



ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΤΕΧΝΩΝ ΚΑΙ ΒΙΩΣΙΜΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Βιώσιμος Σχεδιασμός Εσωτερικού Περιβάλλοντος Κτιρίων

Μεταπτυχική Διπλωματική Εργασία

«Ο φυσικός και τεχνητός φωτισμός και η συμβολή τους στον
ανθρωποκεντρικό σχεδιασμό κτιρίων γραφείων»

Αικατερίνη Σόφτση

Επιβλέπουσα καθηγήτρια: Χριστίνα Σκανδάλη

Πάτρα, Ιούνιος 2026

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του/της φοιτητή/φοιτήτριας («συγγραφέας/δημιουργός») που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο ΕΑΠ, μη αποκλειστική άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, προσαρμογής, δημόσιου δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσής τους διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος και για όλο το χρόνο διάρκειας των δικαιωμάτων πνευματικής ιδιοκτησίας. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο για μελέτη και ανάγνωση δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, αποθήκευση, πώληση, εμπορική χρήση, μετάδοση, διανομή, έκδοση, εκτέλεση, «μεταφόρτωση» (downloading), «ανάρτηση» (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού. Ο συγγραφέας/δημιουργός διατηρεί το σύνολο των ηθικών και περιουσιακών του δικαιωμάτων.



«Ο φυσικός και τεχνητός φωτισμός και η συμβολή τους στον
ανθρωποκεντρικό σχεδιασμό κτιρίων γραφείων»

Αικατερίνη Σόφτση

Επιτροπή Επίβλεψης Μεταπτυχιακής Διπλωματικής Εργασίας

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια:
Χριστίνα Σκανδάλη

Συν-Επιβλέπων Καθηγητής:
Νικόλας Μισέλ Φιλίπ Ρεμί

Πάτρα, Ιούνιος 2026

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στην επιβλέπουσα καθηγήτριά μου, κ. Χριστίνα Σκανδάλη, για την πολύτιμη καθοδήγηση, τις εύστοχες παρατηρήσεις και τη συνεχή συμβολή της στην ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Θερμές ευχαριστίες οφείλω επίσης στον κ. Λάμπρο Δούλο για τη διαρκή επιστημονική υποστήριξη και τις γνώσεις που μου προσέφερε στο πλαίσιο του μεταπτυχιακού προγράμματος, καθώς και για τη συμβολή του μέσω του μαθήματος που αποτέλεσε ουσιαστική βάση και προετοιμασία για την εκπόνηση της παρούσας εργασίας.

Τέλος, ευχαριστώ από καρδιάς την οικογένειά μου για την αμέριστη συμπαράσταση, την υπομονή και την ενθάρρυνσή της καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου, καθώς και τους φίλους μου για τη στήριξη, την κατανόηση και την πολύτιμη παρουσία τους σε αυτή τη διαδρομή.

Αφιερώνεται
στους γονείς μου,
Ευάγγελο και Ελένη

Περίληψη

Η παρούσα εργασία εξετάζει τον ρόλο του φυσικού και του τεχνητού φωτισμού στον ανθρωποκεντρικό σχεδιασμό γραφειακών περιβαλλόντων, προσεγγίζοντας το φωτεινό περιβάλλον ως ένα σύνθετο σύστημα αλληλεπίδρασης τεχνικών, βιολογικών, συμπεριφορικών και περιβαλλοντικών παραμέτρων. Στο σύγχρονο εργασιακό περιβάλλον, ο φωτισμός δεν περιορίζεται πλέον στην εξασφάλιση ορατότητας και οπτικής άνεσης, αλλά συνδέεται άμεσα με τη φυσιολογία, τη γνωστική λειτουργία, την ψυχολογική κατάσταση και τη συνολική εμπειρία των χρηστών.

Η εργασία εστιάζει στη μετάβαση από συμβατικές φωτομετρικές προσεγγίσεις προς περισσότερο ανθρωποκεντρικά και σχεδιαστικά πλαίσια με επίκεντρο τον χρήστη, τα οποία ενσωματώνουν τόσο τις οπτικές όσο και τις μη οπτικές επιδράσεις του φωτός. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στην έννοια του ανθρωποκεντρικού φωτισμού (Human-Centric Lighting, HCL), στη συμβολή του φυσικού φωτισμού και στον ρόλο των προσαρμοστικών συστημάτων φωτισμού και των ευφών συστημάτων ελέγχου στη διαμόρφωση δυναμικών στρατηγικών φωτισμού.

Η μεθοδολογία βασίζεται σε συστηματική βιβλιογραφική επισκόπηση και θεματική σύνθεση σύγχρονων επιστημονικών πηγών, καθώς και σε συγκριτική ανάλυση εμπειρικών μελετών πεδίου, υπολογιστικών εργαλείων προσομοιοτικής αξιολόγησης (simulation-based evaluation tools) και προσαρμοστικών συστημάτων φωτισμού. Η ανάλυση αναδεικνύει τόσο τις δυνατότητες όσο και τους περιορισμούς των σύγχρονων προσεγγίσεων αξιολόγησης φωτισμού σε κτίρια γραφείων.

Τα ευρήματα της εργασίας υποδεικνύουν ότι η αποτελεσματική αξιολόγηση του φωτισμού δεν μπορεί να βασίζεται αποκλειστικά σε μεμονωμένους τεχνικούς δείκτες (technical lighting metrics), αλλά απαιτεί συνθετικές προσεγγίσεις που να ενσωματώνουν οπτικές, μη οπτικές, συμπεριφορικές και ενεργειακές παραμέτρους. Παράλληλα, αναδεικνύεται ότι ο ανθρωποκεντρικός φωτισμός συγκροτεί πλέον ένα νέο πλαίσιο αξιολόγησης και σχεδιασμού του εργασιακού περιβάλλοντος, το οποίο επαναπροσδιορίζει τη σχέση μεταξύ φωτός, ανθρώπινης εμπειρίας και ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος.

Λέξεις – Κλειδιά

Φυσικός φωτισμός, τεχνητός φωτισμός, ανθρωποκεντρικός φωτισμός, κτίρια γραφείων, ποιότητα εσωτερικού περιβάλλοντος, οπτική άνεση, συμπεριφορά χρηστών.

Abstract

This dissertation examines the role of natural and artificial lighting in the human-centric design of office environments, approaching the luminous environment as a complex system of interaction between technical, biological, behavioural and environmental parameters. In contemporary workplaces, lighting is no longer limited to ensuring visibility and visual comfort, but is directly associated with physiology, cognitive performance, psychological state and the overall user experience.

The study focuses on the transition from conventional photometric approaches towards more human-centric and user-centred design frameworks, which integrate both the visual and non-visual effects of light. Particular emphasis is placed on the concept of Human-Centric Lighting (HCL), on the contribution of daylight/daylighting and on the role of adaptive lighting systems and intelligent lighting controls in shaping dynamic lighting strategies.

The methodology is based on a systematic literature review and thematic synthesis of contemporary scientific sources, as well as on a comparative analysis of field studies, simulation-based evaluation tools and adaptive lighting systems. The analysis highlights both the potential and the limitations of current lighting evaluation approaches in office buildings.

The findings indicate that effective lighting evaluation cannot rely exclusively on isolated technical lighting metrics, but requires integrative approaches that encompass visual, non-visual, behavioural and energy-related parameters. At the same time, Human-Centric Lighting (HCL) emerges as a new framework for the evaluation and design of the workplace environment, redefining the relationship between light, human experience and indoor environmental quality (IEQ).

Keywords

Daylight, artificial lighting, human-centric lighting, office buildings, indoor environmental quality, visual comfort, user behaviour.

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	5
Abstract.....	7
Περιεχόμενα.....	8
Συντομογραφίες & Ακρωνύμια.....	13
Εισαγωγή.....	14
1. Επιδράσεις του φωτός στον άνθρωπο και ανθρωποκεντρικός σχεδιασμός.....	1
1.1 Ανθρωποκεντρικός σχεδιασμός στο δομημένο περιβάλλον.....	1
1.2 Ο ρόλος του φωτισμού στον ανθρωποκεντρικό σχεδιασμό γραφείων.....	3
1.3 Οπτικές επιδράσεις του φωτός και οπτική άνεση.....	4
1.4 Μη οπτικές (βιολογικές) επιδράσεις του φωτός στον άνθρωπο.....	7
1.5 Human-Centric Lighting (HCL).....	9
1.6 Ανθρωποκεντρικός φωτισμός, άνεση και ευεξία.....	12
1.7 Συνθετική προσέγγιση και κριτική αποτίμηση του ανθρωποκεντρικού φωτισμού σε περιβάλλοντα γραφείων.....	15
2. Φυσικός φωτισμός (daylighting) σε κτίρια γραφείων.....	17
2.1 Ο φυσικός φωτισμός ως παράμετρος ποιότητας του εσωτερικού περιβάλλοντος.....	17
2.2 Στρατηγικές σχεδιασμού φυσικού φωτισμού σε κτίρια γραφείων.....	20
2.2.1 Προσανατολισμός και σχεδιασμός ανοιγμάτων.....	20
2.2.2 Γεωμετρία κελύφους και διάχυση φυσικού φωτός.....	22
2.2.3 Χωρική οργάνωση και κατανομή χρήσεων σε σχέση με τον φυσικό φωτισμό.....	24
2.2.4 Συστήματα σκίασης και έλεγχος φυσικού φωτισμού.....	27
2.3 Δείκτες και μέθοδοι αξιολόγησης του φυσικού φωτισμού.....	29
2.3.1 Στατικοί δείκτες φυσικού φωτισμού.....	32
2.3.2 Δυναμικοί δείκτες φυσικού φωτισμού.....	33
2.4 Προκλήσεις και περιορισμοί εφαρμογής του φυσικού φωτισμού σε κτίρια γραφείων.....	38
2.5 Σύνθεση και κριτική αποτίμηση του φυσικού φωτισμού σε κτίρια γραφείων 41	
3. Τεχνητός φωτισμός και ανθρωποκεντρικές προσεγγίσεις σε κτίρια γραφείων.....	44
3.1 Ο ρόλος του τεχνητού φωτισμού στο σύγχρονο περιβάλλον γραφείων.....	45
3.2 Τεχνολογική εξέλιξη του τεχνητού φωτισμού: LED, δυναμικός φωτισμός και δυνατότητες ελέγχου.....	48
3.3 Αρχές και εφαρμογές του Human-Centric Lighting σε περιβάλλοντα γραφείων.....	51
3.4 Προκλήσεις και περιορισμοί εφαρμογής του τεχνητού φωτισμού και του Human-Centric Lighting σε κτίρια γραφείων.....	55
3.5 Επιδράσεις του τεχνητού και ανθρωποκεντρικού φωτισμού στη συμπεριφορά και την εμπειρία των χρηστών.....	59
3.6 Σύνθεση και κριτική αποτίμηση του τεχνητού και ανθρωποκεντρικού φωτισμού σε κτίρια γραφείων.....	62
4. Δείκτες, μεθοδολογίες και εργαλεία αξιολόγησης φωτισμού σε κτίρια γραφείων 65	
4.1 Εισαγωγή στη μεθοδολογία αξιολόγησης φωτισμού.....	66

4.2 Δείκτες αξιολόγησης φυσικού φωτισμού σε κτίρια γραφείων.....	68
4.3 Δείκτες αξιολόγησης τεχνητού φωτισμού και οπτικής άνεσης σε κτίρια γραφείων.....	71
4.4 Δείκτες μη οπτικών επιδράσεων και ανθρωποκεντρικού φωτισμού (HCL) σε κτίρια γραφείων.....	74
4.5 Υποκειμενικές μέθοδοι αξιολόγησης φωτισμού και εμπειρίας χρηστών σε κτίρια γραφείων.....	76
4.6 Συνδυαστικές προσεγγίσεις και ολοκληρωμένα πλαίσια αξιολόγησης φωτισμού σε κτίρια γραφείων.....	79
4.7 Προκλήσεις και περιορισμοί αξιολόγησης φωτισμού σε κτίρια γραφείων. .	82
5. Κριτική σύνθεση μεθοδολογιών και παραγόντων αβεβαιότητας στην αξιολόγηση φωτισμού γραφείων.....	85
5.1 Μεθοδολογικές προσεγγίσεις αξιολόγησης φωτισμού σε περιβάλλοντα γραφείων.....	86
5.2 Εμπειρικές προσεγγίσεις και Post-Occupancy Evaluation (POE) στον φωτισμό γραφείων.....	88
5.3 Ενοποιημένα συστήματα φωτισμού, αυτοματισμοί και συμπεριφορά χρηστών σε περιβάλλοντα γραφείων.....	90
5.4 Αβεβαιότητα και μεθοδολογικά όρια στην αξιολόγηση φωτισμού σε κτίρια γραφείων.....	91
5.5 Σύνθεση και επιπτώσεις στον σχεδιασμό φωτισμού σε κτίρια γραφείων....	93
6. Συγκριτική ανάλυση case studies ανθρωποκεντρικού φωτισμού σε περιβάλλοντα γραφείων.....	94
6.1 Μεθοδολογικό πλαίσιο επιλογής και ανάλυσης των case studies.....	95
6.2 Case study 1: Μελέτη πεδίου με υποστηρικτικές προσομοιώσεις και εξατομικευμένο ανθρωποκεντρικό φωτισμό σε γραφείο ανοικτής διάταξης.....	96
6.3 Case study 2: Προσομοιωτική αξιολόγηση οπτικής άνεσης και evidence-based σχεδιασμός φωτισμού.....	100
6.4 Case study 3: Προσαρμοστικά συστήματα φωτισμού, αυτοματισμοί και συμπεριφορά χρηστών σε γραφειακά περιβάλλοντα.....	104
6.5 Συγκριτική σύνθεση και κριτική αποτίμηση των μεθοδολογικών προσεγγίσεων αξιολόγησης φωτισμού.....	109
7. Συνθετική αποτίμηση, ερευνητικά κενά και μελλοντικές προοπτικές στον ανθρωποκεντρικό φωτισμό γραφειακών χώρων.....	112
7.1 Σύνθεση βασικών ερευνητικών συμπερασμάτων.....	113
7.2 Ερευνητικά κενά και μεθοδολογικοί περιορισμοί της σύγχρονης βιβλιογραφίας.....	116
7.3 Μελλοντικές προοπτικές και κατευθύνσεις στον σχεδιασμό ανθρωποκεντρικού φωτισμού.....	119
7.4 Συνθετική αποτίμηση της σύγχρονης βιβλιογραφίας.....	122
8. Συμπεράσματα και τελική συνθετική αποτίμηση.....	123
8.1 Τελική συνθετική αποτίμηση της έρευνας.....	123
8.2 Θεωρητική και μεθοδολογική συμβολή της.....	124
8.3 Περιορισμοί της εργασίας.....	125
8.4 Συμπεράσματα.....	127
Βιβλιογραφία.....	129
Journal Articles / Scientific Papers.....	129

Standards / Technical Standards.....	132
Books / Foundational References.....	133
Professional & Institutional Publications.....	133

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 1.1: Σύγκριση συμβατικού φωτισμού και Human-Centric Lighting.....	11
Πίνακας 2.1: Σύγκριση βασικών δυναμικών δεικτών φυσικού φωτισμού.....	35
Πίνακας 2.2: Συγκριτική παρουσίαση βασικών πλεονεκτημάτων και περιορισμών του φυσικού φωτισμού σε κτίρια γραφείων.....	41
Πίνακας 3.1: Βασικές αρχές του Human-Centric Lighting και η εφαρμογή τους σε περιβάλλοντα γραφείων, όπως προκύπτουν από τη σύγχρονη βιβλιογραφία.....	53
Πίνακας 3.2: Κύριες προκλήσεις εφαρμογής του Human-Centric Lighting σε κτίρια γραφείων και οι αντίστοιχες σχεδιαστικές κατευθύνσεις, όπως προκύπτουν από τη σύγχρονη βιβλιογραφία.....	58
Πίνακας 4.1: Βασικοί δείκτες αξιολόγησης φυσικού φωτισμού.....	70
Πίνακας 4.2: Βασικοί δείκτες αξιολόγησης τεχνητού φωτισμού σε γραφεία.....	73
Πίνακας 4.3: Βασικοί δείκτες μη οπτικών επιδράσεων φωτισμού.....	74
Πίνακας 4.4: Υποκειμενικές μέθοδοι αξιολόγησης φωτισμού σε γραφεία.....	78
Πίνακας 4.5: Συγκριτική αποτίμηση προσεγγίσεων αξιολόγησης φωτισμού σε κτίρια γραφείων, με βάση το αντικείμενο μέτρησης, τα πλεονεκτήματα και τους περιορισμούς τους.....	81
Πίνακας 4.6: Κύριοι περιορισμοί αξιολόγησης φωτισμού σε κτίρια γραφείων.....	84
Πίνακας 5.1: Βασικές μεθοδολογικές προσεγγίσεις αξιολόγησης φωτισμού σε γραφεία.....	87
Πίνακας 6.1: Συγκριτικά χαρακτηριστικά των επιλεγμένων case studies.....	96
Πίνακας 6.2: Βασικά χαρακτηριστικά και ευρήματα της μελέτης των Aliparast S. και Onaygil S. (2024).....	100
Πίνακας 6.3: Βασικά χαρακτηριστικά και ευρήματα της μελέτης Davoodi et al. (2021). 104	
Πίνακας 6.4: Βασικές κατηγορίες τεχνολογιών και στρατηγικών ελέγχου φωτισμού με επίκεντρο τον χρήστη (user-centred lighting controls), βάσει της βιβλιογραφικής ανασκόπησης των Hammes et al. (2024).....	106
Πίνακας 6.5: Συγκριτική αξιολόγηση των τριών προσεγγίσεων αξιολόγησης φωτισμού που εξετάστηκαν στα επιλεγμένα case studies.....	111
Πίνακας 7.1: Αυθεντική σύγκριση προσεγγίσεων αξιολόγησης φωτισμού σε γραφειακά περιβάλλοντα.....	115
Πίνακας 7.2: Βασικά ερευνητικά κενά και μελλοντικές ανάγκες στη σύγχρονη βιβλιογραφία φωτισμού.....	119

Ευρετήριο Σχημάτων

Σχήμα 2.1: Σχηματική απεικόνιση της δυναμικής αλληλεπίδρασης μεταξύ φυσικού φωτισμού, θάμβωσης, συμπεριφοράς χρηστών, χρήσης συστημάτων σκίασης και ανάγκης για τεχνητό φωτισμό σε χώρους γραφείων.....	29
Σχήμα 2.2: Εννοιολογική αποτύπωση της σχέσης μεταξύ φυσικού φωτισμού, ενεργειακής απόδοσης, οπτικής άνεσης και ανθρώπινης εμπειρίας σε περιβάλλοντα γραφείων (προσαρμοσμένο από Konis, 2013; Doulos et al., 2020; Plöner et al., 2021)....	44
Σχήμα 3.1: Εννοιολογική απεικόνιση του Human-Centric Lighting σε περιβάλλοντα γραφείων, που αναδεικνύει τη δυναμική αλληλεπίδραση μεταξύ φωτός, ανθρώπου, χώρου και τεχνολογίας.....	55
Σχήμα 4.1: Εννοιολογικό πλαίσιο ολοκληρωμένης αξιολόγησης φωτισμού σε κτίρια γραφείων, το οποίο αποτυπώνει τη σύγκλιση τεχνικών, περιβαλλοντικών, βιολογικών και εμπειρικών παραμέτρων και τη δυναμική αλληλεπίδρασή τους στη διαμόρφωση της ποιότητας φωτισμού.....	82
Σχήμα 6.1: Μεθοδολογική διαδικασία της έρευνας, από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση και τις προσομοιώσεις έως τις πειραματικές μετρήσεις και την αξιολόγηση των χρηστών.....	97
Σχήμα 6.2: Προσομοιωτικό μοντέλο του γραφειακού χώρου και εξεταζόμενα ύψη εγκατάστασης των φωτιστικών σωμάτων για την αξιολόγηση των ανθρωποκεντρικών δεικτών φωτισμού.....	98
Σχήμα 6.3: Αποτελέσματα ερωτηματολογίου PANAS σχετικά με την αντιλαμβανόμενη ψυχολογική κατάσταση και τα επίπεδα ενεργητικότητας των συμμετεχόντων υπό τις εξεταζόμενες συνθήκες φωτισμού.....	99
Σχήμα 6.4: Συνθετική απεικόνιση της διαδικασίας προσομοιωτικής αξιολόγησης φωτισμού και των βασικών περιορισμών των υπολογιστικών μοντέλων στην αποτύπωση της ανθρώπινης εμπειρίας.....	101
Σχήμα 6.5: Κτίριο του Πανεπιστημίου Jönköping στη Σουηδία, όπου πραγματοποιήθηκε η έρευνα και η συλλογή δεδομένων για την αξιολόγηση της οπτικής άνεσης των χρηστών.....	102
Σχήμα 6.6: Αποτελέσματα προσομοιώσεων και μετρήσεων οριζόντιου φωτισμού στον χώρο (Eh-room) και στην επιφάνεια εργασίας εργασίας (Eh-task) για τις δύο περιόδους αξιολόγησης (POE1 και POE2).....	103
Σχήμα 6.7: Βιβλιομετρική απεικόνιση των σχέσεων μεταξύ δεικτών απόδοσης (KPIs), αισθητήρων και παραμέτρων άνεσης σε συστήματα ανθρωποκεντρικού φωτισμού (Hammes et al., 2024).....	105
Σχήμα 6.8: Δίκτυο συσχετίσεων μεταξύ πληροφορίας παρουσίας χρηστών, συστημάτων ελέγχου και τεχνολογιών επικοινωνίας σε προσαρμοστικά συστήματα φωτισμού με επίκεντρο τον χρήστη (user-centred lighting controls).....	107
Σχήμα 6.9: Εννοιολογική αναπαράσταση του κύκλου λειτουργίας προσαρμοστικών συστημάτων φωτισμού σε γραφειακά περιβάλλοντα, βασισμένη στη σύνθεση των ευρημάτων των Hammes et al. (2024).....	108
Σχήμα 6.10: Συνθετική απεικόνιση της εξέλιξης των προσεγγίσεων αξιολόγησης φωτισμού από τους παραδοσιακούς φωτομετρικούς δείκτες προς ανθρωποκεντρικά και δυναμικά προσαρμοστικά συστήματα.....	110

Σχήμα 7.1: Ολοκληρωμένο ανθρωποκεντρικό πλαίσιο αξιολόγησης φωτισμού σε εργασιακά περιβάλλοντα.....	122
--	-----

Συντομογραφίες & Ακρωνύμια

IEQ - Indoor Environmental Quality

HCL - Human-Centric Lighting

DGP - Daylight Glare Probability

sDA - Spatial Daylight Autonomy

UDI - Useful Daylight Illuminance

POE - Post-Occupancy Evaluation

Εισαγωγή

Ο φωτισμός, περισσότερο από μια τεχνική συνιστώσα του κτιρίου, αποτελεί το μέσο μέσω του οποίου ο χώρος καθίσταται αντιληπτός και έναν από τους βασικούς μηχανισμούς με τους οποίους ο άνθρωπος συγχρονίζεται με τον χρόνο. Στα κτίρια γραφείων, όπου η καθημερινότητα οργανώνεται γύρω από παρατεταμένη παραμονή σε εσωτερικούς χώρους και αυξημένες απαιτήσεις οπτικής εργασίας, ο φωτισμός συνδέεται άμεσα με την οπτική άνεση, τη συγκέντρωση, την απόδοση και την ενεργειακή συμπεριφορά του κτιρίου. Η σημασία του καθίσταται ιδιαίτερα εμφανής όταν εξεταστούν οι πολυεπίπεδες αποκρίσεις των χρηστών στο εσωτερικό φωτεινό περιβάλλον, τόσο σε επίπεδο ψυχολογικής ικανοποίησης όσο και σε επίπεδο φυσιολογικών και συμπεριφορικών αντιδράσεων (Kim & Lee, 2024; Kim et al., 2025; Vetter et al., 2022). Παράλληλα, η εξισορρόπηση μεταξύ υψηλής ποιότητας φωτισμού και περιορισμού της ενεργειακής κατανάλωσης εξακολουθεί να αποτελεί βασική πρόκληση στον σχεδιασμό και στη λειτουργία των σύγχρονων γραφειακών χώρων (Safranek et al., 2020; Doulos et al., 2020).

Τα τελευταία χρόνια, η προσέγγιση του φωτισμού μετατοπίζεται από τη συμβατική λογική συμμόρφωσης με ποσοτικά φωτομετρικά κριτήρια προς περισσότερο ανθρωποκεντρικές προσεγγίσεις σχεδιασμού. Στο πλαίσιο αυτό, ο φωτισμός δεν αντιμετωπίζεται αποκλειστικά ως μέσο εξασφάλισης επαρκούς ορατότητας, αλλά ως δυναμικός περιβαλλοντικός παράγοντας που επηρεάζει την ευεξία, τη γνωστική λειτουργία και τη συνολική εμπειρία των χρηστών. Η έννοια του ανθρωποκεντρικού φωτισμού (Human-Centric Lighting – HCL) αποτυπώνει αυτή τη μετατόπιση, επιχειρώντας να ενσωματώσει τόσο τις οπτικές όσο και τις μη οπτικές επιδράσεις του φωτός, ιδιαίτερα σε σχέση με τον κιρκάδιο ρυθμό, την εγρήγορση και τη ρύθμιση της μελατονίνης (Papatsimpa & Linnartz, 2020; Brown et al., 2022; Lucas et al., 2014). Η προσέγγιση αυτή συνδέεται με ευρύτερα πλαίσια που εξετάζουν την άνεση, την υγεία και την ευημερία στους εσωτερικούς χώρους ως αποτέλεσμα δυναμικών αλληλεπιδράσεων μεταξύ ανθρώπου και περιβάλλοντος (Altomonte et al., 2024).

Παρά την εκτεταμένη ανάπτυξη της σχετικής βιβλιογραφίας, η ανάλυση του φωτισμού στα κτίρια γραφείων παραμένει συχνά αποσπασματική, με επιμέρους διαστάσεις - όπως ο φυσικός φωτισμός, ο τεχνητός φωτισμός, οι μη οπτικές επιδράσεις και η ενεργειακή απόδοση - να εξετάζονται ανεξάρτητα. Η έλλειψη συνθετικών προσεγγίσεων που να ενσωματώνουν ταυτόχρονα τεχνικές, περιβαλλοντικές και ανθρωποκεντρικές

παραμέτρους αναδεικνύει ένα σημαντικό ερευνητικό κενό, ιδίως ως προς την κατανόηση του φωτισμού ως ολοκληρωμένου συστήματος αλληλεπίδρασης μεταξύ χώρου, τεχνολογίας και χρήστη.

Στο πλαίσιο αυτό, το βασικό ερευνητικό ερώτημα της παρούσας εργασίας αφορά τον ρόλο του ανθρωποκεντρικού φωτισμού στον σχεδιασμό κτιρίων γραφείων και τον βαθμό στον οποίο επηρεάζει την άνεση, την ευεξία και την απόδοση των χρηστών. Η επιλογή του θέματος συνδέεται με τη διαπίστωση ότι ο φωτισμός επαναπροσδιορίζεται πλέον ως βασική παράμετρος ποιότητας του εσωτερικού περιβάλλοντος, υπερβαίνοντας τη λειτουργική διάσταση της ορατότητας και συνδεδεμένος άμεσα με την υγεία, την εμπειρία και τη συμπεριφορά των χρηστών.

Παράλληλα, οι τεχνολογικές εξελίξεις έχουν μεταβάλει ουσιαστικά το πεδίο δυνατοτήτων στον σχεδιασμό φωτισμού. Η ευρεία διάδοση των συστημάτων LED, η δυνατότητα μεταβολής της έντασης και της φασματικής κατανομής του φωτός, καθώς και η ανάπτυξη προηγμένων συστημάτων ελέγχου επιτρέπουν την υλοποίηση δυναμικών στρατηγικών φωτισμού που προσαρμόζονται τόσο στις περιβαλλοντικές συνθήκες όσο και στις ανάγκες των χρηστών (Plörrer et al., 2021; Doulos et al., 2020). Παράλληλα, ο φυσικός φωτισμός εξακολουθεί να αποτελεί κρίσιμο παράγοντα σχεδιασμού, τόσο λόγω της συμβολής του στη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης όσο και λόγω της επίδρασής του στην ποιότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος. Ωστόσο, η πραγματική του απόδοση συνδέεται με σύνθετα φαινόμενα, όπως η θάμβωση και η ανομοιομορφία φωτισμού, τα οποία επηρεάζουν ουσιαστικά την οπτική άνεση και τη συνολική εμπειρία των χρηστών (Konis, 2013; Fakhari et al., 2022).

Η παρούσα εργασία διαμορφώνεται ως βιβλιογραφική επισκόπηση με στόχο τη συστηματική σύνθεση των βασικών παραμέτρων που συγκροτούν τον ανθρωποκεντρικό φωτισμό σε κτίρια γραφείων. Μεθοδολογικά, βασίζεται σε θεματική ομαδοποίηση και συνθετική ανάλυση επιλεγμένων επιστημονικών πηγών, ενώ παράλληλα ενσωματώνει συγκριτική αξιολόγηση μελετών περίπτωσης, εργαλείων προσομοίωσης και προσαρμοστικών συστημάτων φωτισμού, με στόχο τη συσχέτιση θεωρητικών αρχών και εφαρμοσμένων πρακτικών. Για την υποστήριξη της ανάλυσης αξιοποιείται το εργαλείο VOSviewer, μέσω του οποίου πραγματοποιείται βιβλιομετρική χαρτογράφηση της εξεταζόμενης βιβλιογραφίας και οπτικοποίηση των σχέσεων μεταξύ των επιστημονικών δημοσιεύσεων.

Η συμβολή της εργασίας έγκειται στη σύνθεση της υφιστάμενης γνώσης και στην ανάδειξη κρίσιμων παραμέτρων σχεδιασμού που επηρεάζουν την πραγματική απόδοση του φωτισμού σε συνθήκες χρήσης, γεφυρώνοντας τη θεωρητική προσέγγιση με την εφαρμοσμένη πρακτική.

Η παρούσα διπλωματική εργασία οργανώνεται σε οκτώ κεφάλαια, τα οποία ακολουθούν μια κλιμακωτή πορεία από τη θεωρητική θεμελίωση του αντικειμένου προς τη σύνθεση και την κριτική αποτίμηση της σύγχρονης γνώσης σχετικά με τον ανθρωποκεντρικό σχεδιασμό φωτισμού στους χώρους γραφείων.

Αρχικά παρουσιάζονται οι βασικές αρχές του φωτισμού και το θεσμικό πλαίσιο που διέπει τον σχεδιασμό και την αξιολόγηση του φωτεινού περιβάλλοντος στα κτίρια. Στη συνέχεια αναλύονται οι παράμετροι σχεδιασμού φυσικού και τεχνητού φωτισμού, καθώς και οι μέθοδοι και οι δείκτες που χρησιμοποιούνται για την αποτίμηση της φωτεινής ποιότητας και της οπτικής άνεσης.

Στο επόμενο μέρος της εργασίας εξετάζονται οι σύγχρονες ερευνητικές προσεγγίσεις που αφορούν τη σχέση φωτισμού, ευημερίας και απόδοσης των χρηστών στους εργασιακούς χώρους, ενώ ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στην έννοια του ανθρωποκεντρικού φωτισμού και στις μη οπτικές επιδράσεις του φωτός στον άνθρωπο. Ακολουθεί η σύνθεση και η κριτική συζήτηση των ευρημάτων της βιβλιογραφίας, με στόχο την ανάδειξη των κυριότερων τάσεων, προκλήσεων και ερευνητικών κενών που χαρακτηρίζουν το πεδίο.

Τέλος, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα της εργασίας και διατυπώνονται προτάσεις για περαιτέρω έρευνα, συμβάλλοντας στην κατανόηση του ρόλου του φυσικού και του τεχνητού φωτισμού στο πλαίσιο του ανθρωποκεντρικού σχεδιασμού κτιρίων γραφείων.

1. Επιδράσεις του φωτός στον άνθρωπο και ανθρωποκεντρικός σχεδιασμός

1.1 Ανθρωποκεντρικός σχεδιασμός στο δομημένο περιβάλλον

Ο ανθρωποκεντρικός σχεδιασμός στο δομημένο περιβάλλον συνιστά μια ουσιαστική μετατόπιση στον τρόπο με τον οποίο προσεγγίζεται η αρχιτεκτονική και ο ρόλος των τεχνικών συστημάτων που τη συγκροτούν. Αντί το κτίριο να αντιμετωπίζεται αποκλειστικά ως τεχνικό αντικείμενο που οφείλει να ικανοποιεί λειτουργικές, κανονιστικές και ενεργειακές απαιτήσεις, προσεγγίζεται ως ένα δυναμικό περιβάλλον εμπειρίας, μέσα στο οποίο ο άνθρωπος ζει, εργάζεται και αλληλεπιδρά καθημερινά. Η μετατόπιση αυτή αφορά κυρίως τον τρόπο με τον οποίο το δομημένο περιβάλλον επηρεάζει τη φυσική, ψυχολογική και γνωστική διάσταση της ανθρώπινης παρουσίας.

Στο πλαίσιο αυτό, η ποιότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος (Indoor Environmental Quality – IEQ), δεν προκύπτει ως άμεση συνάρτηση μεμονωμένων τεχνικών δεικτών, αλλά ως αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης μεταξύ μετρήσιμων συνθηκών και ανθρώπινης εμπειρίας. Η προσέγγιση αυτή επανατοποθετεί τον χρήστη στο επίκεντρο των σχεδιαστικών αποφάσεων και συνδέει την απόδοση των κτιρίων με την ικανοποίηση, την ευημερία και τη λειτουργική αποτελεσματικότητα των χρηστών (Javid Khan & Lucas, 2025). Αντίστοιχα, σύγχρονες θεωρήσεις αντιμετωπίζουν το κτίριο ως σύστημα αλληλεπιδράσεων μεταξύ περιβαλλοντικών παραμέτρων και ανθρώπινων αποκρίσεων, όπου η άνεση και η ευεξία αποτελούν βασικούς στόχους του σχεδιασμού (Altomonte et al., 2024).

Η ποιότητα εσωτερικού περιβάλλοντος περιλαμβάνει ένα σύνολο αλληλεπιδρώντων παραμέτρων, όπως ο φωτισμός, η θερμική άνεση, η ακουστική και η ποιότητα του αέρα (Altomonte et al., 2024). Ωστόσο, η βιβλιογραφία υποδεικνύει ότι οι επιμέρους συνιστώσες της IEQ συχνά αξιολογούνται μεμονωμένα, γεγονός που δυσχεραίνει τη συνολική κατανόηση της εμπειρίας του χρήστη και αναδεικνύει τα όρια αποσπασματικών προσεγγίσεων (Altomonte et al., 2024; Veitch & Newsham, 2000). Η ανάγκη για συνθετική αξιολόγηση καθίσταται ιδιαίτερα έντονη σε περιβάλλοντα γραφείων, όπου πολλαπλές περιβαλλοντικές παράμετροι συνυπάρχουν και αλληλεπιδρούν.

Σε αυτό το πλαίσιο, ο φωτισμός αναδεικνύεται ως μία από τις πλέον κρίσιμες και σύνθετες παραμέτρους του ανθρωποκεντρικού σχεδιασμού. Σε αντίθεση με άλλες συνιστώσες του εσωτερικού περιβάλλοντος, το φως λειτουργεί ταυτόχρονα ως φυσικό φαινόμενο και ως μέσο αντίληψης, επηρεάζοντας όχι μόνο την ορατότητα αλλά και την αντίληψη του χώρου, τη συναισθηματική κατάσταση και τη συμπεριφορά των χρηστών. Επιπλέον, η σύγχρονη έρευνα καταδεικνύει ότι οι επιδράσεις του εκτείνονται σε μη οπτικές, βιολογικές διεργασίες, όπως η ρύθμιση του κirkάδιου ρυθμού, γεγονός που καθιστά τον φωτισμό κομβικό στοιχείο για την κατανόηση της σχέσης ανθρώπου και δομημένου περιβάλλοντος (Vetter et al., 2022; Schlangen & Price, 2021; Brown et al., 2022).

Παρά τη σημασία του, ο φωτισμός αντιμετωπίστηκε για μεγάλο χρονικό διάστημα κυρίως μέσω φωτομετρικών δεικτών που εστιάζουν στην επάρκεια της οπτικής εργασίας. Αν και οι δείκτες αυτοί παραμένουν απαραίτητοι, η αποκλειστική χρήση τους δεν επαρκεί για την αποτύπωση της συνολικής ποιότητας του φωτεινού περιβάλλοντος, ιδίως σε σύγχρονα γραφεία όπου η χρήση οθονών, η χωρική διαφοροποίηση και η μεταβλητότητα των συνθηκών δημιουργούν πιο σύνθετες απαιτήσεις (Boyce, 2014; Veitch & Newsham, 2000).

Η διαφοροποίηση αυτή είναι ιδιαίτερα εμφανής σε περιβάλλοντα γραφείων, όπου συνυπάρχουν διαφορετικοί τύποι εργασίας, όπως εργασία σε οθόνη, συνεργατικές δραστηριότητες και μεταβαλλόμενες θέσεις εργασίας, με αντίστοιχα διαφορετικές οπτικές απαιτήσεις και επίπεδα ελέγχου του φωτισμού. Οι συνθήκες αυτές καθιστούν δύσκολη την εφαρμογή ενιαίων κριτηρίων σχεδιασμού και ενισχύουν την ανάγκη για πιο προσαρμοστικές και ευέλικτες προσεγγίσεις φωτισμού, οι οποίες λαμβάνουν υπόψη τη δυναμική χρήση του χώρου και τη συμπεριφορά των χρηστών (Plörer et al., 2021; Hammes et al., 2024).

Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, ο ανθρωποκεντρικός σχεδιασμός δεν εξετάζεται ως αφηρημένη θεωρητική έννοια, αλλά ως λειτουργικό πλαίσιο κατανόησης της αξιολόγησης του φωτισμού σε πραγματικά περιβάλλοντα γραφείων. Η προσέγγιση αυτή επιτρέπει τη συστηματική διερεύνηση του φωτισμού όχι μόνο ως τεχνικής παραμέτρου, αλλά ως κρίσιμου παράγοντα που διαμεσολαβεί τη σχέση μεταξύ χώρου, χρήστη και καθημερινής εμπειρίας, προετοιμάζοντας το έδαφος για τη διερεύνηση της απόστασης ανάμεσα στον

σχεδιασμό και την πραγματική λειτουργία των συστημάτων φωτισμού, ζήτημα που αναλύεται σε επόμενα κεφάλαια.

1.2 Ο ρόλος του φωτισμού στον ανθρωποκεντρικό σχεδιασμό γραφείων

Ο φωτισμός αποτελεί μία από τις σημαντικότερες συνιστώσες της ποιότητας του εσωτερικού περιβάλλοντος (IEQ) στους χώρους γραφείων, καθώς επηρεάζει τόσο την εκτέλεση οπτικών εργασιών όσο και τον τρόπο με τον οποίο οι χρήστες αντιλαμβάνονται, βιώνουν και αξιολογούν το εργασιακό τους περιβάλλον. Σε περιβάλλοντα όπου η εργασία βασίζεται σε απαιτητικές οπτικές και γνωστικές δραστηριότητες, όπως η χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών, η ανάγνωση και η επεξεργασία πληροφοριών, η διαμόρφωση κατάλληλων συνθηκών φωτισμού συνδέεται άμεσα με την ακρίβεια, τη συγκέντρωση και τη μείωση της κόπωσης (Boyce, 2014).

Η σύγχρονη προσέγγιση του φωτιστικού σχεδιασμού δεν περιορίζεται στη διασφάλιση ορατότητας, αλλά ενσωματώνει τρεις βασικές διαστάσεις της φωτεινής εμπειρίας: την οπτική, τη συναισθηματική και τη βιολογική ποιότητα του φωτός. Η οπτική ποιότητα σχετίζεται με την ευκρίνεια και την άνεση της όρασης, η συναισθηματική με τη διαμόρφωση ευχάριστης και λειτουργικής ατμόσφαιρας, ενώ η βιολογική αφορά τη ρύθμιση κιρκάδιων και άλλων φυσιολογικών διεργασιών μέσω της έκθεσης στο φως (Altomonte et al., 2024). Η προσέγγιση αυτή αναδεικνύει τον φωτισμό ως πολυπαραμετρικό παράγοντα που επηρεάζει όχι μόνο την εκτέλεση της εργασίας, αλλά και την αντίληψη, τη διάθεση και τη συνολική εμπειρία του χώρου.

Η σημασία του φωτισμού για την απόδοση των εργαζομένων έχει τεκμηριωθεί εκτενώς στη βιβλιογραφία. Βελτιωμένες συνθήκες φωτισμού συνδέονται με αυξημένη συγκέντρωση, μείωση σφαλμάτων και αποτελεσματικότερη εκτέλεση καθηκόντων (Veitch & Newsham, 2000), ενώ ανεπαρκής ή κακής ποιότητας φωτισμός σχετίζεται με αυξημένη οπτική καταπόνηση, πονοκεφάλους και μείωση της παραγωγικότητας (Boyce, 2014). Παράλληλα, η πρόσβαση σε φυσικό φως και η ποιότητα του τεχνητού φωτισμού επηρεάζουν την ψυχολογική κατάσταση των χρηστών, ενισχύοντας την ικανοποίηση και τη συνολική ευεξία στον χώρο εργασίας.

Ωστόσο, η έμφαση σε καθιερωμένες φωτομετρικές παραμέτρους, όπως η ένταση φωτισμού (illuminance), η ομοιομορφία και οι δείκτες θάμβωσης, αν και απαραίτητη για

τη διασφάλιση βασικών συνθηκών ορατότητας, δεν επαρκεί για την πλήρη κατανόηση της ποιότητας του φωτεινού περιβάλλοντος στα σύγχρονα γραφεία. Οι δείκτες αυτοί περιγράφουν μετρήσιμες φυσικές ιδιότητες του φωτός. Δεν αποτυπώνουν όμως επαρκώς τη δυναμική αλληλεπίδραση μεταξύ φωτισμού, χρήστη και δραστηριότητας, ούτε τη γνωστική επιβάρυνση και την εμπειρία χρήσης σε πραγματικές συνθήκες εργασίας.

Στα σύγχρονα γραφειακά περιβάλλοντα, όπου οι δραστηριότητες μεταβάλλονται συνεχώς και περιλαμβάνουν τόσο ατομική εργασία όσο και συνεργατικές διαδικασίες, ο φωτισμός καλείται να υποστηρίξει πολλαπλά σενάρια χρήσης. Η παραδοσιακή προσέγγιση της σταθερής φωτιστικής εγκατάστασης αντικαθίσταται σταδιακά από δυναμικά και προσαρμοστικά συστήματα φωτισμού, τα οποία επιτρέπουν τη ρύθμιση της έντασης και των χαρακτηριστικών του φωτός ανάλογα με τη δραστηριότητα, τον χρόνο και τις ανάγκες των χρηστών (Society of Light and Lighting, 2022). Η μετάβαση αυτή δεν είναι μόνο τεχνολογική, αλλά και εννοιολογική, καθώς μετατοπίζει τον φωτισμό από στατική υποδομή σε ενεργό στοιχείο διαμόρφωσης του χώρου.

Συνολικά, ο φωτισμός στον ανθρωποκεντρικό σχεδιασμό γραφείων δεν αποτελεί απλώς τεχνική απαίτηση, αλλά κρίσιμο παράγοντα που διαμορφώνει την απόδοση, την εμπειρία και την καθημερινή λειτουργία του χώρου. Η κατανόηση του ρόλου του προϋποθέτει τη σύνθεση αντικειμενικών και υποκειμενικών παραμέτρων, αναδεικνύοντας την ανάγκη για προσεγγίσεις που υπερβαίνουν τη λογική της κανονιστικής συμμόρφωσης και εστιάζουν στη δυναμική σχέση μεταξύ φωτός, χρήστη και δραστηριότητας, αναγνωρίζοντας ότι η ποιότητα του φωτεινού περιβάλλοντος διαμορφώνεται όχι μόνο από τα τεχνικά χαρακτηριστικά του φωτισμού, αλλά και από τον τρόπο με τον οποίο αυτά γίνονται αντιληπτά και βιώνονται από τους χρήστες.

1.3 Οπτικές επιδράσεις του φωτός και οπτική άνεση

Οι οπτικές επιδράσεις του φωτός αποτελούν τον πιο άμεσα αντιληπτό και ιστορικά θεμελιωμένο άξονα της σχέσης ανθρώπου και φωτεινού περιβάλλοντος. Στα κτίρια γραφείων, όπου η εργασία βασίζεται σε οπτικές και γνωστικές διεργασίες, όπως η ανάγνωση, η χρήση οθονών και η επεξεργασία πληροφοριών, η ποιότητα του φωτισμού επηρεάζει άμεσα τόσο την ορατότητα όσο και την ικανότητα διατήρησης της συγκέντρωσης κατά τη διάρκεια της εργασίας. Στο πλαίσιο αυτό, η οπτική άνεση δεν

αποτελεί απλώς συνθήκη ευχάριστης όρασης, αλλά κρίσιμο παράγοντα λειτουργικότητας του εργασιακού περιβάλλοντος.

Η έννοια της οπτικής άνεσης προσεγγίζεται ως πολυδιάστατη, ενσωματώνοντας τόσο αντικειμενικές όσο και υποκειμενικές διαστάσεις. Από τη μία πλευρά, περιγράφεται μέσω φωτομετρικών μεγεθών, όπως η ένταση φωτισμού (illuminance), η λαμπρότητα (luminance), η ομοιομορφία και οι δείκτες θάμβωσης, τα οποία επιτρέπουν την ποσοτικοποίηση του φωτεινού περιβάλλοντος. Από την άλλη, συνδέεται με την εμπειρία των χρηστών, η οποία αφορά την ευκολία της όρασης, τη μείωση της οπτικής καταπόνησης και τη συνολική αντίληψη του χώρου (Kim & Lee, 2024). Η διττή αυτή φύση υποδεικνύει ότι η οπτική άνεση δεν μπορεί να αποτυπωθεί πλήρως μέσω μεμονωμένων δεικτών, αλλά απαιτεί συνδυαστική ερμηνεία μετρήσεων και εμπειρίας.

Στο κανονιστικό πλαίσιο, η οπτική άνεση αποτυπώνεται σε πρότυπα όπως το EN 12464-1 και το ISO/CIE 8995-1, τα οποία καθορίζουν ελάχιστες απαιτήσεις για επίπεδα φωτισμού, ομοιομορφία και περιορισμό της θάμβωσης. Στην ελληνική πραγματικότητα, οι απαιτήσεις αυτές εξειδικεύονται και συμπληρώνονται από την TOTEE 20701-7/2021, η οποία καθορίζει τις εθνικές τεχνικές προδιαγραφές για τον φωτισμό στο πλαίσιο της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων. Τα πρότυπα και οι τεχνικές οδηγίες αποτελούν αναγκαία βάση για τον σχεδιασμό, καθώς εξασφαλίζουν βασικές συνθήκες οπτικής εργασίας και συγκρισιμότητα μεταξύ διαφορετικών χώρων.

Ωστόσο, η συμμόρφωση με τα όρια αυτά δεν είναι από μόνη της επαρκής για τη διασφάλιση υψηλής ποιότητας φωτισμού. Η βιβλιογραφία επισημαίνει ότι οι κανονιστικές απαιτήσεις εστιάζουν κυρίως σε μετρήσιμες και στατικές παραμέτρους, χωρίς να αποτυπώνουν επαρκώς τη χωρική κατανομή της φωτεινότητας, τη δυναμική του φωτός και την υποκειμενική εμπειρία των χρηστών (Dehoff, 2019).

Ιδιαίτερη σημασία για την οπτική άνεση έχει η κατανομή της φωτεινότητας στον χώρο. Σε σύγχρονα γραφεία, όπου το βλέμμα μετακινείται διαρκώς μεταξύ οθονών, επιφανειών εργασίας και περιβάλλοντος χώρου, έντονες αντιθέσεις λαμπρότητας μπορούν να προκαλέσουν οπτική καταπόνηση και να δυσχεράνουν την προσαρμογή του οπτικού συστήματος. Το ζήτημα αυτό είναι ιδιαίτερα κρίσιμο σε περιβάλλοντα με εκτεταμένη επηρεάζει άμεσα την αναγνωσιμότητα και την άνεση. Αντίθετα, μια ισορροπημένη

κατανομή φωτεινότητας συμβάλλει στη σταθερότητα της όρασης και στη μείωση της κόπωσης.

Η θάμβωση αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες υποβάθμισης της οπτικής άνεσης και διακρίνεται σε δυσάρεστη θάμβωση και παρεμποδιστική θάμβωση. Στους χώρους γραφείων, μπορεί να προκύψει τόσο από τεχνητές πηγές όσο και από φυσικό φωτισμό, ιδίως όταν δεν υπάρχει επαρκής έλεγχος της ηλιακής ακτινοβολίας. Μελέτες φυσικού φωτισμού σε γραφεία ανοικτής διάταξης (open-plan offices) δείχνουν ότι, παρά τα οφέλη του φυσικού φωτός, η ανεπαρκής διαχείρισή του μπορεί να οδηγήσει σε συνθήκες έντονης θάμβωσης και μειωμένης οπτικής άνεσης (Konis, 2013), αναδεικνύοντας τη σημασία του συνδυασμένου σχεδιασμού φωτισμού και σκίασης.

Πέρα από τη θάμβωση, η οπτική ποιότητα επηρεάζεται και από την αλληλεπίδραση του φωτός με τα υλικά και τις επιφάνειες του χώρου. Η ανακλαστικότητα, το χρώμα και η υφή καθορίζουν τον τρόπο διάχυσης του φωτός και τη συνολική αντίληψη της φωτεινότητας. Ως εκ τούτου, η αξιολόγηση του φωτισμού δεν μπορεί να απομονωθεί από τον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό, αλλά προκύπτει από τη συνδυασμένη λειτουργία φωτισμού και χωρικών χαρακτηριστικών.

Η σχέση μεταξύ φωτισμού και οπτικής απόδοσης αποτελεί επίσης κρίσιμο πεδίο διερεύνησης. Η απόδοση δεν αφορά μόνο τη δυνατότητα διάκρισης λεπτομερειών, αλλά και τη διατήρηση αυτής της ικανότητας χωρίς κόπωση σε βάθος χρόνου. Ερευνητικά δεδομένα δείχνουν ότι διαφορετικά επίπεδα και κατανομές φωτισμού μπορούν να επηρεάσουν την ταχύτητα και την ακρίβεια εκτέλεσης εργασιών, καθώς και την αντιληπτή ευκολία τους (Zeng et al., 2025). Ωστόσο, οι επιδράσεις αυτές διαφοροποιούνται σημαντικά ανάλογα με τη δραστηριότητα και τα χαρακτηριστικά των χρηστών, γεγονός που περιορίζει τη δυνατότητα καθολικών συσχετίσεων.

Στο πλαίσιο του ανθρωποκεντρικού σχεδιασμού, η οπτική άνεση δεν αντιμετωπίζεται ως στατική συνθήκη, αλλά ως αποτέλεσμα δυναμικής αλληλεπίδρασης μεταξύ φωτισμού, χώρου και χρήστη. Μελέτες σε περιβάλλοντα γραφείων δείχνουν ότι η δυνατότητα ελέγχου και προσαρμογής του φωτισμού μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την αντιληπτή άνεση και την ικανοποίηση των χρηστών (Aliparast & Onaygil, 2024), ακόμη και όταν οι βασικές φωτομετρικές παράμετροι παραμένουν εντός των ίδιων ορίων.

Συνεπώς, η οπτική άνεση δεν μπορεί να θεωρηθεί ως αποτέλεσμα απλής συμμόρφωσης με προκαθορισμένα τεχνικά όρια, αλλά ως σύνθετη και συμφραζόμενη ιδιότητα του φωτεινού περιβάλλοντος. Η κατανόησή της απαιτεί τη συνδυαστική αξιολόγηση φωτομετρικών δεδομένων, χωρικής οργάνωσης του φωτός και εμπειρίας των χρηστών, αναδεικνύοντας ότι η ποιότητα του φωτεινού περιβάλλοντος δεν αποτελεί σταθερό τεχνικό χαρακτηριστικό, αλλά αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης μεταξύ φωτός, χώρου και ανθρώπινης εμπειρίας.

1.4 Μη οπτικές (βιολογικές) επιδράσεις του φωτός στον άνθρωπο

Πέρα από τον θεμελιώδη ρόλο του στην όραση, το φως αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους περιβαλλοντικούς ρυθμιστές της ανθρώπινης φυσιολογίας. Οι μη οπτικές επιδράσεις του φωτός σχετίζονται με ενδογενείς βιολογικούς μηχανισμούς και αποκτούν ιδιαίτερη σημασία στα σύγχρονα γραφειακά περιβάλλοντα, όπου η παραμονή σε εσωτερικούς χώρους και η εξάρτηση από τεχνητό φωτισμό περιορίζουν την έκθεση στο φυσικό φως. Στο πλαίσιο αυτό, η κατανόηση των επιδράσεων αυτών συνιστά βασική συνιστώσα του ανθρωποκεντρικού σχεδιασμού.

Κεντρική έννοια στη μελέτη των μη οπτικών επιδράσεων αποτελεί ο κιρκάδιος ρυθμός, δηλαδή το ενδογενές χρονικό σύστημα που ρυθμίζει φυσιολογικές διεργασίες σε κύκλο περίπου 24 ωρών, όπως ο ύπνος, η θερμοκρασία του σώματος και η ορμονική δραστηριότητα. Το φως λειτουργεί ως βασικός εξωτερικός συγχρονιστής, επιτρέποντας την ευθυγράμμιση του οργανισμού με τον κύκλο ημέρας-νύχτας (Blume et al., 2019; Brown et al., 2022). Η επίδραση αυτή εξαρτάται από την ένταση, τη φασματική σύσταση και τον χρονισμό της έκθεσης, καθιστώντας τον φωτισμό δυναμικό ρυθμιστικό παράγοντα της βιολογικής λειτουργίας.

Η κατανόηση των μηχανισμών αυτών ενισχύθηκε με την αναγνώριση των εγγενώς φωτοευαίσθητων γαγγλιακών κυττάρων του αμφιβληστροειδούς («intrinsically photosensitive retinal ganglion cells», ipRGCs), τα οποία περιέχουν μελανοψίνη και συμμετέχουν στη ρύθμιση μη οπτικών αποκρίσεων (Lucas et al., 2014). Τα κύτταρα αυτά ανταποκρίνονται κυρίως σε συγκεκριμένα μήκη κύματος και μεταφέρουν πληροφορίες προς εγκεφαλικές δομές που σχετίζονται με τον κιρκάδιο ρυθμό, την εγρήγορση και τη νευροενδοκρινική δραστηριότητα. Η λειτουργία τους συνδέεται άμεσα με τη ρύθμιση της

μελατονίνης, αναδεικνύοντας τον ρόλο του φωτός ως βιολογικού σήματος και όχι μόνο ως οπτικού ερεθίσματος.

Πέρα από τη ρύθμιση του κιρκάδιου συστήματος, το φως επηρεάζει άμεσα την εγρήγορση και τη νευροσυμπεριφορική λειτουργία του ανθρώπου. Ερευνητικά δεδομένα έχουν δείξει ότι η έκθεση σε φωτεινά ερεθίσματα κατάλληλης έντασης και φασματικής σύνθεσης μπορεί να περιορίσει την υπνηλία, να αυξήσει τα επίπεδα προσοχής και να ενισχύσει ορισμένες γνωστικές λειτουργίες ακόμη και ανεξάρτητα από τις μακροχρόνιες κιρκάδιες επιδράσεις. Σύμφωνα με τον Cajochen (2007), το φως λειτουργεί ως ισχυρό βιολογικό ερέθισμα που επηρεάζει άμεσα την εγρήγορση, τη διάθεση και τη λειτουργική απόδοση μέσω νευροφυσιολογικών μηχανισμών οι οποίοι δεν σχετίζονται αποκλειστικά με την οπτική αντίληψη.

Στο πλαίσιο των εσωτερικών χώρων, η διερεύνηση των μη οπτικών επιδράσεων εστιάζει στη σχέση μεταξύ φωτισμού και παραμέτρων όπως η εγρήγορση, η διάθεση και η γνωστική λειτουργία. Ωστόσο, η βιβλιογραφία δείχνει ότι οι συσχετίσεις αυτές δεν είναι γραμμικές ούτε καθολικές. Παρά το γεγονός ότι ορισμένες μελέτες υποδεικνύουν θετικές επιδράσεις της κατάλληλα χρονισμένης φωτεινής έκθεσης στη γνωστική απόδοση και στην εγρήγορση, άλλες επισημαίνουν ότι τα αποτελέσματα διαφοροποιούνται σημαντικά ανάλογα με το άτομο, το περιβάλλον και το ιστορικό έκθεσης στο φως (Vetter et al., 2022; Zeng et al., 2025). Το γεγονός αυτό υποδηλώνει ότι οι μη οπτικές επιδράσεις δεν μπορούν να ερμηνευθούν ανεξάρτητα από το ευρύτερο συμφραζόμενο πλαίσιο.

Η απόσταση μεταξύ ελεγχόμενων εργαστηριακών συνθηκών και πραγματικών περιβαλλόντων αποτελεί ένα από τα βασικά μεθοδολογικά ζητήματα του πεδίου. Σε εργαστηριακά περιβάλλοντα, οι επιδράσεις του φωτός μπορούν να απομονωθούν και να μετρηθούν με σχετική ακρίβεια. Αντίθετα, σε πραγματικά γραφεία, η φωτεινή έκθεση είναι δυναμική και επηρεάζεται από πλήθος παραγόντων, όπως η χωρική διάταξη, η χρήση σκίασης, η συμπεριφορά των χρηστών και η εναλλαγή φυσικού και τεχνητού φωτισμού. Μελέτες πεδίου έχουν καταγράψει συσχετίσεις μεταξύ φωτιστικών συνθηκών και βιολογικών δεικτών, χωρίς όμως να τεκμηριώνονται σαφείς και επαναλήψιμες αιτιώδεις σχέσεις (Stebeloná et al., 2024). Η διαφορά αυτή αναδεικνύει τα όρια της άμεσης μεταφοράς εργαστηριακών ευρημάτων στον σχεδιασμό.

Στο πλαίσιο αυτό, οι ανθρωποκεντρικές προσεγγίσεις φωτισμού, όπως ο ανθρωποκεντρικός φωτισμός, επιχειρούν να ενσωματώσουν τις μη οπτικές επιδράσεις στον σχεδιασμό μέσω δυναμικών σεναρίων φωτισμού. Οι προσεγγίσεις αυτές είναι πολλά υποσχόμενες, καθώς επιχειρούν να γεφυρώσουν τη βιολογική γνώση με την πρακτική εφαρμογή. Ωστόσο, η βιβλιογραφία επισημαίνει ότι δεν συνιστούν καθολική λύση, καθώς συχνά βασίζονται σε απλουστευμένες ερμηνείες της κirkάδιας βιολογίας και ενδέχεται να δημιουργούν υπερεκτιμημένες προσδοκίες ως προς την αποτελεσματικότητά τους (Vetter et al., 2022; Jalali et al., 2024). Η κριτική αυτή δεν αναιρεί τη σημασία των μη οπτικών επιδράσεων, αλλά αναδεικνύει την ανάγκη για προσεκτική και τεκμηριωμένη εφαρμογή τους.

