



ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΤΕΧΝΩΝ ΚΑΙ ΒΙΩΣΙΜΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Βιώσιμος Σχεδιασμός Εσωτερικού Περιβάλλοντος Κτιρίων

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Σχεδιασμός Προσόψεων Εμπνευσμένων από τη Φύση για Φυσικά

Φωτισμένους Εσωτερικούς Χώρους Γραφείων: Η Ένταξη

Βιοφιλικών Προτύπων για Βελτιωμένη Αισθητική και Οπτική

Άνεση

Βασιλική Μόλαση

Επιβλέπων καθηγητής: Αντώνιος Κονταδάκης

Αθήνα, 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.



Σχεδιασμός Προσόψεων Εμπνευσμένων από τη Φύση για Φυσικά
Φωτισμένους Εσωτερικούς Χώρους Γραφείων: Η Ένταξη
Βιοφιλικών Προτύπων για Βελτιωμένη Αισθητική και Οπτική
Άνεση

Βασιλική Μόλαση

(Α.Μ.: 529877)

Επιτροπή Επίβλεψης Μεταπτυχιακής Διπλωματικής Εργασίας

Επιβλέπων Καθηγητής:

Αντώνιος Κονταδάκης

ΣΕΠ, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο

Συν-Επιβλέπουσα Καθηγήτρια:

Χριστίνα Σκανδάλη

ΣΕΠ, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο

Αθήνα, Ιούνιος 2026

Στην οικογένειά μου

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζει το σχεδιασμό προσώπων εμπνευσμένων από τη φύση με σκοπό τη βελτίωση των επιπέδων φυσικού φωτισμού σε κτίρια γραφείων, την επίτευξη οπτικής άνεσης και την αναβάθμιση της αισθητικής του εσωτερικού περιβάλλοντος. Για τη μελέτη θα χρησιμοποιηθεί ένα τυπικό κτίριο γραφείου με νότιο προσανατολισμό στην περιοχή της Αθήνας, στην Ελλάδα.

Ο γενικότερος σκοπός αφορά τον καθορισμό της κατάλληλης στρατηγικής σκίασης με τη χρήση βιοφιλικών στοιχείων για τη βελτίωση των επιπέδων φωτισμού στον εσωτερικό χώρο και κατά συνέπεια τη μείωση κατανάλωσης ενέργειας. Βασικός άξονας αποτελεί η διερεύνηση των κατάλληλων βιοφιλικών στοιχείων που μπορούν να εφαρμοστούν στο εξωτερικό κέλυφος του κτιρίου, προσφέροντας τη σύνδεση φύσης, ανθρώπου και δομημένου περιβάλλοντος.

Ο επαρκής φυσικός φωτισμός αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για την ευημερία των εργαζομένων στους χώρους εργασίας. Τα οφέλη αφορούν τη ρύθμιση του κερκάδιου ρυθμού, τη βελτίωση της απόδοσης και της παραγωγικότητας. Η εκτεταμένη χρήση γυάλινων επιφανειών σε κτίρια γραφείων επιτρέπει την είσοδο φυσικού φωτισμού στο εσωτερικό του, αλλά μπορεί να συμβάλει στην οπτική δυσφορία των χρηστών αν δεν υπάρξει έλεγχος της έντασης και της κατανομής του φωτός. Η στροφή προς τον βιοφιλικό σχεδιασμό στοχεύει στη δημιουργία εσωτερικών χώρων που θα ικανοποιούν τις ανάγκες των χρηστών για ελεγχόμενο φυσικό φωτισμό και την αισθητική αναβάθμιση του χώρου.

Η εφαρμογή εργαλείων προσομοίωσης κατά τον σχεδιασμό παρέχει τις απαραίτητες πληροφορίες για την επιλογή των κατάλληλων στρατηγικών με σκοπό τον βέλτιστο έλεγχο του φωτός και την επίτευξη της οπτικής άνεσης.

Η εργασία υπογραμμίζει τη δυνατότητα χρήσης βιοφιλικών προτύπων στη βιώσιμη αρχιτεκτονική, αναδεικνύοντας το ρόλο τους στη βελτίωση της ποιότητας των εσωτερικών συνθηκών σε κτίρια γραφείων, τόσο σε επίπεδο φυσικού φωτισμού όσο και στην ουσιαστική αισθητηριακή σύνδεση των χρηστών με τον εργασιακό χώρο και το περιβάλλον.

Λέξεις – Κλειδιά

Βιοφιλία, Βιοφιλικός σχεδιασμός, βιομίμηση, βιομιμητικός σχεδιασμός, φυσικός φωτισμός, οπτική άνεση, γραφεία, αισθητική

"Design of Nature-Inspired Facades for Daylit Office Interiors: Integrating Biophilic Patterns to Enhance Aesthetics and Visual Comfort"

Vasiliki Molasi

Abstract

This thesis examines the design of nature-inspired facades to improve daylighting in office buildings, aiming to achieve visual comfort and enhance the aesthetics of the interior environment. The study will focus on a typical office building with a southern orientation located in Athens, Greece.

The general aim is to define the appropriate shading strategy using biophilic elements to enhance indoor lighting levels and, consequently, reduce energy consumption. A key aspect of the study is the investigation of suitable biophilic elements that can be integrated into the building's envelope, fostering the connection between nature, humans, and the built environment.

Well-lit workspaces are a crucial factor in ensuring the well-being of office workers. Adequate daylighting regulates the circadian rhythm, improves work performance, and enhances productivity. While the concept of almost fully glazed façades in office buildings allows daylight to enter the interior, it may also contribute to visual discomfort if the intensity and distribution of light are not properly controlled. The shift toward biophilic design aims to create indoor spaces that meet users' needs for controlled daylight and enhancing the aesthetic quality of the environment.

The application of building simulation tools during the design process provides essential insights for selecting the most suitable strategies with the aim to optimize light control and achieve visual comfort.

This study highlights the potential of integrating biophilic principles into sustainable architecture, emphasizing their role in improving indoor conditions in office buildings—not only by optimizing daylight but also by fostering a deeper sensory connection between occupants, their workspace, and the environment.

Keywords

Biophilia, Biophilic design, biomimicry, biomimetic design, daylighting, visual comfort, offices, aesthetics

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	v
Abstract	vii
Περιεχόμενα	ix
Κατάλογος Εικόνων / Σχημάτων	xi
Κατάλογος Πινάκων	xii
Κατάλογος Διαγραμμάτων.....	xii
Συντομογραφίες & Ακρωνύμια.....	xiii
1. Εισαγωγή.....	1
1.1 Υπόβαθρο εργασίας	1
1.2 Βιοφιλία και Φυσικός φωτισμός στο εσωτερικό περιβάλλον κτιρίων.....	2
1.3 Ερευνητικά ερωτήματα και υπόθεση εργασίας.....	3
1.4 Μεθοδολογία της έρευνας-Βιοφιλική προσέγγιση, παραμετρικός σχεδιασμός και λογισμικά προσομοίωσης.....	4
1.5 Σκοπός της εργασίας	7
1.6 Δομή της εργασίας	7
1.7 Σύνοψη	8
2 Ορισμός της έρευνας.....	9
2.1 Εισαγωγή.....	9
2.2 Πρακτικό πρόβλημα: Έλεγχος φυσικού φωτισμού.....	9
2.2.1 Πηγές και χαρακτηριστικά του φυσικού φωτισμού.....	10
2.2.2 Ο ρόλος του φυσικού φωτισμού στην αρχιτεκτονική.....	10
2.2.3 Οπτική αντίληψη και σχεδιασμός φωτός.....	12
2.2.4 Οφέλη του φυσικού φωτισμού.....	13
2.2.5 Δυναμικά συστήματα σκίασης.....	15
2.2.6 Πλεονεκτήματα και περιορισμοί των Δυναμικών Συστημάτων σκίασης.....	16
2.2.7 Δείκτες Αξιολόγησης Φυσικού φωτισμού και Οπτικής Άνεσης	17
2.2.8 Φυσικός φωτισμός και πρότυπα πιστοποίησης κτιρίων.....	20
2.3 Ερευνητικό πρόβλημα: Σύνδεση με τη φύση.....	22
2.3.1 Βιοφιλία και Βιοφιλικός Σχεδιασμός.....	22
2.3.2 Βιομίμηση	26
2.3.3 Στρατηγικές βιοφιλικού σχεδιασμού- αισθητική και οπτική άνεση	28
2.4 Βιβλιογραφική ανασκόπηση	30
2.4.1 Συλλογή βιβλιογραφικού υλικού	30
2.4.2 Μελέτες περίπτωσης	32
2.5 Σύνοψη	38
3 Μεθοδολογία.....	39
3.1 Εισαγωγή.....	39
3.2 Διάγραμμα ροής της επιλογής βιοφιλικού μοντέλου	39
3.3 Διαμόρφωση κινητικής πρόσοψης.....	40
3.3.1 Βιοφιλική προσέγγιση για τον σχεδιασμό της πρόσοψης του δωματίου μελέτης	40
3.3.2 Ανάλυση δωματίου μελέτης.....	42

3.3.3	Ανάλυση κινούμενων σκιάστρων	44
3.4	Χρήση λογισμικού προσομοίωσης.....	47
3.5	Swot analysis της μεθοδολογίας	49
3.6	Περιορισμοί της έρευνας.....	52
3.7	Σύνοψη	52
4	Ανάλυση και αποτελέσματα.....	53
4.1	Εισαγωγή.....	53
4.2	Αυτονομία φωτισμού (DA-Daylight autonomy).....	53
4.3	Ωφέλιμος φυσικός φωτισμός (UDI -Useful Daylight Illuminance).....	54
4.4	Δείκτης Χωρικής Αυτονομίας Φωτός Ημέρας (sDA-Spatial Daylight Autonomy) 56	
4.5	Ετήσια διακύμανση των επιπέδων φυσικού φωτισμού σε επιλεγμένο σημείο του δωματίου	57
4.6	Ετήσιες τιμές δείκτη DGP (Daylight Glare Probability) σε σημείο του δωματίου .61	
4.7	Τιμές DGP (Daylight Glare Probability) σε Εαρινή Ισημερία, Θερινό και Χειμερινό ηλιοστάσιο.....	63
4.8	Σύνοψη αποτελεσμάτων.....	69
5	Συζήτηση.....	71
5.1	Εισαγωγή.....	71
5.2	Συζήτηση των αποτελεσμάτων ανά ερευνητικό ερώτημα	71
5.2.1	Συμβολή του βιοφιλικού σχεδιασμού στην οπτική άνεση	71
5.2.2	Αξιοποίηση βιομιμητικών μοντέλων στις κινούμενες προσόψεις	72
5.2.3	Διαδικασία επιλογής σχεδιαστικής στρατηγικής.....	73
5.2.4	Συμβολή κινούμενων προσώπων στην βελτιστοποίηση συνθηκών φωτισμού	73
5.2.5	Περιορισμοί του βιοφιλικού σχεδιασμού	74
5.3	Εξωτερική συζήτηση.....	75
5.4	Σύνοψη	79
6	Συμπεράσματα	80
6.1	Εισαγωγή.....	80
6.2	Επισκόπηση της έρευνας.....	80
6.3	Περιορισμοί και προτάσεις για μελλοντική έρευνα.....	81
6.4	Σύνοψη	82
	Βιβλιογραφία.....	83

Κατάλογος Εικόνων / Σχημάτων

Εικόνα 1-Αριστερά (L' esprit Nouveau, Le Corbusier -Πηγή: Atlasobscura (23-05-2026),	11
Εικόνα 2- Μεταβολή του ηλιακού φωτός κατά την διάρκεια της ημέρας- Πηγή: Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-7/2021	14
Εικόνα 3- Συνδέσεις ανθρώπου-φύσης και δομημένου περιβάλλοντος	23
Εικόνα 4- Αριστερά: Fallingwater- Frank Lloyd Wright (άμεση επαφή με τη φύση).- Πηγή: https://www.homesandgardens.com (30/05/2026), Κέντρο: Brookfield Place, Allen Lambert Galleria- Santiago Calatrava (έμμεση επαφή με τη φύση-Βιομίμηση)-Πηγή: https://www.minube.it (22/03/2026), Δεξιά: Henderson Waves Bridge- RSP Architects Planners & Engineers Pte Ltd και IJP Architects (Εμπειρία χώρου-καταφύγιο)-Πηγή: https://citydays.com (30/05/2026)	25
Εικόνα 5-Οριζόντια και κάθετα βιοφιλικά σκίαστρα	42
Εικόνα 6- Δωμάτιο μελέτης	43
Εικόνα 7- Κάτοψη και προοπτική απεικόνιση καννάβων	43
Εικόνα 8-Περιβάλλον Grasshopper-προσομοίωσης	48
Εικόνα 9- Σύνδεση Rhinoceros, Grasshopper, Ladybug, Honeybee και μηχανών προσομοίωσης (Πηγή: Honeybee Wiki Home, 2019)	49
Εικόνα 10- Αυτονομία φωτισμού (DA%time 500lux) για τα 5 σενάρια μελέτης	53
Εικόνα 11- Ωφέλιμος φυσικός φωτισμός (UDI%Time 100-3000lux) για τα 5 σενάρια μελέτης	55
Εικόνα 12-Δείκτης Χωρικής Αυτονομίας Φωτός Ημέρας (sDA300lux/50%working hours) για τα 5 σενάρια	56
Εικόνα 13- Θέση σημείου 29 στον κάνναβο επιπέδου αναφοράς	58
Εικόνα 14- Θέση και κατεύθυνση σημείου 29 στον κάνναβο θέασης	61
Εικόνα 15- Σημεία 1 και 2 στο δωμάτιο μελέτης	64
Εικόνα 16-Σενάριο 1 (χωρίς την χρήση σκιάστρων)-Δείκτης DGP σε σημείο 1 και 2	65
Εικόνα 17- Σενάριο 2 (οριζόντια σκίαστρα)-Δείκτης DGP σε σημείο 1 και 2	66
Εικόνα 18- Σενάριο 3 (κάθετα σκίαστρα)-Δείκτης DGP σε σημείο 1 και 2	67
Εικόνα 19- Σενάριο 4 (οριζόντια βιοφιλικά σκίαστρα)-Δείκτης DGP σε σημείο 1 και 2	68
Εικόνα 20- Σενάριο 5 (κάθετα βιοφιλικά σκίαστρα)-Δείκτης DGP σε σημείο 1 και 2	69

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1- Βιβλιογραφική ανασκόπηση πηγών	32
Πίνακας 2- Βιβλιογραφική επισκόπηση χρήσης βιοφιλικών στοιχείων	34
Πίνακας 3- Βιβλιογραφική επισκόπηση, βιομιμητικών μοντέλων με στόχο τον φυσικό φωτισμό σε εσωτερικό χώρο	37
Πίνακας 4- Σενάρια μελέτης	45
Πίνακας 5- Συλλογιστική ελέγχου συστημάτων σκίασης	46
Πίνακας 6- SWOT analysis της μεθοδολογίας εργασίας	50
Πίνακας 7-Βιβλιογραφικές αναφορές	78

Κατάλογος Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1- Φωτοπική και σκοτοπική φασματική καμπύλη ευαισθησίας- Πηγή: (Τσαγκρασούλης , 2016)	12
Διάγραμμα 2- Λέξεις-κλειδιά ανά έτος (εξαγωγή αποτελεσμάτων και οπτικοποίηση από τον συγγραφέα, πηγή δεδομένων https://www.scopus.com/ (αντλήθηκαν 01-02-2025)....	31
Διάγραμμα 3- Διάγραμμα ροής βασισμένης στη λύση (Bottom-Up)	40
Διάγραμμα 4- Βιομιμητική προσέγγιση-Σχεδιασμός κινούμενων σκιάστρον	41
Διάγραμμα 5- Επιλογή συστημάτων σκίασης	47
Διάγραμμα 6-Σενάριο 1-Χωρίς σκίαστρο-Φωτισμός στο σημείο 29 στον κάνναβο κατά τις ώρες εργασίας	58
Διάγραμμα 7-Σενάριο 2-Οριζόντια σκίαστρο-Φωτισμός στο σημείο 29 στον κάνναβο κατά τις ώρες εργασίας	59
Διάγραμμα 8-Σενάριο 3- Κάθετα σκίαστρο-Φωτισμός στο σημείο 29 στον κάνναβο κατά τις ώρες εργασίας	59
Διάγραμμα 9- Σενάριο 4- Οριζόντια βιοφιλικά σκίαστρο-Φωτισμός στο σημείο 29 στον κάνναβο κατά τις ώρες εργασίας.....	59
Διάγραμμα 10- Σενάριο 5- Κάθετα βιοφιλικά σκίαστρο-Φωτισμός στο σημείο 29 στον κάνναβο κατά τις ώρες εργασίας.....	60
Διάγραμμα 11-Σενάριο1-Χωρίς σκίαστρο-Τιμές δείκτη DGP για τις ώρες εργασίας.....	62
Διάγραμμα 12-Σενάριο 2-Οριζόντια σκίαστρο- Τιμές δείκτη DGP για τις ώρες εργασίας	62
Διάγραμμα 13-Σενάριο 3- Κάθετα σκίαστρο- Τιμές δείκτη DGP για τις ώρες εργασίας ..	62
Διάγραμμα 14-Σενάριο 4- Οριζόντια βιοφιλικά σκίαστρο- Τιμές δείκτη DGP για τις ώρες εργασίας	62
Διάγραμμα 15-Σενάριο 5-Κάθετα βιοφιλικά σκίαστρο- Τιμές δείκτη DGP για τις ώρες εργασίας	62

Συντομογραφίες & Ακρωνύμια

BSP	Building Simulation Program
DGI	Daylight glare index
DGP	Daylight Glare Probability
DA	Daylight Autonomy
sDA	Spatial Daylight Autonomy
UDI	Useful Daylight Illuminance
φ.φ.	Φυσικός φωτισμός

1. Εισαγωγή

Η αυξανόμενη κατανάλωση ενέργειας και οι περιβαλλοντικές προκλήσεις που χαρακτηρίζουν τον σύγχρονο κόσμο έχουν αναδείξει την ανάγκη για επαναπροσδιορισμό του σχεδιασμού των κτιρίων. Καθώς ο κτιριακός τομέας συγκαταλέγεται στους σημαντικότερους καταναλωτές φυσικών πόρων και συνεισφέρει σημαντικά στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, καθίσταται αναγκαία η ανάπτυξη νέων σχεδιαστικών στρατηγικών που συνδυάζουν την υψηλή περιβαλλοντική απόδοση με τη βελτίωση της ποιότητας του εσωτερικού περιβάλλοντος. Παράλληλα, η συνεχής απομάκρυνση του ανθρώπου από το φυσικό περιβάλλον έχει ενισχύσει το ενδιαφέρον για προσεγγίσεις που επαναφέρουν στοιχεία της φύσης στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό. Στο πλαίσιο αυτό, ο φυσικός φωτισμός, η βιοφιλία και ο βιομιμητικός σχεδιασμός αποτελούν σημαντικές κατευθύνσεις για τη δημιουργία βιώσιμων και ανθρωποκεντρικών χώρων, ενώ η ενσωμάτωσή τους στις σύγχρονες προσόψεις κτιρίων δημιουργεί νέες δυνατότητες για τη βελτίωση των συνθηκών φυσικού φωτισμού, της οπτικής άνεσης και του περιορισμού της θάμβωσης.

1.1 Υπόβαθρο εργασίας

Οι σύγχρονες πόλεις αποτελούν το επίκεντρο της παγκόσμιας ενεργειακής ζήτησης. Παρότι καταλαμβάνουν περιορισμένο τμήμα της επιφάνειας της γης, καταναλώνουν το 60–80% της παγκόσμιας ενέργειας και ευθύνονται για περίπου το 75% των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. (Ηνωμένα Έθνη-Περιφερειακό Κέντρο Πληροφόρησης του ΟΗΕ, 2024). Σύμφωνα με τα δεδομένα της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, η ενεργειακή κατανάλωση των κτιρίων υπολογίζεται στο 40% της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης στην Ευρωπαϊκή Ένωση, ενώ οι εκπομπές CO₂ αγγίζουν το 36%. (EUR-Lex, 2019).

Η ιστορική πορεία της αστικοποίησης έχει συνδεθεί με τη μετατροπή της βιοποικιλότητας σε ομοιογενή περιβάλλοντα, αποτελούμενα από κτίρια με αδιαπέραστες επιφάνειες (Kellert S. , 2006, σ. 2). Η αύξηση του πληθυσμού στα αστικά κέντρα δημιούργησε την ανάγκη για εκτεταμένη εκμετάλλευση του χώρου. Η πυκνή ανέγερση πολυώροφων κτιρίων καθιστά δύσκολη την είσοδο φυσικού φωτισμού στο εσωτερικό τους. (Arnesen, Kolås, & Matusiak, 2011, σ. 5), με αποτέλεσμα την αύξηση της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται για

φωτισμό. Επισημαίνεται η ανάγκη για την υιοθέτηση καινοτόμων προσεγγίσεων στον σχεδιασμό και τη διαχείριση των κτιρίων. Η υιοθέτηση βιώσιμων στρατηγικών στον κτιριακό τομέα διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην μείωση της κατανάλωσης ενέργειας (Phillips, 2004). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αντικατάσταση χρήσης ορυκτών καυσίμων με τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Ανάμεσα σε αυτές, ο φυσικός φωτισμός κατέχει κρίσιμη θέση: αποτελεί ταυτόχρονα ανανεώσιμη πηγή ενέργειας και πρωτογενή φορέα της σχέσης του χρήστη με το εξωτερικό περιβάλλον, διπλός ρόλος που τον τοποθετεί στο επίκεντρο της παρούσας εργασίας.

1.2 Βιοφιλία και Φυσικός φωτισμός στο εσωτερικό περιβάλλον κτιρίων

Ζώντας σε ένα τεχνητό αστικό περιβάλλον, η ανθρώπινη επιθυμία για επανασύνδεση με τη φύση παραμένει αμείωτη. Η φύση συνεχίζει να κυριαρχεί σε μορφές, μοτίβα της καθημερινής ζωής, παρά την εντύπωση ότι, από τεχνικής απόψεως, ο φυσικός κόσμος συχνά δεν είναι απαραίτητος ούτε συνάδει με τη λειτουργία της σύγχρονης αστικής κοινωνίας (Kellert S. , 2006, σ. 9).

Οι διάφορες ερμηνείες του όρου της βιοφιλίας- οι οποίες εξελίχθηκαν μέσα από τους τομείς της βιολογίας και της ψυχολογίας και προσαρμόστηκαν στους τομείς της νευροεπιστήμης, της ενδοκρινολογίας, της αρχιτεκτονικής και πέρα από αυτούς- συγκλίνουν στην ίδια θεμελιώδη παραδοχή: στην επιθυμία για επανασύνδεση με τη φύση και τα φυσικά συστήματα (Browning, Ryan, & Clancy, 2014). Συμπληρωματικά προς τη βιοφιλία, ο βιομιμητικός σχεδιασμός (biomimicry) αξιοποιεί λειτουργικά πρότυπα φυσικών συστημάτων ως πηγή τεχνικών λύσεων· οι δύο προσεγγίσεις, αν και διακριτές, συχνά συνεργάζονται στον σχεδιασμό βιώσιμων προσώπων.

Στο πλαίσιο αυτό, η εξασφάλιση επαρκούς φυσικού φωτισμού στο εσωτερικό των κτιρίων αποτελεί έναν από τους πλέον άμεσους τρόπους ενσωμάτωσης της βιοφιλικής αρχής. Η αποτελεσματική ενσωμάτωση του φυσικού φωτισμού στα κτίρια μπορεί να συμβάλει στην μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης, καθώς αποτελεί ανανεώσιμη μορφή ενέργειας. Οι πρόσφατες προσπάθειες παγκοσμίως στα κτίρια με αυτό τον σκοπό, όπως π.χ., οι στόχοι για κτίρια μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης στην Ευρωπαϊκή Ένωση, η πρόκληση του 2030 ή το σύστημα πιστοποίησης Leadership in Energy & Environmental Design (LEED)

στις Ηνωμένες Πολιτείες) έφεραν εκ νέου στο προσκήνιο τη σημασία του φυσικού φωτισμού για την εξοικονόμηση ενέργειας. (Boubekri, 2014, σ. 10). Ο φυσικός φωτισμός (φ.φ.) μειώνει τη χρήση του τεχνητού φωτισμού, μειώνοντας την ενεργειακή κατανάλωση (Mardaljevic D. J., 2009, σ. 7), και συνεισφέρει στην επίτευξη οπτικής άνεσης των χρηστών.

Ο μεταβαλλόμενος χαρακτήρας του φ.φ. προσδίδει μια δυναμική ποιότητα σε ένα χώρο που δύσκολα μπορεί να επιτευχθεί με στατικές εγκαταστάσεις τεχνητού φωτισμού (Boubekri, 2014, σ. 47). Η χρήση συστημάτων σκίασης ανταποκρίνεται στην ανάγκη για έλεγχο του φυσικού φωτισμού (Tabadkani, Valinejad Shoubi, Soflaei, & Banihashemi, 2019). Τα συστήματα σκίασης έχουν τη δυνατότητα να ρυθμίζουν την είσοδο του φ.φ., με σκοπό την επίτευξη των κατάλληλων οπτικών συνθηκών για τους χρήστες, καθιστώντας λειτουργικό τον εσωτερικό χώρο (Browning, Ryan, & Clancy, 2014, σ. 7).

Η ανθρώπινη αντίληψη ανταποκρίνεται σε φυσικά χαρακτηριστικά του χώρου, όπως οι γεωμετρίες, τα χρώματα, η κλίμακα, οι συμμετρίες κ.α., τα οποία διαμορφώνουν τη βιοματική εμπειρία του περιβάλλοντος (Salingaros, 2015). Ένα βιοφιλικό περιβάλλον, που ενσωματώνει μορφές, υλικά σύμβολα εμπνευσμένα από τη φύση, προκαλεί θετικές αντιδράσεις και διαμορφώνει τον τρόπο με τον οποίο ο άνθρωπος αντιλαμβάνεται τον εσωτερικό χώρο (Dalay, 2020, σ. 9).

1.3 Ερευνητικά ερωτήματα και υπόθεση εργασίας

Η σύγχρονη αρχιτεκτονική σχεδίαση προσώπων συχνά παραβλέπει τη σύνδεση του κτιρίου με το φυσικό περιβάλλον. Παρά την ολοένα ευρύτερη αναγνώριση που λαμβάνει η σημασία χρήσης του φυσικού φωτισμού και των βιοφιλικών στοιχείων στον σχεδιασμό και στην επίτευξη των κατάλληλων συνθηκών για τους εργαζόμενους, παρατηρείται έλλειψη σαφών κατευθυντήριων γραμμών με σκοπό την ενσωμάτωση της βιοφιλίας στις προσόψεις και την επίτευξη οπτικής άνεσης και ευημερίας για τους χρήστες.

Υπόθεση εργασίας: Η παραμετρική σχεδίαση κινούμενων, βιοφιλικά εμπνευσμένων προσώπων μπορεί να βελτιώσει ταυτόχρονα την οπτική άνεση και την ενεργειακή απόδοση χώρων γραφείων σε σχέση με συμβατικές κινούμενες λύσεις σκίασης. Η υπόθεση αυτή θα ελεγχθεί ποσοτικά μέσω καθιερωμένων δεικτών φυσικού φωτισμού (sDA, DA, UDI) και του δείκτη θάμβωσης DGP.

Τα ερευνητικά ερωτήματα που θα απαντηθούν μέσα από αυτή την εργασία είναι:

- Με ποιον τρόπο συνεισφέρει ο βιοφιλικός σχεδιασμός στην επίτευξη οπτικής άνεσης σε χώρους γραφείων;
- Πώς μπορούν τα βιομιμητικά μοντέλα να αξιοποιηθούν στον σχεδιασμό κινούμενων προσώπων;
- Ποια είναι η μεθοδολογική διαδικασία επιλογής της κατάλληλης στρατηγικής σχεδίασης;
- Πώς συμβάλλουν οι κινούμενες προσόψεις στη δημιουργία βέλτιστων συνθηκών φυσικού φωτισμού;
- Ποιοι είναι οι περιορισμοί και τα όρια εφαρμογής του βιοφιλικού σχεδιασμού στο συγκεκριμένο πλαίσιο;

1.4 Μεθοδολογία της έρευνας-Βιοφιλική προσέγγιση, παραμετρικός σχεδιασμός και λογισμικά προσομοίωσης

Σύμφωνα με τον Grant Hildebrand είμαστε βιολογικά προδιατεθειμένοι να προτιμάμε κτίρια και τοπία με έντονα φυσικά στοιχεία. Όταν δεν μπορούμε να βρεθούμε σε ένα φυσικό περιβάλλον, καταβάλλουμε κάποια προσπάθεια να δημιουργήσουμε υποκατάστατα. (Hildebrand, 1999). Η βιοφιλία συνδέεται με την έμφυτη αυτή σύνδεση με τη φύση. Η φύση μπορεί να γίνει αντιληπτή με τρεις διαφορετικούς τρόπους:

- μέσω άμεσης επαφής,
- μέσω έμμεσης σύνδεσης και
- μέσω της ενσωμάτωσής της στο δομημένο περιβάλλον (Dalay, 2020).

Η άμεση επαφή μπορεί να σχετίζεται με τη χρήση πρασίνου στον χώρο και τη χρήση φυσικών υλικών, ενώ η έμμεση σύνδεση αφορά τη χρήση μορφών που παραπέμπουν σε στοιχεία της φύσης ή επίτευξη συνθηκών σχετιζόμενων με τις συνθήκες στο εξωτερικό περιβάλλον, όπως ο φυσικός φωτισμός και η οπτική σύνδεση προς το φυσικό περιβάλλον. Η αξιοποίηση του φ.φ. στο χώρο βελτιώνει την οπτική άνεση, δημιουργώντας ένα ευχάριστο και ισορροπημένο περιβάλλον. Η έννοια της οπτικής άνεσης μπορεί να ερμηνευτεί ως το σύνολο των αναγκών και προτιμήσεων των χρηστών, της ικανοποίησής τους με τις φωτιστικές συνθήκες στο περιβάλλον που βρίσκονται, και την επίδρασή τους στην σωματική και ψυχική υγεία. (Tabadkani, Valinejad Shoubi, Soflaei, & Banihashemi,

2019). Η παρουσία φυσικού φωτισμού σε χώρους γραφείου συνεισφέρει στην ευημερία αλλά και στην αύξηση της παραγωγικότητας. (Turan, Chegut, Fink, & Reinhart, 2020). Η όραση είναι η βασική αίσθηση που χρησιμοποιείται από τον άνθρωπο για να επεξεργαστεί τον χώρο που βρίσκεται. (Ko, et al., 2020). Τα οφέλη της επαφής με τη φύση συνήθως εμφανίζονται με την επαναλαμβανόμενη εμπειρία των χρηστών σε ένα χώρο (Kellert & Calabrese, The practice of Biophilic Design, 2015, σ. 4).

Οι εργαζόμενοι σε χώρους γραφείων βρίσκονται για ένα συγκεκριμένο διάστημα της ημέρας σε εσωτερικό χώρο, και επιδιώκουν κατάλληλες συνθήκες φωτισμού. Η ορθή τοποθέτηση ανοιγμάτων σε ένα χώρο, λαμβάνοντας υπόψη το μέγεθος, τις αναλογίες, τη θέση, το πλαίσιο και τις ιδιότητες των υαλοπινάκων, είναι καθοριστική για την κατανομή και τα επίπεδα φωτισμού που εισέρχονται σε ένα κτίριο (Arnesen, Kolås, & Matusiak, 2011, σ. 7).

Από την άλλη μεριά ο σχεδιαστής μπορεί να διαμορφώσει την επιθυμητή κατεύθυνση θέασης ως οπτική διαδρομή των χρηστών σε φυσικό περιβάλλον (Dalay, 2020) με σκοπό την σύνδεση με τη φύση, και την επίτευξη των κατάλληλων συνθηκών φωτισμού.

Τα εργαλεία Building Stimulation Programs (BSP) αποτελούν προγράμματα προσομοίωσης που μπορούν να αξιολογήσουν την απόδοση των κτιρίων σε πολλαπλούς τομείς. (Loonen, Favoino, Hensen, & Overend, 2016, p. 210). Τα προγράμματα προσομοίωσης κτιρίων (BSP) μπορούν να παρέχουν χρήσιμες πληροφορίες για τους σχεδιαστές, ερευνητές, μηχανικούς και συμβούλους βιώσιμων κτιρίων (Clarke & Hensen, 2015). Υπάρχει μεγάλος αριθμός προγραμμάτων που το καθένα διαθέτει διαφορετικά χαρακτηριστικά που αφορούν τη μοντελοποίηση, ανάλυση, αλγοριθμικές λύσεις, διαφορετικό γραφικό περιβάλλον (Loonen, Favoino, Hensen, & Overend, 2016, p. 207). Μέσα από τα προγράμματα προσομοίωσης παρέχεται η δυνατότητα εύκολης εναλλαγής της γεωμετρίας του χώρου καθώς και προσανατολισμού των προσώπων καθώς και εξαγωγής των ανάλογων αποτελεσμάτων. Στα πλεονεκτήματά τους συγκαταλέγεται ο εντοπισμός και η βελτιστοποίηση των συστημάτων πριν από την κατασκευή.

Τα εργαλεία BSP μπορούν να ομαδοποιηθούν σε τέσσερις γενιές, που λειτουργούν εξελικτικά παρέχοντας μεγαλύτερη ακρίβεια και δυνατότητες στον υπολογισμό:

- Μοντέλα πρώτης γενιάς: Βασίζονται σε απλούς υπολογισμούς και περιλαμβάνουν πολλές υποθέσεις με σκοπό την απλοποίηση της εφαρμογής τους. Οι υπολογισμοί βασίζονται σε σταθερή κατάσταση, που δεν ανταποκρίνεται πλήρως στις πραγματικές συνθήκες
- Μοντέλα δεύτερης γενιάς: Γίνεται χρήση μαθηματικών μοντέλων έχοντας ως υπόθεση ότι τα συστήματα είναι γραμμικά και έχουν σταθερές ιδιότητες. Ωστόσο, τα δεδομένα που εξάγουν παραμένουν ακόμα περιορισμένα λόγω των απλουστεύσεων.
- Μοντέλα τρίτης γενιάς: Η ακρίβεια σε αυτή την περίπτωση αυξάνεται. Χρησιμοποιούνται αριθμητικοί μέθοδοι για την επίλυση πολύπλοκων και δυναμικών προβλημάτων. Οι υπολογισμοί, σε αυτή την περίπτωση, λαμβάνουν υπόψη τις χρονικές μεταβολές. Η χρήση αυτού του συστήματος είναι πιο αντιπροσωπευτική των πραγματικών συνθηκών.
- Μοντέλα τέταρτης γενιάς: Περιλαμβάνουν τη χρήση μη γραμμικών αλγεβρικών και διαφορικών εξισώσεων σε πραγματικό χρόνο, που τείνουν να βασίζονται σε εξειδικευμένες γνώσεις. (Crawley, 2003)

Το Grasshopper είναι ένα λογισμικό παραμετρικού σχεδιασμού που συνδέεται με το Rhinoceros 3D και χρησιμοποιείται ευρέως σε πολλούς τομείς, όπως η αρχιτεκτονική, ο πολεοδομικός σχεδιασμός, η περιβαλλοντική ανάλυση και η μηχανολογία. Διαθέτει τη σουίτα εργαλείων Ladybug tools, η οποία λειτουργεί ως πρόσθετο (plugin) του Grasshopper και περιλαμβάνει και περιλαμβάνει επιμέρους εργαλεία όπως το Ladybug και το Honeybee. Το Ladybug παρέχει περιβαλλοντικά δεδομένα για συγκεκριμένες τοποθεσίες μέσω αρχείων EnergyPlus Weather (.epw), ενώ το Honeybee υποστηρίζει μηχανές προσομοίωσης όπως το OpenStudio, το Daysim, το Radiance και το EnergyPlus για ανάλυση φυσικού φωτισμού, ηλιακής ακτινοβολίας και ενεργειακής κατανάλωσης. Το Grasshopper επιτρέπει τη διαχείριση παραμέτρων μέσω γραφικής επεξεργασίας αλγορίθμων, διευκολύνοντας τη δημιουργία και τροποποίηση παραμετρικών σχεδίων (Eltaweel & Su, 2017). Η χρήση του Rhinoceros και της σουίτας εργαλείων Ladybug tools μπορεί να θεωρηθεί ότι ανήκουν στην τρίτη γενιά συστημάτων. Ο παραμετρικός σχεδιασμός, που πραγματοποιείται με τα παραπάνω λογισμικά, αποτελεί ένα πεδίο μελέτης όπου οι σχεδιαστές χειρίζονται αλγοριθμικά κωδικοποιημένες παραμέτρους ψηφιακών μοντέλων με σκοπό τη βελτιστοποίηση των εσωτερικών συνθηκών σε ένα κτίριο.

Το φυσικό φως επηρεάζεται από πολλούς διαφορετικούς παράγοντες, όπως το γεωγραφικό μήκος και πλάτος, την τροχιά του ήλιου, το χειμερινό και θερινό ηλιοστάσιο, τις ισημερίες, τον τύπο του ουρανού, την ταχύτητα του ανέμου, την ηλιακή ακτινοβολία, την υγρασία και το έδαφος. Όλοι αυτοί οι παράγοντες έχουν διαφορετικές παραμέτρους και επηρεάζουν ο ένας τον άλλον. Ο παραμετρικός σχεδιασμός μπορεί να προσφέρει τη δυνατότητα σύνδεσης όλων αυτών των δεδομένων μέσω εξειδικευμένων κατάλληλων λογισμικών (Eltaweel & Su, 2017).

