περί τα 1875 ανακαλύφθηκε το ακατέργαστο πετρέλαιο στην Αμερική, από τον David Beaty [26] στο σπίτι του στο Γουόρεν της Πενσυλβάνια. Έτσι δημιουργήθηκε η εταιρεία εξόρυξης πετρελαίου Bradford η οποία κατείχε το 77% της παγκόσμιας προσφοράς πετρελαίου μέχρι το 1880. Στη συνέχεια ανέλαβε τα ηνία η εταιρεία Branobel του Αζερμπαϊτζάν.

Μέχρι τα τέλη του 19^{ου} αιώνα είχαν ήδη ανοίξει τα πρώτα διυλιστήρια πετρελαίου σε διάφορες πολιτείες της Αμερικής και στον Καναδά, [27] καθώς επίσης και οι πρώτες σύγχρονες πετρελαιοπηγές.

Μέχρι τα μέσα του 19^{ου} αιώνα, το πετρέλαιο απέκτησε και ιδιαίτερη στρατιωτική σημασία [28] λόγω των παγκοσμίων πολέμων. Πλέον ήταν απαραίτητο να δημιουργηθούν βάσεις κοντά σε περιοχές που πρόσφεραν πετρέλαιο ή είχαν την δυνατότητα μεταφοράς του προκειμένου να ανεφοδιάσουν τα στατιωτικά οχήματα τα οποία πλέον σταματούσαν να χρησιμοποιούν το κάρβουνο ως καύσιμο τους.

Σήμερα περίπου το 90% των οχημάτων κινούνται με πετρέλαιο ή με τα παράγωγά του. Οι τρεις πιο πλούσιες σε κοιτάσματα πετρελαίου χώρες είναι η Σαουδική Αραβία, η Ρωσία και οι Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής. Περίπου τα 4/5 της παγκόσμιας ποσότητας πετρελαίου βρίσκονται στην Μέση Ανατολή και συγκεκριμένα στις χώρες: Αραβικά Εμιράτα, Κουβέιτ, Ιράκ, Κατάρ, Σαουδική Αραβία [29] .

1.2.3 Η τιμή του πετρελαίου ανά τα χρόνια

Στα μέσα του 20^{ου} αιώνα η τιμή του πετρελαίου κυμαινόταν στα 30\$ το βαρέλι. Περί τα 1970 το πετρέλαιο αντικατέστησε πλήρως το κάρβουνο και άρχισε να λαμβάνει εκτενή κάλυψη από τα μέσα μαζικής ενημέρωσης (που εκείνη την περίοδο ήταν το ράδιο και η τηλεόραση).

Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να εκτιναχθεί η τιμή του στα 60\$. Η ανοδική αυτή τάση διήρκεσε μέχρι το 1980 όπου και η τιμή έφτασε τα 120\$. Στη συνέχεια ακολούθησε η Μεγάλη Ύφεση με αποτέλεσμα οι τιμές του πετρελαίου να φτάνουν τα 27\$ το βαρέλι το 1984.

Τα επόμενα χρόνια και μέχρι το 2000, η τιμή του πετρελαίου παρουσίαζε μεγάλες διακυμάνσεις με ελάχιστο τα 10\$ το 1998 και μέγιστο τα 80\$ το 1990 (με πληθωρισμό).

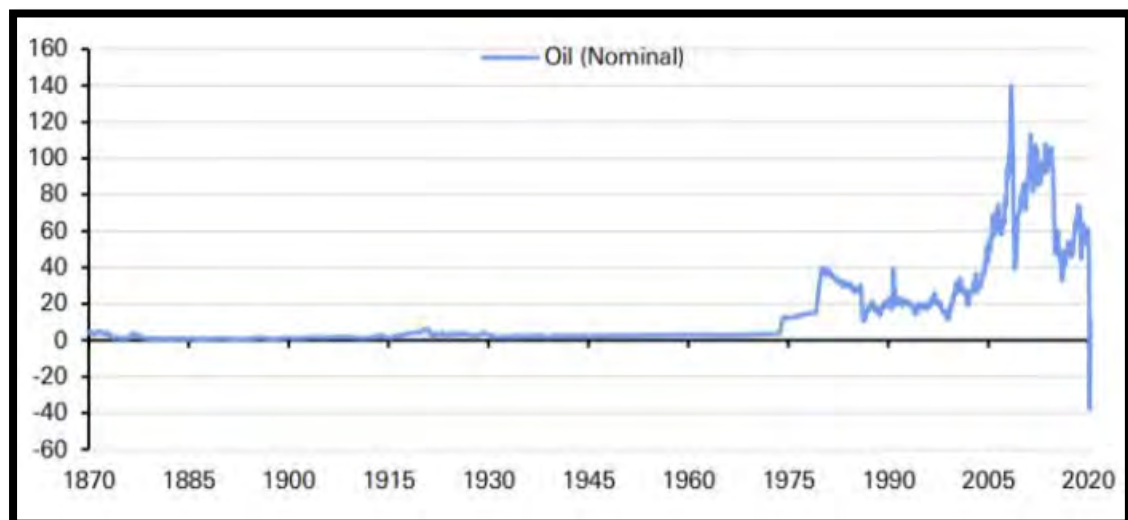
Το 2000 ξεκίνησε η ανοδική πορεία της τιμής του πετρελαίου με αποτέλεσμα να φτάνει τα 160\$ το 2007. Μετά την κρίση του 2007 που ξεκίνησε από τον κτηματομσιτικό τομέα στην Αμερική, το πετρέλαιο έφτασε να κοστίζει περίπου 50\$ το 2008-2009.

Από το 2009 μέχρι το 2014 η τιμή του πετρελαίου είχε ανοδική τάση με αποτέλεσμα το βαρέλι πετρελαίου να κοστίζει 120\$.

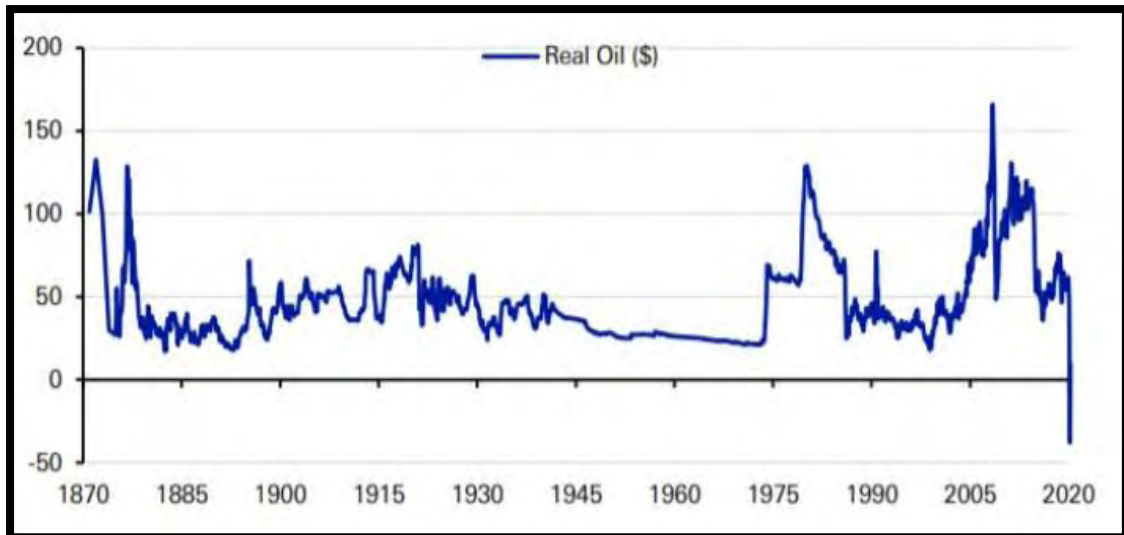
Κατά την περίοδο των εκλογών στις ΗΠΑ το 2014, λόγω της ανυσηχίας που είχε προκληθεί σχετικά με την εκλογή του Τραμπ ως προέδρου, η τιμή του πετρελαίου έπεσε στα 40\$ το βαρέλι.

Εκτοτε και μέχρι τον Δεκέμβριο του 2019, η τιμή του πετρελαίου κυμαινόταν μεταξύ 60\$ και 80\$ το βαρέλι.

Μετά το ξέσπασμα της πανδημίας του κορονοϊού, το πετρέλαιο καταποντίστηκε φτάνοντας μέχρι και την ιστορικά και για πρώτη φορά στα χρονικά , χαμηλή-αρνητική τιμή των -37\$ το βαρέλι.



Εικόνα 2: Η ονομαστική τιμή του πετρελαίου ανά βαρέλι σε (Πηγή: <https://www.macrotrends.net/1369/crude-oil-price-history-chart>)



Εικόνα 3: Η τιμή του πετρελαίου ανά βαρέλι με πληθωρισμό (Πηγή: <https://www.macrotrends.net/1369/crude-oil-price-history-chart>)

1.3 Γιατί επιλέξαμε το Πετρέλαιο και τον Χρυσό...

1.3.1 Γιατί επιλέξαμε το πετρέλαιο?

Από το 1950 το πετρέλαιο αποτελεί την πιο σημαντική πηγή παροχής ενέργειας για την ανθρωπότητα. Εκτοτε, οι χρήσεις του πετρελαίου και των παραγώγων του εκτείνονται από την παραγωγή θερμότητας μέχρι την παραγωγή λιπασμάτων, πλαστικών, χρωμάτων και φαρμάκων.

Πιο συγκεκριμένα, στα σχολεία οι χάρακες, οι κυρομπογιές, οι πλαστελίνη, τα καλύμματα των βιβλίων, είναι από παράγωγα του πετρελαίου. Στον τομέα της υγείας, οι επικαλύψεις των χαπιών καθώς και οι επαναχρησιμοποιούμενες σύριγγες φτιάχνονται από επεξεργασία του πετρελαίου. Στο σπίτι μας, οι φακοί επαφής, τα αρωματικά, τα ρούχα, τα υφάσματα, τα απορρυπαντικά, και τα σαπούνια, παρασκευάζονται από παράγωγα του πετρελαίου. Όταν βγαίνουμε να ψωνίσουμε, οι πιστωτικές μας κάρτες καθώς και οι σακούλες που χρησιμοποιούμε είναι από παράγωγα του πετρελαίου. Τα CDs, τα τηλέφωνα και οι δισκέτες, τα εξαρτήματα του υπολογιστή, τα στυλό, οι καρτέκλες, το μελάνι του εκτυπωτή, όλα παρασκευάζονται από παράγωγα του πετρελαίου [\[30\]](#).

Είναι φανερό, ότι η παγκόσμια οικονομία είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με το πετρέλαιο. Μια πτώση ή μια άνοδος στη τιμή του πετρελαίου, θα επιφέρει αλλαγές στην ζωή όλων των ανθρώπων ακριβώς γιατί πολλά από τα πράγματα που χρησιμοποιούν καθημερινά, είναι φτιαγμένα κατόπιν επεξεργασίας του πετρελαίου. Για τον λόγο αυτό και παρουσιάζει τόσο μεγάλο ενδιαφέρον ως χρηματιστηριακό προϊόν.

1.3.2 Γιατί επιλέξαμε τον χρυσό?

Ο χρυσός είναι κάτι παραπάνω από ένα σπάνιο μέταλλο. Η έννοια του χρυσού συνοδευόταν από μια άγνωστη μυστικότητα γύρω από την θελκτικότητα που εκπέμπει προς τον άνθρωπο.

Οι πρόγονοί μας κατά την προσπάθεια εύρεσης ενός συναλλαγματικού μέσου (διαφορετικού από την ανταλλαγή αγαθών για μια υπηρεσία) κατέληξαν στα μέταλλα. Τα πιο γνωστά μέταλλα-ικανά να εξυπηρετήσουν τον σκοπό του συναλλάγματος-ήταν το σίδηρο, ο χαλκός, ο άργυρος, ο χρυσός, το παλλάδιο και η πλατίνα [\[31\]](#).

Ο χαλκός και το σίδηρο είναι επιρρεπή στη διάβρωση. Αυτό σημαίνει ότι δεν θα μπορούσαν να αποθηκευτούν για μεγάλη χρονικά διαστήματα, διότι η διαδικασία καθαρισμού του σημείου που έχει διαβρωθεί απαιτεί εργατοώρες. Επομένως δεν είναι κατάλληλα για νομίσματα. Το αλουμίνιο από την άλλη, είναι πολύ ελαφρύ και δεν θα έδινε αυτή την αίσθηση της ασφάλειας που πρέπει να αισθάνεται κάποιος όταν κρατάει χρήματα στα χέρια του [\[32\]](#).

Η πλατίνα και το παλλάδιο αν και κατέχουν την ιδιότητα της μη διάβρωσης όταν έρχονται σε επαφή με τα περισσότερα στοιχεία, είναι πολύ πάντα για να εξορυχθούν σε μεγάλες ποσότητες και να επεξεργαστούν ώστε να παράξουν νομίσματα. Η φιλοσοφία πίσω από την δημιουργία νομισμάτων είναι ότι πρέπει να βρεθεί ένα μέταλλο το οποίο να είναι αρκετά σπάνιο ώστε να μην μπορεί ο καθένας να το βρει και να κόψει νόμισμα, αλλά και όχι τόσο δυσεύρετο ώστε να μην μπορούν να κοπούν αρκετά νομίσματα [\[33\]](#).

Καταλήγουμε στον άργυρο. Αν και ο άργυρος έχει τις προοπικές ώστε να σμιλευθεί και να είναι ποθητός, κάτι του λείπει σε σχέση με το χρυσό. Ο χρυσός διαθέτει μια φυσική ομορφιά στα χρώματα του και στην λάμψη του. Πράγματι, τα άτομα του χρυσού είναι πιο βαριά από εκείνα των υπολοίπων μετάλλων. Αυτό κάνει τα ηλεκτρόνια να κινούνται πιο γρήγορα μέσα



του κλοντας έτσι ένα μέρος του φωτός να «απορρόφεται» από τον χρυσό. Έτσι, η λάμψη του χρυσού φαίνεται να να πηγάζει από μέσα του [\[34\]](#) .

Αν η παγκόσμια οικονομία καταρρεύσει και επέλθει μια παγκόσμια ύφεση, ο άνθρωπος θα στραφεί προς τον χρυσό. Ίσως όχι αμέσως, αλλά μόλις βρεί τρόπο να καλύπτει τις πρώτες του ανάγκες. Ο χρυσός πληρεί όλες τις προϋποθέσεις για να αποτελέσει συναλλαγματικό μέσο, και είναι το μόνο που θα έχει απομείνει όταν οι παγκόσμιες οικονομίες θα καταρρεύσουν.

Επομένως, ο χρυσός είναι άρρηκτα συνδεδεμένος με τον άνθρωπο. Σε καιρούς ευημερίας και οικονομικής σταθερότητας, ο χρυσός αποτελεί προϊόν γοήτρου και δίνει μια αίσθηση δύναμης σε όποιον τον κατέχει. Σε καιρούς αβεβαιότητας και οικονομικής αστάθειας, ο χρυσός αποτελεί ένα ασφαλές «καταφύγιο» για την περιουσία κάποιου, ενώ αν όλες οι οικονομίες καταρρεύσουν, ο χρυσός θα είναι το μόνο παγκόσμιο συνάλλαγμα.



1.4 Αντικείμενο και σκοπός της εργασίας.

1.4.1 Αντικείμενο της εργασίας.

Αντικείμενο της εργασίας είναι η συσχέτιση και η πρόβλεψη του Crude oil (Πετρέλαιο) και του Gold (Χρυσός) με εργαλεία μη γραμμικής δυναμικής.

Για την πρόβλεψη χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος των νευρωνικών δικτύων και συγκεκριμένα το πρόγραμμα Weka. Η περιγραφή του νευρωνικού δικτύου του Weka γίνεται σε επόμενο κεφάλαιο.

Πριν γίνει προσπάθεια πρόβλεψης, εκτιμήθηκαν κάποια περιγραφικά στατιστικά στοιχεία για τις χρονοσειρές του χρυσού και του πετρελαίου.

1.4.2 Σκοπός της εργασίας

Σκοπός της εργασίας είναι να εντοπίσει τη σχέση μεταξύ του Χρυσού και του Πετρελαίου. Για τον σκοπό αυτό, επιστρατεύονται παρακάτω και άλλες χρονοσειρές όπως αυτή του S&P 500, του VIX (Volatility Index) καθώς και άλλες οι οποίες αναφέρονται και περιγράφονται σε επόμενο κεφάλαιο. Ακόμη, στοχεύουμε στο να κάνουμε όσο το δυνατόν πιο ακριβή πρόβλεψη με τη χρήση νευρωνικού δικτύου πάνω στη χρονοσειρά του Χρυσού και του Πετρελαίου.

Κεφάλαιο 2 : Μαθηματική Εισαγωγή

2.1 Νευρωνικά Δίκτυα

2.1.1 Τί είναι ένα Νευρωνικό Δίκτυο?

Τα νευρωνικά δίκτυα αποτελούν μια σχετικά καινούργια περιοχή στις φυσικές επιστήμες καθώς έχουν αναπτυχθεί σε διεθνές επίπεδο μόνο τις τελευταίες δεκαετίες. Ωστόσο τα αποτελέσματα από τη χρήση της συγκεκριμένης μεθόδου είναι πολύαριθμα και ιδιαίτερα σημαντικά, γι'αυτό και τα νευρωνικά δίκτυα παρουσιάζουν μεγάλο ενδιαφέρον στις τεχνολογικές επιστήμες [35].

2.1.2 Πώς δημιουργήθηκαν?

Η έμπνευση για τα νευρωνικά δίκτυα ξεκινά από την βιολογία. Οι ζώντες οργανισμοί έχουν ένα κεντρικό νευρικό σύστημα το οποίο είναι υπεύθυνο για τις περισσότερες διεργασίες καθημερινά όπως π.χ η μάθηση, η μνήμη [36]. Το νευρικό σύστημα είναι ένα σύνολο νευρωνικών δικτύων τα οποία έχουν «μάθει» να ανταποκρίνονται στις διεργασίες αυτές. Κάθε νευρωνικό δίκτυο αποτελείται από έναν μεγάλο αριθμό νευρώνων (neurons). Ο νευρώνας είναι η πιο μικρή ανεξάρτητη μονάδα του δικτύου.

2.1.3 Πώς λειτουργεί ένα Νευρωνικό Δίκτυο?

Σε κάθε νευρώνα φτάνει ένας μεγάλος αριθμός σημάτων. Κάθε σήμα που μεταδίδεται από ένα νευρώνα σε ένα άλλο μέσα στον νευρωνικό δίκτυο συνδέεται με την τιμή βάρους, w , και η οποία υποδηλώνει πόσο στενά είναι συνδεδεμένοι οι δύο νευρώνες που συνδέονται με το βάρος αυτό [37]. Το βάρος ουσιαστικά μας δείχνει την σημαντικότητα της συγκεκριμένης πληροφορίας ως προς την ολοκλήρωση της δομής του νευρωνικού δικτύου. Τα σήματα που φτάνουν σε έναν νευρώνα πολλαπλασιάζονται με τα αντίστοιχα βάρη τους, υπόκεινται σε επεξεργασία στο εσωτερικό του νευρώνα όπου παράγεται ένα σήμα ως έξοδος, και στη συνέχεια μεταφέρεται στον επόμενο.