Ένα επιπλέον χαρακτηριστικό των μη οπτικών επιδράσεων είναι ότι δεν γίνονται άμεσα αντιληπτές από τους χρήστες. Σε αντίθεση με την οπτική άνεση, η οποία αξιολογείται συνειδητά, οι βιολογικές επιδράσεις εκδηλώνονται σε μεγαλύτερο χρονικό ορίζοντα και επηρεάζονται από το συνολικό πρότυπο έκθεσης στο φως κατά τη διάρκεια της ημέρας. Ως αποτέλεσμα, η υποκειμενική αξιολόγηση του φωτισμού δεν ταυτίζεται απαραίτητα με τη βιολογική του καταλληλότητα, γεγονός που εισάγει επιπλέον πολυπλοκότητα στην αξιολόγηση.

Συνολικά, οι μη οπτικές επιδράσεις του φωτός διευρύνουν ουσιαστικά το πεδίο κατανόησης του φωτισμού, μετατοπίζοντάς το από ένα καθαρά οπτικό φαινόμενο σε έναν πολυδιάστατο βιολογικό και περιβαλλοντικό παράγοντα. Ωστόσο, η ενσωμάτωσή τους στον σχεδιασμό δεν μπορεί να βασιστεί σε απλοποιημένα μοντέλα ή καθολικές οδηγίες. Αντίθετα, απαιτεί κριτική προσέγγιση, αντιμετωπίζοντας τον φωτισμό ως δυναμικό περιβαλλοντικό παράγοντα που επηρεάζει ταυτόχρονα την όραση, τη βιολογία και την εμπειρία των χρηστών.

1.5 Human-Centric Lighting (HCL)

Η έννοια του Human-Centric Lighting (HCL) έχει αναδειχθεί τα τελευταία χρόνια ως μία από τις πλέον συζητημένες προσεγγίσεις στον σχεδιασμό φωτισμού εσωτερικών χώρων, επιχειρώντας να επαναπροσδιορίσει τον ρόλο του φωτός πέρα από την παραδοσιακή του λειτουργία ως μέσο εξασφάλισης ορατότητας. Σε αντίθεση με τις συμβατικές πρακτικές φωτισμού, οι οποίες βασίζονται κυρίως σε ποσοτικά φωτομετρικά κριτήρια και

κανονιστικές απαιτήσεις, το HCL προτείνει ένα ευρύτερο πλαίσιο σχεδιασμού που λαμβάνει υπόψη τόσο τις οπτικές όσο και τις μη οπτικές επιδράσεις του φωτός στον άνθρωπο (Jalali et al., 2024). Η προσέγγιση αυτή δεν καταργεί τα τεχνικά και κανονιστικά κριτήρια, αλλά επιχειρεί να τα εντάξει σε μια ευρύτερη σχεδιαστική λογική, όπου η ποιότητα του φωτισμού αξιολογείται σε σχέση με την ανθρώπινη εμπειρία, τη φυσιολογική απόκριση και τις πραγματικές συνθήκες χρήσης. Παράλληλα, η έννοια του HCL συνοδεύεται από σημαντικό βαθμό επιστημονικής αβεβαιότητας και ερμηνευτικής ευρύτητας, γεγονός που καθιστά αναγκαία μια προσεκτική και κριτική προσέγγιση της εφαρμογής της (Vetter et al., 2022 ; Brown et al., 2022).

Παρά τη συχνή χρήση του όρου στη σύγχρονη βιβλιογραφία και πρακτική, το HCL δεν αποτελεί έναν αυστηρά ορισμένο τεχνικό όρο, αλλά έναν εννοιολογικό προσανατολισμό με πολλαπλές ερμηνείες. Στην πράξη, ωστόσο, η προσέγγιση αυτή συγκλίνει σε τρεις βασικούς άξονες σχεδιασμού: την ποιότητα του φωτός (ένταση, φασματική σύσταση, κατανομή), τον χρονισμό της έκθεσης και τη δυνατότητα προσαρμογής στις ανάγκες και τις προτιμήσεις του χρήστη (Heidari et al., 2025; Vetter et al., 2022). Η σημασία του όρου έγκειται ακριβώς σε αυτή τη διεύρυνση του πεδίου: ο φωτισμός δεν αντιμετωπίζεται πλέον ως απομονωμένη τεχνική εγκατάσταση, αλλά ως παράμετρος που συμμετέχει ενεργά στη διαμόρφωση της σχέσης ανθρώπου, χώρου και καθημερινής δραστηριότητας.

Η ανάπτυξη του HCL συνδέεται άμεσα με την πρόοδο της επιστημονικής γνώσης σχετικά με τις μη οπτικές επιδράσεις του φωτός, ιδίως μετά την αναγνώριση του ρόλου των ipRGC κυττάρων και της μελανοψίνης στη ρύθμιση του κιρκάδιου συστήματος (Lucas et al., 2014). Η γνώση αυτή ενίσχυσε την αντίληψη ότι ο φωτιστικός σχεδιασμός μπορεί να λαμβάνει υπόψη όχι μόνο την ποσότητα του φωτός, αλλά και τη χρονική, φασματική και χωρική του διάσταση. Στο πλαίσιο αυτό, στρατηγικές όπως η μεταβολή της έντασης, της φασματικής σύστασης και της θερμοκρασίας χρώματος κατά τη διάρκεια της ημέρας επιχειρούν να προσεγγίσουν, στον βαθμό που είναι εφικτό, τη δυναμική του φυσικού φωτός μέσα από τεχνητά συστήματα (Jalali et al., 2024). Η σχεδιαστική λογική μετατοπίζεται, επομένως, από ένα καθαρά ποσοτικό ερώτημα («πόσο φως απαιτείται») προς μια πολυπαραμετρική προσέγγιση που ενσωματώνει τη φασματική ποιότητα, τον χρονισμό και το προφίλ του χρήστη «τι είδους φως, πότε, για ποιον και για ποια δραστηριότητα».

Παράμετρος	Συμβατικός φωτισμός	Human-Centric Lighting
Κύριος στόχος	Οπτική επάρκεια και συμμόρφωση με πρότυπα	Υποστήριξη οπτικών, βιολογικών και εμπειρικών αναγκών
Σχεδιαστική λογική	Στατική	Δυναμική και χρονικά μεταβαλλόμενη
Κριτήρια αξιολόγησης	Illuminance, UGR, ομοιομορφία	Πολυπαραγοντικά κριτήρια: οπτικά, βιολογικά, χωρικά και εμπειρικά
Ρόλος χρήστη	Κυρίως παθητικός αποδέκτης	Ενεργός χρήστης με δυνατότητα προσαρμογής
Σχέση με φυσικό φως	Συμπληρωματική	Ενσωματωμένη και καθοδηγητική
Βιολογική διάσταση	Περιορισμένη ή απύουσα	Λαμβάνεται υπόψη μέσω κιρκάδιων και μη οπτικών παραμέτρων
Λειτουργία ελέγχου	Ενεργοποίηση/απενεργοποίηση ή βασική ρύθμιση	Σενάρια, αυτοματισμοί, daylight linking και εξατομίκευση

Πίνακας 1.1: Σύγκριση συμβατικού φωτισμού και Human-Centric Lighting.

Στα κτίρια γραφείων, η εφαρμογή του HCL αποκτά ιδιαίτερη σημασία, καθώς οι εργαζόμενοι εκτίθενται για μεγάλα χρονικά διαστήματα σε ελεγχόμενα φωτεινά περιβάλλοντα, συχνά με περιορισμένη ή άνιση πρόσβαση στο φυσικό φως. Η σύγχρονη εργασιακή πραγματικότητα, με εναλλαγή δραστηριοτήτων, χρήση οθονών, τηλεδιασκέψεις, συνεργατικές ζώνες και ευέλικτες μορφές εργασίας, καθιστά ανεπαρκή μια ενιαία και στατική φωτιστική λύση. Το HCL, σε αυτή τη συνθήκη, δεν αφορά μόνο τη βιολογική επίδραση του φωτός, αλλά και την ικανότητα του φωτισμού να υποστηρίζει διαφορετικές ανάγκες: συγκέντρωση, επικοινωνία, οπτική άνεση, προσανατολισμό, αίσθηση ευρυχωρίας και ψυχολογική αποφόρτιση. Ωστόσο, η συσχέτιση μεταξύ δυναμικού φωτισμού και βελτίωσης της απόδοσης ή της ευεξίας δεν είναι πάντοτε γραμμική ούτε καθολικά τεκμηριωμένη, γεγονός που απαιτεί προσεκτική αξιολόγηση των εφαρμογών σε πραγματικά περιβάλλοντα (Brown et al., 2022).

Η πρακτική διάσταση του HCL συνδέεται με τη δυνατότητα σχεδιασμού δυναμικών και προσαρμοστικών φωτιστικών συστημάτων. Ο βιολογικά αποτελεσματικός φωτισμός επιχειρεί να αξιοποιήσει παραμέτρους όπως η κατακόρυφη ένταση φωτισμού στο επίπεδο του ματιού, η κατεύθυνση του φωτός, η φωτεινή επιφάνεια, η θερμοκρασία χρώματος, η χρονική διάρκεια έκθεσης και η μεταβλητότητα κατά τη διάρκεια της ημέρας. Η λογική αυτή συνδέεται με την ιδέα ότι ο τεχνητός φωτισμός μπορεί να μιμηθεί ορισμένα χαρακτηριστικά της φυσικής ημερήσιας μεταβολής, προσφέροντας ψυχρότερο και

εντονότερο φως σε φάσεις αυξημένης εγρήγορσης και θερμότερο, χαμηλότερης έντασης φως σε περιόδους χαλάρωσης ή μετάβασης (licht.de, 2012). Ωστόσο, η μίμηση του φυσικού φωτός δεν πρέπει να ερμηνεύεται ως πλήρης υποκατάστασή του, καθώς η πολυπλοκότητα, η ένταση και η φασματική ποικιλία του φυσικού φωτός δεν μπορούν να αναπαραχθούν πλήρως από τεχνητά συστήματα.

Παρά τις δυνατότητες που προσφέρει, η εφαρμογή του HCL σε πραγματικά περιβάλλοντα γραφείων παρουσιάζει σημαντικές προκλήσεις. Ένα από τα βασικά ζητήματα αφορά την πολυπλοκότητα της σχέσης μεταξύ φωτισμού και ανθρώπινης απόκρισης, η οποία δεν μπορεί να αποδοθεί σε απλές αιτιώδεις σχέσεις. Οι φυσιολογικές και ψυχολογικές επιδράσεις του φωτός επηρεάζονται από τη διάρκεια έκθεσης, το ιστορικό φωτισμού του χρήστη, την ώρα της ημέρας, το ωράριο εργασίας, την ηλικία, τις ατομικές προτιμήσεις και το συνολικό περιβαλλοντικό πλαίσιο (Brown et al., 2022; Vetter et al., 2022).

Επιπλέον, η βιβλιογραφία επισημαίνει ότι η έννοια του HCL συχνά συνοδεύεται από υπεραπλουστευμένες ή υπεραισιόδοξες ερμηνείες, ιδιαίτερα σε επίπεδο εφαρμογής. Η δημοσίευση των Vetter et al., (2022) υπογραμμίζει ότι η παρουσίαση του HCL ως άμεσης λύσης για τη βελτίωση της υγείας ή της ευεξίας ενδέχεται να δημιουργεί παρανοήσεις, καθώς τα διαθέσιμα επιστημονικά δεδομένα δεν υποστηρίζουν πάντοτε τόσο άμεσες ή καθολικές συσχετίσεις. Η κριτική αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική, διότι αποτρέπει την αντιμετώπιση του HCL ως εμπορικού συνθήματος ή τεχνολογικής υπόσχεσης και το επαναφέρει στο πεδίο της τεκμηριωμένης εφαρμογής.

Συνεπώς, ο ανθρωποκεντρικός φωτισμός δεν μπορεί να οριστεί ως ένα συγκεκριμένο τεχνολογικό σύστημα ή σύνολο προδιαγραφών, αλλά ως ένα διευρυμένο πλαίσιο σχεδιασμού και αξιολόγησης, το οποίο επιχειρεί να συνθέσει οπτικές, βιολογικές και εμπειρικές διαστάσεις του φωτεινού περιβάλλοντος. Η αποτελεσματικότητά του εξαρτάται όχι μόνο από τα τεχνικά χαρακτηριστικά του φωτισμού, αλλά και από τον τρόπο με τον οποίο αυτά ενσωματώνονται στις πραγματικές συνθήκες χρήσης των χώρων.

1.6 Ανθρωποκεντρικός φωτισμός, άνεση και ευεξία

Η έννοια της άνεσης στον σχεδιασμό φωτισμού αποτελεί βασικό σημείο σύνδεσης των τεχνικών παραμέτρων με την εμπειρία χρήσης του χώρου. Στο πλαίσιο του ανθρωποκεντρικού φωτισμού, η άνεση δεν ορίζεται απλώς ως απουσία δυσφορίας, αλλά

ως σύνθετη και δυναμική κατάσταση που διαμορφώνεται από τη φωτεινή ποιότητα, τη χωρική αντίληψη, τη λειτουργικότητα και τη δυνατότητα προσαρμογής στις ανάγκες των χρηστών. Στους χώρους γραφείων, όπου η παραμονή είναι παρατεταμένη και η εργασία απαιτεί συνεχή οπτική και γνωστική εμπλοκή, η άνεση συνδέεται άμεσα με τη βιωσιμότητα της καθημερινής λειτουργίας.

Η ανθρωποκεντρική προσέγγιση αναγνωρίζει ότι η άνεση δεν μπορεί να αποδοθεί σε μία μεμονωμένη φωτιστική παράμετρο. Η οπτική άνεση, που σχετίζεται με τη θάμβωση, την κατανομή της φωτεινότητας και την ομοιομορφία, αποτελεί απαραίτητη αλλά όχι επαρκή συνθήκη. Οι μη οπτικές επιδράσεις του φωτός εισάγουν μία επιπλέον διάσταση, καθώς συνδέονται με την εγρήγορση, τη διάθεση και τη φυσιολογική κατάσταση των χρηστών (Vetter et al., 2022; Brown et al., 2022). Συνεπώς, η ποιότητα του φωτεινού περιβάλλοντος προκύπτει από τη σύνθεση οπτικών, βιολογικών και λειτουργικών παραμέτρων και όχι από την απλή συμμόρφωση με τεχνικές απαιτήσεις. Η συμμόρφωση με πρότυπα φωτισμού, όπως το EN 12464-1, αποτελεί αναγκαία βάση για την οπτική επάρκεια, χωρίς όμως να αρκεί για την πλήρη αποτίμηση της αντιληπτής άνεσης και ευεξίας των χρηστών.

Η έννοια της ευεξίας διευρύνει περαιτέρω το πεδίο της άνεσης, ενσωματώνοντας ψυχολογικές και συναισθηματικές διαστάσεις της εμπειρίας του χώρου. Στα κτίρια γραφείων, η ευεξία σχετίζεται με την αντιληπτή ποιότητα του περιβάλλοντος εργασίας, την αίσθηση υποστήριξης από τον χώρο και τη δυνατότητα εκτέλεσης της εργασίας χωρίς έντονη κόπωση. Μελέτες δείχνουν ότι ο φωτισμός αποτελεί καθοριστικό παράγοντα στη συνολική αξιολόγηση του χώρου, ιδίως όταν συνδυάζεται με δυνατότητα ελέγχου και προσαρμογής από τον χρήστη (Kim & Lee, 2024; Kim et al., 2025).

Η πολυπλοκότητα της σχέσης φωτισμού, άνεσης και ευεξίας αποτυπώνεται σε σύγχρονα εννοιολογικά μοντέλα, όπως το NExT (Needs, Expectations and Experience of the indoor environment), το οποίο προσεγγίζει την άνεση, την ικανοποίηση και την ευεξία ως αλληλένδετες εκφάνσεις της σχέσης ανθρώπου και περιβάλλοντος (Altomonte et al., 2024). Υπό αυτή την οπτική, ο φωτισμός δεν αξιολογείται ως απομονωμένη τεχνική εγκατάσταση, αλλά ως μέρος ενός ευρύτερου συστήματος που περιλαμβάνει τον χώρο, τη χρήση και τις προσδοκίες των χρηστών.

Στο πλαίσιο αυτό, η ευεξία δεν πρέπει να αντιμετωπίζεται ως άμεσο και εγγυημένο αποτέλεσμα συγκεκριμένων φωτιστικών ρυθμίσεων, αλλά ως παράμετρος που μπορεί να υποστηριχθεί - και όχι να καθοριστεί - από τη συνολική ποιότητα του φωτεινού περιβάλλοντος. Ένα καλά σχεδιασμένο σύστημα φωτισμού μπορεί να ενισχύσει τη συγκέντρωση και την ψυχολογική άνεση, χωρίς αυτό να συνεπάγεται αυτομάτως συγκεκριμένα βιολογικά αποτελέσματα.

Κρίσιμη παράμετρος στη διαμόρφωση της άνεσης και της ευεξίας είναι η υποκειμενικότητα. Οι χρήστες δεν αντιλαμβάνονται το φως με τον ίδιο τρόπο, ενώ οι προτιμήσεις τους διαφοροποιούνται ανάλογα με την ηλικία, την οπτική ικανότητα, το είδος της δραστηριότητας και τις καθημερινές συνήθειες. Η αναγνώριση αυτής της διαφοροποίησης οδηγεί σε σχεδιαστικές προσεγγίσεις που δίνουν έμφαση στην προσαρμοστικότητα και στον έλεγχο του φωτισμού, μετατρέποντας τον χρήστη από παθητικό αποδέκτη σε ενεργό συμμετέχοντα.

Η επιδίωξη άνεσης και ευεξίας δεν μπορεί να αποκοπεί από τις ενεργειακές και λειτουργικές απαιτήσεις του σχεδιασμού. Η ενσωμάτωση δυναμικών και προσαρμοστικών συστημάτων φωτισμού πρέπει να συνοδεύεται από αξιολόγηση της ενεργειακής κατανάλωσης, της συντήρησης και της λειτουργικής αποδοτικότητας, αποφεύγοντας τόσο την τεχνολογική υπερβολή όσο και τη μείωση της ποιότητας στο όνομα της εξοικονόμησης (Safranek et al., 2020). Παράλληλα, η δυνατότητα ελέγχου, η αξιοποίηση του φυσικού φωτός και η προσαρμογή των φωτιστικών συνθηκών αποτελούν κρίσιμα στοιχεία για την επίτευξη ισορροπίας μεταξύ άνεσης και αποδοτικότητας (SLL, 2022).

Η διαπίστωση αυτή μετατοπίζει το ενδιαφέρον από την επίτευξη σταθερών φωτιστικών συνθηκών προς τη δημιουργία περιβαλλόντων που μπορούν να προσαρμόζονται στις μεταβαλλόμενες ανάγκες και εμπειρίες των χρηστών.

Συνολικά, ο ανθρωποκεντρικός φωτισμός προσεγγίζει την άνεση και την ευεξία ως δυναμικές και συμφραζόμενες έννοιες. Η αξία του ανθρωποκεντρικού φωτισμού δεν έγκειται στην υπόσχεση άμεσης βελτίωσης της υγείας ή της απόδοσης, αλλά στη δυνατότητα σύνθεσης τεχνικών, βιολογικών, λειτουργικών και βιωματικών παραμέτρων σε ένα ενιαίο πλαίσιο σχεδιασμού. Υπό αυτή την έννοια, η ποιότητα του φωτισμού δεν κρίνεται μόνο από την επίτευξη συγκεκριμένων φωτομετρικών τιμών, αλλά από την

ικανότητά του να υποστηρίζει ουσιαστικά την καθημερινή εμπειρία, την άνεση και τη μακροχρόνια αποδοχή του χώρου από τους χρήστες.

1.7 Συνθετική προσέγγιση και κριτική αποτίμηση του ανθρωποκεντρικού φωτισμού σε περιβάλλοντα γραφείων

Η προσέγγιση του φωτισμού στα κτίρια γραφείων μετατοπίζεται από ένα κανονιστικά προσδιορισμένο τεχνικό αντικείμενο σε ένα σύνθετο πεδίο ερμηνείας, όπου η ανθρώπινη εμπειρία, η βιολογική απόκριση και οι συνθήκες καθημερινής λειτουργίας αναδεικνύουν τα όρια των παραδοσιακών μοντέλων σχεδιασμού. Στο πλαίσιο αυτό, ο ανθρωποκεντρικός φωτισμός επιχειρεί να συνθέσει οπτικές, βιολογικές και εμπειρικές διαστάσεις σε ένα ενιαίο πλαίσιο. Ωστόσο, η σύνθεση της βιβλιογραφίας δείχνει ότι, παρά τη θεωρητική του συνοχή, η εφαρμογή του σε πραγματικά περιβάλλοντα γραφείων παραμένει εν μέρει ανολοκλήρωτη.

Σε ό,τι αφορά τις οπτικές παραμέτρους, υπάρχει σαφής σύγκλιση ως προς τη σημασία της οπτικής άνεσης. Παράγοντες όπως η κατανομή της φωτεινότητας, η θάμβωση και η ομοιομορφία επηρεάζουν άμεσα την αντιληπτή ποιότητα του χώρου και την απόδοση των χρηστών (Kim & Lee, 2024; Zeng et al., 2025). Ωστόσο, η εμπειρική έρευνα δείχνει ότι η οπτική άνεση δεν αποτελεί στατική συνθήκη, αλλά αποτέλεσμα δυναμικής αλληλεπίδρασης μεταξύ φωτισμού, χωρικής διάταξης και ατομικών προτιμήσεων (Aliparast & Onaygil, 2024; Konis, 2013). Η παρατήρηση αυτή υποδεικνύει ότι οι στατικές προσεγγίσεις φωτισμού δεν επαρκούν για την περιγραφή της πραγματικής εμπειρίας, οδηγώντας στην ανάγκη για προσαρμοστικά και χρήστη-κεντρικά μοντέλα.

Αντίθετα, στο πεδίο των μη οπτικών επιδράσεων, η βιβλιογραφία χαρακτηρίζεται από σημαντική ετερογένεια. Αν και τεκμηριώνεται η σχέση μεταξύ φωτισμού και φυσιολογικών ή ψυχολογικών αποκρίσεων, όπως η εγρήγορση και η ρύθμιση του κερκάδιου ρυθμού (Vetter et al., 2022; Brown et al., 2022), μελέτες σε πραγματικές συνθήκες αναδεικνύουν την αδυναμία απομόνωσης του φωτισμού ως μοναδικού αιτιώδους παράγοντα (Stebelová et al., 2024). Συνεπώς, η ενσωμάτωση των μη οπτικών επιδράσεων στον σχεδιασμό δεν μπορεί να βασίζεται σε καθολικά σχήματα, αλλά απαιτεί συμφραζόμενη και κριτική εφαρμογή.

Ο ανθρωποκεντρικός φωτισμός προβάλλεται ως απόπειρα γεφύρωσης μεταξύ των παραπάνω διαστάσεων. Η βιβλιογραφία αναγνωρίζει την αξία του ως εξελικτική

προσέγγιση που ενσωματώνει τη χρονική και φασματική διάσταση του φωτός, καθώς και τη σημασία της εμπειρίας του χρήστη (Jalali et al., 2024; Heidari et al., 2025). Ωστόσο, η έννοια του HCL παραμένει εννοιολογικά ρευστή, ενώ η εφαρμογή της συχνά βασίζεται σε απλουστευμένες παραδοχές. Η αξία του, επομένως, δεν προκύπτει αποκλειστικά από θεωρητικές βιολογικές παραδοχές, αλλά κυρίως από τη δυνατότητά του να προσαρμόζεται σε πραγματικά περιβάλλοντα χρήσης και σε διαφορετικά προφίλ χρηστών (Vetter et al., 2022).

Ένα κρίσιμο σημείο αφορά το χάσμα μεταξύ σχεδιασμένης και πραγματικής απόδοσης των συστημάτων φωτισμού. Οι σχεδιαστικές προσεγγίσεις βασίζονται σε πρότυπα και παραδοχές σχετικά με τη χρήση των χώρων, ωστόσο η πραγματική λειτουργία διαμορφώνεται από τη συμπεριφορά των χρηστών. Η χρήση συστημάτων σκίασης, η ρύθμιση του τεχνητού φωτισμού και η αλληλεπίδραση με τα συστήματα ελέγχου οδηγούν συχνά σε αποκλίσεις από τον αρχικό σχεδιασμό, οι οποίες δεν μπορούν να προβλεφθούν πλήρως (Hammes et al., 2024; Gao et al., 2025). Το χάσμα μεταξύ σχεδιασμένης και πραγματικής απόδοσης δεν αποτελεί απλώς τεχνικό ζήτημα, αλλά εγγενές χαρακτηριστικό της σχέσης μεταξύ σχεδιασμού και πραγματικής χρήσης των χώρων.

Παράλληλα, η επιδίωξη ανθρωποκεντρικών στόχων εισάγει νέες απαιτήσεις ως προς την ενεργειακή και λειτουργική απόδοση. Τα δυναμικά και προσαρμοστικά συστήματα μπορούν να βελτιώσουν την εμπειρία των χρηστών, αλλά αυξάνουν την πολυπλοκότητα του σχεδιασμού και απαιτούν προσεκτική ενσωμάτωση, ώστε να διατηρείται η ενεργειακή ισορροπία (Safranek et al., 2020). Η ανάγκη αυτή ενισχύει τη σημασία συνθετικών προσεγγίσεων που δεν αντιμετωπίζουν τον φωτισμό απομονωμένα, αλλά ως μέρος ενός ευρύτερου συστήματος.

Η συνθετική αποτίμηση της βιβλιογραφίας οδηγεί σε τρεις βασικές διαπιστώσεις. Πρώτον, ο φωτισμός στα γραφεία αποτελεί πολυδιάστατο φαινόμενο που συνδυάζει οπτικές, βιολογικές, ψυχολογικές και ενεργειακές παραμέτρους. Δεύτερον, οι ανθρωποκεντρικές προσεγγίσεις δεν αντικαθιστούν τα τεχνικά κριτήρια, αλλά επαναπροσδιορίζουν τη χρήση τους. Τρίτον, η ποιότητα του φωτεινού περιβάλλοντος δεν προκύπτει μόνο από τον σχεδιασμό, αλλά από τη συνεχή αλληλεπίδραση με τους χρήστες.

Κατά συνέπεια, ο ανθρωποκεντρικός φωτισμός δεν συνιστά μία καθολική σχεδιαστική λύση, αλλά ένα πλαίσιο που αποκτά αξία μόνο όταν συνδέεται με τις πραγματικές

συνθήκες χρήσης. Η πρόκληση δεν είναι η εύρεση του «βέλτιστου» φωτισμού, αλλά η ανάπτυξη προσεγγίσεων που μπορούν να διαχειριστούν τη μεταβλητότητα, την αβεβαιότητα και τη δυναμική φύση των γραφειακών περιβαλλόντων. Υπό αυτή την έννοια, η αξιολόγηση του φωτισμού μετατοπίζεται από την απλή επαλήθευση τεχνικών απαιτήσεων προς τη συστηματική κατανόηση της σχέσης μεταξύ ανθρώπου, φωτός και χώρου.

2. Φυσικός φωτισμός (daylighting) σε κτίρια γραφείων

Ο φυσικός φωτισμός αποτελεί μία από τις σημαντικότερες παραμέτρους του σύγχρονου σχεδιασμού γραφειακών χώρων, καθώς επηρεάζει ταυτόχρονα την οπτική άνεση, την ενεργειακή συμπεριφορά και τη συνολική εμπειρία των χρηστών. Σε αντίθεση με τον τεχνητό φωτισμό, ο φυσικός φωτισμός χαρακτηρίζεται από συνεχή μεταβολή ως προς την ένταση, τη φασματική σύνθεση και τη χωρική κατανομή του φωτός, γεγονός που καθιστά την αξιολόγησή του ιδιαίτερα σύνθετη. Η σύγχρονη βιβλιογραφία προσεγγίζει τον φυσικό φωτισμό όχι μόνο ως μέσο εξοικονόμησης ενέργειας, αλλά και ως κρίσιμο στοιχείο της ποιότητας του εσωτερικού περιβάλλοντος και του ανθρωποκεντρικού σχεδιασμού. Στο πλαίσιο αυτό, το παρόν κεφάλαιο εξετάζει τον ρόλο του φυσικού φωτισμού στα κτίρια γραφείων, εστιάζοντας στη συμβολή του στην οπτική και περιβαλλοντική ποιότητα, στη σχέση του με την ενεργειακή απόδοση, καθώς και στις σύγχρονες μεθοδολογίες και στους δείκτες αξιολόγησής του.

2.1 Ο φυσικός φωτισμός ως παράμετρος ποιότητας του εσωτερικού περιβάλλοντος

Ο φυσικός φωτισμός αποτελεί μία από τις σημαντικότερες παραμέτρους του εσωτερικού περιβάλλοντος στα κτίρια γραφείων, καθώς επηρεάζει ταυτόχρονα την οπτική άνεση, την ενεργειακή συμπεριφορά και τη συνολική εμπειρία χρήσης του χώρου. Σε αντίθεση με τον τεχνητό φωτισμό, χαρακτηρίζεται από έντονη χωρική και χρονική μεταβλητότητα, η οποία εξαρτάται από τις κλιματικές συνθήκες, τον προσανατολισμό του κτιρίου, τη γεωμετρία του κελύφους, τα χαρακτηριστικά των ανοιγμάτων και την παρουσία συστημάτων σκίασης. Η μεταβλητότητα αυτή αποτελεί ταυτόχρονα ποιοτικό πλεονέκτημα και σχεδιαστική πρόκληση, καθώς μπορεί να ενισχύει τη δυναμική εμπειρία του χώρου,

αλλά και να δυσχεραίνει τη διατήρηση σταθερών συνθηκών οπτικής άνεσης στους χώρους εργασίας (Konis, 2013; Doulos et al., 2020).

Στο πλαίσιο της ποιότητας του εσωτερικού περιβάλλοντος (IEQ), ο φυσικός φωτισμός δεν περιορίζεται μόνο στην παροχή επαρκών επιπέδων φωτισμού για την εκτέλεση οπτικών εργασιών, αλλά συνδέεται με ευρύτερες ποιοτικές διαστάσεις της εμπειρίας του χώρου. Η παρουσία φυσικού φωτός συμβάλλει στη διαφοροποίηση της φωτεινότητας, στη δημιουργία οπτικού βάθους, στην ανάδειξη των υλικών και στη διαμόρφωση ισχυρότερης αντιληπτής σύνδεσης με το εξωτερικό περιβάλλον. Παράλληλα, η οπτική επαφή με το εξωτερικό μέσω ανοιγμάτων θεωρείται κρίσιμο στοιχείο της ποιότητας των χώρων γραφείων, καθώς σχετίζεται με αυξημένα επίπεδα ικανοποίησης και καλύτερη αντίληψη της χωρικής άνεσης από τους χρήστες (SLL, 2022).

Η σημασία του φυσικού φωτισμού αποτυπώνεται και στα σύγχρονα πρότυπα και συστήματα πιστοποίησης κτιρίων. Το ευρωπαϊκό πρότυπο EN 17037:2018, Daylight in Buildings, εισάγει απαιτήσεις σχετικά με την πρόσβαση στο φυσικό φως, την έκθεση στον ήλιο, την οπτική επαφή με το εξωτερικό περιβάλλον και τον περιορισμό της θάμβωσης, αναγνωρίζοντας τον φυσικό φωτισμό ως βασική συνιστώσα της ποιότητας του εσωτερικού περιβάλλοντος. Παράλληλα, το EN 12464-1:2021 για τον φωτισμό εσωτερικών χώρων εργασίας καθορίζει απαιτήσεις οπτικής άνεσης και ποιότητας φωτισμού, ενώ το πρότυπο EN 15193-1, Energy Performance of Buildings – Energy Requirements for Lighting, συνδέει τον σχεδιασμό φωτισμού με την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων, παρέχοντας μεθοδολογία για την αξιολόγηση της κατανάλωσης ενέργειας που σχετίζεται με τον φωτισμό και την αξιοποίηση του φυσικού φωτός. Επιπλέον, συστήματα αξιολόγησης βιώσιμων κτιρίων, όπως τα LEED και WELL, ενσωματώνουν κριτήρια σχετικά με την επάρκεια φυσικού φωτισμού, την πρόσβαση σε θέες προς το εξωτερικό περιβάλλον και την εξασφάλιση οπτικής άνεσης στους χώρους γραφείων, γεγονός που υποδηλώνει τη μετατόπιση της αξιολόγησης από την απλή παροχή φωτισμού προς τη συνολική ποιότητα της εμπειρίας του χρήστη.

Ωστόσο, η θετική συμβολή του φυσικού φωτισμού δεν είναι δεδομένη, καθώς εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ποιότητα και τον έλεγχο του εισερχόμενου φωτός. Υπερβολικά υψηλά επίπεδα λαμπρότητας, έντονες φωτεινές αντιθέσεις και άμεση ηλιακή ακτινοβολία μπορούν να προκαλέσουν φαινόμενα θάμβωσης, τα οποία επηρεάζουν αρνητικά τόσο την οπτική άνεση όσο και την απόδοση των εργαζομένων. Ιδιαίτερα στα γραφεία ανοικτής

διάταξης, όπου μεγάλος αριθμός χρηστών μοιράζεται κοινό χώρο με διαφορετικές θέσεις ως προς τα ανοίγματα, η ανομοιόμορφη κατανομή του φυσικού φωτός δημιουργεί διαφοροποιήσεις στην εμπειρία του χώρου και καθιστά τον σχεδιασμό ιδιαίτερα απαιτητικό (Konis, 2013).

Από λειτουργική άποψη, ο φυσικός φωτισμός μπορεί να μειώσει σημαντικά την ανάγκη χρήσης τεχνητού φωτισμού κατά τη διάρκεια της ημέρας. Η αποτελεσματικότητα όμως αυτής της στρατηγικής εξαρτάται από τον τρόπο ενσωμάτωσης του φυσικού φωτισμού στα συστήματα φωτισμού του κτιρίου και από τη συμπεριφορά των χρηστών. Σύγχρονες τεχνικές οδηγίες επισημαίνουν ότι η αποδοτική αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού προϋποθέτει συστήματα ελέγχου φωτισμού που αποκρίνονται στο φυσικό φως, όπου ο φυσικός και ο τεχνητός φωτισμός λειτουργούν συμπληρωματικά μέσω αισθητήρων, αυτοματισμών και συστημάτων ρύθμισης φωτεινής ροής (dimming) (SLL, 2022; licht.de, 2012). Παρ' όλα αυτά, μελέτες πεδίου δείχνουν ότι η θεωρητική διαθεσιμότητα φυσικού φωτός δεν οδηγεί πάντοτε σε αντίστοιχη μείωση της χρήσης τεχνητού φωτισμού, γεγονός που αναδεικνύει τη σημασία της ανθρώπινης συμπεριφοράς στην πραγματική ενεργειακή απόδοση των κτιρίων (Doulos et al., 2020; Plörer et al., 2021). Το εύρημα αυτό υποδηλώνει ότι η ενεργειακή αξία του φυσικού φωτισμού δεν εξαρτάται μόνο από τη διαθεσιμότητά του, αλλά και από τον τρόπο με τον οποίο ενσωματώνεται στη λειτουργία του κτιρίου και στην καθημερινή πρακτική των χρηστών.

Παράλληλα, ο φυσικός φωτισμός συνδέεται άμεσα με την ενεργειακή συμπεριφορά του κτιρίου. Αν και μπορεί να συμβάλει στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας για φωτισμό, η αυξημένη διείσδυση ηλιακής ακτινοβολίας είναι δυνατόν να προκαλέσει ανεπιθύμητα θερμικά κέρδη και αύξηση των ψυκτικών φορτίων, ιδιαίτερα σε κτίρια με εκτεταμένες υαλοστάσεις ή ανεπαρκή σκίαση. Για τον λόγο αυτό, ο σχεδιασμός του φυσικού φωτισμού απαιτεί συνδυαστική αξιολόγηση φωτιστικών και θερμικών παραμέτρων, ώστε να επιτυγχάνεται ισορροπία μεταξύ οπτικής άνεσης, ενεργειακής απόδοσης και θερμικής συμπεριφοράς του κελύφους (licht.de, 2012; Plörer et al., 2021).

Στα κτίρια γραφείων, η σημασία του φυσικού φωτισμού ενισχύεται περαιτέρω λόγω της μεγάλης διάρκειας παραμονής των χρηστών και της φύσης της εργασίας, η οποία βασίζεται σε συνεχή οπτική και γνωστική δραστηριότητα. Η διάταξη των θέσεων εργασίας, η απόσταση από τα ανοίγματα, το βάθος του χώρου και η χρήση συστημάτων σκίασης επηρεάζουν άμεσα την πρόσβαση στο φυσικό φως και, κατ' επέκταση, την

αντιληπτή ποιότητα του εργασιακού περιβάλλοντος. Σε βαθιά ή πυκνά οργανωμένα γραφεία ανοικτής διάταξης παρατηρείται συχνά έντονη διαφοροποίηση των συνθηκών daylighting μεταξύ των θέσεων εργασίας κοντά στις όψεις και εκείνων που βρίσκονται στον εσωτερικό πυρήνα του κτιρίου.

Η βιβλιογραφία συγκλίνει στο ότι η έννοια της «επαρκούς» φωτεινής συνθήκης δεν μπορεί να αποδοθεί μέσω ενός μόνο δείκτη ή φωτομετρικού μεγέθους. Η ποιότητα του φυσικού φωτισμού εξαρτάται από ένα σύνολο παραμέτρων, όπως η χωρική κατανομή του φωτός, η ομοιομορφία, η παρουσία ή απουσία θάμβωσης, η οπτική επαφή με το εξωτερικό περιβάλλον και η χρονική μεταβολή των φωτεινών συνθηκών κατά τη διάρκεια της ημέρας και του έτους. Για τον λόγο αυτό, τα τελευταία χρόνια παρατηρείται σταδιακή μετάβαση από στατικές μετρικές αξιολόγησης, όπως ο δείκτης φυσικού φωτισμού (Daylight Factor, DF), προς δυναμικούς δείκτες φυσικού φωτισμού, όπως η χωρική αυτονομία φυσικού φωτισμού (Spatial Daylight Autonomy, sDA) και η ετήσια έκθεση σε ηλιακή ακτινοβολία (Annual Sunlight Exposure, ASE), οι οποίοι αποτυπώνουν πληρέστερα τη μεταβαλλόμενη φύση του φυσικού φωτισμού και τη σχέση του με την πραγματική λειτουργία των χώρων γραφείων.

Συνολικά, ο φυσικός φωτισμός στα κτίρια γραφείων δεν αποτελεί απλώς τεχνική παράμετρο σχεδιασμού, αλλά δυναμικό στοιχείο που διαμορφώνει την ποιότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος μέσω της αλληλεπίδρασης αρχιτεκτονικών, περιβαλλοντικών και ανθρώπινων παραγόντων. Η αξιολόγηση και ο σχεδιασμός του απαιτούν ολοκληρωμένες προσεγγίσεις που λαμβάνουν υπόψη τόσο τις πραγματικές συνθήκες χρήσης όσο και τη σύνθετη σχέση μεταξύ οπτικής άνεσης, ενεργειακής απόδοσης και ανθρώπινης εμπειρίας στους χώρους εργασίας.

2.2 Στρατηγικές σχεδιασμού φυσικού φωτισμού σε κτίρια γραφείων

2.2.1 Προσανατολισμός και σχεδιασμός ανοιγμάτων

Ο προσανατολισμός του κτιρίου και η γεωμετρία των ανοιγμάτων αποτελούν θεμελιώδεις παραμέτρους για την απόδοση του φυσικού φωτισμού σε χώρους γραφείων, καθώς καθορίζουν τόσο την ποσότητα όσο και την ποιότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που εισέρχεται στο εσωτερικό περιβάλλον. Η ηλιακή τροχιά και η γωνία πρόσπτωσης της ακτινοβολίας διαμορφώνουν διαφοροποιημένες φωτιστικές συνθήκες ανά

προσανατολισμό, επηρεάζοντας άμεσα τη χωρική κατανομή του φωτός, την πιθανότητα εμφάνισης θάμβωσης και, τελικά, την οπτική άνεση των χρηστών (Konis, 2013). Η επίδραση του προσανατολισμού δεν περιορίζεται στην ποσότητα του εισερχόμενου φωτός, αλλά επεκτείνεται στη χωρική εμπειρία, στην οπτική άνεση και στη δυνατότητα ελέγχου των φωτιστικών συνθηκών από τους χρήστες.

Στο βόρειο ημισφαίριο, οι νότιες όψεις προσφέρουν πιο προβλέψιμες και ελεγχόμενες συνθήκες φυσικού φωτισμού, καθώς η ηλιακή ακτινοβολία εισέρχεται με μεγαλύτερη γωνία πρόσπτωσης και μπορεί να ρυθμιστεί αποτελεσματικά μέσω αρχιτεκτονικών ή τεχνικών μέσων σκίασης. Αντίθετα, οι ανατολικές και δυτικές όψεις χαρακτηρίζονται από αυξημένη χρονική μεταβλητότητα και υψηλότερο κίνδυνο θάμβωσης, λόγω της χαμηλής γωνίας του ήλιου κατά τις πρωινές και απογευματινές ώρες. Οι βόρειες όψεις παρέχουν πιο ομοιόμορφο αλλά χαμηλότερης έντασης διάχυτο φωτισμό, ο οποίος θεωρείται κατάλληλος για χρήσεις που απαιτούν σταθερότητα φωτεινότητας και περιορισμό έντονων αντιθέσεων (SLL, 2022; licht.de, 2012).

Πέρα από τη φωτομετρική διάσταση, ο προσανατολισμός συνδέεται άμεσα και με ζητήματα ευεξίας (well-being) και αντιληπτής ποιότητας του χώρου. Η επαφή με μεταβαλλόμενες συνθήκες φυσικού φωτισμού και η πρόσβαση σε άμεσο ή έμμεσο ηλιακό φως συμβάλλουν στη διατήρηση του κιρκάδιου ρυθμού και στη βελτίωση της ψυχολογικής κατάστασης των χρηστών, ιδιαίτερα σε χώρους γραφείων με παρατεταμένη παραμονή (SLL, 2022). Ωστόσο, η θετική αυτή επίδραση εξαρτάται από την ισορροπία μεταξύ έκθεσης και ελέγχου, καθώς η υπερβολική ηλιακή ακτινοβολία μπορεί να οδηγήσει σε οπτική δυσφορία, αυξημένη θάμβωση και μείωση της λειτουργικής άνεσης των χρηστών.

Η σημασία του προσανατολισμού και των ανοιγμάτων αναγνωρίζεται και στα σύγχρονα πρότυπα φυσικού φωτισμού. Το ευρωπαϊκό πρότυπο EN 17037:2018 προσεγγίζει τον φυσικό φωτισμό ως παράμετρο ποιότητας του εσωτερικού περιβάλλοντος, δίνοντας έμφαση στην επάρκεια φυσικού φωτισμού, στην πρόσβαση στη θέα και στην έκθεση στο ηλιακό φως. Αντίστοιχα, το EN 12464-1:2021 εστιάζει κυρίως στην οπτική άνεση στους χώρους εργασίας, αναγνωρίζοντας ότι η συμβολή του φυσικού φωτισμού επηρεάζει άμεσα τη θάμβωση, τη φωτεινότητα και τη συνολική ποιότητα του οπτικού περιβάλλοντος. Παράλληλα, το EN 15193-1:2017, Energy Performance of Buildings – Energy Requirements for Lighting, αναδεικνύει τη σημασία της χωροθέτησης των

ανοιγμάτων και των Ζωνών Φυσικού Φωτισμού (ΖΦΦ), καθώς η αξιοποίηση του διαθέσιμου «daylighting» συνδέεται άμεσα με τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας για φωτισμό και τη συνολική ενεργειακή απόδοση του κτιρίου.

Η γεωμετρία των ανοιγμάτων επηρεάζει καθοριστικά τη διείσδυση του φωτός στο εσωτερικό του χώρου. Η αναλογία ύψους ανοίγματος προς βάθος χώρου αποτελεί κρίσιμο σχεδιαστικό κριτήριο, καθώς καθορίζει το βάθος στο οποίο το φυσικό φως μπορεί να διατηρήσει λειτουργικά αποδεκτά επίπεδα. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, η αποτελεσματική διείσδυση του «daylighting» περιορίζεται συνήθως σε βάθος περίπου 1,5 έως 2 φορές το ύψος του ανοίγματος, γεγονός που δημιουργεί ζώνες με διαφοροποιημένα επίπεδα φωτεινότητας στο εσωτερικό του ίδιου χώρου (Konis, 2013). Η παρατήρηση αυτή αποκτά ιδιαίτερη σημασία σε γραφεία ανοικτής διάταξης, όπου η άνιση κατανομή του φυσικού φωτός μεταφράζεται σε διαφοροποιήσεις της εμπειρίας και της οπτικής άνεσης μεταξύ των χρηστών.

Παρά τη σαφή σημασία των παραπάνω παραμέτρων, το ελληνικό κανονιστικό πλαίσιο (TOTE 20701-1) προσεγγίζει τον φυσικό φωτισμό κυρίως υπό το πρίσμα της ενεργειακής απόδοσης, συνδέοντάς τον με τη μείωση της κατανάλωσης τεχνητού φωτισμού. Η προσέγγιση αυτή, αν και χρήσιμη για ενεργειακές αξιολογήσεις, παραμένει περιορισμένη ως προς την αποτύπωση της βιοματικής και αντιληπτικής διάστασης του φωτεινού περιβάλλοντος, αναδεικνύοντας ένα κενό μεταξύ κανονιστικών απαιτήσεων και σύγχρονων ανθρωποκεντρικών προσεγγίσεων σχεδιασμού.

Συνολικά, ο προσανατολισμός και ο σχεδιασμός των ανοιγμάτων δεν αποτελούν απλώς γεωμετρικές επιλογές, αλλά βασικούς μηχανισμούς διαμόρφωσης του φωτεινού περιβάλλοντος και της εμπειρίας των χρηστών. Η αξιολόγησή τους δεν μπορεί να περιορίζεται μόνο στην ποσότητα του εισερχόμενου φωτός, αλλά οφείλει να λαμβάνει υπόψη τη χωρική κατανομή της φωτεινότητας, την οπτική άνεση και τη διαφοροποιημένη εμπειρία των χρηστών στους χώρους εργασίας.

2.2.2 Γεωμετρία κελύφους και διάχυση φυσικού φωτός

Η γεωμετρία του κελύφους αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για τη διαμόρφωση του φυσικού φωτισμού στους εσωτερικούς χώρους γραφείων, καθώς επηρεάζει όχι μόνο την είσοδο της ηλιακής ακτινοβολίας, αλλά κυρίως τον τρόπο με τον οποίο αυτή κατανέμεται, ανακατευθύνεται και διαχέεται στο εσωτερικό περιβάλλον. Σε αντίθεση με

απλουστευμένες προσεγγίσεις που επικεντρώνονται αποκλειστικά στα ανοίγματα, η σύγχρονη βιβλιογραφία αντιμετωπίζει το κέλυφος ως ενεργό σύστημα διαχείρισης του φωτός, όπου η μορφολογία του κτιρίου συμβάλλει δυναμικά τόσο στη φωτεινή απόδοση όσο και στην αντιληπτή ποιότητα του χώρου (Konis, 2013; Plörrer et al., 2021).

Αρχιτεκτονικά στοιχεία όπως εσοχές, προεξοχές, διπλά κελύφη, φεγγίτες και αίθρια λειτουργούν ως μηχανισμοί ελέγχου και ανακατεύθυνσης της ηλιακής ακτινοβολίας, επιτρέποντας τη διοχέτευση του φωτός σε βαθύτερες ζώνες του χώρου. Στο πλαίσιο αυτό, στοιχεία όπως τα αίθρια, οι φεγγίτες και τα διπλά κελύφη μπορούν να λειτουργήσουν και ως στρατηγικές ανακατανομής ή ανακατεύθυνσης του φυσικού φωτός, βελτιώνοντας τη διείδυσή του σε βαθύτερες ζώνες του χώρου. Ιδιαίτερα σε κτίρια γραφείων με μεγάλο βάθος κάτοψης, η αξιοποίηση τέτοιων μορφολογικών στρατηγικών καθίσταται κρίσιμη για τη βελτίωση της ομοιομορφίας του φωτισμού και τον περιορισμό έντονων φωτεινών αντιθέσεων, οι οποίες σχετίζονται με μειωμένη οπτική άνεση και αυξημένη οπτική καταπόνηση (SLL, 2022).

Η διάχυση του φωτός συνδέεται άμεσα με τις οπτικές ιδιότητες των εσωτερικών επιφανειών, και ειδικότερα με την ανακλαστικότητά τους. Επιφάνειες υψηλής ανακλαστικότητας, όπως φωτεινές οροφές και τοίχοι, ενισχύουν τη δευτερογενή διάχυση και επιτρέπουν την ομαλή κατανομή της φωτεινότητας στον χώρο, συμβάλλοντας στη μείωση τοπικών αντιθέσεων και στην ενίσχυση της οπτικής άνεσης. Αντίθετα, επιφάνειες χαμηλής ανακλαστικότητας απορροφούν σημαντικό μέρος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας, περιορίζοντας τη φωτεινή απόδοση και ενισχύοντας την ανομοιογένεια του φωτισμού (Konis, 2013; licht.de, 2012). Η επιλογή υλικών, επομένως, δεν αποτελεί αποκλειστικά αισθητική απόφαση, αλλά ουσιαστικό εργαλείο φωτιστικού σχεδιασμού.

Η σημασία της χωρικής κατανομής του φωτός αναγνωρίζεται και σε κανονιστικά πλαίσια. Το πρότυπο EN 17037 δίνει έμφαση όχι μόνο στην επάρκεια φυσικού φωτισμού, αλλά και στη χωρική ποιότητα και στην πρόσβαση των χρηστών στο φως της ημέρας, ενώ το EN 12464-1 συνδέει άμεσα την οπτική άνεση με τη διαχείριση διαφορών λαμπρότητας στο οπτικό πεδίο. Η σύνδεση αυτή αναδεικνύει ότι η γεωμετρία του χώρου επηρεάζει όχι μόνο την ποσότητα του εισερχόμενου φωτός, αλλά και τον τρόπο με τον οποίο αυτό γίνεται αντιληπτό από τους χρήστες.

Στο ελληνικό κανονιστικό πλαίσιο, η TOTEE 20701-1 προσεγγίζει τον φυσικό φωτισμό κυρίως μέσω της ενεργειακής συμπεριφοράς του κελύφους και της μείωσης της κατανάλωσης τεχνητού φωτισμού. Παρότι η προσέγγιση αυτή είναι σημαντική για την ενεργειακή αξιολόγηση των κτιρίων, δεν εξετάζει αναλυτικά τη χωρική ποιότητα και τη διάχυση του φυσικού φωτισμού, γεγονός που αναδεικνύει την απόσταση μεταξύ ενεργειακών απαιτήσεων και ανθρωποκεντρικών κριτηρίων φωτισμού.

Παράλληλα, η γεωμετρία του κελύφους επηρεάζει άμεσα την πιθανότητα εμφάνισης θάμβωσης. Η ανεξέλεγκτη είσοδος άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας σε χώρους με ανεπαρκή διάχυση μπορεί να δημιουργήσει υψηλές τιμές λαμπρότητας και έντονες αντιθέσεις στο οπτικό πεδίο, οδηγώντας σε οπτική δυσφορία και μειωμένη απόδοση των χρηστών. Αντίθετα, η κατάλληλη μορφολογική διαμόρφωση του κελύφους μπορεί να λειτουργήσει ως παθητικός μηχανισμός ελέγχου της φωτεινότητας, περιορίζοντας την ανάγκη για ενεργά συστήματα σκίασης και συμβάλλοντας στη δημιουργία πιο σταθερών και ευχάριστων συνθηκών φωτισμού (Doulos et al., 2020).

Συνολικά, η γεωμετρία του κελύφους και η διάχυση του φυσικού φωτός συνιστούν αλληλένδετες παραμέτρους που επηρεάζουν τόσο την ποσοτική απόδοση όσο και τη βιοματική ποιότητα του φωτεινού περιβάλλοντος. Η αποτελεσματική αξιοποίησή τους απαιτεί συνδυασμό μορφολογικού σχεδιασμού, επιλογής υλικών και κατανόησης της οπτικής αντίληψης των χρηστών. Μέσα από αυτή τη συνθετική προσέγγιση, ο σχεδιασμός μετατοπίζεται από την απλή διασφάλιση επάρκειας φωτισμού προς τη δημιουργία ισορροπημένων, ομοιόμορφων και οπτικά άνετων περιβαλλόντων, τα οποία ανταποκρίνονται στις αρχές του ανθρωποκεντρικού σχεδιασμού και υποστηρίζουν ουσιαστικά την εμπειρία και την απόδοση των χρηστών.

2.2.3 Χωρική οργάνωση και κατανομή χρήσεων σε σχέση με τον φυσικό φωτισμό

Η χωρική οργάνωση των κτιρίων γραφείων αποτελεί κρίσιμη παράμετρο για την αποτελεσματική αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού, καθώς καθορίζει την πραγματική πρόσβαση των χρηστών στο φυδικό φωτισμό και, κατ' επέκταση, την ποιότητα της οπτικής και βιοματικής εμπειρίας του εσωτερικού περιβάλλοντος. Σε αντίθεση με καθαρά γεωμετρικές ή φωτομετρικές προσεγγίσεις, η κατανομή των λειτουργιών εισάγει τη διάσταση της χρήσης και της ανθρώπινης παρουσίας, μετατρέποντας τον φυσικό φωτισμό

από θεωρητική δυνατότητα σε ουσιαστικό παράγοντα καθημερινής εμπειρίας (Konis, 2013; SLL, 2022).

Στα κτίρια γραφείων, η διάταξη των θέσεων εργασίας σε σχέση με τις όψεις και τα ανοίγματα αποτελεί καθοριστικό σχεδιαστικό ζήτημα. Θέσεις που βρίσκονται κοντά στο περίβλημα επωφελούνται από υψηλότερα επίπεδα φυσικού φωτισμού, καλύτερη οπτική επαφή με το εξωτερικό περιβάλλον και μεγαλύτερη διαφοροποίηση φωτεινότητας κατά τη διάρκεια της ημέρας, στοιχεία που συνδέονται με αυξημένη ικανοποίηση και αντιληπτή ποιότητα χώρου. Αντίθετα, θέσεις στο βάθος της κάτοψης εμφανίζουν μειωμένη πρόσβαση στο «daylight» και αυξημένη εξάρτηση από τον τεχνητό φωτισμό, γεγονός που επηρεάζει τόσο την οπτική εμπειρία όσο και τη συνολική αντίληψη του εργασιακού περιβάλλοντος (Konis, 2013; licht.de, 2012).

Η διαφοροποίηση αυτή είναι ιδιαίτερα έντονη σε γραφεία ανοικτής διάταξης, καθώς μεγάλος αριθμός εργαζομένων μοιράζεται κοινό χώρο με άνιση κατανομή φυσικού φωτός. Η χωρική οργάνωση, επομένως, δεν αποτελεί ουδέτερη επιλογή, αλλά μηχανισμό που μπορεί είτε να ενισχύσει είτε να μετριάσει τις ανισότητες πρόσβασης στο φυσικό φωτισμό. Στρατηγικές όπως η τοποθέτηση χώρων συνεργασίας, κυκλοφορίας ή βοηθητικών λειτουργιών σε ζώνες με χαμηλότερα επίπεδα φυσικού φωτισμού και η διατήρηση των περιμετρικών περιοχών για θέσεις εργασίας υψηλών οπτικών απαιτήσεων αποτελούν πρακτικές που επιχειρούν να εξισορροπήσουν την κατανομή του φωτός στον χώρο (SLL, 2022). Ωστόσο, η αποτελεσματικότητα αυτών των στρατηγικών εξαρτάται από την πραγματική χρήση του χώρου και από τη δυνατότητα προσαρμογής των χρηστών στις διαθέσιμες συνθήκες φωτισμού.

Η σημασία της χωρικής κατανομής σε σχέση με τον φυσικό φωτισμό αναγνωρίζεται και σε ευρωπαϊκά πρότυπα. Το EN 17037 υπογραμμίζει ότι η πρόσβαση στο φως της ημέρας και η θέα προς το εξωτερικό αποτελούν βασικές συνιστώσες της ποιότητας του εσωτερικού περιβάλλοντος, δίνοντας έμφαση στη θέση των χρηστών και όχι μόνο στη συνολική απόδοση του χώρου. Η προσέγγιση αυτή μετατοπίζει το ενδιαφέρον από τη μέση τιμή φωτισμού στη διαφοροποιημένη εμπειρία των επιμέρους θέσεων εργασίας. Παράλληλα, το EN 12464-1 αναγνωρίζει ότι οι απαιτήσεις φωτισμού διαφοροποιούνται ανάλογα με τη δραστηριότητα, γεγονός που ενισχύει την ανάγκη λειτουργικής αντιστοίχισης μεταξύ χρήσεων και φωτιστικών συνθηκών.

Στο ελληνικό κανονιστικό πλαίσιο, η TOTEE 20701-1 προσεγγίζει τον φυσικό φωτισμό κυρίως μέσω της ενεργειακής αξιολόγησης και της μείωσης της κατανάλωσης τεχνητού φωτισμού, χωρίς να εξετάζει αναλυτικά τη διαφοροποίηση της εμπειρίας μεταξύ επιμέρους θέσεων εργασίας. Η διαπίστωση αυτή αναδεικνύει τη διάσταση μεταξύ ενεργειακών απαιτήσεων και ανθρωποκεντρικών κριτηρίων σχεδιασμού.

Η χωρική οργάνωση συνδέεται άμεσα και με τη διαχείριση της θάμβωσης. Η τοποθέτηση θέσεων εργασίας σε άμεση επαφή με ανοίγματα χωρίς κατάλληλο έλεγχο μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένη οπτική δυσφορία, ιδιαίτερα σε περιβάλλοντα με χρήση οθονών. Αντίθετα, η στρατηγική τοποθέτηση των χρηστών σε σχέση με την κατεύθυνση του φωτός και η αποφυγή άμεσης θέασης φωτεινών πηγών μπορούν να μειώσουν την πιθανότητα εμφάνισης θάμβωσης και να βελτιώσουν την οπτική άνεση χωρίς απαραίτητα πρόσθετες τεχνικές παρεμβάσεις (Doulos et al., 2020).

Πέρα από τη στατική διάταξη, η χωρική οργάνωση επηρεάζεται και από τη δυναμική χρήση των σύγχρονων γραφείων. Η ύπαρξη πολλαπλών τύπων εργασιακών περιβαλλόντων, όπως χώροι ατομικής συγκέντρωσης, συνεργασίας και τηλεδιασκέψεων, καθώς και η αυξανόμενη ευελιξία στη χρήση των χώρων, ενισχύουν την ανάγκη για προσαρμοστικές στρατηγικές σχεδιασμού, όπου οι χρήστες μπορούν να επιλέγουν θέσεις με διαφορετικά χαρακτηριστικά φωτισμού ανάλογα με τις ανάγκες τους. Η προσέγγιση αυτή ευθυγραμμίζεται με τις αρχές του ανθρωποκεντρικού σχεδιασμού, όπου η ποικιλία των φωτιστικών συνθηκών αντιμετωπίζεται ως στοιχείο ποιότητας και όχι ως πρόβλημα προς εξάλειψη.

Συνολικά, η χωρική οργάνωση και η κατανομή των χρήσεων αποτελούν κρίσιμο σύνδεσμο μεταξύ αρχιτεκτονικού σχεδιασμού και ανθρώπινης εμπειρίας. Η αποτελεσματική ενσωμάτωση του φυσικού φωτισμού δεν εξαρτάται μόνο από τη γεωμετρία του κελύφους, αλλά και από τον τρόπο με τον οποίο οι χρήστες τοποθετούνται, κινούνται και αλληλεπιδρούν με τον χώρο. Υπό αυτή την έννοια, το «daylighting» δεν αξιολογείται αποκλειστικά μέσω μέσων τιμών φωτισμού, αλλά μέσω της ικανότητάς του να υποστηρίζει ισότιμες, λειτουργικές και οπτικά άνετες συνθήκες για διαφορετικές δραστηριότητες και ομάδες χρηστών.