1.5 Σκοπός της εργασίας

Η παρούσα εργασία αφορά τον βιοφιλικό σχεδιασμό προσώπων γραφείων και την ένταξη στοιχείων εμπνευσμένων από τη φύση σε προσόψεις κτιρίων γραφείων. Συγκεκριμένα, οι στόχοι της εργασίας είναι:

- η αξιολόγηση της συμβολής βιοφιλικών προσώπων στη βελτίωση των φωτιστικών συνθηκών και την οπτική άνεση εργαζομένων σε χώρους γραφείων·
- η ποσοτική εκτίμηση των επιπέδων φωτισμού τέτοιων εφαρμογών μέσω παραμετρικών προσομοιώσεων·
- η αναζήτηση σχεδιαστικών στρατηγικών που εξασφαλίζουν την επαρκή και ομοιόμορφη κατανομή φ.φ., την αποφυγή θάμβωσης και τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης·
- η μελέτη της επίδρασης φυσικά εμπνευσμένων στοιχείων στην αισθητική και την ποιότητα του χώρου, καθώς και στην ευημερία και παραγωγικότητα των χρηστών.

1.6 Δομή της εργασίας

Η εργασία είναι χωρισμένη σε 6 ενότητες. Στην εισαγωγή γίνεται μία γενική παρουσίαση της εργασίας. Το δεύτερο κεφάλαιο αφορά το ερευνητικό κομμάτι της εργασίας και έχει ως σκοπό την κατανόηση του ερευνητικού πεδίου της εργασίας, ζητήματα φυσικού φωτισμού, οπτικής άνεσης και την ένταξη του βιοφιλικού φωτισμού για την επίτευξη των επιθυμητών φωτιστικών συνθηκών σε κτίρια γραφείων. Η ενότητα της μεθοδολογίας αφορά την ανάλυση της διαδικασίας που θα ακολουθηθεί για την έρευνα του βιοφιλικού σχεδιασμού με τη χρήση προσομοιώσεων. Ακολουθεί η ανάλυση της έρευνας που θα πραγματοποιηθεί

και η παρουσίαση των αποτελεσμάτων. Τα δύο τελευταία κεφάλαια αφορούν την συζήτηση σχετικά με τα αποτελέσματα που θα εξαχθούν και τα συμπεράσματα που προκύπτουν από αυτά.

1.7 Σύνοψη

Η ανάγκη περιορισμού της κατανάλωσης ενέργειας επιτάχυνε τη μετάβαση προς τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Ακόμα, το φαινόμενο της αστικοποίησης απομάκρυνε τους ανθρώπους από το φυσικό περιβάλλον. Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζεται η απόφαση σχεδιασμού φυσικά φωτιζόμενων προσώπων κτιρίων γραφείων με τη χρήση βιοφιλικών στρατηγικών.

Οι στρατηγικές αυτές θα εξεταστούν σε σχέση με την απόδοσή τους αναφορικά με την εξοικονόμηση ενέργειας, την επίτευξη βέλτιστων συνθηκών φωτισμού σε εσωτερικούς χώρους γραφείων, καθώς και την ενίσχυση της σύνδεσης των χρηστών με το φυσικό περιβάλλον. Στην μεθοδολογία παρουσιάζεται η χρήση παραμετρικών σχεδιαστικών εργαλείων με στόχο την προσομοίωση των συνθηκών του εσωτερικού περιβάλλοντος και την βελτιστοποίησή τους.

2 Ορισμός της έρευνας

2.1 Εισαγωγή

Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζεται το θεωρητικό υπόβαθρο στο οποίο στηρίζεται η παρούσα διπλωματική εργασία, καθώς και τα δύο επίπεδα του προβλήματος που ερευνάται. Το πρακτικό πρόβλημα αφορά την ανάγκη ύπαρξης φυσικού φωτισμού σε χώρους γραφείων για την επίτευξη οπτικής άνεσης αλλά και την αίσθηση ευεξίας στους εργαζομένους. Το ερευνητικό πρόβλημα σχετίζεται με τις έννοιες του βιοφιλικού σχεδιασμού και της βιομίμησης, καθώς και με τον έλεγχο των συνθηκών φωτισμού ώστε να αποφευχθούν φαινόμενα εκτεταμένου φ.φ. και παρουσίας θάμβωσης.

Η θεμελιώδης παραδοχή της ανάλυσης που ακολουθεί είναι ότι ο φυσικός φωτισμός σε χώρους γραφείων αποτελεί ταυτόχρονα παράγοντα οπτικής άνεσης και ευημερίας. Συνεπώς απαιτεί ελεγχόμενη διαχείριση μέσω συστημάτων σκίασης που να αποτρέπουν φαινόμενα υπερφωτισμού και θάμβωσης ή χαμηλών επιπέδων φωτισμού στον χώρο. Ο βιοφιλικός σχεδιασμός εξετάζεται ως πλαίσιο που εμπλουτίζει αυτή τη διαχείριση με στοιχεία εμπνευσμένα από τη φύση.

2.2 Πρακτικό πρόβλημα: Έλεγχος φυσικού φωτισμού

Το εξωτερικό περίβλημα του κτιρίου εκφράζεται με την έννοια «πρόσοψη». Η ονομασία προέρχεται από την λατινική ονομασία «*faciēs*» και τη γαλλική «*façade*». Η πρόσοψη ενός κτιρίου αποτελεί το όριο μεταξύ του εσωτερικού και του εξωτερικού περιβάλλοντος του κτιρίου και λειτουργεί ως προστατευτικό ή ρυθμιστικό στοιχείο των εξωτερικών διακυμάνσεων του κλίματος. (Herzog, Lang, & Krippner, 2012, σ. 10). Η παρουσία του κελύφους δεν διασφαλίζει απαραίτητα τις κατάλληλες συνθήκες φυσικού φωτισμού. Αντιθέτως, μπορεί να δημιουργήσει ανεπιθύμητα προβλήματα, όπως υπερβολική θάμβωση, ανεπιθύμητες αντανάκλασεις ή αύξηση της θερμοκρασίας στον χώρο (Sommese, et al., 2024).

Κεντρικό ερευνητικό ζήτημα της εργασίας αποτελεί ο τρόπος διαχείρισης των ηλιακών κερδών έτσι ώστε να επιτυγχάνεται ισορροπία μεταξύ επαρκούς φυσικού φωτισμού, ελέγχου της θάμβωσης και βελτίωσης της οπτικής άνεσης στον εσωτερικό χώρο. Η χρήση

παθητικών στρατηγικών από το αρχικό στάδιο για τον φωτισμό σε χώρους γραφείων, βοηθά τόσο στην επίτευξη οπτικής άνεσης όσο και στη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης. (Hosseini, Mohammadi, Schröder, & Guerra-Santin, 2020). Η γεωμετρία και ο προσανατολισμός των ανοιγμάτων αποτελούν τους πιο καθοριστικούς παράγοντες για τον έλεγχο της ηλιακής ακτινοβολίας (Hosseini, Mohammadi, Rosemann, Schröder, & Lichtenberg, 2019, σ. 189). Συμπληρωματικοί παράγοντες είναι τα υλικά κατασκευής του κελύφους και των ανοιγμάτων.

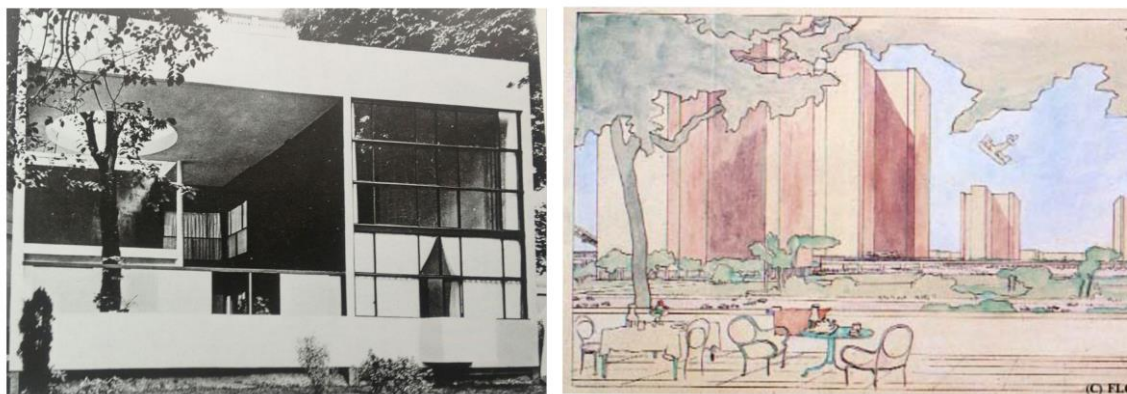
2.2.1 Πηγές και χαρακτηριστικά του φυσικού φωτισμού

Ο ήλιος και ο ουράνιος θόλος αποτελούν πηγές του φυσικού φωτισμού, με το ηλιακό φως να αποτελεί την άμεση και το φως του ουρανού τη διάχυτη συνιστώσα του (Arnesen, Kolås, & Matusiak, 2011, σ. 7). Όταν ο ουρανός είναι ομοιόμορφα συννεφιασμένος, ο ορίζοντας εμφανίζεται κατά ένα τρίτο λιγότερο φωτεινός από τον ουρανό, ανεξαρτήτως της θέσης του ήλιου. Αυτό συμβαίνει επειδή το φως διαχέεται μέσα από τα πολλαπλά στρώματα της ατμόσφαιρας κοντά στον ορίζοντα, κάνοντας τη φωτεινότητα πιο ομοιόμορφη, με τον βόρειο και τον νότιο ουρανό να έχουν παρόμοια φωτεινότητα (Goldstein, 1976, σ. 19). Η ένταση του ήλιου εξαρτάται από τη χρονική στιγμή, με τη μεγαλύτερη ένταση το μεσημέρι και τις μικρότερες κατά την ανατολή και δύση, καθώς και το πάχος και τη σύνθεση της ατμόσφαιρας. Η διαθεσιμότητα του φυσικού φωτισμού εξαρτάται από τις κλιματικές συνθήκες (γεωγραφικό πλάτος και μήκος) αλλά και από την θέση του κτιρίου στον αστικό ιστό (Arnesen, Kolås, & Matusiak, 2011, σ. 7). Σε υψηλά γεωγραφικά πλάτη παρατηρούμε ότι σχεδιαστική προτεραιότητα είναι η μεγιστοποίηση εισόδου φυσικού φωτισμού στους εσωτερικούς χώρους. Αντίθετα, σε τροπικά κλίματα, ο άμεσος φωτισμός μπορεί να προκαλέσει οπτική δυσφορία στους χρήστες. Η χρήση έμμεσου φωτισμού (μέσω αντανάκλασεων) μέσα στο κτίριο μπορεί να μειώσει τα ηλιακά κέρδη και διατηρήσει επαρκή επίπεδα φωτισμού στον χώρο (Goldstein, 1976, σ. 16).

2.2.2 Ο ρόλος του φυσικού φωτισμού στην αρχιτεκτονική

Η είσοδος του φυσικού φωτισμού υπήρξε θεμελιώδης αρχή για τα κτίρια ανά τους αιώνες. Στις αρχές του 20^{ου} αιώνα, μέσω του μοντέρνου κινήματος, αναδείχθηκαν ζητήματα οικονομίας, υγιεινής, υγείας και σύνδεσης με το φυσικό περιβάλλον στον σχεδιασμό

κτιρίων. Αρχιτέκτονες όπως ο Le Corbusier, ο οποίος περιέγραφε την αρχιτεκτονική ως ένα παιχνίδι όγκων που συγκεντρώνονται κάτω από το φως, ανέδειξαν τη σημασία του φυσικού φωτισμού στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό. (Corbusier, 1986). Το μοντέρνο κίνημα φέρνει μία νέα προσέγγιση στην αρχιτεκτονική, εισάγοντας εκτεταμένες γυάλινες επιφάνειες και ανοίγματα σε κατοικίες και εμπορικά κτίρια (Phillips, 2004, σ. 4). Ακόμα εισάγεται η έννοια της ελεύθερης κάτοψης και των καθαρών επιφανειών με σκοπό την ανάκλαση του φωτός. Μέσα από το κίνημα δίνεται έμφαση στην ύπαρξη πράσινων χώρων και τον φυσικό φωτισμό με σκοπό την ευημερία των κατοίκων. Το L'esprit Nouveau και μεταγενέστερα η ιδέα για τη Ville Radieuse του Le Corbusier αποτελούν παραδείγματα του νέου τρόπου σκέψης. (Boubekri, 2014, σ. 9).



Εικόνα 1-Αριστερά (L'esprit Nouveau, Le Corbusier -Πηγή: Atlasobscura (23-05-2026), Δεξιά: Σχέδια της Ville Radieuse, Le Corbusier -Πηγή: Archdaily (23-05-2026)

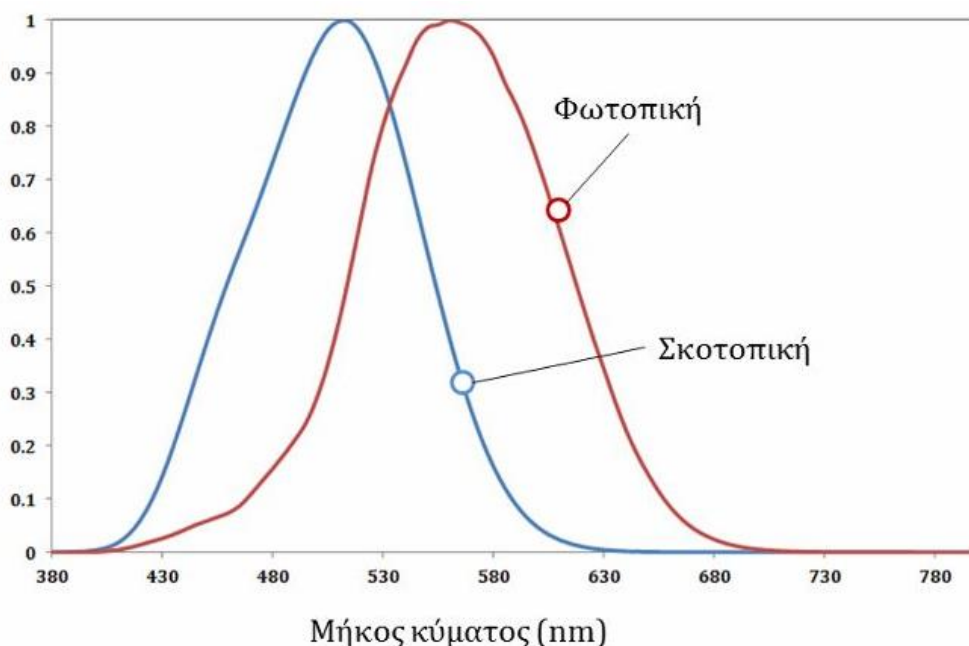
Όμως, την δεκαετία του 1960, εμφανίστηκε μια τελείως διαφορετική τάση. Τα κτίρια τριτογενούς τομέα –ιδίως γραφεία και σχολεία- άρχισαν να σχεδιάζονται με ελάχιστο ή μηδενικό φυσικό φωτισμό. Αυτή η προσέγγιση θεωρήθηκε ότι βελτίωνε την απόδοση των συστημάτων θέρμανσης και ψύξης. (Hobstetter, 2007). Ο εξαιρισμός και η θερμοκρασία του χώρου ρυθμιζόνταν πλέον τεχνητά, ενώ η χρήση τεχνητού φωτισμού διατηρούσε τον φωτισμό σε κατάλληλα επίπεδα. Παρόλο που αυτή η προσέγγιση θεωρήθηκε ότι προσέφερε οικονομικά οφέλη, ιδιαίτερα αναφορικά με την εξοικονόμηση ενέργειας, οι επιπτώσεις στην υγεία και την ευημερία των ενοίκων τέθηκαν σε δεύτερη μοίρα, με εμφανή την έλλειψη αρχιτεκτονικής ευαισθησίας για τους διαμένοντες (Goldstein, 1976).

Η κλιματική αλλαγή και η στροφή στην εύρεση τρόπων για τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης, καθώς και η διερεύνηση των επιπτώσεων στην υγεία των εργαζομένων σε

χώρους με τεχνητό φωτισμό, οδήγησε αν στην επιστροφή στη χρήση του φυσικού φωτισμού (Phillips, 2004, σ. 4).

2.2.3 Οπτική αντίληψη και σχεδιασμός φωτός

Το ανθρώπινο μάτι ανιχνεύει το φως μέσω της κόρης και του αμφιβληστροειδούς (retina), όπου εδράζονται δύο τύποι φωτουποδοχέων, τα ραβδία (rods) και τα κώνια (cones). Τα ραβδία είναι ευαίσθητα σε χαμηλά επίπεδα φωτισμού, με μέγιστη φασματική απόκριση γύρω στα 507 nm (μπλε-πράσινη περιοχή), αλλά δεν διακρίνουν τα χρώματα. Η σκοτοπική όραση (scotopic vision) επικρατεί σε αυτές τις συνθήκες. Αντίθετα, τα κώνια αποκρίνονται κυρίως σε υψηλότερα επίπεδα φωτισμού, αναλαμβάνουν την έγχρωμη όραση και έχουν φωτοπική όραση (photopic vision) με μέγιστη ευαισθησία γύρω στα 555 nm (κίτρινη-πράσινη περιοχή) και είναι υπεύθυνα για την πλήρη διάκριση των χρωμάτων (Goldstein, 1976, σ. 23).



Διάγραμμα 1- Φωτοπική και σκοτοπική φασματική καμπύλη ευαισθησίας- Πηγή: (Τσαγκρασούλης , 2016)

Το ανθρώπινο μάτι έχει την ικανότητα να προσαρμόζεται στις εναλλαγές φωτεινότητας. Η προσαρμογή αυτή εξαρτάται από το χώρο και το χρόνο. Κατά τον σχεδιασμό ενός χώρου θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ο χώρος και ο χρόνος που απαιτούνται για την προσαρμογή σε μια αλλαγή στα επίπεδα φωτισμού, όπως η μετάβαση από το φως της ημέρας σε ένα

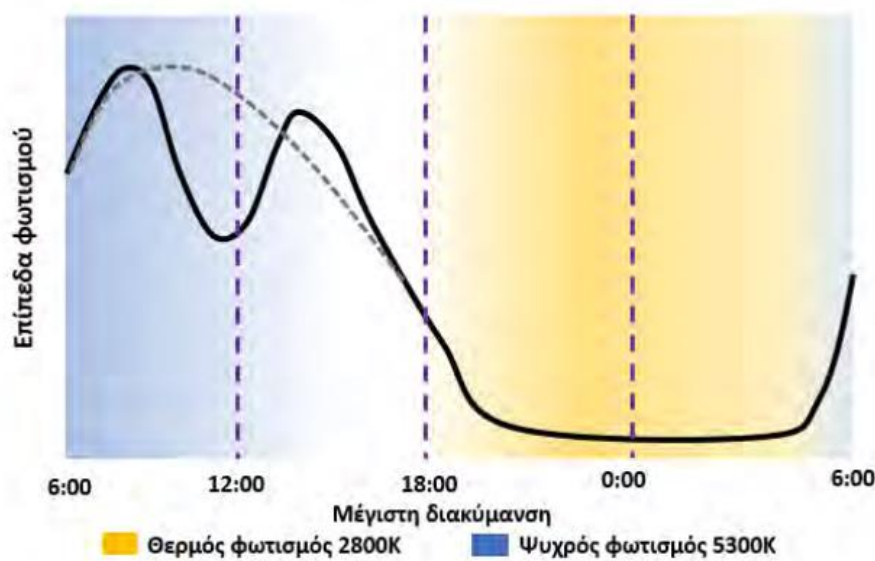
σκοτεινό περιβάλλον. Η έννοια του επιπέδου προσαρμογής (adaptation level) αναφέρεται στην ικανότητα του ματιού να ρυθμίζεται σε μια δεδομένη κατάσταση φωτισμού και αντίθεσης (Goldstein, 1976, σ. 23). Κατά τον σχεδιασμό θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι μεταβάσεις από τον εξωτερικό προς τον εσωτερικό χώρο καθώς και η εναλλαγή των επιπέδων φωτός σε διαφορετικούς χώρους ενός κτιρίου (είσοδος, κύριου χώροι, βοηθητικοί χώροι, αίθρια, στοές). (Goldstein, 1976, σ. 24). Όταν η αναλογία έντασης φωτισμού μεταξύ δύο γειτονικών οπτικών πεδίων υπερβαίνει το 40:1 ενδέχεται να εμφανιστούν φαινόμενα θάμβωσης. Σε χώρους εργασίας οι συνιστώμενες αναλογίες αυτές κυμαίνονται γύρω από 10:1 (Browning, Ryan, & Clancy, 2014, σ. 35).

Ο φωτισμός μπορεί ακόμα να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο σχεδιασμού. Μια χαρακτηριστική ιδιότητα του φωτός είναι η μοντελοποίηση. Εισερχόμενο σε έναν χώρο, το φως αποδίδει όγκο, βάθος και τρισδιάστατη ποιότητα στα αντικείμενα μέσω των σκιών που σχηματίζει. Έντονες αντιθέσεις και σκιές δημιουργούνται όταν η πηγή φωτισμού είναι μονομερής (από τη μία κατεύθυνση). Αυτό το φαινόμενο μετριάζεται με την προσθήκη μιας δεύτερης πηγής, όπως ένα επιπλέον άνοιγμα σε διαφορετική επιφάνεια, η οποία γεμίζει τις σκιές και ομαλοποιεί τις τονικές διαβαθμίσεις. Τα περισσότερα ανοίγματα στα κτίρια βρίσκονται σε κάθετους τοίχους, άρα ο οριζόντιος φωτισμός κυριαρχεί και αποδίδει συνήθως το καλύτερο αποτέλεσμα μοντελοποίησης (Goldstein, 1976, σ. 20). Η εισαγωγή του φυσικού φωτός στο εσωτερικό ενός κτιρίου μεταβάλλει την ατμόσφαιρα του χώρου, η οποία μπορεί να ενισχυθεί μέσω στρατηγικών σχεδιαστικών επιλογών, όπως η χρήση χρωμάτων, η οργάνωση του χώρου και η αξιοποίηση υλικών όπως το γυαλί και οι ανακλαστικές επιφάνειες. Ακόμα, η μεταβαλλόμενη ένταση και γωνία του φυσικού φωτός κατά τη διάρκεια της ημέρας διαφοροποιεί την αίσθηση της ατμόσφαιρας στο εσωτερικό του χώρου (Dalay, 2020, σ. 7).

2.2.4 Οφέλη του φυσικού φωτισμού

Ο φυσικός φωτισμός συμβάλλει στην ευημερία και υγεία των ανθρώπων, καθώς και αποτελεί βασικό παράγοντα για το σχεδιασμό βιώσιμων κτιρίων. Το ηλιακό φως μεταβάλλει το χρώμα κατά τη διάρκεια της μέρας- από θερμότερους τόνους κατά την ανατολή (κίτρινο) σε ψυχρότερους κατά το μεσημέρι (μπλε) και ξανά θερμότερους κατά τη δύση (κόκκινο). Ο ανθρώπινος οργανισμός προσαρμόζεται σε αυτή τη κυκλική μεταβολή των χρωμάτων του φυσικού φωτός. Η υψηλή περιεκτικότητα μπλε φωτός (φως από τον

ουρανό) κατά τις πρωινές και μεσημεριανές ώρες προάγει την παραγωγή σεροτονίνης, ενώ η απουσία του κατά τις βραδινές ώρες ευνοεί την παραγωγή μελατονίνης. Η ισορροπία αυτών των δύο ουσιών συνδέεται με την ποιότητα του ύπνου, τη διάθεση και την εγρήγορση (Browning, Ryan, & Clancy, 2014, σ. 34). Σε νευροφυσιολογικό επίπεδο, το ηλιακό φως λειτουργεί ως βασικό ερέθισμα για τον συγχρονισμό του συστήματος του κιρκάδιου ρυθμού και του κύκλου ύπνου, κυρίως μέσω της διέγερσης των εγγενώς φωτοευαίσθητων γαγγλιακών κυττάρων του αμφιβληστροειδούς. (Li, Tian, Zhang, & Zou, 2024).



Εικόνα 2- Μεταβολή του ηλιακού φωτός κατά την διάρκεια της ημέρας- Πηγή: Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-7/2021

Ως σχεδιαστική πρακτική, ο φυσικός φωτισμός αποτελεί αναπόσπαστο στοιχείο του παθητικού σχεδιασμού, ο οποίος στοχεύει στη μείωση της εξάρτησης από μηχανικά συστήματα θέρμανσης, ψύξης και τεχνητού φωτισμού. Η βιώσιμη αρχιτεκτονική ενσωματώνει τον φυσικό φωτισμό με σκοπό την ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας τόσο κατά την κατασκευή, όσο και καθ' όλη τη διάρκεια της λειτουργίας του κτιρίου. (Phillips, 2004, σ. 7).

Η σχεδιαστική σημασία του φυσικού φωτισμού γίνεται ακόμη μεγαλύτερη στους χώρους γραφείων. Σύμφωνα με την EPA, η πλειοψηφία των ατόμων περνά το 90% του χρόνου της ημέρας τους σε εσωτερικό χώρο κτιρίων (κατοικία ή εργασία), γεγονός που εντείνει την ανάγκη σύνδεσης με το εξωτερικό φυσικό περιβάλλον (EPA, 2024). Μέσα από την πρόοδο της τεχνολογίας, ο τρόπος εργασίας στους χώρους γραφείων αλλάζει. Παράλληλα, η εξέλιξη της εργασίας προς ψηφιακές πρακτικές (υπολογιστές, φορητές συσκευές,

«έξυπνες» οθόνες) και η σταδιακή μετατροπή των ατομικών γραφείων σε ανοικτούς χώρους εργασίας (Office landscapes) τα τελευταία 40 χρόνια στη Δυτική Ευρώπη επανατοποθετούν το ζήτημα του φωτισμού στο επίκεντρο της σχέσης εργασίας-υγείας. Ιδιαίτερα για τους ανοικτούς χώρους γραφείων, ο φωτισμός είναι σημαντικός για την αλληλεπίδραση μεταξύ εργασίας και υγείας. (Duijnhoven, Aarts, Aries, Rosemann, & Kort, 2019, σ. 153).

Το φυσικό φως μπορεί να εισέλθει σε ένα κτίριο με συμβατικές διατάξεις, όπως τα παράθυρα και οι φεγγίτες. Αυτές οι πλευρικές λύσεις φωτισμού φωτίζουν αποτελεσματικά μόνο τις περιοχές που γειτνιάζουν με τα ανοίγματα, αφήνοντας τις ζώνες σε μεγαλύτερο βάθος υποφωτισμένες. (Kontadakis, Tsangrassoulis, Doulos, & Zerefos, 2018). Γι' αυτό το λόγο είναι χρήσιμο να βρεθούν οι κατάλληλοι τρόποι εισόδου του φυσικού φωτισμού σε ανοικτούς χώρους. Οι ερευνητές μελετούν τη σχέση μεταξύ του δομημένου περιβάλλοντος και της υγείας και διαπιστώνουν ότι σχετίζεται άμεσα με τις επιδόσεις στην εργασία. (Lei, Lau, Yuan, & Qi, 2022). Όπως προαναφέρθηκε, ο φυσικός φωτισμός έχει σημαντικές επιδράσεις στον κιρκάδιο ρυθμό, παρέχοντας πλήρη αντίληψη για το χρόνο κατά τη διάρκεια της μέρας, καθώς και στην γνωστική επίδοση των εργαζομένων. (Yildirim, Gocer, Globa, & Brambilla, 2023) (Dalay, 2020, σ. 7).

2.2.5 Δυναμικά συστήματα σκίασης

Ρυθμιστές του φυσικού φωτισμού μπορούν να αποτελέσουν τα συστήματα σκίασης. Η επίτευξη οπτικής άνεσης είναι απαραίτητη σε κτίρια γραφείων, και μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση συστημάτων φυσικού φωτισμού. Ο σχεδιασμός τους έχει άμεση επίδραση στην αίσθηση ικανοποίησης των χρηστών καθώς και στην αύξηση αποδοτικότητας. (Tabadkani, Valinejad Shoubi, Soflaei, & Banihashemi, 2019). Τα συστήματα φυσικού φωτισμού έχουν ως σκοπό τη διαχείριση του φυσικού φωτισμού μέσω της σκίασης, της προστασίας από τη θάμβωση και της ανακατεύθυνσης του φωτός (International Energy Agency Energy Conservation in Buildings and Community Systems Programme, 2000, p. 16). Το πιο διαδεδομένο σύστημα είναι η χρήση περσίδων. Παρέχουν προστασία από τον εκτεταμένο φωτισμό αλλά με κατάλληλο σχεδιασμό και ρύθμιση των γωνιών τοποθέτησής τους μπορούν να ανακατευθύνουν το φως εκτός του εσωτερικού χώρου ή να το κατευθύνουν προς την οροφή για ομοιόμορφη κατανομή. (Energy Conservation in Buildings and Community Systems and Solar Heating and Cooling Programmes, 2010, σ. 10). Τα ράφια φυσικού φωτισμού αποτελούν και αυτά συστήματα που μπορούν να μπλοκάρουν ή να

ανακατευθύνουν τον άμεσο φωτισμό. (Arnesen, Kolås, & Matusiak, 2011). Άλλα συστήματα αποτελούν τα πρισματικά πάνελ, τα πάνελ “laser cut” και ανιδορικά συστήματα. (Arnesen, Kolås, & Matusiak, 2011, σ. 17) (Energy Conservation in Buildings and Community Systems and Solar Heating and Cooling Programmes, 2010).

Τα συστήματα σκίασης μπορούν να συνεισφέρουν στην είσοδο του φ.φ. μέσα στο κτίριο, αλλά θα πρέπει να ληφθεί υπόψη και η θέση και κατανομή των εργαζομένων στο χώρο. Ακόμα, αποτελούν ένα σύστημα παθητικού σχεδιασμού για την προστασία του κτιρίου από το εκτεταμένο ηλιακό φως. Όμως, σύμφωνα με έρευνες, τα στατικά συστήματα σκίασης δεν μπορούν να ανταποκριθούν απόλυτα στις μεταβαλλόμενες περιβαλλοντικές συνθήκες. (Al-Masrani & Al-Obaidi, 2019). Ο φυσικός φωτισμός χαρακτηρίζεται από τις συνεχείς εναλλαγές του, προσφέροντας μια ατελείωτη ποικιλία στην εικόνα ενός εσωτερικού χώρου. Αυτή η δυναμική αλλαγή ευθυγραμμίζεται με τη φυσική ικανότητα του ανθρώπινου σώματος, και ιδιαίτερα της όρασης, να προσαρμόζεται σε διαφορετικές συνθήκες φωτισμού. Σε αντίθεση με τον στατικό φωτισμό από τεχνητές πηγές, το φυσικό φως επιτρέπει τη συνεχή εξερεύνηση και ανανέωση της εμπειρίας των χώρων που κατοικούμε (Phillips, 2004, σ. 9). Η δυναμική φύση του φωτός και των χρηστών μέσα σε ένα κλειστό χώρο, χρειάζεται να ρυθμιστεί αντίστοιχα με δυναμικό τρόπο. Η έννοια της "Responsive Architecture", βασίζεται στην διαδικασία σχεδιασμού διαδραστικού και προσαρμοζόμενου έξυπνου κτιρίου, που θα προσαρμόζεται σύμφωνα με τις ανάγκες των χρηστών και των περιβαλλοντικών συνθηκών. (El Houda & Mohamed, 2018). Άλλη έννοια που έχει δοθεί είναι η ηλιακή προσαρμοστική πρόσοψη (Adaptive Solar Façade), ως μια βαθμιαία, δυναμική και ευέλικτη πρόσοψη. (Tabadkani, Valinejad Shoubi, Soflaei, & Banihashemi, 2019). Τα δυναμικά και κινητικά συστήματα προσώπων μπορούν να χωριστούν σε αυτόματα συστήματα σκίασης, προσαρμοζόμενο κέλυφος, συστήματα κινούμενου κελύφους. (Al-Obaidi, Azzam Ismail, Hussein, & Abdul Rahman, 2017, σ. 1472).

2.2.6 Πλεονεκτήματα και περιορισμοί των Δυναμικών Συστημάτων σκίασης

Τα ευέλικτα συστήματα σκίασης έχουν τη δυνατότητα να παρέχουν την κατάλληλη θερμοκρασία περιβάλλοντος και ποιότητα αέρα στον εσωτερικό χώρο καθώς και τα επιθυμητά επίπεδα φωτισμού, χωρίς να γίνει υπερβολική κατανάλωση ενέργειας. (Tabadkani, Valinejad Shoubi, Soflaei, & Banihashemi, 2019). Ακόμα, επιτρέπουν τον

έλεγχο πολυλειτουργικών συστημάτων με άμεση απόκριση στις ανάγκες των χρηστών. (Tabadkani, Valinejad Shoubi, Soflaei, & Banihashemi, 2019). Ωστόσο, η παρουσία κινούμενων στοιχείων στο κέλυφος δεν εγγυάται από μόνη της την επιθυμητή οπτική άνεση. (Hosseini, Mohammadi, Schröder, & Guerra-Santin, 2021, σ. 833). Οι νέες τεχνολογίες ελέγχου μπορούν να δυσχεραίνουν την αλληλεπίδραση των χρηστών, με αναφορές σε φαινόμενα τεχνοστρές (techno-stress). (Berge, 2011, σ. 6). Ακόμη και σε περιπτώσεις πλήρως αυτόνομων προσώπων, η απώλεια ελέγχου εκ μέρους των χρηστών μπορεί να προκαλέσει δυσaréσκεια, ενώ παράλληλα παρατηρείται συνεχής κατανάλωση ενέργειας για τη εφαρμογή αυτών των αυτοματισμών. (López, Rubio, Martín, & Croxford, 2017, σ. 695). Ακόμα σημαντική είναι η σωστή συντήρηση των μηχανικών εξαρτημάτων κατά τη διάρκεια των ετών, ώστε να παραμένουν αποδοτικά.

2.2.7 Δείκτες Αξιολόγησης Φυσικού φωτισμού και Οπτικής Άνεσης

Όπως αναλύθηκε στις προηγούμενες ενότητες ο φυσικός φωτισμός είναι επιθυμητός για την ευεξία και την αποδοτικότητα των χρηστών μέσα σε αυτό. (Heschong, 2002). Παράλληλα όμως υψηλά επίπεδα φυσικού φωτισμού συνδέονται με την αίσθηση οπτικής δυσφορίας και την παρουσία άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας στο εσωτερικό των χώρων (Mardaljevic D. J., 2009, σ. 7). Η αξιολόγηση της οπτικής άνεσης σε χώρους φυσικά φωτιζόμενους βασίζεται σε διάφορους δείκτες που επιτρέπουν τη μέτρηση και κατανόηση του τρόπου με τον οποίο το φως επηρεάζει τους χρήστες. Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται οι σημαντικότεροι δείκτες που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση του φυσικού φωτισμού και της θάμβωσης, καθώς και τα δύο βασικά μεθοδολογικά πλαίσια κλιματολογικής ανάλυσης φωτισμού.

Αρχικά, ο δείκτης **αυτονομίας φυσικού φωτισμού (Daylight Autonomy-DA)**, αποτελεί μία από τις βασικές δυναμικές μετρικές αξιολόγησης του φυσικού φωτισμού. Η αρχική έννοια της αυτονομίας φωτισμού εμφανίζεται στο ελβετικό πρότυπο φωτισμού του 1989, όπου ορίζεται ως το ποσοστό του έτους κατά το οποίο ένα σημείο επιτυγχάνει ένα ελάχιστο επίπεδο φωτεινότητας αποκλειστικά μέσω του φυσικού φωτισμού (Association Suisse des Electriciens, 1989). Ο δείκτης αυτός είναι συνάρτηση του συντελεστή φωτός ημέρας και της ελάχιστης απαιτούμενης έντασης φωτισμού. Αργότερα, ο δείκτης επαναπροσδιορίστηκε από τους Reinhart και Walkenhorst (2001) ως το ποσοστό των ωρών λειτουργίας ενός χώρου κατά τις οποίες η απαιτούμενη στάθμη φωτισμού σε ένα σημείο καλύπτεται

αποκλειστικά από το φως της ημέρας, χωρίς τη συνεισφορά τεχνητού φωτισμού. (Reinhart & Walkenhorst, 2001). Ο υπολογισμός του βασίζεται σε ετήσιες προσομοιώσεις φυσικού φωτισμού, οι οποίες αξιοποιούν ωριαία κλιματικά δεδομένα για την εκτίμηση της διαθεσιμότητας του φυσικού φωτός καθ' όλη τη διάρκεια του έτους (Reinhart, Mardaljevic, & Rogers, 2006). Η τιμή του ορίου έντασης φωτισμού εξαρτάται από τη χρήση του χώρου, και τις απαιτήσεις φωτισμού σε αυτόν τον χώρο. Για χώρους γραφείων, η Τεχνική οδηγία του ΤΕΕ ορίζει ως μέση ένταση $E_m = 500 \text{ lux}$ στο επίπεδο εργασίας, το οποίο ορίζεται σε ύψος 0,80 m από το δάπεδο (Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος-Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-7/2021, 2021, σσ. 15-16). Η τιμή αυτή αποτελεί και το κατώφλι αξιολόγησης του φυσικού φωτισμού στον χώρο εργασίας.

Ο δείκτης **UDI (Useful Daylight Illuminance- Ωφέλιμος φυσικός φωτισμός)** προτείνεται το 2005, ως μια δυναμική επίσης μέτρηση του φυσικού φωτισμού πάνω σε μια επιφάνεια εργασίας. (Mardaljevic & Nabil, 2005) (Reinhart, Mardaljevic, & Rogers, 2006, σ. 10). Ο δείκτης UDI (Useful Daylight Illuminance- Ωφέλιμος φυσικός φωτισμός), χαρακτηρίζεται ως η ετήσια παρουσία φωτισμού στο χώρο εργασίας για τιμές μεταξύ 100 και 2500 lux που θεωρείται ως «ωφέλιμη» για τους χρήστες. Το ανώτατο όριο έχει ως σκοπό να εντοπίζει περιόδους όπου το πλεόνασμα φυσικού φωτισμού μπορεί να προκαλέσει οπτική ή/και θερμική δυσφορία στους χρήστες (Reinhart, Mardaljevic, & Rogers, 2006, σσ. 10-11). Η κλίμακα μπορεί να χωριστεί περαιτέρω σε δύο υποκατηγορίες: το UDI-supplementary (συμπληρωματική) και UDI-autonomous(αυτόνομη), που αφορούν την επάρκεια του φυσικού φωτισμού. Ο συμπληρωματικός αναφέρεται σε επίπεδα φωτισμού 100 και 500 lux όπου πιθανότατα απαιτείται συμπληρωματικός τεχνητός φωτισμός για την υποστήριξη των εργασιών όπως το διάβασμα, και ο αυτόνομος με τιμές από 500 και 2.500 lux, όπου συνήθως δεν απαιτείται επιπλέον τεχνητός φωτισμός (Mardaljevic D. J., 2009, σ. 11).