Ο πρωταρχικός σκοπός της λειτουργίας ενός τεχνητού νευρωνικού δικτύου είναι να λύσει προβλήματα τα οποία δεν μπορεί να λύσει ο ανθρώπινος νους. Για να μπορέσει να γίνει αυτό, το νευρωνικό δίκτυο πρέπει να εκπαιδευτεί.

2.1.4 Εκπαίδευση Νευρωνικού Δικτύου

Πως όμως εκπαιδευούμε ένα νευρωνικό δίκτυο? Όπως ακριβώς εκπαιδεύεται και ο ανθρώπινος εγκέφαλος. Για να μπορέσουμε να ανταπεξέλθουμε στις τελικές μας εξετάσεις αρκεί να έχουμε διαβάσει την ύλη και να έχουμε «εκπαιδευτεί» πάνω στην επίλυση ασκήσεων όμοιων με αυτές που πιστεύουμε ότι θα πέσουν στις εξετάσεις [38]. Το ίδιο κάνουμε και με το τεχνητό νευρωνικό δίκτυο. Του δίνουμε ως είσοδο στοιχεία ή δεδομένα, τα οποία είναι μέρος ενός προβλήματος που έχει επιλυθεί ώστε να γνωρίζουμε την απάντησή του, και το οποίο πρόβλημα είναι παρόμοιο με αυτό που έχουμε να αντιμετωπίσουμε.

Η πιο διαδεδομένη μορφή ενός νευρωνικού δικτύου είναι να έχει τρία layers: input layer όπου εισάγουμε τα δεδομένα μας, hidden layer όπου γίνεται η επεξεργασία τους και output layer όπου βγαίνει το αποτέλεσμα της επεξεργασίας.

Η μέθοδος εκπαίδευσης ενός νευρωνικού δικτύου που έχει επικρατήσει μέχρι και σήμερα, είναι η μέθοδος οπισθοδιάδοσης του λάθους [39]. Η κεντρική ιδέα είναι σχετικά απλή: ένα δίκτυο



Ξεκινά την διαδικασία μάθησης από τυχαίες τιμές των βαρών του. Εάν δώσει λάθος απάντηση (που είναι και το πιο πιθανό), τότε τα βάρη διορθώνονται έτσι ώστε το λάθος να γίνει μικρότερο. Η ίδια διαδικασία επαναλαμβάνεται πολλές φορές έτσι ώστε σταδιακά το λάθος ελαττώνεται μέχρις ότου γίνει πολύ μικρό και ανεκτό.

2.2 Το πρόγραμμα νευρωνικών δικτύων Weka

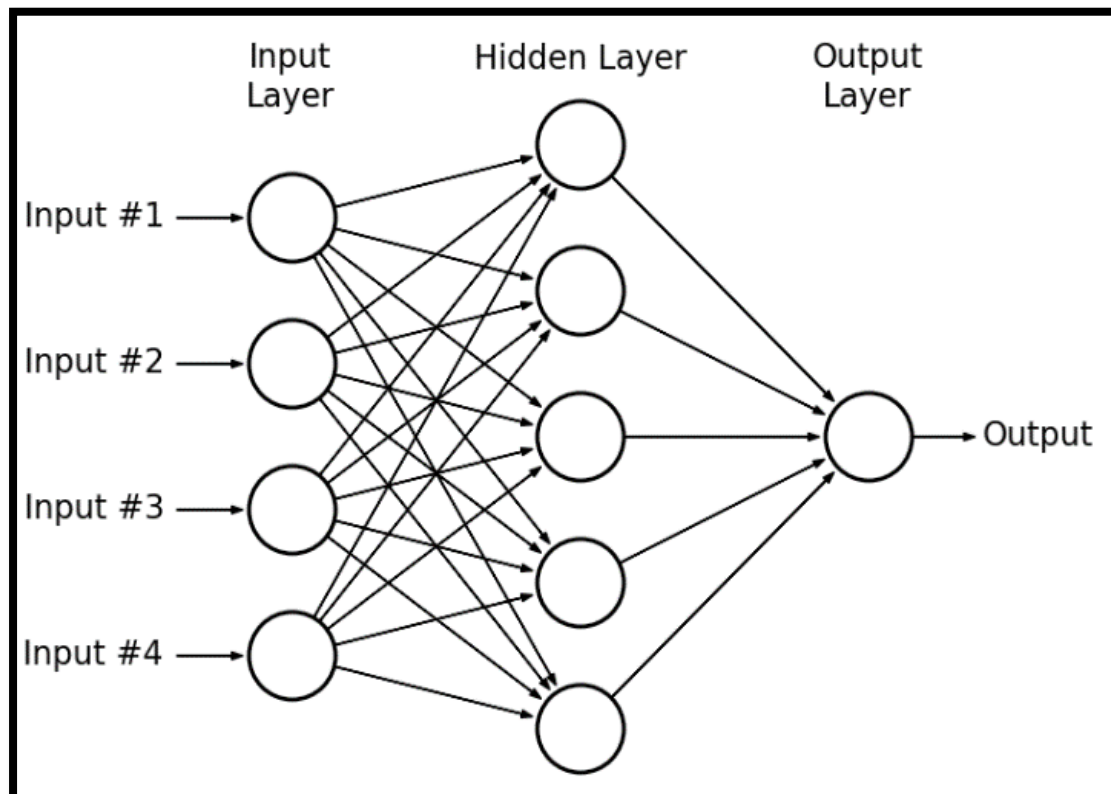
2.2.1 Εισαγωγικά στοιχεία

Το πρόγραμμα Weka (Waikato Environment for Knowledge Analysis) του πανεπιστημίου Waikato, πήρε το όνομα του από το πουλί Weka το οποίο κατοικεί στην Νέα Ζηλανδία.

Το Weka περιέχει ένα σύνολο εργαλείων με σκοπό το Machine Learning [40]. Machine Learning (εκμάθηση μηχανής) όπως λέει και το όνομά του, είναι η κατασκευή υπολογιστικών αλγορίθμων οι οποίοι βελτιώνονται αυτόματα μέσα από την εμπειρία [41]. Θεωρείται ένα παρακλάδι της τεχνητής νοημοσύνης (artificial intelligence). Η φιλοσοφία πίσω από το machine learning είναι ότι κατασκευάζεται ένας αλγόριθμος ο οποίος εκπαιδεύεται να επιτελεί κάποιες διεργασίες, βάσει πληροφοριών που του έχουμε δώσει. Ο αλγόριθμος είναι έτσι κατασκευασμένος ώστε να «μαθαίνει» από μόνος του να καταλήγει στο σωστό αποτέλεσμα, ή σε ένα πολύ κοντά στο σωστό.

Το Weka περιέχει μια πληθώρα εργαλείων με σκοπό το machine learning και το data mining (εξόρυξη πληροφοριών). Από εργαλεία για οπτικοποίηση των επιτελούμενων διεργασιών μέχρι και εντολές για τη δημιουργία μοντέλων πρόβλεψης [42].

Εμείς θα ασχοληθούμε με το κομμάτι των μοντέλων πρόβλεψης, το οποίο γίνεται με την εκμάθηση του νευρωνικού δικτύου του Πολυεπίπεδου Αισθητήρα (Multilayer Perceptron).



Εικόνα 4: Η δομή ενός νευρωνικού δικτύου (Πηγή: <https://www.semanticscholar.org/paper/Comparison-of-methods-of-data-mining-techniques-for-Pyzhov>)

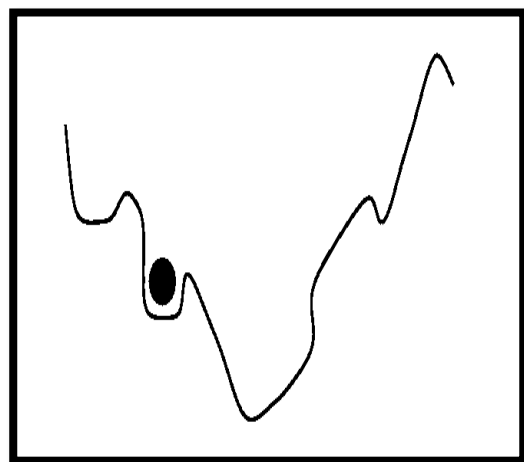
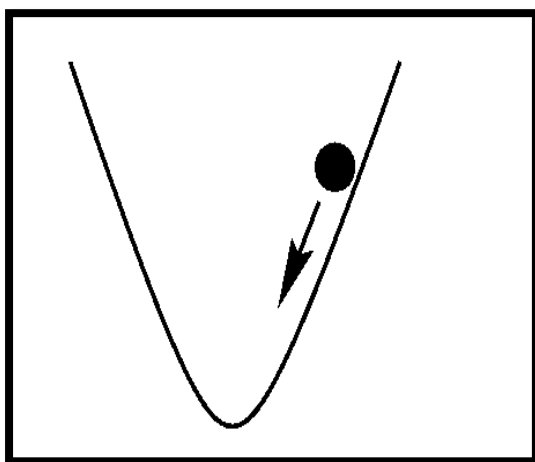
2.2.2 Περιγραφή των παραμέτρων του Weka

Για την πρόβλεψη των χρονοσειρών μας, χησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα νευρωνικών δικτύων Weka.

Στο πρόγραμμα Weka, τα νευρωνικά δίκτυα έχουν τις εξής σημαντικές παραμέτρους που επηρεάζουν την αποτελεσματικότητα του νευρωνικού δικτύου: learning rate, momentum, training time και ο συνδυασμός Hidden layers με neurons σε κάθε layer.

Learning rate είναι ο ρυθμός με τον οποίο «μαθαίνει» το νευρωνικό δίκτυο να επιτελεί την διεργασία που του έχουμε αναθέσει [43]. Πρακτικά είναι ο ρυθμός με τον οποίο αλλάζουν τα βάρη μεταξύ των πληροφοριών-σημάτων στους νευρώνες. Οι τιμές που μπορεί να πάρει ο ρυθμός μάθησης κυμαίνονται μεταξύ 0 και 1. Πολύ μικρές τιμές ρυθμού μάθησης μπορεί να κάνουν το νευρωνικό δίκτυο να «κολλήσει» κατά τη διάρκεια εκμάθησης, με αποτέλεσμα να δώσει εντελώς άστοχη πρόβλεψη. Πολύ μεγάλες τιμές ρυθμού μάθησης και το νευρωνικό δίκτυο μπορεί να «καταλήξει» εσφαλμένα σε κάποιο αποτέλεσμα λόγω του ότι εκπαιδεύτηκε γρήγορα. Ο ρυθμός μάθησης ενός νευρωνικού δικτύου θυμίζει την διαδικασία μάθησης του ανθρώπινου εγκεφάλου. Δεν πρέπει να είναι ούτε πολύ αργή, γιατί μπορεί να καταλήξει να κολλήσει σε άχρηστες (για την γενική εικόνα-επίλυση του προβλήματος) πληροφορίες, αλλά ούτε και πολύ γρήγορα γιατί μπορεί να μάθει «πρόχειρα» κάποια πράγματα, με αποτέλεσμα να δώσει εσφαλμένα αποτελέσματα [44].

Momentum (ορμή) είναι ακόμη μια παράμετρος που επηρεάζει την αποτελεσματικότητα ενός νευρωνικού δικτύου [45]. Η παράμετρος αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική διότι κατά την βελτιστοποίηση του νευρωνικού δικτύου και κατά την προσπάθεια ελαχιστοποίησης του σφάλματος, η συνάρτηση του δικτύου μπορεί να πέσει πάνω σε τοπικά ελάχιστα. Τα τοπικά αυτά ελάχιστα μπορούν εύκολα να ερμηνευτούν ως το ελάχιστο σφάλμα που επιθυμούμε, ωστόσο αυτό είναι λάθος. Με το momentum, που μπορεί να πάρει τιμές από μηδεν μέχρι 1, ουσιαστικά δίνουμε «ώθηση» στο μοντέλο μας να κάνει μεγαλύτερα βήματα ώστε να αποφύγει τα τοπικά ελάχιστα που μπορεί να αναχαιτίσουν την πρόοδο του. Αν και οι τιμές του Momentum βρίσκονται εμπειρικά με trial-error, υπάρχει μια σύνδεση με τον ρυθμό μάθησης (learning rate), σύμφωνα με την οποία, αν ο ρυθμός μάθησης είναι μεγάλος, τότε το Momentum πρέπει να διατηρείται σε χαμηλά επίπεδα και αντίθετα.



Εικόνα 5 :Θεωρητική αντίληψη για εύρεση του ελαχίστου Εικόνα 6 :Πραγματική εύρεση του ελαχίστου
(Πηγή: <https://www.willamette.edu/~gorr/classes/cs449/momrate.html>)



Training time (χρόνος εκμάθησης) είναι ο χρόνος που αφήνουμε το μοντέλο μας να εκπαιδευτεί. Οι χρόνοι εκμάθησης ποικίλλουν , από πολύ μεγάλοι έως πολύ μικροί. Δεν υπάρχει κάποιος κανόνας που να διέπει τις τιμές του. Υπολογίζεται εμπειρικά και βάσει της λογικής, λαμβάνοντας υπ' όψιν ότι δεν θέλουμε να αφιερώσουμε πολλές ώρες περιμένοντας να «εκπαιδευτεί» το μοντέλο μας.

Τα **hidden layers** σε συνδυασμό με τους **νευρώνες** σε κάθε layer, αποτελούν την τελευταία υπό εξέταση παράμετρο των νευρωνικών δικτύων [46]. Ένα νευρωνικό δίκτυο μπορεί να έχει ένα ή και παραπάνω hidden layers (είναι το επίπεδο όπου εκπαιδεύεται το δίκτυο) με έναν ή και παραπάνω νευρώνες σε καθένα από αυτά. Για μια ακόμη φορά δεν υπάρχει κάποιος κανόνας σχετικά με τον πόσα πρέπει να είναι τα layers ή οι νευρώνες σε κάθε ένα από αυτά. Συνήθως ο κατάλληλος συνδυασμός είναι και αυτός που δίνει το μικρότερο σφάλμα σε σχέση με το επιθυμητό αποτέλεσμα.

2.2.3 Πλεονεκτήματα του Weka

Το κύριο πλεονέκτημα του Weka είναι ότι είναι πολύ εύχρηστο. Το γραφικό του περιβάλλον καθώς και ο τρόπος που είναι κατασκευασμένο επιτρέπει στον χρήστη να «χτίσει» ένα νευρωνικό δίκτυο απο το μηδέν μέσα σε λίγα λεπτά, και να δει τα αποτελέσματα με ελάχιστη δυσκολία.

Αντίθετα, ο προγραμματισμός ενός νευρωνικού δικτύου σε μια γλώσσα προγραμματισμού, θα απαιτούσε μέτρια έως καλή γνώση της γλώσσας προγραμματισμού, καθώς και ένα εύλογο χρονικό διάστημα προκειμένου να δομηθεί και να εκπαιδευτεί το νευρωνικό δίκτυο, καθώς και ανάλογο χρονικό διάστημα προκειμένου να οπτικοποιηθούν τα αποτελέσματα που έδωσε.

2.3 Περιγραφικά στατιστικά στοιχεία

Για το κομμάτι των περιγραφικών στατιστικών στοιχείων χρησιμοποιήσαμε το πρόγραμμα Excel. Συγκεκριμένα βρήκαμε:

1) Τον μέσο όρο των χρονοσειρών :

$$\bar{x} = \frac{\sum_1^n x}{n} \quad (2.1)$$

- \bar{x} : ο μέσος όρος της χρονοσειράς
- x : η τιμή της χρονοσειράς την εκάστοτε χρονική στιγμή
- n : το σύνολο των παρατηρήσεων της χρονοσειράς

2) Την διάμεσο του δείγματος:

$$\text{median}(x) = \frac{x_{\lfloor \frac{l+1}{2} \rfloor}}{2} + \frac{x_{\lceil \frac{l+1}{2} \rceil}}{2} \quad (2.2)$$

- $\text{median}(x)$: η διάμεσος του δείγματος.
- x : μια οργανωμένη λίστα αριθμών από το μικρότερο προς το μεγαλύτερο.
- $x_{\lfloor \frac{l+1}{2} \rfloor}$: ο μεγαλύτερος αριθμός του πρώτου μισού της λίστας
- $x_{\lceil \frac{l+1}{2} \rceil}$: ο μικρότερος αριθμός του δεύτερου μισού της λίστας

3) Την τυπική απόκλιση του δείγματος:

$$S = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (x - \bar{x})^2} \quad (2.3)$$

- S : η τυπική απόκλιση του δείγματος
- N : το πλήθος των παρατηρήσεων
- X : η τιμή της παρατήρησης
- \bar{x} : ο μέσος όρος των τιμών των παρατηρήσεων

4) Την διακύμανση-μεταβλητότητα του δείγματος:

$$S^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1} \quad (2.4)$$

- S^2 : η διακύμανση του δείγματος
- x_i : η τιμή της χρονοσειράς την χρονική στιγμή i
- \bar{x} : ο μέσος όρος των παρατηρήσεων της χρονοσειράς



5) Την κυρτότητα:

$$Kurt[X] = E \left[\left(\frac{X-\mu}{\sigma} \right)^4 \right] = \frac{E[(X-\mu)^4]}{(E[(X-\mu)^2])^2} \quad (2.5)$$

- $Kurt[X]$: Η τιμή της κυρτότητας του δείγματος X
- $X-\mu$: Η απόσταση της τιμής της παρατήρησης X από τον μέσο όρο μ
- E : η αναμενόμενη τιμή του όρου που περικλείεται σε παρένθεση
- σ : η τυπική απόκλιση του δείγματος

6) Την ασυμετρία:

$$\mu^3 = E \left[\left(\frac{X-\mu}{\sigma} \right)^3 \right] \quad (2.6)$$

- μ^3 : Η τιμή της ασυμετρίας του δείγματος
- σ : η τυπική απόκλιση του δείγματός
- $X-\mu$: η απόσταση της τιμής X από τον μέσο όρο μ .

2.4 Αιτιότητα κατά Granger

Σύμφωνα με τη **Αιτιότητα κατά Granger**, μια μεταβλητή X αιτιάζει κατά Granger μια μεταβλητή Y αν οι προβέςεις για τις μελλοντικές τιμές της Y βάσει των παρελθοντικών της παρατηρήσεων αλλά και των παρατηρήσεων της μεταβλητής X , είναι καλύτερες από τις προβλέψεις βάσει μόνο των παρελθοντικών τιμών της Y [47]. Βάσει των παραπάνω, ο Granger πρότεινε την ακόλουθη υπόθεση προκειμένου να διαπιστωθεί η σχέση αιτιότητας:

$$P[Y(t+1) \in A | I(t)] \neq P[Y(t+1) \in A | I - x(t)] \quad (2.7)$$

- P : η πιθανότητα
- A : ένα αυθαίρετο μη μηδενικό σύνολο αριθμών
- I_t και $I - x(t)$: είναι το διάστημα που περιέχει όλες τις πληροφορίες για το τεστ μας και το διάστημα όπου έχει αφαιρεθεί η πληροφορία που προέρχεται από την μεταβλητή X αντίστοιχα

Στην εργασία μας, η αιτιότητα κατά Granger υπολογίστηκε στο πρόγραμμα Excel με την μέθοδο της παλινδρόμησης. Το μοντέλο το οποίο εξετάσαμε είναι το εξής:

$$y_i = a_0 + \sum_{j=1}^m a_j y_{i-j} + \sum_{j=1}^m \beta_j x_{i-j} + \varepsilon_i \quad (2.8)$$

- y_i : η τιμή της χρονοσειράς Y την χρονική στιγμή i
- a_0 : σταθερός όρος
- a : ο παράγοντας που δείχνει το πόσο επηρεάζουν οι παρελθοντικές τιμές της Y , τις μελλοντικές της
- β : ο παράγοντας που δείχνει πόσο επηρεάζουν οι παρελθοντικές τιμές της Χρονοσειράς Y , τις μελλοντικές της.
- x_i : η τιμή της χρονοσειράς X την στιγμή i

Συγκεκριμένα διενεργήσαμε τεστ στατιστικής σημαντικότητας τόσο στην παλινδρόμηση, αλλά και στις τιμές των παραγόντων των παραμέτρων X που προέκυψαν από την παλινδρόμηση. Για να αποφανθούμε αν οι παράγοντες β είναι στατιστικά σημαντικοί, συγκρίναμε την P -Value (Probability Value) του κάθε β που προέκυψε από την παλινδρόμηση, με το επίπεδο εμπιστοσύνης α που θέσαμε, το οποίο ήταν ίσο με 0,1.