2.2.4 Συστήματα σκίασης και έλεγχος φυσικού φωτισμού

Ο έλεγχος του φυσικού φωτισμού αποτελεί αναπόσπαστο μέρος του σχεδιασμού φυσικού φωτισμού σε κτίρια γραφείων, καθώς η δυναμική και μεταβλητή φύση το φωτός της ημέρας καθιστά αναγκαία τη ρύθμιση τόσο της εισόδου όσο και της κατανομής του στο εσωτερικό περιβάλλον. Σε αντίθεση με τον τεχνητό φωτισμό, ο οποίος μπορεί να ρυθμιστεί με μεγαλύτερη ακρίβεια, ο φυσικός φωτισμός χαρακτηρίζεται από έντονες χρονικές και χωρικές μεταβολές, δημιουργώντας συνθήκες που απαιτούν συνεχή προσαρμογή προκειμένου να διασφαλιστούν η οπτική άνεση και η λειτουργικότητα των χώρων εργασίας (Doulos et al., 2020; SLL, 2022).

Τα συστήματα σκίασης αποτελούν το βασικό εργαλείο ελέγχου της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας και της θάμβωσης. Διακρίνονται σε εξωτερικά και εσωτερικά, καθώς και σε σταθερά και κινητά, με κάθε κατηγορία να παρουσιάζει διαφορετικά χαρακτηριστικά απόδοσης. Τα εξωτερικά συστήματα είναι γενικά πιο αποτελεσματικά, καθώς περιορίζουν την ηλιακή ακτινοβολία πριν αυτή εισέλθει στο κτίριο, συμβάλλοντας τόσο στη βελτίωση της οπτικής άνεσης όσο και στον περιορισμό των θερμικών φορτίων. Αντίθετα, τα εσωτερικά συστήματα προσφέρουν μεγαλύτερη ευελιξία και δυνατότητα προσαρμογής από τον χρήστη, αλλά εμφανίζουν μικρότερη αποτελεσματικότητα ως προς τη θερμική διαχείριση της ηλιακής ακτινοβολίας (licht.de, 2012).

Η σημασία του ελέγχου της θάμβωσης αναγνωρίζεται και σε κανονιστικά πλαίσια. Το πρότυπο EN 12464-1 θέτει απαιτήσεις για τον περιορισμό της θάμβωσης σε χώρους εργασίας μέσω δεικτών όπως το Unified Glare Rating (UGR), ενώ το EN 17037 υπογραμμίζει την ανάγκη ισορροπίας μεταξύ επάρκειας φυσικού φωτός και αποφυγής υπερβολικής έκθεσης σε ηλιακή ακτινοβολία. Η προσέγγιση αυτή αντανάκλα τη σύγχρονη αντίληψη ότι η ποιότητα του φωτεινού περιβάλλοντος δεν εξαρτάται αποκλειστικά από την ποσότητα φωτός, αλλά και από τον τρόπο με τον οποίο αυτό γίνεται αντιληπτό στο οπτικό πεδίο του χρήστη.

Ωστόσο, η πραγματική απόδοση των συστημάτων σκίασης δεν εξαρτάται μόνο από τα τεχνικά τους χαρακτηριστικά, αλλά σε μεγάλο βαθμό από τον τρόπο χρήσης τους. Μελέτες πεδίου σε χώρους γραφείων δείχνουν ότι οι χρήστες παρεμβαίνουν ενεργά στη λειτουργία των σκιάσεων, ανταποκρινόμενοι κυρίως σε άμεσες ενοχλήσεις, όπως η θάμβωση ή οι αντανάκλασεις σε οθόνες (Doulos et al., 2020). Σε πολλές περιπτώσεις, οι

σκιάσεις παραμένουν κλειστές για μεγάλα χρονικά διαστήματα μετά την αρχική ενεργοποίησή τους, ακόμη και όταν οι συνθήκες φωτισμού έχουν μεταβληθεί, οδηγώντας σε σημαντική υποαξιοποίηση του φυσικού φωτός.

Η συμπεριφορά αυτή αναδεικνύει ένα κρίσιμο χάσμα μεταξύ σχεδιασμού και πραγματικής λειτουργίας. Ενώ οι στρατηγικές φυσικού φωτισμού βασίζονται συχνά σε παραδοχές ορθολογικής χρήσης των συστημάτων ελέγχου, η καθημερινή πρακτική δείχνει ότι οι χρήστες δρουν κυρίως με γνώμονα την άμεση οπτική άνεση και την απρόσκοπτη εκτέλεση της εργασίας τους και όχι τη βέλτιστη ενεργειακή ή φωτιστική απόδοση. Ως αποτέλεσμα, η πραγματική λειτουργία των συστημάτων μπορεί να αποκλίνει σημαντικά από τις αρχικές σχεδιαστικές προβλέψεις, γεγονός που υπογραμμίζει ότι ο φωτιστικός σχεδιασμός δεν μπορεί να αντιμετωπίζεται ως πλήρως προβλέψιμο τεχνικό σύστημα.

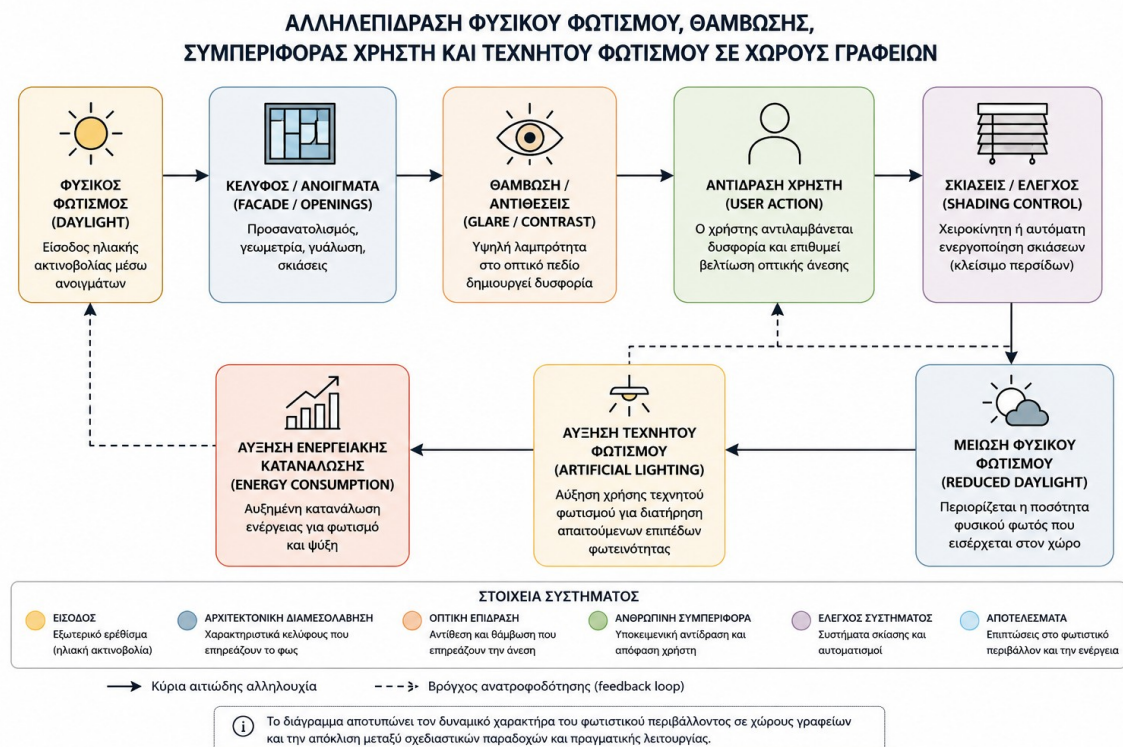
Στο πλαίσιο αυτό, η ανάπτυξη αυτοματοποιημένων συστημάτων ελέγχου προτείνεται ως μέσο βελτιστοποίησης της λειτουργίας των σκιάσεων. Συστήματα που βασίζονται σε αισθητήρες φωτισμού, ηλιακής ακτινοβολίας ή παρουσίας χρηστών μπορούν να ρυθμίζουν δυναμικά τη θέση των σκιάσεων, επιδιώκοντας ισορροπία μεταξύ επάρκειας φωτισμού, περιορισμού της θάμβωσης και ενεργειακής απόδοσης. Παρ' όλα αυτά, τα αυτοματοποιημένα συστήματα δεν αποτελούν από μόνα τους καθολική λύση. Έρευνες δείχνουν ότι η έλλειψη δυνατότητας παρέμβασης ή η μη κατανοητή λειτουργία των αυτοματισμών μπορεί να οδηγήσει σε δυσaráεσκεια και σε ενεργή παράκαμψή τους από τους χρήστες (Hammes et al., 2024).

Για τον λόγο αυτό, η σύγχρονη προσέγγιση στον σχεδιασμό φυσικού φωτισμού στρέφεται προς υβριδικά μοντέλα ελέγχου, τα οποία συνδυάζουν αυτοματοποιημένες λειτουργίες με δυνατότητα παρέμβασης του χρήστη. Η προσέγγιση αυτή αναγνωρίζει ότι η αίσθηση ελέγχου αποτελεί κρίσιμο παράγοντα αποδοχής και ότι η ποιότητα του φωτεινού περιβάλλοντος συνδέεται όχι μόνο με τις φυσικές συνθήκες, αλλά και με την υποκειμενική εμπειρία και ικανοποίηση των χρηστών (SLL, 2022).

Επιπλέον, η λειτουργία των συστημάτων σκίασης επηρεάζει άμεσα τη σχέση μεταξύ φυσικού και τεχνητού φωτισμού. Η εκτεταμένη χρήση σκιάσεων μπορεί να μειώσει σημαντικά τη συμβολή του φυσικού φωτισμού, αυξάνοντας την ανάγκη για τεχνητό φωτισμό και περιορίζοντας μέρος των ενεργειακών και ποιοτικών οφελών του φυσικού φωτός. Αντίθετα, η αποτελεσματική και προσαρμοστική διαχείριση των σκιάσεων

επιτρέπει τη διατήρηση επαρκών επιπέδων «daylight» χωρίς την εμφάνιση έντονων φαινομένων θάμβωσης ή υπερθέρμανσης, ενισχύοντας τη συνολική ποιότητα του φωτιστικού περιβάλλοντος.

Συνολικά, τα συστήματα σκίασης και ο έλεγχος του φυσικού φωτισμού αποτελούν κρίσιμη συνιστώσα του σχεδιασμού γραφείων, όπου η επιτυχία δεν εξαρτάται αποκλειστικά από την τεχνολογία, αλλά από τη σύνθετη αλληλεπίδραση σχεδιαστικών επιλογών, στρατηγικών ελέγχου και ανθρώπινης συμπεριφοράς. Υπό αυτή την έννοια, η αποτελεσματική αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού προϋποθέτει όχι μόνο τεχνική βελτιστοποίηση, αλλά και κατανόηση του τρόπου με τον οποίο οι χρήστες αντιλαμβάνονται, αποδέχονται και τελικά χρησιμοποιούν το φωτεινό περιβάλλον στην καθημερινή πρακτική του γραφείου.



Σχήμα 2.1: Σχηματική απεικόνιση της δυναμικής αλληλεπίδρασης μεταξύ φυσικού φωτισμού, θάμβωσης, συμπεριφοράς χρηστών, χρήσης συστημάτων σκίασης και ανάγκης για τεχνητό φωτισμό σε χώρους γραφείων.

2.3 Δείκτες και μέθοδοι αξιολόγησης του φυσικού φωτισμού

Η αξιολόγηση του φυσικού φωτισμού στα κτίρια γραφείων αποτελεί κρίσιμο στάδιο για την κατανόηση της πραγματικής απόδοσης των στρατηγικών φυσικού φωτισμού και για

τη σύνδεσή τους με την οπτική άνεση, την ενεργειακή συμπεριφορά και την εμπειρία των χρηστών. Ωστόσο, η αποτίμηση του φυσικού φωτισμού δεν είναι μια απλή διαδικασία, καθώς η δυναμική και μεταβαλλόμενη φύση του δεν επιτρέπει την αξιόπιστη περιγραφή του μέσω μιας μεμονωμένης στιγμιαίας μέτρησης ή ενός αποκλειστικά στατικού δείκτη. Αντιθέτως, απαιτούνται μέθοδοι αξιολόγησης που να αποτυπώνουν τόσο τη χωρική κατανομή του φωτός όσο και τη χρονική του μεταβολή κατά τη διάρκεια της ημέρας και του έτους. Η ανάγκη αυτή καθίσταται ιδιαίτερα έντονη στα κτίρια γραφείων, όπου η παρατεταμένη παραμονή των χρηστών και οι αυξημένες απαιτήσεις οπτικής εργασίας καθιστούν καθοριστικές όχι μόνο την επάρκεια, αλλά και τη σταθερότητα και την ποιότητα του φωτεινού περιβάλλοντος (Konis, 2013; Davoodi et al., 2021; Reinhart, 2014).

Στη διεθνή βιβλιογραφία παρατηρείται σαφής μετατόπιση από απλούστερους στατικούς δείκτες, όπως ο συντελεστής φυσικού φωτισμού, προς πιο σύνθετες και δυναμικές μεθόδους αξιολόγησης, οι οποίες ενσωματώνουν κλιματικά δεδομένα, χρονικές μεταβολές και σενάρια χρήσης. Η μετάβαση αυτή αντανακλά την αναγνώριση ότι ο φυσικός φωτισμός αποτελεί χρονικά μεταβαλλόμενο φαινόμενο, το οποίο δεν μπορεί να περιγραφεί επαρκώς μέσω σταθερών συνθηκών ουρανού ή στιγμιαίων μετρήσεων. Η εξέλιξη αυτή δεν συνιστά απλώς τεχνική βελτίωση των εργαλείων αξιολόγησης, αλλά εκφράζει μια βαθύτερη αλλαγή στον τρόπο κατανόησης του φυσικού φωτισμού από μια καθαρά ποσοτική προσέγγιση προς μια πιο σύνθετη και ρεαλιστική αποτίμηση της εμπειρίας του χρήστη και της πραγματικής λειτουργίας του χώρου. Παρ' όλα αυτά, ακόμη και οι πιο εξελιγμένοι δείκτες δεν παύουν να αποτελούν προσεγγίσεις της πραγματικότητας και όχι πλήρη αναπαράστασή της.

Μελέτες που εξετάζουν την οπτική άνεση σε περιβάλλοντα γραφείων υπογραμμίζουν ότι η επάρκεια φυσικού φωτισμού δεν συνεπάγεται αυτομάτως υψηλή ποιότητα φωτεινού περιβάλλοντος. Παράμετροι όπως η θάμβωση, οι έντονες φωτεινές αντιθέσεις, η ανομοιογένεια και η αλληλεπίδραση με τον τεχνητό φωτισμό επηρεάζουν καθοριστικά την τελική εμπειρία των χρηστών, συχνά αναιρώντας τα θεωρητικά οφέλη του «daylighting» (Konis, 2013; Fakhari et al., 2022). Με άλλα λόγια, η ποσότητα φωτός δεν μπορεί να εξετάζεται αποκομμένα από τον τρόπο με τον οποίο αυτό γίνεται αντιληπτό και βιώνεται στον χώρο εργασίας.

Η αξιολόγηση του φυσικού φωτισμού συνδέεται άμεσα και με κανονιστικά και τυποποιημένα πλαίσια. Το ευρωπαϊκό πρότυπο EN 17037 εισάγει μια πιο ολοκληρωμένη προσέγγιση, ενσωματώνοντας παραμέτρους όπως η επάρκεια φυσικού φωτισμού, η θέα προς το εξωτερικό περιβάλλον, η έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία και ο έλεγχος της θάμβωσης. Παράλληλα, τα πρότυπα EN 12464-1 και ISO/CIE 8995-1 θέτουν απαιτήσεις για τον φωτισμό χώρων εργασίας, δίνοντας έμφαση στην οπτική άνεση και στον περιορισμό της θάμβωσης. Ωστόσο, τα πρότυπα αυτά, αν και απαραίτητα για τη θέσπιση ελάχιστων απαιτήσεων, δεν επαρκούν από μόνα τους για την πλήρη αξιολόγηση της εμπειρίας του χρήστη, καθώς βασίζονται σε γενικευμένες παραδοχές που δεν αποτυπώνουν πάντα τις πραγματικές συνθήκες χρήσης. Η απόκλιση αυτή γίνεται ιδιαίτερα εμφανής σε γραφεία ανοικτής διάταξης, όπου διαφορετικές θέσεις εργασίας ενδέχεται να εμφανίζουν σημαντικές διαφοροποιήσεις ως προς την πρόσβαση στο «daylight», τη θάμβωση και την αντιληπτή ποιότητα του χώρου, ακόμη και όταν πληρούνται οι ίδιες κανονιστικές απαιτήσεις.

Στο ελληνικό πλαίσιο, η TOTEE 20701-1 προσεγγίζει τον φυσικό φωτισμό κυρίως μέσω της συμβολής του στη μείωση της ανάγκης για τεχνητό φωτισμό και, κατ' επέκταση, στην ενεργειακή απόδοση του κτιρίου. Παρότι η προσέγγιση αυτή είναι σημαντική για ενεργειακές αξιολογήσεις, παραμένει περιορισμένη ως προς την ποιοτική και ανθρωποκεντρική διάσταση του φυσικού φωτισμού.

Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, οι δείκτες φυσικού φωτισμού αντιμετωπίζονται ως εργαλεία κατανόησης και όχι ως απόλυτα κριτήρια ποιότητας. Κάθε δείκτης αποτυπώνει μια συγκεκριμένη πτυχή του φυσικού φωτισμού και συνοδεύεται από εγγενείς μεθοδολογικούς περιορισμούς, οι οποίοι επηρεάζουν την ερμηνεία των αποτελεσμάτων. Για τον λόγο αυτό, η αξιολόγηση του φυσικού φωτισμού σε κτίρια γραφείων δεν μπορεί να βασίζεται σε μία μόνο μεθοδολογία. Αντιθέτως, απαιτείται συνδυαστική προσέγγιση, όπου στατικοί και δυναμικοί δείκτες, δείκτες θάμβωσης, προσομοιώσεις και δεδομένα από πραγματικούς χρήστες εξετάζονται συμπληρωματικά. Υπό αυτή την έννοια, η αξιολόγηση του φυσικού φωτισμού στα σύγχρονα γραφεία δεν μπορεί να περιορίζεται σε μία μονοδιάστατη αποτίμηση επάρκειας φωτισμού, αλλά απαιτεί πολυπαραγοντική και συμφραζόμενη προσέγγιση, η οποία λαμβάνει υπόψη τόσο τη δυναμική του φωτός όσο και τη διαφοροποιημένη εμπειρία των χρηστών.

2.3.1 Στατικοί δείκτες φυσικού φωτισμού

Η αξιολόγηση του φυσικού φωτισμού στα κτίρια γραφείων ξεκίνησε ιστορικά μέσα από τη χρήση στατικών δεικτών, οι οποίοι επιχειρούν να περιγράψουν τη φωτεινή κατάσταση ενός χώρου υπό συγκεκριμένες, τυποποιημένες συνθήκες. Ο πλέον καθιερωμένος από αυτούς είναι ο συντελεστής φυσικού φωτισμού (Daylight Factor, DF), ο οποίος εκφράζει το ποσοστό του διαθέσιμου εξωτερικού διάχυτου φωτισμού που φτάνει σε ένα σημείο του εσωτερικού χώρου, υπό ουρανό τυποποιημένης συννεφιάς (CIE overcast sky). Ο δείκτης αυτός αποτέλεσε για δεκαετίες βασικό εργαλείο σχεδιασμού και αξιολόγησης του φυσικού φωτισμού, καθώς προσφέρει μια απλή, αναπαραγώγιμη και συγκρίσιμη μέθοδο εκτίμησης της χωρικής κατανομής του φυσικού φωτός, χωρίς όμως να αποτυπώνει τη χρονική μεταβλητότητα των πραγματικών συνθηκών φυσικού φωτισμού (Konis, 2013; Reinhart, 2014).

Η χρήση του DF συνδέεται με μια προσέγγιση σχεδιασμού που δίνει έμφαση στη γεωμετρία του κελύφους, στο μέγεθος και στη θέση των ανοιγμάτων, καθώς και στις ανακλαστικές ιδιότητες των εσωτερικών επιφανειών. Μέσω του δείκτη αυτού, είναι δυνατή η εκτίμηση της επάρκειας του φυσικού φωτισμού σε διαφορετικές θέσεις εντός του χώρου, γεγονός που τον καθιστά ιδιαίτερα χρήσιμο στην αρχική φάση σχεδιασμού και στη σύγκριση εναλλακτικών λύσεων. Σε περιβάλλοντα γραφείων, ο DF χρησιμοποιήθηκε εκτενώς για τον προσδιορισμό ζωνών επαρκούς φωτισμού κοντά στα ανοίγματα και για την κατανόηση της σταδιακής μείωσης του φωτός με την αύξηση της απόστασης από αυτά (Konis, 2013).

Ωστόσο, η στατική φύση του δείκτη αποτελεί ταυτόχρονα και τον βασικό του περιορισμό. Ο DF βασίζεται σε μία ιδεατή και αμετάβλητη κατάσταση ουρανού, η οποία δεν αντανακλά τις πραγματικές συνθήκες φωτισμού που επικρατούν κατά τη διάρκεια της ημέρας και του έτους. Η παραδοχή αυτή θεωρείται σήμερα περιοριστική, καθώς οι πραγματικές συνθήκες φωτισμού στα κτίρια γραφείων επηρεάζονται από διαρκώς μεταβαλλόμενα κλιματικά δεδομένα και από τη δυναμική αλληλεπίδραση φυσικού και τεχνητού φωτισμού. Ως αποτέλεσμα, ο δείκτης δεν λαμβάνει υπόψη τη μεταβλητότητα της ηλιακής ακτινοβολίας, την άμεση ηλιακή πρόσπτωση, τις επιδράσεις των σκιάσεων ούτε τη χρονική διάσταση της χρήσης του χώρου. Σε κτίρια γραφείων, όπου οι χρήστες εκτίθενται σε συνεχώς μεταβαλλόμενες φωτεινές συνθήκες, η προσέγγιση αυτή ενδέχεται

να παρέχει περιορισμένη ή ακόμη και παραπλανητική εικόνα της πραγματικής εμπειρίας φωτισμού (Fakhari et al., 2022; Tabbah et al., 2025).

Επιπλέον, ο δείκτης δεν συνδέεται άμεσα με την οπτική άνεση ή την εμπειρία των χρηστών. Υψηλές τιμές DF μπορεί να αντιστοιχούν σε υπερφωτισμό ή αυξημένη πιθανότητα θάμβωσης, ιδιαίτερα σε χώρους με άμεση ηλιακή έκθεση, ενώ χαμηλότερες τιμές δεν συνεπάγονται απαραίτητα ανεπαρκή οπτική άνεση. Η παρατήρηση αυτή αναδεικνύει μια κρίσιμη διάκριση: η επάρκεια φωτισμού δεν ταυτίζεται με την ποιότητα του φωτεινού περιβάλλοντος. Η διάσταση αυτή έχει οδηγήσει στη σταδιακή αμφισβήτηση της αποκλειστικής χρήσης του δείκτη στη σύγχρονη πρακτική (Reinhart, 2014; Konis, 2013).

Στο κανονιστικό πλαίσιο, ο DF εξακολουθεί να χρησιμοποιείται, αν και συχνά συμπληρώνεται από πιο σύνθετες προσεγγίσεις. Το πρότυπο EN 17037 εισάγει μια ευρύτερη λογική αξιολόγησης, όπου η επάρκεια του φυσικού φωτός εξετάζεται σε συνδυασμό με τη θέα προς το εξωτερικό, την έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία και τον έλεγχο της θάμβωσης. Παρότι το πρότυπο δεν περιορίζεται στον DF, η χρήση στατικών δεικτών παραμένει χρήσιμη για λόγους συγκρισιμότητας και απλότητας εφαρμογής, ιδιαίτερα στα πρώτα στάδια του σχεδιασμού. Αντίστοιχα, στο ελληνικό πλαίσιο, η TOTEE 20701-1 ενσωματώνει τον φυσικό φωτισμό κυρίως ως παράγοντα ενεργειακής απόδοσης, χωρίς να αναπτύσσει επαρκώς την ποιοτική διάσταση της οπτικής εμπειρίας.

Συνολικά, οι στατικοί δείκτες, και ιδιαίτερα ο DF, παραμένουν χρήσιμα εργαλεία για την αρχική κατανόηση και σύγκριση του φυσικού φωτισμού σε κτίρια γραφείων. Ωστόσο, η αδυναμία τους να αποτυπώσουν τη δυναμική φύση του φυσικού φωτισμού και τις διαφοροποιήσεις της πραγματικής εμπειρίας των χρηστών καθιστά αναγκαία τη συμπλήρωσή τους από δυναμικούς δείκτες και πιο σύνθετες μεθόδους αξιολόγησης.

2.3.2 Δυναμικοί δείκτες φυσικού φωτισμού

Η αναγνώριση των περιορισμών των στατικών δεικτών οδήγησε στη σταδιακή ανάπτυξη δυναμικών μεθόδων αξιολόγησης του φυσικού φωτισμού, οι οποίες επιχειρούν να αποτυπώσουν τη χρονική μεταβλητότητα και τη ρεαλιστική λειτουργία του φυσικού φωτισμού σε κτίρια γραφείων. Σε αντίθεση με τον Daylight Factor, οι δυναμικοί δείκτες βασίζονται σε ετήσια προσομοίωση της φωτεινής συμπεριφοράς του χώρου μέσω πραγματικών ή τυποποιημένων κλιματικών δεδομένων. Με τον τρόπο αυτό

ενσωματώνουν την επίδραση της ηλιακής τροχιάς, των καιρικών συνθηκών και της διάρκειας χρήσης του χώρου, επιτρέποντας μια πιο ρεαλιστική αποτίμηση της απόδοσης του φυσικού φωτισμού (Fakhari et al., 2022; Plörer et al., 2021; Reinhart, 2014).

Οι δυναμικοί δείκτες μπορούν να διακριθούν, σε γενικές γραμμές, σε δείκτες επάρκειας φυσικού φωτισμού και σε δείκτες πιθανής οπτικής δυσφορίας ή υπερβολικής έκθεσης. Η διάκριση αυτή είναι σημαντική, καθώς αναδεικνύει ότι η αξιολόγηση του φυσικού φωτισμού δεν αφορά μόνο την ποσότητα διαθέσιμου φωτός, αλλά και τις πιθανές αρνητικές επιδράσεις της υπερβολικής ηλιακής ακτινοβολίας.

Ένας από τους βασικούς δείκτες επάρκειας είναι η αυτονομία φυσικού φωτισμού (Daylight Autonomy, DA), η οποία εκφράζει το ποσοστό του χρόνου κατά το οποίο ένα σημείο στον χώρο επιτυγχάνει προκαθορισμένο επίπεδο φωτισμού αποκλειστικά μέσω φυσικού φωτός. Η λογική του δείκτη μετατοπίζει την αξιολόγηση από τη στιγμιαία μέτρηση προς τη χρονική επάρκεια, συνδέοντας τον φυσικό φωτισμό με τη διάρκεια πραγματικής χρήσης του χώρου. Σε περιβάλλοντα γραφείων, η προσέγγιση αυτή επιτρέπει την εκτίμηση του βαθμού υποκατάστασης του τεχνητού φωτισμού κατά τη διάρκεια της ημέρας. Ωστόσο, η εξάρτησή του από ένα ενιαίο κατώφλι φωτισμού περιορίζει την ικανότητά του να αποτυπώσει πιο σύνθετες συνθήκες οπτικής άνεσης (Plörer et al., 2021).

Εξέλιξη της παραπάνω λογικής αποτελεί η χωρική αυτονομία φυσικού φωτισμού (Spatial Daylight Autonomy, sDA), η οποία εκφράζει το ποσοστό της επιφάνειας ενός χώρου που ικανοποιεί συγκεκριμένα κριτήρια επάρκειας φωτισμού για προκαθορισμένο ποσοστό του ετήσιου χρόνου χρήσης. Ο δείκτης αυτός χρησιμοποιείται ευρέως σε συστήματα πιστοποίησης, όπως το LEED, καθώς επιτρέπει συνολική αξιολόγηση της απόδοσης του «daylighting» σε χώρους γραφείων. Παρ' όλα αυτά, η ερμηνεία του εξαρτάται σημαντικά από τα επιλεγμένα όρια φωτισμού και τα χρονικά κριτήρια αναφοράς, γεγονός που περιορίζει τη συγκρισιμότητα μεταξύ διαφορετικών εφαρμογών (Tabbah et al., 2025).

Για την αξιολόγηση πιθανών συνθηκών υπερβολικής έκθεσης χρησιμοποιείται ο δείκτης ετήσιας έκθεσης σε ηλιακή ακτινοβολία (Annual Sunlight Exposure, ASE), ο οποίος εκτιμά το ποσοστό του χώρου που εκτίθεται σε υψηλά επίπεδα άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Ο δείκτης αυτός λειτουργεί συμπληρωματικά προς την sDA, εισάγοντας τη διάσταση της πιθανής οπτικής δυσφορίας και της θερμικής επιβάρυνσης. Με τον τρόπο αυτό αναδεικνύεται ένα κρίσιμο ζήτημα

στον σχεδιασμό «daylighting»: η υψηλή επάρκεια φωτισμού δεν είναι κατ' ανάγκη επιθυμητή, όταν συνοδεύεται από αυξημένη πιθανότητα θάμβωσης ή υπερθέρμανσης (Fakhari et al., 2022).

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει επίσης ο δείκτης χρήσιμου φυσικού φωτισμού (Useful Daylight Illuminance, UDI), ο οποίος επιχειρεί να αποτυπώσει το ποσοστό του χρόνου κατά το οποίο τα επίπεδα φυσικού φωτισμού βρίσκονται εντός ενός αποδεκτού εύρους τιμών. Σε αντίθεση με δείκτες που βασίζονται σε ένα μόνο κατώφλι επάρκειας, ο UDI διακρίνει μεταξύ ανεπαρκούς, αποδεκτού και υπερβολικού φωτισμού, προσεγγίζοντας πιο ρεαλιστικά τη βιωματική εμπειρία των χρηστών. Η λογική αυτή αναγνωρίζει ότι τόσο η έλλειψη όσο και η υπερβολή φωτός μπορούν να επηρεάσουν αρνητικά την οπτική άνεση. Ωστόσο, και ο δείκτης αυτός βασίζεται σε προκαθορισμένα όρια, τα οποία δεν ανταποκρίνονται απαραίτητα σε όλες τις συνθήκες χρήσης ή σε όλες τις κατηγορίες χρηστών (Fakhari et al., 2022; Reinhart, 2014).

Δείκτης	Τι μετρά
Daylight Autonomy (DA)	Χρονική επάρκεια φυσικού φωτισμού σε συγκεκριμένα σημεία του χώρου
Spatial Daylight Autonomy (sDA)	Χωρική επάρκεια φυσικού φωτισμού σε ποσοστό της επιφάνειας του χώρου
Annual Sunlight Exposure (ASE)	Ποσοστό του χώρου που εκτίθεται σε υψηλά επίπεδα άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας
Useful Daylight Illuminance (UDI)	Ποσοστό του χρόνου κατά τον οποίο τα επίπεδα φυσικού φωτισμού βρίσκονται σε χρήσιμο εύρος τιμών

Πίνακας 2.1: Σύγκριση βασικών δυναμικών δεικτών φυσικού φωτισμού.

Παρά τα σημαντικά πλεονεκτήματά τους, οι δυναμικοί δείκτες συνοδεύονται από ουσιαστικές μεθοδολογικές προκλήσεις. Η ανάγκη για εκτεταμένες προσομοιώσεις, η εξάρτηση από κλιματικά δεδομένα και οι παραδοχές που αφορούν τα επίπεδα φωτισμού, τα ωράρια χρήσης και τη συμπεριφορά των χρηστών επηρεάζουν καθοριστικά τα αποτελέσματα και περιορίζουν τη δυνατότητα άμεσης σύγκρισης μεταξύ διαφορετικών μελετών. Επιπλέον, παρά την αυξημένη πολυπλοκότητά τους, οι περισσότεροι δείκτες εξακολουθούν να εστιάζουν κυρίως στην ποσοτική επάρκεια του φωτισμού, χωρίς να ενσωματώνουν πλήρως παραμέτρους όπως η θάμβωση, οι φωτεινές αντιθέσεις και η υποκειμενική εμπειρία του χρήστη.

Στο πλαίσιο του ανθρωποκεντρικού σχεδιασμού, οι δυναμικοί δείκτες αποτελούν σημαντική εξέλιξη, καθώς συνδέουν τον φυσικό φωτισμό με τη χρονική διάσταση της ανθρώπινης δραστηριότητας και με τη λειτουργία του χώρου. Ωστόσο, η ουσιαστική αξιολόγηση του φυσικού φωτισμού σε κτίρια γραφείων δεν μπορεί να βασίζεται αποκλειστικά σε αριθμητικούς δείκτες. Η ολοκληρωμένη κατανόηση της ποιότητας του φωτεινού περιβάλλοντος προϋποθέτει συνδυασμό δυναμικών μεθόδων, αξιολόγησης οπτικής άνεσης και δεδομένων πραγματικής χρήσης, ώστε να αποτυπωθεί πληρέστερα η πολυπλοκότητα και η βιοματική διάσταση του φυσικού φωτισμού.

2.3.3 Δείκτες θάμβωσης και οπτικής άνεσης

Η αξιολόγηση του φυσικού φωτισμού στα κτίρια γραφείων δεν μπορεί να περιοριστεί αποκλειστικά στην ποσοτική επάρκεια του φωτός, καθώς η εμπειρία των χρηστών επηρεάζεται καθοριστικά από την ποιότητα του φωτεινού περιβάλλοντος και, ειδικότερα, από την παρουσία ή την απουσία θάμβωσης. Η θάμβωση αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες οπτικής δυσφορίας στους χώρους εργασίας και συνδέεται με την ύπαρξη έντονων φωτεινών πηγών ή υψηλών αντιθέσεων στο οπτικό πεδίο. Στο πλαίσιο του φυσικού φωτισμού, η θάμβωση εμφανίζεται συχνά λόγω άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας ή ανεπαρκούς ελέγχου της φωτεινότητας των ανοιγμάτων, γεγονός που μπορεί να υπονομεύσει τα πιθανά οφέλη του φυσικού φωτισμού ακόμη και σε περιπτώσεις φαινομενικά επαρκούς φωτισμού (Konis, 2013; Reinhart, 2014).

Για την ποσοτικοποίηση της θάμβωσης έχουν αναπτυχθεί διάφοροι δείκτες, με πιο διαδεδομένο στο πλαίσιο του φυσικού φωτισμού τον δείκτη πιθανότητας θάμβωσης από φυσικό φως (Daylight Glare Probability, DGP). Ο δείκτης αυτός βασίζεται σε φωτομετρική ανάλυση της σκηνής και λαμβάνει υπόψη τόσο τη φωτεινότητα των πηγών όσο και τη θέση τους στο οπτικό πεδίο του χρήστη, επιτρέποντας την εκτίμηση της πιθανότητας εμφάνισης οπτικής δυσφορίας. Σε αντίθεση με απλούστερους δείκτες, ο DGP επιχειρεί να προσεγγίσει πιο ρεαλιστικά την ανθρώπινη αντίληψη της θάμβωσης, ενσωματώνοντας τη χωρική κατανομή του φωτός και όχι μόνο την έντασή του. Παρά ταύτα, ακόμη και ο δείκτης αυτός αποτελεί μια αναπαράσταση της οπτικής εμπειρίας και όχι την ίδια την εμπειρία, γεγονός που θέτει όρια στην ερμηνεία των αποτελεσμάτων (Konis, 2013).

Παρά τη χρησιμότητά του, ο DGP παρουσιάζει σημαντικούς περιορισμούς που σχετίζονται κυρίως με την εφαρμογή του σε πραγματικά περιβάλλοντα. Η ανάγκη για λεπτομερή δεδομένα φωτεινότητας και η εξάρτηση από συγκεκριμένες θέσεις παρατήρησης καθιστούν τον υπολογισμό του απαιτητικό, ιδιαίτερα σε μεγάλης κλίμακας ή πολυλειτουργικούς χώρους γραφείων. Επιπλέον, όπως και άλλοι δείκτες οπτικής άνεσης, δεν μπορεί να αποτυπώσει πλήρως την υποκειμενική διάσταση της εμπειρίας, η οποία επηρεάζεται από ατομικές προτιμήσεις, προσαρμογή στο φως, εμπειρία χρήσης και συνθήκες εργασίας (Doulos et al., 2020). Η παρατήρηση αυτή είναι κρίσιμη, καθώς υποδηλώνει ότι ακόμη και εξελιγμένα εργαλεία αξιολόγησης δεν μπορούν να υποκαταστήσουν πλήρως την πραγματική εμπειρία του χρήστη.

Η σημασία της θάμβωσης αναγνωρίζεται και στο κανονιστικό πλαίσιο. Το πρότυπο EN 12464-1 θέτει όρια για την αποδεκτή θάμβωση σε χώρους εργασίας μέσω του δείκτη Unified Glare Rating (UGR), ο οποίος αφορά κυρίως τον τεχνητό φωτισμό, αλλά εισάγει τη βασική αρχή του περιορισμού της οπτικής δυσφορίας. Παράλληλα, το EN 17037 ενσωματώνει τη θάμβωση ως κρίσιμη παράμετρο στον σχεδιασμό φυσικού φωτισμού, τονίζοντας την ανάγκη ισορροπίας μεταξύ επάρκειας φωτός και προστασίας από υπερβολική φωτεινότητα. Η προσέγγιση αυτή αντανάκλα τη σύγχρονη κατανόηση ότι η ποιότητα του φυσικού φωτισμού δεν εξαρτάται μόνο από το πόσο φως εισέρχεται στον χώρο, αλλά και από το πώς αυτό γίνεται αντιληπτό και βιώνεται από τον χρήστη.

Ερευνητικές μελέτες σε πραγματικά περιβάλλοντα γραφείων επιβεβαιώνουν ότι η θάμβωση αποτελεί έναν από τους κύριους λόγους δυσαρέσκειας των χρηστών από το φωτεινό περιβάλλον. Σε γραφεία ανοικτής διάταξης, η ανεξέλεγκτη είσοδος ηλιακού φωτός μπορεί να οδηγήσει σε έντονες αντιθέσεις και αντανάκλασεις σε οθόνες, επηρεάζοντας αρνητικά την απόδοση και τη συγκέντρωση. Παράλληλα, η παρουσία θάμβωσης οδηγεί συχνά τους χρήστες σε παρεμβάσεις, όπως το κλείσιμο των σκιάσεων, οι οποίες, αν και βελτιώνουν προσωρινά την άνεση, μειώνουν σημαντικά την αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού και αυξάνουν την εξάρτηση από τον τεχνητό φωτισμό (Doulos et al., 2020). Η αντίφαση αυτή αναδεικνύει ένα κρίσιμο ζήτημα: η επίλυση ενός προβλήματος οπτικής άνεσης μπορεί να δημιουργεί νέα ενεργειακά ή λειτουργικά ζητήματα.

Η αλληλεπίδραση μεταξύ θάμβωσης, συμπεριφοράς χρήστη και λειτουργίας του φωτιστικού συστήματος καταδεικνύει ότι η αξιολόγηση της οπτικής άνεσης δεν μπορεί να

βασίζεται αποκλειστικά σε ποσοτικούς δείκτες. Η πραγματική εμπειρία των χρηστών διαμορφώνεται μέσα από ένα δυναμικό σύστημα αλληλεπιδράσεων, όπου η αντίληψη της δυσφορίας, οι προσαρμοστικές ενέργειες και τα χαρακτηριστικά του χώρου συνδυάζονται. Για τον λόγο αυτό, η χρήση δεικτών θάμβωσης οφείλει να συμπληρώνεται από ποιοτικές μεθόδους αξιολόγησης, όπως έρευνες χρηστών και μελέτες πεδίου, ώστε να αποτυπώνεται πληρέστερα η βιοματική διάσταση του φωτεινού περιβάλλοντος.

Συνολικά, οι δείκτες θάμβωσης και οπτικής άνεσης αποτελούν κρίσιμο συμπλήρωμα των δεικτών επάρκειας φυσικού φωτισμού, συμβάλλοντας στην κατανόηση της πραγματικής ποιότητας του «daylighting» στα κτίρια γραφείων. Η ενσωμάτωσή τους στον σχεδιασμό και στην αξιολόγηση του φωτισμού επιτρέπει μια πιο ισορροπημένη και ρεαλιστική προσέγγιση, όπου η ποσότητα και η ποιότητα του φωτός εξετάζονται συνδυαστικά, λαμβάνοντας υπόψη όχι μόνο τις τεχνικές παραμέτρους αλλά και τη βιοματική διάσταση της ανθρώπινης εμπειρίας.

2.4 Προκλήσεις και περιορισμοί εφαρμογής του φυσικού φωτισμού σε κτίρια γραφείων

Παρά τα αναγνωρισμένα πλεονεκτήματα του φυσικού φωτισμού στον ανθρωποκεντρικό σχεδιασμό γραφείων, η εφαρμογή στρατηγικών φυσικού φωτισμού στην πράξη συνοδεύεται από σημαντικές προκλήσεις. Οι προκλήσεις αυτές δεν περιορίζονται στον αρχιτεκτονικό ή τεχνικό σχεδιασμό, αλλά συνδέονται με τη λειτουργία του κτιρίου, τη συμπεριφορά των χρηστών, τις ενεργειακές απαιτήσεις και τη μεταβαλλόμενη φύση του ίδιου του φωτός. Η κατανόησή τους είναι κρίσιμη, καθώς αποτρέπει υπεραπλουστευμένες προσεγγίσεις που αντιμετωπίζουν τον φυσικό φωτισμό ως καθολική λύση για τη βελτίωση της ποιότητας του εσωτερικού περιβάλλοντος (Doulos et al., 2020; Plörer et al., 2021). Στο πλαίσιο αυτό, ο φυσικός φωτισμός αντιμετωπίζεται πλέον ως παράμετρος βασισμένη στην πραγματική απόδοση, η οποία δεν μπορεί να αξιολογηθεί ανεξάρτητα από τις πραγματικές συνθήκες χρήσης και λειτουργίας του χώρου.

Ένας από τους βασικούς περιορισμούς του φυσικού φωτισμού στα γραφεία αφορά τη χωρική ανομοιογένεια της φωτεινής κατανομής. Σε κτίρια με πλευρικό φωτισμό, η ένταση και η ποιότητα του φυσικού φωτός μειώνονται σημαντικά με την απόσταση από τα ανοίγματα, δημιουργώντας ζώνες με διαφοροποιημένες συνθήκες φωτισμού. Το φαινόμενο αυτό είναι ιδιαίτερα έντονο σε γραφεία ανοικτής διάταξης, όπου μεγάλος

αριθμός χρηστών μοιράζεται ενιαίο χώρο χωρίς ισότιμη πρόσβαση στο φυσικό φως. Η διαφοροποίηση αυτή επηρεάζει όχι μόνο την επάρκεια φωτισμού, αλλά και την αντιληπτή άνεση και ικανοποίηση, επιβεβαιώνοντας ότι η ποιότητα του daylighting δεν μπορεί να αξιολογηθεί αποκλειστικά με γεωμετρικά ή φωτομετρικά κριτήρια (Konis, 2013; Fakhari et al., 2022).

Ένα δεύτερο κρίσιμο ζήτημα αφορά τον έλεγχο της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας και της θάμβωσης. Παρότι το φυσικό φως συνδέεται συχνά με θετικές αντιλήψεις για την ποιότητα του χώρου, η ανεξέλεγκτη είσοδος ηλιακής ακτινοβολίας μπορεί να προκαλέσει έντονη οπτική δυσφορία, αυξημένη καταπόνηση των οφθαλμών και υποβάθμιση της οπτικής απόδοσης, ιδιαίτερα σε περιβάλλοντα με χρήση οθονών. Στην πράξη, οι χρήστες αντιδρούν συχνά κλείνοντας πλήρως τα συστήματα σκίασης, περιορίζοντας σημαντικά την αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού. Μελέτες πεδίου δείχνουν ότι η πραγματική χρήση των σκιάσεων αποκλίνει συστηματικά από τις σχεδιαστικές παραδοχές, αναδεικνύοντας τον κρίσιμο ρόλο της ανθρώπινης συμπεριφοράς στη διαμόρφωση του τελικού φωτεινού περιβάλλοντος (Doulos et al., 2020; Gao et al., 2025).

Η χρονική μεταβλητότητα του φυσικού φωτισμού αποτελεί ταυτόχρονα πλεονέκτημα και περιορισμό. Από τη μία πλευρά, η δυναμική εξέλιξη του φυσικού φωτισμού ενισχύει τη φυσικότητα και τη ζωντάνια του χώρου. Από την άλλη, οι συνεχείς μεταβολές της έντασης και της κατεύθυνσης του φωτός δυσχεραίνουν τη διατήρηση σταθερών συνθηκών οπτικής άνεσης, ιδιαίτερα σε χώρους γραφείων με υψηλές απαιτήσεις συγκέντρωσης. Η ανάγκη συνεχούς προσαρμογής - είτε μέσω σκίασης είτε μέσω συμπληρωματικού τεχνητού φωτισμού - αυξάνει τη λειτουργική πολυπλοκότητα του συστήματος φωτισμού (Konis, 2013; Plörer et al., 2021).

Ιδιαίτερη σημασία έχει και η σχέση μεταξύ φυσικού φωτισμού και ενεργειακής απόδοσης. Αν και η αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού μπορεί να μειώσει την κατανάλωση ενέργειας για τεχνητό φωτισμό, η αυξημένη ηλιακή ακτινοβολία ενδέχεται να οδηγήσει σε ανεπιθύμητα θερμικά φορτία, κυρίως σε κτίρια με εκτεταμένες υαλοστάσεις ή σε θερμά κλίματα. Η αυξημένη ανάγκη για ψύξη μπορεί να αντισταθμίσει ή ακόμη και να υπερκεράσει τα ενεργειακά οφέλη που προκύπτουν από τη μείωση του τεχνητού φωτισμού. Για τον λόγο αυτό, η παραδοχή ότι η αύξηση του φυσικού φωτισμού οδηγεί αυτόματα σε ενεργειακά οφέλη έχει αμφισβητηθεί στη σύγχρονη βιβλιογραφία, ιδιαίτερα σε κτίρια με υψηλό λόγο υαλοστασίων (window-to-wall ratio, WWR) (Safranek et al.,

2020; Plöner et al., 2021). Συνεπώς, η αξιολόγησή του οφείλει να εντάσσεται σε ένα συνολικό πλαίσιο ενεργειακής και περιβαλλοντικής ανάλυσης του κτιρίου.

Περαιτέρω περιορισμοί σχετίζονται με τη διαφοροποίηση των χρηστών και των δραστηριοτήτων. Οι ανάγκες φωτισμού δεν είναι ομοιογενείς, αλλά εξαρτώνται από το είδος της εργασίας, την ηλικία, τις οπτικές ικανότητες και τις προσωπικές προτιμήσεις των εργαζομένων. Στρατηγικές φυσικού φωτισμού που βασίζονται σε μέσες τιμές ενδέχεται να μην ανταποκρίνονται επαρκώς σε αυτή την ποικιλία, γεγονός που ενισχύει την ανάγκη για προσαρμοστικά και υβριδικά συστήματα φωτισμού, ικανά να ανταποκρίνονται σε διαφορετικές απαιτήσεις χρήσης (Aliparast & Onaygil, 2024).

Τέλος, η αξιολόγηση της απόδοσης του φυσικού φωτισμού παρουσιάζει σημαντικές μεθοδολογικές δυσκολίες. Η χρήση διαφορετικών δεικτών, παραδοχών και χρονικών πλαισίων στη βιβλιογραφία δυσχεραίνει τη συγκρισιμότητα των αποτελεσμάτων και την εξαγωγή γενικεύσιμων συμπερασμάτων. Κανένας μεμονωμένος δείκτης δεν επαρκεί για την πλήρη αποτύπωση της απόδοσης του φυσικού φωτισμού, καθώς κάθε μέθοδος εξετάζει μόνο μία πτυχή του φαινομένου. Για τον λόγο αυτό, απαιτείται συνδυαστική χρήση ποσοτικών και ποιοτικών προσεγγίσεων, ώστε η αξιολόγηση να περιλαμβάνει όχι μόνο μετρήσιμα μεγέθη αλλά και τη βιωματική εμπειρία των χρηστών. Η πολυπλοκότητα αυτή αναδεικνύει την ανάγκη για πιο ενοποιημένα πλαίσια αξιολόγησης, τα οποία να γεφυρώνουν την απόσταση μεταξύ υπολογιστικών μοντέλων και πραγματικής χρήσης (Fakhari et al., 2022; Tabbah et al., 2025).

Συνολικά, οι προκλήσεις και οι περιορισμοί του φυσικού φωτισμού καταδεικνύουν ότι το daylighting δεν αποτελεί αυτόνομη ή αυτόρρη σχεδιαστική στρατηγική, αλλά μέρος ενός σύνθετου και δυναμικού συστήματος, όπου αλληλεπιδρούν η οπτική άνεση, η ενεργειακή απόδοση, ο αρχιτεκτονικός σχεδιασμός και η ανθρώπινη συμπεριφορά. Υπό αυτή την οπτική, η αποτελεσματική αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού δεν εξαρτάται από τη μεγιστοποίηση της εισόδου φωτός, αλλά από την ισορροπημένη διαχείριση οπτικών, ενεργειακών και λειτουργικών απαιτήσεων. Η μετάβαση προς ολοκληρωμένες και υβριδικές στρατηγικές φωτισμού αποτελεί, συνεπώς, αναγκαία συνθήκη για τη βιώσιμη και ανθρωποκεντρική λειτουργία των σύγχρονων γραφειακών χώρων.

Πλεονεκτήματα φυσικού φωτισμού (Daylighting)	Περιορισμοί και προκλήσεις εφαρμογής
Βελτίωση οπτικής άνεσης και ποιότητας φωτεινού περιβάλλοντος, όταν επιτυγχάνεται ομοιόμορφη κατανομή φωτός	Χωρική ανομοιογένεια φωτισμού, ιδιαίτερα σε μεγάλα βάθη χώρου ή open-plan γραφεία (Konis K., 2013)
Σύνδεση με τον εξωτερικό χώρο και ενίσχυση της αντιληπτής ποιότητας και φυσικότητας του περιβάλλοντος	Αυξημένος κίνδυνος θάμβωσης λόγω άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας και έντονων φωτεινών αντιθέσεων (Doulos et al., 2020)
Δυναμική μεταβολή φωτισμού που συμβάλλει σε πιο ζωντανά και λιγότερο μονοτονικά περιβάλλοντα	Δυσκολία διατήρησης σταθερών συνθηκών άνεσης λόγω χρονικής μεταβλητότητας φωτισμού (Plörrer et al., 2021)
Δυνατότητα μείωσης χρήσης τεχνητού φωτισμού και εξοικονόμησης ενέργειας	Ενδεχόμενη αύξηση θερμικών φορτίων και ενεργειακών απαιτήσεων ψύξης (Safranek et al., 2020)
Υποστήριξη ανθρωποκεντρικών στρατηγικών μέσω της φυσικής χρονικότητας του φωτός	Ανάγκη συνεχούς προσαρμογής μέσω σκίασης, ελέγχου φωτισμού ή συμπληρωματικού τεχνητού φωτισμού
Θετική συμβολή στην αντιληπτή ικανοποίηση και εμπειρία χρήσης του χώρου	Απόκλιση μεταξύ σχεδιαστικών παραδοχών και πραγματικής χρήσης συστημάτων σκίασης (Doulos et al., 2020)
Συμβολή σε υβριδικές στρατηγικές φωτισμού	Δυσκολία ενσωμάτωσης σε ενιαία στρατηγική με τεχνητό φωτισμό χωρίς κατάλληλα συστήματα ελέγχου (Fakhari et al., 2022)
Δυνατότητα ενίσχυσης βιωσιμότητας και περιβαλλοντικής απόδοσης	Περιορισμένη συγκρισιμότητα αξιολόγησης λόγω διαφορετικών δεικτών και μεθοδολογιών (Tabbah et al., 2025)
Προσαρμοστικότητα σε διαφορετικά αρχιτεκτονικά σενάρια μέσω σχεδιασμού κελύφους	Εξάρτηση από προσανατολισμό, γεωμετρία, κλιματικές συνθήκες και συμπεριφορά χρηστών

Πίνακας 2.2: Συγκριτική παρουσίαση βασικών πλεονεκτημάτων και περιορισμών του φυσικού φωτισμού σε κτίρια γραφείων.

2.5 Σύνθεση και κριτική αποτίμηση του φυσικού φωτισμού σε κτίρια γραφείων

Η συνθετική αποτίμηση της βιβλιογραφίας καταδεικνύει ότι ο φυσικός φωτισμός αποτελεί μία από τις σημαντικότερες αλλά και πιο σύνθετες παραμέτρους του σχεδιασμού γραφειακών κτιρίων. Η αξία του δεν έγκειται αποκλειστικά στη διαθεσιμότητα ή στην ποσότητα του εισερχόμενου φωτός, αλλά κυρίως στον τρόπο με τον οποίο ενσωματώνεται, ελέγχεται και προσαρμόζεται στις πραγματικές συνθήκες χρήσης. Αν και η συμβολή του στην ποιότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος είναι ευρέως τεκμηριωμένη, η πραγματική του απόδοση προκύπτει μέσα από μια δυναμική ισορροπία μεταξύ

επάρκειας φωτισμού, οπτικής άνεσης, ενεργειακής συμπεριφοράς και ανθρώπινης εμπειρίας (Konis, 2013; Doulos et al., 2020).

Η βιβλιογραφία αναδεικνύει, ωστόσο, μια σαφή απόκλιση μεταξύ θεωρητικών προσεγγίσεων και πραγματικών συνθηκών λειτουργίας. Πολλές στρατηγικές σχεδιασμού και οι σχετικοί δείκτες βασίζονται σε παραδοχές σταθερής ή ορθολογικής χρήσης, οι οποίες σπάνια επαληθεύονται στην πράξη. Η ενεργή παρέμβαση των χρηστών - ιδίως μέσω της λειτουργίας των συστημάτων σκίασης - μεταβάλλει σημαντικά τις συνθήκες φωτισμού και οδηγεί συχνά σε περιβάλλοντα που αποκλίνουν από τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων (Doulos et al., 2020; Gao et al., 2025). Η διαπίστωση αυτή δεν αποτελεί μόνο λειτουργικό ζήτημα, αλλά θέτει υπό αμφισβήτηση την επάρκεια μεθοδολογιών αξιολόγησης που βασίζονται αποκλειστικά σε θεωρητικά ή υπολογιστικά μοντέλα.

Παράλληλα, η εκτεταμένη χρήση δεικτών φυσικού φωτισμού, τόσο στατικών όσο και δυναμικών, δημιουργεί συχνά την εντύπωση ότι η ποιότητα του φωτεινού περιβάλλοντος μπορεί να περιγραφεί πλήρως μέσω ποσοτικών μεγεθών. Στην πραγματικότητα, οι δείκτες αυτοί αποτυπώνουν επιμέρους πτυχές του φυσικού φωτισμού και όχι τη συνολική εμπειρία του χώρου. Η έμφαση σε τιμές-στόχους και κατώφλια επάρκειας ενδέχεται να οδηγήσει σε σχεδιαστικές επιλογές που ικανοποιούν αριθμητικά κριτήρια χωρίς να εξασφαλίζουν αντίστοιχη ποιότητα για τους χρήστες. Υπό αυτή την έννοια, η υπερεξάρτηση από μετρικές αξιολόγησης μπορεί να λειτουργήσει περιοριστικά, όταν δεν συνοδεύεται από κριτική ερμηνεία των αποτελεσμάτων και κατανόηση του πραγματικού πλαισίου χρήσης (Fakhari et al., 2022; Tabbah et al., 2025).

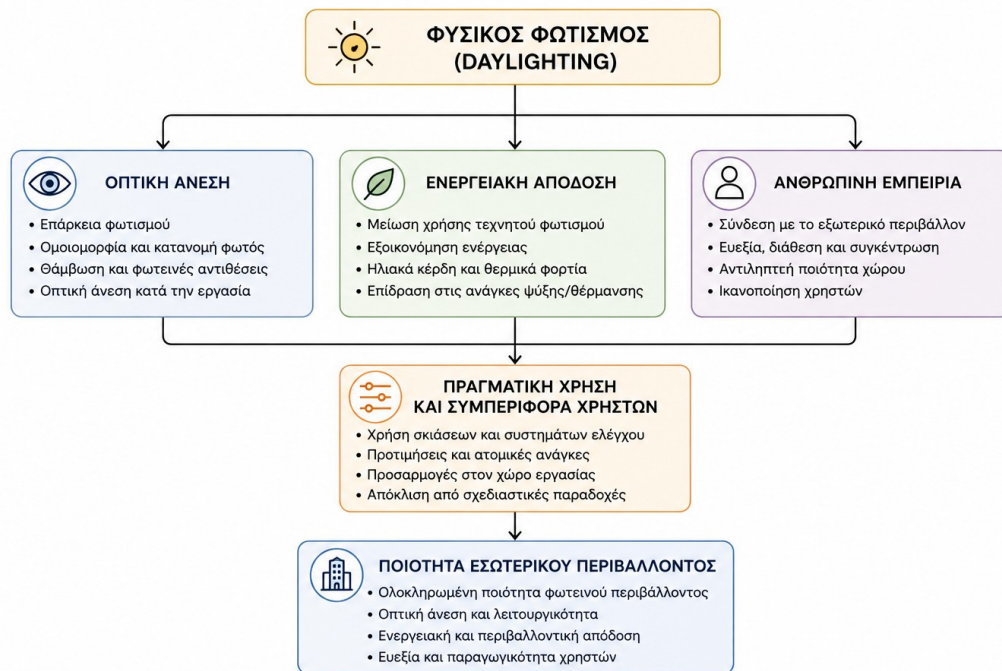
Εξίσου σημαντική είναι και η σχέση μεταξύ φυσικού φωτισμού και ενεργειακής απόδοσης, η οποία δεν είναι γραμμική ούτε μονοσήμαντη. Παρότι η αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού μπορεί να μειώσει την ανάγκη για τεχνητό φωτισμό, η αυξημένη ηλιακή ακτινοβολία ενδέχεται να επιβαρύνει σημαντικά το θερμικό ισοζύγιο του κτιρίου, ιδιαίτερα σε σύγχρονες κατασκευές με εκτεταμένες υάλινες επιφάνειες. Η αντίφαση αυτή αναδεικνύει ότι ο φυσικός φωτισμός δεν μπορεί να αξιολογείται απομονωμένα, αλλά μόνο στο πλαίσιο μιας συνολικής στρατηγικής που λαμβάνει υπόψη τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ φωτισμού, θερμικής συμπεριφοράς, κατανάλωσης ενέργειας και χρήσης του χώρου (Safranek et al., 2020; Plörrer et al., 2021).

