



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΥΛΙΚΩΝ

**Ανάπτυξη Συστήματος Αυτόματης Ανίχνευσης
Εργασιακού Στρες μέσω Φυσιολογικών και
Συμπεριφορικών Παραμέτρων Εξαγόμενων
από την Ανάλυση Δεδομένων κατά τη
Χρήση Ηλεκτρονικού Υπολογιστή**

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Θέλμα Ανδρούτσου

Αθήνα, Ιούνιος 2023



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ


**Ανάπτυξη Συστήματος Αυτόματης Ανίχνευσης Εργασιακού Στρες
μέσω Φυσιολογικών και Συμπεριφορικών Παραμέτρων Εξαγόμενων
από την Ανάλυση Δεδομένων κατά τη Χρήση Ηλεκτρονικού
Υπολογιστή**

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ


Θέμα Ανδρούτσου

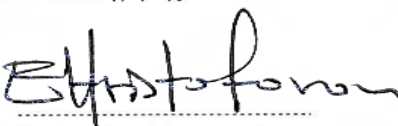
Συμβουλευτική επιτροπή: Δημήτριος-Διονύσιος Κουτσούρης
Γεώργιος Ματσόπουλος
Κωνσταντίνα Νικήτα

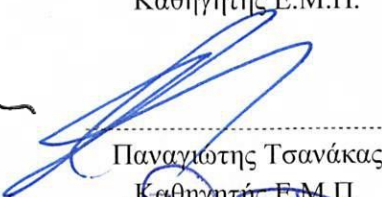
Εγκρίθηκε από την επταμελή εξεταστική επιτροπή την 14^η Ιουνίου 2023.



.....
Δημήτριος-Διονύσιος Κουτσούρης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.



.....
Γεώργιος Ματσόπουλος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.


.....
Κωνσταντίνα Νικήτα
Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.


.....
Ευάγγελος Χριστοφόρου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.


.....
Παναγιώτης Τσανάκας
Καθηγητής Ε.Μ.Π.


.....
Μαγούσος Κωνσταντουλάκης
Καθηγητής Ε.Κ.Π.Α.


.....
Μαρία Χαρίτου
Ερευνήτρια Α' - ΕΠΙΣΕΥ Ε.Μ.Π.



.....
Θέλμα Ανδρούτσου

Διδάκτωρ Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Θέλμα Ανδρούτσου, 2023

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ' ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Περίληψη

Το εργασιακό στρες αποτελεί μία ανοιχτή και σημαντική πρόκληση για τις σύγχρονες κοινωνίες, καθώς η ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας και οι νέες μορφές παγκόσμιας οικονομίας έχουν επιφέρει σημαντικές αλλαγές στη φύση του χώρου εργασίας και στις συνθήκες που επικρατούν σε αυτόν. Ο τομέας της Συναισθηματικής Υπολογιστικής περιλαμβάνει μια μεγάλη ποικιλία μελετών και εργαλείων που, αξιοποιώντας την ανάλυση ψυχολογικών, φυσιολογικών και συμπεριφορικών παραμέτρων, μπορεί να οδηγήσει στην αυτόματη ανίχνευση και παρακολούθηση και, συνεπώς, στην αποτελεσματική διαχείριση του στρες. Όσον αφορά τον τομέα του χώρου εργασίας, τα τελευταία χρόνια έχει αναδειχθεί η ανάγκη ανάπτυξης μη επεμβατικών συστημάτων, τα οποία δε θα διαταράσσουν το μοτίβο εργασίας και τη φυσική συμπεριφορά των χρηστών. Στην κατεύθυνση αυτή, υπάρχει αυξανόμενο ερευνητικό ενδιαφέρον για την αξιοποίηση συσκευών που χρησιμοποιούνται καθημερινά στο χώρο εργασίας, προκειμένου να παρακολουθούνται η ευημερία και η απόδοση των εργαζομένων, μέσω της χρήσης αισθητήρων και καινοτόμων μεθόδων ανάλυσης δεδομένων. Ο προσωπικός υπολογιστής και οι περιφερειακές μονάδες του είναι από τους πρωταρχικούς υποψήφιους για την εφαρμογή τέτοιων συστημάτων. Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι ο σχεδιασμός και η ανάπτυξη ενός συστήματος ανάλυσης δεδομένων κατά τη διάρκεια εργασίας γραφείου, με στόχο την αυτόματη παρακολούθηση και ανίχνευση του εργασιακού στρες, μέσω φυσιολογικών και συμπεριφορικών παραμέτρων που εξάγονται από τη χρήση του ηλεκτρονικού υπολογιστή. Στο πλαίσιο αυτό, κατασκευάστηκε και προγραμματίστηκε μία συσκευή έξυπνου ποντικιού ηλεκτρονικού υπολογιστή, η δομή της οποίας αποτελείται από αισθητήρες καταγραφής φυσιολογικών σημάτων και μια πλακέτα ανάπτυξης που περιλαμβάνει έναν μικροελεγκτή και μια μονάδα Wi-Fi, ενσωματωμένα σε ένα εμπορικά διαθέσιμο, ενσύρματο ποντίκι. Επίσης, σχεδιάστηκε και εφαρμόστηκε ένα πειραματικό πρωτόκολλο που προσομοιώνει ένα περιβάλλον γραφείου και περιλαμβάνει τους πιο γνωστούς στρεσογόνους παράγοντες της εργασίας. Στα δεδομένα που συλλέχτηκαν, τα οποία περιλαμβάνουν φυσιολογικές μετρήσεις από τους αισθητήρες του συστήματος, συμπεριφορικές μετρήσεις από τη χρήση του πληκτρολογίου και του ποντικιού του ηλεκτρονικού υπολογιστή και ψυχολογικές παραμέτρους από τη χρήση ερωτηματολογίων, εφαρμόστηκαν μέθοδοι επεξεργασίας και εξομάλυνσης για την απομόνωση χρήσιμης πληροφορίας και την εξαγωγή παραμέτρων. Εργαλεία στατιστικής ανάλυσης εφαρμόστηκαν για την επικύρωση, τόσο της αποτελεσματικότητας του

πειραματικού πρωτοκόλλου που χρησιμοποιήθηκε, όσο και της αξιοπιστίας της προτεινόμενης συσκευής στην καταγραφή και παρακολούθηση των φυσιολογικών σημάτων των χρηστών. Επιπροσθέτως, μοντέλα μηχανικής μάθησης εκπαιδεύτηκαν με τη χρήση γνωστών ταξινομητών και με βάση τη διερεύνηση διαφορετικών μεθόδων επισήμανσης των δεδομένων. Τα μοντέλα που εκπαιδεύτηκαν μεμονωμένα με φυσιολογικές και με συμπεριφορικές παραμέτρους εμφάνισαν ιδιαίτερα υψηλές μετρικές απόδοσης, ενώ αυτά που βασίστηκαν στη συγχώνευση των παραμέτρων σε επίπεδο χαρακτηριστικών εμφάνισαν ακρίβεια που ξεπέρασε το 90% και τιμή F1 score ίση με 0,90. Η ανάλυση συγχώνευσης σε επίπεδο απόφασης, συνδυάζοντας τα χαρακτηριστικά που εξήχθησαν τόσο από το ποντίκι όσο και από το πληκτρολόγιο του υπολογιστή, παρουσίασε μέση ακρίβεια 66% και μέση τιμή F1 score 0,56.

Λέξεις-κλειδιά: *Εργασιακό Στρες, Ανίχνευση Στρες, Φυσιολογικές Παράμετροι, Συμπεριφορικές Παράμετροι, Σύστημα Αισθητήρων, Βιοαισθητήρες, Συναισθηματική Υπολογιστική*

Abstract

Occupational stress is an open and major challenge for modern societies, as the rapid development of technology and new forms of the global economy have brought about significant changes in the nature of the workplace and the conditions prevailing in it. The field of Affective Computing includes a large variety of studies and tools that, by employing the analysis of psychological, physiological, and behavioral parameters, can lead to automatic stress detection and monitoring and, consequently, effective stress management. As regards the workplace sector, in recent years the need has emerged to develop unobtrusive systems that do not disturb the work pattern and physical behavior of users. In this direction, there is a growing research interest in harnessing devices used daily in the workplace in order to monitor the well-being and performance of workers, through the use of sensors and innovative data analysis methods. The personal computer and its peripherals are among the prime candidates for the implementation of such systems. The aim of this thesis is the design and development of a non-invasive system that analyzes the data from the computer use in office work and automatically monitors and detects occupational stress through physiological and behavioral parameters extracted from them. In this context, a smart device was constructed and programmed, the structure of which consists of physiological signal recording sensors and a development board including a microcontroller and a Wi-Fi module, integrated in a commercially available, wired computer mouse. Furthermore, an experimental protocol was designed and implemented to simulate an office environment and include the most known occupational stressors. The collected data, which included physiological measurements from system sensors, behavioral measurements from the use of the computer keyboard and mouse, and psychological parameters from questionnaires, were subjected to processing and filtering methods to isolate useful information and extract parameters. Statistical analysis tools were applied to validate both the effectiveness of the experimental protocol used and the reliability of the proposed device in recording and monitoring the physiological signals of users. Additionally, machine learning models were trained using known classifiers and exploring different data annotation methods. Particularly high-performance metrics were observed in models trained individually with physiological and behavioral parameters, while the feature-level fusion analysis successfully detected stress with an accuracy exceeding 90% and F1 score of 0.90. The decision-level fusion analysis,

combining the features extracted from both the computer mouse and keyboard, showed an average accuracy of 66% and an average F1 score of 0.56.

Keywords: *Occupational Stress, Stress Detection, Physiological Parameters, Behavioral Parameters, Sensor System, Biosensors, Affective Computing*

Ευχαριστίες

Η παρούσα διδακτορική διατριβή είναι αποτέλεσμα μιας μακρόχρονης πορείας, κατά τη διάρκεια της οποίας είχα την τύχη και τη χαρά να δεχτώ τη συμβολή και τη στήριξη αρκετών ανθρώπων.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα της διατριβής μου, Ομότιμο Καθηγητή Ε.Μ.Π. Δημήτριο Κουτσούρη για την ευκαιρία που μου έδωσε να εκπονήσω τη διδακτορική μου έρευνα στο Εργαστήριο Βιοϊατρικής Τεχνολογίας. Η εμπιστοσύνη που μου έδειξε ώστε να ακολουθήσω τα ερευνητικά μου ενδιαφέροντα, η επιστημονική του κατάρτιση καθώς και η οξυδέρκεια και καλοσύνη που τον χαρακτηρίζουν ως άνθρωπο, υπήρξαν για μένα μεγάλο στήριγμα.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω το νέο Διευθυντή του Εργαστηρίου Βιοϊατρικής Τεχνολογίας και μέλος της τριμελούς συμβουλευτικής επιτροπής της διατριβής, Καθηγητή Ε.Μ.Π. Γεώργιο Ματσόπουλο για τη στήριξή του και την καλή συνεργασία που είχαμε για την περάτωση της εργασίας. Ευχαριστώ πολύ για την καθοδήγηση και τις συμβουλές τους και τα υπόλοιπα μέλη της επταμελούς επιτροπής της διατριβής, την Καθηγήτρια Ε.Μ.Π. Κωνσταντίνα Νικήτα, τους Καθηγητές Ε.Μ.Π. Ευάγγελο Χριστοφόρου και Παναγιώτη Τσανάκα, τον Καθηγητή Ε.Κ.Π.Α. Μανούσο Κωνσταντουλάκη και την Ερευνήτρια Α' του ΕΠΙΣΕΥ Ε.Μ.Π. Δρ. Μαρία Χαρίτου.

Θέλω να ευχαριστήσω τον εξαιρετικό συνάδελφο Δρ. Σπύρο Αγγελόπουλο, χωρίς τη συμβολή του οποίου, τα αποτελέσματα αυτής της εργασίας δε θα βρίσκονταν στα ίδια επίπεδα. Οι, υψηλής επιστημονικής κατάρτισης, πολύπλευρες γνώσεις του και η ποιότητα του χαρακτήρα του μου παρείχαν αμέριστη στήριξη σε επιστημονικό και προσωπικό επίπεδο και με ενέπνεαν καθ' όλη τη διάρκεια της πορείας μου.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ από την καρδιά μου σε όλα τα άτομα που αφιέρωσαν τον πολύτιμο χρόνο τους στην εθελοντική συμμετοχή τους στην πειραματική διαδικασία της παρούσας εργασίας.

Ευχαριστώ πολύ όλες και όλους τις/τους συναδέλφους στο Εργαστήριο Βιοϊατρικής Τεχνολογίας για την υποστήριξή τους. Νιώθω ευγνωμοσύνη που, ως μέλος του Εργαστηρίου αυτά τα χρόνια, απέκτησα όχι μόνο άξιους και καλούς συνεργάτες αλλά και κάποιους

επιστήθιους φίλους και συνοδοιπόρους. Ευχαριστώ ιδιαίτερα τη Δρ. Ρανώ Μαντά, με την οποία ξεκινήσαμε να σκιαγραφούμε μαζί το ερευνητικό ερώτημα αυτής της εργασίας. Ευχαριστώ, επίσης, τον Δρ. Ιωάννη Κουρή και τη Δρ. Ουρανία Πετροπούλου που με στήριξαν και με βοήθησαν, με ξεχωριστό τρόπο ο καθένας, σε κάποιες σημαντικές και καθοριστικές για μένα στιγμές αυτής της μεγάλης πορείας.

Ευχαριστώ πάντα τις/τους φίλες/φίλους μου και τους δικούς μου ανθρώπους που με στηρίζουν και ήταν δίπλα μου αυτά τα χρόνια. Ευχαριστώ τον Αποστόλη και την Ειρήνη που πιστεύουν σε μένα πάντα, ακόμα και όταν εγώ δεν το κάνω. Τέλος, το πιο μεγάλο ευχαριστώ θέλω να το απευθύνω στην οικογένειά μου, στους γονείς μου Βαγγέλη και Μάγδα και στους αδερφούς μου Κώστα και Γιώργο, που με την αγάπη τους και την εμπιστοσύνη τους μου δίνουν δύναμη να προχωρώ.

Ο δρόμος της έρευνας χαρακτηρίζεται, για μένα προσωπικά, από περιέργεια, πάθος, αγάπη για την επιστήμη και τη ζωή. Κλείνοντας, λοιπόν, θέλω να αφιερώσω την παρούσα διδακτορική διατριβή στη μεγάλη μου πηγή έμπνευσης, τα αγαπημένα μου ανίψια, Ελένη, Εύα και Βαγγέλη, με την ευχή αυτά τα χαρακτηριστικά να τα συντροφεύουν πάντα στη ζωή.

Περιεχόμενα

Περίληψη	1
Abstract.....	3
Ευχαριστίες	5
Περιεχόμενα.....	7
Ευρετήριο εικόνων	11
Ευρετήριο πινάκων.....	15
Συνοτομογραφίες.....	17
Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή.....	19
Κεφάλαιο 2 Θεωρητικό υπόβαθρο	23
2.1 Εισαγωγή	23
2.2 Η έννοια του στρες.....	23
2.3 Σωματικές αντιδράσεις σε καταστάσεις στρες	31
2.4 Στρες και παθήσεις.....	35
2.5 Εργασιακό στρες.....	38
2.5.1 Μοντέλο της εναρμόνισης ατόμου-περιβάλλοντος	41
2.5.2 Το μοντέλο ανισορροπίας μεταξύ προσπάθειας και ανταμοιβής (effort-reward imbalance model).....	43
2.5.3 Το μοντέλο απαιτήσεων-ελέγχου-κοινωνικής στήριξης.....	43
2.5.4 Το μοντέλο διατήρησης των πόρων.....	45
2.6 Μέτρηση επιπέδων στρες	47
2.6.1 Ψυχολογικές παράμετροι.....	48
2.6.2 Φυσιολογικές παράμετροι.....	49
2.6.3 Συμπεριφορικές παράμετροι.....	55
Κεφάλαιο 3 Συστήματα αυτόματης ανίχνευσης στρες.....	59
3.1 Εισαγωγή	59
3.2 Συναισθηματική υπολογιστική στην ανίχνευση στρες	59
3.3 Σχεδιασμός συστημάτων αυτόματης ανίχνευσης και πρόβλεψης στρες.....	60
3.3.1 Μεθοδολογία	60
3.3.2 Πειραματικά πρωτόκολλα.....	62
3.4 Βιβλιογραφική ανασκόπηση	65
3.4.1 Μελέτες με φυσιολογικές παραμέτρους.....	65
3.4.2 Μελέτες με συμπεριφορικές παραμέτρους	74

3.4.3 Μελέτες με συνδυασμό φυσιολογικών και συμπεριφορικών παραμέτρων.....	79
Κεφάλαιο 4 Ανάπτυξη συσκευής για την αυτόματη ανίχνευση εργασιακού στρες.....	89
4.1 Εισαγωγή	89
4.2 Υλικό	92
4.2.1 Αισθητήρας PPG	92
4.2.2 Αισθητήρας GSR	94
4.2.3 Πλακέτα ανάπτυξης.....	95
4.2.4 Ποντίκι ηλεκτρονικού υπολογιστή.....	96
4.3 Λογισμικό	97
4.4 Αρχιτεκτονική συστήματος συσκευής.....	98
Κεφάλαιο 5 Ανίχνευση στρες μέσω πειραματικής διάταξης που προσομοιώνει έναν εργασιακό χώρο γραφείου	101
5.1 Εισαγωγή	101
5.2 Αρχιτεκτονική συστήματος.....	101
5.3 Πείραμα.....	103
5.3.1 Πειραματικό πρωτόκολλο	103
5.3.2 Πειραματική διαδικασία	110
5.2.3 Συμμετέχοντες.....	112
5.4 Μέθοδοι ανάλυσης	118
5.4.1 Εργαλεία στατιστικής ανάλυσης.....	118
5.4.2 Μηχανική μάθηση.....	120
5.5 Επικύρωση πειραματικού πρωτοκόλλου.....	126
5.5.1 Μέθοδοι	126
5.5.2 Αποτελέσματα	127
5.5.3 Συμπεράσματα	130
5.6 Ανίχνευση εργασιακού στρες μέσω ανάλυσης φυσιολογικών παραμέτρων.....	131
5.6.1 Επεξεργασία φυσιολογικών σημάτων	132
5.6.2 Ανάλυση φυσιολογικών παραμέτρων	135
5.6.3 Αποτελέσματα	136
5.6.4 Συμπεράσματα	143
5.7 Ανίχνευση εργασιακού στρες μέσω ανάλυσης συμπεριφορικών παραμέτρων	145
5.7.1 Επεξεργασία συμπεριφορικών δεδομένων	147
5.7.2 Αποτελέσματα	148
5.7.3 Συμπεράσματα	150
5.8 Ανίχνευση εργασιακού στρες μέσω συνδυαστικής ανάλυσης φυσιολογικών και συμπεριφορικών παραμέτρων	151

5.8.1 Επεξεργασία συμπεριφορικών μετρήσεων της δυναμικής του ποντικού ηλεκτρονικού υπολογιστή.....	152
5.8.1 Μεθοδολογία	153
5.8.2 Αποτελέσματα	155
5.8.3 Συμπεράσματα	157
Κεφάλαιο 6 Συμπεράσματα - Μελλοντική έρευνα	159
Βιβλιογραφία	167
Παράρτημα	179
Κατάλογος Δημοσιεύσεων	183

Ευρετήριο εικόνων

Εικόνα 1 Τα στάδια του Συνδρόμου Γενικής Προσαρμογής του Hans Selye.	29
Εικόνα 2 Οι κυριότερες σωματικές αντιδράσεις ως απόκριση σε μια ξαφνική κατάσταση στρες.	35
Εικόνα 3 Το μοντέλο απαιτήσεων-ελέγχου-κοινωνικής στήριξης των Karasek και Theorell.	45
Εικόνα 4 Ο αισθητήρας Pulse Sensor της εταιρείας World Famous Electronics LLC.	93
Εικόνα 5 Το σχηματικό διάγραμμα του κυκλώματος του PPG αισθητήρα Pulse Sensor.	93
Εικόνα 6 Η πλακέτα PCB του αισθητήρα Grove-GSR της εταιρείας Seeed.	94
Εικόνα 7 Το σχηματικό διάγραμμα του υλικού του αισθητήρα Grove GSR.	95
Εικόνα 8 Η πλακέτα ανάπτυξης Photon της εταιρείας Particle.	96
Εικόνα 9 Το διάγραμμα μπλοκ της πλακέτας ανάπτυξης Photon.	96
Εικόνα 10 Το σχηματικό διάγραμμα του συστήματος.	98
Εικόνα 11 Το ποντίκι ηλεκτρονικού υπολογιστή με την πλακέτα ανάπτυξης και τους ενσωματωμένους αισθητήρες PPG και GSR (α) Το εξωτερικό της συσκευής, με τα τοποθετημένα ηλεκτρόδια και τον αισθητήρα PPG (β) Το εσωτερικό της συσκευής με όλα τα ενσωματωμένα εξαρτήματα.	100
Εικόνα 12 Σχηματικό διάγραμμα της αρχιτεκτονικής του συστήματος. Τόσο οι συμπεριφορικές μετρήσεις που καταγράφονται από το Inputlog όσο και οι φυσιολογικές μετρήσεις που αποστέλλονται στο cloud backend της αναπτυξιακής πλακέτας, αποθηκεύονται σε μια τοπική βάση δεδομένων για περαιτέρω ανάλυση.	103
Εικόνα 13 Παράδειγμα της διεπαφής της άσκησης Stroop Color Word Task κατά το επίπεδο της κατάστασης στρες. Το σκορ του χρήστη εμφανίζεται πάνω δεξιά στην οθόνη, ενώ ο υπολειπόμενος χρόνος για την απάντηση παρουσιάζεται στο πάνω αριστερά μέρος, μέσω ενός χρονομέτρου αντίστροφης μέτρησης.	108
Εικόνα 14 Παράδειγμα της διεπαφής της άσκησης Mental Arithmetic Task κατά το επίπεδο της κατάστασης στρες. Το σκορ του χρήστη εμφανίζεται πάνω δεξιά στην οθόνη, ενώ ο υπολειπόμενος χρόνος για την απάντηση παρουσιάζεται στο πάνω αριστερά μέρος, μέσω ενός χρονομέτρου αντίστροφης μέτρησης.	108
Εικόνα 15 Παράδειγμα της διεπαφής της άσκησης συλλογής πληροφοριών κατά το επίπεδο της κατάστασης στρες. Ο υπολειπόμενος χρόνος για την υποβολή των απαντήσεων παρουσιάζεται στο πάνω μέρος της οθόνης, μέσω ενός χρονομέτρου αντίστροφης μέτρησης.	109
Εικόνα 16 Παράδειγμα της διεπαφής της άσκησης μεταγραφής κειμένου. Μια χρωματική μπάρα στα δεξιά μέρος της οθόνης ενημερώνει τους χρήστες για την απόδοσή τους κατά τη διάρκεια της άσκησης.	109
Εικόνα 17 Η πειραματική διάταξη. Το υποκείμενο κάθεται σε περιβάλλον γραφείου και εκτελεί εργασίες που προκαλούν στρες, χρησιμοποιώντας το ειδικά κατασκευασμένο ποντίκι και το πληκτρολόγιο του ηλεκτρονικού υπολογιστή.	110
Εικόνα 18 Οι περίοδοι που περιλαμβάνονται σε κάθε μία από τις τέσσερις εργασίες της πειραματικής διαδικασίας.	112
Εικόνα 19 Οι απαντήσεις στην ερώτηση του γενικού ερωτηματολογίου σχετικά με το γένος των συμμετεχόντων.	113
Εικόνα 20 Οι απαντήσεις στην ερώτηση του γενικού ερωτηματολογίου σχετικά με την ηλικία των συμμετεχόντων.	114

Εικόνα 21 Οι απαντήσεις στην ερώτηση του γενικού ερωτηματολογίου σχετικά με τη λήψη φαρμακευτικής αγωγής.	114
Εικόνα 22 Οι απαντήσεις στην ερώτηση του γενικού ερωτηματολογίου σχετικά με την κατανάλωση καφεΐνης πριν από την έναρξη του πειράματος.	115
Εικόνα 23 Οι απαντήσεις στην ερώτηση του γενικού ερωτηματολογίου σχετικά με την κατανάλωση αλκοόλ πριν από την έναρξη του πειράματος.	115
Εικόνα 24 Οι απαντήσεις στην ερώτηση του γενικού ερωτηματολογίου σχετικά με τη χρήση του ηλεκτρονικού υπολογιστή στην εργασία.	116
Εικόνα 25 Οι απαντήσεις στην ερώτηση του γενικού ερωτηματολογίου σχετικά με την παρελθοντική συμμετοχή σε παρόμοιο πείραμα.	116
Εικόνα 26 Οι απαντήσεις στην ερώτηση του γενικού ερωτηματολογίου σχετικά με την εξοικείωση με ηλεκτρονικούς υπολογιστές.	117
Εικόνα 27 Οι απαντήσεις στην ερώτηση του γενικού ερωτηματολογίου σχετικά με την επαγγελματική απασχόληση των συμμετεχόντων.	117
Εικόνα 28 Το πλήθος των απαντήσεων που δόθηκαν για κάθε ένα από τα επίπεδα αυτοαναφερόμενου στρες στο εύρος 1-10, στα ερωτηματολόγια που ακολούθησαν τις δύο καταστάσεις της άσκησης συλλογής πληροφοριών.	125
Εικόνα 29 Τα θηκογράμματα των αυτο-αναφερόμενων επιπέδων στρες όλων των υποκειμένων κατά τη διάρκεια των καταστάσεων ελέγχου (C) και στρες (S) του Stroop Color Word Task (Εργασία 1), του Mental Arithmetic Task (Εργασία 2), της άσκησης συλλογής πληροφοριών (Εργασία 3) και της άσκησης μεταγραφής κειμένου (Εργασία 4). Η τιμή 1 αντιστοιχεί σε "πολύ χαμηλό" και η τιμή 10 σε "πολύ υψηλό" επίπεδο στρες. Τα άκρα των μουστάκων (whiskers) ορίζονται σε 1,5 φορές το ενδοτεταρτημοριακό πλάτος. Οι ακραίες τιμές (outliers) απεικονίζονται για κάθε συνθήκη με τους δείκτες σε σχήμα ρόμβου.	128
Εικόνα 30 Τα θηκογράμματα των αναφερόμενων επιπέδων απόδοσης όλων των υποκειμένων κατά τη διάρκεια των καταστάσεων ελέγχου (C) και στρες (S) του Stroop Color Word Task (Εργασία 1), του Mental Arithmetic Task (Εργασία 2), της άσκησης συλλογής πληροφοριών (Εργασία 3) και της άσκησης μεταγραφής κειμένου (Εργασία 4). Η τιμή 1 αντιστοιχεί σε "πολύ χαμηλό" και η τιμή 10 σε "πολύ υψηλό" επίπεδο απόδοσης. Τα άκρα των μουστάκων (whiskers) ορίζονται σε 1,5 φορές το ενδοτεταρτημοριακό πλάτος. Οι ακραίες τιμές (outliers) απεικονίζονται για κάθε συνθήκη με τους δείκτες σε σχήμα ρόμβου.	129
Εικόνα 31 Οι μέσες βαθμολογίες όλων των υποκειμένων κατά τη διάρκεια των καταστάσεων ελέγχου (C) και στρες (S) του Stroop Color Word Task (Εργασία 1), του Mental Arithmetic Task (Εργασία 2), της άσκησης συλλογής πληροφοριών (Εργασία 3) και της άσκησης μεταγραφής κειμένου (Εργασία 4). Οι γραμμές στις ράβδους υποδεικνύουν τις τιμές τυπικής απόκλισης.	130
Εικόνα 32 Ένα τυπικό σήμα PPG. Η δικροτική εγκοπή εμφανίζεται συχνά μεταξύ της συστολικής και της διαστολικής φάσης του σήματος.	133
Εικόνα 33 Εφαρμογή του φίλτρου Kalman σε δεδομένα BPM που προέρχονται από το σήμα PPG. Η πράσινη γραμμή απεικονίζει τα ακατέργαστα δεδομένα που λαμβάνονται από τον αισθητήρα, πριν από την προεπεξεργασία, ενώ η μωβ γραμμή απεικονίζει τα ίδια δεδομένα μετά την εφαρμογή του φίλτρου.	137
Εικόνα 34 Εφαρμογή του φίλτρου κινούμενου μέσου όρου στο σήμα GSR. Η πράσινη γραμμή απεικονίζει τα ακατέργαστα δεδομένα που λαμβάνονται από τον αισθητήρα, πριν από την προεπεξεργασία, ενώ η μωβ γραμμή απεικονίζει τα ίδια δεδομένα μετά την εφαρμογή του κινητού μέσου όρου για μια περίοδο 10 μετρήσεων.	138

Εικόνα 35 (α) Το θηκόγραμμα των μέσων τιμών BPM όλων των υποκειμένων κατά τη διάρκεια των συνθηκών ελέγχου (C) και στρες (S) του Stroop Color Word Task (Task 1) και του Mental Arithmetic Task (Task 2). (β) Το θηκόγραμμα των μέσων τιμών SC όλων των υποκειμένων κατά τη διάρκεια των συνθηκών ελέγχου (C) και στρες (S) του Stroop Color Word Task (Task 1) και του Mental Arithmetic Task (Task 2). Τα άκρα των μυστάκων (whiskers) ορίζονται σε 1,5 φορές το ενδοτεταρτημοριακό πλάτος. Οι ακραίες τιμές (outliers) απεικονίζονται για κάθε συνθήκη με τους δείκτες σε σχήμα ρόμβου.	139
Εικόνα 36 Η εξέλιξη των τιμών BPM και SC κατά τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας. Σημειώνονται οι περίοδοι ηρεμίας (R1, R2, R3), οι περίοδοι ελέγχου (C1, C2), οι περίοδοι στρες (S1, S2) και οι περίοδοι συμπλήρωσης του ερωτηματολογίου αυτοαναφοράς (Q1, Q2, Q3, Q4). Όλες οι περίοδοι παρουσιάζονται με τη σειρά με την οποία πραγματοποιήθηκαν. Τα χρονικά διαστήματα C1, Q1, S1 και Q2 αντιστοιχούν στο Stroop Color Word Task, ενώ τα C2, Q3, S2 και Q4 αντιστοιχούν στο Mental Arithmetic Task. (α) Τιμές BPM και SC για το υποκείμενο Α- (β) τιμές BPM και SC για το υποκείμενο Β.....	141
Εικόνα 37 Η διάρκεια εκτέλεσης του επιπέδου κατάστασης ελέγχου (C) και του επιπέδου κατάστασης στρες (S) της άσκησης μεταγραφής κειμένου για κάθε συμμετέχοντα του πειράματος.....	149
Εικόνα 38 Το πλήθος των απαντήσεων που δόθηκαν για κάθε ένα από τα επίπεδα αυτοαναφερόμενου στρες στο εύρος 1-10, στα ερωτηματολόγια που ακολούθησαν τις δύο καταστάσεις της άσκησης Stroop Color Word Task.....	180
Εικόνα 39 Το πλήθος των απαντήσεων που δόθηκαν για κάθε ένα από τα επίπεδα αυτοαναφερόμενου στρες στο εύρος 1-10, στα ερωτηματολόγια που ακολούθησαν τις δύο καταστάσεις της άσκησης Mental Arithmetic Task.	180
Εικόνα 40 Το πλήθος των απαντήσεων που δόθηκαν για κάθε ένα από τα επίπεδα αυτοαναφερόμενου στρες στο εύρος 1-10, στα ερωτηματολόγια που ακολούθησαν τις δύο καταστάσεις της άσκησης μεταγραφής κειμένου.	181

Ευρετήριο πινάκων

Πίνακας 1 Συγκεντρωτικός πίνακας μελετών αυτόματης ανίχνευσης στρες που χρησιμοποιούν φυσιολογικές παραμέτρους.	71
Πίνακας 2 Συγκεντρωτικός πίνακας μελετών αυτόματης ανίχνευσης στρες που χρησιμοποιούν συμπεριφορικές παραμέτρους.	77
Πίνακας 3 Συγκεντρωτικός πίνακας μελετών αυτόματης ανίχνευσης στρες που χρησιμοποιούν συνδυασμό φυσιολογικών και συμπεριφορικών παραμέτρων.	85
Πίνακας 4 Μελέτες με συστήματα αισθητήρων ενσωματωμένα σε ποντίκια ηλεκτρονικών υπολογιστών.	90
Πίνακας 5 Η δομή ενός πίνακα σύγχυσης, όπου παρουσιάζεται ο αριθμός των δειγμάτων που ταξινομήθηκε σε κάθε κλάση, συναρτήσει της πραγματικής κλάσης αυτών.	121
Πίνακας 6 Τα αποτελέσματα του τεστ Wilcoxon που διενεργήθηκε στις απαντήσεις των ερωτηματολογίων αυτο-αναφοράς. Η τιμή W υποδηλώνει το άθροισμα των τάξεων των διαφορών που βρίσκονται πάνω ή κάτω από το μηδέν και η τιμή p υπολογίζεται υπό τη μηδενική υπόθεση ότι τα δεδομένα δεν είναι στατιστικά σημαντικά.	128
Πίνακας 7 Οι p -values των Mann-Whitney U τεστ για τις παραμέτρους BPM και SC που μετρήθηκαν κατά τη διάρκεια των περιόδων ηρεμίας (R_1 , R_2 , R_3), ελέγχου (C_1 , C_2) και στρες (S_1 , S_2) του πειράματος. Οι περίοδοι C_1 και S_1 αντιστοιχούν στην εργασία Stroop Color Word Task, ενώ οι περίοδοι C_2 και S_2 αντιστοιχούν στην εργασία Mental Arithmetic Task. Οι τιμές πάνω από την κύρια διαγώνιο αντιστοιχούν στα τεστ που πραγματοποιήθηκαν σε τιμές BPM, ενώ οι τιμές κάτω από την κύρια διαγώνιο αντιστοιχούν στις δοκιμασίες που πραγματοποιήθηκαν σε τιμές SC. Το σύμβολο του αστερίσκου τοποθετείται όπου η τιμή p -value είναι μικρότερη από 0,001.	142
Πίνακας 8 Τα αποτελέσματα της απόδοσης των μοντέλων ταξινόμησης που εκπαιδεύτηκαν με φυσιολογικά χαρακτηριστικά, εξαγόμενα από τη χρήση του ποντικιού του ηλεκτρονικού υπολογιστή, κατά την εκτέλεση των ασκήσεων Stroop Color Word Task και Mental Arithmetic Task.	143
Πίνακας 9 Τα αποτελέσματα του στατιστικού τεστ Mann-Whitney U που εφαρμόστηκε στα εξαγόμενα συμπεριφορικά χαρακτηριστικά για τα επίπεδα κατάστασης ελέγχου και στρες της άσκησης μεταγραφής κειμένου.	149
Πίνακας 10 Τα αποτελέσματα της απόδοσης των μοντέλων ταξινόμησης που εκπαιδεύτηκαν με συμπεριφορικά χαρακτηριστικά, εξαγόμενα από τη χρήση του πληκτρολογίου κατά την εκτέλεση της άσκησης μεταγραφής κειμένου.	150
Πίνακας 11 Τα αποτελέσματα της απόδοσης των μοντέλων ταξινόμησης που εκπαιδεύτηκαν με συμπεριφορικά χαρακτηριστικά, εξαγόμενα από τη χρήση του ποντικιού του ηλεκτρονικού υπολογιστή κατά την εκτέλεση της άσκησης συλλογής πληροφοριών.	155
Πίνακας 12 Τα αποτελέσματα της απόδοσης των μοντέλων ταξινόμησης που εκπαιδεύτηκαν με φυσιολογικά χαρακτηριστικά, εξαγόμενα από τη χρήση του ποντικιού του ηλεκτρονικού υπολογιστή κατά την εκτέλεση της άσκησης συλλογής πληροφοριών.	156
Πίνακας 13 Τα αποτελέσματα της απόδοσης των μοντέλων ταξινόμησης που εκπαιδεύτηκαν με τα συνδυασμένα διανύσματα φυσιολογικών και συμπεριφορικών	

χαρακτηριστικών, εξαγόμενα από τη χρήση του ποντικιού του ηλεκτρονικού υπολογιστή κατά την εκτέλεση της άσκησης συλλογής πληροφοριών.	156
Πίνακας 14 Τα αποτελέσματα των επιδόσεων των μοντέλων ταξινόμησης που βασίστηκαν στην ανάλυση συγχώνευσης σε επίπεδο απόφασης των παραμέτρων που εξήχθησαν από τη χρήση του πληκτρολογίου και του ποντικιού του υπολογιστή κατά την εκτέλεση της άσκησης συλλογής πληροφοριών.....	157
Πίνακας 15 Το σύνολο των χαρακτηριστικών που εξήχθησαν από τις φυσιολογικές και συμπεριφορικές μετρήσεις που καταγράφηκαν από το πληκτρολόγιο και το ποντίκι ηλεκτρονικού υπολογιστή του συστήματος.	181

Συντομογραφίες

ADWIN	Adaptive Windowing	
ANN	Artificial Neural Network	Τεχνητό Νευρωνικό Δίκτυο
BE	Backward Elimination	Οπίσθια Εξάλειψη
BP	Blood Pressure	Πίεση αίματος
BPM	Beats Per Minute	Παλμοί ανά λεπτό
BS	Brute Force	
BVP	Blood Volume Pulse	Παλμός όγκου αίματος
COR	Conservation of Resources	Διατήρηση των πόρων
ECG	Electrocardiogram	Ηλεκτροκαρδιογράφημα
EDA	Electrodermal Activity	Ηλεκτροδερμική δραστηριότητα
EEG	Electroencephalogram	Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα
EMA	Ecological Momentary Assessment	
EMG	Electromyogram	Ηλεκτρομυογράφημα
EOG	Electrooculogram	Ηλεκτροοφθαλμογράφημα
FS	Forward Selection	Πρόσθια Επιλογή
FSM	Finite State Machine	Μηχανή Πεπερασμένων Καταστάσεων
GAS	General Adaptation Syndrome	Σύνδρομο Γενικής Προσαρμογής
GEE	Generalized Estimating Equations	Γενικευμένες εξισώσεις εκτίμησης
GRNN	General Regression Neural Network	Γενικευμένο νευρωνικό δίκτυο παλινδρόμησης
GSR	Galvanic Skin Response	Γαλβανική απόκριση δέρματος
HR	Heart Rate	Καρδιακός ρυθμός
HRV	Heart Rate Variability	Διακύμανση καρδιακού ρυθμού
IBI	Inter-beat Interval	Διάστημα μεταξύ παλμών
IoT	Internet of Things	Διαδίκτυο των Πραγμάτων
JDCS	Job Demands-Control-Support	Απαιτήσεων – Ελέγχου – Κοινωνικής στήριξης
k-CV	k-Cross Validation	κ διασταυρωμένη επικύρωση
k-NN	k Nearest Neighbors	κ Κοντινότεροι Γείτονες
LDA	Linear Discriminant Analysis	Γραμμική Διακριτική Ανάλυση
LEDs	Light-emitting diodes	Δίοδοι εκπομπής φωτός
LOSO	Leave-One-Subject-Out	
MANOVA	Multivariate Analysis of Variance	
MAST	Maastricht Acute Stress Test	
MIST	Montreal Imaging Stress Task	
MIT	Massachusetts Institute of Technology	Τεχνολογικό Ινστιτούτο της Μασαχουσέτης
NASA-TLX	NASA Task Load Index	

NCC	Nearest Class Center	
PANAS	Positive and Negative Affect Schedule	
PCB	Printed circuit board	Πλακέτα τυπωμένου κυκλώματος
PD	Pupil Diameter	Διάμετρος κόρης
PPG	Photoplethysmography	Φωτοπληθυσμογραφία
PSS	Perceived Stress Scale	
RC	Resistor-Capacitor	Αντιστάτης-Πυκνωτής
RFA	Right Frontal Activity	Δεξιά μετωπιαία δραστηριότητα
RSME	Rating Scale Mental Effort	
SAM	Stress Appraisal Measure	
SC	Skin Conductance	Αγωγιμότητα του δέρματος
sEMG	surface Electromyogram	Επιφανειακό Ηλεκτρομυογράφημα
SOM	Self-organizing map	Χάρτης αυτόματης οργάνωσης
ST	Skin Temperature	Θερμοκρασία δέρματος
STAI	State-Trait Anxiety Inventory	
SVM	Support Vector Machine	Μηχανή Διανυσματικής Υποστήριξης
TSST	Trier Social Stress Test	
ANΣ		Αυτόνομο Νευρικό Σύστημα
ΚΝΣ		Κεντρικό Νευρικό Σύστημα
ΠΟΥ		Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας
ΣΝΣ		Συμπαθητικό Νευρικό Σύστημα
ΥΥΕ		Υποθαλάμου-Υπόφυσης-Επινεφριδίων

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

Σε μια εποχή που η ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας και οι νέες μορφές της παγκόσμιας οικονομίας έχουν επιφέρει σημαντικές αλλαγές στη φύση του εργασιακού χώρου και στις συνθήκες που επικρατούν σε αυτόν, η αποτελεσματική διαχείριση του επαγγελματικού στρες παραμένει μια ανοιχτή πρόκληση. Σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό για την Ασφάλεια και την Υγεία στην Εργασία, το στρες είναι ένα από τα πιο συνηθισμένα προβλήματα υγείας που σχετίζονται με την εργασία [1]. Ταυτόχρονα, πολλά από τα άλλα πιο συχνά αναφερόμενα προβλήματα υγείας που προκαλούνται ή εντείνονται από την εργασία, όπως η κόπωση, οι πονοκέφαλοι και τα μυϊκά προβλήματα, μπορούν συχνά να συνδεθούν με την έκθεση σε ένα στρεσογόνο περιβάλλον. Περισσότεροι από τους μισούς εργαζόμενους αναφέρουν ότι το στρες είναι σύνηθες στον επαγγελματικό τους χώρο, ενώ το 60% όλων των χαμένων ημερών εργασίας μπορεί να αποδοθεί σε στρες και ψυχοκοινωνικούς κινδύνους [2]. Η μακροχρόνια έκθεση στο εργασιακό στρες μπορεί να έχει σοβαρές επιπτώσεις σε κοινωνικό και ψυχικό επίπεδο, όπως την εμφάνιση μυοσκελετικών διαταραχών και κατάθλιψης που σχετίζεται με την εργασία, αλλά και σε οικονομικό επίπεδο, καθώς μόνο το κόστος της τελευταίας στην Ευρώπη εκτιμάται σε 617 δισεκατομμύρια ευρώ ετησίως [3].

Η πανδημία COVID-19 προκάλεσε σημαντικές αλλαγές στον κοινωνικό, οικονομικό και εργασιακό τομέα. Η ασφάλεια και η υγεία στους χώρους εργασίας έχουν επηρεαστεί σε πολλά επίπεδα. Περισσότεροι από τέσσερις στους δέκα ερωτηθέντες σε ολόκληρη την Ευρωπαϊκή Ένωση συμφωνούν ότι το εργασιακό τους στρες έχει αυξηθεί, ως αποτέλεσμα της πανδημίας [1]. Προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί η εξάπλωση της νόσου, η εξ αποστάσεως εργασία ενισχύθηκε σημαντικά, ενώ η διαδικασία ψηφιοποίησης επιταχύνθηκε. Ως εκ τούτου, η φύση και η οργάνωση της εργασίας, για ένα μεγάλο μέρος των εργαζομένων, έχει αλλάξει ριζικά, με τη χρήση νέων ψηφιακών τεχνολογιών, εκτός του παραδοσιακού χώρου

εργασίας. Πολλές από αυτές τις αλλαγές διατηρήθηκαν, ακόμη και μετά την άρση των αυστηρών υγειονομικών και κοινωνικών μέτρων που επιβλήθηκαν λόγω της COVID-19, δημιουργώντας μια νέα εργασιακή πραγματικότητα. Ενώ η εξ αποστάσεως εργασία μπορεί να προσφέρει ευελιξία και μεγαλύτερη αυτονομία και θεωρείται αρκετές φορές ότι προάγει μια καλύτερη ισορροπία μεταξύ επαγγελματικής και προσωπικής ζωής, παράγοντες όπως η απομόνωση στον χώρο εργασίας, η διατάραξη της οικογένειας, η απουσία επαφής με συνάδελφους και η έλλειψη οργάνωσης μπορούν να αποτελέσουν ανασταλτικούς παράγοντες προς αυτή την κατεύθυνση [4]. Τα προαναφερθέντα στοιχεία παρουσιάζουν ιδιαίτερα σημαντική βαρύτητα για τους εργαζόμενους σε περιβάλλοντα γραφείου, καθώς οι τεχνολογίες αυτοματισμού επιτρέπουν την εκτέλεση της εργασίας τους από απόσταση, με τη χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή και επικοινωνιακής υποστήριξης.

Συνεπώς, στις σημερινές συνθήκες, όπου το παραδοσιακό περιβάλλον εργασίας στο γραφείο αλλάζει, είναι ζωτικής σημασίας η προσαρμογή των υφιστάμενων μεθόδων παρακολούθησης του εργασιακού στρες και η υιοθέτηση συστημάτων που μπορούν να ανιχνεύουν και να αναφέρουν αποτελεσματικά την κατάσταση ψυχικής υγείας των εργαζομένων. Ο τομέας της Συναισθηματικής Υπολογιστικής περιλαμβάνει μια μεγάλη ποικιλία μελετών που αποσκοπούν στην αυτόματη ανίχνευση της συναισθηματικής κατάστασης και των επιπέδων στρες των ατόμων. Για να το επιτύχουν αυτό, οι μελέτες αυτές επεξεργάζονται και αναλύουν φυσιολογικές μετρήσεις, όπως είναι ο καρδιακός ρυθμός, η αντίσταση του δέρματος και η ηλεκτρική εγκεφαλική δραστηριότητα, καθώς και μετρήσεις συμπεριφοράς, όπως αυτές που προκύπτουν από τις εκφράσεις του προσώπου, τη στάση του σώματος και τη διακύμανση της ομιλίας. Οι πρώτες θεωρούνται συχνά πιο αξιόπιστες και ενδεικτικές, ενώ οι δεύτερες μπορούν να μετρηθούν με λιγότερο επεμβατικό τρόπο.

Όσον αφορά συγκεκριμένα τον τομέα του χώρου εργασίας, τα τελευταία χρόνια έχει αναδειχθεί στη βιβλιογραφία η ανάγκη ανάπτυξης συστημάτων για την ανίχνευση και τη συνεχή παρακολούθηση του στρες, τα οποία θα είναι όσο το δυνατόν λιγότερο παρεμβατικά [5], [6]. Αυτό βασίζεται στο γεγονός ότι οι αισθητήρες και οι συσκευές που φοριούνται στο σώμα ή προσαρτώνται σε αυτό μπορούν να

διαταράξουν τη ρουτίνα, τα πρότυπα εργασίας και τη φυσική συμπεριφορά των χρηστών. Επιπλέον, κατά το σχεδιασμό και την εφαρμογή παρεμβάσεων, πρέπει πάντα να λαμβάνονται υπόψη οι κοινωνικές πτυχές και η προστασία της ιδιωτικής ζωής. Ως εκ τούτου, υπάρχει αυξανόμενο ερευνητικό ενδιαφέρον για την αξιοποίηση συσκευών που χρησιμοποιούνται καθημερινά στο χώρο εργασίας, προκειμένου να παρακολουθούνται η ευημερία και η απόδοση των εργαζομένων, μέσω της χρήσης αισθητήρων και νέων μεθόδων ανάλυσης δεδομένων. Ο προσωπικός υπολογιστής και οι περιφερειακές μονάδες του είναι από τους πρωταρχικούς υποψήφιους για την εφαρμογή τέτοιων συστημάτων, καθώς έχουν γίνει αναπόσπαστο μέρος της εργασίας στο γραφείο, συμβάλλοντας στη μείωση του φόρτου εργασίας και στην αύξηση της αποδοτικότητας [7].

Η παρούσα διδακτορική διατριβή έχει ως στόχο την αυτόματη παρακολούθηση και ανίχνευση του εργασιακού στρες σε περιβάλλον γραφείου, μέσω της ανάλυσης φυσιολογικών και συμπεριφορικών παραμέτρων που προκύπτουν από τη χρήση του ηλεκτρονικού υπολογιστή και των περιφερειακών συσκευών του. Προς επίτευξη αυτού του στόχου, σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε μια έξυπνη συσκευή Διαδικτύου των Πραγμάτων (Internet of Things - IoT), η οποία αποτελείται από ένα σύστημα αισθητήρων και μια πλακέτα ανάπτυξης, ενσωματωμένων σε ένα ποντίκι ηλεκτρονικού υπολογιστή. Η συσκευή εντάχθηκε σε ένα σύστημα καταγραφής φυσιολογικών και συμπεριφορικών μετρήσεων που αξιοποιεί δεδομένα που καταγράφονται κατά την εργασία στον ηλεκτρονικό υπολογιστή. Επίσης, σχεδιάστηκε και εκτελέστηκε ένα πειραματικό πρωτόκολλο που προσομοιώνει ένα τυπικό περιβάλλον εργασίας γραφείου, ενσωματώνοντας τους κυριότερους στρεσογόνους παράγοντες που παρουσιάζονται σε αυτό. Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν κατά την πειραματική διαδικασία αναλύθηκαν με σκοπό, αφενός την επικύρωση της συσκευής που κατασκευάστηκε και αφετέρου την ανάπτυξη μοντέλων ταξινόμησης για την αυτόματη ανίχνευση του εργασιακού στρες.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται η διάρθρωση της διατριβής. Στο Κεφάλαιο 2 παρουσιάζεται το θεωρητικό πλαίσιο της εργασίας. Γίνεται μία λεπτομερής περιγραφή της έννοιας του στρες, των σωματικών αντιδράσεων που το συνοδεύουν και των παθήσεων με τις οποίες αυτό συνδέεται. Έπειτα, αναλύονται τα μοντέλα που

έχουν διαμορφωθεί γύρω από το εργασιακό στρες και τις εκδηλώσεις του. Επίσης, παρουσιάζονται εκτενώς οι τρόποι μέτρησης και ποσοτικοποίησης του στρες μέσω των διαφορετικών τύπων παραμέτρων. Στο Κεφάλαιο 3 αναδεικνύεται η συμβολή του τομέα της Συναισθηματικής Υπολογιστικής στην ανίχνευση του στρες με αυτόματο τρόπο, μέσω της αξιοποίησης τεχνολογικών μέσων. Το μεγαλύτερο μέρος του κεφαλαίου αφιερώνεται στην ενδελεχή ανασκόπηση μελετών της διεθνούς βιβλιογραφίας που αφορούν συστήματα παρακολούθησης και ανίχνευσης στρες μέσω της ανάλυσης φυσιολογικών παραμέτρων, συμπεριφορικών παραμέτρων και συνδυασμού αυτών. Επεκτείνοντας κι αξιοποιώντας τα ευρήματα της βιβλιογραφικής ανασκόπησης, στα επόμενα κεφάλαια παρουσιάζονται η μεθοδολογία και τα εργαλεία του συστήματος που αναπτύχθηκε στη διατριβή. Συγκεκριμένα, στο Κεφάλαιο 4 παρουσιάζονται η αρχιτεκτονική του συστήματος της συσκευής που κατασκευάστηκε στα πλαίσια της εργασίας, το υλικό και το λογισμικό που περιλαμβάνει. Στο Κεφάλαιο 5 πραγματοποιείται αρχικά αναλυτική περιγραφή του πειραματικού πρωτοκόλλου που σχεδιάστηκε, της πειραματικής διαδικασίας που εκτελέστηκε και των στοιχείων που αφορούν τους συμμετέχοντες του πειράματος. Εκτός αυτού, παρατίθενται τα εργαλεία στατιστικής ανάλυσης και μηχανικής μάθησης που διαμορφώνουν τη μεθοδολογία της ανάλυσης των δεδομένων. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης, εκκινώντας από την επικύρωση του πειραματικού πρωτοκόλλου που εφαρμόστηκε. Σε δεύτερο στάδιο, περιγράφονται τα αποτελέσματα της επεξεργασίας των σημάτων και μετρήσεων και της εξαγωγής χαρακτηριστικών, καθώς και η απόδοση των μοντέλων που εκπαιδεύτηκαν και βασίστηκαν τόσο μεμονωμένα σε κάθε τύπο παραμέτρων, όσο και στο συνδυασμό αυτών. Τέλος, το Κεφάλαιο 6 αφορά στην κριτική αποτίμηση των αποτελεσμάτων από την ολική προσέγγιση της διδακτορικής διατριβής με σκοπό την καλύτερη κατανόηση και ακριβή πρόβλεψη των προκλήσεων που αντιμετωπίζονται στο χώρο της ανίχνευσης του εργασιακού στρες.

Το ερευνητικό πρωτόκολλο που εφαρμόστηκε στα πλαίσια της παρούσας διδακτορικής διατριβής έλαβε έγκριση από την Επιτροπή Ηθικής και Δεοντολογίας της Έρευνας (Ε.Η.Δ.Ε.) του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου με Αριθμό Πρωτοκόλλου 63111.

Κεφάλαιο 2

Θεωρητικό υπόβαθρο

2.1 Εισαγωγή

Το στρες αποτελεί μία πολύπλοκη έννοια, ενώ η εκδήλωσή του και η αντίδραση απέναντι σε αυτό εξαρτάται από ένα πλήθος παραγόντων. Το πρώτο και απαραίτητο βήμα πριν από το σχεδιασμό ενός συστήματος για την παρακολούθηση ή ανίχνευση του στρες, είναι η κατανόηση της έννοιάς του, της βιολογίας και των σωματικών αντιδράσεων που το συνοδεύουν. Η ενδεδειγμένη μελέτη των κυριότερων παραμέτρων, μέσω των οποίων μπορεί να πραγματοποιηθεί η μέτρησή του, είναι εξίσου σημαντική, προκειμένου να αναδειχθούν τα πλεονεκτήματα του κάθε τύπου αυτών και να πραγματοποιηθεί η επιλογή των κατάλληλων πηγών δεδομένων για τις ανάγκες του αναπτυσσόμενου συστήματος. Σκοπός της εργασίας μας είναι η ανίχνευση του εργασιακού στρες σε χώρο γραφείου. Συνεπώς, μελετήσαμε, επίσης, και παραθέτουμε τις ιδιαιτερότητες του εργασιακού στρες, καθώς και τα θεωρητικά μοντέλα που έχουν αναπτυχθεί γύρω από αυτό και καθορίζουν τους κυρίαρχους στρεσογόνους παράγοντες της εργασίας.

2.2 Η έννοια του στρες

Οι έννοιες του στρες και της αντιμετώπισής του έχουν ποικίλει αρκετά ως προς τη μορφή και το πλαίσιο ανά τα χρόνια, ενώ οι ερευνητές εξακολουθούν να δυσκολεύονται να συμφωνήσουν σε έναν ικανοποιητικό ορισμό τους. Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας¹ (ΠΟΥ), το στρες μπορεί να οριστεί ως κάθε είδους αλλαγή που προκαλεί σωματική, συναισθηματική ή ψυχολογική καταπόνηση. Με άλλα λόγια, το στρες είναι η αντίδραση του ανθρώπινου σώματος σε οτιδήποτε απαιτεί προσοχή ή δράση. Πολλές φορές, το στρες αναφέρεται και με τον όρο «άγχος». Υπάρχουν αρκετοί ισχυρισμοί, ωστόσο, που διακρίνουν τους δύο όρους, υποστηρίζοντας ότι το άγχος συνδέεται περισσότερο με το αίσθημα του φόβου και

¹ <https://www.who.int/news-room/questions-and-answers/item/stress>

αποτελεί την κλινική εκδήλωση της μακροχρόνιας έκθεσης σε στρεσογόνους παράγοντες [8]. Στην παρούσα εργασία, όπου χρησιμοποιείται η λέξη άγχος, θεωρείται συνώνυμη του στρες.

Παρά το γεγονός, λοιπόν, ότι η έννοια του στρες είναι πηγή τεράστιου ενδιαφέροντος τις τελευταίες δεκαετίες, ο όρος εξελίσσεται σταθερά κατά τη διάρκεια μιας περιόδου αρκετών εκατοντάδων ετών, αν όχι αιώνων. Η Βρετανίδα πρωτοπόρος της σύγχρονης νοσηλευτικής Florence Nightingale είχε γράψει στο βιβλίο της «Notes on Nursing» [9] ότι κάποιος έμπειρος παρατηρητής, παρακολουθώντας ασθενείς, τόσο σε δημόσια νοσοκομεία όσο και σε ιδιωτικά σπίτια, είναι σε θέση να εντοπίσει ότι συμπτώματα ή δυσκολίες που θεωρούνταν παρεπόμενα της ασθένειας είναι τελικά κάτι εντελώς διαφορετικό και, ίσως, οφείλονται στην έλλειψη φρέσκου αέρα, φωτός, ζεστασιάς και γενικά στις συνθήκες φροντίδας. Η Nightingale πίστευε ότι όλοι οι ασθενείς βίωναν κάποιου είδους στρες, όπως θα ονομαζόταν αργότερα, ανεξάρτητα από την ασθένειά τους και ότι το νοσηλευτικό προσωπικό θα έπρεπε να ασχοληθεί περισσότερο με αυτό [10].

Κατά τη διάρκεια των αιώνων, όμως, διάφορα μη φυσικά φαινόμενα έχουν προωθηθεί, επίσης, ως πιθανές αιτίες ασθενειών ή ως πιθανοί παράγοντες που συμβάλλουν στις ασθένειες [11]. Σε διάφορες ιστορικές περιόδους, καταστάσεις όπως η υστερία, τα νεύρα, η ένταση, τα πάθη, η νευρασθένεια, η ανησυχία και η ψυχική καταπόνηση έχουν προταθεί ως εξηγήσεις εκδηλωμένων ασθενειών. Συνέπεια αυτού είναι η διαμόρφωση από πολύ παλιά της αντίληψης ότι τα άτομα αντιμετωπίζουν στη ζωή αρκετά δύσκολες απαιτήσεις και μπορεί να υποκύψουν από την πίεση αυτή σε κάποια βιολογική ή ψυχολογική ασθένεια [12]. Παράλληλα, λοιπόν, με τη βιολογική ιατρική, υπήρχε πάντα κάποια πρόσθετη εξήγηση στην ασθένεια, η οποία διαμορφωνόταν από την άποψη της σχέσης του ατόμου με το περιβάλλον του και της αλληλεπίδρασής του με αυτό [13].

Ένα σημαντικό ορόσημο στην ιστορία του στρες ήταν το έργο του Robert Hooke, το οποίο θα οδηγούσε σε μια μηχανική αναλογία. Ο Hooke ασχολήθηκε με το πώς οι τεχνητές κατασκευές (π.χ. γέφυρες) θα μπορούσαν να αντέξουν μεγάλα φορτία χωρίς να καταρρεύσουν. Διατύπωσε, λοιπόν, το νόμο της Ελαστικότητας, σύμφωνα με τον οποίο η μετατόπιση ή το μέγεθος της παραμόρφωσης ενός υλικού είναι ευθέως

ανάλογο της παραμορφωτικής δύναμης ή «τάσης» (stress) που του έχει ασκηθεί [14]. Πραγματοποιώντας τη μετάβαση της έννοιας του στρες από την επιστήμη της Φυσικής και της Μηχανικής στις επιστήμες της Βιολογίας, της Ιατρικής και της Ψυχολογίας μπορούμε να αντιληφθούμε την επίδραση του έργου του Hooke και την επιβίωσή του στη σύγχρονη εποχή μέσω της ιδέας ότι το στρες είναι μια εξωτερική απαίτηση που τίθεται σε ένα βιοψυχοκοινωνικό σύστημα [15].

Η μηχανική αναλογία και η ιδέα ότι το σώμα μοιάζει με μηχανή, αποδείχθηκαν, όμως, γόνιμο έδαφος για δύο άλλες ιδέες που επηρέασαν βαθιά τη μελέτη για το στρες. Η πρώτη ιδέα προκύπτει από το σκεπτικό ότι «αν το σώμα ήταν σαν μηχανή και οι μηχανές υπόκεινται σε φθορά, τότε το ίδιο θα συνέβαινε και με το σώμα» [13]. Έτσι, στη συζήτηση για το άγχος, αναπτύχθηκε η ιδέα της επίδρασης της φθοράς της ζωής στο σώμα. Η δεύτερη ιδέα που προέκυψε διατύπωνε ότι, όπως μια μηχανή, το σώμα χρειάζεται κάποια ενέργεια ώστε να το βοηθήσει να λειτουργήσει. Ανάλογα με την ποσότητα αυτής της ενέργειας, το σώμα θα αποδίδει καλά, άσχημα ή ακόμη και θα σταματά, όπως κάνει μία μηχανή. Αυτή η ενέργεια θεωρήθηκε ότι είναι προϊόν του νευρικού συστήματος, και οι επιστήμονες πολύ γρήγορα άρχισαν να μιλούν με όρους όπως «εξάντληση της νευρικής ενέργειας» και «διαταραχές των νεύρων» [11].

Η αντίληψη του στρες ως ενός εξωτερικού φορτίου ή ενός συνόλου απαιτήσεων που συνοδεύει ένα βιολογικό, κοινωνικό ή ψυχολογικό ερέθισμα είναι αυτή που κυριαρχεί στην έρευνα και το έργο του Walter Cannon, ο οποίος άνοιξε το δρόμο για την εισαγωγή της ψυχοσωματικής προσέγγισης του άγχους και υπήρξε μεγάλη έμπνευση για εκείνους των οποίων το έργο θα ακολουθούσε [16]. Οι σύγχρονοι συγγραφείς που μελετούν το στρες εξακολουθούν να βασίζονται στις έννοιες που διαμόρφωσε για την ομοιόσταση και τις αντιδράσεις «πάλης ή φυγής».

Ο Cannon ήταν ο πρώτος που εισήγαγε την έννοια της ομοιόστασης που αφορά τη σχέση του αυτόνομου νευρικού συστήματος (ΑΝΣ) με την αυτορρύθμιση των φυσιολογικών διεργασιών [17]. Η ομοιόσταση, δηλαδή η ικανότητα του σώματος να διατηρεί τη συνοχή του, είχε ήδη εντυπωσιάσει από καιρό πολλούς βιολόγους. Ο Cannon, για παράδειγμα, αναφέρεται στο έργο του Βέλγου φυσιολόγου Leon Fredericq, ο οποίος το 1885 δήλωσε «το ζωντανό ον είναι ένας οργανισμός τέτοιου είδους που κάθε διαταρακτική επιρροή προκαλεί από μόνη της την εμφάνιση

αντισταθμιστικών δραστηριοτήτων για την εξουδετέρωση ή την αποκατάσταση της διαταραχής» [18]. Ο Cannon περιέγραψε αυτή την αυτορρύθμιση, υποστηρίζοντας ότι οι φυσιολογικές δραστηριότητες, οι οποίες διατηρούν τις σταθερές καταστάσεις στο άτομο, είναι τόσο πολύπλοκες που θα έπρεπε να υπάρχει ένας ειδικός χαρακτηρισμός γι' αυτές, ο όρος ομοιόσταση. Η λέξη που διάλεξε δεν υπονοούσε κάτι στατικό αλλά μία κατάσταση που είναι σχετικά σταθερή και μπορεί να μεταβάλλεται. Όταν η κατάσταση απειλείται από αλλαγή, τότε αυτή η μεταβολή σηματοδοτείται αμέσως και διορθωτικοί μηχανισμοί τίθενται σε λειτουργία για να αποτρέψουν την απειλή ή να αποκαταστήσουν τη φυσιολογική λειτουργία. Αν θέλουμε να είμαστε αποτελεσματικοί, υποστήριξε ο Cannon, το σύστημα σχέσεων ατόμου-περιβάλλοντος, το οποίο είναι μέρος του εαυτού μας, πρέπει να παραμείνει σχετικά σταθερό. Για να διατηρείται αυτό το εσωτερικό περιβάλλον με συνέπεια, κάθε αλλαγή και κάθε αντίδραση σε σχέση με το εξωτερικό περιβάλλον πρέπει να συνοδεύεται από μια αντισταθμιστική διαδικασία στο εσωτερικό περιβάλλον του ατόμου. Αυτή η αντισταθμιστική διαδικασία λειτουργεί μέσω του συμπαθητικού τμήματος του ΑΝΣ.

Η σημασία του έργου του Cannon για την ομοιόσταση έγκειται τόσο στον τρόπο με τον οποίο απηχούσε το ενδιαφέρον του παρελθόντος, όσο και στο ότι παρείχε μια πορεία για το μέλλον. Ο Cannon ενδιαφερόταν γι' αυτό που περιέγραψε ως αποτελεσματικότητα των ρυθμιστικών μηχανισμών για τη διατήρηση της σταθερότητας. Αν ήταν δυνατό να κατανοήσουμε τη δύναμη και την αντοχή αυτών των ρυθμιστικών διαδικασιών, υποστήριζε, θα ήταν τότε δυνατό να προσδιορίσουμε τα όρια πέρα από τα οποία το στρες υπερνικά αυτούς τους διορθωτικούς μηχανισμούς και αλλάζει ριζικά τη σταθερή κατάσταση. Αναρωτήθηκε αν υπάρχει (κάνοντας χρήση μιας μηχανολογικής αναλογίας), ένας «συντελεστής ασφαλείας» που να επιτρέπει αυτά τα ενδεχόμενα. Παραμένοντας σε αυτό το θέμα της μηχανικής και του τρόπου με τον οποίο είναι κατασκευασμένα τα σώματά μας, ο Cannon θαύμασε τον τρόπο με τον οποίο, επί πολλές δεκαετίες, τα σωματικά μας συστήματα, ενώ κακοποιούνται συνεχώς από τη φθορά της ζωής, ταυτόχρονα αποκαθίστανται συνεχώς μέσω μιας διαδικασίας επιδιόρθωσης. Εναλλακτικά, πρότεινε, ίσως τα άτομα έχουν μάθει με τον ένα ή τον άλλο τρόπο διαδικασίες ώστε να συντηρούν τη

σταθερότητα και την ομοιομορφία και είναι ικανά να διατηρούν μια σταθερή κατάσταση, ακόμη και μπροστά σε γεγονότα που γενικά θα αναμενόταν να είναι βαθιά ανησυχητικά. Διατηρώντας τη σκοπιά της εξέλιξης, ο Cannon αναρωτήθηκε αν υπάρχει κάποιος τρόπος με τον οποίο, αυτές οι ρυθμιστικές διαδικασίες γίνονται, με την πάροδο του χρόνου, όλο και περισσότερο αποτελεσματικές [16].

Ο Cannon ενδιαφερόταν επίσης για τα ένστικτα και για τις σωματικές αλλαγές που λαμβάνουν χώρα σε «μεγάλη συναισθηματική διέγερση» [19]. Η πιο ευρέως εφαρμόσιμη εξήγηση που υποστήριξε ο Cannon για αυτές τις φυσικές αντιδράσεις, είναι ότι αναπτύχθηκαν για ταχεία εξυπηρέτηση στη μάχη για επιβίωση, κατά τη διάρκεια μιας μακράς περιόδου εξελικτικής εμπειρίας [20]. Υπάρχει, πρόσθεσε, μια καθιερωμένη συσχέτιση μεταξύ συγκεκριμένων συναισθημάτων και ιδιαίτερων ενστικτωδών αντιδράσεων. Συγκεκριμένα, ο φόβος και ο θυμός έχουν χρησιμεύσει ως προετοιμασία για δράση. Ο φόβος έχει συνδεθεί με το ένστικτο της φυγής/ διαφυγής και ο θυμός ή το επιθετικό συναίσθημα, με το ένστικτο της επίθεσης. Πρόκειται για θεμελιώδη συναισθήματα και ένστικτα που αναπτύχθηκαν κατά τη διάρκεια γενεών, καθώς τα άτομα συμμετείχαν στον αγώνα για την επιβίωση. Αυτή η αντίδραση ονομάστηκε «πάλη ή φυγή». Η έννοια αυτή θα έπαιζε τελικά σημαντικό ρόλο στη μετέπειτα συζήτηση και έρευνα για το άγχος [13]. Ως απάντηση σε μια απειλή ή στρεσογόνο κατάσταση, η «πάλη ή φυγή» καθιστά δυνατό για ένα άτομο να αντιμετωπίσει αποτελεσματικότερα τις προκλήσεις, μέσω της κινητοποίησης των ψυχικών και σωματικών ικανοτήτων του [21]. Η αντίδραση αυτή θεωρήθηκε από τον Cannon ως μια γενική αντίδραση σε οποιοδήποτε στρες, σωματικό ή κοινωνικό. Πίστευε ότι το σώμα ανταποκρίνεται σε όλες τις απειλές με παρόμοιο τρόπο, είτε αυτός ο τρόπος είναι άμεσα σχετικός είτε όχι.