- Αν $P_{value} > \alpha$, τότε λέμε ότι δεχόμαστε την υπόθεση H_0 , σύμφωνα με την οποία οι παράγοντες β είναι ίσοι και ίσοι με το μηδέν. Επομένως, δεν συνεισφέρουν στην καλύτερη εξήγηση της χρονοσειράς Y με αποτέλεσμα να μην υπάρχει αιτιότητα κατά Granger.
- Αν $P_{value} < \alpha$, τότε απορρίπτουμε την μηδενική υπόθεση H_0 , και δεχόμαστε την εναλλακτική υπόθεση H_a , σύμφωνα με την οποία οι παράγοντες β έχουν την τιμή η οποία προέκυψε από το αποτέλεσμα της παλινδρόμησης. Επομένως, υπάρχει αιτιότητα κατά Granger.

2.5 Νευρωνικά δίκτυα και Weka

Ο αισθητήρας του νευρωνικού δικτύου παράγει ένα αποτέλεσμα συνδυάζοντας γραμμικά (ή και μη) τα βάρη μεταξύ των πληροφοριών (input). Μαθηματικά μπορεί να γραφτεί ως εξής:

$$y = \varphi(\sum_{i=1}^n w_i x_i + b) = \varphi(w^T x + b) \quad (2.9)$$

- Y : το output της εξίσωσης
- φ : δηλώνει την μη γραμμική συνάρτηση ενεργοποίησης του νευρώνα
- w : είναι το διάνυσμα των βαρών
- x : είναι το διάνυσμα των inputs
- b : είναι η προκατάληψη (bias), ουσιαστικά είναι αυτό που μένει από κάθε «λανθασμένο» συνδυασμό Inputs-weights.

Στην εργασία μας χρησιμοποιήσαμε το νευρωνικό δίκτυο του πολυεπίπεδου αισθητήρα (Multilayer Perceptron) του προγράμματος Weka. Η συνάρτηση ενεργοποίησης των νευρώνων είναι μη γραμμική και είναι η σιγμοειδής συνάρτηση με τον τύπο:

$$S(x) = \frac{1}{1+e^{-x}} = \frac{e^x}{e^x+1} \quad (2.10)$$

Η σιγμοειδής συνάρτηση είναι ορισμένη. Ας υποθέσουμε ότι έχουμε μια χρονοσειρά Y με παρατηρήσεις Y_i για κάθε χρονική στιγμή i . Τότε, για κάθε παρατήρηση Y_i θα ισχύει:

$$\forall Y_i \in Y \exists M \in R \tau. \omega : |f(Y_i)| \leq M \quad (2.11)$$

Ακόμη, η σιγμοειδής συνάρτηση είναι παραγωγίσιμη και σε κάθε σημείο της η παράγωγός της έχει θετική τιμή. Αυτό σημαίνει ότι ισχύουν τα παρακάτω:

$$\bullet \forall Y_i \in Y \exists M \in R \tau. \omega : f'(Y_i) = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{f(Y_i+h)-f(Y_i)}{h} \leq M, \text{ με } M > 0 \quad (2.12)$$

$$\bullet \forall Y_i \in Y \exists L \in R \tau. \omega : \lim_{h \rightarrow 0} \frac{f(Y_i+h)-f(Y_i)-Lh}{h} = 0 \quad (2.13)$$

$$\bullet \forall Y_i \in g : U \subset R \rightarrow R \tau. \omega : f(Y_i + h) = f(Y_i) + f'(Y_i)h + g(h) \text{ και } \lim_{h \rightarrow 0} \frac{g(h)}{h} = 0 \quad (2.14)$$

Στα νευρωνικά δίκτυα, η ελαχιστοποίηση του σφάλματος, γίνεται με τον μηχανισμό οπισθοδιάδοσης του λάθους. Σταδιακά, μειώνεται το σφάλμα μεταξύ του επιθυμητού αποτελέσματος και του υπολογιζόμενου από το νευρωνικό δίκτυο. Στην όλη διαδικασία βοηθάει ο ρυθμός εκμάθησης (learning rate) ο οποίος καθορίζει το πόσο γρήγορα αλλάζουν τα βάρη των πληροφοριών. Ισχύουν οι ακόλουθοι μαθηματικοί τύποι:

$$W = W - adW \quad (2.15)$$

$$b = b - adb \quad (2.16)$$



- W : το βάρος της κάθε πληροφορίας
- α : ο ρυθμός εκμάθησης (learning rate)
- b : το bias (η προκατάληψη) του νευρωνικού δικτύου

Κεφάλαιο 3: Ανάλυση των δεδομένων

Τα δεδομένα των χρονοσειρών του χρυσού και του πετρελαίου πάρθηκαν από την ιστοσελίδα Investing.com. Αποφασίσαμε να ασχοληθούμε με τα εβδομαδιαία κλεισίματα γιατί παρουσιάζουν μικρότερες διακυμάνσεις απ'ότι τα καθημερινά κλεισίματα.

Ξεκινήσαμε από τη δεκαετία το 2005 και φτάσαμε μέχρι και τον Μάρτιο του 2020 εν μέσω της πανδημίας του κορονοϊού COvid-19. Στη συνέχεια «σπάσαμε» το χρονικό αυτό διάστημα των 20 χρόνων σε μικρότερα διαστήματα των 2 χρόνων. Ο λόγος που το κάναμε αυτό ήταν διότι οι πληροφορίες που δεχόταν το νευρωνικό δίκτυο ήταν πάρα πολλές, με αποτέλεσμα να «μαθαίνει» πράγματα που δεν χρειάζεται. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να μην δίνει καλές προβλέψεις.

Αρχικά, βρήκαμε κατασκευάσαμε τα ιστογράμματα των χρονοσειρών μας και βρήκαμε κάποια περιγραφικά στατιστικά στοιχεία για αυτές.

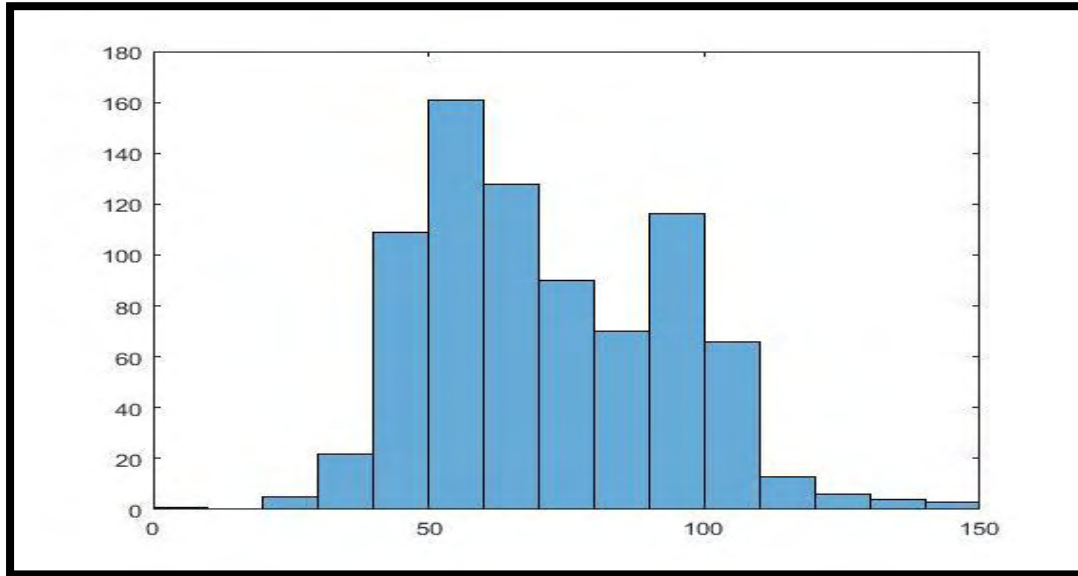
Στη συνέχεια, περάσαμε τα δεδομένα αυτά στο πρόγραμμα Weka προκειμένου να κάνουμε ανάλυση με νευρωνικά δίκτυα. Στην ανάλυση αυτή χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Multilayer Perceptron (πολυεπίπεδος αισθητήρας). Προκειμένου να βρεθεί η 'τέλεια' πρόβλεψη δοκιμάστηκαν πολλοί διαφορετικοί συνδυασμοί Hidden Layers και Neurons σε κάθε Layer.

Τέλος, πραγματοποιήθηκε έλεγχος για ύπαρξη ή μη αιτιότητας κατά Granger στις χρονοσειρές του πετρελαίου και του χρυσού. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το Πετρέλαιο αιτιάζει τον Χρυσό μακροπρόθεσμα, ενώ ο χρυσός αιτιάζει το πετρέλαιο πιο βραχυπρόθεσμα.

3.1. Περιγραφικά στατιστικά στοιχεία

Παρακάτω αναλύονται τα περιγραφικά στοιχεία των χρονοσειρών του Crude Oil, του Gold, του S&P 500 και του VIX. Μαζί με τα ιστογράμματα των συχνοτήτων των τιμών των χρονοσειρών, παρατίθεται και ο πίνακας από το πρόγραμμα Excel πάνω στον οποίο αναγράφονται τα πιο σημαντικά περιγραφικά στατιστικά στοιχεία των χρονοσειρών. Εμείς ασχοληθήκαμε με την κυρτότητα και την ασυμμετρία.

- **CRUDE OIL**

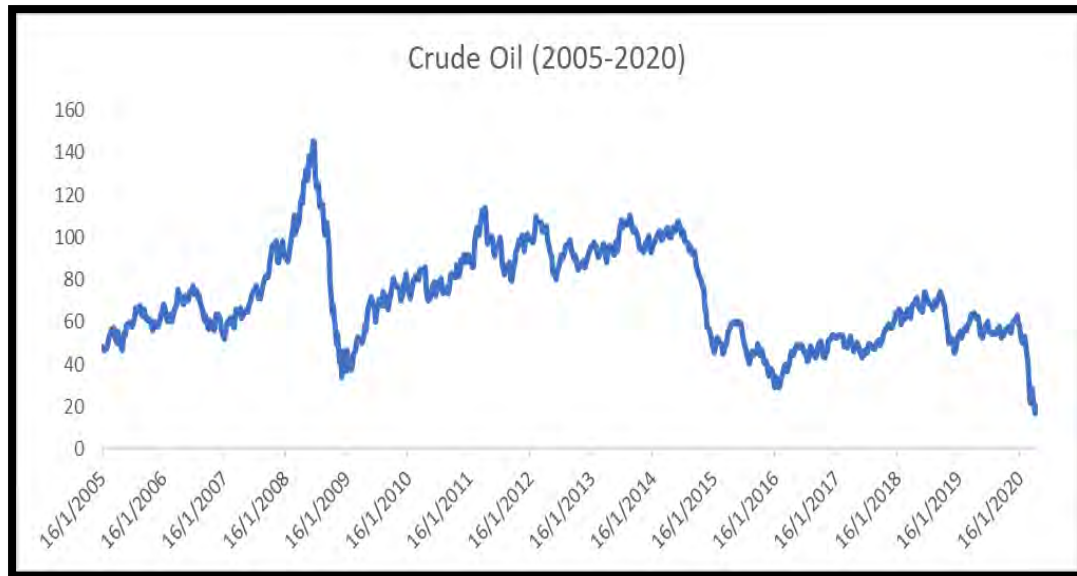


Διάγραμμα 1: Ιστογράμμο συχνοτήτων της Χρονοσειράς του Πετρελαίου

Descriptive statistics for Crude Oil	
Mean	71,88382576
Standard Error	0,779933371
Median	67,785
Mode	58,47
Standard Deviation	21,94927064
Sample Variance	481,7704816
Kurtosis	-0,432434072
Skewness	0,46669396
Range	122,86
Minimum	22,43
Maximum	145,29
Sum	56931,99
Count	792
Confidence Level(95,	1,530983921

Πίνακας 1: Περιγραφικά Στατιστικά Στοιχεία του Crude Oil

- Η κυρτότητα (kurtosis) έχει τιμή $-0,4324 < 3$ για την συγκεκριμένη περίοδο οπότε η κατανομή χαρακτηρίζεται ως μεσόκυρτη και προσεγγίζει την κανονική.
- Ως προς την ασυμμετρία της, η κατανομή χαρακτηρίζεται ως ασυμμετρική προς τα δεξιά καθώς η τιμή του δείκτη ασυμμετρίας (skewness) είναι $0,4666 > 0$.



Διάγραμμα 2: Τα εβδομαδιαία κλεισίματα της χρονοσειράς του Πετρελαίου από το 2005 μέχρι σήμερα

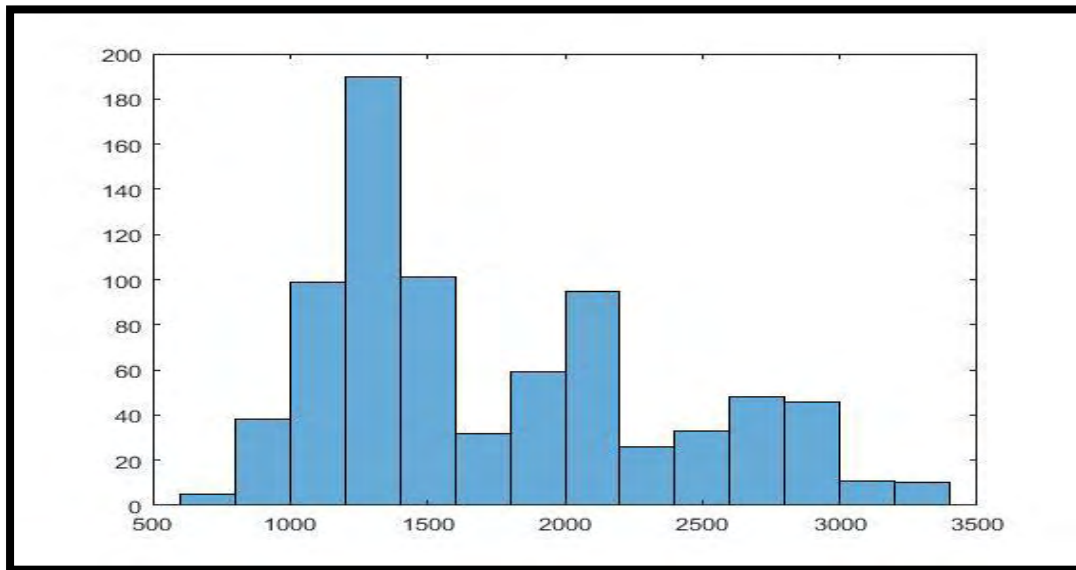
Οι πιο πολλές τιμές της χρονοσειράς του πετρελαίου βρίσκονται πάνω στον μέσο όρο ή είναι μικρότερες από αυτόν. Συγκεκριμένα η μέση τιμή για το Πετρέλαιο από το 2005 μέχρι σήμερα είναι τα 71,88\$ το βαρέλι. Αυτό σημαίνει ότι περίπου από τις 794 εβδομάδες, τις 430 η τιμή κλεισίματος του πετρελαίου ήταν μικρότερη ή ίση της μέσης τιμής των 71,88\$ το βαρέλι. Τις υπόλοιπες 364 εβδομάδες, η τιμή του Πετρελαίου κυμαινόταν σε επίπεδα μεγαλύτερα από τη μέση τιμή.

Κοιτώντας το γράφημα των εβδομαδιαίων κλεισμάτων του Πετρελαίου, μπορούμε να δούμε ότι παρουσίασε ένα μέγιστο το 2008 στα 150\$/βαρέλι ενώ η ημερήσια παραγωγή πετρελαίου άγγιξε τα 118 εκατομμύρια βαρέλια την ημέρα [49]. Η διαρκώς αυξανόμενη τιμή του Πετρελαίου μέχρι και το 2008 οφείλεται σε πολλούς παράγοντες. Ο κυριότερος παράγοντας ήταν η αυξανόμενη ζήτηση με ποσοστά της τάξης του 1,76% κάθε χρόνο από το 1994 μέχρι το 2006 συνοδευόμενη από μια προσφορά η οποία αυξανόταν με πολύ πιο αργούς ρυθμούς. Η αυξανόμενη ζήτηση οφείλεται κυρίως στον τομέα των μεταφορών [50] ο οποίος και γνώρισε ραγδαία ανάπτυξη τις τελευταίες δεκαετίες. Σύμφωνα με έρευνες, μέχρι το 2025 η αύξηση της τιμής του Πετρελαίου θα οφείλεται κατά 75% στα αυτοκίνητα και τα φορτηγά της Κίνας και της Ινδίας [51].

Η πιο αργή αύξηση της προσφοράς οφείλεται μακροπρόθεσμα στον φόβο ότι κάποτε τα κοιτάσματα πετρελαίου θα τελειώσουν [52]. Για το λόγο αυτό και δεν επενδύουν υπέρτοκα ποσά για την κατασκευή υποδομών για εξόρυξη μεγαλύτερων ποσοτήτων πετρελαίου, φοβούμενοι ότι όταν θα αρχίσουν να στερεύουν τα κοιτάσματα, οι υποδομές θα κατασταθούν άχρηστες.

Ακόμη ένας παράγοντας για την αύξηση της τιμής του πετρελαίου είναι και η αποδυνάμωση του δολλαρίου από το 2000 [53]. Λόγω της οικονομικής πολιτικής του προέδρου Bush των Η.Π.Α, το δολλάριο είχε πέσει 37% συγκριτικά με το ευρώ, 31% σε σχέση με το καναδικό δολλάριο και 17% σε σχέση με την αγγλική λίρα. Εφ'όσον η ισοτιμία του δολλαρίου έπεφτε, οι Πολιτείες που εξήγαγαν Πετρέλαιο, απαιτούσαν περισσότερα βαρέλια προκειμένου να εξισοροπήσουν την ζημία από την αποδυνάμωση του δολλαρίου.

• **S&P 500**



Διάγραμμα 3: Ιστόγραμμα συχνοτήτων της χρονοσειράς του S&P 500..

<i>Descriptive statistics for S&P</i>	
Mean	1741,864583
Standard Error	22,1602895
Median	1485,22
Mode	1271,5
Standard Deviation	623,6458267
Sample Variance	388934,1171
Kurtosis	-0,622297227
Skewness	0,683913672
Range	2696,78
Minimum	683,38
Maximum	3380,16
Sum	1379556,75
Count	792
Confidence Level(95,0%)	43,49992984

Πίνακας 2: Περιγραφικά Στατιστικά Στοιχεία του S&P 500.