Επιπλέον, η έννοια της «βέλτιστης» λύσης φυσικού φωτισμού αποδεικνύεται ιδιαίτερα σχετική και συμφραζόμενη. Οι διαφοροποιήσεις μεταξύ χρηστών, δραστηριοτήτων και χωρικών συνθηκών καθιστούν δύσκολη την εφαρμογή ενιαίων κριτηρίων σχεδιασμού. Προσεγγίσεις που βασίζονται σε μέσες τιμές ή τυποποιημένες συνθήκες συχνά αγνοούν τη μεταβλητότητα της πραγματικής χρήσης και ενδέχεται να οδηγούν σε μερικώς ανεπαρκή ή μη ισορροπημένα αποτελέσματα. Το ζήτημα αυτό αποκτά ιδιαίτερη σημασία σε περιβάλλοντα γραφείων, όπου η οπτική άνεση συνδέεται άμεσα με τη συγκέντρωση, την απόδοση και τη συνολική εμπειρία των εργαζομένων.

Υπό το πρίσμα των παραπάνω, ο φυσικός φωτισμός αναδεικνύεται ως αναγκαία αλλά όχι επαρκής συνιστώσα του φωτιστικού σχεδιασμού. Η αποτελεσματική αξιοποίησή του προϋποθέτει τη συνύπαρξή του με συστήματα ελέγχου, στρατηγικές σκίασης και συμπληρωματικό τεχνητό φωτισμό. Στο πλαίσιο αυτό, η έννοια του ολοκληρωμένου ή υβριδικού φωτισμού αποκτά ιδιαίτερη σημασία, καθώς επιχειρεί να γεφυρώσει το χάσμα μεταξύ της μεταβλητότητας του φυσικού φωτός και της ανάγκης για σταθερές και λειτουργικά αποδεκτές συνθήκες εργασίας (Doulos et al., 2020; Fakhari et al., 2022).

Συνολικά, η κριτική αποτίμηση του φυσικού φωτισμού καταδεικνύει ότι η αξία του δεν έγκειται μόνο στα εγγενή χαρακτηριστικά του, αλλά κυρίως στον τρόπο με τον οποίο ενσωματώνεται στον σχεδιασμό και στη λειτουργία του κτιρίου. Η αποφυγή απλουστευτικών προσεγγίσεων και η υιοθέτηση συνθετικών, ανθρωποκεντρικών στρατηγικών αποτελούν βασική προϋπόθεση για την αποτελεσματική αξιοποίησή του στα σύγχρονα περιβάλλοντα γραφείων. Υπό αυτή την οπτική, ο τεχνητός φωτισμός δεν αντιμετωπίζεται ως υποκατάστατο του φυσικού, αλλά ως αναγκαίο συμπλήρωμα που μπορεί να εξισορροπήσει τις αδυναμίες του «daylighting» και να συμβάλει στη δημιουργία πιο σταθερών, προσαρμοστικών και ποιοτικών φωτιστικών περιβαλλόντων.

Η παραπάνω αποτίμηση αναδεικνύει ότι ο φυσικός φωτισμός δεν μπορεί να αντιμετωπιστεί ως αυτόνομη ή αυτάρκης στρατηγική σχεδιασμού, αλλά ως μέρος ενός ευρύτερου και δυναμικού συστήματος φωτισμού. Η διαπίστωση αυτή οδηγεί αναπόφευκτα στη διερεύνηση του ρόλου του τεχνητού φωτισμού και, ειδικότερα, των σύγχρονων ανθρωποκεντρικών προσεγγίσεων φωτισμού, οι οποίες επιχειρούν να συνδυάσουν την τεχνολογική προσαρμοστικότητα με τις ανάγκες, τις προτιμήσεις και την εμπειρία των χρηστών σε ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο σχεδιασμού και αξιολόγησης.



Σχήμα 2.2: Εννοιολογική αποτύπωση της σχέσης μεταξύ φυσικού φωτισμού, ενεργειακής απόδοσης, οπτικής άνεσης και ανθρώπινης εμπειρίας σε περιβάλλοντα γραφείων (προσαρμοσμένο από Konis, 2013; Doulos et al., 2020; Plörrer et al., 2021).

3. Τεχνητός φωτισμός και ανθρωποκεντρικές προσεγγίσεις σε κτίρια γραφείων

Η κριτική αποτίμηση του φυσικού φωτισμού ανέδειξε ότι, παρά τη σημαντική συμβολή του στην ποιότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος, η εγγενής μεταβλητότητα και οι περιορισμοί του καθιστούν αναγκαία τη συμπληρωματική λειτουργία του τεχνητού φωτισμού στα σύγχρονα κτίρια γραφείων. Ο τεχνητός φωτισμός δεν περιορίζεται πλέον στην κάλυψη βασικών απαιτήσεων ορατότητας, αλλά εξελίσσεται σε δυναμικό μέσο διαμόρφωσης της οπτικής άνεσης, της λειτουργικότητας του χώρου, της ενεργειακής απόδοσης και της συνολικής εμπειρίας των χρηστών. Η μετάβαση από τις παραδοσιακές στατικές φωτιστικές εγκαταστάσεις προς περισσότερο ευέλικτα και προσαρμοστικά συστήματα αντανακλά ευρύτερες αλλαγές στον τρόπο με τον οποίο προσεγγίζεται η σχέση μεταξύ φωτισμού, χρήστη και εργασιακού περιβάλλοντος.

Παράλληλα, η πρόοδος των τεχνολογιών φωτισμού και η αυξανόμενη έμφαση στην ανθρώπινη ευεξία έχουν οδηγήσει στην ανάπτυξη ανθρωποκεντρικών προσεγγίσεων φωτισμού, οι οποίες επιχειρούν να διεκδικούν το πεδίο αξιολόγησης πέρα από τις

συμβατικές φωτομετρικές παραμέτρους. Στο πλαίσιο αυτό, ο φωτισμός προσεγγίζεται όχι μόνο ως τεχνική υποδομή που εξυπηρετεί οπτικές ανάγκες, αλλά και ως περιβαλλοντικός παράγοντας που επηρεάζει βιολογικές, ψυχολογικές και συμπεριφορικές διαστάσεις της ανθρώπινης εμπειρίας.

Υπό το πρίσμα των παραπάνω, το παρόν κεφάλαιο εξετάζει τον ρόλο του τεχνητού φωτισμού στα σύγχρονα γραφειακά περιβάλλοντα, τις τεχνολογικές και σχεδιαστικές αρχές που διέπουν τις ανθρωποκεντρικές προσεγγίσεις φωτισμού, καθώς και τις δυνατότητες και τους περιορισμούς εφαρμογής τους στην πράξη. Η ανάλυση εστιάζει ιδιαίτερα στη σχέση μεταξύ τεχνολογικής προσαρμοστικότητας, ανθρώπινης εμπειρίας και πραγματικών συνθηκών χρήσης, αναδεικνύοντας τις προκλήσεις που συνοδεύουν τη μετάβαση προς πιο ολοκληρωμένα και ανθρωποκεντρικά μοντέλα φωτιστικού σχεδιασμού.

3.1 Ο ρόλος του τεχνητού φωτισμού στο σύγχρονο περιβάλλον γραφείων

Η εξέλιξη των σύγχρονων γραφειακών περιβαλλόντων έχει μεταβάλει ουσιαστικά τον ρόλο του τεχνητού φωτισμού στον σχεδιασμό και τη λειτουργία των κτιρίων. Ο τεχνητός φωτισμός δεν αντιμετωπίζεται πλέον ως απλή τεχνική υποδομή εξασφάλισης ορατότητας, αλλά ως βασικό μέσο διαμόρφωσης της λειτουργικότητας, της οπτικής άνεσης και της συνολικής ποιότητας του εργασιακού περιβάλλοντος. Ο ρόλος του έχει μετατοπιστεί από την κάλυψη ελάχιστων φωτομετρικών απαιτήσεων προς μια περισσότερο ανθρωποκεντρική προσέγγιση, όπου ο φωτισμός συμμετέχει ενεργά στη διαμόρφωση της εμπειρίας των χρηστών και της αντιληπτής ποιότητας του χώρου (Altomonte et al., 2024; Kim & Lee, 2024). Η μετατόπιση αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική στα σύγχρονα γραφεία, όπου οι δραστηριότητες δεν είναι ενιαίες ή σταθερές, αλλά περιλαμβάνουν εργασία σε οθόνες, τηλεδιασκέψεις, συνεργατικές διαδικασίες, συναντήσεις και εργασίες υψηλής συγκέντρωσης (SLL, 2022).

Η σημασία του τεχνητού φωτισμού ενισχύεται από το γεγονός ότι ο φυσικός φωτισμός, παρά τα πλεονεκτήματά του, δεν μπορεί να διασφαλίσει από μόνος του σταθερές και ισόρροπες συνθήκες εργασίας σε όλη τη διάρκεια της ημέρας. Η μεταβλητότητα του «daylighting», η άνιση χωρική κατανομή του και η πιθανότητα εμφάνισης θάμβωσης καθιστούν αναγκαία τη συμπληρωματική λειτουργία του τεχνητού φωτισμού, ιδιαίτερα σε βαθιές κατόψεις, open-plan διατάξεις και χώρους με διαφοροποιημένες απαιτήσεις χρήσης

(Doulos et al., 2020; Plörrer et al., 2021; Fakhari et al., 2022). Υπό αυτή την έννοια, ο τεχνητός φωτισμός δεν λειτουργεί ως υποκατάστατο του φυσικού, αλλά ως μηχανισμός εξισορρόπησης των περιορισμών του, διασφαλίζοντας ελεγχόμενες και προσαρμόσιμες φωτιστικές συνθήκες.

Η σύγχρονη βιβλιογραφία υπογραμμίζει ότι η ποιότητα του φωτεινού περιβάλλοντος δεν αποτιμάται μόνο μέσω της έντασης φωτισμού, αλλά και μέσω παραμέτρων όπως η κατανομή της φωτεινότητας, η θάμβωση, η ομοιομορφία, η αντιληπτή φυσικότητα και η δυνατότητα προσαρμογής στις ανάγκες των χρηστών (Kim & Lee, 2024; Kim et al., 2025). Το στοιχείο αυτό επιβεβαιώνεται και από τεχνικές οδηγίες φωτισμού γραφείων, οι οποίες τονίζουν ότι ο σχεδιασμός πρέπει να ξεκινά από την κατανόηση της χρήσης του χώρου, των οπτικών εργασιών, της παρουσίας οθονών, των απαιτήσεων συγκέντρωσης και του τρόπου ελέγχου του φωτισμού (SLL, 2022). Επομένως, η ποιότητα του τεχνητού φωτισμού δεν εξαρτάται αποκλειστικά από την επίτευξη προκαθορισμένων τιμών, αλλά από τον βαθμό στον οποίο το φωτιστικό σύστημα ανταποκρίνεται στις πραγματικές συνθήκες χρήσης του χώρου.

Η τεχνολογική εξέλιξη, και ιδιαίτερα η διάδοση των LED, έχει διευρύνει σημαντικά τις δυνατότητες σχεδιασμού του τεχνητού φωτισμού. Τα σύγχρονα συστήματα επιτρέπουν ρύθμιση της έντασης, της κατανομής και, σε ορισμένες περιπτώσεις, της φασματικής σύνθεσης του φωτός, δημιουργώντας προϋποθέσεις για δυναμικές και προσαρμοστικές στρατηγικές φωτισμού (Doulos et al., 2020; Safranek et al., 2020). Ωστόσο, η ύπαρξη τεχνολογικών δυνατοτήτων δεν συνεπάγεται αυτόματα βελτιωμένη εμπειρία χρήστη. Η αυξημένη πολυπλοκότητα των συστημάτων ελέγχου ή η έλλειψη σαφούς και κατανοητής λειτουργίας μπορεί να οδηγήσει σε μειωμένη αποδοχή των συστημάτων και σε περιορισμένη αξιοποίηση των δυνατοτήτων τους από τους χρήστες (Hammes et al., 2024). Η παρατήρηση αυτή υποδεικνύει ότι η τεχνολογική πρόοδος δεν ταυτίζεται απαραίτητα με τη βελτίωση της ποιότητας του φωτιστικού περιβάλλοντος, καθώς η αποτελεσματικότητα των συστημάτων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον τρόπο χρήσης, διαχείρισης και αποδοχής τους από τους τελικούς χρήστες.

Στο σημείο αυτό αποκτά ιδιαίτερη σημασία η διάκριση μεταξύ τεχνικής απόδοσης και βιωματικής ποιότητας. Ένα σύστημα μπορεί να είναι ενεργειακά αποδοτικό ή τεχνολογικά εξελιγμένο, χωρίς απαραίτητα να υποστηρίζει ουσιαστικά την άνεση και την καθημερινή εμπειρία των χρηστών. Αντίστοιχα, ένα φωτιστικό περιβάλλον που ικανοποιεί τις βασικές

κανονιστικές απαιτήσεις μπορεί να αποδειχθεί ανεπαρκές, όταν δεν λαμβάνει υπόψη τη χρήση οθονών, τις φωτεινές αντιθέσεις, τις διαφορετικές οπτικές ανάγκες και τις προτιμήσεις των εργαζομένων (Kim et al., 2025; Zeng et al., 2025). Η παρατήρηση αυτή αναδεικνύει ότι ο τεχνητός φωτισμός πρέπει να αξιολογείται όχι μόνο ως τεχνική εγκατάσταση, αλλά ως στοιχείο της καθημερινής εμπειρίας και λειτουργίας του γραφειακού χώρου.

Παράλληλα, ο τεχνητός φωτισμός συνδέεται άμεσα με την υγεία και την εργασιακή εμπειρία, χωρίς όμως να μπορεί να θεωρηθεί αυτόνομος παράγοντας βελτίωσής τους. Το licht.wissen 04 διακρίνει την ποιότητα του φωτισμού σε οπτική, συναισθηματική και βιολογική διάσταση, επισημαίνοντας ότι ο φωτισμός επηρεάζει όχι μόνο την ορατότητα, αλλά και την ατμόσφαιρα και τους βιολογικούς ρυθμούς (licht.de, 2012). Η προσέγγιση αυτή συνδέεται με τη σύγχρονη βιβλιογραφία για το IEQ, σύμφωνα με την οποία η άνεση και η ικανοποίηση των χρηστών προκύπτουν από τη συνδυαστική επίδραση πολλών περιβαλλοντικών παραμέτρων και όχι από μία μεμονωμένη συνιστώσα (Altomonte et al., 2024).

Ιδιαίτερη σημασία έχει επίσης η σχέση του τεχνητού φωτισμού με την ενεργειακή απόδοση. Τα συστήματα φωτισμού αποτελούν σημαντικό πεδίο κατανάλωσης ενέργειας στα γραφεία, ενώ στρατηγικές που στοχεύουν στη βελτίωση της εμπειρίας των χρηστών μπορεί να έρθουν σε ένταση με στόχους εξοικονόμησης, εάν δεν σχεδιαστούν ολιστικά (Safranek et al., 2020). Η ενσωμάτωση αισθητήρων παρουσίας, «daylight linking», «dimming» και αυτοματισμών μπορεί να συμβάλει στη μείωση της κατανάλωσης και στη βελτίωση της λειτουργίας του συστήματος, υπό την προϋπόθεση ότι ο έλεγχος παραμένει κατανοητός και συμβατός με τις ανάγκες των χρηστών (SLL, 2022; licht.de, 2012; Hammes et al., 2024).

Η σύγχρονη προσέγγιση στον τεχνητό φωτισμό απαιτεί τη συνδυαστική κατανόηση τεχνολογίας, χρήσης, συμπεριφοράς και ενεργειακής λειτουργίας. Η συνεργασία φυσικού και τεχνητού φωτισμού αποτελεί κρίσιμη παράμετρο για τη διαμόρφωση σταθερών και ποιοτικών συνθηκών, ιδιαίτερα σε χώρους όπου το «daylighting» παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις (Plörrer et al., 2021; Fakhari et al., 2022). Η λογική αυτή μετατοπίζει τον σχεδιασμό από τη μεμονωμένη επιλογή φωτιστικών σωμάτων προς ένα ολοκληρωμένο σύστημα φωτισμού, στο οποίο η τεχνική απόδοση, η ανθρώπινη εμπειρία και η ενεργειακή συμπεριφορά συνεξετάζονται.

Συνολικά, ο τεχνητός φωτισμός στο σύγχρονο περιβάλλον γραφείων συνιστά ενεργό και πολυδιάστατο στοιχείο του σχεδιασμού, το οποίο συμπληρώνει τον φυσικό φωτισμό, υποστηρίζει την οπτική εργασία και συμβάλλει στη διαμόρφωση συνθηκών άνεσης και λειτουργικότητας. Η αξία του δεν βρίσκεται αποκλειστικά στις τεχνολογικές του δυνατότητες, αλλά στον τρόπο με τον οποίο αυτές εντάσσονται σε συνεκτικές, προσαρμοστικές και ανθρωποκεντρικές στρατηγικές φωτισμού. Υπό αυτή την οπτική, το επόμενο βήμα αφορά την εξέταση των αρχών και των ορίων των στρατηγικών ανθρωποκεντρικού φωτισμού στα κτίρια γραφείων, ως πλαισίου που επιχειρεί να συνδέσει τον φωτισμό με τις βιολογικές, ψυχολογικές και λειτουργικές διαστάσεις της εργασιακής εμπειρίας.

3.2 Τεχνολογική εξέλιξη του τεχνητού φωτισμού: LED, δυναμικός φωτισμός και δυνατότητες ελέγχου

Η τεχνολογική εξέλιξη του τεχνητού φωτισμού έχει μετασχηματίσει ουσιαστικά τον τρόπο με τον οποίο σχεδιάζονται, λειτουργούν και αξιολογούνται τα φωτιστικά συστήματα στα σύγχρονα κτίρια γραφείων. Η μετάβαση από συμβατικές πηγές φωτισμού σε συστήματα βασισμένα στην τεχνολογία LED δεν συνιστά απλώς τεχνολογική αναβάθμιση, αλλά αλλαγή παραδείγματος στον σχεδιασμό φωτισμού. Η μετάβαση αυτή επέτρεψε την απομάκρυνση από στατικές, προκαθορισμένες συνθήκες λειτουργίας και τη στροφή προς προσεγγίσεις που βασίζονται στον έλεγχο, τη μεταβλητότητα και την προσαρμογή σε πραγματικό χρόνο (Doulos et al., 2020; Plörer et al., 2021). Η μεταβολή αυτή δεν αφορά μόνο τα τεχνικά χαρακτηριστικά των φωτιστικών συστημάτων, αλλά και τον ίδιο τον σχεδιαστικό τους ρόλο, ο οποίος μετατοπίζεται από την παθητική παροχή φωτός προς τη δυναμική διαχείριση του φωτεινού περιβάλλοντος.

Η τεχνολογία LED αποτελεί τον βασικό πυρήνα αυτής της εξέλιξης, καθώς προσφέρει υψηλή ενεργειακή αποδοτικότητα, αυξημένη διάρκεια ζωής και, κυρίως, δυνατότητα ακριβούς ελέγχου της έντασης και της κατανομής του φωτός. Σε αντίθεση με τις παραδοσιακές πηγές, τα LED επιτρέπουν συνεχή ρύθμιση (dimming), χωρική διαφοροποίηση μέσω ζωνοποίησης (zoning) και ενσωμάτωση σε συστήματα αυτοματισμού, δημιουργώντας τις προϋποθέσεις για πιο ευέλικτες και προσαρμοστικές στρατηγικές φωτισμού (Safraneck et al., 2020). Ωστόσο, η ύπαρξη τεχνολογικής δυνατότητας δεν συνεπάγεται αυτομάτως και βελτιωμένη ποιότητα φωτισμού. Μελέτες

πεδίου δείχνουν ότι οι χρήστες δεν αντιλαμβάνονται απαραίτητα τις τεχνικές δυνατότητες ως ουσιαστική βελτίωση της άνεσης, ιδιαίτερα όταν αυτές δεν συνοδεύονται από σαφή λειτουργική λογική ή δυνατότητα κατανοητού ελέγχου (Aliparast & Onaygil, 2024). Η παρατήρηση αυτή αναδεικνύει ότι η τεχνολογία λειτουργεί ως εργαλείο, η αξία του οποίου εξαρτάται από τον τρόπο ένταξής του στον σχεδιασμό και στην καθημερινή χρήση.

Στο πλαίσιο αυτό, τα συστήματα ελέγχου αποτελούν τον κρίσιμο μηχανισμό μέσω του οποίου η τεχνολογία μεταφράζεται σε λειτουργικό αποτέλεσμα. Οι σύγχρονες εγκαταστάσεις φωτισμού ενσωματώνουν αισθητήρες παρουσίας, αισθητήρες φωτεινότητας και αυτοματισμούς που επιτρέπουν την προσαρμογή της έντασης του φωτός ανάλογα με τη χρήση του χώρου και τη διαθεσιμότητα φυσικού φωτός. Η πρακτική του «daylight linking» - δηλαδή η αυτόματη μείωση ή απενεργοποίηση του τεχνητού φωτισμού όταν το φυσικό φως επαρκεί - αποτελεί βασικό παράδειγμα αυτής της προσέγγισης και συνδέεται άμεσα με στρατηγικές εξοικονόμησης ενέργειας και βελτίωσης της συνολικής απόδοσης (SLL, 2022). Σε σύγχρονες οδηγίες σχεδιασμού, ο έλεγχος του φωτισμού αντιμετωπίζεται ως αναπόσπαστο στοιχείο της αρχιτεκτονικής σύνθεσης και όχι ως μεταγενέστερη τεχνική προσθήκη, γεγονός που αναδεικνύει τη μετατόπιση από τον σχεδιασμό φωτιστικών σωμάτων προς τον σχεδιασμό ολοκληρωμένων φωτιστικών συστημάτων.

Η ανάπτυξη ψηφιακών πρωτοκόλλων και συστημάτων διαχείρισης, όπως τα DALI και KNX, ενισχύει περαιτέρω τις δυνατότητες ελέγχου και διασύνδεσης των φωτιστικών εγκαταστάσεων με τα υπόλοιπα συστήματα του κτιρίου. Μέσω αυτών, ο φωτισμός εντάσσεται σε ευρύτερα συστήματα διαχείρισης (Building Management Systems), επιτρέποντας τον συγχρονισμό του με τη σκίαση, τον φυσικό φωτισμό και τα συστήματα περιβαλλοντικού ελέγχου (licht.de, 2012). Η χρήση τέτοιων πρωτοκόλλων δεν αφορά μόνο τη λειτουργική διαχείριση, αλλά επαναπροσδιορίζει τον φωτισμό ως δικτυωμένο σύστημα και ως στοιχείο του ευρύτερου οικοσυστήματος «έξυπνων» και διασυνδεδεμένων κτιρίων. Παράλληλα, η αυξημένη διασυνδεσιμότητα συνοδεύεται και από αυξημένη λειτουργική πολυπλοκότητα, η οποία μπορεί να επηρεάσει τόσο τη διαχείριση όσο και την κατανόηση του συστήματος από τους χρήστες και τους διαχειριστές του κτιρίου.

Παράλληλα, η έννοια του δυναμικού φωτισμού αποτελεί μία από τις πιο χαρακτηριστικές εκφράσεις των σύγχρονων τεχνολογικών δυνατοτήτων. Η μεταβολή της έντασης και, σε ορισμένες περιπτώσεις, της φασματικής σύνθεσης του φωτός κατά τη διάρκεια της ημέρας επιτρέπει τη διαμόρφωση φωτιστικών συνθηκών που προσαρμόζονται σε χρονικά και λειτουργικά σενάρια. Ωστόσο, τα διαθέσιμα ερευνητικά δεδομένα δεν τεκμηριώνουν με συνέπεια τη γενικευμένη αποτελεσματικότητα τέτοιων προσεγγίσεων, καθώς τα αποτελέσματα εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από το πλαίσιο εφαρμογής, τη διάρκεια έκθεσης και τη συνύπαρξη άλλων περιβαλλοντικών παραγόντων (Zeng et al., 2025). Κατά συνέπεια, η δυναμικότητα δεν μπορεί να αντιμετωπιστεί ως εγγενώς βελτιωτική συνθήκη, αλλά ως σχεδιαστικό εργαλείο με συγκεκριμένα όρια εφαρμογής.

Ένα από τα πιο κρίσιμα ζητήματα που αναδεικνύονται στη σύγχρονη βιβλιογραφία αφορά την απόσταση μεταξύ σχεδιαστικών παραδοχών και πραγματικής λειτουργίας των συστημάτων. Παρότι τα σύγχρονα φωτιστικά συστήματα προσφέρουν εκτεταμένες δυνατότητες ελέγχου, η συμπεριφορά των χρηστών συχνά αποκλίνει από τα προβλεπόμενα σενάρια. Οι χρήστες είτε δεν αξιοποιούν πλήρως τις διαθέσιμες δυνατότητες των συστημάτων, όπως η ρύθμιση της έντασης φωτισμού, η ζωνοποίηση, η λειτουργία μέσω αισθητήρων και η αξιοποίηση στρατηγικών «daylight linking», είτε παρεμβαίνουν με τρόπους που δεν έχουν προβλεφθεί, επηρεάζοντας ουσιαστικά την τελική απόδοση (Hammes et al., 2024; Gao et al., 2025). Η διαπίστωση αυτή συνδέεται με την ευρύτερη έννοια του «κενού απόδοσης» (performance gap) μεταξύ σχεδιασμού και πραγματικής λειτουργίας, η οποία αποκτά ιδιαίτερη σημασία σε συστήματα με υψηλό βαθμό τεχνολογικής πολυπλοκότητας.

Η σχέση μεταξύ αυτοματισμού και ελέγχου από τον χρήστη αποτελεί ένα από τα πιο κρίσιμα ζητήματα στον σχεδιασμό φωτισμού. Ενώ τα αυτοματοποιημένα συστήματα μπορούν να βελτιστοποιήσουν την ενεργειακή κατανάλωση και να διασφαλίσουν σταθερές συνθήκες λειτουργίας, η περιορισμένη δυνατότητα παρέμβασης ενδέχεται να οδηγήσει σε μειωμένη αποδοχή και αίσθηση ελέγχου. Αντίστροφα, η πλήρης ελευθερία ρύθμισης μπορεί να υπονομεύσει τη συνολική απόδοση του συστήματος. Η ισορροπία μεταξύ αυτών των δύο προσεγγίσεων αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για τη λειτουργικότητα και την αποδοχή των σύγχρονων φωτιστικών εγκαταστάσεων (Hammes et al., 2024).

Επιπλέον, η ενσωμάτωση των τεχνολογιών φωτισμού στο ευρύτερο ενεργειακό και λειτουργικό σύστημα του κτιρίου εισάγει αυξημένο επίπεδο πολυπλοκότητας. Αν και η

συνδυαστική λειτουργία φωτισμού, σκίασης και φυσικού φωτός μπορεί να οδηγήσει σε βελτιωμένη ενεργειακή και λειτουργική απόδοση, απαιτεί υψηλό βαθμό συντονισμού και ορθής ρύθμισης. Η επίτευξη ισορροπίας μεταξύ άνεσης και κατανάλωσης ενέργειας δεν προκύπτει αυτόματα από την τεχνολογία, αλλά εξαρτάται από τη συνολική στρατηγική σχεδιασμού και τον τρόπο λειτουργίας του συστήματος (Safranek et al., 2020; Plöner et al., 2021).

Συνολικά, η τεχνολογική εξέλιξη του τεχνητού φωτισμού διευρύνει σημαντικά τις δυνατότητες σχεδιασμού, ελέγχου και προσαρμογής των φωτιστικών συστημάτων στα σύγχρονα γραφεία. Ωστόσο, η ποιότητα του φωτεινού περιβάλλοντος δεν αποτελεί αυτόματα συνέπεια της τεχνολογικής προόδου. Η πραγματική απόδοση των συστημάτων εξαρτάται από τον τρόπο ενσωμάτωσής τους στον χώρο, από την αλληλεπίδρασή τους με τους χρήστες και από την ικανότητά τους να ανταποκρίνονται στις πραγματικές συνθήκες λειτουργίας. Υπό αυτή την οπτική, η τεχνολογία δεν αποτελεί αυτοσκοπό, αλλά μέσο για την ανάπτυξη περισσότερο προσαρμοστικών και ανθρωποκεντρικών στρατηγικών φωτισμού.

3.3 Αρχές και εφαρμογές του Human-Centric Lighting σε περιβάλλοντα γραφείων

Η έννοια του «Human-Centric Lighting» αποτελεί μία από τις σημαντικότερες εξελίξεις στον σύγχρονο σχεδιασμό φωτισμού, αντανakλώντας τη μετατόπιση από τεχνικοκεντρικές προσεγγίσεις προς πλαίσια που εστιάζουν στην ανθρώπινη εμπειρία και λειτουργία. Παρά τη συχνή χρήση του όρου στη βιβλιογραφία και στην πρακτική, το HCL δεν συνιστά έναν αυστηρά οριοθετημένο τεχνικό ορισμό, αλλά ένα πολυδιάστατο εννοιολογικό πεδίο που επιχειρεί να ενσωματώσει γνώσεις από τη φυσιολογία, την ψυχολογία και την τεχνολογία φωτισμού σε ένα ενιαίο σχεδιαστικό πλαίσιο (Jalali et al., 2024; Schlangen & Price, 2021). Η πολυπλοκότητα αυτή καθιστά αναγκαία μια κριτική προσέγγιση, καθώς ο όρος χρησιμοποιείται συχνά με διαφορετικό βαθμό επιστημονικής τεκμηρίωσης και σχεδιαστικής σαφήνειας, γεγονός που περιορίζει τη συγκρισιμότητα των εφαρμογών και των αποτελεσμάτων (Vetter et al., 2022).

Στον πυρήνα του HCL βρίσκεται η αναγνώριση ότι το φως επιδρά στον άνθρωπο μέσω δύο βασικών μηχανισμών: του οπτικού και του μη οπτικού συστήματος. Ο πρώτος σχετίζεται με την όραση και την εκτέλεση οπτικών εργασιών, ενώ ο δεύτερος αφορά

βιολογικές και φυσιολογικές διεργασίες, όπως η ρύθμιση του κερκάδιου ρυθμού, η εγρήγορση και η συνολική φυσιολογική κατάσταση (Lucas et al., 2014; Brown et al., 2022). Η ενσωμάτωση αυτών των γνώσεων στον σχεδιασμό φωτισμού αποτέλεσε τη βάση για την ανάπτυξη προσεγγίσεων που επιχειρούν να προσαρμόσουν το φωτεινό περιβάλλον όχι μόνο στις ανάγκες όρασης, αλλά και στις χρονικές και βιολογικές διαστάσεις της ανθρώπινης δραστηριότητας (Vetter et al., 2022). Ωστόσο, η μετάφραση αυτών των επιστημονικών δεδομένων σε σαφή και καθολικά αποδεκτά σχεδιαστικά πρωτόκολλα παραμένει περιορισμένη, ιδιαίτερα σε σύνθετα περιβάλλοντα γραφείων.

Παράλληλα, η σύγχρονη βιβλιογραφία υποστηρίζει ότι οι αρχές του HCL δεν θα πρέπει να εξετάζονται αποκλειστικά μέσα από τη βιολογική διάσταση του φωτός, αλλά στο πλαίσιο μιας ολοκληρωμένης προσέγγισης σχεδιασμού που συνδυάζει οπτικές και μη οπτικές επιδράσεις. Η έννοια του ολοκληρωμένου σχεδιασμού φωτισμού «integrative lighting design» προτείνει τη συνεκτίμηση της οπτικής άνεσης, της κερκάδιας διέγερσης, της ενεργειακής απόδοσης και της συνολικής εμπειρίας των χρηστών κατά τη διαδικασία σχεδιασμού. Σύμφωνα με τους Bellia et al. (2023), η αποτελεσματικότητα ενός ανθρωποκεντρικού συστήματος φωτισμού δεν εξαρτάται μόνο από τα φωτομετρικά χαρακτηριστικά του, αλλά και από την ικανότητά του να εξισορροπεί τις απαιτήσεις οπτικής απόδοσης με τις βιολογικές και ψυχολογικές ανάγκες των χρηστών σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας.

Η εφαρμογή ανθρωποκεντρικών στρατηγικών φωτισμού σε πραγματικά περιβάλλοντα εργασίας δεν είναι ευθύγραμμη. Παρότι η βιβλιογραφία τεκμηριώνει τη σημασία της χρονικής και φασματικής διάστασης του φωτός, τα σύγχρονα γραφεία χαρακτηρίζονται από πολυπλοκότητα, ανομοιογένεια και συνεχείς μεταβολές που δυσχεραίνουν την εφαρμογή απλουστευμένων μοντέλων. Μελέτες πεδίου δείχνουν ότι τα αποτελέσματα ανθρωποκεντρικών στρατηγικών εξαρτώνται από πολλαπλούς παράγοντες, όπως η διάρκεια έκθεσης, η πρόσβαση σε φυσικό φως, η οργάνωση του χώρου και οι συνήθειες των χρηστών (Stebelová et al., 2024; Papatsimpa & Linnartz, 2020). Κατά συνέπεια, η άμεση συσχέτιση μεταξύ συγκεκριμένων φωτιστικών σεναρίων και βιολογικών ή λειτουργικών αποτελεσμάτων δεν μπορεί να θεωρηθεί δεδομένη.

Σε επίπεδο σχεδιαστικών αρχών, το HCL συγκροτείται γύρω από ένα σύνολο αλληλένδετων αρχών, με κυριότερες τη δυναμικότητα, τη φασματική προσαρμογή, την εξατομίκευση και την ενσωμάτωση με τον φυσικό φωτισμό. Η δυναμικότητα αφορά τη

χρονική μεταβολή των χαρακτηριστικών του φωτός, με στόχο την προσαρμογή του φωτεινού περιβάλλοντος στις διαφορετικές φάσεις της ημέρας και στις δραστηριότητες των χρηστών. Η φασματική προσαρμογή σχετίζεται με τη δυνατότητα ελέγχου της φασματικής σύνθεσης του φωτός και τη δυναμική της σύνδεση με μη οπτικές επιδράσεις, χωρίς ωστόσο να υπάρχουν καθολικά αποδεκτά πρότυπα εφαρμογής σε γραφεία (Schlangen & Price, 2021; Brown et al., 2022; Bellia et al., 2023). Η εξατομίκευση αναγνωρίζει τη διαφοροποίηση των χρηστών και εισάγει τη δυνατότητα ατομικού ελέγχου ή προσαρμογής, ενώ η ενσωμάτωση με τον φυσικό φωτισμό αντιμετωπίζει τον τεχνητό φωτισμό ως συμπληρωματικό στοιχείο ενός ενιαίου φωτιστικού συστήματος (Heidari et al., 2025; Plörer et al., 2021).

Αρχή	Περιγραφή	Σχεδιαστική σημασία σε γραφεία	Βιβλιογραφική τεκμηρίωση
Δυναμικότητα	Χρονική μεταβολή έντασης και χαρακτηριστικών φωτισμού	Προσαρμογή σε δραστηριότητες και ώρα ημέρας	Doulos et al., 2020; Zeng et al., 2025
Φασματική προσαρμογή	Έλεγχος φασματικής σύνθεσης φωτός	Δυνητική σύνδεση με μη οπτικές επιδράσεις	Lucas et al., 2014; Brown et al., 2022
Εξατομίκευση	Δυνατότητα ελέγχου από τον χρήστη	Βελτίωση αποδοχής, ικανοποίησης και άνεσης	Hammes et al., 2024; Heidari et al., 2025
Ενσωμάτωση daylight	Συνδυασμός φυσικού και τεχνητού φωτισμού	Ομοιομορφία, αξιοποίηση «daylighting», ενεργειακή βελτιστοποίηση	Plörer et al., 2021; Fakhari et al., 2022
Έλεγχος και αυτοματισμοί	Αισθητήρες και adaptive control systems	Ισορροπία μεταξύ άνεσης χρηστών και κατανάλωσης ενέργειας	Gao et al., 2025; Safranek et al., 2020
Ανθρωποκεντρική εμπειρία	Εστίαση σε άνεση, αντίληψη, ευεξία	Ολιστική αξιολόγηση φωτισμού στο πλαίσιο του IEQ	Altomonte et al., 2024; Jalali et al., 2024

Πίνακας 3.1: Βασικές αρχές του Human-Centric Lighting και η εφαρμογή τους σε περιβάλλοντα γραφείων, όπως προκύπτουν από τη σύγχρονη βιβλιογραφία.

Παρά την εννοιολογική συνοχή των παραπάνω αρχών, η εφαρμογή τους σε περιβάλλοντα γραφείων αναδεικνύει σημαντικές αντιφάσεις. Από τη μία πλευρά, ανθρωποκεντρικές

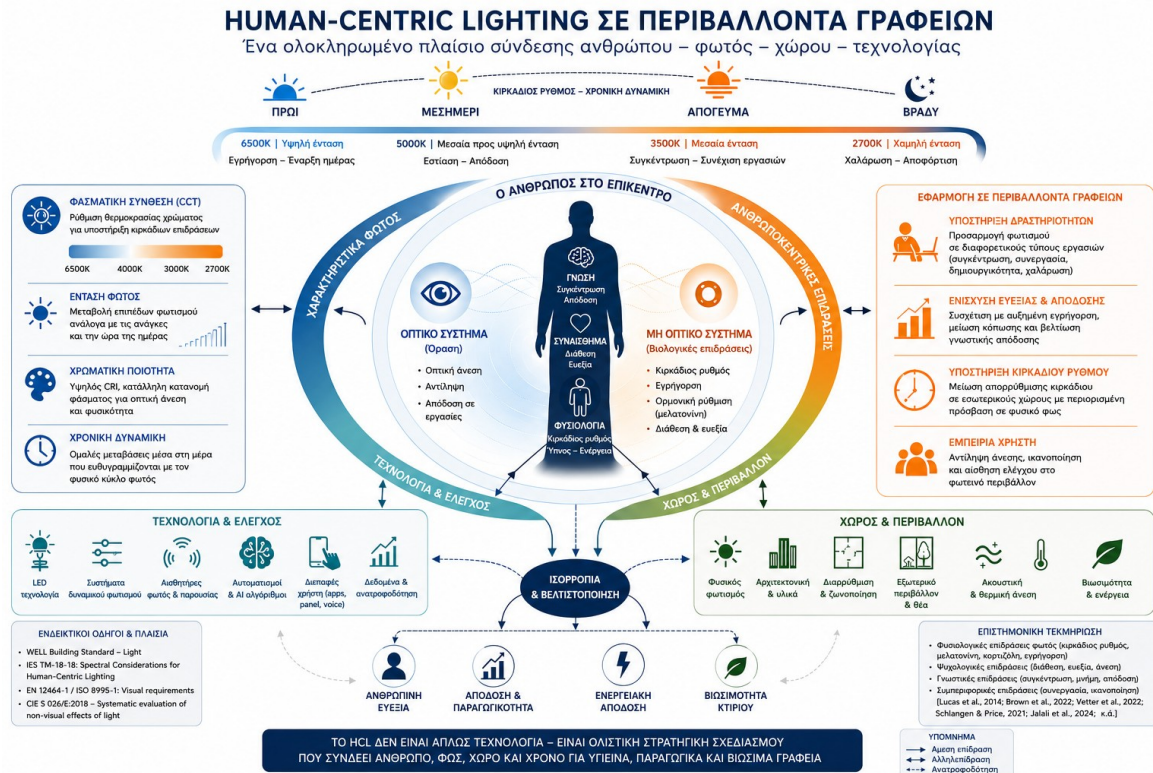
στρατηγικές φωτισμού έχουν συσχετιστεί με βελτιωμένη αντιληπτή άνεση και αυξημένη ικανοποίηση χρηστών, ιδιαίτερα όταν συνδυάζονται με δυνατότητα ελέγχου και προσαρμογής (Aliparast & Onaygil, 2024; Hammes et al., 2024). Από την άλλη, τα αποτελέσματα δεν είναι καθολικά, ενώ σε αρκετές περιπτώσεις δεν παρατηρούνται σαφείς διαφοροποιήσεις σε σχέση με συμβατικά συστήματα φωτισμού (Zeng et al., 2025). Η διαφοροποίηση αυτή υποδηλώνει ότι η αποτελεσματικότητα του HCL εξαρτάται περισσότερο από το πλαίσιο εφαρμογής, τη χωρική οργάνωση και τη συμπεριφορά των χρηστών, παρά από τα ίδια τα τεχνικά χαρακτηριστικά του συστήματος.

Ιδιαίτερη σημασία αποκτά και η ένταση μεταξύ ανθρωποκεντρικών στοχεύσεων και ενεργειακής απόδοσης. Στρατηγικές που βασίζονται σε αυξημένα επίπεδα φωτισμού ή σε δυναμικά σενάρια λειτουργίας, ιδίως όταν στοχεύουν σε μη οπτικές επιδράσεις, ενδέχεται να οδηγήσουν σε αυξημένη κατανάλωση ενέργειας εάν δεν ενσωματωθούν σε ένα συνολικό σύστημα ελέγχου και διαχείρισης (Safranek et al., 2020). Η εξισορρόπηση μεταξύ άνεσης και ενεργειακής αποδοτικότητας δεν προκύπτει αυτόματα από την εφαρμογή ανθρωποκεντρικών αρχών, αλλά απαιτεί συνθετική προσέγγιση και σαφή ιεράρχηση προτεραιοτήτων. Παράλληλα, η αξιολόγηση του HCL παρουσιάζει σημαντικές μεθοδολογικές δυσκολίες. Η ποικιλία των δεικτών και των ερευνητικών προσεγγίσεων που χρησιμοποιούνται για την αποτίμηση των οπτικών και μη οπτικών επιδράσεων καθιστά δύσκολη τη σύγκριση μεταξύ μελετών και τη διατύπωση γενικεύσιμων συμπερασμάτων (Tabbah et al., 2025). Επιπλέον, η μεταφορά γνώσεων από ελεγχόμενα εργαστηριακά περιβάλλοντα σε πραγματικά γραφεία συνοδεύεται από αβεβαιότητες, καθώς η ανθρώπινη συμπεριφορά, η χρήση του χώρου και η αλληλεπίδραση με τα συστήματα ελέγχου επηρεάζουν καθοριστικά τις πραγματικές συνθήκες φωτισμού (Gao et al., 2025).

Στο πλαίσιο αυτό, το HCL δεν μπορεί να αντιμετωπιστεί ως καθολική ή τυποποιημένη λύση, αλλά ως εξελισσόμενο πλαίσιο σχεδιασμού που απαιτεί κριτική ερμηνεία και προσαρμογή στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά κάθε έργου. Η αξία του δεν έγκειται στην υπόσχεση συγκεκριμένων βιολογικών ή λειτουργικών αποτελεσμάτων, αλλά στη δυνατότητα σύνθεσης διαφορετικών παραμέτρων - οπτικών, βιολογικών, τεχνολογικών και ενεργειακών — σε ένα συνεκτικό σχεδιαστικό σχήμα.

Συνολικά, το HCL αναδεικνύει τη μετάβαση του φωτισμού από στατικό τεχνικό σύστημα σε δυναμικό περιβαλλοντικό παράγοντα, ο οποίος συμμετέχει ενεργά στη διαμόρφωση

της εμπειρίας και της λειτουργίας των γραφειακών χώρων. Η κατανόησή του απαιτεί διεπιστημονική προσέγγιση που συνδυάζει τεχνολογική γνώση, σχεδιαστική ευαισθησία και κατανόηση της ανθρώπινης συμπεριφοράς και εμπειρίας στο δομημένο περιβάλλον.



Σχήμα 3.1: Εννοιολογική απεικόνιση του Human-Centric Lighting σε περιβάλλοντα γραφείων, που αναδεικνύει τη δυναμική αλληλεπίδραση μεταξύ φωτός, ανθρώπου, χώρου και τεχνολογίας.

3.4 Προκλήσεις και περιορισμοί εφαρμογής του τεχνητού φωτισμού και του Human-Centric Lighting σε κτίρια γραφείων

Η εφαρμογή ανθρωποκεντρικών προσεγγίσεων στον τεχνητό φωτισμό γραφείων, παρά την έντονη ερευνητική και τεχνολογική ανάπτυξη των τελευταίων ετών, συνοδεύεται από ουσιαστικές προκλήσεις που αφορούν τόσο τον σχεδιασμό όσο και τη λειτουργία των συστημάτων. Σε αντίθεση με μια απλουστευμένη αντίληψη που παρουσιάζει το HCL ως εγγενώς ανώτερη ή αυτονόητα βελτιωμένη φωτιστική λύση, η σύγχρονη βιβλιογραφία δείχνει ότι η πραγματική του απόδοση εξαρτάται από ένα σύνθετο σύνολο παραμέτρων: την επιστημονική τεκμηρίωση των μη οπτικών επιδράσεων, την τεχνολογική υποδομή, την ενεργειακή συμπεριφορά, τη διαφοροποίηση των χρηστών και, κυρίως, τις

πραγματικές συνθήκες χρήσης του γραφείου (Jalali et al., 2024; Vetter et al., 2022). Επομένως, το HCL δεν μπορεί να αξιολογηθεί ως ανεξάρτητη τεχνολογική καινοτομία, αλλά ως σύνθετη σχεδιαστική στρατηγική, της οποίας η επιτυχία κρίνεται από την εφαρμοσιμότητα, τη λειτουργικότητα και την αποδοχή της.

Ένα από τα βασικότερα ζητήματα αφορά την ίδια την επιστημονική βάση των μη οπτικών επιδράσεων του φωτός και τη μεταφορά της γνώσης αυτής σε πραγματικά περιβάλλοντα γραφείων. Παρότι πλήθος ερευνών έχει τεκμηριώσει τη σχέση μεταξύ φωτός, κirkάδιου ρυθμού, μελατονίνης και εγρήγορσης υπό ελεγχόμενες συνθήκες, η εφαρμογή των ευρημάτων αυτών σε καθημερινά εργασιακά περιβάλλοντα παραμένει μεθοδολογικά σύνθετη (Brown et al., 2022; Stebelová et al., 2024). Οι χρήστες εκτίθενται σε πολλαπλές πηγές φωτός εντός και εκτός του χώρου εργασίας, ενώ παράγοντες όπως το ωράριο, η ηλικία, οι συνήθειες ύπνου, η πρόσβαση στο φυσικό φως και η ατομική συμπεριφορά επηρεάζουν τη συνολική ημερήσια έκθεση. Υπό αυτές τις συνθήκες, η άμεση σύνδεση ενός συγκεκριμένου φωτιστικού σεναρίου με προβλέψιμες βιολογικές αποκρίσεις είναι επιστημονικά επισφαλής, εάν δεν συνοδεύεται από σαφές πλαίσιο αξιολόγησης.

Παράλληλα, η ίδια η έννοια του ανθρωποκεντρικού φωτισμού χαρακτηρίζεται από εννοιολογική ασάφεια και ετερογένεια στη χρήση της. Ο όρος χρησιμοποιείται για να περιγράψει ένα ευρύ φάσμα στρατηγικών, από δυναμικά σενάρια έντασης και θερμοκρασίας χρώματος έως φασματικά προσαρμοζόμενα συστήματα με στόχο μη οπτικές επιδράσεις. Η απουσία ενιαίου ορισμού και κοινά αποδεκτών κριτηρίων αξιολόγησης δυσχεραίνει τη σύγκριση μεταξύ ερευνών και δημιουργεί κίνδυνο υπερβολικά γενικευμένων συμπερασμάτων (Vetter et al., 2022 ; Jalali et al., 2024). Το πρόβλημα δεν είναι μόνο ορολογικό, αλλά και μεθοδολογικό, καθώς όταν ο όρος HCL χρησιμοποιείται χωρίς σαφή στόχο, μπορεί να λειτουργήσει περισσότερο ως εμπορική ετικέτα παρά ως τεκμηριωμένο πλαίσιο σχεδιασμού.

Σημαντική πρόκληση προκύπτει και από τη σχέση μεταξύ ανθρωποκεντρικών στοχεύσεων και ενεργειακής απόδοσης. Στρατηγικές δυναμικού φωτισμού ή αυξημένων επιπέδων φωτισμού, ιδίως όταν στοχεύουν σε μη οπτικές επιδράσεις, ενδέχεται να οδηγήσουν σε αυξημένη κατανάλωση ενέργειας εάν δεν συνδυάζονται με αποδοτικές τεχνολογίες, «daylight linking» και συστήματα αυτοματισμού (Safranek et al., 2020; Doulos et al., 2020). Η αντίφαση αυτή είναι κρίσιμη: μια φωτιστική στρατηγική δεν μπορεί να θεωρείται ανθρωποκεντρική εάν βελτιώνει επιμέρους συνθήκες εις βάρος της

συνολικής λειτουργικής και περιβαλλοντικής απόδοσης του κτιρίου. Η εξισορρόπηση μεταξύ άνεσης, βιολογικών στοχεύσεων και ενεργειακής αποδοτικότητας απαιτεί ολοκληρωμένο σχεδιασμό και όχι μεμονωμένες τεχνολογικές παρεμβάσεις.

Εξίσου καθοριστικός είναι ο ρόλος της συμπεριφοράς των χρηστών και της αλληλεπίδρασής τους με τα φωτιστικά συστήματα. Σε πραγματικά περιβάλλοντα γραφείων, οι χρήστες δεν λειτουργούν ως παθητικοί αποδέκτες φωτιστικών σεναρίων, αλλά παρεμβαίνουν, προσαρμόζουν ή παρακάμπτουν τις διαθέσιμες ρυθμίσεις. Μελέτες πεδίου δείχνουν ότι η χρήση συστημάτων ελέγχου συχνά αποκλίνει από τις σχεδιαστικές παραδοχές, επηρεάζοντας τόσο την εμπειρία όσο και την ενεργειακή απόδοση (Hammes et al., 2024; Gao et al., 2025).

Παράλληλα, η αυξανόμενη πολυπλοκότητα των συστημάτων – αισθητήρες παρουσίας, έλεγχος βάσει φυσικού φωτισμού, ρύθμιση της έντασης φωτισμού «dimming», σενάρια λειτουργίας, πρωτόκολλα DALI και KNX, καθώς και διασύνδεση με συστήματα διαχείρισης κτιρίων (BMS) – αυξάνει την ανάγκη για σωστή ρύθμιση, συντήρηση και κατανόηση από τους χρήστες και τους διαχειριστές του κτιρίου. Όταν τα συστήματα αυτά δεν είναι διαφανή ή εύχρηστα, η τεχνολογική τους πολυπλοκότητα μπορεί να μετατραπεί από πλεονέκτημα σε εμπόδιο. Με άλλα λόγια, η υψηλή τεχνολογική δυνατότητα δεν ισοδυναμεί απαραίτητα με υψηλή λειτουργική ποιότητα.

Η διαφοροποίηση των χρηστών αποτελεί ακόμη έναν βασικό περιορισμό για την εφαρμογή ενιαίων ανθρωποκεντρικών στρατηγικών. Οι ανάγκες φωτισμού διαφοροποιούνται ανάλογα με την ηλικία, την οπτική ικανότητα, το είδος της εργασίας, τις ατομικές προτιμήσεις και το επίπεδο εξοικείωσης με τα συστήματα ελέγχου (Heidari et al., 2025). Συνεπώς, γενικευμένα σενάρια φωτισμού, ακόμη και όταν βασίζονται σε επιστημονικά τεκμηριωμένες αρχές, ενδέχεται να μην ανταποκρίνονται επαρκώς στην ετερογένεια των πραγματικών χρηστών. Η πρόκληση δεν είναι μόνο να σχεδιαστούν πιο «έξυπνα» συστήματα, αλλά συστήματα αρκετά ευέλικτα ώστε να προσαρμόζονται χωρίς να γίνονται υπερβολικά σύνθετα ή δυσνόητα.

Τέλος, σημαντικά ζητήματα ανακύπτουν και σε επίπεδο αξιολόγησης. Όπως και στην περίπτωση του φυσικού φωτισμού, η χρήση διαφορετικών δεικτών για την αποτίμηση οπτικών, μη οπτικών και ενεργειακών παραμέτρων καθιστά δύσκολη τη σύγκριση μεταξύ μελετών. Η έλλειψη ενοποιημένων μεθοδολογιών που να συνδυάζουν τεχνική απόδοση,

ανθρώπινη εμπειρία, βιολογικές επιδράσεις και ενεργειακή κατανάλωση περιορίζει τη δυνατότητα διατύπωσης σαφών κατευθύνσεων σχεδιασμού (Tabbah et al., 2025). Η αξιολόγηση του HCL δεν μπορεί να βασίζεται σε έναν μόνο δείκτη ή σε μία μόνο κατηγορία αποτελεσμάτων, αλλά απαιτεί συνθετική προσέγγιση που να αναγνωρίζει την πολυπλοκότητα του φαινομένου.

Πρόκληση	Περιγραφή	Σχεδιαστική επίπτωση / κατεύθυνση	Βιβλιογραφία
Αβεβαιότητα μη οπτικών επιδράσεων	Περιορισμένη δυνατότητα γενίκευσης εργαστηριακών ευρημάτων σε πραγματικά περιβάλλοντα	Συντηρητική ενσωμάτωση HCL χωρίς απόλυτες βιολογικές υποσχέσεις	Stebelová et al., 2024; Brown et al., 2022
Εννοιολογική ασάφεια HCL	Έλλειψη ενιαίου ορισμού και διαφορετικές ερμηνείες του όρου	Σαφής ορισμός στόχων, παραμέτρων και αναμενόμενων αποτελεσμάτων σε κάθε εφαρμογή	Houser, 2021; Jalali et al., 2024
Σύγκρουση με ενεργειακή απόδοση	Δυναμικά ή αυξημένα επίπεδα φωτισμού μπορεί να αυξήσουν την κατανάλωση	Ενσωμάτωση «daylighting», «dimming», αισθητήρων και ευφυών ελέγχων	Safranek et al., 2020; Doulos et al., 2020
Συμπεριφορά χρηστών	Απόκλιση πραγματικής χρήσης από σχεδιαστικές παραδοχές	Σχεδιασμός εύχρηστων συστημάτων και δυνατότητα παρέμβασης	Hammes et al., 2024; Gao et al., 2025
Ετερογένεια χρηστών	Διαφορετικές ανάγκες λόγω ηλικίας, εργασίας και προτιμήσεων	Ζωνοποίηση και δυνατότητα εξατομίκευσης φωτισμού	Heidari et al., 2025
Πολυπλοκότητα συστημάτων	Συνδυασμός αισθητήρων, αυτοματισμών και πρωτοκόλλων ελέγχου	Απλοποίηση διεπαφών και σωστή συντήρηση	Gao et al., 2025
Έλλειψη ενοποιημένων δεικτών	Διαφορετικές μεθοδολογίες αξιολόγησης οπτικών και μη οπτικών επιδράσεων	Συνδυαστική χρήση δεικτών και αξιολόγηση σε πραγματικές συνθήκες	Tabbah et al., 2025
Ενσωμάτωση με daylight	Δυσκολία συγχρονισμού φυσικού και τεχνητού φωτός	Υβριδικός σχεδιασμός και «adaptive controls»	Plörer et al., 2021; Fakhari et al., 2022

Πίνακας 3.2: Κύριες προκλήσεις εφαρμογής του Human-Centric Lighting σε κτίρια γραφείων και οι αντίστοιχες σχεδιαστικές κατευθύνσεις, όπως προκύπτουν από τη σύγχρονη βιβλιογραφία.

Η σύνθεση της βιβλιογραφίας οδηγεί σε τρεις βασικές διαπιστώσεις. Πρώτον, η αποτελεσματικότητα του HCL εξαρτάται περισσότερο από το πλαίσιο εφαρμογής παρά από συγκεκριμένα τεχνολογικά χαρακτηριστικά. Δεύτερον, η ανθρώπινη συμπεριφορά και η αλληλεπίδραση με τα συστήματα ελέγχου αποτελούν κρίσιμους παράγοντες που επηρεάζουν την πραγματική απόδοση των φωτιστικών εγκαταστάσεων. Τρίτον, η αξιολόγηση του HCL απαιτεί συνδυαστική θεώρηση οπτικών, βιολογικών, λειτουργικών και ενεργειακών παραμέτρων, καθώς καμία μεμονωμένη μετρική δεν επαρκεί για την πλήρη αποτύπωση της ποιότητας του φωτεινού περιβάλλοντος.

Συνολικά, οι προκλήσεις εφαρμογής του τεχνητού φωτισμού και του Human-Centric Lighting στα κτίρια γραφείων δείχνουν ότι η μετάβαση προς ανθρωποκεντρικές προσεγγίσεις δεν αποτελεί απλή τεχνολογική αναβάθμιση, αλλά σύνθετη διαδικασία που απαιτεί επιστημονική τεκμηρίωση, σχεδιαστική κρίση και ουσιαστική κατανόηση της ανθρώπινης συμπεριφοράς. Η αναγνώριση αυτών των περιορισμών δεν αποδυναμώνει τη σημασία του HCL αντίθετα, το προστατεύει από υπεραπλουστευμένες και ατεκμηρίωτες εφαρμογές. Η αξία του έγκειται ακριβώς στη δυνατότητα να λειτουργήσει ως πλαίσιο σύνθεσης, υπό την προϋπόθεση ότι εφαρμόζεται με κριτική σκέψη, σαφή στόχο και επίγνωση των πραγματικών συνθηκών χρήσης.

3.5 Επιδράσεις του τεχνητού και ανθρωποκεντρικού φωτισμού στη συμπεριφορά και την εμπειρία των χρηστών

Η διερεύνηση των επιδράσεων του τεχνητού και ανθρωποκεντρικού φωτισμού στα κτίρια γραφείων αποτελεί ένα από τα πλέον σύνθετα και πολυδιάστατα πεδία της σύγχρονης έρευνας, καθώς συνδέει φυσικές παραμέτρους του φωτεινού περιβάλλοντος με ψυχολογικές, γνωστικές και συμπεριφορικές αποκρίσεις των χρηστών. Σε αντίθεση με προσεγγίσεις που περιορίζονται στην αξιολόγηση μέσω μεμονωμένων τεχνικών δεικτών, η σύγχρονη βιβλιογραφία υποστηρίζει ότι η κατανόηση της επίδρασης του φωτισμού προϋποθέτει τη συνδυαστική εξέταση της εμπειρίας του χρήστη, της συμπεριφοράς και του πλαισίου χρήσης του χώρου (Altomonte et al., 2024; Kim & Lee, 2024).

Ένας από τους βασικότερους άξονες αφορά την οπτική άνεση και την αντίληψη του φωτεινού περιβάλλοντος. Παράμετροι όπως η κατανομή της φωτεινότητας, η θάμβωση και οι φωτεινές αντιθέσεις επηρεάζουν άμεσα τόσο την ικανότητα εκτέλεσης οπτικών

εργασιών όσο και την αντιληπτή ποιότητα του χώρου (Zeng et al., 2025; Kim & Lee, 2024). Ωστόσο, η σχέση αυτή δεν είναι γραμμική. Η ίδια φωτιστική συνθήκη μπορεί να αξιολογείται διαφορετικά ανάλογα με τις προσδοκίες, τις συνήθειες και τα χαρακτηριστικά των χρηστών. Μελέτες πεδίου δείχνουν ότι η αποδοχή του φωτισμού συνδέεται περισσότερο με την αίσθηση ισορροπίας, «φυσικότητας» και συμβατότητας με τη δραστηριότητα, παρά αποκλειστικά με την επίτευξη συγκεκριμένων τιμών φωτισμού (Aliparast & Onaygil, 2024).

Η εμπειρία του φωτισμού διαμορφώνεται περαιτέρω μέσα από τη δυνατότητα ελέγχου. Σε περιβάλλοντα όπου οι χρήστες μπορούν να ρυθμίσουν τον φωτισμό, παρατηρείται αυξημένη ικανοποίηση και αποδοχή, ακόμη και όταν οι τελικές συνθήκες αποκλίνουν από τις σχεδιαστικές παραδοχές ή τα τυπικά πρότυπα (Gao et al., 2025; Hammes et al., 2024). Η δυνατότητα ελέγχου δεν επηρεάζει μόνο τις τελικές φωτιστικές συνθήκες, αλλά και τον τρόπο με τον οποίο οι χρήστες αντιλαμβάνονται τη σχέση τους με το περιβάλλον εργασίας. Το εύρημα αυτό υποδηλώνει ότι η αίσθηση ελέγχου λειτουργεί ως κρίσιμος ψυχολογικός παράγοντας, ο οποίος ενισχύει την εμπειρία ανεξάρτητα από την «αντικειμενική» ποιότητα του φωτισμού. Παράλληλα, αναδεικνύει ότι η συμπεριφορά των χρηστών δεν αποτελεί απλώς μεταβλητή που πρέπει να προβλεφθεί, αλλά ενεργό μηχανισμό που συνδιαμορφώνει το φωτεινό περιβάλλον.