Η εξήγηση του Cannon για την ομοιότητα, σε συνδυασμό με την αντίδραση «πάλης ή φυγής», όπου το εσωτερικό περιβάλλον διατηρείται με την παραγωγή αντισταθμιστικών προσαρμογών, έγινε, για πολλούς ερευνητές που ακολούθησαν, το σημείο εκκίνησης για το πώς εμφανίζεται και εκφράζεται το στρες.

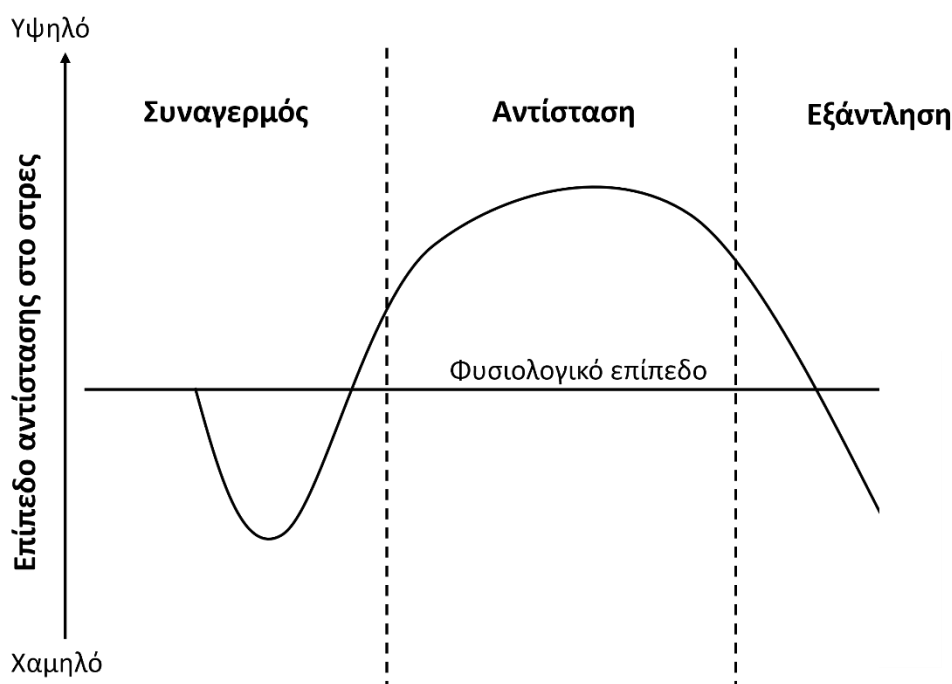
Η δημοτικότητα της έννοιας του στρες στην επιστήμη και τα μέσα μαζικής ενημέρωσης οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στο έργο του ενδοκρινολόγου Hans Selye. Η έρευνά του είχε εξαιρετικό αντίκτυπο στη βιολογία και την ιατρική και πιθανώς

κανένα πρόσωπο στην πρόσφατη εποχή δεν έχει επηρεάσει τη θεωρία και την έρευνα για το στρες περισσότερο [22]. Σε μια σειρά μελετών σε ζώα παρατήρησε ότι μια ποικιλία ερεθισμάτων (π.χ. ζέστη, κρύο, τοξικοί παράγοντες) που εφαρμόζονται αρκετά έντονα και για αρκετό χρονικό διάστημα είναι ικανά να προκαλέσουν κοινές επιδράσεις, δηλαδή όχι ειδικές για κάποιο από τα ερεθίσματα. Εκτός από αυτές τις μη ειδικές αλλαγές στο σώμα, κάθε ερέθισμα παράγει, βέβαια, το ειδικό του αποτέλεσμα. Η ζέστη, για παράδειγμα, παράγει αγγειοδιαστολή, ενώ το κρύο αγγειοσύσπαση. Σύμφωνα με τον Selye, αυτές οι μη ειδικά προκαλούμενες μεταβολές αποτελούν το στερεοτυπικό μοτίβο αντίδρασης του συστηματικού στρες [23]. Ο Selye ορίζει αυτό το στρες ως μια κατάσταση που εκδηλώνεται με ένα σύνδρομο, το οποίο αποτελείται από όλες τις μη ειδικά προκαλούμενες αλλαγές σε ένα βιολογικό σύστημα.

Αυτό το στερεοτυπικό πρότυπο αντίδρασης, που ονόμασε «Σύνδρομο Γενικής Προσαρμογής» (General Adaptation Syndrome-GAS) (**Εικόνα 1**), εξελίσσεται σε τρία στάδια [24]:

- (α) Η αντίδραση συναγερμού περιλαμβάνει μια αρχική φάση σοκ και μια επακόλουθη φάση αντί-σοκ. Η φάση του σοκ παρουσιάζει αυτόνομη διέγερση, αυξημένη έκκριση αδρεναλίνης και γαστρεντερικά έλκη. Η φάση του αντί-σοκ σηματοδοτεί την αρχική λειτουργία των αμυντικών διεργασιών και χαρακτηρίζεται από αυξημένη δραστηριότητα του φλοιού των επινεφριδίων.
- (β) Εάν η βλαβερή διέγερση συνεχιστεί, ο οργανισμός εισέρχεται στο στάδιο της αντίστασης. Στο στάδιο αυτό, τα συμπτώματα της αντίδρασης συναγερμού εξαφανίζονται, γεγονός που φαίνεται να υποδηλώνει την προσαρμογή του οργανισμού στο στρεσογόνο παράγοντα. Ωστόσο, ενώ η αντίσταση στη βλαβερή διέγερση αυξάνεται, η αντίσταση σε άλλα είδη στρεσογόνων παραγόντων μειώνεται ταυτόχρονα.
- (γ) Εάν το ερέθισμα επιμένει, η αντίσταση δίνει τη θέση της στο στάδιο της εξάντλησης. Η ικανότητα προσαρμογής του οργανισμού στον στρεσογόνο παράγοντα εξαντλείται, τα συμπτώματα του σταδίου (α) επανεμφανίζονται,

αλλά η αντίσταση δεν είναι πλέον δυνατή. Εμφανίζονται μη αναστρέψιμες βλάβες των ιστών και, εάν η διέγερση επιμείνει, ο οργανισμός πεθαίνει.



Εικόνα 1 Τα στάδια του Συνδρόμου Γενικής Προσαρμογής του Hans Selye.

Ο Selye εξήγησε ότι ονόμασε αυτό το σύνδρομο γενικό, επειδή παράγεται μόνο από παράγοντες που έχουν γενική επίδραση σε μεγάλα τμήματα του σώματος. Το ονόμασε προσαρμοστικό, επειδή διεγείρει την άμυνα. Τέλος, το ονόμασε σύνδρομο, επειδή οι επιμέρους εκδηλώσεις του συντονίζονται και εξαρτώνται εν μέρει η μία από την άλλη [25].

Παρόλο που το έργο του Selye επηρέασε μια ολόκληρη γενιά ερευνητών του στρες, δέχτηκε και αρκετή κριτική. Πρώτα απ' όλα, η αντίληψη του Selye για το στρες ως αντίδραση σε ένα πλήθος διαφορετικών γεγονότων είχε τη μοιραία συνέπεια ότι η έννοια του στρες έγινε το χωνευτήριο για κάθε είδους προσεγγίσεις. Έτσι, με το να γίνει συνώνυμο ποικίλων όρων, όπως, για παράδειγμα, νευρική, απειλή, σύγκρουση ή συναισθηματική διέγερση, η έννοια του στρες κινδύνευε να χάσει την επιστημονική της αξία [26]. Εκτός από αυτή τη γενική επιφύλαξη, έχουν τεθεί και συγκεκριμένα κρίσιμα ζητήματα. Συγκεκριμένα, μια κριτική στρεφόταν κατά της κεντρικής παραδοχής της θεωρίας για μη ειδική αιτιώδη συνάφεια του GAS. Ο Mason [27] επεσήμανε ότι οι στρεσογόνοι παράγοντες που παρατηρήθηκαν ως

αποτελεσματικοί από τον Selye έφεραν ένα κοινό συναισθηματικό νόημα: ήταν καινούργιοι, παράξενοι και άγνωστοι στο ζώο. Έτσι, η κατάσταση του ζώου μπορούσε να περιγραφεί με όρους αδυναμίας, αβεβαιότητας και έλλειψης ελέγχου. Κατά συνέπεια, οι ορμονικές αντιδράσεις του GAS ακολουθούσαν τον συγκεκριμένο συναισθηματικό αντίκτυπο αυτών των επιδράσεων και όχι τις επιδράσεις αυτές καθαυτές. Σύμφωνα με αυτή την υπόθεση, ο Mason απέδειξε ότι σε πειράματα όπου η αβεβαιότητα είχε εξαλειφθεί δεν παρατηρήθηκε GAS.

Αυτή η κριτική οδήγησε σε ένα δεύτερο, πιο βαθύ επιχείρημα: σε αντίθεση με το φυσιολογικό στρες που ερευνούσε ο Selye, το στρες που βιώνουν οι άνθρωποι είναι σχεδόν πάντα αποτέλεσμα μιας γνωστικής διαμεσολάβησης [28]. Ο Selye, ωστόσο, αδυνατεί να προσδιορίσει αυτούς τους μηχανισμούς που μπορούν να εξηγήσουν τη γνωστική μετατροπή των αντικειμενικών βλαβερών γεγονότων στην υποκειμενική εμπειρία της δυσφορίας. Επιπλέον, ο Selye δεν λαμβάνει υπόψη του τους μηχανισμούς αντιμετώπισης ως σημαντικούς διαμεσολαβητές της σχέσης μεταξύ του στρες και των επιπτώσεών του. Και τα δύο αυτά θέματα είναι κεντρικά στις ψυχολογικές θεωρίες του στρες, όπως, για παράδειγμα, αναπτύχθηκαν από την σχολή του Richard Lazarus.

Από την πρώτη της παρουσίαση ως ολοκληρωμένη θεωρία [29], η θεωρία του στρες του Richard Lazarus έχει υποστεί αρκετές ουσιαστικές αναθεωρήσεις [30]. Στην τελευταία της εκδοχή [14], [31], το στρες θεωρείται μια συναλλακτική διαδικασία, δηλαδή δεν ορίζεται ως ένα συγκεκριμένο είδος εξωτερικής διέγερσης ούτε ως ένα συγκεκριμένο πρότυπο φυσιολογικών, συμπεριφορικών ή υποκειμενικών αντιδράσεων. Αντ' αυτού, το στρες θεωρείται ως μια δυναμική διαδικασία, μία συναλλαγή μεταξύ των ατόμων και του περιβάλλοντός τους. Καθώς μάλιστα η αλληλεπίδραση μεταξύ ατόμου και περιβάλλοντος μεταβάλλεται στο χρόνο, τα άτομα αντιμετωπίζουν με διαφορετικό τρόπο το στρες ανάλογα με τις συνθήκες. Συνεπώς, τελικά το στρες ορίζεται ως μία κατάσταση, όπου η σημαντική για το άτομο και την ευημερία του σχέση με το περιβάλλον του απειλείται από απαιτήσεις που επιβαρύνουν ή υπερβαίνουν τους διαθέσιμους πόρους αντιμετώπισης. Ο ορισμός αυτός υποδεικνύει, λοιπόν, δύο διαδικασίες ως κεντρικούς διαμεσολαβητές στη συναλλαγή ατόμου-περιβάλλοντος, οι οποίες είναι κεντρικές σε κάθε ψυχολογική

θεωρία του στρες: την εκτίμηση ή γνωστική αξιολόγηση και την αντιμετώπιση. Η πρώτη αφορά την αξιολόγηση των ατόμων για τη σημασία όσων συμβαίνουν για την ευημερία τους, ενώ η δεύτερη περιλαμβάνει τις προσπάθειες των ατόμων στη σκέψη και τη δράση για τη διαχείριση συγκεκριμένων απαιτήσεων [32].

Η έννοια της εκτίμησης, που εισήχθη στην έρευνα των συναισθημάτων από τον Arnold [33] και αναπτύχθηκε σε σχέση με τις διεργασίες του στρες από τον Lazarus, αποτελεί βασικό παράγοντα για την κατανόηση των συναλλαγών που σχετίζονται με το στρες. Η έννοια αυτή βασίζεται στην ιδέα ότι οι συναισθηματικές διεργασίες, συμπεριλαμβανομένου του στρες, εξαρτώνται από τις πραγματικές προσδοκίες που εκδηλώνουν τα άτομα όσον αφορά τη σημασία και την έκβαση ενός συγκεκριμένου ερεθίσματος. Η εκτίμηση είναι απαραίτητη για να εξηγηθούν οι ατομικές διαφορές στην ποιότητα, την ένταση και τη διάρκεια ενός προκληθέντος συναισθήματος, σε περιβάλλοντα που είναι αντικειμενικά ίσα για διαφορετικά άτομα. Ένα γεγονός, λοιπόν, αξιολογείται γνωστικά από το άτομο που το βιώνει, κατηγοριοποιείται ανάλογα με το πόσο επιδρά στην ευημερία του και, ως αποτέλεσμα, ενεργοποιούνται μηχανισμοί για την αντιμετώπισή του [34].

Η γνωστική εκτίμηση ή αξιολόγηση χωρίζεται δύο μέρη: την πρωτογενή και τη δευτερογενή. Κατά την πρωτογενή αξιολόγηση, το άτομο εκτιμάει το κατά πόσο ένα γεγονός θα επηρεάσει τη σωματική και ψυχική του ευημερία και, συνεπώς, το τοποθετεί σε μία από τις κατηγορίες: αρνητικό, αδιάφορο, θετικό. Κατά τη δευτερογενή αξιολόγηση και, ενώ το άτομο έχει προσδιορίσει το μέγεθος του κινδύνου, καλείται να προσδιορίσει αν τα ενεργειακά αποθέματα και οι πόροι που διαθέτει μπορούν να τον αντιμετωπίσουν επαρκώς και με επιτυχία. Οι στρατηγικές αντιμετώπισης που διαμορφώνονται στη συνέχεια μπορούν να είναι είτε εστιασμένες στο πρόβλημα είτε εστιασμένες στο συναίσθημα που δημιουργεί το πρόβλημα.

2.3 Σωματικές αντιδράσεις σε καταστάσεις στρες

Είναι αρκετά σημαντικό στην πορεία μελέτης του στρες να κατανοήσουμε όσο το δυνατόν καλύτερα τους βιολογικούς μηχανισμούς που ενεργοποιεί και τις σωματικές αντιδράσεις που συνοδεύουν την εκδήλωσή του.

Οι περισσότεροι κλινικοί ερευνητές συμφωνούν ότι το άγχος ξεκινά και ρυθμίζεται από το κεντρικό νευρικό σύστημα (ΚΝΣ), το οποίο παρέχει πληροφορίες για το περιβάλλον και την περιφέρεια και στη συνέχεια ερμηνεύει και δρα βάσει αυτών των πληροφοριών [35]. Το ΚΝΣ αποτελείται από τον εγκέφαλο και τον νωτιαίο μυελό και συνδέεται με περιφερικά νεύρα που αναμεταδίδουν αισθητηριακές πληροφορίες και εκτελούν οδηγίες από και προς τον εγκέφαλο. Μέρος αυτής της διαδικασίας είναι και η εκτίμηση/αξιολόγηση που προαναφέρθηκε, νοούμενη ως μια νευρικά βασισμένη ερμηνεία των προσαγωγών ερεθισμάτων, στο πλαίσιο πεποιθήσεων και αντιλήψεων για τους πόρους και άλλες συνθήκες. Ανάλογα με τη φύση αυτής της διαδικασίας, το ΚΝΣ δημιουργεί εντολές προς το σώμα, είτε για να διατηρήσει είτε για να τροποποιήσει τη συνεχιζόμενη δραστηριότητα, ώστε τελικά να αντιμετωπίσει το αντικείμενο αυτής της εκτίμησης. Έτσι, μπορεί κανείς να θεωρήσει ότι ο εγκέφαλος «εισπράττει» πληροφορίες σχετικά με το περιβάλλον, καθώς και την κατάσταση του υπόλοιπου σώματος και, αν αυτή η εκτίμηση καταλήγει στο συμπέρασμα ότι οι επικρατούσες συνθήκες μπορεί να αποτελούν απειλή για βλάβη, απώλεια ή υπερβολικές απαιτήσεις, τότε παράγονται αντιδράσεις στρες.

Όταν το άγχος γίνεται αντιληπτό από το άτομο, ο εγκεφαλικός φλοιός στέλνει σήματα σε άλλα κέντρα του εγκεφάλου, όπως ο υποθάλαμος. Από αυτές τις περιοχές οι πληροφορίες θα μεταδοθούν μέσω νεύρων, ορμονών ή/και του ανοσοποιητικού συστήματος σε όλα τα μέρη του σώματος. Αυτές οι σωματικές αντιδράσεις περιλαμβάνουν το καρδιαγγειακό, το ανοσοποιητικό και το γαστρεντερικό σύστημα, τους μύες, τα μοτίβα του ύπνου και τις διαδικασίες επούλωσης. Μέσω μηχανισμών ανατροφοδότησης ο εγκέφαλος επηρεάζεται στη συνέχεια από το τι έχει συμβεί στο σώμα [36].

Κατά την αναγνώριση μιας απειλητικής κατάστασης ή υπερβολικών απαιτήσεων πραγματοποιείται ενεργοποίηση του συμπαθητικού νευρικού συστήματος (ΣΝΣ) και της μυελώδους μοίρας των επινεφριδίων. Συγκεκριμένα, η συμπαθητική ενεργοποίηση διεγείρει το μυελό των επινεφριδίων, με αποτέλεσμα να εκκρίνει τις δύο κατεχολαμίνες, επινεφρίνη (αδρεναλίνη) και νορεπινεφρίνη (νοραδρεναλίνη), στην κυκλοφορία του αίματος [37]. Τα αυξημένα επίπεδα επινεφρίνης στο αίμα θα αυξήσουν τον καρδιακό ρυθμό, θα προκαλέσουν αγγειοδιαστολή των αρτηριών

στους μύες και στον εγκέφαλο και θα διεγείρουν τη λιπόλυση, δηλαδή την απελευθέρωση ενέργειας σε όρους γλυκόζης και λιπιδίων στο αίμα. Η νορεπινεφρίνη παίζει σημαντικό ρόλο στον έλεγχο της αρτηριακής πίεσης μέσω της αγγειοσύσπασης των αιμοφόρων αγγείων. Συνεπώς, κατά τη διάρκεια του στρες παρατηρείται ανακατανομή του αίματος από τα γαστρεντερικό σύστημα και το δέρμα προς τους μύες, την καρδιά και τον εγκέφαλο. Η διαδικασία αυτή θα λάβει χώρα σε λιγότερο από ένα λεπτό και αυτή η κινητοποίηση ενέργειας θα αυξήσει τις δυνατότητες του ατόμου για επιβίωση με «πάλη ή φυγή» σε μια απειλητική κατάσταση.

Ωστόσο, σε συνθήκες όπου η απόκριση αυτή δεν είναι επαρκής τρόπος αντιμετώπισης, όπως σε συνθήκες εργασίας που χαρακτηρίζονται από επίλυση γνωστικών προβλημάτων και πιθανή έλλειψη επιρροής, ελέγχου ή κοινωνικής υποστήριξης, οι ίδιες σωματικές αντιδράσεις μπορεί να προκαλέσουν προβλήματα υγείας. Για να διατηρηθεί η υγεία, η επαναλαμβανόμενη ή μακροχρόνια ενεργοποίηση αυτών των συστημάτων, δηλαδή οι καταβολικές διαδικασίες, πρέπει να ακολουθείται από περιόδους ανάπαυσης και αποκατάστασης ώστε να επιτρέπονται η ανάπτυξη, η επούλωση και η δημιουργία νέων πόρων, δηλαδή οι αναβολικές διαδικασίες.

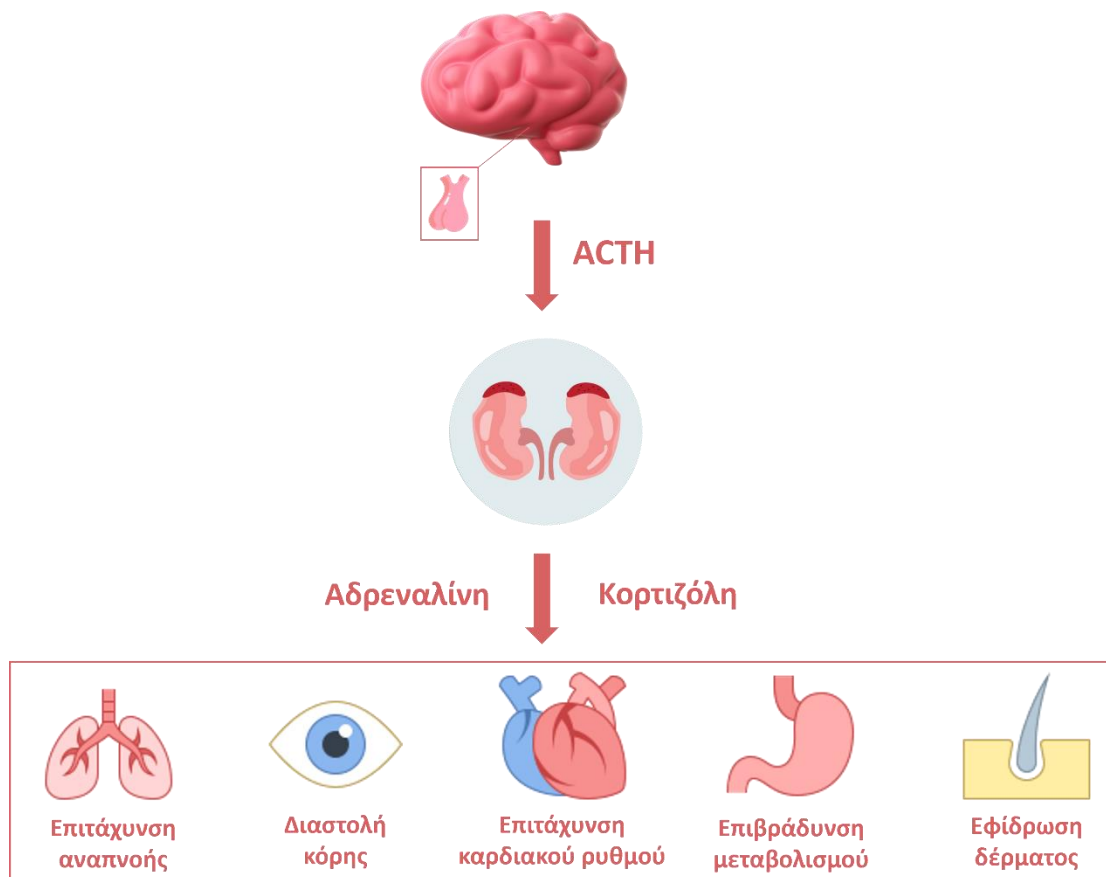
Ένα άλλο σύστημα που ενεργοποιείται από ορμονικά σήματα στον εγκέφαλο είναι ο άξονας υποθαλάμου-υπόφυσης-επινεφριδίων (ΥΥΕ) [36]. Ο αδένας της υπόφυσης στον εγκέφαλο ανταποκρίνεται σε αυτά τα σήματα και αρχίζει να εκκρίνει την ορμόνη αδρενοκορτικοτροπίνη. Μέσω της κυκλοφορίας του αίματος, η ορμόνη αυτή θα διεγείρει τον φλοιό των επινεφριδίων, ώστε να εκκρίνει κορτιζόλη. Χρειάζονται περίπου τριάντα λεπτά μετά την έκθεση σε μια στρεσογόνο κατάσταση μέχρι το επίπεδο κορτιζόλης να φτάσει στο μέγιστο. Η κορτιζόλη επηρεάζει το μεταβολισμό στα κύτταρα και έχει σημαντικό ρόλο στον έλεγχο του ανοσοποιητικού συστήματος. Κατ' αυτόν τον τρόπο, λοιπόν, το σύστημα αυτό θα προετοιμάσει τον οργανισμό για παρατεταμένη έκθεση στο στρες.

Οι παραπάνω σωματικές αντιδράσεις έχουν σημασία για την προστασία και την επιβίωση των ανθρώπων και των ζώων κατά τη διάρκεια της εξέλιξης. Μέσω της διαδοχικής προσαρμογής, οι άνθρωποι και τα ζώα ήταν σε θέση να αντιμετωπίσουν διάφορες περιβαλλοντικές απαιτήσεις και απειλές και να προσαρμοστούν σε μία

μεγάλη ποικιλία συνθηκών. Καθώς η εξελικτική διαδικασία είναι πολύ αργή, η ανθρώπινη βιολογία σήμερα είναι σε μεγάλο βαθμό η ίδια όπως ήταν πριν από εκατό χιλιάδες χρόνια. Αυτό σημαίνει ότι τα κυριότερα συστήματα στρες έχουν αναπτυχθεί κάτω από περιβαλλοντικές συνθήκες που διαφέρουν σε μεγάλο βαθμό από εκείνες που αντιμετωπίζει ο άνθρωπος σήμερα [38].

Σε μια οξεία κατάσταση στρες, όπως είναι η απόκριση σε μια ξαφνική απειλή, η αύξηση της έκκρισης των στρεσογόνων ορμονών θα προκαλέσει αύξηση του καρδιακού ρυθμού και της πίεσης του αίματος, ταχεία απελευθέρωση ενέργειας στη ροή του αίματος, μειωμένο μεταβολισμό (μειωμένη έκκριση σάλιου και γαστρεντερική δραστηριότητα), μειωμένη αναπαραγωγική δραστηριότητα (μειωμένη έκκριση σεξουαλικών ορμονών) και ενεργοποίηση ορισμένων ανοσοποιητικών λειτουργιών. Επιπλέον, η ευαισθησία στον πόνο θα μειωθεί, οι κόρες των ματιών θα διασταλούν και η νοητική συγκέντρωση που εστιάζεται στην άμεση απειλή, μαζί με ορισμένα συστήματα μνήμης, θα ενισχυθούν. Η αυξημένη ενέργεια στους μύες και τον εγκέφαλο θα ενισχύσει τη σωματική και πνευματική ικανότητα, ενώ η μειωμένη ευαισθησία στον πόνο θα καταστήσει το άτομο ικανό να συνεχίσει να βρίσκεται σε κατάσταση «πάλης ή φυγής», παρά τους πιθανούς τραυματισμούς. Η αυξημένη πήκτικότητα του αίματος θα μειώσει την αιμορραγία σε περίπτωση βλάβης του ιστού (**Εικόνα 2**).

Με την ενθύμηση των συνθηκών στις οποίες εμφανίστηκε η απειλή, το άτομο θα έχει, επίσης, περισσότερες πιθανότητες να αποφύγει παρόμοιες απειλές στο μέλλον. Κατά συνέπεια, αυτή η συντονισμένη δράση διαφόρων συστημάτων θα αυξήσει τους ψυχικούς και σωματικούς πόρους του ατόμου για την αντιμετώπιση μιας οξείας απειλής. Ωστόσο, οι αντιδράσεις στο χρόνιο ή μακροχρόνιο στρες μπορεί να είναι αρκετά διαφορετικές μεταξύ των ατόμων, και μερικές φορές ακόμη και αντίθετες. Για παράδειγμα, το χρόνιο στρες μπορεί να προκαλέσει αυξημένη ευαισθησία στον πόνο και μειωμένη λειτουργικότητα του ανοσοποιητικού συστήματος και της μνήμης. Κατά τη διάρκεια του χρόνιου στρες, η δραστηριότητα του άξονα ΥΥΕ αποτελεί την κυρίαρχη απόκριση του οργανισμού στο στρες [38].



Εικόνα 2 Οι κυριότερες σωματικές αντιδράσεις ως απόκριση σε μια ξαφνική κατάσταση στρες.

2.4 Στρες και παθήσεις

Οι φυσιολογικές αντιδράσεις του στρες στους ανθρώπους και τα ζώα έχουν αναπτυχθεί λόγω των προστατευτικών μηχανισμών που προάγουν την υγεία των οργανισμών. Ωστόσο, οι ίδιες αντιδράσεις μπορεί, υπό ορισμένες συνθήκες να καταστούν επιβλαβείς για την υγεία. Μελετητές υποστηρίζουν ότι τα ζώα που ζουν στο φυσικό τους περιβάλλον δεν μπορούν να αναπτύξουν διαταραχές που σχετίζονται με το στρες, καθώς δεν ξοδεύουν χρόνο στο να αναπολούν προηγούμενες καταστάσεις και τι θα μπορούσε να έχει εξελιχθεί διαφορετικά σε αυτές. Παράλληλα, δε φαίνεται να ανησυχούν εκ των προτέρων για πιθανά επερχόμενες απειλές [38]. Η πραγματικότητα είναι, ωστόσο, αρκετά διαφορετική για τους ανθρώπους.

Στην ανθρώπινη ιστορία, είναι πιθανό ότι το οξύ στρες και οι απειλές για την επιβίωση προκλήθηκαν από αντιπαράθεση με εχθρούς και επικίνδυνα ζώα, από το κυνήγι και την έκθεση σε ακραίες καιρικές συνθήκες. Μεταξύ αυτών των οξέων

επεισοδίων στρες και μέσω της πρόσβασης σε τροφή, είναι πιθανό ότι οι άνθρωποι ήταν σε θέση να αποκτήσουν επαρκή ανάπαυση, αποκατάσταση και ύπνο. Στις σύγχρονες κοινωνίες, οι καταστάσεις πνευματικού και ψυχοκοινωνικού στρες είναι αρκετά πιο συχνές απ' ό,τι οι σωματικές απειλές και απαιτήσεις και αυτό έχει ως συνέπεια οι μηχανισμοί που ενεργοποιούνται για την αντιμετώπισή τους να είναι τελικά περισσότερο επιβλαβείς παρά προστατευτικοί. Ο αυξημένος καρδιακός ρυθμός, η αυξημένη αρτηριακή πίεση και τα υψηλά επίπεδα λιπιδίων, όταν δε συνοδεύονται από σωματική δραστηριότητα, μπορεί να συμβάλουν σε καρδιαγγειακές διαταραχές. Επιπλέον, το ψυχοκοινωνικό στρες, όταν συνδέεται με οικονομικές δυσκολίες, προσωπικά προβλήματα, ανεργία ή απειλή ανεργίας, μη ικανοποιητικές συνθήκες εργασίας κ.λπ. διαρκεί συνήθως περισσότερο απ' ό,τι οι σωματικές απειλές και δεν μπορεί να απενεργοποιηθεί με τον ίδιο τρόπο που η σωματική δραστηριότητα μπορεί. Συνεπώς, στις σημερινές βιομηχανικές χώρες, το άτομο είναι πιο πιθανό να εκτεθεί σε μεγάλης διάρκειας ή χρόνια στρες που οφείλεται σε ψυχοκοινωνικούς παράγοντες παρά σε στρες που οφείλεται σε σωματικές απαιτήσεις. [36].

Οι περισσότερες έρευνες σχετικά με το στρες και τις επιπτώσεις στην υγεία έχουν επικεντρωθεί στις καρδιαγγειακές παθήσεις [39], [40]. Σήμερα, υπάρχουν επίσης πολυάριθμες μελέτες που δείχνουν ότι το στρες μπορεί να συμβάλει σε μια σειρά από άλλες διαταραχές, είτε υποκειμενικές, όπως κατάθλιψη, πονοκέφαλο, κούραση, μυϊκό πόνο [41], [42], είτε και σε πιο αντικειμενικές, όπως γαστρεντερικές διαταραχές, διαβήτη τύπου 2, λοιμώξεις, αργές διαδικασίες επούλωσης και γνωστικές διαταραχές [43]–[45].

Προκειμένου να περιγραφεί πότε οι αντιδράσεις του στρες προάγουν και πότε βλάπτουν την υγεία, έχει προταθεί το μοντέλο του αλλοστατικού φορτίου [46]. Σύμφωνα με το μοντέλο αυτό, μια φυσιολογική και υγιής αντίδραση στο στρες σημαίνει ταχεία ενεργοποίηση διαφόρων βιολογικών συστημάτων, η οποία αυξάνει τους πόρους του ατόμου για να αντιμετωπίσει μια στρεσογόνο κατάσταση. Ωστόσο, μόλις τελειώσει η στρεσογόνο κατάσταση, αυτές οι έκτακτες λειτουργίες πρέπει να απενεργοποιηθούν, ώστε να δοθεί χρόνος για ξεκούραση και αποκατάσταση. Προβλήματα υγείας μπορεί να προκύψουν, εάν το άτομο εκτίθεται επανειλημμένα

σε στρες, χωρίς αρκετό χρόνο για ξεκούραση και αποκατάσταση, ή εάν αυτή η ενεργοποίηση γίνει χρόνια, οδηγώντας σε «αλλοστατική υπερφόρτωση». Η αυξημένη αρτηριακή πίεση και ο αυξημένος καρδιακός ρυθμός, τα υψηλά επίπεδα ορμονών του στρες και των λιπιδίων του αίματος καθιστούν το άτομο έτοιμο για «μάχη», αλλά καταστέλλουν άλλες λειτουργίες του οργανισμού, όπως τη χώνεψη, την αναπαραγωγή και τον ύπνο. Καθώς ο ύπνος αποτελεί τη σημαντικότερη μορφή ανάκαμψης, η έλλειψη ύπνου μπορεί να ξεκινήσει έναν φαύλο κύκλο, όπου την επόμενη ημέρα πρέπει να κινητοποιηθούν πρόσθετοι πόροι για να αντιμετωπιστούν οι νέες απαιτήσεις, με αποτέλεσμα το άτομο να εξαντλείται όλο και περισσότερο.

Το χρόνιο στρες μπορεί να οδηγήσει σε αδυναμία κινητοποίησης αρκετών πόρων για την αντιμετώπιση μιας νέας πρόκλησης και σε δυσλειτουργία ορισμένων σωματικών συστημάτων. Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με την αντισταθμιστική υπερδραστηριοποίηση άλλων συστημάτων μπορεί να προκαλέσει προβλήματα υγείας λόγω ανισορροπίας. Για παράδειγμα, ο ανεπαρκής έλεγχος του ανοσοποιητικού συστήματος από τον άξονα ΥΓΕ μπορεί να συμβάλει σε αλλεργίες και υπερευαισθησία και σε εκδήλωση αυτοάνοσων νοσημάτων, όπως ρευματισμών, διαβήτη τύπου 1 και συστηματικού ερυθηματώδη λύκου [47], [48].

Οι γαστρεντερικές διαταραχές, όπως το σύνδρομο ευερέθιστου εντέρου και το έλκος του στομάχου, θεωρούνταν για μεγάλο χρονικό διάστημα ότι επηρεάζονται από το στρες. Ωστόσο, όταν διαπιστώθηκε ότι ένα βακτήριο, το *Helicobacter pylori*, ήταν υπεύθυνο για την ανάπτυξη έλκους στομάχου, αμφισβητήθηκε ο ρόλος του στρες σε αυτή τη διαταραχή. Αυτό ανατράπηκε και πάλι αργότερα, όταν παρατηρήθηκε ότι οι περισσότεροι άνθρωποι δεν αναπτύσσουν έλκη, παρά το γεγονός ότι έχουν μολυνθεί από αυτό το βακτήριο, ενώ παράλληλα ορισμένοι άνθρωποι αναπτύσσουν έλκη χωρίς αυτή τη μόλυνση, γεγονός που δείχνει ότι εμπλέκονται και άλλοι παράγοντες [38]. Κατά τη διάρκεια της έκθεσης στο στρες, η δραστηριότητα σε όλα τα μέρη του γαστρεντερικού συστήματος μειώνεται και ο οργανισμός δεν είναι προετοιμασμένος να επεξεργαστεί και να χωνέψει την τροφή. Η ξαφνική απελευθέρωση υδροχλωρικού οξέος ως απάντηση στην πρόσληψη τροφής μετά από έκθεση σε στρες μπορεί, υπό αυτές τις συνθήκες, να προκαλέσει βλάβη στο απροστάτευτο γαστρεντερικό σύστημα.

Ο πόνος αποτελεί σημαντικό συστατικό πολλών προβλημάτων υγείας και τα σύνδρομα πόνου επηρεάζονται από ψυχολογικούς παράγοντες [49], [50]. Εάν ο πόνος αναμένεται να είναι μακράς διάρκειας, η αντιλαμβανόμενη ένταση του πόνου θα αυξηθεί, ενώ η αντίθετη πρόβλεψη, δηλαδή ότι ο πόνος θα εξαφανιστεί σύντομα, θα μειώσει την αντίληψη του πόνου. Οι επιπτώσεις του πόνου έχουν επίσης σημασία. Ο πόνος που υποτίθεται ότι προκαλείται από μια σοβαρή κατάσταση, π.χ. ο πονοκέφαλος που πιθανόν να προκαλείται από την παρουσία όγκου στον εγκέφαλο, θα γίνει αντιληπτός ως πιο έντονος απ' ό,τι αν η ίδια κατάσταση προκληθεί από πιο ασήμαντη αιτία, π.χ. ο πονοκέφαλος που οφείλεται σε έλλειψη ύπνου. Η αρχική αιτία του πόνου μπορεί να διαφέρει από τις συνθήκες που συμβάλλουν στη διατήρηση του πόνου, οι οποίες έχουν σημαντικές επιπτώσεις για τη θεραπεία και την αποκατάσταση. Ο χρόνιος πόνος είναι από μόνος του ένας στρεσογόνος παράγοντας, ο οποίος μπορεί να αυξήσει διαδοχικά την ευαισθησία στον πόνο και να κάνει τον κατάσταση του ατόμου όλο και πιο σοβαρή.

Ιδιαίτερη αναφορά αξίζει να δοθεί στις μυοσκελετικές διαταραχές, καθώς αποτελούν από τους σημαντικότερους λόγους μακροχρόνιας απουσίας από την εργασία παγκοσμίως. Τα προβλήματα πόνου στον αυχένα, τους ώμους και την πλάτη είναι συνηθισμένα, όχι μόνο στη βαριά σωματική εργασία, αλλά και σε μη χειρωνακτικές εργασίες που απαιτούν πολύ μικρή σωματική δύναμη, όπως είναι η εργασία σε ηλεκτρονικούς υπολογιστές και η εργασία συναρμολόγησης στην ηλεκτρονική βιομηχανία. Με δεδομένο το γεγονός ότι αρκετές επιδημιολογικές μελέτες καταδεικνύουν σχέση μεταξύ ψυχοκοινωνικών παραγόντων και μυϊκού πόνου, γίνεται μεγάλη προσπάθεια τα τελευταία χρόνια να ερευνηθεί ο ρόλος του ψυχοκοινωνικού στρες στις μυοσκελετικές διαταραχές, καθώς και το πώς λειτουργεί ο μηχανισμός πίσω από αυτόν [51], [52].

2.5 Εργασιακό στρες

Είναι γεγονός ότι τις τελευταίες δεκαετίες ο χώρος της εργασίας και απασχόλησης έχει αλλάξει δραματικά λόγω της παγκοσμιοποίησης της κοινωνίας και της οικονομίας, της ραγδαίας ανάπτυξης της τεχνολογίας και του αυξημένου φόρτου εργασίας [53]. Αυτό έχει ως συνέπεια τη διαμόρφωση ενός νέου πλαισίου περιβαλλοντικών και επαγγελματικών κινδύνων, θεμάτων ασφάλειας των

εργαζομένων αλλά και εργασιακού στρες. Ο τομέας της επαγγελματικής υγείας και ευεξίας, και συγκεκριμένα ο τομέας του στρες που οφείλεται στην εργασία, έχει αποτελέσει αντικείμενο πλήθους ερευνητικών μελετών και έχει αναδειχθεί σε μείζον θέμα τόσο για την οικονομία όσο και για τη σωματική και ψυχική υγεία του παραγωγικού μέρους του πληθυσμού.

Σύμφωνα με τον ΠΟΥ, το εργασιακό στρες είναι η αντίδραση που μπορεί να έχουν οι άνθρωποι, όταν αντιμετωπίζουν εργασιακές απαιτήσεις και πιέσεις που δεν ανταποκρίνονται στις γνώσεις και τις δεξιότητές τους και οι οποίες προκαλούν την ικανότητά τους να ανταπεξέλθουν. Ο Οργανισμός κάνει το διαχωρισμό μεταξύ στρες και εργασιακής πίεσης, διευκρινίζοντας ότι η τελευταία είναι αναπόφευκτη και, όταν βρίσκεται σε αποδεκτά επίπεδα, μπορεί να κινητοποιήσει τους εργαζόμενους και να τους κρατήσει σε εγρήγορση. Όταν, όμως, η πίεση γίνεται υπερβολική ή/και μη διαχειρίσιμη, οδηγεί στην κατάσταση εργασιακού στρες που έχει επιπτώσεις στην υγεία και την απόδοση των εργαζομένων.

Μεγάλο μέρος της έρευνας στον τομέα του επαγγελματικού στρες και της υγείας στους χώρους εργασίας ξεκίνησε τη δεκαετία του 1990, με προσπάθειες να προσδιοριστεί ποια επαγγέλματα ήταν πιο στρεσογόνα ή ποια χαρακτηριστικά συγκεκριμένων επαγγελμάτων ήταν αιτίες αυξημένου κινδύνου στεφανιαίας νόσου [54]. Πράγματι, διαπιστώθηκε ότι διάφοροι ευρείς τύποι συνθηκών εργασίας είχαν συσχετιστεί με τον κίνδυνο στεφανιαίας νόσου [55]. Σε αυτούς περιλαμβάνονται οι ψυχολογικές απαιτήσεις της εργασίας, η αυτονομία στην εργασία (π.χ. πόση συμβολή έχουν οι εργαζόμενοι στη λήψη αποφάσεων) και η ικανοποίηση στο χώρο εργασίας. Οι εργασιακές απαιτήσεις αναφέρονται στις συνθήκες εργασίας που επιβαρύνουν ή παρεμβαίνουν στις ικανότητες απόδοσης των εργαζομένων, όπως είναι ο φόρτος εργασίας και οι εργασιακές ευθύνες. Το επίπεδο αυτονομίας στην εργασία αναφέρεται στην ικανότητα των εργαζομένων να ελέγχουν την ταχύτητα, τη φύση και τις συνθήκες της εργασίας. Η εργασιακή ικανοποίηση περιλαμβάνει την ικανοποίηση των αναγκών και των προσδοκιών των εργαζομένων που απορρέουν από την απασχόληση [35].

Ο ΠΟΥ αναφέρει ότι οι κίνδυνοι που σχετίζονται με το άγχος στην εργασία μπορούν να χωριστούν σε αυτούς που σχετίζονται με το πρόγραμμα εργασίας και

αυτούς που σχετίζονται με το πλαίσιο εργασίας. Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει το περιεχόμενο της εργασίας (μονοτονία, υποδιέγερση, ανούσια καθήκοντα, έλλειψη ποικιλίας κ.λπ.), το φόρτο εργασίας και το ρυθμό εργασίας (πολλά ή λίγα καθήκοντα, εργασία υπό πίεση χρόνου κ.λπ.), το ωράριο εργασίας (αυστηρό ή άκαμπτο, μακρύ και αντικοινωνικό, απρόβλεπτο, κακοσχεδιασμένα συστήματα βάρδιας) και τη συμμετοχή και τον έλεγχο (έλλειψη συμμετοχής στη λήψη αποφάσεων, έλλειψη ελέγχου των διαδικασιών, του ρυθμού, του ωραρίου, των μεθόδων και του εργασιακού περιβάλλοντος). Στη δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνεται η εξέλιξη της σταδιοδρομίας, το καθεστώς και η αμοιβή (εργασιακή ανασφάλεια, έλλειψη ευκαιριών προαγωγής, εργασία χαμηλής κοινωνικής αξίας, συστήματα αμοιβής «με το κομμάτι», ασαφή ή άδικα συστήματα αξιολόγησης της απόδοσης, υπερβολική ή ελλιπής εξειδίκευση για μια θέση εργασίας), ο ρόλος του εργαζομένου στον οργανισμό (ασαφής ρόλος, αντικρουόμενοι ρόλοι), οι διαπροσωπικές σχέσεις (ανεπαρκής, απερίσκεπτη ή μη υποστηρικτική εποπτεία, κακές σχέσεις με συναδέλφους, εκφοβισμός/ παρενόχληση και βία, απομονωμένη ή μοναχική εργασία κ.λπ.), η οργανωσιακή κουλτούρα (κακή επικοινωνία, κακή ηγεσία, έλλειψη κανόνων συμπεριφοράς, έλλειψη σαφήνειας σχετικά με τους οργανωσιακούς στόχους, τις δομές και τις στρατηγικές) και η ισορροπία μεταξύ επαγγελματικής και προσωπικής ζωής (αντικρουόμενες απαιτήσεις της εργασίας και του σπιτιού, έλλειψη υποστήριξης για τα οικογενειακά προβλήματα στην εργασία, έλλειψη υποστήριξης για τα εργασιακά προβλήματα στο σπίτι, έλλειψη οργανωτικών κανόνων και πολιτικών για την υποστήριξη της ισορροπίας μεταξύ επαγγελματικής και προσωπικής ζωής)².

Η επιστημονική δουλειά του Cannon γύρω από το στρες, το GAS του Selye, καθώς και το συναλλακτικό μοντέλο του Lazarus επηρέασαν καταλυτικά τη γενική κατεύθυνση των ερευνητών του εργασιακού στρες. Κάθε ένα από τα παραπάνω μοντέλα παρέχει ένα διαφορετικό παράδειγμα για την προσέγγιση του θέματος. Το μοντέλο του Selye κατευθύνει προς την επικέντρωση στα αντικειμενικά χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος, ενώ το μοντέλο του Lazarus προς την

² <https://www.who.int/news-room/questions-and-answers/item/occupational-health-stress-at-the-workplace>

επικέντρωση στην υποκειμενική εκτίμηση των περιβαλλοντικών απαιτήσεων από το ίδιο το άτομο. Αν και τα μοντέλα αυτά, όμως, επηρεάζουν το πως οι ερευνητές αντιλαμβάνονται εννοιολογικά το γενικό πρόβλημα του εργασιακού στρες, δεν παρέχουν καθοδήγηση για το ποια συγκεκριμένα χαρακτηριστικά της εργασίας είναι τα πιο σημαντικά για το ζήτημα [56].

Παρακάτω θα αναλυθούν κάποια από τα βασικά μοντέλα που αναπτύχθηκαν με έμφαση στο εργασιακό στρες.

2.5.1 Μοντέλο της εναρμόνισης ατόμου-περιβάλλοντος

Μία από τις σημαντικότερες θεωρίες σχετικά με το στρες στην εργασία, πάνω στην οποία έχουν στηριχτεί και πολλές μετέπειτα θεωρίες και προσεγγίσεις για το θέμα, είναι το μοντέλο της εναρμόνισης ατόμου-περιβάλλοντος [57]. Τα θεμέλια για τη σύγχρονη προοπτική του μοντέλου βασίστηκαν στην αντίληψη που πρόβαλε την αλληλεπίδραση μεταξύ του ατόμου και του περιβάλλοντος ως το κλειδί για την κατανόηση των γνωστικών, συναισθηματικών και συμπεριφορικών αντιδράσεων των ανθρώπων.

Η έννοια της προσαρμογής/εναρμόνισης που περιγράφεται στο μοντέλο έχει δύο συνιστώσες. Η πρώτη συνιστώσα είναι ο βαθμός ταύτισης, σύμπτωσης ή αντιστοιχίας μεταξύ των απαιτήσεων της εργασίας και των ικανοτήτων που διαθέτουν τα άτομα να ανταποκριθούν σε αυτές. Η δεύτερη συνιστώσα είναι ο βαθμός ταύτισης, σύμπτωσης ή αντιστοιχίας μεταξύ των αναγκών του ατόμου, τόσο φυσικών όσο και ψυχοκοινωνικών, και των πόρων που έχει στη διάθεσή του [35]. Οι περισσότερες από τις σχετικές έρευνες έχουν επικεντρωθεί στη δεύτερη συνιστώσα, καθώς θεωρείται ότι η έλλειψη προσαρμογής μεταξύ αναγκών και πόρων έχει έντονο αντίκτυπο στα επίπεδα άγχους και στη συνολική ευημερία. Ωστόσο, η προσαρμογή απαιτήσεων και ικανοτήτων μπορεί να είναι εξίσου σημαντική, όσον αφορά την ευημερία ενός ατόμου. Για παράδειγμα, μπορεί να προκληθεί υψηλό επίπεδο ψυχολογικής καταπόνησης, εάν ο φόρτος εργασίας του ατόμου είναι υψηλός και δεν έχει τον χρόνο ή την ενέργεια να εκτελέσει αυτό που αναμένεται από αυτό.

Η θεωρία, βασισμένη στο προσδοκώμενο και στο πραγματικό επίπεδο των ερεθισμάτων/συνθηκών (π.χ. φόρτος εργασίας, πολυπλοκότητα εργασίας, επίπεδο εξουσίας, κοινωνική αλληλεπίδραση) που βιώνει ένα άτομο στην εργασία του, ορίζει

δύο συνθήκες στις οποίες η εναρμόνιση ατόμου-περιβάλλοντος είναι σε υψηλό επίπεδο: όταν τα προτιμώμενα επίπεδα και τα λαμβανόμενα επίπεδα μιας παραμέτρου/συνθήκης είναι και τα δύο υψηλά ή όταν είναι και τα δύο χαμηλά. Ας θεωρήσουμε, ως παράδειγμα, το επίπεδο των κοινωνικών επαφών που έχουν οι άνθρωποι με τους συναδέλφους τους στην εργασία. Ένα άτομο μπορεί να επιθυμεί να έχει έναν εκτεταμένο βαθμό επαφής με τους συναδέλφους του και μπορεί πράγματι να βιώνει αυτό το βαθμό. Αυτή η κατάσταση είναι σαφώς μια κατάσταση όπου υπάρχει ισχυρή αντιστοιχία μεταξύ αυτού που το άτομο επιθυμεί και αυτού που λαμβάνει, και θα πρέπει, τουλάχιστον θεωρητικά, να βιώνει χαμηλή πίεση και υψηλή ψυχοκοινωνική ευημερία. Εναλλακτικά, το άτομο μπορεί στην πραγματικότητα να μην επιθυμεί μεγάλη επαφή με τους συναδέλφους του στην εργασία και, όντως, να μην έχει ουσιαστικές διαπροσωπικές επαφές. Και πάλι, αυτή η κατάσταση αντανακλά υψηλό βαθμό δέσμευσης, και θα μπορούσε κανείς να αναμένει τα επίπεδα της πίεσης να είναι χαμηλά.

Η θεωρία εναρμόνισης ατόμου-περιβάλλοντος υποστηρίζει ότι η υψηλή καταπόνηση θα εμφανιστεί όταν υπάρχει αναντιστοιχία μεταξύ των αναγκών του ατόμου και των πραγμάτων που λαμβάνει ή αντιμετωπίζει στην εργασία του. Η κατάσταση η οποία θεωρητικά θα πρέπει να δημιουργεί τα υψηλότερα επίπεδα καταπόνησης είναι εκείνη όπου το άτομο επιθυμεί έντονα ένα συγκεκριμένο χαρακτηριστικό αλλά δεν το λαμβάνει. Από την άλλη πλευρά, όταν τα άτομα δεν έχουν έντονη προτίμηση για ένα χαρακτηριστικό, αλλά το λαμβάνουν, υπάρχει κάποια ασάφεια ως προς το αν αυτή η κατάσταση θα είναι αγχωτική για αυτά. Αυστηρά μιλώντας, θα πρέπει να βιώνουν στρες, καθώς υπάρχει αναντιστοιχία μεταξύ της προτίμησής τους και αυτού που τους παρέχεται. Ωστόσο, αυτό είναι πιθανό να εξαρτάται από πολυάριθμους άλλους παράγοντες, συμπεριλαμβανομένου του κατά πόσον το χαρακτηριστικό παρεμβαίνει σε άλλες δραστηριότητες ή πράγματα με τα οποία το άτομο θα προτιμούσε να ασχολείται.

Συνοψίζοντας, η κεντρική ιδέα του μοντέλου βασίζεται στο ότι είναι αναγκαίο να υπάρχει μια αντιστοιχία μεταξύ των επιθυμιών των ανθρώπων και αυτών που λαμβάνουν, καθώς και μια αντιστοιχία μεταξύ των ικανοτήτων τους και των απαιτήσεων που τίθενται από αυτούς. Η έλλειψη αντιστοιχίας δημιουργεί πίεση και

απειλεί ευθέως την ψυχοκοινωνική ευημερία των ατόμων. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι οι παραπάνω αντιστοιχίες είναι σημαντικές για τα άτομα, όταν αναφέρονται σε ερεθίσματα και παράγοντες που είναι, επίσης, σημαντικά γι' αυτούς.

2.5.2 Το μοντέλο ανισορροπίας μεταξύ προσπάθειας και ανταμοιβής

Το μοντέλο της ανισορροπίας μεταξύ προσπάθειας και ανταμοιβής (effort-reward imbalance model) βασίζεται στην έννοια της αμοιβαιότητας που βρίσκεται στον πυρήνα της σύμβασης εργασίας. Σύμφωνα με αυτή, τα καθήκοντα που επιτελούνται από τον εργαζόμενο ανταποδίδονται με επαρκείς ανταμοιβές, όπως χρήματα, εκτίμηση, ευκαιρίες σταδιοδρομίας και εργασιακή ασφάλεια [58]. Το μοντέλο υποστηρίζει ότι, η αποτυχημένη αμοιβαιότητα ή αλλιώς αναντιστοιχία, από την άποψη του υψηλού κόστους που συνοδεύει την προσπάθεια του εργαζόμενου και του χαμηλού κέρδους που συνοδεύει την ανταμοιβή που λαμβάνει, μπορεί να προκαλέσει έντονα αρνητικά συναισθήματα και υψηλά επίπεδα στρες. Αυτή η αναντιστοιχία εμφανίζεται συχνά υπό τις ακόλουθες τρεις συνθήκες:

- (α) Εξάρτηση (για παράδειγμα λόγω έλλειψης εναλλακτικών επιλογών στην αγορά εργασίας)
- (β) Στρατηγική Επιλογή (για παράδειγμα προληπτικές επενδύσεις προκειμένου να αυξηθούν οι μελλοντικές προοπτικές προαγωγής)
- (γ) Υπερβολική Δέσμευση, δηλαδή ένα παρακινητικό μοτίβο υπερβολικής εργασιακής απόδοσης και επίτευξης που μπορεί να αποτελεί μέρος του ψυχολογικού προφίλ ενός ατόμου ή να προκύπτει από ένα ανταγωνιστικό εργασιακό περιβάλλον.

2.5.3 Το μοντέλο απαιτήσεων-ελέγχου-κοινωνικής στήριξης

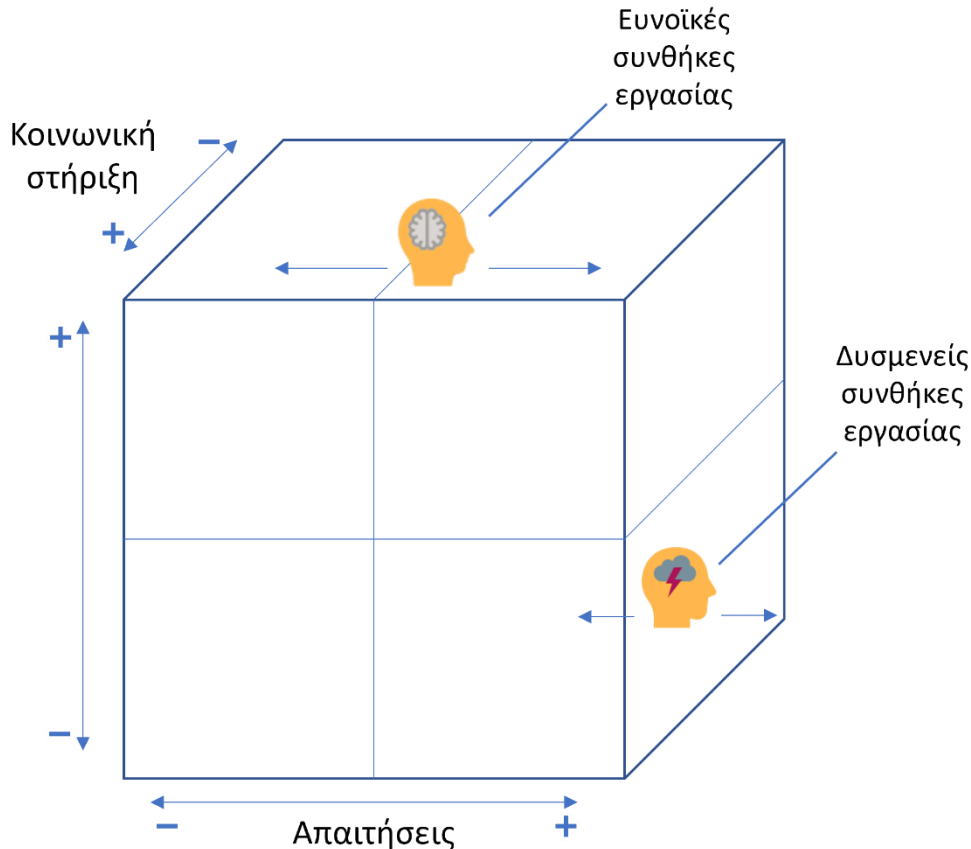
Το μοντέλο αυτό προτάθηκε αρχικά από τον Karasek [59] και αργότερα επεκτάθηκε από τους Karasek και Theorell [54]. Η αρχική πρόταση που διατύπωσε ο Karasek, αναφέρεται ως μοντέλο εργασιακών απαιτήσεων-ελέγχου (job demands-control model), υποστηρίζοντας ότι, αν και οι υπερβολικές εργασιακές απαιτήσεις ή πιέσεις, τόσο φυσικές όσο και ψυχοκοινωνικές, μπορούν να έχουν αντίκτυπο στα επίπεδα στρες, δεν είναι από μόνες τους οι σημαντικότεροι παράγοντες που συμβάλλουν στην εμπειρία της καταπόνησης. Αντίθετα, το μέγεθος της καταπόνησης που βιώνουν οι άνθρωποι στην εργασία τους καθορίζεται από το κατά πόσον έχουν

ή όχι τον έλεγχο των απαιτήσεων που πρέπει να αντιμετωπίσουν. Δηλαδή, σύμφωνα με τον Karasek, υπάρχουν αλληλεπιδραστικές επιρροές των απαιτήσεων και του ελέγχου στα επίπεδα στρες και, συγκεκριμένα, ο έλεγχος έχει τη δυνατότητα να αντισταθμίζει/μετριάξει την επίδραση των απαιτήσεων στην καταπόνηση.

Η αναθεωρημένη διατύπωση της θεωρίας πρόσθεσε την κοινωνική υποστήριξη στο σύνολο των παραγόντων που επηρεάζουν τα επίπεδα ψυχολογικής επιβάρυνσης ενός ατόμου και την ευημερία του στην εργασία. Το μοντέλο έγινε τότε γνωστό ως το μοντέλο απαιτήσεων-ελέγχου-κοινωνικής στήριξης (job demands-control-support, JDCS) (Εικόνα 3). Οι Karasek και Theorell υποστήριξαν ότι οι ευεργετικές επιδράσεις του ελέγχου ενισχύονται περαιτέρω όταν το άτομο λαμβάνει κοινωνική υποστήριξη, είτε πρακτική είτε συναισθηματική, από τους συναδέλφους και τους ανωτέρους του. Η προσθήκη της κοινωνικής στήριξης στο μοντέλο βασίστηκε σε εκτεταμένα στοιχεία που αποδεικνύουν ότι η μεταβλητή αυτή μπορεί να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην ανακούφιση του άγχους των εργαζομένων [60]. Το αν ο ρόλος αυτός είναι άμεσος ή έμμεσος, αν δηλαδή μειώνει ο ίδιος την καταπόνηση ή μετριάξει την επίδραση των στρεσογόνων παραγόντων σε αυτή, έχει αποτελέσει αντικείμενο συζήτησης και έρευνας.

Η θεωρία έχει πολυάριθμες πρακτικές εφαρμογές, καθώς προτείνει μεθόδους για την ενίσχυση της εργασιακής ευημερίας και τη μείωση της καταπόνησης που προκύπτει από στρεσογόνους παράγοντες. Το μεγαλύτερο μέρος της κριτικής που έχει δεχθεί αφορά τις μεθόδους αξιολόγησης του αντιλαμβανόμενου ελέγχου [61]. Ορισμένες μελέτες συμπεριλαμβάνουν ως μετρική έναν πολύ γενικό έλεγχο, ο οποίος δεν ταιριάζει απαραίτητα με το είδος του στρεσογόνου παράγοντα που αντιμετωπίζει το άτομο. Για παράδειγμα, εάν τα άτομα βιώνουν υπερβολική πίεση χρόνου για να ολοκληρώσουν την εργασία τους, ο έλεγχος άλλων πτυχών του εργασιακού τους τομέα, όπως η διαρρύθμιση του χώρου εργασίας, μπορεί να είναι σε μεγάλο βαθμό άσχετος, ενώ ο έλεγχος της ίδιας της εργασίας είναι κρίσιμος. Παρόμοια επιχειρήματα μπορούν να διατυπωθούν σε σχέση με την κοινωνική υποστήριξη. Όπως σημειώθηκε παραπάνω, η κοινωνική υποστήριξη από τους συναδέλφους και τους προϊσταμένους μπορεί να είναι επωφελής για ένα άτομο, αλλά δεν είναι πάντα έτσι και, σε ορισμένες περιπτώσεις, μπορεί στην πραγματικότητα να είναι επιζήμια

για την ευημερία του. Επιπλέον, οι επιδράσεις των διαφόρων τύπων κοινωνικής υποστήριξης μπορεί να ποικίλλουν ανάλογα με την επάρκειά τους και με το αν το άτομο επιθυμεί να λάβει υποστήριξη και, αν ναι, τι είδους υποστήριξη.



Εικόνα 3 Το μοντέλο απαιτήσεων-ελέγχου-κοινωνικής στήριξης των Karasek και Theorell.

2.5.4 Το μοντέλο διατήρησης των πόρων

Ένα άλλο πολύ δημοφιλές θεωρητικό μοντέλο είναι αυτό που ανέπτυξε ο Stevan Hobfoll, γνωστό ως μοντέλο της διατήρησης των πόρων (Conservation of Resources-COR) [62]. Όπως και το μοντέλο εναρμόνισης ατόμου-περιβάλλοντος, εξετάζει την αλληλεπίδραση του ατόμου και του περιβάλλοντος και το βαθμό αντιστοιχίας μεταξύ των απαιτήσεων του περιβάλλοντος και των πόρων που διαθέτει το άτομο για την αντιμετώπιση των απαιτήσεων αυτών. Μια βασική διαφορά είναι ότι το μοντέλο εναρμόνισης ατόμου-περιβάλλοντος εστιάζει κυρίως σε υποκειμενικούς δείκτες προσαρμογής, ενώ η θεωρία COR ενσωματώνει πιο αντικειμενικούς δείκτες. Το θεμελιώδες δόγμα της θεωρίας COR διατυπώνει ότι τα άτομα προσπαθούν να αποκτήσουν, να διατηρήσουν, να προστατεύσουν και να προωθήσουν εκείνα τα

πράγματα που εκτιμούν. Συγκεκριμένα, οι άνθρωποι προσπαθούν, τόσο να διατηρήσουν τους πόρους, όσο και να συσσωρεύσουν πόρους, προκειμένου να προσανατολιστούν καλύτερα στις απαιτήσεις και τις προκλήσεις της ζωής. Ο πόρος ορίζεται ως οτιδήποτε είναι σημαντικό για το άτομο, συμβάλλει θετικά στην ευημερία του και του επιτρέπει να προσαρμόζεται. Στην επισκόπηση της θεωρίας COR και των εφαρμογών της, ο Hobfoll ανέφερε ότι έχουν εντοπιστεί 74 διαφορετικοί τύποι πόρων μέσω ερευνών. Ορισμένοι από αυτούς είναι αυτό που ανέφερε ως «προσωπικοί» πόροι, ενώ άλλοι είναι χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος, δηλαδή εξωτερικοί πόροι. Οι πρώτοι περιλαμβάνουν χαρακτηριστικά όπως οι προσωπικές αξίες, τα χαρακτηριστικά της προσωπικότητας και άλλα χαρακτηριστικά, συμπεριλαμβανομένης της θετικής επίδρασης [63]. Οι δεύτεροι ποικίλλουν ανάλογα με το είδος του περιβάλλοντος στο οποίο λειτουργεί το άτομο. Σε ένα εργασιακό πλαίσιο, για παράδειγμα, χαρακτηριστικά όπως η ύπαρξη αυτονομίας στην εργασία του ατόμου, η ποσότητα και το είδος της ανατροφοδότησης που λαμβάνει για την απόδοση στην εργασία του, καθώς και το επίπεδο των ανταμοιβών που λαμβάνει για την επιτυχή απόδοση στην εργασία, αποτελούν όλα παραδείγματα περιβαλλοντικών πόρων [64]. Η κοινωνική υποστήριξη από τους συναδέλφους στην εργασία και η οργανωτική υποστήριξη των ατόμων αποτελούν επίσης σημαντικούς περιβαλλοντικούς πόρους, οι οποίοι μπορούν να μειώσουν το άγχος και την επαγγελματική εξουθένωση [65], καθώς και να ενισχύσουν την ευημερία.

Ο Hobfoll υποστηρίζει ότι το συναλλακτικό μοντέλο του Lazarus δίνει υπερβολική έμφαση στις προσωπικές εκτιμήσεις και δεν λαμβάνει επαρκώς υπόψη του γιατί οι άνθρωποι εκτιμούν τα γεγονότα με συγκεκριμένους τρόπους. Ο ισχυρισμός του είναι ότι το συναλλακτικό μοντέλο υπερτονίζει τον ρόλο των γνωστικών διαδικασιών και δεν δίνει επαρκή προσοχή στο ίδιο το περιβάλλον. Αντίθετα, η θεωρία COR εμβαθύνει στα περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά που συμβάλλουν στη διατήρηση των πόρων και, ως εκ τούτου, έχει μεγαλύτερη πρακτική εφαρμογή. Η βασική ιδέα που διέπει τη θεωρία COR είναι ότι οι στρεσογόνες συνθήκες οδηγούν σε απώλειες πόρων. Για παράδειγμα, η σύγκρουση με άλλους ανθρώπους στην εργασία μπορεί να απορροφήσει την ενέργεια του ατόμου, να του κοστίζει σε χρόνο για να την αντιμετωπίσει και να το αποσπάσει από τα βασικά εργασιακά του καθήκοντα, τα

οποία οδηγούν σε απώλειες πόρων. Αντίθετα, οι ευνοϊκές συνθήκες θα οδηγήσουν σε κέρδη πόρων. Για παράδειγμα, όταν τα άτομα λαμβάνουν θετική ανατροφοδότηση για την εργασία τους από τον προϊστάμενό τους, αυτό θα αυξήσει τη θετική τους επίδραση και θα ενισχύσει την αυτοεκτίμησή τους, καθώς και την πεποίθηση ότι η απόδοση στην εργασία τους είναι αποδεκτή.