- Η κυρτότητα (kurtosis) έχει τιμή - 0,62229<3 για την συγκεκριμένη περίοδο οπότε η κατανομή χαρακτηρίζεται ως μεσόκυρτη και προσεγγίζει την κανονική.
- Ως προς την ασυμμετρία της, η κατανομή χαρακτηρίζεται ως ασυμμετρική προς τα δεξιά καθώς η τιμή του δείκτη ασυμμετρίας (skewness) είναι 0,6839>0.



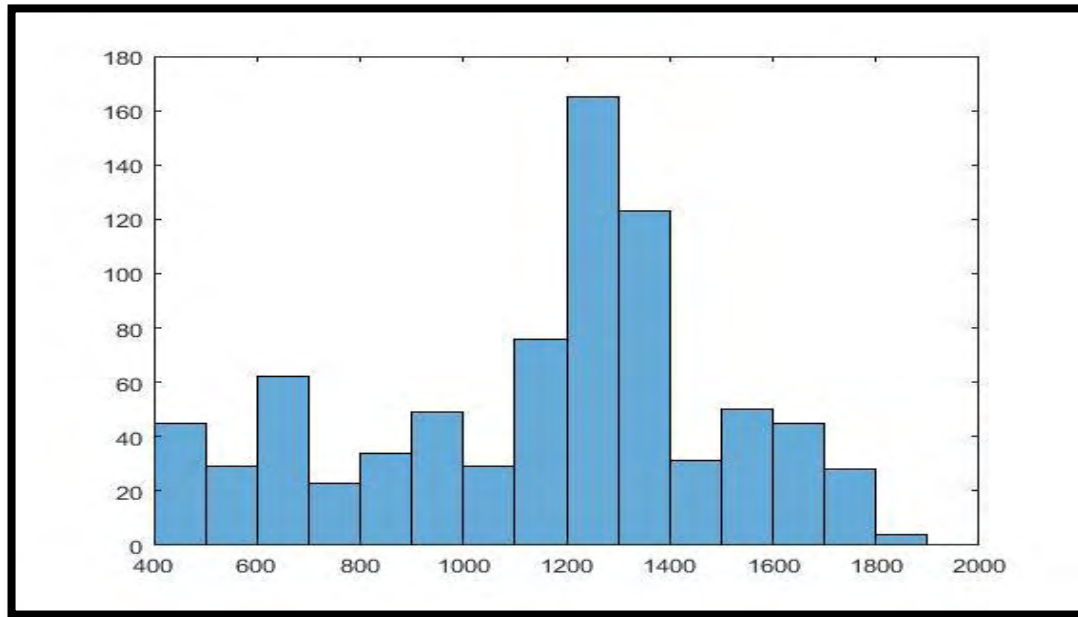
Διάγραμμα 4: Τα εβδομαδιαία κλεισίματα της χρονοσειράς του S&P 500 από το 2005 μέχρι σήμερα

Η μορφή του ιστογράμματος του S&P 500 μοιάζει πάρα πολύ με το ιστογράμμα του πετρελαίου. Συγκεκριμένα, από τις 794 εβδομάδες, τις 520 από αυτές η τιμή κλεισίματος του S&P ήταν ίση ή μικρότερη του μέσου όρου των 794 εβδομάδων.

Κοιτώντας το διάγραμμα των εβδομαδιαίων κλεισιμάτων του S&P παρατηρούμε μια μεγάλη πτώση στα τέλη το 2008 με αρχές του 2009, μια πτώση στα τέλη το 2018 με αρχές του 2019 και μια ακόμη στις αρχές του 2020.

Η πτώση του 2008 οφείλεται στην φούσκα του κτηματομεσιτικού τομέα της Αμερικής, που πυροδότησε μια παγκόσμια οικονομική ύφεση. Ακολούθως, η πτώση του 2018 οφείλεται σε πολλούς παράγοντες, ένας από τους οποίους είναι οι αυξημένοι φόροι που επέβαλε ο πρόεδρος Trump στις εισαγόμενες ποσότητες σιδήρου και αλουμινίου. Ένας ακόμη λόγος είναι τα αυξημένα επιτόκια καθώς και ο έλεγχος των πέντε μεγάλων εταιρειών (Facebook, Amazon, Netflix, Google, Apple) σχετικά με τα προσωπικά δεδομένα. Τέλος, μερίδιο της ευθύνης έχει και η υπερτίμηση πολλών εταιρειών καθώς μετά την ύφεση του 2008 η αξία τους αυξανόταν διαρκώς χωρίς η αύξηση αυτή να ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα [54]. Η κρίση της πανδημίας του κορονοϊού Covid-19 δεν χρήζει ιδιαίτερης ανάλυσης, καθώς οι παγκόσμιες οικονομίες βυθίστηκαν αφού λόγω της καραντίνας που επιβλήθηκε, δεν μπορούσαν να εργαστούν.

• **GOLD**



Διάγραμμα 5: Ιστόγραμμα συχνοτήτων της χρονοσειράς του Χρυσού

Descriptive statistics of Gold	
Mean	1148,32197
Standard Error	12,44976872
Median	1226,9
Mode	1254,3
Standard Deviation	350,3675486
Sample Variance	122757,4191
Kurtosis	-0,580593489
Skewness	-0,427218071
Range	1459,7
Minimum	414
Maximum	1873,7
Sum	909471
Count	792
Confidence Level(95,0%)	24,43849238

Πίνακας 3: Περιγραφικά Στατιστικά Στοιχεία του Gold

- Η κυρτότητα (kurtosis) έχει τιμή $-0,5809 < 3$ για την συγκεκριμένη περίοδο οπότε η κατανομή χαρακτηρίζεται ως μεσόκυρτη και προσεγγίζει την κανονική.
- Ως προς την ασυμμετρία της, η κατανομή χαρακτηρίζεται ως ασυμμετρική προς τα αριστερά καθώς η τιμή του δείκτη ασυμμετρίας (skewness) είναι $-0,4272 < 0$.



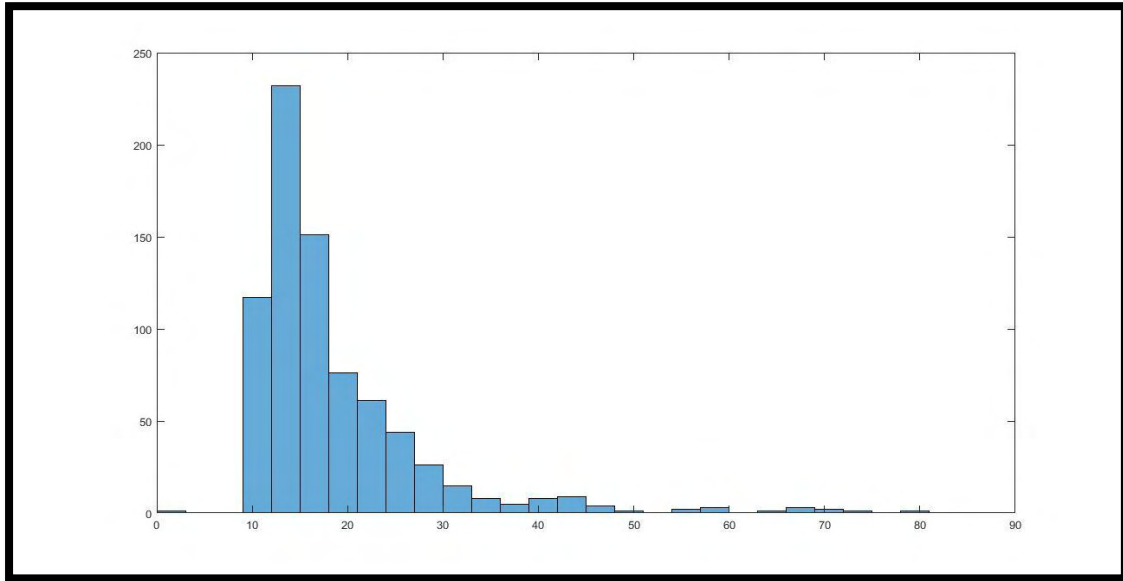
Διάγραμμα 6: Τα εβδομαδιαία κλεισίματα της χρονοσειράς του Χρυσού από το 2005 μέχρι σήμερα

Κοιτώντας το ιστόγραμμα του χρυσού, από τις 794 εβδομάδες, τις 340 από αυτές η εβδομαδιαία τιμή κλεισίματος του ήταν χαμηλότερη από τη μέση τιμή, ενώ τις υπόλοιπες 454 η τιμή ήταν μεγαλύτερη.

Κοιτώντας το διάγραμμα των εβδομαδιαίων κλεισιμάτων της χρονοσειράς του Χρυσού, η τιμή του Χρυσού υπέστη μια πολύ μικρή πτώση το 2008 με το ξέσπασμα της κρίσης των ακινήτων η οποία ακολουθήθηκε από μια ραγδαία ανοδική πορεία της τιμής του Χρυσού μέχρι και το 2012 όπου εμφανίζεται και η μέγιστη τιμή των 1917,90\$ ανά ουγκιά. Για τον επόμενο χρόνο οι τιμές του Χρυσού κυμαίνονταν στα 1500 με 1800 δολάρια/ουγκιά, ενώ στις αρχές του 2013 η τιμή του Χρυσού υπέστη μια μεγάλη πτώση. Υπάρχουν πολλές εικασίες σχετικά με τους λόγους που οδήγησαν στην πτώση αυτή.

Μία από αυτές ήταν η είδηση ότι η Κεντρική Τράπεζα της Κύπρου θα πουλούσε μεγάλο μέρος των αποθεμάτων της σε χρυσό προκειμένου να χρηματοδοτήσει το οικονομικό της πλάνο για αποφυγή χρεοκοπίας. Μεγαλύτερη ποσότητα χρυσού στην αγορά θα σήμαινε μείωση της τιμής του, λόγω του κανόνα προσφοράς-ζήτησης. Μία ακόμα είδηση που προκάλεσε την πτώση της τιμής του Χρυσού ήταν η παρότρυνση της Wall Street προς τους επενδυτές, να πουλήσουν οποιαδήποτε ποσότητα χρυσού είχαν στα χαρτοφυλάκια τους διότι η τιμή του θα έπεφτε δραματικά. Ακολουθώντας, στην μείωση της τιμής του Χρυσού φαίνεται να συνέβαλε η αργή ανάπτυξη της Κίνας σε σχέση με τα προηγούμενα χρόνια. Η ανάπτυξη της Κίνας έχει συνδεθεί με την παγκόσμια ανάπτυξη, κάτι που σημαίνει ότι αν η τελευταία αναπτύσσεται με πιο αργούς ρυθμούς, η ανάγκη για προστασία από τον πληθωρισμό είναι μικρότερη. Συνεπώς, ο Χρυσός χάνει την αξία του, αφού χρησιμοποιείται ως «ασφαλές καταφύγιο» έναντι του πληθωρισμού [55].

• **VIX**

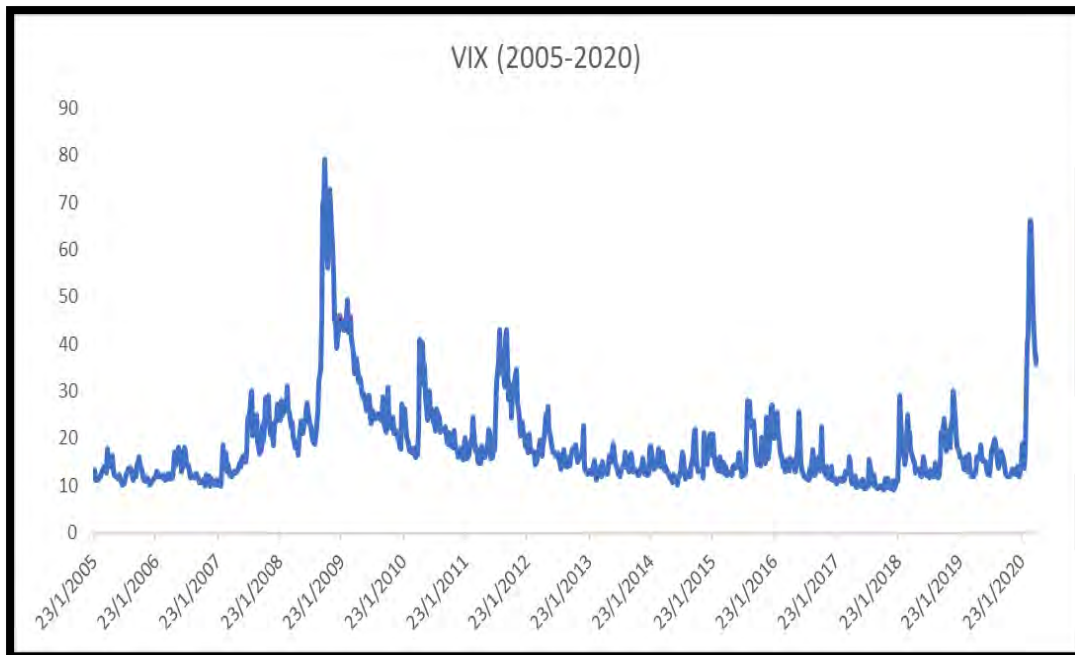


Διάγραμμα 7: Ιστογράμμο συχνοτήτων της χρονοσειράς του δείκτη Μεταβλητότητας (VIX)

<i>Descriptive Statistics for VIX</i>	
Mean	18,46418726
Standard Error	0,333719474
Median	15,7
Mode	11,98
Standard Deviation	9,25432442
Sample Variance	85,64252046
Kurtosis	10,61761296
Skewness	2,795760312
Range	69,99
Minimum	9,14
Maximum	79,13
Sum	14198,96
Count	769
Confidence Level(95,0%)	0,655110573

Πίνακας 4: Περιγραφικά Στατιστικά Στοιχεία του VIX

- Η κυρτότητα (kurtosis) έχει τιμή $10,61 > 3$ για την συγκεκριμένη περίοδο οπότε η κατανομή χαρακτηρίζεται ως λεπτόκυρτη.
- Ως προς την ασυμετρία της, η κατανομή χαρακτηρίζεται ως ασυμετρική προς τα δεξιά καθώς η τιμή του δείκτη ασυμετρίας (skewness) είναι $2,7957 > 0$.



Διάγραμμα 8: Τα εβδομαδιαία κλεισίματα της χρονοσειράς του δείκτη VIX από το 2005 μέχρι σήμερα

Ο δείκτης μεταβλητότητας VIX (Volatility Index) του χρηματιστηρίου του Σικάγο, απεικονίζει τον φόβο-αβεβαιότητα που κυριαρχεί στην αγορά. Μεγάλες και απότομες αυξομειώσεις στην τιμή του σημαίνουν ότι επικρατεί πανικός στην αγορά λόγω ενδεχομένως κάποιας κρίσης. Τιμές του δείκτη VIX κάτω από 10 θεωρούνται χαμηλές, μέχρι 20 κανονικές ενώ πάνω από 20 θεωρούνται υψηλές [56] .

Κοιτώντας το ιστόγραμμα των συχνοτήτων των εβδομαδιαίων κλεισιμάτων του δείκτη VIX, βλέπουμε ότι σχεδόν όλες οι παρατηρήσεις είναι μικρότερες από τη μέση τιμή των παρατηρούμενων κλεισιμάτων η οποία είναι 40.

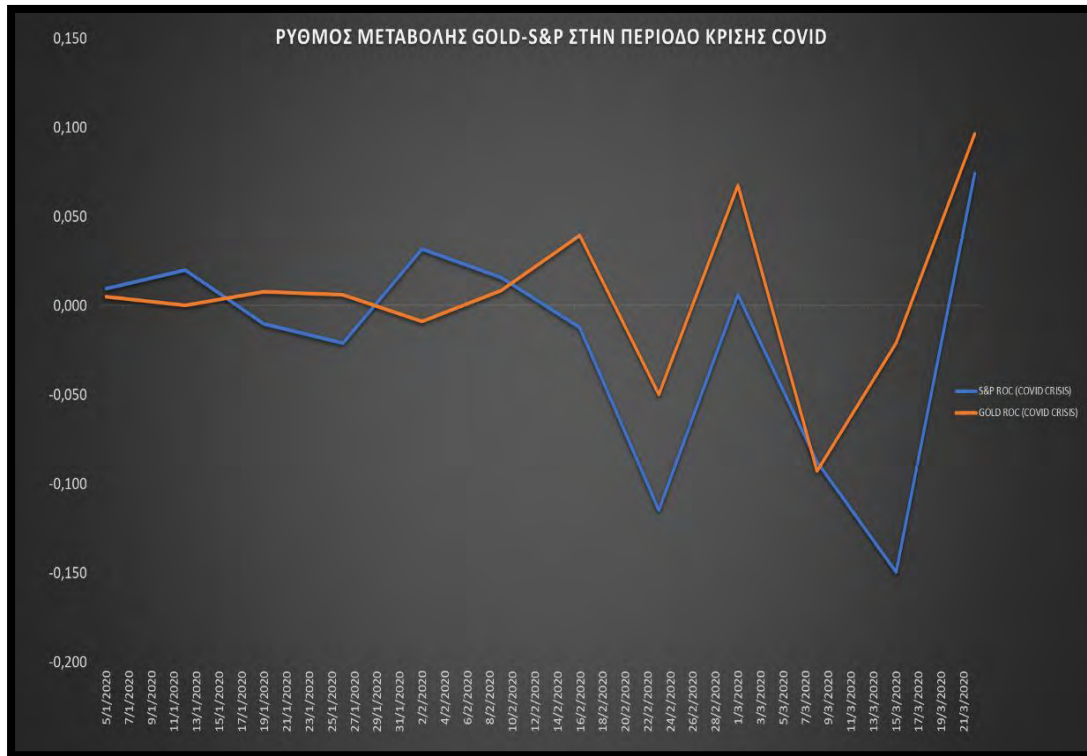
Από το διάγραμμα των εβδομαδιαίων κλεισιμάτων του δείκτη VIX βλέπουμε ότι το 2009 οι τιμές του εκτινάχθηκαν στα ύψη, φυσικό επακόλουθο της κρίσης του κτηματομεσιτικού τομέα. Ακολούθως, οι τιμές του δείκτη VIX «ακούμπησαν» το επίπεδο των 40 μονάδων δύο φορές, μία το 2010 και μία το 2012. Το 2010, ο δείκτης Dow Jones έπεσε έχασε μέσα σε μερικά λεπτά 998,5 μονάδες (9%) τις οποίες επανέκτησε πολύ γρήγορα [57] . Η πτώση αυτή του Dow Jones, μετά από πολλές εικασίες και έρευνες, αποδόθηκε σε σφάλμα αλγορίθμων του συστήματος ανταλλαγών [58] . Αντιθέτως, η απότομη αύξηση του δείκτη VIX το 2011 δεν αποδίδεται σε λάθος των αλγορίθμων αλλά στην υποτίμηση της πιστοληπτικής ικανότητας των Η.Π.Α από τον οίκο αξιολόγησης Standard & Poor's [59] . Την 8^η Αυγούστου 2011 ή αλλιώς και Μαύρη Δευτέρα [60] , η πιστοληπτική ικανότητα των Η.Π.Α υποτιμήθηκε από AAA σε AA+, οδηγώντας τον δείκτη Dow Jones σε πτώση 634,76 μονάδων (-5,55%) [61] . Η τελευταία μεγάλη αύξηση του δείκτη VIX έγινε στις αρχές του 2020 και αποδίδεται στην κρίση της πανδημίας του κορονοϊού Covid-19 .