Σε επίπεδο απόδοσης και συγκέντρωσης, η βιβλιογραφία εμφανίζει μεγαλύτερη διαφοροποίηση. Ορισμένες μελέτες υποδεικνύουν ότι συγκεκριμένα χαρακτηριστικά φωτισμού μπορούν να υποστηρίξουν γνωστικές διεργασίες και οπτικές εργασίες, ιδιαίτερα σε απαιτητικά περιβάλλοντα (Zeng et al., 2025). Ωστόσο, τα αποτελέσματα αυτά δεν είναι καθολικά. Η απόδοση εξαρτάται από ένα ευρύτερο σύνολο παραγόντων - όπως το είδος της εργασίας, η διάρκεια έκθεσης και η συνολική ποιότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος - γεγονός που περιορίζει την απομόνωση του φωτισμού ως καθοριστικής μεταβλητής. Η συμβολή του φωτισμού, συνεπώς, είναι υποστηρικτική και όχι αποκλειστική.

Ιδιαίτερη σημασία αποκτά και η ψυχολογική διάσταση της εμπειρίας. Η αντίληψη της ποιότητας του φωτεινού περιβάλλοντος συνδέεται με την ομοιομορφία, την ευκρίνεια, τη χωρική ατμόσφαιρα και τη συμβατότητα του φωτισμού με τη δραστηριότητα και τις προσδοκίες των χρηστών (Kim & Lee, 2024). Στο πλαίσιο αυτό, ο φωτισμός λειτουργεί

όχι μόνο ως λειτουργική υποδομή, αλλά και ως στοιχείο που επηρεάζει τον τρόπο με τον οποίο βιώνεται ο χώρος εργασίας (Altomonte et al., 2024).

Όσον αφορά τις μη οπτικές επιδράσεις, η συζήτηση παραμένει σύνθετη και χαρακτηρίζεται από επιστημονική αβεβαιότητα. Αν και έχει τεκμηριωθεί ότι το φως μπορεί να επηρεάσει παραμέτρους όπως η εγρήγορση και η χρονική οργάνωση βιολογικών λειτουργιών, τα περισσότερα ευρήματα προέρχονται από ελεγχόμενα πειραματικά περιβάλλοντα (Brown et al., 2022; Stebelová et al., 2024). Στα πραγματικά γραφεία, η έκθεση των χρηστών είναι κατακερματισμένη και επηρεάζεται από πολλαπλές πηγές φωτός και συμπεριφορικές επιλογές, γεγονός που καθιστά δύσκολη τη σαφή αποτίμηση των επιδράσεων αυτών.

Η έννοια του HCL επιχειρεί να ενσωματώσει τις παραπάνω διαστάσεις μέσα από δυναμικές και προσαρμοστικές στρατηγικές φωτισμού, οι οποίες επιδιώκουν να συνδυάσουν οπτική άνεση, δυνατότητα ελέγχου και χρονική προσαρμογή του φωτεινού περιβάλλοντος. Ορισμένες εφαρμογές συνδέονται με αυξημένη ικανοποίηση και θετικότερη εμπειρία χρήσης, ιδιαίτερα όταν παρέχουν ευελιξία και εξατομίκευση (Heidari et al., 2025). Ωστόσο, η βιβλιογραφία δεν τεκμηριώνει με συνέπεια άμεσες ή καθολικές επιδράσεις στην ευεξία ή στην απόδοση των χρηστών, καθώς τα αποτελέσματα διαφοροποιούνται σημαντικά ανάλογα με το περιβάλλον εφαρμογής και τις συνθήκες χρήσης (Vetter et al., 2022). Συνεπώς, το HCL δεν μπορεί να αντιμετωπιστεί ως καθολική λύση, αλλά ως σχεδιαστικό πλαίσιο που απαιτεί προσαρμογή και κριτική εφαρμογή.

Συνολικά, η σύνθεση της βιβλιογραφίας δείχνει ότι η εμπειρία του φωτισμού στα γραφεία δεν καθορίζεται από μεμονωμένες τεχνικές παραμέτρους, αλλά από τη δυναμική αλληλεπίδραση μεταξύ φυσικών χαρακτηριστικών του φωτός, χωρικού πλαισίου, τεχνολογικών συστημάτων και ανθρώπινης συμπεριφοράς. Η κατανόηση αυτής της πολυπλοκότητας μετατοπίζει τον σχεδιασμό από την επίτευξη προκαθορισμένων τιμών προς τη διαμόρφωση περιβαλλόντων που είναι αντιληπτά ως άνετα, λειτουργικά και προσαρμόσιμα. Σε αυτό το πλαίσιο, ο φωτισμός δεν αξιολογείται μόνο ως τεχνική υποδομή, αλλά ως εμπειρικό και συμπεριφορικό φαινόμενο που συνδιαμορφώνει την καθημερινή εργασία.

3.6 Σύνθεση και κριτική αποτίμηση του τεχνητού και ανθρωποκεντρικού φωτισμού σε κτίρια γραφείων

Η διερεύνηση των επιδράσεων του τεχνητού και ανθρωποκεντρικού φωτισμού στα κτίρια γραφείων αποτελεί ένα από τα πλέον σύνθετα και πολυδιάστατα πεδία της σύγχρονης έρευνας, καθώς συνδέει φυσικές παραμέτρους του φωτεινού περιβάλλοντος με ψυχολογικές, γνωστικές και συμπεριφορικές αποκρίσεις των χρηστών. Σε αντίθεση με προσεγγίσεις που περιορίζονται στην αξιολόγηση μέσω μεμονωμένων τεχνικών δεικτών, η σύγχρονη βιβλιογραφία υποστηρίζει ότι η κατανόηση της επίδρασης του φωτισμού προϋποθέτει τη συνδυαστική εξέταση της εμπειρίας του χρήστη, της συμπεριφοράς και του πλαισίου χρήσης του χώρου (Altomonte et al., 2024; Kim & Lee, 2024).

Ένας από τους βασικότερους άξονες αφορά την οπτική άνεση και την αντίληψη του φωτεινού περιβάλλοντος. Παράμετροι όπως η κατανομή της φωτεινότητας, η θάμβωση και οι φωτεινές αντιθέσεις επηρεάζουν άμεσα τόσο την ικανότητα εκτέλεσης οπτικών εργασιών όσο και την αντιληπτή ποιότητα του χώρου (Zeng et al., 2025; Kim & Lee, 2024). Ωστόσο, η σχέση αυτή δεν είναι γραμμική. Η ίδια φωτιστική συνθήκη μπορεί να αξιολογείται διαφορετικά ανάλογα με τις προσδοκίες, τις συνήθειες και τα χαρακτηριστικά των χρηστών. Μελέτες πεδίου δείχνουν ότι η αποδοχή του φωτισμού συνδέεται περισσότερο με την αίσθηση ισορροπίας, «φυσικότητας» και συμβατότητας με τη δραστηριότητα, παρά αποκλειστικά με την επίτευξη συγκεκριμένων τιμών φωτισμού (Aliparast & Onaygil, 2024).

Η εμπειρία του φωτισμού διαμορφώνεται περαιτέρω μέσα από τη δυνατότητα ελέγχου. Σε περιβάλλοντα όπου οι χρήστες μπορούν να ρυθμίσουν τον φωτισμό, παρατηρείται αυξημένη ικανοποίηση και αποδοχή, ακόμη και όταν οι τελικές συνθήκες αποκλίνουν από τις σχεδιαστικές παραδοχές ή τα τυπικά πρότυπα (Gao et al., 2025; Hammes et al., 2024). Η δυνατότητα ελέγχου δεν επηρεάζει μόνο τις τελικές φωτιστικές συνθήκες, αλλά και τον τρόπο με τον οποίο οι χρήστες αντιλαμβάνονται τη σχέση τους με το περιβάλλον εργασίας. Το εύρημα αυτό υποδηλώνει ότι η αίσθηση ελέγχου λειτουργεί ως κρίσιμος ψυχολογικός παράγοντας, ο οποίος ενισχύει την εμπειρία ανεξάρτητα από την «αντικειμενική» ποιότητα του φωτισμού. Παράλληλα, αναδεικνύει ότι η συμπεριφορά των χρηστών δεν αποτελεί απλώς μεταβλητή που πρέπει να προβλεφθεί, αλλά ενεργό μηχανισμό που συνδιαμορφώνει το φωτεινό περιβάλλον.

Η σχέση φωτισμού και συμπεριφοράς είναι αμφίδρομη. Ο φωτισμός επηρεάζει τον τρόπο χρήσης του χώρου, αλλά ταυτόχρονα η συμπεριφορά των χρηστών επηρεάζει καθοριστικά τη λειτουργία του φωτιστικού συστήματος. Η χρήση σκιάσεων, οι ρυθμίσεις φωτισμού, η επιλογή θέσης εργασίας και η αλληλεπίδραση με τα συστήματα ελέγχου μεταβάλλουν ουσιαστικά το τελικό φωτεινό περιβάλλον. Η αλληλεπίδραση αυτή αναδεικνύει ότι η εμπειρία φωτισμού δεν αποτελεί αποτέλεσμα αποκλειστικά σχεδιαστικών αποφάσεων, αλλά προϊόν συνεχούς διαπραγμάτευσης μεταξύ συστήματος και χρήστη (Hammes et al., 2024; Gao et al., 2025).

Σε επίπεδο απόδοσης και συγκέντρωσης, η βιβλιογραφία εμφανίζει μεγαλύτερη διαφοροποίηση. Ορισμένες μελέτες υποδεικνύουν ότι συγκεκριμένα χαρακτηριστικά φωτισμού μπορούν να υποστηρίξουν γνωστικές διεργασίες και οπτικές εργασίες, ιδιαίτερα σε απαιτητικά περιβάλλοντα (Zeng et al., 2025). Ωστόσο, τα αποτελέσματα αυτά δεν είναι καθολικά. Η απόδοση εξαρτάται από ένα ευρύτερο σύνολο παραγόντων - όπως το είδος της εργασίας, η διάρκεια έκθεσης και η συνολική ποιότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος - γεγονός που περιορίζει την απομόνωση του φωτισμού ως καθοριστικής μεταβλητής. Η συμβολή του φωτισμού, συνεπώς, είναι υποστηρικτική και όχι αποκλειστική.

Ιδιαίτερη σημασία αποκτά και η ψυχολογική διάσταση της εμπειρίας. Η αντίληψη της ποιότητας του φωτεινού περιβάλλοντος συνδέεται με την ομοιομορφία, την ευκρίνεια, τη χωρική ατμόσφαιρα και τη συμβατότητα του φωτισμού με τη δραστηριότητα και τις προσδοκίες των χρηστών (Kim & Lee, 2024). Στο πλαίσιο αυτό, ο φωτισμός λειτουργεί όχι μόνο ως λειτουργική υποδομή, αλλά και ως στοιχείο που επηρεάζει τον τρόπο με τον οποίο βιώνεται ο χώρος εργασίας, επηρεάζοντας έμμεσα την ικανοποίηση, την ταύτιση με τον χώρο και την αντιληπτή ποιότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος (Altomonte et al., 2024).

Όσον αφορά τις μη οπτικές επιδράσεις, η συζήτηση παραμένει σύνθετη και χαρακτηρίζεται από επιστημονική αβεβαιότητα. Αν και έχει τεκμηριωθεί ότι το φως μπορεί να επηρεάσει παραμέτρους όπως η εγρήγορση και η χρονική οργάνωση βιολογικών λειτουργιών, τα περισσότερα ευρήματα προέρχονται από ελεγχόμενα πειραματικά περιβάλλοντα (Brown et al., 2022; Stebelová et al., 2024). Στα πραγματικά γραφεία, η έκθεση των χρηστών είναι κατακερματισμένη και επηρεάζεται από πολλαπλές

πηγές φωτός και συμπεριφορικές επιλογές, γεγονός που καθιστά δύσκολη τη σαφή αποτίμηση των επιδράσεων αυτών.

Η έννοια του HCL επιχειρεί να ενσωματώσει τις παραπάνω διαστάσεις μέσα από δυναμικές και προσαρμοστικές στρατηγικές φωτισμού, οι οποίες επιδιώκουν να συνδυάσουν οπτική άνεση, δυνατότητα ελέγχου και χρονική προσαρμογή του φωτεινού περιβάλλοντος. Ορισμένες εφαρμογές συνδέονται με αυξημένη ικανοποίηση και θετικότερη εμπειρία χρήσης, ιδιαίτερα όταν παρέχουν ευελιξία και εξατομίκευση (Heidari et al., 2025). Ωστόσο, η βιβλιογραφία δεν τεκμηριώνει με συνέπεια άμεσες ή καθολικές επιδράσεις στην ευεξία ή στην απόδοση των χρηστών, καθώς τα αποτελέσματα διαφοροποιούνται σημαντικά ανάλογα με το περιβάλλον εφαρμογής και τις συνθήκες χρήσης (Vetter et al., 2022). Συνεπώς, το HCL δεν μπορεί να αντιμετωπιστεί ως καθολική λύση, αλλά ως σχεδιαστικό πλαίσιο που απαιτεί προσαρμογή και κριτική εφαρμογή.

Η σύνθεση της βιβλιογραφίας οδηγεί σε τρεις βασικές διαπιστώσεις. Πρώτον, η εμπειρία του φωτισμού διαμορφώνεται περισσότερο από τον τρόπο με τον οποίο οι χρήστες αντιλαμβάνονται και αλληλεπιδρούν με το φωτεινό περιβάλλον, παρά από μεμονωμένες τεχνικές παραμέτρους. Δεύτερον, η δυνατότητα ελέγχου και προσαρμογής αποτελεί κρίσιμο παράγοντα αποδοχής και ικανοποίησης. Τρίτον, οι επιδράσεις του φωτισμού στην απόδοση, στην ευεξία και στη συμπεριφορά εξαρτώνται από το ευρύτερο περιβαλλοντικό και λειτουργικό πλαίσιο και δεν μπορούν να αποδοθούν σε απλές αιτιώδεις σχέσεις.

Συνολικά, η σύνθεση της βιβλιογραφίας δείχνει ότι η εμπειρία του φωτισμού στα γραφεία δεν καθορίζεται από μεμονωμένες τεχνικές παραμέτρους, αλλά από τη δυναμική αλληλεπίδραση μεταξύ φυσικών χαρακτηριστικών του φωτός, χωρικού πλαισίου, τεχνολογικών συστημάτων και ανθρώπινης συμπεριφοράς. Η κατανόηση αυτής της πολυπλοκότητας μετατοπίζει τον σχεδιασμό από την επίτευξη προκαθορισμένων τιμών προς τη διαμόρφωση περιβαλλόντων που είναι αντιληπτά ως άνετα, λειτουργικά και προσαρμόσιμα. Σε αυτό το πλαίσιο, ο φωτισμός δεν αξιολογείται μόνο ως τεχνική υποδομή, αλλά ως εμπειρικό και συμπεριφορικό φαινόμενο που συνδιαμορφώνει την καθημερινή εργασία και συνδέεται στενά με τον τρόπο χρήσης του χώρου και τη λειτουργία των συστημάτων ελέγχου.

4. Δείκτες, μεθοδολογίες και εργαλεία αξιολόγησης φωτισμού σε κτίρια γραφείων

Η αξιολόγηση του φωτισμού στα κτίρια γραφείων αποτελεί κρίσιμη προϋπόθεση για την κατανόηση της πραγματικής απόδοσης των φωτιστικών στρατηγικών και της επίδρασής τους στους χρήστες. Καθώς ο φωτισμός επηρεάζει ταυτόχρονα οπτικές, βιολογικές, ενεργειακές και βιωματικές διαστάσεις του εσωτερικού περιβάλλοντος, η αποτίμησή του δεν μπορεί να βασίζεται σε μία μόνο κατηγορία δεικτών ή μετρήσεων. Ο φωτισμός δεν συνιστά μονοδιάστατη τεχνική παράμετρο, αλλά σύνθετο πεδίο στο οποίο συνυπάρχουν η οπτική άνεση, η ενεργειακή απόδοση, οι βιολογικές αποκρίσεις, η εμπειρία του χρήστη και η συμπεριφορά στον χώρο. Κατά συνέπεια, η αξιολόγησή του απαιτεί τον συνδυασμό ποσοτικών, ποιοτικών και ανθρωποκεντρικών μεθόδων (Papatsimpa & Linnartz, 2020; Schlangen & Price, 2021; Brown et al., 2022). Η ανάγκη αυτή ενισχύεται από τη συχνή απόκλιση μεταξύ σχεδιασμένων και πραγματικών συνθηκών λειτουργίας των φωτιστικών συστημάτων «performance gap», η οποία καθιστά αναγκαία την αξιολόγηση όχι μόνο του σχεδιασμού αλλά και της πραγματικής εμπειρίας χρήσης.

Στη σύγχρονη βιβλιογραφία παρατηρείται σταδιακή μετατόπιση από δείκτες που αποτιμούν κυρίως την επάρκεια φωτισμού προς πιο σύνθετα πλαίσια αξιολόγησης, τα οποία επιχειρούν να ενσωματώσουν τη χρονικότητα, τη φασματική σύσταση, τη θάμβωση, την αλληλεπίδραση φυσικού και τεχνητού φωτισμού και την υποκειμενική εμπειρία των χρηστών. Η μετατόπιση αυτή είναι ιδιαίτερα εμφανής σε μελέτες που εξετάζουν τον προσωποποιημένο φωτισμό και την κirkάδια υγεία, όπου η αξιολόγηση δεν αφορά μόνο το αν ο χώρος φωτίζεται επαρκώς, αλλά και το πώς ο φωτισμός συνδέεται με την καθημερινή έκθεση, τον ύπνο, την άνεση και τη συνολική χρήση του χώρου (Papatsimpa & Linnartz, 2020; Brown et al., 2022).

Ωστόσο, η διεύρυνση των δεικτών δεν επιλύει αυτομάτως το ζήτημα της αξιολόγησης. Αντιθέτως, δημιουργεί ένα πιο σύνθετο πεδίο, στο οποίο διαφορετικές μεθοδολογίες αποτιμούν διαφορετικές πτυχές του ίδιου φωτιστικού περιβάλλοντος. Ένας χώρος, για παράδειγμα, μπορεί να εμφανίζει επαρκείς τιμές φωτισμού ως προς την οπτική εργασία, αλλά ταυτόχρονα να παρουσιάζει προβλήματα θάμβωσης, ανεπαρκή κirkάδια διέγερση ή χαμηλή αποδοχή από τους χρήστες. Επομένως, οι δείκτες δεν πρέπει να αντιμετωπίζονται

ως ουδέτερες απαντήσεις, αλλά ως εργαλεία ερμηνείας με σαφή όρια: κάθε δείκτης χρειάζεται να εξετάζεται όχι μόνο ως προς το τι αποτυπώνει, αλλά και ως προς το τι αφήνει εκτός (Schlangen & Price, 2021; Doulos et al., 2020; Fakhari et al., 2022).

Υπό αυτή την οπτική, η αξιολόγηση του φωτισμού δεν αποτελεί απλώς διαδικασία ελέγχου τεχνικών προδιαγραφών, αλλά μέσο κατανόησης της σχέσης μεταξύ φωτεινού περιβάλλοντος, ανθρώπινης εμπειρίας και πραγματικής λειτουργίας των χώρων γραφείων. Στα επόμενα τμήματα παρουσιάζονται οι βασικές κατηγορίες δεικτών και μεθόδων αξιολόγησης που χρησιμοποιούνται στη σύγχρονη έρευνα και πρακτική φωτισμού.

4.1 Εισαγωγή στη μεθοδολογία αξιολόγησης φωτισμού

Η μεθοδολογία αξιολόγησης του φωτισμού σε κτίρια γραφείων οφείλει να ανταποκρίνεται στη σύνθετη, δυναμική και πολυπαραγοντική φύση του φωτεινού περιβάλλοντος, το οποίο δεν μπορεί να αποτιμηθεί επαρκώς μέσω ενός μεμονωμένου δείκτη ή μιας μονοδιάστατης μετρικής. Η ποιότητα του φωτισμού δεν αποτελεί στατική ή μονοσήμαντη ιδιότητα, αλλά προκύπτει από τη συνεχή αλληλεπίδραση οπτικών, ενεργειακών, βιολογικών και βιοματικών παραμέτρων, οι οποίες μεταβάλλονται χρονικά και επηρεάζονται από τη χρήση του χώρου και τη συμπεριφορά των χρηστών. Ως εκ τούτου, η αξιολόγηση του φωτισμού δεν συνιστά απλή διαδικασία μέτρησης, αλλά σύνθετη διαδικασία ερμηνείας δεδομένων διαφορετικής φύσης, η οποία απαιτεί πολυκριτηριακή και κριτικά δομημένη προσέγγιση (Papatsimpa & Linnartz, 2020; Brown et al., 2022).

Τα καθιερωμένα κανονιστικά πρότυπα, όπως το ευρωπαϊκό EN 12464-1 και η ελληνική TOTEE 20701-1, εξακολουθούν να αποτελούν τη βασική αναφορά για την αξιολόγηση του τεχνητού φωτισμού σε χώρους γραφείων, θέτοντας σαφή όρια για παραμέτρους όπως η ένταση φωτισμού (π.χ. 500 lux σε επιφάνειες εργασίας), η ομοιομορφία και η θάμβωση ($UGR \leq 19$). Τα πρότυπα αυτά εξασφαλίζουν ένα κοινό και αντικειμενικό πλαίσιο σύγκρισης και αποτελούν αναγκαία συνθήκη για τη διασφάλιση βασικών συνθηκών οπτικής εργασίας. Ωστόσο, παρά τη θεσμική τους ισχύ, παραμένουν προσανατολισμένα σε στατικές και γενικευμένες συνθήκες, οι οποίες δεν αντανακλούν την πολυπλοκότητα των σύγχρονων γραφειακών περιβαλλόντων. Ειδικότερα, δεν ενσωματώνουν επαρκώς τη χρονική μεταβλητότητα του φωτισμού, τη φασματική του διάσταση, ούτε τη διαφοροποίηση των δραστηριοτήτων και των προτιμήσεων των χρηστών, γεγονός που

περιορίζει τη δυνατότητά τους να αποτυπώσουν την πραγματική ποιότητα του φωτεινού περιβάλλοντος (Kim & Lee, 2024; Aliparast & Onaygil, 2024).

Η ανάγκη υπέρβασης της παραδοσιακής φωτομετρικής προσέγγισης αναδείχθηκε έντονα με την εισαγωγή της βιολογικής διάστασης του φωτός. Το πρότυπο CIE S 026 αποτέλεσε σημαντικό σημείο καμπής, καθώς εισήγαγε φασματικά σταθμισμένες μετρικές, όπως η μελανοπική φωτεινή απόκριση, αναδεικνύοντας τα όρια των κλασικών φωτομετρικών μεγεθών στην αποτίμηση των μη οπτικών επιδράσεων. Η εξέλιξη αυτή κατέδειξε ότι η αξιολόγηση του φωτισμού δεν μπορεί να βασίζεται αποκλειστικά σε photopic μετρήσεις, αλλά απαιτεί ενσωμάτωση δεικτών που λαμβάνουν υπόψη τη βιολογική αποτελεσματικότητα του φωτός (Schlangen & Price, 2021; Brown et al., 2022). Παρ' όλα αυτά, η εφαρμογή των δεικτών αυτών σε πραγματικά περιβάλλοντα γραφείων παραμένει περιορισμένη, καθώς προϋποθέτει εξειδικευμένα φασματικά δεδομένα και δεν έχει ακόμη ενσωματωθεί πλήρως σε κανονιστικά πλαίσια.

Στο ίδιο πλαίσιο, συστήματα πιστοποίησης όπως το WELL Building Standard επιχειρούν να γεφυρώσουν το χάσμα μεταξύ επιστημονικής γνώσης και σχεδιαστικής πρακτικής, εισάγοντας κριτήρια που σχετίζονται με την κirkάδια διέγερση και την ευεξία των χρηστών. Παρά τη συμβολή τους στη διεύρυνση του πεδίου αξιολόγησης, τα συστήματα αυτά βασίζονται συχνά σε γενικευμένες παραδοχές και τυποποιημένα σενάρια χρήσης, γεγονός που εγείρει ερωτήματα σχετικά με τη δυνατότητα εφαρμογής τους σε διαφορετικά εργασιακά περιβάλλοντα και σε συνθήκες πραγματικής χρήσης.

Η πολυπλοκότητα αυτή έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη διαφορετικών κατηγοριών δεικτών αξιολόγησης, οι οποίοι εστιάζουν σε διαφορετικές διαστάσεις του φωτισμού. Ορισμένοι δείκτες αποτιμούν την οπτική επάρκεια και άνεση, άλλοι τη διαθεσιμότητα και την απόδοση του φυσικού φωτισμού, ενώ νεότερες προσεγγίσεις επιχειρούν να αποτυπώσουν βιολογικές και ανθρωποκεντρικές διαστάσεις της έκθεσης στο φως. Η κατανόηση των δυνατοτήτων αλλά και των περιορισμών κάθε κατηγορίας αποτελεί βασική προϋπόθεση για την ορθή ερμηνεία των αποτελεσμάτων και τη διαμόρφωση ολοκληρωμένων στρατηγικών φωτισμού.

Ιδιαίτερη μεθοδολογική πρόκληση συνιστά η ταυτόχρονη αξιολόγηση του φυσικού και του τεχνητού φωτισμού, οι οποίοι συνδιαμορφώνουν τη συνολική φωτεινή εμπειρία. Σε

σύγχρονα γραφεία, και ιδίως σε «open-plan» διατάξεις με εκτεταμένη χρήση οθονών και ευέλικτες θέσεις εργασίας, ο φωτισμός προκύπτει από τη δυναμική αλληλεπίδραση daylighting, τεχνητού φωτισμού, συστημάτων σκίασης και αυτοματισμών, καθώς και από τη συμπεριφορά των χρηστών. Η πραγματική απόδοση του φωτισμού εξαρτάται, συνεπώς, όχι μόνο από τον σχεδιασμό, αλλά και από τον τρόπο χρήσης του χώρου, γεγονός που καθιστά ανεπαρκή την απομονωμένη αξιολόγηση κάθε επιμέρους συστήματος (Fakhari et al., 2022; Gao et al., 2025). Η διαπίστωση αυτή μετατοπίζει τη μεθοδολογία από στατικές μετρήσεις προς δυναμικές και σεναριακές αναλύσεις, όπου ο φωτισμός εξετάζεται ως μέρος ενός ευρύτερου συστήματος αλληλεπιδράσεων.

Παράλληλα, η ενσωμάτωση της εμπειρίας των χρηστών αναδεικνύεται ως κρίσιμη παράμετρος αξιολόγησης. Μελέτες πεδίου δείχνουν ότι η αντίληψη του φωτισμού επηρεάζεται καθοριστικά από την αίσθηση ελέγχου, τις προσδοκίες και το είδος της εργασίας, με αποτέλεσμα χώροι που πληρούν πλήρως τα κανονιστικά κριτήρια να αξιολογούνται διαφορετικά από τους χρήστες. Η διαπίστωση αυτή υπογραμμίζει ότι η τεχνική επάρκεια και η βιωματική ποιότητα αποτελούν διακριτές αλλά αλληλένδετες διαστάσεις, οι οποίες δεν μπορούν να αποτιμηθούν ανεξάρτητα (Kim et al., 2025). Υπό αυτή την οπτική, η αξιολόγηση του φωτισμού δεν μπορεί να περιορίζεται στην επαλήθευση τεχνικών απαιτήσεων, αλλά οφείλει να εξετάζει τη συνολική απόδοση του φωτεινού περιβάλλοντος σε σχέση με την ανθρώπινη εμπειρία, τη λειτουργία του χώρου και τις πραγματικές συνθήκες χρήσης.

4.2 Δείκτες αξιολόγησης φυσικού φωτισμού σε κτίρια γραφείων

Η αξιολόγηση του φυσικού φωτισμού στα κτίρια γραφείων αποτελεί ένα από τα πλέον ανεπτυγμένα αλλά και εννοιολογικά μεταβαλλόμενα πεδία της φωτιστικής μελέτης, καθώς επιχειρεί να αποτυπώσει ένα δυναμικό και πολυπαραγοντικό φαινόμενο μέσω ποσοτικών δεικτών. Σε αντίθεση με τον τεχνητό φωτισμό, ο φυσικός φωτισμός χαρακτηρίζεται από συνεχή μεταβολή ως προς την ένταση, τη διεύθυνση και τη φασματική του σύσταση, γεγονός που καθιστά ανεπαρκείς τις στατικές προσεγγίσεις αξιολόγησης και οδηγεί στην ανάγκη δυναμικών μεθοδολογιών που ενσωματώνουν τη χρονική διάσταση (Konis, 2013; Plörrer et al., 2021).

Ιστορικά, η αξιολόγηση του φυσικού φωτισμού βασίστηκε κυρίως στον συντελεστή φυσικού φωτισμού (Daylight Factor – DF), έναν στατικό δείκτη που χρησιμοποιήθηκε εκτεταμένα στη φωτιστική πρακτική και έρευνα. Παρά τη διαχρονική του χρήση, ο DF έχει δεχθεί εκτεταμένη κριτική, καθώς αγνοεί τη χρονική μεταβλητότητα της ηλιακής ακτινοβολίας, την παρουσία άμεσης ακτινοβολίας, καθώς και την αλληλεπίδραση με συστήματα σκίασης και πραγματικά πρότυπα χρήσης (Reinhart et al., 2006; Konis, 2013). Επιπλέον, ο DF υπολογίζεται υπό ομοιόμορφα νεφосκεπείς συνθήκες ουρανού (CIE overcast sky), γεγονός που περιορίζει περαιτέρω την αντιπροσωπευτικότητά του για πραγματικές συνθήκες λειτουργίας. Ως αποτέλεσμα, ένας χώρος μπορεί να εμφανίζει αποδεκτές τιμές DF, αλλά στην πράξη να χαρακτηρίζεται είτε από ανεπαρκή φωτισμό σε μεγάλο μέρος της ημέρας είτε από έντονα φαινόμενα θάμβωσης και υπερφωτισμού.

Η ανάγκη υπέρβασης των περιορισμών των στατικών δεικτών οδήγησε στην ανάπτυξη δυναμικών μεθοδολογιών αξιολόγησης, όπως οι δείκτες Spatial Daylight Autonomy (sDA) και Annual Sunlight Exposure (ASE), οι οποίοι βασίζονται σε ετήσια κλιματικά δεδομένα και αποτυπώνουν τη διαθεσιμότητα και την κατανομή του φυσικού φωτισμού κατά τη διάρκεια του έτους. Οι δείκτες αυτοί έχουν θεσμοθετηθεί μέσω τυποποιημένων μεθοδολογιών (π.χ. IES LM-83) και χρησιμοποιούνται ευρέως για την αξιολόγηση της διαθεσιμότητας daylight και του κινδύνου υπερφωτισμού, ενώ έχουν υιοθετηθεί και από συστήματα πιστοποίησης κτιρίων (Illuminating Engineering Society, 2012; European Committee for Standardization, 2018).

Παρότι οι δείκτες sDA και ASE θεωρούνται σήμερα κυρίαρχοι στη διεθνή πρακτική, η βιβλιογραφία επισημαίνει ότι η εφαρμογή τους δεν είναι απαλλαγμένη από προβλήματα. Καταρχάς, τα όρια που χρησιμοποιούνται (π.χ. 300 lux για sDA και 1000 lux για ASE) δεν αποτελούν καθολικά φυσικά μεγέθη, αλλά συμβατικές τιμές που βασίζονται σε γενικευμένες παραδοχές για την οπτική εργασία. Μελέτες έχουν δείξει ότι οι απαιτήσεις φωτισμού διαφοροποιούνται σημαντικά ανάλογα με τη δραστηριότητα, τον τύπο χώρου και τα χαρακτηριστικά των χρηστών, γεγονός που καθιστά τα thresholds αυτά εγγενώς αυθαίρετα και συμφραζόμενα (Doulos et al., 2020; Fakhari et al., 2022).

Επιπλέον, ενώ ο sDA αποτυπώνει επαρκώς τη διαθεσιμότητα φωτισμού, δεν λαμβάνει υπόψη την οπτική άνεση και ειδικότερα τη θάμβωση, η οποία αποτελεί κρίσιμο παράγοντα σε περιβάλλοντα γραφείων με εκτεταμένη χρήση οθονών. Αντίστοιχα, ο ASE

επιχειρεί να καλύψει το κενό αυτό, αλλά η απλή ποσοτικοποίηση της υπέρβασης ενός ορίου φωτισμού δεν επαρκεί για την πρόβλεψη της πραγματικής οπτικής δυσφορίας. Έρευνες πεδίου δείχνουν ότι χώροι με υψηλές τιμές sDA μπορεί να συνοδεύονται από έντονα προβλήματα θάμβωσης, οδηγώντας σε ενεργές παρεμβάσεις των χρηστών, όπως χρήση σκιάσεων ή αλλαγή θέσης εργασίας, γεγονός που τελικά αναιρεί τα θεωρητικά οφέλη του φυσικού φωτισμού (Reinhart & Weissman, 2012; Doulos et al., 2020).

Παράλληλα, το ευρωπαϊκό πρότυπο EN 17037 επιχειρεί να εισαγάγει μια πιο ολιστική προσέγγιση, ενσωματώνοντας πολλαπλά επίπεδα αξιολόγησης και συνδέοντας τη διαθεσιμότητα «daylight» με την οπτική άνεση και την επαφή με το εξωτερικό περιβάλλον. Ωστόσο, και σε αυτή την περίπτωση, η εφαρμογή βασίζεται σε προκαθορισμένα όρια και υποθέσεις, γεγονός που περιορίζει την ευελιξία της μεθόδου σε διαφορετικά περιβάλλοντα χρήσης και δεν αίρει πλήρως τις μεθοδολογικές αβεβαιότητες (European Committee for Standardization, 2018; Fakhari et al., 2022).

Δείκτης	Τύπος	Τι αξιολογεί	Βασικός περιορισμός
DF	Στατικός	Διαθεσιμότητα φυσικού φωτισμού υπό νεφοσκεπή ουρανό	Δεν λαμβάνει υπόψη χρόνο, κλίμα και άμεση ακτινοβολία
sDA	Δυναμικός	Ετήσια επάρκεια φυσικού φωτισμού	Δεν αξιολογεί θάμβωση
ASE	Δυναμικός	Κίνδυνος υπερφωτισμού	Δεν αποτυπώνει την πραγματική οπτική δυσφορία
EN 17037	Συνδυαστικός	Φυσικός φωτισμός, θέα, έκθεση στον ήλιο και άνεση	Βασίζεται σε προκαθορισμένα όρια και γενικευμένες υποθέσεις

Πίνακας 4.1: Βασικοί δείκτες αξιολόγησης φυσικού φωτισμού.

Με βάση τα παραπάνω, καθίσταται σαφές ότι οι δείκτες αξιολόγησης του φυσικού φωτισμού, αν και απαραίτητοι για τη σύγκριση και την τυποποίηση των σχεδιαστικών λύσεων, δεν μπορούν να αποδώσουν πλήρως την πολυπλοκότητα του φωτεινού περιβάλλοντος. Η χρήση τους πρέπει να συνοδεύεται από κριτική ερμηνεία, λαμβάνοντας υπόψη τις παραδοχές στις οποίες βασίζονται, τους περιορισμούς τους και το συγκεκριμένο πλαίσιο εφαρμογής. Σε αυτό το πλαίσιο, μπορεί να υποστηριχθεί ότι το βασικό πρόβλημα δεν έγκειται μόνο στους επιμέρους δείκτες, αλλά στη συνολική λογική αξιολόγησης μέσω

μεμονωμένων ποσοτικών μεγεθών. Η ποιότητα του φυσικού φωτισμού δεν αποτελεί στατική ιδιότητα που μπορεί να περιγραφεί επαρκώς μέσω ενός μεμονωμένου αριθμού, αλλά ένα δυναμικό χαρακτηριστικό που προκύπτει από την αλληλεπίδραση φωτός, χώρου και χρήστη. Η διαπίστωση αυτή έχει οδηγήσει τα τελευταία χρόνια σε αυξανόμενο ενδιαφέρον για υβριδικά πλαίσια αξιολόγησης, τα οποία συνδυάζουν φωτομετρικούς δείκτες, προσομοιώσεις, μετρήσεις πεδίου και δεδομένα από χρήστες, με στόχο μια πιο ολοκληρωμένη αποτίμηση της πραγματικής απόδοσης του φωτισμού.

4.3 Δείκτες αξιολόγησης τεχνητού φωτισμού και οπτικής άνεσης σε κτίρια γραφείων

Η αξιολόγηση του τεχνητού φωτισμού σε κτίρια γραφείων βασίζεται σε καθιερωμένους φωτομετρικούς δείκτες, οι οποίοι έχουν ενσωματωθεί στα ισχύοντα πρότυπα φωτισμού και χρησιμοποιούνται ευρέως για την αποτίμηση των συνθηκών οπτικής εργασίας. Ωστόσο, η έμφαση σε μετρήσιμες παραμέτρους δεν διασφαλίζει κατ' ανάγκη την αντιληπτή ποιότητα του φωτεινού περιβάλλοντος από την πλευρά των χρηστών.

Η ένταση φωτισμού αποτελεί το βασικότερο μέγεθος αξιολόγησης, με τιμές της τάξης των 500 lux να προτείνονται για τυπικές δραστηριότητες γραφείου, όπως ανάγνωση, γραφή και εργασία σε οθόνες (European Committee for Standardization, 2021). Παρ' όλα αυτά, η έμφαση σε σταθερά επίπεδα έντασης φωτισμού έχει δεχθεί σημαντική κριτική, καθώς η σχέση μεταξύ φωτισμού και οπτικής απόδοσης δεν είναι γραμμική. Έρευνες δείχνουν ότι η αύξηση της έντασης πέραν ενός ορίου δεν οδηγεί απαραίτητα σε βελτίωση της απόδοσης ή της ικανοποίησης, ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να επιδεινώσει την άνεση λόγω αυξημένων αντιθέσεων ή θάμβωσης (Boyce, 2014; Veitch & Newsham, 2000). Το γεγονός αυτό υποδηλώνει ότι η χρήση καθολικών ορίων ενδέχεται να απλοποιεί υπερβολικά τη σύνθετη φύση της οπτικής εμπειρίας.

Συμπληρωματικά, η ομοιομορφία φωτισμού χρησιμοποιείται για την αποτίμηση της χωρικής κατανομής του φωτός, με στόχο τη διευκόλυνση της οπτικής προσαρμογής κατά τη μετακίνηση του βλέμματος. Παρότι η σημασία της είναι αναγνωρισμένη, η υπερβολική έμφαση στην ομοιομορφία έχει κατηγορηθεί ότι οδηγεί σε «οπτικά επίπεδα» περιβάλλοντα, τα οποία στερούνται διαφοροποίησης και οπτικού ενδιαφέροντος. Η προσέγγιση αυτή έρχεται σε αντίθεση με σύγχρονες θεωρήσεις φωτισμού, οι οποίες

αναδεικνύουν τη σημασία της ιεραρχίας φωτεινότητας και της ποικιλίας για την ενίσχυση της αντιληπτής ποιότητας του χώρου.

Η αξιολόγηση της θάμβωσης αποτελεί έναν από τους πιο κρίσιμους αλλά και αμφιλεγόμενους τομείς της φωτιστικής ανάλυσης. Ο δείκτης Unified Glare Rating (UGR), ο οποίος χρησιμοποιείται ευρέως με προτεινόμενο όριο $UGR \leq 19$ για γραφεία, επιχειρεί να ποσοτικοποιήσει την πιθανότητα οπτικής δυσφορίας από φωτεινές πηγές (European Committee for Standardization, 2021). Ωστόσο, η εγκυρότητά του σε πραγματικά περιβάλλοντα έχει αμφισβητηθεί, καθώς βασίζεται σε στατικές συνθήκες παρατήρησης και δεν λαμβάνει υπόψη τη δυναμική φύση της χρήσης των χώρων. Σε περιβάλλοντα open-plan γραφείων, όπου οι χρήστες εργάζονται κυρίως σε οθόνες, η θάμβωση συχνά σχετίζεται περισσότερο με ανακλάσεις και «contrast ratios» παρά με τις άμεσες πηγές φωτός. Για τον λόγο αυτό, τα τελευταία χρόνια έχει αυξηθεί το ενδιαφέρον για εναλλακτικές προσεγγίσεις αξιολόγησης της θάμβωσης, όπως ο δείκτης Daylight Glare Probability (DGP), ο οποίος βασίζεται σε εικόνες λαμπρότητας και θεωρείται καταλληλότερος για δυναμικά περιβάλλοντα με σημαντική συμμετοχή φυσικού φωτισμού (Jakubiec & Reinhart, 2012). Ως αποτέλεσμα, χώροι που πληρούν τις τυπικές απαιτήσεις UGR μπορεί να εξακολουθούν να προκαλούν σημαντική οπτική δυσφορία.

Η παρατήρηση αυτή συνδέεται με μια ευρύτερη θεωρητική μετατόπιση από την ένταση φωτισμού προς τη λαμπρότητα ως βασικό μέγεθος οπτικής εμπειρίας. Η ανθρώπινη όραση ανταποκρίνεται κυρίως σε διαφορές φωτεινότητας και όχι σε απόλυτες τιμές έντασης φωτισμού, γεγονός που καθιστά κρίσιμη τη σχέση μεταξύ επιφανειών, όπως το πεδίο εργασίας, το φόντο και οι οθόνες. Παρά την αναγνώριση της σημασίας αυτής, τα περισσότερα πρότυπα εξακολουθούν να βασίζονται σε «illuminance-based» προσεγγίσεις, γεγονός που δημιουργεί ένα κενό μεταξύ θεωρητικής κατανόησης και πρακτικής εφαρμογής (Boyce, 2014).

Ιδιαίτερη σημασία αποκτά και η αξιολόγηση της απόδοσης χρωμάτων. Ο δείκτης Color Rendering Index (CRI), με ελάχιστες τιμές της τάξης του 80 για χώρους γραφείων, χρησιμοποιείται ευρέως για την αποτίμηση της πιστότητας των χρωμάτων (European Committee for Standardization, 2021). Ωστόσο, η βιβλιογραφία έχει ασκήσει έντονη κριτική στον CRI, επισημαίνοντας ότι δεν αποτυπώνει επαρκώς την αντιληπτή ποιότητα φωτισμού, ιδιαίτερα σε σύγχρονες πηγές LED. Η ανάπτυξη εναλλακτικών δεικτών, όπως

το σύστημα TM-30 με τους δείκτες Fidelity Index (Rf) και Gamut Index (Rg), αναδεικνύει την ανάγκη για πιο σύνθετες και φασματικά ευαίσθητες προσεγγίσεις αξιολόγησης (Illuminating Engineering Society, 2018).

Δείκτης	Τι αξιολογεί	Τυπική χρήση / όριο	Βασικός περιορισμός
Illuminance (lux)	Επίπεδο φωτισμού στο έργο	≈ 500 lux για γραφεία	Δεν αποτυπώνει αντίθεση, θάμβωση ή αντιληπτή ποιότητα
Ομοιομορφία	Χωρική κατανομή φωτισμού	Ελάχιστες τιμές σε πρότυπα	Μπορεί να οδηγεί σε «επίπεδα» οπτικά περιβάλλοντα
UGR	Δυσφορία από θάμβωση	$UGR \leq 19$ για γραφεία	Βασίζεται σε στατικές συνθήκες, δεν καλύπτει glare σε οθόνες
Luminance ratios	Σχέσεις φωτεινότητας μεταξύ επιφανειών	Συμπληρωματική αξιολόγηση άνεσης	Δεν υπάρχουν πλήρως ενοποιημένα όρια
CRI	Πιστότητα απόδοσης χρωμάτων	$CRI \geq 80$ σε χώρους γραφείων	Περιορισμένη ακρίβεια σε σύγχρονες LED πηγές
TM-30 (Rf, Rg)	Ποιότητα και κορεσμό χρωμάτων	Προχωρημένα έργα / ερευνητικά πλαίσια	Πιο σύνθετη ερμηνεία, όχι ακόμη πλήρως ενσωματωμένη σε πρότυπα

Πίνακας 4.2: Βασικοί δείκτες αξιολόγησης τεχνητού φωτισμού σε γραφεία.

Η κριτική αποτίμηση των παραπάνω δεικτών δείχνει ότι τα πρότυπα παρέχουν σαφή και μετρήσιμα κριτήρια για τη διασφάλιση ελάχιστων αποδεκτών συνθηκών φωτισμού, χωρίς όμως να μπορούν να προβλέψουν πλήρως την πραγματική εμπειρία των χρηστών. Η συμμόρφωση με τιμές φωτισμού, UGR ή CRI αποτελεί αναγκαία προϋπόθεση για τον σχεδιασμό, αλλά δεν επαρκεί από μόνη της για την εξήγηση διαφοροποιήσεων στην ικανοποίηση, την απόδοση ή την αντιληπτή άνεση των χρηστών. Συνεπώς, η αξιολόγηση του τεχνητού φωτισμού δεν μπορεί να περιορίζεται αποκλειστικά στη συμμόρφωση με πρότυπα, αλλά απαιτεί συνθετική προσέγγιση που να λαμβάνει υπόψη τις πραγματικές συνθήκες χρήσης και την εμπειρία των χρηστών. Οι φωτομετρικοί δείκτες παραμένουν απαραίτητα εργαλεία αξιολόγησης· η αξία τους όμως έγκειται κυρίως στην υποστήριξη της σχεδιαστικής κρίσης και όχι στην παροχή απόλυτων κριτηρίων ποιότητας.

4.4 Δείκτες μη οπτικών επιδράσεων και ανθρωποκεντρικού φωτισμού (HCL) σε κτίρια γραφείων

Η αξιολόγηση των μη οπτικών επιδράσεων του φωτός αποτελεί ένα από τα πλέον εξελισσόμενα πεδία της σύγχρονης φωτιστικής έρευνας, καθώς επιχειρεί να συνδέσει τη φωτεινή έκθεση με βιολογικές και φυσιολογικές αποκρίσεις του ανθρώπου. Σε αντίθεση με τους παραδοσιακούς φωτομετρικούς δείκτες, οι δείκτες αυτοί επιδιώκουν να αποτυπώσουν πτυχές της αλληλεπίδρασης μεταξύ φωτός και ανθρώπινου οργανισμού που σχετίζονται με τη ρύθμιση του κirkάδιου συστήματος και τη βιολογική επίδραση του φωτός (Brown et al., 2022; Vetter et al., 2022).

Στο πλαίσιο αυτό έχουν αναπτυχθεί δείκτες όπως το melanopic Equivalent Daylight Illuminance (melanopic EDI), ο Circadian Stimulus (CS), το Equivalent Melanopic Lux (EML) και ο λόγος M/P (melanopic-to-photopic ratio), οι οποίοι χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της βιολογικά αποτελεσματικής φωτεινής έκθεσης. Ο melanopic EDI, όπως ορίζεται στο CIE S 026, εκφράζει τη φασματική σύσταση του φωτός ως ισοδύναμη μελανοπικά σταθμισμένη ένταση φωτισμού, ενώ ο CS εκτιμά την πιθανή επίδραση του φωτισμού στην καταστολή της μελατονίνης υπό συγκεκριμένες συνθήκες έκθεσης. Ο EML αξιοποιείται κυρίως σε συστήματα και πλαίσια πιστοποίησης, ενώ ο M/P ratio προσφέρει έναν απλό συγκριτικό δείκτη για την εκτίμηση της μελανοπικής έναντι της φωτοπικής διέγερσης (Commission Internationale de l'Éclairage, 2018; Schlangen & Price, 2021).

Δείκτης	Τι αξιολογεί	Πλεονέκτημα	Βασικός περιορισμός
Melanopic EDI	Μελανοπική φωτεινή διέγερση	Βασίζεται στο CIE S 026	Απαιτεί φασματικά δεδομένα
Circadian Stimulus (CS)	Πιθανή κirkάδια διέγερση	Συνδέεται με βιολογική απόκριση	Βασίζεται σε συγκεκριμένες παραδοχές έκθεσης
EML (Equivalent Melanopic Lux)	Μελανοπικά ισοδύναμος φωτισμός	Χρησιμοποιείται σε συστήματα πιστοποίησης (π.χ. WELL)	Δεν αποτελεί παγκόσμιο πρότυπο
M/P Ratio	Αναλογία μελανοπικής προς φωτοπική απόκριση	Απλός συγκριτικός δείκτης	Δεν αποτυπώνει την πραγματική ημερήσια έκθεση

Πίνακας 4.3: Βασικοί δείκτες μη οπτικών επιδράσεων φωτισμού.

Η πρακτική σημασία των δεικτών αυτών αποτυπώνεται και σε συστήματα πιστοποίησης, όπως το WELL Building Standard, το οποίο εισάγει απαιτήσεις σχετικές με τη μελανοπική διέγερση και την υποστήριξη του κιρκάδιου συστήματος μέσω του φωτισμού. Παρότι η προσέγγιση αυτή συνέβαλε στη μεταφορά της επιστημονικής γνώσης στην πρακτική του σχεδιασμού, η εφαρμογή της εξακολουθεί να βασίζεται σε γενικευμένες παραδοχές και τυποποιημένα σενάρια χρήσης, με αποτέλεσμα να υπόκειται σε σημαντικές αβεβαιότητες ως προς την πραγματική βιολογική αποτελεσματικότητα των προτεινόμενων τιμών (Brown et al., 2022; Schlangen & Price, 2021).

Παράλληλα, η μεταφορά των ερευνητικών ευρημάτων από ελεγχόμενα εργαστηριακά περιβάλλοντα σε πραγματικούς χώρους γραφείων παραμένει ένα από τα βασικότερα μεθοδολογικά ζητήματα του πεδίου. Η συνύπαρξη φυσικού και τεχνητού φωτισμού, η μεταβλητότητα της ημερήσιας έκθεσης και οι διαφοροποιήσεις μεταξύ χρηστών δυσχεραίνουν την πρόβλεψη των πραγματικών βιολογικών επιδράσεων και περιορίζουν τη δυνατότητα γενίκευσης των αποτελεσμάτων. Οι χρήστες εκτίθενται σε φως εντός και εκτός του χώρου εργασίας, σε διαφορετικά ωράρια και με διαφορετικές συνήθειες, με αποτέλεσμα η συνολική ημερήσια έκθεση να μην μπορεί να αποδοθεί σε μία μόνο φωτιστική ρύθμιση (Stebelová et al., 2024; Vetter et al., 2022).

Ένα από τα βασικά μεθοδολογικά ζητήματα είναι ότι οι δείκτες μη οπτικών επιδράσεων επιχειρούν να αποτυπώσουν βιολογικές αποκρίσεις μέσω απλουστευμένων αριθμητικών αναπαραστάσεων. Ωστόσο, η σχέση μεταξύ φωτεινής έκθεσης και ανθρώπινης απόκρισης είναι πολυπαραγοντική και επηρεάζεται από παράγοντες όπως το ιστορικό φωτισμού, η διάρκεια έκθεσης, η ηλικία, ο χρονότυπος και το συνολικό περιβαλλοντικό πλαίσιο. Κατά συνέπεια, η χρήση των δεικτών αυτών ως αυτόνομων εργαλείων σχεδιασμού ενδέχεται να οδηγεί σε υπεραπλουστευμένες ερμηνείες ενός ιδιαίτερα σύνθετου φαινομένου (Vetter et al., 2022; Brown et al., 2022).

Η κριτική αποτίμηση των δεικτών αυτών δείχνει ότι, παρά την αυξανόμενη χρήση τους στη βιβλιογραφία και στη συζήτηση γύρω από τον ανθρωποκεντρικό φωτισμό, δεν μπορούν να θεωρηθούν αυτόνομα εργαλεία σχεδιασμού. Η ύπαρξη μετρήσιμης βιολογικής επίδρασης δεν συνεπάγεται αυτομάτως και τη δυνατότητα αξιόπιστης μετατροπής της σε συγκεκριμένες σχεδιαστικές οδηγίες, ιδίως σε σύνθετα περιβάλλοντα γραφείων. Ως εκ τούτου, οι δείκτες μη οπτικών επιδράσεων θα πρέπει να

αντιμετωπίζονται κυρίως ως εργαλεία ανάλυσης και κατανόησης, τα οποία συμπληρώνουν αλλά δεν υποκαθιστούν τις υπόλοιπες παραμέτρους αξιολόγησης του φωτισμού.

Συνεπώς, η συμβολή των δεικτών μη οπτικών επιδράσεων έγκειται κυρίως στη διεύρυνση της κατανόησης της σχέσης μεταξύ φωτός και ανθρώπου. Η αξιοποίησή τους απαιτεί κριτική ερμηνεία και συνδυασμό με οπτικά, λειτουργικά και περιβαλλοντικά κριτήρια, ώστε να αποφεύγεται η υπεραπλούστευση ενός ιδιαίτερα σύνθετου φαινομένου. Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, οι δείκτες αυτοί αντιμετωπίζονται ως μέρος ενός ευρύτερου πλαισίου αξιολόγησης, όπου η βιολογική διάσταση του φωτός συνυπάρχει με τις απαιτήσεις οπτικής άνεσης, ενεργειακής απόδοσης και ανθρώπινης εμπειρίας.

4.5 Υποκειμενικές μέθοδοι αξιολόγησης φωτισμού και εμπειρίας χρηστών σε κτίρια γραφείων

Η αξιολόγηση του φωτισμού στα κτίρια γραφείων δεν μπορεί να θεωρηθεί ολοκληρωμένη χωρίς την ενσωμάτωση της εμπειρίας των χρηστών, καθώς η ποιότητα του φωτεινού περιβάλλοντος δεν αποτυπώνεται πλήρως μέσω αντικειμενικών μετρήσεων. Η σύγχρονη βιβλιογραφία καταδεικνύει ότι η σχέση μεταξύ φωτομετρικών δεικτών και αντιληπτής άνεσης είναι συχνά ασθενής ή μη γραμμική, γεγονός που καθιστά αναγκαία τη χρήση υποκειμενικών μεθόδων αξιολόγησης (Kim & Lee, 2024; Aliparast & Onaygil, 2024). Η διαπίστωση αυτή αναδεικνύει ένα κρίσιμο μεθοδολογικό όριο: οι αντικειμενικοί δείκτες μπορούν να επιβεβαιώσουν την τεχνική επάρκεια ενός χώρου, αλλά δεν επαρκούν για την ερμηνεία της πραγματικής εμπειρίας του φωτισμού.

Οι υποκειμενικές μέθοδοι - όπως ερωτηματολόγια ικανοποίησης, συνεντεύξεις και μελέτες πεδίου - δεν λειτουργούν απλώς ως συμπληρωματικά εργαλεία, αλλά ως μέσα ερμηνείας της σχέσης μεταξύ φυσικού περιβάλλοντος και ανθρώπινης αντίληψης. Μέσω αυτών, καθίσταται δυνατή η ανάδειξη αποκλίσεων μεταξύ σχεδιαστικών προθέσεων και πραγματικής χρήσης του χώρου, οι οποίες δεν είναι δυνατόν να εντοπιστούν μέσω φωτομετρικών δεδομένων (Altomonte et al., 2024). Με άλλα λόγια, η υποκειμενική αξιολόγηση δεν προσθέτει απλώς πληροφορία, αλλά αποκαλύπτει τα όρια των αντικειμενικών δεικτών.

Ιδιαίτερη σημασία αποκτά η έννοια της αντιληπτής άνεσης, η οποία δεν καθορίζεται αποκλειστικά από φυσικά μεγέθη, αλλά διαμορφώνεται μέσα από την αλληλεπίδραση φωτισμού, δραστηριότητας και προσδοκιών. Σε αυτό το πλαίσιο, η δυνατότητα ελέγχου του φωτισμού αναδεικνύεται ως καθοριστικός παράγοντας. Έρευνες σε γραφειακά περιβάλλοντα δείχνουν ότι η ύπαρξη επιλογών προσαρμογής - όπως ρύθμιση έντασης ή χρήση σκιάσεων - επηρεάζει θετικά την ικανοποίηση των χρηστών, ακόμη και όταν οι αντικειμενικές συνθήκες παραμένουν σταθερές (Gao et al., 2025; Hammes et al., 2024). Η εμπειρία του φωτισμού, συνεπώς, συνδέεται άμεσα με την αντίληψη ελέγχου και όχι μόνο με τα επίπεδα φωτισμού.

Παράλληλα, οι υποκειμενικές αξιολογήσεις αναδεικνύουν τη χωρική ανομοιογένεια της εμπειρίας σε γραφεία ανοικτής διάταξης. Οι χρήστες που βρίσκονται κοντά σε ανοίγματα εκτίθενται συχνότερα σε φαινόμενα θάμβωσης και υψηλών αντιθέσεων, ιδιαίτερα σε περιβάλλοντα με εκτεταμένη χρήση οθονών, ενώ σε βαθύτερες ζώνες παρατηρείται συχνότερα αίσθηση ανεπαρκούς φωτισμού, ακόμη και όταν οι μετρήσεις έντασης φωτισμού βρίσκονται εντός των προδιαγραφών (Konis, 2013; Doulos et al., 2020). Οι διαφοροποιήσεις αυτές υποδεικνύουν ότι η οπτική εμπειρία δεν είναι ομοιογενής εντός του ίδιου χώρου, γεγονός που δεν αποτυπώνεται επαρκώς σε μέσες τιμές ή τυποποιημένους δείκτες.

Η συμβολή των υποκειμενικών μεθόδων είναι επίσης κρίσιμη στην ερμηνεία των μη οπτικών επιδράσεων. Αν και δείκτες όπως το melanopic EDI ή ο Circadian Stimulus επιχειρούν να ποσοτικοποιήσουν τη βιολογική επίδραση του φωτός, η εμπειρία των χρηστών δεν ευθυγραμμίζεται απαραίτητα με τις προβλέψεις τους. Σε ορισμένες περιπτώσεις, δυναμικά σενάρια φωτισμού που στοχεύουν στην ενίσχυση της εγρήγορσης μπορεί να αξιολογούνται λιγότερο θετικά, ιδίως όταν δεν λαμβάνουν επαρκώς υπόψη το πλαίσιο χρήσης ή τις προτιμήσεις των χρηστών (Jalali et al., 2024). Η παρατήρηση αυτή δεν υποδηλώνει εγγενή αδυναμία των στρατηγικών αυτών, αλλά αναδεικνύει την ανάγκη προσαρμογής τους σε πραγματικές συνθήκες εφαρμογής.

Μέθοδος	Τι αξιολογεί	Πλεονεκτήματα	Περιορισμοί
Ερωτηματολόγια	Ικανοποίηση και αντιληπτή άνεση	Εύκολη εφαρμογή, δυνατότητα μεγάλης κλίμακας	Υποκειμενικότητα, επηρεασμός από προσδοκίες
Συνεντεύξεις	Βαθύτερη κατανόηση εμπειρίας	Πλούσια, ποιοτικά δεδομένα	Χρονοβόρες, περιορισμένος αριθμός συμμετεχόντων
Post-Occupancy Evaluation (POE)	Εμπειρία πραγματικής χρήσης χώρου	Σύνδεση με λειτουργία και απόδοση κτιρίου	Δύσκολη γενίκευση σε άλλα πλαίσια
NExT framework	Ανάγκες, προσδοκίες, εμπειρία στον χρόνο	Συνδυάζει αντικειμενικά και υποκειμενικά δεδομένα	Περιορισμένη ακόμη εφαρμογή, αυξημένη μεθοδολογική πολυπλοκότητα

Πίνακας 4.4: Υποκειμενικές μέθοδοι αξιολόγησης φωτισμού σε γραφεία.