2.6 Μέτρηση επιπέδων στρες

Η ενεργοποίηση των ΣΝΣ και ΥΥΕ κατά την έκθεση στο στρες προκαλεί στους ανθρώπους πλήθος ψυχολογικών, φυσιολογικών και συμπεριφορικών συμπτωμάτων [5].

Ως ψυχολογικό σύμπτωμα νοείται αυτό που σχετίζεται με το νου ή τη νοητική και ψυχική δραστηριότητα του ατόμου και δεν περιλαμβάνει την εκτέλεση κάποιας πράξης. Οι ψυχολογικές αντιδράσεις στο στρες περιλαμβάνουν την αύξηση των αρνητικών συναισθημάτων, όπως είναι ο θυμός, ο εκνευρισμός ή η κατάθλιψη, καθώς και την αύξηση της έντασης των συναισθηματικών αντιδράσεων, κάνοντας το συναίσθημα πιο ανήσυχο, απογοητευμένο και εχθρικό, με τις συνέπειες που αυτό επιφέρει.

Τα φυσιολογικά συμπτώματα αποτελούν μέρος της φυσιολογικής λειτουργίας του ανθρώπινου οργανισμού και αφορούν μη εκούσιες πράξεις ή αντιδράσεις που είναι δύσκολο ή ακόμα και αδύνατο να παρατηρηθούν εξωτερικά. Οι μεταβολές στα ορμονικά επίπεδα του οργανισμού που ακολουθούν την έκθεση στο στρες προκαλούν αντιδράσεις, όπως είναι η ενεργοποίηση των μυών, η αύξηση του καρδιακού ρυθμού και η παραγωγή ιδρώτα. Οι μεταβολές στους μύες που ελέγχουν το αναπνευστικό σύστημα και τη φωνητική οδό επιφέρουν με τη σειρά τους αλλαγές στα χαρακτηριστικά της ομιλίας. Επίσης, η θερμοκρασία του δέρματος μειώνεται, ο καρδιακός ρυθμός αυξάνεται και οι κόρες των οφθαλμών μεταβάλλονται ως προς τη διάμετρο.

Τα συμπεριφορικά συμπτώματα, από την άλλη, αποτελούν τον τρόπο με τον οποίο συμπεριφέρεται και δρα το άτομο και, συνεπώς, περιλαμβάνουν αποκρίσεις που παρατηρούνται εξωτερικά και θα μπορούσαν να ελεγχθούν ή να αλλάξουν εκούσια. Για παράδειγμα, περιλαμβάνουν τις εκφράσεις του προσώπου, τις κινήσεις

του κεφαλιού, τη στάση σώματος, τις μεταβολές στο βλέμμα και το ρυθμό βλεφαρίσματος. Άλλες συμπεριφορικές αντιδράσεις είναι τα μοτίβα αλληλεπίδρασης των ατόμων με το smartphone και τον ηλεκτρονικό υπολογιστή που μπορεί να επηρεαστούν από το στρες, στοιχείο αρκετά σημαντικό όταν αναφερόμαστε σε περιβάλλοντα εργασίας γραφείου. Επίσης, οι επιδόσεις που σχετίζονται με τη γνωστική απόκριση, όπως η λογική σκέψη, η προσοχή και η μνήμη, μπορεί να αλλάξουν, οδηγώντας σε μείωση της παραγωγικότητας και σε αύξηση των λαθών.

Σε αυτό το σημείο αξίζει να αναφερθεί το γεγονός ότι οι αντιδράσεις των ατόμων στο στρες επηρεάζονται και από το πλαίσιο, το οποίο με τη σειρά του εξαρτάται, τόσο από τα προσωπικά χαρακτηριστικά όσο και από συνθήκες που δεν εξαρτώνται από το υποκείμενο, όπως γεγονότα και τόπους.

Η προσπάθεια μέτρησης και ποσοτικοποίησης, λοιπόν, των συμπτωμάτων των τριών προαναφερθεισών κατηγοριών μπορεί να οδηγήσει τελικά στη μέτρηση των επιπέδων στρες των ατόμων. Παρακάτω θα πραγματοποιηθεί αναλυτική περιγραφή των τεχνολογικών δυνατοτήτων που υπάρχουν για την λήψη αυτών των μετρήσεων ανά κατηγορία καθώς και των χαρακτηριστικών που μπορούν να εξαχθούν από αυτές.

2.6.1 Ψυχολογικές παράμετροι

Η ψυχολογική αξιολόγηση του στρες μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω συνεντεύξεων με ψυχολόγο ή μέσω της συμπλήρωσης ερωτηματολογίων. Τα τελευταία θεωρούνται αξιόπιστη μέθοδος και είναι ένας από τους πιο διαδεδομένους τρόπους μέτρησης στρες. Τα Perceived Stress Scale (PSS) [66], Stress Appraisal Measure (SAM) [67], State-Trait Anxiety Inventory (STAI) [68] και NASA Task Load Index (NASA-TLX) [69] είναι, σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, μερικά από τα πιο χαρακτηριστικά ερωτηματολόγια τέτοιου τύπου. Το μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι προσφέρει πληροφορίες μόνο για το τρέχον επίπεδο άγχους των ατόμων, χωρίς να λαμβάνει υπόψη την εξέλιξη του φαινομένου και τους στρεσογόνους παράγοντες. Επίσης, δεν υπάρχει η δυνατότητα για συνεχείς μετρήσεις, αλλά μόνο για μετρήσεις ανά διαστήματα, συνεπώς είναι δύσκολη η ανίχνευση των λεπτών αλλαγών στην απόκριση των ατόμων που θα μπορούσαν να υποδηλώνουν το πρώιμο στάδιο ενός σημαντικού προβλήματος. Τέλος, τα ερωτηματολόγια είναι

υποκειμενικά και απαιτούν αρκετή προσοχή κατά τη συμπλήρωση, καθώς είναι πιθανό αυτός που τα συμπληρώνει, αφενός να έχει ξεχάσει την ένταση μιας στρεσογόνου κατάστασης που έχει προηγηθεί, αφετέρου να μην έχει πάντα επίγνωση των πραγματικών επιπέδων του άγχους που βιώνει.

2.6.2 Φυσιολογικές παράμετροι

Τα φυσιολογικά σήματα μπορούν να δώσουν αρκετές πληροφορίες σχετικά με την ποιότητα και την ένταση της εσωτερικής εμπειρίας των ατόμων κατά τη διάρκεια μιας κατάστασης με στρες. Οι κυριότερες μετρήσεις φυσιολογικών παραμέτρων και σημάτων που μπορούν να συμβάλουν στη μέτρηση του στρες είναι οι παρακάτω:

Μέτρηση επιπέδων ορμονών

Όπως έχει αναφερθεί παραπάνω, η απόκριση στο στρες μεταβάλλει το ενδοκρινικό και ανοσοποιητικό σύστημα, απελευθερώνοντας τις ορμόνες αδρεναλίνη και κορτιζόλη [70] από τον φλοιό των επινεφριδίων και τον μυελό των επινεφριδίων, αντίστοιχα. Η κορτιζόλη ακολουθεί έναν ημερήσιο κύκλο στους υγιείς ανθρώπους, που χαρακτηρίζεται από την κορύφωση των τιμών το πρωί, τη μείωσή τους κατά τη διάρκεια ολόκληρης της ημέρας, φτάνοντας τελικά στις χαμηλότερες τιμές τη νύχτα. Υπό συνθήκες στρες, η ικανότητα ρύθμισης των επιπέδων κορτιζόλης μειώνεται, διατηρώντας τα σε υψηλά επίπεδα ακόμη και τη νύχτα και αλλάζοντας, με αυτόν τον τρόπο, τα τυπικά μοτίβα [71]. Κατά συνέπεια, οι άνθρωποι που πάσχουν από χρόνια στρες έχουν αυξημένα επίπεδα κορτιζόλης. Τα επίπεδα κορτιζόλης θεωρούνται αξιόπιστος βιοδείκτης του ψυχολογικού στρες και μπορούν να μετρηθούν στο αίμα, στα ούρα ή στο σάλιο, με το τελευταίο να προτιμάται από τους ερευνητές λόγω του μη επεμβατικού χαρακτήρα του. Παρ' όλα αυτά, τα επίπεδα κορτιζόλης που μετρούνται στο αίμα μπορούν να αναδείξουν καλύτερα τις διατομικές διαφορές [72].

Οι παραπάνω βιοδείκτες είναι αρκετά αξιόπιστοι, αλλά η συνεχής λήψη τους δεν είναι ρεαλιστική και, όπως και με τη μέθοδο των ερωτηματολογίων, είναι αρκετά δύσκολη η χρήση τους για την ανίχνευση λεπτών αλλαγών που σχετίζονται με τα πρώιμα στάδια του στρες, καθώς και η εφαρμογή τους σε συστήματα συνεχούς παρακολούθησης των επιπέδων στρες. Επίσης, οι μέθοδοι αυτές είναι επεμβατικές και απαιτούν ανθρώπινη παρέμβαση και πολύτιμους πόρους, κι αυτό έχει, συνήθως,

ως αποτέλεσμα να εφαρμόζονται σε αρκετά σοβαρές και προχωρημένες καταστάσεις.

Ηλεκτροκαρδιογράφημα

Το ηλεκτροκαρδιογράφημα (electrocardiogram – ECG) αναφέρεται στην καταγραφή της ηλεκτρικής δραστηριότητας της καρδιάς στην επιφάνεια του δέρματος. Πληροφορεί άμεσα για τη δραστηριότητα της καρδιάς, η οποία με τη σειρά της επηρεάζεται από τη δραστηριότητα του ΑΝΣ και, συνεπώς, χρησιμοποιείται ευρέως στις μελέτες για την ανίχνευση στρες. Ένα ECG μπορεί εύκολα να μετρηθεί, τοποθετώντας κάποια ηλεκτρόδια σε συγκεκριμένα σημεία του σώματος και μετρώντας το δυναμικό διαφοράς. Ο αριθμός των ηλεκτροδίων και οι θέσεις τους μπορούν να ποικίλλουν, αλλά ένας από τους πιο απλούς και αποτελεσματικούς τρόπους είναι η απαγωγή II, η οποία συνίσταται στην τοποθέτηση τριών ηλεκτροδίων: ένα στο δεξί χέρι, ένα στο αριστερό χέρι και το τελευταίο στο αριστερό πόδι.

Για την ανίχνευση των επιπέδων στρες, εξάγονται από το σήμα ECG στατιστικά χαρακτηριστικά όπως μέση τιμή, τυπική απόκλιση κ.λπ. Αυτά που χρησιμοποιούνται συχνότερα, όμως, αφορούν τον καρδιακό ρυθμό (heart rate – HR) και τη μεταβλητότητα ή διακύμανση του καρδιακού ρυθμού (heart rate variability – HRV). Το μέγεθος HR ορίζεται ως ο αριθμός των καρδιακών παλμών ανά λεπτό. Παγκόσμιες επιστημονικές έρευνες έχουν δείξει ότι αυξάνεται κατά τη διάρκεια στρεσογόνων περιόδων [73], ενώ η ανάλυσή του περιλαμβάνει συνήθως τον υπολογισμό της μέσης τιμής, της τυπικής απόκλισης και των ελάχιστων και μέγιστων τιμών με την πάροδο του χρόνου. Το μέγεθος HRV, το οποίο εκφράζει τη χρονική διακύμανση των διαστημάτων μεταξύ διαδοχικών καρδιακών παλμών (inter-beat intervals – IBIs), είναι ίσως το πιο συχνά χρησιμοποιούμενο χαρακτηριστικό στην ανίχνευση στρες. Θεωρείται ένας μη επεμβατικός βιοδείκτης που αντανακλά τη δραστηριότητα των συμπαθητικών και πνευμονογαστρικών συστατικών του ΑΝΣ, στις ζώνες ισχύος χαμηλής και υψηλής συχνότητας αντίστοιχα [74]. Η HRV των υγιών ανθρώπων μεταβάλλεται συνεχώς, ακολουθώντας ορισμένους κύκλους, αλλά, όταν η δραστηριότητα του ΑΝΣ διαταράσσεται, η προκύπτουσα ανισορροπία εκφράζεται ως

μειωμένη HRV. Μπορεί να αναλυθεί τόσο στο πεδίο του χρόνου όσο και στο πεδίο της συχνότητας.

Ηλεκτρομυογράφημα

Το ηλεκτρομυογράφημα (electromyogram – EMG) μετρά την ηλεκτρική δραστηριότητα των μυών με τη χρήση ηλεκτροδίων που τοποθετούνται πάνω από τον μυ ενδιαφέροντος. Καθώς είναι γνωστό ότι το στρες αυξάνει τον μυϊκό τόνο και προκαλεί ακούσιες αντιδράσεις στους μύες του προσώπου και του τραπεζοειδούς, έχουν γίνει πολλές έρευνες για την ανάλυση των δυνατοτήτων του EMG για τη μέτρηση του στρες. Όπως και οι περισσότερες φυσιολογικές μετρήσεις, η λήψη ενός EMG μπορεί να είναι ενοχλητική και επεμβατική σε ορισμένες καταστάσεις. Τα τελευταία χρόνια αναπτύσσονται, ωστόσο, πιο πρακτικές και ρεαλιστικές εφαρμογές, όπως η ενσωμάτωση και μέτρηση EMG σε ρούχα καθημερινής χρήσης. Τα στατιστικά στοιχεία του EMG, όπως ο μέσος όρος, η διάμεσος, η τυπική απόκλιση, η ρίζα μέσης τετραγωνικής απόκλισης και οι ελάχιστες και μέγιστες τιμές χρησιμοποιούνται συχνά από τα συστήματα ανίχνευσης στρες.

Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα

Το ηλεκτροεγκεφαλογράφημα (electroencephalogram – EEG) είναι μια εξέταση που μετρά την ηλεκτρική δραστηριότητα του εγκεφάλου. Παρακολουθείται με την τοποθέτηση μιας συστοιχίας ηλεκτροδίων στο τριχωτό της κεφαλής του υποκειμένου, έτσι ώστε να καταγράφονται οι ηλεκτρικές διακυμάνσεις. Ο αριθμός των ηλεκτροδίων εξαρτάται από την εφαρμογή. Τα σήματα EEG μπορούν να χωριστούν σε τέσσερις κύριες ζώνες συχνότητας: Άλφα (8-13 Hz), Βήτα (13-30 Hz), Δέλτα (0.1-4 Hz) και Θήτα (4-8 Hz).

Τα κύματα Άλφα αντανακλούν μια ήρεμη και ισορροπημένη ψυχολογική κατάσταση, οπότε η δραστηριότητα που τα αφορά μειώνεται σε καταστάσεις στρες [32]. Εκτός αυτού, η δραστηριότητα Βήτα αντανακλά γνωστικές και συναισθηματικές διαδικασίες [56], οπότε αυξάνεται με τον ψυχικό φόρτο εργασίας και, ως εκ τούτου, με το άγχος. Το στρες σχετίζεται επίσης με αλλαγές στη δεξιά μετωπιαία δραστηριότητα (Right Frontal Activity – RFA) που προκαλεί μετωπιαία ασυμμετρία. Για την ανίχνευση στρες χρησιμοποιούνται χαρακτηριστικά του σήματος στο πεδίο του χρόνου και της συχνότητας.

Ηλεκτροδερμική δραστηριότητα

Η ηλεκτροδερμική δραστηριότητα (electrodermal activity – EDA), επίσης γνωστή ως γαλβανική απόκριση δέρματος (galvanic skin response – GSR), ορίζεται ως η αλλαγή στις ηλεκτρικές ιδιότητες του δέρματος [5]. Υπό συναισθηματική διέγερση, η αύξηση του γνωστικού φόρτου εργασίας ή της σωματικής δραστηριότητας οδηγεί σε αύξηση του επιπέδου εφίδρωσης, μεταβάλλοντας τις ιδιότητες του δέρματος, δηλαδή αυξάνοντας την αγωγιμότητα και μειώνοντας την αντίσταση [75]. Η EDA μπορεί να μετρηθεί τοποθετώντας δύο ηλεκτρόδια στην επιφάνεια του δέρματος, το ένα δίπλα στο άλλο, και εφαρμόζοντας ένα ασθενές ηλεκτρικό ρεύμα μεταξύ τους.

Η μέτρηση αυτή αποτελεί έναν από τους καλύτερους συσχετισμούς του στρες σε πραγματικό χρόνο. Σχετίζεται γραμμικά με τη διέγερση και έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως στο στρες και την ανίχνευση συναισθημάτων, όπως θα αναφερθεί εκτενέστερα παρακάτω. Ορισμένες έρευνες τη χρησιμοποιούν ακόμα και ως επίπεδο αναφοράς (ground truth) για την ανάλυση της απόδοσης άλλων σημάτων. Όταν λαμβάνουμε πληροφορίες από ένα σήμα EDA, στατιστικές τιμές όπως το μέσο πλάτος, η τυπική απόκλιση του πλάτους, οι ελάχιστες και μέγιστες τιμές και η ρίζα μέσης τετραγωνικής απόκλισης είναι αυτές που χρησιμοποιούνται συνήθως για ανάλυση.

Αρτηριακή πίεση

Η αρτηριακή πίεση (blood pressure – BP) είναι η πίεση του αίματος προς τα εσωτερικά τοιχώματα των αιμοφόρων αγγείων και μπορεί να μετρηθεί με τη χρήση στηθοσκοπίου και σφυγμομανομέτρου. Είναι αποδεδειγμένο ότι το άγχος αυξάνει την αρτηριακή πίεση [76] ανάλογα με τα επίπεδα άγχους που βιώνονται. Οι συστολικές και διαστολικές τιμές έχουν χρησιμοποιηθεί ως χαρακτηριστικά για την ανάλυσή της. Η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση, καθώς και ο αριθμός των κορυφών του σήματος είναι κάποια από τα χαρακτηριστικά που χρησιμοποιούνται συχνά.

Παλμός όγκου αίματος

Ο παλμός όγκου αίματος (blood volume pulse – BVP) είναι η μέτρηση του όγκου του αίματος που περνάει πάνω από έναν φωτοπληθυσμογραφικό (photoplethysmography-PPG) αισθητήρα με κάθε παλμό. Η φωτοπληθυσμογραφία είναι μια ηλεκτροοπτική μέθοδος για την μέτρηση της καρδιαγγειακής

κυματομορφής, η οποία παράγεται αρχικά από τον καρδιακό παλμό και στη συνέχεια διαδίδεται σε ολόκληρο το σώμα μέσω των αρτηριών, ως μεταβολή του όγκου του αίματος. Συγκεκριμένα, η ανίχνευση της μεταβολής του όγκου του αίματος πραγματοποιείται μη επεμβατικά, μέσω των διακυμάνσεων της έντασης ενός μεταδιδόμενου ή ανακλώμενου φωτός στον μικροαγγειακό ιστό του δέρματος. Αυτό οφείλεται στην ιδιότητα του αίματος να απορροφά το φως. Η PPG είναι μια φθηνή και μη επεμβατική τεχνική που έχει χρησιμοποιηθεί σε πλήθος εφαρμογών τα τελευταία χρόνια. Ο BVP δεν έχει χρησιμοποιηθεί τόσο συχνά όσο άλλα σήματα σε έρευνες ανίχνευσης στρες. Η μεγαλύτερη συμβολή του σήματος PPG στη βιβλιογραφία είναι, πιθανώς, ότι επιτρέπει τη μέτρηση πληροφοριών της HRV χωρίς παρεμβατισμό. Συνεπώς, η κυματομορφή πλάτους του σήματος BVP μπορεί να χρησιμοποιηθεί άμεσα ως μέτρηση για την ανίχνευση στρες, αλλά μπορεί να είναι πιο χρήσιμο να εξαχθούν από αυτό χαρακτηριστικά παλμών ανά λεπτό (beats per minute-BPM) και HRV ή χαρακτηριστικά του διαστήματος μεταξύ δύο διαδοχικών παλμών όπως η μέση τιμή, η τυπική απόκλιση και ο λόγος L/H.

Θερμοκρασία δέρματος

Η θερμοκρασία του δέρματος (skin temperature – ST) σε σταθερή θερμοκρασία δωματίου μπορεί να μεταβάλλεται για διάφορους λόγους, όπως ο πυρετός, ο υποσιτισμός, η σωματική άσκηση και οι φυσιολογικές αλλαγές [77]. Εάν ελεγχθούν οι άλλες μεταβλητές, θα μπορούσε να απομονωθεί και να εκτιμηθεί η επίδραση των τελευταίων. Οι φυσιολογικές μεταβολές στην ST προέρχονται κυρίως από τοπικές μεταβολές στη ροή του αίματος που προκαλούνται από την αγγειακή αντίσταση ή την αρτηριακή πίεση, οι οποίες με τη σειρά τους επηρεάζονται από τη δραστηριότητα του ANS, γεγονός που υποδηλώνει ότι το επίπεδο του στρες μεταβάλλει τη θερμοκρασία του δέρματος. Η ST μπορεί εύκολα να μετρηθεί τοποθετώντας έναν αισθητήρα θερμοκρασίας σε επαφή με το δέρμα και έχει χρησιμοποιηθεί σε αρκετές έρευνες ανίχνευσης στρες και συναισθημάτων. Ωστόσο, δεν συμφωνούν όλες σχετικά με τις επιδράσεις που έχουν το στρες και τα συναισθήματα σε αυτή την παράμετρο. Σε κάθε περίπτωση, η ST, και ειδικότερα αυτή των μερών του προσώπου, όπως είναι η μύτη και το μέτωπο, θα μπορούσε να είναι ένας αποτελεσματικός δείκτης για την αντικειμενική αξιολόγηση των ανθρώπινων αισθήσεων, όπως το

στρες και η κόπωση [78]. Ο μέσος όρος, η ελάχιστη και μέγιστη τιμή και η τυπική απόκλιση είναι τα χαρακτηριστικά της ST που έχουν χρησιμοποιηθεί περισσότερο στη βιβλιογραφία.

Αναπνοή

Το 1973 ερευνητές από το τμήμα Ψυχολογίας του Πανεπιστημίου του Πεκίνο ανακάλυψαν ότι, όταν το επίπεδο του στρες αλλάζει, μεταβάλλεται, επίσης, η ταχύτητα και το βάθος του συστήματος αναπνοής [5]. Λόγω αυτής της διαπίστωσης, η αναπνοή έχει μετρηθεί σε πολλές έρευνες που σχετίζονται με το στρες, σε συνδυασμό με άλλα φυσιολογικά σήματα. Η αναπνοή μπορεί να μετρηθεί με ένα πνευμοταχογράφο. Ωστόσο, μια συσκευή αυτού του είδους μπορεί να είναι πολύ παρεμβατική και, κατά συνέπεια, έχει ήδη αναλυθεί η δυνατότητα εκτίμησης του ρυθμού αναπνοής από ένα σήμα ECG, με ικανοποιητικά αποτελέσματα. Τυπικά χαρακτηριστικά που λαμβάνονται από την αναπνοή είναι ο μέσος όρος, η διακύμανση, η τυπική απόκλιση, η διάμεσος, η ρίζα μέσης τετραγωνικής απόκλισης, οι ελάχιστες και οι μέγιστες τιμές καθώς και το εύρος, η πρώτη και η δεύτερη παράγωγος και ο ρυθμός αναπνοής. Η ενέργεια σε τέσσερις ζώνες συχνοτήτων (0-0.1 Hz, 0.1-0.2 Hz, 0.2-0.3 Hz, 0.3-0.4 Hz) έχει επίσης ληφθεί υπόψη.

Διάμετρος κόρης, βλέμμα και ανοιγοκλείσιμο των ματιών

Η διάμετρος κόρης (pupil diameter – PD), το βλέμμα και ο ρυθμός ανοιγοκλείσιματος των βλεφάρων μπορούν να μετρηθούν με συστήματα παρακολούθησης των ματιών με υπέρυθρες ακτίνες ή με τεχνικές επεξεργασίας εικόνας που εφαρμόζονται σε εικόνες οπτικού φάσματος. Από την άλλη πλευρά, η ηλεκτροφυσιολογία του αμφιβληστροειδούς μπορεί να μελετηθεί μέσω ηλεκτροφθαλμογραφήματος (Electrooculogram – EOG). Οι διαστολές και οι συστολές της κόρης του ματιού διέπονται από το ANS [79]. Έτσι, οι παραπάνω μετρήσεις εμφανίζουν αλλαγές σε καταστάσεις στρες και η βιβλιογραφία υποδηλώνει ότι μπορεί να συμβάλουν θετικά στην ανίχνευσή του, όπως θα αναφερθεί και παρακάτω.

Σύνοψη

Εν κατακλείδι, υπάρχουν πολλά φυσιολογικά σήματα που έχουν χρησιμοποιηθεί για την ανίχνευση του στρες και ορισμένα από αυτά έχουν αποδειχθεί ότι παρέχουν

αξιόπιστες πληροφορίες σχετικά με τα επίπεδα άγχους των ανθρώπων σε πραγματικό χρόνο. Δυστυχώς, το μειονέκτημα των περισσότερων από αυτά είναι ότι απαιτείται επιπλέον εξοπλισμός για τις μετρήσεις, καθιστώντας την καταγραφή τους μια παρεμβατική μέθοδο για την πραγματική ζωή. Ακόμη και αν ορισμένες έρευνες επικεντρώνονται στη δημιουργία φορητών συστημάτων φυσιολογικών μετρήσεων, προκειμένου να τα καταστήσουν πιο διαφανή, ο χρήστης είναι αναγκασμένος να φοράει συνεχώς τον εξοπλισμό αυτό, ο οποίος παραμένει παρεμβατικός και, κάποιες φορές, μη προσιτός οικονομικά για ορισμένους ανθρώπους.

2.6.3 Συμπεριφορικές παράμετροι

Η συμπεριφορά αφορά τις προσδοκίες για το πώς ένα άτομο ή μια ομάδα ατόμων θα συμπεριφερθεί σε μια δεδομένη κατάσταση, με βάση τα καθιερωμένα πρωτόκολλα, τους κανόνες συμπεριφοράς ή τις αποδεκτές κοινωνικές πρακτικές [5]. Το άγχος επηρεάζει τη συμπεριφορά των ατόμων. Μερικές από τις επαγόμενες αλλαγές είναι γνωστές, για παράδειγμα, το να είναι κανείς πολύ πιο εκνευρισμένος ή θυμωμένος, αλλά αυτές δεν είναι εύκολα μετρήσιμες. Άλλες πιθανές συμπεριφορικές αλλαγές έχουν διερευνηθεί, για παράδειγμα μέσω της ανάλυσης της αλληλεπίδρασης των ανθρώπων με τις τεχνολογικές συσκευές, προκειμένου να επαληθευτεί η σχέση τους με το άγχος και να δημιουργηθεί ένας αξιόπιστος τρόπος μέτρησης του τελευταίου. Το πλεονέκτημα της μέτρησης των συμπεριφορικών αντιδράσεων είναι ότι, σε αντίθεση με τις φυσιολογικές μετρήσεις, μπορούν συνήθως να γίνουν με εντελώς διακριτικό τρόπο και, σε ορισμένες περιπτώσεις, χωρίς την ανάγκη ακριβού πρόσθετου εξοπλισμού. Παρακάτω παρουσιάζονται συνοπτικά οι κυριότερες συμπεριφορικές μετρήσεις που έχουν μελετηθεί ως προς τη σχέση τους με την ανίχνευση και την πρόβλεψη των επιπέδων στρες.

Εκφράσεις προσώπου

Η αυτόματη αναγνώριση των εκφράσεων του προσώπου έχει αποτελέσει αντικείμενο πολλών ερευνών. Οι εκφράσεις μπορούν να εκτιμηθούν με τεχνικές υπολογιστικής όρασης ή με τη βοήθεια ενός EMG προσώπου. Το τελευταίο μπορεί να παρέχει καλύτερη χρονική ανάλυση και μεγαλύτερη ευαισθησία κατά τη μέτρηση των ασθενέστερων αποκρίσεων των μυών του προσώπου, αλλά είναι επίσης πολύ πιο ενοχλητικό για το χρήστη από το πρώτο, όταν χρησιμοποιείται για εφαρμογές

στην πραγματική ζωή. Επιπλέον, το EMG μπορεί μερικές φορές να είναι λιγότερο επιλεκτικό από το επιθυμητό, επειδή η ηλεκτρική δραστηριότητα που δημιουργείται από έναν μυ μπορεί να επεκταθεί στις παρακείμενες περιοχές, ενώ παράλληλα, δραστηριότητες που δεν σχετίζονται με συναισθήματα, όπως η ομιλία, μπορεί να δημιουργήσουν συγκεχυμένη δραστηριότητα. Έτσι, οι περισσότερες από τις έρευνες που σχετίζονται με το στρες και χρησιμοποιούν εκφράσεις του προσώπου έχουν χρησιμοποιήσει οπτικές τεχνικές. Η μέση ένταση του χαμόγελου, η μέση δραστηριότητα των φρυδιών και η μέση δραστηριότητα του στόματος είναι τα τυπικά χαρακτηριστικά του προσώπου που μετρούνται και αναλύονται.

Τρόπος ομιλίας

Πολλοί ερευνητές συμφωνούν με το γεγονός ότι το στρες αλλάζει την ανθρώπινη φωνητική παραγωγή. Πιο συγκεκριμένα, έχει διαπιστωθεί ότι σε καταστάσεις άγχους, οι αλλαγές στο τονικό ύψος και στον ρυθμό ομιλίας είναι συνήθεις, μαζί με μεταβολές στα χαρακτηριστικά που σχετίζονται με την ενέργεια και τα φασματικά χαρακτηριστικά του γλωττιδικού παλμού. Η ανάλυση της ομιλίας έχει προκαλέσει ενδιαφέρον, κυρίως επειδή μπορεί εύκολα να μετρηθεί με εντελώς διακριτικό τρόπο. Παρ' όλα αυτά, η ανάλυση του στρες με βάση τη φωνή μπορεί να είναι αναποτελεσματική, τόσο σε ήσυχους όσο και σε θορυβώδεις χώρους, λόγω της έλλειψης καταγραφών ομιλίας και της παρουσίας υπερβολικού θορύβου, αντίστοιχα. Οι περισσότερες έρευνες που έχουν γίνει στην αναγνώριση στρες από τη φωνή, έχουν πραγματοποιηθεί σε εργαστήρια ή σε ήσυχα περιβάλλοντα.

Στάση σώματος

Αρκετές πληροφορίες θα μπορούσαν να εξαχθούν σχετικά με τα επίπεδα στρες ενός ατόμου και από τη στάση σώματός του. Όσον αφορά τον τομέα της εργασίας, έχει αποδειχθεί ότι η στάση σώματος είναι μια καλή ένδειξη σχετικά με τα συναισθήματα του εργαζόμενου απέναντι στα καθήκοντα που καλείται να εκτελέσει [80]. Η ανάλυση της στάσης σώματος πραγματοποιείται συνήθως χρησιμοποιώντας οπτικές τεχνικές, αξιοποιώντας την πληροφορία βάθους και την παρακολούθηση του σκελετού.

Δυναμική της πληκτρολόγησης και της χρήσης ποντικιού ηλεκτρονικού υπολογιστή

Η δυναμική πληκτρολόγησης είναι η μελέτη των μοναδικών χαρακτηριστικών που υπάρχουν στο ρυθμό πληκτρολόγησης ενός ατόμου, όταν χρησιμοποιεί ένα πληκτρολόγιο ηλεκτρονικού υπολογιστή. Με τον ίδιο τρόπο, η δυναμική του ποντικιού ηλεκτρονικού υπολογιστή επηρεάζεται από τα χαρακτηριστικά της συμπεριφοράς του υποκειμένου, όταν κινεί το ποντίκι ή κάνει κλικ με τα πλήκτρα του.

Η δυναμική του πληκτρολογίου και του ποντικιού έχει αναλυθεί ευρέως στον τομέα της ασφάλειας για την πιστοποίηση της ταυτότητας των ατόμων [81], [82] καθώς και στον τομέα της αναγνώρισης συναισθημάτων [83]. Η ανίχνευση του στρες, αν και έχει μελετηθεί αρκετά λιγότερο, έχει επίσης αποτελέσει στόχο ορισμένων ερευνών αυτού του τομέα. Τα μοτίβα γραφής των ανθρώπων θεωρούνται αρκετά σταθερά ώστε να αξιοποιούνται για εφαρμογές ασφαλείας, αλλά μπορεί να εμφανίσουν μικρές διαφοροποιήσεις που αποδίδονται στο άγχος και σε άλλους καταστασιακούς παράγοντες. Ένα από τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματα της χρήσης πληκτρολογίου και ποντικιού για την παρακολούθηση και ανίχνευση του στρες είναι ότι η μέθοδος που χρησιμοποιείται δεν είναι παρεμβατική και δεν απαιτεί ειδικό εξοπλισμό. Επίσης, υπάρχει η δυνατότητα συνεχούς παρακολούθησης των πληροφοριών, γεγονός που οδηγεί στη δυνατότητα έγκαιρης ανίχνευσης, ενώ ταυτόχρονα επιτρέπεται η εύκολη εξαγωγή βασικών δεδομένων. Εξίσου σημαντικό είναι ότι τα συστήματα αυτά μπορούν να εισαχθούν στην καθημερινή ζωή των χρηστών, χωρίς αυτοί να χρειάζεται να αλλάξουν τις συνήθειες τους.

Τα πιο συχνά χαρακτηριστικά που εξάγονται από τη δυναμική της πληκτρολόγησης είναι ο χρόνος που πατιέται ένα πλήκτρο, η διάρκεια μεταξύ των πληκτρολογήσεων, ο μέσος όρος των πληκτρολογήσεων, ο ρυθμός παύσης, η ταχύτητα πληκτρολόγησης, η διάρκεια των δίγραφων και των τρίγραφων και η συχνότητα χρήσης συγκεκριμένων πλήκτρων, όπως αυτό της διαγραφής ή του διαστήματος. Η πίεση πατήματος των πλήκτρων έχει επίσης μετρηθεί σε ορισμένες έρευνες.

Η δυναμική του ποντικιού χαρακτηρίζεται συνήθως από την ταχύτητα και επιτάχυνση του ποντικιού, τη συχνότητα της κίνησης, την ακινησία, τις συντεταγμένες του δρομέα του ποντικιού, τη συνολική απόσταση και την κατεύθυνση. Έχουν επίσης

μετρηθεί η μέση ταχύτητα σε σχέση με τη διανυόμενη απόσταση και η μέση ταχύτητα σε σχέση με την κατεύθυνση της κίνησης, καθώς και ο αριθμός των κλικ.

Χρήση του κινητού τηλεφώνου

Σήμερα, ένας τεράστιος όγκος πληροφοριών που σχετίζονται με τη συμπεριφορά των χρηστών μπορεί να εξαχθεί από τα έξυπνα κινητά τηλέφωνα. Τα αρχεία καταγραφής κλήσεων, τα γραπτά μηνύματα, τα μηνύματα ηλεκτρονικού ταχυδρομείου, η περιήγηση στο διαδίκτυο, η χρήση εφαρμογών, τα δεδομένα τοποθεσίας και πολλές άλλες γνώσεις μπορούν εύκολα να αποκτηθούν, χωρίς καν να το αντιληφθεί ο χρήστης. Η ποσότητα των αισθητήρων που διαθέτουν πλέον τα κινητά τηλέφωνα, καθώς και η ποιότητα των δεδομένων που μεταφέρουν, μπορούν να δώσουν αρκετές πληροφορίες σχετικά με τη δραστηριότητα του χρήστη, γεγονός που μπορεί να αξιοποιηθεί, μεταξύ άλλων, και στην ανίχνευση των επιπέδων άγχους.

Σύνοψη

Οι συμπεριφορικές μετρήσεις, ως δείκτες για την αναγνώριση του στρες, έχουν μελετηθεί αρκετά λιγότερο από τις φυσιολογικές, με συνέπεια τα αποτελέσματα της ανάλυσής τους να μην είναι, πολλές φορές, τόσο ακριβή, συγκριτικά. Ωστόσο, ορισμένες από αυτές φαίνονται πολύ υποσχόμενες, αφενός λόγω της ακρίβειας που έχουν παρουσιάσει στην ανίχνευση στρες και αφετέρου, επειδή δεν απαιτούν επιπλέον ειδικό εξοπλισμό. Ακριβώς αυτό είναι το μεγαλύτερο πλεονέκτημα των συμπεριφορικών μετρήσεων: σε πολλές περιπτώσεις, δεν απαιτείται επιπλέον εξοπλισμός, και όταν είναι απαραίτητος, είναι διακριτικός για τον χρήστη και δεν επεμβαίνει στις συνήθειές του και τον τρόπο που δρα. Αυτό έχει ως άμεσο επακόλουθο τη μείωση του κόστους του αναπτυγμένου συστήματος.

Κεφάλαιο 3

Συστήματα αυτόματης ανίχνευσης στρες

3.1 Εισαγωγή

Ο κύριος σκοπός της εργασίας μας είναι η ανάπτυξη ενός συστήματος για την αυτόματη ανίχνευση στρες στον εργασιακό χώρο γραφείου. Προκειμένου να σχεδιάσουμε και να αναπτύξουμε τα μέρη του συστήματός μας, μελετήσαμε συστηματικά τη διεθνή βιβλιογραφία για να διερευνήσουμε τα στάδια της μεθοδολογίας που ακολουθούν παρόμοιες παρεμβάσεις, καθώς και τις τεχνικές που έχουν εφαρμοστεί σε καθεμία από αυτές. Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται αναλυτικά έρευνες που βάσισαν την ανάλυσή τους μεμονωμένα σε μετρήσεις φυσιολογικών και συμπεριφορικών δεδομένων, αλλά και σε συνδυασμό αυτών, με σκοπό την παρακολούθηση και ανίχνευση στρες. Εκτός αυτού, παρουσιάζονται μερικά από τα πιο ευρέως εφαρμοσμένα πειραματικά πρωτόκολλα για τη συλλογή δεδομένων και την επικύρωση των συστημάτων του σχετικού ερευνητικού τομέα. Η μεθοδολογία και τα εργαλεία του συστήματος που αναπτύχθηκαν στην παρούσα διατριβή βασίστηκαν στην αξιοποίηση και επέκταση των ευρημάτων της μελέτης αυτής.

3.2 Συναισθηματική υπολογιστική στην ανίχνευση στρες

Καθώς συνειδητοποιείται όλο και περισσότερο η σχέση μεταξύ συναισθηματικών καταστάσεων και σωματικής υγείας, η συναισθηματική υπολογιστική συνεχίζει να αναπτύσσεται ως ενεργός τομέας μεγάλου ερευνητικού ενδιαφέροντος. Η συναισθηματική υπολογιστική χρησιμοποιεί τεχνολογία υλικού και λογισμικού για την ανίχνευση της συναισθηματικής κατάστασης ενός ατόμου. Η προέλευση του πεδίου της αποδίδεται στην Dr. Rosalind Picard του Τεχνολογικού Ινστιτούτου της Μασαχουσέτης (Massachusetts Institute of Technology-MIT), η οποία δημοσίευσε το 1995 το πρώτο άρθρο της για τη συναισθηματική υπολογιστική [84]. Έκτοτε έχει γίνει ένας σύγχρονος κλάδος της επιστήμης των υπολογιστών, κυρίως όσον αφορά τις εφαρμογές αλληλεπίδρασης ανθρώπου-υπολογιστή,

περιλαμβάνοντας δύο κύριους άξονες: την ανίχνευση και αναγνώριση συναισθηματικών πληροφοριών και την προσομοίωση συναισθημάτων σε υπολογιστικές συσκευές [85].

Η συναισθηματική υπολογιστική χρησιμοποιεί τις τεχνολογικές μεθόδους που αναφέρθηκαν στο πρώτο κεφάλαιο για την ποσοτικοποίηση και μέτρηση των ψυχολογικών, φυσιολογικών και συμπεριφορικών παραμέτρων έκφρασης του στρες, με τελικό σκοπό την αυτόματη ανίχνευση ή/και πρόβλεψή του. Για την εφαρμογή της συναισθηματικής υπολογιστικής και της αναγνώρισης του άγχους, ωστόσο, σε εφαρμογές της καθημερινής ζωής, πρέπει να επιτευχθούν διάφορες προϋποθέσεις. Από τη μία πλευρά, η αντανάκλαση των συναισθηματικών καταστάσεων και του στρες σε φυσιολογικά και συμπεριφορικά μοτίβα απαιτεί μια ιδιαίτερα ισχυρή και αξιόπιστη ανάλυση σημάτων και μετρήσεων. Από την άλλη πλευρά, η ενσωμάτωση της διαδικασίας αναγνώρισης σε καθημερινές εφαρμογές, από μη ειδικούς στην επεξεργασία βιοσημάτων και τη μηχανική μάθηση, απαιτεί αυτοματοποιημένη επεξεργασία των σταδίων της ροής εργασίας.

3.3 Σχεδιασμός συστημάτων αυτόματης ανίχνευσης και πρόβλεψης στρες

3.3.1 Μεθοδολογία

Οι περισσότερες μελέτες αυτόματης ανίχνευσης στρες περιλαμβάνουν τα ακόλουθα στάδια μεθοδολογίας:

- Συλλογή και προεπεξεργασία μετρήσεων

Αρχικά γίνεται η επιλογή των μετρήσεων και σημάτων που θα χρησιμοποιηθούν στη μελέτη και πραγματοποιείται η συλλογή τους μέσω της χρήσης αισθητήρων, διατάξεων και κατάλληλα διαμορφωμένων λογισμικών. Το πρώτο βήμα ανάλυσης μετά την απόκτηση των μετρήσεων και πριν από την εξαγωγή χαρακτηριστικών είναι η προεπεξεργασία των ακατέργαστων δεδομένων. Αυτό περιλαμβάνει την εξαγωγή των δεδομένων και τη μετατροπή τους σε αναγνώσιμη μορφή, την εκπόνηση των φυσιολογικών ή/και συμπεριφορικών δεδομένων (με τη βοήθεια, συγκεκριμένων για κάθε υποκείμενο, αρχείων καταγραφής), την αποκοπή άσχετων δεδομένων και την επιλογή σχετικών πληροφοριών από τα δεδομένα, καθώς και την εκτέλεση διαφόρων βημάτων

φιλτραρίσματος. Ο κύριος στόχος του φιλτραρίσματος, κυρίως όσον αφορά τα βιοσήματα, είναι η απομάκρυνση διαφόρων τεχνουργημάτων και η μείωση της ποσότητας του θορύβου. Για το σκοπό αυτό, χρησιμοποιείται πλήθος αλγόριθμων και στρατηγικών φιλτραρίσματος, συμπεριλαμβανομένων του ζωνοπερατού φιλτραρίσματος και των μεθόδων ομαλοποίησης του σήματος.

- Εξαγωγή χαρακτηριστικών

Το επόμενο βήμα μετά την προεπεξεργασία των δεδομένων είναι η εξαγωγή κατάλληλων χαρακτηριστικών για περαιτέρω ανάλυση. Συνεπώς, κάθε επιλεγμένο και προεπεξεργασμένο σήμα αναλύεται σε διάφορα χρονικά παράθυρα, πολλές φορές ολισθαίνοντα και επικαλυπτόμενα, ανάλογα με τις απαιτήσεις της κάθε εφαρμογής. Οι συνήθεις μέθοδοι εξαγωγής χαρακτηριστικών αφορούν στατιστικά μεγέθη τόσο στο πεδίο του χρόνου όσο και στο πεδίο της συχνότητας. Πολλές φορές, τα χαρακτηριστικά κανονικοποιούνται για κάθε συμμετέχοντα, προκειμένου να αντιμετωπιστεί η υποκειμενική φύση και έκφραση του στρες.

- Επιλογή χαρακτηριστικών

Μεταξύ του μεγάλου αριθμού των χαρακτηριστικών που συνήθως εξάγονται, μόνο τα μη πλεονάζοντα και συναφή πρέπει να επιλεγούν για περαιτέρω επεξεργασία. Αυτό είναι απαραίτητο για να ενισχυθεί η ταχύτητα των αλγορίθμων και να αυξηθεί η αποτελεσματικότητα της αναγνώρισης. Αρχικά, είναι σύνηθες να εφαρμόζονται τεχνικές μείωσης για τον αποκλεισμό παρόμοιων περιττών χαρακτηριστικών, βάσει στατιστικής ανάλυσης. Σε περίπτωση συσχετιζόμενων χαρακτηριστικών, αφαιρείται το χαρακτηριστικό που απαιτεί μεγαλύτερο χρόνο υπολογισμού. Για την περαιτέρω ενίσχυση της αποτελεσματικότητας της μετέπειτα ταξινόμησης, μόνο τα σχετικά αποφασιστικά χαρακτηριστικά επιλέγονται για περαιτέρω επεξεργασία. Ως εκ τούτου, διατίθενται διάφορες μέθοδοι επιλογής χαρακτηριστικών που βασίζονται σε διαφορετικές στρατηγικές, όπως είναι η Πρόσθια Επιλογή (Forward Selection – FS), η Οπίσθια Εξάλειψη (Backward Elimination – BE) και η μέθοδος Brute Force (BS) [86].

- Ταξινόμηση

Για την εργασία ταξινόμησης, χρησιμοποιούνται συνήθως διάφοροι εκπαιδευτές μηχανικής μάθησης που βασίζονται σε διαφορετικούς αλγόριθμους απόφασης. Στην περίπτωση της επιβλεπόμενης μάθησης, τα χαρακτηριστικά, όπως έχουν προκύψει από τα προηγούμενα βήματα, χαρακτηρίζονται ως προς το ζητούμενο της υλοποίησης (για παράδειγμα δεδομένα που αφορούν στρεσογόνα ή ήρεμη κατάσταση) και εισάγονται στο μοντέλο που επιλέγεται για εκπαίδευση. Τα μοντέλα εκπαίδευσης μπορεί να είναι γενικά, προσωποποιημένα ή να βασίζονται σε ομάδες χρηστών με παρόμοια χαρακτηριστικά.

- **Επικύρωση μοντέλου**

Προκειμένου να αξιολογηθεί η απόδοση της διαδικασίας επιλογής χαρακτηριστικών και ταξινόμησης, διάφορες μέθοδοι επικύρωσης είναι διαθέσιμες. Η κ διασταυρωμένη επικύρωση (k-Cross Validation – k-CV) και η μέθοδος Leave-One-Subject-Out (LOSO) είναι δύο από τις πιο ευρέως χρησιμοποιούμενες. Η μέθοδος CV διαιρεί ολόκληρο το σύνολο δεδομένων σε κ υποδείγματα και χρησιμοποιεί ένα από αυτά τα υποδείγματα για δοκιμή και τα υπόλοιπα υποδείγματα για εκπαίδευση, εντός μιας επανάληψης. Αυτό επαναλαμβάνεται κ φορές και η απόδοση υπολογίζεται ως ο μέσος όρος των κ διαφορετικών ποσοστών ταξινόμησης. Η διασταυρωμένη επικύρωση LOSO είναι παρόμοια με τη CV επικύρωση, με τη διαφορά ότι διαιρεί ολόκληρο το σύνολο των δεδομένων με βάση τους συμμετέχοντες. Δηλαδή, κάθε υπόδειγμα στην περίπτωση της επικύρωσης LOSO περιλαμβάνει τα πλήρη δεδομένα ενός υποκειμένου.

3.3.2 Πειραματικά πρωτόκολλα

Stroop Color Word Test

Το Stroop Color Word Test αναπτύχθηκε από τον J. R. Stroop και έχει χρησιμοποιηθεί κατά κόρον ως ψυχολογικό τεστ και τεστ ελέγχου της ταχύτητας των αντανακλαστικών και της συγκέντρωσης [87]. Περιλαμβάνει λέξεις που ονοματίζουν κάποιο χρώμα και είναι ταυτόχρονα χρωματισμένες με κάποιο χρώμα. Το ζητούμενο από τον αναγνώστη είναι να αναγνωρίσει και να ονοματίσει το δεύτερο. Στην «εύκολη» εκδοχή του τεστ, το χρώμα το οποίο ονοματίζουν οι λέξεις είναι το ίδιο με αυτό που είναι χρωματισμένες, ενώ στη «δύσκολη» εκδοχή τα δύο χρώματα

διαφέρουν. Το Stroop test βασίζεται στην ισχυρή διαπίστωση ότι οι άνθρωποι ανταποκρίνονται πιο αργά όταν τους ζητείται να ονομάσουν τα χρώματα στα οποία εμφανίζονται κάποιες λέξεις, αν οι λέξεις σχηματίζουν ονόματα άλλων χρωμάτων, παρά αν το χρώμα και η λέξη συμπίπτουν (π.χ.: ΜΠΛΕ τυπωμένο σε μαύρο χρώμα ή ΚΟΚΚΙΝΟ τυπωμένο σε μπλε χρώμα) [88]. Πολυάριθμες μελέτες έχουν δείξει ότι το συγκεκριμένο τεστ μπορεί να προκαλέσει στρες και διάφορες εκδοχές του έχουν ενσωματωθεί σε αντίστοιχα πειραματικά πρωτόκολλα [89], [90]. Όσον αφορά το εργασιακό στρες, το Stroop Color Word Test ενσωματώνεται αρκετά συχνά στο σχεδιασμό των πειραμάτων, ειδικά σε εκδοχές με την προσθήκη χρόνου, καθώς οι στρεσογόνοι παράγοντες τόσο της συγκέντρωσης και πνευματικής εργασίας όσο και της πίεσης χρόνου είναι από τους κυρίαρχους σε ένα εργασιακό περιβάλλον.

Trier Social Stress Test

Το Trier Social Stress Test (TSST) είναι ένα πρωτόκολλο για την πρόκληση ψυχολογικού στρες στους συμμετέχοντες, το οποίο επιτρέπει στους ερευνητές να μετρήσουν τις ψυχολογικές, φυσιολογικές και νευροενδοκρινικές αντιδράσεις, σε μεμονωμένα άτομα αλλά και μεταξύ ομάδων. Στην αρχική περιγραφή του TSST, οι ερευνητές επεδίωξαν να σχεδιάσουν και να αξιολογήσουν μια διαδικασία ικανή να προκαλέσει μια αξιόπιστη απόκριση στρες στην πλειονότητα των υγιών εθελοντών [91]. Οι ερευνητές αυτοί διαπίστωσαν ως απόκριση στον ψυχολογικό στρεσογόνο παράγοντα του τεστ αυξήσεις στον καρδιακό ρυθμό και την αρτηριακή πίεση και μεταβολές σε διάφορους ενδοκρινικούς δείκτες στρες, μεγαλύτερες σε σύγκριση με μια ένεση φυσιολογικού ορού, δηλαδή με ένα φυσικό στρεσογόνο παράγοντα. Παρόλο που το TSST έχει τροποποιηθεί για να ικανοποιήσει τις ανάγκες διαφόρων ερευνητικών ομάδων, στην κλασική του εκδοχή αποτελείται από μια περίοδο αναμονής κατά την άφιξη του συμμετέχοντα, η οποία ακολουθείται από περιόδους προετοιμασίας ομιλίας, απόδοσης ομιλίας και λεκτικής αριθμητικής απόδοσης, συνοδευόμενες από μία ή περισσότερες περιόδους αποκατάστασης. Το TSST απαιτεί από τους συμμετέχοντες να προετοιμάσουν και να εκφωνήσουν μια ομιλία και να απαντήσουν προφορικά σε ένα δύσκολο αριθμητικό πρόβλημα, παρουσία ενός ακροατηρίου. Η κοινωνική αξιολόγηση και η έλλειψη δυνατότητας ελέγχου έχουν αναγνωριστεί ως βασικά συστατικά της πρόκλησης στρες με το συγκεκριμένο τεστ

[92]. Στόχος της όλης διαδικασίας είναι να προκαλέσει συστηματικά μια αντίδραση στρες, προκειμένου να μετρηθούν οι διαφορές στην αντιδραστικότητα, το άγχος και την ενεργοποίηση του άξονα ΥΓΕ ή του άξονα συμπαθητικού αδρενομευλικού συστήματος (sympathetic/adrenomedullary system) κατά τη διάρκεια της δοκιμασίας. Εκτός από τις αλλαγές που βιώνει ένα άτομο που ολοκληρώνει το TSST, οι ερευνητές μπορούν να συγκρίνουν τις αλλαγές μεταξύ διαφορετικών ομάδων θεραπείας (π.χ. κλινικά δείγματα έναντι υγιών δειγμάτων ελέγχου) ή την αποτελεσματικότητα παρεμβάσεων μείωσης του στρες [93].

Maastricht Acute Stress Test

Το Maastricht Acute Stress Test (MAST) είναι ένα πρωτόκολλο που συνδυάζει το κομμάτι των αριθμητικών πράξεων του TTST με τις φυσικές πτυχές του τεστ βύθισης της άκρας χειρός σε ψυχρό νερό (cold press test) [94]. Κατά την τελευταία διαδικασία, οι συμμετέχοντες καλούνται να βυθίσουν το χέρι τους μέχρι τον καρπό σε παγωμένο νερό (2°C) για όσο το δυνατόν περισσότερο, με μέγιστο διάστημα τα 3 λεπτά. Συνδυάζοντας, λοιπόν, τα πιο αγχωτικά χαρακτηριστικά των δύο μεθοδολογιών, δημιουργήθηκε μια απλή εργαστηριακή δοκιμασία στρες ικανή να προκαλέσει ισχυρές αποκρίσεις, με αποτέλεσμα να έχει ενσωματωθεί κατά καιρούς σε αρκετά πρωτόκολλα μελετών.

Montreal Imaging Stress Task

Το Montreal Imaging Stress Task (MIST) αποτελείται από μια σειρά υπολογιστικών νοητικών αριθμητικών προκλήσεων, μαζί με στοιχεία «απειλής» κοινωνικής αξιολογικής που ενσωματώνονται στο πρόγραμμα ή παρουσιάζονται από τον ερευνητή [94]. Το πρωτόκολλο MIST περιέχει τρία στάδια δοκιμασίας, τα οποία ονομάζονται ανάπαυση, έλεγχος και πειραματική δοκιμασία. Στη συνθήκη ανάπαυσης, τα υποκείμενα κοιτούν μια στατική οθόνη υπολογιστή στην οποία δεν εμφανίζονται εργασίες και δεν απαιτείται κάποια ενέργεια από την πλευρά τους. Στη συνθήκη ελέγχου, μια σειρά νοητικών αριθμητικών εργασιών εμφανίζονται στην οθόνη του υπολογιστή και τα υποκείμενα υποβάλλουν τις απαντήσεις τους μέσω μιας διεπαφής. Στην πειραματική συνθήκη, η δυσκολία και το χρονικό όριο των ασκήσεων ρυθμίζονται ώστε να υπερβαίνουν ακριβώς τη νοητική ικανότητα του ατόμου. Επιπλέον, σε αυτή τη συνθήκη, η παρουσίαση των αριθμητικών ασκήσεων

συμπληρώνεται από την προβολή πληροφοριών σχετικά με την ατομική και τη μέση επίδοση, καθώς και την αναμενόμενη επίδοση. Μετά την ολοκλήρωση κάθε σταδίου, το πρόγραμμα παρουσιάζει μια αξιολόγηση της απόδοσης για να αυξήσει περαιτέρω την απειλή κοινωνικής αξιολόγησης της κατάστασης.

3.4 Βιβλιογραφική ανασκόπηση

3.4.1 Μελέτες με φυσιολογικές παραμέτρους

Πολλές από τις μελέτες της διεθνούς βιβλιογραφίας που έχουν ως αντικείμενο την ανίχνευση και πρόβλεψη στρες μέσω φυσιολογικών παραμέτρων εστιάζουν στην ανάλυση ενός μόνο σήματος. Αυτό μπορεί να οδηγήσει στη δημιουργία απλών συστημάτων που παρουσιάζουν συνήθως μεγάλη ευελιξία και μπορούν να υιοθετηθούν εύκολα σε εφαρμογές της καθημερινής ζωής. Απαραίτητη προϋπόθεση για την επιτυχία τέτοιων συστημάτων, ωστόσο, είναι η επιλογή του κατάλληλου σήματος, λαμβάνοντας υπόψη τις απαιτήσεις της κάθε εφαρμογής, καθώς και η μελέτη της ακρίβειας και ευαισθησίας των παρεμβάσεων, συναρτήσει και των πόρων που απαιτούν.

Στη μελέτη [95], σήματα EEG καταγράφηκαν κατά τη διάρκεια ενός πειράματος, στο οποίο μία εκδοχή του Stroop Color Word Test χρησιμοποιήθηκε για την πρόκληση άγχους των συμμετεχόντων. Ο διακριτός μετασχηματισμός συνημίτονου εφαρμόστηκε για τη μείωση του μεγέθους των δεδομένων και την εξαγωγή χαρακτηριστικών από το πεδίο της συχνότητας. Η ταξινόμηση υλοποιήθηκε με Τεχνητό Νευρωνικό Δίκτυο (Artificial Neural Network – ANN), Γραμμική Διακριτική Ανάλυση (Linear Discriminant Analysis – LDA) και αλγόριθμο κ Κοντινότερων Γειτόνων (k Nearest Neighbors – k-NN). Το καλύτερο αποτέλεσμα ταξινόμησης παρουσιάστηκε για τον k-NN ταξινομητή και έφτασε το 72%. Στη μελέτη [96], προτείνεται ένα σύστημα που εξάγει χαρακτηριστικά φάσματος ισχύος και μορφοκλασματικής διάστασης, καθώς και στατιστικά χαρακτηριστικά, από το σήμα EEG, με σκοπό τη διάκριση τεσσάρων διαφορετικών επιπέδων στρες σε πραγματικό χρόνο. Αναλύθηκαν διαφορετικοί συνδυασμοί χαρακτηριστικών, χρησιμοποιώντας ταξινομητή Μηχανών Διανυσματικής Υποστήριξης (Support Vector Machine-SVM) και k-NN ταξινομητή. Συνδυάζοντας στατιστικά χαρακτηριστικά με χαρακτηριστικά μορφοκλασματικής διάστασης και χρησιμοποιώντας τον ταξινομητή SVM, τέσσερα

επίπεδα στρες μπόρεσαν να αναγνωριστούν με μέση ακρίβεια 67,07%, τρία επίπεδα στρες με ακρίβεια 75,22%, ενώ δύο επίπεδα στρες αναγνωρίστηκαν με ακρίβεια 85.17%.

Το ECG έχει επιλεγεί αρκετές φορές ως υποψήφιο σήμα ανίχνευσης στρες, λόγω της εύκολα διαθέσιμης καταγραφής του και των τεχνικών εξαγωγής χαρακτηριστικών του. Στην εργασία [97], εφαρμόστηκε ένα πειραματικό πρωτόκολλο, το οποίο περιλάμβανε ασκήσεις με χαμηλό και υψηλό φόρτο εργασίας που απαιτούσαν τη χρήση υπολογιστή, προσομοιώνοντας ένα εργασιακό περιβάλλον. Μελετήθηκαν οι διαφορές στις παραμέτρους HRV των σημάτων των συμμετεχόντων και αποδείχθηκε ότι η διακύμανση του καρδιακού ρυθμού είναι ευαίσθητη σε οποιαδήποτε αλλαγή της ψυχικής ή σωματικής κατάσταση ενός ατόμου. Παράλληλα αναδείχτηκε η συμβολή της ανάλυσης χρόνου-συχνότητας. Οι Rizwan et al. [98], εκτός από το διάστημα RR του ηλεκτροκαρδιογραφήματος που χρησιμοποιείται πολύ συχνά στην έρευνα για το στρες, μελέτησαν άλλα δύο χαρακτηριστικά του σήματος: το διάστημα QT και το αναπνευστικό σήμα, γνωστό ως EDR (ECG derived Respiration). Μια ανοιχτή βάση δεδομένων χρησιμοποιήθηκε για την εκπαίδευση και την επικύρωση του συστήματος, ενώ διαφορετικοί τύποι ταξινομητών SVM συγκρίθηκαν ως προς την ακρίβεια κατηγοριοποίησης των δεδομένων σε στρεσογόνα ή μη στρεσογόνα κατάσταση. Η μέγιστη ακρίβεια του συστήματος ήταν 98,6% και προέκυψε με συνδυασμό όλων των διαθέσιμων χαρακτηριστικών και τη χρήση Γκαουσιανής συνάρτησης πυρήνα (Gaussian Kernel function).

Το σήμα της EDA είναι από τα πιο δημοφιλή στην έρευνα γύρω από το στρες, καθώς αντιπροσωπεύει ένα επαρκές μέτρο για την ενεργοποίηση του συμπαθητικού νευρικού συστήματος. Στη μελέτη [99], αναλύθηκε η δυνατότητα των μετρήσεων EDA να διαχωρίσουν το στρες από το γνωστικό φορτίο σε ένα περιβάλλον εργασίας. Η εργαστηριακή παρέμβαση περιλάμβανε την εφαρμογή ήπιου γνωστικού φορτίου και δύο παραγόντων άγχους, οι οποίοι είναι σχετικοί με τον εργασιακό χώρο: ψυχικό στρες που προκαλείται από την επίλυση αριθμητικών προβλημάτων υπό πίεση χρόνου και ψυχοκοινωνικό στρες που προκαλείται από μια κοινωνική απειλή ή απειλή αξιολόγησης. Έξι διαφορετικοί ταξινομητές εκπαιδεύτηκαν με τα δεδομένα που προέκυψαν και επιτεύχθηκε μέγιστη ακρίβεια 82,8%. Στην εργασία [100],

υλοποιήθηκε ένας ανιχνευτής στρες που πραγματοποιεί στατιστική ανάλυση μετρήσεων EDA με βάση τη διέγερση. Για το σκοπό αυτό, χρησιμοποιήθηκε ένας αλγόριθμος ανίχνευσης αλλαγών που βασίζεται στη μέθοδο παραθυροποίησης Adaptive Windowing (ADWIN). Πραγματοποιήθηκε πείραμα όπου αναλύθηκε η έξοδος του ανιχνευτή σε σχέση με το αυτοαναφερόμενο στρες των συμμετεχόντων, όταν αυτοί εκτίθενται σε διαφορετικά ερεθίσματα σε περιβάλλον εργασίας γραφείου. Η ακρίβεια του συστήματος έφτασε το 79,17%. Οι Liu και Du στην εργασία [101] χρησιμοποίησαν την ελεύθερα προσβάσιμη βάση Physionet του MIT Media Lab [102], από την οποία επέλεξαν σύνολα δεδομένων που αφορούν την EDA που μετρήθηκε από το πόδι ατόμων που οδηγούσαν σε συνθήκες διαφορετικών επιπέδων στρες. Πραγματοποιώντας LDA κατάφεραν να διακρίνουν τρία επίπεδα στρες με ποσοστό αναγνώρισης 81.82%. Στη μελέτη [103], μετρήσεις EDA καταγράφηκαν, ενώ οι συμμετέχοντες υποβάλλονταν σε ελαφρώς τροποποιημένο πρωτόκολλο, βασισμένο στο TSST. Οι μετρήσεις λήφθηκαν από συσκευή που φοριέται στον καρπό, ενώ τα δεδομένα από το επιταχυνσιόμετρο που, επίσης, περιλαμβάνει, χρησιμοποιήθηκαν για την ανίχνευση κινήσεων που μπορεί να επηρεάσουν το σήμα. Ένα μοντέλο k-NN ταξινομητή εκπαιδεύτηκε με τα σύνολα δεδομένων του πειράματος και τα αποτελέσματά του επικυρώθηκαν από καταγραφές του επιπέδου κορτιζόλης στο σάλιο. Η ευαισθησία και η ειδικότητα του συστήματος ήταν 94% και 93% αντίστοιχα.

Τα περισσότερα από τα συστήματα ανίχνευσης και πρόβλεψης στρες μέσω ανάλυσης φυσιολογικών δεδομένων βασίζονται στο συνδυασμό καταγραφής και ανάλυσης σημάτων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να αντιμετωπίζεται σε ένα βαθμό η υποκειμενική φύση του στρες και το μεγάλο φάσμα των αποκρίσεων των ατόμων σε αυτό. Επίσης, καθίσταται δυνατή η μελέτη των διαφορετικών συνδυασμών χαρακτηριστικών των σημάτων, ώστε να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή ακρίβεια της αναγνώρισης των στρεσογόνων καταστάσεων.

Ο συνδυασμός των σημάτων γαλβανικής απόκρισης δέρματος και του καρδιακού ρυθμού ή της διακύμανσης καρδιακού ρυθμού έχει μελετηθεί αρκετά ως προς την ικανότητά του να ανιχνεύει αποτελεσματικά το στρες. Οι Sierra et al. [104] πρότειναν ένα σύστημα ανίχνευσης στρες μέσω ανάλυσης σημάτων HR και GSR, κατάλληλο για

εφαρμογές πραγματικού χρόνου. Το σύστημα βασιζόταν στην ασαφή λογική και παρουσίασε πολύ ενθαρρυντικά αποτελέσματα. Στη μελέτη [105] οι Martinez et al. χρησιμοποίησαν μετρήσεις GSR και δεδομένα HRV που υπολογίστηκαν από ηλεκτροκαρδιογράφημα, με σκοπό να ανιχνεύσουν τρία επίπεδα στρες: χαμηλό, μέτριο και υψηλό. Σαν στρεσογόνα άσκηση επιλέχθηκε η επίλυση ενός τρισδιάστατου παζλ σε περιορισμένο χρόνο, ενώ ο αλγόριθμος ταξινόμησης που εφαρμόστηκε βασίστηκε σε ένα μοντέλο Μηχανής Πεπερασμένων Καταστάσεων (Finite State Machine – FSM). Το προτεινόμενο σύστημα παρουσίασε F1 σκορ 0,984 στην περίπτωση υψηλού επιπέδου στρες, 0,970 στην περίπτωση μέτριου επιπέδου στρες και 0,943 στην περίπτωση χαμηλού επιπέδου στρες. Στη μελέτη [106] τα σήματα ECG και GSR χρησιμοποιήθηκαν από μια μεγάλη και ελεύθερα προσβάσιμη βάση δεδομένων [107]. Από τα σήματα αυτά εξήχθησαν στατιστικά χαρακτηριστικά στα πεδία χρόνου και συχνότητας, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν τόσο μεμονωμένα όσο και σε συνδυασμό, ώστε μέσω ταξινόμησης με SVM να μελετηθεί ποια είναι τα κυρίαρχα στην ανίχνευση στρες. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το σήμα GSR και η μέτρηση HR αποτελούν άμεση απάντηση για την πρόβλεψη του στρες, ενώ ο ταξινομητής SVM που εκπαιδεύτηκε με τα χαρακτηριστικά τους παρουσίασε ακρίβεια 92,75%.

Στη μελέτη [7] φυσιολογικά σήματα ECG, EMG, EOG και EEG συλλέχθηκαν για ένα διάστημα τεσσάρων ωρών, στο οποίο οι συμμετέχοντες πραγματοποιούσαν εργασίες στον υπολογιστή που απαιτούσαν την αναλυτική τους ικανότητα. Το πείραμα περιλάμβανε τη χρήση υπολογιστή και επιχείρησε να προσεγγίσει τις συνθήκες ενός πραγματικού περιβάλλοντος εργασίας. Ένα νευρωνικό δίκτυο οπισθοδιάδοσης τριών επιπέδων εκπαιδεύτηκε με βάση χαρακτηριστικά των σημάτων και ανίχνευσε επιτυχώς το επίπεδο στρες των ατόμων. Η πνευματική εργασία και η έντονη δραστηριότητα των ματιών κατά τη χρήση υπολογιστή φάνηκε να συμβάλλουν περισσότερο σε μια στρεσογόνο κατάσταση.