Στη συνέχεια αποφασίσαμε να εξετάσουμε τους ρυθμούς μεταβολής του χρυσού και του S&P με σκοπό να βρούμε ποιος ήταν μεγαλύτερος κατά την περίοδο της κρίσης.

ΡΥΘΜΟΙ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΧΡΥΣΟΥ ΚΑΙ S&P ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΗΣ ΚΡΙΣΗΣ ΤΟΥ ΚΟΡΟΝΟΙΟΥ COVID 19		
Ημερομηνίες	Ρυθμός Μεταβολής του S&P κατά την κρίση του κορονοϊού Covid-19	Ρυθμός Μεταβολής του Χρυσού κατά την κρίση του κορονοϊού Covid-19
22/3/2020	7,40%	9,62%
15/3/2020	-14,98%	-2,12%
8/3/2020	-8,79%	-9,31%
1/3/2020	0,61%	6,75%
23/2/2020	-11,49%	-4,98%
16/2/2020	-1,25%	3,93%
9/2/2020	1,58%	0,83%
2/2/2020	3,17%	-0,91%
26/1/2020	-2,12%	0,61%
19/1/2020	-1,03%	0,75%
12/1/2020	1,97%	0,01%
5/1/2020	0,94%	0,49%

Πίνακας 5: Ο ρυθμός μεταβολής της τιμής του Χρυσού έναντι του ρυθμού μεταβολής του δείκτη S&P 500 κατά το ξέσπασμα της πανδημίας του κορονοϊού COvid-19.

Από τον πίνακα μπορούμε να εξαγάγουμε το συμπέρασμα ότι ο ρυθμός μεταβολής του χρυσού είναι πολύ μικρότερος από αυτόν του S&P 500. Αυτό δεν σημαίνει ότι δεν επηρεάστηκε ή ότι δεν παρουσίασε διακυμάνσεις εν μέσω κρίσης. Ωστόσο οι διακυμάνσεις του ήταν πολύ μικρότερες από αυτές του S&P. Συγκεκριμένα από τις δώδεκα εβδομάδες, μόνο τις τέσσερις από αυτές ο ρυθμός μεταβολής του χρυσού ξεπέρασε τον S&P.



Διάγραμμα 8: Ο ρυθμός μεταβολής της τιμής του Χρυσού έναντι του ρυθμού μεταβολής του δείκτη S&P 500 κατά το ξέσπασμα της πανδημίας του κορονοϊού COvid-19.

3.2 Πρόβλεψη της χρονοσειράς του Χρυσού στο Weka

Προκειμένου να αναγνωρίσουμε ποιος συνδυασμός παραμέτρων είναι ο βέλτιστος πήραμε κάποια από τα χρονικά διαστήματα στα οποία χωρίσαμε τις χρονοσειρές. Τα διαστήματα αυτά τα χωρίσαμε σε δύο κομμάτια: στο κομμάτι που θα χρησιμοποιούνταν για την εκπαίδευση και στο κομμάτι του test. Για την εύρεση του βέλτιστου συνδυασμού των παραμέτρων ασχοληθήκαμε μόνο με μια από τις δύο χρονοσειρές, με αυτή του χρυσού.

Χρονικό διάστημα: 8/1/2015-15/1/2017 (105 παρατηρήσεις)		
1) 1 Layer με 1 Νευρώνα (learning rate: 0.3 , momentum :0.2 , training time : 500)		
Πρόβλεψη	Πραγματικές	Απόκλιση
1.267,9443	1249,4	-18,5443
1285,0098	1279,9	-5,1098
1303,0816	1292,2	-10,8816
1326,394	1297,1	-29,2940
2) 1 Layer με 2 Νευρώνες (learning rate: 0.3 , momentum :0.2 , training time : 500)		
Πρόβλεψη	Πραγματικές	Απόκλιση
1.255,7269	1249,4	-6,3269
1256,4854	1279,9	23,4146
1257,6586	1292,2	34,5414
1258,8072	1297,1	38,2928
3) 2 Layers με 1 Νευρώνα στο καθένα (learning rate: 0.3 , momentum :0.2 , training time : 500)		
Πρόβλεψη	Πραγματικές	Απόκλιση
1.259,3827	1249,4	-9,9827
1272,0556	1279,9	7,8444
1285,1189	1292,2	7,0811
1310,8871	1297,1	-13,7871
4) 2 Layers με 2 Νευρώνες στο καθένα (learning rate: 0.3 , momentum :0.2 , training time : 500)		
Πρόβλεψη	Πραγματικές	Απόκλιση
1.265,6886	1249,4	-16,2886
1272,0793	1279,9	7,8207
1276,5621	1292,2	15,6379
1301,8779	1297,1	-4,7779

Πίνακας 6: Οι δοκιμές των παραμέτρων του προγράμματος Weka για τη χρονοσειρά του Χρυσού στο χρονικό διάστημα 2015-2017.

Προκειμένου να βρεθεί ο βέλτιστος συνδυασμός παραμέτρων που θα μας έδινε την καλύτερη πρόβλεψη για το χρονικό διάστημα 2015-2017, δοκιμάστηκαν οι παραπάνω συνδυασμοί αραμέτρων στο νευρωνικό δίκτυο του πολυεπίπεδου αισθητήρα που δημιουργήσαμε στο πρόγραμμα Weka. Παρατηρούμε, ότι στο **σενάριο 3** όπου έχουμε δύο Hidden Layers με έναν νερώνα στο καθένα, οι αποκλίσεις των προβλεπόμενων τιμών από τις πραγματικές, είναι οι μικρότερες σε σχέση με τα υπόλοιπα σενάρια. Ο λόγος που δεν παρατίθενται πιο πολλά σενάρια με περισσότερους συνδυασμούς Hidden Layers-Νευρώνων είναι διότι η προβλέψεις «χαλούσαν» πολύ με οποιονδήποτε άλλο συνδυασμό.

Χρονικό διάστημα :13/1/2013-11/1/2015 (105 παρατηρήσεις)		
1) 1 Layer με 1 Νευρώνα (learning rate: 0.3 , momentum :0.2 , training time : 500)		
Πρόβλεψη	Πραγματικές	Απόκλιση
1.284,6618	1357,6	72,9382
1248,385	1336,6	88,2150
1245,9501	1301,6	55,6499
1250,0899	1294,6	44,5101
2) 1 Layer με 2 Νευρώνες (learning rate: 0.3 , momentum :0.2 , training time : 500)		
Πρόβλεψη	Πραγματικές	Απόκλιση
1.317,6024	1357,6	39,9976
1285,2196	1336,6	51,3804
1227,4756	1301,6	74,1244
1209,5158	1294,6	85,0842
3) 2 Layers με 1 Νευρώνα στο καθένα (learning rate: 0.3 , momentum :0.2 , training time : 500)		
Πρόβλεψη	Πραγματικές	Απόκλιση
1.279,0206	1357,6	78,5794
1252,8057	1336,6	83,7943
1252,2951	1301,6	49,3049
1255,7032	1294,6	38,8968
4) 2 Layers με 2 Νευρώνες στο καθένα (learning rate: 0.3 , momentum :0.2 , training time : 500)		
Πρόβλεψη	Πραγματικές	Απόκλιση
1.280,7461	1357,6	76,8539
1250,624	1336,6	85,9760
1249,4247	1301,6	52,1753
1253,1926	1294,6	41,4074

Πίνακας 7: Οι δοκιμές των παραμέτρων του προγράμματος Weka για τη χρονοσειρά του Χρυσού στο χρονικό διάστημα 2013-2015.

Στον παραπάνω πίνακα, απεικονίζονται οι συνδυασμοί παραμέτρων για το χρονικό διάστημα 2013-2015. Οι καλύτερες προβλέψεις δίνονται για τον συνδυασμό παραμέτρων που παρουσιάζεται στο **σενάριο 1**. Για το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα ο συνδυασμός του ενός Hidden Layer με έναν νευρώνα φαίνεται να δίνει την καλύτερη πρόβλεψη. Ο λόγος που δεν παρουσιάζονται περισσότεροι συνδυασμοί είναι διότι η πρόβλεψη ήταν πολύ χειρότερη.

Χρονικό διάστημα: 9/1/2011-6/1/2013 (105 παρατηρήσεις)		
1) 1 Layer με 1 Νευρώνα (learning rate: 0.3 , momentum :0.2 , training time : 500)		
Πρόβλεψη	Πραγματικές	Απόκλιση
1.703,6945	1686,6	-17,0945
1748,7936	1656,4	-92,3936
1779,8578	1669,4	-110,4578
1818,5486	1666	-152,5486
2) 1 Layer με 2 Νευρώνες (learning rate: 0.3 , momentum :0.2 , training time : 500)		
Πρόβλεψη	Πραγματικές	Απόκλιση
1.751,8824	1686,6	-65,2824
1788,5068	1656,4	-132,1068
1794,9825	1669,4	-125,5825
1806,2505	1666	-140,2505
3) 1 Layer με 3 Νευρώνες (learning rate: 0.3 , momentum :0.2 , training time : 500)		
Πρόβλεψη	Πραγματικές	Απόκλιση
1.674,1949	1686,6	12,4051
1704,2414	1656,4	-47,8414
1702,6755	1669,4	-33,2755
1747,2141	1666	-81,2141
4) 2 Layers με 1 Νευρώνα στο καθένα (learning rate: 0.3 , momentum :0.2 , training time : 500)		
Πρόβλεψη	Πραγματικές	Απόκλιση
1.714,8261	1686,6	-28,2261
1762,9556	1656,4	-106,5556
1790,1924	1669,4	-120,7924
1810,9093	1666	-144,9093
5) 2 Layers με 2 Νευρώνες στο καθένα (learning rate: 0.3 , momentum :0.2 , training time : 500)		
Πρόβλεψη	Πραγματικές	Απόκλιση
1725,6451	1686,6	-39,0451
1793,6471	1656,4	-137,2471
1827,1	1669,4	-157,7
1865,0522	1666	-199,0522

Πίνακας 8: Οι δοκιμές των παραμέτρων του προγράμματος Weka για τη χρονοσειρά του Χρυσού στο χρονικό διάστημα 2011-2013.

Στον παραπάνω πίνακα απεικονίζονται οι συνδυασμοί παραμέτρων για το χρονικό διάστημα 2011-2013. Η καλύτερη πρόβλεψη έγινε με τον συνδυασμό ένα Hidden Layer με 3 νευρώνες. Για ακόμη μια φορά, οποιοσδήποτε άλλος συνδυασμός Hidden Layers με νευρώνες, έδινε πολύ άστοχη πρόβλεψη.

Εχοντας πάρει μια ιδέα για την χρονοσειρά του Χρυσού, θα πραγματοποιήσουμε πρόβλεψη στο χρονικό διάστημα: 22/1/2017-29/3/2020. Οι παρατηρήσεις είναι 158 στο σύνολό τους, γι αυτό και θα κάνουμε πρόβλεψη για 7 μελλοντικές χρονικές περιόδους (δηλαδή εβδομάδες).

Χρονικό διάστημα: 22/1/2017-29/03/2020 (167 παρατηρήσεις)		
1) 1 Layer με 1 Νευρώνα (learning rate: 0.3 , momentum :0.2 , training time : 500)		
Πρόβλεψη	Πραγματικές	Απόκλιση
1.588,4594	1726,7	-138,2406
1.595,917	1756,3	-160,3827
1595,5126	1713,9	-118,3874
1.580,6067	1700,9	-120,2933
1600,2339	1735,6	-135,3661
1592,918	1755,8	-162,8820
1597,5109	1752,8	-155,2891
2) 2 Layer με 1 Νευρώνα στο καθένα (learning rate: 0.3 , momentum :0.2 , training time : 500)		
Πρόβλεψη	Πραγματικές	Απόκλιση
1.588,2496	1726,7	-138,4504
1.592,758	1756,3	-163,5418
1592,758	1713,9	-121,1420
1581,2145	1700,9	-119,6855
1595,2936	1735,6	-140,3064
1591,1948	1755,8	-164,6052
1594,5361	1752,8	-158,2639
3) 3 Layer με 4 Νευρώνες στο καθένα (learning rate: 0.3 , momentum :0.2 , training time : 500)		
Πρόβλεψη	Πραγματικές	Απόκλιση
1.577,1027	1726,7	-149,5973
1.592,844	1756,3	-163,4563
1600,5631	1713,9	-113,3369
1565,7484	1700,9	-135,1516
1602,9537	1735,6	-132,6463
1599,9792	1755,8	-155,8208
1.594,1099	1752,8	-158,6901

Πίνακας 9 :Οι δοκιμές των παραμέτρων του προγράμματος Weka για τη χρονοσειρά του Χρυσού στο χρονικό διάστημα 2017-2020.

Για την χρονοσειρά του Χρυσού φαίνεται ότι ο συνδυασμός του ενός Hidden Layer με έναν νευρώνα δίνει την καλύτερη πρόβλεψη για το τελευταίο χρονικό διάστημα. Οι προβλέψεις «έπιασαν» την τάση 4 από τις 7 εβδομάδες. Οποιοσδήποτε άλλος συνδυασμός Hidden layers με νευρώνες όχι μόνο χαλούσε την πρόβλεψη αλλά πλέον δεν «πιάναμε» και την τάση.

Προκειμένου να βρούμε την ακρίβεια των προβλέψεών μας, θα χρησιμοποιήσουμε τον τύπο του MAPE (Mean Average Percentage Error) στο τελευταίο χρονικό διάστημα. Τιμές κάτω του 10% είναι πολύ καλές. Ο μαθηματικός τύπος του MAPE είναι ο εξής:

$$M = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{A_t - F_t}{A_t} \right| \quad (3.1)$$

Όπου:

- n : ο αριθμός των παρατηρήσεων.
- A_t : Οι πραγματικές τιμές
- F_t : Οι προβλεπόμενες τιμές.

Για το χρονικό διάστημα 2017-2020, ο τύπος του MAPE γίνεται:

$$M = \frac{1}{7} \sum_{t=1}^7 \left| \frac{A_t - F_t}{A_t} \right| = 0,081 = 8,1\%$$

Αυτό σημαίνει ότι η μέση απόκλιση της προβλεπόμενης τιμής από την κανονική είναι **8,1%**. Επομένως οι προβλέψεις μας θεωρούνται **πολύ καλές**.

3.3 Πρόβλεψη της χρονοσειράς του Πετρελαίου στο Weka

Προκειμένου να αναγνωρίσουμε ποιος συνδυασμός παραμέτρων είναι ο βέλτιστος πήραμε κάποια από τα χρονικά διαστήματα στα οποία χωρίσαμε τις χρονοσειρές. Τα διαστήματα αυτά τα χωρίσαμε σε δύο κομμάτια: στο κομμάτι που θα χρησιμοποιούνταν για την εκπαίδευση και στο κομμάτι του test. Τα χρονικά διαστήματα με τα οποία ασχοληθήκαμε και στην χρονοσειρά του Πετρελαίου είναι από το 2011 και μετά.

Χρονικό διάστημα: 4/1/2015-15/1/2017 (105 παρατηρήσεις)		
1) 1 Layer με 1 Νευρώνα (learning rate: 0.3 , momentum :0.2 , training time : 500)		
Πρόβλεψη	Πραγματικές	Απόκλιση
56,2823	53,4	-2,8823
56,502	53,86	-2,6416
56,935	53,83	-3,1050
55,4546	53,17	-2,2846
2) 1 Layer με 2 Νευρώνες (learning rate: 0.3 , momentum :0.2 , training time : 500)		
Πρόβλεψη	Πραγματικές	Απόκλιση
59,5730	53,4	-6,1730
60,8681	53,86	-7,0081
59,0221	53,83	-5,1921
55,7857	53,17	-2,6157
3) 2 Layers με 1 Νευρώνα στο καθένα (learning rate: 0.3 , momentum :0.2 , training time : 500)		
Πρόβλεψη	Πραγματικές	Απόκλιση
55,5156	53,4	-2,1156
55,7063	53,86	-1,8463
55,7817	53,83	-1,9517
55,0341	53,17	-1,8641
4) 3 Layers με 1 Νευρώνα στο καθένα (learning rate: 0.3 , momentum :0.2 , training time : 500)		
Πρόβλεψη	Πραγματικές	Απόκλιση
55,1998	53,4	-1,7998
55,4108	53,86	-1,5508
55,28	53,83	-1,4500
54,8788	53,17	-1,7088

Πίνακας 10: : Οι δοκιμές των παραμέτρων του προγράμματος Weka για τη χρονοσειρά του Πετρελαίου στο χρονικό διάστημα 2015-2017.

Στο χρονικό διάστημα 2015-2017, η καλύτερη πρόβλεψη έγινε στο **σενάριο 4** όπου το νευρωνικό δίκτυο αποτελείται από 3 Hidden Layers με 1 νευρώνα στο καθένα. Στο σενάριο αυτό και τέσσερις προβλέψεις «έπιασαν» την τάση, ενώ οποιοδήποτε άλλος συνδυασμός μεταξύ Hidden Layers και νευρώνων «χαλάει» την πρόβλεψη.

Χρονικό διάστημα: 6/1/2013-28/12/2014 (105 παρατηρήσεις)		
1) 1 Layer με 1 Νευρώνα (learning rate: 0.3 , momentum :0.2 , training time : 500)		
Πρόβλεψη	Πραγματικές	Απόκλιση
59,6306	48,24	-11,3906
59,918	45,59	-14,3278
58,3791	48,69	-9,6891
56,2847	48,36	-7,9247
2) 1 Layer με 2 Νευρώνες (learning rate: 0.3 , momentum :0.2 , training time : 500)		
Πρόβλεψη	Πραγματικές	Απόκλιση
49,4264	48,24	-1,1864
49,8149	45,59	-4,2249
50,7002	48,69	-2,0102
53,1691	48,36	-4,8091
3) 3 Layers με 1 Νευρώνα στο καθένα (learning rate: 0.3 , momentum :0.2 , training time : 500)		
Πρόβλεψη	Πραγματικές	Απόκλιση
68,2881	48,24	-20,0481
63,2107	45,59	-17,6207
61,9558	48,69	-13,2658
58,226	48,36	-9,8660
4) 3 Layers με 2 Νευρώνες στο πρώτο και από έναν στα άλλα δύο (learning rate: 0.3 , momentum :0.2 , training time : 500)		
Πρόβλεψη	Πραγματικές	Απόκλιση
53,2209	48,24	-4,9809
53,2037	45,59	-7,6137
53,4876	48,69	-4,7976
53,6121	48,36	-5,2521

Πίνακας 11: : Οι δοκιμές των παραμέτρων του προγράμματος Weka για τη χρονοσειρά του Πετρελαίου στο χρονικό διάστημα 2013-2015.

Στο χρονικό διάστημα 2013-2015, η πιο καλή πρόβλεψη για την χρονοσειρά του πετρελαίου προέρχεται από τον συνδυασμό των τριών Hidden Layer με 2 νευρώνες στο πρώτο layer και από έναν νευρώνα στα άλλα δύο. Με τον συγκεκριμένα συνδυασμό παραμέτρων καταφέραμε να «τιάσουμε» την τάση σε δύο από τα τέσσερα μελλοντικά εβδομαδιαία κλεισίματα. Οποιοσδήποτε διαφορετικός συνδυασμός παραμέτρων «χαλούσε» την πρόβλεψη.