Παρά τη σημασία τους, οι υποκειμενικές μέθοδοι παρουσιάζουν εγγενείς περιορισμούς. Η εξάρτησή τους από προσωπικές αντιλήψεις, πολιτισμικούς παράγοντες και προσδοκίες περιορίζει τη συγκρισιμότητα των αποτελεσμάτων, ενώ η χρονική μεταβλητότητα της εμπειρίας καθιστά δύσκολη τη γενίκευση των ευρημάτων (Stebelová et al., 2024). Σε αντίθεση με τους φωτομετρικούς δείκτες, δεν παρέχουν σαφή και επαναλήψιμα κριτήρια αξιολόγησης, γεγονός που περιορίζει την ενσωμάτωσή τους σε κανονιστικά πλαίσια.

Η αυξανόμενη έμφαση στις υποκειμενικές αξιολογήσεις αναδεικνύει ένα ευρύτερο επιστημολογικό ζήτημα στη μελέτη του φωτισμού: η ποιότητα ενός φωτιστικού περιβάλλοντος δεν μπορεί να οριστεί αποκλειστικά μέσω τεχνικών προδιαγραφών ούτε αποκλειστικά μέσω ατομικών αντιλήψεων. Η εμπειρία του φωτισμού προκύπτει από τη συνεχή αλληλεπίδραση φυσικών συνθηκών και ανθρώπινης ερμηνείας, γεγονός που καθιστά αναγκαία την ανάπτυξη υβριδικών πλαισίων αξιολόγησης που συνδυάζουν αντικειμενικά και υποκειμενικά δεδομένα.

Συνεπώς, η υποκειμενική αξιολόγηση δεν αποτελεί ούτε συμπλήρωμα ούτε υποκατάστατο των αντικειμενικών δεικτών. Αποτελεί το σημείο όπου οι δείκτες δοκιμάζονται στην πράξη και το μέσο μέσω του οποίου αποτιμάται κατά πόσο το φωτεινό περιβάλλον ανταποκρίνεται στις ανάγκες, τις προσδοκίες και τη συμπεριφορά των χρηστών.

4.6 Συνδυαστικές προσεγγίσεις και ολοκληρωμένα πλαίσια αξιολόγησης φωτισμού σε κτίρια γραφείων

Η ανάλυση των επιμέρους κατηγοριών δεικτών ανέδειξε ότι καμία μεμονωμένη προσέγγιση δεν επαρκεί για την ολοκληρωμένη αξιολόγηση του φωτισμού σε κτίρια γραφείων. Οι φωτομετρικοί δείκτες αποτυπώνουν την τεχνική επάρκεια, οι δείκτες φυσικού φωτισμού τη χωροχρονική διαθεσιμότητα του φυσικού φωτισμού, οι δείκτες μη οπτικών επιδράσεων τη βιολογική διάσταση του φωτός, ενώ οι υποκειμενικές μέθοδοι καταγράφουν την εμπειρία των χρηστών. Η ταυτόχρονη χρήση τους δεν οδηγεί αυτομάτως σε συνεκτική εικόνα, καθώς κάθε κατηγορία βασίζεται σε διαφορετικές παραδοχές και χρονικές κλίμακες. Ως αποτέλεσμα, η αξιολόγηση του φωτισμού δεν αποτελεί απλή σύνθεση δεδομένων, αλλά διαδικασία ερμηνείας συχνά ασύμβατων αποτελεσμάτων.

Σε αυτό το πλαίσιο, οι συνδυαστικές προσεγγίσεις επιχειρούν να υπερβούν τον κατακερματισμό των επιμέρους δεικτών, προτείνοντας ολοκληρωμένα πλαίσια αξιολόγησης που ενσωματώνουν πολλαπλές διαστάσεις του φωτισμού. Κεντρική αρχή των προσεγγίσεων αυτών αποτελεί η αντιμετώπιση του φωτισμού ως μέρους της συνολικής ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος (Indoor Environmental Quality – IEQ), όπου ο φωτισμός δεν αξιολογείται απομονωμένα αλλά σε συνάρτηση με άλλες περιβαλλοντικές παραμέτρους και τη συνολική εμπειρία του χρήστη (Altomonte et al., 2024).

Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το πλαίσιο NExT (Needs, Expectations, eXperience, Time), το οποίο επιχειρεί να συνδέσει αντικειμενικές μετρήσεις με υποκειμενικές αποκρίσεις, ενσωματώνοντας τη χρονική διάσταση και τη δυναμική εξέλιξη της εμπειρίας. Η σημασία τέτοιων προσεγγίσεων δεν έγκειται στην παραγωγή ενός ενιαίου αποτελέσματος, αλλά στη δυνατότητα καλύτερης οργάνωσης, ιεράρχησης και ερμηνείας των δεδομένων. Με άλλα λόγια, τα ολοκληρωμένα πλαίσια δεν λειτουργούν ως «δείκτες», αλλά ως εργαλεία κατανόησης.

Παράλληλα, ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στη συνδυαστική αξιολόγηση φυσικού και τεχνητού φωτισμού. Η ποιότητα του φωτεινού περιβάλλοντος δεν προκύπτει από την ανεξάρτητη βελτιστοποίηση κάθε πηγής φωτός, αλλά από τη μεταξύ τους αλληλεπίδραση σε πραγματικές συνθήκες χρήσης. Μελέτες δείχνουν ότι η αναλογία «daylight» προς

συνολικό φωτισμό, η λειτουργία των συστημάτων σκίασης και οι επιλογές των χρηστών επηρεάζουν καθοριστικά τόσο την ενεργειακή απόδοση όσο και την αντιληπτή άνεση (Fakhari et al., 2022; Doulos et al., 2020). Η προσέγγιση αυτή ανατρέπει τη συμβατική λογική σχεδιασμού, όπου τα δύο συστήματα αντιμετωπίζονται διακριτά.

Ωστόσο, παρά τη θεωρητική τους αξία, τα ολοκληρωμένα πλαίσια αξιολόγησης αντιμετωπίζουν σημαντικές μεθοδολογικές προκλήσεις. Η ενσωμάτωση διαφορετικών κατηγοριών δεικτών προϋποθέτει τη σύγκλιση μεγεθών που δεν είναι άμεσα συγκρίσιμα, όπως φωτομετρικές τιμές, βιολογικές αποκρίσεις και υποκειμενικές αξιολογήσεις. Η προσπάθεια ενοποίησης αυτών των παραμέτρων οδηγεί συχνά σε απλουστεύσεις, οι οποίες μειώνουν την ακρίβεια της ανάλυσης ή αποκρύπτουν κρίσιμες διαφοροποιήσεις μεταξύ χρηστών και συνθηκών χρήσης (Stebelová et al., 2024).

Επιπλέον, η ενσωμάτωση των μη οπτικών επιδράσεων παραμένει ιδιαίτερα απαιτητική. Παρά την αυξανόμενη χρήση δεικτών όπως το melanopic EDI, η απουσία σαφών ορίων και η εξάρτησή τους από χρονικές και ατομικές παραμέτρους καθιστούν δύσκολη την ένταξή τους σε ενιαία συστήματα αξιολόγησης (Brown et al., 2022; Schlangen & Price, 2021). Αντίστοιχα, τα υποκειμενικά δεδομένα, αν και κρίσιμα για την κατανόηση της εμπειρίας, εισάγουν υψηλό βαθμό μεταβλητότητας και περιορίζουν τη συγκρισιμότητα των αποτελεσμάτων.

Η κατάσταση αυτή αναδεικνύει ένα ουσιαστικό θεωρητικό ζήτημα. Η επιδίωξη ενός ενιαίου, καθολικού δείκτη ποιότητας φωτισμού είναι πρακτικά δύσκολη. Ταυτόχρονα, είναι και εννοιολογικά προβληματική. Η πολυπλοκότητα του φωτισμού, ως φαινομένου που συνδέει φυσικές, βιολογικές και ψυχολογικές διαστάσεις, δεν επιτρέπει την πλήρη συμπίκνωσή του σε ένα ενιαίο αριθμητικό μέγεθος χωρίς απώλεια κρίσιμης πληροφορίας.

Στο πλαίσιο αυτό, η αξία των συνδυαστικών προσεγγίσεων δεν έγκειται στην παραγωγή ενός «τελικού» αποτελέσματος, αλλά στη δυνατότητά τους να υποστηρίζουν μια συνθετική και κριτική ερμηνεία των δεδομένων. Η αξιολόγηση του φωτισμού μετατοπίζεται έτσι από μια διαδικασία μέτρησης σε μια διαδικασία λήψης αποφάσεων, όπου ο σχεδιαστής καλείται να ισορροπήσει μεταξύ αντικρουόμενων απαιτήσεων και διαφορετικών μορφών γνώσης.

Συνεπώς, τα ολοκληρωμένα πλαίσια αξιολόγησης δεν αποτελούν εργαλεία οριστικής απάντησης. Αποτελούν εργαλεία κρίσης. Η συνθετική κατανόηση των επιμέρους προσεγγίσεων που παρουσιάστηκαν στο τέταρτο κεφάλαιο διαμορφώνει το θεωρητικό και μεθοδολογικό υπόβαθρο της παρούσας εργασίας και υποστηρίζει την κριτική ανάλυση των στρατηγικών φωτισμού που εξετάζονται στα επόμενα κεφάλαια.

Προσέγγιση αξιολόγησης	Αντικείμενο μέτρησης	Πλεονεκτήματα	Περιορισμοί
Φωτομετρικοί δείκτες (EN 12464-1, TOTE 20701-1)	ένταση φωτισμού, δείκτης θάμβωσης (UGR) και ομοιομορφία φωτισμού	Αντικειμενικότητα, κανονιστική σαφήνεια, συγκρισιμότητα	Δεν αποτυπώνουν εμπειρία, αγνοούν δυναμική χρήση
Δείκτες φυσικού φωτισμού (DF, sDA, ASE)	Χρονική διαθεσιμότητα του φυσικού φωτισμού	Ενσωματώνουν χρονική διάσταση, χρήσιμοι στον σχεδιασμό	Εξάρτηση από «thresholds» και μοντέλα, περιορισμένη σύνδεση με άνεση
Δείκτες μη οπτικών επιδράσεων (melanopic EDI, CS)	Βιολογική επίδραση φωτός	Εισάγουν κινκάρδια διάσταση	Περιορισμένη εφαρμογή, εξάρτηση από παραδοχές και το πλαίσιο εφαρμογής.
Υποκειμενικές μέθοδοι	Αντίληψη, ικανοποίηση, εμπειρία χρήση	Ρεαλιστική αποτύπωση εμπειρίας, αποκαλύπτουν αποκλίσεις	Μη συγκρισιμότητα, υψηλή μεταβλητότητα
Συνδυαστικά πλαίσια (IEQ, NExT)	Ενοποίηση πολλαπλών παραμέτρων	Ολιστική προσέγγιση, υποστήριξη σχεδιαστικών αποφάσεων	Μεθοδολογική πολυπλοκότητα, απουσία ενιαίων ορίων

Πίνακας 4.5: Συγκριτική αποτίμηση προσεγγίσεων αξιολόγησης φωτισμού σε κτίρια γραφείων, με βάση το αντικείμενο μέτρησης, τα πλεονεκτήματα και τους περιορισμούς τους.



Σχήμα 4.1: Εννοιολογικό πλαίσιο ολοκληρωμένης αξιολόγησης φωτισμού σε κτίρια γραφείων, το οποίο αποτυπώνει τη σύγκλιση τεχνικών, περιβαλλοντικών, βιολογικών και εμπειρικών παραμέτρων και τη δυναμική αλληλεπίδρασή τους στη διαμόρφωση της ποιότητας φωτισμού.

4.7 Προκλήσεις και περιορισμοί αξιολόγησης φωτισμού σε κτίρια γραφείων

Η αξιολόγηση του φωτισμού σε σύγχρονα κτίρια γραφείων, όπως προκύπτει από την προηγούμενη ανάλυση, αποτελεί ένα πολυπαραγοντικό και μεθοδολογικά σύνθετο εγχείρημα, το οποίο συνοδεύεται από σημαντικές προκλήσεις και εγγενείς περιορισμούς. Παρά την πρόοδο στην ανάπτυξη δεικτών και την ενσωμάτωση ανθρωποκεντρικών προσεγγίσεων, δεν έχει ακόμη εδραιωθεί μία ενιαία μεθοδολογία που να συνδυάζει αποτελεσματικά τις διαφορετικές διαστάσεις του φωτισμού. Η ασυμφωνία αυτή δεν αποτελεί απλώς τεχνικό ζήτημα, αλλά αντανακλά τη φύση του φωτισμού ως φαινομένου που εκτείνεται ταυτόχρονα σε φυσικές, βιολογικές και ψυχολογικές διαστάσεις (Altomonte et al., 2024).

Ένα από τα βασικότερα προβλήματα αφορά τη μη συγκρισιμότητα των δεικτών. Οι φωτομετρικοί δείκτες, οι δείκτες φυσικού φωτισμού, οι δείκτες μη οπτικών επιδράσεων και οι υποκειμενικές μέθοδοι βασίζονται σε διαφορετικές θεωρητικές αφετηρίες και

χρονικές κλίμακες. Ως αποτέλεσμα, η παράλληλη χρήση τους δεν οδηγεί απαραίτητα σε συνεκτικά συμπεράσματα. Ένας χώρος μπορεί να εμφανίζει επάρκεια φωτισμού και υψηλή διαθεσιμότητα του φυσικού φωτισμού, αλλά ταυτόχρονα να παρουσιάζει προβλήματα θάμβωσης ή χαμηλή ικανοποίηση χρηστών, γεγονός που αναδεικνύει τις εσωτερικές αντιφάσεις των επιμέρους μεθόδων (Doulos et al., 2020; Stebelová et al., 2024).

Σημαντικός περιορισμός σχετίζεται με την εξάρτηση πολλών δεικτών από τυποποιημένες παραδοχές. Δείκτες όπως ο Daylight Factor ή ο UGR βασίζονται σε στατικές και ιδεατές συνθήκες, οι οποίες δεν ανταποκρίνονται στη δυναμική φύση των πραγματικών γραφειακών χώρων. Ακόμη και δυναμικοί δείκτες, όπως ο sDA και ο ASE, εξαρτώνται από προκαθορισμένα όρια (π.χ. 300 lux ή 1000 lux), τα οποία δεν είναι ουδέτερα αλλά συμβατικά και εξαρτώμενα από το πλαίσιο χρήσης. Η χρήση τέτοιων ορίων διευκολύνει τη συγκρισιμότητα, αλλά ταυτόχρονα περιορίζει την ικανότητα των δεικτών να αποτυπώσουν την πραγματική εμπειρία του φωτισμού (Fakhari et al., 2022; Doulos et al., 2020).

Η μεταφορά της γνώσης από ελεγχόμενα περιβάλλοντα σε πραγματικά γραφεία αποτελεί μία ακόμη κρίσιμη πρόκληση. Ιδιαίτερα στο πεδίο των μη οπτικών επιδράσεων, οι δείκτες βασίζονται συχνά σε εργαστηριακά δεδομένα, όπου οι μεταβλητές είναι απομονωμένες. Αντίθετα, σε πραγματικά περιβάλλοντα, η φωτεινή έκθεση διαμορφώνεται από τη συνύπαρξη φυσικού και τεχνητού φωτισμού, τη χρονική μεταβλητότητα και τη συμπεριφορά των χρηστών. Η απόσταση αυτή περιορίζει την αξιοπιστία των προβλέψεων και καθιστά δύσκολη τη γενίκευση των αποτελεσμάτων (Vetter et al., 2022; Stebelová et al., 2024).

Η συμπεριφορά των χρηστών αποτελεί έναν από τους πιο κρίσιμους αλλά λιγότερο προβλέψιμους παράγοντες. Η χρήση σκιάσεων, η ρύθμιση φωτιστικών σωμάτων ή η επιλογή θέσης εργασίας μπορούν να μεταβάλουν σημαντικά τις συνθήκες φωτισμού, δημιουργώντας αποκλίσεις μεταξύ σχεδιαστικών προθέσεων και πραγματικής λειτουργίας (Hammes et al., 2024; Gao et al., 2025). Η παράμετρος αυτή υπογραμμίζει ότι η αξιολόγηση δεν μπορεί να είναι στατική, αλλά πρέπει να λαμβάνει υπόψη τη χρήση σε βάθος χρόνου.

Επιπλέον, η υποκειμενικότητα της εμπειρίας εισάγει ένα επιπλέον επίπεδο αβεβαιότητας. Η αντίληψη του φωτισμού επηρεάζεται από παράγοντες όπως η ηλικία, η οπτική ικανότητα, το είδος της εργασίας και οι προσωπικές προτιμήσεις. Ως αποτέλεσμα, οι ίδιες φωτιστικές συνθήκες μπορεί να αξιολογούνται διαφορετικά από διαφορετικούς χρήστες, γεγονός που περιορίζει τη δυνατότητα ανάπτυξης καθολικών κριτηρίων αξιολόγησης (Kim & Lee, 2024).

Παράλληλα, η ενσωμάτωση των μη οπτικών επιδράσεων σε πρακτικά εργαλεία σχεδιασμού παραμένει περιορισμένη. Παρά την επιστημονική τεκμηρίωση της επίδρασης του φωτός στον κirkάδιο ρυθμό, η εφαρμογή δεικτών όπως το melanopic EDI ή ο Circadian Stimulus χαρακτηρίζεται από αβεβαιότητα, λόγω της εξάρτησής τους από χρονικές και ατομικές παραμέτρους. Η ένταση αυτή μεταξύ επιστημονικής γνώσης και πρακτικής εφαρμογής αποτελεί βασικό χαρακτηριστικό του πεδίου του ανθρωποκεντρικού φωτισμού (Brown et al., 2022; Schlangen & Price, 2021; Vetter et al., 2022).

Περιορισμός	Επίπτωση στην αξιολόγηση
Μη συγκρισιμότητα δεικτών	Δυσκολία ενοποίησης αποτελεσμάτων και συμπερασμάτων
Εξάρτηση από παραδοχές και thresholds	Περιορισμένη προσαρμογή σε διαφορετικά περιβάλλοντα
Απόσταση μεταξύ εργαστηρίου και πραγματικής χρήσης	Αβεβαιότητα στη γενίκευση αποτελεσμάτων
Συμπεριφορά χρηστών	Απόκλιση μεταξύ σχεδιασμού και πραγματικής λειτουργίας
Υποκειμενικότητα εμπειρίας	Δυσκολία ανάπτυξης καθολικών κριτηρίων
Περιορισμοί δεικτών μη οπτικών επιδράσεων	Αβεβαιότητα στην πρακτική εφαρμογή
Έλλειψη ενοποιημένης μεθοδολογίας	Ανάγκη πολυκριτηριακής και συνθετικής αξιολόγησης

Πίνακας 4.6: Κύριοι περιορισμοί αξιολόγησης φωτισμού σε κτίρια γραφείων.

Η αναγνώριση του φωτισμού ως δυναμικού και πολυδιάστατου φαινομένου αποτελεί βασική προϋπόθεση για την ανάπτυξη πιο ώριμων και αποτελεσματικών μεθοδολογιών αξιολόγησης. Με βάση τα παραπάνω, μπορούν να διατυπωθούν τρεις βασικές

διαπιστώσεις. Πρώτον, η αξιολόγηση του φωτισμού απαιτεί πολυκριτηριακή προσέγγιση, καθώς καμία κατηγορία δεικτών δεν επαρκεί από μόνη της. Δεύτερον, η τεχνική επάρκεια, αν και απαραίτητη, δεν αποτελεί επαρκές κριτήριο για την αποτίμηση της ποιότητας του φωτεινού περιβάλλοντος. Τρίτον, η κατανόηση του φωτισμού προϋποθέτει την ενσωμάτωση της ανθρώπινης εμπειρίας ως ισότιμης παραμέτρου αξιολόγησης.

Ωστόσο, η σημασία των παραπάνω διαπιστώσεων δεν έγκειται στην αναζήτηση ενός νέου, πιο σύνθετου δείκτη. Αντιθέτως, αναδεικνύει ένα βαθύτερο ζήτημα: η ίδια η λογική της αξιολόγησης μέσω μεμονωμένων δεικτών εμφανίζει εγγενή όρια. Η ποιότητα του φωτισμού δεν μπορεί να συμπυκνωθεί πλήρως σε ένα αριθμητικό μέγεθος, καθώς προκύπτει από τη δυναμική αλληλεπίδραση πολλαπλών παραμέτρων σε πραγματικές συνθήκες χρήσης.

Στο πλαίσιο αυτό, η αξιολόγηση του φωτισμού δεν πρέπει να αντιμετωπίζεται ως διαδικασία παραγωγής «σωστών» αριθμών, αλλά ως διαδικασία τεκμηριωμένης ερμηνείας. Οι δείκτες λειτουργούν ως εργαλεία υποστήριξης της σχεδιαστικής κρίσης και όχι ως αυτόνομα κριτήρια λήψης αποφάσεων. Η μετατόπιση αυτή από τη μέτρηση προς την κατανόηση αποτελεί ίσως το πιο ουσιαστικό συμπέρασμα του παρόντος κεφαλαίου.

Συνεπώς, η ποιότητα του φωτεινού περιβάλλοντος σε κτίρια γραφείων δεν ορίζεται από τη συμμόρφωση με ένα σύνολο τεχνικών απαιτήσεων, αλλά από την ικανότητα του σχεδιασμού να συνθέτει τεχνικές, βιολογικές και εμπειρικές παραμέτρους σε ένα συνεκτικό και λειτουργικό σύνολο. Η προσέγγιση αυτή δεν επιδιώκει την απλοποίηση της πολυπλοκότητας, αλλά την τεκμηριωμένη διαχείρισή της, συνιστώντας τη βασική θεωρητική αφετηρία για την περαιτέρω διερεύνηση του φωτισμού σε περιβάλλοντα γραφείων.

5. Κριτική σύνθεση μεθοδολογιών και παραγόντων αβεβαιότητας στην αξιολόγηση φωτισμού γραφείων

Η ανάλυση που προηγήθηκε ανέδειξε ότι η αξιολόγηση του φωτισμού σε κτίρια γραφείων δεν αποτελεί μια ενιαία και σαφώς οριοθετημένη διαδικασία, αλλά ένα πεδίο στο οποίο συνυπάρχουν διαφορετικές μεθοδολογικές προσεγγίσεις, δείκτες και θεωρητικά πλαίσια. Οι φωτομετρικές μετρήσεις, οι δείκτες φυσικού φωτισμού, οι δείκτες μη οπτικών επιδράσεων και οι υποκειμενικές αξιολογήσεις αποτυπώνουν διαφορετικές πτυχές του

φωτεινού περιβάλλοντος, χωρίς να μπορούν να περιγράψουν αυτόνομα το σύνολο της εμπειρίας και της απόδοσής του.

Η διεθνής βιβλιογραφία καταδεικνύει ότι καμία μεμονωμένη μεθοδολογία δεν είναι σε θέση να αποδώσει πλήρως την πολυπλοκότητα του φωτισμού σε πραγματικά περιβάλλοντα γραφείων. Οι διαφορετικές προσεγγίσεις παράγουν συχνά συμπληρωματικές αλλά και αποκλίνουσες αναγνώσεις του ίδιου χώρου, ενώ παράγοντες όπως η χρονική μεταβλητότητα του φωτός, η αλληλεπίδραση φυσικού και τεχνητού φωτισμού, η ανθρώπινη συμπεριφορά και οι μη οπτικές επιδράσεις εισάγουν σημαντικές πηγές αβεβαιότητας στην ερμηνεία των αποτελεσμάτων.

Στο πλαίσιο αυτό, το παρόν κεφάλαιο επιχειρεί μια κριτική σύνθεση των κυριότερων μεθοδολογικών προσεγγίσεων που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση του φωτισμού σε περιβάλλοντα γραφείων, καθώς και των βασικών παραγόντων αβεβαιότητας που επηρεάζουν την αξιοπιστία και την ερμηνεία των σχετικών ευρημάτων. Στόχος δεν είναι η επανάληψη των θεωρητικών προσεγγίσεων που παρουσιάστηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια, αλλά η συγκριτική αποτίμησή τους, η ανάδειξη των ορίων και των αλληλεπιδράσεών τους και η διερεύνηση των επιπτώσεών τους στη σχεδιαστική πρακτική και στην κατανόηση της ποιότητας του φωτεινού περιβάλλοντος.

5.1 Μεθοδολογικές προσεγγίσεις αξιολόγησης φωτισμού σε περιβάλλοντα γραφείων

Η αξιολόγηση του φωτισμού σε περιβάλλοντα γραφείων βασίζεται σε διαφορετικές μεθοδολογικές προσεγγίσεις, οι οποίες αντανακλούν διαφορετικούς τρόπους κατανόησης και ερμηνείας του φωτεινού περιβάλλοντος. Οι κυριότερες από αυτές περιλαμβάνουν τις μελέτες πεδίου, τις προσομοιώσεις και τις υβριδικές προσεγγίσεις, καθεμία από τις οποίες παρουσιάζει διακριτά πλεονεκτήματα και περιορισμούς.

Οι μελέτες πεδίου προσφέρουν υψηλή οικολογική εγκυρότητα, καθώς αποτυπώνουν τον φωτισμό υπό πραγματικές συνθήκες χρήσης και επιτρέπουν τη συσχέτισή του με την εμπειρία και τη συμπεριφορά των χρηστών. Ωστόσο, η πολυπλοκότητα των πραγματικών περιβαλλόντων καθιστά δύσκολη την απομόνωση των επιμέρους παραγόντων που επηρεάζουν την αντίληψη και την απόδοση, περιορίζοντας τη δυνατότητα γενίκευσης των ευρημάτων (Konis, 2013; Aliparast & Onaygil, 2024; Plörrer et al., 2021).

Αντίθετα, οι προσομοιώσεις επιτρέπουν τον συστηματικό έλεγχο των συνθηκών και τη διερεύνηση εναλλακτικών σεναρίων σχεδιασμού, συμβάλλοντας ουσιαστικά στη διαδικασία λήψης αποφάσεων και στον σχεδιασμό βάσει τεκμηρίων. Παρά τα πλεονεκτήματα αυτά, η αξιοπιστία τους εξαρτάται από τις παραδοχές των μοντέλων και από την ποιότητα των δεδομένων εισόδου, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε αποκλίσεις από την πραγματική λειτουργία των χώρων (Davoodi et al., 2021; Fakhari et al., 2022).

Η αναγνώριση των περιορισμών των δύο προσεγγίσεων έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη υβριδικών μεθοδολογιών, οι οποίες επιχειρούν να συνδυάσουν τα πλεονεκτήματα των εμπειρικών δεδομένων με τη συστηματικότητα των υπολογιστικών εργαλείων. Παρότι οι προσεγγίσεις αυτές προσφέρουν πιο ολοκληρωμένη κατανόηση του φωτεινού περιβάλλοντος, δεν εξαλείφουν τις αβεβαιότητες, αλλά αναδεικνύουν τη σύνθετη φύση της αξιολόγησης του φωτισμού (Plöner et al., 2021).

Προσέγγιση	Τι αποτυπώνει	Πλεονεκτήματα	Περιορισμοί
Μελέτες πεδίου	Πραγματικές συνθήκες και εμπειρία χρήστη	Υψηλή οικολογική εγκυρότητα, ρεαλιστικά δεδομένα	Δύσκολη απομόνωση παραγόντων, περιορισμένη γενίκευση
Προσομοιώσεις	Σενάρια σχεδιασμού και ελεγχόμενες συνθήκες	Συστηματικότητα, διερεύνηση εναλλακτικών λύσεων	Εξάρτηση από παραδοχές μοντέλων και input data
Υβριδικές προσεγγίσεις	Συνδυασμό πεδίου και προσομοιώσεων	Πιο ολοκληρωμένη κατανόηση, διασταύρωση δεδομένων	Μεθοδολογική πολυπλοκότητα, παραμένουσες αβεβαιότητες

Πίνακας 5.1: Βασικές μεθοδολογικές προσεγγίσεις αξιολόγησης φωτισμού σε γραφεία.

Πέρα από τις επιμέρους διαφορές τους, οι τρεις προσεγγίσεις αντανακλούν διαφορετικές αντιλήψεις για το τι συνιστά «αξιόπιστη» γνώση σχετικά με τον φωτισμό. Οι μελέτες πεδίου δίνουν έμφαση στην πραγματική εμπειρία και στη λειτουργία του χώρου υπό συνθήκες καθημερινής χρήσης, αλλά δυσκολεύονται να απομονώσουν αιτιακές σχέσεις. Αντίθετα, οι προσομοιώσεις επιτρέπουν τον αυστηρό έλεγχο των μεταβλητών και τη συστηματική διερεύνηση εναλλακτικών λύσεων, όμως συχνά βασίζονται σε ιδεατές παραδοχές που δεν αντανακλούν πλήρως την πραγματική χρήση του χώρου. Οι υβριδικές προσεγγίσεις επιχειρούν να γεφυρώσουν αυτό το χάσμα, συνδυάζοντας εμπειρικά δεδομένα και υπολογιστικά εργαλεία, χωρίς ωστόσο να εξαλείφουν πλήρως τις

αβεβαιότητες που προκύπτουν από τη συμπεριφορά των χρηστών και τη μεταβλητότητα του φωτεινού περιβάλλοντος.

Η παρατήρηση αυτή αναδεικνύει ότι η επιλογή μεθοδολογίας δεν αποτελεί ουδέτερη τεχνική απόφαση, αλλά επηρεάζει τον τρόπο με τον οποίο ορίζεται και αξιολογείται η ποιότητα του φωτισμού. Διαφορετικές μεθοδολογικές προσεγγίσεις μπορεί να οδηγήσουν σε διαφορετικά συμπεράσματα ακόμη και για τον ίδιο χώρο, γεγονός που υπογραμμίζει την ανάγκη κριτικής ερμηνείας των αποτελεσμάτων και προσεκτικής εξέτασης των παραδοχών στις οποίες αυτά βασίζονται.

Η σύγκριση των παραπάνω μεθοδολογιών δείχνει ότι καμία δεν μπορεί να θεωρηθεί επαρκής από μόνη της. Οι μελέτες πεδίου αποτυπώνουν την πραγματική εμπειρία, οι προσομοιώσεις τη λογική του σχεδιασμού, ενώ οι υβριδικές προσεγγίσεις επιχειρούν να γεφυρώσουν το χάσμα μεταξύ τους. Συνεπώς, η αξιόπιστη αξιολόγηση του φωτισμού προϋποθέτει συνδυαστική και κριτική αξιοποίηση διαφορετικών εργαλείων και πηγών δεδομένων.

5.2 Εμπειρικές προσεγγίσεις και Post-Occupancy Evaluation (POE) στον φωτισμό γραφείων

Οι εμπειρικές προσεγγίσεις και ιδιαίτερα οι μεθοδολογίες Post-Occupancy Evaluation (POE) χρησιμοποιούνται για τη διερεύνηση της λειτουργίας των χώρων μετά την κατοίκησή τους, επιτρέποντας την αξιολόγηση του φωτισμού υπό πραγματικές συνθήκες χρήσης. Μέσω ερωτηματολογίων, συνεντεύξεων και παρατηρήσεων, οι προσεγγίσεις αυτές καταγράφουν την εμπειρία των χρηστών και παρέχουν πληροφορίες που δεν μπορούν να προκύψουν αποκλειστικά από τεχνικές μετρήσεις.

Ένα από τα σημαντικότερα ευρήματα της σχετικής βιβλιογραφίας είναι ότι η συμμόρφωση με τα κανονιστικά κριτήρια δεν οδηγεί απαραίτητα σε υψηλά επίπεδα ικανοποίησης. Χώροι που πληρούν πλήρως τις τεχνικές απαιτήσεις ενδέχεται να αξιολογούνται αρνητικά από τους χρήστες, ενώ αντίθετα περιβάλλοντα με λιγότερο ευνοϊκά φωτομετρικά χαρακτηριστικά μπορεί να θεωρούνται ικανοποιητικά. Η απόκλιση αυτή αναδεικνύει ότι η ποιότητα του φωτισμού δεν εξαρτάται αποκλειστικά από μετρήσιμες παραμέτρους, αλλά διαμορφώνεται μέσα από τη σύνθετη αλληλεπίδραση μεταξύ φυσικού περιβάλλοντος, λειτουργικών αναγκών και ανθρώπινης αντίληψης (Kim & Lee, 2024; Zeng et al., 2025).

Η ανάγκη ερμηνείας αυτής της πολυπλοκότητας έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη θεωρητικών πλαισίων που υπερβαίνουν τη μονοδιάστατη σύνδεση μεταξύ φυσικών μεγεθών και εμπειρίας χρήσης. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το μοντέλο NExT, σύμφωνα με το οποίο η αντίληψη του εσωτερικού περιβάλλοντος διαμορφώνεται από την αλληλεπίδραση περιβαλλοντικών, προσωπικών και συμφραζόμενων παραγόντων (Altomonte et al., 2024). Η προσέγγιση αυτή υποστηρίζει ότι η αξιολόγηση του φωτισμού δεν μπορεί να απομονωθεί από το ευρύτερο πλαίσιο χρήσης του χώρου, ούτε να ερμηνευθεί αποκλειστικά μέσω μεμονωμένων τεχνικών μεταβλητών.

Παρά τη σημαντική συμβολή τους, οι POE συνοδεύονται από περιορισμούς που σχετίζονται με την υποκειμενικότητα των απαντήσεων, τη χρονική μεταβλητότητα της εμπειρίας και τη δυσκολία γενίκευσης των αποτελεσμάτων. Παράγοντες όπως οι προσωπικές προσδοκίες, η εξοικείωση με τον χώρο και η αίσθηση ελέγχου μπορούν να επηρεάσουν τις αξιολογήσεις ανεξάρτητα από τις πραγματικές συνθήκες φωτισμού. Επιπλέον, τα αποτελέσματα συχνά αντανakλούν μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή και ένα συγκεκριμένο δείγμα χρηστών, περιορίζοντας την καθολικότητα των συμπερασμάτων. Για τον λόγο αυτό, οι POE χρησιμοποιούνται ολοένα και συχνότερα ως εργαλείο επαλήθευσης της πραγματικής απόδοσης των κτιρίων και υποστήριξης της διαδικασίας evidence-based design.

Ένα ιδιαίτερα σημαντικό στοιχείο που αναδεικνύεται μέσω των Post-Occupancy Evaluations είναι το λεγόμενο «κενό απόδοσης» μεταξύ των σχεδιαστικών προβλέψεων και της πραγματικής λειτουργίας των χώρων. Η συμπεριφορά των χρηστών, η χρήση σκιάσεων, η αλληλεπίδραση με τα συστήματα ελέγχου και οι πραγματικές συνθήκες λειτουργίας μπορούν να διαφοροποιήσουν σημαντικά την απόδοση του φωτισμού σε σχέση με τις αρχικές παραδοχές του σχεδιασμού. Υπό αυτή την έννοια, οι POE δεν λειτουργούν μόνο ως εργαλεία αξιολόγησης αλλά και ως μηχανισμοί ανατροφοδότησης της σχεδιαστικής διαδικασίας, συμβάλλοντας στη βελτίωση μελλοντικών παρεμβάσεων και στρατηγικών φωτισμού.

Συνεπώς, η κύρια συμβολή των POE δεν περιορίζεται στην καταγραφή της ικανοποίησης των χρηστών, αλλά έγκειται στην ανάδειξη της ανθρωποκεντρικής διάστασης της αξιολόγησης του φωτισμού και στην αποκάλυψη των αποκλίσεων μεταξύ σχεδιασμού και πραγματικής λειτουργίας. Μέσω της ενσωμάτωσης της εμπειρίας χρήσης, οι προσεγγίσεις

αυτές συμπληρώνουν τις τεχνικές μετρήσεις και συμβάλλουν σε μια πιο ολοκληρωμένη κατανόηση της ποιότητας του φωτεινού περιβάλλοντος στους χώρους γραφείων. Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, η POE αντιμετωπίζεται ως κρίσιμο στοιχείο ενός υβριδικού μεθοδολογικού πλαισίου, το οποίο επιδιώκει να συνδυάσει αντικειμενικά και υποκειμενικά δεδομένα για τη διερεύνηση του φωτισμού σε πραγματικές συνθήκες χρήσης.

5.3 Ενοποιημένα συστήματα φωτισμού, αυτοματισμοί και συμπεριφορά χρηστών σε περιβάλλοντα γραφείων

Η σύγχρονη πρακτική φωτισμού σε κτίρια γραφείων βασίζεται ολοένα και περισσότερο σε ενοποιημένα συστήματα που συνδυάζουν φυσικό και τεχνητό φωτισμό, αισθητήρες, αυτοματισμούς και προηγμένες στρατηγικές ελέγχου. Στόχος τους είναι η δυναμική προσαρμογή του φωτεινού περιβάλλοντος στις μεταβαλλόμενες συνθήκες χρήσης, με παράλληλη υποστήριξη της οπτικής άνεσης, της ενεργειακής απόδοσης και, σε ορισμένες περιπτώσεις, των μη οπτικών επιδράσεων του φωτός (Jalali et al., 2024; Madias et al., 2023).

Ωστόσο, η πραγματική απόδοση των συστημάτων αυτών δεν εξαρτάται αποκλειστικά από τις τεχνολογικές τους δυνατότητες, αλλά σε σημαντικό βαθμό από τη συμπεριφορά των χρηστών. Η διεθνής βιβλιογραφία δείχνει ότι οι πρακτικές χρήσης συχνά αποκλίνουν από τις παραδοχές του σχεδιασμού, ιδιαίτερα σε ζητήματα που αφορούν τη χρήση σκίασης, τη ρύθμιση του τεχνητού φωτισμού και την αλληλεπίδραση με τα συστήματα ελέγχου (Doulos et al., 2020). Οι χρήστες λαμβάνουν αποφάσεις με βάση την αντιληπτή άνεση, τις συνήθειες και την αίσθηση ελέγχου του περιβάλλοντος, γεγονός που μπορεί να διαφοροποιήσει ουσιαστικά τη λειτουργία των συστημάτων.

Η απόκλιση μεταξύ σχεδιαστικών προβλέψεων και πραγματικής λειτουργίας εκφράζεται μέσω της έννοιας του «performance gap». Ενώ οι προσομοιώσεις και τα κανονιστικά εργαλεία βασίζονται σε προκαθορισμένα σενάρια χρήσης, η πραγματική λειτουργία των χώρων διαμορφώνεται από τη σύνθετη αλληλεπίδραση τεχνολογίας, περιβάλλοντος και ανθρώπινης συμπεριφοράς. Η διαπίστωση αυτή έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη περισσότερο ανθρωποκεντρικών προσεγγίσεων σχεδιασμού και ελέγχου, οι οποίες επιχειρούν να ενσωματώσουν τις προτιμήσεις και τα πραγματικά πρότυπα χρήσης στη λειτουργία των συστημάτων (Hammes et al., 2024; Gao et al., 2025).

Παράλληλα, τα υφιστάμενα πρότυπα φωτισμού εξακολουθούν να παρέχουν ένα σαφές πλαίσιο τεχνικής αξιολόγησης, βασισμένο κυρίως σε φωτομετρικές παραμέτρους όπως τα επίπεδα φωτισμού, η ομοιομορφία και ο έλεγχος της θάμβωσης. Παρότι διασφαλίζουν βασικές απαιτήσεις ποιότητας και ασφάλειας, ανταποκρίνονται περιορισμένα στη δυναμική λειτουργία των ενοποιημένων συστημάτων και στη μεταβλητότητα της ανθρώπινης συμπεριφοράς. Αντίστοιχα, νεότερες προσεγγίσεις που επιχειρούν να ενσωματώσουν τη βιολογική διάσταση του φωτός εξακολουθούν να αντιμετωπίζουν δυσκολίες ως προς την εφαρμογή τους σε πραγματικά περιβάλλοντα γραφείων.

Οι περιορισμοί αυτοί αναδεικνύουν ότι η πραγματική απόδοση των συστημάτων φωτισμού δεν μπορεί να προβλεφθεί πλήρως ούτε από τα τεχνολογικά χαρακτηριστικά τους ούτε από τα κανονιστικά εργαλεία αξιολόγησης. Η αλληλεπίδραση μεταξύ τεχνολογίας, χρήστη και χώρου αποτελεί καθοριστικό παράγοντα της λειτουργίας τους και εξηγεί την εμφάνιση αποκλίσεων μεταξύ σχεδιαστικών προβλέψεων και πραγματικών αποτελεσμάτων. Υπό αυτή την έννοια, το «performance gap» δεν συνιστά απλώς τεχνική αστοχία, αλλά εγγενές χαρακτηριστικό της πολυπλοκότητας που διέπει τη λειτουργία και την αξιολόγηση των σύγχρονων συστημάτων φωτισμού.

5.4 Αβεβαιότητα και μεθοδολογικά όρια στην αξιολόγηση φωτισμού σε κτίρια γραφείων

Παρά τη σημαντική πρόοδο των μεθοδολογιών και των τεχνολογικών εργαλείων, η αξιολόγηση του φωτισμού σε περιβάλλοντα γραφείων εξακολουθεί να χαρακτηρίζεται από σημαντικό βαθμό αβεβαιότητας. Η συνθήκη αυτή δεν αποτελεί ένδειξη επιστημονικής ανεπάρκειας, αλλά απορρέει από τη σύνθετη φύση του φωτεινού περιβάλλοντος, όπου αλληλεπιδρούν φυσικές, τεχνολογικές και ανθρώπινες παράμετροι.

Ένας βασικός περιορισμός αφορά τις ίδιες τις μεθοδολογίες αξιολόγησης. Οι προσομοιώσεις βασίζονται σε παραδοχές σχετικά με τα κλιματικά δεδομένα, τα πρότυπα χρήσης και τη συμπεριφορά των χρηστών, ενώ οι μελέτες πεδίου, παρότι αποτυπώνουν αποτελεσματικότερα τις πραγματικές συνθήκες λειτουργίας, επηρεάζονται από πλήθος μη ελεγχόμενων μεταβλητών (Davoodi et al., 2021; Aliparast & Onaygil, 2024). Ως αποτέλεσμα, διαφορετικές μεθοδολογικές προσεγγίσεις ενδέχεται να οδηγούν σε διαφορετικές ερμηνείες του ίδιου φωτιστικού περιβάλλοντος.

Εξίσου σημαντικοί είναι οι περιορισμοί που σχετίζονται με τον ανθρώπινο παράγοντα. Η αντίληψη της άνεσης και της ποιότητας του φωτισμού διαφοροποιείται μεταξύ των χρηστών και επηρεάζεται από προσωπικά χαρακτηριστικά, λειτουργικές ανάγκες και συμφραζόμενους παράγοντες. Η σχέση μεταξύ φυσικών δεικτών και εμπειρίας χρήσης δεν είναι πλήρως προβλέψιμη, γεγονός που περιορίζει τη δυνατότητα διατύπωσης καθολικών κανόνων σχεδιασμού (Kim & Lee, 2024).

Πρόσθετες δυσκολίες ανακύπτουν από τις μη οπτικές επιδράσεις του φωτός και τις ανθρωποκεντρικές προσεγγίσεις σχεδιασμού. Παρότι η βιβλιογραφία τεκμηριώνει τη σημασία του φωτός για τη βιολογική λειτουργία του ανθρώπου, η μεταφορά των σχετικών ευρημάτων από ελεγχόμενα ερευνητικά περιβάλλοντα σε πραγματικούς χώρους γραφείων παραμένει σύνθετη (Brown et al., 2022; Vetter et al., 2022). Η πρόκληση αυτή αφορά τόσο τη μέτρηση των επιδράσεων όσο και τη μετατροπή της επιστημονικής γνώσης σε αξιόπιστες σχεδιαστικές εφαρμογές (Vetter et al., 2022).

Παράλληλα, τα κανονιστικά πρότυπα παρέχουν ένα αναγκαίο αλλά περιορισμένο πλαίσιο αξιολόγησης, καθώς βασίζονται κυρίως σε στατικές φωτομετρικές παραμέτρους. Αν και διασφαλίζουν ελάχιστες απαιτήσεις οπτικής άνεσης, δεν αποτυπώνουν πλήρως τη χρονική μεταβλητότητα του φωτισμού, τη λειτουργία των ενοποιημένων συστημάτων και τη διαφοροποίηση της ανθρώπινης συμπεριφοράς. Οι περιορισμοί αυτοί συμβάλλουν στις αποκλίσεις μεταξύ θεωρητικών προβλέψεων και πραγματικής λειτουργίας των χώρων.

Η παρατήρηση αυτή αναδεικνύει ότι η αβεβαιότητα δεν προκύπτει αποκλειστικά από ελλείψεις των διαθέσιμων εργαλείων ή των μεθοδολογιών, αλλά αποτελεί σε σημαντικό βαθμό εγγενές χαρακτηριστικό του ίδιου του φωτεινού περιβάλλοντος. Η συνεχής μεταβολή των συνθηκών φωτισμού, η αλληλεπίδραση φυσικού και τεχνητού φωτός και η διαφοροποίηση της ανθρώπινης συμπεριφοράς καθιστούν αδύνατη την πλήρη πρόβλεψη της πραγματικής απόδοσης ενός συστήματος φωτισμού. Υπό αυτή την έννοια, ο στόχος της αξιολόγησης δεν είναι η εξάλειψη της αβεβαιότητας, αλλά η συστηματική κατανόηση και διαχείρισή της.

Η συνδυαστική θεώρηση των παραπάνω δείχνει ότι η αξιολόγηση του φωτισμού πραγματοποιείται αναπόφευκτα υπό συνθήκες αβεβαιότητας. Κατά συνέπεια, η αξιοπιστία των συμπερασμάτων δεν εξαρτάται μόνο από την ακρίβεια των μετρήσεων, αλλά και από

την κριτική ερμηνεία τους στο εκάστοτε πλαίσιο εφαρμογής. Η αποτελεσματική αξιολόγηση προϋποθέτει τη σύνθεση διαφορετικών μεθοδολογικών προσεγγίσεων και πηγών δεδομένων, με σαφή επίγνωση των ορίων καθεμιάς από αυτές.

5.5 Σύνθεση και επιπτώσεις στον σχεδιασμό φωτισμού σε κτίρια γραφείων

Η ανάλυση που προηγήθηκε ανέδειξε ότι η αξιολόγηση του φωτισμού σε κτίρια γραφείων δεν μπορεί να βασιστεί αποκλειστικά σε μεμονωμένους δείκτες, τεχνικές μετρήσεις ή κανονιστικές απαιτήσεις. Η ποιότητα του φωτεινού περιβάλλοντος διαμορφώνεται από την αλληλεπίδραση φυσικών παραμέτρων, τεχνολογικών συστημάτων και ανθρώπινων παραγόντων, γεγονός που καθιστά αναγκαία τη συνδυαστική αξιοποίηση διαφορετικών μεθοδολογικών προσεγγίσεων.

Η διεθνής βιβλιογραφία καταδεικνύει ότι οι προσομοιώσεις, οι εμπειρικές αξιολογήσεις και οι τεχνικές μετρήσεις δεν λειτουργούν ανταγωνιστικά, αλλά συμπληρωματικά. Κάθε προσέγγιση αναδεικνύει διαφορετικές διαστάσεις του φωτισμού και συμβάλλει στην κατανόηση ενός φαινομένου που δεν μπορεί να περιγραφεί επαρκώς μέσω ενός ενιαίου συστήματος δεικτών ή μιας μοναδικής μεθόδου αξιολόγησης.

Παράλληλα, η ενσωμάτωση ανθρωποκεντρικών αρχών και ενοποιημένων συστημάτων φωτισμού μεταβάλλει ουσιαστικά τον τρόπο με τον οποίο προσεγγίζεται ο σχεδιασμός. Η λειτουργία των σύγχρονων συστημάτων εξαρτάται όχι μόνο από τα τεχνολογικά χαρακτηριστικά τους, αλλά και από τη συνεχή αλληλεπίδραση με τους χρήστες και τις πραγματικές συνθήκες λειτουργίας. Ως εκ τούτου, η αποτελεσματικότητα του σχεδιασμού δεν μπορεί να αξιολογηθεί αποκλειστικά μέσω θεωρητικών προβλέψεων ή κανονιστικής συμμόρφωσης.

Οι διαπιστώσεις αυτές υποδεικνύουν την ανάγκη μετάβασης προς περισσότερο προσαρμοστικές και ανθρωποκεντρικές προσεγγίσεις σχεδιασμού, οι οποίες αναγνωρίζουν τη μεταβλητότητα της χρήσης και τη δυναμική φύση του φωτεινού περιβάλλοντος. Στο πλαίσιο αυτό, ο φωτισμός δεν αντιμετωπίζεται ως σταθερή τεχνική παράμετρος, αλλά ως δυναμικό σύστημα που εξελίσσεται μέσα από την αλληλεπίδραση χώρου, τεχνολογίας και χρήστη.

Η μετατόπιση αυτή έχει σημαντικές συνέπειες για τη σχεδιαστική πρακτική. Η ύπαρξη αβεβαιότητας και αποκλίσεων μεταξύ προβλεπόμενης και πραγματικής απόδοσης δεν θα πρέπει να αντιμετωπίζεται αποκλειστικά ως πρόβλημα προς εξάλειψη, αλλά ως στοιχείο που οφείλει να λαμβάνεται υπόψη κατά τη διαδικασία λήψης αποφάσεων. Η αξιολόγηση του φωτισμού αποκτά έτσι χαρακτήρα συνεχούς ανατροφοδότησης, όπου τα δεδομένα από τη λειτουργία των χώρων συμβάλλουν στη βελτίωση των μελλοντικών σχεδιαστικών επιλογών.

Συνεπώς, η επιτυχία του σχεδιασμού δεν συνδέεται με την επίτευξη ενός καθολικού «βέλτιστου» επιπέδου φωτισμού, αλλά με τη δημιουργία περιβαλλόντων που μπορούν να ανταποκρίνονται αποτελεσματικά στις μεταβαλλόμενες ανάγκες των χρηστών και στις πραγματικές συνθήκες λειτουργίας. Υπό αυτή την οπτική, η αξιολόγηση του φωτισμού αποτελεί εργαλείο υποστήριξης μιας ευέλικτης και τεκμηριωμένης σχεδιαστικής διαδικασίας, η οποία επιδιώκει όχι τη βελτιστοποίηση ενός μεμονωμένου δείκτη, αλλά τη συνολική ποιότητα και λειτουργική απόδοση του φωτεινού περιβάλλοντος.

6. Συγκριτική ανάλυση case studies ανθρωποκεντρικού φωτισμού σε περιβάλλοντα γραφείων

Η σύγχρονη έρευνα για τον φωτισμό σε κτίρια γραφείων έχει μετατοπιστεί από την αποκλειστική αξιολόγηση φωτομετρικών παραμέτρων προς πιο ανθρωποκεντρικές προσεγγίσεις, οι οποίες εξετάζουν όχι μόνο την οπτική άνεση αλλά και τις μη οπτικές επιδράσεις του φωτός, την εμπειρία των χρηστών και τη λειτουργία των συστημάτων φωτισμού σε πραγματικές συνθήκες χρήσης. Η εξέλιξη αυτή έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη διαφορετικών μεθοδολογικών εργαλείων και πλαισίων αξιολόγησης, καθιστώντας αναγκαία τη διερεύνηση της εφαρμογής τους σε πραγματικά περιβάλλοντα γραφείων.

Για τον σκοπό αυτό, το παρόν κεφάλαιο βασίζεται στην κριτική ανάλυση τριών πρόσφατων μελετών της διεθνούς βιβλιογραφίας, οι οποίες προσεγγίζουν τον ανθρωποκεντρικό φωτισμό μέσα από διαφορετικές ερευνητικές οπτικές: πραγματικές συνθήκες λειτουργίας, προσομοιωτική διερεύνηση του φωτεινού περιβάλλοντος και ενοποιημένα συστήματα ελέγχου με έμφαση στη συμπεριφορά των χρηστών.

Στόχος του κεφαλαίου είναι η διερεύνηση του τρόπου με τον οποίο οι διαφορετικές αυτές προσεγγίσεις αξιολογούν την ποιότητα του φωτεινού περιβάλλοντος και η ανάδειξη των παραγόντων που επηρεάζουν την εφαρμογή στρατηγικών HCL σε χώρους γραφείων. Παράλληλα, εξετάζονται οι μεθοδολογικές επιλογές και τα ευρήματα των επιμέρους μελετών, συνδέοντάς τα με τα θεωρητικά ζητήματα που αναπτύχθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια.

Μέσα από τα επιλεγμένα «case studies» διερευνάται ο τρόπος με τον οποίο οι αρχές του ανθρωποκεντρικού φωτισμού ενσωματώνονται στον σχεδιασμό, τη λειτουργία και την αξιολόγηση πραγματικών περιβαλλόντων γραφείων, αναδεικνύοντας τόσο τις δυνατότητες όσο και τους περιορισμούς της εφαρμογής τους.

6.1 Μεθοδολογικό πλαίσιο επιλογής και ανάλυσης των case studies

Η επιλογή των case studies βασίστηκε στην ανάγκη διερεύνησης διαφορετικών προσεγγίσεων αξιολόγησης του ανθρωποκεντρικού φωτισμού σε περιβάλλοντα γραφείων. Για τον σκοπό αυτό επιλέχθηκαν πρόσφατες επιστημονικές δημοσιεύσεις με θεματική συνάφεια προς το αντικείμενο της έρευνας, σαφή μεθοδολογική τεκμηρίωση και έμφαση σε ανθρωποκεντρικές παραμέτρους αξιολόγησης.

Με στόχο την εκπροσώπηση διαφορετικών ερευνητικών οπτικών, επιλέχθηκαν τρεις αντιπροσωπευτικές μελέτες της σύγχρονης βιβλιογραφίας. Η μελέτη των Aliparast S. και Onaygil S. (2024) εξετάζει την επίδραση εξατομικευμένου ανθρωποκεντρικού φωτισμού σε χώρο γραφείων ανοικτής διάταξης. Η μελέτη των Davoodi et al. (2021), προσεγγίζει την αξιολόγηση της οπτικής άνεσης μέσω προσομοιώσεων και αρχών «evidence-based design». Τέλος, η συστηματική ανασκόπηση των Hammes et al. (2024), διερευνά χρηστοκεντρικές στρατηγικές ελέγχου φωτισμού και τη σχέση μεταξύ αυτοματισμών και συμπεριφοράς χρηστών.

Οι τρεις μελέτες αντιμετωπίζονται ως συμπληρωματικές εκφάνσεις του ίδιου ερευνητικού πεδίου, επιτρέποντας τη διερεύνηση διαφορετικών τρόπων αξιολόγησης του φωτεινού περιβάλλοντος. Η ανάλυση εστιάζει στη μεθοδολογία κάθε προσέγγισης, στους δείκτες που χρησιμοποιούνται, στον ρόλο του χρήστη στη διαδικασία αξιολόγησης και στη δυνατότητα αξιοποίησης των ευρημάτων στον σχεδιασμό φωτισμού γραφείων.

Παράλληλα, εξετάζονται οι περιορισμοί κάθε προσέγγισης και η σχέση τους με τις αρχές του ανθρωποκεντρικού σχεδιασμού.

Στις επόμενες ενότητες παρουσιάζονται αναλυτικά τα επιλεγμένα case studies και ακολουθεί σύνθεση των βασικών ευρημάτων τους, με στόχο την κατανόηση των διαφορετικών προσεγγίσεων αξιολόγησης που αναπτύσσονται στη σύγχρονη βιβλιογραφία.

Μελέτη	Τύπος μελέτης	Τύπος χώρου	Αντικείμενο	Μεθοδολογία	Βασική συμβολή
Aliparast & Onaygil (2024)	Μελέτη πεδίου	Open-plan office	Human-centred & individualized lighting	Μετρήσεις πεδίου, ερωτηματολόγια και αξιολόγηση της άνεσης και της απόδοσης	Συσχέτιση εξατομικευμένου φωτισμού με οπτική άνεση και ικανοποίηση χρηστών
Davoodi et al. (2021)	Προσομοιωτική ή μελέτη	Γραφειακό περιβάλλον	Visual comfort evaluation	Προσομοιώσεις φωτισμού και αξιολόγηση βάσει τεκμηριωμένων δεδομένων	Ενσωμάτωση προσομοιώσεων στη διαδικασία σχεδιασμού φωτισμού
Hammes et al. (2024)	Systematic literature review	Office environments	User-centred lighting controls	Συστηματική βιβλιογραφική ανασκόπηση	Ανάλυση προσαρμοστικών συστημάτων ελέγχου, αυτοματισμών και συμπεριφοράς των χρηστών.

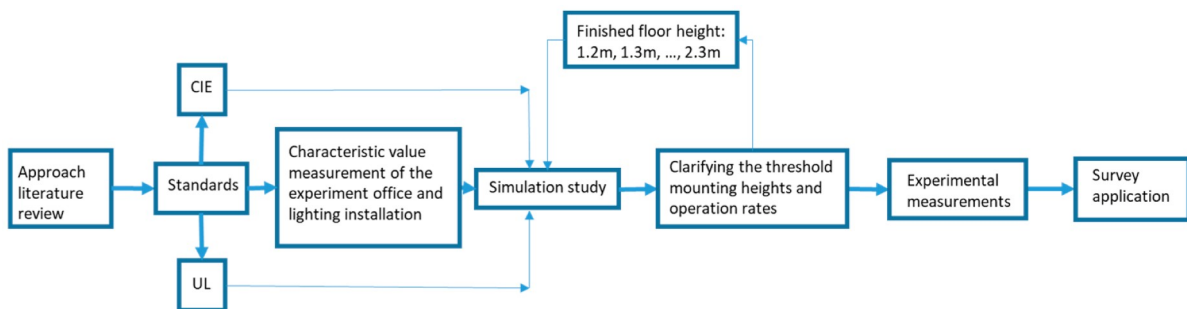
Πίνακας 6.1: Συγκριτικά χαρακτηριστικά των επιλεγμένων case studies.

6.2 Case study 1: Μελέτη πεδίου με υποστηρικτικές προσομοιώσεις και εξατομικευμένο ανθρωποκεντρικό φωτισμό σε γραφείο ανοικτής διάταξης

Η μελέτη των Aliparast S. και Onaygil S. (2024) με τίτλο «*A field study of individual, energy-efficient, and human-centered indoor electric lighting: Its impact on comfort and visual performance in an open-plan office—Part 1*», αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα εφαρμογής ανθρωποκεντρικού φωτισμού σε πραγματικό γραφειακό περιβάλλον, καθώς διερευνά τη σχέση μεταξύ εξατομικευμένου φωτισμού, οπτικής άνεσης και εργασιακής απόδοσης σε γραφείο ανοικτής διάταξης. Η σημασία της έρευνας έγκειται στο γεγονός ότι εξετάζει το φωτεινό περιβάλλον υπό πραγματικές συνθήκες χρήσης, μετατοπίζοντας το

ενδιαφέρον από την αποκλειστική αξιολόγηση φωτομετρικών μεγεθών προς την εμπειρία και την αντίληψη των ίδιων των χρηστών.