Στη μελέτη [108] το πειραματικό πρωτόκολλο MAST εφαρμόστηκε σε δεκαπέντε συμμετέχοντες. Χαρακτηριστικά σημάτων ECG, EEG και EDA καταγράφηκαν από φορητούς αισθητήρες κατά τη διάρκεια του πειράματος. Ένας αλγόριθμος SVM χρησιμοποιήθηκε για τη στατιστική ανάλυση των δεδομένων, παρέχοντας συνολική

ακρίβεια 86% στη διάκριση μεταξύ στρεσογόνου και ήρεμης κατάστασης. Επίσης, οι μεταβολές των επιπέδων κορτιζόλης στο σάλιο, οι οποίες αποτελούν έναν αντικειμενικό βιοδείκτη του στρες, μετρήθηκαν για όλους τους συμμετέχοντες και, μέσω ανάλυσης συσχέτισης, αποδείχτηκε ότι είναι συνεπείς με τις αλλαγές που παρατηρήθηκαν στα φυσιολογικά χαρακτηριστικά.

Τα επίπεδα κορτιζόλης χρησιμοποιήθηκαν και από τους Anusha et al. [109] για την επικύρωση της πιλοτικής εργαστηριακής τους παρέμβασης που προσομοιάζε σενάρια εργασιακού στρες της πραγματικής ζωής, περιλαμβάνοντας παράγοντες όπως πίεση χρόνου και απόδοσης, νοητικό φόρτο εργασίας και άγχος αξιολόγησης. Στα πλαίσια της εργασίας τους, συλλέχθηκαν χαρακτηριστικά σημάτων EDA, ECG και ST, ενώ ερευνήθηκε η ικανότητα τεσσάρων ταξινομητών να ανιχνεύσουν το στρες, χρησιμοποιώντας μεμονωμένα ή πολυτροπικά σχήματα. Το σήμα EDA εμφάνισε τα καλύτερα αποτελέσματα στην ανίχνευση μέσω ενός μόνο σήματος, ενώ ο συνδυασμός EDA και ST εμφάνισε την πιο υψηλή ακρίβεια που έφτασε το 97,13%.

Στη μελέτη [110] σήματα ECG, αναπνοής, δερματικής αγωγιμότητας (skin conductance-SC) και επιφανειακού ηλεκτρομυογραφήματος (surface electromyogram – sEMG) του άνω τραπεζοειδούς μυός μετρήθηκαν με ένα φορητό σύστημα, κατά τη διάρκεια τριών διακριτών δοκιμασιών που προκαλούν στρες. Το πρωτόκολλο περιείχε δοκιμασίες που είχαν σχεδιαστεί για να αντιπροσωπεύουν καταστάσεις που μοιάζουν με αυτές ενός εργασιακού περιβάλλοντος γραφείου. Γενικευμένες Εξιιώσεις Εκτίμησης (Generalized Estimating Equations – GEE) χρησιμοποιήθηκαν για την ταξινόμηση των δεδομένων σε συνθήκες ηρεμίας και στρες. Το σύστημα παρουσίασε μέσο ποσοστό ταξινόμησης 74,5%.

Οι Xu et al. [111], λαμβάνοντας υπόψη την υποκειμενική φύση του στρες και τις διαφορές που πολλές φορές παρατηρούνται στις αποκρίσεις των φυσιολογικών σημάτων μεταξύ των ατόμων, πρότειναν ένα σύστημα βασισμένο στην ομαδοποίηση (cluster-based analysis). Σήματα ECG, GSR, EEG, EMG και SpO2 λήφθηκαν ενώ οι συμμετέχοντες στο πείραμα πραγματοποιούσαν γνωστικές ή φυσικές δοκιμασίες, με περιόδους χαλάρωσης να παρεμβάλλονται. Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε μια ποσοτική μέτρηση του στρες, με την ανάλυση των φυσιολογικών χαρακτηριστικών σε δύο στάδια: μια διαδικασία ομαδοποίησης k μέσων (k-means clustering) για τον

διαχωρισμό των υποκειμένων σε διαφορετικές κλάσεις/συστάδες και η αξιολόγηση του στρες κατά κλάσεις μέσω γενικευμένου νευρωνικού δικτύου παλινδρόμησης (General Regression Neural Network – GRNN). Τα πειραματικά αποτελέσματα έδειξαν ότι η προτεινόμενη μέθοδος είναι χρήσιμη στην ανάπτυξη έξυπνων, εξατομικευμένων προϊόντων για τη διαχείριση του ανθρώπινου στρες.

Στη μελέτη [112] επιχειρήθηκε η δημιουργία ενός προσωποποιημένου μοντέλου ανίχνευσης στρες, βασισμένου σε SVM. Για το σκοπό αυτό πραγματοποιήθηκε πείραμα που περιλάμβανε την εφαρμογή τεσσάρων στρεσογόνων παραγόντων κοινωνικού, ψυχικού και φυσικού περιεχομένου και τη μέτρηση σημάτων ECG, GSR, ST και αναπνοής μέσω μιας ζώνης στήθους. Η επισήμανση των δεδομένων έγινε μέσω απαντήσεων των συμμετεχόντων σε ερωτηματολόγια. Τα μοντέλα που υλοποιήθηκαν μπόρεσαν να ανιχνεύσουν το στρες με υψηλές τιμές ακρίβειας και ανάκλησης, ειδικά όταν χρησιμοποίησαν εξατομικευμένες πληροφορίες για κάθε συμμετέχοντα.

Ένα σύστημα για τη συνεχή παρακολούθηση των επιπέδων ανθρώπινου στρες και το μετριάσμο του, όταν αυτό εμφανίζεται, προτάθηκε στην έρευνα [113]. Χρησιμοποιώντας φορητούς ιατρικούς αισθητήρες, μετρήθηκαν οι φυσιολογικές παράμετροι ECG, GSR, SpO₂, αναπνοής και πίεσης αίματος των συμμετεχόντων κατά τη διάρκεια ελεγχόμενης διαδικασίας με τέσσερις στρεσογόνους παράγοντες και τρεις τεχνικές μείωσης του στρες. Στο στάδιο της ανίχνευσης του στρες, το σύστημα εμφάνισε ακρίβεια 95,8% με έναν ξεχωριστό συνδυασμό εποπτευόμενης επιλογής χαρακτηριστικών και μη επιβλεπόμενης μείωσης διαστάσεων. Στο στάδιο της μείωσης του στρες, πραγματοποιήθηκε σύγκριση με την περίπτωση όπου δεν εφαρμόζεται κάποια παρέμβαση, επικυρώνοντας την αποτελεσματικότητα του συστήματος στην αντιμετώπιση και την ανακούφιση από το στρες.

Ο **Πίνακας 1** παρουσιάζει συγκεντρωτικά όλες τις παραπάνω μελέτες που βασίστηκαν στην ανάλυση φυσιολογικών παραμέτρων για την ανίχνευση στρες, παρουσιάζοντας τα κυριότερα στοιχεία της εφαρμογής τους, τη μεθοδολογία που χρησιμοποίησαν και τα αποτελέσματα που παρουσίασαν.

Πίνακας 1 Συγκεντρωτικός πίνακας μελετών αυτόματης ανίχνευσης στρες που χρησιμοποιούν φυσιολογικές παραμέτρους.

Μελέτη	Συμμετέχοντες	Παράμετροι	Στρεσογόνος παράγοντας	Στόχος	Ανάλυση / Ταξινόμηση	Επισημάνση	Επικύρωση
[95]	25	EEG	Stroop Color Word Test	Ανίχνευση στρες	ANN, k-NN, LDA	Ερωτηματολόγιο για το αυτοαντιλαμβανόμενο στρες	Υψηλότερη μέση ακρίβεια 72% (k-NN)
[96]	9	EEG	Stroop Color Word Test	Διάκριση τεσσάρων επιπέδων στρες	SVM, k-NN	Ερωτηματολόγιο σχετικά με την αυτοαντιλαμβανόμενη διέγερση, το σθένος, την κυριαρχία, τον φόρτο εργασίας και τα επίπεδα άγχους	Υψηλότερη ακρίβεια 85,17% (δύο επίπεδα στρες με SVM)
[97]	43	ECG	Εργασίες με τη χρήση ποντικιού ηλεκτρονικού υπολογιστή	Διερεύνηση της συμβολής της HRV στην ανίχνευση ψυχικού στρες	Friedman test	Βασισμένη στις φάσεις του πρωτοκόλλου	Διαφοροποίηση των HRV χαρακτηριστικών μεταξύ των διαφορετικών φάσεων του πρωτοκόλλου
[98]	15	ECG	Κανένας	Ανίχνευση στρες	SVM	Βασισμένη στις φάσεις του πρωτοκόλλου	Ακρίβεια 98,6% (Gaussian Kernel function)
[99]	33	EDA	MIST	Ανίχνευση στρες και	SVM, LDA, Nearest Class	Βασισμένη στις φάσεις του πρωτοκόλλου	Ακρίβεια 82,8% (LDA)

				γνωστικού φορτίου	Center (NCC) αλγόριθμος		
[100]	12	EDA	Stroop Color Word Test, ενοχλητικοί ήχοι	Ανίχνευση στρες	Adaptive Windowing (ADWIN) αλγόριθμος	Ερωτηματολόγιο για το αυτοαντιλαμβανόμενο στρες	Ακρίβεια 79,7%
[101]	11	EDA	Driving route	Διάκριση τριών επιπέδων στρες	LDA	Βασισμένη στις φάσεις του πρωτοκόλλου	Ακρίβεια 80,81%
[103]	30	EDA	TSST	Ανίχνευση στρες	kNN	Βασισμένη στις φάσεις του πρωτοκόλλου	Ευαισθησία 94%, Ειδικότητα 93%
[104]	80	HR, EDA	Υπεραερισμός και προετοιμασία ομιλίας	Ανίχνευση στρες	Αλγόριθμοι ασαφούς λογικής	Βασισμένη στις φάσεις του πρωτοκόλλου	Ακρίβεια 99,5%
[105]	166	HRV, EDA	Επίλυση τρισδιάστατου ξύλινου παζλ με περιορισμό χρόνου	Διάκριση τριών επιπέδων στρες και επιφυλακής	FSM, Naive Bayes, Ada Boost, SVM	Συνεντεύξεις, SAM ερωτηματολόγιο	Σκορ F1 0,984, 0,970 και 0,943 για υψηλές, μεσαίες και χαμηλές καταστάσεις διέγερσης
[106]	25	ECG, EDA	Εργασίες με τη χρήση του ηλεκτρονικού υπολογιστή με περιορισμό χρόνου και διακοπές μέσω email	Ανίχνευση στρες	SVM, k-NN	Βασισμένη στις φάσεις του πρωτοκόλλου	Ακρίβεια 92,75%
[7]	12	ECG, EMG, EOG	Εργασίες με τη χρήση του ηλεκτρονικού υπολογιστή	Ανίχνευση στρες	Νευρωνικό δίκτυο	Ανατροφοδότηση από τους χρήστες (άγνωστη μέθοδος)	Μέσο τετραγώνικο

					οπισθοδιάδοσης τριών επιπέδων		σφάλμα < 4.3202e-04
[108]	15	ECG, EDA, EEG	MAST	Διάκριση καταστάσεων ηρεμίας, στρες και ανάρρωσης	SVM	Επίπεδα κορτιζόλης στο σάλιο	Ακρίβεια 86%
[109]	9	ECG, EDA, ST	Stroop Color Test, Αριθμητικές Πράξεις, TSST, Φυσική δραστηριότητα	Ανίχνευση στρες	LDA, SVM, kNN, Τετραγωνική Διακριτική Ανάλυση	Επίπεδα κορτιζόλης στο σάλιο	Υψηλότερη ακρίβεια 97,2% (EDA και ST)
[110]	30	ECG, αναπνοή, SC, sEMG	Εργασία επίλυσης λογικού παζλ, Εργασία μνήμης	Ανίχνευση στρες	GEE	PSS ερωτηματολόγιο, Ερωτηματολόγιο για το αυτοαντιλαμβανόμενο στρες	Μέση ακρίβεια 74,5%
[111]	44	ECG, EDA, EEG, EMG, SpO2	Εργασίες στον υπολογιστή, Άσκηση φυσικής δραστηριότητας	Ανίχνευση στρες	k-means clustering, GRNN	Ερωτηματολόγιο State-Trait Anxiety Inventory	Υψηλότερη μέση ακρίβεια 85,2%
[112]	22	ECG, EDA, αναπνοή, θερμοκρασία	Δημόσια ομιλία, αριθμητικές πράξεις, δοκιμασία cold pressor	Ανίχνευση στρες	SVM	Ερωτηματολόγιο Ecological Momentary Assessment (EMA)	Υψηλότερη ακρίβεια 68%
[113]	32	ECG, EDA, αναπνοή, αρτηριακή πίεση	Άσκηση μνήμης, Τεστ Εικόνων, ενοχλητικοί ήχοι, δοκιμασία cold pressor	Ανίχνευση στρες	SVM, k-NN	Βασισμένη στις φάσεις του πρωτοκόλλου	Ακρίβεια 95,8%

3.4.2 Μελέτες με συμπεριφορικές παραμέτρους

Στη μελέτη [114], έγινε μία προσπάθεια διερεύνησης της σχέσης μεταξύ εργασιακής συμπεριφοράς και επιπέδου στρες με τη χρήση μη επιβλεπόμενης μάθησης. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν τόσο συμπεριφορικά, από αισθητήρες πίεσης τοποθετημένους σε επιφάνειες ενός γραφείου, όσο και περιβαλλοντικά που αφορούσαν τη θερμοκρασία, την υγρασία και το φωτισμό του χώρου. Το προτεινόμενο σύστημα κατέδειξε επιτυχώς τις δύο ομάδες που αντιπροσωπεύουν την εργασιακή συμπεριφορά που σχετίζεται είτε με υψηλό είτε με χαμηλό επίπεδο άγχους.

Οι ερευνητές στην εργασία [115] χρησιμοποίησαν δεδομένα από το ενσωματωμένο επιταχυνσιόμετρο ενός έξυπνου τηλεφώνου (smartphone) προκειμένου να ανιχνεύσουν συμπεριφορές που συσχετίζονται με τα επίπεδα άγχους των ατόμων στον εργασιακό χώρο. Ο αισθητήρας επιταχυνσιομέτρου επιλέχθηκε επειδή εγείρει λιγότερες ανησυχίες σχετικά με την προστασία της ιδιωτικής ζωής (π.χ. σε σύγκριση με την καταγραφή θέσης, βίντεο ή ήχου) και επειδή η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας τον καθιστά κατάλληλο για ενσωμάτωση σε μικρότερες φορητές συσκευές, όπως είναι οι συσκευές παρακολούθησης φυσικής κατάστασης. Η μελέτη διήρκεσε οκτώ εβδομάδες και διεξήχθη σε πραγματικά εργασιακά περιβάλλοντα, χωρίς να τίθενται κανενός είδους περιορισμοί στη χρήση του smartphone. Τα υποκείμενα ανέφεραν τα αντιλαμβανόμενα επίπεδα άγχους τους τρεις φορές κατά τη διάρκεια των ωρών εργασίας τους. Χρησιμοποιώντας συνδυασμό στατιστικών μοντέλων για την ταξινόμηση των αυτοαναφερόμενων επιπέδων άγχους, το σύστημα παρουσίασε μέγιστη συνολική ακρίβεια 71% για τα μοντέλα που βασίζονται σε συγκεκριμένους χρήστες και ακρίβεια 60% για τη χρήση μοντέλων παρόμοιων χρηστών, χρησιμοποιώντας αποκλειστικά τα δεδομένα από ένα μόνο επιταχυνσιόμετρο. Στην εργασία [116], οι ερευνητές επέλεξαν δεδομένα που αφορούσαν τη δραστηριότητα των χρηστών στο κινητό τηλέφωνο, όπως τις κλήσεις, τα μηνύματα, τις αλληλεπιδράσεις μέσω Bluetooth κ.λπ. Εκτός αυτών, συμπερίλαβαν στην ανάλυσή τους περιβαλλοντικές συνθήκες και στοιχεία της προσωπικότητας των συμμετεχόντων. Παρουσίασαν μια καινοτόμο προσέγγιση για την εξαγωγή, την επιλογή, την εκπαίδευση μοντέλων αναγνώρισης, βασισμένη στους

αλγόριθμους Random Forest και Gradient Boosted Machine, καταλήγοντας σε ένα σύστημα με 72.39% ακρίβεια.

Στην εργασία [117], στόχος ήταν η ανάλυση της σχέσης μεταξύ ορισμένων συμπεριφορικών παραμέτρων με το στρες με τρόπο μη επεμβατικό, ώστε τα διενεργούμενα πειράματα να μην επηρεάσουν τα αποτελέσματα. Υπό αυτή την έννοια, η έμφαση δόθηκε σε παραμέτρους που μπορούν να αποκτηθούν με διαφάνεια από το περιβάλλον της εφαρμογής, χωρίς ο χρήστης να το γνωρίζει ρητά. Συγκεκριμένα, μελετήθηκε ο τρόπος με τον οποίο το στρες επηρεάζει την κίνηση του χρήστη, τη γνωστική του απόδοση καθώς και χαρακτηριστικά που σχετίζονται με την αλληλεπίδρασή του με συσκευές που διαθέτουν οθόνες αφής ευαίσθητες στην πίεση. Πραγματοποιήθηκε ανάπτυξη και εκπαίδευση τόσο γενικευμένων όσο και προσωποποιημένων μοντέλων, με τα δεύτερα να παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη ακρίβεια. Τα χαρακτηριστικά που αποδείχτηκε ότι επηρεάστηκαν περισσότερο από το στρες ήταν η επιτάχυνση και η μέση και μέγιστη ένταση της αφής.

Οι Arnrich et al. στη μελέτη [118] διερεύνησαν το κατά πόσο οι συναισθηματικές πληροφορίες που σχετίζονται με το άγχος μπορούν να βρεθούν μέσω της στάσης του σώματος κατά τη διάρκεια της εργασίας σε περιβάλλον γραφείου. Συγκεκριμένα, επιχείρησαν να συσχετίσουν άμεσα χαρακτηριστικά που προέρχονται από την κατανομή της πίεσης σε μια καρέκλα με τα επίπεδα στρες των εργαζόμενων. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα νευρικά άτομα παρουσιάζουν μεγαλύτερη διακύμανση κινήσεων υπό την κατάσταση άγχους. Επιπλέον, απέδειξαν ότι μια, ανεξάρτητη από το άτομο, διάκριση του στρες από το ήπιο γνωστικό φορτίο είναι εφικτή, χρησιμοποιώντας μόνο τα δεδομένα πίεσης. Μια επιβλεπόμενη παραλλαγή ενός χάρτη αυτόματης οργάνωσης (self-organizing map-SOM), η οποία είναι ικανή να προσαρμόζεται σε διαφορετικά μοτίβα αντιδράσεων στο στρες, πέτυχε συνολική ακρίβεια 73,75%.

Στην εργασία [119], οι ερευνητές παρουσίασαν χαρακτηριστικά συμπεριφοράς για την αυτόματη ανίχνευση άγχους, καθώς και μια μέθοδο κανονικοποίησης για κάθε άτομο ξεχωριστά, για την ενίσχυση της απόδοσης του συστήματος. Οι συμπεριφορικές μετρήσεις που χρησιμοποιήθηκαν αφορούσαν δεδομένα σχετικά με τη στάση του σώματος και το σκελετό, καθώς και τις εκφράσεις του προσώπου των

συμμετεχόντων στο πείραμα. Τα αποτελέσματα ταξινόμησης με SVM παρουσίασαν ακρίβεια 77%, ενώ τα μοντέλα κανονικοποίησης αποδείχτηκε ότι βελτίωσαν την απόδοση.

Η μελέτη [120] διερεύνησε τον τρόπο με τον οποίο τόσο τα χαρακτηριστικά του πληκτρολογίου όσο και του ποντικιού του ηλεκτρονικού υπολογιστή μπορούν να συνδυαστούν για την ανίχνευση του ανθρώπινου στρες, και ιδιαίτερα του γνωστικού στρες που προκαλείται από την πίεση του χρόνου και τα αριθμητικά προβλήματα. Αφού πραγματοποιήθηκε στατιστική ανάλυση στα παραπάνω συμπεριφορικά χαρακτηριστικά, τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η πολυπλοκότητα του αριθμητικού προβλήματος και η πίεση του χρόνου επηρεάζουν σημαντικά τη συμπεριφορά του χρήστη και τους τρόπους χρήσης του πληκτρολογίου και του ποντικιού του ηλεκτρονικού υπολογιστή. Από την πλευρά τους, οι Vizer et al. [121] χρησιμοποίησαν χαρακτηριστικά πληκτρολόγησης και γλωσσικά χαρακτηριστικά ενός αυθόρμητα παραγόμενου κειμένου με σκοπό την ανίχνευση στρες που προκύπτει τόσο από γνωστικές διεργασίες όσο από φυσική άσκηση. Δοκίμασαν αρκετούς αλγορίθμους μηχανικής μάθησης και πέτυχαν μέγιστη ακρίβεια 62.5% στην περίπτωση του φυσικού στρες και 75% στην περίπτωση του γνωστικού στρες.

Οι Gunawardhane et al. [122], πρότειναν μια εξατομικευμένη προσέγγιση για την ανίχνευση των επιπέδων στρες μέσω των παραλλαγών στο πάτημα των πλήκτρων του πληκτρολογίου ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή. Αναλυτικά, δημιουργήθηκε ένα, ειδικό για την εφαρμογή, ατομικό προφίλ πληκτρολόγησης για κάθε άτομο με βάση τα συνήθη μοτίβα πληκτρολόγησής του. Αυτό το προφίλ αποτελούταν από μέσες τιμές για ένα σύνολο χαρακτηριστικών πληκτρολόγησης, οι οποίες προέκυψαν από επαναληπτικές διαδικασίες συλλογής δεδομένων για καταστάσεις στρες και καταστάσεις ηρεμίας. Στη συνέχεια, οι αποκλίσεις αυτών των χαρακτηριστικών σε σχέση με το στρες αναλύονται σε πραγματικό χρόνο, προκειμένου να προκύψει το ατομικό επίπεδο άγχους. Η ικανότητα του προτεινόμενου συστήματος να αναγνωρίσει το στρες επιβεβαιώθηκε μέσω στατιστικών μεθόδων.

Ο **Πίνακας 2** παρουσιάζει συνοπτικά το σύνολο των μελετών που περιγράφηκαν παραπάνω.

Πίνακας 2 Συγκεντρωτικός πίνακας μελετών αυτόματης ανίχνευσης στρες που χρησιμοποιούν συμπεριφορικές παραμέτρους.

Μελέτη	Συμμετέχοντες	Παράμετροι	Στρεσογόνος παράγοντας	Στόχος	Ανάλυση / Ταξινόμηση	Επισήμανση	Επικύρωση
[114]	7	Πίεση, φως περιβάλλοντος, υγρασία, θερμοκρασία περιβάλλοντος	Κανένας	Διάκριση δύο επιπέδων στρες	Μη επιβλεπόμενος αλγόριθμος k-means clustering, ιεραρχικός αλγόριθμος ομαδοποίησης	PSS ερωτηματολόγιο	Μέτρο silhouette > 0.6
[115]	30	Δεδομένα smartphone	Κανένας	Διάκριση τριών επιπέδων στρες	Συνδυασμός στατιστικών μοντέλων	Ερωτηματολόγιο Oldenburg burnout inventory	Ακρίβεια 71% (προσωποποιημένα μοντέλα) και 60% (μοντέλα παρόμοιων χρηστών)
[116]	117	Δεδομένα smartphone	Κανένας	Ανίχνευση στρες	SVM, Νευρωνικό δίκτυο, Random Forest, Friedmans Generalized Boosted Model	Ερωτηματολόγιο Big Five, ερωτηματολόγιο αυτοαξιολόγησης	Ακρίβεια 72.39% (Random Forest, Gradient Boosted Machine)
[117]	19	Δεδομένα από βιντεοκάμερες, επιταχυνσιόμετρα, οθόνες αφής	Παιχνίδι με αριθμητικούς υπολογισμούς	Διερεύνηση της μεταβολής των παραμέτρων λόγω στρες	Σταστικό τεστ Mann-Whitney-Wilcoxon	Βασισμένη στις φάσεις του πρωτοκόλλου	Οι περισσότερες παράμετροι εμφάνισαν στατιστικά

		ευαίσθητες στην πίεση					σημαντική διαφορά μεταξύ των διαφορετικών φάσεων
[118]	28	Κατανομή πίεσης	MIST	Διάκριση στρες και ήπιου γνωστικού φορτίου	Ταξινομητής SOM	Βασισμένη στις φάσεις του πρωτοκόλλου	Ακρίβεια 73.75%
[119]	14	Στάση σώματος, Εκφράσεις προσώπου	Αριθμητικές πράξεις με χρονικό περιορισμό	Ανίχνευση στρες	SVM	Ερωτηματολόγιο αυτοαξιολόγησης	Ακρίβεια 77%
[120]	60	Δεδομένα δυναμικής του πληκτρολογίου και του ποντικιού του ηλεκτρονικού υπολογιστή	Αριθμητικές πράξεις με χρονικό περιορισμό	Ανίχνευση στρες	Στατιστικό τεστ Multivariate Analysis of Variance (MANOVA)	Ερωτηματολόγιο αυτοαξιολόγησης	Οι περισσότερες παράμετροι εμφάνισαν στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των διαφορετικών φάσεων
[121]	24	Δεδομένα δυναμικής του πληκτρολογίου του ηλεκτρονικού υπολογιστή	Γνωστικά και σωματικά απαιτητικές εργασίες	Ανίχνευση γνωστικού και σωματικού στρες	Δέντρο απόφασης, SVM, kNN, AdaBoost, ANN	Ερωτηματολόγιο αυτοαξιολόγησης	Ακρίβεια 75% (γνωστικό στρες) και 62.5% (σωματικό στρες)
[122]	20	Δεδομένα δυναμικής του πληκτρολογίου του ηλεκτρονικού υπολογιστή	Αριθμητικές πράξεις με χρονικό περιορισμό	Ανίχνευση στρες	Στατιστικό τεστ Wilcoxon Signed Rank Test	Ερωτηματολόγιο αυτοαξιολόγησης	Οι περισσότερες παράμετροι εμφάνισαν στατιστικά σημαντική διαφορά <0.1

3.4.3 Μελέτες με συνδυασμό φυσιολογικών και συμπεριφορικών παραμέτρων

Το στρες είναι υποκειμενικό και εκφράζεται με πολλούς τρόπους. Εκμεταλλευόμενες το γεγονός αυτό, πολλές μελέτες της διεθνούς βιβλιογραφίας στράφηκαν στην ανάπτυξη συστημάτων που βασίζονται στην ανάλυση συνδυασμού διαφορετικών παραμέτρων, φυσιολογικών και συμπεριφορικών. Τις περισσότερες φορές, όπως θα δούμε στη συνέχεια, αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ακριβέστερη και πιο αποτελεσματική ανίχνευση του στρες. Στα συστήματα αυτά μπορεί να συνυπάρχουν πολλές φορές και ψυχολογικές παράμετροι, όπως είναι τα ερωτηματολόγια, που είτε ενισχύουν την πολυτροπική ανάλυση είτε χρησιμοποιούνται για την επαλήθευση των αποτελεσμάτων. Παρακάτω παρουσιάζονται συνοπτικά κάποιες από τις πιο αξιοσημείωτες έρευνες της βιβλιογραφίας που χρησιμοποιούν συνδυασμό φυσιολογικών και συμπεριφορικών παραμέτρων για την ανίχνευση και την πρόβλεψη στρες, κυρίως κατά τη διάρκεια της εργασίας.

Στη μελέτη [123] οι ερευνητές επικεντρώθηκαν στην ανάπτυξη αυτόματων ταξινομητών για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τις συνθήκες εργασίας και τις σχετικές με το στρες ψυχικές καταστάσεις, μέσω ενός πολυτροπικού συνόλου δεδομένων μη επεμβατικών αισθητήρων. Τα δεδομένα περιλάμβαναν φυσιολογικές μετρήσεις σχετικές με τον καρδιακό παλμό και την εφίδρωση του δέρματος και συμπεριφορικές μετρήσεις σχετικές με τις εκφράσεις του προσώπου, τη στάση σώματος και τη διάδραση με τον ηλεκτρονικό υπολογιστή. Ως κυρίαρχοι στρεσογόνοι παράγοντες επιλέχθηκαν η πίεση του χρόνου και η διακοπή της ροής εργασίας μέσω παρεμβάσεων με μηνύματα ηλεκτρονικού ταχυδρομείου. Αντιμετωπίστηκαν δύο μεθοδολογικές και εφαρμοσμένες προκλήσεις μηχανικής μάθησης: η ανίχνευση του εργασιακού στρες με τη χρήση πολλών μη επεμβατικών αισθητήρων και η συνεκτίμηση των ατομικών διαφορών μεταξύ των συμμετεχόντων. Η σύγκριση διαφόρων προσεγγίσεων ταξινόμησης έδειξε ότι οι ουδέτερες και οι στρεσογόνες συνθήκες εργασίας μπορούν να διακριθούν με ακρίβεια 90%, μέσω SVM. Η στάση του σώματος φάνηκε να αποδίδει τις πιο πολύτιμες πληροφορίες σχετικά με το στρες, ακολουθούμενη από τις εκφράσεις του προσώπου. Επιπλέον, διαπιστώθηκε ότι η υποκειμενική μεταβλητή της «νοητικής προσπάθειας» μπορεί να προβλεφθεί

καλύτερα από τα δεδομένα των αισθητήρων απ' ό,τι, π.χ., το «αντιληπτό στρες». Οι ερευνητές, τέλος, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι, ειδικά για την εκτίμηση των ψυχικών καταστάσεων, έχει νόημα να εξετάζονται οι ατομικές διαφορές. Όταν εκπαιδεύτηκαν μοντέλα σε συγκεκριμένες υποομάδες παρόμοιων χρηστών, σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις, ένα εξειδικευμένο μοντέλο είχε εξίσου καλή ή καλύτερη απόδοση από ένα γενικό μοντέλο.

Στη μελέτη [124] τα φυσιολογικά σήματα EDA, HR και BVP μελετήθηκαν σε συνδυασμό με τις καταγραφές των κινήσεων των ματιών και την κατανομή της πίεσης σε αισθητήρες τοποθετημένους σε επιφάνειες ενός χώρου γραφείου, με σκοπό την αναγνώριση του εργασιακού στρες. Σκοπός της υλοποίησης ήταν η συστηματική μελέτη και σύγκριση μεταξύ των διαφορετικών τύπων χαρακτηριστικών και παραμέτρων. Τα αποτελέσματα ήταν αρκετά ενθαρρυντικά χρησιμοποιώντας το σύνολο των δεδομένων, ενώ παράλληλα έδειξαν ότι, ειδικά στην περίπτωση της μελέτης που γίνεται ανεξάρτητα από το υποκείμενο, οι αισθητήρες κατανομής πίεσης οδήγησαν σε υψηλότερα ποσοστά ακρίβειας σε σχέση με τους υπόλοιπους.

Οι Giakoumis et al. [125] ερεύνησαν το κατά πόσο η προσθήκη ανάλυσης συμπεριφορικών παραμέτρων μπορεί να βελτιώσει την ακρίβεια ενός συστήματος ανίχνευσης στρες που βασίζεται σε ευρέως χρησιμοποιούμενες φυσιολογικές μετρήσεις. Για τους σκοπούς της μελέτης, διεξήχθη ένα πείραμα που χρησιμοποίησε ένα πρωτόκολλο πρόκλησης στρες βασισμένο στο Stroop Color Word Test. Κατά τη διάρκεια του πειράματος, συλλέχθηκαν καταγραφές βίντεο, επιταχυνσιομέτρου και βιοσημάτων ECG και EDA από δεκαεννέα συμμετέχοντες. Στη συνέχεια, διεξήχθη μια διερευνητική μελέτη, ακολουθώντας μια μεθοδολογία που βασίζεται κυρίως σε χωροχρονικά χαρακτηριστικά που εξάγονται από ακολουθίες βίντεο. Η πειραματική αξιολόγηση έδειξε ότι αρκετά από τα χαρακτηριστικά συμπεριφοράς συσχετίζονται σημαντικά με το αυτοαναφερόμενο άγχος. Επιπλέον, διαπιστώθηκε ότι η χρήση των χαρακτηριστικών αυτών μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την απόδοση των τυπικών συστημάτων αυτόματης ανίχνευσης στρες, που συνήθως βασίζονται στην επεξεργασία βιοσημάτων.

Στην εργασία [126] παρουσιάστηκε μια υλοποίηση για την αξιολόγηση της εμπειρίας άγχους των ανθρώπων, χρησιμοποιώντας χαρακτηριστικά που

προέρχονται από smartphones και φορητές ζώνες στήθους. Ειδικότερα, χρησιμοποιήθηκαν πληροφορίες που προήλθαν από τον ήχο, τη σωματική δραστηριότητα και τα δεδομένα επικοινωνίας που συλλέγονταν κατά τη διάρκεια της εργάσιμης ημέρας μέσω του κινητού τηλεφώνου, καθώς και από τις μετρήσεις HRV που συλλέγονταν τη νύχτα κατά τη διάρκεια του ύπνου, για τη δημιουργία πολυωνυμικών μοντέλων λογιστικής παλινδρόμησης. Το σύστημα αξιολογήθηκε σε ένα πραγματικό εργασιακό περιβάλλον και σε καθημερινά σενάρια ρουτίνας εργαζομένων για μια περίοδο τεσσάρων μηνών. Προκειμένου να εκτιμηθεί η ακρίβεια πρόβλεψης, εκπαιδεύτηκαν μοντέλα που χρησιμοποιούσαν μόνο μια κατηγορία δεδομένων, καθώς και συνδυασμό αυτών, τόσο για κάθε χρήστη ξεχωριστά όσο και για όλους τους συμμετέχοντες. Χρησιμοποιώντας μόνο τα χαρακτηριστικά μέσω smartphone, η ακρίβεια ήταν 55% και χρησιμοποιώντας μόνο χαρακτηριστικά HRV έφτασε το 59%. Ο συνδυασμός όλων των χαρακτηριστικών οδήγησε σε ποσοστό ακρίβειας 61% για το πρόβλημα ταξινόμησης στρες σε τρία επίπεδα (χαμηλό, μέτριο και υψηλό αντιληπτό άγχος).

Στην εργασία [127] εισάγεται μια νέα μεθοδολογία ως προς την εκτίμηση του στρες. Συγκεκριμένα, αφού αρχικά συλλέχθηκαν, μέσω ειδικά διαμορφωμένου πειραματικού πρωτοκόλλου, δεδομένα που αφορούσαν τη στάση σώματος, τις εκφράσεις του προσώπου και τα βιοσήματα BVP, HR και HRV των συμμετεχόντων, αποκτήθηκαν τρεις διαφορετικές αξιολογήσεις του στρες: αυτοαξιολόγηση μέσω ερωτηματολογίων, αξιολόγηση από εξωτερικούς παρατηρητές που παρακολούθησαν τα βίντεο του πειράματος και αξιολόγηση από εμπειρογνώμονα φυσιολογίας. Τελικά έγινε εξαγωγή ενός συνόλου συμπεριφορικών και φυσιολογικών χαρακτηριστικών και αξιολογήθηκε η προγνωστική τους δύναμη για τις τρεις αξιολογήσεις μέσω διαδικασίας ταξινόμησης, οδηγώντας σε μέσες τιμές F1 score έως και 0,85. Διερευνώντας τη σύνθεση των καλύτερων επιλεγμένων υποσυνόλων χαρακτηριστικών και τις επιδόσεις ταξινόμησης των επιμέρους χαρακτηριστικών, φάνηκε ότι αρκετά χαρακτηριστικά παρέχουν πολύτιμες πληροφορίες για την κατηγοριοποίηση των τριών αξιολογήσεων. Τέτοια χαρακτηριστικά ήταν κυρίως αυτά που σχετίζονται με την κίνηση του σώματος και τα

σήματα BVP και HR. Από μεθοδολογική άποψη, οι ερευνητές κατέληξαν ότι μια προσέγγιση πολλαπλών αξιολογήσεων παρέχει πιο αξιόπιστα αποτελέσματα.

Στη μελέτη [128], επιχειρήθηκε ο συνδυασμός χαρακτηριστικών που εξήχθησαν από εικόνες θερμικής απεικόνισης και φυσιολογικών δεδομένων, με σκοπό την ανίχνευση στρες. Οι ερευνητές σχεδίασαν και εφάρμοσαν ένα νέο πειραματικό πρωτόκολλο που βασιζόταν σε ψυχολογικούς στρεσογόνους παράγοντες και περιλάμβανε σενάρια, όπου τα υποκείμενα μιλούσαν ελεύθερα για συγκεκριμένα ζητήματα ή απαντούσαν ερωτήσεις σχετικά με ένα θέμα. Τα δεδομένα των συμμετεχόντων επισημάνθηκαν μέσω ερωτηματολογίων αυτοαναφοράς και χρησιμοποιήθηκαν για την εκπαίδευση ταξινομητή δέντρου απόφασης. Η ακρίβεια του τελικού συστήματος έφτασε το 75%.

Οι Alberdi et al. στη μελέτη [129] επικεντρώθηκαν στην έννοια του «έξυπνου γραφείου», το οποίο έχει οριστεί ως ένα περιβάλλον που μπορεί να προσαρμόζεται στις ανάγκες των χρηστών, να αποφορτίζει τους χρήστες από τη ρουτίνα εργασιών που πρέπει να εκτελούν, να μεταβάλλεται, ώστε να ταιριάζει στις προτιμήσεις των εργαζόμενων, και να δίνει πρόσβαση στις υπηρεσίες που είναι διαθέσιμες κάθε στιγμή μέσω προσαρμοσμένων διεπαφών. Καθώς ένα μεγάλο ποσοστό των εργαζόμενων δραστηριοποιείται σε περιβάλλον γραφείου, τα «έξυπνα γραφεία» αντιπροσωπεύουν μια χρήσιμη υποδομή για τη συνεχή παρακολούθηση της συμπεριφοράς και του επιπέδου στρες τους με απόλυτα διαφανή τρόπο, συλλέγοντας πραγματικά δεδομένα από την εργασιακή ζωή καθ' όλη τη διάρκεια της εργάσιμης ημέρας. Ως εκ τούτου, παρέχουν μια εναλλακτική ώστε να ξεπεραστούν τα κύρια μειονεκτήματα των συνήθων μεθόδων αξιολόγησης. Τα δεδομένα της εργασίας των Alberdi et al. προήλθαν από τη βάση δεδομένων της μελέτης [123], ενώ κατά την ανάλυση και την πρόβλεψη δόθηκε έμφαση στην χρονική εξέλιξη του φαινομένου του στρες και όχι σε στιγμιότυπα των συμπτωμάτων. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα μοτίβα χρήσης του ηλεκτρονικού υπολογιστή, μαζί με χαρακτηριστικά της στάσης και της κίνησης του σώματος, είναι οι καλύτεροι προγνωστικοί παράγοντες για το εργασιακό στρες. Επίσης αναδείχθηκε η σημασία κανονικοποίησης των αποτελεσμάτων των ερωτηματολογίων αυτοαξιολόγησης και η

καταλληλότητα του NASA-TLX ερωτηματολογίου για την εκτίμηση του φόρτου εργασίας.

Η ίδια βάση δεδομένων που προέκυψε από τη μελέτη [123] χρησιμοποιήθηκε, επίσης, από τους ερευνητές στη μελέτη [130], οι οποίοι εκπαίδευσαν ατομικά μοντέλα ταξινόμησης του στρες με βάση τεχνητά νευρωνικά δίκτυα. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν οδήγησαν στο συμπέρασμα ότι η στάση του σώματος είναι ο καλύτερος δείκτης του στρες. Εφαρμόστηκαν τόσο πρώιμες όσο και όψιμες τεχνικές που βασίζονται στη συγχώνευση πολυτροπικών δεδομένων, με αποτέλεσμα η ακρίβεια του συστήματος να φτάσει έως και 96%.

Στη μελέτη [131] έγινε χρήση ενός κοινωνιομετρικού αισθητήρα, μιας μικρής συσκευής που φοριέται γύρω από το λαιμό και είναι εξοπλισμένη με ένα μικρόφωνο για την καταγραφή ομιλίας, και ενός επιταχυνσιομέτρου για τον προσδιορισμό της κίνησης και της στάσης σώματος. Τα συμπεριφορικά αυτά δεδομένα καταγράφηκαν ταυτόχρονα με τα φυσιολογικά σήματα EDA, PPG και HRV (από φορητή συσκευή στο χέρι) κατά τη διάρκεια πειράματος, όπου οι συμμετέχοντες υποβλήθηκαν στο πρωτόκολλο πρόκλησης στρες TSST. Ταξινομητές SVM, AdaBoost και kNN εκπαιδεύτηκαν τόσο μεμονωμένα για κάθε κατηγορία παραμέτρων όσο και για το συνδυασμό αυτών. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η μεγαλύτερη ακρίβεια (94%) επιτυγχάνεται με τον ταξινομητή AdaBoost για το συνδυασμό φυσιολογικών και συμπεριφορικών χαρακτηριστικών.

Οι Naegelin et al. [132] διεξήγαγαν ένα πείραμα προσομοίωσης του περιβάλλοντος γραφείου, κατά τη διάρκεια του οποίου συνέλεξαν δεδομένα από τη χρήση του πληκτρολογίου και του ποντικιού του ηλεκτρονικού υπολογιστή και μετρήσεις HRV από μία συσκευή ηλεκτροκαρδιογραφήματος. Εκπαίδευσαν μοντέλα μηχανικής μάθησης βασισμένα στους αλγόριθμους SVM, Random Forest και LightGBM με σκοπό την ανίχνευση τριών επιπέδων αντιλαμβανόμενου στρες, διέγερσης και έντασης. Τα αποτελέσματά τους έδειξαν ότι ο συνδυασμός των χαρακτηριστικών της δυναμικής του πληκτρολογίου και του ποντικιού είναι καλύτερος δείκτης επαγγελματικού στρες απ' ό,τι η μεταβλητότητα του καρδιακού ρυθμού.

Ο **Πίνακας 3** παρουσιάζει τις έρευνες που βασίστηκαν στη συνδυαστική ανάλυση φυσιολογικών και συμπεριφορικών παραμέτρων για την παρακολούθηση και ανίχνευση του στρες.

Πίνακας 3 Συγκεντρωτικός πίνακας μελετών αυτόματης ανίχνευσης στρες που χρησιμοποιούν συνδυασμό φυσιολογικών και συμπεριφορικών παραμέτρων.

Μελέτη	Συμμετέχοντες	Παράμετροι	Στρεσογόνος παράγοντας	Στόχος	Ανάλυση / Ταξινόμηση	Επισήμανση	Επικύρωση
[123]	25	Δεδομένα δυναμικής του πληκτρολογίου και του ποντικιού του ηλεκτρονικού υπολογιστή, εκφράσεις προσώπου, στάση σώματος, ECG, EDA	Εργασίες με τη χρήση του ηλεκτρονικού υπολογιστή με περιορισμό χρόνου και διακοπές μέσω email	Ανίχνευση στρες, εκτίμηση ψυχικών καταστάσεων εργαζόμενων	Αλγόριθμοι κοντινότερων γειτόνων, Μπεϋζιανοί ταξινομητές, SVM, ANN, δέντρα αποφάσεων, μοντέλα γραμμικής παλινδρόμησης	Ερωτηματολόγια NASA-TLX και SAM, Ερωτηματολόγιο Rating Scale Mental Effort (RSME), Ερωτηματολόγιο για αυτοαντιλαμβανόμενο στρες	Ακρίβεια 90% στην ανίχνευση στρες (SVM), η «νοητική προσπάθεια» μπορεί να προβλεφθεί καλύτερα από ένα δέντρο αποφάσεων (συσχέτιση 0,82).
[124]	10	Κατανομή πίεσης, HR, BVP, SC, κινήσεις του ματιού	Εργασίες με τη χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή (Stroop Color Word Test, κατανόηση κειμένου)	Διάκριση καταστάσεων ηρεμίας, συγκέντρωσης και στρες	LDA, kNN, SVM, Αλγόριθμος ασαφούς λογικής	Βασισμένη στις φάσεις του πρωτοκόλλου	Τα χαρακτηριστικά από την κατανομή πίεσης εμφάνισαν υψηλότερα ποσοστά ακρίβειας απ' ότι οι φυσιολογικές παράμετροι
[125]	21	Δεδομένα στάσης και κίνησης σώματος από βίντεο και	Stroop Color Word Test	Ανίχνευση στρες	LDA, ιεραρχική παλινδρόμηση	Ερωτηματολόγιο SAM, Ερωτηματολόγιο για αυτοαντιλαμβανόμενο στρες	Ακρίβεια 83,05% (αλήθεια εδάφους το ερωτηματολόγιο για αυτοαντιλαμβανόμενο στρες) και 78,57%

		επιταχυνσιόμετρο, GSR, ECG					(αλήθεια εδάφους το ερωτηματολόγιο SAM)
[126]	35	Δεδομένα απο smartphone, HRV	Κανέναν	Διάκριση τριών επιπέδων στρες	Μοντέλα πολυωνυμικής λογιστικής παλινδρόμησης	Ερωτηματολόγιο Positive and Negative Affect Schedule (PANAS)	Υψηλότερη ακρίβεια 61%
[127]	25	BVP, HR, HRV, GSR, EMG, αναπνοή, εκφράσεις προσώπου, κινήσεις σώματος	Αριθμητικές πράξεις με χρονικό περιορισμό	Ανίχνευση στρες	SVM	Ερωτηματολόγιο για αυτοαντιλαμβανόμενο στρες, Αξιολόγηση μέσω της πλατφόρμας CroudFlower, Αξιολόγηση από ειδικό φυσιολογίας	F1 σκορ <= 0.85
[128]	50	BVP, SC, ST, αναπνοή, χαρακτηριστικά θερμικής απεικόνισης	Πρωτόκολλο με σενάρια ομιλίας και απαντήσεων σε ερωτήσεις	Ανίχνευση στρες	Δέντρα αποφάσεων	Ερωτηματολόγιο για αυτοαντιλαμβανόμενο στρες	Υψηλότερη ακρίβεια 75%
[129]	-	Δεδομένα της βάσης δεδομένων της μελέτης [123]	-	Ανίχνευση στρες	SVM, δέντρα αποφάσεων, Naive Bayes, AdaBoost, SMOTEBoost, RUSBoost	Δεδομένα της βάσης δεδομένων της μελέτης [123]	Τα δεδομένα χρήσης του υπολογιστή σε συνδυασμό με τη στάση του σώματος είναι οι καλύτεροι προγνωστικοί παράγοντες για τα επίπεδα άγχους και ψυχικού φόρτου εργασίας, καθώς και για την αλλαγή των

							συνθηκών φόρτου εργασίας
[130]	-	Δεδομένα της βάσης δεδομένων της μελέτης [123]	-	Ανίχνευση στρες	ANN	Δεδομένα της βάσης δεδομένων της μελέτης [123]	Υψηλότερη ακρίβεια 96,09%
[131]	18	EDA, PPG, HRV, στάση σώματος, κίνηση σώματος, ομιλία	TSST	Ανίχνευση στρες	SVM, AdaBoost, k-NN	Ερωτηματολόγιο STAI	Υψηλότερη ακρίβεια 94%
[132]	90	HRV, Δεδομένα δυναμικής του πληκτρολογίου και του ποντικιού του ηλεκτρονικού υπολογιστή	Παραλλαγή του TSST	Ανίχνευση επιπέδων στρες, διέγερσης και έντασης	SVM, Random Forest, LightGBM	Ερωτηματολόγιο SAM, ερωτηματολόγιο Multidimensional Mood State Questionnaire (MDMQ), ερωτηματολόγιο Primary Appraisal Secondary Appraisal (PASA), επίπεδα κορτιζόλης στο σάλιο	F1 σκορ 0,625, 0,631 και 0,775 για την πρόβλεψη αντιλαμβανόμενου στρες, διέγερσης και έντασης αντίστοιχα

Κεφάλαιο 4

Ανάπτυξη συσκευής για την αυτόματη ανίχνευση εργασιακού στρες

4.1 Εισαγωγή

Μέσω της μελέτης των ερευνητικών εξελίξεων στον τομέα της αυτόματης ανίχνευσης στρες, προκύπτει η υπεροχή εφαρμογών που αξιοποιούν μετρήσεις διαφορετικού τύπου και πηγής και δε διαταράσσουν τη ρουτίνα και τις συνήθειες των χρηστών. Οι έξυπνες συσκευές, αποτέλεσμα της ταχύτατης ανάπτυξης του IoT τομέα, έχουν τη δυνατότητα να συμβάλουν καθοριστικά σε αυτήν την κατεύθυνση.

Στα πλαίσια του κύριου στόχου της παρούσας ερευνητικής εργασίας, δηλαδή της ανάπτυξης και εφαρμογής ενός μη επεμβατικού πολυτροπικού συστήματος για την ανίχνευση του εργασιακού στρες σε χώρο γραφείου, σχεδιάστηκε και αναπτύχθηκε μία συσκευή έξυπνου ποντικιού ηλεκτρονικού υπολογιστή. Η δομή της προτεινόμενης συσκευής αποτελείται από έναν αισθητήρα PPG, έναν αισθητήρα GSR και μια πλακέτα ανάπτυξης που περιλαμβάνει έναν μικροελεγκτή με δυνατότητα επικοινωνίας μέσω Wi-Fi. Όλα τα εξαρτήματα ενσωματώνονται σε ένα εμπορικά διαθέσιμο, ενσύρματο ποντίκι ηλεκτρονικού υπολογιστή. Σκοπός της ανάπτυξης του συγκεκριμένου συστήματος είναι ο προσδιορισμός του επιπέδου στρες των χρηστών, μέσω της συνδυαστικής ανάλυσης των συμπεριφορικών παραμέτρων που καταγράφονται από τη χρήση του ποντικιού ηλεκτρονικού υπολογιστή κατά τη ρουτίνα εργασίας και των φυσιολογικών σημάτων που καταγράφονται από τους αισθητήρες που είναι πλήρως ενσωματωμένοι σε αυτό.

Στη διεθνή βιβλιογραφία συναντώνται παρόμοιες ερευνητικές εργασίες που έχουν πραγματοποιηθεί στο παρελθόν και αφορούν την τοποθέτηση αισθητήρων στο ποντίκι του υπολογιστή για διάφορους σκοπούς. Οι Lin et al. [133] τοποθέτησαν πολλαπλούς αισθητήρες PPG στην επιφάνεια του ποντικιού και εφάρμοσαν μια μέθοδο σταθμισμένου μέσου όρου για την ακριβή ανίχνευση των κορυφών του σήματος, υποδηλώνοντας ότι το εργαλείο αυτό θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για

την έγκαιρη ανίχνευση παθολογιών, όπως είναι οι καρδιαγγειακές παθήσεις. Οι Tran και Chung [134] σχεδίασαν ένα ασύρματο ποντίκι με αισθητήρα PPG και έναν πομπό Bluetooth και πρότειναν έναν ανθεκτικό (robust) αλγόριθμο ανίχνευσης κορυφών του λαμβανόμενου σήματος για την αντιμετώπιση των τεχνουργημάτων κίνησης. Στη μελέτη [135], χαρακτηριστικά της μεταβλητότητας του καρδιακού ρυθμού εξήχθησαν από αισθητήρες PPG, τοποθετημένους σε ποντίκι υπολογιστή. Στόχος της μελέτης αυτής ήταν η εκτίμηση του ψυχικού στρες κατά τη διάρκεια της εργασίας γραφείου, αλλά, απ' όσο γνωρίζουμε, η συσκευή δεν επικυρώθηκε σε αυτό το πλαίσιο. Στο [136], παρουσιάστηκε μια μακέτα ενός ποντικιού υπολογιστή με ενσωματωμένους αισθητήρες μέτρησης του καρδιακού ρυθμού, της δερματικής αγωγιμότητας, της θερμοκρασίας του δέρματος και της δύναμης της λαβής. Το ποντίκι υπολογιστή προτάθηκε ως μέρος ενός έργου που είχε ως στόχο να βοηθήσει τους ηλικιωμένους να παραμείνουν ενεργοί στον χώρο εργασίας. Περιεγράφηκε ένας πιθανοτικός αλγόριθμος ταξινόμησης και ένα σενάριο χρήσης, αλλά δεν βρέθηκε καμία μεταγενέστερη εργασία από μέρος μας για την επικύρωσή τους. Από την άλλη πλευρά, οι Kaklauskas et al. [76] ανέπτυξαν και δοκίμασαν ένα βιομετρικό συμβουλευτικό σύστημα που βασίζεται στο ποντίκι ηλεκτρονικού υπολογιστή για τον υπολογισμό της παραγωγικότητας της εργασίας και του επιπέδου συναισθηματικής κατάστασης των χρηστών. Η συσκευή που σχεδιάστηκε περιλάμβανε αισθητήρες που μετρούσαν την αγωγιμότητα του δέρματος, τον καρδιακό ρυθμό, την ένταση της αφής, τη θερμοκρασία και την υγρασία του χεριού του χρήστη. Ο Πίνακας 4 παρουσιάζει μια επισκόπηση των παραπάνω μελετών.

Πίνακας 4 Μελέτες με συστήματα αισθητήρων ενσωματωμένα σε ποντίκια ηλεκτρονικών υπολογιστών.

Μελέτη	Συμμετέ- χοντες	Μετρούμενα μεγέθη	Σκοπός	Μέθοδοι	Αποτελέσματα
[133]	21	PPG	Ανίχνευση καρδιακού παλμού	Μέθοδος σταθμισμένου μέσου όρου	Ευαισθησία: 99,71% - κατάσταση ηρεμίας, 94,24% - αργή κίνηση του ποντικιού του υπολογιστή,

					84,36% - γρήγορη κίνηση του ποντικιού, 89,04% - περιήγηση
[134]	10	PPG	Ανίχνευση κορυφών PPG	Ανθεκτικός αλγόριθμος ανίχνευσης κορυφών	Απόλυτο σφάλμα εκτίμησης: 1,88 παλμούς ανά λεπτό, Μέγιστο μέσο σφάλμα: 3.1%
[135]	5	PPG	Εποπτεία ψυχικού στρες	Ενίσχυση, φιλτράρισμα και ψηφιοποίηση σήματος	Συντελεστές συσχέτισης r^2 μεταξύ των επιφανειών ποντικιού και του αισθητήρα σημείου: 0,97 και 0,99, αντίστοιχα
[136]	-	HR, GSR, θερμοκρασία, δύναμη λαβής	Ανίχνευση στρες	Πιθανοτικός αλγόριθμος βασισμένος σε Bayes	-
[76]	239	HR, SC, θερμοκρασία, υγρασία, ένταση υφής	Ανίχνευση της εξάρτησης του στρες από φυσιολογικές παραμέτρους	Γραμμική παλινδρόμηση	Η διαστολική αρτηριακή πίεση, η συστολική αρτηριακή πίεση και η θερμοκρασία αποτελούν προγνωστικούς δείκτες των επιπέδων στρες (p -values $\rightarrow 0$)

Το προτεινόμενο σύστημα της παρούσας μελέτης στοχεύει να αποτελέσει μια απλή και εύχρηστη συσκευή που παρακολουθεί και ανιχνεύει το επαγγελματικό στρες στο περιβάλλον γραφείου και μπορεί εύκολα να προσαρμοστεί στους νέους κανόνες εργασίας, που υποκινούνται από τον μετασχηματισμό του παραδοσιακού εργασιακού περιβάλλοντος. Στις ενότητες που ακολουθούν παρουσιάζονται λεπτομερώς η αρχιτεκτονική του συστήματος και τα στοιχεία υλικού και λογισμικού που αυτό περιλαμβάνει.

4.2 Υλικό

4.2.1 Αισθητήρας PPG

Οι συμβατικοί αισθητήρες PPG αποτελούνται από δύο κύρια στοιχεία: διόδους εκπομπής φωτός (light-emitting diodes-LEDs) και φωτοανιχνευτές. Οι διόδοι που χρησιμοποιούνται πιο συχνά ως κύρια πηγή φωτός είναι η δίοδος πράσινου χρώματος ή η υπέρυθρη δίοδος εκπομπής φωτός (IR-LED). Οι IR-LEDs χρησιμοποιούνται συνήθως για τη μέτρηση της ροής του αίματος που είναι πιο βαθιά συγκεντρωμένο σε ορισμένα μέρη του σώματος, όπως στους μύες, ενώ το πράσινο φως χρησιμοποιείται συνήθως για τον υπολογισμό της απορρόφησης της οξυαιμοσφαιρίνης (οξυγονωμένο αίμα) και της δεοξυαιμοσφαιρίνης (αίμα χωρίς παρουσία οξυγόνου). Αν και υπάρχουν και άλλοι αισθητήρες τεχνολογίας LED, με διαφορετικά χρώματα για τη μέτρηση της αιμοσφαιρίνης, το πράσινο LED θεωρείται το πιο συχνά χρησιμοποιούμενο. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι διεισδύει βαθύτερα στον ιστό και, επομένως, μπορεί να παρέχει μετρήσεις με μεγαλύτερη ακρίβεια. Οι φωτοανιχνευτές, από την πλευρά τους, ανιχνεύουν τις ογκομετρικές μεταβολές του αίματος από την καρδιακή πίεση, απορροφώντας τον φωτισμό από τα LEDs μέσω του δέρματος. Το μη επεμβατικό και οπτικό σύστημα μέτρησης που προκύπτει, επιτρέπει σε ένα σήμα PPG να παρακολουθεί την υποογκαιμία, την αναπνοή, τον καρδιακό ρυθμό και άλλες κυκλοφορικές καταστάσεις.

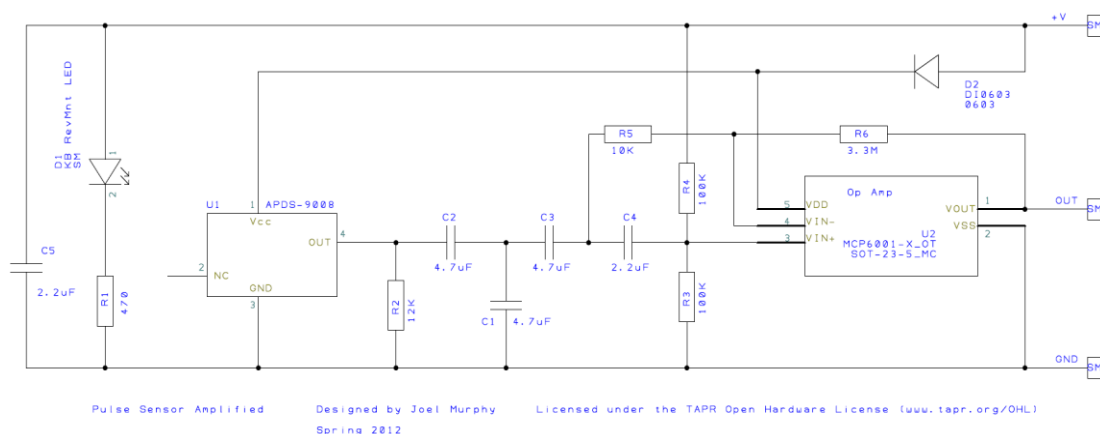
Το σήμα PPG μπορεί να αποκτηθεί σε λειτουργία μετάδοσης ή ανάκλασης. Στη λειτουργία μετάδοσης ανιχνεύεται το φως που διαδίδεται στο μέσο (ιστός, οστό ή/και αιμοφόρα αγγεία), ενώ η πηγή εκπομπής και ο φωτοανιχνευτής βρίσκονται σε αντιδιαμετρικές θέσεις. Στη λειτουργία ανάκλασης ανιχνεύεται το οπισθοσκεδαζόμενο ή ανακλώμενο φως και η πηγή εκπομπής με τον φωτοανιχνευτή βρίσκονται στην ίδια πλευρά.

Ο αισθητήρας PPG που επιλέχθηκε για την παρούσα μελέτη είναι ο Pulse Sensor της World Famous Electronics LLC (Νέα Υόρκη, ΗΠΑ) (**Εικόνα 4**). Είναι κατασκευασμένος σε κυκλική πλακέτα τυπωμένου κυκλώματος (printed circuit board-PCB) με διάμετρο 16 mm και πάχος 3 mm. Στη μία πλευρά της πλακέτας, υπάρχει μια οπίσθια τοποθετημένη πράσινη λυχνία LED, καθώς και τα απαιτούμενα ηλεκτρονικά εξαρτήματα για το φιλτράρισμα και την ενίσχυση του σήματος. Στην

άλλη πλευρά της πλακέτας υπάρχει ο αισθητήρας ανίχνευσης του περιβάλλοντος φωτισμού Broadcom APDS-9008. Κατά τη χρήση του αισθητήρα, το LED φωτίζει αρχικά το δέρμα μέσω μιας οπής στην πλακέτα και ο αισθητήρας φως λαμβάνει το ανακλώμενο σήμα που εκφράζει τις μεταβολές των καρδιακών παλμών. Στη συνέχεια, το σήμα περνάει από ένα δίκτυο παθητικών φίλτρων αντιστάτη-πυκνωτή (resistor-capacitor – RC) για τη μείωση του θορύβου. Ακολουθεί ένας τελεστικός ενισχυτής, όπου το σήμα ενισχύεται και μετατοπίζεται ως προς τη στάθμη του, προκειμένου να χρησιμοποιηθεί ως τάση αναφοράς η μισή τάση τροφοδοσίας ($V_{cc}/2$). Ως εκ τούτου, το τελικό σήμα εξόδου είναι κατάλληλο για περαιτέρω επεξεργασία από τον μικροελεγκτή, αφού έχει αποθρομβοποιηθεί, ενισχυθεί και προσαρμόσει στην προτιμώμενη περιοχή τάσης [0, 5V] ή [0, 3.3V]. Το σχηματικό διάγραμμα του κυκλώματος του αισθητήρα Pulse Sensor παρουσιάζεται στην **Εικόνα 5**.



Εικόνα 4 Ο αισθητήρας Pulse Sensor της εταιρείας World Famous Electronics LLC.

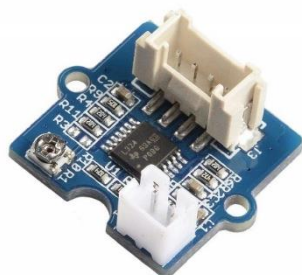


Εικόνα 5 Το σχηματικό διάγραμμα του κυκλώματος του PPG αισθητήρα Pulse Sensor.

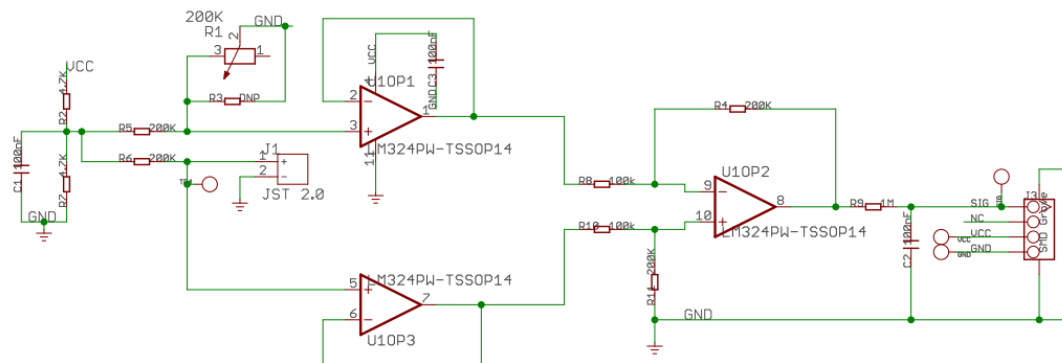
4.2.2 Αισθητήρας GSR

Ο αισθητήρας GSR που χρησιμοποιείται στο προτεινόμενο σύστημα είναι ο Grove-GSR της εταιρίας Seeed (Shenzhen, Κίνα) (**Εικόνα 6**). Αποτελείται από δύο ηλεκτρόδια σε σχήμα δίσκου και μια πλακέτα PCB (20 mm x 20 mm) που περιέχει τα απαιτούμενα ηλεκτρονικά εξαρτήματα. Όταν δεν υπάρχει επαφή με τα ηλεκτρόδια, η έξοδος του αισθητήρα GSR είναι ίση με την τάση αναφοράς. Από την άλλη πλευρά, όταν τα δύο ηλεκτρόδια έρχονται σε επαφή με το δέρμα, αυτό διαρρέεται από ένα μικρό ρεύμα, με αποτέλεσμα να είναι δυνατή η μέτρηση της αντίστασής του. Οποιαδήποτε μεταβολή της αντίστασης του δέρματος, π.χ. λόγω ιδρώτα, οδηγεί σε μεταβολή της εξόδου του αισθητήρα.

Το κύκλωμα της πλακέτας PCB του αισθητήρα είναι απλό (**Εικόνα 7**). Η ευαισθησία του αισθητήρα ρυθμίζεται μέσω ενός ποτενσιόμετρου. Οι διαιρέτες τάσης του κυκλώματος ρυθμίζουν την τάση τροφοδοσίας στα επίπεδα που χρειάζονται τα επιμέρους τμήματα του κυκλώματος. Παράλληλα, η παρουσία πυκνωτών εξομαλύνει τις διακυμάνσεις της τάσης, ώστε να παρέχεται σταθερή τροφοδοσία στο κύκλωμα. Η τοποθέτηση των τελεστικών ενισχυτών, οι οποίοι είναι σε συνδεσμολογία ακολουθητή, επιτρέπει την "απομόνωση" των επόμενων σταδίων του κυκλώματος από τα προηγούμενα, μην επιτρέποντας να περάσουν υψηλά ρεύματα. Τέλος, ο διαφορικός ενισχυτής και το βαθυπερατό φίλτρο RC που σχηματίζεται στην έξοδό του, απορρίπτουν το θορυβώδες σήμα.



Εικόνα 6 Η πλακέτα PCB του αισθητήρα Grove-GSR της εταιρείας Seeed.



1. After testing , the R of GSR 50K~500K

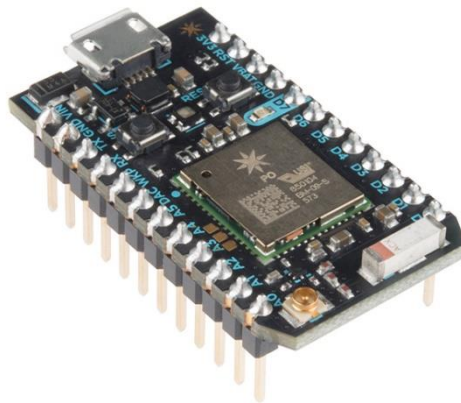
Εικόνα 7 Το σχηματικό διάγραμμα του υλικού του αισθητήρα Grove GSR.