Η υπερβολική φωτεινότητα σε ένα χώρο μπορεί να προκαλέσει οπτική κούραση, λόγω της δυσφορίας από τη θάμβωση (Chaloeytoy, Ichinose, & Chien, 2020, σ. 4). Οι κύριοι δείκτες που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της θάμβωσης σε χώρους με φυσικό φωτισμό και μεγάλες πηγές φωτός είναι ο δείκτης θάμβωσης (**DGI-Daylight glare index**) και η πιθανότητα λάμψης της ημέρας (**DGP-Daylight Glare Probability**).

Ο δείκτης DGI αναπτύχθηκε από τον Hopkinson και τους συνεργάτες του το 1963 και αναβαθμίζεται από τον Chauvel το 1982, και αφορά την ένταση της θάμβωσης στο χώρο. Ο δείκτης DGP αναπτύσσεται από τον Wienold και Christoffersen το 2006, ως μια

προσπάθεια βελτίωσης του DGI. (Wymelenberg & Inanici, 2014, σ. 147). Η νέα προσέγγιση βασίζεται στην **πιθανότητα να ενοχληθεί ένα άτομο** από τη θάμβωση αντί να μετράει απλά τη **μεγαλύτερη ένταση θάμβωσης**. (Wienold & Christoffersen, 2006, σ. 753).

Η απόδοση του DGP θεωρείται καλύτερη από του DGI. (Chaloeytoy, Ichinose, & Chien, 2020, σ. 4). Τα αποτελέσματα του DGP κρίθηκαν πιο κοντά στις υποκειμενικές απόψεις θάμβωσης και πιο λογικά. (Wymelenberg & Inanici, 2014, σ. 147). Ο Wienold προτείνει τρεις κατηγορίες άνεσης για τις τιμές DGP:

- Α (καλύτερη κατηγορία-DGP≤0,35): Σε 95% του χρόνου γραφείου η έντονη λάμψη χαρακτηρίζεται "ανεπαίσθητη".
- Β (καλή κατηγορία- DGP≤0,40): Σε 95% του χρόνου γραφείου η έντονη λάμψη χαρακτηρίζεται "αισθητή".
- Γ (λογική κατηγορία- DGP≤0,45): Σε 95% του χρόνου γραφείου η έντονη λάμψη χαρακτηρίζεται "ενοχλητική" (DGP≤0,45). (Wienold, 2009, σ. 950).

Συμπληρωματικά, σύμφωνα με το πρότυπο IES LM-83-12, για την ολιστική αξιολόγηση της απόδοσης του φυσικού φωτισμού χρησιμοποιούνται ευρέως οι δείκτες sDA (Spatial Daylight Autonomy) και ASE (Annual Sunlight Exposure). Οι δείκτες αυτοί αξιολογούν την επάρκεια του φυσικού φωτισμού και την πιθανή υπερβολική έκθεση σε άμεση ηλιακή ακτινοβολία αντίστοιχα. Ο δείκτης Χωρικής Αυτονομίας Φυσικού Φωτισμού (sDA) εκφράζει το ποσοστό της επιφάνειας δαπέδου ενός χώρου που επιτυγχάνει ένα ελάχιστο επίπεδο φωτισμού από φυσικό φως - συνήθως 300 lux- για ένα συγκεκριμένο ποσοστό των ετήσιων ωρών λειτουργίας του χώρου όπως το 50% των ωρών από 8 π.μ. έως 6 μ.μ. Ο δείκτης αυτός χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της επάρκειας του φυσικού φωτισμού στον εσωτερικό χώρο. Αντίστοιχα, ο δείκτης Ετήσιας Έκθεσης στο Ηλιακό Φως (ASE) αξιολογεί την υπερβολική έκθεση σε άμεσο ηλιακό φως, η οποία μπορεί να προκαλέσει οπτική δυσφορία, θάμβωση ή αυξημένα ηλιακά κέρδη στο εσωτερικό περιβάλλον. Με τον τρόπο αυτό, ο ASE λειτουργεί συμπληρωματικά προς τον sDA, παρέχοντας μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα της ποιότητας του φυσικού φωτισμού σε έναν χώρο. (Illuminating Engineering Society of North America, 2012).

Η αξιολόγηση των τιμών έντασης φωτισμού βασίζεται σε μετεωρολογικά μοντέλα, δηλαδή η μοντελοποίηση του φωτός γίνεται με βάση το κλίμα. Η κλιματολογική ανάλυση του

φωτισμού είναι η πρόβλεψη διαφόρων μεγεθών ακτινοβολίας ή έντασης φωτισμού (π.χ. ακτινοβολία, φωτεινότητα, λάμψη) χρησιμοποιώντας συνθήκες ήλιου και ουρανού προερχόμενα από τυπικά μετεωρολογικά σύνολα δεδομένων.

Η κλιματολογική ανάλυση φωτισμού αποσκοπεί στην αναπαράσταση των κυρίαρχων συνθηκών φωτισμού κατά τη διάρκεια μιας χρονικής περιόδου και όχι απλώς στη “στιγμιαία” αποτύπωση συγκεκριμένων συνθηκών. Λόγω της εποχικής διακύμανσης του φωτός της ημέρας, η περίοδος αξιολόγησης συνήθως καλύπτει ολόκληρο το έτος ενώ μπορεί να γίνουν εποχικές, μηνιαίες ή ωριαίες αναλύσεις, π.χ. στις εργάσιμες ώρες των γραφείων (Mardaljevic D. J., 2009, σ. 7).

Υπάρχουν πολλοί τρόποι χρήσης της κλιματολογικής ανάλυσης φωτισμού, με δύο κύριες μεθόδους ανάλυσης, τη αθροιστική (Cumulative Analysis) και την ανάλυση χρονοσειρών (time-series Analysis).

- Η αθροιστική ανάλυση προβλέπει μία συνολική μέτρηση του φωτός (π.χ. συνολική ετήσια έντασης φωτισμού) βασισμένη στη συνολική επίδραση της φωτεινότητας ή ακτινοβολίας του ουρανού και του ήλιου, όπως προκύπτει από τα κλιματολογικά δεδομένα. Συνήθως καλύπτει ένα έτος, αλλά μπορεί να αφορά ένα μήνα ή εποχή στο σύνολό τους. Η μέθοδος αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την πρόβλεψη του μικροκλίματος και της εισόδου του φωτός σε αστικά περιβάλλοντα, τη μακροχρόνια έκθεση έργων τέχνης στο φως και ως μια πρώτη ένδειξη για τον δυναμικό φωτισμό.
- Η ανάλυση χρονοσειρών σχετίζεται με την πρόβλεψη μέτρων για κάθε ώρα ή μικρότερο διάστημα, με βάση τα κλιματολογικά δεδομένα. Οι προβλέψεις χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση της δυνητικής απόδοσης φυσικού φωτισμού σε ένα κτίριο, τον εντοπισμό ακραίων τιμών έντασης φωτισμού στο χώρο, την παροχή δεδομένων σε μοντέλα σχετικά με τη χρήση σκιάστρων και την απόδοση συστημάτων που μεταβάλλονται σε διαφορετικές συνθήκες φωτισμού (Mardaljevic D. J., 2009, σ. 8).

2.2.8 Φυσικός φωτισμός και πρότυπα πιστοποίησης κτιρίων

Ο φυσικός φωτισμός αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος, την ενεργειακή απόδοση ενός κτιρίου, και την αίσθηση ευημερίας στους χρήστες. Τα σύγχρονα πρότυπα πιστοποίησης κτιρίων ενσωματώνουν κριτήρια αξιολόγησης που σχετίζονται με τον φυσικό φωτισμό, την θέα στον εξωτερικό χώρο και την συνολική ποιότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος.

Το σύστημα πιστοποίησης LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), περιλαμβάνει κριτήρια που αφορούν τον φυσικό φωτισμό και την οπτική άνεση των χρηστών στην ενότητα Indoor Environmental Quality(IEQ). Επιπλέον, το LEED αναγνωρίζει τη σημασία της εμπειρίας των χρηστών μέσω πιστώσεων που σχετίζονται με την οπτική, θερμική και ακουστική άνεση, καθώς και με στρατηγικές που ενισχύουν τη σύνδεση των χρηστών με το φυσικό περιβάλλον. Η αξιολόγηση για τον φωτισμό πραγματοποιείται μέσω δυναμικών δεικτών φωτισμού, όπως η Spatial Daylight Autonomy (sDA300/50%) και η Annual Sunlight Exposure (ASE1000,250h) (U.S. Green Building Council, 2025).

Σε αντίθεση με το LEED, το πρότυπο WELL Building Standard επικεντρώνεται κυρίως στην υγεία και την ευημερία των χρηστών. Στην ενότητα Light, το WELL αξιολογεί την επάρκεια φωτισμού, την ποιότητα του οπτικού περιβάλλοντος και τις συνθήκες που επηρεάζουν τον κιρκάδιο ρυθμό των χρηστών, την ποιότητα του ύπνου και τη γνωστική λειτουργία των χρηστών. Για τον σκοπό αυτό προωθεί τη μέγιστη δυνατή αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού και τη διατήρηση οπτικής επαφής με το εξωτερικό περιβάλλον (International WELL Building Institute, 2026). Παράλληλα, το WELL ενσωματώνει τις αρχές του βιοφιλικού σχεδιασμού μέσω των χαρακτηριστικών «M02 Access to Nature» και «M09 Enhanced Access to Nature», τα οποία ενθαρρύνουν την ανάπτυξη στρατηγικών βιοφιλικού σχεδιασμού, την ενσωμάτωση φυσικών στοιχείων και υλικών, καθώς και την ενίσχυση της οπτικής και λειτουργικής σύνδεσης των χρηστών με τη φύση. Μέσω αυτών των απαιτήσεων, αναγνωρίζεται ότι η επαφή με φυσικά στοιχεία και η πρόσβαση στο φυσικό φως συμβάλλουν στη μείωση του άγχους, στη βελτίωση της ψυχικής ευεξίας και στην αύξηση της γνωστικής απόδοσης των χρηστών (International WELL Building Institute, 2026) (C., 2026).

Το σύστημα πιστοποίησης BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) αξιολογεί την ποιότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος μέσω της κατηγορίας Health and Wellbeing. Στην ενότητα αυτή εξετάζονται η πρόσβαση στο φυσικό φως, η ποιότητα της θέας προς το εξωτερικό περιβάλλον και η οπτική άνεση των χρηστών. (BRE Global, 2024)

Παρατηρείται ότι αρκετά από τα κριτήρια που εξετάζονται στα παραπάνω πρότυπα σχετίζονται με τη σύνδεση των χρηστών με το φυσικό περιβάλλον. Η πρόσβαση σε φυσικό φωτισμό, η θέα προς εξωτερικούς φυσικούς χώρους, η οπτική επαφή με στοιχεία της φύσης

και η δημιουργία ποιοτικών εσωτερικών περιβαλλόντων αποτελούν βασικές στρατηγικές που εξετάζονται και αξιολογούνται.

2.3 Ερευνητικό πρόβλημα: Σύνδεση με τη φύση

Σύμφωνα με τον Almusaed, η βιωσιμότητα μπορεί να γίνει αντιληπτή μέσω τριών αλληλένδετων διαστάσεων: μίας προσανατολισμένης στο δομημένο περιβάλλον, μίας ανθρωποκεντρικής και μίας προσανατολισμένης στη φύση. Αυτές οι διαστάσεις είναι αλληλένδετες και αμφίδρομες μεταξύ τους. Ορίζουν αντίστοιχες σχεδιαστικές προτεραιότητες:

- Η σύνδεση φύσης – ανθρώπου στοχεύει στην ψυχολογική ευημερία των ενοίκων ενός κτιρίου.
- Η σύνδεση ανθρώπου – δομημένου περιβάλλοντος αναφέρεται στη σωματική υγεία.
- Η σύνδεση φύσης – δομημένου περιβάλλοντος αφορά τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων . (Almusaed, 2011, σ. 36).

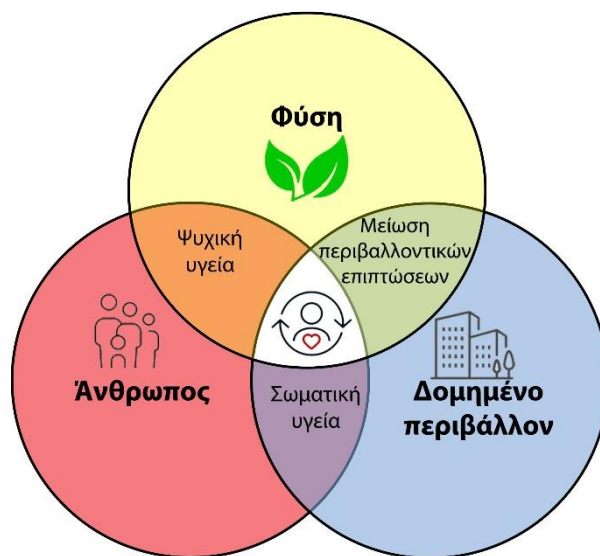
Η παρούσα εργασία τοποθετείται κυρίως στο πρώτο πεδίο (φύση – άνθρωπος) χωρίς να αγνοεί τα δύο άλλα: μέσω βιοφιλικών και βιομιμητικών στρατηγικών στις προσόψεις, επιδιώκεται ταυτόχρονα η ψυχολογική ευημερία των χρηστών (μέσω σύνδεσης με τη φύση), η σωματική και οπτική άνεσή τους. Στις επόμενες υποενότητες αναπτύσσονται οι έννοιες της βιοφιλίας και του βιοφιλικού σχεδιασμού, της βιομίμησης και των στρατηγικών αισθητικής και οπτικής άνεσης.

2.3.1 Βιοφιλία και Βιοφιλικός Σχεδιασμός

Το 1964, ο κοινωνικός ψυχολόγος Erich Fromm επινόησε τον όρο βιοφιλία στο δοκίμιο του «The Heart of Man: Its Genius for Good and Evil». Η έννοια της βιοφιλίας αναλύεται εκ νέου από τον E. O. Wilson, 1984 με το βιβλίο “Biophilia”, και στη συνέχεια προτάθηκε η υπόθεση της βιοφιλίας μαζί με τον S. Kellert (Kellert, Wilson, & Shepard, The Biophilia Hypothesis, 1993). Η βιοφιλία αναφέρεται ως η έμφυτη βιολογική σύνδεση μεταξύ ανθρώπου και φύσης (Wilson & Kellert, 1993) (Zhong, Schroder, & Bekkering, 2022, σ. 117) Η υπόθεση της βιοφιλίας εξελίχθηκε σε μια φιλοσοφία σχεδιασμού, γνωστή ως «βιοφιλικός σχεδιασμός», που στοχεύει στην επανένταξη της φύσης στα σύγχρονα δομημένα περιβάλλοντα μέσω της ενσωμάτωσης στοιχείων και χαρακτηριστικών της

φύσης (Yildirim, Gocer, Globa, & Brambilla, 2023). Η εμπειρία της φύσης στον εσωτερικό χώρο, στο πλαίσιο του ανθρώπινο-κεντρικού σχεδιασμού, μπορεί να θεωρηθεί ως το κεντρικό σημείο του βιοφιλικού σχεδιασμού (Dalay, 2020).

Σχετικά με την πηγή του φαινομένου της βιοφιλίας υπάρχουν δυο οπτικές. Η πρώτη πηγή της βιοφιλίας συνδέεται με την εξελικτική μνήμη του είδους. Οι πρόγονοι αντλούσαν πληροφορίες από τη φύση (φυτά, φωτισμός, νερό, ζώα), με σκοπό την επιβίωση. Η δεύτερη οπτική αναφέρει ότι η πηγή της βιοφιλίας εντοπίζεται στους γεωμετρικούς κανόνες των βιολογικών μορφών, που ακολουθούν κοινά πρότυπα με το ανθρώπινο είδος. Οι μηχανισμοί που χρησιμοποιούνται έρχονται σε παραλληλία ή ταυτίζονται με την οργάνωση των βιολογικών συστημάτων (Salingaros, 2015, σ. 9). Η αρχιτεκτονική είναι το μέσο που επιτρέπει τον σχεδιασμό αυτό χρησιμοποιώντας την συνύπαρξη δομημένου περιβάλλοντος, φύσης και ανθρώπων. (Wijesooriya, Brambilla, & Markauskaite, 2022, σσ. 50-51). Την τελευταία δεκαετία έχει αναπτυχθεί ακόμα περισσότερο η ανάγκη της σύνδεσης του ανθρώπου με τη φύση, με σκοπό τη βελτίωση της υγείας και αίσθηση ευημερίας. (Zhong, Schroder, & Bekkering, 2022, p. 114). Η σύνδεση με τη φύση συμβάλει στην ευημερία των χρηστών και την αίσθηση ικανοποίησης.



Εικόνα 3- Συνδέσεις ανθρώπου-φύσης και δομημένου περιβάλλοντος

Ως προς τα βιοφιλικά χαρακτηριστικά, ο S.Kellert et al (Kellert, Heerwagen, & Mador, 2008) ορίζει 24 βιοφιλικά χαρακτηριστικά και Browning et al (Browning, Ryan, & Clancy,

2014) 14 μοτίβα που συνδέουν τη φύση με το δομημένο περιβάλλον. Ομαδοποιούνται σε 3 βασικές κατηγορίες:

A) Η φύση μέσα στα μοτίβα του περιβάλλοντος (Nature in the Space Patterns)

1. Οπτική σύνδεση με τη φύση
2. Μη οπτική σύνδεση με τη φύση
3. Μη ρυθμικά αισθητηριακά ερεθίσματα
4. Μεταβλητότητα θερμοκρασίας και ροής αέρα
5. Παρουσία νερού
6. Δυναμικός και διάχυτος φωτισμός
7. Σύνδεση με φυσικά συστήματα

B) Φυσικές αναλογίες (Natural Analogues)

8. Βιομορφικές μορφές και μοτίβα
9. Σύνδεση υλικών με τη φύση (Material Connection with Nature)
10. Πολυπλοκότητα και τάξη

C) Φύση του χώρου (Nature of the Space Patterns)

11. Προοπτική / θέαση
12. Καταφύγιο
13. Μυστήριο
14. Κίνδυνος ή αίσθηση πρόκλησης (Browning, Ryan, & Clancy, 2014, σ. 5)

Σε μία προσπάθεια ομαδοποίησης των παραπάνω μοτίβων οι (Lei, Lau, Yuan, & Qi, 2022), καταλήγουν και προτείνουν 9 βιοφιλικά χαρακτηριστικά. Αυτά είναι τα εξής:

1. Πράσινο/Βλάστηση
2. Φυσικό Φως
3. Φυσικά χρώματα
4. Θερμική άνεση και ροή αέρα
5. Ποιότητα αέρα
6. Βιοποικιλότητα
7. Δημιούργημα τέχνης
8. Φυσικά υλικά
9. Φόρμες και διάταξη κτιρίου

Ο βιοφιλικός σχεδιασμός στοχεύει στην ενσωμάτωση αυτών των στοιχείων στο κτιριακό περιβάλλον. (Lei, Yuan, & Lau, 2021). Αυτό επιτυγχάνεται μέσω του εντοπισμού των αδυναμιών του σύγχρονου σχεδιασμού και της δημιουργίας νέου πλαισίου με σκοπό τη βελτίωση της εμπειρίας των χρηστών μέσα στο εσωτερικό περιβάλλον. (Kellert & Calabrese, 2015, σ. 6).

Με βάση το επίπεδο εμπειρίας με τη φύση, ο βιοφιλικός σχεδιασμός διακρίνεται σε τρεις κατηγορίες:

- **Άμεση Επαφή με τη Φύση:** Περιλαμβάνει πραγματική αλληλεπίδραση με στοιχεία της φύσης στο δομημένο περιβάλλον, όπως φυσικό φως, αέρας, φυτά, ζώα και νερό.
- **Έμμεση Επαφή με τη Φύση:** Αναφέρεται σε επαφή με αναπαραστάσεις της φύσης, και περιλαμβάνει χρήση φυσικών υλικών, χρωμάτων και μορφών, γεωμετρικών μορφών καθώς και τη βιομίμηση.
- **Εμπειρία Χώρου και Τόπου:** Εστιάζει σε χωρικά χαρακτηριστικά της φύσης που ενισχύουν την υγεία και την ευεξία, όπως η αίσθηση προοπτικής και καταφυγίου, η οργανωμένη πολυπλοκότητα και η μετάβαση. (Kellert & Calabrese, The practice of Biophilic Design, 2015, σ. 10).



Εικόνα 4- Αριστερά: Fallingwater- Frank Lloyd Wright (άμεση επαφή με τη φύση).- Πηγή: <https://www.homesandgardens.com> (30/05/2026), Κέντρο: Brookfield Place, Allen Lambert Galleria- Santiago Calatrava (έμμεση επαφή με τη φύση-Βιομίμηση)-Πηγή: <https://www.minube.it> (22/03/2026), Δεξιά: Henderson Waves Bridge- RSP Architects Planners & Engineers Pte Ltd και IJP Architects (Εμπειρία χώρου-καταφύγιο)-Πηγή: <https://citydays.com> (30/05/2026)

Ένας άλλος εννοιολογικός διαχωρισμός γίνεται επίσης από τον S. Kellert, όπου δίνει δύο νέες διαστάσεις για το βιοφιλικό σχεδιασμό:

- **Οργανικός (ή νατουραλιστικός) σχεδιασμός:** αφορά τη χρήση μορφών και σχημάτων στα κτίρια και το τοπίο που, είτε άμεσα είτε έμμεσα, είτε με συμβολικό τρόπο, ενισχύουν τη φυσική σύνδεση των ανθρώπων με το περιβάλλον. Η σύνδεση αυτή

επιτυγχάνεται μέσα από στοιχεία όπως ο φυσικός φωτισμός, ο αερισμός και τα υλικά, η παρουσία νερού και φυτών, η διακόσμηση που μιμείται φυσικές μορφές και διαδικασίες, καθώς και άλλες σχεδιαστικές τεχνικές.

- **Τοπικός σχεδιασμός:** αναφέρεται σε κτίρια και περιβάλλοντα που ενισχύουν την αίσθηση του τόπου, συνδέοντας τον πολιτισμό, την ιστορία και την οικολογία με το γεωγραφικό πλαίσιο στο οποίο βρίσκονται (Kellert S. , 2006, σ. 10).

2.3.2 Βιομίμηση

Όπως παρουσιάστηκε παραπάνω η βιομίμηση αποτελεί μια μορφή έμπνευσης επαφής με τη φύση και χρησιμοποιείται στο πλαίσιο του βιοφιλικού σχεδιασμού (Kellert & Calabrese , 2015, σ. 10). Η βιομίμηση αξιοποιεί στοιχεία της φύσης ως έμπνευση για τον σχεδιασμό. (Pawllyn, 2016). Αυτό επιτυγχάνεται με τη μίμηση, την έμπνευση ή την αναπαραγωγή μορφών και διεργασιών που προέρχονται από βιολογικά συστήματα (El-Zeiny, 2012, σ. 503).

Παρατηρούμε ότι εκτός από τη βιομίμηση, εμφανίζονται και άλλοι συγγενείς όροι όπως “bio-inspired” (εμπνευσμένα από τη φύση), βιομορφικός (biomorphic) και βιοχρήση (bio-utilisation). Ο πρώτος όρος συνδέεται περισσότερο με την αντιγραφή ετυμολογικά, καθώς εμπεριέχει τη δυνατότητα εξέλιξης κάτι πέραν από τη βιολογία. Η έννοια του «βιομορφισμού» χρησιμοποιείται ευρέως από αρχιτέκτονες τον 20^ο αιώνα ως συμβολική σύνδεση με τη χρήση μη συμβατικών μορφών κατά τον σχεδιασμό τους. (Pawllyn, 2016). Η ανάλυση της αλληλεπίδρασης ζώων και φυτών με το περιβάλλον προσφέρει πολύτιμα μαθήματα για το βιώσιμο σχεδιασμό. Όπως τα ζώα διαθέτουν συστήματα (σκελετικό, κυκλοφορικό, ανοσοποιητικό, πεπτικό, αισθητηριακό), έτσι και τα κτίρια διαθέτουν αντίστοιχα συστήματα για τη δομή, κυκλοφορία, ενέργεια και χρήση νερού, θερμότητα κ.α. Η θεώρηση του κτιρίου ως ένα δίκτυο συστημάτων που αλληλοεπιδρούν με το περιβάλλον, μπορεί να εμπνευστεί από τις αντίστοιχες προσαρμογές των ζώων στο οικολογικό τους πλαίσιο. (Mazzoleni, 2013, σ. 4)

Η βιομίμηση χρησιμοποιείται στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό, στην επιστήμη των υλικών και στη χημεία με σκοπό την επίλυση μηχανικών προβλημάτων. (Al-Obaidi, Azzam Ismail, Hussein, & Abdul Rahman, 2017, σ. 1473). Οι σχεδιαστικές προσεγγίσεις της βιομίμησης χωρίζονται σε δύο κατηγορίες,

- **(Problem-based approach ή Top-Down Approach):** Η προσέγγιση αυτή βασίζεται στο πρόβλημα. Οι σχεδιαστές εντοπίζουν το πρόβλημα και αναζητούν στη βιολογία τη λύση του
- **(Solution-based approach ή Bottom-Up Approach):** Η προσέγγιση είναι βασισμένη στη λύση. Ξεκινάει με την γνώση μίας βιολογικής λειτουργίας και γίνεται η αναπαραγωγή και αναπροσαρμογή της για να λυθεί ένα σχεδιαστικό πρόβλημα (El-Zeiny, 2012, σ. 506).

Τα επίπεδα ενδιαφέροντος της φύσης αφορούν τον οργανισμό, τη συμπεριφορά και το οικοσύστημα (Al-Obaidi, Azzam Ismail, Hussein, & Abdul Rahman, 2017, σ. 1473) (Hosseini, Mohammadi, Rosemann, Schröder, & Lichtenberg, 2019, p. 194).

Επίπεδο οργανισμού: Αφορά τη μίμηση του ίδιου του οργανισμού ενός φυτού ή ζώου.

Επίπεδο συμπεριφοράς: Αφορά την μετάφραση μια συμπεριφοράς ή γενικής συσχέτισης με τη φύση σε γενικότερο επίπεδο.

Επίπεδο οικοσυστήματος: Αφορά τη μίμηση κοινών αρχών που τους επιτρέπουν την επιτυχή λειτουργία. (Zari, 2007). (Badarnah, 2017, σ. 5) Σε δεύτερο επίπεδο ανάλυσης, ο Zari προτείνει έναν επιπλέον επιμερισμό, στις τρεις παραπάνω κατηγορίες. Το δεύτερο επίπεδο αφορά την μορφή, υλικό, κατασκευή, διαδικασία και λειτουργία. (Zari, 2007). Σχετικά με τη μέθοδο εφαρμογής διακρίνεται η άμεση και έμμεση προσέγγιση που βασίζεται στον τρόπο με τον οποίο αντλούνται και εφαρμόζονται στοιχεία από τη φύση. Η εφαρμογή της άμεσης προσέγγισης εξετάζει τη δυνατότητα μετάφρασης συγκεκριμένων φυσικών συστημάτων στο δομημένο σύστημα, με αναφορά συγκεκριμένο οργανισμό. Η έμμεση προσέγγιση αντλεί αρχές και έννοιες από τη φύση ως διαδικασία γενίκευσης. Αυτό υποδεικνύει ότι η άμεση προσέγγιση προτιμά τη χρήση συγκεκριμένων συστημάτων μίμησης, ενώ η έμμεση προσέγγιση μπορεί να χρησιμοποιηθεί καλύτερα ως ένα γενικό σύστημα μίμησης, βάσει της διαδικασίας του πλαισίου (Gamage & Hyde, 2012, σ. 231).

Σχετικά με το φωτισμό στα κτίρια, η βιομίμηση μπορεί να προσφέρει πολλαπλές λύσεις. Το κέλυφος λειτουργεί ως ρυθμιστής του φωτός. Ορισμένοι οργανισμοί προσφέρουν παραδείγματα για τη διαχείριση του φωτός. Έχουν αναπτύξει μοναδικές προσαρμογές για τη συγκέντρωση, διάθλαση και διάχυση του φωτός, οι οποίες μπορούν να εμπνεύσουν καινοτόμες λύσεις στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό (Pawlyn, 2016, σ. 108). Τα φυτά όπως και τα κτίρια έχουν σταθερή βάση, είναι εκτεθειμένα στις κλιματικές αλλαγές και

αντιστέκονται στις μεταβαλλόμενες κλιματικές συνθήκες. (López, Rubio, Martín, & Croxford, 2017, σ. 701). Η συνεχής αλληλεπίδραση του κτιριακού κελύφους με τις κλιματικές συνθήκες συνδέεται με τη χρήση κινούμενων συστημάτων σκίασης και μεταβαλλόμενων προσώπων. Ο αρχιτεκτονικός σχεδιασμός μπορεί να προσφέρει λύσεις μέσω μηχανισμών, μορφολογίας και υλικών. (Hosseini, Mohammadi, Rosemann, Schröder, & Lichtenberg, 2019, σ. 191). Ο συνδυασμός βιομίμησης, τεχνολογίας και αρχιτεκτονικής ενδυναμώνει/ενισχύει την ιδέα του κινητικού μοντέλου. (Hosseini, Mohammadi, Rosemann, Schröder, & Lichtenberg, 2019, p. 191), με το αρχιτεκτονικό σχέδιο να αφορά την ιδέα, τη μορφολογική προσέγγιση και η τεχνολογία σχετίζεται με τους μηχανισμούς και την κίνηση (Hosseini, Mohammadi, Rosemann, Schröder, & Lichtenberg, 2019, p. 191&201). Ακόμα, οι βιολογικές λύσεις που δίνονται σε διάφορα ερωτήματα μπορεί να είναι περίπλοκες και να αφορούν πολλά επίπεδα λειτουργίας του κτιρίου, για αυτό το συμβατικό στατικό κτίριο μπορεί να αποκτήσει μία νέα προσαρμοζόμενη μορφή (Al-Obaidi, Azzam Ismail, Hussein, & Abdul Rahman, 2017, σ. 1473).

Ωστόσο, επισημαίνεται ότι η επιφανειακή αντιγραφή μίας οργανικής φόρμας, δεν επιφέρει την ίδια επίδραση στους χρήστες με μία ουσιαστικά εμπνευσμένη λύση, καθώς ουσιαστικά παράγεται ένα αφηρημένο γλυπτό αντί για βιομιμητικό σύστημα. Η στείρα μίμηση δεν αποτελεί έμπνευση από τη φύση- ζητούμενο αποτελεί η κατανόηση της φύσης και των λειτουργιών της. (Salingaros, 2015, σ. 24)

2.3.3 Στρατηγικές βιοφιλικού σχεδιασμού- αισθητική και οπτική άνεση

Ο βιοφιλικός σχεδιασμός στοχεύει στην δημιουργία χώρων που συνδέονται με τη φύση με σκοπό την ευημερία των χρηστών. Τα οφέλη της ενσωμάτωσης της φύσης σε ένα εσωτερικό περιβάλλον μπορούν να χωριστούν σε τρεις κατηγορίες:

Γνωστικά οφέλη: Η σύνδεση με τη φύση μπορεί να «ξεκουράσει» τις γνωστικές λειτουργίες. Κατά την εστίαση στην εργασία παρατηρείται καλύτερη πνευματική λειτουργία και απόδοση.

Ψυχολογικά οφέλη: Η ένταξη του φυσικού περιβάλλοντος μπορεί να μειώσει το άγχος και την ψυχολογική κόπωση.

Σωματικά οφέλη: Παρατηρούνται μεταβολές στο μυοσκελετικό σύστημα (χαλάρωση των μυών), και στο αναπνευστικό σύστημα, μείωση της διαστολικής πίεσης και συγχρονισμός του κερκάρδιου ρυθμού (Browning, Ryan, & Clancy, 2014, σ. 11).

Η σύνδεση με το εξωτερικό περιβάλλον μπορεί να επιτευχθεί με τον φυσικό φωτισμό και τη θέα στον εξωτερικό χώρο ή με τη χρήση βιομιμητικών μοντέλων. Οι βιοφιλικές ποιότητες μπορούν να γίνουν αντιληπτές με τελείως διαφορετικό τρόπο ανάλογα με την απόσταση παρατήρησης. Ένα κτίριο μπορεί να χαρακτηριστεί βιοφίλικό παρατηρώντας από μακριά αλλά όχι κοντά σε αυτό ή το αντίθετο. Ακόμα, ένα κτίριο μπορεί να μην εμφανίζει βιοφιλικά κατασκευαστικά χαρακτηριστικά, αλλά να ορίζεται ως βιοφίλικό με βάση το «άνοιγμά» του στο φυσικό περιβάλλον. (Salingaros, 2015, σ. 9). Έτσι, η βιοφιλία μπορεί να μεταβάλλει την αισθητική ενός χώρου με την ένταξη στοιχείων της στα εσωτερικά στοιχεία, αλλά και στο εξωτερικό περιβάλλον ή περίβλημα του κτιρίου. (Dalay, 2020).

Ο φυσικός φωτισμός εισέρχεται στον εσωτερικό χώρο μέσα από τα ανοίγματα του κελύφους, φέρνοντας σε επαφή τον χρήστη με το φυσικό περιβάλλον και προσφέροντας πλαίσιο αναφοράς ως προς τον χρόνο και τη θέση του στο χώρο (Boubekri, 2014, σ. 36). Το ηλιακό φως προσδίδει ποιότητα στους χώρους διαβίωσης ή εργασίας. Τα επιθυμητά επίπεδα φωτισμού εξαρτώνται από τη δραστηριότητα που εκτελείται σε κάθε χώρο, και οι συνθήκες που δημιουργούνται ερμηνεύονται θετικά ή αρνητικά από τους χρήστες. (Boubekri, 2014, σ. 48). Σε ένα εσωτερικό περιβάλλον, αναζητούμε αισθητηριακά στοιχεία που ανταποκρίνονται στη φυσική μας υπόσταση (Salingaros, 2015), με τη φύση να αποτελεί πρωταρχικό σημείο σύνδεσης. Η αισθητική αντίληψη εξαρτάται από τη νευρολογική επεξεργασία οπτικών πληροφοριών. Ο πρώτος παράγοντας που την επηρεάζει είναι η ατμόσφαιρα του χώρου και η στιγμιαία αντίληψή της (Böhme, 1993). Τα ανθρώπινα αισθητήρια όργανα και συστήματα εξελίχθηκαν ώστε να ανταποκρίνονται στις φυσικές γεωμετρίες, οι οποίες χαρακτηρίζονται από χρώματα, φράκταλ, κλίμακα και σύνθετες συμμετρίες, που συμβάλλουν στη δημιουργία χώρων αίσθησης οικειότητας και άνεσης. (Salingaros, 2015, σ. 9).

Με βάση την παραπάνω ανάλυση, οι βασικές στρατηγικές βιοφιλικού σχεδιασμού για αισθητική και οπτική άνεση συνοψίζονται στις παρακάτω:

- **Μεγιστοποίηση και έλεγχος του φυσικού φωτισμού:** διασφάλιση επαρκούς φωτισμού χωρίς υπέρβαση των ορίων DGP, μέσω ρυθμιζόμενων ανοιγμάτων.

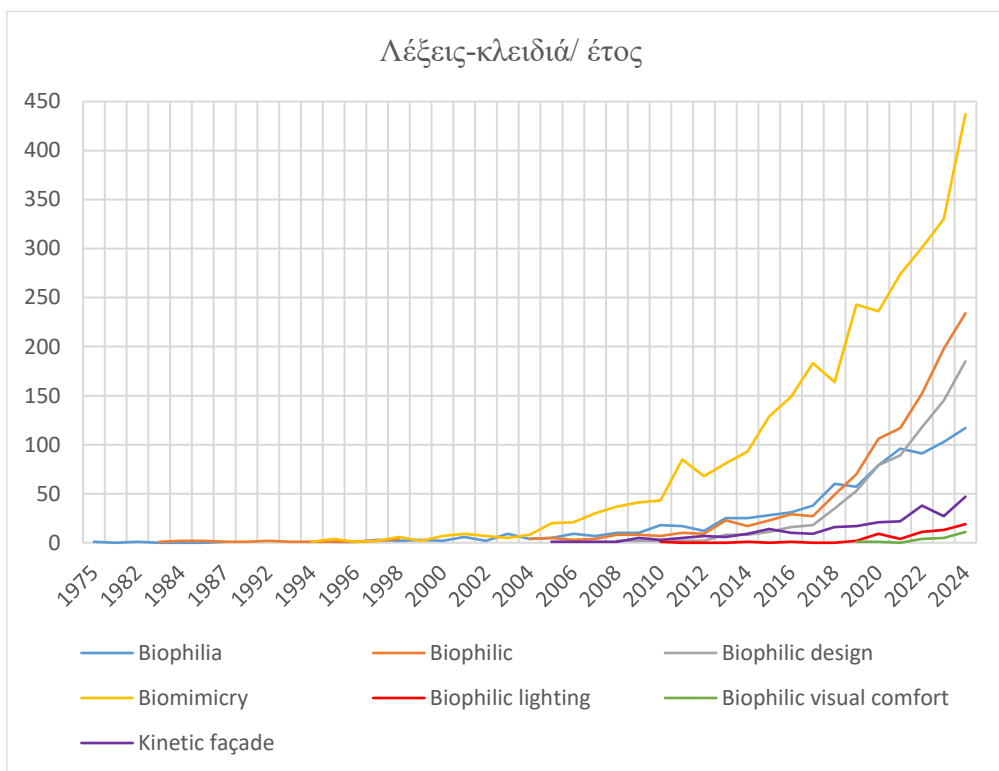
- **Διασύνδεση με το εξωτερικό περιβάλλον:** διατήρηση οπτικής επαφής με τη φύση μέσω σχεδιασμού της θέασης από τη θέση εργασίας μέσω του σχεδιασμού των ανοιγμάτων.
- **Ενσωμάτωση φυσικών στοιχείων και υλικών στο χώρο:** χρήση φυσικών υλικών ή χρωμάτων που δημιουργούν αίσθηση οικειότητας στον χρήστη.
- **Αξιοποίηση φυσικών μοτίβων στην πρόσοψη:** χρήση γεωμετριών, fractal και βιομιμητικών μοτίβων που λειτουργούν ταυτόχρονα ως αισθητικό στοιχείο αλλά και ως ρυθμιστής του φωτός στον χώρο.
- **Δυναμική προσαρμογή του κελύφους:** ενσωμάτωση κινητικών στοιχείων που ακολουθούν την ηλιακή τροχιά και τις μεταβαλλόμενες ανάγκες των χρηστών.