Η μελέτη πραγματοποιήθηκε στο Τεχνικό Πανεπιστήμιο της Κωνσταντινούπολης με τη συμμετοχή εξήντα εργαζομένων γραφείου. Οι ερευνητές αξιολόγησαν δύο διαφορετικούς τύπους φωτιστικών LED με διαφορετική κατανομή φωτεινής δέσμης (Direct Suspended Linear – L1 και Direct & Indirect Suspended Linear – L2), εξετάζοντας την επίδρασή τους σε δείκτες ανθρωποκεντρικού φωτισμού όπως το Circadian Stimulus (CS) και το Equivalent Melanopic Lux (EML). Η ερευνητική διαδικασία συνδύασε προσομοιώσεις φωτισμού, πειραματικές μετρήσεις και αξιολόγηση των χρηστών μέσω ερωτηματολογίων και δοκιμών γνωστικής απόδοσης.

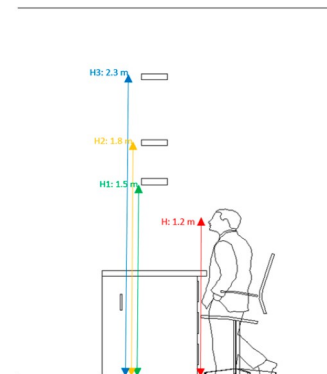


Σχήμα 6.1: Μεθοδολογική διαδικασία της έρευνας, από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση και τις προσομοιώσεις έως τις πειραματικές μετρήσεις και την αξιολόγηση των χρηστών.

Η μεθοδολογία παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, καθώς συνδυάζει υπολογιστικές προσομοιώσεις και πραγματικές μετρήσεις σε ένα υβριδικό ερευνητικό περιβάλλον. Αρχικά αναπτύχθηκε μοντέλο προσομοίωσης του γραφειακού χώρου και εξετάστηκαν διαφορετικά ύψη εγκατάστασης των φωτιστικών, ώστε να επιτευχθούν οι απαιτήσεις των προτύπων WELL v2 και UL Design Guideline 24480. Στη συνέχεια, οι θεωρητικές προβλέψεις επαληθεύθηκαν μέσω πειραματικών μετρήσεων και αξιολόγησης της εμπειρίας των εργαζομένων.



(A)

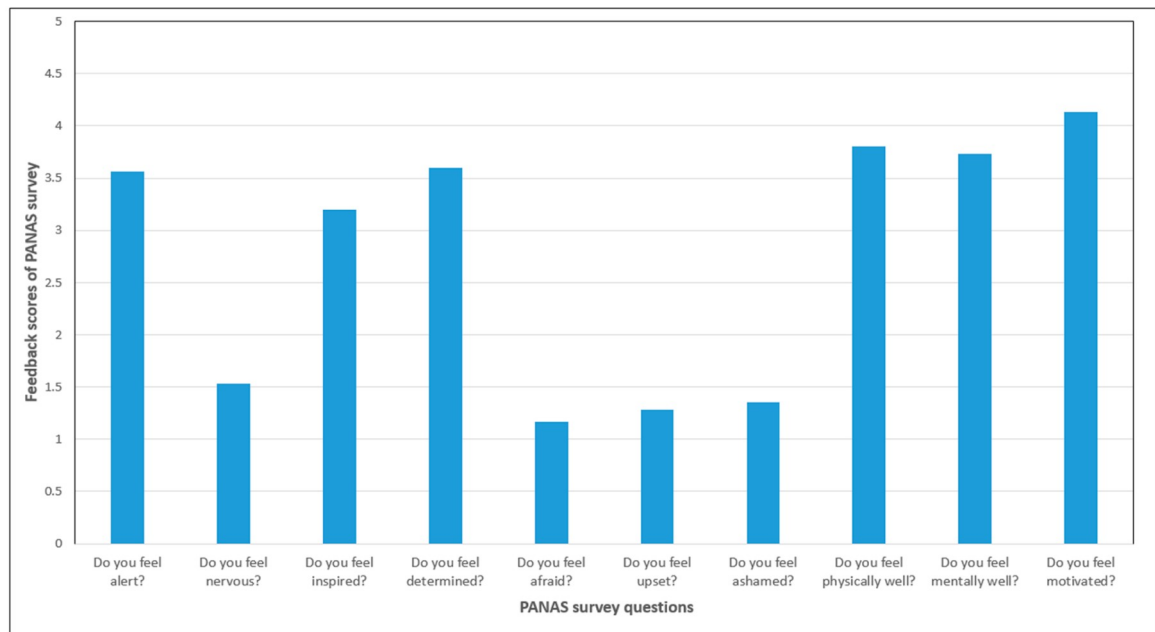


(B)

Σχήμα 6.2: Προσομοιωτικό μοντέλο του γραφειακού χώρου και εξεταζόμενα ύψη εγκατάστασης των φωτιστικών σωμάτων για την αξιολόγηση των ανθρωποκεντρικών δεικτών φωτισμού.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι εξατομικευμένες στρατηγικές φωτισμού μπορούν να βελτιώσουν την αντιλαμβανόμενη άνεση και τη συνολική εμπειρία των εργαζομένων. Ιδιαίτερη σημασία αποδόθηκε στη δυνατότητα ελέγχου του φωτισμού από τον ίδιο τον χρήστη, καθώς η αίσθηση ελέγχου επηρέαζε ουσιαστικά την αξιολόγηση του φωτεινού περιβάλλοντος. Το εύρημα αυτό αναδεικνύει ότι η ποιότητα του φωτισμού δεν εξαρτάται μόνο από τις τεχνικές του παραμέτρους, αλλά και από την αλληλεπίδραση του χρήστη με το σύστημα.

Παράλληλα, η μελέτη ανέδειξε ότι η επίδραση του φωτισμού δεν περιορίζεται στην οπτική άνεση, αλλά επεκτείνεται και σε ψυχολογικές και γνωστικές διαστάσεις. Μέσω δοκιμών εγρήγορσης (Karolinska Sleepiness Scale – KSS) και ερωτηματολογίων διάθεσης (PANAS), διαπιστώθηκε ότι οι συνθήκες φωτισμού επηρέασαν θετικά την εγρήγορση, την αίσθηση ενεργητικότητας και τη συνολική ψυχολογική κατάσταση των συμμετεχόντων.



Σχήμα 6.3: Αποτελέσματα ερωτηματολογίου PANAS σχετικά με την αντιλαμβανόμενη ψυχολογική κατάσταση και τα επίπεδα ενεργητικότητας των συμμετεχόντων υπό τις εξεταζόμενες συνθήκες φωτισμού.

Ένα από τα σημαντικότερα συμπεράσματα της έρευνας αφορά τη σχέση μεταξύ τυποποίησης και εξατομίκευσης. Παρότι τα πρότυπα φωτισμού καθορίζουν κοινές και μετρήσιμες απαιτήσεις οπτικής άνεσης, η αντίληψη της άνεσης διαφοροποιήθηκε σημαντικά μεταξύ των συμμετεχόντων, ακόμη και όταν οι τεχνικές συνθήκες παρέμεναν ίδιες. Το εύρημα αυτό υποδηλώνει ότι η συμμόρφωση με συγκεκριμένες φωτομετρικές απαιτήσεις δεν συνεπάγεται απαραίτητα και ομοιόμορφη εμπειρία άνεσης για όλους τους χρήστες.

Ταυτόχρονα, η μελέτη αναδεικνύει έναν από τους βασικούς περιορισμούς των ανθρωποκεντρικών προσεγγίσεων: τη δυσκολία γενίκευσης των αποτελεσμάτων. Η υποκειμενικότητα της οπτικής άνεσης, οι προσωπικές προτιμήσεις, η ηλικία, οι συνήθειες και η αντίληψη ελέγχου του περιβάλλοντος επηρεάζουν σημαντικά την αξιολόγηση του φωτεινού περιβάλλοντος. Επιπλέον, η ενσωμάτωση εξατομικευμένων συστημάτων φωτισμού αυξάνει την πολυπλοκότητα του σχεδιασμού και της λειτουργίας των συστημάτων ελέγχου, περιορίζοντας τη δυνατότητα ανάπτυξης καθολικών στρατηγικών εφαρμογής.

Η μελέτη των Aliparast S. και Onaygil S. (2024) καταδεικνύει ότι η αποτελεσματικότητα του ανθρωποκεντρικού φωτισμού δεν εξαρτάται αποκλειστικά από την τεχνική απόδοση

των συστημάτων, αλλά από την ικανότητά τους να ανταποκρίνονται στις πραγματικές ανάγκες των χρηστών. Η διαπίστωση αυτή υπογραμμίζει ότι η αξιολόγηση του φωτισμού σε περιβάλλοντα γραφείων απαιτεί τη σύνθεση τεχνικών μετρήσεων, προσομοιώσεων και εμπειρικών δεδομένων, ώστε να αποτυπώνονται τόσο οι φυσικές όσο και οι ανθρώπινες διαστάσεις του φωτεινού περιβάλλοντος.

Παράμετρος	Περιγραφή
Τύπος χώρου	Γραφείο ανοικτής διάταξης (open-plan office)
Προσέγγιση	Ανθρωποκεντρικός και εξατομικευμένος φωτισμός
Μέθοδος	Μελέτη πεδίου, προσομοιώσεις, ερωτηματολόγια και αξιολόγηση χρηστών
Κριτήρια αξιολόγησης	Οπτική άνεση, ικανοποίηση χρηστών, εγρήγορση και οπτική απόδοση
Βασικά ευρήματα	Η εξατομίκευση του φωτισμού βελτίωσε την αντιλαμβανόμενη άνεση, την ικανοποίηση και τα επίπεδα εγρήγορσης των χρηστών
Βασικός περιορισμός	Μεγάλη διαφοροποίηση στις αποκρίσεις των χρηστών και περιορισμένη δυνατότητα γενίκευσης των αποτελεσμάτων

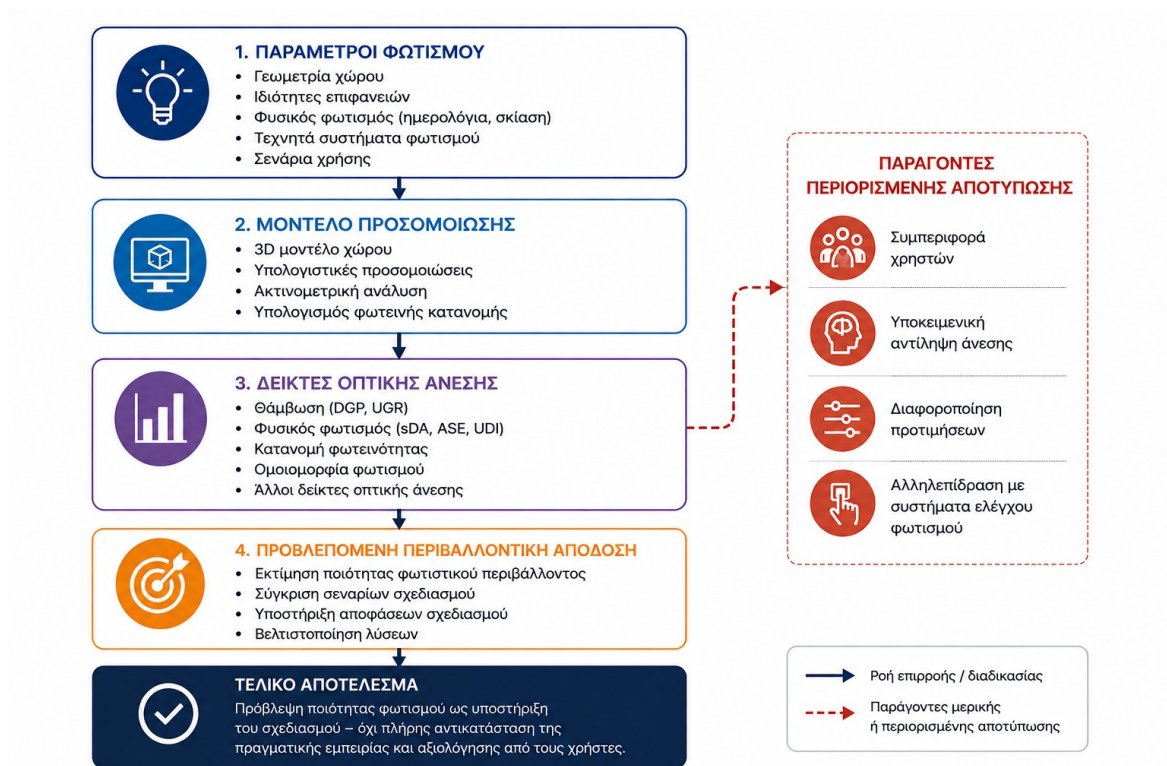
Πίνακας 6.2: Βασικά χαρακτηριστικά και ευρήματα της μελέτης των Aliparast S. και Onaygil S. (2024).

6.3 Case study 2: Προσομοιωτική αξιολόγηση οπτικής άνεσης και evidence-based σχεδιασμός φωτισμού

Η μελέτη των Davoodi et al. (2021), με τίτλο «*The Implementation of Visual Comfort Evaluation in the Evidence-Based Design Process Using Lighting Simulation*», εξετάζει τον τρόπο με τον οποίο οι προσομοιώσεις φωτισμού μπορούν να ενσωματωθούν στη διαδικασία τεκμηριωμένου σχεδιασμού (Evidence-Based Design – EBD) για την αξιολόγηση της οπτικής άνεσης σε χώρους γραφείων. Σε αντίθεση με τις μελέτες πεδίου που βασίζονται κυρίως στην εμπειρία των χρηστών, η συγκεκριμένη προσέγγιση αξιοποιεί υπολογιστικά εργαλεία προσομοίωσης με στόχο την πρόβλεψη της απόδοσης του φωτεινού περιβάλλοντος ήδη από τα πρώιμα στάδια του σχεδιασμού.

Η έρευνα πραγματοποιήθηκε σε λειτουργικό ακαδημαϊκό κτίριο γραφείων στο Jönköping της Σουηδίας και συνδύασε προσομοιώσεις φυσικού φωτισμού με μετακατοικητική αξιολόγηση (Post-Occupancy Evaluation – POE). Συνολικά συμμετείχαν 51 χρήστες, ενώ μέρος των συμμετεχόντων αξιολογήθηκε σε δύο διαφορετικές χρονικές περιόδους, ώστε να διερευνηθεί η επίδραση της εποχικής μεταβολής στην αντίληψη της οπτικής άνεσης. Η προσέγγιση αυτή επιτρέπει τη σύνδεση αντικειμενικών δεδομένων φωτισμού με την

πραγματική εμπειρία των χρηστών, υπερβαίνοντας τη λογική της αποκλειστικά τεχνικής αξιολόγησης.



Σχήμα 6.4: Συνθετική απεικόνιση της διαδικασίας προσομοιωτικής αξιολόγησης φωτισμού και των βασικών περιορισμών των υπολογιστικών μοντέλων στην αποτύπωση της ανθρώπινης εμπειρίας.

Η προσομοιωτική διαδικασία βασίστηκε στη δημιουργία ψηφιακών μοντέλων και στην εφαρμογή εξειδικευμένων εργαλείων ανάλυσης φυσικού φωτισμού. Αξιολογήθηκαν δείκτες όπως ο οριζόντιος φωτισμός στην επιφάνεια εργασίας (Eh-task), ο κατακόρυφος φωτισμός στο επίπεδο του οφθαλμού (Ev-eye), η αυτονομία φυσικού φωτισμού (DA), η χωρική αυτονομία φυσικού φωτισμού (sDA), η ετήσια έκθεση σε ηλιακή ακτινοβολία (ASE) και η πιθανότητα θάμβωσης (DGP). Οι δείκτες αυτοί χρησιμοποιήθηκαν για τη διερεύνηση της σχέσης μεταξύ μετρήσιμων χαρακτηριστικών του φωτεινού περιβάλλοντος και της αντιλαμβανόμενης ποιότητας φωτισμού.

Η μεθοδολογία της έρευνας βασίστηκε στη συνδυαστική ανάλυση αντικειμενικών και υποκειμενικών δεδομένων. Οι ερευνητές συσχέτισαν επτά δείκτες απόδοσης φωτισμού με δεκαπέντε μεταβλητές που προέκυψαν από ερωτηματολόγια χρηστών, με στόχο τη διερεύνηση του βαθμού στον οποίο οι τεχνικές μετρήσεις μπορούν να προβλέψουν την αντιλαμβανόμενη οπτική άνεση. Η προσέγγιση αυτή αποτελεί χαρακτηριστικό

παράδειγμα της λογικής του «evidence-based design», όπου οι σχεδιαστικές αποφάσεις τεκμηριώνονται μέσω της σύνδεσης υπολογιστικών εργαλείων και πραγματικών δεδομένων χρήσης.

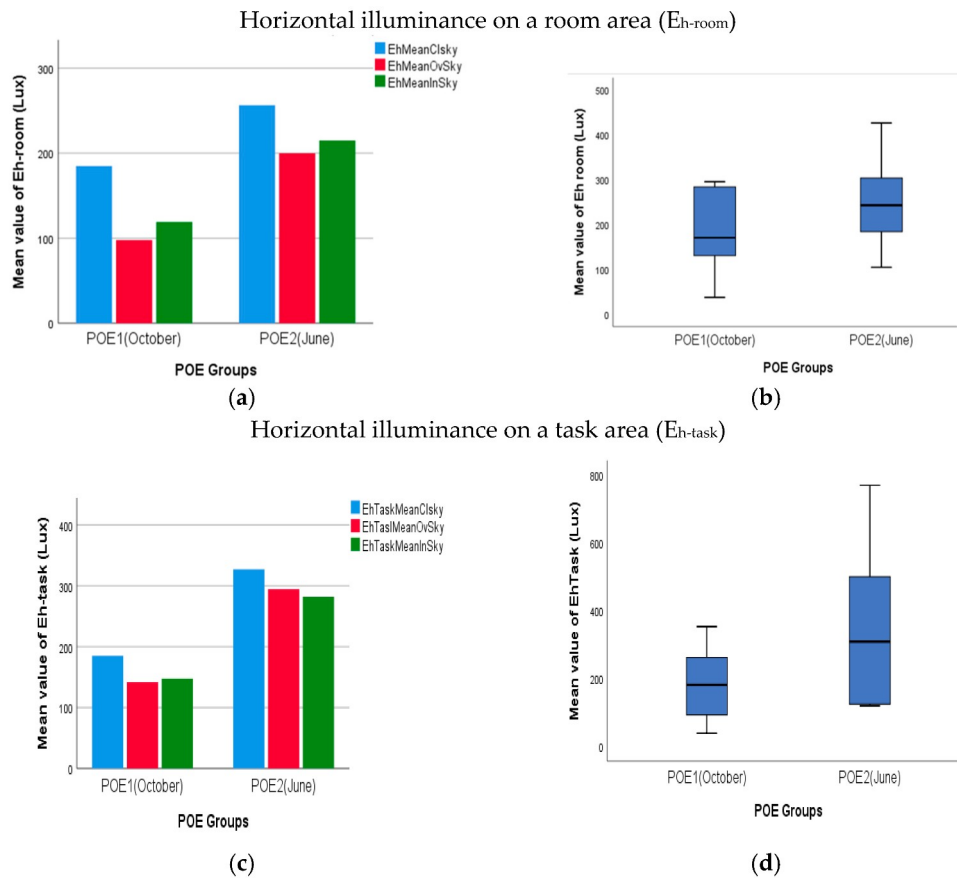


Σχήμα 6.5: Κτίριο του Πανεπιστημίου Jönköping στη Σουηδία, όπου πραγματοποιήθηκε η έρευνα και η συλλογή δεδομένων για την αξιολόγηση της οπτικής άνεσης των χρηστών.

Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι η μέση ένταση φωτισμού στην επιφάνεια εργασίας (Eh-task) παρουσίασε τη σημαντικότερη συσχέτιση με την αντιλαμβανόμενη ποιότητα φωτισμού. Το εύρημα αυτό υποδηλώνει ότι η εμπειρία των χρηστών επηρεάζεται περισσότερο από τις πραγματικές συνθήκες φωτισμού στο άμεσο πεδίο εργασίας παρά από γενικούς φωτομετρικούς δείκτες του χώρου. Παράλληλα, οι δείκτες φυσικού φωτισμού (DA και sDA) εμφάνισαν μέτριες συσχετίσεις με ορισμένες παραμέτρους ικανοποίησης, γεγονός που επιβεβαιώνει τη χρησιμότητά τους ως εργαλείων σχεδιασμού, χωρίς όμως να μπορούν να προβλέψουν πλήρως την ανθρώπινη εμπειρία.

Ένα ακόμη σημαντικό εύρημα αφορά τη χρονική μεταβλητότητα της οπτικής άνεσης. Οι αξιολογήσεις των χρηστών διαφοροποιήθηκαν μεταξύ των δύο περιόδων μέτρησης, γεγονός που υποδεικνύει ότι η αντίληψη του φωτισμού επηρεάζεται από εποχικές μεταβολές και από τη διαθεσιμότητα φυσικού φωτός. Παράλληλα, οι αναλύσεις θάμβωσης κατέδειξαν ότι χώροι με υψηλή διαθεσιμότητα φυσικού φωτισμού μπορούν να παρουσιάζουν αυξημένη πιθανότητα οπτικής ενόχλησης υπό συγκεκριμένες συνθήκες

ουρανού. Το εύρημα αυτό αναδεικνύει ότι η επάρκεια φωτισμού και η οπτική άνεση δεν αποτελούν ταυτόσημες έννοιες.



Σχήμα 6.6: Αποτελέσματα προσομοιώσεων και μετρήσεων οριζόντιου φωτισμού στον χώρο (E_{h-room}) και στην επιφάνεια εργασίας (E_{h-task}) για τις δύο περιόδους αξιολόγησης (POE1 και POE2).

Η σημαντικότερη συμβολή της μελέτης έγκειται στη σύνδεση των αποτελεσμάτων των προσομοιώσεων με την πραγματική εμπειρία των χρηστών. Το πλαίσιο EBD-SIM δείχνει ότι η αξιολόγηση της οπτικής άνεσης απαιτεί συνδυαστική ερμηνεία τεχνικών δεικτών και εμπειρικών δεδομένων, καθώς καμία από τις δύο προσεγγίσεις δεν επαρκεί από μόνη της. Η μελέτη αναδεικνύει έτσι τη μετάβαση από την αποκλειστικά φωτομετρική αξιολόγηση προς ένα περισσότερο ανθρωποκεντρικό και τεκμηριωμένο μοντέλο σχεδιασμού φωτισμού.

Παράμετρος	Περιγραφή
Τύπος μελέτης	Προσομοιωτική αξιολόγηση φωτισμού σε συνδυασμό με μετακατοικητική αξιολόγηση (POE)
Κύριος στόχος	Συσχέτιση αντικειμενικών δεικτών οπτικής άνεσης με την εμπειρία των χρηστών
Εργαλεία	Προσομοιώσεις φωτισμού, ερωτηματολόγια χρηστών και στατιστική ανάλυση
Βασικά ευρήματα	Ο φωτισμός στην επιφάνεια εργασίας παρουσίασε τη μεγαλύτερη συσχέτιση με την αντιλαμβανόμενη ποιότητα φωτισμού
Δείκτες αξιολόγησης	Eh-task, Ev-eye, DA, sDA, ASE, DGP
Βασική συμβολή	Ανάπτυξη του πλαισίου EBD-SIM για τη σύνδεση προσομοιώσεων και εμπειρίας χρηστών
Βασικός περιορισμός	Αδυναμία πλήρους αποτύπωσης της ανθρώπινης εμπειρίας μέσω υπολογιστικών μοντέλων

Πίνακας 6.3: Βασικά χαρακτηριστικά και ευρήματα της μελέτης Davoodi et al. (2021).

Συνολικά, η μελέτη των Davoodi et al. (2021), καταδεικνύει ότι οι προσομοιώσεις φωτισμού αποτελούν ισχυρό εργαλείο υποστήριξης του σχεδιασμού, η αξιοπιστία τους όμως ενισχύεται ουσιαστικά όταν τα αποτελέσματά τους συσχετίζονται με δεδομένα πραγματικής χρήσης και αξιολόγησης των χρηστών.

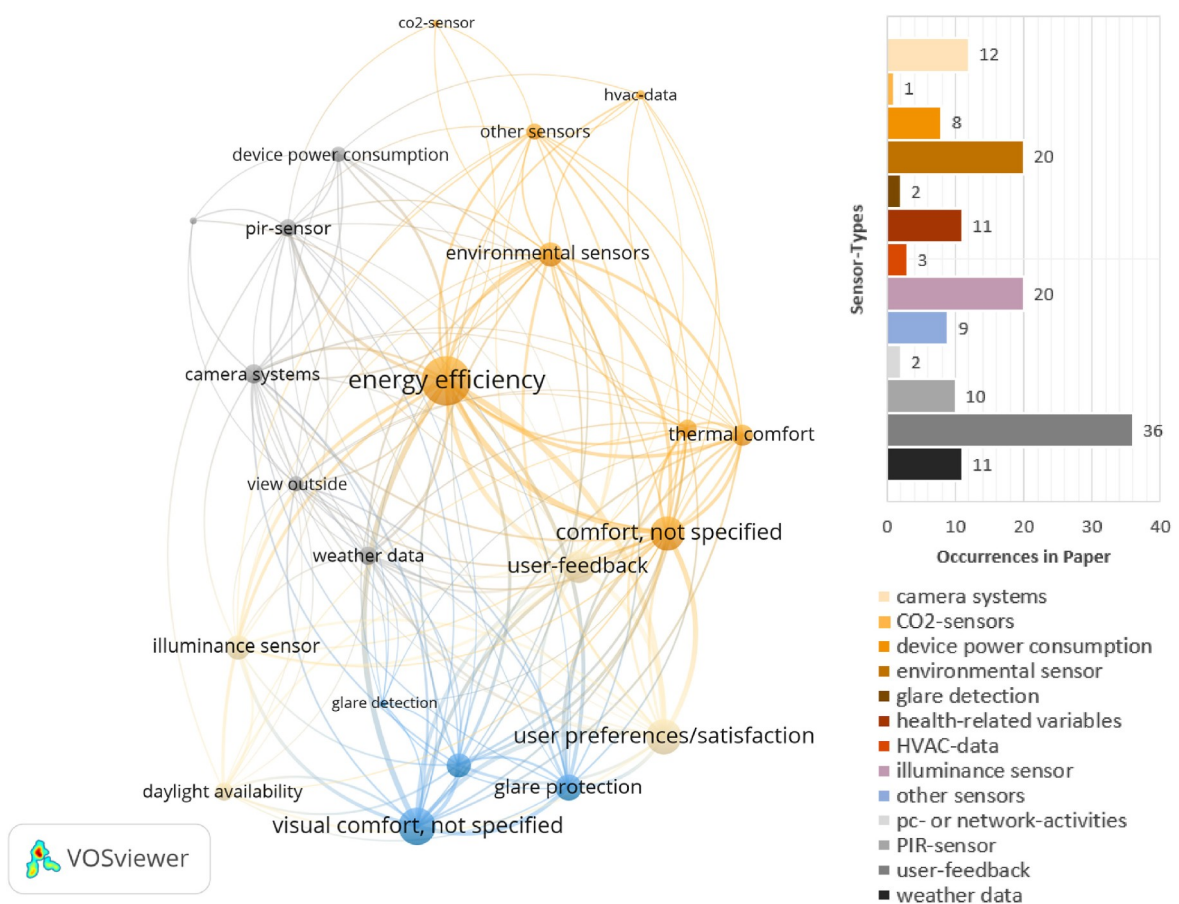
6.4 Case study 3: Προσαρμοστικά συστήματα φωτισμού, αυτοματισμοί και συμπεριφορά χρηστών σε γραφειακά περιβάλλοντα

Η τρίτη μελέτη περίπτωσης βασίζεται στο άρθρο «*User-Centred Lighting Controls: A Systematic Literature Review*» των Hammes et al. (2024). Σε αντίθεση με τις δύο προηγούμενες μελέτες, οι οποίες εξετάζουν συγκεκριμένα γραφειακά περιβάλλοντα μέσω μετρήσεων πεδίου ή προσομοιώσεων, η συγκεκριμένη εργασία υιοθετεί μία ευρύτερη ερευνητική προσέγγιση, επιδιώκοντας τη συστηματική χαρτογράφηση των τεχνολογιών, των στρατηγικών ελέγχου και των παραμέτρων που συνδέονται με τον ανθρωποκεντρικό φωτισμό και τη συμμετοχή των χρηστών στη λειτουργία των συστημάτων φωτισμού.

Βασικός στόχος της ανασκόπησης είναι η διερεύνηση του τρόπου με τον οποίο οι σύγχρονες τεχνολογίες ελέγχου φωτισμού μπορούν να ανταποκρίνονται στις ανάγκες, τις προτιμήσεις και τη συμπεριφορά των χρηστών. Για τον σκοπό αυτό, οι συγγραφείς πραγματοποίησαν συστηματική ανάλυση της διεθνούς βιβλιογραφίας, εξετάζοντας διαφορετικές κατηγορίες συστημάτων ελέγχου, αισθητήρων, δεικτών απόδοσης (Key

Performance Indicators – KPIs) και μεθόδων αξιολόγησης που εφαρμόζονται σε περιβάλλοντα γραφείων.

Η ανασκόπηση δείχνει ότι τα σύγχρονα συστήματα φωτισμού αξιοποιούν δεδομένα από πολλαπλές πηγές πληροφόρησης, όπως αισθητήρες παρουσίας, αισθητήρες φωτεινότητας, περιβαλλοντικές μετρήσεις και μηχανισμούς ανατροφοδότησης των χρηστών. Μέσω αυτών των πληροφοριών, ο φωτισμός μπορεί να προσαρμόζεται δυναμικά στις πραγματικές συνθήκες λειτουργίας του χώρου, επιδιώκοντας τη βελτίωση τόσο της ενεργειακής απόδοσης όσο και της εμπειρίας των εργαζομένων.



Σχήμα 6.7: Βιβλιομετρική απεικόνιση των σχέσεων μεταξύ δεικτών απόδοσης (KPIs), αισθητήρων και παραμέτρων άνεσης σε συστήματα ανθρωποκεντρικού φωτισμού (Hammes et al., 2024).

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.7, η βιβλιομετρική ανάλυση ανέδειξε ένα εκτεταμένο δίκτυο αλληλεπιδράσεων μεταξύ ενεργειακής απόδοσης, οπτικής άνεσης, θερμικής άνεσης, αισθητήρων φωτισμού, περιβαλλοντικών αισθητήρων και ανατροφοδότησης χρηστών. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η κεντρική θέση του «user feedback», γεγονός που υποδηλώνει ότι η αξιολόγηση της ποιότητας του φωτισμού δεν βασίζεται αποκλειστικά σε

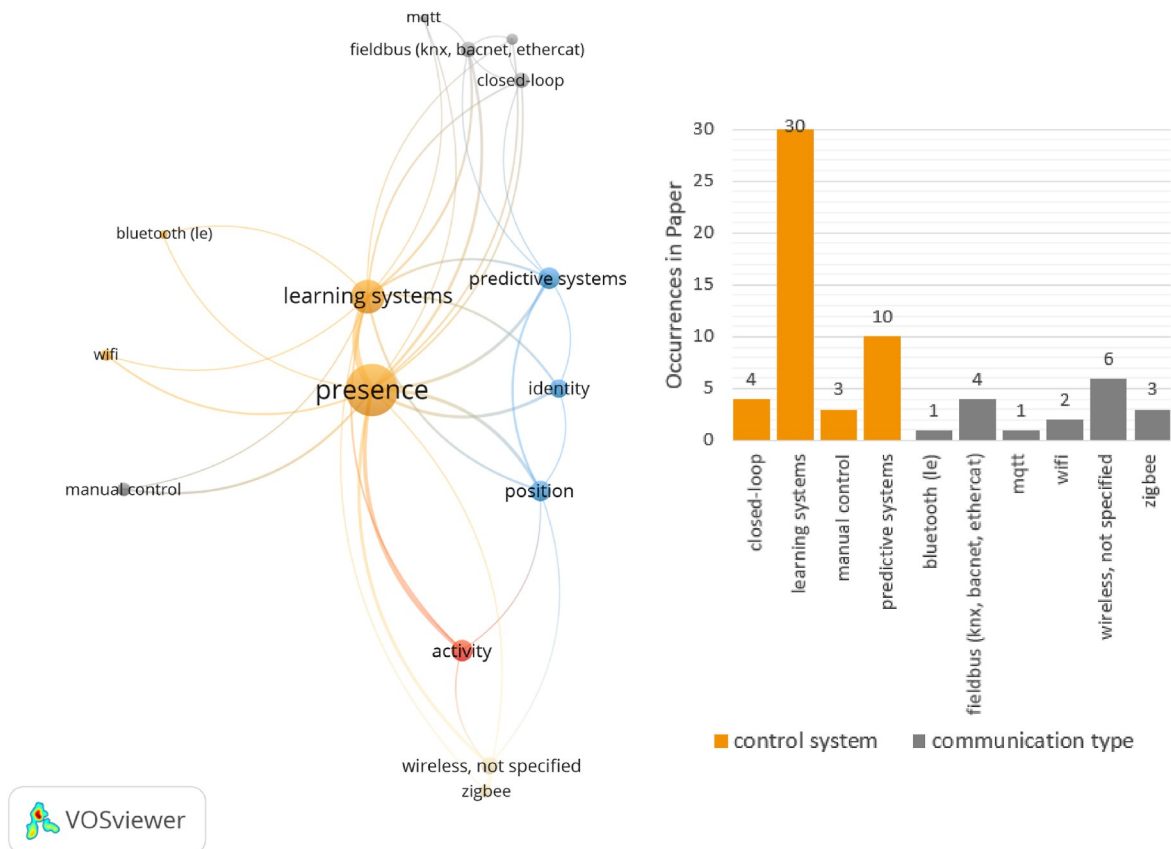
τεχνικές μετρήσεις αλλά και στην εμπειρία των χρηστών. Η διαπίστωση αυτή διαφοροποιεί ουσιαστικά τις ανθρωποκεντρικές προσεγγίσεις από τα παραδοσιακά μοντέλα ελέγχου φωτισμού, στα οποία οι αποφάσεις λαμβάνονται κυρίως με βάση προκαθορισμένες τεχνικές παραμέτρους.

Οι συγγραφείς ταξινομούν τις σημαντικότερες κατηγορίες τεχνολογιών και στρατηγικών ελέγχου που εντοπίζονται στη σύγχρονη βιβλιογραφία, αναδεικνύοντας τον αυξανόμενο ρόλο της εξατομίκευσης και της προσαρμοστικότητας.

Κατηγορία προσέγγισης	Βασικό χαρακτηριστικό
Φωτισμός ανά ζώνες (Zoned Lighting)	Προσαρμογή του φωτισμού σε διαφορετικές περιοχές ή θέσεις εργασίας ανάλογα με τις ανάγκες των χρηστών
Συνδυασμός αισθητήρων (Sensor Fusion)	Ενσωμάτωση δεδομένων από πολλαπλούς αισθητήρες για ακριβέστερη προσαρμογή του φωτισμού
Μέθοδοι βασισμένες σε κάμερες (Camera-Based Methods)	Ανίχνευση παρουσίας, δραστηριότητας και προτύπων χρήσης μέσω συστημάτων οπτικής καταγραφής
Προσαρμοστικός έλεγχος με αλγορίθμους μάθησης (Learning-Based Control)	Συνεχής βελτιστοποίηση της λειτουργίας του φωτισμού βάσει ιστορικών δεδομένων και συμπεριφοράς χρηστών
Αξιολόγηση μέσω καταγραφής δεδομένων (Data-Monitoring POE)	Αποτίμηση της πραγματικής λειτουργίας των συστημάτων μέσω συνεχούς συλλογής και ανάλυσης δεδομένων
Αξιολόγηση μέσω ερευνών χρηστών (Survey-Based POE)	Συλλογή ανατροφοδότησης και υποκειμενικής αξιολόγησης από τους χρήστες σχετικά με την ποιότητα του φωτισμού

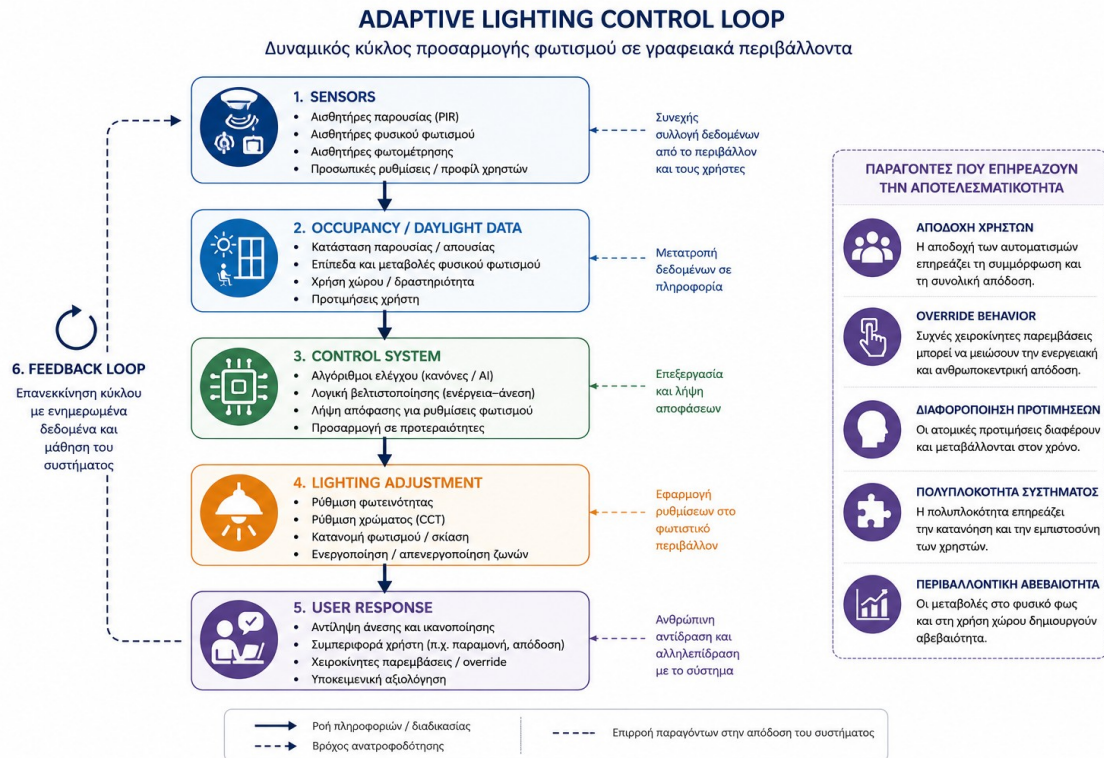
Πίνακας 6.4: Βασικές κατηγορίες τεχνολογιών και στρατηγικών ελέγχου φωτισμού με επίκεντρο τον χρήστη (user-centred lighting controls), βάσει της βιβλιογραφικής ανασκόπησης των Hammes et al. (2024).

Ένα από τα σημαντικότερα συμπεράσματα της μελέτης είναι ότι η αποτελεσματικότητα των συστημάτων ελέγχου εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ποιότητα της πληροφορίας που διαθέτουν για τους χρήστες. Για τον λόγο αυτό, ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στις τεχνολογίες ανίχνευσης παρουσίας, δραστηριότητας και προτιμήσεων, καθώς και στους μηχανισμούς επικοινωνίας μεταξύ αισθητήρων και συστημάτων ελέγχου.



Σχήμα 6.8: Δίκτυο συσχετίσεων μεταξύ πληροφορίας παρουσίας χρηστών, συστημάτων ελέγχου και τεχνολογιών επικοινωνίας σε προσαρμοστικά συστήματα φωτισμού με επίκεντρο τον χρήστη (user-centred lighting controls).

Το Σχήμα 6.8 παρουσιάζει τη σχέση μεταξύ πληροφοριών παρουσίας χρηστών, συστημάτων ελέγχου και τεχνολογιών επικοινωνίας. Η ανάλυση δείχνει ότι οι έννοιες της παρουσίας, της ταυτότητας, της δραστηριότητας και των συστημάτων πρόβλεψης αποτελούν βασικούς κόμβους των σύγχρονων στρατηγικών ελέγχου φωτισμού. Παράλληλα, αναδεικνύεται η αυξανόμενη σημασία τεχνικών μηχανικής μάθησης, οι οποίες επιτρέπουν στα συστήματα να προσαρμόζουν τη λειτουργία τους με βάση ιστορικά δεδομένα και πρότυπα συμπεριφοράς.



Σχήμα 6.9: Εννοιολογική αναπαράσταση του κύκλου λειτουργίας προσαρμοστικών συστημάτων φωτισμού σε γραφειακά περιβάλλοντα, βασισμένη στη σύνθεση των ευρημάτων των Hammes et al. (2024).

Η σημαντικότερη συμβολή της μελέτης έγκειται στην ανάδειξη του ρόλου της πληροφορίας και της ανατροφοδότησης των χρηστών στη λειτουργία των συστημάτων φωτισμού. Η ποιότητα του φωτεινού περιβάλλοντος δεν προκύπτει αποκλειστικά από φωτομετρικούς δείκτες, αλλά από τη σύνθεση τεχνικών δεδομένων, συνθηκών χρήσης και ανθρώπινων προτιμήσεων.

Παρά τα πλεονεκτήματα των «user-centred lighting controls», η ανασκόπηση επισημαίνει και σημαντικούς περιορισμούς. Η συλλογή και επεξεργασία μεγάλου όγκου δεδομένων δημιουργεί ζητήματα ιδιωτικότητας και προστασίας προσωπικών δεδομένων, ενώ η αυξημένη πολυπλοκότητα των συστημάτων μπορεί να δυσχεράνει την εφαρμογή και τη συντήρησή τους. Επιπλέον, η αποτελεσματικότητα πολλών αλγορίθμων εξαρτάται από τη διαθεσιμότητα αξιόπιστων δεδομένων χρήσης και από την αποδοχή των τεχνολογιών από τους ίδιους τους εργαζομένους.

Συνολικά, η μελέτη των Hammes et al. (2024), καταδεικνύει ότι η εξέλιξη του ανθρωποκεντρικού φωτισμού συνδέεται άμεσα με την ανάπτυξη ευφών και προσαρμοστικών συστημάτων ελέγχου, στα οποία η ενεργειακή απόδοση, η άνεση και η

εμπειρία του χρήστη αντιμετωπίζονται ως αλληλένδετες παράμετροι του σχεδιασμού και της λειτουργίας των κτιρίων γραφείων.

6.5 Συγκριτική σύνθεση και κριτική αποτίμηση των μεθοδολογικών προσεγγίσεων αξιολόγησης φωτισμού

Η ανάλυση των τριών μελετών περίπτωσης ανέδειξε τη σταδιακή εξέλιξη των προσεγγίσεων αξιολόγησης του φωτισμού από καθαρά τεχνικές και φωτομετρικές μεθόδους προς περισσότερο ανθρωποκεντρικά και δυναμικά μοντέλα σχεδιασμού. Παρότι κάθε μελέτη εξετάζει διαφορετικές πτυχές του φωτεινού περιβάλλοντος, όλες συγκλίνουν στην παραδοχή ότι η ποιότητα του φωτισμού αποτελεί πολυπαραγοντικό ζήτημα, το οποίο δεν μπορεί να αποτιμηθεί επαρκώς μέσω μίας μόνο κατηγορίας δεικτών ή μίας μεμονωμένης μεθοδολογικής προσέγγισης.

Η πρώτη μελέτη περίπτωσης των Aliparast S. και Onaygil S. (2024) επικεντρώθηκε στην εφαρμογή αρχών ανθρωποκεντρικού φωτισμού σε πραγματικό γραφειακό περιβάλλον. Μέσω συνδυασμού φωτομετρικών μετρήσεων, βιολογικών δεικτών (CS και EML) και υποκειμενικών αξιολογήσεων των εργαζομένων, κατέδειξε ότι ο φωτισμός επηρεάζει όχι μόνο την οπτική άνεση αλλά και την εγρήγορση, τη διάθεση και τη συνολική εμπειρία των χρηστών. Παράλληλα, ανέδειξε τη σημασία της δυνατότητας προσωπικού ελέγχου του φωτισμού ως παράγοντα ενίσχυσης της αποδοχής και της αντιλαμβανόμενης άνεσης.

Η δεύτερη μελέτη περίπτωσης των Davoodi et al. (2021) προσέγγισε το ζήτημα από την πλευρά των προσομοιώσεων και του τεκμηριωμένου σχεδιασμού. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι υπολογιστικές προσομοιώσεις μπορούν να αποτελέσουν αποτελεσματικό εργαλείο πρόβλεψης και βελτιστοποίησης του φωτεινού περιβάλλοντος ήδη από τα πρώτα στάδια σχεδιασμού. Παράλληλα, αναδείχθηκε ότι η τεχνική ακρίβεια των μοντέλων δεν αρκεί για την πλήρη κατανόηση της ανθρώπινης εμπειρίας, γεγονός που καθιστά αναγκαία τη συμπληρωματική αξιολόγηση μέσω δεδομένων πραγματικών χρηστών.

Η τρίτη μελέτη των Hammes et al. (2024), διεύρυνε περαιτέρω την οπτική της αξιολόγησης εξετάζοντας τον ρόλο των προσαρμοστικών συστημάτων ελέγχου φωτισμού. Η ανασκόπηση κατέδειξε ότι τα σύγχρονα συστήματα φωτισμού λειτουργούν ως δυναμικά περιβάλλοντα αλληλεπίδρασης μεταξύ αισθητήρων, αλγορίθμων ελέγχου και

χρηστών, όπου η ανατροφοδότηση, οι προτιμήσεις και τα δεδομένα χρήσης αποτελούν κρίσιμες παραμέτρους για τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας τους.

Η συγκριτική εξέταση των τριών προσεγγίσεων δείχνει ότι καθεμία καλύπτει διαφορετική διάσταση της αξιολόγησης του φωτισμού. Οι μελέτες πεδίου προσφέρουν πολύτιμη γνώση για την πραγματική εμπειρία των χρηστών, οι προσομοιώσεις επιτρέπουν την πρόβλεψη και βελτιστοποίηση σχεδιαστικών επιλογών πριν από την κατασκευή, ενώ τα προσαρμοστικά συστήματα επιδιώκουν τη συνεχή προσαρμογή του φωτεινού περιβάλλοντος στις μεταβαλλόμενες ανάγκες των χρηστών και του χώρου.



Σχήμα 6.10: Συνθετική απεικόνιση της εξέλιξης των προσεγγίσεων αξιολόγησης φωτισμού από τους παραδοσιακούς φωτομετρικούς δείκτες προς ανθρωποκεντρικά και δυναμικά προσαρμοστικά συστήματα.

Η εξέλιξη αυτή αντικατοπτρίζει τη μετάβαση του σχεδιασμού φωτισμού από την αποκλειστική έμφαση στη φωτομετρική συμμόρφωση προς μια περισσότερο ολιστική προσέγγιση, η οποία λαμβάνει υπόψη βιολογικούς, ψυχολογικούς, συμπεριφορικούς και περιβαλλοντικούς παράγοντες. Για τα σύγχρονα γραφειακά περιβάλλοντα, η ποιότητα του φωτισμού δεν συνδέεται μόνο με την επάρκεια των επιπέδων φωτισμού ή τον περιορισμό της θάμβωσης, αλλά και με την υποστήριξη της ευεξίας, της άνεσης, της απόδοσης και της προσαρμοστικότητας των χρηστών.

Παράμετρος	Case Study 1 Aliparast & Onaygil (2024)	Case Study 2 Davoodi et al. (2021)	Case Study 3 Hammes et al. (2024)
Τύπος μελέτης	Μελέτη πεδίου	Προσομοιωτική μελέτη	Συστηματική βιβλιογραφική ανασκόπηση
Περιβάλλον εφαρμογής	Γραφείο ανοικτής διάταξης (open-plan office)	Γραφειακοί χώροι σε περιβάλλον προσομοίωσης	Γραφειακά περιβάλλοντα και συστήματα ελέγχου φωτισμού
Κύρια προσέγγιση	Ανθρωποκεντρικός και εξατομικευμένος φωτισμός	Evidence-based σχεδιασμός μέσω προσομοιώσεων	User-centred lighting controls
Ρόλος χρήστη	Ενεργός συμμετέχων και αξιολογητής	Έμμεση αναπαράσταση μέσω δεικτών και POE	Κεντρικός παράγοντας λήψης αποφάσεων και ανατροφοδότησης
Κύριοι δείκτες αξιολόγησης	Οπτική άνεση, ικανοποίηση, απόδοση, CS, EML	Οπτική άνεση, θάμβωση, φυσικός φωτισμός, Eh-task	KPI, user feedback, occupancy information
Βασικό εύρημα	Η δυνατότητα εξατομίκευσης βελτιώνει την άνεση και την ικανοποίηση των χρηστών	Οι προσομοιώσεις υποστηρίζουν αποτελεσματικά τον σχεδιασμό αλλά δεν αποτυπώνουν πλήρως την εμπειρία χρήσης	Η αποτελεσματικότητα των συστημάτων εξαρτάται από την αλληλεπίδραση αισθητήρων, ελέγχου και χρηστών
Πλεονεκτήματα	Ρεαλιστική αποτύπωση πραγματικής εμπειρίας	Πρόβλεψη και βελτιστοποίηση πριν την κατασκευή	Δυναμική προσαρμογή και εξατομίκευση
Περιορισμοί	Υποκειμενικότητα και δυσκολία γενίκευσης	Εξάρτηση από παραδοχές μοντέλου	Πολυπλοκότητα συστημάτων και ζητήματα αποδοχής χρηστών
Συμβολή στον ανθρωποκεντρικό φωτισμό	Ανάδειξη της σημασίας του προσωπικού ελέγχου του φωτισμού	Σύνδεση τεχνικών δεικτών με την εμπειρία χρήστη μέσω EBD	Ενσωμάτωση προσαρμοστικών και ευφώνων μηχανισμών ελέγχου

Πίνακας 6.5: Συγκριτική αξιολόγηση των τριών προσεγγίσεων αξιολόγησης φωτισμού που εξετάστηκαν στα επιλεγμένα case studies.

Η συγκριτική ανάλυση των τριών μελετών επιβεβαιώνει ότι η αξιολόγηση του φωτισμού σε περιβάλλοντα γραφείων δεν μπορεί να βασίζεται αποκλειστικά ούτε σε τεχνικούς δείκτες ούτε σε υποκειμενικές αξιολογήσεις των χρηστών. Οι μελέτες πεδίου αναδεικνύουν την πραγματική εμπειρία χρήσης, οι προσομοιώσεις υποστηρίζουν τη διαδικασία σχεδιασμού μέσω προβλέψεων και οι προσαρμοστικές στρατηγικές ελέγχου

επιχειρούν να γεφυρώσουν το χάσμα μεταξύ σχεδιαστικών παραδοχών και πραγματικής λειτουργίας. Συνεπώς, η διεθνής βιβλιογραφία συγκλίνει προς υβριδικές και ανθρωποκεντρικές προσεγγίσεις αξιολόγησης, οι οποίες συνδυάζουν τεχνικά, βιολογικά και εμπειρικά δεδομένα με στόχο την πληρέστερη κατανόηση της ποιότητας του φωτεινού περιβάλλοντος.

7. Συνθετική αποτίμηση, ερευνητικά κενά και μελλοντικές προοπτικές στον ανθρωποκεντρικό φωτισμό γραφειακών χώρων

Η σύγχρονη έρευνα στον φωτισμό γραφειακών περιβαλλόντων μετατοπίζεται σταδιακά από την αποκλειστική έμφαση σε στατικούς φωτομετρικούς δείκτες προς πιο σύνθετες και ανθρωποκεντρικές λογικές αξιολόγησης, οι οποίες ενσωματώνουν παραμέτρους οπτικής άνεσης, βιολογικών επιδράσεων, συμπεριφοράς χρηστών και δυναμικής αλληλεπίδρασης με το δομημένο περιβάλλον (Altomonte et al., 2024; Jalali et al., 2024; Vetter et al., 2022). Η μετατόπιση αυτή αντανακλά ευρύτερες αλλαγές στον τρόπο με τον οποίο προσεγγίζεται η έννοια της ποιότητας του εσωτερικού περιβάλλοντος, καθώς ο φωτισμός δεν αντιμετωπίζεται πλέον αποκλειστικά ως τεχνική υποδομή του κτιρίου, αλλά ως παράγοντας που επηρεάζει άμεσα την εμπειρία, την υγεία, την απόδοση και τη συνολική λειτουργία των εργασιακών χώρων.

Παράλληλα, η ανάπτυξη ανθρωποκεντρικών και προσαρμοστικών συστημάτων φωτισμού έχει αναδείξει σημαντικές μεθοδολογικές και ερευνητικές προκλήσεις, οι οποίες σχετίζονται με τη σύνθεση τεχνικών, βιολογικών και υποκειμενικών δεδομένων, καθώς και με τη διαχείριση της αβεβαιότητας που προκύπτει από τη διαφοροποίηση της ανθρώπινης εμπειρίας και συμπεριφοράς. Παρότι η διεθνής βιβλιογραφία παρουσιάζει σημαντική ανάπτυξη σε ζητήματα κυρκαδικού φωτισμού, οπτικής άνεσης, προσαρμοστικών συστημάτων ελέγχου και σχεδιασμού με επίκεντρο τον χρήστη, εξακολουθούν να παρατηρούνται περιορισμένες συνδέσεις μεταξύ διαφορετικών μεθοδολογικών προσεγγίσεων, ελλιπής ενσωμάτωση πραγματικών δεδομένων χρήσης και απουσία ενοποιημένων πλαισίων αξιολόγησης των ανθρωποκεντρικών συστημάτων φωτισμού (Hammes et al., 2024; Gao et al., 2025; Davoodi et al., 2021).

Η πολυπλοκότητα αυτή καθιστά ολοένα και πιο εμφανή την ανάγκη για διεπιστημονικές και πολυπαραγοντικές προσεγγίσεις, οι οποίες να μπορούν να συνδυάσουν τεχνικά

δεδομένα, εμπειρικές αξιολογήσεις, δυναμικές παραμέτρους συμπεριφοράς και βιολογικές αποκρίσεις μέσα σε πιο ολοκληρωμένα μοντέλα ανάλυσης. Υπό αυτό το πρίσμα, η αξιολόγηση φωτισμού στα σύγχρονα γραφειακά περιβάλλοντα δεν αποτελεί πλέον διαδικασία απλής τεχνικής επαλήθευσης, αλλά σύνθετο πεδίο έρευνας που επαναπροσδιορίζει τη σχέση μεταξύ ανθρώπου, τεχνολογίας και περιβάλλοντος χρήσης.

Ένα από τα σημαντικότερα ερευνητικά κενά που αναδείχθηκαν μέσα από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση αφορά την περιορισμένη σύνδεση μεταξύ εργαστηριακών ευρημάτων, προσομοιωτικών προσεγγίσεων και πραγματικών συνθηκών λειτουργίας των κτιρίων. Παρά τη σημαντική πρόοδο στην κατανόηση των μη οπτικών επιδράσεων του φωτός και των ανθρωποκεντρικών στρατηγικών σχεδιασμού, παραμένει περιορισμένη η διαθεσιμότητα μακροχρόνιων μελετών πεδίου (long-term field studies) που να αξιολογούν ταυτόχρονα τεχνικές, βιολογικές και συμπεριφορικές παραμέτρους σε πραγματικά γραφειακά περιβάλλοντα.

Παράλληλα, η ταχεία ανάπτυξη τεχνολογιών αισθητήρων, τεχνητής νοημοσύνης και προσαρμοστικών συστημάτων ελέγχου δημιουργεί νέες προοπτικές για την εξατομίκευση του φωτισμού και τη δυναμική προσαρμογή του στις ανάγκες των χρηστών. Η αξιοποίηση δεδομένων πραγματικής χρήσης, σε συνδυασμό με αλγορίθμους πρόβλεψης και μάθησης, αναμένεται να ενισχύσει σημαντικά την ικανότητα των συστημάτων φωτισμού να ανταποκρίνονται στις μεταβαλλόμενες απαιτήσεις των σύγχρονων εργασιακών χώρων.

Συνολικά, οι μελλοντικές εξελίξεις στον ανθρωποκεντρικό φωτισμό αναμένεται να επικεντρωθούν όχι μόνο στη βελτίωση των τεχνολογικών λύσεων, αλλά κυρίως στην ανάπτυξη ολοκληρωμένων πλαισίων αξιολόγησης που θα συνδυάζουν τεχνικούς δείκτες, βιολογικές αποκρίσεις, υποκειμενικές αξιολογήσεις και πραγματικά δεδομένα λειτουργίας. Η κατεύθυνση αυτή φαίνεται να αποτελεί βασική προϋπόθεση για τη δημιουργία γραφειακών περιβαλλόντων που υποστηρίζουν αποτελεσματικά την ευεξία, την άνεση, την υγεία και την παραγωγικότητα των χρηστών, διαμορφώνοντας μια νέα γενιά ανθρωποκεντρικών και προσαρμοστικών χώρων εργασίας.

7.1 Σύνθεση βασικών ερευνητικών συμπερασμάτων

Η σύγχρονη βιβλιογραφία καταδεικνύει ότι η αξιολόγηση του φωτισμού στα γραφειακά περιβάλλοντα απομακρύνεται σταδιακά από αποκλειστικά τεχνικοκεντρικές λογικές

ανάλυσης και προσεγγίζεται πλέον ως ένα πολυπαραγοντικό πεδίο που συνδυάζει τεχνικές, βιολογικές, εμπειρικές και συμπεριφορικές διαστάσεις. Η παραδοσιακή έμφαση σε φωτομετρικούς δείκτες, όπως τα επίπεδα φωτισμού, η ομοιομορφία και ο περιορισμός της θάμβωσης, εξακολουθεί να αποτελεί βασικό στοιχείο κανονιστικής συμμόρφωσης και τεχνικής αξιολόγησης. Ωστόσο, δεν επαρκεί για την ολοκληρωμένη αποτύπωση της ποιότητας του φωτεινού περιβάλλοντος (Dehoff, 2019; Tservatsidis et al., 2022). Η μετατόπιση αυτή αντανακλά μια ευρύτερη αλλαγή στον τρόπο με τον οποίο ορίζεται η περιβαλλοντική ποιότητα στους σύγχρονους εργασιακούς χώρους.

Καθοριστικό ρόλο στη μεταβολή αυτή διαδραμάτισε η ανάπτυξη του ανθρωποκεντρικού φωτισμού, ο οποίος επαναπροσδιόρισε τον φωτισμό όχι μόνο ως παράγοντα οπτικής απόδοσης και ενεργειακής κατανάλωσης, αλλά και ως στοιχείο που επηρεάζει βιολογικές και ψυχολογικές λειτουργίες των χρηστών (Jalali et al., 2024; Vetter et al., 2022). Η διεθνής βιβλιογραφία επιβεβαιώνει ότι το φως σχετίζεται άμεσα με μη οπτικές αποκρίσεις, όπως η ρύθμιση του κirkάδιου ρυθμού, η εγρήγορση, η διάθεση, η ποιότητα ύπνου και η συνολική ευεξία των εργαζομένων (Brown et al., 2022; Lucas et al., 2014; Blume et al., 2019). Ως αποτέλεσμα, η έννοια της «βέλτιστης» συνθήκης φωτισμού δεν μπορεί πλέον να ορίζεται αποκλειστικά μέσω σταθερών τεχνικών τιμών, αλλά απαιτεί ευρύτερες και περισσότερο ανθρωποκεντρικές λογικές αξιολόγησης.

Παράλληλα, οι μελέτες πεδίου σε γραφειακά περιβάλλοντα αναδεικνύουν ότι η εμπειρία του φωτισμού διαφοροποιείται σημαντικά μεταξύ των χρηστών, ακόμη και υπό παρόμοιες περιβαλλοντικές συνθήκες (Aliparast & Onaygil, 2024; Newsham et al., 2009). Η αντίληψη της οπτικής άνεσης, της ικανοποίησης και της ποιότητας του φωτισμού επηρεάζεται από προσωπικές προτιμήσεις, ανάγκες εργασίας, επίπεδα ελέγχου και υποκειμενικές παραμέτρους αντίληψης. Η δυνατότητα εξατομίκευσης και προσωπικού ελέγχου ενισχύει ουσιαστικά την αποδοχή του φωτεινού περιβάλλοντος, γεγονός που υποδεικνύει ότι η ποιότητα του φωτισμού δεν μπορεί να αντιμετωπίζεται ως μία ενιαία και καθολικά σταθερή συνθήκη για όλους τους χρήστες.