4.2.3 Πλακέτα ανάπτυξης

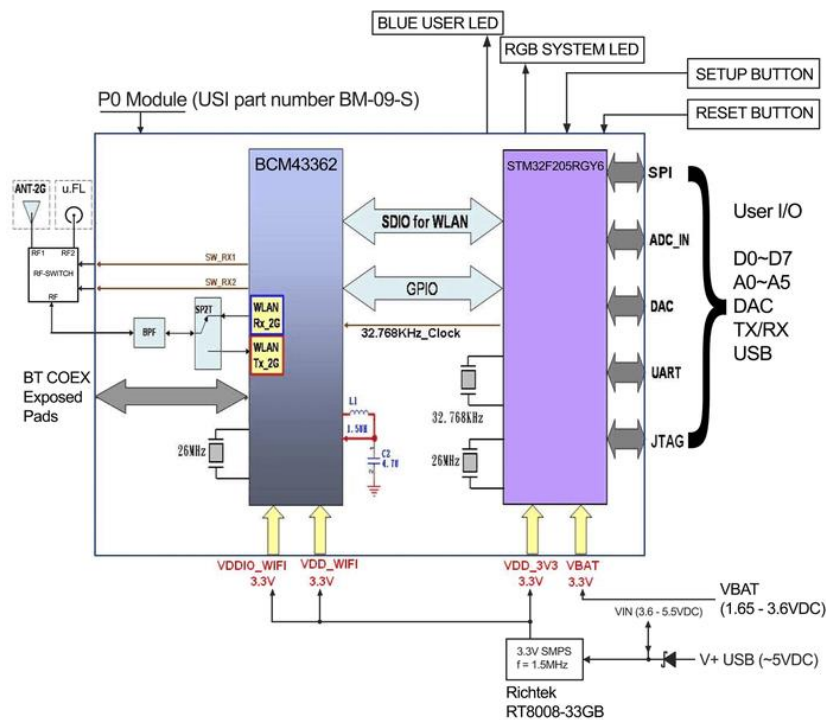
Η πλακέτα ανάπτυξης που επιλέχθηκε για τη διασύνδεση των αισθητήρων με τον μικροελεγκτή, με σκοπό την επεξεργασία και τη μετάδοση των μετρήσεων, είναι το Particle Photon (San Francisco, ΗΠΑ) (**Εικόνα 8**). Η πλακέτα αυτή συνδυάζει έναν ισχυρό μικροελεγκτή ARM Cortex M3 με ένα τσιπ Wi-Fi της Broadcom σε μια μικροσκοπική διάταξη που ονομάζεται P0 (P-zero). Ο μικροελεγκτής διαθέτει 1 MB μνήμη flash και 128 KB μνήμη RAM. Ο επεξεργαστής των 120 MHz είναι σε θέση να επεξεργάζεται τα σήματα σε υψηλές ταχύτητες, ενώ ο 12-bit μετατροπέας από αναλογικό σε ψηφιακό σήμα παράγει ψηφιοποιημένα σήματα με επαρκή ανάλυση. Το διάγραμμα μπλοκ της συγκεκριμένης πλακέτας ανάπτυξης παρουσιάζεται στην **Εικόνα 9**.

Η τροφοδοσία του Photon γίνεται μέσω του ενσωματωμένου υποδοχέα Micro USB ή απευθείας μέσω του ακροδέκτη VIN. Όταν η πλακέτα τροφοδοτείται απευθείας από τον ακροδέκτη VIN, η τάση θα πρέπει να ρυθμίζεται μεταξύ 3.6 V_{DC} και 5.5 V_{DC}. Η τυπική μέση κατανάλωση ρεύματος είναι 80 mA, για τάση εισόδου 5 V και με το Wi-Fi ενεργοποιημένο. Η πλακέτα διαθέτει 18 ψηφιακές εισόδους/εξόδους (GPIO) και ένα διαδικτυακό ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης, παρόμοιο με αυτό των πλακετών Arduino, ώστε να καθίσταται εύκολη η παροχή συνδεσιμότητας με το υλοποιούμενο έργο. Επίσης, το Photon διαθέτει ένα RGB LED και δύο πλήκτρα (Setup και Reset) για εναλλαγή μεταξύ των διαφορετικών λειτουργιών που βοηθούν στην αποσφαλμάτωση των προγραμμάτων. Αξίζει να σημειωθεί ότι πρόκειται για μια

πλατφόρμα ανοικτού κώδικα, συνεπώς προσφέρει εύκολη πρόσβαση σε όλα τα σχηματικά σχέδια και τον κώδικα για βελτιωμένη εμπειρία.



Εικόνα 8 Η πλακέτα ανάπτυξης Photon της εταιρείας Particle.



Εικόνα 9 Το διάγραμμα μπλοκ της πλακέτας ανάπτυξης Photon.

4.2.4 Ποντίκι ηλεκτρονικού υπολογιστή

Κατά την ανάπτυξη του παρόντος συστήματος, χρησιμοποιήθηκε ένα ενσύρματο, συμβατικό και εμπορικά διαθέσιμο ποντίκι ηλεκτρονικού υπολογιστή. Η συσκευή που μπορεί να αποτελέσει κατάλληλη επιλογή για τη φιλοξενία των αισθητήρων που περιεγράφηκαν πιο πάνω, επιλέχθηκε με βάση ορισμένες απαιτήσεις. Το εσωτερικό του ποντικιού πρέπει να είναι αρκετά μεγάλο, ώστε να

μπορεί να φιλοξενήσει τους αισθητήρες, τα ηλεκτρονικά τους εξαρτήματα και την πλακέτα ανάπτυξης. Επιπλέον, οι εξωτερικές του επιφάνειες πρέπει να είναι αρκετά επίπεδες ώστε να ενσωματώνουν ομαλά τους αισθητήρες, χωρίς να επηρεάζεται η χρησιμότητα του ποντικιού. Τέλος, ένα επιδιωκόμενο χαρακτηριστικό είναι η ενσύρματη επικοινωνία του ποντικιού με τον υπολογιστή, προκειμένου να παρέχει επαρκή και αδιάλειπτη τροφοδοσία στα εξαρτήματα του συστήματος.

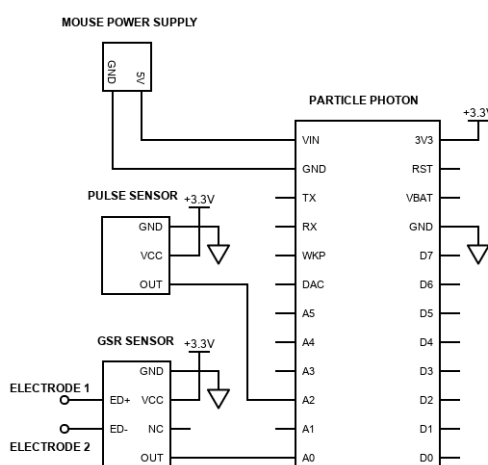
4.3 Λογισμικό

Ο προγραμματισμός του συστήματος πραγματοποιείται μέσω του περιβάλλοντος ανάπτυξης της πλακέτας. Η πλακέτα Particle Photon προγραμματίζεται σε C++, έχοντας σχεδόν πανομοιότυπες συμβάσεις ονοματοδοσίας με τη σειρά πλακετών Arduino. Σε αντίθεση με άλλους μικροελεγκτές, είναι βασισμένη στο cloud, με το ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης και τον μεταγλωττιστή να είναι προσβάσιμα μέσω αυτού. Εκτός, όμως, από τη μεταγλώττιση του κώδικα του προγράμματος, ακόμη και ο προγραμματισμός της πλακέτας γίνεται εξ αποστάσεως. Αυτή η δυνατότητα απομακρυσμένου προγραμματισμού επιτρέπει την ενσωμάτωση του Photon σε ένα απομακρυσμένο σύστημα και την εύκολη αποστολή αλλαγών κώδικα σε αυτό μέσω του cloud, όπως συμβαίνει στην περίπτωση μας. Τέλος, το βασισμένο στο cloud ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης επιτρέπει επίσης την ανάγνωση μηνυμάτων αποσφαλμάτωσης.

Οι αισθητήρες PPG και GSR που επιλέχθηκαν βασίζονται σε υλικό ανοιχτού κώδικα, με αποτέλεσμα να υπάρχουν διαθέσιμες βιβλιοθήκες για τη λειτουργία και χρήση τους σε συνδυασμό με έναν μικροελεγκτή. Στα πλαίσια της εργασίας μας, χρησιμοποιήσαμε μέρος αυτών των εργαλείων, πραγματοποιώντας τις κατάλληλες προσαρμογές για τις ανάγκες του συστήματός μας. Συνεπώς, ο αλγόριθμος που αναπτύξαμε περιλαμβάνει όλες τις κατάλληλες βιβλιοθήκες και λειτουργίες που απαιτούνται για τη σωστή λειτουργία των αισθητήρων, προκειμένου να λαμβάνονται οι έξοδοι αυτών, να πραγματοποιείται η προεπεξεργασία των ακατέργαστων δεδομένων των σημάτων και τα αποτελέσματα να διαβιβάζονται μέσω του cloud. Επιπλέον, παρέχεται η δυνατότητα ρύθμισης ορισμένων τιμών, όπως είναι τα διαστήματα μέτρησης, οι παράμετροι των φίλτρων που εφαρμόζονται, κ.λπ.

4.4 Αρχιτεκτονική συστήματος συσκευής

Όπως φαίνεται στην **Εικόνα 10**, οι αισθητήρες GSR και PPG συνδέονται στις αναλογικές εισόδους της πλακέτας ανάπτυξης A0 και A2, αντίστοιχα. Επιλέξαμε να τροφοδοτήσουμε την πλακέτα ανάπτυξης μέσω του ακροδέκτη VIN, συνεπώς η τάση τροφοδοσίας χρειάζεται να είναι στο εύρος 3.6-5.5 V. Αυτό αποτελεί ένα κρίσιμο πλεονέκτημα για το σύστημά μας, καθώς επιτρέπει την εσωτερική σύνδεση της πλακέτας ανάπτυξης με τους ακροδέκτες τροφοδοσίας του ποντικιού, οι οποίοι μπορούν να παρέχουν τάση 5 V και ρεύμα έως 500 mA, μέσω οποιασδήποτε τυπικής θύρας USB. Αυτά τα μεγέθη είναι κάτι παραπάνω από επαρκή για την ομαλή και ασφαλή λειτουργία του συστήματος, καθώς η κατανάλωση ρεύματος του ποντικιού είναι ίση με 100 mA και οι απαιτήσεις ρεύματος των πρόσθετων εξαρτημάτων της συσκευής είναι ίσες με 85.5 mA. Αναλυτικά, η πλακέτα Particle Photon με ενεργοποιημένο Wi-Fi καταναλώνει 80 mA, ενώ οι αισθητήρες PPG και GSR καταναλώνουν, με βάση τις προδιαγραφές τους 4 mA και 1.5 mA, αντίστοιχα.



Εικόνα 10 Το σχηματικό διάγραμμα του συστήματος.

Η πλακέτα ανάπτυξης και η πλακέτα του αισθητήρα GSR τοποθετήθηκαν στο εσωτερικό του ποντικιού. Ο αισθητήρας PPG τοποθετήθηκε σε μία οπή που δημιουργήθηκε στην πλαϊνή επιφάνεια του ποντικιού, στο σημείο όπου ακουμπάει ο αντίχειρας του χρήστη. Παρόμοια, τα δύο ηλεκτρόδια του GSR αισθητήρα τοποθετήθηκαν σε δύο οπές που δημιουργήθηκαν στην άνω επιφάνεια του ποντικιού. Κατ' αυτόν τον τρόπο, τα ηλεκτρόδια έρχονται σε επαφή με δύο σημεία

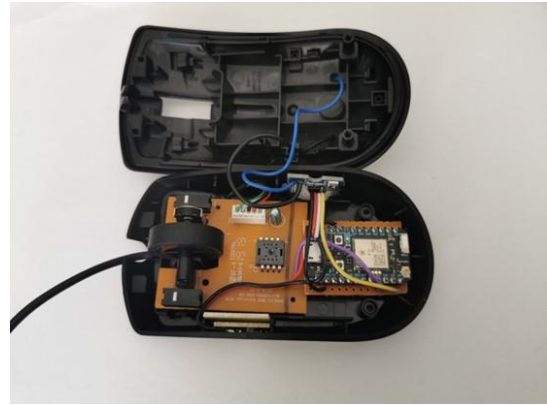
στην παλάμη του χρήστη, ενώ ταυτόχρονα βρίσκονται μακριά από την περιοχή των πλήκτρων και της ροδέλας του ποντικιού. Καθώς η παλάμη του χρήστη δεν ακουμπά συνήθως ομοιόμορφα την επιφάνεια του ποντικιού, και έπειτα από την εκτέλεση δοκιμαστικών μετρήσεων, το ένα από τα δύο ηλεκτρόδια ανυψώθηκε ελαφρά πάνω από την επιφάνεια του ποντικιού, με την προσθήκη ενός ελατηρίου, για να διασφαλιστεί η συνεχής επαφή του με το ανθρώπινο δέρμα. Συνολικά, η επιλογή των σημείων τοποθέτησης των αισθητήρων έγινε ώστε να μην παρεμποδίζεται η χρήση του ποντικιού, να επηρεάζεται όσο το δυνατόν λιγότερο η ποιότητα των λαμβανόμενων σημάτων και, ταυτόχρονα, το σύστημα να είναι μη παρεμβατικό και άνετο για το χρήστη. Το εσωτερικό και το εξωτερικό μέρος της συσκευής που τελικά διαμορφώθηκε, παρουσιάζονται στην **Εικόνα 11**.

Όταν το ποντίκι συνδεθεί στη θύρα USB ενός υπολογιστή, η πλακέτα Particle Photon ενεργοποιείται αυτόματα και αναζητά κάθε διαθέσιμο δίκτυο Wi-Fi. Όταν βρεθεί ένα ήδη γνωστό δίκτυο Wi-Fi, συνδέεται αυτόματα σε αυτό, χρησιμοποιώντας τα αποθηκευμένα διαπιστευτήρια. Μετά την εγκαθίδρυση της σύνδεσης, τα δεδομένα των αισθητήρων λαμβάνονται και αποστέλλονται μέσω του δικτύου στο cloud.

Κατά τη χρήση του συστήματος, τα σήματα καταγράφονται από τους αισθητήρες και αποστέλλονται στον μικροελεγκτή. Εκεί υποβάλλονται σε επεξεργασία και φιλτράρονται με τη χρήση αλγορίθμων για τον μετριασμό του θορύβου και των τεχνουργημάτων κίνησης. Τέλος, τα αποτελέσματα αποστέλλονται στο cloud backend της αναπτυξιακής πλακέτας, μέσω της μονάδας Wi-Fi. Για την επικοινωνία μεταξύ της συσκευής και του νέφους χρησιμοποιείται αμοιβαίος έλεγχος ταυτότητας με τη χρήση ζευγών δημόσιου-ιδιωτικού κλειδιού RSA. Επιπλέον, δημιουργείται μια κρυπτογραφημένη σύνοδος με χρήση AES μέσω TCP για τη μετάδοση δεδομένων. Χρησιμοποιώντας τα διαθέσιμα χαρακτηριστικά επικοινωνίας, τα δεδομένα αποστέλλονται στον εξωτερικό μας διακομιστή μέσω TLS/SSL για περαιτέρω ανάλυση.



(α)



(β)

Εικόνα 11 Το ποντίκι ηλεκτρονικού υπολογιστή με την πλακέτα ανάπτυξης και τους ενσωματωμένους αισθητήρες PPG και GSR (α) Το εξωτερικό της συσκευής, με τα τοποθετημένα ηλεκτρόδια και τον αισθητήρα PPG (β) Το εσωτερικό της συσκευής με όλα τα ενσωματωμένα εξαρτήματα.

Κεφάλαιο 5

Ανίχνευση στρες μέσω πειραματικής διάταξης που προσομοιώνει έναν εργασιακό χώρο γραφείου

5.1 Εισαγωγή

Προκειμένου να επικυρώσουμε τη χρήση της συσκευής που αναπτύχθηκε και παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο 4, ως μέρος ενός συστήματος αυτόματης ανίχνευσης εργασιακού στρες σε χώρο γραφείου, καθώς και να διερευνήσουμε τη συνδυαστική ανάλυση φυσιολογικών και συμπεριφορικών παραμέτρων προς αυτήν την κατεύθυνση, σχεδιάσαμε και διενεργήσαμε μία πειραματική διαδικασία. Αν και το πείραμα διενεργήθηκε σε εργαστηριακές συνθήκες, ακολουθήθηκε μία νατουραλιστική προσέγγιση που επιχείρησε να προσομοιώσει έναν χώρο εργασίας γραφείου και τους τυπικούς στρεσογόνους παράγοντες που ένας εργαζόμενος καλείται να αντιμετωπίσει σε αυτόν.

Το κεφάλαιο οργανώνεται ως εξής: Αρχικά παρουσιάζεται η αρχιτεκτονική του συνολικού συστήματος που αναπτύξαμε. Στη συνέχεια, περιγράφονται αναλυτικά το πρωτόκολλο που εφαρμόστηκε και η πειραματική διαδικασία που ακολουθήθηκε, καθώς και στοιχεία σχετικά με τους συμμετέχοντες του πειράματος. Έπειτα, παρατίθενται οι μέθοδοι και τα εργαλεία ανάλυσης που χρησιμοποιήθηκαν για την επεξεργασία του συνόλου δεδομένων που προέκυψε. Ακολουθούν αναλύσεις που μελετούν τη δυνατότητα ανίχνευσης του εργασιακού στρες μέσω φυσιολογικών και συμπεριφορικών παραμέτρων, βασιζόμενες τόσο μεμονωμένα σε κάθε τύπο παραμέτρων όσο και στο συνδυασμό αυτών. Για κάθε τύπο ανάλυσης παρουσιάζονται οι μέθοδοι επεξεργασίας που ακολουθήθηκαν, τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα που προέκυψαν.

5.2 Αρχιτεκτονική συστήματος

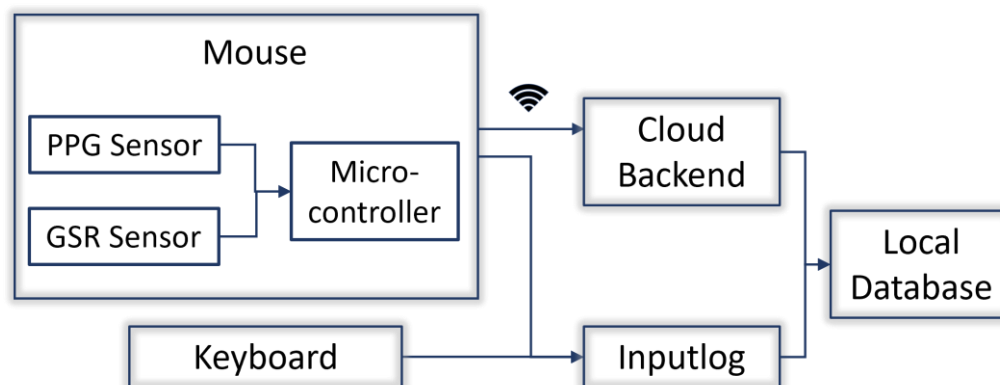
Σκοπός του προτεινόμενου συστήματος είναι η καταγραφή φυσιολογικών και συμπεριφορικών μετρήσεων που υπολογίζονται κατά τη χρήση των περιφερειακών

συσκευών του υπολογιστή. Η καταγραφή των φυσιολογικών δεδομένων πραγματοποιείται από την έξυπνη συσκευή ποντικιού ηλεκτρονικού υπολογιστή που αναπτύξαμε. Η δομή της συσκευής και τα στοιχεία υλικού και λογισμικού της περιγράφονται λεπτομερώς στο προηγούμενο κεφάλαιο (Κεφάλαιο 4) της εργασίας.

Οι συμπεριφορικές μετρήσεις που σχετίζονται με τη δυναμική του πληκτρολογίου και του έξυπνου ποντικιού, δηλαδή τα χαρακτηριστικά της αλληλεπίδρασης του χρήστη με αυτές τις συσκευές, καταγράφονται από το πρόγραμμα λογισμικού Inputlog [137]. Πρόκειται για ένα εργαλείο που καταγράφει τις ενέργειες εισόδου του πληκτρολογίου, του ποντικιού και της ομιλίας και μπορεί να χρησιμοποιηθεί δωρεάν για ερευνητικούς σκοπούς. Αναλυτικά, για κάθε ενέργεια εισόδου (γράμμα, λειτουργία, κλικ ή κίνηση του ποντικιού, φωνητική εισαγωγή) αποθηκεύονται οι πληροφορίες της συνεδρίας μαζί με μια ταυτότητα (ID) της εισόδου, οι χρονικές σφραγίδες (σε ώρα ρολογιού και σε δευτερόλεπτα), ο χρόνος της ενέργειας, ο χρόνος παύσης που την ακολούθησε και, αν πρόκειται για λειτουργία του ποντικιού, οι συντεταγμένες της θέσης του δρομέα στην οθόνη. Επίσης, το πρόγραμμα παρέχει, σε κάποιες περιπτώσεις, δυνατότητες ανάλυσης και επεξεργασίας των δεδομένων που καταγράφηκαν, καθώς και αναπαραγωγής μιας καταγεγραμμένης συνεδρίας. Επιλέξαμε αυτό το εργαλείο λόγω της ευχρηστίας του, της ικανότητάς του να καταγράφει τη δραστηριότητα σε όλες τις εφαρμογές του υπολογιστή και της παροχής ορισμένων εργαλείων για την ανάλυση και την προεπεξεργασία των καταγεγραμμένων τιμών.

Κατά τη χρήση του συστήματος, οι αισθητήρες PPG και GSR μετρούν σήματα, τα οποία λαμβάνονται στη συνέχεια από τον μικροελεγκτή της αναπτυξιακής πλακέτας. Σε αυτό το στάδιο, τα σήματα υποβάλλονται σε επεξεργασία και φιλτράρονται με τη χρήση εξειδικευμένων αλγορίθμων που αποσκοπούν στη μείωση του θορύβου και των τεχνουργημάτων κίνησης, όπως παρουσιάζεται διεξοδικά στις επόμενες ενότητες. Τα δεδομένα που προκύπτουν μεταδίδονται στη συνέχεια στο cloud backend της αναπτυξιακής πλακέτας μέσω των ενσωματωμένων δυνατοτήτων Wi-Fi. Μετά την ασφαλή επικοινωνία με το cloud, τα δεδομένα μεταδίδονται στη συνέχεια σε έναν εξωτερικό διακομιστή για περαιτέρω ανάλυση. Ταυτόχρονα, οι μετρήσεις της δυναμικής του πληκτρολογίου και του ποντικιού καταγράφονται και αποθηκεύονται

από τον καταγραφέα μετά το τέλος κάθε συνεδρίας σε αντίστοιχα αρχεία, επισημασμένα με χρονοσφραγίδες. Μια επισκόπηση της αρχιτεκτονικής του συστήματος παρουσιάζεται στην **Εικόνα 12**.



Εικόνα 12 Σχηματικό διάγραμμα της αρχιτεκτονικής του συστήματος. Τόσο οι συμπεριφορικές μετρήσεις που καταγράφονται από το Inputlog όσο και οι φυσιολογικές μετρήσεις που αποστέλλονται στο cloud backend της αναπτυξιακής πλακέτας, αποθηκεύονται σε μια τοπική βάση δεδομένων για περαιτέρω ανάλυση.

5.3 Πείραμα

5.3.1 Πειραματικό πρωτόκολλο

Το πειραματικό πρωτόκολλο που σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε στην παρούσα μελέτη επιδιώκει να προσομοιώσει τους στρεσογόνους παράγοντες που εμφανίζονται σε ένα περιβάλλον εργασίας γραφείου, το οποίο περιλαμβάνει τη χρήση του ηλεκτρονικού υπολογιστή. Για το σκοπό αυτό, χρησιμοποιήθηκαν υφιστάμενοι εργαστηριακοί στρεσογόνοι παράγοντες, ελαφρώς τροποποιημένοι, ώστε να εξυπηρετούν την πειραματική διάταξη αλλά να είναι ταυτόχρονα συμβατοί με τα σενάρια της πραγματικής ζωής.

Η εργασία σε ένα περιβάλλον γραφείου συνεπάγεται πάντοτε ένα ορισμένο ποσό ψυχικής επιβάρυνσης και νοητικού φόρτου. Συνεπώς, επιλέξαμε να διακρίνουμε μεταξύ μιας κατάστασης συγκέντρωσης, ή αλλιώς ήπιας ψυχικής και πνευματικής επιβάρυνσης, και μιας κατάστασης φορτισμένης με εργασιακούς στρεσογόνους παράγοντες, όπως προτείνεται στη μελέτη [118]. Οι καταστάσεις αυτές θα αναφέρονται στο εξής ως κατάσταση ελέγχου και κατάσταση στρες. Κάθε

εργασία που περιλαμβάνεται στην πειραματική διαδικασία χωρίζεται σε δύο επίπεδα με βάση τις προαναφερθείσες συνθήκες.

Ο σχεδιασμός του πρωτοκόλλου συνυπολογίζει τους κυρίαρχους στρεσογόνους παράγοντες της εργασίας, δηλαδή τον φόρτο εργασίας, την πίεση του χρόνου και την κοινωνική πίεση που σχετίζεται τόσο με την απόδοση όσο και με την απειλή της αξιολόγησης από άλλους ανθρώπους [138]. Προκειμένου να προκληθεί η απειλή της αξιολόγησης, οι συμμετέχοντες καλούνται να εκτελέσουν ορισμένες από τις εργασίες του πειράματος μπροστά σε κοινό. Συγκεκριμένα, κατά τη διάρκεια του επιπέδου κατάστασης στρες κάθε εργασίας, ο πειραματιστής παίρνει θέση δίπλα στον συμμετέχοντα, αποκτώντας οπτική πρόσβαση στη διεπαφή της οθόνης του υπολογιστή και κρατώντας σημειώσεις. Αντίθετα, κατά τη διάρκεια του επιπέδου της κατάστασης ελέγχου, ο πειραματιστής κάθετα σε απόσταση από τον συμμετέχοντα και δε συμμετέχει στην πειραματική διαδικασία. Το πειραματικό πρωτόκολλο της μελέτης περιλαμβάνει τέσσερις εργασίες. Ο σχεδιασμός τους περιγράφεται λεπτομερώς στις ενότητες που ακολουθούν.

Stroop Color Word Task

Στην παρούσα εργασία, χρησιμοποιούμε δύο εκδόσεις της δοκιμασίας, με διαφορετικά επίπεδα δυσκολίας, προκειμένου να διακρίνουμε μεταξύ της συνθήκης ελέγχου και της συνθήκης στρες. Στην πρώτη εκδοχή, μια λέξη εμφανίζεται στο κέντρο της οθόνης του υπολογιστή. Κάτω από την έγχρωμη λέξη, υπάρχουν τρία κουμπιά με υποψήφιες απαντήσεις. Οι συμμετέχοντες καλούνται να επιλέξουν τη σωστή απάντηση, κάνοντας κλικ στο αντίστοιχο κουμπί. Το κουμπί χρωματίζεται τότε πράσινο ή κόκκινο, ενημερώνοντάς τους αν έδωσαν τη σωστή ή τη λανθασμένη απάντηση, προτού προχωρήσουν στην επόμενη λέξη. Στο επάνω δεξί μέρος της οθόνης εμφανίζεται η βαθμολογία τους, η οποία διαμορφώνεται με βάση την απόδοση και ενημερώνεται μετά από κάθε απάντηση.

Το πρώτο επίπεδο της άσκησης περιλαμβάνει κυρίως σύμφωνα ερεθίσματα και δεν υπάρχει κάποιος χρονικός περιορισμός για την ολοκλήρωσή του. Αντίθετα, στο δεύτερο επίπεδο, οι λέξεις και τα χρώματα είναι ασύμφωνα και τα υποκείμενα πρέπει να επιλέξουν τη σωστή επιλογή μέσα σε τρία δευτερόλεπτα. Ένα χρονόμετρο αντίστροφης μέτρησης εμφανίζεται στην επάνω αριστερή γωνία της οθόνης για να

ενημερώνει τους χρήστες για το χρόνο που υπολείπεται. Με αυτόν τον τρόπο, γίνεται προσπάθεια να ενταθεί η γνωστική παρεμβολή, ενώ παράλληλα εισάγεται η πίεση του χρόνου ως στρεσογόνος παράγοντας. Ένα παράδειγμα της διεπαφής της άσκησης παρουσιάζεται στην **Εικόνα 13**.

Mental Arithmetic Task

Οι νοητικές ασκήσεις αριθμητικής έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως ως στρεσογόνος παράγοντας και συχνά περιλαμβάνονται σε γνωστά πειραματικά πρωτόκολλα, όπως το TSST.

Στο πρώτο επίπεδο της πειραματικής διαδικασίας της παρούσας μελέτης που αφορά την κατάσταση ελέγχου, οι συμμετέχοντες καλούνται να εκτελέσουν μαθηματικούς υπολογισμούς που περιλαμβάνουν τις τέσσερις βασικές μαθηματικές πράξεις, δηλαδή την πρόσθεση, την αφαίρεση, τον πολλαπλασιασμό και τη διαίρεση. Συγκεκριμένα, στην οθόνη του υπολογιστή εμφανίζεται μια μαθηματική πράξη μεταξύ δύο αριθμών μονοψήφιων ή διψήφιων. Είτε ένας από τους δύο αριθμούς είτε το αποτέλεσμα της πράξης λείπει και το ζητούμενο της άσκησης είναι να συμπληρωθεί. Οι συμμετέχοντες εισάγουν την απάντησή τους και την υποβάλλουν κάνοντας κλικ στο κατάλληλο κουμπί. Το χρώμα των αριθμών γίνεται πράσινο ή κόκκινο, ενημερώνοντάς τους αν απάντησαν σωστά ή λάθος, πριν προχωρήσουν στην επόμενη μαθηματική πράξη. Στο επάνω δεξί μέρος της οθόνης του υπολογιστή εμφανίζεται η βαθμολογία της απόδοσής τους, η οποία αυξάνεται με κάθε σωστή απάντηση και μειώνεται με κάθε λανθασμένη απάντηση.

Στο δεύτερο επίπεδο της άσκησης, το οποίο αφορά την κατάσταση στρες, επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία. Ωστόσο, σε αυτό το επίπεδο υπάρχει χρονικό όριο δέκα δευτερολέπτων για την υποβολή κάθε απάντησης. Εάν ο χρόνος, που εμφανίζεται μέσω ενός χρονομέτρου αντίστροφης μέτρησης, ξεπεραστεί, γίνεται αυτόματη μετάβαση στην επόμενη μαθηματική πράξη και η βαθμολογία μειώνεται. Οι μαθηματικές πράξεις και των δύο επιπέδων παράγονται μέσω γεννητριών τυχαίων ακέραιων αριθμών. Ωστόσο, τα εύρη που χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία των αριθμών στο δεύτερο επίπεδο έχουν οριστεί με τέτοιο τρόπο ώστε να αυξάνεται σημαντικά η πολυπλοκότητα και η δυσκολία των υπολογισμών, εντείνοντας το

νοητικό φορτίο. Ένα παράδειγμα της διεπαφής της άσκησης φαίνεται στην **Εικόνα 14**.

Άσκηση συλλογής πληροφοριών

Η εργασία αυτή, παρά την περιορισμένη εφαρμογή της σε παρόμοιες μελέτες, θεωρείται ότι περιέχει ρεαλιστικό περιεχόμενο που μπορεί να μιμηθεί πραγματικά σενάρια εργασίας σε χώρο γραφείου με τη χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή. Κατά τη διάρκεια και των δύο εκδοχών της άσκησης που αφορούν τις καταστάσεις ελέγχου και στρες, οι συμμετέχοντες διαβάζουν ένα κείμενο γενικού ενδιαφέροντος έκτασης περίπου 900 λέξεων και καλούνται να απαντήσουν σε δέκα ερωτήσεις σχετικές με αυτό. Τα κείμενα που χρησιμοποιούνται για την εργασία είναι προσαρμοσμένα άρθρα της ιστοσελίδας Βικιπαίδεια³ που περιέχουν συμπυκνωμένες πληροφορίες και είναι γραμμένα στην Ελληνική γλώσσα. Η διαφορά κατά την εκδοχή της κατάστασης στρες είναι η προσθήκη ενός χρονικού ορίου έξι λεπτών για την ολοκλήρωση της άσκησης. Το όριο αυτό θεωρήθηκε ότι είναι αρκετά δύσκολο να τηρηθεί, λαμβάνοντας υπόψη τη μέση ταχύτητα ανάγνωσης και τον χρόνο που απαιτείται για τη δακτυλογράφηση των απαντήσεων. Εκτός, όμως, από την πίεση του χρόνου, κατά τη διάρκεια της δεύτερης εκδοχής τα υποκείμενα έρχονται αντιμέτωπα με ηχητικές ειδοποιήσεις ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Τα ηχητικά αποσπάσματα που ακούγονται θυμίζουν ειδοποιήσεις για εισερχόμενες κλήσεις και μηνύματα ηλεκτρονικού ταχυδρομείου. Η επιλογή έγινε με σκοπό να συμπεριληφθούν στην άσκηση ήχοι που δεν είναι απλώς ενοχλητικοί, όπως έχει επιχειρηθεί μέχρι τώρα στη βιβλιογραφία, αλλά συνδέονται αυτόματα με την εργασία σε γραφείο με την παρουσία υπολογιστή, προκειμένου να μελετηθεί η δυνατότητά τους να προκαλέσουν ή να αυξήσουν το άγχος. Τέλος, στη λήξη του διαθέσιμου χρόνου για την ολοκλήρωση της άσκησης προστέθηκε ένα ηχητικό εφέ αντίστροφης μέτρησης. Μετά το πέρας κάθε επιπέδου της άσκησης, ένα σκορ βασισμένο αποκλειστικά στο χρόνο εκτέλεσης υπολογίζεται για κάθε χρήστη. Ένα παράδειγμα της διεπαφής της άσκησης φαίνεται στην **Εικόνα 15**.

³ <https://el.wikipedia.org/wiki/>

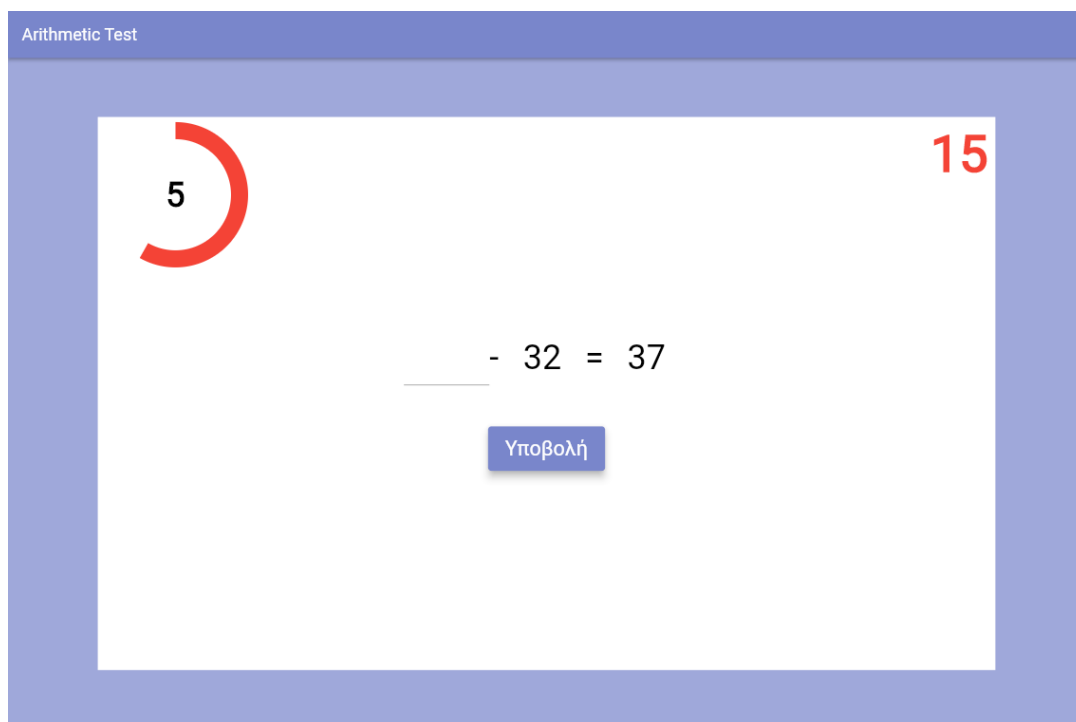
Άσκηση μεταγραφής κειμένου

Η εργασία αυτή απαιτεί τη μεταγραφή ενός κειμένου με περιεχόμενο γενικού ενδιαφέροντος, το οποίο επιλέγεται τυχαία από ένα αποθετήριο κειμένων. Τα κείμενα που χρησιμοποιούνται για την εργασία είναι προσαρμοσμένα άρθρα της ιστοσελίδας Βικιπαίδεια⁴ και είναι γραμμένα στην Ελληνική γλώσσα. Κατά την πληκτρολόγηση του κειμένου, μια διαδραστική, έγχρωμη μπάρα προόδου στα δεξιά της οθόνης παρέχει ανατροφοδότηση στους χρήστες σχετικά με την απόδοσή τους, υποδεικνύοντας την κακή απόδοση με κόκκινο χρώμα και την καλή απόδοση με πράσινο χρώμα. Τα άτομα ενημερώνονται εκ των προτέρων ότι η απόδοσή τους αξιολογείται με βάση τον ρυθμό πληκτρολόγησης και την εγκυρότητα της μεταγραφής. Στην πραγματικότητα, όμως, η μπάρα απόδοσης μεταβάλλεται με προκαθορισμένο τρόπο. Συγκεκριμένα, κατά τη διάρκεια της κατάστασης συγκέντρωσης, η μπάρα «γεμίζει» σταδιακά και παραμένει σταθερά υψηλή και με πράσινο χρώμα μέχρι το τέλος της άσκησης, ενθαρρύνοντας τους χρήστες και δίνοντας την εντύπωση ότι η απόδοσή τους είναι αρκετά υψηλή. Αντίθετα, κατά τη διάρκεια της αγχωτικής εκδοχής της άσκησης, η μπάρα, ενώ αρχικά «γεμίζει», στη συνέχεια δείχνει σταδιακή πτώση της απόδοσης, ενώ παραμένει σε χαμηλά επίπεδα και με κόκκινο χρώμα μέχρι το τέλος. Επιπλέον, κατά τη διάρκεια του δεύτερου επιπέδου, οι συμμετέχοντες ακούνε τους ήχους που περιγράφηκαν στην άσκηση συλλογής πληροφοριών. Μετά το πέρας κάθε επιπέδου της άσκησης, ένα σκορ βασισμένο αποκλειστικά στο χρόνο εκτέλεσης υπολογίζεται για κάθε χρήστη. Ένα παράδειγμα της διεπαφής της άσκησης φαίνεται στην **Εικόνα 16**.

⁴ <https://el.wikipedia.org/wiki/>



Εικόνα 13 Παράδειγμα της διεπαφής της άσκησης *Stroop Color Word Task* κατά το επίπεδο της κατάστασης στρες. Το σκορ του χρήστη εμφανίζεται πάνω δεξιά στην οθόνη, ενώ ο υπολειπόμενος χρόνος για την απάντηση παρουσιάζεται στο πάνω αριστερά μέρος, μέσω ενός χρονομέτρου αντίστροφης μέτρησης.



Εικόνα 14 Παράδειγμα της διεπαφής της άσκησης *Mental Arithmetic Task* κατά το επίπεδο της κατάστασης στρες. Το σκορ του χρήστη εμφανίζεται πάνω δεξιά στην οθόνη, ενώ ο

υπολειπόμενος χρόνος για την απάντηση παρουσιάζεται στο πάνω αριστερά μέρος, μέσω ενός χρονομέτρου αντίστροφης μέτρησης.

Information Test Page

05:41

αναγκάστηκαν να δρουν μόνο με υποβρύχια. Ο ναυτικός αποκλεισμός ανάγκασε τους Γερμανούς σε αυστηρούς περιορισμούς στη διανομή τροφίμων. Κατά το 1915, ο γερμανικός στόλος, που είχε αποκλειστεί στο λιμάνι του Κιέλου, επιχείρησε να βγει και συγκρούστηκε με τον αγγλικό στο Ντόγκερμανκ (24 Ιανουαρίου). Η ναυμαχία έληξε με φανερή υπεροχή των Αγγλων. Στις 7 Μαΐου, γερμανικά υποβρύχια βύθισαν το αγγλικό υπερωκεάνιο «Λουζιτάνια», που μετέφερε και Αμερικανούς επιβάτες. Το γεγονός αυτό προκάλεσε αγανάκτηση στην κοινή γνώμη των ΗΠΑ, αλλά ο πρόεδρος Ουίλσον περιορίστηκε σε μian αυστηρή ανακοίνωση, χωρίς να μετακινηθεί από την ουδετερότητα. Στα 1916, στις 31 Μαΐου ο γερμανικός στόλος, κάτω από την αρχηγία του ναυάρχου Σερ, βγήκε από τις βάσεις του και έδωσε τη ναυμαχία της Πουτλάνδης. Η ναυμαχία αυτή αποτέλεσε τη μεγαλύτερη ναυτική σύγκρουση του Α΄ Παγκόσμιου πολέμου μεταξύ γερμανικού και αγγλικού στόλου. Οι Γερμανοί νικήθηκαν και αναγκάστηκαν να εντείνουν τον υποβρύχιο πόλεμο. Το 1918, η Γερμανία ενέτεινε τον υποβρύχιο πόλεμο, ενώ η Αντάντ, με την ενίσχυση πλέον και των ΗΠΑ, επιδόθηκε στην οργάνωση όλων των ανθυποβρυχιακών μέσων. Ο στόλος της άρχισε να υπερέχει. Οι Άγγλοι βύθισαν τρία καταδρομικά και απέκλεισαν το Ζεεμπρούγκε (23 Απριλίου), ενώ στις 9 Μαΐου απέκλεισαν την Οστάνδη, αποκόπτοντας, έτσι, τα γερμανικά υποβρύχια από τις βάσεις τους.

1. Από ποιές χώρες αποτελούνταν η Τριπλή Συμμαχία;
2. Με ποιο όνομα είναι γνωστός ο Α΄ Παγκόσμιος Πόλεμος;
3. Ποιές περιστάσεις είχε γάσει η Γαλλία στον Γαλλογερμανικό πόλεμο και επιθυμούσε να ανακτήσει;

Εικόνα 15 Παράδειγμα της διεπαφής της άσκησης συλλογής πληροφοριών κατά το επίπεδο της κατάστασης στρες. Ο υπολειπόμενος χρόνος για την υποβολή των απαντήσεων παρουσιάζεται στο πάνω μέρος της οθόνης, μέσω ενός χρονομέτρου αντίστροφης μέτρησης.

Copy Text Test

Οι γάτες, όπως και οι σκύλοι, είναι ζώα που βαδίζουν ακριβώς πάνω στα δάκτυλα των ποδιών τους, με τα οστά των ποδιών τους να σχηματίζουν το κατώτερο τμήμα του ορατού άκρου. Τα ζώα αυτά μπορούν να περπατούν με μεγάλη ακρίβεια, επειδή μπορούν να τοποθετούν σχεδόν κατευθείαν το καθένα από τα πίσω τους πόδια στο αποτύπωμα του αντίστοιχου μπροστινού ποδιού, ελαχιστοποιώντας τους θορύβους και τα ορατά ίχνη. Αυτό επίσης παρέχει ασφαλές πάτημα για τα πίσω πόδια τους όταν περπατούν σε σκληρό έδαφος.

Οι γάτες, όπως και οι σκύλοι, είναι ζώα που βαδίζουν ακριβώς πάνω

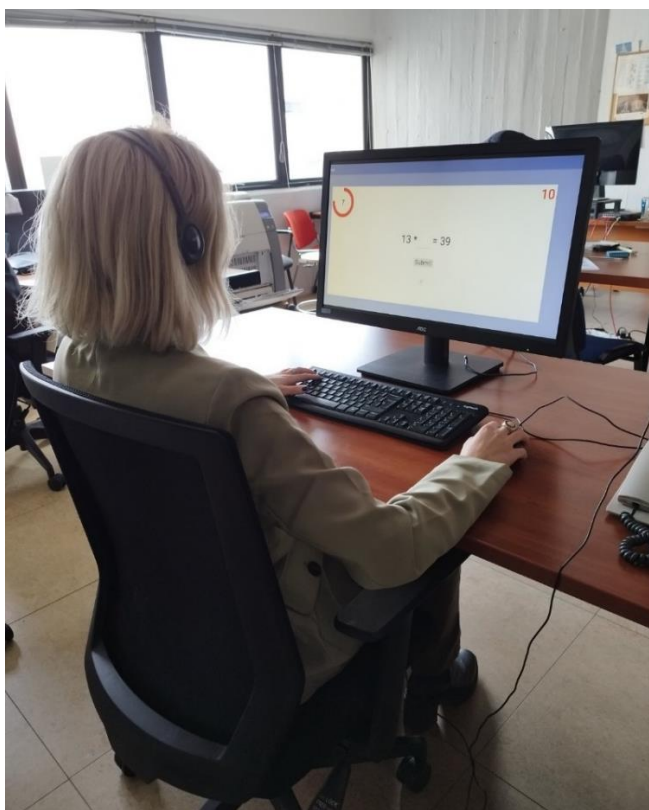
Υποβολή

ΑΠΟΔΟΣΗ

Εικόνα 16 Παράδειγμα της διεπαφής της άσκησης μεταγραφής κειμένου. Μια χρωματική μπάρα στα δεξιά μέρος της οθόνης ενημερώνει τους χρήστες για την απόδοσή τους κατά τη διάρκεια της άσκησης.

5.3.2 Πειραματική διαδικασία

Το περιβάλλον εκτέλεσης του πειράματος επιχείρησε να προσομοιώσει έναν τυπικό χώρο εργασίας με τη χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή (**Εικόνα 17**). Κατά την άφιξη των συμμετεχόντων στο χώρο, δόθηκαν οι απαραίτητες πληροφορίες, ώστε να εξοικειωθούν με τον πειραματικό εξοπλισμό και τους αισθητήρες. Όταν ολοκληρώθηκε η ενημέρωση και η συμπλήρωση του εντύπου συγκατάθεσης, ξεκίνησε η κύρια πειραματική διαδικασία. Αρχικά, οι συμμετέχοντες απάντησαν σε ορισμένες γενικές ερωτήσεις. Στη συνέχεια, εκτέλεσαν τα δύο επίπεδα κάθε εργασίας του πειραματικού πρωτοκόλλου. Μετά από κάθε επίπεδο, απάντησαν σε ένα ερωτηματολόγιο αυτοαναφοράς. Στην αρχή και στο τέλος της διαδικασίας, καθώς και μεταξύ των διαφόρων εργασιών, εισήχθησαν περίοδοι ηρεμίας. Ο ρόλος αυτών των περιόδων ήταν, πρώτον να διασφαλιστεί ότι οι μετρήσεις δεν επηρεάζονταν μεταξύ των διαφορετικών διατάξεων συνθηκών, και δεύτερον να ληφθεί το βασικό σήμα κάθε υποκειμένου.



Εικόνα 17 Η πειραματική διάταξη. Το υποκείμενο κάθεται σε περιβάλλον γραφείου και εκτελεί εργασίες που προκαλούν στρες, χρησιμοποιώντας το ειδικά κατασκευασμένο ποντίκι και το πληκτρολόγιο του ηλεκτρονικού υπολογιστή.

Ολόκληρη η πειραματική διαδικασία διεξήχθη μέσω μιας διαδικτυακής εφαρμογής που προγραμματίστηκε και υλοποιήθηκε εξ ολοκλήρου από εμάς στο πλαίσιο Flutter και έτρεχε τοπικά στον υπολογιστή της πειραματικής διάταξης. Η αντιστοίχιση των καταγεγραμμένων σημάτων στα διάφορα στάδια επιτρεπόταν με την αυτοματοποιημένη σήμανση συμβάντων. Τα πειραματικά στάδια περιγράφονται λεπτομερώς παρακάτω:

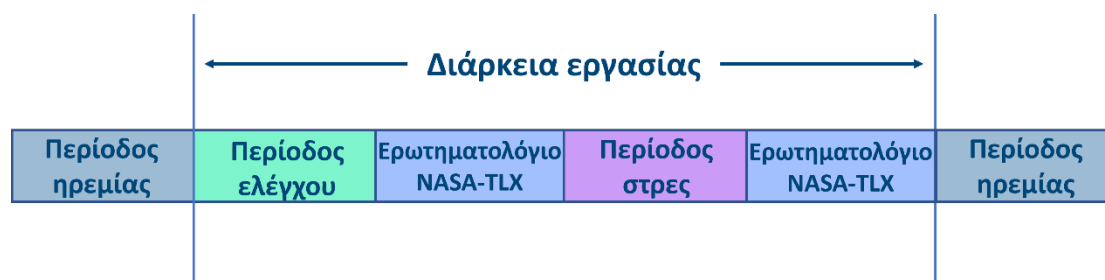
Γενικό ερωτηματολόγιο: Το ερωτηματολόγιο εμπεριείχε ερωτήσεις σχετικά με δημογραφικά χαρακτηριστικά, όπως φύλο, ηλικία, απασχόληση και ερωτήσεις σχετικά με την εξοικείωση και τη χρήση του ηλεκτρονικού υπολογιστή. Τα υποκείμενα απάντησαν επίσης ερωτήσεις σχετικές με παράγοντες που θα μπορούσαν να επηρεάσουν τις μετρήσεις ενός πειράματος που έχει ως αντικείμενο τη μελέτη του στρες, όπως είναι η κατανάλωση καφεΐνης και αλκοόλ, η λήψη φαρμάκων και η συμμετοχή σε παρόμοιο πείραμα κατά το παρελθόν. Το περιεχόμενο του γενικού ερωτηματολογίου παρατίθεται στο Παράρτημα της εργασίας.

Περίοδοι ηρεμίας: Κατά τη διάρκεια των περιόδων ηρεμίας, προβλήθηκαν βίντεο με εικόνες που είχαν ως θέμα τοπία της φύσης και ζώα. Τα βίντεο συνοδεύονταν με χαλαρωτική μουσική στο παρασκήνιο. Το πρώτο βίντεο της διαδικασίας, πριν από την εκτέλεση οποιασδήποτε εργασίας είχε διάρκεια τριών λεπτών, ενώ τα υπόλοιπα βίντεο ανάμεσα στις εργασίες και μετά το πέρας αυτών είχαν διάρκεια δύο λεπτών. Στις περιόδους αυτές, τα υποκείμενα έπρεπε να παρακολουθούν σε άνετη καθιστή θέση, έχοντας το δεξί χέρι πάνω στο ποντίκι και περιορίζοντας όσο το δυνατόν τις κινήσεις τους. Οι περίοδοι ηρεμίας του πειράματος ήταν συνολικά πέντε (R1-R5).

Ερωτηματολόγιο αυτοαναφοράς: Το NASA TLX χρησιμοποιήθηκε ως ερωτηματολόγιο αυτοαναφοράς. Το ερωτηματολόγιο περιλαμβάνει έξι ερωτήσεις που αφορούν την πνευματική, σωματική και χρονική απαίτηση, την απόδοση, την προσπάθεια και την απογοήτευση. Το ερωτηματολόγιο συμπληρώθηκε μετά από κάθε επίπεδο κάθε εργασίας, με αποτέλεσμα να απαντηθούν συνολικά οκτώ ερωτηματολόγια για κάθε συμμετέχοντα (Q1-Q8). Το περιεχόμενο του ερωτηματολογίου αυτοαναφοράς παρατίθεται στο Παράρτημα της εργασίας.

Εργασίες πρόκλησης στρες: Οι τέσσερις ασκήσεις που περιεγράφηκαν αναλυτικά παραπάνω χρησιμοποιήθηκαν για την πρόκληση στρες στους συμμετέχοντες. Κάθε εργασία αποτελούνταν από δύο επίπεδα με σκοπό να γίνει διάκριση μεταξύ της κατάστασης ελέγχου και της κατάστασης στρες, μετά την προσθήκη των επιλεγμένων στρεσογόνων παραγόντων. Πριν από την έναρξη κάθε εργασίας, τα υποκείμενα λάμβαναν αναλυτικές οδηγίες στην οθόνη του υπολογιστή, ενώ μετά το πέρας αυτού ενημερώνονταν για την απόδοσή τους πριν προχωρήσουν στο επόμενο βήμα. Η σειρά με την οποία ο κάθε συμμετέχοντας έπρεπε να εκτελέσει τις ασκήσεις δεν ήταν η ίδια. Σε κάθε μεμονωμένη άσκηση ωστόσο, τα επίπεδα εμφανίζονταν πάντα με την ίδια σειρά, με τη στρεσογόνο κατάσταση να ακολουθεί αυτή του ελέγχου. Συνολικά, υπήρξαν τέσσερις περίοδοι ελέγχου (C1-C4) και, αντίστοιχα, τέσσερις περίοδοι στρες που τις ακολουθούσαν (S1-S4).

Η αλληλουχία των περιόδων που περιλαμβάνονται συνολικά σε κάθε μία από τις τέσσερις εργασίες της πειραματικής διαδικασίας παρουσιάζονται στην **Εικόνα 18**.

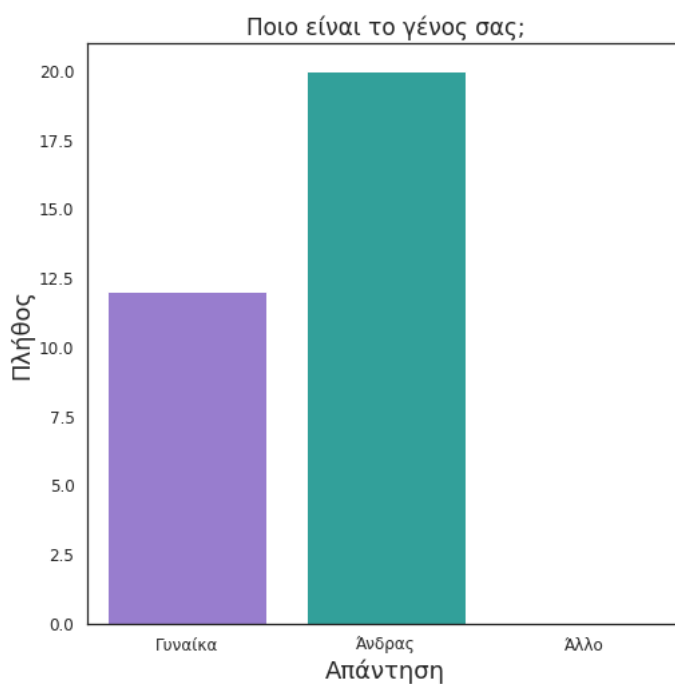


Εικόνα 18 Οι περίοδοι που περιλαμβάνονται σε κάθε μία από τις τέσσερις εργασίες της πειραματικής διαδικασίας.

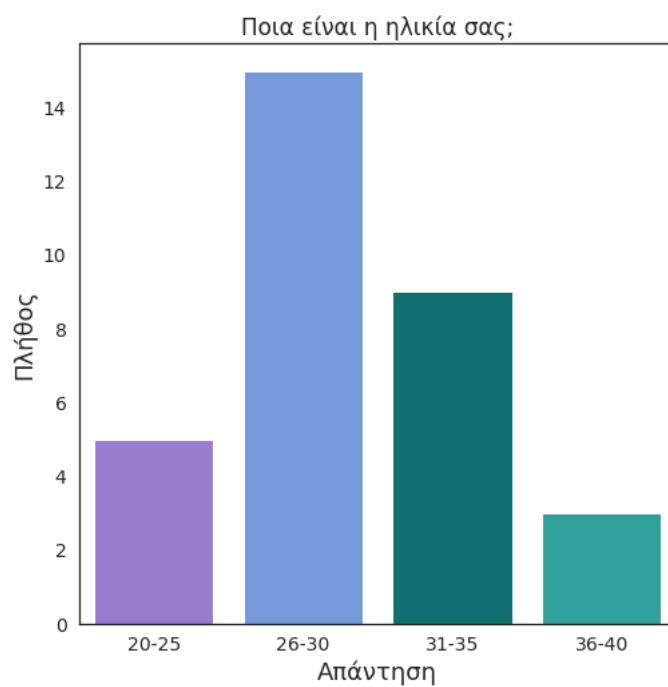
5.2.3 Συμμετέχοντες

Τριάντα δύο συμμετέχοντες ηλικίας μεταξύ 20 και 40 ετών (Μέση τιμή = 29,34, Τυπική απόκλιση = 4,65) συμπεριλήφθηκαν στη μελέτη. Από αυτούς, οι 12 ήταν γυναίκες και οι 20 ήταν άνδρες. Τέσσερις από τους συμμετέχοντες δήλωσαν ότι έχουν μέτριο επίπεδο εξοικείωσης με τους υπολογιστές, ενώ δεκατρείς και δεκαπέντε δήλωσαν ότι έχουν υψηλό και πολύ υψηλό επίπεδο εξοικείωσης, αντίστοιχα. Όλα τα υποκείμενα απάντησαν ότι χρησιμοποιούν καθημερινά τον υπολογιστή στο πλαίσιο της εργασίας τους ή των σπουδών τους. Τρία από τα υποκείμενα δήλωσαν ότι είχαν συμμετάσχει σε παρόμοιο πείραμα στο παρελθόν. Οι συμμετέχοντες του πειράματος δεν επιλέχθηκαν με βάση κάποιο κριτήριο αξιολόγησης όσον αφορά τα επίπεδα

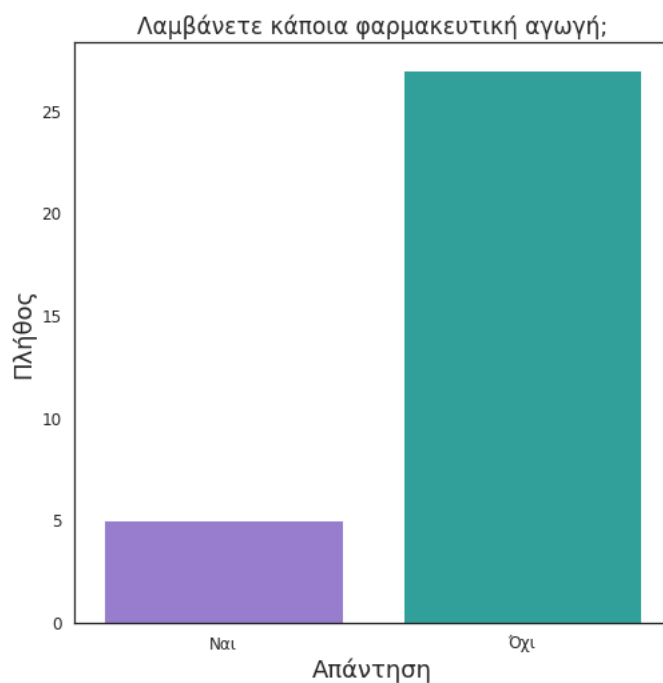
άγχους τους. Ο μόνος όρος για τη συμμετοχή τους ήταν ότι πρέπει να χρησιμοποιούν το ποντίκι του υπολογιστή με το δεξί τους χέρι, λόγω του περιορισμού που επιβάλλει ο σχεδιασμός της πειραματικής διάταξης. Πριν από την έναρξη του πειράματος, δόθηκαν γραπτές και προφορικές πληροφορίες που εξηγούσαν λεπτομερώς τη διαδικασία και ελήφθησαν γραπτές συγκαταθέσεις. Ωστόσο, ο ακριβής σκοπός της μελέτης σχετικά με την πρόκληση και τη μελέτη του στρες αποκαλύφθηκε μετά την ολοκλήρωση του πειράματος, ώστε να αποφευχθεί η διαστρέβλωση των μετρήσεων και των αποτελεσμάτων λόγω της ψυχολογίας των ατόμων. Οι απαντήσεις των συμμετεχόντων στο γενικό ερωτηματολόγιο που προηγήθηκε της εκτέλεσης του πειράματος παρουσιάζονται αναλυτικά στις παρακάτω εικόνες.



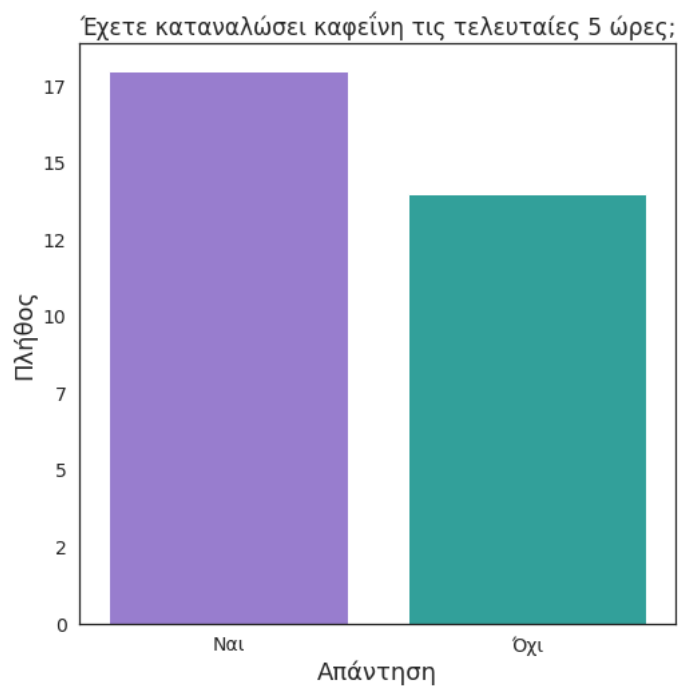
Εικόνα 19 Οι απαντήσεις στην ερώτηση του γενικού ερωτηματολογίου σχετικά με το γένος των συμμετεχόντων.



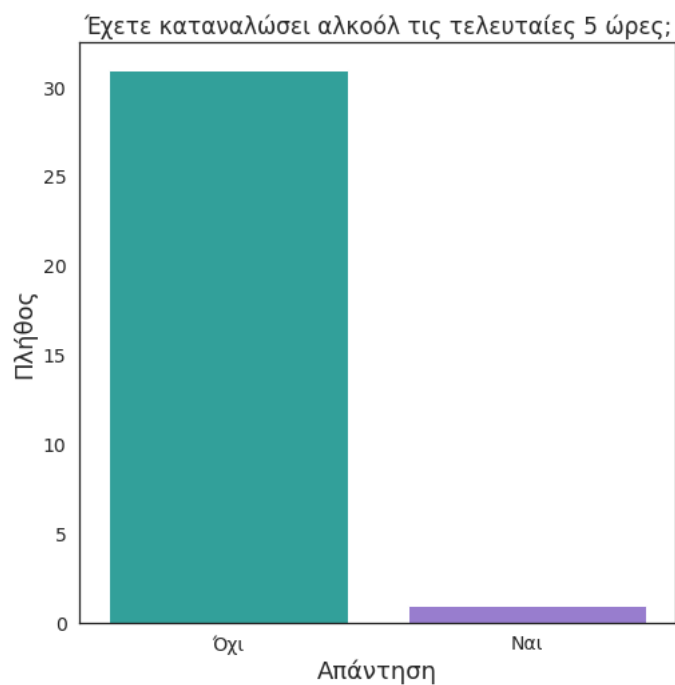
Εικόνα 20 Οι απαντήσεις στην ερώτηση του γενικού ερωτηματολογίου σχετικά με την ηλικία των συμμετεχόντων.



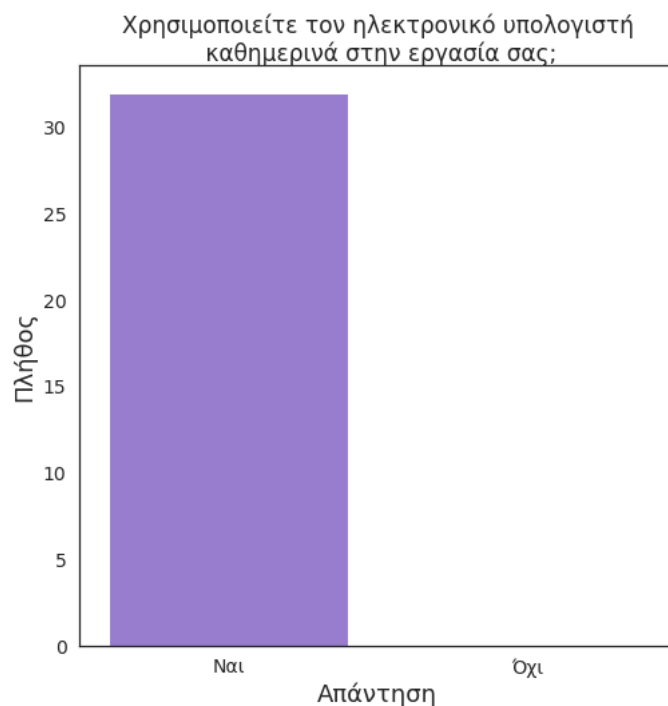
Εικόνα 21 Οι απαντήσεις στην ερώτηση του γενικού ερωτηματολογίου σχετικά με τη λήψη φαρμακευτικής αγωγής.



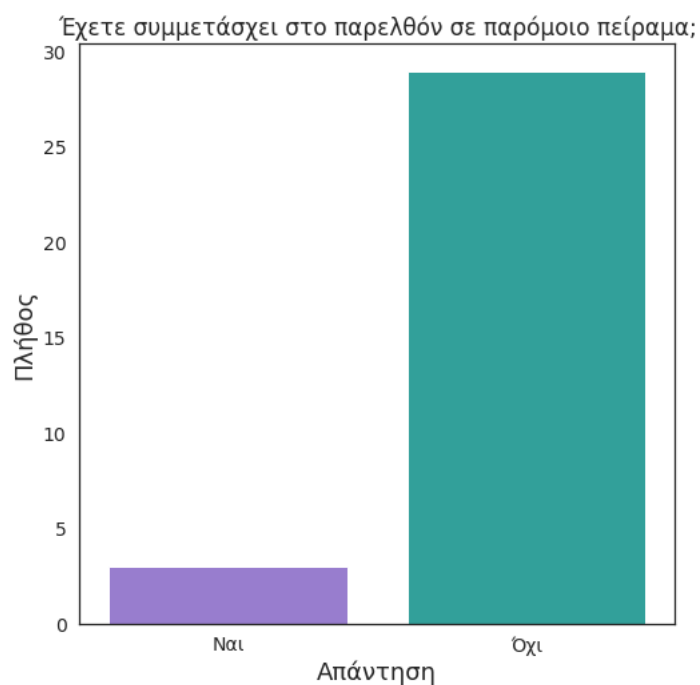
Εικόνα 22 Οι απαντήσεις στην ερώτηση του γενικού ερωτηματολογίου σχετικά με την κατανάλωση καφεΐνης πριν από την έναρξη του πειράματος.



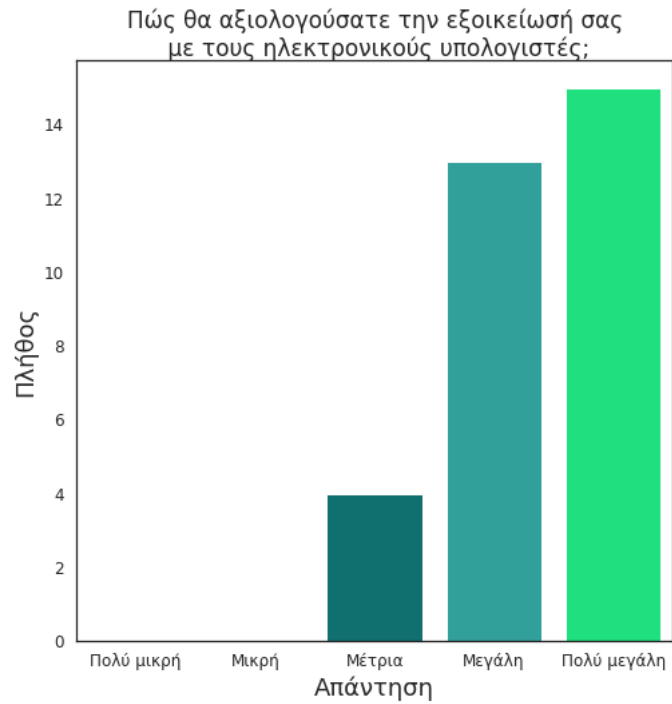
Εικόνα 23 Οι απαντήσεις στην ερώτηση του γενικού ερωτηματολογίου σχετικά με την κατανάλωση αλκοόλ πριν από την έναρξη του πειράματος.