2.4 Βιβλιογραφική ανασκόπηση

Η βιβλιογραφική ανασκόπηση που ακολουθεί στοχεύει να εντοπίσει τα ερευνητικά κενά μέσα από τη συστηματική επισκόπηση της υφιστάμενης βιβλιογραφίας σχετικά με την ανάλυση και εφαρμογή του βιοφιλικού σχεδιασμού και της βιομίμησης στην αρχιτεκτονική. Επιδιώκεται η συλλογή και η κατανόηση της υφιστάμενης γνώσης, η ανάδειξη των βασικών τάσεων της έρευνας καθώς και ο εντοπισμός των πεδίων που χρήζουν περαιτέρω διερεύνησης.

2.4.1 Συλλογή βιβλιογραφικού υλικού

Για την αναζήτηση των κατάλληλων πηγών χρησιμοποιήθηκαν οι βιβλιογραφικές βάσεις Scopus, Elsevier, MDPI Sustainability, Taylor & Francis Group και Springer Link. Οι λέξεις-κλειδιά που αναζητήθηκαν είναι: «biophilia», «biophilic design», «biophilic lighting», «biomimicry», «biophilia visual comfort», «kinetic façade». Στο διάγραμμα 2 παρουσιάζεται η συχνότητα εμφάνισης των λέξεων-κλειδίων ανά έτος, με βάση εξαγωγή από το Scopus την 1 Φεβρουαρίου 2025.



Διάγραμμα 2- Λέξεις-κλειδιά ανά έτος (εξαγωγή αποτελεσμάτων και οπτικοποίηση από τον συγγραφέα, πηγή δεδομένων <https://www.scopus.com/> (αντλήθηκαν 01-02-2025))

Παρατηρείται αυξανόμενη χρήση των λέξεων-κλειδιών από τους επιστήμονες τα τελευταία είκοσι χρόνια, γεγονός που αντανακλά το ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας για τον βιοφιλικό σχεδιασμό και τη βιομίμηση. Οι δημοσιεύσεις αυξάνονται με ταχείς ρυθμούς την τελευταία δεκαετία, με τη βιομίμηση να κερδίζει σταδιακά έδαφος στην έρευνα. Η συσχέτιση της βιοφιλίας με το φωτισμό και την οπτική άνεση εμφανίζεται σε ερευνητικά άρθρα τα τελευταία 15 χρόνια, αλλά αποτελεί μικρό δείγμα δείχνοντας την ανάγκη για περισσότερη έρευνα.

Σε όλες τις βάσεις, η αναζήτηση πραγματοποιήθηκε με δύο διαδοχικές ταξινομήσεις: αρχικά από την πιο πρόσφατη προς την παλαιότερη δημοσίευση και στη συνέχεια κατά αριθμό ετεροαναφορών (citations) σε φθίνουσα σειρά. Από τη μελέτη των πρωτογενώς συλλεχθέντων άρθρων, εξετάστηκαν επιπλέον οι αναφορές των ίδιων των ερευνητών για τον εντοπισμό πρόσθετων βιβλιογραφικών πηγών.

Οι πηγές που επιλέγονται και αναλύονται στην επόμενη υποενότητα ομαδοποιούνται σε εκείνες που σχετίζονται με τη βιοφιλία και σε εκείνες που σχετίζονται με τη βιομίμηση. Σε μια δεύτερη ανάλυση, οι πηγές μπορούν να ομαδοποιηθούν ανάλογα με το είδος των αποτελεσμάτων που εξάγουν και τη μεθοδολογική τους προσέγγιση, διακρίνοντας τις

ποιοτικές από τις ποσοτικές έρευνες. Οι ποιοτικές μελέτες εστιάζουν κυρίως στις εμπειρίες, τις αντιλήψεις και τις προτιμήσεις των χρηστών σχετικά με την ενσωμάτωση βιοφιλικών στοιχείων στον χώρο, αξιοποιώντας μεθόδους όπως ερωτηματολόγια ή συνεντεύξεις. Αντίθετα, οι ποσοτικές μελέτες βασίζονται στη συλλογή και ανάλυση μετρήσιμων δεδομένων, όπως τα επίπεδα φωτισμού, η θερμοκρασία, η σχετική υγρασία, η ποιότητα του αέρα ή άλλοι περιβαλλοντικοί και φυσιολογικοί δείκτες, με τη χρήση προσομοιώσεων, πειραμάτων ή μετρήσεων σε πραγματικές συνθήκες με στόχο την αξιολόγηση της επίδρασης των βιοφιλικών στρατηγικών στο δομημένο περιβάλλον και στους χρήστες του. Συνοπτικά παρουσιάζονται τα αποτελέσματα παρακάτω:

No	Πηγή	Έτος	Αντικείμενο	Προσέγγιση	Μεθοδολογία
1	(Ashraf & Abdin, 2024)	2024	Βιομίμηση	ποσοτική	προσομοίωση
2	(Sommese, et al., 2024)	2024	Βιομίμηση	ποσοτική	προσομοίωση
3	(Demirkol & Onaç, 2024)	2024	Βιοφιλία	ποιοτική	ερωτηματολόγια
4	(Elantary, 2024)	2024	Βιοφιλία	ποιοτική	ερωτηματολόγια
5	(Zhong, Schroeder, & Bekkering, 2023)	2023	Βιοφιλία	ποιοτική	μελέτες περιπτώσεων
6	(Hosseini, Mohammadi, Schröder, & Guerra-Santin, 2021)	2021	Βιομίμηση	ποσοτική	προσομοίωση
7	(Sanchez, Ikaga, & Sanchez, 2018)	2021	Βιοφιλία	ποσοτική	πείραμα
8	(Lei, Yuan, & Lau, 2021)	2021	Βιοφιλία	ποσοτική/ποιοτική	πείραμα
9	(Parsaee, et al., 2021)	2021	Βιοφιλία	ποσοτική/ποιοτική	πείραμα/κατασκευή/προσομοίωση
10	(Hosseini, Fadli, & Mohammadi, 2021)	2020	Βιομίμηση	ποσοτική	προσομοίωση
11	(López, Rubio, Martín, & Croxford, 2017)	2017	Βιομίμηση	ποιοτική	μελέτες περιπτώσεων
12	(Lopez, Rubio, Martin, & Jackson, 2015)	2015	Βιομίμηση	ποσοτική	πείραμα
13	(Yu, Fan, Lou, & Zhang, 2013)	2013	Βιομίμηση	ποσοτική	πείραμα/κατασκευή

Πίνακας 1- Βιβλιογραφική ανασκόπηση πηγών

2.4.2 Μελέτες περίπτωσης

Στη βιβλιογραφία, υπάρχουν μελέτες που επικεντρώνονται στα βιοφιλικά στοιχεία και άλλες σε βιομιμητικές προσόψεις. Οι μελέτες που αφορούν τη βιοφιλία, στηρίζονται κυρίως στην ύπαρξη πρασίνου στον χώρο ή την είσοδο φυσικού φωτισμού μέσα σε αυτόν. Οι

Sanchez et al (Sanchez, Ikaga, & Sanchez, 2018) πραγματοποιούν ένα πιλοτικό πείραμα με τη χρήση πρασίνου και φυσικού φωτισμού. Οι (Zhong, Schroeder, & Bekkering, 2023) ανέλυσαν την σύνδεση βιωσιμότητας και «πράσινης αρχιτεκτονικής», μέσω μελετών περιπτώσεων κτιρίων που έχουν ενσωματώσει στοιχεία της φύσης στον σχεδιασμό τους, δημιουργώντας «πράσινες τσέπες». Τα ευρήματα συμφωνούν ότι ο φυσικός φωτισμός βελτιώνει την απόδοση των εργαζομένων σε δημιουργικές δραστηριότητες και ότι, σε συνδυασμό με την ύπαρξη πρασίνου, μειώνει την αντιληπτή αίσθηση φόρτου στην εργασία (Sanchez, Ikaga, & Sanchez, 2018). Η εκτεταμένη παρουσία πρασίνου σε ένα χώρο έχει οφέλη όπως τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης σε ψύξη και αερισμό, (Han & Li-Wen, 2020) καθώς και τη μείωση αιωρούμενων σωματιδίων (PM), και συγκεντρώσεων VOCs και CO₂. (Zhong, Schroeder, & Bekkering, 2023).

Οι Demirkol και Onas (Demirkol & Onas, 2024) χρησιμοποίησαν τρισδιάστατες απεικονίσεις του χώρου και ερεύνησαν την επίδρασή των βιοφιλικών προτύπων στους εργαζόμενους μέσω ερωτηματολογίων. Η βιοφιλική προσέγγιση των (Parsaee, et al., 2021) βασίζεται στην σύνδεση των ενοίκων με το φυσικό φωτισμό και το φωτοπεριοδισμό, χρησιμοποιώντας προσομοιώσεις με τη χρήση κατάλληλου λογισμικού (Grasshopper) και τη χρήση προπλασμάτων υπό κλίμακα. Οι Lei et al. πραγματοποιούν πειράματα σε πραγματικούς και εικονικούς χώρους τοποθετώντας πράσινο σε διαφορετικά ποσοστά, ερευνώντας ποσοτικά εκτός από ποιοτικά, καθώς τα αποτελέσματά τους δεν αφορούν μόνο την ψυχική υγεία, αλλά και δείκτες ψυχοφυσιολογικής απόκρισης-γίνονται μετρήσεις καρδιακών παλμών (HRV), ηλεκτροδερματικής δραστηριότητας (EDA), εγκεφαλογραφήματος (EEG) (Lei, Yuan, & Lau, 2021). Σε όλες τις περιπτώσεις παρατηρούμε ότι η αναφορά στην ευημερία των εργαζομένων κυριαρχεί, αλλά τα δείγματα παραμένουν περιορισμένα και η διερεύνηση σε διαφορετικές κλιματικές ζώνες υπολείπεται.

No	Πηγή	Έτος	Βιοφιλικό στοιχείο	Μεθοδολογία
1	(Demirkol & Ona, 2024)	2024	Φυσικός φωτισμός Χρήση φυσικών υλικών Θέα με το εξωτερικό περιβάλλον	ερωτηματολόγιο σε ειδικούς (αρχιτέκτονες, σχεδιαστές, ψυχίατροι, ψυχολόγοι)
2	(Elantary, 2024)	2024	Χρήση φυτών Χρήση φυσικών υλικών Φυσικός φωτισμός	Χρήση ερωτηματολογίων
3	(Zhong, Schroeder, & Bekkering, 2023)	2023	Χρήση φυσικών υλικών Φυσικός φωτισμός	Μελέτη περιπτώσεων κτιρίων
4	(Sanchez, Ikaga, & Sanchez, 2018)	2021	Χρήση πρασίνου Φυσικός φωτισμός	πilotικό πείραμα με παρουσία πρασίνου και φυσικού φωτισμού (t- light tube)
5	(Lei, Yuan, & Lau, 2021)	2021	Χρήση πρασίνου	Χρήση πειραματικών δωματίων (4 φυσικά κ 1 εικονικό) με παρουσία διαφόρων ποσοστών πρασίνου
6	(Parsaee, et al., 2021)	2021	Φυσικός φωτισμός	Χρήση αριθμητικών και πειραματικών μοντέλων

Πίνακας 2- Βιβλιογραφική επισκόπηση χρήσης βιοφιλικών στοιχείων

Ακολουθούν οι μελέτες που αναφέρονται στη βιομιμητική και την σύνδεσή της με τις κινούμενες προσόψεις. Χρησιμοποιώντας πρότυπα από τη φύση και τη βιολογία γίνεται προσπάθεια να μεταφραστούν σε σχεδιαστικές λύσεις στο κτιριακό περιβάλλον. Οι στρατηγικές από τη φύση έχουν ως στόχο την επίτευξη οπτικής, θερμικής άνεσης, μείωση θάμβωσης, σταθεροποίηση επιπέδων υγρασίας κ.α. Θα επικεντρωθούμε στις μελέτες που αφορούν τη οπτική άνεση. Επικεντρώνοντας στην οπτική άνεση κατά την βιβλιογραφική ανασκόπηση, παρατηρείται ότι το μεγαλύτερο μέρος των μελετητών χρησιμοποιεί τα φυτά ως πηγή έμπνευσης για δυναμικές/κινούμενες προσόψεις. Ως μορφολογική αναφορά, χρησιμοποιείται η δομή του δέντρου (Hosseini, Fadli, & Mohammadi, 2021), αλλά και τα φύλλα ή οι σπόροι των φυτών (López, Rubio, Martín, & Croxford, 2017), τα στόματά τους

(Hosseini, Mohammadi, Schröder, & Guerra-Santin, 2021), (Lopez, Rubio, Martin, & Jackson, 2015), ή μεμονωμένες περιπτώσεις όπως τα φυτά *Salvia officinalis*, *Kalanchoe pumila*, *Mesembryanthemums* (López, Rubio, Martín, & Croxford, 2017), τον κάκτο *Saguaro* (Ashraf & Abdin, 2024) ή το φυτό Γκαζάνια (Sommese, et al., 2024). Σε άλλες περιπτώσεις που χρησιμοποιούνται έμβιοι οργανισμοί όπως πεταλούδες, σκαθάρια κ.α. (Yu, Fan, Lou, & Zhang, 2013), ή χρησιμοποιείται η δομή του DNA (Sankaewthong, Horanont, Miyata, & Karnjana, 2021). Τα μεθοδολογικά εργαλεία που χρησιμοποιούνται για την έρευνα περιλαμβάνουν προγράμματα προσομοίωσης, θεωρητικές προτάσεις, κατασκευές προπλάσμάτων και πειράματα.

Παρατηρούμε ότι γίνεται συσχέτιση της κινούμενης πρόσοψης ενός κτιρίου με τη θέση των εργαζομένων, αλλά δεν λαμβάνονται υπόψη άλλα δυναμικά στοιχεία κατά τη διάρκεια της εργασίας (προσθήκη ατόμων, φωτισμός που προέρχεται από οθόνες) και δεν μετράται συστηματικά ο δείκτης πιθανότητας θάμβωσης. (Hosseini, Mohammadi, Schröder, & Guerra-Santin, 2021). Ακόμα, σε πολλές περιπτώσεις δεν γίνεται λεπτομερής ανάλυση των υλικών που χρησιμοποιούνται στις κινούμενες όψεις, ζήτημα που χρήζει περαιτέρω έρευνας. (Hosseini, Mohammadi, Schröder, & Guerra-Santin, 2021), (Ashraf & Abdin, 2024), (Sommese, et al., 2024). Οι (Hosseini, Fadli, & Mohammadi, 2021) και (Sankaewthong, Horanont, Miyata, & Karnjana, 2021) αξιοποιούν τον δείκτη DGP για την μέτρηση της απόδοσης των βιομιμητικών προσώπων. Οι (Sommese, et al., 2024) εισάγουν την έννοια της ακτίνας εστίασης (FRR-Focal Region Radius), για βελτιωμένα αποτελέσματα στον φωτισμό των προσώπων. Στον πίνακα 3 παρουσιάζονται συνοπτικά οι περιπτώσεις που αναφέρθηκαν.

No	Πηγή	Αντικείμενο	Έτος	Έμπνευση	Προσέγγιση	Μεθοδολογία	Λογισμικό
1	(Ashraf & Abdin, 2024)	Βιομιμητικό σκίαστρο	2024	κάκτος Saguaro	μορφολογία & συμπεριφορά	μοντέλο προσομοίωσης: 3 σεναρίων: χωρίς σκίαστρο, ήμι-ανοιχτό και βιομιμητικό	Rhino Grasshopper Ladybug tools Honeybee
2	(Sommese, et al., 2024)	Κινητική όψη με βάση το φωτισμό	2024	λουλούδι Γκαζάνια	μορφολογία & συμπεριφορά	βιοιμητικό προσαρμοστικό μοντέλο (bio-AM)	Rhino Grasshopper Ladybug tools Honeybee
3	(Hosseini, Mohammadi, Schröder, & Guerra-Santin, 2021)	Βιο-εμπνευσμένη κινητική πρόσοψη	2021	στόματα φυτών	μορφολογία & συμπεριφορά	δημιουργία δυναμικής μεταβλητής ευαίσθητης περιοχής (TSA) με πλαίσια διαφορετικών μεγεθών	Rhino Grasshopper Diva
4	(Sankaewthong, Horanont, Miyata, & Karnjana, 2021)	Κινητική πρόσοψη	2021	δομή DNA-φωτοτροπισμός φυτών	μορφολογία & συμπεριφορά	μοντέλο προσομοίωσης: 3 σεναρίων: χωρίς πρόσοψη, στατική, κινητική	Wallacei Diva
5	(Hosseini, Fadli, & Mohammadi, 2021)	Κινητική πρόσοψη	2020	δέντρα	μορφολογία/ top-down	βιομιμητικό μοντέλο προσομοίωσης	Rhino Grasshopper Diva
6	(López, Rubio, Martín, & Croxford, 2017)	Στατική και κινούμενη πρόσοψη	2017	σπόροι Mesembryanthemums/ Salvia officinalis/ Kalanchoe pumila	λειτουργία	Μελέτη σχεδιασμού δυναμικού συστήματος σχεδιασμός στατικού συστήματος	-

7	(Lopez, Rubio, Martin, & Jackson, 2015)	Χρήση ενεργών υλικών	2015	στόματα φυτών	λειτουργία	Πειράματα σε υλικά και 3d/4d τεχνολογίες	-
8	(Yu, Fan, Lou, & Zhang, 2013)	Χρήση βιομιμητικών οπτικών υλικών	2013	φωτονικοί κρύσταλλοι/ πεταλούδες/ σκαθάρια / υδρόβια ζώα/ φτερά πτηνών	μορφολογία & λειτουργία	Κατασκευή με τεχνικά μέσα	-

Πίνακας 3- Βιβλιογραφική επισκόπηση, βιομιμητικών μοντέλων με στόχο τον φυσικό φωτισμό σε εσωτερικό χώρο

Η χρήση δυναμικών προσώπων εμπνευσμένων από τη φύση οδηγεί στη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των εξεταζόμενων χώρων. Η φύση αποτελεί ανεξάντλητη πηγή δημιουργίας για τους μελετητές και ο διεπιστημονικός χαρακτήρας των ερευνών αφήνει ανοιχτά περιθώρια για έρευνα σε νέες δομές, διατάξεις και προσομοιώσεις. Παρατηρείται ότι οι βιοφιλικές προσεγγίσεις έχουν κυρίως ποιοτικά αποτελέσματα, που αφορούν τις ψυχολογικές επιπτώσεις των ενοίκων, ενώ τα αποτελέσματα των βιομιμητικών προσώπων είναι σε πολλές περιπτώσεις ποσοτικά, υπολογιζόμενα με βάση δείκτες φωτισμού (sDA, UDI, EUDI) και θάμβωσης (DGP).

2.5 Σύνοψη

Στο κεφάλαιο αναλύθηκε το θεωρητικό υπόβαθρο της διπλωματικής εργασίας. Στο πρακτικό πρόβλημα τεκμηριώθηκε η ανάγκη ελεγχόμενου φυσικού φωτισμού σε χώρους γραφείων, παρουσιάστηκε η ιστορική σχέση φυσικού φωτισμού και αρχιτεκτονικής, αναλύθηκε η φυσιολογία της οπτικής αντίληψης, καταγράφηκαν τα οφέλη και τα μειονεκτήματα των δυναμικών συστημάτων σκίασης και κωδικοποιήθηκαν οι δείκτες οπτικής άνεσης. Στο ερευνητικό πρόβλημα ορίστηκαν η βιοφιλία ως έμφυτη βιολογική σύνδεση ανθρώπου-φύσης, ο βιοφιλικός σχεδιασμός ως φιλοσοφία επανένταξης της φύσης στο δομημένο περιβάλλον και η βιομίμηση ως μέθοδος μετάφρασης φυσικών αρχών σε σχεδιαστικές λύσεις. Διακρίθηκαν συγγενείς όροι (bio-inspired, βιομορφικός, βιοχρήση), παρουσιάστηκαν οι top-down/bottom-up προσεγγίσεις και τα τρία επίπεδα μίμησης (οργανισμός, συμπεριφορά, οικοσύστημα), και διατυπώθηκαν στρατηγικές βιοφιλικού σχεδιασμού για αισθητική και οπτική άνεση. Η βιβλιογραφική ανασκόπηση εντόπισε δύο διακριτές αλλά συμπληρωματικές ερευνητικές παραδόσεις: τις βιοφιλικές μελέτες, που παράγουν κυρίως ποιοτικά αποτελέσματα για την ψυχοκοινωνική επίδραση φυσικών στοιχείων, και τις βιομιμητικές μελέτες κινούμενων προσώπων, που παράγουν ποσοτικά αποτελέσματα μέσω δεικτών φωτισμού και θάμβωσης.

3 Μεθοδολογία

3.1 Εισαγωγή

Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζεται η μεθοδολογική προσέγγιση που θα ακολουθηθεί στη συνέχεια της εργασίας. Τα plug-in του Rhino, Grasshopper, Ladybug Tools, Honeybee και Radiance χρησιμοποιούνται ως εργαλεία λογισμικού για τον υπολογισμό συστημάτων σκίασης για τον έλεγχο φωτισμού στο εσωτερικό περιβάλλον τυπικού χώρου γραφείου. Στο σχεδιαστικό σκέλος, ως μοντέλα ορίζονται ένα δωμάτιο χωρίς σκίαστρα, δύο συμβατικοί τύποι σκιάστρων (με οριζόντιες και κάθετες περσίδες καθορισμένης γεωμετρίας) και συγκρίνονται με δύο βιοφιλικά σκίαστρα (με οριζόντια και κάθετη κατεύθυνση) εμπνευσμένα από τη μορφή και τη λειτουργία του φυλλώματος των δέντρων. Στο υπολογιστικό σκέλος, για κάθε σκίαστρο εξετάζονται δέκα διακριτές γωνίες σκίασης (0° – 90° ανά 10°) και επιλέγεται η ωριαία βέλτιστη γωνία ανά ώρα, δημιουργώντας ένα δυναμικό σενάριο λειτουργίας. Περιγράφεται η βασική ροή της διαδικασίας που ακολουθείται καθώς και αναλύονται τα δυνατά και αδύναμα σημεία της παρούσας έρευνας.

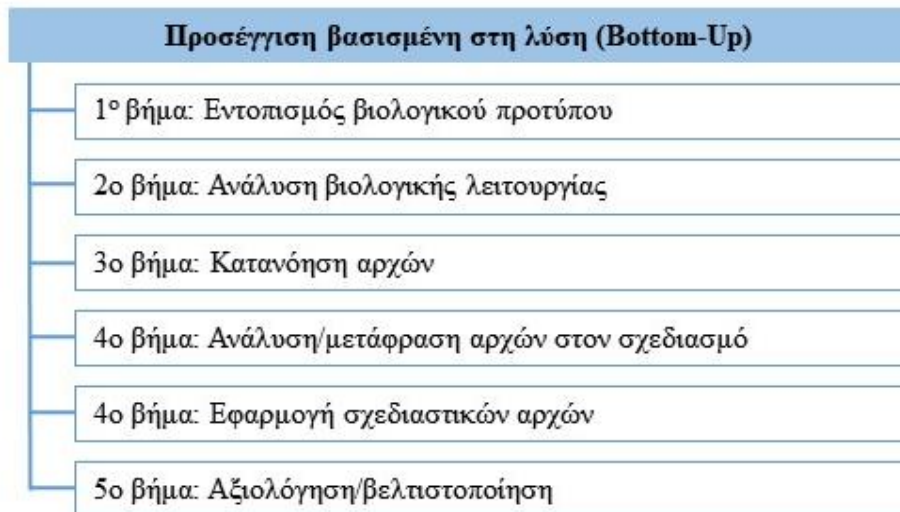
3.2 Διάγραμμα ροής της επιλογής βιοφιλικού μοντέλου

Η προσέγγιση είναι βασισμένη στη λύση (Solution-based approach ή Bottom-Up Approach). Ξεκινάει με την γνώση μίας βιολογικής λειτουργίας- τον τρόπο που το φύλλωμα των δέντρων φιλτράρει και διαχέει και κατανέμει το ηλιακό φως- και γίνεται η αναπροσαρμογή της για να εισέλθει επαρκής φυσικός φωτισμός στον εσωτερικό χώρο γραφείων, με τη χρήση σκιάστρων. Η προσέγγιση είναι μορφολογική και λειτουργική, καθώς αξιοποιείται τόσο η γεωμετρία όσο και η συμπεριφορά του φυσικού προτύπου.

Επιλέγεται η χρήση παραμετρικού σχεδιασμού για τη σχεδίαση της πρόσοψης του κτιρίου. Τα μοντέλα παραμετρικής προσομοίωσης έχουν την ικανότητα να παράγουν αλγόριθμους για τη δημιουργία κινητών μοτίβων χρησιμοποιώντας διάφορες παραμέτρους. Η προσέγγιση αυτή χρησιμοποιείται για τη μοντελοποίηση και αξιολόγηση σε πραγματικό χρόνο, χρησιμοποιώντας πολλαπλές επιλογές και μεταβλητές με σκοπό την επίτευξη των βέλτιστων αποτελεσμάτων. (Hosseini, Mohammadi, Rosemann, Schröder, & Lichtenberg, 2019, σσ. 198-200). Για την προσομοίωση του χώρου γραφείου θα χρησιμοποιηθούν τα

plug-ins Grasshopper και Ladybug Tools του Rhino, ως Building Simulation Program (BSP).

Το διάγραμμα ροής της διαδικασίας που θα ακολουθηθεί είναι το παρακάτω:



Διάγραμμα 3- Διάγραμμα ροής βασισμένης στη λύση (Bottom-Up)

3.3 Διαμόρφωση κινητικής πρόσοψης

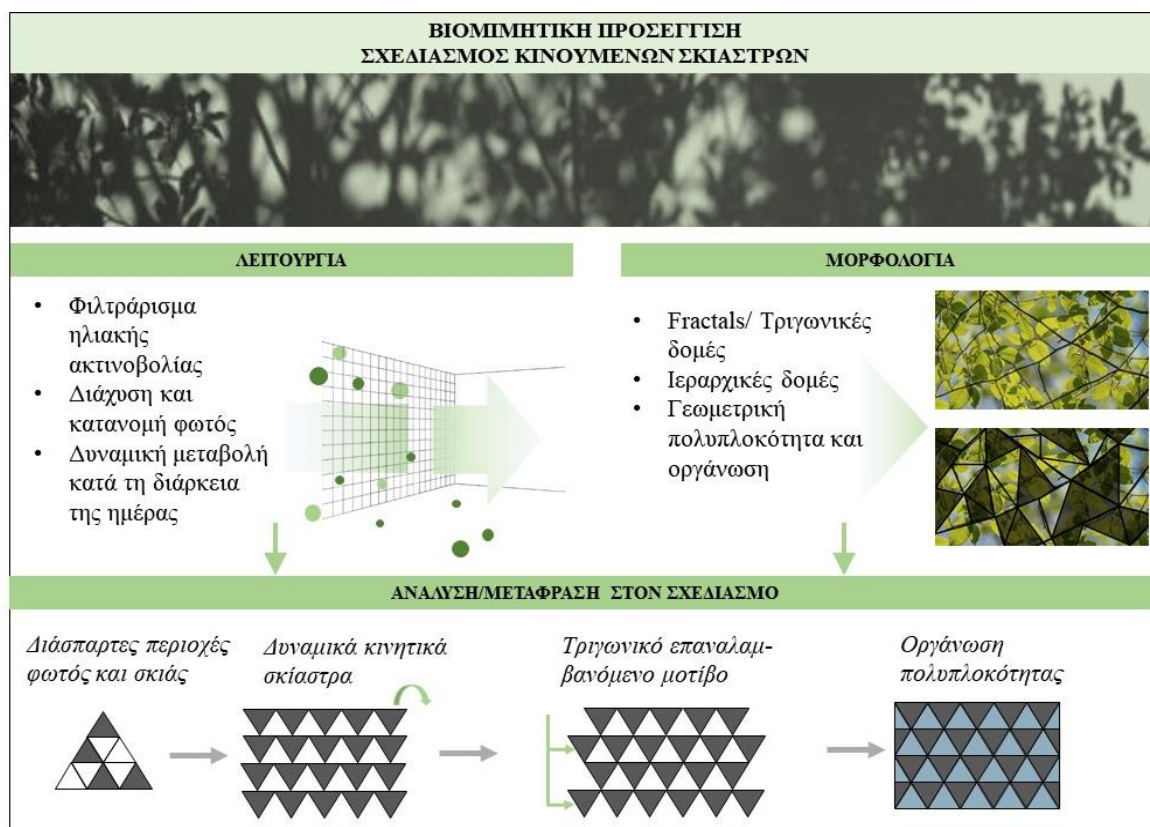
3.3.1 Βιοφιλική προσέγγιση για τον σχεδιασμό της πρόσοψης του δωματίου μελέτης

Η σχεδίαση των κινούμενων σκιάστρων στην πρόσοψη του δωματίου μελέτης ακολουθεί βιομιμητική προσέγγιση εμπνευσμένη από το φύλλωμα των δέντρων. Τα φύλλα ενός δέντρου φιλτράρουν την άμεση ηλιακή ακτινοβολία αλλά έχουν και τη δυνατότητα να τη διαχέουν και να την κατανέμουν στον χώρο σε μικρότερες δέσμες. Η πολυεπίπεδη γεωμετρία επιτυγχάνει ηπιότερο και πιο ομοιόμορφο φωτισμό σε σημεία που προσφέρουν σκίαση, μειώνοντας τις έντονες αντιθέσεις και τα φαινόμενα θάμβωσης. Παράλληλα οι σκιές που σχηματίζονται δημιουργούν ένα δυναμικό οπτικό παιχνίδι φωτός και σκιάς που μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια της μέρας.

Η αξιοποίηση αυτής της σχεδιαστικής προσέγγισης δεν περιορίζεται μόνο στην άμεση παρουσία φυσικών στοιχείων, αλλά επεκτείνεται και στη χρήση γεωμετριών που προσομοιώνουν τη φύση. Ο ανθρώπινος οργανισμός έχει εξελιχθεί ώστε να ανταποκρίνεται θετικά σε γεωμετρίες που συναντά στη φύση, όπως τα fractals, οι ιεραρχικές δομές και οι πολύπλοκες συμμετρίες. Περιβάλλοντα που στερούνται γεωμετρικής πολυπλοκότητας ή φυσικών μοτίβων μπορούν να προκαλέσουν αίσθημα δυσφορίας, καθώς έρχονται σε

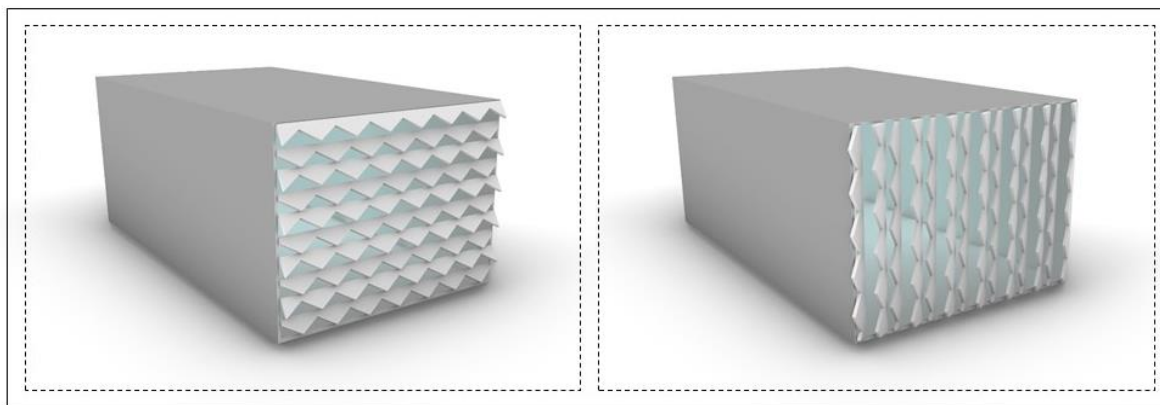
αντίθεση με τα ερεθίσματα στα οποία είναι προσαρμοσμένο το ανθρώπινο αισθητηριακό σύστημα στο φυσικό περιβάλλον. (Salingaros, 2015, σ. 11). Σημαντική είναι και η ισορροπία της πολυπλοκότητας και η οργάνωσή της. Περιβάλλοντα με μικρές γεωμετρικές διαφοροποιήσεις μπορούν να οδηγήσουν στην μονοτονία, ενώ πολύπλοκες συνθέσεις μπορεί να επιφέρουν οπτική κόπωση και δυσφορία. Η έννοια αυτή αποτελεί το 10^ο μοτίβο της βιοφιλίας -complexity and order- όπως διατυπώνεται από τους (Browning, Ryan, & Clancy, 2014).

Η μορφή που επιλέγεται για τα βιοφιλικά σκίαστρα μπορεί να ερμηνευτεί ως μία απλοποιημένη fractal δομή, χρησιμοποιώντας τριγωνικά επαναλαμβανόμενα μοτίβα με διαφοροποιημένη διάταξη, δημιουργώντας μια ιεραρχία μορφών. Τα σκίαστρα δημιουργούν διάσπαρτες περιοχές φωτός και σκιάς αντίστοιχες με αυτές κάτω από το φύλλωμα των δέντρων. Τα σκίαστρα που θα χρησιμοποιηθούν είναι κινούμενα με σκοπό να αποδώσουν τη χρονική μεταβλητότητα του φωτός στο εσωτερικό χώρο.



Διάγραμμα 4- Βιομιμητική προσέγγιση-Σχεδιασμός κινούμενων σκιάστρων

Στην εικόνα 5 παρουσιάζονται οι δύο τύποι σκιάστρων που σχεδιάστηκαν (οριζόντια και κάθετα) με βάση την βιομιμητική προσέγγιση που αναλύθηκε στο Διάγραμμα 4:



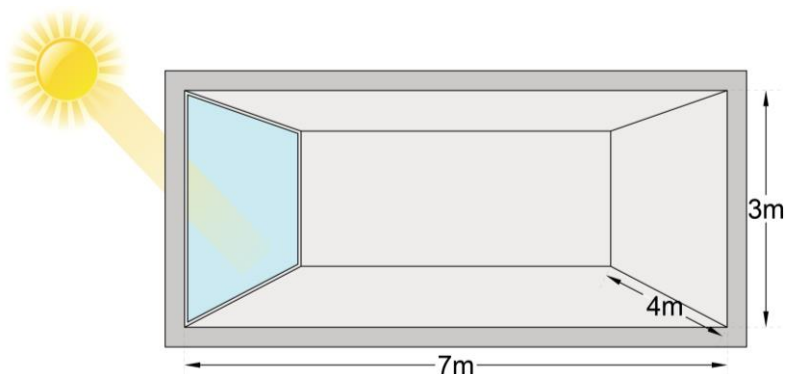
Εικόνα 5-Οριζόντια και κάθετα βιοφιλικά σκίαστρα

3.3.2 Ανάλυση δωματίου μελέτης

Στη μελέτη χρησιμοποιείται ένα τυπικό δωμάτιο γραφείου με τις ακόλουθες διαστάσεις: 7 μέτρα βάθος (depth) 4 μέτρα πλάτος και 3 μέτρα ύψος. Ο προσανατολισμός είναι νότιος με παράθυρο στον νότιο τοίχο με αναλογία ανοίγματος-τοίχου (WWR-Window to wall ratio) 95%, ώστε να μεγιστοποιηθεί ο φυσικός φωτισμός από το άνοιγμα. Η ανακλαστικότητα των εσωτερικών επιφανειών του δωματίου ορίζεται με βάση την 7^η Τεχνική οδηγία (Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος-Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-7/2021, 2021, σ. 30), και έχει οι ακόλουθες τιμές:

- Δάπεδο: 0,2
- Οροφή: 0,8
- Τοίχοι: 0,5

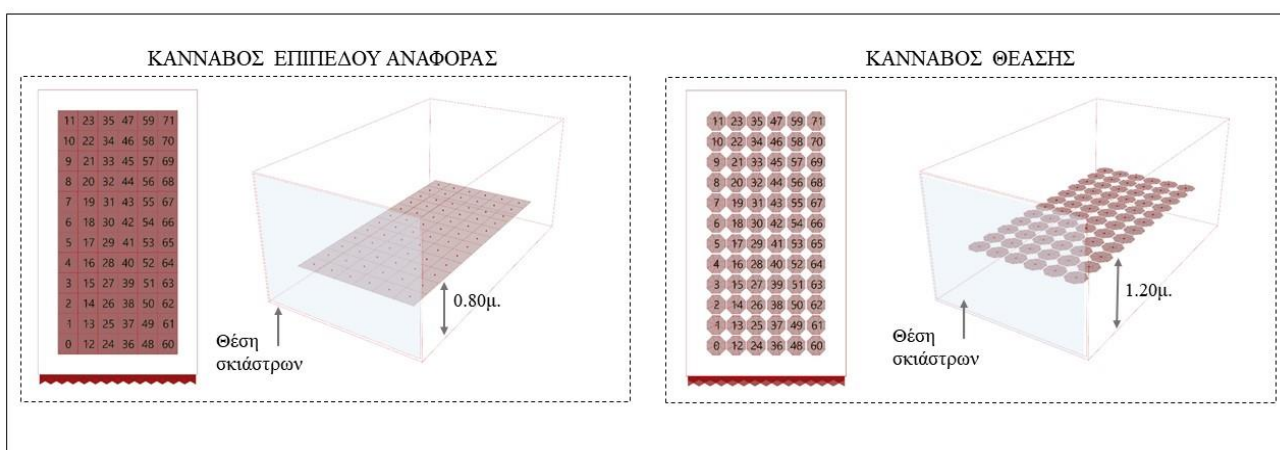
Περιοχή μελέτης ορίζεται η Αθήνα, Ελλάδα, Β' κλιματική ζώνη με γεωγραφικό πλάτος (LAT) 37° 54' , και γεωγραφικό μήκος (LON) 23° 43' . (GMT +2.0 Hours, υψόμετρο 15 μέτρα πάνω από το επίπεδο της θάλασσας). Τα κλιματολογικά δεδομένα που συλλέχθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν στη μελέτη προέρχονται από το αρχείο ATHENS 167160 IWEC (International Weather for Energy Calculations) όπως διατίθεται μέσω της πλατφόρμας Ladybug Tools EPW Map (<https://www.ladybug.tools/epwmap/>).