Χρονικό διάστημα: 2/1/2011-30/12/2012 (105 παρατηρήσεις)		
1) 1 Layer με 1 Νευρώνα (learning rate: 0.3 , momentum :0.2 , training time : 500)		
Πρόβλεψη	Πραγματικές	Απόκλιση
85,3012	97,77	12,4688
87,110	95,88	8,7698
89,6183	95,56	5,9417
91,1622	93,56	2,3978
2) 1 Layer με 2 Νευρώνες (learning rate: 0.3 , momentum :0.2 , training time : 500)		
Πρόβλεψη	Πραγματικές	Απόκλιση
85,1527	97,77	12,6173
85,197	95,88	10,6830
87,4012	95,56	8,1588
90,1647	93,56	3,3953
3) 2 Layers με 2 Νευρώνες στο πρώτο και έναν στο δεύτερο (learning rate: 0.3 , momentum :0.2 , training time : 500)		
Πρόβλεψη	Πραγματικές	Απόκλιση
93,5467	97,77	4,2233
94,6235	95,88	1,2565
93,6734	95,56	1,8866
93,6465	93,56	-0,0865
4) 3 Layers με 3 Νευρώνες στο καθένα (learning rate: 0.3 , momentum :0.2 , training time : 500)		
Πρόβλεψη	Πραγματικές	Απόκλιση
95,6231	97,77	2,1469
95,9418	95,88	-0,0618
95,3859	95,56	0,1741
94,3239	93,56	-0,7639

Πίνακας 12: : Οι δοκιμές των παραμέτρων του προγράμματος Weka για τη χρονοσειρά του Πετρελαίου στο χρονικό διάστημα 2011-2013.

Στο χρονικό διάστημα 2011-2013, ο βέλτιστος συνδυασμός παραμέτρων για μια επιτυχή πρόβλεψη ήταν ο: τρία Hidden Layers με τρεις νευρώνες στο καθένα από αυτά. Η πρόβλεψη «πέτυχε» τρεις από τις τέσσερις φορές την τάση, ενώ οποιοσδήποτε άλλος συνδυασμός δεν έδινε αναγκαστικά χειρότερη πρόβλεψη, αλλά δεν καλυτέρευε ιδιαίτερα την υπέρχουσα.

Έχοντας πάρει μια ιδέα για την χρονοσειρά του Πετρελαίου, στη συνέχεια θα επιχειρήσουμε να κάνουμε πρόβλεψη για το χρονικό διάστημα: 22/1/2017 μέχρι 29/3/2020. Επειδή ο αριθμός των παρατηρήσεων είναι μεγαλύτερος από αυτόν που χρησιμοποιήσαμε σε προηγούμενες προβλέψεις (167 έναντι 105) η πρόβλεψη που θα κάνουμε αφορά εφτά μελλοντικές χρονικές περιόδους, που στην προκειμένη περίπτωση είναι εβδομάδες.

Χρονικό διάστημα: 22/1/2017-29/03/2020 (167 παρατηρήσεις)		
1) 1 Layer με 1 Νευρώνα (learning rate: 0.3 , momentum :0.2 , training time : 500)		
Πρόβλεψη	Πραγματικές	Απόκλιση
25,3381	33,84	-8,5019
25,086	29,43	-4,3437
25,3104	24,74	0,5704
25,5541	19,78	5,7741
25,4164	16,94	8,4764
25,3343	20,65	4,6843
26,0793	22,76	3,3193
2) 2 Layer με 2 Νευρώνες στο καθένα (learning rate: 0.3 , momentum :0.2 , training time : 500)		
Πρόβλεψη	Πραγματικές	Απόκλιση
23,4803	33,84	-10,3597
23,412	29,43	-6,0183
23,3525	24,74	-1,3875
23,3520	19,78	3,5720
23,3313	16,94	6,3913
23,3122	20,65	2,6622
23,4041	22,76	0,6441
3) 3 Layer με 2 Νευρώνες στο καθένα (learning rate: 0.3 , momentum :0.2 , training time : 500)		
Πρόβλεψη	Πραγματικές	Απόκλιση
24,4497	33,84	-9,3903
24,358	29,43	-5,0716
24,2405	24,74	-0,4995
24,2302	19,78	4,4502
24,214	16,94	7,2740
24,1848	20,65	3,5348
24,2654	22,76	1,5054

Πίνακας 13: Οι δοκιμές των παραμέτρων του προγράμματος Weka για τη χρονοσειρά του Πετρελαίου στο χρονικό διάστημα 2017-2020.

Από τις προηγούμενες δοκιμές προέκυψε ότι ο συνδυασμός των **τριών** Hidden Layer με **δύο** ή και **τρεις** νευρώνες στο καθένα, έδινε τα καλύτερα αποτελέσματα. Το ίδιο ισχύει και στην προκειμένη περίπτωση. Ο συνδυασμός των τριών Hidden Layer με δύο νευρώνες στο καθένα οδήγησε σε πρόβλεψη η οποία «έπιασε» την τάση στις 6 από τις 7 εβδομάδες.

Σε σχέση με την χρονοσειρά του Χρυσού, προκειμένου να γίνει ακριβής πρόβλεψη, η χρονοσειρά του Πετρελαίου απαιτούσε περισσότερα Hidden Layers καθώς και μεγαλύτερο αριθμό νευρώνων.



Προκειμένου να βρούμε την ακρίβεια των προβλέψεών μας, θα χρησιμοποιήσουμε τον τύπο του MAPE (Mean Average Percentage Error) στο τελευταίο χρονικό διάστημα. Τιμές κάτω του 10% είναι πολύ καλές. Ο μαθηματικός τύπος του MAPE είναι ο εξής:

$$M = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{A_t - F_t}{A_t} \right|$$

Όπου:

- n : ο αριθμός των παρατηρήσεων.
- A_t : Οι πραγματικές τιμές
- F_t : Οι προβλεπόμενες τιμές.

Για το χρονικό διάστημα 2017-2020, ο τύπος του MAPE γίνεται:

$$M = \frac{1}{7} \sum_{t=1}^7 \left| \frac{A_t - F_t}{A_t} \right| = 0,1945 = 19,45\%$$

Στην πρόβλεψη των τιμών του πετρελαίου, η μέση απόκλιση των προβλεπόμενων τιμών από τις πραγματικές είναι 19,45%. Το νούμερο μπορεί να είναι μεγαλύτερο απ'ότι στην χρονοσειρά του χρυσού, ωστόσο οι προβλέψεις εξακολουθούν να θεωρούνται **καλές**. Ακόμη, στην χρονοσειρά του πετρελαίου, μπορέσαμε να **«πιάσουμε» την τάση** αισθητά **περισσότερες φορές** απ'ότι στην χρονοσειρά του χρυσού.

3.4 Έλεγχος αιτιότητας κατά Granger

Δύο χρονοσειρές, εκτός από συσχετιζόμενες, μπορεί να διέπονται και από μια άλλη σχέση, την σχέση του αιτιατού κατά Granger. Σύμφωνα με την αιτιότητα κατά Granger, παρελθοντικές τιμές μιας χρονοσειράς X μπορεί να «αιτιάζονται» την κίνηση μελλοντικών τιμών μιας χρονοσειράς Y .

Ο έλεγχος της αιτιότητας κατά Granger γίνεται πραγματοποιώντας στατιστικό έλεγχο πάνω στην παρακάτω παλινδρόμηση:

$$y_i = a_0 + \sum_{j=1}^m a_j y_{i-j} + \sum_{j=1}^m \beta_j x_{i-j} + \varepsilon_i$$

Ο στατιστικός έλεγχος γίνεται προκειμένου να εξακριβωθεί αν είναι αληθής η υπόθεση H_0 ή η εναλλακτική υπόθεση H_a [62]. Η υπόθεση H_0 υποστηρίζει ότι οι όροι β είναι ίσοι μεταξύ τους και ίσοι με το μηδέν, συνεπώς δεν συνεισφέρουν στην «εξήγηση» της χρονοσειράς Y . Η εναλλακτική υπόθεση H_a υποστηρίζει ότι τουλάχιστον ένας από τους όρους β είναι διάφορος του μηδενός, με αποτέλεσμα να εξηγεί καλύτερα την χρονοσειρά Y .

Εξετάστηκε η πιθανότητα ύπαρξης αιτιότητας κατά Granger μεταξύ Χρυσού και πετρελαίου με δεδομένα των τελευταίων 5 χρόνων και συγκεκριμένα από τις 4/1/2005 μέχρι και τις 26/4/2020.

Το αποτέλεσμα που προέκυψε, είναι ότι το Πετρέλαιο αιτιάζει τον Χρυσό, με παρελθοντικές παρατηρήσεις του πετρελαίου από 8 μέχρι και 4 εβδομάδες. Ακόμη, ο Χρυσός φαίνεται να αιτιάζει το πετρέλαιο πιο βραχυπρόθεσμα, με παρελθοντικές παρατηρήσεις από 3 μέχρι και 1 εβδομάδα.

Πριν προχωρήσουμε στο υπολογιστικό κομμάτι της αιτιότητας Granger που πραγματοποιήθηκε στο Excel, πρέπει να επεξηγηθούν τα αποτελέσματα που θα δίνει το πρόγραμμα.

Αρχικά, θα εμφανιστεί ένα κουτάκι με τίτλο Regression Statistics, το οποίο περιλαμβάνει κάποια στατιστικά μεγέθη για τις παρατηρήσεις. Τα μεγέθη αυτά είναι τα εξής:

- Multiple R: είναι ο συντελεστής συσχέτισης μεταξύ των τιμών της παλινδρόμησης και των πραγματικών τιμών [63].
- R square : είναι το τετράγωνο του Multiple R. Εκφράζει το ποσοστό της μεταβλητότητας της εξαρτημένης μεταβλητής που εξηγείται από τις ανεξάρτητες.
- Adjusted R square: Είναι το R Square, το οποίο όμως προσαρμόζεται ανάλογα με το πόσες ανεξάρτητες μεταβλητές έχω. Συνήθως προτιμάται έναντι του R Square όταν έχω παραπάνω από μια ανεξάρτητες μεταβλητές.
- Standard Error: Μας δείχνει το πόσο απέχουν οι πραγματικές τιμές από την γραμμή της παλινδρόμησης.
- Observations: Ο αριθμός των παρατηρήσεων που υπεισέρχονται στην παλινδρόμηση.

Στη συνέχεια θα εμφανιστεί ένα κουτάκι με τίτλο ANOVA (Analysis of Variance). Το τεστ ANOVA χρησιμοποιείται όταν θέλουμε να εξετάσουμε αν υπάρχει στατιστική σημαντικότητα μεταξύ δύο ή περισσότερων μεταβλητών. Τα αποτελέσματα του τεστ αυτού είναι τα εξής:



- Df : Degrees of freedom. Είναι ο αριθμός των ανεξάρτητων μεταβλητών όσον αφορά την παλινδρόμηση και ο αριθμός των συνολικών παρατηρήσεων μείον των ανεξαρτήτων μεταβλητών για τα κατάλοιπα (Residuals)
- SS: είναι το άθροισμα των τετραγώνων των αποκλίσεων της εξαρτημένης μεταβλητής από τη μέση τιμή.
- MS: είναι το μέσο τετραγωνικό σφάλμα της κάθε ανεξάρτητης μεταβλητής.
- F και Significance F: Μας δείχνουν αν η σχέση μεταξύ εξαρτημένης και ανεξάρτητης μεταβλητής είναι τυχαία ή όχι. Αν η τιμή της Significance F είναι μικρότερου το επιπέδου εμπιστοσύνης που έχουμε θέσει, τότε λέμε ότι υπ'αρχει στατιστική σημαντικότητα στην παλινδρόμηση μας.

Το τελευταίο κουτάκι που θα εμφανιστεί αφορά τις παραμέτρους και τα στατιστικά στοιχεία των αποτελεσμάτων της παλινδρόμησης. Τα αποτελέσματα είναι τα εξής:

- Coefficients: Είναι οι συντελεστές του σταθερού ότου και των ανεξάρτητων μεταβλητών.
- Standard error: Είναι ένα μέτρο της τυπικής απόκλισης του συντελεστή. Εκφράζει την ακρίβεια με την οποία έχει υπολογιστεί.
- T Stat: Η στατιστική σημαντικότητα του T Statistic μας βοηθάει να εξακριβώσουμε αν υπάρχει στατιστική σημαντικότητα μεταξύ των δεικτών μας.
- Lower 95% και Upper 95%: Εκφράζει το εύρος των τιμών που μπορεί να πάρει ο συντελεστής της κάθε ανεξάρτητης μεταβλητής [\[64\]](#) .

• **Ελεγχος αιτιότητας Πετρέλαιο** → **Χρυσό**

8 LAGS								
SUMMARY OUTPUT								
Regression Statistics								
Multiple R	0,374156846							
R Square	0,139993346							
Adjusted R Square	0,085389748							
Standard Error	26,40351342							
Observations	269							
ANOVA								
	df	SS	MS	F	Significance F			
Regression	16	28597,59839	1787,349899	2,563812	0,001072629			
Residual	252	175680,6713	697,1455209					
Total	268	204278,2696						
	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	1,957722124	1,642942268	1,191595202	0,234541	-1,277925123	5,193369372	-1,277925123	5,193369372
GOLD Variable 1	-0,069617245	0,063326947	-1,099330508	0,272673	-0,19433475	0,055100261	-0,19433475	0,055100261
GOLD Variable 2	-0,031921514	0,063289132	-0,504375921	0,614438	-0,156564547	0,092721518	-0,156564547	0,092721518
GOLD Variable 3	-0,021577549	0,063193542	-0,341451807	0,733048	-0,146032323	0,102877225	-0,146032323	0,102877225
GOLD Variable 4	-0,17964839	0,063925794	-2,810264521	0,005339	-0,305545277	-0,053751502	-0,305545277	-0,053751502
GOLD Variable 5	0,100231284	0,062964247	1,591876181	0,112666	-0,023771911	0,22423448	-0,023771911	0,22423448
GOLD Variable 6	0,026455262	0,06662599	0,397071205	0,691651	-0,104759453	0,157669977	-0,104759453	0,157669977
GOLD Variable 7	0,040457017	0,06685132	0,605179027	0,545605	-0,091201468	0,172115502	-0,091201468	0,172115502
GOLD Variable 8	0,027924294	0,070117776	0,39824842	0,690784	-0,110167223	0,16601581	-0,110167223	0,16601581
CRUDE OIL Variable 1	-0,72783114	0,679484336	-1,071152198	0,285126	-2,066022788	0,610360509	-2,066022788	0,610360509
CRUDE OIL Variable 2	0,009457675	0,693109035	0,013645292	0,989124	-1,35556676	1,374482109	-1,35556676	1,374482109
CRUDE OIL Variable 3	0,201480836	0,690689921	0,291709536	0,770749	-1,158779342	1,561741014	-1,158779342	1,561741014
CRUDE OIL Variable 4	-2,749498866	0,695492958	-3,953309426	0,0001	-4,119218252	-1,37977948	-4,119218252	-1,37977948
CRUDE OIL Variable 5	-0,362489922	0,732405247	-0,494930809	0,62108	-1,804905195	1,079925352	-1,804905195	1,079925352
CRUDE OIL Variable 6	-0,555545762	0,730925697	-0,760057779	0,447931	-1,995047177	0,883955653	-1,995047177	0,883955653
CRUDE OIL Variable 7	1,366874296	0,733575883	1,863303209	0,063583	-0,077846454	2,811595047	-0,077846454	2,811595047
CRUDE OIL Variable 8	-0,832719842	0,738128328	-1,128150499	0,260329	-2,286406281	0,620966597	-2,286406281	0,620966597

Πίνακας 14: Οι δοκιμές των παραμέτρων του προγράμματος Weka για τη χρονοσειρά του Πετρελαίου στο χρονικό διάστημα 2017-2020



Όπως προαναφέρθηκε, διενεργήσαμε παλινδρόμηση με εξαρτημένη μεταβλητή την χρονοσειρά των πρώτων διαφορών του Χρυσού και ανεξάρτητες μεταβλητές, τις χρονοσειρές του Χρυσού και του Πετρελαίου μέχρι και 8 εβδομάδες στο παρελθόν (8 lags). Από τα αποτελέσματα, αυτό που μας ενδιαφέρει είναι η τιμή της P-Value για την στατιστική σημαντικότητα του τεστ (Significance F) καθώς και οι P-Value των παραμέτρων του Crude Oil. Το επίπεδο εμπιστοσύνης που θέτουμε είναι ίσο με 0,1.

Η τιμή της P-Value για το τεστ είναι $0,0010 < 0,1$, κάτι που σημαίνει ότι τα αποτελέσματα ότι απορρίπτεται η μηδενική υπόθεση σύμφωνα με την οποία οι ανεξάρτητες μεταβλητές μου είναι όλες μηδέν. Ωστόσο δεν ξέρω αν πρόκειται για τις τιμές των παραμέτρων του Χρυσού ή για τις παραμέτρους του Πετρελαίου. Για το λόγο αυτό πρέπει να κοιτάξω και τις τιμές των P-Value των παραμέτρων του Πετρελαίου.

Από τις παραμέτρους του Πετρελαίου, βλέπω δύο οι οποίες είναι στατιστικά σημαντικές, αφού οι P-Value τους είναι $0,0001 < 0,1$ και $0,063 < 0,1$ αντίστοιχα. Αυτό σημαίνει ότι υπάρχει 0,0001% πιθανότητα για τη μία και 0,063% πιθανότητα για την άλλη, να ισχύει η μηδενική υπόθεση ότι είναι μηδενικές οι τιμές τους.