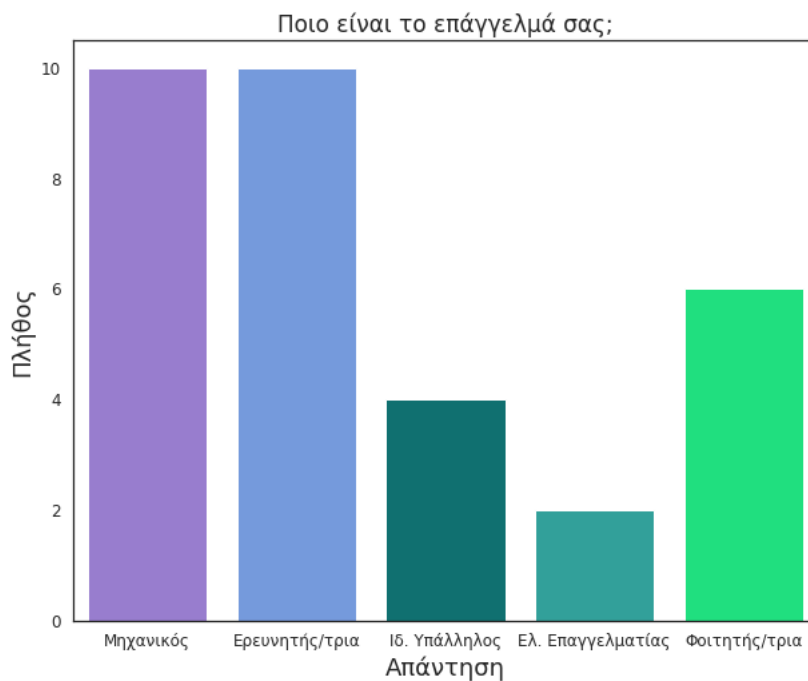
Εικόνα 24 Οι απαντήσεις στην ερώτηση του γενικού ερωτηματολογίου σχετικά με τη χρήση του ηλεκτρονικού υπολογιστή στην εργασία.



Εικόνα 25 Οι απαντήσεις στην ερώτηση του γενικού ερωτηματολογίου σχετικά με την παρελθοντική συμμετοχή σε παρόμοιο πείραμα.



Εικόνα 26 Οι απαντήσεις στην ερώτηση του γενικού ερωτηματολογίου σχετικά με την εξοικείωση με ηλεκτρονικούς υπολογιστές.



Εικόνα 27 Οι απαντήσεις στην ερώτηση του γενικού ερωτηματολογίου σχετικά με την επαγγελματική απασχόληση των συμμετεχόντων.

5.4 Μέθοδοι ανάλυσης

Προτού παρουσιάσουμε την ανάλυση που πραγματοποιήσαμε στις μετρήσεις που λήφθηκαν κατά την εκτέλεση του πειράματος, θα περιγράψουμε συνοπτικά τα στατιστικά εργαλεία και τις μεθόδους μηχανικής μάθησης που χρησιμοποιήθηκαν στα πλαίσια της παρούσας μελέτης.

5.4.1 Εργαλεία στατιστικής ανάλυσης

Έλεγχος στατιστικών υποθέσεων

Ο έλεγχος υποθέσεων είναι μία μέθοδος της στατιστικής συμπερασματολογίας που εφαρμόζεται σε προβλήματα απόφασης μεταξύ δύο υποθέσεων που αφορούν έναν συγκεκριμένο πληθυσμό. Μας επιτρέπει να αποφανθούμε για το αν υπάρχει στατιστική μαρτυρία ώστε να συμπεράνουμε ότι μια υπόθεση σχετικά με μια παράμετρο υποστηρίζεται από τα δεδομένα. Κατά τη διαδικασία ελέγχου ορίζεται μια μηδενική υπόθεση (null hypothesis) H_0 και μια εναλλακτική υπόθεση (alternative hypothesis) H_1 , η οποία γίνεται δεκτή αν απορριφθεί η μηδενική υπόθεση. Αφού οριστεί η στατιστική υπόθεση, στη συνέχεια υπολογίζονται η στατιστική ελέγχου και η περιοχή απόρριψης και τελικά προκύπτει ένα συμπέρασμα με βάση το δείγμα που εξετάζεται.

Στη στατιστική ανάλυση, ο έλεγχος υποθέσεων χρησιμοποιείται ευρέως για τη σύγκριση συνόλων δεδομένων. Στην περίπτωση αυτή, η μηδενική υπόθεση είναι συνήθως ο ισχυρισμός ότι δεν υπάρχει διαφορά ή σχέση μεταξύ δύο συνόλων δεδομένων ή μεταβλητών που αναλύονται, ότι ανήκουν δηλαδή στον ίδιο πληθυσμό. Με άλλα λόγια, η επικύρωση της μηδενικής υπόθεσης αποδεικνύει ότι οποιαδήποτε διαφορά που έχει παρατηρηθεί πειραματικά οφείλεται μόνο στην τύχη και όχι στην ύπαρξη υποκείμενης αιτιολογικής σχέσης. Ο έλεγχος υποθέσεων αποτελεί τη βάση για την εφαρμογή των στατιστικών τεστ και εφαρμόζεται κάνοντας χρήση των τιμών σημαντικότητας. Η τιμή σημαντικότητας ή αλλιώς τιμή p (p -value) αντιστοιχεί στην πιθανότητα της απόκτησης ενός αποτελέσματος ίσου ή «πιο ακραίου» απ' ό,τι στην πραγματικότητα παρατηρήθηκε, όταν η μηδενική υπόθεση είναι αληθής. Η p -value χρησιμοποιείται, λοιπόν, για να εκφράσει ποσοτικά τη στατιστική σημαντικότητα των αποτελεσμάτων. Οι συνήθεις τιμές που επιλέγεται να λαμβάνει το επίπεδο σημαντικότητας των στατιστικών τεστ, με το οποίο συγκρίνεται η p -value, είναι 0,05,

0,01 και 0,001. Εάν η p-value είναι μικρότερη ή ίση με το επιλεγμένο επίπεδο σημαντικότητας, η μηδενική υπόθεση μπορεί να απορριφθεί. Η τιμή της p-value που επιλέξαμε για τα στατιστικά τεστ που εφαρμόσαμε στην παρούσα εργασία είναι παντού 0,001.

Lilliefors test

Το τεστ Lilliefors πήρε το όνομά του από τον Καθηγητή Στατιστικής Hubert Lilliefors και χρησιμοποιείται για τον έλεγχο κανονικότητας των δεδομένων [139]. Συγκεκριμένα, εφαρμόζεται για τον έλεγχο της μηδενικής υπόθεσης που υποστηρίζει ότι τα δεδομένα προέρχονται από έναν πληθυσμό κανονικής κατανομής, όταν δεν προσδιορίζεται ποια κανονική κατανομή, δηλαδή η αναμενόμενη τιμή και η διακύμανσή της. Το συγκεκριμένο τεστ εφαρμόζεται συχνά ως πρώτο στάδιο της στατιστικής ανάλυσης, ώστε να αποφασιστεί ποιο στατιστικό τεστ είναι κατάλληλο να εφαρμοστεί στη συνέχεια στα δεδομένα, με βάση την κατανομή τους. Μια παραλλαγή του τεστ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο της μηδενικής υπόθεσης που λέει ότι τα δεδομένα προέρχονται από έναν εκθετικά κατανεμημένο πληθυσμό, όταν η μηδενική υπόθεση δεν προσδιορίζει ποια εκθετική κατανομή.

Wilcoxon signed-rank test

Το τεστ Wilcoxon είναι ένας μη παραμετρικός έλεγχος που εφαρμόζεται σε σύνολα δεδομένων [140]. Υπάρχουν δύο ελαφρώς διαφορετικές εκδοχές του τεστ: Η βασική εκδοχή συγκρίνει τη διάμεσο ενός δείγματος με μια υποθετική διάμεσο. Η εκδοχή των αντιστοιχισμένων ζευγών υπολογίζει τη διαφορά μεταξύ κάθε συνόλου ζευγών και στη συνέχεια ακολουθεί την ίδια διαδικασία με τη βασική εκδοχή για να συγκρίνει το δείγμα με κάποια διάμεσο. Το τεστ Wilcoxon αποτελεί μια αξιόπιστη, μη παραμετρική εναλλακτική για το ευρέως γνωστό t-test [141], ενώ χρησιμοποιείται και για διατεταγμένες κατηγορικές μεταβλητές χωρίς αριθμητική κλίμακα.

Mann-Whitney U test

Το Mann-Whitney U τεστ αποτελεί παραλλαγή του Wilcoxon τεστ για ανεξάρτητα σύνολα δεδομένων με διαφορετικό πλήθος δειγμάτων [142].

5.4.2 Μηχανική μάθηση

Η μηχανική μάθηση είναι τομέας της Τεχνητής Νοημοσύνης και περιλαμβάνει μεθόδους που αξιοποιούν δεδομένα για να βελτιώσουν την απόδοση σε κάποιο σύνολο εργασιών. Οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης έχουν την ικανότητα να μαθαίνουν από δεδομένα και να κατασκευάζουν μοντέλα με βάση αυτά, με σκοπό να κάνουν προβλέψεις ή να εξάγουν αποφάσεις και συμπεράσματα.

Στην παρούσα μελέτη επιχειρούμε την ανίχνευση της παρουσίας στρες. Για το σκοπό αυτό, θα χρησιμοποιήσουμε αλγόριθμους ταξινόμησης. Η ταξινόμηση είναι ένα υποπεδίο της μηχανικής μάθησης, στο οποίο τα δεδομένα εισόδου χωρίζονται σε κλάσεις, το μοντέλο εκπαιδεύεται με βάση αυτά και αντιστοιχίζει τα νέα δεδομένα σε μία ή περισσότερες από αυτές. Διάφοροι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης έχουν εφαρμοστεί σε αυτοματοποιημένα μοντέλα ανίχνευσης στρες. Κάθε αλγόριθμος έχει τα δυνατά και τα αδύνατα σημεία του και η επιλογή εξαρτάται συχνά από τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά του συνόλου δεδομένων και από το πρόβλημα που αντιμετωπίζεται. Στην παρούσα μελέτη, συγκρίναμε τις επιδόσεις διαφόρων γνωστών αλγορίθμων μηχανικής μάθησης, συμπεριλαμβανομένων των SVM, k-NN, Random Forest και του Δέντρου Αποφάσεων (Decision Tree). Καθώς το σύνολο δεδομένων μας περιέχει τόσο φυσιολογικές όσο και συμπεριφορικές παραμέτρους, εφαρμόσαμε, επίσης, τεχνικές μάθησης συνόλου (ensemble learning), προκειμένου να συνδυάσουμε τα πλεονεκτήματα πολλαπλών μοντέλων. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήσαμε αλγορίθμους ενίσχυσης κλίσης (gradient boosting algorithms), και συγκεκριμένα τους XGBoost, LightGBM και AdaBoost, για να βελτιώσουμε τη συνολική απόδοση του συστήματος ανίχνευσης στρες. Συγκρίνοντας τις επιδόσεις των μοντέλων που προέκυψαν, στοχεύσαμε στον εντοπισμό της πιο αποτελεσματικής προσέγγισης για την ακριβή ανίχνευση του στρες στο πολυτροπικό μας σύνολο δεδομένων.

Υπάρχουν διάφορα μεγέθη αξιολόγησης της αξιοπιστίας ενός μοντέλου ταξινόμησης. Στην περίπτωση της δυαδικής ταξινόμησης, όπου τα δεδομένα χωρίζονται σε δύο κλάσεις, και αν ονομάσουμε αυτές θετική και αρνητική, τα αποτελέσματα της ταξινόμησης μπορούν να χωριστούν σε τέσσερις κατηγορίες:

- Αληθώς Θετικά (True Positive-TP): τα θετικά δείγματα δεδομένων που ο αλγόριθμος ταξινομεί ως θετικά.
- Αληθώς Αρνητικά (True Negative-TN): τα αρνητικά δείγματα δεδομένων που ο αλγόριθμος ταξινομεί ως αρνητικά.
- Ψευδώς θετικά (False Positive-FP): τα αρνητικά δείγματα δεδομένων που ο αλγόριθμος ταξινομεί ως θετικά.
- Ψευδώς αρνητικά (False Negative-FN): τα θετικά δείγματα δεδομένων που ο αλγόριθμος ταξινομεί ως αρνητικά.

Τα αποτελέσματα ταξινόμησης, χωρισμένα στις παραπάνω κατηγορίες, μπορούν να απεικονιστούν συγκεντρωτικά σε έναν πίνακα σύγχυσης (confusion matrix), ο οποίος χρησιμοποιείται ευρέως στην αξιολόγηση των μοντέλων μηχανικής μάθησης και έχει την παρακάτω μορφή:

Πίνακας 5 Η δομή ενός πίνακα σύγχυσης, όπου παρουσιάζεται ο αριθμός των δειγμάτων που ταξινομήθηκε σε κάθε κλάση, συναρτήσει της πραγματικής κλάσης αυτών.

	Προβλεφθείσα κλάση		
		Θετική	Αρνητική
Πραγματική κλάση	Θετική	TP	FN
	Αρνητική	FP	TN

Οι βασικότερες μετρικές αξιολόγησης που βασίζονται στα παραπάνω μεγέθη και θα χρησιμοποιηθούν στα πλαίσια της παρούσας εργασίας είναι τα εξής:

- Ακρίβεια (Accuracy): αναφέρεται στο ποσοστό των σωστά προβλεπόμενων δειγμάτων και ορίζεται ως εξής:

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + FP + TN + FN} \quad (5.1)$$

- Πιστότητα (Precision): εκφράζει ποσοτικά τον αριθμό των προβλέψεων της θετικής κλάσης που ανήκουν πραγματικά στη θετική κλάση και ορίζεται ως εξής:

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \quad (5.2)$$

- Ανάκληση (Recall): αναφέρεται στο λόγο του αριθμού των θετικών προβλέψεων προς αυτόν όλων των πραγματικά θετικών δειγμάτων του συνόλου δεδομένων και ορίζεται ως εξής:

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \quad (5.3)$$

- F1-μέτρο (F1-score): παρέχει έναν τρόπο συνδυασμού της πιστότητας και της ανάκλησης σε ένα ενιαίο μέγεθος που αποτυπώνει και τις δύο ιδιότητες και ορίζεται ως εξής:

$$F1 - score = \frac{2 \cdot Precision \cdot Recall}{Precision + Recall} \quad (5.4)$$

Η ακρίβεια είναι η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη τεχνική για την αξιολόγηση των μοντέλων ταξινόμησης. Σε περιπτώσεις, όμως, που οι κλάσεις είναι ανισόρροπες ως προς τον αριθμό των δειγμάτων, οι μετρικές της πιστότητας, της ανάκλησης του F1-score που τις συνδυάζει, είναι συνήθως πιο κατάλληλες και αξιόπιστες.

Ένα πολύ σημαντικό ζήτημα κατά τη διαδικασία της ταξινόμησης σε συστήματα αυτόματης ανίχνευσης στρες είναι η επισήμανση των δειγμάτων του συνόλου των δεδομένων εκπαίδευσης. Η δημιουργία ετικετών των δειγμάτων βασίζεται στο επίπεδο αναφοράς που έχει επιλεγεί για την εκάστοτε εφαρμογή. Η ανατροφοδότηση των χρηστών σχετικά με το στρες που βιώνουν κατά τη διάρκεια της παρέμβασης είναι ένας ευρέως χρησιμοποιούμενος τρόπος επισήμανσης των δεδομένων. Η επιλογή αυτή βασίζεται στην υποκειμενική φύση του στρες. Ένας άλλος τρόπος επισήμανσης προκύπτει μέσω της ανάλυσης βασικών φυσιολογικών παραμέτρων που θεωρούνται αξιόπιστοι δείκτες του στρες, όπως είναι η ηλεκτρική αντίσταση του δέρματος. Ο συνδυασμός της ανάλυσης των απαντήσεων των χρηστών με κάποιες φυσιολογικές μετρήσεις έχει επίσης μελετηθεί. Από την άλλη πλευρά, πολλές μελέτες δε βασίζονται σε καμία ψυχολογική ή φυσιολογική παράμετρο, αλλά τοποθετούν ετικέτες στα δεδομένα που συλλέγουν με βάση τη φάση της πειραματικής διαδικασίας στην οποία αυτά καταγράφηκαν. Συγκεκριμένα, αφού

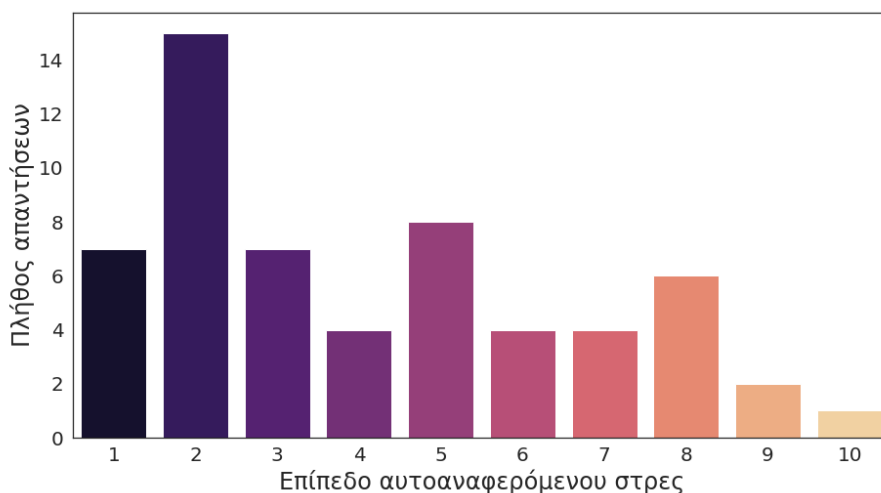
αποδειχθεί, μέσω κάποιας ανάλυσης, η εγκυρότητα του πειραματικού πρωτοκόλλου, τα δεδομένα τοποθετούνται σε κλάσεις που αντιστοιχούν στις διαφορετικές φάσεις της διαδικασίας.

Στην παρούσα μελέτη, η επισήμανση των δεδομένων βασίστηκε στις απαντήσεις των συμμετεχόντων στην ερώτηση των ερωτηματολογίων αυτοαξιολόγησης σχετικά με το στρες που αντιλήφθηκαν στις διαφορετικές περιόδους του πειράματος αλλά και στο σχεδιασμό του πειραματικού πρωτοκόλλου. Η ανάλυσή μας, η οποία θα περιγραφεί στις ενότητες που ακολουθούν, επικεντρώθηκε στην ανίχνευση της παρουσίας στρες και όχι στη διάκριση επιπέδων της έντασής του. Αναλυτικά, στις μεθόδους ταξινόμησης που θα παρουσιαστούν, επιλέξαμε να διερευνήσουμε τη δημιουργία δύο κλάσεων, που αντιπροσωπεύουν την κατάσταση παρουσίας νοητικού φόρτου εργασίας αλλά απουσίας στρες (Κλάση 0) και την κατάσταση παρουσίας στρες (Κλάση 1), ενώ τα δεδομένα εκπαίδευσης των μοντέλων μηχανικής μάθησης χωρίστηκαν στις κλάσεις αυτές με τους εξής τρόπους:

1. **Ετικέτα 1:** Οι ετικέτες επισήμανσης βασίστηκαν στο σχεδιασμό του πειραματικού πρωτοκόλλου. Συνεπώς, τα δεδομένα εκπαίδευσης που προέρχονται από τις καταστάσεις ελέγχου τοποθετήθηκαν στην Κλάση 0, ενώ τα δεδομένα που προέρχονται από τις καταστάσεις στρες τοποθετήθηκαν στην Κλάση 1.
2. **Ετικέτα 2:** Η επισήμανση των δεδομένων βασίστηκε στις απαντήσεις των υποκειμένων σχετικά με τα επίπεδα αυτοαναφερόμενου στρες. Καθώς το εύρος του επιπέδου στρες που παρουσιάζεται στην ερώτηση είναι 1-10, τα δεδομένα εκπαίδευσης που προέρχονται από καταστάσεις που προηγήθηκαν απάντησης στο εύρος 1-5 τοποθετήθηκαν στην Κλάση 0, ενώ, αντίστοιχα, τα δεδομένα που προηγήθηκαν απάντησης στο εύρος 6-10 τοποθετήθηκαν στην Κλάση 1.
3. **Ετικέτα 3:** Η επισήμανση των δεδομένων βασίστηκε, όπως και στην περίπτωση της Ετικέτας 2, στις απαντήσεις των υποκειμένων σχετικά με τα επίπεδα αυτοαναφερόμενου στρες. Κατά την επεξεργασία των απαντήσεων όλων των συμμετεχόντων, παρατηρήθηκε ότι οι συχνότητες των απαντήσεων ποίκιλλαν σημαντικά για τα διάφορα επίπεδα στρες.

Κάποιες από τις απαντήσεις του επιλεγμένου εύρους επιλέχτηκαν πολύ λιγότερες φορές σε σχέση με κάποιες άλλες. Ένα παράδειγμα εμφανίζεται στην **Εικόνα 28** που αφορά τις απαντήσεις των ερωτηματολογίων που ακολούθησαν τα δύο επίπεδα της άσκησης συλλογής πληροφοριών. Οι απαντήσεις των ερωτηματολογίων σχετικά με τα αναφερόμενα επίπεδα στρες που αφορούν τις υπόλοιπες ασκήσεις του πειράματος παρατίθενται στο Παράρτημα της εργασίας. Το γεγονός αυτό δικαιολογείται από το μεγάλο εύρος των 10 επιπέδων που είχαν στη διάθεσή τους τα υποκείμενα για να επιλέξουν. Είναι πιθανό, ωστόσο, να δημιουργεί λάθος συμπεράσματα σε μια κατηγοριοποίηση όπως η παραπάνω της Ετικέτας 2. Συνεπώς, επιχειρήσαμε να συμπύξουμε το εύρος αυτό με βάση τη συχνότητα των διαφορετικών απαντήσεων. Συγκεκριμένα, τα δεδομένα εκπαίδευσης που προέρχονται από καταστάσεις που προηγήθηκαν απάντησης στο εύρος 1-3 τοποθετήθηκαν στην Κλάση 0, ενώ αντίστοιχα τα δεδομένα που προηγήθηκαν απάντησης στο εύρος 4-10, τοποθετήθηκαν στην Κλάση 1.

Στις ενότητες παρουσίασης των αποτελεσμάτων των μοντέλων μηχανικής μάθησης των επόμενων ενοτήτων, θα πραγματοποιηθεί παρουσίαση και σύγκριση μετρικών για όλες τις παραπάνω περιπτώσεις ετικετών, ώστε να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα για τη διαδικασία της επισήμανσης των δεδομένων και του σημαντικού ρόλου που επιτελεί στην αξιοπιστία και την αξιολόγηση συστημάτων αυτόματης ανίχνευσης στρες.



Εικόνα 28 Το πλήθος των απαντήσεων που δόθηκαν για κάθε ένα από τα επίπεδα αυτοαναφερόμενου στρες στο εύρος 1-10, στα ερωτηματολόγια που ακολούθησαν τις δύο καταστάσεις της άσκησης συλλογής πληροφοριών.

Ο σχεδιασμός του πειραματικού μας πρωτοκόλλου είχε ως αποτέλεσμα τη συλλογή διαφορετικού αριθμού δειγμάτων για τα επίπεδα ελέγχου και άγχους των εργασιών. Συγκεκριμένα, στις ασκήσεις Stroop Color Word Task, Mental Arithmetic Task και στην άσκηση συλλογής πληροφοριών ο στρεσογόνος παράγοντας του χρόνου εισήχθη μόνο στο δεύτερο επίπεδο, ενώ στην άσκηση μεταγραφής κειμένου δεν υπήρχε χρονικός περιορισμός για κανένα από τα δύο επίπεδα. Αυτή η ανισορροπία μπορεί να προκαλέσει προβλήματα για έναν ταξινομητή, καθώς μπορεί να οδηγήσει σε μεροληψία προς την πλειοψηφική κατηγορία και στην εμφάνιση κακής απόδοσης στην πρόβλεψη της μειοψηφικής κατηγορίας. Η τεχνική υπερδειγματοληψίας συνθετικής μειοψηφίας (Synthetic Minority Oversampling Technique-SMOTE) είναι μια δημοφιλής τεχνική που χρησιμοποιείται για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος [143]. Η τεχνική SMOTE παράγει συνθετικά παραδείγματα της μειονοτικής κλάσης, δηλαδή δημιουργεί νέα παραδείγματα που παρεμβάλλονται μεταξύ των υπαρχόντων δειγμάτων της μειονοτικής κλάσης. Αυτό αυξάνει την αντιπροσώπευση της μειονοτικής κλάσης στα δεδομένα εκπαίδευσης και μπορεί να βελτιώσει την απόδοση του ταξινομητή στην πρόβλεψη τόσο της πλειοψηφικής όσο και της μειονοτικής κλάσης. Η SMOTE έχει αποδειχθεί αποτελεσματική στη βελτίωση της ακρίβειας ταξινόμησης σε πολλές εφαρμογές, ιδίως σε ιατρικούς και οικονομικούς τομείς, όπου το κόστος της λανθασμένης

ταξινόμησης είναι υψηλό. Στα μοντέλα που εκπαιδεύσαμε, εφαρμόσαμε αυτή τη μέθοδο σε όλες τις περιπτώσεις όπου το σύνολο δεδομένων εμφανιζόταν ανισόρροπο.

5.5 Επικύρωση πειραματικού πρωτοκόλλου

Το πειραματικό πρωτόκολλο που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα μελέτη βασίστηκε, όπως προαναφέρθηκε, σε ευρέως χρησιμοποιούμενα και επικυρωμένα πρωτόκολλα που έχουν ως σκοπό την πρόκληση αντιδράσεων στρες. Το πρώτο βήμα, πριν από την ανάλυση των παραμέτρων που μετρήθηκαν κατά τη διάρκεια του πειράματος, είναι η επικύρωση του πειραματικού πρωτοκόλλου, ώστε να διαπιστωθεί αν αυτό προκάλεσε στρες στους συμμετέχοντες.

5.5.1 Μέθοδοι

Για την επικύρωση του πειραματικού πρωτοκόλλου πραγματοποιήθηκε ανάλυση των απαντήσεων κάποιων από των ερωτήσεων του ερωτηματολογίου αυτοαναφοράς που συμπλήρωσαν οι συμμετέχοντες, με τη χρήση γραφημάτων και τεστ στατιστικής ανάλυσης.

Αρχικά, αναλύσαμε τις απαντήσεις του NASA TLX ερωτηματολογίου σχετικά με την τελευταία ερώτηση, όπου τα υποκείμενα ανέφεραν το επίπεδο άγχους τους στις διάφορες φάσεις της διαδικασίας. Στις απαντήσεις εφαρμόστηκε το τεστ Wilcoxon signed-rank [28] ώστε να υποδειχθεί αν αυτές παρουσιάζουν σημαντική στατιστικά διαφορά μεταξύ των καταστάσεων ελέγχου και στρες, τόσο για όλες τις ασκήσεις συνολικά όσο και μεμονωμένα για κάθε μία από αυτές.

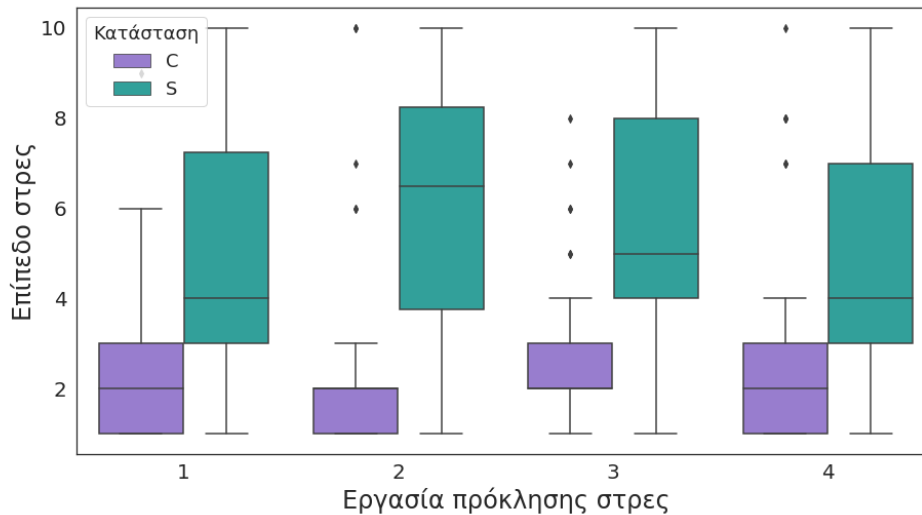
Στη συνέχεια εξετάσαμε το βαθμό στον οποίο οι διάφορες φάσεις κάθε άσκησης του πειράματος επηρεάζουν την απόδοση. Για τον σκοπό αυτό, συγκρίναμε τις βαθμολογίες των υποκειμένων που υπολογίστηκαν σύμφωνα με το σύστημα βαθμολόγησης που περιεγράφηκε στις προηγούμενες ενότητες. Καθώς κάθε εργασία είχε διαφορετική μέγιστη βαθμολογία που μπορούσαν να επιτύχουν οι συμμετέχοντες, υπολογίσαμε εκ νέου τις βαθμολογίες ώστε να βρίσκονται στην ίδια κλίμακα, με μέγιστη τιμή το 100, προκειμένου να διευκολύνουμε τη σύγκριση των επιδόσεων μεταξύ των εργασιών. Επιπλέον, εξετάσαμε τις απαντήσεις των χρηστών στην ερώτηση του ερωτηματολογίου αυτοαναφοράς σχετικά με τις επιδόσεις τους.

Τέλος, υπολογίστηκε ο συντελεστής συσχέτισης τάξης μεγέθους του Spearman [144] μεταξύ των απαντήσεων σχετικά με τη βαθμολογία και την απόδοση, προκειμένου να εξεταστεί κατά πόσον η αντίληψη των υποκειμένων για την απόδοσή τους επηρέαζε τα επίπεδα άγχους τους.

5.5.2 Αποτελέσματα

Τα θηκογράμματα παρουσίασης των αναφερόμενων επιπέδων άγχους για όλα τα υποκείμενα παρουσιάζονται στην **Εικόνα 29**. Παρατηρώντας αυτό το σχήμα, είναι προφανές ότι τα αναφερόμενα επίπεδα κατά τη διάρκεια των στρεσογόνων περιόδων του πειράματος είναι κατά μέσο όρο σημαντικά υψηλότερα από τα επίπεδα στρες κατά τη διάρκεια των περιόδων ελέγχου. Προκειμένου να επικυρωθεί η παραπάνω παρατήρηση, πραγματοποιήθηκε στατιστική ανάλυση των απαντήσεων σχετικά με τα αναφερόμενα επίπεδα στρες.

Αρχικά, το τεστ Lilliefors έδειξε ότι οι τιμές των απαντήσεων δεν ακολουθούν κανονική κατανομή. Αυτό αναμενόταν, καθώς οι τιμές προέκυψαν από τις απαντήσεις σε μια συγκεκριμένη ερώτηση του ερωτηματολογίου αυτοαναφοράς και οι επιλογές απάντησης βρίσκονταν σε κλίμακα 1-10. Στη συνέχεια, εφαρμόστηκε το τεστ Wilcoxon. Όπως φαίνεται από τα αποτελέσματά του τεστ που παρουσιάζει αναλυτικά ο **Πίνακας 6**, η p-value για όλες τις περιπτώσεις είναι μικρότερη από 0,001, που είναι και το επίπεδο σημαντικότητας που επιλέξαμε. Στις περιπτώσεις όπου η τιμή W του τεστ ισούται με μηδέν σημαίνει ότι κανένας από τους συμμετέχοντες δεν αξιολόγησε το άγχος που βίωσε στην πρώτη φάση των ασκήσεων (περίοδος ελέγχου) υψηλότερα απ' ό,τι στη δεύτερη (περίοδος στρες).



Εικόνα 29 Τα θηκογράμματα των αυτο-αναφερόμενων επιπέδων στρες όλων των υποκειμένων κατά τη διάρκεια των καταστάσεων ελέγχου (C) και στρες (S) του Stroop Color Word Task (Εργασία 1), του Mental Arithmetic Task (Εργασία 2), της άσκησης συλλογής πληροφοριών (Εργασία 3) και της άσκησης μεταγραφής κειμένου (Εργασία 4). Η τιμή 1 αντιστοιχεί σε "πολύ χαμηλό" και η τιμή 10 σε "πολύ υψηλό" επίπεδο στρες. Τα άκρα των μυστάκων (whiskers) ορίζονται σε 1,5 φορές το ενδοτεταρτημοριακό πλάτος. Οι ακραίες τιμές (outliers) απεικονίζονται για κάθε συνθήκη με τους δείκτες σε σχήμα ρόμβου.

Πίνακας 6 Τα αποτελέσματα του τεστ Wilcoxon που διενεργήθηκε στις απαντήσεις των ερωτηματολογίων αυτο-αναφοράς. Η τιμή W υποδηλώνει το άθροισμα των τάξεων των διαφορών που βρίσκονται πάνω ή κάτω από το μηδέν και η τιμή p υπολογίζεται υπό τη μηδενική υπόθεση ότι τα δεδομένα δεν είναι στατιστικά σημαντικά.

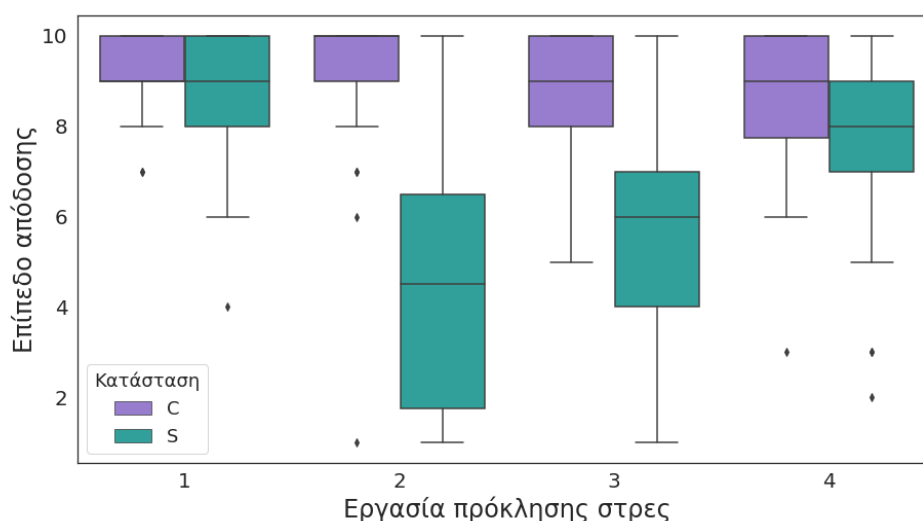
Πειραματική άσκηση	Τιμή W	P-value
Stroop Color Word Task	0	1,12e-05
Mental Arithmetic Task	0	7,80e-06
Άσκηση συλλογής πληροφοριών	11	0,0001
Άσκηση μεταγραφής κειμένου	37	0,0002
Σύνολο	139	1,15e-16

Τα θηκογράμματα στην **Εικόνα 30** δείχνουν τις απαντήσεις των συμμετεχόντων στην ερώτηση του ερωτηματολογίου αυτοαναφοράς σχετικά με την απόδοσή τους. Παρατηρούμε ότι, για όλες τις εργασίες πρόκλησης στρες, το αναφερόμενο επίπεδο απόδοσης είναι χαμηλότερο στη συνθήκη άγχους απ' ότι στη συνθήκη ελέγχου. Ωστόσο, ενώ στις ασκήσεις Stroop Color Word Task και μεταγραφής κειμένου οι τιμές

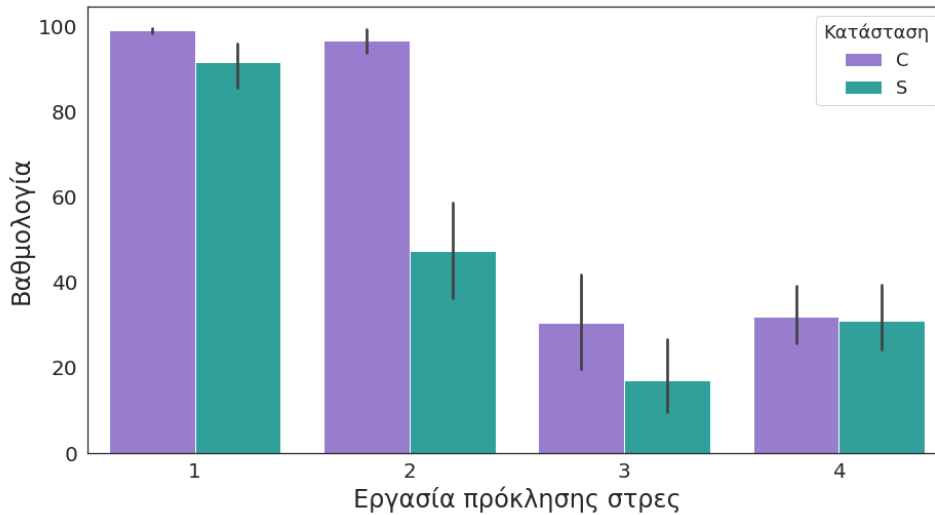
των επιπέδων απόδοσης είναι αρκετά κοντά, στις ασκήσεις Mental Arithmetic Task και συλλογής πληροφοριών παρατηρείται μεγάλη απόκλιση.

Αυτό υποστηρίζεται από την **Εικόνα 31**, η οποία παρουσιάζει τις μέσες βαθμολογίες όλων των συμμετεχόντων, όπως υπολογίστηκαν κατά τη διάρκεια του πειράματος. Συνεπώς, είναι προφανές ότι η αντίληψη των χρηστών για την απόδοσή τους είναι σύμφωνη με τις βαθμολογίες που υπολογίζονται κατά τη διάρκεια της εκάστοτε άσκησης.

Τέλος, αναμέναμε ότι τα αντιλαμβανόμενα επίπεδα άγχους και η απόδοση, σύμφωνα με τις απαντήσεις των υποκειμένων, θα είχαν αρνητική συσχέτιση. Αυτό επιβεβαιώθηκε από τον συντελεστή συσχέτισης Spearman που έδειξε σημαντική αρνητική συσχέτιση $-0,58$ ($p\text{-value} = 6,93e-13$).



Εικόνα 30 Τα θηκογράμματα των αναφερόμενων επιπέδων απόδοσης όλων των υποκειμένων κατά τη διάρκεια των καταστάσεων ελέγχου (C) και στρες (S) του Stroop Color Word Task (Εργασία 1), του Mental Arithmetic Task (Εργασία 2), της άσκησης συλλογής πληροφοριών (Εργασία 3) και της άσκησης μεταγραφής κειμένου (Εργασία 4). Η τιμή 1 αντιστοιχεί σε "πολύ χαμηλό" και η τιμή 10 σε "πολύ υψηλό" επίπεδο απόδοσης. Τα άκρα των μυστάκων (whiskers) ορίζονται σε 1,5 φορές το ενδοτεταρτημοριακό πλάτος. Οι ακραίες τιμές (outliers) απεικονίζονται για κάθε συνθήκη με τους δείκτες σε σχήμα ρόμβου.



Εικόνα 31 Οι μέσες βαθμολογίες όλων των υποκειμένων κατά τη διάρκεια των καταστάσεων ελέγχου (C) και στρες (S) του Stroop Color Word Task (Εργασία 1), του Mental Arithmetic Task (Εργασία 2), της άσκησης συλλογής πληροφοριών (Εργασία 3) και της άσκησης μεταγραφής κειμένου (Εργασία 4). Οι γραμμές στις ράβδους υποδεικνύουν τις τιμές τυπικής απόκλισης.

5.5.3 Συμπεράσματα

Η πειραματική διαδικασία σχεδιάστηκε έτσι ώστε να προσομοιώνει έναν τυπικό εργασιακό χώρο, με την εφαρμογή των στρεσογόνων παραγόντων που συναντώνται συχνότερα εκεί. Στις ασκήσεις του πειραματικού πρωτοκόλλου που επιλέχθηκαν, πραγματοποιήθηκαν μετατροπές και τροποποιήσεις, με γνώμονα, αφενός το σκοπό της συγκεκριμένης εργασίας που αφορά τη μελέτη του εργασιακού στρες σε χώρο γραφείου, αφετέρου τη δομή της πειραματικής διάταξης και τη φύση των παραμέτρων που καταγράφει. Η τελική μορφή των πειραματικών ασκήσεων στηρίχτηκε, κυρίως, σε αντίστοιχες παρόμοιων μελετών της διεθνούς βιβλιογραφίας, εμπειρείχε, ωστόσο, και προσαρμογές που σχεδιάσαμε για το πείραμά μας. Για παράδειγμα, ενώ οι ενοχλητικοί ήχοι έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως για την πρόκληση στρες, δεν έχουμε συναντήσει άλλη μελέτη που να κάνει, για τον ίδιο σκοπό, χρήση ήχων που συναντώνται αρκετά συχνά κατά την εργασία σε υπολογιστή, όπως συμβαίνει στις ασκήσεις συλλογής πληροφοριών και μεταγραφής κειμένου.

Η ανάλυση των απαντήσεων των χρηστών στα ερωτηματολόγια αυτοαναφοράς δείχνει ότι η παρέμβαση πέτυχε τον στόχο της. Συγκεκριμένα, υπήρξε πολύ σημαντική στατιστική διαφορά στα αναφερόμενα επίπεδα άγχους μεταξύ της

περιόδου της συνθήκης ελέγχου και της περιόδου της συνθήκης στρες, τόσο για κάθε εργασία ξεχωριστά όσο και για όλες τις εργασίες στο σύνολό τους. Η άσκηση Mental Arithmetic Task αναφέρθηκε ως σημαντικά πιο στρεσογόνα από άλλες ασκήσεις. Αυτό μπορεί να αποδοθεί στη διαφορά που εμφάνισαν οι περίοδοι στρες των ασκήσεων ως προς το επίπεδο δυσκολίας. Το γεγονός ότι οι αριθμητικές πράξεις στο Mental Arithmetic Task δημιουργούνταν με γεννήτριες τυχαίων ακέραιων αριθμών οδήγησε μερικές φορές στην εμφάνιση δυσεπίλυτων προβλημάτων κατά την κατάσταση στρες, σημαντικά πιο δύσκολων από εκείνα που καλούνταν να λύσουν οι χρήστες στην κατάσταση ελέγχου. Αυτό είχε, επιπλέον, ως αποτέλεσμα την ύπαρξη μιας ποικιλίας προκλήσεων που έπρεπε να αντιμετωπίσουν τα υποκείμενα κατά τη διάρκεια της άσκησης, σε αντίθεση, για παράδειγμα, με την άσκηση Stroop Color Word Task, όπου ήταν πιο πιθανό να εμφανιστεί το φαινόμενο της εξοικείωσης.

Τα παραπάνω αντικατοπτρίστηκαν και στη γνωστική απόδοση, καθώς οι βαθμολογίες των υποκειμένων ήταν πολύ χαμηλότερες κατά την περίοδο στρες του Mental Arithmetic Task. Σημαντική μείωση της απόδοσης παρατηρήθηκε και στην περίπτωση της άσκησης συλλογής πληροφοριών. Το γεγονός ότι η απόδοση των υποκειμένων και στα δύο επίπεδα των ασκήσεων συλλογής πληροφοριών και μεταγραφής κειμένου είναι αρκετά χαμηλότερη από τις άλλες ασκήσεις οφείλεται σε διαφορετικό τρόπο βαθμολόγησης, συνεπώς δεν μπορεί να οδηγήσει στο συμπέρασμα ότι οι ασκήσεις αυτές δυσκόλεψαν περισσότερο τους συμμετέχοντες.

Η ανάλυση συσχέτισης έδειξε ότι υπάρχει σημαντική αρνητική σχέση μεταξύ των αναφερόμενων επιπέδων άγχους και του αντιλαμβανόμενου επιπέδου απόδοσης των ατόμων, γεγονός που υποδηλώνει ότι, όταν οι εργαζόμενοι αντιλαμβάνονται ότι δεν αποδίδουν καλά στα καθήκοντα που τους έχουν ανατεθεί, βιώνουν αυξημένα επίπεδα άγχους.

5.6 Ανίχνευση εργασιακού στρες μέσω ανάλυσης φυσιολογικών παραμέτρων

Σε αυτήν την ενότητα θα διερευνηθεί η δυνατότητα αυτόματης ανίχνευσης του εργασιακού στρες μέσω της ανάλυσης των φυσιολογικών σημάτων που λαμβάνονται από τους αισθητήρες της πειραματικής διάταξης. Για το σκοπό αυτό, θα χρησιμοποιηθούν τα δεδομένα των συμμετεχόντων του πειράματος κατά τη διάρκεια

των ασκήσεων Stroop Color Word Task και Mental Arithmetic Task. Η επιλογή αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι κατά τη διάρκεια αυτών των ασκήσεων πραγματοποιείται αποκλειστική και συνεχής χρήση του ποντικιού ηλεκτρονικού υπολογιστή, μέσω του οποίου πραγματοποιείται η καταγραφή των φυσιολογικών σημάτων. Η χρήση του πληκτρολογίου κατά τη διάρκεια της άσκησης Mental Arithmetic Task θεωρήθηκε αμελητέα για την ανάλυσή μας, καθώς περιλάμβανε μόνο την πληκτρολόγηση μερικών χαρακτήρων που ανήκαν σε ένα συγκεκριμένο εύρος, δηλαδή τους αριθμούς του πληκτρολογίου. Επιπλέον, δεν λάβαμε υπόψη τα χαρακτηριστικά της χρήσης του ποντικιού του ηλεκτρονικού υπολογιστή, λόγω του σχεδιασμού των δύο ασκήσεων, που περιλάμβαναν γρήγορες και απότομες κινήσεις του ποντικιού του υπολογιστή και θα μπορούσαν να εισάγουν πιθανά σφάλματα στις μετρήσεις. Στόχος της παρούσας ανάλυσης είναι η ανάδειξη των φυσιολογικών παραμέτρων ως ικανών δεικτών στην αυτόματη ανίχνευση του εργασιακού στρες, καθώς και η επικύρωση της δυνατότητας της συσκευής που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της εργασίας μας να συμβάλει προς αυτήν την κατεύθυνση.

Κατά την ανάλυση, αρχικά πραγματοποιήσαμε επεξεργασία των λαμβανόμενων σημάτων ώστε να μειωθεί η επίδραση του θορύβου και να ληφθεί η χρήσιμη για την εφαρμογή μας πληροφορία. Στη συνέχεια, υπολογίσαμε από τα σήματα τις βασικές φυσιολογικές παραμέτρους BPM και SC και εφαρμόσαμε σε αυτές στατιστική ανάλυση. Τέλος, εξαγάγαμε από τις μετρήσεις μας στατιστικά χαρακτηριστικά και εκπαιδεύσαμε με αυτά μοντέλα μηχανικής μάθησης, κάνοντας χρήση των αλγορίθμων και των διαδικασιών επισήμανσης των δεδομένων που περιεγράφηκαν στην ενότητα 5.3.2. Οι μέθοδοι της παραπάνω διαδικασίας, καθώς και τα αποτελέσματα και συμπεράσματα που προέκυψαν από αυτή, παρουσιάζονται λεπτομερώς στις επόμενες ενότητες.

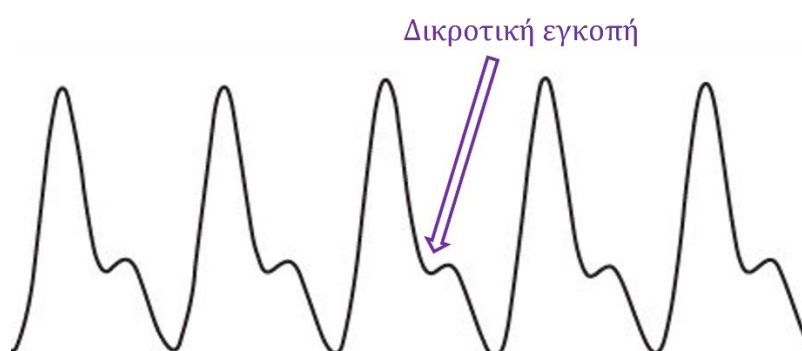
5.6.1 Επεξεργασία φυσιολογικών σημάτων

Επεξεργασία σήματος PPG

Κατά την επεξεργασία του σήματος PPG, στόχος ήταν η ανίχνευση διαδοχικών γεγονότων καρδιακών παλμών και η μέτρηση των χρονικών διαστημάτων μεταξύ τους. Σε αυτή τη διαδικασία, μια βασική πτυχή για ακριβή αποτελέσματα είναι ο

εντοπισμός της ακριβούς στιγμής κατά την οποία λαμβάνει χώρα κάθε καρδιακός παλμός.

Στην **Εικόνα 32** απεικονίζεται ένα τυπικό σήμα PPG. Όταν η καρδιά αντλεί αίμα στο ανθρώπινο σώμα, σε κάθε χτύπο παράγεται ένα παλμικό κύμα που ταξιδεύει κατά μήκος όλων των αρτηριών, μέχρι τα άκρα των τριχοειδών αγγείων, όπου είναι συνδεδεμένος ο αισθητήρας παλμού. Καθώς το σήμα περνά κάτω από τον αισθητήρα, παρατηρείται μία ταχεία ανοδική αύξηση της τιμής του. Στη συνέχεια, το σήμα επιστρέφει ξανά στο αρχικό επίπεδο. Μεταξύ της συστολικής και της διαστολικής φάσης του σήματος, παρεμβάλλεται συχνά η δικροτική εγκοπή που οφείλεται στο κλείσιμο της αορτικής βαλβίδας. Δεδομένου ότι το κύμα είναι επαναλαμβανόμενο και προβλέψιμο, θα μπορούσαμε να επιλέξουμε σχεδόν οποιοδήποτε αναγνωρίσιμο χαρακτηριστικό, όπως αυτό της κορυφής, ως σημείο αναφοράς, και να μετρήσουμε, με αυτόν τον τρόπο, τον καρδιακό ρυθμό. Αυτό, ωστόσο, μπορεί να οδηγήσει σε λανθασμένες ενδείξεις, τόσο λόγω της παρουσίας της δικροτικής εγκοπής, όσο και λόγω της παρουσίας θορύβου.



Εικόνα 32 Ένα τυπικό σήμα PPG. Η δικροτική εγκοπή εμφανίζεται συχνά μεταξύ της συστολικής και της διαστολικής φάσης του σήματος.

Ο αλγόριθμος που εφαρμόσαμε στο παρόν σύστημα βασίζεται στον ισχυρισμό ότι το στιγμιαίο γεγονός του καρδιακού παλμού συμβαίνει σε κάποιο σημείο κατά τη διάρκεια της γρήγορης ανόδου της κυματομορφής PPG. Κάποιοι ερευνητές προτείνουν ότι αυτή η στιγμή είναι όταν το σήμα βρίσκεται στο 25% του πλάτους του, κάποιοι όταν βρίσκεται στο 50%, ενώ άλλοι ισχυρίζονται ότι είναι το σημείο όπου η κλίση είναι πιο απότομη κατά την άνοδο. Ο κώδικας που αναπτύχθηκε για τον

αισθητήρα της επιλογής μας υπολογίζει το χρονικό διάστημα μεταξύ των σημείων που το σήμα ξεπερνάει το 50% του πλάτους του κατά την άνοδο. Ταυτόχρονα, χρησιμοποιούνται χρονικά κατώφλια για την αποφυγή του θορύβου υψηλής συχνότητας και των παρεμβολών από τη δικροτική εγκοπή.

Μια άλλη πρόκληση κατά την προεπεξεργασία είναι το γεγονός ότι το σήμα PPG είναι αρκετά ευαίσθητο στην κίνηση και στις μεταβολές του φωτισμού του περιβάλλοντος κατά τη διάρκεια της καταγραφής [145]. Γενικά, η επιτυχής απομάκρυνση του θορύβου και των τεχνουργημάτων κίνησης στα σήματα PPG έχει αποτελέσει αντικείμενο πολλών ερευνητικών μελετών τα τελευταία χρόνια [146]. Μία από τις προτεινόμενες μεθόδους, η οποία, ωστόσο, δεν έχει μελετηθεί εκτενώς ως μέθοδος αφαίρεσης του θορύβου PPG, είναι η χρήση του φίλτρου Kalman [147].

Η χρήση του φίλτρου Kalman αποσκοπεί στη μείωση του θορύβου της μετρούμενης τιμής του αισθητήρα, προσαρμόζοντάς την, με βάση τα προηγούμενα δεδομένα του αισθητήρα. Για τον σκοπό αυτό, ακολουθεί μια διαδικασία που μπορεί να χωριστεί σε δύο μέρη: πρόβλεψη και ενημέρωση [148]. Στο κομμάτι της πρόβλεψης, ο αλγόριθμος υπολογίζει την επόμενη μέτρηση του αισθητήρα, με βάση τα δεδομένα του παρελθόντος. Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας ενημέρωσης, η τιμή της πρόβλεψης βελτιώνεται, με βάση τη μετρούμενη τιμή, προκειμένου να προσεγγίσει την πραγματική. Στην παρούσα μελέτη, εφαρμόσαμε ένα απλό μονοδιάστατο φίλτρο Kalman για την εξάλειψη των τεχνουργημάτων κίνησης που οφείλονται στην κίνηση του ποντικιού του υπολογιστή.

Επεξεργασία σήματος GSR

Το σήμα GSR επηρεάζεται από τεχνουργήματα, όπως είναι οι χειρονομίες και οι κινήσεις του σώματος ή η προβληματική επαφή μεταξύ των ηλεκτροδίων και του δέρματος [149]. Στην προτεινόμενη πειραματική διάταξη, τα ηλεκτρόδια δεν αποτελούν μέρος μιας φορητής συσκευής αλλά, αντιθέτως, είναι ενσωματωμένα σε μια επιφάνεια που χρησιμοποιείται καθημερινά στην εργασία, δηλαδή σε ένα ποντίκι ηλεκτρονικού υπολογιστή, το οποίο κινείται τακτικά μαζί με το χέρι του χρήστη. Συνεπώς, πρέπει να ληφθεί μέριμνα, κατά την προεπεξεργασία του σήματος, ώστε να αντιμετωπιστούν σφάλματα που οφείλονται στην κίνηση και την έλλειψη σωστής επαφής. Επιλέξαμε την εφαρμογή ενός φίλτρου κινούμενου μέσου όρου, το οποίο

χρησιμοποιείται συχνά κατά την επεξεργασία σημάτων GSR [150]. Συγκεκριμένα, το εύρος του παραθύρου για την εφαρμογή του φίλτρου ήταν δέκα μετρήσεις.

Προκειμένου να λάβουμε από το σήμα εξόδου (V_{out}) τις τιμές της αγωγιμότητας του δέρματος, εκφρασμένες στη μονάδα μέτρησης Siemens, προσαρμόσαμε την εξίσωση μετατροπής που δίνεται από τον κατασκευαστή του αισθητήρα [151], στα χαρακτηριστικά της δικής μας πλακέτας ανάπτυξης, καταλήγοντας στο παρακάτω:

$$SC = \frac{2048 - V_{out}}{(4096 + 2 \cdot V_{out}) \cdot 10000} \quad (5.5)$$

5.6.2 Ανάλυση φυσιολογικών παραμέτρων

Μετά την επεξεργασία των φυσιολογικών σημάτων, εξήχθησαν οι παράμετροι BPM και SC, τόσο για τις περιόδους ελέγχου και στρες κάθε άσκησης, όσο και για τις περιόδους ηρεμίας που παρεμβάλλονταν κατά την πειραματική διαδικασία. Προκειμένου να διερευνήσουμε τη δυνατότητα των φυσιολογικών παραμέτρων να ανιχνεύουν το στρες, πραγματοποιήσαμε στατιστική ανάλυση για τη σύγκριση των διαφορετικών καταστάσεων. Η μηδενική υπόθεση για την εφαρμογή μας ήταν ότι δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των μετρήσεων των φυσιολογικών παραμέτρων που πραγματοποιήθηκαν στις περιόδους ελέγχου και στρες και για τις δύο εργασίες. Τα σύνολα δεδομένων που δημιουργήθηκαν για τα δύο επίπεδα κάθε εργασίας ήταν μη ισορροπημένα, καθώς κατά το σχεδιασμό του πειράματος δεν υπήρχε σταθερό χρονικό όριο για την ολοκλήρωση κάθε επιπέδου. Επιπλέον, οι τιμές των παραμέτρων δεν ήταν κανονικά κατανοημένες. Ως εκ τούτου, εφαρμόσαμε το στατιστικό τεστ Mann-Whitney U στα δεδομένα και διερευνήσαμε τις μεταβολές των χαρακτηριστικών BPM και SC που υπολογίστηκαν από τα σήματα PPG και GSR κατά τη διάρκεια των διαφοροποιημένων συνθηκών.

Στο δεύτερο στάδιο της ανάλυσης, αναπτύξαμε μοντέλα μηχανικής μάθησης για την ταξινόμηση των δεδομένων των δύο ασκήσεων στην κλάση συγκέντρωσης, δηλαδή παρουσίας ήπιου γνωστικού φορτίου και απουσίας στρες και στην κλάση παρουσίας στρες. Για το σκοπό αυτό, χωρίσαμε τις μετρήσεις σε χρονικά παράθυρα 20 δευτερολέπτων με 20% επικάλυψη και εξαγάγαμε στατιστικά χαρακτηριστικά από τα φυσιολογικά σήματα. Το τελικό σύνολο δεδομένων για την εκπαίδευση των

μοντέλων αποτελούταν από 572 δείγματα, από τα οποία στην κλάση της κατάστασης στρες ανήκαν 275, 169 και 252 για τις περιπτώσεις επισήμανσης της Ετικέτας 1, της Ετικέτας 2 και της Ετικέτας 3, αντίστοιχα.

Η μέση τιμή, η τυπική απόκλιση, η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή της παραμέτρου BPM υπολογίστηκαν για κάθε χρονικό παράθυρο. Εκτός από το μέγεθος των καρδιακών παλμών, η διακύμανση αυτών είναι αρκετά σημαντική, όπως προαναφέρθηκε, στη μελέτη του στρες. Συνεπώς, υπολογίσαμε τα ίδια στατιστικά χαρακτηριστικά και για το μέγεθος IBI που υπολογίσαμε από το σήμα PPG. Όσον αφορά τις τιμές SC, χρησιμοποιήσαμε το pyEDA [35], μια βιβλιοθήκη ανοικτού κώδικα για την προεπεξεργασία και την εξαγωγή χαρακτηριστικών της ηλεκτροδερμικής δραστηριότητας. Τα χαρακτηριστικά της μέσης τιμής, του αριθμού των κορυφών του σήματος και της μέγιστης τιμής των κορυφών εξήχθησαν για κάθε χρονικό παράθυρο.

Τα χαρακτηριστικά που υπολογίστηκαν χρησιμοποιήθηκαν για την εκπαίδευση των μοντέλων ταξινόμησης των επιπέδων στρες των υποκειμένων. Ο χωρισμός των δεδομένων σε κλάσεις και η επιλογή των αλγόριθμων ταξινόμησης πραγματοποιήθηκε με τις μεθόδους που περιγράφονται στην ενότητα 5.3.2.

5.6.3 Αποτελέσματα

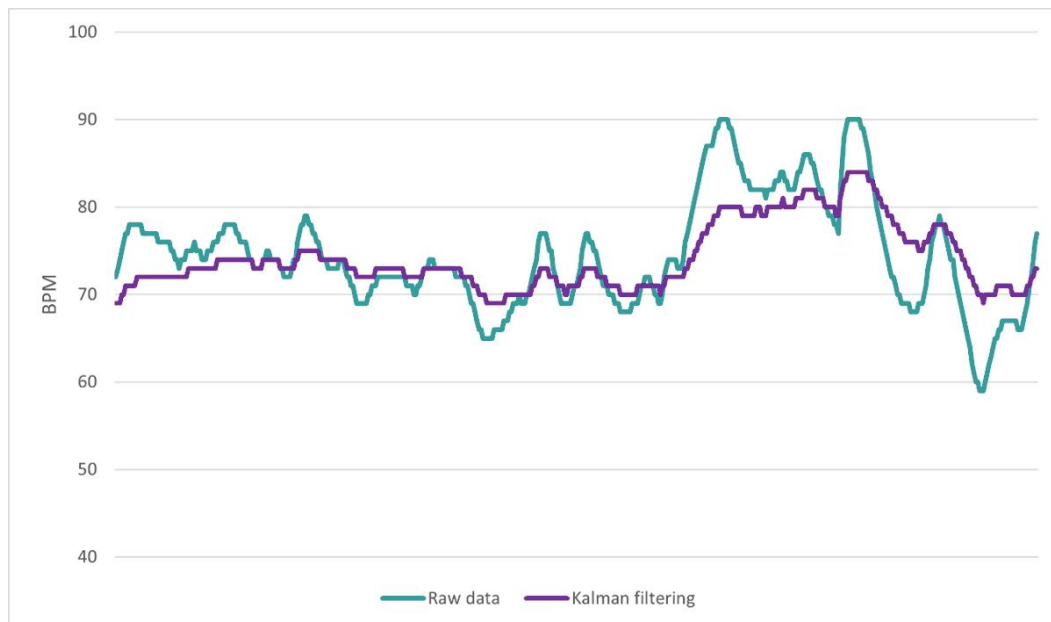
Επεξεργασία φυσιολογικών σημάτων

Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζεται ένα παράδειγμα εφαρμογής των μεθόδων επεξεργασίας σήματος που περιεγράφηκαν στην προηγούμενη ενότητα στις φυσιολογικές παραμέτρους ενός συμμετέχοντα, κατά τη διάρκεια μιας συγκεκριμένης χρονικής περιόδου του πειράματος. Αξίζει να σημειωθεί ότι η επιλογή του χρονικού παραθύρου που παρουσιάζεται είναι τυχαία και δεν αποσκοπεί στην παρουσίαση της εξέλιξης των τιμών σε οποιαδήποτε από τις καταστάσεις ηρεμίας, ελέγχου ή στρες.

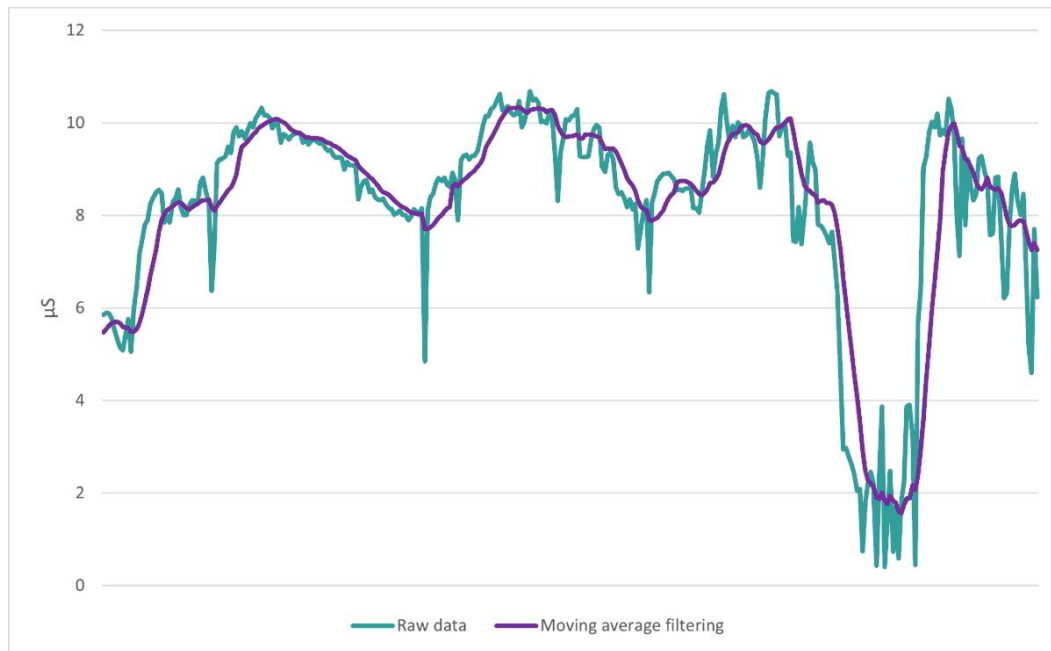
Στην **Εικόνα 33**, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εφαρμογής του φίλτρου Kalman σε δεδομένα BPM που εξάγονται από το σήμα PPG. Κατά τη διαδικασία φιλτραρίσματος, δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή στον προσδιορισμό των κατάλληλων μεταβλητών εισόδου. Δεδομένου ότι ο αισθητήρας που χρησιμοποιήθηκε στην

πειραματική διάταξη δεν παρείχε συγκεκριμένες πληροφορίες σχετικά με τον θόρυβο, οι παράμετροι που σχετίζονται τόσο με τον θόρυβο όσο και με τη διακύμανση των μετρήσεων του μοντέλου και που χρησιμοποιούνται ως είσοδοι κατά την εφαρμογή του φίλτρου προσδιορίστηκαν με πραγματικά δεδομένα. Συγκεκριμένα, παρέχοντας ένα σταθερό σήμα εισόδου γνωστής συχνότητας στον αισθητήρα PPG, μπορέσαμε να προσδιορίσουμε τα επίπεδα θορύβου του και να καθορίσουμε τις κατάλληλες παραμέτρους εισόδου, ώστε να εξασφαλίσουμε τη βέλτιστη απόδοση του φίλτρου.

Τα αποτελέσματα της διαδικασίας επεξεργασίας του σήματος GSR στις πειραματικές μετρήσεις παρουσιάζονται στην **Εικόνα 34**. Το φίλτρο κινούμενου μέσου όρου εφαρμόστηκε σε ένα παράθυρο μεγέθους δέκα μετρήσεων.



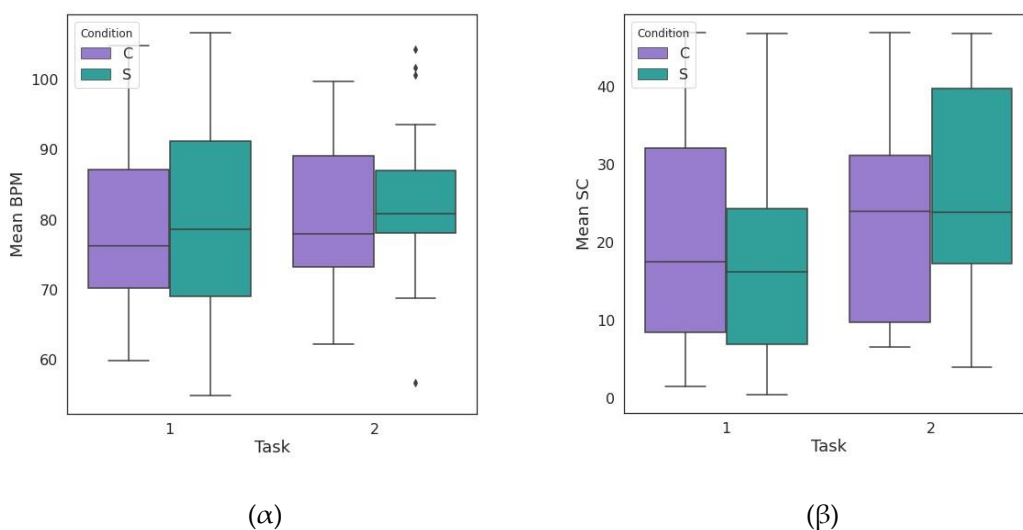
Εικόνα 33 Εφαρμογή του φίλτρου Kalman σε δεδομένα BPM που προέρχονται από το σήμα PPG. Η πράσινη γραμμή απεικονίζει τα ακατέργαστα δεδομένα που λαμβάνονται από τον αισθητήρα, πριν από την προεπεξεργασία, ενώ η μωβ γραμμή απεικονίζει τα ίδια δεδομένα μετά την εφαρμογή του φίλτρου.



Εικόνα 34 Εφαρμογή του φίλτρου κινούμενου μέσου όρου στο σήμα GSR. Η πράσινη γραμμή απεικονίζει τα ακατέργαστα δεδομένα που λαμβάνονται από τον αισθητήρα, πριν από την προεπεξεργασία, ενώ η μωβ γραμμή απεικονίζει τα ίδια δεδομένα μετά την εφαρμογή του κινητού μέσου όρου για μια περίοδο 10 μετρήσεων.