Εικόνα 6- Δωμάτιο μελέτης

Στο χώρο μελέτης τοποθετήθηκαν δύο κάνναβοι:

- 1 κάνναβος επιπέδου αναφοράς 72 σημείων (απόσταση σημείων 0,5 μέτρα), σε ύψος 0,8 μέτρα (οριζόμενο επίπεδο αναφοράς (Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος-Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-7/2021, 2021, σ. 18)) από την στάθμη του δαπέδου για την μέτρηση του επιπέδου φωτισμού στον χώρο,
- 1 κάνναβος θέασης 72 σημείων σε 8 διαφορετικές κατευθύνσεις σε ύψος 1,2 μέτρα από το δάπεδο για την μέτρηση της θάμβωσης ως το επίπεδο θέασης των ματιών ενός εργαζόμενου που κάθεται σε μία θέση εργασίας στο γραφείο.



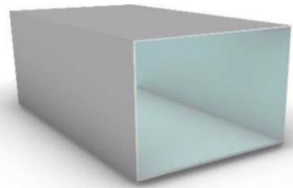
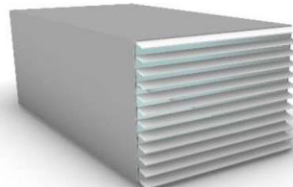
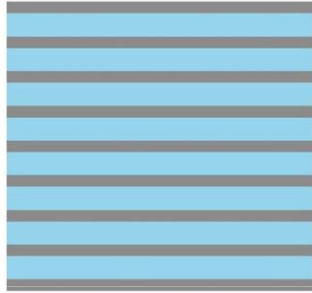
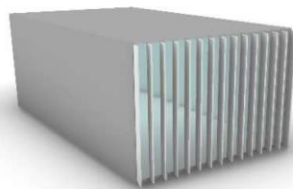
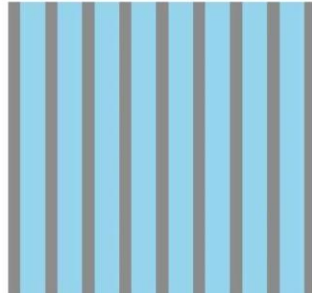
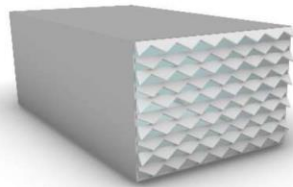
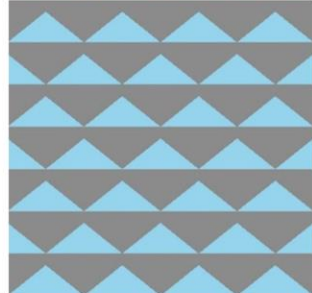
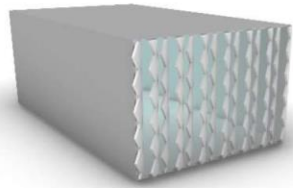
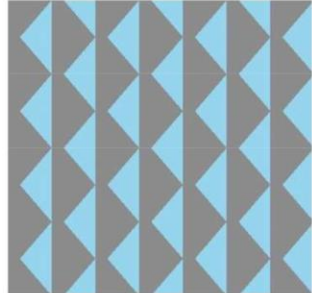
Εικόνα 7- Κάτοψη και προοπτική απεικόνιση καννάβων

3.3.3 Ανάλυση κινούμενων σκιάστρων

Για να επιλεχθεί το καταλληλότερο σύστημα σκίασης θα αναλυθούν 5 διαφορετικά σενάρια.

- 1^ο σενάριο: Λειτουργία του χώρου μελέτης με την απουσία σκιάστρου (αναφορά)
- 2^ο σενάριο: Συμβατικά οριζόντια δυναμικά σκιάστρα (περσίδες)
- 3^ο σενάριο: Συμβατικά κάθετα δυναμικά σκιάστρα (περσίδες)
- 4^ο σενάριο: Οριζόντια δυναμικά σκιάστρα βιοφιλικού σχεδιασμού
- 5^ο σενάριο: Κάθετα δυναμικά σκιάστρα βιοφιλικού σχεδιασμού

Κάθε σύστημα σκιασμού προσομοιώνεται σε 10 διακριτές γωνίες σκίασης (0°, 10°, 20°, ..., 90°). Κάθε γωνία προσομοιώνεται ως σταθερή κατάσταση (static) για ολόκληρο το έτος, δημιουργώντας μία βιβλιοθήκη ωριαίων αποτελεσμάτων από την οποία επιλέγεται ωριαία η βέλτιστη γωνία ανά σενάριο. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα διαφορετικά σκιάστρα και εναλλακτικά σενάρια:

Σενάρια	Περιγραφή Συστήματος σκίασης	Είδος σκιάστρων	Περίοδος προσομοίωσης	Στρατηγική συστημάτων σκίασης	Κριτήρια φωτισμού
1ο	 Χωρίς σκίαστρα Νότιο ανοίγμα WWR 95%		1/1 έως 31/12 8.00-17.00 Δευτέρα- Παρασκευή	Χωρίς τη χρήση σκιάστρων	Αναφορά
2ο	 Οριζόντια σκίαστρα Νότιο ανοίγμα WWR 95%		1/1 έως 31/12 8.00-17.00 Δευτέρα- Παρασκευή	Κινούμενα σκίαστρα Ρυθμιζόμενες γωνίες σκίασης (0-90°) ανά 10°	DGP < 0,35 φωτεινότητα ± 500 lux
3ο	 Κάθετα σκίαστρα Νότιο ανοίγμα WWR 95%		1/1 έως 31/12 8.00-17.00 Δευτέρα- Παρασκευή	Κινούμενα σκίαστρα Ρυθμιζόμενες γωνίες σκίασης (0-90°) ανά 10°	DGP < 0,35 φωτεινότητα ± 500 lux
4ο	 Οριζόντια σκίαστρα βιοφιλικού σχεδιασμού Νότιο ανοίγμα WWR 95%		1/1 έως 31/12 8.00-17.00 Δευτέρα- Παρασκευή	Κινούμενα σκίαστρα Ρυθμιζόμενες γωνίες σκίασης (0-90°) ανά 10°	DGP < 0,35 φωτεινότητα ± 500 lux
5ο	 Κάθετα σκίαστρα βιοφιλικού σχεδιασμού Νότιο ανοίγμα WWR 95%		1/1 έως 31/12 8.00-17.00 Δευτέρα- Παρασκευή	Κινούμενα σκίαστρα Ρυθμιζόμενες γωνίες σκίασης (0-90°) ανά 10°	DGP < 0,35 φωτεινότητα ± 500 lux

Πίνακας 4- Σενάρια μελέτης

Οι ώρες λειτουργίας του γραφείου ορίζονται ως 10 ώρες ανά ημέρα (8.00-17.00.), 5 μέρες την εβδομάδα (Δευτέρα-Παρασκευή), 12 μήνες ανά έτος (Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος-Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2017, 2017, σ. 48626)

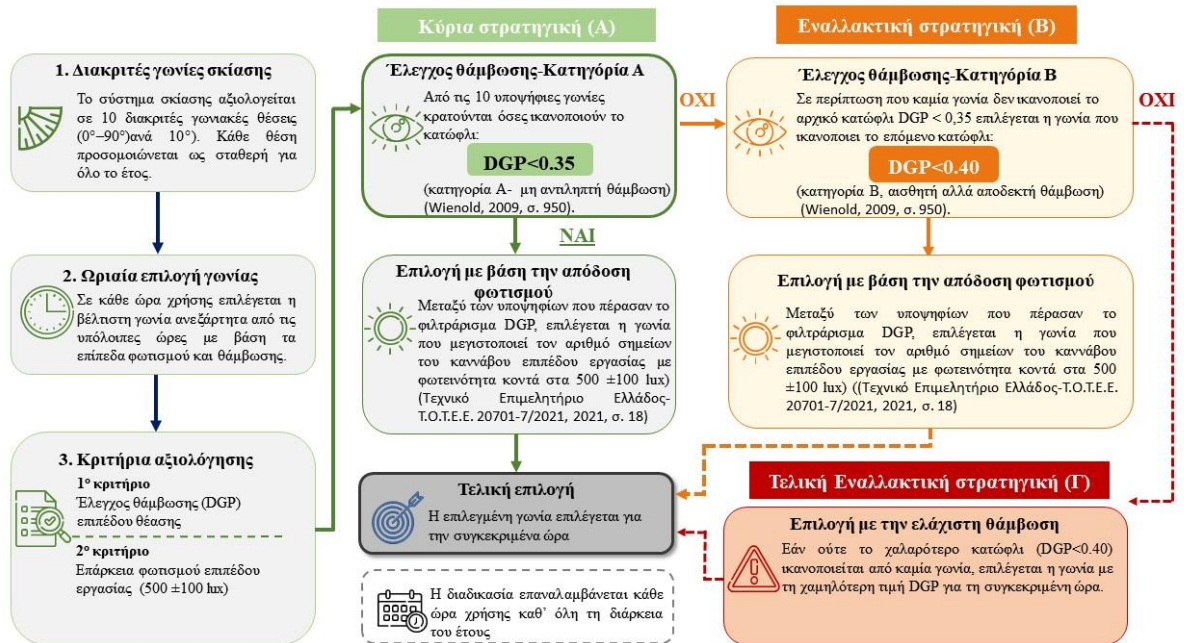
Για κάθε ώρα λειτουργίας αξιολογούνται όλες οι διαθέσιμες γωνίες σκίασης και επιλέγεται η καταλληλότερη με βάση μία ιεραρχική διαδικασία λήψης αποφάσεων, η οποία δίνει προτεραιότητα στον έλεγχο της θάμβωσης και δευτερευόντως στην επάρκεια φυσικού φωτισμού. Στον πίνακα 4 αναλύεται η συλλογιστική (αλγόριθμος) που ακολουθείται κατά την επιλογή του καταλληλότερου ωριαίου προγράμματος των κινούμενων σκιάστρων κατά τη διάρκεια ενός χρόνου:

Συλλογιστική ελέγχου συστημάτων σκίασης

Διακριτές γωνίες σκίασης	Το σύστημα σκίασης αξιολογείται σε 10 διακριτές γωνιακές θέσεις (0° – 90°). Κάθε θέση προσομοιώνεται ως σταθερή για όλο το έτος και χρησιμοποιείται ως υποψήφια επιλογή
Ωριαία επιλογή γωνίας σκίασης	Σε κάθε ώρα χρήσης επιλέγεται η βέλτιστη γωνία ανεξάρτητα από τις υπόλοιπες ώρες με βάση τα επίπεδα φωτισμού και θάμβωσης
Έλεγχος θάμβωσης-Κατηγορία Α	Από τις 10 υποψήφιες γωνίες κρατούνται όσες ικανοποιούν $DGP < 0,35$ (κατηγορία Α- μη αντιληπτή θάμβωση) (Wienold, 2009, σ. 950).
Επιλογή με βάση την απόδοση φωτισμού	Μεταξύ των υποψηφίων που πέρασαν το φιλτράρισμα DGP, επιλέγεται η γωνία που μεγιστοποιεί τον αριθμό σημείων του καννάβου επιπέδου εργασίας με φωτεινότητα κοντά στα 500 lux (± 100 lux). (Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος-Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-7/2021, 2021, σ. 18)
Εναλλακτικός έλεγχος θάμβωσης-Κατηγορία Β	Σε περίπτωση που καμία γωνία δεν ικανοποιεί το αρχικό κατώφλι $DGP < 0,35$, επιλέγεται η γωνία που ικανοποιεί το επόμενο κατώφλι $DGP < 0,40$ (κατηγορία Β, αισθητή αλλά αποδεκτή θάμβωση), με την ίδια λογική επιλογής επάρκειας φωτεινότητας. (Wienold, 2009, σ. 950).
Επιλογή με βάση την ελάχιστη θάμβωση (τελική επιλογή)	Εάν ούτε το χαλαρότερο κατώφλι ικανοποιείται από καμία γωνία, επιλέγεται η γωνία με τη χαμηλότερη τιμή DGP για τη συγκεκριμένη ώρα.

Πίνακας 5- Συλλογιστική ελέγχου συστημάτων σκίασης

Ο τρόπος επιλογής των σκιάστρων παρουσιάζεται σχηματικά στο παρακάτω διάγραμμα:



Διάγραμμα 5- Επιλογή συστημάτων σκίασης

Για κάθε γωνία σκίασης s και ώρα h , υπολογίζεται η μέγιστη τιμή του δείκτη θάμβωσης μεταξύ των 72 σημείων του καννάβου:

$$DGP_{\max}(s, h) = \max_{p=1}^{72} Ds(p, h)$$

όπου $Ds(p, h)$ είναι η τιμή DGP στο σημείο p , για τη γωνία σκίασης s και την ώρα h .

Για τον υπολογισμό της απόδοσης φωτισμού χρησιμοποιείται η παρακάτω εξίσωση:

$$C(s, h) = |\{p: 400 \leq I_s(p, h) \leq 600\}|$$

όπου $C(s, h)$ είναι ο αριθμός των σημείων του καννάβου που εμφανίζουν επίπεδα φωτισμού I_s κοντά στα 500 lux εντός του επιθυμητού εύρους $\pm 100 \text{ lux}$.

Η τελική επιλογή ορίζεται:

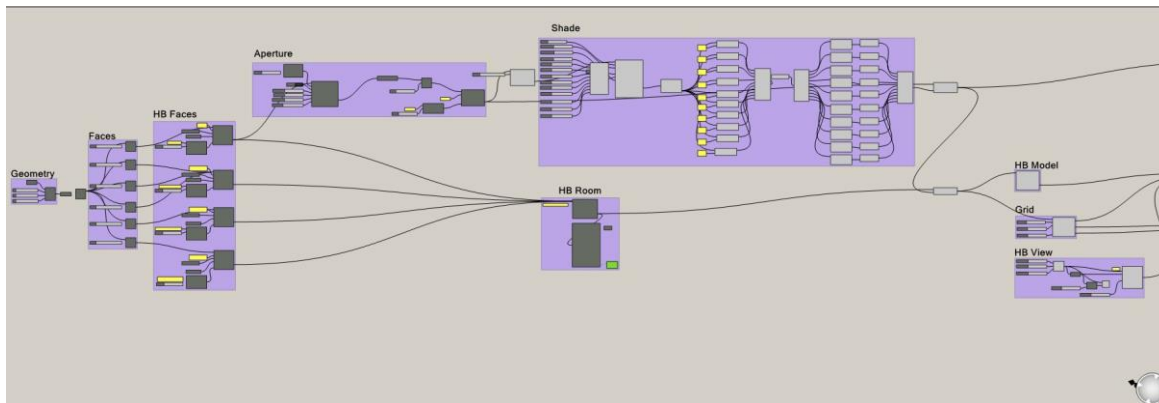
$$s^*(h) = \operatorname{argmax} C(s, h)$$

όπου $s^*(h)$ = επιλεγμένη βέλτιστη γωνία σκίασης.

3.4 Χρήση λογισμικού προσομοίωσης

Για τον σχεδιασμό των σκιάστρων χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Grasshopper, το οποίο λειτουργεί ως παραμετρικό περιβάλλον σχεδιασμού του Rhinoceros. Μέσω του

παραμετρικού σχεδιασμού, δίνεται η δυνατότητα ελέγχου της γεωμετρίας των σκιάστρων, της διάταξης και της πυκνότητας των στοιχείων.



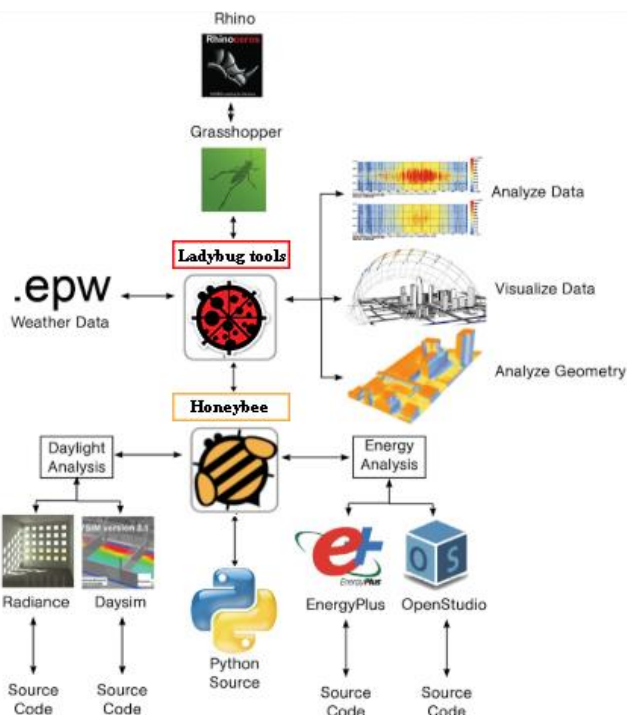
Εικόνα 8-Περιβάλλον Grasshopper-προσομοίωσης

Τα plug-in Ladybug tools και Honeybee χρησιμοποιούνται ως βασικά εργαλεία για την περιβαλλοντική προσομοίωση και αξιολόγηση των συστημάτων σκίασης. Τα εργαλεία αυτά λειτουργούν σε περιβάλλον Rhinoceros και Grasshopper, επιτρέποντας την παραμετρική μοντελοποίηση και την άμεση σύνδεση του σχεδιασμού με δεδομένα περιβαλλοντικής απόδοσης.

Το Ladybug Tools χρησιμοποιείται για την εισαγωγή των κλιματικών δεδομένων μέσω αρχείων EPW και την παραγωγή κλιματικών αναλύσεων (Annual Autonomy, Spatial Daylight Autonomy, Useful Daylight Illuminance, Glare Autonomy). Παρέχει τη δυνατότητα αξιολόγησης παραμέτρων όπως η ηλιακή ακτινοβολία, οι ώρες ηλιασμού, η πρόσβαση σε φυσικό φως και οι συνθήκες θέασης (Honeybee Wiki Home, 2019). Η ενσωμάτωσή του στο παραμετρικό περιβάλλον του Grasshopper επιτρέπει την άμεση ανατροφοδότηση κατά την τροποποίηση της γεωμετρίας και των παραμέτρων σχεδιασμού, προσφέροντας υψηλό βαθμό ευελιξίας και προσαρμογής.

Το Honeybee χρησιμοποιείται για την οπτικοποίηση των προσομοιώσεων φυσικού φωτισμού και ενεργειακής απόδοσης, χρησιμοποιώντας μηχανές προσομοίωσης, όπως τα Energyplus, Radiance, Daysim και OpenStudio (Honeybee Wiki Home, 2019). Στην παρούσα εργασία θα χρησιμοποιηθεί το Radiance για την αξιολόγηση των συνθηκών φυσικού φωτισμού και θάμβωσης στον εσωτερικό χώρο, σε διαφορετικά σενάρια σκίασης. Ο συνδυασμός των Ladybug και Honeybee προσφέρει ένα ολοκληρωμένο υπολογιστικό περιβάλλον, στο οποίο η γεωμετρία, τα κλιματικά δεδομένα και οι παράμετροι απόδοσης

συνδέονται δυναμικά. Με αυτόν τον τρόπο καθίσταται δυνατή η αξιολόγηση διαφορετικών σχεδιαστικών επιλογών σε πραγματικό χρόνο.



Εικόνα 9- Σύνδεση Rhinoceros, Grasshopper, Ladybug, Honeybee και μηχανών προσομοίωσης (Πηγή: Honeybee Wiki Home, 2019)

3.5 Swot analysis της μεθοδολογίας

Στο παρακάτω SWOT analysis επιχειρείται η αξιολόγηση της μεθοδολογίας που ακολουθείται στην παρούσα εργασία:

Δυνατά σημεία (Strengths)	Αδυναμίες (Weaknesses)
• Δυνατότητα ενσωμάτωσης γεωγραφικών δεδομένων (γεωγραφικό ύψος-πλάτος) • Ευελιξία εναλλαγής γεωμετρίας, προσανατολισμού και υλικών μέσω του παραμετρικού σχεδιασμού • Δυνατότητα ωριαίου υπολογισμού φωτιστικών συνθηκών για κάθε σχεδιαστική επιλογή	• Απαιτήση εξειδικευμένης γνώσης προγραμμάτων προσομοίωσης • Διεπιστημονικός χαρακτήρας έρευνας • Εξάρτηση από τεχνολογικά εργαλεία και παραδοχές • Περιορισμοί των προγραμμάτων προσομοίωσης

• Δυνατότητα συμβολής στην ενεργειακή απόδοση των κτιρίων μέσω της συνδυασμένης ανάλυσης φωτισμού	• Έλεγχος σε μικρής κλίμακας χώρους (μεμονωμένο δωμάτιο) • Περιορισμός μελέτης σε συγκεκριμένα κλιματικά δεδομένα, δεν γενικεύονται σε άλλες κλιματικές ζώνες
Ευκαιρίες (Opportunities)	Απειλές (Threats)
• Αυξημένο ενδιαφέρον για φυσικά φωτιζόμενους χώρους/βιώσιμα κτίρια-ύπαρξη προτύπων (LEED, BREEAM, WELL) • Ευρωπαϊκός Κλιματικός Νόμος (Κανονισμός ΕΕ 2021/1119) και Εθνικός Κλιματικός Νόμος 4936/2022 για κλιματική ουδετερότητα έως το 2050	• Αστοχίες κατά την υλοποίηση κινούμενων συστημάτων στην πράξη • Περιορισμένη εξοικείωση χρηστών με τον χειρισμό νέων τεχνολογιών (techno-stress) • Υψηλό κόστος υλοποίησής τους σε σχέση με συμβατικές περσίδες ή σταθερά συστήματα • Ενδεχόμενη χρήση υλικών μη βιώσιμων κατά την κατασκευή

Πίνακας 6- SWOT analysis της μεθοδολογίας εργασίας

Η επίδραση των προσώπων ενός κτιρίου στο εσωτερικό περιβάλλον του είναι πολυεπίπεδη. Σχετίζεται με τις συνθήκες του περιβάλλοντος που εισέρχονται στο χώρο (ροή αέρα, είσοδος φωτός και θερμότητας, υγρασία), με τη λειτουργία συστημάτων HVAC και τεχνητού φωτισμού, καθώς και με τις ιδιότητες των υλικών. Τα προγράμματα προσομοίωσης (BSP) που χρησιμοποιούνται έχουν τη δυνατότητα επιλογής των επιθυμητών κλιματολογικών συνθηκών και γεωγραφικών δεδομένων για την εξαγωγή αποτελεσμάτων. Ακόμα, δίνεται η δυνατότητα εναλλαγής γεωμετρίας και προσανατολισμού.

Για την κατάλληλη επιλογή σχεδιαστικής λύσης θα χρειαστεί διεπιστημονική προσέγγιση, ώστε να ερευνηθεί η λύση που δίνεται από τη φύση σε ζητήματα φωτισμού και να μεταφραστεί στο κτιριακό περιβάλλον. Λόγω της σύνδεσης βιολογίας και μηχανικής τεχνολογίας, οι σχεδιαστές αντιμετωπίζουν προβλήματα κατά τη σχεδιαστική διαδικασία, καθώς οι βιοφυσικές πληροφορίες δεν είναι εύκολα προσβάσιμες. (Badarnah, 2017). Η

συνεργασία μεταξύ των επιστημόνων μπορεί να είναι βοηθητική, ώστε να γίνει επαρκώς η μετατροπή των στρατηγικών από τη φύση σε τεχνολογική λύση. Η προσομοίωση θα γίνει σε χώρο συγκεκριμένων διαστάσεων και με συγκεκριμένα κλιματικά δεδομένα και τα αποτελέσματα προκύπτουν από αυτή την παραδοχή.

Η έλλειψη των αποθεμάτων ενέργειας και η κλιματική αλλαγή αποτελούν ζητήματα που απασχολούν ιδιαίτερα τα τελευταία χρόνια. Στη συνέχεια του Ευρωπαϊκού κλιματικού νόμου (Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, Κανονισμός (ΕΕ) 2021/1119, 2021), θεσπίστηκε ο Εθνικός Κλιματικός Νόμος 4936/2022 (Α' 105), με στόχο τη διαμόρφωση ενός πλαισίου που ενισχύει την προσαρμοστική ικανότητα, την ανθεκτικότητα απέναντι στις κλιματικές συνθήκες και την μετάβαση προς την κλιματική ουδετερότητα ως το 2050. (Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας, 2022). Παρατηρούμε την ανάγκη για βιώσιμες στρατηγικές σχεδιασμού, και η παρούσα εργασία πραγματεύεται την επίτευξη οπτικής άνεσης αξιοποιώντας το φυσικό φωτισμό μειώνοντας τις ενεργειακές απώλειες.

Οι «απειλές» που προκύπτουν στην έρευνα αφορούν εξωτερικούς παράγοντες. Θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι η έρευνα περιορίζεται στο κομμάτι της προσομοίωσης και δεν θα ερευνηθεί η πιθανή υλοποίηση του αποτελέσματος. Αυτό έχει ως κίνδυνο πιθανές αστοχίες ή υψηλό κόστος κατά την κατασκευή που δεν έχουν υπολογιστεί. Η σωστή επιλογή των υλικών κατασκευής είναι σημαντική κατά την υλοποίηση. Θα πρέπει να ληφθεί υπόψη το ενεργειακό αποτύπωμα των υλικών που χρησιμοποιούνται κατά τη βιομηχανική προσέγγιση. Η χρήση ανάλυσης του κύκλου ζωής (Life Cycle Assessment-LCA) είναι σημαντική για να καταγράψει και να ποσοτικοποιήσει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της χρήσης τους, και να αξιολογήσει την απόδοσή τους σε σχέση με το πλάνο βιωσιμότητας που έχει τεθεί. (Sommesse, et al., 2024, p. 17). Με αυτόν τον τρόπο μπορεί να διασφαλισθεί η διατήρηση του ενεργειακού ισοζυγίου, σύμφωνα με τις αρχές της αειφορίας. Ακόμα, είναι σημαντική η εξοικείωση των χρηστών με τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται στους χώρους γραφείων ώστε να χρησιμοποιούν κατάλληλα τις ενεργειακές λύσεις που προσφέρει ο σχεδιασμός αυτών των συστημάτων και να μην αλλοιωθούν τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις προσομοιώσεις.

3.6 Περιορισμοί της έρευνας

Η έρευνα οριοθετείται από περιορισμούς που αναφέρονται στην παρούσα ενότητα. Η μελέτη επικεντρώνεται στην περιοχή της Αθήνας (κλιματική ζώνη Β), της οποίας και χρησιμοποιούνται τα κλιματικά δεδομένα. Τα ευρήματα αυτής της μελέτης δεν μπορούν να επεκταθούν αυτόματα σε διαφορετικές κλιματικές ζώνες. Η ανάλυση εστιάζει σε ένα τυπικό δωμάτιο γραφείου με συγκεκριμένες διαστάσεις και νότιο προσανατολισμό. Δεν εξετάζονται διαφορετικοί προσανατολισμοί ή πιο σύνθετες χωρικές διατάξεις. Για τη μελέτη θα χρησιμοποιηθούν ως λογισμικά τα plug-ins του Rhino, Grasshopper, Ladybug Tools και Honeybee. Τα αποτελέσματα μπορεί να είναι ελαφρώς διαφοροποιημένα με τη χρήση διαφορετικών μηχανών προσομοίωσης. Η προσομοίωση θεωρεί ότι υπάρχει ομοιόμορφη κατανομή των εργαζομένων στο χώρο. Δεν λαμβάνει υπόψη μεταβολές θέσης τους ή απομάκρυνσή τους από τη θέση εργασίας, ή την χρήση άλλων οπτικών πηγών στον χώρο (χρήση υπολογιστών). Κατά την χρήση κινούμενων συστημάτων σκίασης, δεν υπολογίζεται η μηχανική απόκριση των συστημάτων σκίασης κατά την δυναμική μετάβαση μεταξύ διαφορετικών γωνιών σκίασης. Τέλος, η μελέτη δεν θα επικεντρωθεί στα κατάλληλα υλικά κατασκευής καθώς και στην ανάλυση κόστους κατασκευής ή ανάλυση του κύκλου ζωής της λύσης που προτείνεται.

3.7 Σύνοψη

Η παρούσα μελέτη βασίζεται σε μια βιομιμητική και παραμετρική προσέγγιση με στόχο την διερεύνηση συστημάτων με βελτιωμένη οπτική άνεση σε χώρους γραφείων. Η διαδικασία ξεκινά με τον σχεδιασμό βιοφιλικών σκιάστρων αντλώντας έμπνευση από το φύλλωμα των δέντρων και στη συνέχεια πραγματοποιείται προσομοίωση αξιοποιώντας εργαλεία όπως τα Rhinoceros , και τα plug-ins Grasshopper, Ladybug Tools, Honeybee και Radiance. Η αξιολόγηση των εναλλακτικών λύσεων πραγματοποιείται μέσω ωριαίας ανάλυσης, εξετάζοντας διακριτές γωνίες σκίασης και επιλέγοντας κάθε φορά τη βέλτιστη με βάση τον περιορισμό της θάμβωσης και την επάρκεια φωτισμού στο χώρο μελέτης.

Η ανάλυση της μεθοδολογίας ανέδειξε τόσο τα πλεονεκτήματα της παραμετρικής προσομοίωσης και της ενσωμάτωσης βιοφιλικών αρχών στον σχεδιασμό, όσο και τους περιορισμούς που προκύπτουν από αυτή την σχεδιαστική επιλογή.

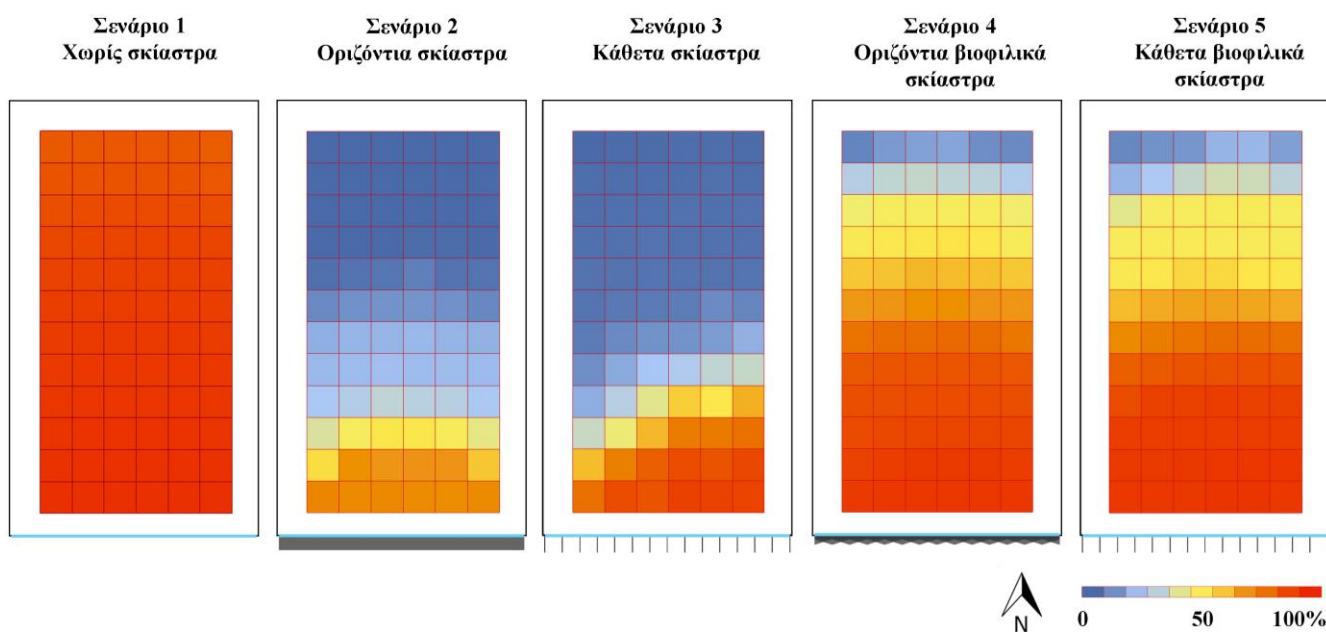
4 Ανάλυση και αποτελέσματα

4.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται και αναλύονται τα ποσοτικά αποτελέσματα των παραμετρικών προσομοιώσεων που περιεγράφηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο. Στόχος της ανάλυσης είναι η αξιολόγηση των πέντε σεναρίων σκίασης του τυπικού χώρου γραφείου στην Αθήνα ως προς την απόδοσή τους σε δείκτες οπτικής άνεσης και φυσικού φωτισμού. Για κάθε σενάριο πραγματοποιείται ετήσια προσομοίωση πολλαπλών γωνιών σκίασης και, στη συνέχεια, επιλέγεται ωριαία η καταλληλότερη γωνία λειτουργίας με βάση τα κριτήρια ελέγχου θάμβωσης και επάρκειας φωτισμού που ορίστηκαν στη μεθοδολογία. Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται προκύπτουν από αυτή τη διαδικασία βελτιστοποίησης και επιτρέπουν τη συγκριτική αξιολόγηση των διαφορετικών συστημάτων σκίασης.

4.2 Αυτονομία φωτισμού (DA-Daylight autonomy)

Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της αυτονομίας φωτισμού για τα 5 σενάρια μελέτης (Εικόνα 10). Χρησιμοποιείται ο κάνναβος επιπέδου αναφοράς 72 σημείων σε ύψος 0,8 μέτρα όπως είχε ορισθεί στην μεθοδολογία. Το κατώφλι που χρησιμοποιείται είναι τα 500 lux (DA%time 500lux).



Εικόνα 10- Αυτονομία φωτισμού (DA%time 500lux) για τα 5 σενάρια μελέτης

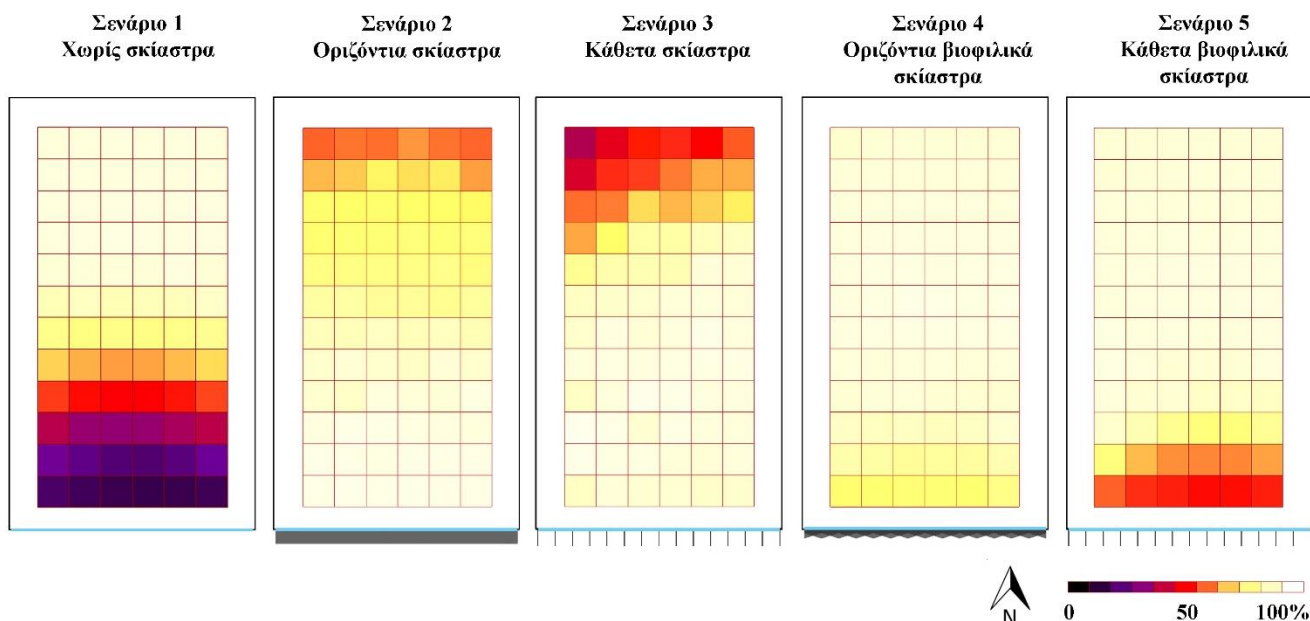
Παρατηρείται ότι στο σενάριο 1 (χωρίς τη χρήση σκιάστρων) , έχουμε πλήρη αυτονομία φωτισμού, επιτρέποντας την ανεμπόδιστη είσοδο φωτός στον χώρο. Αυτό όμως μπορεί να δημιουργήσει συνθήκες υπερφωτισμού στον χώρο. Στα σενάρια 2 και 3 παρατηρείται αισθητή μείωση της αυτονομίας φωτισμού. Τα οριζόντια και κάθετα σκίαστρα, αν και αποτελεσματικά στον περιορισμό της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας, μπλοκάρουν ταυτόχρονα σημαντικό μέρος του διάχυτου φωτός, ιδιαίτερα στα βαθύτερα σημεία του δωματίου. Αυτό οδηγεί σε χαμηλά ποσοστά αυτονομίας στις θέσεις εργασίας που βρίσκονται μακριά από την πρόσοψη.