7 LAGS								
SUMMARY OUTPUT								
Regression Statistics								
Multiple R	0,367761169							
R Square	0,135248277							
Adjusted R Square	0,087584796							
Standard Error	26,37181041							
Observations	269							
ANOVA								
	df	SS	MS	F	Significance F			
Regression	14	27628,28403	1973,449	2,837566097	0,000564187			
Residual	254	176649,9856	695,4724					
Total	268	204278,2696						
	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	1,979161612	1,63751188	1,20864	0,227925315	-1,245668381	5,203991605	-1,245668381	5,203991605
GOLD Variable 1	-0,075016566	0,063026832	-1,19023	0,235066379	-0,199138303	0,049105171	-0,199138303	0,049105171
GOLD Variable 2	-0,030527151	0,063185765	-0,48313	0,629417219	-0,154961882	0,093907579	-0,154961882	0,093907579
GOLD Variable 3	-0,014788244	0,062578735	-0,23631	0,813379314	-0,138027521	0,108451033	-0,138027521	0,108451033
GOLD Variable 4	-0,167129989	0,0625134	-2,67351	0,007992799	-0,290240599	-0,04401938	-0,290240599	-0,044019378
GOLD Variable 5	0,101176192	0,062878656	1,609071	0,108843067	-0,022653734	0,225006118	-0,022653734	0,225006118
GOLD Variable 6	0,02096455	0,066308227	0,316168	0,752134528	-0,109619393	0,151548494	-0,109619393	0,151548494
GOLD Variable 7	0,047199862	0,066220339	0,71277	0,476642451	-0,083210999	0,177610723	-0,083210999	0,177610723
CRUDE OIL Variable 1	-0,791365842	0,676085131	-1,17051	0,242891962	-2,122812431	0,540080747	-2,122812431	0,540080747
CRUDE OIL Variable 2	0,017646753	0,688914824	0,025615	0,979584303	-1,339065961	1,374359466	-1,339065961	1,374359466
CRUDE OIL Variable 3	0,142927486	0,681875773	0,209609	0,834140663	-1,199922891	1,485777863	-1,199922891	1,485777863
CRUDE OIL Variable 4	-2,717787388	0,694007787	-3,91608	0,000115708	-4,084529916	-1,35104486	-4,084529916	-1,351044859
CRUDE OIL Variable 5	-0,387140915	0,727772432	-0,53195	0,595223333	-1,820377765	1,046095935	-1,820377765	1,046095935
CRUDE OIL Variable 6	-0,528850635	0,72949098	-0,72496	0,469144849	-1,965471902	0,907770631	-1,965471902	0,907770631
CRUDE OIL Variable 7	1,224928997	0,722761544	1,69479	0,091340852	-0,198439672	2,648297665	-0,198439672	2,648297665

Πίνακας 15: Οι δοκιμές των παραμέτρων του προγράμματος Weka για τη χρονοσειρά του Πετρελαίου στο χρονικό διάστημα 2017-2020

Και εδώ, αν και η P-Value του τεστ είναι μικρότερη του επιπέδου εμπιστοσύνης μας, πρέπει να ελέγξουμε και τις παραμέτρους του Crude Oil. Βλέπουμε ότι υπάρχουν δύο μεταβλητές οι οποίες είναι στατιστικά σημαντικές, επομένως υπάρχει αιτιότητα κατά Granger.

Συγκεκριμένα, έχουμε ότι οι P-Values των μεταβλητών Crude oil Variable 4 και 7 έχουν τιμές $0,00011 < 0,1$ και $0,091 < 0,1$ αντίστοιχα. Αυτό σημαίνει ότι υπάρχει $0,0001\%$ και $0,091\%$ πιθανότητα αντίστοιχα, να ισχύει η μηδενική υπόθεση ότι αυτές οι μεταβλητές έχουν μηδενική τιμή.

6 LAGS								
SUMMARY OUTPUT								
<i>Regression Statistics</i>								
Multiple R	0,35028172							
R Square	0,122697283							
Adjusted R Square	0,081573718							
Standard Error	26,4585378							
Observations	269							
ANOVA								
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>			
Regression	12	25064,38872	2088,699	2,983625	0,000637445			
Residual	256	179213,8809	700,0542					
Total	268	204278,2696						
	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	2,058525643	1,641151751	1,254318	0,210871	-1,173351648	5,290402935	-1,173351648	5,290402935
GOLD Variable 1	-0,079346151	0,063193348	-1,25561	0,210403	-0,203791161	0,04509886	-0,203791161	0,04509886
GOLD Variable 2	-0,029605137	0,062655089	-0,47251	0,636966	-0,152990168	0,093779895	-0,152990168	0,093779895
GOLD Variable 3	-0,048602306	0,060217786	-0,80711	0,420353	-0,16718762	0,069983009	-0,16718762	0,069983009
GOLD Variable 4	-0,169911266	0,062687915	-2,71043	0,007174	-0,293360941	-0,046461591	-0,293360941	-0,046461591
GOLD Variable 5	0,101596769	0,062875596	1,615838	0,107361	-0,022222501	0,225416039	-0,022222501	0,225416039
GOLD Variable 6	0,00668261	0,06610223	0,101095	0,919554	-0,123490785	0,136856004	-0,123490785	0,136856004
CRUDE OIL Variable 1	-0,692490745	0,674274768	-1,02702	0,305383	-2,020322441	0,635340951	-2,020322441	0,635340951
CRUDE OIL Variable 2	-0,014559043	0,685246456		0,983066	-1,363996996	1,33487891	-1,363996996	1,33487891
CRUDE OIL Variable 3	0,166496461	0,6829518	0,243789	0,807589	-1,178422687	1,511415609	-1,178422687	1,511415609
CRUDE OIL Variable 4	-2,731464187	0,696217882	-3,92329	0,000112	-4,102507883	-1,360420491	-4,102507883	-1,360420491
CRUDE OIL Variable 5	-0,420180039	0,729909433	-0,57566	0,56535	-1,857571626	1,017211549	-1,857571626	1,017211549
CRUDE OIL Variable 6	-0,281951138	0,719144568	-0,39206	0,695337	-1,698143759	1,134241482	-1,698143759	1,134241482

Πίνακας 16: Οι δοκιμές των παραμέτρων του προγράμματος Weka για τη χρονοσειρά του Πετρελαίου στο χρονικό διάστημα 2017-2020

Το ίδιο εξακολουθεί να συμβαίνει και για τα δεδομένα του Πετρελαίου μέχρι και 6 εβδομάδες στο παρελθόν. Το τεστ είναι στατιστικά σημαντικό και επίσης, υπάρχει μια μεταβλητή του Πετρελαίου η οποία είναι τατιστικά σημαντική για το μοντέλο. Επομένως υπάρχει αιτιότητα κατά Granger.

5 LAGS								
SUMMARY OUTPUT								
<i>Regression Statistics</i>								
Multiple R	0,349514668							
R Square	0,122160503							
Adjusted R Square	0,088135716							
Standard Error	26,36384751							
Observations	269							
<i>ANOVA</i>								
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>			
Regression	10	24954,73614	2495,474	3,590339	0,00017565			
Residual	258	179323,5335	695,0525					
Total	268	204278,2696						
	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	2,058030601	1,633994612	1,259509	0,208985	-1,159633854	5,275695055	-1,159633854	5,275695055
GOLD Variable 1	-0,07730321	0,06222347	-1,24235	0,215236	-0,19983375	0,045227337	-0,19983375	0,045227337
GOLD Variable 2	-0,0243418	0,059741815	-0,40745	0,684015	-0,141985461	0,093301868	-0,141985461	0,093301868
GOLD Variable 3	-0,0466257	0,059785718	-0,77988	0,436176	-0,164355815	0,071104422	-0,164355815	0,071104422
GOLD Variable 4	-0,1707063	0,062293753	-2,74034	0,006566	-0,293375242	-0,04803735	-0,293375242	-0,048037352
GOLD Variable 5	0,105377511	0,061503017	1,713371	0,087845	-0,015734314	0,226489337	-0,015734314	0,226489337
CRUDE OIL Variable 1	-0,71194569	0,6670646	-1,06728	0,286842	-2,025530225	0,601638843	-2,025530225	0,601638843
CRUDE OIL Variable 2	-0,00813714	0,681606025	-0,01194	0,990484	-1,350356669	1,33408239	-1,350356669	1,33408239
CRUDE OIL Variable 3	0,157523331	0,680127112	0,231609	0,817026	-1,181783921	1,496830582	-1,181783921	1,496830582
CRUDE OIL Variable 4	-2,71815483	0,69278514	-3,92352	0,000112	-4,082388284	-1,35392137	-4,082388284	-1,353921368
CRUDE OIL Variable 5	-0,47769211	0,710961291	-0,6719	0,502251	-1,877718066	0,922333854	-1,877718066	0,922333854

Πίνακας 17: Οι δοκιμές των παραμέτρων του προγράμματος Weka για τη χρονοσειρά του Πετρελαίου στο χρονικό διάστημα 2017-2020

Και στις 5 υστερήσεις παρατηρείται το ίδιο φαινόμενο. Υπάρχει μια παράμετρος του Πετρελαίου η οποία είναι στατιστικά σημαντική για το μοντέλο επομένως υπάρχει αιτιότητα κατά Granger.

4 LAGS								
SUMMARY OUTPUT								
<i>Regression Statistics</i>								
Multiple R	0,333477095							
R Square	0,111206973							
Adjusted R Square	0,083859495							
Standard Error	26,42559232							
Observations	269							
<i>ANOVA</i>								
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>			
Regression	8	22717,16796	2839,646	4,066443	0,000140463			
Residual	260	181561,1017	698,3119					
Total	268	204278,2696						
	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	2,241928939	1,63427804	1,371816	0,171303	-0,976176984	5,460034861	-0,976176984	5,460034861
GOLD Variable 1	-0,085855993	0,059589831	-1,44078	0,150849	-0,203196117	0,031484131	-0,203196117	0,031484131
GOLD Variable 2	-0,020409887	0,059644077	-0,34219	0,732481	-0,137856828	0,097037054	-0,137856828	0,097037054
GOLD Variable 3	-0,044519829	0,059914143	-0,74306	0,458116	-0,162498565	0,073458908	-0,162498565	0,073458908
GOLD Variable 4	-0,17438722	0,06130929	-2,84438	0,004804	-0,295113182	-0,053661258	-0,295113182	-0,053661258
CRUDE OIL Variable 1	-0,706300244	0,668593154	-1,0564	0,291767	-2,022847083	0,610246595	-2,022847083	0,610246595
CRUDE OIL Variable 2	-0,033067959	0,682731791	-0,04843	0,961407	-1,377455612	1,311319694	-1,377455612	1,311319694
CRUDE OIL Variable 3	0,078690429	0,679150427	0,115866	0,907848	-1,258645053	1,416025911	-1,258645053	1,416025911
CRUDE OIL Variable 4	-2,711819263	0,677243666	-4,0042	8,13E-05	-4,045400084	-1,378238441	-4,045400084	-1,378238441

Πίνακας 18: Οι δοκιμές των παραμέτρων του προγράμματος Weka για τη χρονοσειρά του Πετρελαίου στο χρονικό διάστημα 2017-2020

Το φαινόμενο της αιτιότητας κατά Granger παρατηρείται μέχρι και τις 4 υστερήσεις. Η χρονοσειρά του Πετρελαίου για υστερήσεις 3 εβδομάδων και λιγότερο δεν φαίνεται να επηρεάζουν την κίνηση του Χρυσού.

• **Ελεγχος αιτιότητας Χρυσό —→ Πετρέλαιο**

3 LAGS								
SUMMARY OUTPUT								
Regression Statistics								
Multiple R	0,200903879							
R Square	0,040362369							
Adjusted R Square	0,018385934							
Standard Error	2,481829575							
Observations	269							
ANOVA								
	df	SS	MS	F	Significance F			
Regression	6	67,87574012	11,31262	1,83662	0,092279268			
Residual	262	1613,783246	6,159478					
Total	268	1681,658986						
	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	-0,077529147	0,153154885	-0,50621	0,613132	-0,379100262	0,224041968	-0,379100262	0,224041968
CRUDE OIL Variable 1	0,172302984	0,062734212	2,746555	0,00644	0,048775573	0,295830394	0,048775573	0,295830394
CRUDE OIL Variable 2	-0,015753855	0,063809043	-0,24689	0,805186	-0,141397671	0,10988996	-0,141397671	0,10988996
CRUDE OIL Variable 3	0,017326672	0,062595959	0,276802	0,782151	-0,10592851	0,140581853	-0,10592851	0,140581853
GOLD Variable 1	0,001411811	0,00557868	0,253073	0,800411	-0,009572942	0,012396564	-0,009572942	0,012396564
GOLD Variable 2	-0,009428709	0,005600783	-1,68346	0,093477	-0,020456985	0,001599567	-0,020456985	0,001599567
GOLD Variable 3	0,002267437	0,005576048	0,406639	0,684605	-0,008712134	0,013247008	-0,008712134	0,013247008

Πίνακας 19: Οι δοκιμές των παραμέτρων του προγράμματος Weka για τη χρονοσειρά του Πετρελαίου στο χρονικό διάστημα 2017-2020

Όπως και πριν, εκτός του ότι το τεστ είναι στατιστικά σημαντικό, υπάρχει μια μεταβλητή του Χρυσού η οποία είναι στατιστικά σημαντική για το μοντέλο. Επομένως ο Χρυσός αιτιάζει κατά Granger το Πετρέλαιο με παρελθοντικές τιμές 3^{ων} εβδομάδων.

2 LAGS								
SUMMARY OUTPUT								
Regression Statistics								
Multiple R	0,198418536							
R Square	0,039369915							
Adjusted R Square	0,024814914							
Standard Error	2,473688981							
Observations	269							
ANOVA								
	df	SS	MS	F	Significance F			
Regression	4	66,20677187	16,55169	2,704906	0,030873491			
Residual	264	1615,452214	6,119137					
Total	268	1681,658986						
	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	-0,074120282	0,152098503	-0,48732	0,626438	-0,373600788	0,225360225	-0,373600788	0,225360225
CRUDE OIL Variable 1	0,169088617	0,06214216	2,720997	0,006941	0,046731295	0,291445939	0,046731295	0,291445939
CRUDE OIL Variable 2	-0,010365278	0,062406091	-0,16609	0,86821	-0,133242278	0,112511722	-0,133242278	0,112511722
GOLD Variable 1	0,001453304	0,005559472	0,26141	0,79398	-0,009493244	0,012399852	-0,009493244	0,012399852
GOLD Variable 2	-0,009811351	0,00552983	-1,77426	0,077173	-0,020699534	0,001076832	-0,020699534	0,001076832

Πίνακας 20: Οι δοκιμές των παραμέτρων του προγράμματος Weka για τη χρονοσειρά του Πετρελαίου στο χρονικό διάστημα 2017-2020

Το ίδιο ισχύει και στην περίπτωση των παρελθοντικών τιμών 2 εβδομάδων για το χρυσό. Εξακολουθεί να υπάρχει αιτιότητα κατά Granger. Ωστόσο δεν υπάρχει αιτιότητα Χρυσου-Πετρελαίου για άλλα χρονικά διαστήματα.

Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι, η χρονοσειρά του Πετρελαίου έως και 8 εβδομάδες στο παρελθόν είναι ικανή να επηρεάσει μελλοντικές τιμές του Χρυσού. Αντίθετα, η επιρροή του Χρυσού πάνω στο Πετρέλαιο φαίνεται να είναι πιο βραχυπρόθεσμη.

Είναι φανερό ότι υπάρχει σχέση αιτιότητας κατά Granger και από τις δύο χρονοσειρές, με αυτή του Πετρελαίου να ασκεί πιο «μεγάλη επιρροή» πάνω στο Χρυσού. Ωστόσο ο Χρυσός φαίνεται να είναι ικανός να αιτιάσει την κίνηση των τιμών του Πετρελαίου μέσα σε μικρότερο χρονικό διάστημα.

3.5 Συμπεράσματα

3.5.1 Πρόβλεψη των Χρονοσειρών

Σε αυτό το κεφάλαιο αναλύσαμε τις χρονοσειρές του Χρυσού και του Πετρελαίου με το πρόγραμμα νευρωνικών δικτύων Weka, με το οποίο πραγματοποιήσαμε και πρόβλεψη πάνω στις μελλοντικές τιμές τους. Το αποτέλεσμα ήταν μια σειρά επιτυχών προβλέψεων και για τις δυο χρονοσειρές. Ακόμη ερευνήθηκε ή σχέση αιτιότητας μεταξύ Χρυσού και Πετρελαίου.

Οι προβλέψεις για το Χρυσό έγιναν χρησιμοποιώντας ένα νευρωνικό δίκτυο με ένα Hidden layer ενώ για το Πετρέλαιο το νευρωνικό δίκτυο χρειάστηκε τρία hidden layers προκειμένου να δώσει επιτυχείς προβλέψεις. Το παραπάνω αποτέλεσμα μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η χρονοσειρά του Πετρελαίου είναι πιο περίπλοκη από τη χρονοσειρά του Χρυσού. Η πολυπλοκότητα αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι η τιμή του Πετρελαίου είναι κατά βάση πιο ευμετάβλητη από την τιμή του Χρυσού.

Η μεταβλητότητα του Πετρελαίου οφείλεται σε διάφορους παράγοντες. Ένας από αυτούς είναι η ανελαστικότητα που διέπει τον τομέα της προσφοράς πετρελαίου. Η προσφορά αδυνατεί να συμβαδίσει με τις βραχυπρόθεσμες μεταβολές της ζήτησης (κάτι που είδαμε και στην κρίση της πανδημίας του κορονοϊού), προκαλώντας μεγάλες μεταβολές στην τιμή του πετρελαίου.

Ακόμη ένας παράγοντας που επηρεάζει την τιμή του Πετρελαίου είναι η παγκόσμια οικονομική κατάσταση μια δεδομένη χρονική περίοδο. Το 2009 η τιμή του πετρελαίου έπεσε λόγω της παγκόσμιας οικονομικής ύφεσης που προκλήθηκε από την κτηματομεσιτική φούσκα στις ΗΠΑ ενώ το 2010 η τιμή του ανέβηκε λόγω της επερχόμενης οικονομικής ανάπτυξης. Συνεπώς, η τιμή του πετρελαίου εξαρτάται από την παγκόσμια οικονομία. Μια ύφεση θα σημάνει μείωση στις μετακινήσεις και θα πυροδοτήσει πτώση στην τιμή του Πετρελαίου. Αντίθετα η οικονομική ανάπτυξη θα σημάνει αύξηση των μετακινήσεων και ανάπτυξη του τομέα των μεταφορών με αποτέλεσμα να υπάρξει αύξηση στην τιμή του.

Ένας ακόμη παράγοντας που επηρεάζει την τιμή του Πετρελαίου, είναι ότι σαν χρηματιστηριακό προϊόν, λειτουργεί με βάσει τις προσδοκίες των επενδυτών. Αν οι επενδυτές πιστεύουν ότι τους επόμενους μήνες η τιμή του Πετρελαίου θα ανεβεί, τότε αγοράζουν τα futures του Πετρελαίου, πυροδοτώντας ακόμη μεγαλύτερη αύξηση στην τιμή του. Το αντίθετο συμβαίνει αν πιστεύουν ότι θα πέσει. Για παράδειγμα, κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών όπου οι μετακινήσεις αυξάνονται, η τιμή του πετρελαίου ανεβαίνει. Το αντίθετο συμβαίνει τους χειμερινούς μήνες. Αυτό το γνωρίζουν οι επενδυτές, και με τις αγοραπωλησίες των futures Πετρελαίου οδηγούν την τιμή του είτε χαμηλότερα είτε υψηλότερα από εκεί που θα έφτανε.

3.5.2 Αιτιότητα κατά Granger

Όσον αφορά την αιτιότητα κατά Granger, διαπιστώθηκε ότι η χρονοσειρά του Πετρελαίου αιτιάζει κατά Granger την χρονοσειρά του Χρυσού από έως και οχτώ εβδομάδες πιο πριν. Αντίθετα, η επίδραση του Χρυσού πάνω στις τιμές του Πετρελαίου εκτείνεται μέχρι και τρεις εβδομάδες πιο πριν. Με άλλα λόγια, η επίδραση του Πετρελαίου «αργεί» να φτάσει στον Χρυσό, ενώ αντίθετα η επίδραση του Χρυσού «φτάνει» πιο γρήγορα στο πετρέλαιο. Για να εξαχθεί κάποιο λογικό συμπέρασμα από την παραπάνω διαπίστωση, αξίζει να διερευνήσουμε διεξοδικότερα τη σχέση Πετρελαίου-Χρυσού.