Ανάλυση φυσιολογικών παραμέτρων

Τα σήματα PPG και GSR καταγράφηκαν για όλους τους συμμετέχοντες κατά τη διάρκεια του πειράματος, οδηγώντας στη δημιουργία 32 συνόλων δεδομένων. Οι τιμές BPM και SC υπολογίστηκαν για τα δύο επίπεδα κάθε εργασίας, καθώς και για τις περιόδους ηρεμίας που καταγράφηκαν πριν, μετά και μεταξύ των εργασιών. Στην **Εικόνα 35** παρουσιάζεται το εύρος στο οποίο κυμάνθηκαν οι μέσες τιμές των φυσιολογικών παραμέτρων των συμμετεχόντων κατά τη διάρκεια του Stroop Color Word Task και του Mental Arithmetic Task. Παρατηρείται ότι το εύρος των μέσων τιμών των παραμέτρων είναι μεγάλο, όπως και η διακύμανση, ιδίως κατά τις περιόδους στρες των δύο εργασιών. Η διάμεσος των μέσων τιμών στην περίπτωση του BPM είναι υψηλότερη κατά τη διάρκεια των περιόδων στρες, ενώ στην περίπτωση της SC παρατηρούνται αλλαγές όσον αφορά τη λοξότητα (skewness) των δεδομένων.

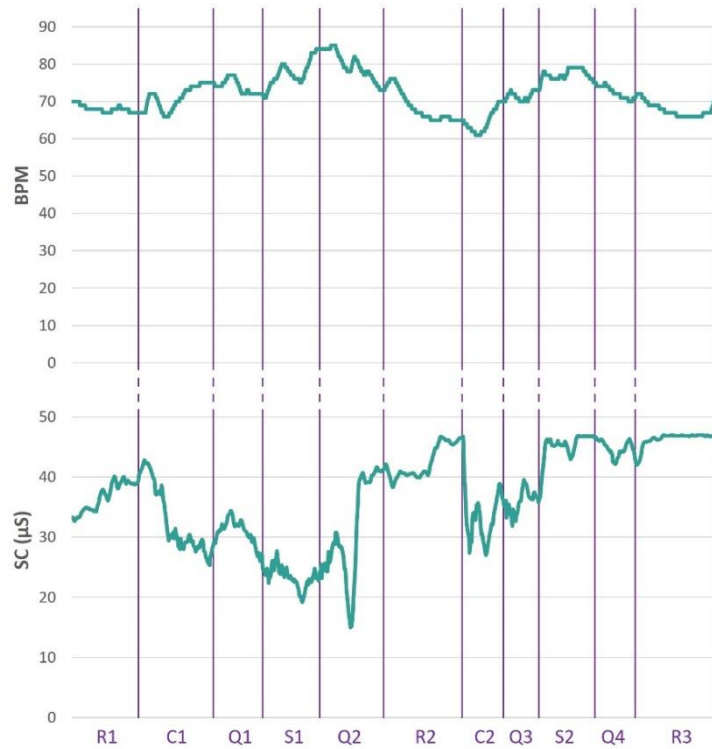


Εικόνα 35 (α) Το θηκόγραμμα των μέσων τιμών BPM όλων των υποκειμένων κατά τη διάρκεια των συνθηκών ελέγχου (C) και στρες (S) του Stroop Color Word Task (Task 1) και του Mental Arithmetic Task (Task 2). (β) Το θηκόγραμμα των μέσων τιμών SC όλων των υποκειμένων κατά τη διάρκεια των συνθηκών ελέγχου (C) και στρες (S) του Stroop Color Word Task (Task 1) και του Mental Arithmetic Task (Task 2). Τα άκρα των μυστάκων (whiskers) ορίζονται σε 1,5 φορές το ενδοτεταρτημοριακό πλάτος. Οι ακραίες τιμές (outliers) απεικονίζονται για κάθε συνθήκη με τους δείκτες σε σχήμα ρόμβου.

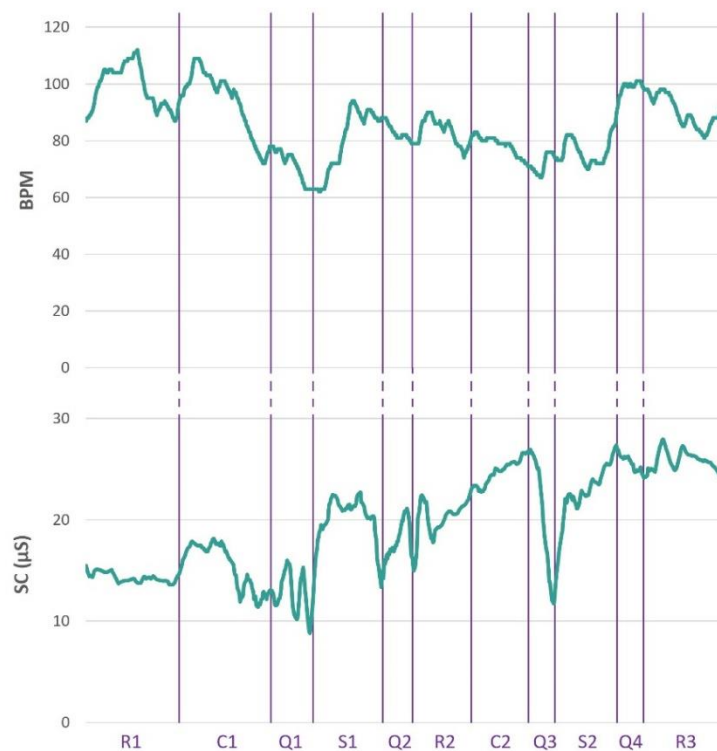
Στην **Εικόνα 36** απεικονίζονται οι μεταβολές των τιμών BPM και SC κατά τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας για δύο άτομα A και B, αντίστοιχα. Όλες οι περίοδοι ηρεμίας, ελέγχου και στρες έχουν οριοθετηθεί και επισημανθεί. Εκτός αυτού, σημειώνονται επίσης οι περίοδοι κατά τις οποίες τα υποκείμενα συμπλήρωσαν τα ερωτηματολόγια αυτοαναφοράς μετά από κάθε επίπεδο κάθε άσκησης.

Παρατηρώντας την εξέλιξη των τιμών με την πάροδο του χρόνου, διαπιστώνεται ότι, στις περισσότερες περιπτώσεις, η έναρξη μιας πειραματικής άσκησης έχει ως αποτέλεσμα την ταχεία άνοδο της SC. Η μεταβολή αυτή μπορεί να παραμείνει καθ' όλη τη διάρκεια της άσκησης (τμήμα S2 στην **Εικόνα 36β**) ή να αρχίσει να μειώνεται μετά από ένα σύντομο χρονικό διάστημα (τμήμα C1 στην **Εικόνα 36α**). Κατά τη διάρκεια των περιόδων ηρεμίας, η αγωγιμότητα παρουσιάζει γενικά ελαφρότερες μεταβολές. Παρατηρώντας την εξέλιξη του BPM, διαπιστώνουμε ότι στην περίπτωση του υποκειμένου A παρατηρείται αύξηση των τιμών, η οποία κλιμακώνεται κατά τη

μετάβαση από τις καταστάσεις ελέγχου στις καταστάσεις στρες και εξασθενεί κατά τις περιόδους ηρεμίας. Από την άλλη πλευρά, στην περίπτωση του υποκειμένου Β, οι τιμές παρουσιάζουν μεγαλύτερες διακυμάνσεις, ενώ η αύξηση των σφυγμών κατά τις περιόδους στρες συχνά διατηρείται κατά τις περιόδους συμπλήρωσης του ερωτηματολογίου και τις περιόδους ηρεμίας που ακολουθούν.



(a)



(b)

Εικόνα 36 Η εξέλιξη των τιμών BPM και SC κατά τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας. Σημειώνονται οι περίοδοι ηρεμίας (R1, R2, R3), οι περίοδοι ελέγχου (C1, C2), οι περίοδοι στρες (S1, S2) και οι περίοδοι συμπλήρωσης του ερωτηματολογίου αυτοαναφοράς (Q1, Q2, Q3, Q4). Όλες οι περίοδοι παρουσιάζονται με τη σειρά με την οποία πραγματοποιήθηκαν. Τα χρονικά διαστήματα C1, Q1, S1 και Q2 αντιστοιχούν στο Stroop Color Word Task, ενώ τα C2, Q3, S2 και Q4 αντιστοιχούν στο Mental Arithmetic Task. (α) Τιμές BPM και SC για το υποκείμενο A- (β) τιμές BPM και SC για το υποκείμενο B.

Ο **Πίνακας 7** παρουσιάζει τα αποτελέσματα των στατιστικών τεστ που εφαρμόστηκαν για τις φυσιολογικές παραμέτρους BPM και SC. Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε για όλα τα στάδια των τριών διαφορετικών φάσεων του πειράματος, δηλαδή για τις περιόδους των καταστάσεων ηρεμίας, ελέγχου και στρες. Παρατηρούμε ότι για τις τιμές BPM, η μηδενική υπόθεση μπορεί να απορριφθεί για την άσκηση Mental Arithmetic Task, αλλά όχι για την άσκηση Stroop Color Word Task. Επιπλέον, δεν προκύπτει καμία στατιστικά πολύ σημαντική διαφορά, όχι μόνο μεταξύ των περιόδων ελέγχου (C1, C2) και μεταξύ των φάσεων άγχους (S1, S2) των δύο ασκήσεων, αλλά και μεταξύ φάσεων διαφορετικών κατηγοριών (C2, S1). Επιπροσθέτως, δεν προκύπτουν σημαντικές διαφορές για τις τιμές BPM μεταξύ

ορισμένων περιόδων ηρεμίας και περιόδων κατά τις οποίες εκτελούνται οι πειραματικές ασκήσεις. Το τελευταίο παρατηρείται και για τις τιμές GSR, οι οποίες, ωστόσο, παρουσιάζουν μια στατιστικά πολύ σημαντική διαφορά μεταξύ των περιόδων ελέγχου και στρες κάθε άσκησης, απορρίπτοντας τη μηδενική υπόθεση.

Πίνακας 7 Οι *p-values* των Mann-Whitney U τεστ για τις παραμέτρους BPM και SC που μετρήθηκαν κατά τη διάρκεια των περιόδων ηρεμίας (R1, R2, R3), ελέγχου (C1, C2) και στρες (S1, S2) του πειράματος. Οι περίοδοι C1 και S1 αντιστοιχούν στην εργασία Stroop Color Word Task, ενώ οι περίοδοι C2 και S2 αντιστοιχούν στην εργασία Mental Arithmetic Task. Οι τιμές πάνω από την κύρια διαγώνιο αντιστοιχούν στα τεστ που πραγματοποιήθηκαν σε τιμές BPM, ενώ οι τιμές κάτω από την κύρια διαγώνιο αντιστοιχούν στις δοκιμασίες που πραγματοποιήθηκαν σε τιμές SC. Το σύμβολο του αστερίσκου τοποθετείται όπου η τιμή *p-value* είναι μικρότερη από 0,001.

BPM SC	R1	R2	R3	C1	C2	S1	S2
R1		*	*	*	*	*	*
R2	*		0,27	0,002	*	0,004	0,05
R3	*	*		*	*	0,007	0,45
C1	*	*	*		0,018	0,08	*
C2	*	0,003	*	*		0,006	*
S1	0,04	0,13	*	*	*		0,003
S2	*	*	0,03	*	*	*	

**p-value* < 0,001

Μηχανική μάθηση

Ο **Πίνακας 8** παρουσιάζει τα αποτελέσματα της επίδοσης των μοντέλων μηχανικής μάθησης που εκπαιδεύτηκαν για τις τρεις περιπτώσεις ετικετών, ως προς τις μετρικές της ακρίβειας και του F1-score. Όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε, η απόδοση των αλγορίθμων είναι συνολικά χειρότερη για την Ετικέτα 1, ενώ παρουσιάζει τις μέγιστες τιμές της για την Ετικέτα 2. Οι τιμές απόδοσης των αλγορίθμων είναι παραπλήσιες, με τους αλγορίθμους gradient boosting να υπερτερούν γενικά των παραδοσιακών αλγορίθμων μηχανικής μάθησης SVM, k-NN και Decision Tree, όσον αφορά την ακρίβεια. Ο αλγόριθμος Random Forest παρουσίασε την καλύτερη απόδοση και στις τρεις κατηγορίες επισήμανσης

δεδομένων, παρουσιάζοντας μέγιστη ακρίβεια ίση με 86,45% και μέγιστο F1-score ίσο με 0,86 για την περίπτωση της Ετικέτας 2.

Πίνακας 8 Τα αποτελέσματα της απόδοσης των μοντέλων ταξινόμησης που εκπαιδεύτηκαν με φυσιολογικά χαρακτηριστικά, εξαγόμενα από τη χρήση του ποντικιού του ηλεκτρονικού υπολογιστή, κατά την εκτέλεση των ασκήσεων Stroop Color Word Task και Mental Arithmetic Task.

Αλγόριθμος	Ετικέτα 1		Ετικέτα 2		Ετικέτα 3	
	Ακρίβεια (%)	F1 score	Ακρίβεια (%)	F1 score	Ακρίβεια (%)	F1 score
SVM	67,59	0,65	74,78	0,75	66,02	0,66
k-NN	64,10	0,64	78,61	0,81	70,31	0,71
Decision Tree	67,36	0,67	78,29	0,79	71,38	0,72
Random Forest	71,88	0,72	86,45	0,86	76,07	0,77
XGBoost	70,12	0,70	84,51	0,85	74,16	0,74
RUSBoost	64,85	0,64	70,46	0,70	66,47	0,66
LightGBM	70,13	0,71	85,33	0,85	75,22	0,75
AdaBoost	65,12	0,65	72,38	0,71	67,76	0,67

5.6.4 Συμπεράσματα

Η ανάλυση των φυσιολογικών παραμέτρων που καταγράφηκαν στα πλαίσια της πειραματικής διαδικασίας ανέδειξε με emphaticό τρόπο την αξιοπιστία τους κατά τη διαδικασία ανίχνευσης του εργασιακού στρες, ενώ παράλληλα λειτούργησε ως μια διαδικασία επικύρωσης της συσκευής που αναπτύχθηκε στην παρούσα έρευνα.

Στα φυσιολογικά σήματα που λαμβάνονται από τους αισθητήρες της πειραματικής διάταξης εφαρμόστηκαν τεχνικές προεπεξεργασίας και εφαρμογής φίλτρων, ώστε να περιοριστούν αλλοιώσεις που οφείλονται στην κίνηση και τον θόρυβο. Η μέθοδος του κινούμενου μέσου όρου χρησιμοποιείται συχνά για την προεπεξεργασία σημάτων GSR. Σε αυτή τη μελέτη, εφαρμόσαμε το φίλτρο κινούμενου μέσου όρου δέκα σημείων που εξομάλυνε το σήμα, εξαλείφοντας επαρκώς το θόρυβο από την κίνηση και το περιβάλλον. Επιπλέον, η εφαρμογή του φίλτρου Kalman μετρίασε επαρκώς τα τεχνουργήματα του σήματος PPG, που προκαλούνται από την κίνηση και το θόρυβο του φωτός του περιβάλλοντος. Τα ευρήματά μας υποδηλώνουν ότι το φίλτρο Kalman μπορεί να αποτελέσει ένα πολλά

υποσχόμενο εργαλείο στην επεξεργασία σήματος PPG και η εφαρμογή του πρέπει να μελετηθεί περαιτέρω.

Τα σήματα GSR και PPG συλλέχθηκαν από τους συμμετέχοντες της πειραματικής διαδικασίας. Από την επεξεργασία και την ανάλυσή τους εξήχθησαν οι φυσιολογικές τιμές BPM και SC και μελετήθηκε η δυνατότητα ανίχνευσης του εργασιακού στρες. Η επισκόπηση της εξέλιξης αυτών των παραμέτρων με την πάροδο του χρόνου έδειξε ότι, υπό συνθήκες στρες, οι τιμές των BPM και SC αυξάνονται. Ωστόσο, είναι προφανές ότι υπάρχουν διαφορές τόσο μεταξύ των υποκειμένων, όσο και μεταξύ των μετρήσεων του ίδιου υποκειμένου, όσον αφορά την απόκριση σε εργασίες που προκαλούν στρες. Ο αντίκτυπος της απόκρισης στις φυσιολογικές μετρήσεις εξαρτάται από το μέγεθος της διέγερσης και την αντίληψη του κάθε υποκειμένου για τη συγκεκριμένη «απειλή». Υπάρχουν περιπτώσεις όπου τα υποκείμενα βρίσκονται σε συνεχή υψηλή εγρήγορση κατά τη διάρκεια της παρουσίας ενός στρεσογόνου ερεθίσματος και άλλες όπου παρουσιάζουν σύντομες αντιδράσεις.

Πραγματοποιήθηκε στατιστική ανάλυση των υπολογιζόμενων φυσιολογικών παραμέτρων BPM και SC. Η μηδενική υπόθεση ήταν ότι δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των μετρήσεων που λήφθηκαν κατά τη διάρκεια των περιόδων ελέγχου και στρες και για τις δύο εργασίες. Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε με τη χρήση στατιστικών εργαλείων για κάθε παράμετρο ξεχωριστά.

Οι τιμές SC εμφάνισαν στατιστικά πολύ σημαντικές διαφορές μεταξύ των φάσεων ελέγχου και στρες και για τις δύο εργασίες του πειράματος. Αυτό επιβεβαιώνει ότι η αγωγιμότητα αποτελεί ένα από τα πιο αξιόπιστα φυσιολογικά μέτρα για την ανίχνευση του στρες [152]. Οι τιμές BPM παρουσίασαν στατιστικά πολύ σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο φάσεων της άσκησης Mental Arithmetic Task, αλλά όχι μεταξύ των αντίστοιχων φάσεων της άσκησης Stroop Color Word Task. Αυτό μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι η τελευταία περιλάμβανε αρκετά μεγαλύτερες και απότομες κινήσεις του ποντικιού του υπολογιστή κατά την εκτέλεσή της. Ως εκ τούτου, η χρήση του φίλτρου Kalman που εφαρμόστηκε για την εξάλειψη του θορύβου που οφείλεται στην κίνηση ενδεχομένως να «απέκοψε», επίσης, χρήσιμη πληροφορία που μπορούσε να εξαχθεί από τις γρήγορες ή ανεπαίσθητες αλλαγές στα σήματα των υποκειμένων. Εναλλακτικές τιμές για τις παραμέτρους του φίλτρου

Kalman που εξυπηρετούν καλύτερα τους σκοπούς της παρέμβασης θα μπορούσαν να διερευνηθούν σε μελλοντικές εργασίες. Επιπλέον, η χρήση του συστήματος σε διαφορετικές αγχωτικές ασκήσεις θα μπορούσε να οδηγήσει σε πρόσθετα χρήσιμα συμπεράσματα.

Οι τιμές των φυσιολογικών παραμέτρων κατά τις περιόδους ηρεμίας παρουσίασαν, σε πολλές περιπτώσεις, σημαντική (p -value < 0,05), αλλά όχι στατιστικά πολύ σημαντική διαφορά με τις τιμές των περιόδων διενέργειας των ασκήσεων του πειράματος. Αυτό αφορά κυρίως τις περιόδους ηρεμίας μετά την εφαρμογή των στρεσογόνων παραγόντων και μπορεί να εξηγηθεί από το γεγονός ότι τα φυσιολογικά σήματα των υποκειμένων δεν είχαν επαρκή χρόνο για να ανακάμψουν πλήρως μετά το προκαλούμενο στρες και να προσεγγίσουν τις τιμές ηρεμίας.

Τα μοντέλα μηχανικής μάθησης που εκπαιδεύτηκαν με τα χαρακτηριστικά που εξήχθησαν από τα φυσιολογικά σήματα εμφάνισαν αρκετά καλή επίδοση για όλους τους αλγόριθμους και όλες τις κατηγορίες επισήμανσης του συνόλου των δεδομένων. Αν και ο αλγόριθμος Random Forest αποδείχτηκε ο πιο αποδοτικός, κάποιοι από τους αλγόριθμους gradient boosting, οι οποίοι δεν προτιμώνται συχνά για εφαρμογή σε φυσιολογικές παραμέτρους, εμφάνισαν αρκετά υψηλές αποδόσεις, επίσης. Τα αποτελέσματα των μοντέλων ενισχύουν αυτά της στατιστικής ανάλυσης και αποδεικνύουν ότι τα φυσιολογικά σήματα GSR και PPG μπορούν να είναι αξιόπιστοι δείκτες μέτρησης σε ένα σύστημα αυτόματης παρακολούθησης και ανίχνευσης του εργασιακού στρες.

5.7 Ανίχνευση εργασιακού στρες μέσω ανάλυσης συμπεριφορικών παραμέτρων

Οι μετρήσεις και παράμετροι που μπορούν να προκύψουν από τη συμπεριφορά και τη δραστηριότητα των ατόμων κατά τη διάρκεια της ρουτίνας τους δεν έχουν μελετηθεί στον ίδιο βαθμό με τα φυσιολογικά σήματα, στον τομέα της ανάλυσης του στρες. Αυτό οφείλεται, κυρίως, στη μεγαλύτερη πρόκληση που εμπεριέχει η σωστή καταγραφή και ανάλυση αυτού του είδους δεδομένων. Οι συμπεριφορικές παράμετροι μπορούν, ωστόσο, να αποτελέσουν μια αξιόπιστη εναλλακτική για

εφαρμογές πραγματικού χρόνου, αποφεύγοντας τα μειονεκτήματα των συστημάτων που βασίζονται στην ανάλυση των φυσιολογικών παραμέτρων και αναφέρονται συνήθως στην επεμβατικότητα και την πολυπλοκότητα.

Ο ηλεκτρονικός υπολογιστής αποτελεί πλέον αναπόσπαστο κομμάτι της εργασίας σε ένα περιβάλλον γραφείου. Τα μοτίβα πληκτρολόγησης των χρηστών αναλύθηκαν, αρχικά, για εφαρμογές ασφάλειας και ταυτοποίησης. Όταν, όμως, παρατηρήθηκε ότι αυτά μεταβάλλονται, όχι μόνο μεταξύ των χρηστών αλλά, σε ένα βαθμό, και μεταξύ διαφορετικών δειγμάτων του ίδιου χρήστη, άρχισε να μελετάται ο ρόλος που παίζουν η συναισθηματική κατάσταση, η κούραση και το στρες σε αυτό το φαινόμενο. Επίσης, διερευνήθηκε το περιεχόμενο της αλληλεπίδρασης των χρηστών και με άλλες περιφερειακές μονάδες του ηλεκτρονικού υπολογιστή, κυρίως με το ποντίκι.

Οι εφαρμογές που αξιοποιούν τα δεδομένα δυναμικής πληκτρολογίου και ποντικιού ηλεκτρονικού υπολογιστή, εάν είναι αποτελεσματικές, αποτελούν μια ελκυστική επιλογή, καθώς μπορούν να συλλέγουν δεδομένα με μη επεμβατικό τρόπο, συνεχώς και για μεγάλο χρονικό διάστημα. Επίσης, δεν απαιτούν επιπλέον εξοπλισμό και αξιοποιούν συμπεριφορές στις οποίες το άτομο εμπλέκεται ήδη στη ρουτίνα της εργασίας του.

Στην παρούσα ενότητα μελετάται η επίδραση των συμπεριφορικών δεδομένων που προκύπτουν από τη χρήση του πληκτρολογίου του ηλεκτρονικού υπολογιστή. Προκειμένου να αναλύσουμε μεμονωμένα τις συμπεριφορικές παραμέτρους και τη σχέση τους με το στρες των συμμετεχόντων του πειράματος, χρησιμοποιήσαμε τα δεδομένα που καταγράφηκαν κατά την άσκηση μεταγραφής κειμένου, καθώς αυτή περιλάμβανε αποκλειστικά τη χρήση του πληκτρολογίου του ηλεκτρονικού υπολογιστή. Στις υποενότητες που ακολουθούν παρουσιάζονται οι μέθοδοι επεξεργασίας των συμπεριφορικών δεδομένων και εξαγωγής συμπεριφορικών παραμέτρων, καθώς και τα αποτελέσματα και συμπεράσματα που προέκυψαν από τη μετέπειτα ανάλυσή τους.

5.7.1 Επεξεργασία συμπεριφορικών δεδομένων

Κατά τη διάρκεια εκτέλεσης του πειράματος, τα δεδομένα χρήσης του πληκτρολογίου και του ποντικιού του ηλεκτρονικού υπολογιστή καταγράφηκαν με το εργαλείο Inputlog. Αφού απομονώσαμε τα δεδομένα που αφορούν τα δύο επίπεδα της άσκησης μεταγραφής κειμένου, επεξεργαστήκαμε τα ακατέργαστα δεδομένα πληκτρολόγησης για την εξαγωγή χαρακτηριστικών. Λόγω τεχνικών προβλημάτων κατά τη διάρκεια της καταγραφής, δύο από τους συμμετέχοντες (ID συμμετοχής 10 και 25) αποκλείστηκαν από την ανάλυση που αφορά τη συγκεκριμένη άσκηση. Στις μετρήσεις των υπόλοιπων υποκειμένων, εφαρμόστηκε ένα ολισθαίνον παράθυρο 5 δευτερολέπτων με επικάλυψη 2 δευτερολέπτων και για κάθε παράθυρο υπολογίστηκαν τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- **Χρόνος πατήματος του πλήκτρου (keystroke dwell time) (ms):** ο χρόνος μεταξύ του πατήματος και της αποδέσμευσης ενός πλήκτρου.
- **Χρόνος down-to-down των πλήκτρων (keystroke down-to-down time) (ms):** ο χρόνος μεταξύ του πατήματος δύο διαδοχικών πλήκτρων.
- **Ταχύτητα πληκτρολόγησης (velocity):** ο αριθμός των πλήκτρων που πατήθηκαν ανά δευτερόλεπτο.
- **Χρόνος καθυστέρησης (latency) (ms):** ο χρόνος που μεσολαβεί από την αποδέσμευση ενός πλήκτρου έως το πάτημα του επόμενου πλήκτρου.
- **Αριθμός σφαλμάτων (errors):** το άθροισμα των φορών που πατήθηκαν τα πλήκτρα backspace και delete.

Η επιλογή των χαρακτηριστικών έγινε με βάση τη μελέτη της βιβλιογραφίας και παρόμοιων μελετών για την ανίχνευση στρες μέσω της δυναμικής του πληκτρολογίου [153], [154]. Όσον αφορά τα χαρακτηριστικά του χρόνου πατήματος του πλήκτρου, του χρόνου down-to-down και του χρόνου καθυστέρησης, τα οποία δίνουν έναν πίνακα τιμών για κάθε χρονικό παράθυρο, εξήχθησαν τα μεγέθη της μέσης τιμής, της τυπικής απόκλισης, της ελάχιστης και μέγιστης τιμής και των τιμών μεταβολής από σημείο σε σημείο (point-to-point – PtP), για κάθε ένα από τα χρονικά παράθυρα. Για τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά εξήχθη μία μεμονωμένη τιμή. Συνεπώς, προέκυψε, τελικά, ένα σύνολο 17 χαρακτηριστικών σχετικά με το χρόνο και το περιεχόμενο της χρήσης του πληκτρολογίου.

Προκειμένου να διερευνήσουμε τη δυνατότητα των συμπεριφορικών παραμέτρων να ανιχνεύουν το στρες, πραγματοποιήσαμε στατιστική ανάλυση για τη σύγκριση του επιπέδου της κατάστασης ελέγχου και του επιπέδου κατάστασης στρες της άσκησης μεταγραφής κειμένου. Η μηδενική υπόθεση για την εφαρμογή μας ήταν ότι δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των συμπεριφορικών παραμέτρων των δύο περιόδων. Τα σύνολα δεδομένων που δημιουργήθηκαν για τα δύο επίπεδα της άσκησης ήταν μη ισορροπημένα, καθώς κατά το σχεδιασμό του πειράματος δεν υπήρχε σταθερό χρονικό όριο για την ολοκλήρωση κάθε επιπέδου. Επιπλέον, οι τιμές των παραμέτρων δεν ήταν κανονικά κατανομημένες. Ως εκ τούτου, εφαρμόσαμε το στατιστικό τεστ Mann-Whitney U στα δεδομένα και διερευνήσαμε τις μεταβολές των χαρακτηριστικών της δυναμικής του πληκτρολογίου που υπολογίστηκαν για κάθε χρονικό παράθυρο.

Στη συνέχεια, εκπαιδύσαμε μοντέλα μηχανικής μάθησης για την ταξινόμηση των δεδομένων της άσκησης μεταγραφής κειμένου στην κλάση συγκέντρωσης, δηλαδή παρουσίας ήπιου γνωστικού φορτίου και απουσίας στρες και στην κλάση παρουσίας στρες. Το σύνολο δεδομένων προς εκπαίδευση αποτελούταν από 5038 δείγματα, από τα οποία τα 2369, 1319 και 2213 ανήκαν στην κλάση στρες, με βάση την επισήμανση της Ετικέτας 1, της Ετικέτας 2 και της Ετικέτας 3, αντίστοιχα. Ο χωρισμός των δεδομένων σε κλάσεις και η επιλογή των αλγόριθμων ταξινόμησης πραγματοποιήθηκε με τις μεθόδους που περιγράφονται στην ενότητα 5.3.2.

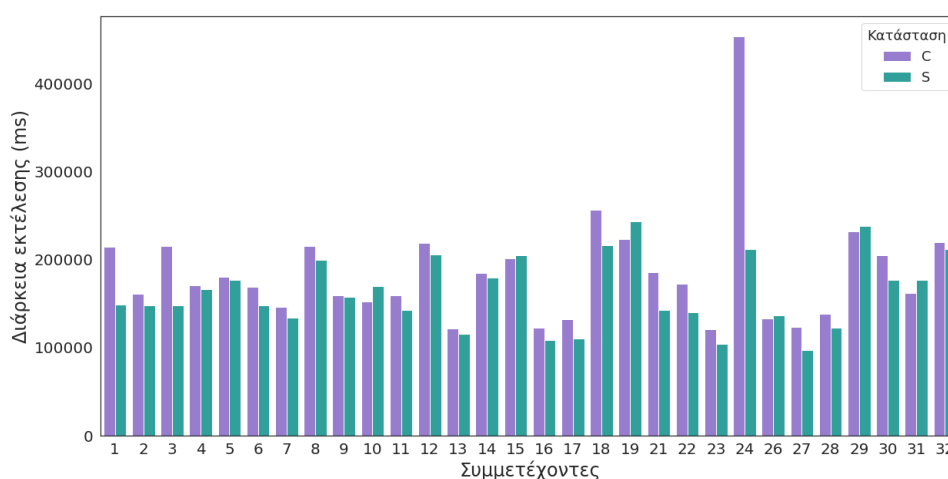
5.7.2 Αποτελέσματα

Στην **Εικόνα 37** παρουσιάζεται η διάρκεια εκτέλεσης της άσκησης μεταγραφής κειμένου για τις καταστάσεις ελέγχου και στρες για όλα τα υποκείμενα. Παρά το γεγονός ότι δεν υπήρχε κάποιος χρονικός περιορισμός ολοκλήρωσης της άσκησης για κανένα από τα δύο επίπεδα, από το διάγραμμα παρατηρείται ότι η πλειοψηφία των συμμετεχόντων ολοκλήρωσε το επίπεδο της στρεσογόνου κατάστασης σε λιγότερο χρόνο.

Ο **Πίνακας 9** παρουσιάζει τα αποτελέσματα των στατιστικών τεστ που πραγματοποιήθηκαν για κάθε ένα από τα εξαγόμενα χαρακτηριστικά της δυναμικής του πληκτρολογίου για τα δύο επίπεδα της άσκησης μεταγραφής κειμένου.

Παρατηρείται ότι στατιστικά πολύ σημαντικές διαφορές παρουσίασαν τα χαρακτηριστικά των keystroke down-to-down time, latency και velocity.

Ο Πίνακας 10 παρουσιάζει τα αποτελέσματα των μοντέλων μηχανικής μάθησης που εκπαιδεύσαμε. Παρατηρούμε ότι, όπως και στην περίπτωση των φυσιολογικών παραμέτρων, η απόδοση όλων των αλγορίθμων παρουσίασε τις χαμηλότερες τιμές για την Ετικέτα 1 και τις υψηλότερες για την Ετικέτα 2. Ο αλγόριθμος XGBoost παρουσίασε την καλύτερη απόδοση για την Ετικέτα 1 και την Ετικέτα 2, ενώ ο αλγόριθμος Random Forest ήταν ο πιο αποτελεσματικός όταν η επισήμανση των δεδομένων έγινε με βάση την Ετικέτα 3. Σε κάθε περίπτωση, οι μετρικές των δύο αλγορίθμων είναι αξιοσημείωτα κοντά και στα τρία σενάρια και υπερτερούν των άλλων εναλλακτικών λύσεων, με τα αποτελέσματα του LightGBM να ακολουθούν.



Εικόνα 37 Η διάρκεια εκτέλεσης του επιπέδου κατάστασης ελέγχου (C) και του επιπέδου κατάστασης στρες (S) της άσκησης μεταγραφής κειμένου για κάθε συμμετέχοντα του πειράματος.

Πίνακας 9 Τα αποτελέσματα του στατιστικού τεστ Mann-Whitney U που εφαρμόστηκε στα εξαγόμενα συμπεριφορικά χαρακτηριστικά για τα επίπεδα κατάστασης ελέγχου και στρες της άσκησης μεταγραφής κειμένου.

	Χαρακτηριστικό	p-value
Keystroke dwell time	Μέση τιμή	0,69
	Τυπική απόκλιση	0,575
	Ελάχιστη τιμή	0,579
	Μέγιστη τιμή	0,447

	Τιμή PtP	0,354
Keystroke down-to-down time	Μέση τιμή	8,31e-09
	Τυπική απόκλιση	1,03e-07
	Ελάχιστη τιμή	0,001
	Μέγιστη τιμή	3,71e-06
	Τιμή PtP	1,08e-05
Latency	Μέση τιμή	1,30e-07
	Τυπική απόκλιση	3,65e-07
	Ελάχιστη τιμή	0,0001
	Μέγιστη τιμή	3,21e-06
	Τιμή PtP	1,63e-05
Velocity		1,41e-08
Errors		0,245

Πίνακας 10 Τα αποτελέσματα της απόδοσης των μοντέλων ταξινόμησης που εκπαιδεύτηκαν με συμπεριφορικά χαρακτηριστικά, εξαγόμενα από τη χρήση του πληκτρολογίου κατά την εκτέλεση της άσκησης μεταγραφής κειμένου.

Αλγόριθμος	Ετικέτα 1		Ετικέτα 2		Ετικέτα 3	
	Ακρίβεια (%)	F1 score	Ακρίβεια (%)	F1 score	Ακρίβεια (%)	F1 score
SVM	58,35	0,60	79,76	0,82	64,94	0,65
k-NN	62,55	0,64	86,51	0,88	72,31	0,75
Decision Tree	59,37	0,59	85,11	0,86	70,56	0,71
Random Forest	68,36	0,68	92,12	0,92	80,34	0,81
XG Boost	68,60	0,69	92,94	0,93	78,55	0,79
RUSBoost	60,80	0,61	80,48	0,81	64,45	0,63
LightGBM	66,65	0,67	91,43	0,91	76,80	0,77
AdaBoost	60,19	0,61	81,43	0,82	65,28	0,64

5.7.3 Συμπεράσματα

Από την παραπάνω ανάλυση γίνεται εμφανές ότι οι συμπεριφορικές παράμετροι που προκύπτουν από τη χρήση του πληκτρολογίου επηρεάζονται από τα επίπεδα στρες των χρηστών. Το επίπεδο της κατάστασης στρες της άσκησης μεταγραφής κειμένου περιλάμβανε το στρεσογόνο παράγοντα της απειλής κοινωνικής αξιολόγησης μέσω της μπάρας προόδου. Επίσης, επεδίωκε να προκαλέσει στρες στα υποκείμενα αναπαράγοντας ήχους εισερχόμενων μηνυμάτων και κλήσεων που έχουν

συνδεθεί με την ώρα εργασίας. Παρόλα αυτά, δεν υπήρχε κάποιος χρονικός περιορισμός ολοκλήρωσης του επιπέδου, όπως συνέβαινε με την κατάσταση στρες άλλων ασκήσεων του πειράματος. Μελετώντας τους χρόνους ολοκλήρωσης της άσκησης για τα δύο επίπεδα και για όλα τα υποκείμενα, παρατηρούμε ότι αυτοί επηρεάστηκαν σημαντικά από την προσθήκη των στρεσογόνων παραγόντων, υποδηλώνοντας ότι το μοτίβο πληκτρολόγησης των χρηστών μεταβλήθηκε.

Η διαπίστωση αυτή ενισχύεται σημαντικά από τη στατιστική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε για κάθε ένα από τα συμπεριφορικά χαρακτηριστικά που υπολογίστηκαν για τα χρονικά παράθυρα που επιλέξαμε. Συγκεκριμένα, φάνηκε ότι χαρακτηριστικά που σχετίζονται με την ταχύτητα πληκτρολόγησης και τους χρόνους που μεσολαβούν μεταξύ του πατημάτων δύο διαδοχικών κουμπιών ή μεταξύ της αποδέσμευσης ενός κουμπιού και πατήματος του αμέσως επόμενου επηρεάστηκαν από το στρες, ενώ άλλα, όπως ο αριθμός των λαθών του χρήστη, δεν επηρεάστηκαν σημαντικά. Τέλος, τα μοντέλα μηχανικής μάθησης που εκπαιδεύτηκαν με τα συμπεριφορικά χαρακτηριστικά από τη χρήση του πληκτρολογίου εμφάνισαν πολύ καλή απόδοση, με μετρικές απόδοσης που ξεπέρασαν σε κάποιες περιπτώσεις το 90%.

Παρά το γεγονός ότι ο αριθμός των δεδομένων που συλλέχτηκαν στη συγκεκριμένη άσκηση δεν ήταν αρκετά μεγάλος, καθώς τα κείμενα προς μεταγραφή αποτελούνταν από 80-85 λέξεις, τα αποτελέσματα της ανάλυσής μας ήταν αρκετά ενθαρρυντικά ως προς το ρόλο των συμπεριφορικών παραμέτρων της πληκτρολόγησης στην ανίχνευση του εργασιακού στρες.

5.8 Ανίχνευση εργασιακού στρες μέσω συνδυαστικής ανάλυσης φυσιολογικών και συμπεριφορικών παραμέτρων

Προκειμένου να διερευνήσουμε τη συνδυαστική ανάλυση των φυσιολογικών και συμπεριφορικών παραμέτρων που καταγράφονται από το σύστημα ανίχνευσης στρες, χρησιμοποιήσαμε τα δεδομένα που συλλέχθηκαν κατά τη διάρκεια της άσκησης συλλογής πληροφοριών. Όπως είναι προφανές, όταν τα άτομα πληκτρολογούν, συνήθως δεν κάνουν ταυτόχρονη χρήση του ποντικιού του υπολογιστή. Ως εκ τούτου, καθώς οι αισθητήρες που καταγράφουν τα φυσιολογικά

σήματα είναι ενσωματωμένοι στο ποντίκι του υπολογιστή, δεν είναι δυνατή η ταυτόχρονη καταγραφή των χαρακτηριστικών δυναμικής του πληκτρολογίου και των φυσιολογικών μετρήσεων. Από την άλλη πλευρά, κατά τη χρήση του ποντικιού του ηλεκτρονικού υπολογιστή, πραγματοποιείται ταυτόχρονη καταγραφή φυσιολογικών μετρήσεων και συμπεριφορικών χαρακτηριστικών που προκύπτουν από τη δυναμική του. Στις υποενότητες που ακολουθούν περιγράφεται η προσέγγιση που ακολουθήθηκε για τη συσχετιστική μελέτη των δύο τύπων μετρήσεων, καθώς και τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα που προέκυψαν από αυτή.

5.8.1 Επεξεργασία συμπεριφορικών μετρήσεων της δυναμικής του ποντικιού ηλεκτρονικού υπολογιστή

Οι μετρήσεις σχετικά με τη χρήση του ποντικιού ηλεκτρονικού υπολογιστή της διάταξής μας καταγράφηκαν με το λογισμικό Inputlog, όπως ακριβώς στην περίπτωση του πληκτρολογίου. Από τα δεδομένα που προέκυψαν από την άσκηση συλλογής πληροφοριών, εξαγάγαμε τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- **Χρόνος δράσης του ποντικιού (mouse action time) (ms):** η διάρκεια της κίνησης, του κλικ ή της κύλισης της ροδέλας του ποντικιού του υπολογιστή.
- **Χρόνος παύσης της κίνησης του ποντικιού (mouse pause time) (ms):** ο χρόνος που ακολουθεί μια δράση του ποντικιού του υπολογιστή.
- **Αριθμός των κλικ (number of clicks):** το άθροισμα των φορών που πατήθηκαν το αριστερό και το δεξί κλικ του ποντικιού του υπολογιστή.
- **Αριθμός κυλίσεων της ροδέλας (number of scrolls) (ms):** το άθροισμα των φορών που πραγματοποιήθηκε κύλιση της ροδέλας του ποντικιού του υπολογιστή.
- **Συνολική διανυόμενη απόσταση (total mouse distance):** η συνολική απόσταση που διανύει ο δρομέας του ποντικιού στην οθόνη.

Όσον αφορά τα χαρακτηριστικά του χρόνου δράσης και του χρόνου παύσης της κίνησης του ποντικιού του υπολογιστή, τα οποία δίνουν έναν πίνακα τιμών για κάθε χρονικό παράθυρο που θα επιλεγεί, εξήχθησαν τα μεγέθη της μέσης τιμής, της τυπικής απόκλισης, της ελάχιστης και μέγιστης τιμής και των τιμών μεταβολής από σημείο σε σημείο (point-to-point – PtP), για κάθε ένα από τα χρονικά παράθυρα. Για τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά εξήχθη μία μεμονωμένη τιμή. Συνεπώς, προέκυψε,

τελικά, ένα σύνολο 13 χαρακτηριστικών σχετικά με το χρόνο και το περιεχόμενο της χρήσης του ποντικιού.

5.8.1 Μεθοδολογία

Η συνδυαστική ανάλυση των φυσιολογικών και συμπεριφορικών παραμέτρων που καταγράφονται από το σύστημα της παρούσας μελέτης βασίζεται στην τεχνική της συγχώνευσης. Η συγχώνευση σε πολυτροπικά συστήματα αναφέρεται στη διαδικασία συνδυασμού πληροφοριών από πολλαπλές πηγές, όπως δεδομένων αισθητήρων, ήχου, βίντεο ή δεδομένων κειμένου, προκειμένου να βελτιωθεί η συνολική απόδοση ενός συστήματος. Η διαδικασία της συγχώνευσης μπορεί να πραγματοποιηθεί σε διάφορα επίπεδα.

Η συγχώνευση χαρακτηριστικών είναι ένας τύπος συγχώνευσης που περιλαμβάνει το συνδυασμό χαρακτηριστικών που εξάγονται από διαφορετικές πηγές σε μια ενιαία αναπαράσταση. Αυτό μπορεί να γίνει με τη συνένωση ή τη συγχώνευση διανυσμάτων χαρακτηριστικών διαφορετικού τύπου ή με την εξαγωγή χαρακτηριστικών υψηλότερου επιπέδου, μέσω τεχνικών όπως η βαθιά μάθηση. Η συγχώνευση χαρακτηριστικών αποσκοπεί στη σύλληψη των συμπληρωματικών ή πλεοναζόντων πληροφοριών από διαφορετικές πηγές σε επίπεδο χαρακτηριστικών, γεγονός που μπορεί να βελτιώσει τη διακριτική ικανότητα των συγχωνευμένων παραμέτρων και να ενισχύσει την απόδοση του συστήματος.

Η συγχώνευση μοντέλων, επίσης γνωστή ως πρώιμη συγχώνευση, είναι ένας τύπος συγχώνευσης που περιλαμβάνει την εκπαίδευση ενός ενιαίου μοντέλου που δέχεται εισόδους από πολλαπλές πηγές και μαθαίνει κοινές αναπαραστάσεις ή χαρακτηριστικά. Αυτό μπορεί να γίνει μέσω τεχνικών όπως η πολυτροπική βαθιά μάθηση, όπου ένα ενιαίο νευρωνικό δίκτυο εκπαιδεύεται για να μαθαίνει ταυτόχρονα αναπαραστάσεις από διαφορετικού τύπου δεδομένα.

Η συγχώνευση αποφάσεων, επίσης γνωστή ως όψιμη συγχώνευση, είναι ένας τύπος συγχώνευσης που συνδυάζει τις αποφάσεις ή τις προβλέψεις πολλαπλών ταξινομητών ή μεθόδων στο επίπεδο απόφασης. Αυτό μπορεί να γίνει μέσω τεχνικών όπως η πλειοψηφική ψηφοφορία, ο μέσος όρος ή ο σταθμισμένος μέσος όρος. Η συγχώνευση αποφάσεων αποσκοπεί στο συνδυασμό των αποτελεσμάτων

διαφορετικών ταξινομητών για τη λήψη μιας τελικής απόφασης ή πρόβλεψης, λαμβάνοντας υπόψη τα πλεονεκτήματα και τις αδυναμίες κάθε πηγής. Η συγχώνευση αποφάσεων χρησιμοποιείται συνήθως όταν οι έξοδοι πολλαπλών ταξινομητών ή πηγών είναι διαθέσιμες και μπορούν να συνδυαστούν για να βελτιώσουν τη συνολική απόδοση του συστήματος.

Το πρώτο βήμα για τη συνδυαστική ανάλυση διαφορετικών τύπων παραμέτρων ήταν να πραγματοποιηθεί συγχώνευση σε επίπεδο χαρακτηριστικών στις μετρήσεις του ποντικιού του υπολογιστή με τη συνένωση των φυσιολογικών και συμπεριφορικών χαρακτηριστικών σε ένα ενιαίο διάνυσμα. Στη συνέχεια εκπαιδεύσαμε μοντέλα μηχανικής μάθησης με το σύνολο δεδομένων που προέκυψε και συγκρίναμε τις επιδόσεις τους με μοντέλα που εκπαιδεύτηκαν μεμονωμένα με τις φυσιολογικές και συμπεριφορικές παραμέτρους των διανυσμάτων.

Το επόμενο στάδιο της ανάλυσής μας ήταν η συνδυαστική μελέτη των παραμέτρων που εξάγονται από τη χρήση του πληκτρολογίου και του ποντικιού του υπολογιστή. Για το σκοπό αυτό, χωρίσαμε τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια της άσκησης συλλογής πληροφοριών σε χρονικά παράθυρα διάρκειας ενός λεπτού. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός συνόλου δεδομένων 376 δειγμάτων, από τα οποία τα 153, 99 και 171 ανήκαν στην κλάση της κατάστασης στρες, σύμφωνα με την Ετικέτα 1, την Ετικέτα 2 και την Ετικέτα 3, αντίστοιχα. Στη συνέχεια εκπαιδεύσαμε ξεχωριστά μοντέλα για τα δεδομένα του πληκτρολογίου και του ποντικιού του υπολογιστή και εφαρμόσαμε συγχώνευση σε επίπεδο απόφασης για την ανάπτυξη του τελικού συστήματος. Καθώς οι καταγραφές των δύο συσκευών είναι αμοιβαία αποκλειόμενες, αρκετά δείγματα του συνόλου δεδομένων που προέκυψε παρουσίασαν έλλειψη ενός από τους δύο τύπους χαρακτηριστικών (χαρακτηριστικά εξαγόμενα από τη χρήση του πληκτρολογίου, χαρακτηριστικά εξαγόμενα από τη χρήση του ποντικιού ηλεκτρονικού υπολογιστή), παρά το μεγάλο χρονικό παράθυρο που επιλέξαμε. Προκειμένου να το αντιμετωπίσουμε αυτό, εφαρμόσαμε μια μεθοδολογία κατά τη διαδικασία εκπαίδευσης του μοντέλου, όπου η τελική πρόβλεψη βασίζεται στις μετρήσεις της συσκευής που είναι διαθέσιμες κάθε φορά. Συγκεκριμένα, εάν είναι διαθέσιμες μόνο οι καταγραφές της μίας συσκευής, η πρόβλεψη βασίζεται στον αντίστοιχο

ταξινομητή, ενώ εάν είναι διαθέσιμες και οι δύο, η τελική πρόβλεψη προκύπτει μέσω ενός αλγορίθμου συγχώνευσης σταθμισμένων αποφάσεων. Τα βάρη των δύο ταξινομητών κατά τη διαδικασία της συγχώνευσης καθορίστηκαν με βάση την απόδοσή τους. Οι αλγόριθμοι Random Forest, XGBoost και LightGBM εφαρμόστηκαν κατά τη διάρκεια αυτού του σταδίου της μελέτης, καθώς παρουσίασαν τις καλύτερες επιδόσεις στα μοντέλα που εκπαιδεύτηκαν προηγουμένως.

5.8.2 Αποτελέσματα

Ο **Πίνακας 11** παρουσιάζει τα αποτελέσματα των μοντέλων που βασίστηκαν στις συμπεριφορικές μετρήσεις του ποντικιού του ηλεκτρονικού υπολογιστή, ο **Πίνακας 12** παρουσιάζει τα αντίστοιχα αποτελέσματα για τις φυσιολογικές μετρήσεις, ενώ ο **Πίνακας 13** αφορά την απόδοση των μοντέλων στα συνδυασμένα διανύσματα. Μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι τα μοντέλα που εκπαιδεύτηκαν με το συνδυασμένο σύνολο χαρακτηριστικών είχαν καλύτερες επιδόσεις, ξεπερνώντας κατά πολύ εκείνα που εκπαιδεύτηκαν με τις συμπεριφορικές παραμέτρους και λιγότερο εκείνα που βασίστηκαν στις φυσιολογικές. Στην περίπτωση των συμπεριφορικών χαρακτηριστικών, οι αλγόριθμοι Random Forest και LightGBM παρουσίασαν την καλύτερη απόδοση, ενώ στην περίπτωση των φυσιολογικών χαρακτηριστικών, ο αλγόριθμος Random Forest υπερείχε των άλλων. Οι αλγόριθμοι LightGBM και XGBoost ήταν οι πιο αποτελεσματικοί στην περίπτωση του συνδυασμένου διανύσματος χαρακτηριστικών, φθάνοντας σε ποσοστά ακρίβειας 90%. Όπως και στην προηγούμενη εργασία, οι μετρικές απόδοσης ήταν συνολικά υψηλότερες για την επισήμανση των δεδομένων με βάση την Ετικέτα 2.

***Πίνακας 11** Τα αποτελέσματα της απόδοσης των μοντέλων ταξινόμησης που εκπαιδεύτηκαν με συμπεριφορικά χαρακτηριστικά, εξαγόμενα από τη χρήση του ποντικιού του ηλεκτρονικού υπολογιστή κατά την εκτέλεση της άσκησης συλλογής πληροφοριών.*

Αλγόριθμος	Ετικέτα 1		Ετικέτα 2		Ετικέτα 3	
	Ακρίβεια (%)	F1 score	Ακρίβεια (%)	F1 score	Ακρίβεια (%)	F1 score
SVM	62,75	0,68	62,86	0,71	57,82	0,65
k-NN	71,02	0,74	73,13	0,76	65,46	0,67
Decision Tree	72,41	0,73	76,29	0,77	69,50	0,70

Random Forest	79,01	0,80	83,24	0,83	73,45	0,74
XG Boost	79,47	0,80	81,76	0,82	72,69	0,73
RUSBoost	65,66	0,67	68,89	0,70	63,45	0,65
LightGBM	80,20	0,80	82,85	0,83	74,45	0,75
AdaBoost	66,59	0,68	69,52	0,70	62,94	0,64

Πίνακας 12 Τα αποτελέσματα της απόδοσης των μοντέλων ταξινόμησης που εκπαιδεύτηκαν με φυσιολογικά χαρακτηριστικά, εξαγόμενα από τη χρήση του ποντικιού του ηλεκτρονικού υπολογιστή κατά την εκτέλεση της άσκησης συλλογής πληροφοριών.

Αλγόριθμος	Ετικέτα 1		Ετικέτα 2		Ετικέτα 3	
	Ακρίβεια (%)	F1 score	Ακρίβεια (%)	F1 score	Ακρίβεια (%)	F1 score
SVM	65,15	0,64	73,15	0,73	68,18	0,68
k-NN	73,15	0,75	80,28	0,82	72,15	0,73
Decision Tree	71,78	0,73	80,96	0,82	70,25	0,71
Random Forest	79,33	0,80	89,21	0,89	78,10	0,78
XG Boost	78,03	0,78	88,48	0,89	76,69	0,76
RUSBoost	64,31	0,64	74,21	0,74	68,68	0,69
LightGBM	77,38	0,78	87,42	0,88	77,02	0,77
AdaBoost	64,57	0,64	75,39	0,76	70,66	0,71

Πίνακας 13 Τα αποτελέσματα της απόδοσης των μοντέλων ταξινόμησης που εκπαιδεύτηκαν με τα συνδυασμένα διανύσματα φυσιολογικών και συμπεριφορικών χαρακτηριστικών, εξαγόμενα από τη χρήση του ποντικιού του ηλεκτρονικού υπολογιστή κατά την εκτέλεση της άσκησης συλλογής πληροφοριών.

Αλγόριθμος	Ετικέτα 1		Ετικέτα 2		Ετικέτα 3	
	Ακρίβεια (%)	F1 score	Ακρίβεια (%)	F1 score	Ακρίβεια (%)	F1 score
SVM	69,27	0,69	76,50	0,78	64,94	0,66
k-NN	73,03	0,76	76,84	0,80	67,46	0,69
Decision Tree	71,76	0,72	79,89	0,81	67,85	0,68
Random Forest	81,62	0,81	89,38	0,89	74,53	0,74
XG Boost	82,13	0,82	90,01	0,90	76,81	0,77
RUSBoost	71,32	0,71	77,29	0,77	67,37	0,67
LightGBM	81,63	0,82	90,06	0,90	77,60	0,77
AdaBoost	73,42	0,73	79,66	0,79	67,14	0,67

Ο Πίνακας 14 παρουσιάζει τα αποτελέσματα της διαδικασίας εκπαίδευσης με τη συγχώνευση των χαρακτηριστικών του ηλεκτρολογίου και του ποντικιού του ηλεκτρονικού υπολογιστή σε επίπεδο απόφασης. Τα μοντέλα παρουσιάζουν υψηλότερη ακρίβεια στην επισήμανση δεδομένων που ανήκουν στην Ετικέτα 2. Ωστόσο, σε αυτή την περίπτωση, η αποτελεσματικότητά τους στην ταξινόμηση δειγμάτων από την κλάση κατάστασης στρες δεν είναι τόσο ισχυρή, με αποτέλεσμα την εμφάνιση αρκετά χαμηλότερων τιμών F1-score. Ο αλγόριθμος Random Forest παρουσίασε την υψηλότερη ακρίβεια και στις τρεις περιπτώσεις, καθώς και από τις υψηλότερες τιμές F1-score, με εξαίρεση την περίπτωση των δεδομένων της Ετικέτας 2, όπου η τιμή F1-score λαμβάνει την χαμηλότερη τιμή της.

Πίνακας 14 Τα αποτελέσματα των επιδόσεων των μοντέλων ταξινόμησης που βασίστηκαν στην ανάλυση συγχώνευσης σε επίπεδο απόφασης των παραμέτρων που εξήχθησαν από τη χρήση του ηλεκτρολογίου και του ποντικιού του υπολογιστή κατά την εκτέλεση της άσκησης συλλογής πληροφοριών.

Αλγόριθμος	Ετικέτα 1		Ετικέτα 2		Ετικέτα 3	
	Ακρίβεια (%)	F1 score	Ακρίβεια (%)	F1 score	Ακρίβεια (%)	F1 score
Random Forest	69,43	0,62	74,10	0,49	61,20	0,57
XG Boost	65,67	0,54	73,26	0,54	59,10	0,56
LightGBM	63,27	0,55	72,13	0,56	59,80	0,58

5.8.3 Συμπεράσματα

Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της συσκευής που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της παρούσας εργασίας είναι η δυνατότητα που προσφέρει για ταυτόχρονη καταγραφή φυσιολογικών και συμπεριφορικών μετρήσεων κατά τη χρήση του ποντικιού του ηλεκτρονικού υπολογιστή στη ρουτίνα εργασίας. Το χαρακτηριστικό αυτό, σε συνδυασμό με τη δομή της συσκευής, επιτρέπουν την εύκολη ενσωμάτωσή της σε ένα μη επεμβατικό, πολυτροπικό σύστημα που θα αξιοποιεί τα πλεονεκτήματα διαθεσιμότητας πολλαπλών τύπων δεδομένων.

Τα μοντέλα μηχανικής μάθησης που βασίστηκαν στη συγχώνευση σε επίπεδο χαρακτηριστικών και εκπαιδεύτηκαν με τα συνδυασμένα διανύσματα φυσιολογικών και συμπεριφορικών παραμέτρων από τη χρήση της συσκευής του ποντικιού

εμφάνισαν βελτιωμένη απόδοση σε σχέση με αυτά που βασίστηκαν σε έναν μεμονωμένο τύπο παραμέτρων. Συγκεκριμένα, υπερίσχυσαν αισθητά των μοντέλων των συμπεριφορικών παραμέτρων και λιγότερο αυτών των φυσιολογικών παραμέτρων. Τα παραπάνω αποτελέσματα επιβεβαίωσαν την υπόθεσή μας που βασίστηκε στα οφέλη των πολυτροπικών συστημάτων και συγκεκριμένα στον ισχυρισμό ότι αυτά προσφέρουν μεγαλύτερη αξιοπιστία κατά την ανίχνευση του στρες.

Από την άλλη πλευρά, τα μοντέλα ταξινόμησης που βασίστηκαν στη συγχώνευση σε επίπεδο απόφασης εμφάνισαν μειωμένη απόδοση που επηρέασε κυρίως τις τιμές F1-score, γεγονός που υποδεικνύει ότι δεν ήταν αρκετά αποτελεσματικά στην κατηγοριοποίηση των δειγμάτων που ανήκουν στην κλάση της στρεσογόνου κατάστασης. Η δομή της πειραματικής άσκησης, καθώς και η ιδιαιτερότητα του συστήματός μας, που βασίζεται σε δύο συσκευές, το πληκτρολόγιο και το ποντίκι του ηλεκτρονικού υπολογιστή, οι χρήσεις των οποίων την ίδια χρονική στιγμή είναι αλληλοαποκλειόμενες, λειτούργησαν ως ανασταλτικοί παράγοντες για την υψηλή απόδοση των μοντέλων. Εκτός αυτού, το σύνολο δεδομένων που προέκυψε για την εκπαίδευση των ταξινομητών αυτού του σταδίου της ανάλυσης ήταν αρκετά μικρό, καθώς τα δεδομένα των συνεδριών κάθε συμμετέχοντα υπολογίστηκαν σε χρονικά παράθυρα του ενός λεπτού. Παρ' όλα αυτά, τα αποτελέσματα που προέκυψαν είναι αρκετά ενθαρρυντικά και αναδεικνύουν τις δυνατότητες ενός πολυτροπικού συστήματος για την παρακολούθηση και την ανίχνευση των επιπέδων άγχους.

Τέλος, στην περίπτωση του πολυτροπικού συστήματος, οι αλγόριθμοι gradient boosting φαίνεται να είναι στα περισσότερα σενάρια οι πιο αποδοτικοί, γεγονός που ενισχύει τον ισχυρισμό ότι είναι κατάλληλοι για το χειρισμό δεδομένων διαφορετικών τύπων.

Κεφάλαιο 6

Συμπεράσματα - Μελλοντική έρευνα

Το προτεινόμενο σύστημα της παρούσας διατριβής αξιοποιεί την ανάλυση μη επεμβατικών μετρήσεων που ενσωματώνονται στη ρουτίνα της εργασίας και τη χρήση μιας IoT συσκευής χαμηλού κόστους, για τη δημιουργία ενός πολυτροπικού μοντέλου παρακολούθησης και ανίχνευσης του εργασιακού στρες. Η υιοθέτηση εφαρμογών IoT έχει βελτιώσει αισθητά τα τελευταία χρόνια την ποιότητα ζωής, παρέχοντας, μεταξύ άλλων, τρόπους παρακολούθησης και ανίχνευσης της συναισθηματικής κατάστασης και των επιπέδων στρες των ατόμων [155]. Στην κατεύθυνση αυτή, είναι αρκετά διαδεδομένη η χρήση αισθητήρων χαμηλού κόστους για την καταγραφή βιοσημάτων και φυσιολογικών μετρήσεων. Στη μελέτη [156], πολυάριθμοι αισθητήρες, συμπεριλαμβανομένων αυτών που ενσωματώνονται στο προτεινόμενο έξυπνο ποντίκι υπολογιστή, χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη ενός συστήματος διάγνωσης του στρες. Οι φυσιολογικές μετρήσεις που καταγράφηκαν από τους αισθητήρες μεταφέρθηκαν ασύρματα σε μια βάση δεδομένων και επεξεργάστηκαν με την εφαρμογή ασαφούς λογικής. Ο αισθητήρας GSR που χρησιμοποιήσαμε στο σύστημά μας υιοθετήθηκε, επίσης στο [157], στο πλαίσιο μιας συσκευής IoT που μεταδίδει δεδομένα σχετικά με το στρες των ατόμων, μέσω διαδικτύου και σύνδεσης Bluetooth. Για τον προσδιορισμό των επιπέδων στρες σε πραγματικό χρόνο ορίστηκε ένας αλγόριθμος προσδιορισμού της τιμής κατωφλίου, ενώ η οπτικοποίηση και η ανάλυση των δεδομένων επιτεύχθηκε μέσω της χρήσης ενός διακομιστή νέφους. Ο αισθητήρας PPG που επιλέξαμε χρησιμοποιήθηκε, μαζί με μια αναπτυξιακή πλακέτα και έναν μικροϋπολογιστή, σε ένα σύστημα IoT που παρουσιάστηκε στην εργασία [158], με στόχο τον εντοπισμό των επιπέδων στρες των φοιτητών σε πραγματικό περιβάλλον. Επιπλέον, οι εξαιρετικά σύντομες καταγραφές του ίδιου αισθητήρα αναλύθηκαν από τους Zubair και Yoon στο [159], αναπτύσσοντας ένα πολυεπίπεδο σύστημα ανίχνευσης στρες με υψηλές επιδόσεις. Οι μελέτες αυτές, ωστόσο, σε αντίθεση με το προτεινόμενο πολυτροπικό σύστημα της παρούσας εργασίας, επικεντρώνονται στην αποκλειστική ανάλυση των

φυσιολογικών μετρήσεων, ενώ η καταγραφή του σήματος πραγματοποιείται συχνά από ογκώδεις και παρεμβατικές συσκευές που είναι πιθανό να αποτελούν εμπόδιο στη ρουτίνα των χρηστών.

Όσον αφορά τον τομέα της εργασίας, οι τεχνολογίες IoT έχουν αλλάξει και βελτιώσει ριζικά πολλούς τομείς τα τελευταία χρόνια, ενώ η παρακολούθηση της υγείας, της συναισθηματικής κατάστασης και των επιπέδων άγχους των εργαζομένων έχει βρεθεί στο επίκεντρο πολλών παρεμβάσεων. Έχουν διεξαχθεί μελέτες για ορισμένα ιδιαίτερα στρεσογόνα επαγγέλματα, όπως αυτό των πυροσβεστών, οι οποίες προτείνουν συστήματα που περιλαμβάνουν την τοποθέτηση αισθητήρων στον ρουχισμό και τον εξοπλισμό των εργαζόμενων [160], [161] ή τη χρήση wearables [162], [163] για την καταγραφή φυσιολογικών και περιβαλλοντικών παραμέτρων και την αποστολή τους μέσω του διαδικτύου. Από την άλλη πλευρά, τα έξυπνα κινητά τηλέφωνα και ο μεγάλος όγκος δεδομένων που μπορούν να παρέχουν σε καθημερινή βάση, τόσο μέσω των αισθητήρων που ενσωματώνουν, όπως το επιταχυνσιόμετρο, όσο και μέσω στατιστικών στοιχείων σχετικά με τη χρήση διαφόρων εφαρμογών, έχουν γίνει διαδεδομένο αντικείμενο μελέτης για την ανίχνευση του εργασιακού στρες [6], [115], [164].

Η τάση προς την ανάπτυξη μη επεμβατικών και οικονομικά αποδοτικών εφαρμογών ανίχνευσης του εργασιακού στρες έχει οδηγήσει στο σχεδιασμό συστημάτων που χρησιμοποιούν επιφάνειες και συσκευές που χρησιμοποιούνται συχνά από τους χρήστες και δεν διαταράσσουν τη ρουτίνα τους, γεγονός ιδιαίτερα κρίσιμο στο χώρο εργασίας γραφείου [114], [165]. Σχετικά με το πεδίο εφαρμογής του συστήματός μας, υπάρχει περιορισμένος αριθμός μελετών που αφορούν την ενσωμάτωση αισθητήρων σε ένα ποντίκι υπολογιστή με σκοπό την παρακολούθηση του στρες [76], [135], [136]. Ωστόσο, οι περισσότερες από αυτές τις συσκευές δεν έχουν δοκιμαστεί και αξιολογηθεί σε ένα σενάριο εργασιακής ζωής.

Το έξυπνο ποντίκι του συστήματός μας είναι εύχρηστο και οικονομικά αποδοτικό, ενσωματώνοντας αισθητήρες χαμηλού κόστους και ακολουθώντας μια δομή που είναι όσο το δυνατόν λιγότερο επεμβατική στον χρήστη. Βασισμένο στην IoT τεχνολογία, διαθέτει τη δυνατότητα ασύρματης μετάδοσης των δεδομένων που καταγράφει, σε πραγματικό χρόνο. Η χρήση του μπορεί να παρέχει ταυτόχρονη

καταγραφή φυσιολογικών παραμέτρων, μέσω των αισθητήρων που ενσωματώνει, και συμπεριφορικών παραμέτρων που σχετίζονται με τη δυναμική του ποντικίου του ηλεκτρονικού υπολογιστή. Επίσης, αποτελεί τη μόνη συσκευή τέτοιας δομής, εξ όσων γνωρίζουμε, η οποία έχει αξιολογηθεί ως προς τη δυνατότητά της να παρακολουθεί και να ανιχνεύει το εργασιακό στρες, μέσω της χρήσης της στα πλαίσια ενός πειραματικού πρωτοκόλλου που προσομοιώνει έναν εργασιακό χώρο γραφείου. Τα παραπάνω χαρακτηριστικά, σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την ανάλυσή μας, μας οδηγούν στο συμπέρασμα ότι η συσκευή που αναπτύξαμε εξυπηρετεί επιτυχώς τους σκοπούς ενός πολυτροπικού συστήματος ανίχνευσης στρες, το οποίο συνδυάζει την ανάλυση διαφορετικού τύπου παραμέτρων.

Το πειραματικό πρωτόκολλο που εφαρμόσαμε για την επικύρωση του συστήματος ήταν επιτυχές ως προς την πρόκληση στρες στους συμμετέχοντες. Ο σχεδιασμός του βασίστηκε σε ήδη υπάρχοντα και εφαρμοσμένα πρωτόκολλα που εμπεριέχουν βασικούς στρεσογόνους παράγοντες που συναντώνται στον τομέα της εργασίας, όπως είναι η πίεση χρόνου, η κοινωνική πίεση και ο αυξημένος πνευματικός φόρτος. Οι ασκήσεις που επιλέχθηκαν προσαρμόστηκαν στις απαιτήσεις της πειραματικής μας διάταξης, που περιλαμβάνει τις περιφερειακές μονάδες του ηλεκτρονικού υπολογιστή. Στα πλαίσια του πειράματος, διερευνήσαμε τη δυνατότητα νέων στρεσογόνων παραγόντων στην πρόκληση, σχετικού με την εργασία, στρες. Η ανάλυσή μας έδειξε ότι η εισαγωγή του νέου στοιχείου των ήχων από ειδοποιήσεις εισερχόμενων κλήσεων και μηνυμάτων αποδείχθηκε αποτελεσματική και τονίζει τη δυνατότητα σχεδιασμού ρεαλιστικών και, ως εκ τούτου πιο αξιόπιστων, πρωτοκόλλων που συνδέονται πιο άμεσα με το περιεχόμενο της καθημερινής εργασιακής ζωής.