Στο Σενάριο 4 και 5 (οριζόντια και κάθετα βιοφιλικά σκίαστρα), παρατηρείται βελτίωση της αυτονομίας φωτισμού σε σύγκριση με τα αντίστοιχα συμβατικά σκίαστρα. Η γεωμετρία των βιοφιλικών σκιάστρων, επιτρέπει τη διέλευση διάχυτου φωτός στον χώρο, εξασφαλίζοντας καλύτερη κατανομή φωτισμού σε ολόκληρο το βάθος του δωματίου. Η ιεραρχική δομή των τριγωνικών μοτίβων λειτουργεί ως φίλτρο που διατηρεί ικανοποιητικά επίπεδα φωτισμού χωρίς να αποκλείει πλήρως το φως.

Συνολικά, τα βιοφιλικά σκίαστρα (Σενάρια 4 και 5) επιτυγχάνουν υψηλότερα ποσοστά αυτονομίας φωτισμού σε σύγκριση με τα αντίστοιχα συμβατικά (Σενάρια 2 και 3), αναδεικνύοντας τη δυνατότητα της βιομιμητικής γεωμετρίας να βελτιώσει τη διεύθυνση του φυσικού φωτισμού στον εσωτερικό χώρο.

4.3 Ωφέλιμος φυσικός φωτισμός (UDI -Useful Daylight Illuminance)

Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του ωφέλιμου φυσικού φωτισμού για τα 5 σενάρια μελέτης στον χώρο εργασίας για τιμές μεταξύ 100 και 3000 lux . (Εικόνα 11). Χρησιμοποιείται ο ίδιος κάνναβος όπως και την προηγούμενη ενότητα. Ο δείκτης UDI αποτυπώνει το ποσοστό του χρόνου κατά τον οποίο ο φωτισμός σε κάθε σημείο βρίσκεται εντός του εύρους που θεωρείται ωφέλιμο για τους χρήστες (100–3000 lux). Τιμές κάτω από 100 lux υποδεικνύουν ανεπαρκή φωτισμό, ενώ τιμές άνω των 3000 lux υποδεικνύουν υπερβολικό φωτισμό, ο οποίος μπορεί να προκαλέσει οπτική δυσφορία και θάμβωση.



Εικόνα 11- Ωφέλιμος φυσικός φωτισμός (UDI%Time 100-3000lux) για τα 5 σενάρια μελέτης

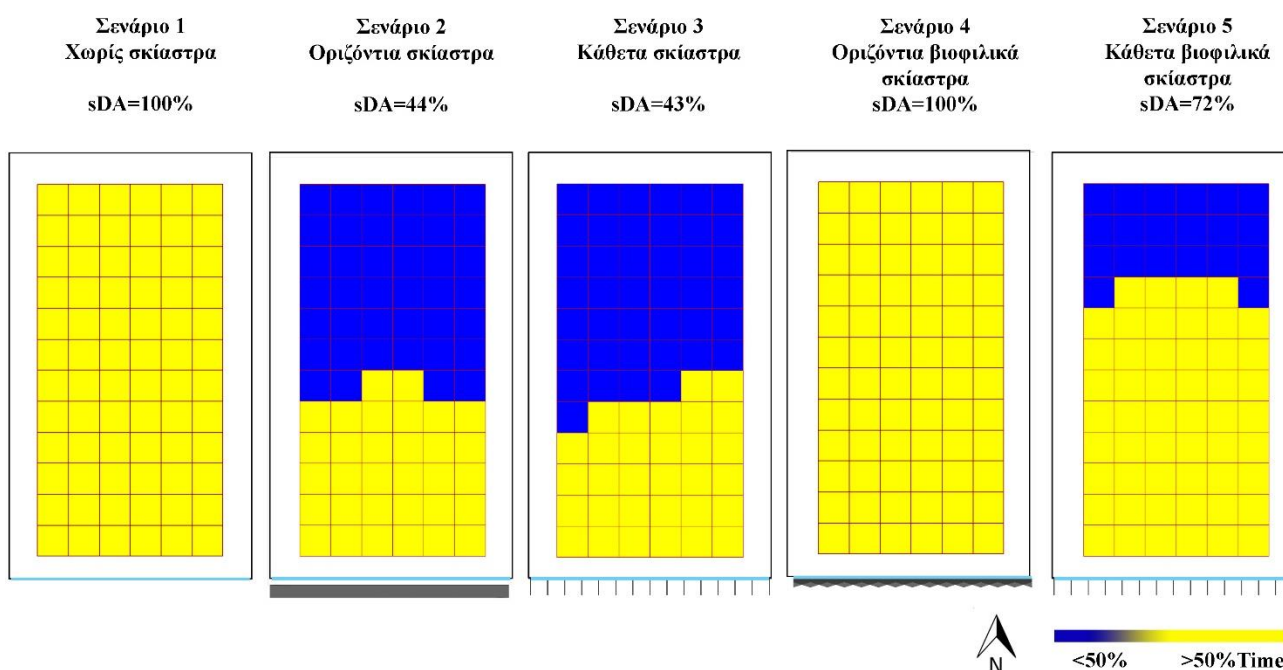
Στο Σενάριο 1 (χωρίς σκίαστρα), ο δείκτης UDI εμφανίζει χαμηλές τιμές στα σημεία κοντά στο παράθυρο, καθώς ο φωτισμός υπερβαίνει συχνά το ανώτερο όριο των 3000 lux. Στα σενάρια 2 και 3, ο δείκτης UDI αυξάνεται στην περιοχή κοντά στο παράθυρο, καθώς τα σκίαστρα περιορίζουν τον υπερβολικό φωτισμό. Ωστόσο, στα σημεία που απέχουν σημαντικά από την πρόσοψη, ο δείκτης μειώνεται λόγω ανεπαρκούς φωτισμού (κάτω των 100 lux).

Στο Σενάριο 4 (οριζόντια βιοφιλικά σκίαστρα), ο δείκτης UDI παρουσιάζει τα πιο ομοιόμορφα αποτελέσματα μεταξύ όλων των σεναρίων. Τα σκίαστρα φιλτράρουν τον άμεσο φωτισμό αποτρέποντας τον υπερφωτισμό κοντά στο παράθυρο, ενώ ταυτόχρονα επιτρέπουν τη διέλευση αρκετού φωτός ώστε να διατηρούνται ωφέλιμα επίπεδα φωτισμού σε ολόκληρο το βάθος του δωματίου.

Στο Σενάριο 5 (κάθετα βιοφιλικά σκίαστρα), ο δείκτης UDI εμφανίζει υψηλές τιμές στο μεγαλύτερο μέρος του δωματίου, ωστόσο στα σημεία κοντά στο παράθυρο, ο δείκτης μειώνεται αισθητά τοπικά, καθώς ο φωτισμός σε αυτά τα σημεία υπερβαίνει τα 3000 lux. Η κάθετη διάταξη ευνοεί τη βαθιά διείσδυση του φωτός στο δωμάτιο, αλλά αφήνει εκτεθειμένες ζώνες στην πρόσοψη.

4.4 Δείκτης Χωρικής Αυτονομίας Φωτός Ημέρας (sDA-Spatial Daylight Autonomy)

Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του δείκτη Χωρικής Αυτονομίας φωτός ημέρας, που αφορά το ποσοστό της επιφάνειας δαπέδου που επιτυγχάνει επίπεδο φωτισμού 300lux για το 50% των ωρών εργασίας (8π.μ.-5μ.μ.) (Εικόνα 12). Χρησιμοποιείται ο ίδιο κάρναβος όπως και την προηγούμενη ενότητα.



Εικόνα 12-Δείκτης Χωρικής Αυτονομίας Φωτός Ημέρας (sDA300lux/50%working hours) για τα 5 σενάρια

Στο Σενάριο 1 (χωρίς σκίαστρα), ο δείκτης Χωρικής Αυτονομίας φ.φ. (sDA) ανέρχεται στο 100%, γεγονός που υποδηλώνει ότι όλα τα σημεία του καννάβου στο επίπεδο εργασίας επιτυγχάνουν φωτισμό τουλάχιστον 300 lux για το 50% των ωρών λειτουργίας του χώρου. Η απουσία σκίασης επιτρέπει την ανεμπόδιστη είσοδο του φυσικού φωτός, με αποτέλεσμα να ικανοποιείται πλήρως το κριτήριο του δείκτη. Ωστόσο, αυτή η υψηλή τιμή δεν σημαίνει σε όλες τις περιπτώσεις οπτική άνεση, καθώς δεν λαμβάνει υπόψη τον υπερβολικό φωτισμό ή την πιθανότητα θάμβωσης.

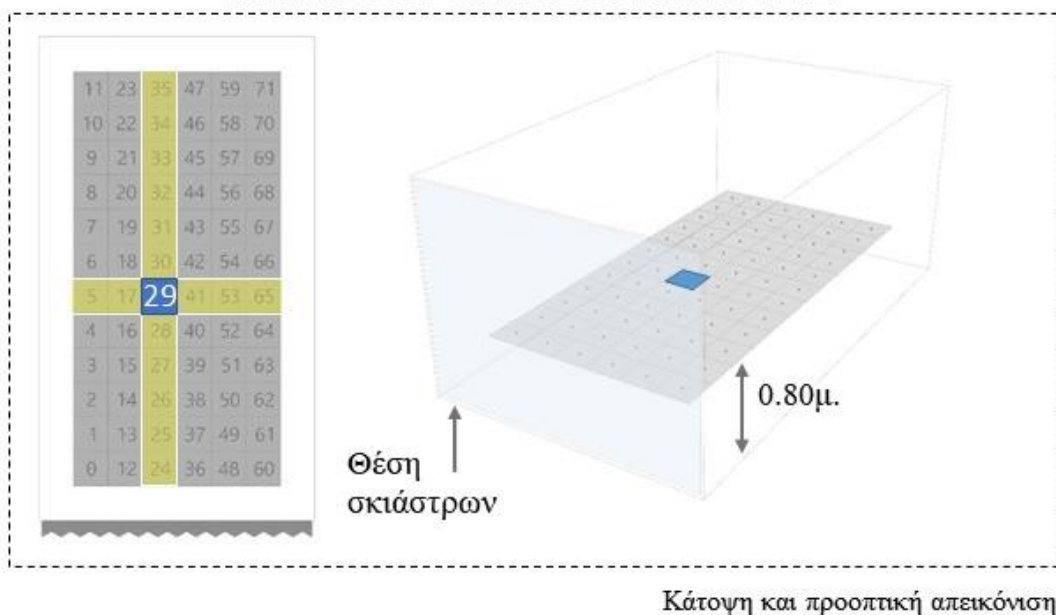
Στα Σενάρια 2 και 3 (οριζόντια και κάθετα σκίαστρα), ο δείκτης sDA μειώνεται σημαντικά σε σχέση με το σενάριο αναφοράς. Τα συμβατικά κινούμενα σκίαστρα περιορίζουν υπερβολικά τον φυσικό φωτισμό σε μεγάλο μέρος του χώρου, ιδιαίτερα στο βάθος του δωματίου. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ανάγκη συμπληρωματικού τεχνητού φωτισμού για τις θέσεις εργασίας που απέχουν αρκετά από το νότιο άνοιγμα.

Στο Σενάριο 4 (οριζόντια βιοφιλικά σκίαστρα), ο δείκτης sDA παρουσιάζει βελτιωμένες τιμές σε σύγκριση με τα συμβατικά σκίαστρα, επιτρέποντας στον φυσικό φωτισμό να εισχωρεί σε όλη την επιφάνεια του δωματίου μελέτης. Στο σενάριο 5, ο δείκτης sDA είναι βελτιωμένος σε σύγκριση με την συμβατική μορφή σκιάστρων, με ποσοστό 72%.

4.5 Ετήσια διακύμανση των επιπέδων φυσικού φωτισμού σε επιλεγμένο σημείο του δωματίου

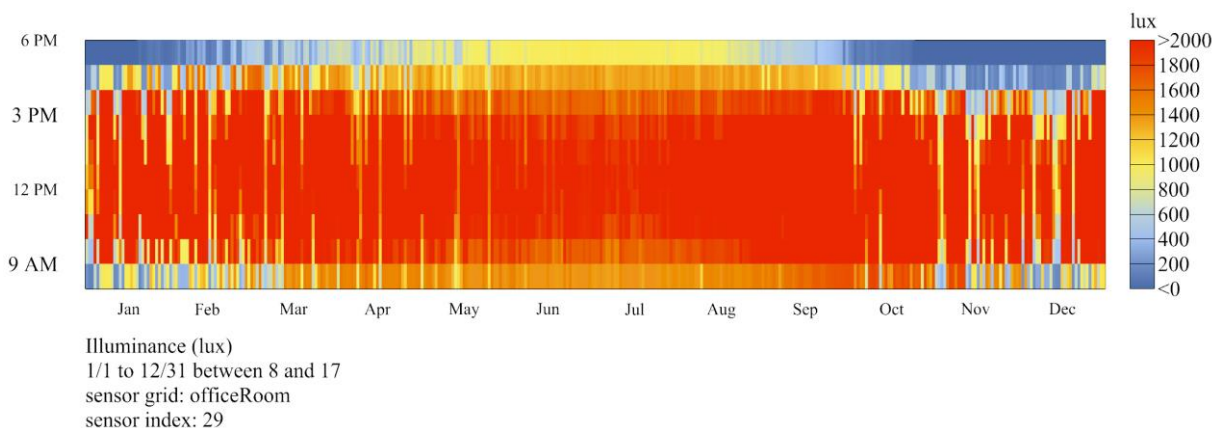
Επιλέγεται το σημείο 29 στον κάνναβο επιπέδου αναφοράς, ως ένα σημείο στο μέσο του δωματίου. Ο κάνναβος βρίσκεται σε ύψος 0,8μέτρα (οριζόμενο επίπεδο αναφοράς (Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος-Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-7/2021, 2021, σ. 18)) από την στάθμη του δαπέδου για την μέτρηση της έντασης φωτισμού στον χώρο. Η ανάλυση των ετήσιων τιμών φωτισμού στο σημείο 29 παρέχει μια χρονική αποτύπωση της συμπεριφοράς κάθε συστήματος σκίασης σε ένα αντιπροσωπευτικό σημείο του εσωτερικού χώρου. Η επιλογή του συγκεκριμένου σημείου, που βρίσκεται στο μέσο περίπου του δωματίου, στοχεύει στην αποτύπωση συνθηκών που αντιστοιχούν σε τυπική θέση εργασίας. Στην εικόνα 13 παρουσιάζεται η θέση του σημείου στον κάνναβο.

ΚΑΝΝΑΒΟΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΑΝΑΦΟΡΑΣ

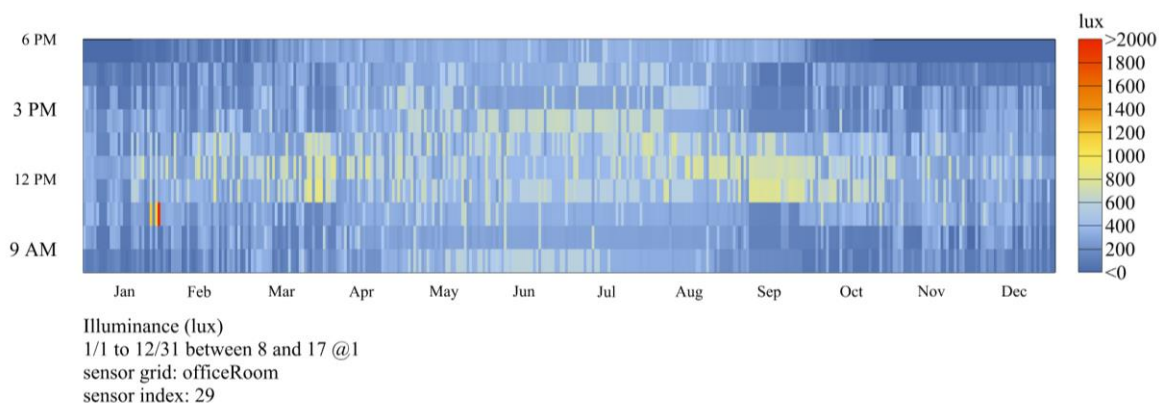


Εικόνα 13- Θέση σημείου 29 στον κάνναβο επιπέδου αναφοράς

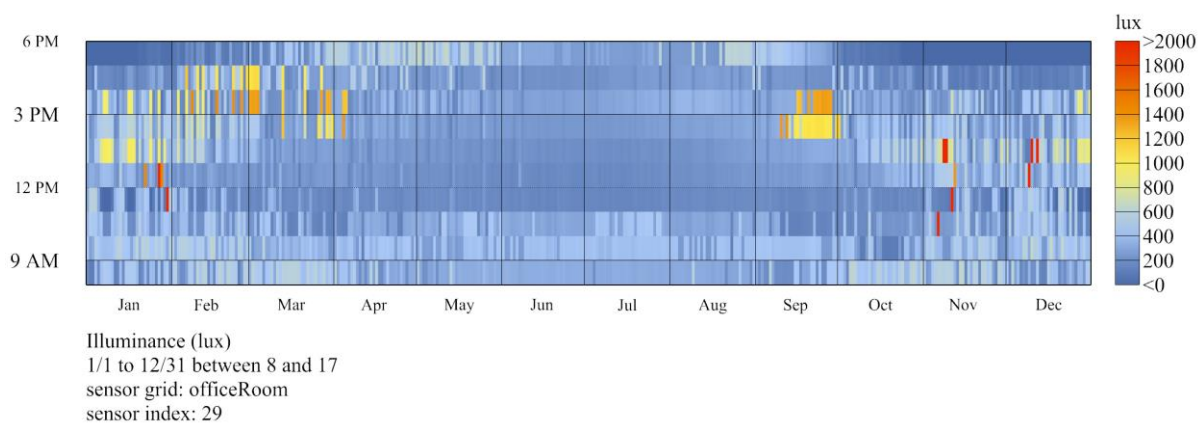
Στη συνέχεια ακολουθούν τα αποτελέσματα για τα επίπεδα φωτισμού για τα 5 σενάρια για τις ώρες εργασίας 8π.μ.-5μ.μ.



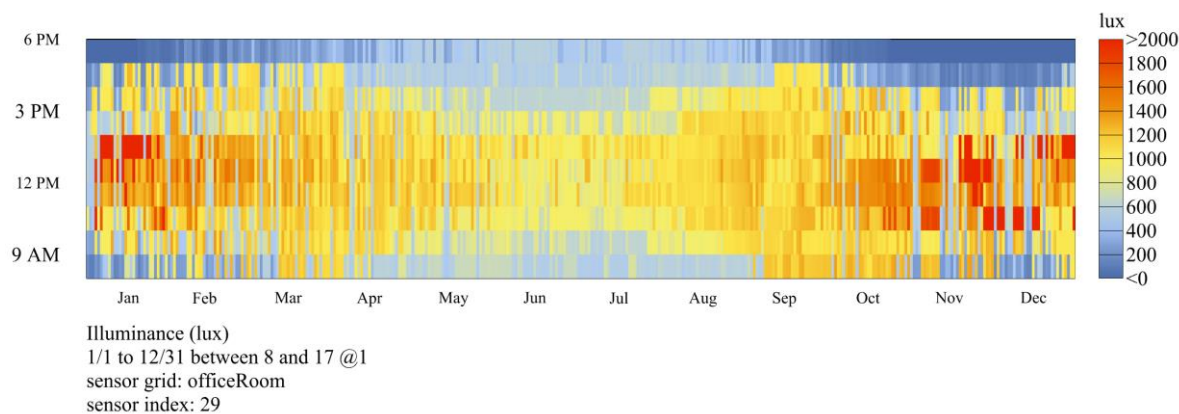
Διάγραμμα 6-Σενάριο 1-Χωρίς σκίαστρο-Φωτισμός στο σημείο 29 στον κάνναβο κατά τις ώρες εργασίας



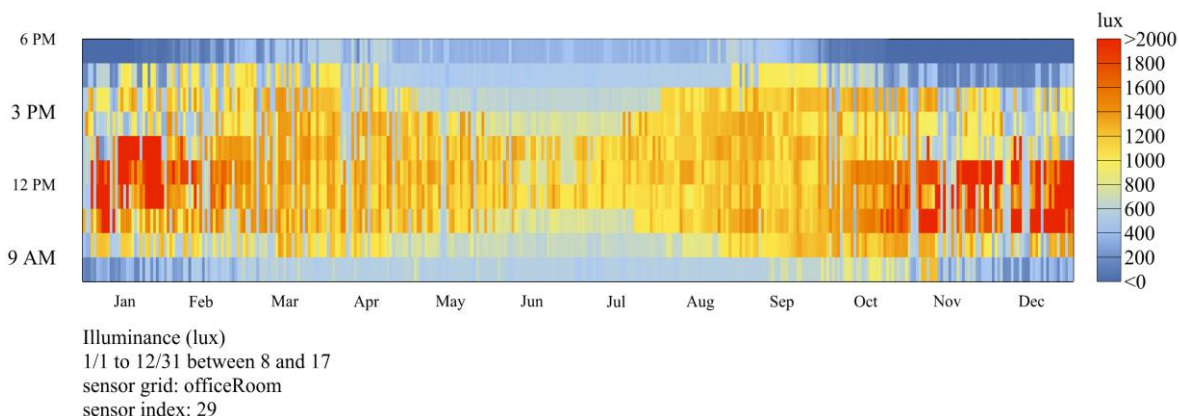
Διάγραμμα 7-Σενάριο 2-Οριζόντια σκίαστρα-Φωτισμός στο σημείο 29 στον κάνναβο κατά τις ώρες εργασίας



Διάγραμμα 8-Σενάριο 3- Κάθετα σκίαστρα-Φωτισμός στο σημείο 29 στον κάνναβο κατά τις ώρες εργασίας



Διάγραμμα 9- Σενάριο 4- Οριζόντια βιοφιλικά σκίαστρα-Φωτισμός στο σημείο 29 στον κάνναβο κατά τις ώρες εργασίας



Διάγραμμα 10- Σενάριο 5- Κάθετα βιοφιλικά σκίαστρα-Φωτισμός στο σημείο 29 στον κήναβο κατά τις ώρες εργασίας

Στο Σενάριο 1 (Διάγραμμα 6), παρατηρείται ότι κατά τους θερινούς μήνες, οι τιμές εμφανίζονται ιδιαίτερα υψηλές λόγω της αυξημένης ηλιακής ακτινοβολίας και της μεγάλης γωνίας πρόσπτωσης του ήλιου, φτάνοντας σε επίπεδα που μπορούν να προκαλέσουν οπτική δυσφορία. Κατά τους χειμερινούς μήνες, η χαμηλή ηλιακή γωνία επιτρέπει τη βαθιά διείσδυση του φωτός, αλλά η συνολική διαθέσιμη ακτινοβολία είναι μειωμένη.

Στο Σενάριο 2 (Διάγραμμα 7), τα οριζόντια σκίαστρα δημιουργούν ένα πιο σταθερό προφίλ φωτισμού. Ωστόσο, σε αρκετές περιπτώσεις κατά τη διάρκεια του χρόνου, ο φωτισμός στο σημείο 29 πέφτει κάτω από τα αποδεκτά επίπεδα (300–500 lux), υποδεικνύοντας υπερβολική σκίαση στο μέσο του δωματίου.

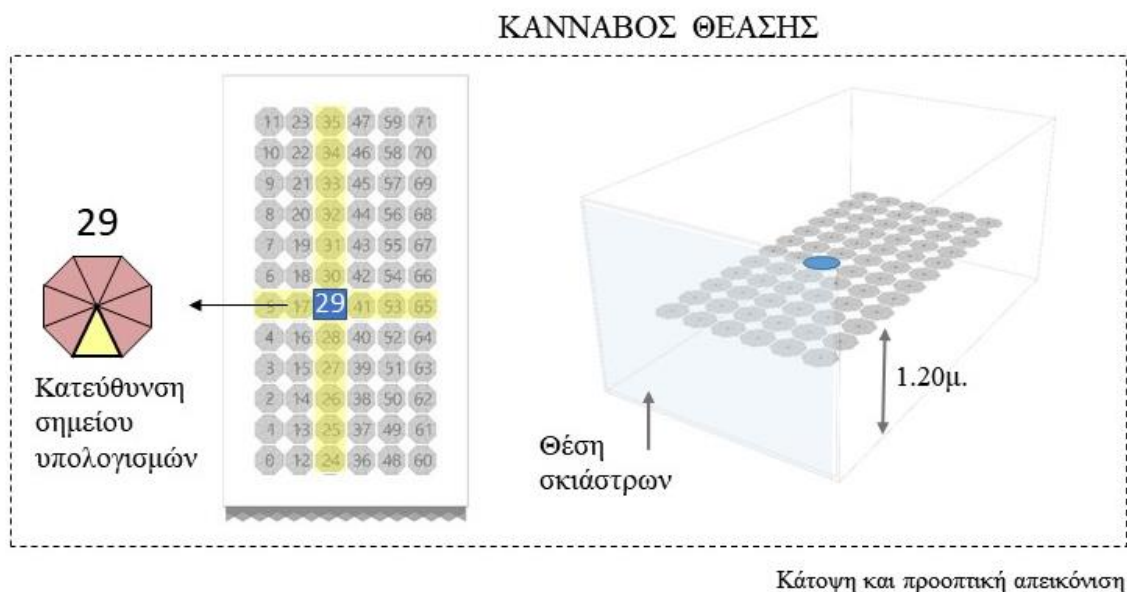
Στο Σενάριο 3 (Διάγραμμα 8), τα κάθετα σκίαστρα παρουσιάζουν ένα πιο ακανόνιστο μοτίβο φυσικού φωτισμού, με εναλλαγές μεταξύ φωτεινών και σκοτεινών περιόδων, ανάλογα με τη γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας σε σχέση με τον προσανατολισμό των περσίδων. Στα σενάρια 2 και 3 παρατηρούμε αρκετά χαμηλά επίπεδα φωτισμού σε αρκετά χρονικά διαστήματα μέσα στο έτος, καθώς για την αποφυγή υπερβολικής θάμβωσης έχουν επιλεγεί πολύ κλειστές γωνίες σκίασης (70–80°) εμποδίζοντας την επαρκή είσοδο του ηλιακού φωτός στον χώρο.

Στο Σενάριο 4 (Διάγραμμα 9), τα οριζόντια βιοφιλικά σκίαστρα επιτυγχάνουν ένα πιο ισορροπημένο προφίλ με πιο σταθερά επίπεδα φωτισμού κατά τη διάρκεια του έτους. Τα χρονικά διαστήματα με υπερβολικό φωτισμό μειώνονται σημαντικά, ενώ ο φωτισμός στο σημείο 29 διατηρείται σε μεγάλο βαθμό εντός του ωφέλιμου εύρους (100–3000 lux). Η ωριαία βελτιστοποίηση της γωνίας σκίασης συμβάλλει καθοριστικά σε αυτή τη σταθεροποίηση, καθώς το σύστημα προσαρμόζεται δυναμικά στις μεταβαλλόμενες συνθήκες.

Στο Σενάριο 5 (Διάγραμμα 10), τα κάθετα βιοφιλικά σκίαστρα παρουσιάζουν υψηλότερα μέσα επίπεδα φωτισμού σε σύγκριση με το Σενάριο 4, λόγω της μεγαλύτερης ποσότητας φωτός που εισέρχεται μέσω της κάθετης διάταξης. Ωστόσο, κατά τους χειμερινούς μήνες, παρατηρείται ότι οι τιμές υπερβαίνουν τα αποδεκτά όρια σε μεγαλύτερα διαστήματα από το Σενάριο 4, όπου η χαμηλή ηλιακή γωνία διευκολύνει τη διείσδυση άμεσης ακτινοβολίας.

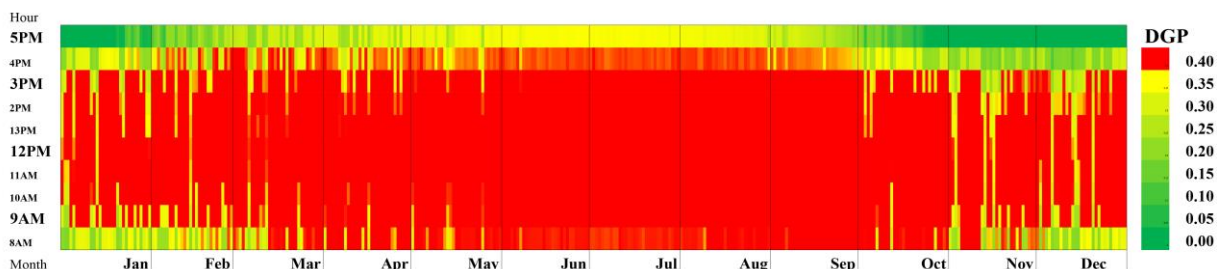
4.6 Ετήσιες τιμές δείκτη DGP (Daylight Glare Probability) σε σημείο του δωματίου

Επιλέγεται το σημείο 29 στον κάνναβο, με κατεύθυνση προς το παράθυρο ως ένα σημείο στο μέσο του δωματίου, λαμβάνοντας υπόψη την κατεύθυνση με την μεγαλύτερη πιθανή θάμβωση. Ο κάνναβος βρίσκεται σε ύψος 1,2 μέτρα από το δάπεδο για την μέτρηση της θάμβωσης ως το επίπεδο θέασης των ματιών ενός εργαζόμενου που κάθεται σε μία θέση εργασίας στο γραφείο (Εικόνα 14).

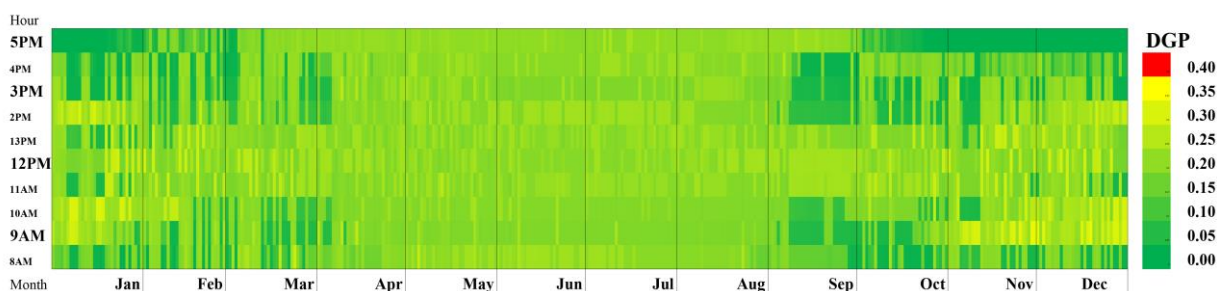


Εικόνα 14- Θέση και κατεύθυνση σημείου 29 στον κάνναβο θέασης

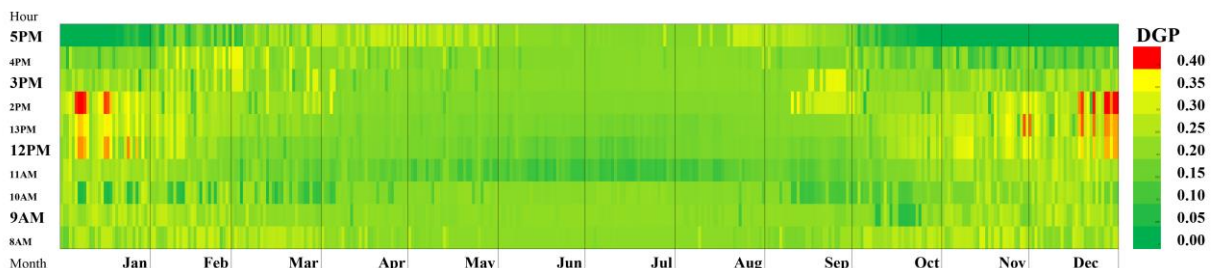
Στη συνέχεια ακολουθούν τα αποτελέσματα για τα επίπεδα φωτισμού για τα 5 σενάρια:



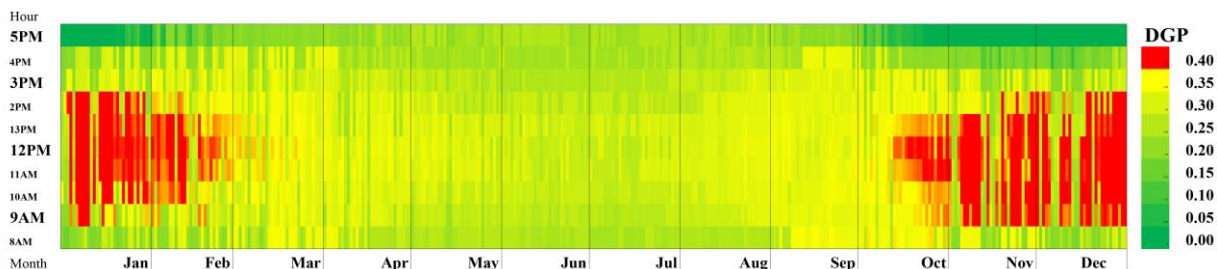
Διάγραμμα 11-Σενάριο 1-Χωρίς σκίαστρο-Τιμές δείκτη DGP για τις ώρες εργασίας



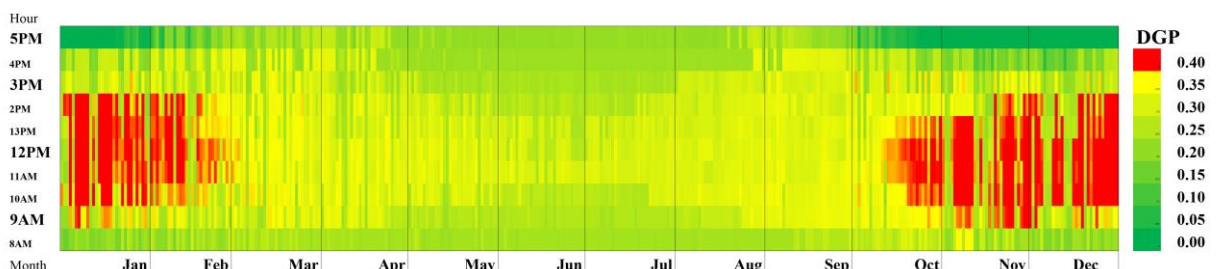
Διάγραμμα 12-Σενάριο 2-Οριζόντια σκίαστρα- Τιμές δείκτη DGP για τις ώρες εργασίας



Διάγραμμα 13-Σενάριο 3- Κάθετα σκίαστρα- Τιμές δείκτη DGP για τις ώρες εργασίας



Διάγραμμα 14-Σενάριο 4- Οριζόντια βιοφιλικά σκίαστρα- Τιμές δείκτη DGP για τις ώρες εργασίας



Διάγραμμα 15-Σενάριο 5-Κάθετα βιοφιλικά σκίαστρα- Τιμές δείκτη DGP για τις ώρες εργασίας

Στο Σενάριο 1 (Διάγραμμα 11), ο δείκτης DGP εμφανίζει συχνά τιμές που υπερβαίνουν το 0,40, ιδιαίτερα κατά τους χειμερινούς μήνες και τις πρωινές ή απογευματινές ώρες, όταν ο ήλιος βρίσκεται σε χαμηλή γωνία και η άμεση ακτινοβολία εισέρχεται χωρίς εμπόδιο στον χώρο. Αυτό επιβεβαιώνει ότι η λειτουργία του χώρου χωρίς σκίαστρο προκαλεί οπτική δυσφορία στους χρήστες.

Στο Σενάριο 2 (Διάγραμμα 12), τα οριζόντια σκίαστρα μειώνουν αποτελεσματικά τον δείκτη DGP, με τις τιμές να παραμένουν ως επί το πλείστον κάτω του 0,40. Παρόμοια αποτελέσματα παρατηρούνται και στο Σενάριο 3 (Διάγραμμα 13), με λιγότερο σταθερή συμπεριφορά. Ωστόσο, αυτή η μείωση επιτυγχάνεται εις βάρος της ποσότητας φωτός που εισέρχεται στον χώρο, όπως αναδείχθηκε στην προηγούμενη ενότητα.

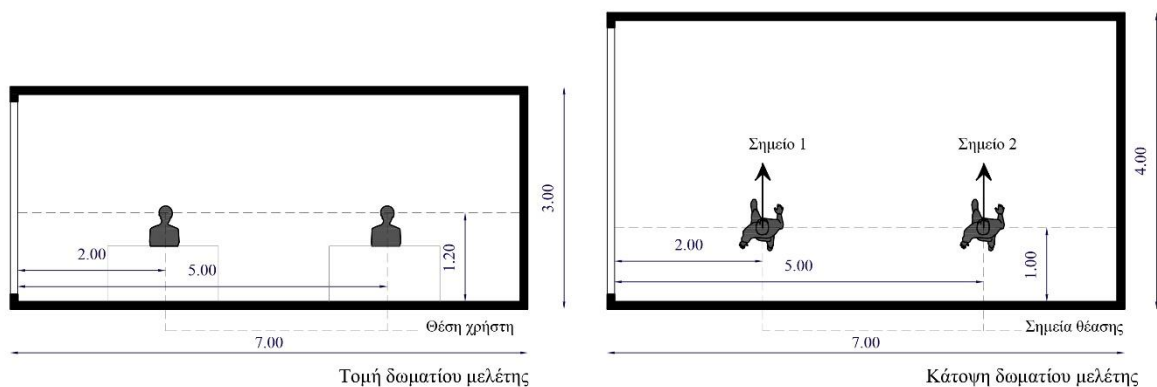
Στα σενάρια 4 και 5 παρατηρούνται ιδιαίτερα θετικά αποτελέσματα ως προς τη διαχείριση του φυσικού φωτισμού και της οπτικής άνεσης. Κατά το διάστημα από τον Μάρτιο έως τον Σεπτέμβριο επιτυγχάνεται αποτελεσματικός έλεγχος της θάμβωσης, ενώ παράλληλα διατηρούνται αυξημένα επίπεδα φυσικού φωτισμού στον εσωτερικό χώρο, όπως παρουσιάστηκε και στην προηγούμενη ενότητα. Κατά τους χειμερινούς μήνες παρατηρούνται ορισμένες χρονικές περίοδοι που ο δείκτης DGP υπερβαίνει τα αποδεκτά όρια, γεγονός που υποδηλώνει την πιθανότητα εμφάνισης θάμβωσης υπό συγκεκριμένες συνθήκες ηλιασμού. Ωστόσο, η αξιολόγηση πραγματοποιήθηκε σε σημείο θέασης στραμμένο προς το άνοιγμα, μια συνθήκη που αντιπροσωπεύει δυσμενές σενάριο χρήσης. Με βάση αυτά τα αποτελέσματα θα πρέπει να αξιολογηθούν κατάλληλα τα σημεία με πιθανότητα θάμβωσης και να τοποθετηθούν οι θέσεις εργασίας κατάλληλα μέσα στο δωμάτιο.