Η εξέλιξη των προσομοιωτικών μεθοδολογιών και των προσεγγίσεων τεκμηριωμένου σχεδιασμού επέτρεψε σημαντική πρόοδο ως προς την πρόβλεψη της απόδοσης του φωτισμού και την ανάλυση σύνθετων περιβαλλοντικών σεναρίων (Davoodi et al., 2021; Konis, 2013). Παρά τα πλεονεκτήματα αυτά, η βιβλιογραφία επισημαίνει ότι τα

υπολογιστικά μοντέλα παρουσιάζουν περιορισμούς ως προς την αποτύπωση της πραγματικής ανθρώπινης συμπεριφοράς και της δυναμικής αλληλεπίδρασης μεταξύ χρηστών και χώρου. Η απόκλιση μεταξύ θεωρητικής και πραγματικής λειτουργίας των συστημάτων φωτισμού συνδέεται συχνά με διαφοροποιήσεις προτιμήσεων, μεταβολές στις πραγματικές συνθήκες χρήσης και απρόβλεπτες συμπεριφορικές αποκρίσεις των χρηστών (Gao et al., 2025).

Προσέγγιση αξιολόγησης	Κύρια χαρακτηριστικά	Πλεονεκτήματα	Περιορισμοί	Σχέση με Human-Centric Lighting
 Παραδοσιακή φωτισμετρική αξιολόγηση	Έμφαση σε επίπεδα φωτισμού (illuminance), ομοιομορφία και περιορισμό θάμβωσης	Τυποποίηση, κανονιστική συμμόρφωση, τεχνική αξιοπιστία	Περιορισμένη αποτύπωση εμπειρίας και βιολογικών επιδράσεων	Εστιάζει κυρίως στην οπτική απόδοση
 Μελέτες πεδίου (field studies)	Αξιολόγηση πραγματικών συνθηκών χρήσης και εμπειρίας χρηστών	Υψηλή εμπειρική αξιοπιστία και αποτύπωση υποκειμενικής εμπειρίας	Περιορισμένη γενίκευση αποτελεσμάτων και αυξημένη πολυπλοκότητα δεδομένων	Αναδεικνύει τη σημασία της εξατομίκευσης και της συμπεριφοράς χρηστών
 Αξιολόγηση βασισμένη σε προσομοιώσεις (simulation-based αξιολόγηση)	Χρήση υπολογιστικών μοντέλων και ανάλυσης πρόβλεψης (predictive analysis)	Δυνατότητα ελέγχου πολλαπλών σεναρίων και τεχνικής βελτιστοποίησης	Περιορισμένη αποτύπωση πραγματικής ανθρώπινης συμπεριφοράς	Υποστηρίζει τεκμηριωμένο σχεδιασμό φωτισμού (evidence-based design)
 Προσαρμοστικά συστήματα φωτισμού (adaptive lighting systems)	Δυναμική προσαρμογή φωτισμού με βάση δεδομένα χρήσης και περιβάλλοντος	Ενεργειακή αποδοτικότητα και προσαρμοστικότητα συνθηκών	Εξάρτηση από την αποδοχή χρηστών (user acceptance) και την αβεβαιότητα συμπεριφοράς (behavioral uncertainty)	Ενσωματώνει εξατομίκευση και ελέγχους με επίκεντρο τον χρήστη (user-centred controls)
 Ανθρωποκεντρικός φωτισμός (Human-Centric Lighting, HCL)	Συνδυασμός οπτικών, βιολογικών και εμπειρικών παραμέτρων	Ολιστική προσέγγιση περιβαλλοντικής ποιότητας	Απουσία ενοποιημένων αξιολογικών πλαισίων (evaluative frameworks)	Αποτελεί το βασικό σύγχρονο πλαίσιο αξιολόγησης φωτισμού

Πίνακας 7.1: Αυνθετική σύγκριση προσεγγίσεων αξιολόγησης φωτισμού σε γραφειακά περιβάλλοντα.

Αντίστοιχα, η ανάπτυξη προσαρμοστικών συστημάτων φωτισμού και συστημάτων ελέγχου με επίκεντρο τον χρήστη επιχειρεί να ενσωματώσει δυναμικά δεδομένα χρήσης και περιβαλλοντικών μεταβολών στη λειτουργία των εγκαταστάσεων φωτισμού (Hammes et al., 2024; Plörrer et al., 2021). Παρότι οι τεχνολογίες αυτές παρουσιάζουν σημαντικές δυνατότητες ως προς την ενεργειακή βελτιστοποίηση και την προσαρμογή στις ανάγκες των χρηστών, η αποτελεσματικότητά τους εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη συμπεριφορική αποδοχή και την πραγματική αλληλεπίδραση ανθρώπου και αυτοματισμού. Η τεχνολογική εξέλιξη, επομένως, δεν εξαλείφει την αβεβαιότητα της αξιολόγησης, αλλά μετατοπίζει το ενδιαφέρον προς πιο σύνθετες σχέσεις μεταξύ χρηστών, τεχνολογίας και περιβάλλοντος χρήσης.

Συνολικά, η σύνθεση της βιβλιογραφίας και των επιλεγμένων μελετών περίπτωσης υποδεικνύει ότι η αξιολόγηση του φωτισμού στα σύγχρονα γραφειακά περιβάλλοντα μεταβαίνει από στατικές και μονοπαραγοντικές λογικές προς περισσότερο δυναμικά, ανθρωποκεντρικά και διεπιστημονικά μοντέλα ανάλυσης. Παρά τη σημαντική πρόοδο που καταγράφεται στη διεθνή έρευνα, εξακολουθούν να παρατηρούνται κατακερματισμένες μεθοδολογικές προσεγγίσεις, περιορισμένη ενοποίηση τεχνικών και εμπειρικών δεδομένων και δυσκολίες στη σύνθεση αντικειμενικών και υποκειμενικών παραμέτρων αξιολόγησης. Οι παρατηρήσεις αυτές αναδεικνύουν την ανάγκη ανάπτυξης περισσότερο ολοκληρωμένων και ενοποιημένων πλαισίων αξιολόγησης, ικανών να συνδυάζουν τεχνικές μετρήσεις, βιολογικές αποκρίσεις, εμπειρικά δεδομένα και πραγματικές συνθήκες χρήσης. Η κατεύθυνση αυτή φαίνεται να αποτελεί βασική προϋπόθεση για τον αποτελεσματικό σχεδιασμό των μελλοντικών ανθρωποκεντρικών εργασιακών περιβαλλόντων.

7.2 Ερευνητικά κενά και μεθοδολογικοί περιορισμοί της σύγχρονης βιβλιογραφίας

Παρά τη σημαντική ανάπτυξη της έρευνας γύρω από τον ανθρωποκεντρικό φωτισμό και τα σύγχρονα συστήματα αξιολόγησης φωτισμού, η διεθνής βιβλιογραφία εξακολουθεί να παρουσιάζει έντονο μεθοδολογικό κατακερματισμό και περιορισμένη ενοποίηση διαφορετικών επιστημονικών προσεγγίσεων. Οι περισσότερες μελέτες εστιάζουν είτε σε τεχνικούς φωτομετρικούς δείκτες, είτε σε βιολογικές επιδράσεις του φωτός, είτε σε εμπειρικές αξιολογήσεις χρηστών, χωρίς όμως να επιτυγχάνεται ουσιαστική σύνθεση όλων αυτών των παραμέτρων μέσα σε ένα κοινό και ολοκληρωμένο πλαίσιο αξιολόγησης (Altomonte et al., 2024; Jalali et al., 2024). Η αποσπασματική αυτή προσέγγιση περιορίζει σημαντικά τη δυνατότητα ανάπτυξης περισσότερο αξιόπιστων και συγκρίσιμων μοντέλων αξιολόγησης του φωτισμού στα σύγχρονα γραφειακά περιβάλλοντα.

Ένα από τα σημαντικότερα ερευνητικά κενά αφορά την απουσία ενοποιημένων μετρικών και κοινά αποδεκτών αξιολογικών πλαισίων για την αξιολόγηση του HCL. Παρότι η βιβλιογραφία αναγνωρίζει ότι η ποιότητα φωτισμού σχετίζεται ταυτόχρονα με οπτικές, βιολογικές, ψυχολογικές και συμπεριφορικές παραμέτρους, δεν υπάρχει ακόμη σαφής συναίνεση ως προς τον τρόπο ποσοτικοποίησης και σύνθεσης αυτών των μεταβλητών σε ένα ολοκληρωμένο σύστημα αξιολόγησης (Vetter et al., 2022; Schlangen & Price, 2021).

Ως αποτέλεσμα, διαφορετικές μελέτες χρησιμοποιούν ετερογενείς δείκτες, διαφορετικές πειραματικές διαδικασίες και ασύμβατες μεθοδολογίες, γεγονός που δυσχεραίνει τη συγκρισιμότητα των αποτελεσμάτων και περιορίζει τη δυνατότητα μεταφοράς της ερευνητικής γνώσης στην πράξη του σχεδιασμού και της λειτουργίας των γραφειακών χώρων.

Παράλληλα, ιδιαίτερα κρίσιμο ζήτημα αποτελεί η περιορισμένη σύνδεση μεταξύ αξιολόγησης βασισμένης σε προσομοιώσεις και πραγματικών δεδομένων χρήσης. Οι προσομοιώσεις παρέχουν υψηλό επίπεδο τεχνικής ανάλυσης και πρόβλεψης της απόδοσης των συστημάτων φωτισμού, βασίζονται όμως συχνά σε θεωρητικά προβλέψιμες ή ιδανικές συνθήκες λειτουργίας (Davoodi et al., 2021; Konis, 2013). Η πραγματική χρήση των χώρων χαρακτηρίζεται από διαφοροποίηση προτιμήσεων, μεταβολές στις συνθήκες εργασίας και δυναμικές συμπεριφορικές αποκρίσεις των χρηστών, οι οποίες δύσκολα αποτυπώνονται με ακρίβεια στα υπολογιστικά μοντέλα. Η απόσταση αυτή μεταξύ θεωρητικής πρόβλεψης και πραγματικής εμπειρίας περιορίζει την αξιοπιστία πολλών «simulation-based» προσεγγίσεων και αναδεικνύει την ανάγκη ενσωμάτωσης περισσότερων πραγματικών δεδομένων χρήσης στις διαδικασίες αξιολόγησης.

Αντίστοιχα, η ανθρώπινη συμπεριφορά εξακολουθεί να αποτελεί μία από τις σημαντικότερες μεταβλητές αβεβαιότητας στα σύγχρονα μοντέλα φωτισμού. Η ανάπτυξη προσαρμοστικών συστημάτων φωτισμού και συστημάτων ελέγχου με επίκεντρο τον χρήστη έχει δημιουργήσει σημαντικές δυνατότητες ενεργειακής βελτιστοποίησης και δυναμικής προσαρμογής του φωτεινού περιβάλλοντος, η πραγματική όμως αποτελεσματικότητα των συστημάτων αυτών εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη συμπεριφορική αποδοχή και την αλληλεπίδραση των χρηστών με τους αυτοματισμούς (Hammes et al., 2024; Gao et al., 2025). Η συχνή διαφοροποίηση των προσωπικών προτιμήσεων, η τάση υπέρβασης (override) των αυτοματοποιημένων λειτουργιών και η δυσκολία πρόβλεψης της ανθρώπινης συμπεριφοράς περιορίζουν τη δυνατότητα ανάπτυξης καθολικά εφαρμόσιμων μοντέλων αξιολόγησης και ελέγχου.

Επιπλέον, η διεθνής βιβλιογραφία παρουσιάζει περιορισμένο αριθμό μακροχρόνιων μελετών πεδίου σε πραγματικά γραφειακά περιβάλλοντα. Μεγάλο μέρος των υφιστάμενων ερευνών βασίζεται είτε σε βραχυχρόνιες εργαστηριακές συνθήκες είτε σε ελεγχόμενα πειραματικά περιβάλλοντα, τα οποία δεν αποτυπώνουν πλήρως τη δυναμική

και την πολυπλοκότητα της καθημερινής εμπειρίας χρήσης των εργασιακών χώρων (Aliparast & Onaygil, 2024, Boubekri et al., 2014). Η περιορισμένη παρουσία μακροχρόνιων μελετών δυσχεραίνει σημαντικά την κατανόηση των μακροπρόθεσμων επιδράσεων του φωτισμού στην υγεία, την απόδοση, την προσαρμογή και τη συμπεριφορά των χρηστών στους χώρους εργασίας.

Τέλος, παρατηρείται περιορισμένη διεπιστημονική ενοποίηση μεταξύ πεδίων όπως ο αρχιτεκτονικός σχεδιασμός, η τεχνολογία φωτισμού, η περιβαλλοντική ψυχολογία, οι επιστήμες υγείας και η ανάλυση συμπεριφοράς χρηστών. Παρότι η σύγχρονη βιβλιογραφία αναγνωρίζει ολοένα και περισσότερο τη σύνθετη φύση του ανθρωποκεντρικού φωτισμού, οι περισσότερες μελέτες εξακολουθούν να προσεγγίζουν το ζήτημα μέσα από επιμέρους και συχνά ασύνδετες επιστημονικές οπτικές. Η απουσία κοινών αξιολογικών πλαισίων και διαλειτουργικών μεθοδολογιών περιορίζει όχι μόνο τη συγκρισιμότητα των ερευνητικών αποτελεσμάτων, αλλά και τη δυνατότητα ουσιαστικής ενσωμάτωσης της ερευνητικής γνώσης στην αρχιτεκτονική πρακτική και στον σχεδιασμό σύγχρονων εργασιακών περιβαλλόντων.

Συνολικά, τα ερευνητικά κενά που εντοπίζονται στη σύγχρονη βιβλιογραφία υποδεικνύουν ότι η αξιολόγηση φωτισμού στα γραφειακά περιβάλλοντα βρίσκεται ακόμη σε μεταβατικό στάδιο μεταξύ παραδοσιακών τεχνικών προσεγγίσεων και πιο σύνθετων ανθρωποκεντρικών μοντέλων ανάλυσης. Παρά τη σημαντική πρόοδο που έχει επιτευχθεί τα τελευταία χρόνια, εξακολουθεί να υπάρχει ανάγκη για περισσότερο ενοποιημένες, διεπιστημονικές και εμπειρικά τεκμηριωμένες μεθοδολογίες, οι οποίες να μπορούν να συνδυάσουν με μεγαλύτερη αξιοπιστία τεχνικά δεδομένα, βιολογικές αποκρίσεις, υποκειμενικές εμπειρίες και δυναμικές παραμέτρους πραγματικής χρήσης των χώρων εργασίας.

Ερευνητικό κενό		Επιπτώσεις στη σύγχρονη έρευνα	Μελλοντικές ερευνητικές ανάγκες
	Απουσία ενοποιημένων αξιολογικών πλαισίων (evaluative frameworks) Δεν υπάρχει κοινό πλαίσιο αξιολόγησης που να συνδυάζει οπτικές, βιολογικές, συμπεριφορικές και εμπειρικές παραμέτρους.	 Περιορισμένη συγκρισιμότητα αποτελεσμάτων μεταξύ μελετών και ασυνέπεια μεθοδολογικών προσεγγίσεων.	 Ανάπτυξη κοινών, πολυπαραγοντικών πλαισίων αξιολόγησης που θα ενσωματώνουν τεχνικές, βιολογικές και συμπεριφορικές παραμέτρους.
	Περιορισμένη σύνδεση προσομοιώσεων και πραγματικών δεδομένων χρήσης (simulations-real-world data) Οι περισσότερες προσομοιώσεις δεν ενσωματώνουν επαρκώς πραγματικά δεδομένα συμπεριφοράς, παρουσίας και χρήσης των χώρων.	 Απόκλιση μεταξύ θεωρητικής πρόβλεψης και πραγματικής εμπειρίας χρηστών, μειώνοντας την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων.	 Ενσωμάτωση δεδομένων πραγματικής χρήσης και συμπεριφοράς σε προσομοιωτικά μοντέλα και υβριδικές μεθοδολογίες αξιολόγησης.
	Περιορισμένη αποτύπωση ανθρώπινης συμπεριφοράς Η συμπεριφορά και οι προτιμήσεις των χρηστών σπάνια ενσωματώνονται συστηματικά στις μεθοδολογίες αξιολόγησης φωτισμού.	 Αυξημένη αβεβαιότητα στην αξιολόγηση προσαρμοστικών συστημάτων και στη γενίκευση των αποτελεσμάτων.	 Ανάπτυξη μοντέλων συμπεριφοράς με επίκεντρο τον χρήστη και ενσωμάτωση παραγόντων συμπεριφοράς στην αξιολόγηση φωτισμού.
	Έλλειψη μακροχρόνιων μελετών πεδίου (long-term field studies) Παραμένει περιορισμένος ο αριθμός μακροχρόνιων ερευνών σε πραγματικά γραφειακά περιβάλλοντα.	 Περιορισμένη κατανόηση μακροπρόθεσμων επιπτώσεων του φωτισμού στην υγεία, την παραγωγικότητα και την ευεξία.	 Διεξαγωγή μακροχρόνιων μελετών σε ποικίλα πραγματικά περιβάλλοντα εργασίας με παρακολούθηση επιδράσεων στον χρόνο.
	Κατακερματισμός διεπιστημονικών προσεγγίσεων Η έρευνα προέρχεται από διαφορετικά επιστημονικά πεδία, με περιορισμένη διασύνδεση μεταξύ τους.	 Δυσκολία μεταφοράς γνώσης στην αρχιτεκτονική και στον σχεδιασμό και έλλειψη ολιστικής προσέγγισης.	 Ενίσχυση διεπιστημονικής συνεργασίας μεταξύ αρχιτεκτόνων, μηχανικών, ιατρών, ψυχολόγων και ειδικών συμπεριφοράς.
	Ετερογένεια μετρικών Ανθρωποκεντρικού Φωτισμού (HCL) Χρησιμοποιείται μεγάλη ποικιλία δεικτών και μετρικών χωρίς κοινή τυποποίηση και καθολικά αποδεκτά κριτήρια αξιολόγησης.	 Ασυμβατότητα ερευνητικών αποτελεσμάτων και περιορισμένη δυνατότητα καθιέρωσης προτύπων και κανονισμών.	 Ανάπτυξη περισσότερο τυποποιημένων δεικτών και μετρικών HCL και καθιέρωση κοινών προτύπων αξιολόγησης.

Πίνακας 7.2: Βασικά ερευνητικά κενά και μελλοντικές ανάγκες στη σύγχρονη βιβλιογραφία φωτισμού.

Συνολικά, τα ερευνητικά κενά που εντοπίζονται στη σύγχρονη βιβλιογραφία υποδεικνύουν ότι η αξιολόγηση φωτισμού στα γραφειακά περιβάλλοντα βρίσκεται ακόμη σε μεταβατικό στάδιο μεταξύ παραδοσιακών τεχνικών προσεγγίσεων και πιο σύνθετων ανθρωποκεντρικών μοντέλων ανάλυσης. Παρά τη σημαντική πρόοδο που έχει επιτευχθεί τα τελευταία χρόνια, εξακολουθεί να υπάρχει ανάγκη για περισσότερο ενοποιημένες, διεπιστημονικές και εμπειρικά τεκμηριωμένες μεθοδολογίες, οι οποίες να μπορούν να συνδυάσουν με μεγαλύτερη αξιοπιστία τεχνικά δεδομένα, βιολογικές αποκρίσεις, υποκειμενικές εμπειρίες και δυναμικές παραμέτρους πραγματικής χρήσης των χώρων εργασίας.

7.3 Μελλοντικές προοπτικές και κατευθύνσεις στον σχεδιασμό ανθρωποκεντρικού φωτισμού

Η εξέλιξη των σύγχρονων γραφειακών περιβαλλόντων και η αυξανόμενη ενσωμάτωση ψηφιακών τεχνολογιών στα κτίρια μεταβάλλουν ουσιαστικά τον τρόπο με τον οποίο σχεδιάζονται, ελέγχονται και αξιολογούνται τα συστήματα φωτισμού. Η διεθνής βιβλιογραφία υποδεικνύει ότι ο φωτισμός δεν αντιμετωπίζεται πλέον ως στατική τεχνική εγκατάσταση, αλλά ως δυναμικό περιβαλλοντικό σύστημα, ικανό να αλληλεπιδρά συνεχώς με τους χρήστες και τις μεταβαλλόμενες συνθήκες λειτουργίας των χώρων

εργασίας. Η μετατόπιση αυτή συνδέεται άμεσα με τη σταδιακή μετάβαση προς περισσότερο προσαρμοστικά, εξατομικευμένα και ανθρωποκεντρικά μοντέλα σχεδιασμού φωτισμού.

Ιδιαίτερη σημασία αναμένεται να αποκτήσει η περαιτέρω ανάπτυξη προσαρμοστικών συστημάτων φωτισμού και έξυπνων στρατηγικών ελέγχου, τα οποία θα μπορούν να προσαρμόζουν δυναμικά παραμέτρους όπως η ένταση φωτισμού, η φασματική κατανομή και η θερμοκρασία χρώματος, με βάση τόσο περιβαλλοντικά δεδομένα όσο και πραγματικά δεδομένα χρήσης των χώρων (Hammes et al., 2024; Gao et al., 2025). Η ενσωμάτωση αισθητήρων, συστημάτων ανίχνευσης παρουσίας (occupancy detection systems) και μηχανισμών συνεχούς παρακολούθησης του περιβάλλοντος αναμένεται να ενισχύσει σημαντικά τη δυνατότητα ανάπτυξης περισσότερο εξατομικευμένων και ενεργειακά αποδοτικών φωτιστικών συνθηκών.

Παράλληλα, η πρόοδος στην έρευνα γύρω από τις μη οπτικές επιδράσεις του φωτός αναμένεται να επηρεάσει ουσιαστικά τις μελλοντικές στρατηγικές σχεδιασμού. Η αυξανόμενη κατανόηση της σχέσης μεταξύ φωτός, κirkάδιου ρυθμού, γνωστικής λειτουργίας και ψυχολογικής ευεξίας οδηγεί σταδιακά προς περισσότερο ολοκληρωμένες προσεγγίσεις κirkαδικού φωτισμού και ολοκληρωμένου σχεδιασμού φωτισμού (integrative lighting design), οι οποίες επιχειρούν να συνδυάσουν οπτική άνεση, βιολογική υποστήριξη και ενεργειακή απόδοση μέσα σε ενιαία πλαίσια αξιολόγησης και σχεδιασμού (Brown et al., 2022; Vetter et al., 2022; Schlangen & Price, 2021).

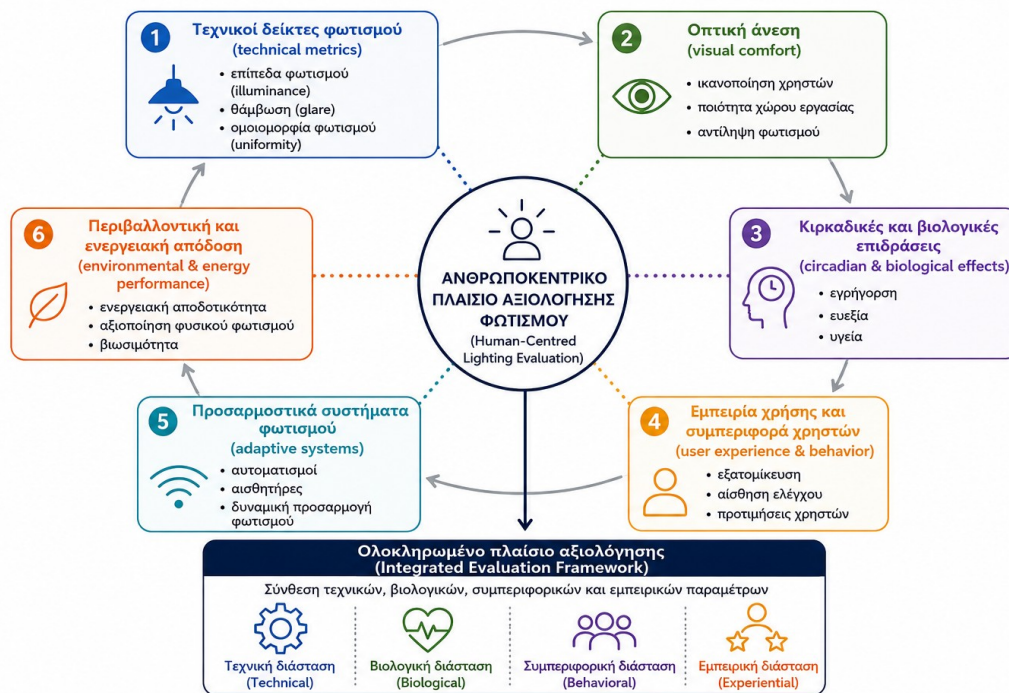
Ωστόσο, η μελλοντική εξέλιξη του ανθρωποκεντρικού φωτισμού δεν φαίνεται να εξαρτάται αποκλειστικά από την τεχνολογική πρόοδο. Η διεθνής βιβλιογραφία υποδεικνύει ότι η αποτελεσματικότητα των προσαρμοστικών συστημάτων επηρεάζεται ουσιαστικά από τη συμπεριφορική αποδοχή, την εμπειρία χρήσης και την αίσθηση ελέγχου των χρηστών μέσα στο εργασιακό περιβάλλον. Η δυνατότητα εξατομίκευσης, η προσαρμογή στις προσωπικές προτιμήσεις και η διατήρηση βαθμού αυτονομίας των χρηστών αναμένεται να αποτελέσουν βασικά στοιχεία των μελλοντικών στρατηγικών σχεδιασμού, καθώς η ποιότητα φωτισμού δεν μπορεί να αντιμετωπίζεται ως καθολικά σταθερή συνθήκη για όλους τους χρήστες (Aliparast & Onaygil, 2024; Newsham et al., 2009).

Ταυτόχρονα, ιδιαίτερα σημαντική αναμένεται να είναι η ανάπτυξη περισσότερο ενοποιημένων αξιολογικών πλαισίων, ικανών να συνδυάζουν τεχνικά δεδομένα, βιολογικές αποκρίσεις, ενεργειακές παραμέτρους και εμπειρικές αξιολογήσεις χρηστών μέσα σε κοινά μοντέλα ανάλυσης. Η ανάγκη αυτή συνδέεται άμεσα με τους περιορισμούς της σύγχρονης βιβλιογραφίας, καθώς η απουσία κοινών μετρικών και διαλειτουργικών μεθοδολογιών εξακολουθεί να περιορίζει τόσο τη συγκρισιμότητα των ερευνητικών αποτελεσμάτων όσο και τη δυνατότητα ουσιαστικής μεταφοράς της ερευνητικής γνώσης στην αρχιτεκτονική πρακτική και στον σχεδιασμό σύγχρονων εργασιακών χώρων.

Στο πλαίσιο αυτό, τεχνολογίες όπως η τεχνητή νοημοσύνη, τα ψηφιακά δίδυμα και τα συστήματα κτιρίων βασισμένα σε δεδομένα αναμένεται να λειτουργήσουν κυρίως ως εργαλεία υποστήριξης περισσότερο δυναμικών και προσαρμοστικών διαδικασιών αξιολόγησης φωτισμού. Η δυνατότητα συνεχούς συλλογής και ανάλυσης δεδομένων χρήσης μπορεί να συμβάλει στην ανάπτυξη περισσότερο εξατομικευμένων στρατηγικών ελέγχου και διαχείρισης των φωτιστικών συνθηκών, υπό την προϋπόθεση ότι η τεχνολογική αυτοματοποίηση θα παραμένει προσανατολισμένη στις πραγματικές ανάγκες και εμπειρίες των χρηστών.

Η μελλοντική πρόκληση στον ανθρωποκεντρικό φωτισμό δεν αφορά μόνο την ανάπτυξη τεχνολογικά προηγμένων συστημάτων, αλλά κυρίως τη δημιουργία περισσότερο ολοκληρωμένων και ανθρωποκεντρικών μοντέλων αξιολόγησης, ικανών να αποτυπώσουν με μεγαλύτερη αξιοπιστία τη δυναμική σχέση μεταξύ ανθρώπου, τεχνολογίας και περιβάλλοντος εργασίας.

Με βάση τα παραπάνω, αναδεικνύεται η ανάγκη για ένα ολοκληρωμένο ανθρωποκεντρικό πλαίσιο αξιολόγησης φωτισμού, το οποίο να συνδυάζει τεχνικές, βιολογικές, συμπεριφορικές και εμπειρικές παραμέτρους. Στο ακόλουθο σχήμα παρουσιάζεται συνοπτικά ένα τέτοιο πλαίσιο, το οποίο αποτυπώνει τις βασικές διαστάσεις και τις μεταξύ τους σχέσεις στον σχεδιασμό και την αξιολόγηση ανθρωποκεντρικού φωτισμού σε γραφειακά περιβάλλοντα.



Σχήμα 7.1: Ολοκληρωμένο ανθρωποκεντρικό πλαίσιο αξιολόγησης φωτισμού σε εργασιακά περιβάλλοντα.

7.4 Συνθετική αποτίμηση της σύγχρονης βιβλιογραφίας

Το έβδομο κεφάλαιο ανέδειξε ότι η σύγχρονη αξιολόγηση φωτισμού στα γραφειακά περιβάλλοντα μεταβαίνει από στατικές, τεχνικοκεντρικές λογικές προς πιο δυναμικά, ανθρωποκεντρικά και διεπιστημονικά μοντέλα ανάλυσης. Η διεθνής βιβλιογραφία επιβεβαιώνει ότι η ποιότητα του φωτεινού περιβάλλοντος αποτελεί πολυπαραγοντικό φαινόμενο, το οποίο διαμορφώνεται από τη συνεχή αλληλεπίδραση τεχνικών μετρικών, βιολογικών επιδράσεων, εμπειρίας χρήσης, ανθρώπινης συμπεριφοράς και προσαρμοστικών τεχνολογικών συστημάτων.

Παράλληλα, η συνθετική αποτίμηση ανέδειξε σημαντικά ερευνητικά κενά και μεθοδολογικούς περιορισμούς, όπως η απουσία ενοποιημένων αξιολογικών πλαισίων, η περιορισμένη σύνδεση προσομοιώσεων και πραγματικών δεδομένων χρήσης και η δυσκολία αποτύπωσης της ανθρώπινης συμπεριφοράς. Οι παρατηρήσεις αυτές υποδηλώνουν ότι ο ανθρωποκεντρικός φωτισμός δεν αποτελεί μόνο τεχνολογική εξέλιξη, αλλά ένα αναδυόμενο ερμηνευτικό και αξιολογικό πλαίσιο, το οποίο επαναπροσδιορίζει τη σχέση μεταξύ φωτός, ανθρώπινης εμπειρίας και περιβαλλοντικής ποιότητας στους

σύγχρονους χώρους εργασίας και θέτει το υπόβαθρο για τα τελικά συμπεράσματα της παρούσας εργασίας.

8. Συμπεράσματα και τελική συνθετική αποτίμηση

Η εξέταση των σύγχρονων προσεγγίσεων αξιολόγησης φωτισμού σε γραφειακά περιβάλλοντα ανέδειξε μια σαφή μετατόπιση από τις παραδοσιακές φωτομετρικές μεθοδολογίες προς περισσότερο ολοκληρωμένα και ανθρωποκεντρικά μοντέλα ανάλυσης. Η σύνθεση της βιβλιογραφίας έδειξε ότι η ποιότητα φωτισμού δεν μπορεί να προσεγγίζεται αποκλειστικά μέσω στατικών τεχνικών δεικτών, αλλά προκύπτει από τη σύνθετη αλληλεπίδραση οπτικών, βιολογικών, συμπεριφορικών και περιβαλλοντικών παραμέτρων.

Μέσα από τη συγκριτική διερεύνηση θεωρητικών προσεγγίσεων, εργαλείων αξιολόγησης βασισμένων σε προσομοιώσεις, μελετών πεδίου και προσαρμοστικών συστημάτων φωτισμού, αναδείχθηκε η σταδιακή μετατόπιση του ερευνητικού ενδιαφέροντος προς πιο δυναμικά, εξατομικευμένα και ανθρωποκεντρικά μοντέλα φωτισμού. Παράλληλα, αναδείχθηκαν τόσο οι δυνατότητες όσο και οι περιορισμοί των υφιστάμενων μεθοδολογιών αξιολόγησης, επιβεβαιώνοντας την ανάγκη για περισσότερο ενοποιημένα πλαίσια ανάλυσης του φωτεινού περιβάλλοντος στους σύγχρονους εργασιακούς χώρους.

Υπό αυτό το πρίσμα, το παρόν κεφάλαιο παρουσιάζει τα συνοπτικά συμπεράσματα της έρευνας, αναδεικνύει τη θεωρητική και μεθοδολογική συμβολή της, συζητά τους βασικούς περιορισμούς της και διατυπώνει προτάσεις για μελλοντική έρευνα και πρακτική εφαρμογή στον τομέα του ανθρωποκεντρικού φωτισμού.

8.1 Τελική συνθετική αποτίμηση της έρευνας

Η βασική συμβολή της έρευνας εστιάζει στη συστηματική οργάνωση και κριτική ερμηνεία των σύγχρονων προσεγγίσεων αξιολόγησης φωτισμού σε γραφειακά περιβάλλοντα. Η ποιότητα του φωτεινού περιβάλλοντος αναδεικνύεται ως αποτέλεσμα της δυναμικής αλληλεπίδρασης τεχνικών χαρακτηριστικών, βιολογικών επιδράσεων, ανθρώπινης συμπεριφοράς, περιβαλλοντικών συνθηκών και προσαρμοστικών τεχνολογικών συστημάτων ελέγχου.

Η συγκριτική ανάλυση των διαφορετικών προσεγγίσεων αξιολόγησης – θεωρητικών μοντέλων, εργαλείων αξιολόγησης βασισμένων σε προσομοιώσεις, μελετών πεδίου και προσαρμοστικών συστημάτων φωτισμού – έδειξε ότι κάθε μεθοδολογία φωτίζει διαφορετικές πτυχές της ίδιας πραγματικότητας. Οι μελέτες πεδίου αναδεικνύουν τη σημασία της πραγματικής εμπειρίας χρήσης και της εξατομίκευσης, οι προσομοιώσεις προσφέρουν δυνατότητες τεχνικής πρόβλεψης και βελτιστοποίησης, ενώ τα προσαρμοστικά συστήματα φωτισμού υπογραμμίζουν τον ρόλο της συνεχούς αλληλεπίδρασης μεταξύ χρήστη, αυτοματισμών και περιβάλλοντος.

Παράλληλα, αναδείχθηκε ότι οι υφιστάμενες μεθοδολογίες αξιολόγησης παραμένουν κατακερματισμένες και συχνά εστιάζουν σε μεμονωμένες παραμέτρους, χωρίς να επιτυγχάνεται ουσιαστική σύνθεση τεχνικών, βιολογικών, συμπεριφορικών και εμπειρικών δεδομένων. Η απουσία ενοποιημένων αξιολογικών πλαισίων και κοινά αποδεκτών δεικτών ανθρωποκεντρικού φωτισμού περιορίζει τη συγκρισιμότητα των ερευνητικών αποτελεσμάτων και δυσχεραίνει τη μεταφορά της επιστημονικής γνώσης στην πράξη του σχεδιασμού.

Σε αυτό το πλαίσιο, η έρευνα υποστηρίζει ότι ο ανθρωποκεντρικός φωτισμός δεν αποτελεί απλώς μια ακόμη τεχνολογική προσέγγιση, αλλά ένα νέο πλαίσιο αξιολόγησης και σχεδιασμού του εργασιακού περιβάλλοντος. Η ουσιαστική κατανόηση της ποιότητας φωτισμού προϋποθέτει συνδυαστικές προσεγγίσεις που ενσωματώνουν τεχνικές μετρικές, βιολογικές αποκρίσεις, υποκειμενικές εμπειρίες και δυναμικές παραμέτρους πραγματικής χρήσης, ανοίγοντας τον δρόμο για περισσότερο ολοκληρωμένα και ανθρωποκεντρικά μοντέλα ανάλυσης.

8.2 Θεωρητική και μεθοδολογική συμβολή της

Η συμβολή της εργασίας δεν περιορίζεται στη συνοπτική παρουσίαση της διεθνούς βιβλιογραφίας, αλλά αφορά κυρίως την κριτική οργάνωση και ερμηνεία των διαφορετικών προσεγγίσεων αξιολόγησης φωτισμού. Σε θεωρητικό επίπεδο, αναδεικνύεται με συστηματικό τρόπο ότι η ποιότητα φωτισμού δεν μπορεί να ορίζεται αποκλειστικά μέσω τεχνικών δεικτών, όπως η ένταση φωτισμού, η ομοιομορφία και ο περιορισμός θάμβωσης, αλλά απαιτεί τη συνεκτίμηση βιολογικών, ψυχολογικών, συμπεριφορικών και εμπειρικών παραμέτρων.

Η εργασία συμβάλλει επίσης στη χαρτογράφηση της μετάβασης από τεχνικοκεντρικά μοντέλα αξιολόγησης προς ανθρωποκεντρικά πλαίσια σχεδιασμού, στα οποία οι ανάγκες, οι προτιμήσεις και η εμπειρία του χρήστη αποτελούν τον βασικό άξονα του σχεδιασμού. Μέσα από τη συγκριτική ανάγνωση θεωρητικών προσεγγίσεων, μελετών πεδίου, εργαλείων αξιολόγησης βασισμένων σε προσομοιώσεις και προσαρμοστικών συστημάτων φωτισμού, αναδεικνύονται οι συμπληρωματικές αλλά και οι αντικρουόμενες πλευρές κάθε μεθοδολογικής κατεύθυνσης, ενισχύοντας το επιχείρημα ότι απαιτούνται περισσότερα ενοποιημένες και διεπιστημονικές προσεγγίσεις.

Σε μεθοδολογικό επίπεδο, η εργασία αναδεικνύει τη σημασία της συγκριτικής ανάλυσης ως εργαλείου κατανόησης της πολυπλοκότητας του φωτεινού περιβάλλοντος. Η παράλληλη εξέταση διαφορετικών τύπων ερευνών επιτρέπει την ανάδειξη τόσο των δυνατοτήτων όσο και των ορίων των υφιστάμενων μετρικών, διαδικασιών αξιολόγησης και συστημάτων ελέγχου, φωτίζοντας κρίσιμα ερευνητικά κενά και ανάγκες για μελλοντική διερεύνηση.

Τέλος, η σύνθεση των ευρημάτων σε ένα ανθρωποκεντρικό πλαίσιο αξιολόγησης φωτισμού επιδιώκει να γεφυρώσει τη θεωρητική έρευνα με την αρχιτεκτονική και περιβαλλοντική πρακτική. Υποδεικνύεται ότι ο σχεδιασμός σύγχρονων γραφειακών χώρων δεν μπορεί πλέον να βασίζεται αποκλειστικά σε κανονιστικές τιμές και ενεργειακά κριτήρια, αλλά απαιτεί διαδικασίες λήψης αποφάσεων που ενσωματώνουν συστηματικά την ανθρώπινη εμπειρία, την ευεξία και τη συμπεριφορά των χρηστών.

8.3 Περιορισμοί της εργασίας

Παρά τη συνθετική και κριτική προσέγγιση, ορισμένοι περιορισμοί επηρεάζουν αναπόφευκτα το εύρος και τη γενικευσιμότητα των συμπερασμάτων. Η έρευνα βασίστηκε κυρίως στη διεθνή βιβλιογραφία και στη συγκριτική ανάλυση υφιστάμενων ερευνητικών δεδομένων, χωρίς την ανάπτυξη πρωτογενούς πειραματικής διαδικασίας ή πραγματικών μετρήσεων σε γραφειακό περιβάλλον. Ως αποτέλεσμα, τα συμπεράσματα αποτυπώνουν κυρίως τις τάσεις, τις θεωρητικές κατευθύνσεις και τους μεθοδολογικούς προβληματισμούς της σύγχρονης έρευνας γύρω από τον ανθρωποκεντρικό φωτισμό.

Επιπλέον, η σημαντική μεθοδολογική ετερογένεια που χαρακτηρίζει τη διεθνή βιβλιογραφία αποτέλεσε έναν επιπλέον περιοριστικό παράγοντα. Οι επιμέρους μελέτες

διαφοροποιούνται ως προς τις μετρικές αξιολόγησης, τις πειραματικές διαδικασίες, τα χαρακτηριστικά των χώρων, τις παραμέτρους φωτισμού και τις μεθόδους αποτύπωσης της εμπειρίας των χρηστών. Η απουσία κοινά αποδεκτών αξιολογικών πλαισίων και τυποποιημένων μετρικών ανθρωποκεντρικού φωτισμού περιορίζει τη δυνατότητα άμεσης σύγκρισης μεταξύ διαφορετικών ερευνητικών αποτελεσμάτων και δυσχεραίνει την ανάπτυξη περισσότερο ενοποιημένων συμπερασμάτων για την αξιολόγηση φωτισμού στα σύγχρονα γραφειακά περιβάλλοντα.

Η θεματική εστίαση σε γραφειακά περιβάλλοντα και σε μελέτες που σχετίζονται με σύγχρονους εργασιακούς χώρους περιορίζει, επιπλέον, τη δυνατότητα γενίκευσης των συμπερασμάτων σε άλλες κατηγορίες εσωτερικών χώρων, όπως εκπαιδευτικά, υγειονομικά ή οικιστικά περιβάλλοντα. Παρότι πολλές από τις αρχές του ανθρωποκεντρικού φωτισμού μπορούν να εφαρμοστούν ευρύτερα, οι απαιτήσεις χρήσης, οι περιβαλλοντικές συνθήκες και οι ανάγκες των χρηστών διαφοροποιούνται σημαντικά ανάλογα με το είδος και τη λειτουργία του χώρου.

Τέλος, η ταχεία εξέλιξη των προσαρμοστικών συστημάτων φωτισμού, των έξυπνων στρατηγικών ελέγχου και των τεχνολογιών που βασίζονται σε δεδομένα δημιουργεί ένα διαρκώς μεταβαλλόμενο ερευνητικό πεδίο. Η συνεχής ανάπτυξη νέων τεχνολογικών εργαλείων, αλγοριθμικών μεθόδων και συστημάτων περιβαλλοντικής διαχείρισης σημαίνει ότι μέρος της σύγχρονης βιβλιογραφίας εξελίσσεται με ιδιαίτερα γρήγορους ρυθμούς, γεγονός που ενδέχεται να επηρεάσει μελλοντικά ορισμένες από τις τρέχουσες θεωρητικές και μεθοδολογικές προσεγγίσεις αξιολόγησης φωτισμού.

Οι παραπάνω περιορισμοί αναδεικνύουν τη σύνθετη και πολυπαραγοντική φύση του ανθρωποκεντρικού φωτισμού ως πεδίου έρευνας, καθώς και την ανάγκη περαιτέρω ανάπτυξης περισσότερο ενοποιημένων, διεπιστημονικών και εμπειρικά τεκμηριωμένων προσεγγίσεων αξιολόγησης του φωτεινού περιβάλλοντος στους σύγχρονους εργασιακούς χώρους.

Συνοψίζοντας, οι παραπάνω περιορισμοί υπογραμμίζουν τόσο τη σύνθετη και πολυπαραγοντική φύση του ανθρωποκεντρικού φωτισμού όσο και την ανάγκη συνέχισης της έρευνας με πιο ενοποιημένες, διεπιστημονικές και εμπειρικά τεκμηριωμένες προσεγγίσεις. Στο πλαίσιο αυτό, τα τελικά συμπεράσματα της εργασίας που ακολουθούν

επιχειρούν να συνοψίσουν τις βασικές διαπιστώσεις και τις προοπτικές που αναδεικνύονται από την παρούσα μελέτη.

8.4 Συμπεράσματα

Η αξιολόγηση φωτισμού στους σύγχρονους εργασιακούς χώρους αναδεικνύεται πλέον ως ιδιαίτερα σύνθετο και δυναμικό πεδίο, το οποίο δεν μπορεί να προσεγγίζεται αποκλειστικά μέσω στατικών τεχνικών και φωτομετρικών απαιτήσεων. Η ποιότητα του φωτεινού περιβάλλοντος διαμορφώνεται από τη συνεχή αλληλεπίδραση τεχνικών χαρακτηριστικών, βιολογικών επιδράσεων, ανθρώπινης συμπεριφοράς, περιβαλλοντικών συνθηκών και προσαρμοστικών τεχνολογικών συστημάτων.

Η ανάπτυξη του ανθρωποκεντρικού φωτισμού σηματοδοτεί μια ουσιαστική μετατόπιση στον τρόπο με τον οποίο ορίζεται και αξιολογείται το φωτεινό περιβάλλον στους χώρους εργασίας. Το φως δεν αντιμετωπίζεται πλέον αποκλειστικά ως μέσο εξασφάλισης οπτικής επάρκειας ή ενεργειακής αποδοτικότητας, αλλά ως ενεργός περιβαλλοντικός παράγοντας που επηρεάζει τη φυσιολογία, τη γνωστική λειτουργία, την ψυχολογική κατάσταση και τη συνολική εμπειρία των χρηστών.

Παράλληλα, η εξέλιξη των προσαρμοστικών συστημάτων φωτισμού, των έξυπνων στρατηγικών ελέγχου και των στρατηγικών διαχείρισης βασισμένων σε δεδομένα αναδεικνύει ότι η περιβαλλοντική ποιότητα στους σύγχρονους εργασιακούς χώρους δεν αποτελεί σταθερή τεχνική συνθήκη, αλλά δυναμική διαδικασία συνεχούς προσαρμογής μεταξύ ανθρώπου, τεχνολογίας και περιβάλλοντος. Η δυνατότητα εξατομίκευσης, η αλληλεπίδραση με τα συστήματα ελέγχου και η εμπειρία χρήσης αναδεικνύονται σε κρίσιμες παραμέτρους αξιολόγησης του φωτεινού περιβάλλοντος.

Τα ευρήματα της παρούσας εργασίας υποδεικνύουν ότι η μελλοντική εξέλιξη του ανθρωποκεντρικού φωτισμού δεν εξαρτάται τόσο από την περαιτέρω τεχνολογική εξειδίκευση, όσο από τη διαμόρφωση περισσότερο ενοποιημένων και διεπιστημονικών πλαισίων, ικανών να συνδέσουν τεχνική απόδοση, ανθρώπινη εμπειρία και περιβαλλοντική προσαρμοστικότητα. Η ουσιαστική κατανόηση της ποιότητας φωτισμού προϋποθέτει τη σύνθεση τεχνικών, βιολογικών, συμπεριφορικών και εμπειρικών δεδομένων μέσα από ολοκληρωμένες προσεγγίσεις ανάλυσης και σχεδιασμού.

Σε αυτό το πλαίσιο, ο ανθρωποκεντρικός φωτισμός δεν αναδεικνύεται ως συμπληρωματική τεχνολογική στρατηγική, αλλά ως νέο πλαίσιο αξιολόγησης και σχεδιασμού των εργασιακών περιβαλλόντων, το οποίο επαναπροσδιορίζει ουσιαστικά τη σχέση μεταξύ φωτός, ανθρώπινης εμπειρίας και περιβαλλοντικής ποιότητας στους σύγχρονους χώρους εργασίας.

Μελλοντικές ερευνητικές προσπάθειες θα μπορούσαν να εστιάσουν στην εμπειρική διερεύνηση της σχέσης μεταξύ τεχνικών δεικτών, ανθρωποκεντρικών μετρικών και υποκειμενικής εμπειρίας σε πραγματικά περιβάλλοντα γραφείων. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η ανάπτυξη ολοκληρωμένων πλαισίων αξιολόγησης που θα συνδυάζουν δεδομένα μετρήσεων, «Post-Occupancy Evaluation» και πληροφορίες από έξυπνα συστήματα ελέγχου φωτισμού, συμβάλλοντας στη γεφύρωση του χάσματος μεταξύ θεωρητικού σχεδιασμού και πραγματικής λειτουργίας των κτιρίων.

Η μετάβαση προς ανθρωποκεντρικές και προσαρμοστικές προσεγγίσεις φωτισμού δεν αποτελεί απλώς τεχνολογική εξέλιξη, αλλά ουσιαστικό μετασχηματισμό του τρόπου με τον οποίο αντιλαμβανόμαστε τη σχέση μεταξύ φωτός, ανθρώπου και δομημένου περιβάλλοντος. Στο πλαίσιο αυτό, η αξιολόγηση του φωτισμού παύει να αποτελεί διαδικασία απλής μέτρησης και μετατρέπεται σε εργαλείο κατανόησης, σχεδιασμού και βελτίωσης της συνολικής ποιότητας των χώρων εργασίας. Η δημιουργία περιβαλλόντων που υποστηρίζουν ταυτόχρονα την οπτική άνεση, την ευεξία, την ενεργειακή αποδοτικότητα και την εμπειρία των χρηστών συνιστά μία από τις σημαντικότερες προκλήσεις αλλά και προοπτικές του σύγχρονου σχεδιασμού φωτισμού.

Βιβλιογραφία

Journal Articles / Scientific Papers

Aliparast, S., & Onaygil, S. (2024). A field study of individual, energy-efficient, and human-centered indoor electric lighting: Its impact on comfort and visual performance in an open-plan office—Part 1. *Buildings*, 14(4), 936. _

<https://doi.org/10.3390/buildings14040936>

Altomonte, S., Kaçel, S., Martinez, P. W., & Licina, D. (2024). What is NExT? A new conceptual model for comfort, satisfaction, health, and well-being in buildings. *Building and Environment*, 252, 111234.

<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.111234>

Bellia, L., Fragliasso, F., Seraceni, M., & Sodano, G. (2023). Integrative lighting design: How to optimize visual and non-visual effects in a cell office. *Journal of Daylighting*, 10(2), 192–203. <https://doi.org/10.15627/jd.2023.16>

Blume, C., Garbazza, C., & Spitschan, M. (2019). Effects of light on human circadian rhythms, sleep and mood. *Somnologie*, 23(3), 147–156. <https://doi.org/10.1007/s11818-019-00215-x>

Boubekri, M., Cheung, I. N., Reid, K. J., Wang, C.-H., & Zee, P. C. (2014). Impact of windows and daylight exposure on overall health and sleep quality of office workers: A case-control pilot study. *Journal of Clinical Sleep Medicine*, 10(6), 603–611. _

<https://doi.org/10.5664/jcsm.3780>

Brown, T. M., Brainard, G. C., Cajochen, C., Czeisler, C. A., Hanifin, J. P., Lockley, S. W., Lucas, R. J., Münch, M., O'Hagan, J. B., Peirson, S. N., Price, L. L. A., Roenneberg, T., Schlangen, L. J. M., Skene, D. J., & Wright, K. P. (2022). Recommendations for daytime, evening, and nighttime indoor light exposure to best support physiology, sleep, and wakefulness in healthy adults. *PLoS Biology*, 20(3), e3001571. _

<https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3001571>

Cajochen, C. (2007). Alerting effects of light. *Sleep Medicine Reviews*, 11(6), 453–464.

<https://doi.org/10.1016/j.smr.2007.07.009>

Davoodi, A., Johansson, P., & Aries, M. (2021). The implementation of visual comfort evaluation in the evidence-based design process using lighting simulation. *Applied Sciences*, 11(11), 4936. <https://doi.org/10.3390/app11114982>

- Dehoff, P. (2019). Revision of the international standards of lighting of interior workplaces. In *Proceedings of the 29th CIE Session, Washington, D.C., USA, June 14–22, 2019* (pp. 405–411). International Commission on Illumination (CIE).
<https://doi.org/10.25039/x46.2019.OP56>
- Doulos, L. T., Tsangrassoulis, A., Madias, E. N., Niavis, S., & Kontadakis, A. (2020). Examining the impact of daylighting and the corresponding lighting controls to the users of office buildings. *Energies*, 13(15), 5404. <https://doi.org/10.3390/en13154024>
- Fakhari, M., Fayaz, R., & Lollini, R. (2022). The impact of evaluated daylight to the total light ratio on the comfort level in office buildings. *Buildings*, 12(12), 2216.
<https://doi.org/10.3390/buildings12122161>
- Gao, H., Zhong, H., & Zou, L. (2025). Human-centric IoT control: A framework for quantifying the impact of occupant behaviour on energy efficiency in shared offices. *Journal of Building Engineering*, 108, 112784. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2025.112784>
- Hammes, S., Geisler-Moroder, D., Hauer, M., Plörer, D., & Pfluger, R. (2024). Concepts of user-centred lighting controls for office applications: A systematic literature review. *Building and Environment*, 254, 111321. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.111321>
- Heidari, B., Abravesh, M., & Khodabakhshian, M. (2025). Human-centric lighting in office spaces: Daylight strategies and environmental influences on visual effects and circadian health. *Building and Environment*, 285, 113538.
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2025.113538>
- Jalali, M. S., Jones, J. R., Tural, E., & Gibbons, R. B. (2024). Human-centric lighting design: A framework for supporting healthy circadian rhythm grounded in established knowledge in interior spaces. *Buildings*, 14(4), 1125.
<https://doi.org/10.3390/buildings14041125>
- Javid Khan, R. A., & Lucas, J. D. (2025). *Building for human experiences: An in-depth exploration of human-centered design*. *Journal of Building Engineering*, 106, 112493.
<https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2025.112493>
- Kim, K., & Lee, K. (2024). Indoor light environment factors that affect the psychological satisfaction of occupants in office facilities. *Buildings*, 14(5), 1248.
<https://doi.org/10.3390/buildings14051248>
- Kim, K. R., Lee, K. S., & Cho, H. (2025). Assessing the impact of the indoor light environment of office facilities on multidimensional human responses. *Buildings*, 15(16), 2955. <https://doi.org/10.3390/buildings15162955>

Konis, K. (2013). Evaluating daylighting effectiveness and occupant visual comfort in a side-lit open-plan office building in San Francisco, California. *Building and Environment*, 59, 662–677. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.09.017>

Lucas, R. J., Peirson, S. N., Berson, D. M., Brown, T. M., Cooper, H. M., Czeisler, C. A., Figueiro, M. G., Gamlin, P. D., Lockley, S. W., O'Hagan, J. B., Price, L. L. A., Provencio, I., Skene, D. J., & Brainard, G. C. (2014). Measuring and using light in the melanopsin age. *Trends in Neurosciences*, 37(1), 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2013.10.004>

Madias, E.-N. D., Christodoulou, K., Androvitsaneas, V. P., Skalkou, A., Sotiropoulou, S., Zervas, E., & Doulos, L. T. (2023). *The effect of artificial lighting on both biophilic and human-centric design*. *Journal of Building Engineering*, 76, 107292. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2023.107292>

Newsham, G. R., Brand, J., Donnelly, C., Veitch, J. A., Aries, M. B. C., & Charles, K. E. (2009). Linking indoor environment conditions to job satisfaction: A field study. *Building Research & Information*, 37(2), 129–147. <https://doi.org/10.1080/09613210802710298>

Papatsimpa, C., & Linnartz, J. P. (2020). Personalized office lighting for circadian health and improved sleep. *Sensors*, 20(16), 4615. <https://doi.org/10.3390/s20164569>

Plörer, D., Hammes, S., Hauer, M., & Pfluger, R. (2021). Control strategies for daylight and artificial lighting in office buildings—A bibliometrically assisted review. *Energies*, 14(13), 3385. <https://doi.org/10.3390/en14133852>

Reinhart, C. F., & Weissman, D. A. (2012). The daylit area – Correlating architectural student assessments with current and emerging daylight availability metrics. *Building and Environment*, 50, 155–164. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.10.024>

Safranek, S., Collier, J. M., Wilkerson, A., & Davis, R. G. (2020). Energy impact of human health and wellness lighting recommendations for office and classroom applications. *Energy and Buildings*, 226, 110365. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110365>

Schlangen, L. J. M., & Price, L. L. A. (2021). The lighting environment, its metrology, and non-visual responses. *Frontiers in Neurology*, 12, 624861. <https://doi.org/10.3389/fneur.2021.624861>

Stebelová, K., Kováčová, K., Dzirbíkova, Z., Beňo, M., & Farkašová, D. (2024). The effect of spectrally and intensity-modified daylighting on urinary melatonin levels in

office workers under real-life conditions. *Building and Environment*, 247, 111025. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.111025>

Tabbah, A., Johansson, P., & Aries, M. B. C. (2025). *Evaluating visual and beyond-vision light effects and energy consumption for luminous and temporal light factors: A single office case*. *Journal of Daylighting*, 12(2), 306–342. <https://doi.org/10.15627/jd.2025.21>

Tservartsidis, I., Skandali, C., & Doulos, L. T. (2022). The environmental impact of the new version of the Interior Lighting European Norm in Lighting and Circadian Design. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1123(1), 012032. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1123/1/012032>

Veitch, J. A., & Newsham, G. R. (2000). Determinants of lighting quality I: State of the science. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 29(1), 92–106. <https://doi.org/10.1080/00994480.2000.10748386>

Vetter, C., Pattison, P. M., Houser, K., Herf, M., Phillips, A. J. K., Wright, K. P., Skene, D. J., Brainard, G. C., Boivin, D. B., & Glickman, G. (2022). *A review of human physiological responses to light: Implications for the development of integrative lighting solutions*. *LEUKOS*, 18(3), 387–414. <https://doi.org/10.1080/15502724.2021.1872383>

Zeng, Y., Smolders, K. C. H. J., & de Kort, Y. A. W. (2025). *The effects of lighting levels on the perception, performance and physiological responses in offices*. *Journal of Environmental Psychology*, 107, 102804. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2025.102804>

Standards / Technical Standards

Commission Internationale de l'Éclairage (CIE). (2018). *CIE System for Metrology of Optical Radiation for ipRGC-Influenced Responses to Light (CIE S 026/E:2018)*. CIE.

European Committee for Standardization (CEN). (2018). *EN 17037: Daylight in buildings*. CEN.

European Committee for Standardization (CEN). (2021). *EN 12464-1: Light and lighting—Lighting of work places—Part 1: Indoor work places*. CEN.

Illuminating Engineering Society (IES). (2012). *IES spatial daylight autonomy (sDA) and annual sunlight exposure (ASE) (LM-83-12)*. Illuminating Engineering Society.

International WELL Building Institute (IWBI). (2023). *WELL Building Standard: Light concept*. IWBI.

U.S. Green Building Council (USGBC). (2023). *LEED v4.1 Building Design and Construction Reference Guide*. USGBC.

Books / Foundational References

Boyce, P. R. (2014). *Human factors in lighting* (3rd ed.). CRC Press.

Reinhart, C. F. (2014). *Daylighting handbook I: Fundamentals, designing with the sun*. Building Technology Press.

Professional & Institutional Publications

licht.de. (2012). *Daylight and artificial lighting design guidance for office buildings*. licht.de.

Society of Light and Lighting. (2022). *SLL Lighting Handbook*. Chartered Institution of Building Services Engineers.

Υπεύθυνη Δήλωση Συγγραφέα:

Δηλώνω ρητά ότι, σύμφωνα με το άρθρο 8 του Ν.1599/1986, η παρούσα εργασία αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής μου εργασίας, δεν προσβάλλει κάθε μορφής δικαιώματα διανοητικής ιδιοκτησίας, προσωπικότητας και προσωπικών δεδομένων τρίτων, δεν περιέχει έργα/εισφορές τρίτων για τα οποία απαιτείται άδεια των δημιουργών/δικαιούχων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον και πληρούν τους κανόνες της επιστημονικής παράθεσης.