Η επιλογή του επιπέδου αναφοράς και η επισήμανση του συνόλου δεδομένων με βάση αυτό αποτελούν μια σημαντική πρόκληση, λόγω της πολυπλοκότητας και της πολυπαραγοντικότητας του στρες. Σε αυτή τη μελέτη εφαρμόσαμε και συγκρίναμε διαφορετικές μεθοδολογίες επισήμανσης δεδομένων, που πραγματοποιήθηκαν με βάση τόσο το σχεδιασμό του πειραματικού πρωτοκόλλου όσο και τις απαντήσεις των υποκειμένων στα ερωτηματολόγια αυτοαναφοράς. Όσον αφορά τις τελευταίες, δοκιμάσαμε δύο τιμές κατωφλίου για τον διαχωρισμό των

δεδομένων στις δύο κλάσεις ελέγχου και στρες, λόγω της άνισης κατανομής των συχνοτήτων απαντήσεων στο διαθέσιμο εύρος αναφερόμενων επιπέδων στρες. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα μοντέλα ταξινόμησης είχαν καλύτερες επιδόσεις στην περίπτωση της επισήμανσης των δεδομένων με βάση την ανατροφοδότηση του χρήστη και για το κατώφλι που βρίσκεται στο μέσο του εύρους των επιπέδων στρες (Ετικέτα 2). Αυτό επιβεβαιώθηκε κατά την μεμονωμένη ανάλυση των φυσιολογικών και συμπεριφορικών παραμέτρων αλλά και κατά τη συνδυαστική ανάλυσή τους, δηλαδή για το σύνολο των ασκήσεων του πειραματικού πρωτοκόλλου. Παρά την επιτυχία των πειραματικών ασκήσεων όσον αφορά την πρόκληση στρες στους συμμετέχοντες, η υποκειμενικότητα των απαντήσεων και οι διαπροσωπικές διαφορές οδήγησαν στην ανάδειξη της ανατροφοδότησης από τους χρήστες ως πιο αξιόπιστου τρόπου για τον καθορισμό του επιπέδου αναφοράς. Ωστόσο, η απόκτηση συχνής ανατροφοδότησης δεν είναι εύκολα εφικτή σε συστήματα ανάλυσης σε πραγματικό χρόνο, καθώς και σε συστήματα που εφαρμόζονται εκτός εργαστηρίου, σε πραγματικά εργασιακά περιβάλλοντα. Σε αυτήν την περίπτωση, η ανατροφοδότηση των χρηστών θα πρέπει να περιορίζεται στις περιόδους αναφοράς και κατά τη διαδικασία ορισμού αλγορίθμων κατωφλίου για τον υπολογισμό των επιπέδων στρες των ατόμων.

Το πειραματικό πρωτόκολλο που εκτελέσαμε σε αυτή τη μελέτη σχεδιάστηκε με τέτοιο τρόπο ώστε τα διάφορα στάδια να περιλαμβάνουν την καταγραφή διαφορετικών τύπων παραμέτρων. Συγκεκριμένα, οι ασκήσεις Stroop Color Word Task και Mental Arithmetic Task περιλάμβαναν τη συλλογή φυσιολογικών σημάτων, η άσκηση μεταγραφής κειμένου περιλάμβανε τη συλλογή συμπεριφορικών δεδομένων σχετικών με τη χρήση του πληκτρολογίου και η άσκηση συλλογής πληροφοριών περιλάμβανε τη συνδυαστική συλλογή φυσιολογικών μετρήσεων και συμπεριφορικών δεδομένων της δυναμικής του πληκτρολογίου και του ποντικιού. Τα μοντέλα μηχανικής μάθησης που εκπαιδεύτηκαν με τις φυσιολογικές μετρήσεις που προέκυψαν από τα σήματα PPG και GSR έδειξαν πολύ καλές επιδόσεις ταξινόμησης, με τον αλγόριθμο Random Forest να υπερέχει των άλλων. Τα αποτελέσματα αυτά υποστηρίζουν τον ισχυρισμό ότι αυτά τα φυσιολογικά σήματα αποτελούν αξιόπιστους δείκτες παρακολούθησης και ανίχνευσης του στρες. Παράλληλα,

αποδεικνύεται η χρησιμότητα της συσκευής έξυπνου ποντικιού που αναπτύξαμε για τον σκοπό αυτό. Πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα, όσον αφορά την απόδοση, παρουσίασαν, επίσης, τα μοντέλα που εκπαιδεύτηκαν με τα χαρακτηριστικά που προέκυψαν από τη χρήση του πληκτρολογίου κατά τη διάρκεια της άσκησης μεταγραφής κειμένου. Στην περίπτωση αυτή, ο αλγόριθμος XGBoost παρουσίασε την καλύτερη απόδοση, με τον αλγόριθμο Random Forest να ακολουθεί. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα δεδομένα που συλλέχθηκαν σε αυτή την άσκηση ήταν λίγα, καθώς τα προς μεταγραφή κείμενα ήταν μικρότερα από αυτά που συνηθίζονται κατά τη συλλογή χαρακτηριστικών πληκτρολόγησης, γεγονός που μπορεί να επηρεάσει την απόδοση. Δεν θα ήταν αξιόπιστο να πραγματοποιηθεί άμεση σύγκριση των επιδόσεων των παραπάνω μοντέλων κατά τη μεμονωμένη ανάλυση των φυσιολογικών και συμπεριφορικών παραμέτρων, καθώς τα σύνολα δεδομένων συλλέχθηκαν κατά τη διάρκεια διαφορετικών ασκήσεων και είναι διαφορετικού μεγέθους. Σε κάθε περίπτωση, η δυνατότητα ανίχνευσης του εργασιακού στρες μέσω του υπολογισμού των συγκεκριμένων χαρακτηριστικών και της εκπαίδευσης γενικών μοντέλων αναδεικνύεται στις περιπτώσεις και των δύο τύπων παραμέτρων.

Η δομή του προτεινόμενου έξυπνου ποντικιού επιτρέπει την ταυτόχρονη καταγραφή και συνδυαστική ανάλυση των βιοσημάτων που συλλέγονται από τους αισθητήρες και των μετρήσεων που προκύπτουν από τη χρήση του ποντικιού του υπολογιστή. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης που βασίστηκε στη συγχώνευση χαρακτηριστικών έδειξαν ότι ο συνδυασμός συμπεριφορικών και φυσιολογικών παραμέτρων αυξάνει την απόδοση ενός μοντέλου ταξινόμησης του στρες σε σύγκριση με την απόδοση μοντέλων που βασίζονται στην ανάλυση ενός μόνο τύπου δεδομένων. Επίσης, στην περίπτωση του πολυτροπικού συστήματος που βασίζεται στη συγχώνευση χαρακτηριστικών, οι αλγόριθμοι gradient boosting φαίνεται να είναι οι πιο αποδοτικοί, γεγονός που υποστηρίζει τον ισχυρισμό ότι είναι κατάλληλοι για το χειρισμό πολυτροπικών δεδομένων. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης που στηρίχτηκε στη συγχώνευση σε επίπεδο απόφασης ήταν αρκετά ενθαρρυντικά, δεδομένων των ιδιαιτεροτήτων της πειραματικής διάταξης και διαδικασίας και του μεγέθους του συνόλου δεδομένων που είχαμε στη διάθεσή μας για επεξεργασία και εκπαίδευση.

Το σύστημα που σχεδιάστηκε και αναπτύχθηκε στα πλαίσια της έρευνας μας, αξιοποιεί συμπεριφορικές μετρήσεις που καταγράφονται μέσω εργαλείου λογισμικού και δεν απαιτούν ειδικό εξοπλισμό, καθώς και φυσιολογικές μετρήσεις που καταγράφονται μέσω μιας IoT, εύχρηστης συσκευής χαμηλού κόστους. Συνεπώς, θεωρούμε ότι η υιοθέτησή του σε πραγματικά περιβάλλοντα εργασίας γραφείου, αφενός θα μπορούσε να υποστηριχθεί εύκολα, δεδομένων των δικτυακών και τεχνολογικών υποδομών που αυτά περιλαμβάνουν συνήθως, αφετέρου θα βελτίωνε σημαντικά την ψυχική υγεία, την αποδοτικότητα και την ευημερία των εργαζομένων. Εκτός αυτού, η δομή και οι απαιτήσεις του συστήματος που προτείνουμε επιτρέπουν τη χρήση του και εκτός των παραδοσιακών χώρων εργασίας, όπως είναι το περιβάλλον της απομακρυσμένης εργασίας. Το γεγονός αυτό του προσδίδει μεγάλο πλεονέκτημα, δεδομένης της παρούσας συνθήκης, όπου το πλαίσιο της απομακρυσμένης εργασίας έχει συνεχώς αυξανόμενη εφαρμογή στα επαγγέλματα που περιλαμβάνουν την απασχόληση σε γραφείο και τη χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή.

Η παρούσα μελέτη αντιμετώπισε αρκετούς περιορισμούς κατά τη διεξαγωγή της. Το πειραματικό πρωτόκολλο που εφαρμόσαμε σχεδιάστηκε ώστε να συμπεριλάβει όλους τους γνωστούς στρεσογόνους παράγοντες της εργασίας, εισάγοντας παράλληλα κάποια νέα στοιχεία. Ωστόσο, ορισμένες πτυχές του σχεδιασμού των πειραματικών ασκήσεων ενδέχεται να δυσχέραναν την ανάλυση των μετρήσεων. Συγκεκριμένα, προκειμένου να περιοριστεί η διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας, τα κείμενα που χρησιμοποιήθηκαν στην άσκηση μεταγραφής κειμένου ήταν σχετικά μικρής έκτασης, οδηγώντας στη δημιουργία μικρότερων συνόλων δεδομένων από εκείνα αντίστοιχων μελετών που επικεντρώνονται στην ανάλυση χαρακτηριστικών της δυναμικής πληκτρολογίου. Επίσης, οι απαντήσεις στις ερωτήσεις που περιλαμβάνονταν στην άσκηση συλλογής πληροφοριών ήταν συχνά σύντομες, επηρεάζοντας την ποσότητα και την ποιότητα των παρεχόμενων μετρήσεων προς ανάλυση. Τέλος, ενώ κεντρικός άξονας της εργασίας ήταν ο σχεδιασμός ενός εργαστηριακού πειράματος που θα προσομοιώνει σενάρια της πραγματικής ζωής, μια περισσότερο αξιόπιστη αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας του συστήματος θα απαιτούσε την εφαρμογή του σε πραγματικά περιβάλλοντα εργασίας γραφείου,

με δυνατότητες συλλογής και επεξεργασίας μεγαλύτερου όγκου δεδομένων και συμμετοχής περισσότερων ατόμων.

Η εργασία που παρουσιάσαμε προσφέρει αρκετά πεδία για μελλοντική έρευνα. Αρχικά, το προτεινόμενο σύστημα παρέχει τη δυνατότητα καταγραφής παραμέτρων που σχετίζονται με τη φυσιολογία και τη συμπεριφορά των ατόμων, τα οποία το χρησιμοποιούν, μόνο κατά τη διάρκεια που αυτά αλληλεπιδρούν με τον ηλεκτρονικό υπολογιστή. Η ενσωμάτωσή του σε μια πιο γενική εφαρμογή, που συνδυάζει και αναλύει μετρήσεις από πολλαπλές, μη επεμβατικές πηγές στο χώρο εργασίας, μπορεί να οδηγήσει σε βελτίωση της παρακολούθησης και ανίχνευσης των επιπέδων στρες. Τέτοιου είδους εφαρμογές μπορούν να περιλαμβάνουν την καταγραφή συμπεριφορικών παραμέτρων σχετικών με τη στάση και τις κινήσεις του σώματος, με χαρακτηριστικά του βλέμματος, καθώς και μετρήσεων σχετικών με το περιβάλλον και το περιεχόμενο της εργασίας. Επίσης, μπορούν να διερευνηθούν νέες μέθοδοι που βασίζονται στην IoT τεχνολογία και χρησιμοποιούν μη επεμβατικές τεχνικές, όπως θερμική απεικόνιση, για την προσεγγιστική μέτρηση φυσιολογικών παραμέτρων [165].

Η επικύρωση της αξιοπιστίας του συστήματος πραγματοποιήθηκε μέσω της εκτέλεσης πειράματος. Το ειδικά σχεδιασμένο πειραματικό πρωτόκολλο προσομοίωσε ένα πραγματικό περιβάλλον εργασίας γραφείου, με την παρουσία των κύριων στρεσογόνων παραγόντων που κυριαρχούν σε αυτό. Σκοπός μας είναι, στα πλαίσια της μελλοντικής ερευνητικής μας μελέτης, το σύστημα να δοκιμαστεί σε πραγματικά περιβάλλοντα εργασίας. Αυτό θα μας επιτρέψει να αναπτύξουμε ρεαλιστικά μοντέλα με περισσότερα δεδομένα και να προσαρμόσουμε τις παραμέτρους τους με βάση τις πραγματικές εργασιακές απαιτήσεις. Εκτός αυτού, θα δοθεί η δυνατότητα για περαιτέρω διερεύνηση των μεθόδων ανάλυσης, κυρίως όσον αφορά τη συγχώνευση των δεδομένων και τη μελέτη της υποκειμενικότητας του στρες.

Ένα σημαντικό ζήτημα προς μελλοντική έρευνα είναι το κομμάτι της παρέμβασης για αντιμετώπιση του άγχους. Το παρόν σύστημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανίχνευση και την παρακολούθηση του στρες. Η κοινωνική του χρησιμότητα θα είναι αρκετά μεγαλύτερη και η εφαρμογή του ευρεία, αν διερευνηθούν τεχνολογικές

λύσεις ώστε το σύστημα να προτείνει τρόπους αντιμετώπισης του υψηλού στρες. Οι προτάσεις μπορεί να είναι γενικές ή εξατομικευμένες, με βάση τις ανάγκες του κάθε χρήστη. Στόχος και επιδίωξή μας είναι η δημιουργία μιας διεπιστημονικής ομάδας, αποτελούμενης από μηχανικούς, ψυχολόγους και ειδικούς στον τομέα της υγείας και ασφάλειας στην εργασία, για την ανάπτυξη μιας ολοκληρωμένης λύσης που θα αξιοποιεί την τεχνολογία και τις δυνατότητές της για την αντιμετώπιση του εργασιακού στρες, καθώς και την προστασία και βελτίωση της ψυχικής υγείας των εργαζόμενων.

Βιβλιογραφία

- [1] European Agency for Safety and Health at Work, “OSH Pulse - Occupational safety and health in post-pandemic workplaces,” 2022. doi: 10.2802/478476.
- [2] EU-OSHA, “European opinion poll on occupational safety and health.” European Agency for Safety and Health at Work Bilbao, Spain, 2013.
- [3] S. O. I. Matrix, “Economic analysis of workplace mental health promotion and mental disorder prevention programmes and of their potential contribution to EU health, social and economic policy objectives,” *Publ. May*, 2013.
- [4] K. Prasad, R. W. Vaidya, and M. R. Mangipudi, “Effect of occupational stress and remote working on psychological well-being of employees: An empirical analysis during covid-19 pandemic concerning information technology industry in hyderabad,” *Indian J. Commer. Manag. Stud.*, vol. 6, no. 2, pp. 1–13, 2020, doi: 10.18843/ijcms/v11i2/01.
- [5] A. Alberdi, A. Aztiria, and A. Basarab, “Towards an automatic early stress recognition system for office environments based on multimodal measurements: A review,” *J. Biomed. Inform.*, vol. 59, pp. 49–75, 2016, doi: 10.1016/j.jbi.2015.11.007.
- [6] Y. S. Can, B. Arnrich, and C. Ersoy, “Stress detection in daily life scenarios using smart phones and wearable sensors: A survey,” *J. Biomed. Inform.*, vol. 92, no. August 2018, p. 103139, 2019, doi: 10.1016/j.jbi.2019.103139.
- [7] M. A. B. S. Akhonda, S. M. F. Islam, A. S. Khan, F. Ahmed, and M. M. Rahman, “Stress detection of computer user in office like working environment using neural network,” *2014 17th Int. Conf. Comput. Inf. Technol. ICCIT 2014*, pp. 174–179, 2003, doi: 10.1109/ICCITechn.2014.7073120.
- [8] Μ. Πολυκαδριώτη and Β. Κουτσοπούλου, “Άγχος Σε Μη-Ψυχιατρικούς Ασθενείς,” *To Vima tou Asklipiou*, vol. 12, no. 1, p. 65, 2014.
- [9] F. Nightingale, *Notes on nursing: What it is, and what it is not*. Lippincott Williams & Wilkins, 1992.
- [10] V. H. Rice, “Handbook of stress, coping, and health: implications for nursing research, theory, and practice,” *Choice Rev. Online*, vol. 38, no. 05, pp. 38-2774-38–2774, 2001, doi: 10.5860/choice.38-2774.
- [11] S. Doublet, *The stress myth*. Banis & Associates, 2000.
- [12] A. Abbott, *Chaos of disciplines*. University of Chicago Press, 2010.
- [13] C. Cooper and P. J. Dewe, *Stress: A brief history*. John Wiley & Sons, 2008.
- [14] R. S. Lazarus, *Stress and emotion: A new synthesis*. Springer publishing company, 2006.
- [15] R. S. Lazarus, “From psychological stress to the emotions: A history of changing outlooks,” *Annu. Rev. Psychol.*, vol. 44, no. 1, pp. 1–22, 1993.

- [16] W. B. Cannon, "Stress and strains of homeostasis," *Am. J. Med. Sci.*, vol. 189, pp. 1–14, 1935.
- [17] W. B. Cannon, "The wisdom of the body," 1939.
- [18] B. Cannon, "Reviews 1929," *Physiol. Rev.*, vol. IX, no. 3, pp. 399–431, 1929, [Online]. Available: <https://doi.org/10.1152/physrev.1929.9.3.399>.
- [19] T. Newton and T. N. J. H. S. Fineman, *'Managing'stress: emotion and power at work*. Sage, 1995.
- [20] W. B. Cannon, "Bodily changes in pain hunger, fear and rage. New York: Appleton; cited from O'Brien JD et al., 1987," *Gut*, vol. 28, pp. 960–969, 1929.
- [21] C. M. Aldwin, *Stress, coping, and development: An integrative perspective*. Guilford Press, 2007.
- [22] R. S. Lazarus, "Psychological stress and coping in adaptation and illness. In 2. J. Lipowski, D. R. Lipsi, & P. C. Whybrow," *Psvchosomati~ Med. Curr. Trendg*, pp. 14–26, 1977.
- [23] H. Selye, "The stress concept," *Can. Med. Assoc. J.*, vol. 115, no. 8, p. 718, 1976.
- [24] H. Selye, "Stress and the general adaptation syndrome," *Br. Med. J.*, vol. 1, no. 4667, p. 1383, 1950.
- [25] H. Selye, *The stress of life*. 1956.
- [26] B. T. Engel, "Stress is a noun! No, a verb! No, an adjective," *Stress coping*, vol. 1, pp. 3–12, 1985.
- [27] J. W. Mason, "A historical view of the stress field," *J. Human Stress*, vol. 1, no. 2, pp. 22–36, 1975.
- [28] R. S. Lazarus, "Psychological stress and coping in adaptation and illness," *Int. J. Psychiatry Med.*, vol. 5, no. 4, pp. 321–333, 1974.
- [29] R. S. Lazarus, "Psychological stress and the coping process.," 1966.
- [30] R. S. Lazarus and S. Folkman, *Stress, appraisal, and coping*. Springer publishing company, 1984.
- [31] R. S. Lazarus and R. S. Lazarus, *Emotion and adaptation*. Oxford University Press on Demand, 1991.
- [32] R. S. Lazarus, "Coping theory and research: Past, present, and future," *Fifty years Res. theory RS Lazarus An Anal. Hist. Perenn. issues*, pp. 366–388, 1993.
- [33] M. B. Arnold, "Emotion and personality.," 1960.
- [34] Ά. Νότα-Μόσχου, "Εργασιακό Άγχος & Επαγγελματική Εξουθένωση Σε Δείγμα Εργαζόμενων στο Δημόσιο Τομέα: Ο Ρόλος της Αντιλαμβανόμενης Οργανωσιακής και Συναισθηματικής Κοινωνικής Υποστήριξης," 2018.
- [35] R. J. Gatchel and I. Z. Schultz, *Handbook of occupational health and wellness*, no. November 2012. 2012.

- [36] U. Lundberg, "Stress, subjective and objective health," *Int. J. Soc. Welf.*, vol. 15, no. SUPPL. 1, pp. 41–48, 2006, doi: 10.1111/j.1468-2397.2006.00443.x.
- [37] G. P. Chrousos and P. W. Gold, "The concepts of stress and stress system disorders: overview of physical and behavioral homeostasis," *Jama*, vol. 267, no. 9, pp. 1244–1252, 1992.
- [38] R. Sapolsky, "Why zebras don't get ulcers: An updated guide to stress," *Stress. Dis. Coping*, 1998.
- [39] J. E. Dimsdale, "Psychological stress and cardiovascular disease," *J. Am. Coll. Cardiol.*, vol. 51, no. 13, pp. 1237–1246, 2008.
- [40] A. Steptoe and M. Kivimäki, "Stress and cardiovascular disease: an update on current knowledge," *Annu. Rev. Public Health*, vol. 34, pp. 337–354, 2013.
- [41] P. R. Martin and C. Theunissen, "The role of life event stress, coping and social support in chronic headaches," *Headache J. Head Face Pain*, vol. 33, no. 6, pp. 301–306, 1993.
- [42] C. Hammen, "Stress and depression," *Annu. Rev. Clin. Psychol.*, vol. 1, pp. 293–319, 2005.
- [43] S. J. Kelly and M. Ismail, "Stress and type 2 diabetes: a review of how stress contributes to the development of type 2 diabetes," *Annu. Rev. Public Health*, vol. 36, pp. 441–462, 2015.
- [44] F. Pouwer, N. Kupper, and M. C. Adriaanse, "Does emotional stress cause type 2 diabetes mellitus? A review from the European Depression in Diabetes (EDID) Research Consortium," *Discov. Med.*, vol. 9, no. 45, pp. 112–118, 2010.
- [45] J.-P. Gouin and J. K. Kiecolt-Glaser, "The impact of psychological stress on wound healing: methods and mechanisms," *Immunol. Allergy Clin.*, vol. 31, no. 1, pp. 81–93, 2011.
- [46] B. S. McEwen, "Stress, adaptation, and disease: Allostasis and allostatic load," *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, vol. 840, no. 1, pp. 33–44, 1998.
- [47] I. C. Chikanza, P. Petrou, G. Kingsley, G. Chrousos, and G. S. Panayi, "Defective hypothalamic response to immune and inflammatory stimuli in patients with rheumatoid arthritis," *Arthritis Rheum.*, vol. 35, no. 11, pp. 1281–1288, 1992.
- [48] P. Härle *et al.*, "Increase of sympathetic outflow measured by neuropeptide Y and decrease of the hypothalamic-pituitary-adrenal axis tone in patients with systemic lupus erythematosus and rheumatoid arthritis: another example of uncoupling of response systems," *Ann. Rheum. Dis.*, vol. 65, no. 1, pp. 51–56, 2006.
- [49] S. J. Linton and W. S. Shaw, "Impact of psychological factors in the experience of pain," *Phys. Ther.*, vol. 91, no. 5, pp. 700–711, 2011.
- [50] D. C. Turk and A. Okifuji, "Psychological factors in chronic pain: evolution and revolution.," *J. Consult. Clin. Psychol.*, vol. 70, no. 3, p. 678, 2002.
- [51] P. Carayon, M. J. Smith, and M. C. Haims, "Work organization, job stress, and work-related musculoskeletal disorders," *Hum. Factors*, vol. 41, no. 4, pp.

- 644–663, 1999.
- [52] N. N. Menzel, “Psychosocial factors in musculoskeletal disorders,” *Crit. Care Nurs. Clin. North Am.*, vol. 19, no. 2, pp. 145–153, 2007.
- [53] J. Bakker, L. Holenderski, R. Kocielnik, M. Pechenizkiy, and N. Sidorova, “Stess@work: From measuring stress to its understanding, prediction and handling with personalized coaching,” *IHI’12 - Proc. 2nd ACM SIGHIT Int. Heal. Informatics Symp.*, pp. 673–677, 2012, doi: 10.1145/2110363.2110439.
- [54] R. Karasek, “Stress, productivity, and the reconstruction of working life,” *Heal. Work*, 1990.
- [55] M. Marmot, T. Theorell, and J. Siegrist, *Work and coronary heart disease*. BMJ books, 2002.
- [56] J. Schaubroeck, “Work Stress and Employee Health,” *J. Manage.*, vol. 17, no. 2, pp. 235–271, 1991, doi: 10.1177/014920639101700202.
- [57] J. R. Edwards, R. D. Caplan, and R. Van Harrison, “Person-environment fit theory,” *Theor. Organ. Stress*, vol. 28, no. 1, pp. 67–94, 1998.
- [58] J. Siegrist, “Work Stress and Health,” *Blackwell Companion to Med. Sociol.*, pp. 114–125, 2007, doi: 10.1002/9780470996447.ch6.
- [59] R. A. Karasek Jr, “Job demands, job decision latitude, and mental strain: Implications for job redesign,” *Adm. Sci. Q.*, pp. 285–308, 1979.
- [60] C. L. Cooper, C. P. Cooper, P. J. Dewe, P. J. Dewe, M. P. O’Driscoll, and M. P. O’Driscoll, “Organizational stress: A review and critique of theory, research, and applications,” 2001.
- [61] T. D. Wall, P. R. Jackson, S. Mullarkey, and S. K. Parker, “The demands—control model of job strain: A more specific test,” *J. Occup. Organ. Psychol.*, vol. 69, no. 2, pp. 153–166, 1996.
- [62] S. E. Hobfoll, “The influence of culture, community, and the nested-self in the stress process: Advancing conservation of resources theory,” *Appl. Psychol.*, vol. 50, no. 3, pp. 337–421, 2001.
- [63] D. L. Nelson and B. L. Simmons, “Eustress: An elusive construct, an engaging pursuit,” in *Emotional and physiological processes and positive intervention strategies*, Emerald Group Publishing Limited, 2003.
- [64] J. J. Hakanen, R. Perhoniemi, and S. Toppinen-Tanner, “Positive gain spirals at work: From job resources to work engagement, personal initiative and work-unit innovativeness,” *J. Vocat. Behav.*, vol. 73, no. 1, pp. 78–91, 2008.
- [65] J. R. B. Halbesleben, “Sources of social support and burnout: a meta-analytic test of the conservation of resources model,” *J. Appl. Psychol.*, vol. 91, no. 5, p. 1134, 2006.
- [66] S. Cohen, T. Kamarck, and R. Mermelstein, “Perceived stress scale,” *Meas. Stress A Guid. Heal. Soc. Sci.*, vol. 10, no. 2, pp. 1–2, 1994.
- [67] E. J. Peacock and P. T. P. Wong, “The stress appraisal measure (SAM): A multidimensional approach to cognitive appraisal,” *Stress Med.*, vol. 6, no. 3,

- pp. 227–236, 1990.
- [68] C. D. Spielberger, F. Gonzalez-Reigosa, A. Martinez-Urrutia, L. F. S. Natalicio, and D. S. Natalicio, “The state-trait anxiety inventory,” *Rev. Interam. Psicol. J. Psychol.*, vol. 5, no. 3 & 4, 1971.
- [69] S. G. Hart and L. E. Staveland, “Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research,” in *Advances in psychology*, vol. 52, Elsevier, 1988, pp. 139–183.
- [70] N. Sharma and T. Gedeon, “Objective measures, sensors and computational techniques for stress recognition and classification: A survey,” *Comput. Methods Programs Biomed.*, vol. 108, no. 3, pp. 1287–1301, 2012, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2012.07.003>.
- [71] S. J. Lupien and F. Seguin, “How to measure stress in humans,” *Cent. Stud. Hum. Stress*, 2013.
- [72] D. H. Hellhammer, S. Wüst, and B. M. Kudielka, “Salivary cortisol as a biomarker in stress research,” *Psychoneuroendocrinology*, vol. 34, no. 2, pp. 163–171, 2009.
- [73] A. Kaklauskas *et al.*, “Web-based Biometric Computer Mouse Advisory System to Analyze a User’s Emotions and Work Productivity,” *Eng. Appl. Artif. Intell.*, vol. 24, no. 6, pp. 928–945, Sep. 2011, doi: 10.1016/J.ENGAPPAL.2011.04.006.
- [74] K. Nasim, H. Jahan Ara, and A. Syed Sanowar, “Heart rate variability-a review,” 2011.
- [75] K. Peternel, Poga, R. Tavčar, and A. Kos, “A presence-based context-aware chronic stress recognition system,” *Sensors (Switzerland)*, vol. 12, no. 11, pp. 15888–15906, 2012, doi: 10.3390/s121115888.
- [76] A. Kaklauskas *et al.*, “Web-based Biometric Computer Mouse Advisory System to Analyze a Users Emotions and Work Productivity,” *Eng. Appl. Artif. Intell.*, vol. 24, no. 6, pp. 928–945, 2011, doi: 10.1016/j.engappai.2011.04.006.
- [77] M. T. Quazi, S. C. Mukhopadhyay, N. K. Suryadevara, and Y.-M. Huang, “Towards the smart sensors based human emotion recognition,” in *2012 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference Proceedings*, 2012, pp. 2365–2370.
- [78] M. N. H. Mohd, M. Kashima, K. Sato, and M. Watanabe, “A non-invasive facial visual-infrared stereo vision based measurement as an alternative for physiological measurement,” *Lect. Notes Comput. Sci. (including Subser. Lect. Notes Artif. Intell. Lect. Notes Bioinformatics)*, vol. 9009, no. May, pp. 684–697, 2015, doi: 10.1007/978-3-319-16631-5_50.
- [79] K. Asai, “The role of head-up display in computer-assisted instruction,” *Hum. Comput. Interact. New Dev. Asai, K., Ed.; IntechOpen Rijeka, Croat.*, pp. 31–48, 2008.
- [80] A. Kapoor and R. W. Picard, “Multimodal affect recognition in learning environments,” in *Proceedings of the 13th annual ACM international conference on Multimedia*, 2005, pp. 677–682.

- [81] N. Ahmad, A. Szymkowiak, and P. Campbell, "Keystroke dynamics in the pre-touchscreen era," *Front. Hum. Neurosci.*, vol. 7, p. 835, 2013.
- [82] M. Curtin *et al.*, "Keystroke biometric recognition on long-text input: A feasibility study," *Proc. Int. MultiConf. Eng. Comput. Sci.*, 2006.
- [83] C. Epp, M. Lippold, and R. L. Mandryk, "Identifying emotional states using keystroke dynamics," in *Proceedings of the sigchi conference on human factors in computing systems*, 2011, pp. 715–724.
- [84] R. W. Picard, "Affective Computing in MIT Media Laboratory Perceptual Computing Section Technical Report." MIT Media Laboratory, Perceptual Computing, Cambridge, MA, 1995.
- [85] R. W. Picard, "Affective computing: challenges," *Int. J. Hum. Comput. Stud.*, vol. 59, no. 1–2, pp. 55–64, 2003.
- [86] M. Shardlow, "An analysis of feature selection techniques," *Univ. Manchester*, vol. 1, no. 2016, pp. 1–7, 2016.
- [87] F. Scarpina and S. Tagini, "The Stroop Color and Word Test," *Front. Psychol.*, vol. 8, 2017, doi: 10.3389/fpsyg.2017.00557.
- [88] M. Hamer, "Stroop Color-Word Test," *Encycl. Behav. Med. New York, NY Springer New York*, pp. 1916–1917, 2013.
- [89] T. K. Calibo, J. A. Blanco, and S. L. Firebaugh, "Cognitive stress recognition," in *2013 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC)*, 2013, pp. 1471–1475.
- [90] P. Renaud and J.-P. Blondin, "The stress of Stroop performance: Physiological and emotional responses to color–word interference, task pacing, and pacing speed," *Int. J. Psychophysiol.*, vol. 27, no. 2, pp. 87–97, 1997.
- [91] C. Kirschbaum, K.-M. Pirke, and D. H. Hellhammer, "The 'Trier Social Stress Test'—a tool for investigating psychobiological stress responses in a laboratory setting," *Neuropsychobiology*, vol. 28, no. 1–2, pp. 76–81, 1993.
- [92] T. Gruenewald, M. Kemeny, ... N. A.-P., and U. 2004, "Acute threat to the social self: Shame, social self-esteem, and cortisol activity," *Psychosom. Med.*, vol. 6, no. 66, pp. 915–924, 2004, Accessed: Jan. 05, 2022. [Online]. Available: https://scihub.ru/https://journals.lww.com/psychosomaticmedicine/FullText/2004/11000/Acute_Threat_to_the_Social_Self__Shame,_Social.18.aspx?casa_token=TQUXdgCXnnUAAAAA:CgWwHArstEJ4IxTGNBWqg8fSFh8VKEDCIXkVvqM7Fe9phQ7paBG4cAYtUTJZe7RMFMW-7WcCjBVVYLXVQ7uI5.
- [93] B. M. Kudielka, D. H. Hellhammer, and C. Kirschbaum, "Ten Years of Research with the Trier Social Stress Test--Revisited.," 2007.
- [94] T. Smeets, S. Cornelisse, C. W. E. M. Quaedflieg, T. Meyer, M. Jelicic, and H. Merckelbach, "Introducing the Maastricht Acute Stress Test (MAST): A quick and non-invasive approach to elicit robust autonomic and glucocorticoid stress responses," *Psychoneuroendocrinology*, vol. 37, no. 12, pp. 1998–2008, 2012.

- [95] L. Chee-Keong Alfred and W. Chong Chia, "Analysis of Single-Electrode EEG Rhythms Using MATLAB to Elicit Correlation with Cognitive Stress," *Int. J. Comput. Theory Eng.*, vol. 7, no. 2, pp. 149–155, 2015, doi: 10.7763/ijcte.2015.v7.947.
- [96] X. Hou, Y. Liu, O. Sourina, Y. R. E. Tan, L. Wang, and W. Mueller-Wittig, "EEG Based Stress Monitoring," *Proc. - 2015 IEEE Int. Conf. Syst. Man, Cybern. SMC 2015*, pp. 3110–3115, 2016, doi: 10.1109/SMC.2015.540.
- [97] J. Taelman, S. Vandeput, E. Vlemincx, A. Spaepen, and S. Van Huffel, "Instantaneous changes in heart rate regulation due to mental load in simulated office work," *Eur. J. Appl. Physiol.*, vol. 111, no. 7, pp. 1497–1505, 2011, doi: 10.1007/s00421-010-1776-0.
- [98] M. F. Rizwan, R. Farhad, F. Mashuk, F. Islam, and M. H. Imam, "Design of a biosignal based stress detection system using machine learning techniques," *1st Int. Conf. Robot. Electr. Signal Process. Tech. ICREST 2019*, pp. 364–368, 2019, doi: 10.1109/ICREST.2019.8644259.
- [99] C. Setz, B. Arnrich, J. Schumm, R. La Marca, G. Tröster, and U. Ehlert, "Discriminating stress from cognitive load using a wearable EDA device," *IEEE Trans. Inf. Technol. Biomed.*, vol. 14, no. 2, pp. 410–417, 2009.
- [100] F. S. Lopez, N. Condori-Fernandez, and A. Catala, "Towards real-time automatic stress detection for office workplaces," in *Annual International Symposium on Information Management and Big Data*, 2018, pp. 273–288.
- [101] Y. Liu and S. Du, "Psychological stress level detection based on electrodermal activity," *Behav. Brain Res.*, vol. 341, pp. 50–53, 2018, doi: 10.1016/j.bbr.2017.12.021.
- [102] A. L. Goldberger *et al.*, "PhysioBank, PhysioToolkit, and PhysioNet: components of a new research resource for complex physiologic signals," *Circulation*, vol. 101, no. 23, pp. e215–e220, 2000.
- [103] S. Amalan *et al.*, "Electrodermal Activity based Classification of Induced Stress in a Controlled Setting," *MeMeA 2018 - 2018 IEEE Int. Symp. Med. Meas. Appl. Proc.*, vol. 3528725544, pp. 1–6, 2018, doi: 10.1109/MeMeA.2018.8438703.
- [104] A. D. S. Sierra, C. S. Ávila, J. G. Casanova, and G. Bailador, "A Stress-Detection System Based on Physiological Signals and Fuzzy Logic," vol. 58, no. 10, pp. 4857–4865, 2011.
- [105] R. Martinez, E. Irigoyen, A. Arruti, J. I. Martin, and J. Muguerza, "A real-time stress classification system based on arousal analysis of the nervous system by an F-state machine," *Comput. Methods Programs Biomed.*, vol. 148, pp. 81–90, 2017, doi: 10.1016/j.cmpb.2017.06.010.
- [106] S. Sriramprakash, V. D. Prasanna, and O. V. R. Murthy, "Stress Detection in Working People," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 115, pp. 359–366, 2017, doi: 10.1016/j.procs.2017.09.090.
- [107] S. Koldijk, M. Sappelli, S. Verberne, M. A. Neerincx, and W. Kraaij, "The swell knowledge work dataset for stress and user modeling research," in

- Proceedings of the 16th international conference on multimodal interaction*, 2014, pp. 291–298.
- [108] S. Betti *et al.*, “Evaluation of an integrated system of wearable physiological sensors for stress monitoring in working environments by using biological markers,” *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. 65, no. 8, pp. 1748–1758, 2018, doi: 10.1109/TBME.2017.2764507.
- [109] A. S. Anusha, J. Jose, S. P. Preejith, J. Jayaraj, and S. Mohanasankar, “Physiological signal based work stress detection using unobtrusive sensors,” *Biomed. Phys. Eng. Express*, vol. 4, no. 6, p. 65001, 2018.
- [110] J. Wijsman, B. Grundlehner, H. Liu, J. Penders, and H. Hermens, “Wearable physiological sensors reflect mental stress state in office-like situations,” in *Affective Computing and Intelligent Interaction (ACII), 2013 Humaine Association Conference on*, 2013, pp. 600–605.
- [111] Q. Xu, T. L. Nwe, and C. Guan, “Cluster-based analysis for personalized stress evaluation using physiological signals,” *IEEE J. Biomed. Heal. Informatics*, vol. 19, no. 1, pp. 275–281, 2015, doi: 10.1109/JBHI.2014.2311044.
- [112] Y. Shi *et al.*, “Personalized Stress Detection from Physiological Measurements,” *Second Int. Symp. Qual. Life Technol.*, 2010, [Online]. Available: <http://www.shrs.pitt.edu/qolt/qolt.aspx?id=2212>.
- [113] A. O. Akmandor and N. K. Jha, “Keep the Stress Away with SoDA: Stress Detection and Alleviation System,” *IEEE Trans. Multi-Scale Comput. Syst.*, vol. 3, no. 4, pp. 269–282, 2017, doi: 10.1109/TMSCS.2017.2703613.
- [114] W. Lawanont and M. Inoue, “An unsupervised learning method for perceived stress level recognition based on office working behavior,” *Int. Conf. Electron. Inf. Commun. ICEIC 2018*, vol. 2018-Janua, no. January, pp. 1–4, 2018, doi: 10.23919/ELINFOCOM.2018.8330700.
- [115] E. Garcia-Ceja, V. Osmani, and O. Mayora, “Automatic Stress Detection in Working Environments from Smartphones’ Accelerometer Data: A First Step,” *IEEE J. Biomed. Heal. Informatics*, vol. 20, no. 4, pp. 1053–1060, 2016, doi: 10.1109/JBHI.2015.2446195.
- [116] A. Bogomolov, B. Lepri, M. Ferron, F. Pianesi, and A. S. Pentland, “Pervasive stress recognition for sustainable living,” *2014 IEEE Int. Conf. Pervasive Comput. Commun. Work. PERCOM Work. 2014*, no. March, pp. 345–350, 2014, doi: 10.1109/PerComW.2014.6815230.
- [117] D. Carneiro, J. C. Castillo, P. Novais, A. Fernández-Caballero, and J. Neves, “Multimodal behavioral analysis for non-invasive stress detection,” *Expert Syst. Appl.*, vol. 39, no. 18, pp. 13376–13389, 2012, doi: 10.1016/j.eswa.2012.05.065.
- [118] B. Arnrich, C. Setz, R. La Marca, G. Tröster, and U. Ehlert, “What does your chair know about your stress level?,” *IEEE Trans. Inf. Technol. Biomed.*, vol. 14, no. 2, pp. 207–214, 2010, doi: 10.1109/TITB.2009.2035498.
- [119] J. Aigrain, M. Detyniecki, and M. Chetouani, “Person-specific behavioural

- features for automatic stress detection.”
- [120] Y. M. Lim, A. Ayes, and M. Stacey, “Detecting cognitive stress from keyboard and mouse dynamics during mental arithmetic,” *Proc. 2014 Sci. Inf. Conf. SAI 2014*, pp. 146–152, 2014, doi: 10.1109/SAI.2014.6918183.
 - [121] L. M. Vizer, L. Zhou, and A. Sears, “Automated stress detection using keystroke and linguistic features: An exploratory study,” *Int. J. Hum. Comput. Stud.*, vol. 67, no. 10, pp. 870–886, 2009, doi: 10.1016/j.ijhcs.2009.07.005.
 - [122] S. D. W. Gunawardhane, P. M. De Silva, D. S. B. Kulathunga, and S. M. K. D. Arunatileka, “Non invasive human stress detection using key stroke dynamics and pattern variations,” in *2013 International Conference on Advances in ICT for Emerging Regions (ICTer)*, 2013, pp. 240–247.
 - [123] S. Koldijk, M. A. Neerincx, and W. Kraaij, “Detecting Work Stress in Offices by Combining Unobtrusive Sensors,” *IEEE Trans. Affect. Comput.*, vol. 9, no. 2, pp. 227–239, 2018, doi: 10.1109/TAFFC.2016.2610975.
 - [124] Y. Nakashima, J. Kim, S. Flutura, A. Seiderer, and E. André, “Stress recognition in daily work,” in *International Symposium on Pervasive Computing Paradigms for Mental Health*, 2015, pp. 23–33.
 - [125] D. Giakoumis *et al.*, “Using Activity-Related Behavioural Features towards More Effective Automatic Stress Detection,” *PLoS One*, vol. 7, no. 9, 2012, doi: 10.1371/journal.pone.0043571.
 - [126] A. Muaremi, B. Arrich, and G. Tröster, “Towards Measuring Stress with Smartphones and Wearable Devices During Workday and Sleep,” *Bionanoscience*, vol. 3, no. 2, pp. 172–183, 2013, doi: 10.1007/s12668-013-0089-2.
 - [127] J. Aigrain, M. Spodenkiewicz, M. Detyniecki, D. Cohen, and M. Chetouani, “Multimodal stress detection from multiple assessments,” vol. 14, no. 8, 2016, doi: 10.1109/TAFFC.2016.2631594.
 - [128] M. Abouelenien, M. Burzo, and R. Mihalcea, “Human acute stress detection via integration of physiological signals and thermal imaging,” *ACM Int. Conf. Proceeding Ser.*, vol. 29-June-20, 2016, doi: 10.1145/2910674.2910705.
 - [129] A. Alberdi, A. Aztiria, A. Basarab, and D. J. Cook, “Using smart offices to predict occupational stress,” 2018, doi: 10.1016/j.ergon.2018.04.005.
 - [130] R. Walambe, P. Nayak, A. Bhardwaj, and K. Kotecha, “Employing multimodal machine learning for stress detection,” *J. Healthc. Eng.*, vol. 2021, pp. 1–12, 2021.
 - [131] O. M. Mozos *et al.*, “Stress detection using wearable physiological and sociometric sensors,” *Int. J. Neural Syst.*, vol. 27, no. 02, p. 1650041, 2017.
 - [132] M. Naegelin *et al.*, “An interpretable machine learning approach to multimodal stress detection in a simulated office environment,” *J. Biomed. Inform.*, vol. 139, p. 104299, 2023.
 - [133] S. T. Lin, W. H. Chen, and Y. H. Lin, “A pulse rate detection method for mouse

- application based on multi-PPG sensors,” *Sensors (Switzerland)*, vol. 17, no. 7, 2017, doi: 10.3390/s17071628.
- [134] T. V. Tran and W. Y. Chung, “A Robust Algorithm for Real-Time Peak Detection of Photoplethysmograms Using a Personal Computer Mouse,” *IEEE Sens. J.*, vol. 15, no. 8, pp. 4651–4659, 2015, doi: 10.1109/JSEN.2015.2424979.
- [135] H. Chigira, M. Kobayashi, and A. Maeda, “Mouse with photoplethysmographic surfaces for unobtrusive stress monitoring,” *IEEE Int. Conf. Consum. Electron. - Berlin, ICCE-Berlin*, no. November, pp. 304–305, 2012, doi: 10.1109/ICCE-Berlin.2012.6336529.
- [136] M. Belk, D. Portugal, P. Germanakos, J. Quintas, E. Christodoulou, and G. Samaras, “A Computer Mouse for Stress Identification of Older Adults at Work.,” 2016.
- [137] M. Leijten and L. Van Waes, “Keystroke Logging in Writing Research: Using Inputlog to Analyze and Visualize Writing Processes,” *Writ. Commun.*, vol. 30, no. 3, pp. 358–392, Jun. 2013, doi: 10.1177/0741088313491692.
- [138] M. Bickford, “Stress in the Workplace: A General Overview of the Causes, the Effects, and the Solutions,” *Can. Ment. Heal. Assoc. Newfoundl. Labrador Div.*, no. August, pp. 1–44, 2005.
- [139] H. W. Lilliefors, “On the Kolmogorov-Smirnov test for normality with mean and variance unknown,” *J. Am. Stat. Assoc.*, vol. 62, no. 318, pp. 399–402, 1967.
- [140] W. J. Conover, *Practical nonparametric statistics*, vol. 350. John Wiley & Sons, 1999.
- [141] H. Hsu and P. A. Lachenbruch, “Paired t test,” *Wiley StatsRef Stat. Ref. online*, 2014.
- [142] H. B. Mann and D. R. Whitney, “On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other,” *Ann. Math. Stat.*, pp. 50–60, 1947.
- [143] N. V. Chawla, K. W. Bowyer, L. O. Hall, and W. P. Kegelmeyer, “SMOTE: synthetic minority over-sampling technique,” *J. Artif. Intell. Res.*, vol. 16, pp. 321–357, 2002.
- [144] J. H. Zar, “Spearman rank correlation,” *Encycl. Biostat.*, vol. 7, 2005.
- [145] N. Pinheiro *et al.*, “Can PPG be used for HRV analysis?,” *Proc. Annu. Int. Conf. IEEE Eng. Med. Biol. Soc. EMBS*, vol. 2016-Octob, pp. 2945–2949, 2016, doi: 10.1109/EMBC.2016.7591347.
- [146] D. Pollreisz and N. TaheriNejad, “Detection and Removal of Motion Artifacts in PPG Signals,” *Mob. Networks Appl.*, vol. 27, no. 2, pp. 728–738, 2022, doi: 10.1007/s11036-019-01323-6.
- [147] S. Seyedtabaai and L. Seyedtabaai, “Kalman filter based adaptive reduction of motion artifact from photoplethysmographic signal,” *World Acad. Sci. Eng. Technol.*, vol. 37, no. January 2008, pp. 173–176, 2008.

- [148] S. Park, M.-S. Gil, H. Im, and Y.-S. Moon, "Measurement noise recommendation for efficient Kalman filtering over a large amount of sensor data," *Sensors*, vol. 19, no. 5, p. 1168, 2019.
- [149] W. Boucsein, *Electrodermal activity*. Springer Science & Business Media, 2012.
- [150] S. A. H. Aqajari, E. K. Naeini, M. A. Mehrabadi, S. Labbaf, A. M. Rahmani, and N. Dutt, "Gsr analysis for stress: Development and validation of an open source tool for noisy naturalistic gsr data," *arXiv Prepr. arXiv2005.01834*, 2020.
- [151] "Seeed. Grove—GSR Sensor." https://wiki.seeedstudio.com/Grove-GSR_Sensor/ (accessed Nov. 10, 2022).
- [152] J. A. Healey and R. W. Picard, "Detecting stress during real-world driving tasks using physiological sensors," *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, vol. 6, no. 2, pp. 156–166, 2005.
- [153] L. Pepa, A. Sabatelli, L. Ciabattini, A. Monteriù, F. Lamberti, and L. Morra, "Stress Detection in Computer Users From Keyboard and Mouse Dynamics," *IEEE Trans. Consum. Electron.*, vol. 67, no. 1, pp. 12–19, 2021, doi: 10.1109/TCE.2020.3045228.
- [154] A. Kolakowska, "A review of emotion recognition methods based on keystroke dynamics and mouse movements," *2013 6th Int. Conf. Hum. Syst. Interact. HSI 2013*, pp. 548–555, 2013, doi: 10.1109/HSI.2013.6577879.
- [155] R. De Fazio, M. De Vittorio, and P. Visconti, "Innovative iot solutions and wearable sensing systems for monitoring human biophysical parameters: A review," *Electron.*, vol. 10, no. 14, 2021, doi: 10.3390/electronics10141660.
- [156] R. Setiawan, F. Budiman, and W. I. Basori, "Stress Diagnostic System and Digital Medical Record Based on Internet of Things," *Proc. - 2019 Int. Semin. Intell. Technol. Its Appl. ISITIA 2019*, pp. 348–353, 2019, doi: 10.1109/ISITIA.2019.8937273.
- [157] R. Singh *et al.*, "Cloud server and internet of things assisted system for stress monitoring," *Electron.*, vol. 10, no. 24, 2021, doi: 10.3390/electronics10243133.
- [158] B. Rodić-Trmčić, A. Labus, Z. Bogdanović, M. Despotović-Zrakić, and B. Radenković, "Development of an IoT system for students' stress management," *Facta Univ. Electron. Energ.*, vol. 31, no. 3, pp. 329–342, 2018.
- [159] M. Zubair, C. Yoon, H. Kim, J. Kim, and J. Kim, "Smart Wearable Band for Stress Detection," pp. 1–4, 2015.
- [160] G. Tartare, X. Zeng, and L. Koehl, "Development of a wearable system for monitoring the firefighter's physiological state," *Proc. - 2018 IEEE Ind. Cyber-Physical Syst. ICPS 2018*, pp. 561–566, 2018, doi: 10.1109/ICPHYS.2018.8390767.
- [161] J. V. Raj and T. V. Sarath, "An IoT based real-time stress detection system for fire-fighters," *2019 Int. Conf. Intell. Comput. Control Syst. ICCS 2019*, no. Iccics, pp. 354–360, 2019, doi: 10.1109/ICCS45141.2019.9065866.

- [162] U. Pluntke, S. Gerke, A. Sridhar, J. Weiss, and B. Michel, "Evaluation and Classification of Physical and Psychological Stress in Firefighters using Heart Rate Variability," *Proc. Annu. Int. Conf. IEEE Eng. Med. Biol. Soc. EMBS*, pp. 2207–2212, 2019, doi: 10.1109/EMBC.2019.8856596.
- [163] A. Oskooei, S. M. Chau, J. Weiss, A. Sridhar, M. R. Martínez, and B. Michel, "DeStress: Deep Learning for Unsupervised Identification of Mental Stress in Firefighters from Heart-Rate Variability (HRV) Data," *Stud. Comput. Intell.*, vol. 914, pp. 93–105, 2021, doi: 10.1007/978-3-030-53352-6_9.
- [164] R. Ferdous, V. Osmani, and O. Mayora, "Smartphone app usage as a predictor of perceived stress levels at workplace," *Proc. 2015 9th Int. Conf. Pervasive Comput. Technol. Heal. PervasiveHealth 2015*, pp. 225–228, 2015, doi: 10.4108/icst.pervasivehealth.2015.260192.
- [165] D. Carneiro, P. Novais, J. C. Augusto, and N. Payne, "New Methods for Stress Assessment and Monitoring at the Workplace," vol. 14, no. 8, 2017, doi: 10.1109/TAFFC.2017.2699633.

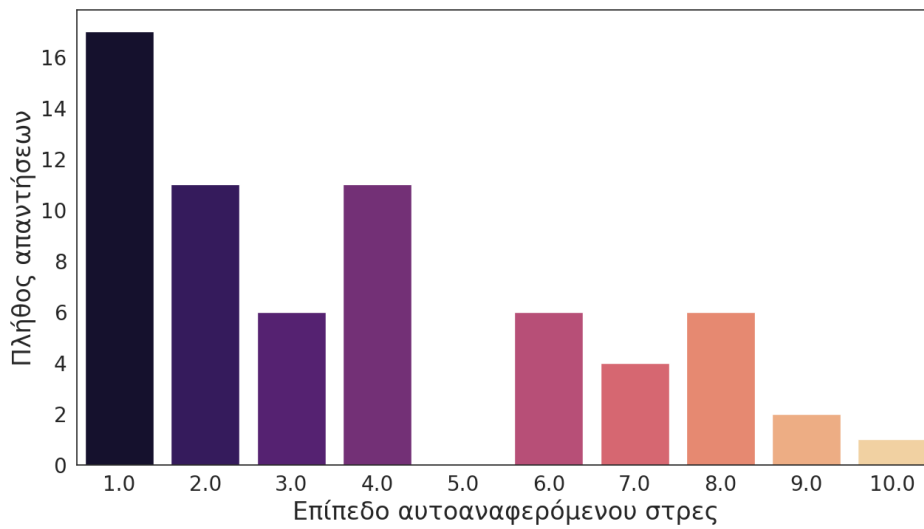
Παράρτημα

Γενικό ερωτηματολόγιο

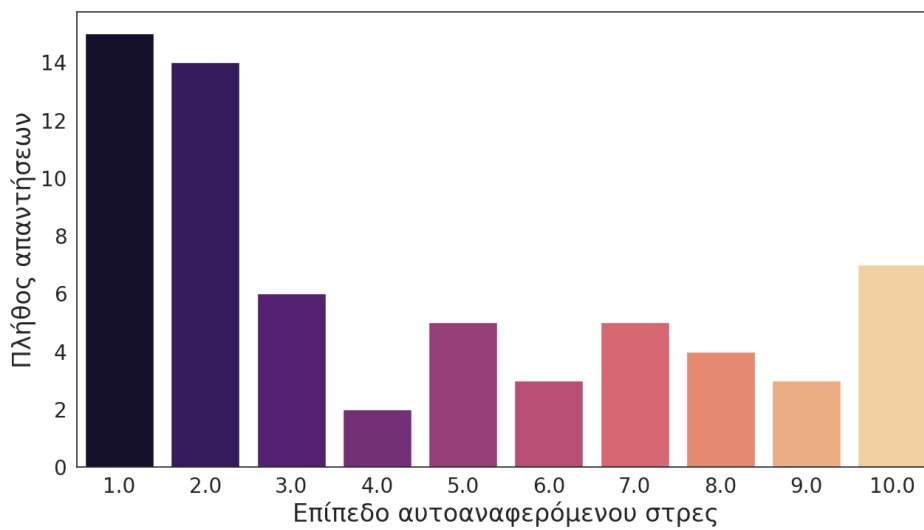
- 1) Παρακαλώ συμπληρώστε το αναγνωριστικό της συμμετοχής σας: _____
- 2) Ηλικία: _____
- 3) Φύλο: Άνδρας/Γυναίκα/Άλλο
- 4) Επάγγελμα: _____
- 5) Λαμβάνετε κάποια φαρμακευτική αγωγή;; Ναι/Όχι
- 6) Έχετε καταναλώσει καφεΐνη τις τελευταίες 5 ώρες;; Ναι/Όχι
- 7) Έχετε καταναλώσει αλκοόλ τις τελευταίες 5 ώρες;; Ναι/Όχι
- 8) Πώς θα αξιολογούσατε την εξοικείωσή σας με τους ηλεκτρονικούς υπολογιστές;; Πολύ μικρή/Μικρή/Μέτρια/Μεγάλη/Πολύ μεγάλη
- 9) Χρησιμοποιείται τον ηλεκτρονικό υπολογιστή καθημερινά στην εργασία σας;; Ναι/Όχι
- 10) Έχετε συμμετάσχει στο παρελθόν σε παρόμοιο πείραμα;; Ναι/Όχι

Ερωτηματολόγιο αυτοαναφοράς NASA-TLX

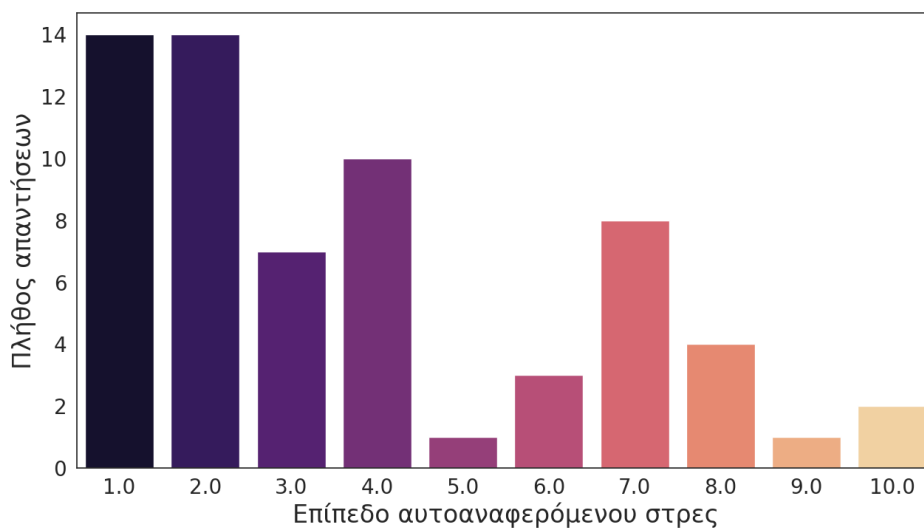
- 1) Πόσο πνευματικά απαιτητική ήταν η εργασία; *Ήταν η εργασία απλή ή περίπλοκη, εύκολη ή απαιτητική;*; 1-10 (Πολύ λίγο-Πάρα πολύ)
- 2) Πόσο σωματικά απαιτητική ήταν η εργασία; *Ήταν η εργασία απλή ή περίπλοκη, αργή ή απαιτητική;*; 1-10 (Πολύ λίγο-Πάρα πολύ)
- 3) Πόσο πιεστικός ήταν ο ρυθμός της εργασίας; *Ήταν ο ρυθμός αργός και ήρεμος ή γρήγορος και φρενήρης;*; 1-10 (Πολύ λίγο-Πάρα πολύ)
- 4) Πόσο επιτυχημένα θεωρείτε ότι πραγματοποιήσατε αυτό που σας ζητήθηκε να κάνετε;; 1-10 (Πολύ λίγο-Πάρα πολύ)
- 5) Πόσο σκληρά έπρεπε να δουλέψετε/προσπαθήσετε προκειμένου να πετύχετε το επίπεδο της απόδοσής σας;; 1-10 (Πολύ λίγο-Πάρα πολύ)
- 6) Πόσο ανασφαλείς, αποθαρρημένοι, ενοχλημένοι ή αγχωμένοι νιώσατε;; 1-10 (Πολύ λίγο-Πάρα πολύ)



Εικόνα 38 Το πλήθος των απαντήσεων που δόθηκαν για κάθε ένα από τα επίπεδα αυτοαναφερόμενου στρες στο εύρος 1-10, στα ερωτηματολόγια που ακολούθησαν τις δύο καταστάσεις της άσκησης Stroop Color Word Task.



Εικόνα 39 Το πλήθος των απαντήσεων που δόθηκαν για κάθε ένα από τα επίπεδα αυτοαναφερόμενου στρες στο εύρος 1-10, στα ερωτηματολόγια που ακολούθησαν τις δύο καταστάσεις της άσκησης Mental Arithmetic Task.



Εικόνα 40 Το πλήθος των απαντήσεων που δόθηκαν για κάθε ένα από τα επίπεδα αυτοαναφερόμενου στρες στο εύρος 1-10, στα ερωτηματολόγια που ακολούθησαν τις δύο καταστάσεις της άσκησης μεταγραφής κειμένου.

Πίνακας 15 Το σύνολο των χαρακτηριστικών που εξήχθησαν από τις φυσιολογικές και συμπεριφορικές μετρήσεις που καταγράφηκαν από το πληκτρολόγιο και το ποντίκι ηλεκτρονικού υπολογιστή του συστήματος.

Τύπος	Παράμετρος	Χαρακτηριστικά
Φυσιολογική	BPM	Μέση τιμή, τυπική απόκλιση, μέγιστη τιμή, ελάχιστη τιμή
	IBI	Μέση τιμή, τυπική απόκλιση, μέγιστη τιμή, ελάχιστη τιμή
	SC	Μέση τιμή, αριθμός κορυφών, μέγιστη τιμή κορυφών
Συμπεριφορική	Keystroke dwell time	Μέση τιμή, τυπική απόκλιση, μέγιστη τιμή, ελάχιστη τιμή, τιμή PtP
	Keystroke down-to-down time	Μέση τιμή, τυπική απόκλιση, μέγιστη τιμή, ελάχιστη τιμή, τιμή PtP
	Velocity	Μοναδική τιμή
	Latency	Μέση τιμή, τυπική απόκλιση, μέγιστη τιμή, ελάχιστη τιμή, τιμή PtP
	Number of errors	Μοναδική τιμή
	Mouse action time	Μέση τιμή, τυπική απόκλιση, μέγιστη τιμή, ελάχιστη τιμή, τιμή PtP
	Mouse pause time	Μέση τιμή, τυπική απόκλιση, μέγιστη τιμή, ελάχιστη τιμή, τιμή PtP
	Number of clicks	Μοναδική τιμή
	Number of scrolls	Μοναδική τιμή
Total mouse distance	Μοναδική τιμή	

Κατάλογος Δημοσιεύσεων

1. **T. Androutsou**, S. Angelopoulos, E. Hristoforou, G. K. Matsopoulos, and D. D. Koutsouris, "Automated Multimodal Stress Detection in Computer Office Workspace," *Electronics*, vol. 12, no. 11, p. 2528, Jun. 2023, <https://doi.org/10.3390/electronics12112528>
2. **T. Androutsou**, S. Angelopoulos, E. Hristoforou, G. K. Matsopoulos, and D. D. Koutsouris, "A multisensor system embedded in a computer mouse for occupational stress detection," *Biosensors*, vol. 13, no. 1, p. 10, 2022, <https://doi.org/10.3390/bios13010010>
3. **T. Androutsou**, S. Angelopoulos, I. Kouris, E. Hristoforou and D. Koutsouris, "A smart computer mouse with biometric sensors for unobtrusive office work-related stress monitoring," 2021 43rd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society (EMBC), Mexico, 2021, pp. 7256-7259, doi: 10.1109/EMBC46164.2021.9630602.
4. **Androutsou, T.**, Kouris, I. N., Anastasiou, A., Pavlopoulos, S., Mostajeran, F., Bamiou, D. E., Genna G.J, Costafreda Sergi G. & Koutsouris, D. (2020). A smartphone application designed to engage the elderly in home-based rehabilitation. *Frontiers in Digital Health*, 2.
5. **Androutsou, T.**, Kontoulis, M. ,Bromis, K., Kapsalis, P., Kouris, I., Karanikas, H., Christodoulakis, A., Dimitrakopoulos, P., Askounis, D., & Koutsouris, D. (2021). IMPILO Platform - An Innovative Blockchain-Based Global Open Healthcare Social Network. *Computer Science and Information Technology*, 9(3), 33 - 49. DOI: 10.13189/csit.2021.090301.
6. Manta, O., **Androutsou, T.**, Anastasiou, A., Koumpouros, Y., Matsopoulos, G., & Koutsouris, D. (2020, June). A three-module proposed solution to improve cognitive and social skills of students with attention deficit disorder (ADD) and high functioning autism (HFA) innovative technological advancements for students with neurodevelopmental disorders. In *Proceedings of the 13th ACM International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments* (pp. 1-7).
7. Manta, O., **Androutsou, T.**, Anastasiou, A., Koumpouros, Y., Matsopoulos, G., & Koutsouris, D. (2020). Innovative technological advancements to improve cognitive and social skills of students with neurodevelopmental disorders. *Technology and Disability*, (Preprint), 1- 11.
8. I. Kouris, M. Sarafidis, **T. Androutsou** and D. Koutsouris, "HOLOBALANCE: An Augmented Reality virtual trainer solution for balance training and fall prevention," 2018 40th Annual International Conference of the IEEE Engineering

in Medicine and Biology Society (EMBC), Honolulu, HI, 2018, pp. 4233-4236. doi: 10.1109/EMBC.2018.8513357.

9. Tarousi, M., Sarafidis, M., **Androutsou, T.**, Manta, O., Giannakopoulou, O., Koutsouri, G., Ibáñez, F., Kouris, I., Vellidou, E. & Koutsouris, D. (2021). Serious games for Parkinson's Disease management as implemented in PROPHETIC platform. *Health Informatics Journal*, 27(2), 14604582211011231.
10. Tsiouris, K. M., Gatsios, D., Tsakanikas, V., Pardalis, A. A., Kouris, I., **Androutsou, T.**, Tarousi, M., Sedlar, N.V, Somarakis, I., Mostajeran, F., Filipovic, N., Akker, H., Koutsouris, D. & Fotiadis, D. I. (2020). Designing interoperable telehealth platforms: bridging IoT devices with cloud infrastructures. *Enterprise Information Systems*, 14(8), 1194-1218.
11. Kontzinos, C., Kontoulis, M., Kapsalis, P., Markaki, O., Mouzakitis, S., Manta, R., **Androutsou, T.**, Kouris, I., Karanikas, H., Biliris, A., Christodoulakis, A. & Thireos, E. (2020). Methodology for secure storage and information exchange of medical data based on blockchain. *Archives of Hellenic Medicine/Arheia Ellenikes Iatrikes*, 37(4).
12. Anastasiou, A., Pitoglou, S., **Androutsou, T.**, Kostalas, E., Matsopoulos, G., & Koutsouris, D. (2019, June). MODELHealth: An innovative software platform for Machine Learning in Healthcare leveraging indoor localization services. In 2019 20th IEEE International Conference on Mobile Data Management (MDM) (pp. 443-446).
13. Pitoglou, S., Anastasiou, A., **Androutsou, T.**, Giannouli, D., Kostalas, E., Matsopoulos, G., & Koutsouris, D. (2019, July). MODELHealth: Facilitating Machine Learning on Big Health Data Networks. In 2019 41st Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC) (pp. 2174-2177).
14. Pitoglou, S., Giannouli, D., Costarides, V., **Androutsou, T.**, & Anastasiou, A. (2020). Cybercrime and Private Health Data: Review, Current Developments, and Future Trends. In Khosrow-Pour D.B.A., M. (Ed.), *Encyclopedia of Criminal Activities and the Deep Web* (pp. 763- 787). IGI Global. <http://doi:10.4018/978-1-5225-9715-5.ch052>.
15. E. Vellidou, I. Kouris, M. Prasinos, J. Montesa, M. Tarousi, M. Sarafidis, P. Ioannidou, **T. Androutsou**, V. Kostaridou, O. Manta, O. Giannakopoulou, G. Koutsouri, P. Katrakazas, D. Koutsouris, "PROPHETIC: Serious games enhanced management of Parkinson's patients", 3rd International Conference on Medical Education Informatics – MEI 2018, Abstract, Leeds, United Kingdom, September, 2018.