4.7 Τιμές DGP (Daylight Glare Probability) σε Εαρινή Ισημερία, Θερινό και Χειμερινό ηλιοστάσιο

Για την αξιολόγηση της οπτικής άνεσης δημιουργήθηκαν εικόνες HDR μέσω του plug-in Honeybee και του Radiance. Οι εικόνες παρήχθησαν με προβολή fisheye 180°, ώστε να προσομοιώνουν το οπτικό πεδίο του χρήστη στον εσωτερικό χώρο. Η χρήση HDR εικόνων επιτρέπει την καταγραφή της κατανομής λαμπρότητας στο σύνολο του οπτικού πεδίου και χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της θάμβωσης από φυσικό φωτισμό. Μέσω των εικόνων αυτών υπολογίζεται ο δείκτης Daylight Glare Probability (DGP). Οι εικόνες παρουσιάζονται σε 3 χρονικά σημεία, την Ισημερία (21 Μαρτίου), Θερινό Ηλιοστάσιο (21

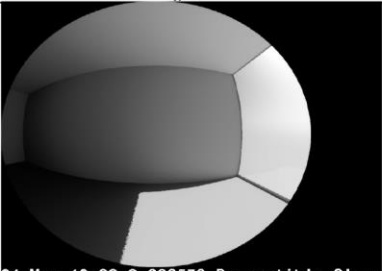
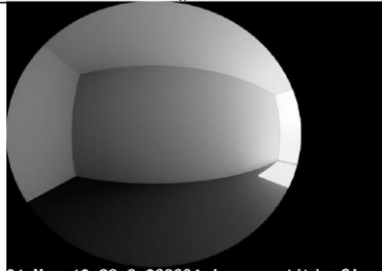
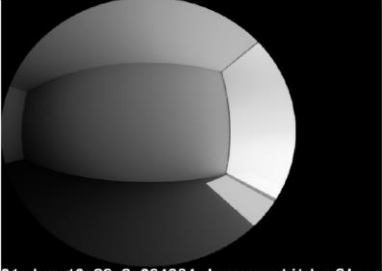
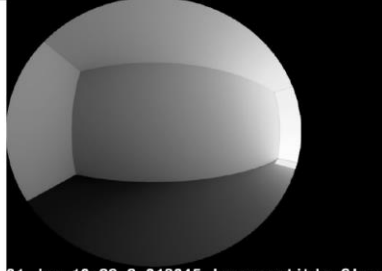
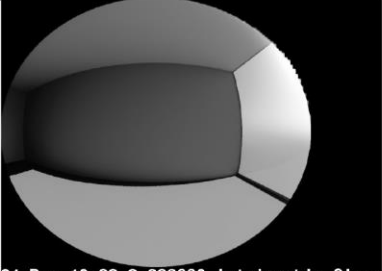
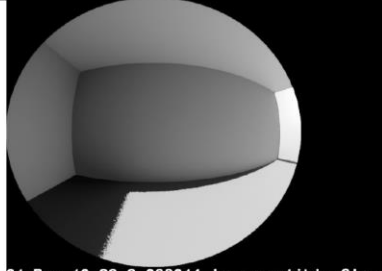
Ιουνίου) και Χειμερινό Ηλιοστάσιο (21 Δεκεμβρίου). Για την καλύτερη κατανόηση του χώρου χρησιμοποιούνται 2 ξεχωριστά διανύσματα ως ενδεικτικές θέσεις των χρηστών στον χώρο για να γίνουν οι υπολογισμοί (Σημείο 1 και σημείο 2).

Για τη δημιουργία των HDR εικόνων και τον υπολογισμό των δεικτών οπτικής άνεσης χρησιμοποιήθηκαν παράμετροι ray-tracing υψηλής ακρίβειας (-aa 0.1 -ab 5 -ad 4096 -ar 128 -as 4096 -dc 0.75 -dj 1.0 -dp 512 -dr 3 -ds 0.05 -dt 0.15 -lr 8 -lw 0.005 -pj 0.9 -ps 4 -pt 0.05 -ss 1.0 -st 0.15), οι οποίες εξασφαλίζουν επαρκή προσομοίωση των πολλαπλών ανακλάσεων, της έμμεσης συνιστώσας του φωτισμού και της κατανομής της λαμπρότητας στον χώρο.



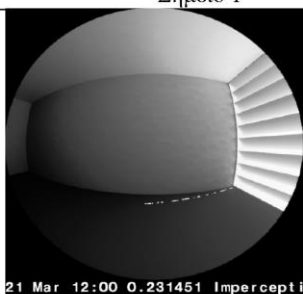
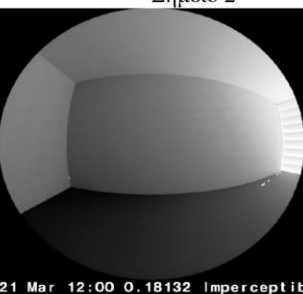
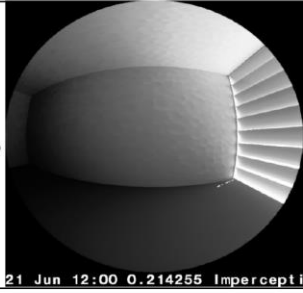
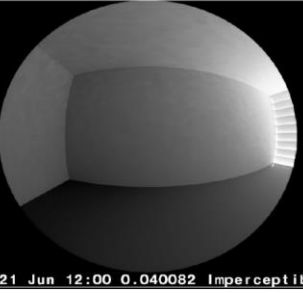
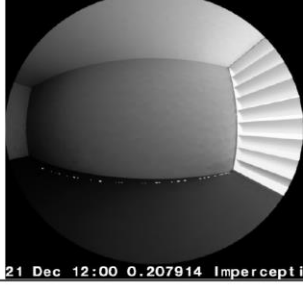
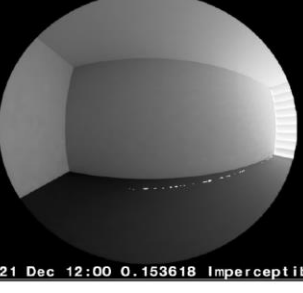
Εικόνα 15- Σημεία 1 και 2 στο δωμάτιο μελέτης

Στη συνέχεια ακολουθούν οι εικόνες για τα 5 διαφορετικά σενάρια.

Σενάριο 1		Πρόσοψη χωρίς τη χρήση σκιάστρων		
		Σημείο 1	Σημείο 2	Γωνία σκίασης
21 Μαρτίου Ισημερία 12 μμ			-	
		21 Mar 12:00 0.386579 Perceptible Glare	21 Mar 12:00 0.238694 Imperceptible Glare	
DGP		0.39	0.24	
21 Ιουνίου Θερινό Ηλιοστάσιο 12 μμ			-	
		21 Jun 12:00 0.294934 Imperceptible Glare	21 Jun 12:00 0.218245 Imperceptible Glare	
DGP		0.29	0.22	
21 Δεκεμβρίου Χειμερινό Ηλιοστάσιο 12 μμ			-	
		21 Dec 12:00 0.808632 Intolerable Glare	21 Dec 12:00 0.283214 Imperceptible Glare	
DGP		0.81	0.28	

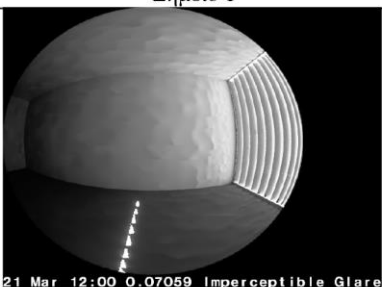
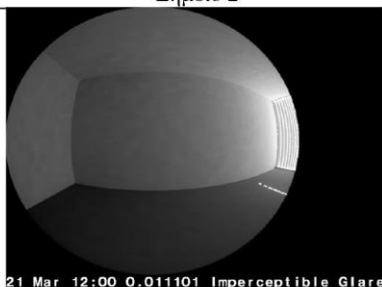
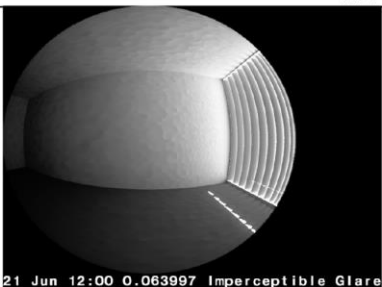
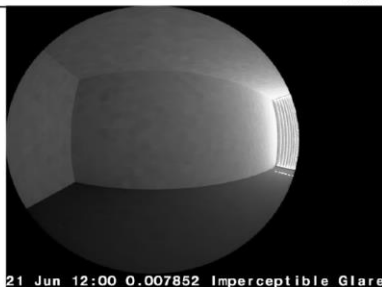
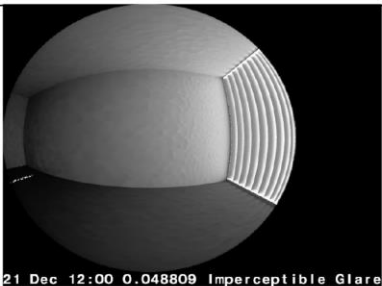
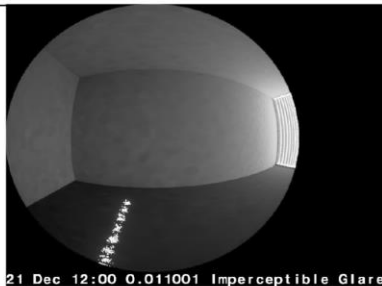
Εικόνα 16-Σενάριο 1 (χωρίς την χρήση σκιάστρων)-Δείκτης DGP σε σημείο 1 και 2

Στο σενάριο 1 (Εικόνα 16), η απουσία σκιάστρου έχει ως αποτέλεσμα αυξημένα επίπεδα του δείκτη DGP στο σημείο 1, που αγγίζουν το 0,40 κατά την ισημερία και το υπερβαίνουν κατά το χειμερινό ηλιοστάσιο στην περιοχή κοντά στο παράθυρο, επιβεβαιώνοντας την ακαταλληλότητα του χώρου χωρίς την χρήση σκιάστρων.

Σενάριο 2		Οριζόντια σκίαστρα	
	Σημείο 1	Σημείο 2	Γωνία σκίασης
21 Μαρτίου Ισημερία 12 μμ			50°
DGP	0.23	0.18	
21 Ιουνίου Θερινό Ηλιοστάσιο 12 μμ			70°
DGP	0.21	0.04	
21 Δεκεμβρίου Χειμερινό Ηλιοστάσιο 12 μμ			50°
DGP	0.21	0.15	

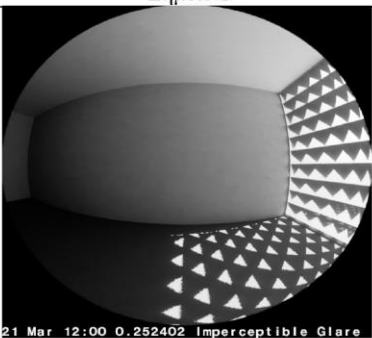
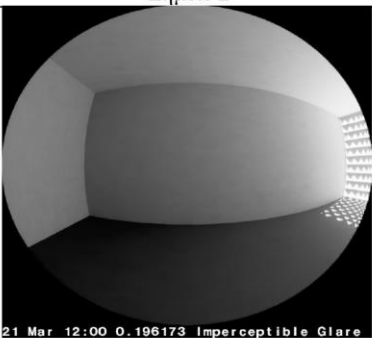
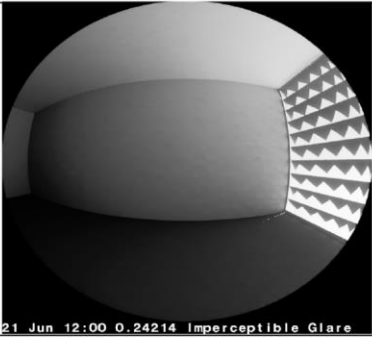
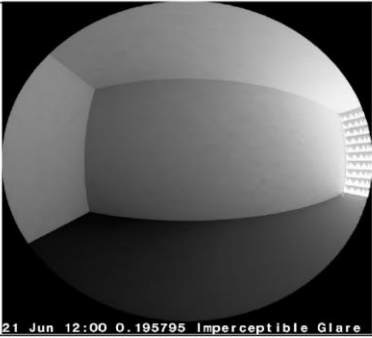
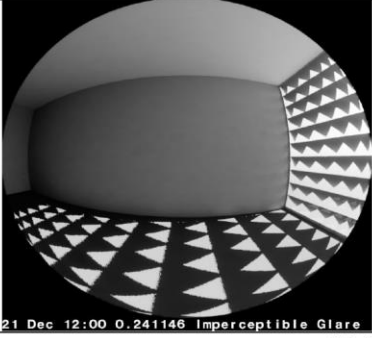
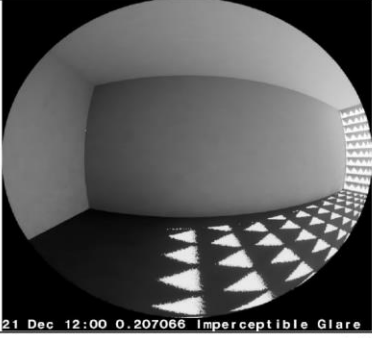
Εικόνα 17- Σενάριο 2 (οριζόντια σκίαστρα)-Δείκτης DGP σε σημείο 1 και 2

Στο σενάριο 2 (Εικόνα 17), τα οριζόντια σκίαστρα μειώνουν αποτελεσματικά τον δείκτη DGP, με τις τιμές να παραμένουν κάτω από 0,35 και στα δύο σημεία μελέτης. Ωστόσο, η έλλειψη φωτισμού στο εσωτερικό του δωματίου μελέτης είναι εμφανής.

Σενάριο 3		Κάθετα σκίαστρα	
	Σημείο 1	Σημείο 2	Γωνία σκίασης
21 Μαρτίου Ισημερία 12 μμ			80°
DGP	0.07	0.01	
21 Ιουνίου Θερινό Ηλιοστάσιο 12 μμ			80°
DGP	0.06	0.007	
21 Δεκεμβρίου Χειμερινό Ηλιοστάσιο 12 μμ			80°
DGP	0.05	0.01	

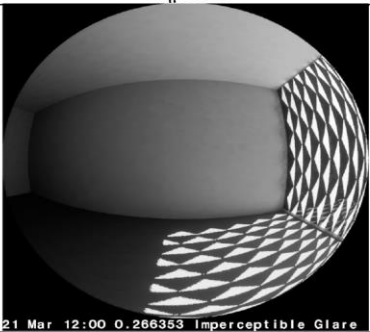
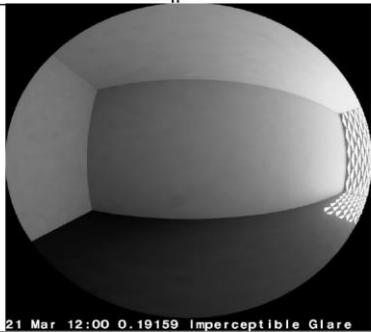
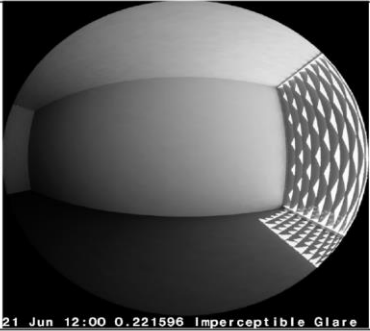
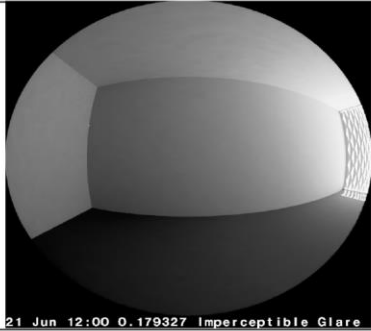
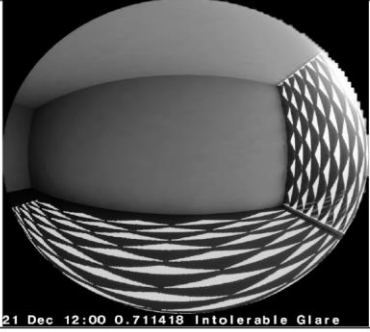
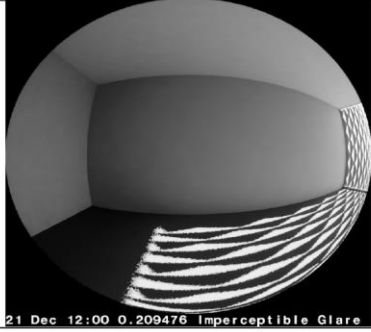
Εικόνα 18- Σενάριο 3 (κάθετα σκίαστρα)-Δείκτης DGP σε σημείο 1 και 2

Στο σενάριο 3 (Εικόνα 18) γίνονται εμφανή τα προβλήματα φωτισμού στον χώρο κατά τα δυσμενή χρονικά διαστήματα που εξετάζονται (Ισημερία, Θερινό/Χειμερινό Ηλιοστάσιο). Για την αποφυγή φαινομένων μη αποδεκτής θάμβωσης έχουν χρησιμοποιηθεί πολύ κλειστές γωνίες σκίασης (80°), περιορίζοντας την οπτική επαφή του χρήστη με το εξωτερικό περιβάλλον και την είσοδο επαρκούς φωτισμού στον χώρο.

Σενάριο 4		Οριζόντια βιοφιλικά σκίαστρα	
	Σημείο 1	Σημείο 2	Γωνία σκίασης
21 Μαρτίου Ισημερία 12 μμ			70°
DGP	0.25	0.2	
21 Ιουνίου Θερινό Ηλιοστάσιο 12 μμ			60°
DGP	0.24	0.2	
21 Δεκεμβρίου Χειμερινό Ηλιοστάσιο 12 μμ			60°
DGP	0.24	0.2	

Εικόνα 19- Σενάριο 4 (οριζόντια βιοφιλικά σκίαστρα)-Δείκτης DGP σε σημείο 1 και 2

Στο Σενάριο 4 (Εικόνα 19), οι HDR εικόνες αναδεικνύουν ένα ισορροπημένο οπτικό πεδίο: η λαμπρότητα στην περιοχή του παραθύρου είναι ελεγχόμενη, ενώ τα μοτίβα φωτός και σκιάς που δημιουργούν τα βιοφιλικά σκίαστρα προσθέτουν οπτικό ενδιαφέρον χωρίς να προκαλούν δυσφορία.

Σενάριο 5		Κάθετα βιοφιλικά σκίαστρα	
	Σημείο 1	Σημείο 2	Γωνία σκίασης
21 Μαρτίου Ισημερία 12 μμ			90°
DGP	0.27	0.19	
21 Ιουνίου Θερινό Ηλιοστάσιο 12 μμ			60°
DGP	0.22	0.18	
21 Δεκεμβρίου Χειμερινό Ηλιοστάσιο 12 μμ			80°
DGP	0.71	0.21	

Εικόνα 20- Σενάριο 5 (κάθετα βιοφιλικά σκίαστρα)-Δείκτης DGP σε σημείο 1 και 2

Αντίθετα, στο σενάριο 5 (Εικόνα 20), παρατηρούμε υπέρβαση του δείκτη DGP κατά το Χειμερινό Ηλιοστάσιο, αναδεικνύοντας τα μειονεκτήματα των κάθετων βιοφιλικών σκίαστρων σε σύγκριση με τα αντίστοιχα οριζόντια βιοφιλικά.

4.8 Σύνοψη αποτελεσμάτων

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάστηκαν τα ποσοτικά αποτελέσματα της παραμετρικής προσομοίωσης για τα πέντε σχεδιαστικά σενάρια. Το σενάριο αναφοράς (Σενάριο 1) επιβεβαίωσε το πρόβλημα του μη ελεγχόμενου φωτισμού στην πρόσοψη. Τα συμβατικά σκίαστρα (Σενάριο 2 και 3) μειώνουν την έκθεση στο άμεσο φως, όμως μπλοκάρουν και την είσοδο του φωτός σε ολόκληρο το μήκος του δωματίου, δημιουργώντας περιοχές με

περιορισμένα επίπεδα φωτισμού. Αντίθετα τα βιοφιλικά σκίαστρα παρουσιάζουν βελτίωση στην είσοδο του φωτός του δωματίου. Ειδικότερα, τα οριζόντια κινούμενα βιοφιλικά σκίαστρα (Σενάριο 4) επέτυχαν τον καλύτερο συνδυασμό αυτονομίας φωτισμού, ωφέλιμου φωτισμού, χωρικής αυτονομίας και ελέγχου θάμβωσης, αναδεικνύόμενα ως η πιο ισορροπημένη λύση μεταξύ όλων των σεναρίων. Τα κάθετα σκίαστρα, αν και εξασφαλίζουν υψηλότερα επίπεδα φωτισμού, δημιουργούν ζητήματα θάμβωσης και υπερβολικών επιπέδων φωτισμού στην περιοχή κοντά στο παράθυρο.

5 Συζήτηση

5.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο ερμηνεύονται τα ευρήματα της παραμετρικής προσομοίωσης του προηγούμενου κεφαλαίου σε σχέση με τα ερευνητικά ερωτήματα, την υπόθεση της εργασίας, τη μεθοδολογική προσέγγιση και τη βιβλιογραφική ανασκόπηση. Σκοπός αυτού του κεφαλαίου είναι η σύνθεση των ποσοτικών αποτελεσμάτων με τη θεωρητική βάση της εργασίας, ώστε να αποτιμηθεί ο βαθμός στον οποίο η βιοφιλική προσέγγιση ανταποκρίνεται στις αρχικές υποθέσεις και στα ερευνητικά ερωτήματα.

5.2 Συζήτηση των αποτελεσμάτων ανά ερευνητικό ερώτημα

5.2.1 Συμβολή του βιοφιλικού σχεδιασμού στην οπτική άνεση

Το πρώτο ερευνητικό ερώτημα αφορούσε τον τρόπο με τον οποίο η χρήση βιοφιλικού σχεδιασμού μπορεί να οδηγήσει στην επίτευξη οπτικής άνεσης σε χώρους γραφείων. Από τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν στην προηγούμενη ενότητα, προέκυψε ότι ο βιοφιλικός σχεδιασμός βελτιώνει τις συνθήκες οπτικής άνεσης σε σύγκριση με την απουσία σκίασης ή την χρήση συμβατικών κινούμενων συστημάτων σκίασης.

Η βελτίωση αυτή αποτυπώνεται ποσοτικά σε πολλαπλούς δείκτες. Ο δείκτης UDI, ο οποίος εκφράζει το ποσοστό του χρόνου κατά τον οποίο ο φωτισμός βρίσκεται εντός ωφέλιμου εύρους, εμφάνισε τις πιο ομοιόμορφες τιμές στα οριζόντια δυναμικά βιοφιλικά σκίαστρα (Σενάριο 4). Παρατηρείται ότι ο δείκτης Χωρικής Αυτονομίας φ.φ. (sDA300lux/50%working hours), όπως ορίζεται από το IES LM-83-23, φτάνει στο 100% με τη χρήση δυναμικών βιοφιλικών οριζόντιων σκιάστρων και 72% με τη χρήση δυναμικών βιοφιλικών κάθετων συστημάτων σκίασης, κριτήριο που αξιολογείται και από το πρότυπο LEED v5, βαθμολογώντας τα με 4 και 3 αντίστοιχα points. (U.S. Green Building Council, 2025, σσ. 97-98). Οι προσομοιώσεις διεξήχθησαν σε αντιπροσωπευτικές ημερομηνίες του ετήσιου ηλιακού κύκλου, οι οποίες περιλαμβάνουν το θερινό ηλιοστάσιο, το χειμερινό ηλιοστάσιο και την εαρινή ισημερία, και προέκυψαν αποδεκτές και σταθερές τιμές στον δείκτη DGP, υποδεικνύοντας ικανοποιητικές συνθήκες οπτικής άνεσης για τους χρήστες και περιορισμό θάμβωσης.

Ωστόσο, θα πρέπει να σημειωθεί ότι τα κάθετα βιοφιλικά σκίαστρα (Σενάριο 5) δεν επέτυχαν εξίσου ικανοποιητικά αποτελέσματα ως προς τον έλεγχο της θάμβωσης, ιδιαίτερα στις χαμηλές ηλιακές γωνίες. Αυτό υποδεικνύει ότι ο βιοφιλικός σχεδιασμός δεν αποτελεί αυτομάτως εγγύηση οπτικής άνεσης, αλλά η αποτελεσματικότητά του εξαρτάται από τη γεωμετρία των συστημάτων σκίασης, τον προσανατολισμό τους και την κίνηση κατά την διάρκεια του έτους.

5.2.2 Αξιοποίηση βιομιμητικών μοντέλων στις κινούμενες προσόψεις

Το δεύτερο ερευνητικό ερώτημα αφορούσε τον τρόπο αξιοποίησης βιομιμητικών μοντέλων στον σχεδιασμό κινούμενων προσώπων. Η παρούσα εργασία ακολούθησε μια βιομιμητική προσέγγιση βασισμένη στη λύση (Bottom-Up), αξιοποιώντας τον τρόπο με τον οποίο το φύλλωμα των δέντρων φιλτράρει, διαχέει και κατανέμει το ηλιακό φως. Η μετάφραση αυτής της βιολογικής λειτουργίας σε σχεδιαστική λύση πραγματοποιήθηκε μέσω τριγωνικών επαναλαμβανόμενων μοτίβων με μεταβαλλόμενη διάταξη, δημιουργώντας μια ιεραρχία μορφών που προσομοιώνει τη fractal δομή του φυλλώματος. Η κινητική ικανότητα των σκιάστρων, με δέκα διακριτές γωνίες σκίασης (0° – 90° ανά 10°), εισήγαγε μια δεύτερη διάσταση βιομίμησης, καθώς αντανakλά τη δυναμική απόκριση των φυτών στις μεταβαλλόμενες περιβαλλοντικές συνθήκες.

Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι η βιομιμητική προσέγγιση υπερτερεί έναντι των συμβατικών δυναμικών σκιάστρων, αναφορικά με την δυνατότητα ταυτόχρονης επίτευξης επαρκούς φωτισμού και ελέγχου θάμβωσης. Το εύρημα αυτό επιβεβαιώνει τις διαπιστώσεις των βιβλιογραφικών πηγών, σύμφωνα με τις οποίες τα φυτά αποτελούν συχνή πηγή έμπνευσης για τις δυναμικές προσόψεις, αξιοποιώντας τόσο τα πρότυπα μορφολογικής οργάνωσης όσο και τις στρατηγικές ρύθμισης φωτός που τα ίδια τα φυτά χρησιμοποιούν.

Παράλληλα, η έρευνα ανέδειξε μία από τις βασικές προκλήσεις της βιομιμητικής σχεδιαστικής διαδικασίας: τη μετάφραση σύνθετων βιολογικών μηχανισμών σε εφαρμόσιμες αρχιτεκτονικές λύσεις. Η ανάπτυξη της γεωμετρίας και η διερεύνηση των εναλλακτικών μορφολογικών παραλλαγών απαιτεί εξελιγμένα εργαλεία παραμετρικού σχεδιασμού, όπως τα Rhinoceros και Grasshopper, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία.

5.2.3 Διαδικασία επιλογής σχεδιαστικής στρατηγικής

Η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε βασίστηκε σε μια πολυκριτηριακή αξιολόγηση, στην οποία κάθε σενάριο σκίασης αξιολογήθηκε ως προς πολλαπλούς δείκτες οπτικής άνεσης: αυτονομία φωτισμού (DA), ωφέλιμο φωτισμό (UDI), χωρική αυτονομία φωτός ημέρας (sDA) και πιθανότητα θάμβωσης (DGP).

Η επιλογή της καταλληλότερης σχεδιαστικής στρατηγικής δεν βασίστηκε σε έναν μεμονωμένο δείκτη, αλλά στην ταυτόχρονη αξιολόγηση της ικανότητας κάθε συστήματος να εξασφαλίζει επαρκή φυσικό φωτισμό, περιορισμό της θάμβωσης και συνολικά βελτιωμένες συνθήκες οπτικής άνεσης. Για τον σκοπό αυτό εφαρμόστηκε διαδικασία ωριαίας βελτιστοποίησης, μέσω της οποίας προσδιορίστηκε η καταλληλότερη γωνία σκίασης για κάθε ώρα του έτους, λαμβάνοντας υπόψη τα εκάστοτε επίπεδα φωτισμού και τις συνθήκες θάμβωσης.

Η χρήση λογισμικών προσομοίωσης (Grasshopper, Ladybug Tools, Honeybee, Radiance) καθιστά εφικτή αυτή τη σύνθετη αξιολόγηση, παρέχοντας ποσοτικά δεδομένα για κάθε σενάριο. Ωστόσο, η τελική σχεδιαστική απόφαση λαμβάνει υπόψη και ποιοτικά κριτήρια, όπως η αισθητική αξία των μοτίβων φωτός και σκιάς, η αίσθηση σύνδεσης με τη φύση και η γενικότερη εμπειρία του χρήστη στον χώρο.

5.2.4 Συμβολή κινούμενων προσώπων στην βελτιστοποίηση συνθηκών φωτισμού

Το τέταρτο ερευνητικό ερώτημα αφορούσε τη συμβολή των κινούμενων προσώπων στη δημιουργία βέλτιστων συνθηκών φυσικού φωτισμού. Στην έρευνα χρησιμοποιήθηκαν μόνο κινούμενα σκίαστρα καθώς και ένα σενάριο αναφοράς χωρίς την παρουσία σκιάστρων.

Τα κινούμενα σκίαστρα, μέσω της ωριαίας ρύθμισης της γωνίας σκίασης, επιτρέπουν την προσαρμογή στις μεταβαλλόμενες συνθήκες ηλιασμού, εξασφαλίζοντας αποτελεσματικότερο έλεγχο της θάμβωσης χωρίς να περιορίζεται η αξιοποίηση του φυσικού φωτός. Αυτή η δυναμική συμπεριφορά επιδιώκει να αναπαράγει τον τρόπο με τον οποίο το φύλλωμα των δέντρων φιλτράρει και κατανέμει το ηλιακό φως. Αντί να αποκλείει πλήρως την ηλιακή ακτινοβολία, επιτρέπει την ελεγχόμενη διέλευσή της, δημιουργώντας συνθήκες που προσεγγίζουν περισσότερο τις φωτιστικές ποιότητες που συναντώνται σε φυσικά περιβάλλοντα. Η μεταφορά αυτής της αρχής στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό αποδεικνύεται ιδιαίτερα αποτελεσματική. Σε αντίθεση με τα στατικά συστήματα, τα οποία

έχουν μία σταθερή γεωμετρική διαμόρφωση ανεξάρτητα από τις εξωτερικές συνθήκες, τα δυναμικά συστήματα σκίασης ανταποκρίνονται στις ημερήσιες και εποχικές μεταβολές της ηλιακής ακτινοβολίας, συμβάλλοντας σε βελτιωμένες συνθήκες στο εσωτερικό περιβάλλον του χώρου που εξυπηρετούν.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η δυναμική λειτουργία των βιοφιλικών σκιάστρων (Σενάριο 4) επιτυγχάνει ισορροπία μεταξύ επαρκούς φωτισμού και ελέγχου θάμβωσης σε ποσοστό ωρών σημαντικά υψηλότερο από οποιοδήποτε στατικό σενάριο. Αυτό υποστηρίζει τη θέση ότι οι κινούμενες βιοφιλικές προσόψεις αποτελούν μια αποτελεσματική στρατηγική για τη βέλτιστη διαχείριση του φυσικού φωτισμού σε χώρους γραφείων.

5.2.5 Περιορισμοί του βιοφιλικού σχεδιασμού

Η εφαρμογή των αρχών του βιοφιλικού σχεδιασμού και της βιομίμησης στον σχεδιασμό δυναμικών συστημάτων σκίασης συνοδεύεται από ορισμένους περιορισμούς, οι οποίοι πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την ερμηνεία των αποτελεσμάτων.

Η πολυπλοκότητα της γεωμετρίας δημιουργεί κατασκευαστικές προκλήσεις. Η παραγωγή και υλοποίηση τέτοιων συστημάτων απαιτεί αυξημένη ακρίβεια, ενώ πιθανές τροποποιήσεις της γεωμετρίας ενδέχεται να επηρεάσουν τα αποτελέσματα φωτισμού που παρουσιάζονται στην παρούσα έρευνα.

Παράλληλα, ο σχεδιασμός των βιοφιλικών σκιάστρων που έχουν επιλεχθεί δεν επιτρέπει πλήρη συσκότιση στον χώρο, όπως τα συμβατικά συστήματα σκίασης. Αντίθετα, επιδιώκουν τη διατήρηση οπτικής και φωτιστικής σύνδεσης με το εξωτερικό περιβάλλον μέσω της ελεγχόμενης διέλευσης του φυσικού φωτός. Ως αποτέλεσμα, σε περιόδους ιδιαίτερα έντονου ηλιασμού ενδέχεται να εμφανίζονται συνθήκες αυξημένης έντασης φωτισμού ή περιστασιακά φαινόμενα θάμβωσης, τα οποία δεν μπορούν να εξαλειφθούν πλήρως αποκλειστικά μέσω της γεωμετρίας του συστήματος.

Η ωριαία βελτιστοποίηση της γωνίας σκίασης προϋποθέτει ένα αυτοματοποιημένο σύστημα ελέγχου, το οποίο δεν μοντελοποιήθηκε. Η μηχανική απόκριση κατά τη μετάβαση μεταξύ γωνιών, ο χρόνος απόκρισης, η κατανάλωση ενέργειας, η αντοχή των κινητών μερών, οι απαιτήσεις συντήρησης και η αξιοπιστία του συστήματος αποτελούν ανοιχτά ζητήματα.

Τέλος, η αξιολόγηση βασίστηκε αποκλειστικά σε προσομοιώσεις φυσικού φωτισμού και οπτικής άνεσης. Παρότι τα λογισμικά που χρησιμοποιήθηκαν θεωρούνται αξιόπιστα εργαλεία περιβαλλοντικής ανάλυσης, τα αποτελέσματα δεν συνοδεύονται από πειραματική επαλήθευση σε πραγματικό χώρο ή πρωτότυπο κατασκευασμένο σύστημα.

5.3 Εξωτερική συζήτηση

Τις τελευταίες δεκαετίες έχει πραγματοποιηθεί εκτεταμένη έρευνα σχετικά με την αξιολόγηση της απόδοσης των βιοφιλικών συστημάτων σκίασης, ως προς την επίτευξη οπτικής άνεσης και βελτίωσης των συνθηκών στο εσωτερικό περιβάλλον. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται μια μορφή βιοφιλικών σκιάστρων στο εξωτερικό τμήμα του παραθύρου σε οριζόντια και κάθετη διάταξη και συγκρίνονται με την μη ύπαρξη σκιάστρων καθώς και την χρήση οριζόντιων και κάθετων συμβατικών σκιάστρων. Σ' όλες τις περιπτώσεις σκιάστρων, η λειτουργία τους είναι δυναμική και επιλέγεται το κατάλληλο σενάριο γωνιών σκίασης με βάση την επίτευξη οπτικής άνεσης.

Τα ευρήματα επιβεβαιώνουν ότι τα βιοφιλικά συστήματα σκίασης συμβάλλουν στην επίτευξη της οπτικής άνεσης, ενώ σε κάποιες περιπτώσεις μετράται και η ενεργειακή κατανάλωση. Έχουν πραγματοποιηθεί μελέτες με τη χρήση δυναμικών/κινούμενων σκιάστρων με κεντρικό ή αποκεντρωμένο έλεγχο με σκοπό την ερμηνεία αυτών των συστημάτων. Τα συστήματα αυτά ανταποκρίνονται επίσης θετικά, και παρατηρείται ότι η απλοποίηση των γεωμετριών έχει βελτιωμένα αποτελέσματα σε σχέση με πολυπλοκότερες γεωμετρίες. Ακόμα, έχουν γίνει μελέτες που συνδυάζουν βιοφιλικά-βιομιμητικά συστήματα με εξειδικευμένη τεχνολογία στους υαλοπίνακες για την επίτευξη των βέλτιστων επιπέδων φωτισμού.

Έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνολογίες και μέθοδοι σκίασης, οι οποίες διαφέρουν ως προς την ευελιξία, τη διαχείριση του φυσικού φωτός, τον περιορισμό της θάμβωσης και την ενεργειακή τους απόδοση. Η αποτελεσματικότητά τους εξαρτάται από παράγοντες όπως το κλίμα, το σύστημα ανοιγμάτων, το είδος και η θέση του σκιάστρου.

Για τον λόγο αυτό, στον Πίνακα 7 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα προηγούμενων ερευνών σχετικά με τις επιπτώσεις διαφορετικών συστημάτων ηλιοπροστασίας σε κτίρια

γραφείων, προκειμένου να αξιολογηθεί η αποτελεσματικότητα της προτεινόμενης στρατηγικής σε σύγκριση με άλλες λύσεις σκίασης και ελέγχου.