Η χρονοσειρά του Πετρελαίου και η χρονοσειρά του Χρυσού, με παρατηρήσεις από το 2005 μέχρι και σήμερα, εμφανίζουν χαμηλή συσχέτιση (correlation) ίση με 0,21. Αυτό σημαίνει ότι για αύξηση μιας μονάδας στην τιμή του Χρυσού, η τιμή του Πετρελαίου αυξάνεται κατά 0,21 και το αντίθετο. Με άλλα λόγια, τα δύο προϊόντα κινούνται προς την ίδια κατεύθυνση.

Πράγματι, ο Χρυσός και το Πετρέλαιο παρουσιάζαν παρόμοια συμπεριφορά τόσο στην άνοδο όσο και στην κάθοδο. Για παράδειγμα, μια αναταραχή στην Μέση Ανατολή θα σημάνει αύξηση στη ζήτηση του Πετρελαίου με αποτέλεσμα να αυξηθεί η τιμή του. Με τον τρόπο αυτό θα πυροδοτηθούν αυξήσεις και σε άλλα προϊόντα τα οποία παρασκευάζονται από το Πετρέλαιο, με αποτέλεσμα να προκληθεί μια γενική αύξηση των τιμών, ή αλλιώς πληθωρισμός. Έτσι, ο κόσμος αρχίζει να στρέφεται σε επενδύσεις οι οποίες θα εξασφαλίσουν τα χρήματά τους, μια από αυτές είναι και ο Χρυσός.

Ο Χρυσός ανέκαθεν εξασφάλιζε τα χρήματα των επενδυτών, στον επερχόμενο κίνδυνο του πληθωρισμού. Με τον τρόπο αυτό, θα αυξηθεί και η ζήτηση του Χρυσού, επομένως θα αυξηθεί και η τιμή του. Έτσι εξηγείται το γεγονός ότι οι δύο χρονοσειρές παρουσιάζουν θετική συσχέτιση. Ακόμη, μέχρι να αυξηθεί αισθητά η τιμή του Πετρελαίου και να πυροδοτηθεί μια γενική αύξηση του κόστους ζωής, πρέπει να περάσει ένα εύλογο χρονικό διάστημα κάποιων εβδομάδων. Με τον τρόπο αυτό εξηγείται το γεγονός ότι το Πετρέλαιο αιτιάζει τον Χρυσό από πιο μακριά στο παρελθόν. Από την άλλη μεριά, μια κίνηση της τιμής του Χρυσού, προκαλεί πιο γρήγορα μια κίνηση στην τιμή του Πετρελαίου. Η χρονοσειρά του Πετρελαίου φαίνεται να «αφομοιώνει» πιο γρήγορα την αντίδραση του Χρυσού.

Όταν ο πληθωρισμός αυξηθεί αισθητά και οι επενδυτές έχουν επενδύσει κάποια από τα χρήματά τους σε χρυσό, στην αγορά θα κυκλοφορεί λιγότερο χρήμα με αποτέλεσμα να αυξηθεί η ισοτιμία π.χ του δολαρίου. Η αύξηση αυτή θα αποθαρρύνει τους ξένους επενδυτές από το να επενδύσουν σε προϊόντα που συναλλάσσονται σε δολάριο όπως το Πετρέλαιο και ο Χρυσός. Αμέσως πυροδοτείται μια αντίδραση στην τιμή του Πετρελαίου με αποτέλεσμα να πέσει λόγω μειωμένης ζήτησης. Με τον τρόπο αυτό αιτιάζει ο Χρυσός την κίνηση του Πετρελαίου.

3.5.3 Περιγραφικά Στατιστικά Στοιχεία

Στο κεφάλαιο αυτό, κατασκευάσαμε το ιστόγραμμα συχνοτήτων για τους δείκτες : S&P 500, Χρυσός , Πετρέλαιο , και VIX (Δείκτης Μεταβλητότητας) ενώ βρήκαμε επίσης και την κυρτότητα και την ασυμμετρία των κατανομών τους.

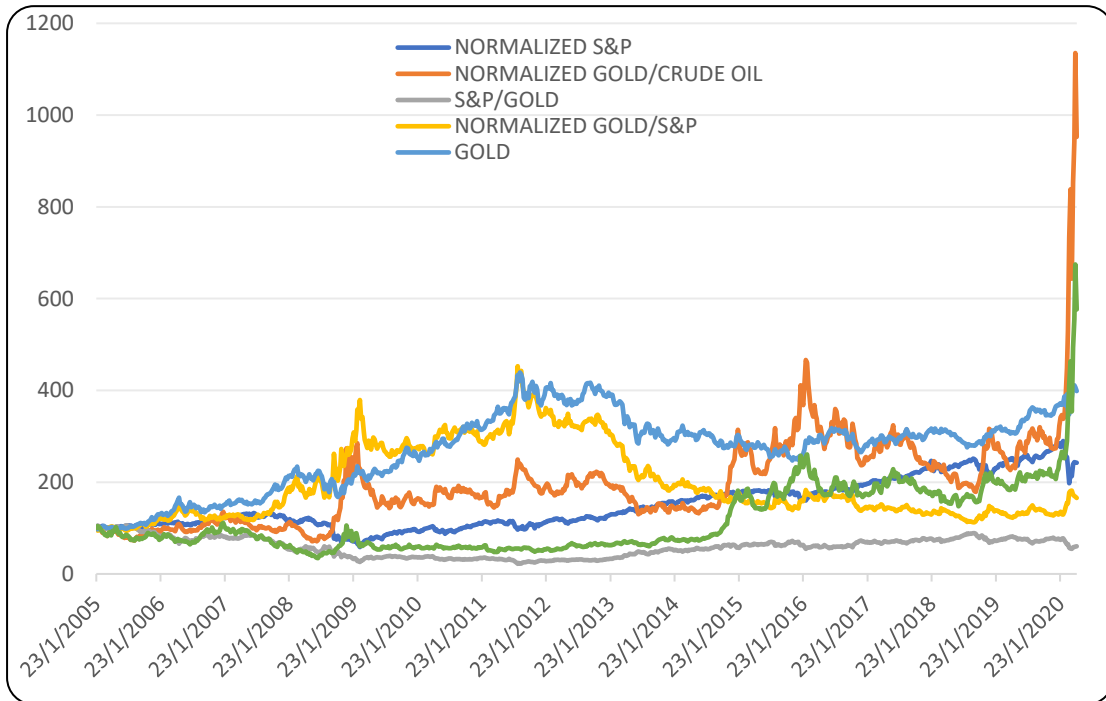
Για το Πετρέλαιο, εντοπίσαμε τις ημερομηνίες που εμφάνισε μέγιστα και ελάχιστα και διερευνήσαμε για ποιο λόγο η τιμή του παρουσίασε αύξηση ή πτώση. Ακόμη, είδαμε ότι δεν εμφανίζει συχνά ακραίες τιμές σαν χρονοσειρά, δηλαδή δεν έχει «παχιές» ουρές η κατανομή του. Τέλος, βρήκαμε ότι τον περισσότερο καιρό η τιμή του Πετρελαίου ήταν μικρότερη της μέσης τιμής για την περίοδο 2005-2020

Για το Χρυσό, εντοπίσαμε επίσης τις ημερομηνίες όπου εμφανίστηκαν τα μέγιστα και τα ελάχιστα. Ως προς την κατανομή του, ο Χρυσός εμφάνισε πιο συχνά ακραίες τιμές, σχηματίζοντας «παχιές» ουρές. Ακόμη, οι περισσότερες τιμές του ήταν μεγαλύτερες της μέσης τιμής για το χρονικό διάστημα 2005-2020.

Ο δείκτης S&P επίσης δεν εμφανίζει ακραίες παρατηρήσεις, ενώ οι περισσότερες τιμές των παρατηρήσεων του ήταν μικρότερες της μέσης τιμής για το χρονικό διάστημα 2005-2020. Τέλος, ο δείκτης VIX χρησιμοποιήθηκε κυρίως για να μας βοηθήσει να διερευνήσουμε τι συνέβαινε τις περιόδους που ο Χρυσός, ο S&P και το Πετρέλαιο παρουσιάζαν μέγιστα ή ελάχιστα, αναφορικά πάντα με την ψυχολογία των επενδυτών και την αβεβαιότητα που επικρατούσε στην αγορά.

Κεφάλαιο 4: Συγκεντρωτικό διάγραμμα

Στο κεφάλαιο αυτό παρατίθενται τα διαγράμματα των κανονικοποιημένων τιμών από τους εξής δείκτες: S&P 500, Gold/Crude Oil, S&P 500/Gold, Gold/S&P 500, Gold και S&P 500/Crude Oil. Κάθε τιμή κλεισίματος από καθε έναν από τους εικονιζόμενους δείκτες διαιρέθηκε με έναν αριθμό προκειμένου όλες οι χρονοσειρές να ξεκινούν από τον αριθμό 100.



Διάγραμμα 9: Τα διαγράμματα των εβδομαδιαίων τιμών κλεισίματος των εικονιζόμενων δεικτών

Ο Χρυσός φαίνεται να μην παρουσιάζει διακυμάνσεις. Συγκεκριμένα, φαίνεται να έχει μια μακροχρόνια ανοδική τάση από το 2005 μέχρι και το 2013, από το 2013 μέχρι και το 2016 μια ελαφριά πτωτική, και έκτοτε πάλι ανοδική. Παράλληλα, η κανονικοποιημένη τιμή του S&P δείχνει να έχει μια κατά βάση σταθερή ανοδική πορεία η οποία όμως δεν είναι τόσο ισχυρή συγκριτικά με τον Χρυσό.

Το Πετρέλαιο από την άλλη, παρουσιάζει αστάθεια ως προς τον S&P και τον Χρυσό, γι' αυτό και εκτινάσσονται στα ύψη οι αντίστοιχοι λόγοι. Με τον Χρυσό, ο λόγος Gold με Crude Oil δεν θα έπρεπε να παρουσιάζει τέτοιες μεταβολές. Ωστόσο, αυτό μας δείχνει την ανελαστικότητα της προσφοράς του Πετρελαίου ως προς την ζήτηση του ειδικά σε βραχυπρόθεσμες μεταβολές.

Το υλικό προς επένδυση είναι ο Χρυσός. Έχει παρουσιάσει μικρή πτώση κατά τη διάρκεια μεγάλων οικονομικών υφέσεων και ήπιες-μεγάλες ανόδους σε περιόδους μεγάλης οικονομικής ανάπτυξης. Το Πετρέλαιο, λαμβάνοντας υπόψιν τις ιστορικές χρονικές μεταβολές και τις τεχνολογικές εξελίξεις, όπου θα απομακρυνόμαστε από τη χρήση υδρογονανθράκων, αποτελεί πια ένα υψηλού ρίσκου προϊόν.

Λαμβάνοντας υπόψιν τα παραπάνω, θα χαρακτηρίζαμε το Χρυσό ως ένα προϊόν για μακροπρόθεσμη επένδυση, ενώ το Πετρέλαιο, λαμβάνοντας υπόψιν τις διακυμάνσεις του, ως ένα προϊόν κυρίως για trading και ειδικά πάνω στα συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης των τιμών του (Futures).



Βιβλιογραφία-Αναφορές

[1] : Ο Χρυσός ως διαχρονική επενδυτική επιλογή, Νίκος Κόκλας, Πανεπιστήμιο Πειραιώς (Διπλωματική Εργασία).

[2]:https://en.wikipedia.org/wiki/Bretton_Woods_system

[3]: https://en.wikipedia.org/wiki/London_bullion_market

[4] : "The Industry Handbook: Precious Metals". Investopedia.

[5] : https://en.wikipedia.org/wiki/Gold_reserve

[6] : "How much gold has been mined?", World Gold Council

[7] : Memorandum by War Cabinet Secretary E. E. Bridges from October 6, 1939, Secret: Holland and Belgium: Measures to be taken in the event of an invasion by Germany. P. 1 and 4. The National Archives (United Kingdom)

[8] : The Good Delivery Rules for Gold and Silver Bars (PDF), LBMA, May 2010, archived from the original (PDF) on July 5, 2010, retrieved May 21, 2010

[9] : <https://www.reuters.com/article/us-gold-swiss-fakes-exclusive/exclusive-fake-branded-bars-slip-dirty-gold-into-world-markets-idUSKCN1VI0DD>

[10] : "Gold coins – A Brief History"

[11] : "China's latest export boom: Fake gold coins". Retrieved January 20, 2018.

[12] : "Largest ETFs: Top 25 ETFs By Market Cap". ETFdb. Retrieved November 3, 2010

[13] : "Demand and supply". World Gold Council. Archived from the original on January 22, 2011.

[14] : "Rush to cash in gold attracts tarnish of possible scams". The Globe and Mail. Toronto. August 23, 2012.

[15] : "Interview: Harvey Organ, Lenny Organ, Adrian Douglas". King World News. April 7, 2010. Archived from the original on July 1, 2010

[16] : Herodotus; Beloe, William (1830). Herodotus. University of California Libraries. London : H. Colburn and R. Bentley..

[17] : Gao, Zhiguo. "Environmental Regulation of Oil and Gas". Kluwer Law International. p. 8.

[18] : Dalvi, Samir (November 3, 2015). "Fundamentals of Oil & Gas Industry for Beginners". ISBN 978-9352064199.

[19] : Ulrich Vogel, Hans. "The Great Well of China". Scientific American. **268** (6): 116–121. doi:10.1038/scientificamerican0693-116

[20] : One or more of the preceding sentences incorporates text from a publication now in the public domain: Redwood, Boverton (1911). "Petroleum". In Chisholm, Hugh



- (ed.). Encyclopædia Britannica. **21** (11th ed.). Cambridge University Press. pp. 316–323.
- [21] : Forbes, Robert James (1958). Studies in Early Petroleum History. Brill Publishers. p. 149
- [22] : Joseph P. Riva Jr.; Gordon I. Atwater. "petroleum". Encyclopædia Britannica. Retrieved 2008-06-30.
- [23] : https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_the_petroleum_industry#cite_note-22
- [24] : Ed Butts (2019-10-04). "The cautionary tale of whale oil". The Globe and Mail. Archived from the original on 2019-10-06. Retrieved 2019-10-07. Then in 1846, a Nova Scotian physician and geologist named Abraham Gesner invented kerosene. This pioneering form of fossil fuel, which some called coal oil, burned cleaner and brighter than whale oil, and didn't have a pungent odour.
- [25] : <http://www.sjvgeology.org/history/>
- [26] : Akiner(2004), p. 5
- [27] : May, Gary. Hard Oiler! The Story of Early Canadians' Quest for Oil at Home and Abroad. Dundurn Press, 1998, p. 59
- [28] : Oil and world power, Encyclopedia of the New American Nation
- [29] : <https://www.infoplease.com/math-science/earth-environment/top-world-oil-producers-exporters-consumers-and-importers-2006>
- [30] : <https://www.ukogplc.com/page.php?pID=74>
- [31] : NPR. "A Chemist Explains Why Gold Beat Out Lithium, Osmium, Einsteinium." Accessed May 9, 2020.
- [32] : Angelo State University. "The Parts of the Periodic Table: The Transition Metals." Accessed May 9, 2020.
- [33] : World Economic Forum. "This Is Why We Use Gold for Currency." Accessed May 9, 2020.
- [34] : Heidelberg University. "Einstein's Theory of Relativity Explains Fundamental Properties of Gold." Accessed May 9, 2020.
- [35] : J. A. Anderson, An Introduction to Neural Networks, MIT Press, Cambridge (1995).
- [36] : Νευρωνικά Δίκτυα και Εφαρμογές, Πάνος Αργυράκης, 2001
- [37] : Zell, Andreas (2003). "chapter 5.2". Simulation neuronaler Netze[Simulation of Neural Networks] (in German) (1st ed.). Addison-Wesley. ISBN 978-3-89319-554-1. OCLC 249017987
- [38] : Crick, Francis (1989). "The recent excitement about neural networks". Nature. **337** (6203): 129–132. Bibcode:1989Natur.337..129C. doi:10.1038/337129a0. PMID 2911347
- [39] : Goodfellow, Bengio & Courville 2016, p. 200, "The **back-propagation** algorithm (Rumelhart et al., 1986a), often simply called **backprop**, ..."



[40] : Witten, Ian H.; Frank, Eibe; Hall, Mark A.; Pal, Christopher J. (2011). "Data Mining: Practical machine learning tools and techniques, 3rd Edition". Morgan Kaufmann, San Francisco (CA). Retrieved 2011-01-19

[41] : <http://www.cs.cmu.edu/~tom/mlbook.html>

[42] : Holmes, Geoffrey; Donkin, Andrew; Witten, Ian H. (1994). "Weka: A machine learning workbench" (PDF). Proceedings of the Second Australia and New Zealand Conference on Intelligent Information Systems, Brisbane, Australia. Retrieved 2007-06-25

[43] : Murphy, Kevin P. (2012). Machine Learning: A Probabilistic Perspective. Cambridge: MIT Press. p. 247. ISBN 978-0-262-01802-9.

[44] : <https://machinelearningmastery.com/understand-the-dynamics-of-learning-rate-on-deep-learning-neural-networks/>

[45] : <https://www.willamette.edu/~gorr/classes/cs449/momrate.html>

[46] : <https://www.techopedia.com/definition/33264/hidden-layer-neural-networks>

[47] : Granger, C. W. J. (1969). "Investigating Causal Relations by Econometric Models and Cross-spectral Methods". *Econometrica*. **37** (3): 424–438. doi:10.2307/1912791. JSTOR 1912791

[49] : "Global Oil Consumption". U.S. Energy Information Administration. Archived from the original on 27 July 2008. Retrieved 27 July 2008.

[50] : "World oil demand 'to rise by 37%'". BBC News. 20 June 2006. Archived from the original on 20 April 2009. Retrieved 31 December 2009.

[51] : "Asia's Thirst for Oil". Wall Street Journal. 5 May 2004. Archived from the original on 24 December 2008. Retrieved 27 December 2008.

[52] : "Peak Oil Primer - Resilience". www.energybulletin.net. Archived from the original on 1 February 2013. Retrieved 1 May 2018.

[53] : <https://www.americanprogress.org/issues/economy/reports/2008/05/27/4472/bush-weak-dollar/>

[54] : <https://www.pbs.org/newshour/economy/making-sense/6-factors-that-fueled-the-stock-market-dive-in-2018>

[55] : <https://qz.com/74432/gold-collapse-why-now/>

[56] : <https://us.spindices.com/education-a-practitioners-guide-to-reading-vix.pdf>

[57] : Whitman, Jane (May 7, 2010), "The markets' wild ride", *Montreal Gazette*, retrieved May 9, 2010

[58] : Accenture for a Penny: MarketBeat's Investigation Continues!, *Wall Street Journal*, by Matt Phillips, May 12, 2010, 3:01 p.m. ET

[59] : "Obama tries to calm investors" Archived October 5, 2011, at the Wayback Machine, Linda Feldmann. *Alaska Dispatch*. 8 aug 2011. Retrieved 9 aug 2011



[60] : "Burning Questions: Analyzing the market crash" Archived March 24, 2012, at the Way-back Machine, Post Crescent. 8 aug 2011. Retrieved 9 aug 2011

[61] : "Dow Jones plummets 634 behind investor fear", International Business Times. 8 aug 2011. Retrieved 9 aug 2011

[62] : Lomax, Richard G. (2007). Statistical Concepts: A Second Course. p. 10. ISBN 0-8058-5850-4

[63] : <https://www.statisticshowto.com/excel-regression-analysis-output-explained/>

[64] : <https://www.graduatetutor.com/statistics-tutor/interpreting-regression-output/>