Συγγραφείς	Περιγραφή	Μεθοδολογία	Σύστημα σκίασης	Στρατηγική ελέγχου	Ευρήματα
(Kamalabadi, Hosseini, & Azmoodeh, 2025)	Ενσωμάτωση βιο-εμπνευσμένων προσαρμοστικών στρατηγικών, συνδυάζοντας μια κινητική πρόσοψη με ηλεκτροχρωμικούς (EC) έξυπνους υαλοπίνακες για τη βελτιστοποίηση του φυσικού φωτισμού και του ελέγχου θάμβωσης σε ψυχρό ερημικό κλίμα	Προσομοίωση	Προσαρμοστικό σύστημα σκίασης που συνδυάζει δυναμική κινητική πρόσοψη (εμπνευσμένη από τα στόματα των φυτών και τη μορφολογία του λουλουδιού της Ίριδας) με ηλεκτροχρωμικούς (EC) υαλοπίνακες.	Υβριδικός αποκεντρωμένος έλεγχος που συνδυάζει τις κινητικές κινήσεις με την ανταποκρινόμενη αλλαγή των ηλεκτροχρωμικών υαλοπινάκων με βάση τις συνθήκες φωτισμού.	Εξισορροπεί την κατανομή του φυσικού φωτός. Διατηρεί το UDI μεταξύ 86,36% και 93,44% ελαχιστοποιώντας παράλληλα τη θάμβωση (DGP < 0,38).
(Ashraf & Abdin, 2024)	Βιομιμητικό σύστημα σκίασης εμπνευσμένο από τον κάκτο Saguaro για κτίρια γραφείων, συνδυάζοντας δύο βιομιμητικά επίπεδα (οργανισμός και συμπεριφορά) με στόχο τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας στην περιοχή του Καΐρου.	Προσομοίωση	Βιομιμητικό κέλυφος σκίασης πολλαπλών γωνιών εμπνευσμένο από την κάθετη ραβδωτή γεωμετρία του κάκτου Saguaro	• Σταθερή /μη κινητική γεωμετρία. • Η βέλτιστη διαμόρφωση του σκιάστρου εντοπίζεται μέσω βελτιστοποιήσεων πολλαπλών στόχων σε 1.384 εναλλακτικές λύσεις, στοχεύοντας στο ελάχιστο EUI και το μέγιστο sDA • Χρήση Octopus, Grasshopper	Το βελτιστοποιημένο βιομιμητικό κέλυφος επέτυχε 20% μείωση στην κατανάλωση ενέργειας και 36,5% μείωση στο ψυκτικό φορτίο σε σύγκριση με το αρχικό μοντέλο. Έως και το 97% των εσωτερικών χώρων έλαβε επαρκές φυσικό φως.
(Sommese, et al., 2024)	Φωτο-ανταποκρινόμενο κινητικό βιομιμητικό σύστημα πρόσοψης εμπνευσμένο από τις κινήσεις του λουλουδιού Gazania (άνοιγμα/κλείσιμο πετάλων ανάλογα με το φως), στην περιοχή της Νάπολης	Προσομοίωση	Κινητικά modules με μορφή ως πέταλα Υλικά: Πολυμερή με μνήμη σχήματος (SMPs) ως φωτοευαίσθητοι αισθητήρες για απόκριση στο φως χωρίς την ανάγκη μηχανικού συστήματος	• Κίνηση βασισμένη στο υλικό και στην απόκριση έντασης φωτός • Παραμετρικός σχεδιασμός στο Rhino / Grasshopper με Honeybee/Ladybug	87.5%–100% UDI σε διαφορετικούς συνδυασμούς Βέλτιστα αποτελέσματα για τον φωτισμό (sDA, UDI, EUDI) και αποφυγή θάμβωσης(DGP).
(Hosseini, Heidari, Attia, Wang, & Triantafyllidis, 2024)	Αναπτύσσει μια μεθοδολογία που εξάγει μια αρχιτεκτονική έννοια από μια βιολογική αναλογία, για να διερευνήσει αν οι πολύπλοκες μορφές λειτουργούν καλύτερα από τις απλές μορφές όταν έχουν κατάλληλη κινητική συμπεριφορά για τη βελτίωση του φυσικού φωτισμού.	Προσομοίωση	Διαδραστική κινητική πρόσοψη που χρησιμοποιεί μια «Περιοδική Διαδραστική Περιοχή» (PIR) εμπνευσμένη από τα φτερά της πεταλούδας morpno. Συγκρίνει μια πολύπλοκη μορφή (Υπερβολικό Παραβολοειδές) με μια απλούστερη μορφή ("Βιβλιοθήκη")	• Κινητική συμπεριφορά • Η πρόσοψη προσαρμόζεται στο φως της ημέρας χρησιμοποιώντας παραμετρική μοντελοποίηση	Η απλούστερη μορφή ("Βιβλιοθήκη") σε συνδυασμό με την κατάλληλη κινητική συμπεριφορά υπερτερεί της πολύπλοκης μορφής όσον αφορά την απόδοση του φυσικού φωτισμού και τον έλεγχο θάμβωσης (sDA 89,07%, UDI 94,53%).

(Hosseini, Mohammadi, Schröder, & Guerra-Santin, Bio-inspired interactive kinetic façade: Using dynamic transitory-sensitive area to improve multiple occupants' visual comfort, 2021)	Βιο-εμπνευσμένη διαδραστική κινητική πρόσοψη βασισμένη στα μοτίβα κατανομής και κίνησης των στομάτων των φυτών στην περιοχή Γιαζντ, Ιράν Εισαγωγή της έννοιας της «δυναμικής μεταβατικής-ευαίσθητης περιοχής» (TSA).	Προσομοίωση	Διαδραστική κινητική πρόσοψη σκίασης με παραμορφώσιμη μορφή Αρθρωτά πάνελ (βέλτιστη διαίρεση 8×1) με μη κεντρικό έλεγχο	- Δυναμική πρόσοψη, ανταποκρίνεται ταυτόχρονα στη θέση του ήλιου και στις θέσεις πολλαπλών χρηστών. - Αποκεντρωμένο σύστημα ελέγχου - Rhino 6 / Grasshopper/ DIVA 4 plugin	Η διαίρεση 8×1 επιτυγχάνει την καλύτερη απόδοση: sDA = 60,5%, UDI = 90,47%. Βελτιώνει αποτελεσματικά την οπτική άνεση πολλαπλών χρηστών ταυτόχρονα χωρίς θάμβωση.
(Hosseini, Fadli, & Mohammadi, Biomimetic Kinetic Shading Facade Inspired by Tree Morphology for Improving Occupant's Daylight Performance, 2021)	Βιομιμητική κινητική πρόσοψη εμπνευσμένη από τη μορφολογία των δέντρων (διακλάδωση, καμπυλότητα φύλλων, στρώσεις φυλλώματος) για τη βελτίωση του φυσικού φωτισμού, χρησιμοποιώντας μια top-down μορφολογική προσέγγιση	Προσομοίωση	Κινητική πρόσοψη σκίασης σε πολλαπλά επίπεδα με κινήσεις καμπυλότητας, εμπνευσμένη από την πυκνότητα του φυλλώματος των δέντρων Αρθρωτά πάνελ σε κάνναβο με δυνατότητα ελαστικής παραμόρφωσης.	- Δυναμική κινητική πρόσοψη, οι μονάδες της πρόσοψης αλλάζουν καμπυλότητα ανάλογα με τη θέση του ήλιου. - Λογική ελέγχου προερχόμενη από τη μορφολογική προσαρμογή των δέντρων	Η βιο-εμπνευσμένη κινητική πρόσοψη βελτιώνει σημαντικά την απόδοση του φυσικού φωτισμού. Η καλύτερη περίπτωση πέτυχε sDA = 50,6%, UDI = 85,5%. Αποτρέπει αποτελεσματικά την οπτική δυσφορία
(Tabadkani, Banihashemi, & Hosseini, Daylighting and visual comfort of oriental sun responsive skins: A parametric analysis, 2018)	Παραμετρική ανάλυση του φυσικού φωτισμού και της οπτικής άνεσης μέσω ενός ηλιακά ανταποκρινόμενου συστήματος σκίασης εμπνευσμένου από ανατολίτικα γεωμετρικά μοτίβα, στην Τεχεράνη.	Προσομοίωση	Ηλιακά ανταποκρινόμενο κινητικό σύστημα σκίασης βασισμένο στην ανατολίτικη γεωμετρία (ισλαμικά μοτίβα "Ροζέτας" και περσίδες).	- Δυναμικός παραμετρικός έλεγχος που τροποποιεί την περιστροφή, την απόσταση από την πρόσοψη, τη διαπερατότητα και τα χρώματα ανάλογα με την ώρα της ημέρας για τον έλεγχο του φυσικού φωτισμού. 6.480 εναλλακτικές - Rhino / Grasshopper/ DIVA/Ladybug	Τα προτεινόμενα κινητικά μοτίβα βελτιώνουν σημαντικά την ευελιξία σκίασης και τον έλεγχο θάμβωσης, παρέχοντας ένα πλήρως προσαρμοστικό μοτίβο που επιτυγχάνει τα μέγιστα επίπεδα οπτικής άνεσης σύμφωνα με το LEEDv4

Πίνακας 7-Βιβλιογραφικές αναφορές

5.4 Σύνοψη

Η συζήτηση των αποτελεσμάτων κατέδειξε ότι τα βιοφιλικά σκίαστρα, ιδιαίτερα στην οριζόντια διάταξη (Σενάριο 4), ανταποκρίνονται ικανοποιητικά στα ερευνητικά ερωτήματα και υποστηρίζουν την υπόθεση ότι ο βιοφιλικός σχεδιασμός μπορεί να συμβάλει ουσιαστικά στην επίτευξη οπτικής άνεσης σε χώρους γραφείων. Η βιομιμητική προσέγγιση, βασισμένη στη δομή του φυλλώματος, αποδεικνύεται αποτελεσματική τόσο ως προς τη λειτουργικότητα (φιλτράρισμα φωτός, είσοδο του φωτός στο εσωτερικό του δωματίου, μείωση θάμβωσης) όσο και ως προς την αισθητική αξία με την δημιουργία δυναμικών μοτίβων φωτός και σκιάς στον χώρο. Ωστόσο, η εφαρμογή των βιοφιλικών σκιάστρων υπόκειται σε περιορισμούς.

6 Συμπεράσματα

6.1 Εισαγωγή

Το παρόν κεφάλαιο συνοψίζει τα βασικά ευρήματα της έρευνας και αξιολογεί τη συμβολή των βιοφιλικών δυναμικών συστημάτων σκίασης στη βελτίωση των συνθηκών φυσικού φωτισμού και οπτικής άνεσης σε χώρους γραφείων. Μέσα από τη σύγκριση διαφορετικών στρατηγικών σκίασης αναδείχθηκαν οι δυνατότητες αλλά και οι περιορισμοί της βιομιμητικής προσέγγισης στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό. Παράλληλα, εξετάζονται οι περιορισμοί της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε και διατυπώνονται προτάσεις για μελλοντική έρευνα. Στόχος είναι η διεύρυνση της γνώσης σχετικά με την εφαρμογή βιοφιλικών και δυναμικών συστημάτων σκίασης στο δομημένο περιβάλλον.

6.2 Επισκόπηση της έρευνας

Η παρούσα διπλωματική εργασία διερεύνησε τον σχεδιασμό προσώπων εμπνευσμένων από τη φύση με στόχο τη βελτίωση των συνθηκών φυσικού φωτισμού και την επίτευξη οπτικής άνεσης σε χώρους γραφείων. Μέσω παραμετρικής προσομοίωσης πέντε εναλλακτικών σεναρίων σκίασης σε τυπικό χώρο γραφείου με νότιο προσανατολισμό στην Αθήνα, αξιολογήθηκε η απόδοση των βιοφιλικών δυναμικών σκιάστρων σε σύγκριση με τα συμβατικά δυναμικά συστήματα σκίασης. Χρησιμοποιήθηκαν για τη σύγκριση οριζόντια και κάθετα σκιάστρα καθώς και η περίπτωση απουσίας σκιάστρου.

Τα κυριότερα συμπεράσματα της έρευνας συνοψίζονται παρακάτω:

- ☐ Η απουσία σκίασης σε χώρους γραφείων με μεγάλα ανοίγματα (WWR 95%) και νότιο προσανατολισμό, οδηγεί σε υπερβολικό φωτισμό και θάμβωση στον χώρο κατά το μεγαλύτερο μέρος των εργάσιμων ωρών. Τα αποτελέσματα της πρώτης προσομοίωσης (σενάριο 1) επιβεβαιώνουν αυτό το πρόβλημα.
- ☐ Τα συμβατικά σκιάστρα (οριζόντια και κάθετα) με τη χρήση βελτιστοποιήσεων κατά την δυναμική τους λειτουργία μειώνουν αποτελεσματικά τη θάμβωση, αλλά τα επίπεδα φωτισμού στον χώρο είναι αρκετά χαμηλά, ιδιαίτερα στο εσωτερικό του δωματίου μελέτης. Η υπερβολική σκίαση του χώρου μειώνει την ωφελιμότητα του φυσικού φωτισμού και δημιουργεί την ανάγκη χρήσης τεχνητού φωτισμού σημειακά για την επίτευξη των κατάλληλων συνθηκών φωτισμού.

- ☐ Τα βιοφιλικά δυναμικά οριζόντια σκίαστρα (Σενάριο 4) επιτυγχάνουν τον καλύτερο συνδυασμό μεταξύ επαρκούς φωτισμού και θάμβωσης. Η γεωμετρία τους λειτουργεί ως φίλτρο, διασπώντας τις δέσμες φωτός σε μικρότερα τμήματα και δημιουργώντας ομοιόμορφη κατανομή φωτός.
- ☐ Τα βιοφιλικά δυναμικά κάθετα σκίαστρα (Σενάριο 5) ευνοούν επίσης τη διείσδυση του φωτός αλλά δημιουργούν ζητήματα θάμβωσης σε χαμηλές ηλιακές γωνίες (χειμερινή περίοδο).
- ☐ Η βιομιμητική προσέγγιση (Bottom-Up), βασισμένη στη μελέτη του φυλλώματος δέντρων, αποδεικνύεται κατάλληλη μεθοδολογία για τον σχεδιασμό κινούμενων προσόψεων. Η μετάφραση της βιολογικής λειτουργίας σε αρχιτεκτονική λύση μέσω εργαλείων παραμετρικού σχεδιασμού (RhinoCeros, Grasshopper, Ladybug Tools, Honeybee) καθιστά εφικτή τη δημιουργία σύνθετων γεωμετριών και την αξιολόγηση της απόδοσής τους σε σχέση με τους δείκτες οπτικής άνεσης.
- ☐ Ο βιοφιλικός σχεδιασμός δεν λειτουργεί μόνο ως τεχνικό εργαλείο για τον έλεγχο φωτισμού, αλλά προσφέρει ταυτόχρονα αισθητική αξία μέσω των δυναμικών μοτίβων φωτός και σκιάς που δημιουργούν τα σκίαστρα που παρουσιάστηκαν. Αυτά τα μοτίβα ανακαλούν τα σχέδια φωτός κάτω από τα δέντρα, ενισχύοντας την αίσθηση σύνδεσης του χρήστη με τη φύση, σύμφωνα με τις αρχές του βιοφιλικού σχεδιασμού.

6.3 Περιορισμοί και προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Η παρούσα μελέτη εστιάζει στην μελέτη βιοφιλικών συστημάτων σκίασης και γίνεται σύγκριση με τα συμβατικά σκίαστρα σε χώρο γραφείου. Η στρατηγική που ακολουθείται βασίζεται αρχικά στην αποφυγή θάμβωσης στον χώρο, κρίνοντας το ως βασικό παράγοντα για την οπτική άνεση σε περιβάλλοντα εργασίας και έπειτα στην επίτευξη κατάλληλων επιπέδων φωτισμού (500lux) στο μεγαλύτερο μέρος του δωματίου μελέτης. Τα αποτελέσματα και οι παρατηρήσεις που αποκτήθηκαν από την πραγματοποίηση προσομοιώσεων σε όλα τα αναφερόμενα σκίαστρα, μπορούν να δώσουν μία εικόνα για τους μηχανισμούς βελτιστοποίησης κατά την χρήση δυναμικών σκιάστρων, τα οφέλη της σκίασης και τον έλεγχο φωτισμού και να βοηθήσουν στην περαιτέρω έρευνα σε αυτό τον τομέα.

Η μελλοντική έρευνα για την χρήση βιοφιλικών σκιάστρων προτείνεται να ακολουθήσει τις ακόλουθες κατευθύνσεις.

- ☐ Πειραματική επαλήθευση των αποτελεσμάτων προσομοίωσης μέσω της κατασκευής φυσικού μοντέλου ή προπλάσματος και μέτρηση των επιπέδων φωτισμού σε πραγματικές συνθήκες.
- ☐ Επέκταση της μελέτης σε διαφορετικούς προσανατολισμούς (βόρειο, ανατολικό, δυτικό) και κλιματικές ζώνες, για την αξιολόγηση των ευρημάτων.
- ☐ Μελλοντικές έρευνες θα μπορούσαν να επεκταθούν στην αξιολόγηση της επίδρασης των βιοφιλικών συστημάτων σκίασης στα θερμικά φορτία θέρμανσης και ψύξης, με στόχο την ολοκληρωμένη αξιολόγηση τόσο της ενεργειακής απόδοσης όσο και της ποιότητας του εσωτερικού περιβάλλοντος ενός κτιρίου.
- ☐ Τροποποίηση των κριτηρίων κατά την επιλογή της βέλτιστης γωνίας σκίασης, και σύγκριση των αποτελεσμάτων.
- ☐ Αξιολόγηση των συστημάτων σε χώρους με διαφορετική χρήση και απαιτήσεις φωτισμού.
- ☐ Επέκταση των βιοφιλικών σκιάστρων σε μεγαλύτερη έκταση μελέτης, όπως το σύνολο του κτιρίου και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων.
- ☐ Εξέταση πρόσθετων βιομιμητικών προτύπων, όπως τα στόματα των φυτών για τον σχεδιασμό κινούμενων σκιάστρων με τη χρήση διαφορετικών γεωμετριών και σύγκρισης με την βιομιμητική δομή που παρουσιάστηκε στην παρούσα έρευνα.

6.4 Σύνοψη

Η παρούσα έρευνα αναδεικνύει ότι η ενσωμάτωση αρχών βιοφιλικού σχεδιασμού και βιομίμησης στον σχεδιασμό δυναμικών συστημάτων σκίασης μπορεί να συμβάλει ουσιαστικά στη βελτίωση των συνθηκών φυσικού φωτισμού και οπτικής άνεσης σε χώρους εργασίας. Τα αποτελέσματα υποδεικνύουν ότι η αξιοποίηση μορφολογικών και λειτουργικών χαρακτηριστικών που εντοπίζονται στη φύση δύναται να προσφέρει εναλλακτικές σχεδιαστικές λύσεις με αυξημένη περιβαλλοντική και αισθητική αξία.

Βιβλιογραφία

- Al-Masrani, S., & Al-Obaidi, K. (2019). Dynamic shading systems: A review of design parameters, platforms and evaluation strategies. *Automation in Construction*, 102, 195-216.
- Almusaed, A. (2011). *Biophilic and Bioclimatic Architecture-Analytical Therapy for the Next Generation of Passive Sustainable Architecture*. London: Springer.
- Al-Obaidi, K., Azzam Ismail, M., Hussein, H., & Abdul Rahman, A. (2017). Biomimetic building skins: An adaptive approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 79, 1472-1491.
- Arnesen, H., Kolås, T., & Matusiak, B. (2011). *A guide to daylighting and solar shading systems at high latitude*. SINTEF Academic Press.
- Ashraf, N., & Abdin, A. (2024). Biomimetic design synthesis and digital optimization of building shading skin: A novel conceptual framework for enhanced energy efficiency. *Energy and Buildings*, 323.
- Association Suisse des Electriciens. (1989). *Éclairage intérieur par la lumière du jour*. Swiss Norm SN 418911. Zurich: Association Suisse des Electriciens.
- Badarnah, L. (2017). Form Follows Environment: Biomimetic Approaches to Building Envelope Design for Environmental Adaptation. *Buildings*.
- Berge, B. (2011, 1). *The engine is not responding: A critique of the automatic energy-saving home*. Ανάκτηση από Arkitektur: https://www.gaiaarkitektur.no/images/gaia_lista/boker_og_artikler/pdf_artikler/Engine_isnt_respondingenglish_nov202011.pdf
- Böhme, G. (1993). Atmosphere as a Fundamental Concept of a New Aesthetics. *Thesis Eleven*, 113-126.
- Boubekri, M. (2014). *Daylighting Design-Planning Strategies and Best Practice Solutions*. Basel: Birkhäuser Verlag GmbH.
- BRE Global. (2024). *BREEAM International New Construction Version 7 Technical Manual*. Building Research Establishment.
- Browning, W. D., & Ryan, C. O. (2020). *Nature Inside- A biophilic design guide*. London: Riba Publishing.

- Browning, W., Ryan, C., & Clancy, J. (2014). *14 patterns of biophilic design-improving health & well-being in the built environment*. New York: Terrapin Bright Green, LLC.
- C., C. (2026, Ιουνίου 30). *Lawrence Group*. Ανάκτηση από <https://thelawrencegroup.com>: <https://thelawrencegroup.com/well-building-standard-access-the-outside-world/>
- Chaloeytoy, K., Ichinose, M., & Chien, S.-C. (2020). Determination of the Simplified Daylight Glare Probability (DGPs) Criteria for Daylit Office Spaces in Thailand. *Buildings*.
- Clarke, J., & Hensen, J. (2015). Integrated Building Performance Simulation: Progress, Prospects and Requirements. *Building and Environment*.
- Contreras, G., Lezcano, R., Fernández, E., & Pérez Gutiérrez, M. (2023, 4 27). Architecture Learns from Nature. The Influence of Biomimicry and Biophilic Design in Building. *Modern Applied Science*, 17, 58.
- Corbusier, L. (1986). *Towards a new architecture*. (F. Etchells, Μεταφρ.) New York: Dover Publications, INC.
- Crawley, D. (2003). Building Simulation Process: Overview and Resources. *ASHRAE Winter Meeting*. Chicago.
- Delay, L. (2020). The impact of Biophilic Design elements on the atmospheric perception of the interior space. *International Journal of Landscape Architecture Research*.
- Demirkol, A., & Onaç, A. (2024). Integrating biophilic design elements into office designs. *Ain Shams Engineering Journal*, 15.
- Duijnhoven, J., Aarts, M., Aries, M., Rosemann, A., & Kort, H. (2019). Systematic review on the interaction between office light conditions and occupational health: Elucidating gaps and methodological issues. *Indoor and Built Environment*, 28(2), 152-174.
- El Houda, A., & Mohamed, D. (2018). Advanced Building Skins Inspired From Plants Adaptation-Strategies to Environmental Stimuli: A review. *2018 International Conference on Applied Smart Systems (ICASS'2018)*. Algeria.
- Elantary, A. (2024). Unleashing the Potential: The Impact of Biophilic Office Design on Enhancing Employee Productivity. *Mansoura Engineering Journal*, 49, 1-9.
- Eltaweel, A., & Su, Y. (2017). Parametric design and daylighting: A literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 1086-1103.

- El-Zeiny, R. (2012). Biomimicry as a Problem Solving Methodology in Interior Architecture. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 502-512.
- Energy Conservation in Buildings and Community Systems and Solar Heating and Cooling Programmes. (2010). *Daylight in Buildings- Energy Conservation in Buildings & Community Systems & Solar Heating and Cooling Programmes*. AECOM Ltd.
- EPA. (2024, Ιούλιος). *Importance of Indoor Air Quality*. Ανάκτηση Ιανουάριος 26, 2025, από EPA: <https://www.epa.gov/report-environment/indoor-air-quality#note1>
- EUR-Lex. (2019). *Communication From The Commission To The European Parliament, The European Council, The Council, The European Economic And Social Committee And The Committee Of The Regions The European Green Deal*. Ανάκτηση Νοέμβριος 24, 2024, από EUR-Lex: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2019%3A640%3AFIN>
- Gamage, A., & Hyde, R. (2012). A model based on Biomimicry to enhance ecologically sustainable design. *Architectural Science Review*, 224-235.
- Goldstein, R. (1976). *Natural light in Architectural Design*. Massachusetts: Master of Architecture, Thesis, S.B.A.D., Massachusetts Institute of Technology.
- Han, K.-T., & Li-Wen, R. (2020, May). Effects of indoor plants on air quality: a systematic review. *Environmental Science and Pollution Research* .
- Herzog, T., Lang, W., & Krippner, R. (2012). *Facade Construction Manual*. Basel: De Gruyter.
- Heschong, L. (2002, Ιούνιος). Daylight and Human Performance. *ASHRAE Journal*.
- Hildebrand, G. (1999). *The Origins of Architectural Pleasure*. California: Berkeley: University of California Press.
- Hobstetter, D. (2007). *Daylighting and productivity: a study of the effects of the indoor environment on human function*. Ανάκτηση Δεκέμβριος 27, 2024, από The space place: <https://thespaceplace.net/daylighting-and-productivity-a-study-of-the-effects-of-the-indoor-environment-on-human-function/>
- Honeybee Wiki Home. (2019). *Honeybee-Wiki*. Ανάκτηση 2026, από Honeybee-Wiki: <https://docs.ladybug.tools/honeybee-wiki>
- Hosseini, S., Fadli, F., & Mohammadi, M. (2021). Biomimetic Kinetic Shading Facade Inspired by Tree Morphology for Improving Occupant's Daylight Performance. *Journal of Daylighting*, 65-82.

- Hosseini, S., Heidari, S., Attia, S., Wang, J., & Triantafyllidis, G. (2024). Biomimetic kinetic façade as a real-time daylight control: complex form versus simple form with proper kinetic behavior. *Smart and Sustainable Built Environment*.
- Hosseini, S., Heiranipour, M., Wang, J., Hinkle, L., Triantafyllidis, G., & Attia, S. (2024). Enhancing Visual Comfort and Energy Efficiency in Office Lighting Using Parametric-Generative Design Approach for Interactive Kinetic Louvers. *Journal of Daylighting*, 11, 69-96.
- Hosseini, S., Mohammadi, M., & Guerra-Santin, O. (2019). Interactive kinetic façade: Improving visual comfort based on dynamic daylight and occupant's positions by 2D and 3D shape changes. *Building and Environment*, 165.
- Hosseini, S., Mohammadi, M., Rosemann, A., Schröder, T., & Lichtenberg, J. (2019, 4 15). A morphological approach for kinetic façade design process to improve visual and thermal comfort: Review. *Building and Environment*, 153, 186-204.
- Hosseini, S., Mohammadi, M., Schröder, T., & Guerra-Santin, O. (2020, 09). Integrating interactive kinetic façade design with colored glass to improve daylight performance based on occupants' position. *Journal of Building Engineering*, 31.
- Hosseini, S., Mohammadi, M., Schröder, T., & Guerra-Santin, O. (2021, 12 1). Bio-inspired interactive kinetic façade: Using dynamic transitory-sensitive area to improve multiple occupants' visual comfort. *Frontiers of Architectural Research*, 821-837.
- Illuminating Engineering Society of North America. (2012). *Approved Method: IES Spatial Daylight Autonomy (sDA) and Annual Sunlight Exposure (ASE)*. United States of America: Illuminating Engineering Society of North America. Ανάκτηση Μάιος 2026, από https://webstore.ansi.org/preview-pages/IESNA/preview_IES+LM-83-12.pdf?srsId=AfmBOogjsg618Ei8uTMmJK721oaqsT7ipLGLVeRX0KiASqapJLhNNoh
- International Energy Agency Energy Conservation in Buildings and Community Systems Programme. (2000). *Daylight in buildings: a source book on daylighting systems and components*. Lawrence Berkeley National Laboratory.
- International WELL Building Institute. (2026, Ιούνιος). *Explore the Standard-Light Q4 2020 version*. Ανάκτηση από standard wellcertified: <https://standard.wellcertified.com/light>

- Kamalabadi, S., Hosseini, S., & Azmoodeh, M. (2025). Integration of bio-inspired adaptive systems for optimizing daylight performance and glare control. *Journal of Building Engineering*, 105.
- Kellert, S. (2006). Building for Life: Designing Understanding the Human-Nature Connection. *Renewable Resources Journal*.
- Kellert, S., & Calabrese, E. (2015). *The practice of Biophilic Design*.
- Kellert, S., Heerwagen, J., & Mador, M. (2008). *Biophilic Design: The Theory, Science, and Practice of Bringing Buildings to Life*. USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Kellert, S., Wilson, E., & Shepard, P. (1993). *The Biophilia Hypothesis*. Island Press.
- Ko, W., Schiavon, S., Zhang, H., Graham, L., Brager, G., Mauss, I., & Lin, Y.-W. (2020). The impact of a view from a window on thermal comfort, emotion, and cognitive performance. *Building and Environment*.
- Kontadakis, A., Tsangrassoulis, A., Doulos, L., & Zerefos, S. (2018). A Review of Light Shelf Designs for Daylit Environments. *Sustainability*.
- Lefosse, D., Timmeren, A., & Ratti, C. (2023, 11 1). Biophilia Upscaling: A Systematic Literature Review Based on a Three-Metric Approach. *Sustainability (Switzerland)*.
- Lei, Q., Lau, S., Yuan, C., & Qi, Y. (2022). Post-Occupancy Evaluation of the Biophilic Design in the Workplace for Health and Wellbeing. *Buildings*.
- Lei, Q., Yuan, C., & Lau, S. (2021). A quantitative study for indoor workplace biophilic design to improve health and productivity performance. *Journal of Cleaner Production*, 129-168.
- Li, H., Tian, Z., Zhang, S., & Zou, M. (2024). Using artificial windows to influence occupants' mood and task performance in windowless spaces - A review. *Building and Environment*.
- Loonen, R., Favoino, F., Hensen, J., & Overend, M. (2016). Review of current status, requirements and opportunities for building performance simulation of adaptive facades. *Journal of Building Performance Simulation*.
- López, M., Rubio, R., Martín, S., & Croxford, B. (2017). How plants inspire façades. From plants to architecture: Biomimetic principles for the development of adaptive architectural envelopes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 692-703.

- Lopez, M., Rubio, R., Martin, S., & Jackson, R. J. (2015). Active materials for adaptive architectural envelopes based on plant adaptation principles. *Journal of Facade Design and Engineering*, 27-38.
- Mahmoud, A., & Elghazi, Y. (2016). Parametric-based designs for kinetic facades to optimize daylight performance: Comparing rotation and translation kinetic motion for hexagonal facade patterns. *Solar Energy*, 111-127.
- Makram, A., & Abou Ouf, T. (2019). Biomimetic and biophilic design as an approach to the innovative architecture design.
- Mardaljevic, D. J. (2009). *Climate-Based Daylight Analysis for Residential Buildings- Impact of various window configurations, external obstructions, orientations and location on useful daylight illuminance*. Ανάκτηση Δεκέμβριος 21, 2024, από [www.solaripedia.com](https://www.solaripedia.com/files/436.pdf): <https://www.solaripedia.com/files/436.pdf>
- Mardaljevic, J., & Nabil, A. (2005, Μάρτιος). Useful daylight illuminance: a new paradigm for assessing daylight in buildings. *Lighting Research & Technology*.
- Mazzoleni, I. (2013). *Architecture Follows Nature- Biomimetic principles for innovative design*. Boca Raton: CRC Press.
- Parsaee, M., Demers, C., Potvin, A., Lalonde, J.-F., Inanici, M., & Hebert, M. (2021). Biophilic photobiological adaptive envelopes for sub-Arctic buildings: Exploring impacts of window sizes and shading panels' color, reflectance, and configuration. *Solar energy*, 220, 802-827.
- Pawlyn, M. (2016). *Biomimicry in Architecture* (2nd edition εκδ.). St Nicholas Street, Newcastle upon Tyne, NE1 1RH: RIBA Publishing.
- Phillips, D. (2004). *Daylighting-Natural light in architecture*. Burlington, NJ, USA: Architectural Press.
- Reinhart, C. F., Mardaljevic, J., & Rogers, Z. (2006). Dynamic daylight performance metrics for sustainable building design. *Leukos*, 1-25.
- Reinhart, C., & Walkenhorst, O. (2001). Dynamic RADIANCE-based Daylight Simulations for a full-scale Test Office with outer Venetian Blinds. *Energy & Buildings*, 33(7), 683-697.
- Salingaros, N. (2015). *Biophilia and Healing Environments: Healthy Principles For Designing the Built World*. New York: Terrapin Bright Green, LLC.

- Sanchez, J. A., Ikaga, T., & Sanchez, S. V. (2018). Quantitative improvement in workplace performance through biophilic design: A pilot experiment case study. *Energies & Buildings*, 177, 316-328.
- Sankaewthong, S., Horanont, T., Miyata, K., & Karnjana, J. (2021). Designing a facade by biomimicry science to effectively control natural light in buildings (Glare analysis). *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1148.
- Sommese, F., Hosseini, S., Badarnah, L., Capozzi, F., Giordano, S., Ambrogio, V., & Ausiello, G. (2024). Light-responsive kinetic façade system inspired by the Gazania flower: A biomimetic approach in parametric design for daylighting. *Building and Environment*, 247.
- Tabadkani, A., Banihashemi, S., & Hosseini, M. (2018). Daylighting and visual comfort of oriental sun responsive skins: A parametric analysis. *Building Simulation*, 11, 663–676.
- Tabadkani, A., Valinejad Shoubi, M., Soflaei, F., & Banihashemi, S. (2019, 10 1). Integrated parametric design of adaptive facades for user's visual comfort. *Automation in Construction*, 106.
- Turan, I., Chegut, A., Fink, D., & Reinhart, C. (2020). The value of daylight in office spaces. *Building and Environment*.
- U.S. Green Building Council. (2025). *LEED v5 Reference Guide for Interior Design and Construction*. U.S. Green Building Council.
- Wienold, J. (2009). Dynamic Daylight Glare Evaluation. *Eleventh International IBPSA Conference-Building Simulation 2009*, (σσ. 944-951). Glasgow, Scotland.
- Wienold, J., & Christoffersen, J. (2006). Evaluation methods and development of a new glare prediction model for daylight environments with the use of CCD cameras. *Energy and Buildings*, 743-757.
- Wijesooriya, N., Brambilla, A., & Markauskaite, L. (2022). *A Biophilic Design Guide to Environmentally Sustainable Design Studios*. Springer.
- Wilson, E., & Kellert, S. (1993). *The Biophilia Hypothesis (A Shearwater Book)*. Island Press.
- Wymelenberg, K., & Inanici, M. (2014). A Critical Investigation of Common Lighting Design Metrics for Predicting Human Visual Comfort in Offices with Daylight. *Leukos*, 10, 145-164.

- Yildirim, M., Gocer, O., Globa, A., & Brambilla, A. (2023). Investigating restorative effects of biophilic design in workplaces: a systematic review. *Intelligent Buildings International*, 205-247.
- Yu, K., Fan, T., Lou, S., & Zhang, D. (2013). Biomimetic optical materials: Integration of nature's design for manipulation of light. *Progress in Materials Science*, 58, 825-873.
- Zari, M. P. (2007). Biomimetic approaches to architectural design for increased sustainability. *Sustainable Building Conference (SB07)*. Auckland, New Zealand. Ανάκτηση από academia.
- Zhong, W., Schroder, T., & Bekkering, J. (2022). Biophilic design in architecture and its contributions to health, well-being, and sustainability: A critical review. *Frontiers of Architectural Research*, 114-141.
- Zhong, W., Schroeder, T., & Bekkering, J. (2023). Designing with nature: Advancing three-dimensional green spaces in architecture through frameworks for biophilic design and sustainability. *Frontiers of Architectural Research*, 732-753.
- Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, Κανονισμός (ΕΕ) 2021/1119. (2021). *Κανονισμός (ΕΕ) 2021/1119 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 30ής Ιουνίου 2021 για τη θέσπιση πλαισίου με στόχο την επίτευξη Κλιματικής Ουδετερότητας και για την τροποποίηση των κανονισμών (ΕΚ) Αριθ. 401/2009 Και (ΕΕ) 2018/1999 («Ευρωπαϊκό. Ανάκτηση Δεκέμβριος 2024, από EUR-Lex: EU law: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32021R1119>*
- Ηνωμένα Έθνη-Περιφερειακό Κέντρο Πληροφόρησης του ΟΗΕ. (2024). *ΣΤΟΧΟΣ 11 – ΒΙΩΣΙΜΕΣ ΠΟΛΕΙΣ ΚΑΙ ΚΟΙΝΟΤΗΤΕΣ*. Ανάκτηση Δεκέμβριος 21, 2024, από unric:
<https://unric.org/el/%CF%83%CF%84%CE%BF%CF%87%CE%BF%CF%83-11-%CE%B2%CE%B9%CF%89%CF%83%CE%B9%CE%BC%CE%B5%CF%83-%CF%80%CE%BF%CE%BB%CE%B5%CE%B9%CF%83-%CE%BA%CE%B1%CE%B9-%CE%BA%CE%BF%CE%B9%CE%BD%CE%BF%CF%84%CE%B7%CF%84/>
- Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος-Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2017. (2017). *Αναλυτικές εθνικές προδιαγραφές παραμέτρων για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης κτηρίων*

και την έκδοση του πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης σύμφωνα με την αναθεώρηση του Κ.Εν.Α.Κ. (2017). Αθήνα: Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος-ΤΕΕ.

Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος-Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-7/2021. (2021). *"Τεχνητός και φυσικός φωτισμός κτιρίων"*. Αθήνα: ΤΕΕ.

Τσαγκρασούλης , Α. (2016). *Φυσικός φωτισμός*. Τμήμα Αρχιτεκτόνων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.

Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας. (2022). *Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας*. Ανάκτηση Δεκέμβριος 2024, από *ypen*: <https://ypen.gov.gr/perivallon/klimatiki-allagi/ethnikos-klimatikos-nomos/>

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.